2010년 건설교통기술지역특성화사업 제5차년도 최종보고서

# 수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발

## (Development of Design Technology in Residential Floating Architecture for Aqua & Marine Culture Space )

2015 . 07. 23.

주관연구기관 / 군산대학교 산학협력단
협동연구기관 / 한국해양대학교 산학협력단
협동연구기관 / 전남대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

이 보고서를 "건설교통기술지역특성화사업에 관한 연구"과제(세부과제 " 수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발에 관한 연구")의 최종보고서로 제출합니다.

2015 . 07 . 23


주관연구기관명 : 군산대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 문 창 호
1세부과제 협동연구기관명 : 군산대학교 산학협력단
협동연구책임자 : 이 성 수
2세부과제 협동연구기관명 : 한국해양대학교 산학협력단
협동연구책임자 : 도 근 영

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>10지역기술<br>혁신B01</td><td>해 당 단 계<br>연 구 기 간</td><td>2010.12.24<br>~2015.06.23</td><td>단 계<br>구 분</td><td>(5차년도)/<br>(5차년도)</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">건설교통기술지역특성화사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위<br>과 제 명</td><td colspan="4">수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>문창호</td><td>총연구기간<br>참 여<br>연구원수</td><td>총 : 163명<br>내부: 92명<br>외부: 71명</td><td>총연구비</td><td>정부:5,154,000천원<br>기업:2,036,230천원<br>계:7,190,230천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소 속 부 서 명</td><td colspan="2">(주관)<br>군산대학교 산학협력단<br><br>(협동)<br>한국해양대학교 산학협력단<br>전남대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">㈜오션스페이스, ㈜길건축사사무소, ㈜대들보구조안전기술단, ㈜씨포트, ㈜티섹구조엔지니어링, ㈜쓰리디엔지니어링, ㈜한성기업, ㈜힐엔지니어링,㈜유탑엔지니어링, (유)한국해양개발공사 , ㈜준성이엔알, ㈜토성토건, ㈜에이스마린, ㈜맥이엔지, ㈜에이엠디그룹건축사사무소, ㈜휴먼엔지니어링건축사사무소, ㈜상지엔지니어링 건축사사무소, ㈜GE엔지니어링, ㈜우원엠앤이</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
</table>


수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술을 개발하는 연구로서 다음과 같은 연구결과가 있었음

○ 1세부과제

본 세부 연구에서는 함체위에 건립되는 건축물의 수직하중과 환경하중에 대하여 안정성과 진동에 대한 쾌적성 및 유지관리의 우수성과 내구성을 확보하고자 함

- 환경하중 조사와 플로팅 구조물의 설계기법 연구 및 콘크리트 함체 및 계류설계 기준안 작성
- 플로팅 구조 축소모형 손상 후 손상 위치 추정 및 유효 물성치 산정
- ICA기법을 이용 플로팅 구조물의 동적특성실험 및 계측 실험 수행과 신뢰성 검증
- 프리캐스트 콘크리트 모듈 연결부에 전단키를 적용, 형상 및 구속응력의 변화에 따른 성능 실험 수행하여 구조거동 특성 분석
- 플로팅 상부구조물의 전이보-기둥시스템의 개발 및 접합부 성능 평가
- 친환경 콘크리트 및 플로팅 구조물의 외부 환경인자 저항성에 관한 데이터베이스 확보
- 환경인자의 통계특성치 결정 및 영상기반 변위 관측에 따른 동적 거동 인자를 추출

| | | |
|---|---|---|
| ○ 2세부과제<br>본 세부 연구에서는 1) 상부시설 공간 계획 기술 개발, 2) 법제도 연구, 3) 쾌적환경 설계기술, 4) 신재생에너지 적용 기술, 5) 공간디자인 마케팅, 6) BIM 설계기술, 7) 시공 기술, 8) 설비 설계 8가지 세부목표로 이루어 짐<br>1) 정주형 플로팅 건축물 상부시설의 공간 계획 기술 개발을 위하여 연차별로 상부시설 계획 지침을 구성하는 세부 지침을 개발하고 최종적으로 이를 통합한 지침과 해설서를 개발함<br>2) 플로팅 건축물 조성 최적지 선정을 위한 입지평가기준 및 플로팅 건축물 활성화를 위한 법제도 개선안, 새로운 법안, 플로팅 건축물 피난 및 방재계획 기준을 제안함<br>3) 플로팅건축의 특징인 유동성을 고려해 함체 하부 구조체에 매립 가능한 해수열 이용 시스템을 제안하고, CFD 해석, 목업 실험을 해수 열교환기의 유효성을 확인하고 향후 해수열 이용 시스템 적용을 위하여 매뉴얼을 개발함<br>4) 플로팅 건축에 적합한 건물일체형 풍력시스템(윈드가이드)의 설계 요소별 유동 특성 및 출력을 분석하였으며, 설계지침를 위한 주요 인자와 함수를 도출함<br>5) 국내 마리나클럽의 공간 구성 특징 도출 및 한국형 플로팅 마리나클럽 설계를 위한 스페이스프로그램 제시<br>6) 플로팅 건축의 BIM 설계를 위한 DB 구축과 함께 BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성하고 플로팅 건축 건설관리 프로세스 수립을 통한 LCC 측면 플로팅 건축 경제성 분석<br>7) 플로팅건축공사의 안전성 확보를 위한 표준안전작업절차서를 개발하고, 대지의 활용성 및 시공성을 높인 정수역 함체 진수공법을 개발함<br>8) 에코델타시티 홍보관의 시설계 후 총 생애주기비용을 산출하며, 플로팅 건축 설비 설계 기초 참고 매뉴얼을 제시함 | | |
| 색 인 어<br>(각 5개 이상) | 한 글 | 상호작용해석, 동요진동, 함체접합부, 유지관리, 모듈러 시스템<br>상부시설 계획 지침, 법제도 개선, 해수열 이용 시스템, 건물일체형 풍력시스템, 마리나 클럽, 스페이스프로그램, BIM기반 설계프로세스, 플로팅 건축공사의 시공기술 |
| | 영 어 | Interaction analysis, Motion vibration, Pontoon joint<br>Health monitering, Modular system<br>Planning Guideline of Floating Architecture, Improvement of legal System, Ocean Thermal System, Building-Integrated Wind System, Space Program, BIM-based Design Process, Construction Technology of Floating Architecture |

# 요 약 문

## Ⅰ. 제 목

수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발

○ 1세부과제

플로팅 건축 구조시스템 설계기술

○ 2세부과제

플로팅 건축 공간 설계 기술

## Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구단의 목적

○ 본 연구과제의 최종목표는 지구 온난화, 해수면 상승, 탄소배출량의 증가에 따른 환경문제와 지속적으로 증가되는 해양레저 · 스포츠 관련시설 및 관련 법규 기반 정비의 필요성, 호남권에서의 수상 공간에 대한 친환경적 개발 요구에 대응할 수 있는 플로팅 건축의 핵심기술 개발에 있음

### 2. 세부과제의 목적

○ 1세부과제

○ 본 세부 연구에서는 함체위에 건립되는 건축물의 수직하중과 환경하중에 대하여 안정성과 진동에 대한 쾌적성 및 유지관리의 우수성과 내구성을 확보하고자 함

○ 이를 위하여 1) 플로팅 구조시스템 및 건전도 평가기술, 2) 동요진동 평가 및 저감기술, 3) 모듈러 함체 프리패브 기술, 4) 플로팅 상부구조물 접합부 해석 및 설계기술, 5) 함체용 고성능 재료 및 유지관리 기술, 6) 플로팅 건축 확률변수 결정 및 영상기반 변위 모니터링 등의 세부 연구를 통해 '플로팅 구조물의 최적 설계 및 동요제어기술'을 연구개발의 최종목표로 함




○ 2세부과제

◦ 산업·경제의 발전 및 생활수준 향상에 따라 다양한 개발수요가 증가하고 있으나 토지수용, 환경 문제 등으로 인해 내륙 개발이 어려워져 연안 지역 개발에 대한 관심이 증가하고 있으며 다양한 수해양개발사업이 계획되거나 진행 중에 있음

◦ 하지만 연안 지역을 활용한 대부분의 수해양개발사업이 육역에 위치하거나 매립 등의 방법으로 토지를 확보하여 조성하는 방법으로 진행 중에 있으며 이러한 개발방식은 사회, 환경 등의 다양한 분야에 문제를 야기하고 있음

◦ 이런 이유로 최근 기존 개발방식에 비해 사회, 환경 등의 문제를 최소화하는 개발방식으로 부유체를 활용한 플로팅 건축 기술을 이용한 수해양개발이 주목받고 있음

◦ 특히 서·남해안 연안개발사업, 새만금 개발사업, 해양엑스포, 국제해양관광지 등의 호남권 수해양개발사업에서 친환경적인 개발방식인 플로팅 건축 도입에 대한 필요가 증가하고 있음

◦ 하지만 플로팅 건축에 대한 이해, 기술, 제도 등의 부족 및 부재로 인하여 플로팅 건축을 계획하거나 조성하는 과정에서 많은 문제가 발생하고 있으며 이런 문제들은 플로팅 건축 활성화를 저해하는 중요한 요인이 되고 있음

◦ 플로팅 건축 및 관련 산업 활성화를 위하여 플로팅 건축물에 대한 이해와 사용자 안전성, 편리성, 경제성 등을 높이거나 확보할 수 있는 기술개발과 제도의 정비가 시급한 실정임

◦ 따라서 본 연구에서는 플로팅 건축 및 관련 산업의 활성화 및 친환경적 개발을 위해 필요한 요소기술 개발 및 제도 정비를 위하여 다양한 연구를 수행하고 있음

○ 본 세부과제의 연구목표는 플로팅 건축물에서 하부 부체구조물을 제외한 상부시설물의 생활공간을 대상으로 사용자의 안전성, 편리성, 경제성 및 저탄소 배출을 목적으로 하는 실내외공간 계획기술, 법제도 및 방재기준, 쾌적환경 설계기술, 에너지자립 설계기술을 개발하는 데 있다. 이를 위하여 1) 상부시설 공간계획 기술 개발, 2) 플로팅 건축물 법제도 연구, 3) 쾌적환경 설계 기술 개발, 4) 플로팅 건축의 건물일체형 풍력시스템 개발, 5) 플로팅 건축 공간디자인 마케팅기술 개발 6) 플로팅 건축 BIM설계기술 개발 7) 플로팅 건축 시공기술, 8) 플로팅 건축 설비 설계 등의 세부연구를 통해 '정주형 플로팅 건축공간 친환경 설계기술개발 및 법제도 제안'을 연구개발의 최종목표로 함

## 3. 연구의 필요성

○ 1세부과제

가. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

○ 플로팅 구조물은 바람이나 파랑하중 등으로 안전성이나 사용성에 문제가 발생할 수 있으므로 환경하중에 저항하는 해석기술의 정립이 필요함

○ 플로팅 구조물에 공기단축과 경제성, 친환경성을 만족하는 모듈러구조시스템을 적용하여 표준화에 따른 엔지니어링 비용 절감 효과를 기대됨

○ 플로팅 상부구조물은 파랑하중에 의한 영향을 많이 받기 때문에 접합부 상세 해석을 통한 설계가 필요하며, 하부구조물의 변형에 의한 상부구조물 이용자의 사용성 및 안전성평가 필요함

○ 구조물의 합리적인 안전도수준 확보에 대한 명시적 기준이 법제화됨에 따라 확률론적 신뢰성해석을 통한 위험도평가의 필요성이 강조되고 신뢰성분석을 기반으로 하는 설계법인 한계상태설계법(Limit State Design)이 세계적인 표준으로 자리매김함에 따라 신뢰성 분석은 필수적으로 수행되어야 함

○ 해상주택, 공연장 시설뿐만 아니라 해상저장 설비와 비행기 이착륙 시설 등을 위한 메가 플로팅 구조물에 적용하기 위해 콘크리트 함체 구조물의 개발이 주목받고 있으며, 이러한 콘크리트 함체 구조물은 해상 환경에서의 시공 조건 때문에 모듈단위로 주로 시공됨

○ 따라서, 시공과정에서 모듈부재를 연결하는 작업이 이루어지므로 연결부의 기능과 구조적 성능을 최대한으로 유지시킬 수 있는 모듈 접합부의 연결기법개발이 필요하며 또한, 콘크리트 함체 연결부에서 구조물의 성능 저하를 최소화할 수 있는 연결기법의 구조성능평가가 필요함

나. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ 파랑에 의한 플로팅 구조물의 진동은 하중의 특성에 따라 다양한 진동모드를 유발시키며 탁월 진동모드의 영향에 따라 진동패턴이 달라지나 이에 대한 연구가 미흡하며, 탁월 진동모드를 추출하는 기술이 요구됨

○ 정주형 플로팅 구조물에 요구되는 진동저감 성능은 매우 높은 편임. 그러나 이러한 사용성 기준을 만족할 수 있는 진동저감시스템은 아직 개발이 미흡하므로 이에 대한 연구가 필요함

○ 플로팅 건축물을 정온하게 만드는 동요진동 저감 기술은 국내외적으로 아직 발전되지 않은 미개척분야로써 고유의 해당기술을 가지는 국내업체의 해외진출을 통한 건설사업 분야 국가 경쟁력강화에 중요한 요소임

다. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 구조물의 진동 및 변위, 파도 효과의 정성적 분석, 재난 피해 감소 등을 위하여 영상기반 모니터링이 필요함

○ 플로팅 구조물의 경우 해양의 혹독한 조건에 항시 노출되어 있기 때문에 안전에 직결되는 구조물의 안전성, 손상상태 등의 상시안전도 진단을 통해 결함 위치 및 결함정도를 파악하여 즉시 조치할 필요가 있음

○ 구조물의 손상을 초기에 발견하지 않으면 많은 인명 피해 및 경제적 손실을 초래 할 수 있음

○ 본 연구는 손상탐지 기법과 구조계추정 기법을 이용하여 플로팅 구조물의 건전도 평가 기술을 개발하고 그 적용성을 검증 함

○ 콘크리트의 경우 자중이 커서 상대적으로 얕은 수심에 부적합하지만 안정성, 경제성 등의 측면에서 우수한 재료이나, 콘크리트의 경화 및 강도발현은 pH 13 이상의 강알칼리에서 유도되므로 수중에 사용될 경우 생태계 교란을 일으킬 위험이 있어 이를 보완할 수 있는 친환경 재료 개발이 요구됨

○ 온·습도의 변화, 자외선, 발암을 비롯하여, 염소이온의 직·간접적인 영향은 철근부식을 유발하여 구조물의 수명을 단축시키므로 적절한 재료의 선정 및 공법이 필요하게 됨

○ 철근 콘크리트 구조물의 내구수명 산정을 위하여 콘크리트의 염소이온 확산특성 평가뿐만 아니라 해안 구조물 설치 장소 및 방향에 따른 비래염분량을 명백히 할 필요가 있다고 판단됨

○ 포집기의 비래염분 포집 정확성 및 다방향 포집능력 확보를 통해 실측데이터가 충분히 수명산정의 경계조건으로 사용될 수 있도록 검증하고자함

○ 2세부과제

가. 상부시설 공간 계획 기술

○ 정주형 플로팅 건축물 상부시설의 공간 계획 기술 개발을 위하여 연차별로 상부시설 계획 지침을 구성하는 세부 지침을 개발하고 최종적으로 이를 통합한 지침과 해설서를 개발함

○ 정주형 플로팅 건축물은 인간이 거주하기 위한 목적의 시설물로 상부시설의 계획은 일반적인 건축물의 건축 계획과 많은 부분 유사하나 명확히 구별되는 부분이 있어 이에 대한 정의와 관련 계획 기술에 대한 지침의 작성이 필요함

○ 국외의 일부 국가에서 정주형 플로팅 건축물의 상부시설에 대한 부분적인 지침이 작성된 사례가 있으나 상부시설과 관련된 다양한 건축 계획 측면을 포괄하는 지침이 개발된 사례는 없으며 국내 역시 관련된 연구와 지침이 개발된 사례는 없음

나. 플로팅 건축물 법제도 개선

○ 법제도 연구에서는 플로팅 건축물 조성 최적지 선정을 위한 입지평가기준 개발과 플로팅 건축물 활성화를 위해 선행되어야 하는 법제도 정비를 위한 법제도 개선안 및 새로운 법안을 제시하는 것을 연구의 목표로 함

○ 본 연구에서는 구조, 입지, 사용목적 등 플로팅 건축물의 특성을 고려한 입지평가기준을 개발하고 국내외 플로팅 건축물 법적용 현황 및 문제점을 분석하고 국내 법제도 특성을 고려한 법제도 개선안 및 플로팅 건축물을 위한 새로운 법안을 제시함

○ 법제도 개선 및 새로운 법안을 통해 플로팅 건축물의 법적지위를 명확히 하고, 플로팅 건축물 및 이용자의 안전을 보장할 수 있는 피난 및 방재계획 기준을 함께 제시함

다. 플로팅 건축의 쾌적환경 설계기술

○ 플로팅건축물의 생활공간을 경제성, 친환경성과 사용자의 안전성 및 편리성을 극대화하기 위한 Passive적 기법 개발에 최종목표를 두고 플로팅건축물의 입지적 특성을 고려하여 냉난방 시스템 설계 시 일반건축물에 적용되는 부하산정 요소 외 해수온도, 해수면 반사일사 및 창면적비를 부하산정 요소로 도입기법을 개발하여 이를 바탕으로 테스트베드 수행 및 사업화 전략을 통하여 개발된 기술을 실용화함

○ 플로팅건축물은 지리적으로 해상에 위치하며, 해수열은 무한 부존량을 갖는 청정에너지이기 때문에 해수열 이용 시 효과적인 플로팅건축물의 에너지 저감이 예상됨

○ 기존의 해수열 이용시스템은 대부분 해저 지반에 해수열교환기를 매립하는 형태인데,

플로팅건축물의 특징인 부유특성과 이동가능성을 고려할 때 기존의 해수열교환기 구조를 그대로 플로팅건축에 적용하는 것은 적절하지 못하기 때문에 플로팅건축 특성을 반영한 새로운 해수열교환기의 개발을 목표로 함

라. 플로팅 건축의 신재생에너지 적용기술

○ 풍력-기상자원지도에 의하면 내륙보다 해안의 연평균 풍속이 큰 것을 알 수 있으며, 또한 연해보다 원해의 연평균 풍속이 크며 동, 서해안보다 남해안이 상대적으로 연평균 풍속이 큼

○ 내륙의 일부 산악지역에서 풍속이 크나, 해안의 경우보다 그 지역이 제한적임

○ 바람이 내륙으로 이동할수록 풍속이 감소될 뿐만 아니라, 지형과 건물과 같은 장해물에 의해서 난류의 발생가능성이 높아지며 풍속의 감소와 난류의 발생은 풍력발전기 등의 출력을 급격히 감소시키는 원인되며 특히 난류의 발생은 풍력터빈이 회전할 수 없게도 함

○ 풍자원이 건축물에서 활용할 수 있게 하는 건물 일체형 풍력시스템을 위한 설계 기술 부족한 실정임

○ 풍력을 이용할 수 있는 건물일체형 풍력시스템의 모델링 및 설계 요소의 성능 분석을 통하여 건물일체형 풍력시스템의 설계 기술을 개발하고자 함

마. 플로팅 건축을 통한 공간디자인마케팅

○ 수해양문화 프로그램 수용을 위한 플로팅건축의 유형 및 특징 이해

○ 최적지 선정에 따른 한국형 플로팅마리나클럽 스페이스프로그램 기준 마련 및 예시 설계안 제시

○ 사회적 이슈를 반영한 플로팅건축의 실현 가능성 모색

○ 플로팅건축의 공간디자인마케팅 기술 개발

바. 플로팅 건축 BIM 설계기술

○ 최근 건설프로젝트의 복합화, 대형화와 함께, 플로팅건축에서 대두되는 협업과 통합프로세스의 요구로 플로팅건축에서의 BIM기술의 접목

○ 플로팅건축의 BIM기반 DB 및 템플릿의 구축으로 건물의 전 생명주기동안 생성되는 정보의 통합관리와 함께 정보의 재활용을 통한 경제성 확보

○ 플로팅건축 설계프로세스의 작성으로 협업주체간의 적극적 협업의 명확성, 신속성, 효

율성 확보

○ Test-bed 수행 결과를 피드백하여 목업 함체 디자인과 실시 설계도서 작성하고 및 실시설계를 바탕으로 함체 제작 건축공사에 소요되는 공사비 내역 산정

○ 플로팅 건축 건설관리 프로세스 수립을 통한 플로팅 건축의 생애주기를 파악하고 이를 바탕으로 플로팅 건축의 LCC분석을 위한 구성항목을 산정하여 플로팅 건축물의 경제석 분석

○ 각 설계 프로세스별 LOI(Level of Information)단계 수준 정의 및 적용하여 플로팅 건축 BIM설계시 적용/활용 가능한 설계 지침 작성

사. 플로팅 건축공사 시공기술

○ 국내의 진수 방식의 경우 진수도중 파손에 대한 우려가 있기 때문에 플로팅 건축에서는 건축적 특징인 반영된 함체 제작 안정성, 편이성, 이동성, 시공성이 가미된 새로운 진수공법의 개발이 필요함

○ 플로팅 건축공사 시 육지, 수상 등 특수성, 고 위험성 작업이 있기 때문에 위험요인을 도출하고 위험에 대한 평가를 한 뒤 위험요소에 대한 안전대책을 마련을 해야 함

○ 플로팅 건축공사의 특수성을 고려하여 새로운 표준 안전작업절차서를 개발하여 이를 안전작업절차서에 반영해야 함

○ 도출된 위험에 요인에 대한 안전대책을 제시하기 위해 플로팅 건축공사 유해위험방지계획서 및 안전 매뉴얼을 개발하여 이를 플로팅 건축공사 시공 시 반영해야 함

아. 플로팅 건축물 설비 설계

○ 플로팅 건축과 관련산업 설비의 기초자료 및 유의사항과 같은 가이드가 부재하여 설계시 어려움이 있으며, 일반 건축물에서 고려하지 않는 특수한 사항들을 고려하여야 함

○ 연안 및 강변, 수상에 위치하는 특성상 부식, 인근 해안으로 인한 염해, 수면 및 파도로 인한 진동 등을 고려해야하고 에코델타시티 홍보관에 안정적인 열원 및 전력 시스템, 부식 및 염해방지 장비, 배관 등의 대책 등을 마련하고 적절한 기준 및 근거를 통한 설계가 요구됨

○ 국내외 플로팅 건축물 설비 사례조사를 통하여 에코델타시티 홍보관 설비 시설계를 진행하고자 함

○ 에코델타시티 홍보관의 열원, 공조 시스템별 비용편익을 분석하고 최적의 설비를 도출하고자 국토교통부 공인 건축물 에너지 시뮬레이션 프로그램인 ECO2를 이용하여 1차 에너지 소요량을 산출함

○ 설계과정과 열원시스템 분석을 통하여 플로팅 건축물 설비의 기본적인 설계 가이드라인을 작성하여 추후 유사 건축물의 설계 시 참고자료로써 활용하고자 함

# Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

○ 1세부과제

## 1. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

○ 일체형 함체의 유탄성해석

○ 환경하중의 조사 분석

○ 플로팅 예제구조물의 콘크리트 함체 및 계류시스템의 설계

○ 플로팅 상부구조와 함체의 하중전이에 관한 분석

○ 플로팅 상부구조물의 주각부의 집중응력을 해결 할 전이보-기둥 시스템 개발

○ ABAQUS를 이용한 전이보-기둥 시스템 주각부 상세해석 수행

○ 플로팅구조물 설계 및 환경특성 검토, 분석 및 주요 설계변수 선정

○ 통계특성치 결정을 위한 서남해안 지역의 연안환경자료 수집

○ 확률변수 통계특성치 결정 기법 정립

○ 수집된 자료의 통계특성치 결정

○ 선정된 통계특성치 결정기법에 기초한 확률변수 통계특성 결정 프로그램 개발

○ 기존 문헌의 자료와 비교 분석하여 최종 값을 확정

○ 콘크리트 함체 모듈 접합부 연결기법 개발

○ 콘크리트 함체 모듈의 형상 연구

○ 프리캐스트 전단키의 전단성능평가 실험

## 2. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ 플로팅 구조물 강체 거동 특성 연구, 독립성분분석(ICA)기법을 이용한 모드형상과 동적 특성 추정

○ 플로팅 구조물 제진장치 해석 모델 개발, 제진장치가 연계된 시스템에 대한 진동제어를 위한 제어알고리듬 개발

○ 프로토타입 또는 모듈타입의 함체 제작, 강체거동으로 가정하는 함체에 대한 계측실험 수행하여 각 방향(heave, rolling, pitch)별 동적특성 추정

## 3. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 플로팅 구조물의 축소모형 디자인 및 제작

○ 축소모형의 수조 시험을 통한 가속도 응답 계측 후 동적 거동 분석

○ 축소모형 손상 후 손상 위치 추정 및 유효 물성치 산정

○ 동적 거동 관련 주요 인자 결정

○ 영상기반 변위 측정 체계 개발

○ 수리모형실험 지원

○ 함체에 적용 가능한 콘크리트 개발을 위하여 다양한 변수조건에 대한 실내실험을 통하여 지오폴리머 콘크리트 배합기술 구축

○ 다양한 변수에 따른 지오폴리머 콘크리트의 압축강도 특성 분석

○ 결합재 종류 및 물-결합재 비율의 변수에 따른 동결융해 저항성 평가 및 보통 시멘트 콘크리트와 비교

○ 물-결합재 비율의 변수에 따른 중성화 저항성 평가 및 보통 시멘트 콘크리트와 비교

○ 공기량 및 물 결합재 비율의 변수에 따른 염화물 침투 성능의 평가 및 보통 시멘트 콘크리트와 비교

○ 구조재료 구성 배합 변수(물-결합재비, 단위결합재량, 잔골재율, 양생조건 등)에 따른 물성변화 평가

○ 플로팅구조물 구성재료의 각종 외부 환경인자 저항성에 관한 물성 DB 구축

○ 외부 열화인자의 플로팅 구조재료에 대한 영향도 평가

○ 2세부과제

## 1. 상부시설 공간 계획 기술

○ 1차년도 : 정주형 플로팅 건축물 상부시설 공간 계획을 위한 일반 사항 및 플로팅 건축물의 입지와 위치, 조망 등과 관련된 배치 계획 지침, 상부시설의 형태, 규모, 용도 등과 관련된 건축 계획 지침을 개발함

○ 2차년도 : 상부시설 계획에서 모듈러 시스템을 적용하기 위하여 모듈러 시스템의 적용

가능성을 확인하고 플로팅 건축물 상부시설에 적용 가능한 모듈러 시스템 모델과 적용 지침을 개발함

○ 3차년도 : 배치 및 건축 계획 지침과 모듈러 시스템 계획 지침 등을 통합하고, 관련 지침을 참조하여 상부시설 통합 계획 지침을 작성하며, 모듈러 시스템을 적용한 테스트베드 모델을 계획함

○ 4차년도 : 플로팅 주거 단지 계획 및 모듈러 시스템 시공 계획 등과 관련된 지침을 추가 개발하며 모듈러 프로토타입에 대한 설계안을 작성함

○ 5차년도 : 플로팅 건축물 상부시설에 대한 거주 후 평가의 지침을 추가 보완하고 상부시설 계획 지침에 대한 해설서 개발을 통하여 기술의 보급 및 확산을 추진함

## 2. 플로팅 건축물 법제도 개선

○ 1차년도 : 플로팅 건축물 설치를 위한 기본조건을 바탕으로 입지평가항목을 도출하고 플로팅 건축물의 입지, 용도, 이용성 등을 고려하여 설치적합성과 이용적합성 평가지침을 바탕으로 플로팅 건축물 최적지 평가기준을 개발함

○ 2차년도 : 국내 플로팅 건축물 법제도 적용 현황을 조사·분석하여 문제점을 도출하고 국외 관렷 법제도 적용 현황을 바탕으로 국내 플로팅 건축물 현실에 적합한 법제도 개선안 및 새로운 법안을 제안

○ 3차년도 : 플로팅 건축물에서 발생가능한 재해를 예측하고, 국내외 건축물, 선박, 플로팅 건축물 등에 적용되는 피난 및 방재관련 기준 검토를 통해 플로팅 건축물 및 이용자의 안전을 확보할 수 있는 피난 및 방재계획 기준을 제안함

○ 4차년도 : 엔지니어링 테스트베드 설계를 통해 현행 법제도 및 제안된 법제도의 적용성을 검토하고 문제점 도출

○ 5차년도 : 제안된 법제도를 보완하여 제안된 법제도의 현장 적용성을 높이고 법제도의 보급 및 확산을 추진함

## 3. 플로팅 건축의 쾌적환경 설계기술

○ 1차년도 : 육상의 건축물과 선박의 중간적인 성격을 가지는 플로팅 건축물의 부하계산 기법을 개발하기 위해 실내 및 외기조건, 상당외기온도 및 인접실 온도, 환기량을 육상의 건축물과 선박의 냉난방 부하계산법을 조사 분석하여 플로팅 건축물의 부하계산 기법을 개발하였고 플로팅건축물이 수온을 고려해야 하기 때문에 지역별 해수온도 설정하는 방법을 제안함

○ 2차년도 : 플로팅건축용 해수열 이용 시스템을 개발하기 위해, 플로팅건축의 해상유동 특성을 고려한 이용시스템을 제안하는 것을 목적으로 하며 이를 위해 CFD (Computational Fluid Dynamics)를 이용해 해수열 이용 열교환기의 열교환 성능을 예측 평가하여 기본 사양을 선정하고, 이를 근거로 실험모형을 제작

○ 3차년도 : 해상에서의 모형실험을 통해 계절별 열교환 성능이 유효함을 확인하였고, 이 결과를 선행된 CFD 시뮬레이션 결과와의 비교를 통해 예측성능의 적정성을 확인하였고 향후 실증 사업에 적용시키기 위해 해수열 이용 시스템 적용 매뉴얼을 개발함

○ 4차년도 : 쾌적성과 부하에 영향을 미치는 개구부의 적정크기와 재료의 환경성능 검토를 바탕으로 개구부 설계 알고리즘을 도출함으로써 플로팅건축물의 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼을 개발함

○ 5차년도 : 수상에 위치한 플로팅건축물에 넓은 수면에 의해 반사되는 상향 일사와 반사광이 실내 냉방부하에 미치는 영향을 파악하고자 태양고도와 해수면 반사일사량의 관계를 실측을 통해 검토한 다음 케이스 별 시뮬레이션 분석결과를 바탕으로 제어기법을 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼에 반영하여 보완하고자 함

## 4. 플로팅 건축의 신재생에너지 적용기술

○ 1차년도 : 신재생에너지 중의 하나인 풍력 자원에 대하여 수역별로 풍속 빈도와 에너지 밀도를 분석하였고 건물일체형 풍력시스템에 대한 일반 사항을 고찰하며, 집풍효과에 의한 풍속증가를 고려한 건축모델링이론 고찰을 통한 에너지 해석 모델링을 함

○ 2차년도 : 풍속증가를 고려한 양방향 윈드가이드를 모델링하여, 윈드가이드의 설계변수에 따른 수치 해석을 수행했으며 디지털 풍동을 제작하여 실험함으로 풍력시스템의 설계요소별 성능 분석을 함

○ 3차년도 : 풍속증가를 고려한 다방향(또는 전방향) 윈드가이드를 모델링하여, 다방향 윈드가이드의 설계변수에 따른 풍동실험을 통하여 풍향변화에 따른 풍력시스템의 성능을 분석하였고 주변 장애물에 의한 일영 계산(일영 다각형에 대한 집합 연산 알고리즘) 알고리즘을 개발하여 향후 태양광-풍력 하이브리드 시스템 개발에 필요한 일사량 예측모델을 개발함

○ 4차년도 : 다방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템의 설계변수 및 풍향에 따른 성능 실험 및 분석을 통하여 풍윈드가이드의 출력성능과 항력계수와 관계를 규명하며, 풍력시스템(윈드가이드)의 출력성능 측정 모델 개발함. 또한 엔지니어링 테스트베드를 위한 풍력시스템을 모델링함

○ 5차년도 : 실물 크기의 실험체 설계 및 제작을 하여 출력성능 측정 실험을 하며, 기존의 풍동실험 결과와 비교 분석하여 풍력시스템 모델의 성능을 향상시킴. 또한 양방향/다방향 윈드가이드를 위한 설계 지침을 개발하여 기술확산을 도모함

## 5. 플로팅 건축을 통한 공간디자인마케팅

○ 1차년도 : 유럽 사례 분석을 통한 수해양문화 프로그램 수용이 가능한 플로팅 건축의 유형화 및 특성 도출

○ 2차년도 : 수해양문화 프로그램 유형화를 바탕으로 한국형 플로팅 마리나클럽의 스페이스프로그램 개발을 위해 수요관련 통계자료 수집 및 분석, 수요자 대상 설문조사 및 분석을 수행하고 스페이스프로그램 기준을 제시함

○ 3차년도 : 공간 디자인마케팅 관점에서 플로팅 건축 디자인 전략

○ 4차년도 : 최적지 선정에 따른 플로팅 마리나클럽의 예시안 설계 및 기술적 지원

○ 5차년도 : 선행된 연구결과를 종합하여 공간 디자인마케팅 프로세스를 개발하였으며 본 프로세스는 최근의 개발 동향과 관광 차원에서 접근하여 사업화 방안을 세움

## 6. 플로팅 건축 BIM 설계기술

○ 1차년도 : BIM을 이용한 건축설계에 관한 국내외 사례조사 및 국내외 플로팅건축 사례조사, 플로팅건축설계 Flow Chart 작성, 플로팅건축의 기능적 요구사항 분석, 플로팅 건축의 설계단계에서 BIM의 적용을 위한 설계 프로세스를 제안함

○ 2차년도 : BIM기반 플로팅건축설계 템플릿의 대상요소 및 입력사항 분석, 플로팅건축설계 템플릿의 소요입력정보 작성, 플로팅건축 상하부구조 BIM기반 DB 구축, BIM을 고려한 플로팅건축의 정보교환체계 모델 시각화, BIM을 고려한 플로팅건축 설계프로세스를 개발함

○ 3차년도 : BIM기반 플로팅 건축 설계안 작성을 위하여 새만금 개발청사의 기획안 작성 및 연구관련 DB를 보완하고, 플로팅건축물 설계단계별 프로세스 보완 및 BIM기반 플로팅건축물 정보교환모델을 보완하였음

○ 4차년도 : 플로팅건축의 엔지니어링 테스트베드 BIM 모델 디자인 작성 및 BIM기반 플로팅건축 프로젝트 LOI(Level Of Information) 설정, 플로팅건축 설계 BIM기반 DB 보완, BIM기반 플로팅건축의 설계 프로세스를 수정 및 보완함

○ 5차년도 : TEST 결과 피드백 통한 함체 디자인 및 실시설계 작성을 하고, 플로팅건축 BIM 설계를 위한 DB 수정 및 보완, BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성, 플로팅건축물 건설사업관리 방안 분석, 플로팅 건축물의 LCC 분석 위한 구성항목의 산정, LCC측면 플로팅 건축 경제성 분석을 함

### 7. 플로팅 건축공사 시공기술

○ 3차년도 : 플로팅 건축 함체 진수공법의 국내외 주요기술 비교 및 함체 진수공법의 요구조건 분석

○ 4차년도 : 정수역 플로팅 함체 진수공법 개발 및 플로팅 건축공사의 표준안전작업절차서 개발

○ 5차년도 : 플로팅 함체 진수공법에 대한 보완사항을 보완하고 플로팅 건축물 시공에 관한 특수성을 고려한 '플로팅 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전 메뉴얼을 개발

### 8. 플로팅 건축물 설비 설계

○ 4차년도 : 국내외 플로팅 건축물의 설비 사례조사를 통하여 에코델타시티 홍보관의 설비 계산서 및 도면을 작성함

○ 5차년도 : 에코델타시티 홍보관의 설비 시설계를 보완 후 설비대안별 총 생애주기비용 산출과 1차 에너지 소요량을 산출함

## Ⅳ. 연구개발결과

○ 1세부과제

### 1. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

○ 예상 TB지역의 환경하중 조사 및 파랑하중과 유속하중 제안

○ 콘크리트 함체 설계 기준안 작성 및 함체의 예비설계와 평가

○ 계류의 설계방법론 정립

○ 여수, 보령, 목포지역의 풍속, 파고, 주기, 파향 자료 수집

○ 수집된 연안자료의 통계특성치 결정

○ 확률분포와 매개변수 결정을 위한 HDIST프로그램 개발 및 적용하여 확률분포형태 결정

○ 플로팅 상부구조물의 주각부에 원활한 하중분포를 위한 전이보-기둥시스템을 개발하고 위 시스템의 구조적인 검증을 위해 유한요소 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 상세해석 수행하였으며, 전이보-기둥시스템의 접합부 성능을 검증할 $M-\theta$ 곡선을 도출하여 접합부 성능 평가를 수행하였음

○ 콘크리트 모듈 접합부는 전단키를 포함하고, 프리스트레싱을 가력하여 접합하는 방법을 제시하였으며 이때, 프리스트레싱 정착구의 해양환경하에서의 내구성능 저하를 방지하기 위해 정착구를 해수면 위에 배치하고 텐던 프로파일의 중앙부분은 해수면 아래에 위치하는 방안을 제시함

○ 프리캐스트 콘크리트 모듈 연결부에 전단키를 적용하여 접합부의 전단 강도를 확보하는 방안과 함께 최적 전단키 형상을 구현하기 위해 전단키 형상 및 구속응력의 변화에 따른 성능 실험을 수행하여 구조거동 특성을 분석함

## 2. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ ICA기법에 의한 플로팅 강체구조물의 모드분리 실험적 검증을 수행하였으며 대상구조물의 구조해석모드 형상과 3차 모드에서 20%미만의 오차가 발생하지만 그 이하 저차 모드에서는 근사한 결과를 보임. 스펙트럼법 의한 모드분리 결과 값과 비교시 유사한 값을 가지며, 독립성분분석(ICA)기법을 이용한 플로팅 구조물의 동특성 추정이 가능한 것으로 사료 됨.

○ 강체 거동을 하는 플로팅 구조물에 동요저감장치(제진장치) 적용시 정확한 해석모델을 구축하기 위한 다양한 수학적 테크닉을 통한 최적 변수를 찾고 해석 모형을 모델링함

○ 사용된 해석모델에는 부가질량을 가지는 수동형의 모델과 실제 계측을 통한 함체의 거동을 파악한 후 함체의 거동에 따라 실시간으로 동요저감장치의 성능을 극대화하는 능동형의 해석모델을 모델링함. 그 후 수치적 제어시뮬레이션을 통한 제어효과를 검증함

○ 또한 수조실험을 통한 파랑하중에 대한 실험체의 계측응답과 파랑하중모형에 의한 플로팅 구조물의 해석응답과 비교하여 모형에 대한 수학적 모델링 적합도, 파랑하중에 대한 해석절차의 신뢰성을 검증함.

○ 해석절차의 신뢰성을 바탕으로 플로팅 강체 구조물과 연계된 제진시스템을 모델링하는 수학적 테크닉 및 이를 실험적으로 검증하는 일련의 프로세스를 개발하였으며 향후 이러한 프로세스를 통하여 더 나은 제진장치 설계를 목표로 하여 연구를 수행할 계획임

## 3. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 해양시뮬레이션 실험센터에서 수행한 모형실험 자료와 실외 부유 건축물에 대한 영상기반 변위 관측을 수행하고, 동적 거동 인자를 추출

○ 축소 모형 실험을 통해 손상을 정확히 탐지 하였고 유효 물성치를 산정 할 수 있었으며 플로팅 구조물에 대한 건전도 평가기술의 적용성을 입증하였음

○ 함체 적용을 위하여 지오폴리머 콘크리트의 동결융해 및 중성화 저항성, 염화물 침투 성

능 및 내화학성을 평가한 결과, 보통 시멘트 콘크리트 대비 지오폴리머 콘크리트의 내화학성이 우수한 것을 파악

○ 지오폴리머 콘크리트의 결합재인 슬래그의 염기도를 조정한 Mechano-chemical 합성을 실시하여 촉진탄산화 실험한 결과를 통해 지오폴리머 콘크리트의 빠른 탄산화 원인 분석 및 모재료의 염기도와 양생조건을 통해 탄산화 속도 개선 가능성을 제시

○ 인공비래염분측정장치를 이용하여 다양한 변수조건에 대한 실내실험을 통한 비래염분포집

○ 플로팅구조물 구성재료의 각종 외부 환경인자 저항성에 관한 물성 DB 구축을 하기위한 전위차측정기를 사용하여 비래염분량 측정

○ 2세부과제

## 1. 상부시설 공간 계획 기술 : 부유식 건축물 상부시설 계획 지침

○ ‘부유식 건축물 상부시설 계획 지침’ 작성

○ 본 지침은 거주 용도로 사용되는 플로팅 건축물 상부시설에서의 시스템 계획(모듈러 시스템, 상하부 시스템 연계 등), 배치 계획(입지 및 위치, 조망 및 경관, 단지 계획), 건축계획(형태, 규모, 용도, 구조, 재료, 친환경 계획), 거주후 평가 등에 대한 통합적인 지침

○ 본 지침의 구성은 다음과 같음

1) 일반 사항

- 목적, 용어정의, 구성체계

2) 관련 기준

- 구조설계기준, 방재 및 피난 기준, 참조 기준

3) 배치 계획

- 입지 및 위치 : 자연 환경 조건, 사회 환경 조건, 관련 법규 및 개발 계획
- 조망 및 경관 : 조망 계획, 경관 계획, 사생활 보호
- 단지 계획 : 주차, 조경 및 공용 공간, 단위 건축물 배치 및 동선, 지원 및 공동시설

4) 건축 계획

- 형태, 규모 및 용도 : 안정성, 상부시설 규모, 용도 및 공간 구성
- 구조 및 재료 : 상부구조의 경량화, 재료의 요구 성능, 폰툰의 구조 및 재료
- 친환경 계획 : 수질 관리, 신재생에너지 활용, 유지 관리

- 거주 후 평가 : 거주 후 평가 요소의 구성, 거주 후 평가 주요 요소, 평가 결과의 반영

5) 시스템 계획

- 모듈 정합 설계 : 계획 모듈, 기준면 설정, 모듈과 모듈러 규모
- 모듈러 시스템 계획 : 공업화 건축 시스템, 모듈러 시스템 적용 조건, 재료 및 구법, 모듈러 시스템 시공 계획
- 상하부 시스템 연계 : 함체의 종류 및 거주성, 상하부 구조 연계, 설비 시스템 계획

## 2. 플로팅 건축물 법제도 개선

○ 본 연구에서는 플로팅 건축물 적지 선정을 위한 입지선정기준을 개발하고, 국내외 플로팅 건축물 법제도 적용 현황 조사·분석을 바탕으로 국내 현실 및 플로팅 건축물 활용에 적합한 「건축법」 개선안 및 새로운 법안을 제안함

○ 또한 플로팅 건축물을 위한 새로운 법안의 부속 기준으로 피난 및 방재계획 기준을 개발하여 수상에 입지하는 플로팅 건축물 및 이용자의 안전성 확보를 위한 계획 기준을 마련함정주형 플로팅 건축물 상부시설의 공간 계획 기술 개발을 위하여 연차별로 상부시설 계획 지침을 구성하는 세부지침을 개발하고 최종적으로 이를 통합한 플로팅건축 상부시설 통합설계지침과 해설서를 개발함

[표 1] 플로팅 건축물을 위한 새로운 법제도 구성

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 새로운 법안 | ·「건축법」의 위임으로 새로운 조례 제정 :<br>「부유식 건축물에 관한 조례(안)」 |
| 조례의 대상 | · 수역 : 해양시설물과 내수면시설물<br>· 구조 : 부유식 구조물<br>· 소유 : 국유시설물, 민간소유시설물<br>· 위치 : 내수면과 해수면의 공유수면<br>· 용도 : 건축물 및 이에 부속된 시설물<br>· 상태 : 이미 설치된 건축물, 설치할 건축물 |
| 조례의 구성 | · 제1장 총 칙<br>· 제2장 부유식 건축물의 설치<br>· 제3장 부유식 건축물의 대지<br>· 제4장 부유식 건축물의 유지·관리<br>· 제5장 보 칙 |
| 재산권 공시 | · 건축물로서 부동산 등기 |
| 인허가 사항 | ·「건축법」에 따른 인허가 |
| 안전기준 | · 국토해양부령으로 「부유식 건축물 기술기준」 마련 |

[표 2] 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안) 구성

| 제1편 총칙 | 제2편 피난 | 제3편 방재 |
|---|---|---|
| 제1조(목적)<br>제2조(정의)<br>제3조(적용범위)<br>제4조(적용의 특례) | 제5조(대지 안의 피난통로 설치)<br>제6조(내부 피난통로의 설치)<br>제7조(직통계단의 설치)<br>제8조(피난계단의 설치)<br>제9조(옥외 피난계단의 설치)<br>제10조(승정데크의 설치)<br>제11조(구명설비의 비치)<br>제12조(관람석 등으로부터의 출구 설치)<br>제13조(상부건축물 바깥쪽으로의 출구 설치)<br>제14조(계단 및 복도의 설치)<br>제15조(거실반자의 설치)<br>제16조(채광 및 환기를 위한 창문 등)<br>제17조(안내판의 설치)<br>제18조(피난모의실험 결과의 반영)<br>제19조(피난계획서의 제출) | 제20조(재해방지계획의 제출)<br>제21조(내화구조)<br>제22조(방화구조)<br>제23조(난연재료)<br>제24조(불연재료)<br>제25조(준불연재료)<br>제26조(방화구획의 설치)<br>제27조(방화문의 구조)<br>제28조(소방시설의 설치)<br>제29조(침수방지)<br>제30조(수밀격벽의 구조)<br>제31조(충돌방지)<br>제32조(안정성의 확보)<br>제33조(하부함체의 구조)<br>제34조(하부함체의 설비)<br>제35조(계류시설의 설치)<br>제36조(해양오염방지) |

## 3. 플로팅 건축의 쾌적환경 설계기술

○ 플로팅 건축 부하계산 기법 개발

- 육상에서의 건축물의 특성과 선박의 특성이 혼재하고 있는 플로팅건축물의 부하계산 기법을 개발하기 위해 육상의 건축물과 선박의 냉난방 부하계산법을 조사 분석하여 플로팅건축물의 부하계산 기법을 개발
- 구조적으로 수온의 영향을 받기 때문에 이에 의한 영향을 고려할 필요가 있으나 현재 국내에는 플로팅건축의 부하 계산을 위한 수온조건은 설정되어 있지 않으므로 해수온 분석에 대한 연구를 진행, 국내 연안에 대해 관측된 해수온을 토대로 위험률을 고려한 ASHRAE에서 제안한 방법을 채택하여 각각의 지역에 적합한 해수온을 설정하였음

○ 해수열 이용 시스템 적용 매뉴얼 개발

- 플로팅건축의 특징인 유동성을 고려하여 플로팅건축 함체 구조체 하부에 매립하는 형태의 해수열 이용 시스템을 제안하였고 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같음
  ① 해상에서의 모형실험을 통해 하절기 열교환 성능이 유효함을 확인하였고, 이 결과를 선행된 CFD 시뮬레이션 결과와의 비교를 통해 예측성능의 적정성을 확인함
  ② 동절기 실험은 실내 수조에서 수행되었으며, 하절기에 비해 열교환 용량이 줄어들기 때문에 하절기와 동절기 설계용량을 분리하여 냉난방 시스템을 구축해야 함을 확인함
  ③ 향후 실증 사업에 적용시키기 위해 해수열 이용 시스템 적용 매뉴얼을 개발함

○ 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼 개발

- 쾌적성과 부하에 영향을 미치는 개구부의 적정크기와 재료의 환경성능 검토를 바탕으로 개구부 설계 알고리즘을 도출함으로써 플로팅건축물의 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼을 개발함
- 플로팅건축물에 넓은 수면에 의해 반사되는 상향 일사와 반사광이 실내 냉방부하에 미치는 영향을 파악하고자 태양고도와 해수면 반사일사량의 관계를 실측을 통해 검토하고 시뮬레이션 분석을 통해 냉방 직전까지 입사한 해수면 반사일사량의 누적분이 냉방부하를 가중시키는 것을 확인할 수 있었고 이에 대한 제어기법을 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼에 반영하여 보완하고자 함

## 4. 플로팅 건축의 신재생에너지 적용기술

○ 건물일체형 풍력시스템의 설계 요소에 대하여 성능분석

- 양방향 윈드가이드의 전방각도가 클수록 풍속이 증가하였으며, 난류도 증가하였음
- 윈드세퍼레이터가 사각형일 때는 윈드세퍼레이터가 없는 것보다 풍속이 감속되는 것

으로 나타났으며, 윈드세퍼레이터가 타원형일 때는 풍속이 증가하는 것으로 나타났음

- 지붕을 경사지붕으로 함으로써 풍속을 약 30%까지 증속시킬 수 있으며 출력을 약 2.2배까지 증가시킬 수 있음
- 단순 경사 지붕보다 양방향 윈드가이드가 설치된 지붕에서, 풍속은 약 1.2까지 증속되며 풍력터빈의 출력은 약 1.74배까지 증가될 것으로 나타남
- 다방향(또는 전방향) 윈드가이드 단면적비를 크게 할수록 공기저항이 커지면서 오히려 풍속이 감소하는 것으로 나타남
- 단면적비의 증가가 풍속비 증가로 직접적으로 연결되지 않으므로 단면적비를 크게 할 필요가 없음

○ 건물일체형 풍력시스템 개발을 위하여 건물의 설계 변수에 대한 풍동 실험을 할 수 있도록 디지털 풍동을 설계하여 제작함

○ 윈드가이드에 대하여 풍동 실험과 실물 크기(Mockup) 실험을 수행하여 분석함

○ 건물일체형풍력 설계의 제한 요소를 주변 환경, 풍력 터빈, 건물로 구분하여 설계지침을 작성함

○ 향후 태양광-풍력 하이브리드 시스템 개발을 위하여 일영면적을 계산하는 프로그램을 개발함

## 5. 플로팅 건축을 통한 공간디자인마케팅

○ 프로그램, 형태, 건축규모, 층수, 위치, 접근방법, 이동성, 에너지공급에 따른 플로팅건축 유형 구분

○ 구조적 안정성 확보를 위한 2층이하, 수공간 체험과 조망을 극대화하는 데크(연면적의 34.5% 차지) 및 개구부 설치, 통합적 공간의 출현, 모듈화 및 유닛 개념의 반영 등이 플로팅건축물의 특징

→ 박성신(2011), “플로팅건축의 유형 및 디자인 특성에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제35권 5호, pp.407-414

○ 한국형 플로팅마리나클럽의 스페이스프로그램 개발

클럽 하우스의 연면적 Fc

Fc = [(배의 종류별 보관척수) × (피크일 집중률) + (방문객 배의 척수)] × 3 × (1인당 면적 2~3㎡/명)

1인당 면적은 보통 2~3㎡/명

건축면적 M

M = (총바닥 면적) ÷ (층수) ÷ (건폐율)

○ 최적지로 선정된 새만금에 해양레저 수요 및 일반 관광객의 접근을 고려한 플로팅마리나 클럽 설계안 제시

○ 생활공간으로서의 작업용데크, 휴식공간으로서의 레저용데크 및 해상재난 시 구조활동을 지원하는 안전공간으로서의 구조용데크 기능을 수행하는 다기능 플로팅데크 디자인 제시 및 디자인 특허 출원

○ 2015년 기준 플로팅건축물에 대한 공간수요 조사

## 6. 플로팅 건축 BIM 설계기술 : BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성

○ 플로팅 건축 BIM 설계를 위한 DB 구축

① TEST 결과 피드백 통한 함체 디자인 및 실시설계 작성

② 플로팅건축 BIM 설계를 위한 DB 수정 및 보완

○ BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성

① 공통 BIM데이터 작성 기준 작성

② 공간 BIM데이터 작성 기준 작성

③ 건물 BIM데이터 작성 기준

○ LCC측면 플로팅 건축 경제성 분석

- 플로팅건축물의 LCC 분석을 통한 경제성 검토를 위하여 LCC분석 세부 검토항목을 산정

## 7. 플로팅 건축공사 시공기술

○ 플로팅 건축에서는 건축적 특징인 반영된 정수역에서 활용 할 수 있는 함체 제작 안정성, 편이성, 이동성, 시공성이 가미된 정수역 플로팅 함체 진수공법을 개발

○ 플로팅 건축물의 시공 시 안전성을 확보하기 위해 표준안전작업절차서를 연구하며 플로

팅 공사 전체의 경제성 및 공사 전체의 경제성 및 공사기간 등을 좌우하는 함체 진수에 대한 공법을 개발

○ 플로팅 건축물 시공 시 위험요인 및 위험성 평가를 통하여 위험요인을 도출한 뒤 안전대책을 마련하여 시공 시 발생할 수 있는 안전사고를 방지하고자 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전 매뉴얼을 작성하였으며, 각 현장에 맞추어서 필요한 관련 표준 및 절차서에 대한 기준을 제공

### 8. 플로팅 건축물 설비 설계

○ 플로팅 건축 설비 설계도면, 계산서 작성

○ 국내외 플로팅 건축 설비 사례조사

- 국외 플로팅 건축 설비는 국내와 달리 환경지속성을 고려하여 신재생에너지 열원을 적용하여 친환경성 극대화

○ 해수온도차 열원 적용 가능성 검토

- 해수온도차 에너지 직접시스템을 적용할 시 취수온도가 7℃이하의 낮은 온도에서는 개방형 사이클로는 난방효율을 기대하기 어려워 지역적으로 평균해수 온도를 파악하여 적용

○ 열원설비 에너지사용량 분석

- 각 대안별 열원설비 에너지사용량은 분석한 결과 해수열 히트펌프의 총 생애주기비용이 가장 낮음
- 1차 에너지 소요량을 분석한 결과 에너지 효율화 측면에서 해수열 히트펌프보다 EHP를 적용 시 유리
- 에코델타시티 홍보관의 에너지효율등급은 206.6 Kwh/m2 yr으로 에너지효율등급 1등급을 예상

## Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 1세부과제

### 1. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

○ 플로팅 구조물의 함체 및 상부구조물의 설계 가이드라인으로 활용 가능

○ 전이보-기둥 시스템의 구조적인 근거로 초기 자료로 활용되며, 위 시스템을 실증실험을 수행하기 위한 설계 자료로도 활용이 가능함

○ 플로팅 상부구조물의 주각부에 대한 설계 · 시공의 구조설계지침서로 활용이 가능하며, 접합부 성능평가에 활용이 가능함

○ 확률론적 안전성평가 분석 및 설계 분야에 대한 자립기술을 확보

○ 수집된 자료는 해안 · 항만구조물 설계시 참고 및 기초자료로 활용가능

○ 프리캐스 콘크리트 모듈 연결기법을 향후의 테스트 베드 설계에 적용하고자 함

○ 프리캐스트 콘크리트 모듈 연결부의 형상 및 구속응력 조건에 따른 구조성능 실험결과는 플로팅 함체의 콘크리트 모듈 연결부의 설계자료로 활용 가능함

## 2. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ ICA기법을 이용한 플로팅 구조물의 동특성 추정 및 동요진동제어 기술(알고리듬) 개발에 활용이 가능함.

○ 제어목표율 30% 이상의 제진장치를 제작하며, 축소모형을 제작 및 수조실험을 통한 장치 성능을 평가하여 제진기법에 영향을 미치는 파라미터의 최적화를 찾아내는 일련의 프로세스 제공

○ 6방향으로 발생하는 동요에 대한 저감 설계기술 축적을 통하여 지상 건물의 안전성 제고 가능하며 이러한 동요 진동 저감 기술을 통하여 개발된 동요저감 재료 및 장치는 국내외 특허 등록 및 시장 개척에 기여할 것으로 사료 됨.

## 3. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 수리모형실험에서 구조체의 운동 분석, 실외 실물의 재난 관리 등에 활용가능

○ 본 연구 내용을 바탕으로 실측을 통한 실제 부유식 구조물의 유효 물성치 산정을 수행할 예정임

○ 구조재료로써 지오폴리머 콘크리트의 역학적, 내구적 요구성능 만족을 통한 안정성을 확보하여 합리적인 설계 등에 활용가능

○ 다양한 플로팅 구조물에 대해서 안정성과 내구성을 확보하여 건축 및 토목 구조물 전반에 걸쳐 친환경 재료 적용 가능

○ 플로팅 구조물의 내구성 향상을 위하여 재료선정 기법에 인공지능형 최적화 기법을 도입함과 동시에 FEM시뮬레이션 기법을 이용하여 수명을 산정함

○ 연구성과는 플로팅 구조물의 유지관리 지침안으로 작성함

○ 2세부과제

## 1. 상부시설 공간 계획 기술 : 부유식 건축물 상부시설 계획 지침

○ 국내외 플로팅 건축물 개발 사업에서 개발 사업의 기획 및 초기 검토, 플로팅 건축물 상부시설의 계획 및 설계, 플로팅 건축물 상부시설 거주 후 평가 및 설계 평가, 플로팅 건축물 관련 각종 법제도 정비 과정에서 활용할 수 있도록 함

## 2. 플로팅 건축물 법제도 개선

○ 플로팅 건축물 관련 법제도 개선안 및 새로운 법안의 제안은 연안 개발 및 플로팅 건축물 관련 법규 제정 및 제도 정비 시 근거 자료로 활용

## 3. 플로팅 건축의 쾌적환경 설계기술

○ 해수열교환기 CFD 해석 기술을 이용한 異形 해수열교환기 성능예측

○ 해수열교환 성능 데이터를 他 해수열교환기 설계 기초 자료로 활용

○ 이 과제에서 개발된 해수열 이용 시스템은 플로팅건축물에 특화된 기술로써, 플로팅건축 수요의 증가와 함께 연구성과의 활용성은 증가할 것으로 예상됨

○ 개구부를 구성하는 재료 자체의 단열성 강화 및 적절한 재료의 선택, 구성을 통해 냉·난방부하 저감이 가능하도록 이를 위한 기초 자료로 활용

○ 개발된 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼은 플로팅 건축물의 건축 계획적 단계에서 Passive 적 대안으로서 재실자에게 최상의 심리적 만족감을 주는 동시에 에너지 효율을 높일 수 있는 저탄소 개구부 설계 가이드라인으로 활용

## 4. 플로팅 건축의 신재생에너지 적용기술

○ 풍력터빈을 플로팅 건축에 적용할 수 있는 양방향/다방향 윈드가이드의 설계 자료로 활용

○ 일반 건축물의 지붕에도 적용할 수 있는 설계지침으로 활용

## 5. 플로팅 건축을 통한 공간디자인마케팅

○ 국내 마리나클럽 설계 시 필요한 스페이스프로그램 기준 제시

○ 마리나 개발에 필요한 건축 규모 산정 시 활용

## 6. 플로팅 건축 BIM 설계기술

○ BIM 데이터 활용 통한 플로팅 건축물의 전생애주기에 걸친 경제성 분석

○ BIM을 기반으로 한 설계 기술 개발을 통하여 플로팅 건축 설계의 표준화

○ BIM 데이터를 활용한 통합 플로팅 건축물 유지·관리 시스템 개발

## 7. 플로팅 건축공사 시공기술

○ 플로팅 건축의 실무에서 관리 감독자 및 작업자에게 안전관리 수단 제시

○ 플로팅 건축공사의 안전보건상 법적 요건의 주수를 위한 지침 제공

○ 대지에 대한 제한성이 줄어들기 때문에 중소규모 플로팅 건축물 시공 시 함체진수 시 새롭게 개발된 진수공법의 적용

○ 물이 흐르는 강의 상류부분 및 건축 기계가 접근하기 어려운 위치에 선박 진수 가능

## 8. 플로팅 건축물 설비 설계

○ 유사 플로팅 건축 설비 설계 시 기본적인 가이드라인으로 활용함으로써 설계 오류를 최소화 할 수 있음

# SUMMARY

## Ⅰ. Title

○ Development of Design Technology in Residential Floating Architecture for Aqua & Marine Culture Space

## (Part 1)

○ Floating Building Structural System Design Technology

## (Part 2)

○ Space Design Technique for Floating Architecture

## Ⅱ. Need and Objective of the Research and Development

### 1. The purpose of the research team

○ The goal of this research is the development of the core of technology in the marine-space which can provide some solutions to resolve the problems of global warming, sea level rise, increased carbon emissions and to provide the reasonable laws related with marine facilities, especially in Honam area.

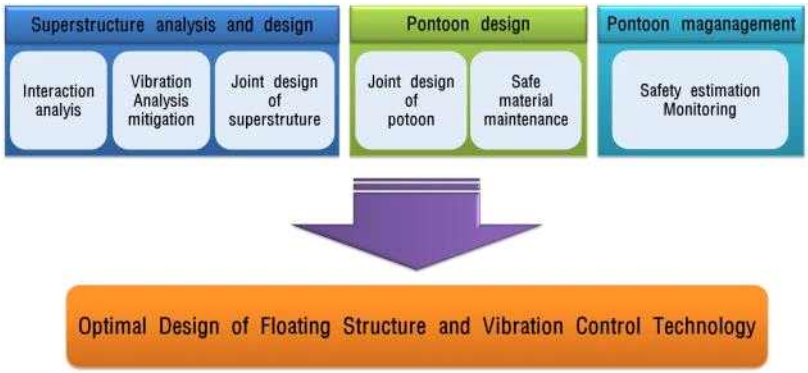
### 2. The purpose of the research of Part

## (Part 1)

○ To provide the stability against the vertical load and environmental load, the comfort for vibration and the enhanced maintenance technology of the building built on the pontoon.

○ The final goal is "Optimal Design of Floating Structures and Vibration Control Technology" with the following detailed researches; 1) Floating Structural System Analysis and Integrity Evaluation, 2) Vibration Evaluation and Decreasing Technology, 3) Prefabricated Modular Pontoon Technology, 4) Connection

Analysis and Design Techniques of Floating Superstructure, 5) Eco-Friendly Lightweight and Optimized Maintenance System for Floating Structure , 6) Determination of random variables and Image-based Monitoring




## (Part 2)

○ As industries, economy and standard of living are improving, demand for diverse developments is increasing as well. However, inland development is made difficult due to the land accommodation and environment issues. Likewise, interest in the coastal area development is increasing. Diverse marine development projects are planned or underway

○ However, most of the marine development projects that use coastal area are located at the inland or use the method of forming the necessary land through means such as reclamation. This type of development method is leading to problems in diverse areas such as societal and environmental issues

○ For these reasons, marine development that use floating architecture technology based on the use of floating object is gaining spotlight these days as a means of minimizing societal and environmental issues compared to the existing development method

○ In particular, the need to adopt environment-friendly development method such as floating architecture for the Honam bloc marine development projects including western and southern sea coast development project, Saemanguem development project, marine expo, international marine tourism site and others is increasing

○ However, there are many problems that result during the process of planning for and building floating architecture due to the lack and absence of the

understanding of the Floating Architecture, technology and systems, and these problems serve as an important element that obstructs the vitalization of floating architecture

○ Technology development and system revamping that can increase or secure understanding of the floating architecture, user safety, convenience, economic viability and others are urgently called for the Floating Architecture and vitalization of related industries

○ Accordingly, this research is conducting diverse studies for the elements that are essential for the development of floating architecture and vitalization of related industries and environment-friendly development as well as technology development and system revamping

○ The research objective is to develop techniques of interior and exterior space planning, legal systems and disaster prevention criteria, comfortable environmental design technology and energy-independent design technology for the user's safety, convenience, economical efficiency and low carbon emission on the upper life space installations except the lower part of the floating structure. For this objective, this research and development aims at 'developing a residential floating architecture space environment-friendly design technology and proposing legal system as its ultimate goal through detailed researches of 1) Space Planning for Floating Architecture 2) Legal System for Floating Architecture 3) Development of Environment-Friendly Energy System in Floating Architecture 4) Renewable Energy Technologies in Floating Architecture 5) Space Design Marketing for Floating Architecture 6) BIM Design Process for Floating Architecture.

○ This year, the research consist of 6 detail goals, 1) Guideline for Modular System Planning, 2) Improvement of Legal System for Floating Architecture, 3) Development of Ocean Thermal System for Floating Architecture, 4) Development of Building-Integrated Wind System, 5) Space Program for Floating Marina Club, 6) Construct Technical information data-base in Floating Architecture.

## 3. Necessity of the Project

## (Part 1)

(1) Analysis and design of pontoon and superstructure

○ Hydro elastic analysis of pontoon

○ Investigation and analysis of environment load

○ Design of concrete pontoon and mooring system of floating example structure

○ Analysis of load transfer on the superstructure between the floating structure

○ Development of transfer beam-column system on the steel column base of superstructure

○ Finite element analysis of transfer beam-column using ABAQUS

○ Investigation and analysis of design and environmental characteristics of a floating structure and selection of major random variables in the problem

○ Collecting ocean environmental data for the southwest coast area of Korea for determination of statistical characteristics

○ Establishing a statistical characteristics estimation method of random variables

○ Determination of statistical properties for the collected data

○ Development of a statistical property determination program based on the selected algorithm

○ Finalizing the statistical properties of ocean environmental parameters with help of comparison and analysis of previous study results

○ Development of connection method in concrete pontoon joints

○ Shape study of concrete pontoon joints

○ Structural capacity test of concrete module joints

(2) Mitigation techniques development of vibration and model test

○ Behavior of a floating body structure, independent component analysis (ICA)

technique using the mode shapes and dynamic characteristics estimation.

○ Development of Analysis Model jejinjangchi floating structures, vibration control system using vibration control device associated control algorithm development.

○ Housing production of prototype or a module type, which is assumed to be rigid enclosure behavior by performing experiments on the measurement in each direction(heave, rolling, pitch) by estimating the dynamic characteristics.

(3) Maintenance technology of floating structure

○ Design and production of miniature floating structure

○ Acceleration response measurement of miniature structure and dynamic characteristics analysis

○ Estimation of damage location and effective properties in Damaged structure

○ Determination of main parameters related to a dynamics of structure movements

○ Research of image-based displacement measurement system

○ Support a hydraulic experiment

○ Evaluation of physical performance in order to develop eco-friendly concrete through fluidity and strength test

○ Analysis of strength properties on concrete with variables based on concrete test database

○ Durability assessment of geo-polymer concrete

○ Evaluation of the changes in physical properties according to mixing variables on structural materials combination (Water-Binder Ratio, Unit Binder Content, Aggregate Ratio, Curing Condition, etc.)

○ Physical DB construction on resistance against various external environmental factors of floating structures combination material

○ Impact assessment on floating structure material of external deteriorating factors.

## (Part 2)

### (1) Guideline for Modular System Planning in Floating Architecture

○ Preliminary planning for reducing the portion of on-site construction is very important issues in the process of constructing floating architecture.

○ The Planning have to include industrialization, prefabrication and light weighting of building components, and increasing mobility, time saving and enhancing accuracy in construction process.

○ So, it should be examined to apply the space modular system to the superstructure of floating architecture, including various industrialized building systems.

○ This research proposed 'Guideline for Modular System Planning in Floating Architecture(Draft)'.

### (2) Improvement of Legal System for Floating Architecture

○ Han River has diverse facilities floating on the water such as floating ferry dock, floating stage, recently constructed Saebitdungdung Island (Floating Island), Seoul Marina Center and others.

○ However, management is not carried out effectively due to the lack of the legal system related to the Floating Architecture. In particular, numerous problems result on the economic and legal aspects since this floating building is not recognized legally as a building.

○ In case of the Saebitdungdung Island that was built on the Han River recently, it is not classified as a building according to the 「Building Act」. Thus, the situation is such that the floating building was designed and constructed in accordance to the regulation of the Korean Register of Shipping that covers vessels. Because of this, the design cost, construction cost, and management cost of the building increased. Moreover, this will cause management and property right issues going forth.

○ However, in case of the Seoul Marina Center which was built around the same time in the vicinity of the Saebitdungdung Island, it was subjected to the same law as that which applies to regular building despite the fact that it is also a floating building. Thus, it's facility was built easier than the Saebitdungdung Island.

○ Likewise, even when the Floating island and Seoul Marina Center were built on Han River around the same time, and even when they are both floating buildings, they were subjected to different laws in accordance to the legal interpretation, which leads to the non-consistent administrative procedure that goes against the principle of fairness.

○ Besides the Han River, diverse marine development plans that seek to leverage the ocean are considering the adoption of Floating Architecture such as marine hotel, marine bungalow and others. However, there are many difficulties when it comes to the planning and construction of the Floating Architecture due to legal status, property right, on-the-water building site and safety issue.

○ These problems result since the most basic legal problems are not resolved when building Floating Architecture. This is the most basic element that obstructs Floating Architecture vitalization and advancement of related industries, and it is essential to resolve the problems by revision of the existing laws and development of new laws concerning Floating Architecture.

○ Accordingly, the purpose of this research for this year is to suggest measures to improve the existing laws and to enact new laws related to Floating Architecture based on the studies conducted on the current status, both in Korea and elsewhere, analysis of current problems and so forth in order to repair the related laws which is required for the vitalization of the Floating Architecture in Korea.

(3) Development of Ocean Thermal System for Floating Architecture

○ Because ocean thermal energy is estimated as a unlimited potential energy, a system using ocean thermal energy can save the heating and cooling loads of the floating architectures.

○ The object of this study is to develop a new type of ocean thermal exchanger, because the conventional ocean thermal energy system has a ground-insert type heat exchanger under the ocean and the floating architecture is always floating and can be moving.

○ A performance data will be served for ocean thermal exchanger design after building up database of performance experiments of ocean thermal exchange hour by hour, season by season.

(4) Development of Building-Integrated Wind System

○ According to wind resource maps of Korea, the average annual wind speed of onshore is known to be higher than that of lands. Although wind speed of highlands is high, the region of the highlands is limited.

○ As wind approached the lands, wind speed decreases and owing to topography of lands and obstacles like buildings turbulent waves tend to occur. Turbulent waves make the power of wind system go down.

○ Research of design technology for building-integrated wind system is lack

○ The objective is to develop design technology for building-integrated wind system by modeling the building-integrated wind system and analyzing the performance of wind system according to its design parameters.

5) Space Design Marketing for Floating Architecture

○ First, we need to understand how floating architecture has emerged. floating architecture is the most effective way to accommodate itself to sea-level rise due to climate change. At the same time floating architecture is the best model to offer the new spatial experience through water-friendly environment. Domestic floating architecture is still on the early stage compared to Europe which has several companies specialized in designing and building floating architecture.

○ Marina and marina clubs are the essential structures to meet increasing marin tourism and marin leisure sports demand. To develop a marina club design appropriate for domestic conditions, this research establishes space program standards for designing Korean marinas based on a case analysis of existing marina clubs and a survey of floating marina clubs.

○ Currently, image of floating architecture has been positively improved based on the normalization of a domestic representative floating building ‘Some Sevit.

(6) Construct Technical information data-base in Floating Architecture

○ Floating Architecture requires combining with BIM course by need for collaboration and integration process in modern construction projects ; complex and lager.

○ By construct DB base on BIM in floating architecture integrate management becoming information during the building's life-cycle and ensure affordability through the recycling of information

○ Research of design process in floating architecture ensure clarity of collaboration between the subject, rapidity and efficiency.

# Ⅲ. Content and Scope of the Research and Development

## (Part 1)

(1) Analysis and design of pontoon and superstructure

○ Hydro elastic analysis of pontoon

○ Investigation and analysis of environment load

○ Design of concrete pontoon and mooring system of floating example structure

○ Analysis of load transfer on the superstructure between the floating structure

○ Development of transfer beam-column system on the steel column base of superstructure

○ Finite element analysis of transfer beam-column using ABAQUS

○ Investigation and analysis of design and environmental characteristics of a floating structure and selection of major random variables in the problem

○ Collecting ocean environmental data for the southwest coast area of Korea for determination of statistical characteristics

○ Establishing a statistical characteristics estimation method of random variables

○ Determination of statistical properties for the collected data

○ Development of a statistical property determination program based on the selected algorithm

○ Finalizing the statistical properties of ocean environmental parameters with help of comparison and analysis of previous study results

○ Development of connection method in concrete pontoon joints

○ Shape study of concrete pontoon joints

○ Structural capacity test of concrete module joints

(2) Mitigation techniques development of vibration and model test

○ Behavior of a floating body structure, independent component analysis (ICA) technique using the mode shapes and dynamic characteristics estimation.

○ Development of Analysis Model jejinjangchi floating structures, vibration control system using vibration control device associated control algorithm development.

○ Housing production of prototype or a module type, which is assumed to be rigid enclosure behavior by performing experiments on the measurement in each direction(heave, rolling, pitch) by estimating the dynamic characteristics.

(3) Maintenance technology of floating structure

○ Design and production of miniature floating structure

○ Acceleration response measurement of miniature structure and dynamic characteristics analysis

○ Estimation of damage location and effective properties in Damaged structure

○ Determination of main parameters related to a dynamics of structure movements

○ Research of image-based displacement measurement system

○ Support a hydraulic experiment

○ Evaluation of physical performance in order to develop eco-friendly concrete through fluidity and strength test

○ Analysis of strength properties on concrete with variables based on concrete test database

○ Durability assessment of geo-polymer concrete

○ Evaluation of the changes in physical properties according to mixing variables on structural materials combination (Water-Binder Ratio, Unit

Binder Content, Aggregate Ratio, Curing Condition, etc.)

○ Physical DB construction on resistance against various external environmental factors of floating structures combination material

○ Impact assessment on floating structure material of external deteriorating factors

## (Part 2)

(1) Guideline for Modular System Planning in Floating Architecture

○ Survey and research of existing modular building technologies.

○ Case analysis of modular systems in floating architecture.

○ Research of existing guidelines and studies about modular system in architecture

○ Making Draft Guideline for Modular System Planning in Floating Architecture and Design Model

(2) Improvement of Legal System for Floating Architecture

○ Case studies of the Floating Architecture related laws, both in and out of Korea

○ Analysis of the current status of the legal system for the Floating Architecture and analysis of problems

○ Proposal of the improvement schemes of current legal system for the Floating Architecture

○ Proposal of a new legal system for the Floating Architecture

(3) Development of Ocean Thermal System for Floating Architecture

○ A proposal of ocean thermal system

○ Evaluation of ocean thermal energy based on depth

○ Making experimental model of ocean thermal system

○ Performance test of ocean thermal system through spring

(4) Development of Building-Integrated Wind System

○ To analyze the wind speed-up and power enhancement of building-integrated wind system according to wind guide, wind separator and roof as design components

○ To propose the design guidelines for building-integrated wind system by checking the design components and constraints.

(5) Space Design Marketing for Floating Architecture

○ Survey about general understanding of floating buildings and marina club

○ Setting up the criteria of space program for the Korean floating marina club and Developing its space program

○ Designing a floating marina club and multi-floating deck

○ Deducing the spatial demands of floating buildings and Forecasting its future market

(6) Construct Technical information data-base in Floating Architecture

○ Produce BIM based template including DB and design profile by Revit 2012 ®;Autodesk cooperation

○ Making the visualization model using the information exchange system on floating architecture's design process by IDEF modeling method

# Ⅳ. Research and Development Result

## (Part 1)

(1) Analysis and design of pontoon and superstructure

○ Investigation of environment load and proposal of load of wave and current in expected TB location

○ Design guideline of concrete pontoon was drafted and concrete pontoon was designed and estimated

○ Design method of mooring system was established

○ Data collection for height, period and direction of wave, and wind velocity in Yeosu, Bolyung and Mokpo

○ Determination of statistical properties of the collected ocean environmental data

○ Development and registration of a computer program (HDIST) to automatically determine mean, standard deviation and type of probability distribution for a group of data collected

○ Development of transfer beam-column system for smooth load transfer on floating superstructure

○ For inspection about structural evidence, Perform detailed analysis using the abaqus

○ Validate the performance of connection by drawing curve M-$\Theta$

○ Connection method of joints in modular concrete pontoons includes shear keys and prestressing techniques. To reduce deterioration of concrete under coastal environmental condition, tendon anchorage of prestressing tendon is located over sea level and midpoint of tendon profile is located under sea level

○ Structural performance test of precast concrete module containing shear-keys was carried out. The test were performed for various shear-key shape and confining stresses. The structural behavior of shear key were investigated in detail. Test results represented that increase of confining stresses increased ultimate strength of joints

(2) Mitigation techniques development of vibration and model test

○ A study on the estimation of modal parameters using independent component analysis(ICA) method, structural analysis mode shapes compared with the error occurs in the third mode, spectral methods have similar values than by the mode shape, ICA technique using the mode shapes of the structure were to be available to hunt for a reliable guarantees.

○ Fluctuations in the behavior of rigid bodies floating structure reduction device when applied to establish the exact analytical model for the various mathematical techniques to find optimal parameters for modeling analysis model,

○ After Analytical model used in the passive model with added mass and the

actual measurements were understood through the behavior of housing, housing reducing fluctuations in real time based on the behavior of the device to maximize the performance of the analytical model for modeling the active type. verify control effectiveness through numerical control simulation.

○ Measuring response of specimens to wave loads and response analysis of floating structure by wave loads modeling in comparison with the model response goodness of fit for the mathmatical modeling, analysis procedures to wave loads for verification of the reliability.

○ Analysis procedures based on the reliability of structures associated with rigid bodies floating vibration control system, mathematical modeling techniques and experimental verification it has developed a series of processes, a better future through this process with the goal vibration control device design plan to conduct research

(3) Maintenance technology of floating structure

○ Performing a image-based displacement measurement of a floating structure and from model experiment of floating structure in the experiment center for ocean environment simulation, and extracting the main parameters of dynamic movement

○ The test of miniature structure made damage was correctly detected, effective properties could be estimated and an applicative structural health monitoring about floating structure was demonstrated.

○ Assessment of durability and chemical resistance for geo-polymer concrete which can be applied to floating structures, chemical resistance of geo-polymer concrete is superior to opc concrete

○ Adjusted the basicity through the mechano-chemical methods, cause analysis of carbonation and improvement proposal

○ By using an artificial incoming-salt generator, incoming-salt is collected through indoor experiment on various variable conditions.

○ For physical DB construction on resistance against various external environmental factors of floating structure combination material, a flowmeter to measure electric potential difference is used to measure the quantity of incoming-salt.

## (Part 2)

(1) Guideline for Modular System Planning in Floating Architecture

○ Draft Guideline for Modular System Planning in Floating Architecture.

○ This Guideline contains various considerations for applying the space modular system to the superstructure of floating architecture, including various industrialized building systems.

○ Composition of the Guideline is as follows

1. Backgrounds
2. Contents and References
3. Module Coordination Design
4. Industrialized Building Systems
5. Conditions and Scopes of Applying Modular System
6. Design and Structural Method of Space Modular
7. Relationship of Pontoon and Superstructure
8. Skin and Facade
9. Etc

(2) Improvement of Legal System for Floating Architecture

○ Current status concerning the Legal System For the Floating Architecture

① Possible to recognize as 'a building' according to the 「Building Act」 or 'a vessel' due to the revision of 「Ship Act」 made on December 2009

② Still the legal status is unclear. Thus, interpretation of the legal status as vessel or building in accordance to the legal interpretation made by the authority granting the permit

③ When classified as a vessel in accordance to the 「Ship Act」, due to the application of both of the 「Building Act」 and 「Ship Act」 it could lead to complicated administrative procedure, increased design and management cost, and could lead to the problem concerning the exercising of the property right for the super structures going forth

④ Building of Floating Architecture on the waters is enabled in accordance to

the 「Coast Management Act」, 「Act on Public Waters Management and Reclamation 」, 「Harbor Act」, 「Fishing Village and Fishery Harbors Act」, 「Act on Construction and Management of the Marina Harbor」, 「Fisheries Act」 and 「River Act」, but the right for using the water surface is rather limited. However, facilities that are constructed in accordance to the 「Harbor Act」, 「Fishing Village and Fishery Harbors Act」 and 「Act on Construction and Management of the Marina Harbor」 become part of the national properties after their construction. Likewise, it is difficult to secure the business stability of the development project and it is difficult for the private businesses to participate in this type of project

○ Problems concerning the Legal System for Floating Architecture

① Uncertain legal status

② Disharmony with basic principle of the existing laws

③ Unclear standard for design, construction, safety and permit

④ Difficulty in the exercising of the property right when classified as a vessel

⑤ Time permitted for the occupation or use is limited, and property right for the water surface is not recognized

○ Directions for the Improvement of Legal System for Floating Architecture

① Definition of the legal status following the type of Floating Architecture and it's characteristics

② Development of the unified system for the application of related laws

③ Designation of the site(waters) for the construction of Floating Architecture

④ Recognition of the property right for the building site on the waters

○ Improvement Schemes of Legal System for Floating Architecture

① Floating Architecture should be classified into Fixated type, Convertive type and Mobile type, and grant applicable legal status accordingly

② Fixed type should be recognized legally as a building in accordance to the 「Building Act」

③ Revision and addition of contents such as definition of the Floating Architecture , on-the-water building site, design blueprint drafting, technology standard and so forth in the existing 「Building Act」

④ Revamping of the permit procedure and registration ways

⑤ Designation of the building site on the waters for the construction of Floating Architecture through special area designation

⑥ Special area should be managed within the urban area planning system

○ New law for Floating Architecture

① Floating Architecture’s legal status should be that of the Building

② Enactment of new ordinance by the local government (example, 「Ordinance on the Floating Architecture」) based on 「Building Act」

③ The local government should be able to designate the Special Area that can be used for Floating Architecture

④ Delegate the local government with the authority to permit Floating Architecture through ordinance

⑤ Review of the floating structure through the Technical subcommittee and participation of the vessel related experts in the Building Committee, including the Floating Architecture as the target of architecture review

⑥ Management through the enactment of the 「Technological Standard for Floating Architecture」

(3) Development of Ocean Thermal System for Floating Architecture

○ After some geothermal systems which have very similar methodology of heat exchange and ocean thermal systems installed around the world being reviewed, a ocean thermal system of working-fluid type is proposed considering on the characteristics of floating and moving of floating architecture

○ Operation mode for spring and autumn is simply running working fluid for saving heating and cooling loads, and the ocean thermal energy will be used as heat source or sink of heat pump for summer and winter

○ After the performance evaluation of ocean thermal exchange by CFD analysis, a experimental model is design and made

○ Because the output temperature is 18~19℃ against 50~35℃ input temperature and output temperature is very close to ocean temperature, the performance of ocean thermal exchanger is evaluated as good

○ And because the result of CFD analysis with input variables from experimental data is very similar, it is considered that the ability of CFD

analysis methodology is obtained

(4) Development of Building-Integrated Wind System

○ Design parameters for building-integrated wind system are analyzed

① As the front angle of the wind guide gets greater, wind speed increases and turbulence tends to be higher

② Wind speed by rectangular wind separator is lower than that without wind separator. Wind speed by oval separator is higher.

③ Sloped roofs can make wind speed increase 30% and turbine power 220%

④ Wind speed of roofs with wind guide can be increased 120% and the power 174% compared with roofs without wind guide.

○ Digital tunnel has been designed and installed to test the building-integrated wind system models according to design parameters.

○ Wind tunnel tests for wind guide have been performed and analyzed.

○ Analysis for the boundary conditions like built environment, wind turbine and building is performed

① The aerodynamic noise emission of a lift-driven HAWT is approximately proprotional to the fifth power of the tip speed. A good guideline is found by limiting the design to tip speed ratio 2~4.

② The diameter of the rotor is to be 1/6 of the average building height.

③ Compared to high Re numbers, a low Re number causes the drag of blades to increase and the lift to decrease. This combination causes a large decrease in power output.

(5) Space Design Marketing for Floating Architecture

○ Floating architecture is divided into 8 types according to its criteria such as program, form, scale, level, location, access, mobility and energy. The following are design characteristics of floating architecture : ① composed of 2 stories, ② having large deck, ③ designing rectangular plan and balanced mass, ④ maximizing view, ⑤ having water-friendly space, ⑥ multi-using space and minimizing surface, ⑦ planning section to control light reflecting from the water, ⑧ modular and unit system.

○ According to the domestic situation, marina and marina clubs are divided into 6 types such as small sports type, small complex type, midium sports type, midium complex type, large sports type, large complex type. As a result of analysis of domestic three marina clubs, averagely marina facilities take 21% and commercial facilities take 79% of total space. In the short term, marina club should be designed focusing on complex program. Marina club will be for long-term transformed into marin leisure sports program.

○ To develop a marina club design appropriate for domestic conditions, this study establishes space program standards for designing Korean marinas based on a case analysis of existing marina clubs and a survey of floating marina clubs. It is possible for a current composite-type Korean marina club to have a spatial composition of 16~18% for marina-exclusive facility (mFA), 47~49% for commercial facility (cFA), 27~30% for public space (pFA) and 5~8% for management space (emFA). With this composition as a basis, space program estimation of a Korean marina club can be done through the process of estimating in order the marina-exclusive facility area, the floor area by each space and the total floor area, the first floor area, the deck area and the pontoon area.

○ Features of the floating architecture are as follows: special experience (29.9%)> landmark (27.6%)> enjoyment of marine culture (21.5%)> center for tourism and regional development (16.0%)> eco-friendly space solving global warming (4.8%).

○ Floating building has a distinctive image and at the same time offers a unique spatial experience to the public. Space design marketing of floating building is a communication process to exchange its spatial identity and image between the local government and the public, the corporation and customers. It is essential for the effective space design marketing that the spatial demands should be reflected into its program such as commercial, cultural and marina facilities.

(6) Construct Technical information data-base in Floating Architecture

○ Produce the template based on BIM and Classify as follows

① Graphic Standard

② BIM Contents

③ Materials and Color Setting

○ In upper follows, 'BIM contents' making the upper and under construct DB

① upper construct DB – 13 kinds 20 material

② under construct DB – 7 kinds 31 items

○ Making the visualization model on floating architecture's design process by IDEF modeling method

# Ⅴ. Utilization Plan of the Research and Development Result

## (Part 1)

(1) Analysis and design of pontoon and superstructure

○ Design guideline of floating pontoon and superstructure can be utilized

○ Utilize of initial data of transfer beam-column system and Design data for perform verification experiments

○ Utilize of structural design guide about floating superstructure of column bases, assessment of connection performance

○ Establishment of the independent technique security for the probabilistic safety assessment analysis and design field

○ Possibility of utilization of the collected data as fundamental research data for design of the coastal and harbor structures

○ The test results of precast concrete module connections for floating concrete pontoons at various shear-key shape and confining stresses can be applied to the design of real floating concrete structures in test-bed in future.

(2) Mitigation techniques development of vibration and model test

○ ICA method using the fluctuation of floating structures vibration control technology (algorithms) can be utilized in development

○ Dampers control the production of more than 30% targeting and scale model making and the tank via a series of experiments to evaluate the device

performance optimization of parameters that affect vibration control device

○ 6 for fluctuations that occur in the direction of reducing the accumulation of design techniques can enhance the safety of the building through the ground, and these fluctuations developed Shake Reduction Vibration Reduction technology, materials and devices through the domestic and international patent registration, and will contribute to market development as a feed becomes

(3) Maintenance technology of floating structure

○ Movement analysis of floating structure in a hydraulic experiment and disaster management of a floating architecture in outdoor environments

○ Estimating effective properties of actual floating structure via measurement based on this study will be performed

○ As a structural materials, utilization as the design of floating structure through ensure the durability and mechanical properties

○ Eco-friendly materials which can be applied for building and civil structures through ensure the stability, serviceability of concrete

○ For improved durability of floating structure, an artificial intelligence-type optimization technique for selecting materials should be introduced and service life should be evaluated by using the FEM simulation technique at the same time.

○ The research achievement should be prepared as a maintenance guideline of floating structure.

## (Part 2)

(1) Guideline for Modular System Planning in Floating Architecture

○ Result of this research could be used as a guideline for the planning of Floating Architecture in Korea

(2) Improvement of Legal System for Floating Architecture

○ A Proposal of an improvement scheme of legal system and new law for

Floating Architecture could be used as an evidentiary material when to modify the related laws and legislate a new law for the development of coastal area or Floating Architecture

○ Results of this research could be used for modifying or enacting the Floating Architecture related ordinance for planning, construction and permit of the test-bed

(3) Development of Ocean Thermal System for Floating Architecture

○ Performance prediction of ocean thermal exchanger of different types based on obtained CFD analysis methodology

○ Feasibility study of other ocean thermal exchangers using performance database obtained from this study

(4) Development of Building-integrated Wind System

○ Design guideline is applicable for floating architecture with wind turbine

○ Design guideline also is applicable for the roof of common buildings with wind turbine

(5) Space Design Marketing for Floating Buildings

○ Offering space program to design floating marina club

○ Available to be used as development of marina project

○ Designing the floating marina club and multi-floating deck

(6) Construct Technical information data-base in Floating Architecture

○ Utilize BIM template and DB using in working on floating architectural design

○ Utilize analysis collaboration and subject on each steps in floating architectural design

# CONTENTS

Chapter 1 Introduction ·····1

Section 1 Purpose and necessity of research development ·····1

Section 2 Scope of the core techniques ·····21

Section 3 Research development status of domestic and foreign ·····43

Chapter 2 Contents and results of performing of research ·····84

Chapter 3 Research achievement and application performance ·····874

Section 1 Final achievement and application performance ·····874

Section 2 Main achievement ·····916

Section 3 Engineering Test Bed ·····938

Section 4 Mock up Test ·····944

Section 5 Criteria Proposal ·····953

Section 6 Business prospect for domestic and foreign ·····954

Chapter 4 Achievement and effect of research goal ·····960

Section 1 Achievement average of research goal ·····960

Section 2 Effect of research achievement ·····983

Chapter 5 Utilization of research achievement and necessity of additional research ·····988

Section 1 Utilization plan of research achievement ·····988

Section 2 Necessity of additional research ·····996

References ·····997

# 목 차

제1장 연구개발과제 개요 ·····1

제1절 연구개발 목적 및 필요성 ·····1

제2절 연구개발 내용 및 범위 ·····21

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ·····43

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ·····84

제3장 연구성과 및 적용 실적 ·····874

제1절 최종연구성과 및 적용 실적 ·····874

제2절 핵심성과 ·····916

제3절 Engineering Test Bed ·····938

제4절 Mock up Test ·····944

제5절 지침제안 ·····953

제6절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ·····954

제4장 연구목표 달성 및 효과 ·····960

제1절 연구개발 목표의 달성도 ·····960

제2절 연구개발 성과의 효과 ·····983

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ·····988

제1절 연구성과의 활용방안 ·····988

제2절 추가연구의 필요성 ·····996

참고문헌 ·····997

# 제1장 연구개발과제 개요

## 제1절 연구개발 목적 및 필요성

### 1. 연구개발 목적

본 연구과제의 최종목표는

- 지구 온난화, 해수면 상승, 탄소배출량 저감 기술 개발 등 환경문제
- 점증하는 해양레저·스포츠 관련시설 및 관련 법규 기반 정비의 필요성
- 호남권에서의 수상 공간에 대한 친환경적 개발 요구에 대응할 수 있는 플로팅 건축의 정주성과 내구성 향상을 위한,
- 동요제어 및 설계 기술 확보
- 플로팅 건축물 상부시설 안전성, 편리성, 경제성, 친환경성 확보
- 플로팅 건축의 재난 관리를 위한 위험도 평가 및 방재 모니터링 기술 개발에 있음. 이를 위하여 국내외 플로팅 건축물 관련 현황 및 기술 조사, 정책 현황 및 산업인프라 등의 분석을 바탕으로,
  1) 플로팅 구조물의 최적설계 및 동요제어기술,
  2) 플로팅 건축의 제도제안 및 친환경 공간설계기술,
  3) 신뢰성 평가를 이용한 플로팅 건축물의 방재 관리 기술을 개발하고 이를 바탕으로 테스트베드 수행, 각종 설계지침 작성 및 사업화 전략을 통하여 개발된 기술을 실용화함.




[그림 1.1.1] 연구개발 최종목표

○ 본 연구단에서는 최종목표를 달성하기 위하여 ‘플로팅 건축’, ‘동요제어’, ‘함체 접합부 설계’, ‘친환경 건축 공간 설계’, ‘확률론적 안정성 및 영상 기반 모니터링’ 등의 연구 핵심어를 설정하고 세부과제의 연구목표를 설정하였음.

○ 각 세부과제 구성은 1) 플로팅 건축 구조시스템 설계 기술 개발, 2) 플로팅 건축 공간 설계 기술 개발 등으로 구성되며 각 세부과제별 연구목표 및 주요 연구성과물은 다음과 같음.

[표 1.1.1] 최종목표 및 연구성과물

| | 최종목표 | 연구성과물 | 범위 및 기술심화 수준 |
|---|---|---|---|
| 총괄과제:<br>플로팅 건축<br>연구 총괄 | 플로팅건축 연구의<br>성공적 운영 | ▪ 연구단 전체의 연구방향 설정 및 유지<br>▪ 세부 과제의 연구성과 극대화<br>▪ 연구의 실용화<br>▪ 산학협력 | ▪ 연구단 운영을 위한 행정 지원<br>▪ 세부과제별, 기관별 연구결과의 종합<br>▪ 연구의 실용화를 위한 계획 수립과 추진 |
| 1세부과제:<br>플로팅 건축<br>구조시스템<br>설계 기술 | 플로팅 구조물의 최적<br>설계 및 동요제어 기술 | ▪ 플로팅 구조물의 최적화 설계기법<br>▪ 콘크리트 함체 구조물의 구조설계기준 제안 | ▪ 플로팅 구조물의 유탄성 해석<br>▪ 환경하중에 대한 하중산정<br>▪ 플로팅 구조물의 설계기법 개발 |
| | | ▪ 테스트베드 계류시스템 시안 제시 | ▪ 계류시스템의 대안 설계<br>▪ 대안 계류시스템의 경제성 비교 분석 |
| | | ▪ 플로팅 건축 구조설계 및 지침 개발 | ▪ 플로팅 건축(상부골조)의 구조계획 및 설계에 관한 지침개발<br>▪ 플로팅 건축(상부골조)의 설계를 위한 특허 출원 및 이를 이용한 재설계 |
| | | ▪ 플로팅구조물의 확률론적 안전성 평가 기술 | ▪ 플로팅구조물에 대한 확률론적 신뢰성분석 기법과 수치해석 도구 개발 |
| | | ▪ 플로팅 함체 설계 계산서<br>▪ 플로팅 함체 구조 도면 | ▪ 플로팅 함체의 2가지 이상 대안 설계/분석 |
| | | ▪ 동요진동 설계/평가지침안<br>▪ 동요진동제어시스템 기술 | ▪ 기존구조물의 평가, 신규 구조물의 동요설계에 적용 가능한 지침안<br>▪ 동요진동 설계/평가지침안에 기준한 용도별 진동저감성능 구현<br>▪ 동요진동 제진시스템 현장 적용 수준 |
| | | ▪ 함체의 강체규모 산정식(그래프) | ▪ 강체 구조물의 유한요소 동해석<br>▪ 강체/연성체의 한계 기준 설정<br>▪ 테스트베드의 동요성능 평가와 성능향상 대안 |
| | | ▪ 실측을 통한 건전도 평가 기술 | ▪ 실제 구조물의 모드형상 및 고유진동수 추출<br>▪ 실제 구조물의 유효 물성치 추정 |
| | | ▪ 플로팅 건축 방재를 위한 거동 관측 기술 | ▪ 영상기반 모니터링 기술 개발 및 점기반 위치 측정 방안 구축 |
| | | • 접합부 설계기술 및 시제품 | • 플로팅 상하부 접합부 상세해석 기술<br>• 접합부 해석과 비교분석 및 성능평가<br>• 테스트 베드 실험을 통한 상부구조응답 분석 및 접합부 내력분석 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1세부과제:<br>플로팅 건축<br>구조시스템<br>설계 기술 | 플로팅 구조물의 최적<br>설계 및 동요제어 기술 | ▪ 콘크리트 함체 구조시스템 해석 기술<br>▪ 콘크리트 함체 구조시스템 설계지침 제시 | ▪ 콘크리트 함체 모듈러 연결 방안 개발<br>▪ 콘크리트 함체 부재 모듈러 연결부 해석 및 설계기법 개발<br>▪ 콘크리트 프리패브 모듈러 함체의 성능평가<br>▪ 콘크리트 모듈러 함체 설계지침 제시 |
| | | ▪ 함체용 지오폴리머 콘크리트 재료 시방 및 설계 지침안 | ▪ 플로팅 구조물의 함체에 적용가능한 지오폴리머 콘크리트 배합설계 기술<br>▪ 변수에 따른 플로팅 함체의 역학적, 내구적 성능 확보방안 |
| | | ▪ 플로팅구조물의 최적 유지관리 시스템의 개발 | ▪ 플로팅구조물의 외부 환경인자에 대한 내구성능 확보방안<br>▪ 플로팅구조물의 최적 보수보강 기술의 개발 |
| 2세부과제:<br>플로팅 건축<br>공간 설계<br>기술 | 플로팅 건축의 제도<br>제안 및 친환경<br>공간설계기술 | ▪ 상부시설 공간계획 기술 | ▪ 일반 건축물에 플로팅 건축 상부시설 공간계획 지침 및 프로토타입 설계안 |
| | | ▪ 플로팅 건축물 법제도 제안 | ▪ 기존 법제도 개선안 및 플로팅 건축법(안), 상부시설 방재 및 피난 기준 |
| | | ▪ 플로팅 건축 공간의 쾌적환경 설계 기술 | ▪ 플로팅 건축 공간 부하계산 기법 및 해수열 패시브 이용 방안 |
| | | ▪ 건물일체형 하이브리드 에너지 시스템 | ▪ 에너지 소비를 종합적으로 고려한 적정 설계 기법<br>▪ 건물일체형 풍력 및 태양광 하이브리드 시스템 제어 및 최적화된 설비 모듈 프로토타입 |
| | | ▪ 플로팅 건축 공간 디자인 마케팅 | ▪ 마리나클럽 중심의 프로그램 분석 및 사례조사 |
| | | ▪ 플로팅 건축의 BIM 기반 설계 프로세스 구축 | ▪ BIM 기반 플로팅 건축 설계프로세스 개발 |
| | | ▪ 정수역 표준안전 작업절차서 개발<br>▪ 정수역 플로팅 함체진수공법 | ▪ 플로팅 건축공사 주요공정 표준안전작업절차서 개발<br>▪ 제약이 있는 작업장에 적용가능한 진수공법 개발 |
| | | ▪ 기계 및 전기 설비 설계도서 | ▪ 플로팅 건축공사 기계 ·전기설비 설계안 작성 및 향후 플로팅 건축 프로젝트의 레퍼런스 모델 제시 |

[표 1.1.2] 세세부별 연구성과물

| 세세부 | 최종목표 | 연구성과물 |
|---|---|---|
| 총괄과제:<br>플로팅 건축 연구 총괄 | ▪ 플로팅건축 연구의 성공적 운영 | ▪ 연구단 전체의 연구방향 설정 및 유지<br>▪ 세부 과제의 연구성과 극대화<br>▪ 연구의 실용화<br>▪ 산학협력 |
| [1-1-1]<br>플로팅 구조물 상호작용해석 | ▪ 플로팅 구조물의 상호작용해석기법 | ▪ 플로팅 구조물의 최적화 설계기법<br>▪ 콘크리트 함체 구조물의 구조설계기준제안 |
| [1-1-2]<br>계류시스템 계획 대안 설계 | ▪ 계류시스템의 적정 설계 | ▪ 테스트베드 계류시스템 시안 제시 |
| [1-1-3]<br>플로팅 건축 구조계획 대안 설계 | ▪ 플로팅 건축 구조설계 및 지침개발 | ▪ 플로팅 건축(상부골조)의 구조계획 및 설계에 관한 지침개발<br>▪ 플로팅 건축(상부골조)의 설계를 위한 특허 출원 및 이를 이용한 재설계 |
| [1-1-4]<br>플로팅구조물의 확률론적 안전성 평가 기술 | ▪ 플로팅구조물의 확률론적 안전성 평가기술 개발 | ▪ 플로팅건축 맞춤형 확률설계변수의 선정<br>▪ 확률변수의 통계특성치 결정 프로그램<br>▪ 플로팅건축물의 위험도 평가기법 및 수치해석 프로그램<br>▪ 시설계 적용을 통한 실증연구 |
| [1-1-5]<br>플로팅 함체 대안 설계 | ▪ 플로팅 함체의 대안 설계 | ▪ 플로팅 함체 설계 계산서<br>▪ 플로팅 함체 구조 도면 |
| [1-1-6]<br>플로팅 건물의 사용성 평가 | ▪ 풍-파랑 영향을 받는 플로팅 건물의 거동 분석 | ▪ 플로팅 건물의 사용성 평가를 위한 해석기법 및 분석 |
| [1-2-1]<br>동요진동 저감기술 | ▪ 플로팅 구조물 동요진동 평가 및 동요진동제어 시스템 기술 개발 | ▪ 동요진동 설계/평가지침안<br>▪ 동요진동 제어시스템 설계기술 |
| [1-2-2]<br>플로팅 구조물 동요진동 평가 | ▪ 저진동 초경량 함체 구조시스템 개발 | ▪ 초경량 고강성 단위폰툰개발<br>▪ 저진동 경량폰툰 개발 |
| [1-2-3]<br>플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발 | ▪ 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발 | ▪ 동특성을 이용한 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발 |
| [1-2-4]<br>영상기반 동적 거동 모니터링 기술 | ▪ 플로팅 건축물의 거동 모니터링을 위한 원격 계측 기술 개발 | ▪ 플로팅 건축 방재를 위한 영상기반 거동 관측 기술 |
| [1-3-1]<br>플로팅 상부구조물 접합부 해석 및 설계 기술 | ▪ 상부구조와 함체 접합부 기술 | ▪ 접합부 설계기술 및 시제품 |
| [1-3-2]<br>모듈러 함체 접합부 설계 기술 | ▪ 모듈러 함체 접합부 설계 기술 개발 | ▪ 콘크리트 함체 구조시스템 성능평가 기술 확보<br>▪ 콘크리트 함체 구조시스템 접합부 설계지침 제시 |
| [1-3-3]<br>함체의 친환경 콘크리트 적용기술 | ▪ 함체 적용에 적합한 지오폴리머 콘크리트 개발 및 재료시방제시 | ▪ 함체용 지오폴리머 콘크리트 재료 시방 및 설계 지침안 |

| | | |
|---|---|---|
| [1-3-4]<br>플로팅 구조물의 최적 유지 관리 시스템의 개발 | ▪ 해양환경하에서의 철근콘크리트 구조물의 효율적인 유지관리 장수명화를 위한 요소기술 개발 | ▪ 해양환경 부하산정의 과학적 기법적용으로 정량화<br>▪ 콘크리트 물성평가<br>▪ 수치해석 모델구축을 통한 장기예측 실현<br>▪ 해양환경하에서 복합열화에 의한 RC조 수명산정 기술 확보 |
| [2-1]<br>상부시설 공간계획 기술 | ▪ 정주형 플로팅 건축에 적합한 상부 시설 공간계획 기술 개발 | ▪ 공간배치 및 형태 계획 지침<br>▪ 공간 모듈러시스템 설계지침<br>▪ 상부시설 통합 설계 지침<br>▪ 상부시설 프로토타입 설계안 |
| [2-2]<br>플로팅 건축물 법제도 연구 | ▪ 플로팅 건축물 법제도 제안 | ▪ 플로팅 건축물 최적지 선정 및 평가 기준 제안<br>▪ 기존 법제도 개선안 및 새로운 법안<br>▪ 플로팅 건축물 피난 및 방재계획 기준 |
| [2-3]<br>플로팅 건축의 쾌적환경 설계 기술 | ▪ 패시브 기술을 활용한 플로팅 건축<br>공간의 쾌적환경 설계 기술 개발 | ▪ 플로팅 건축의 부하계산 기법<br>▪ 해수열 이용 시스템 적용 매뉴얼<br>▪ 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼 |
| [2-4]<br>플로팅 건축의 신재생에너지 적용 기술 | ▪ 플로팅건축의 건물일체형 풍력에너지 시스템 개발 | ▪ 플로팅 건축물 일체형 풍력시스템 프로토타입<br>▪ 플로팅 건축의 풍력시스템 설계 지침 |
| [2-5]<br>플로팅 건축을 통한 공간 디자인 마케팅 | ▪ 플로팅건축 스페이스프로그램 개발 | ▪ 마리나클럽 중심의 프로그램 분석 및 사례조사<br>▪ 스페이스프로그램 |
| [2-6]<br>플로팅 건축 BIM 설계 기술 | ▪ BIM기반 플로팅 건축 설계 지침 | ▪ 플로팅 건축 BIM 설계를 위한 DB 구축<br>▪ BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성<br>▪ LCC측면 플로팅 건축 경제성 분석 |
| [2-7]<br>플로팅건축공사 시공기술 | ▪ 플로팅건축공사 주요시공기술 개발 | ▪ 고위험 플로팅건축공사 표준작업절차서<br>▪ 정수역 플로팅 함체진수공법 |
| [2-8]<br>플로팅 건축물 설비 설계 | ▪ 플로팅 건축물 설비 설계 보완 | ▪ 기계 및 전기 설비 설계도서 보완<br>▪ 플로팅 건축물 설비 참고 매뉴얼<br>▪ 열원설비에 따른 에너지 편익 분석 |

○ 1세부과제

가. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

◦ 플로팅 구조물은 육상의 구조물과는 달리 항시 파랑하중 등의 환경하중의 영향을 받으며 이에 따라 상시하중이 상부구조물에 어떠한 영향을 미치는지 상호작용해석을 통하여 해석기법을 정립하는 것을 목표로 함

◦ 플로팅 상부구조물의 응답을 예측할 수 있는 기법을 정립하며, 플로팅 구조물의 효과적

인 설계를 도모하고자함

○ 콘크리트로 이루어진 플로팅 함체 및 상부구조물의 구조설계기준안을 제안함으로서 효과적인 구조설계기준을 실무자들에게 제공하고자함

○ 플로팅 구조물에 적용이 가능한 계류시스템의 종류를 제시하며 설계 여건에 따른 최적화된 계류시스템의 설계를 수행

○ 상부 구조물의 대안설계를 통하여 효과적인 설계안을 도출하며 플로팅 건축물의 경제성을 비교

○ 호남권에서의 해양·수상 공간에 대한 친환경적 개발 요구에 대응할 수 있는 플로팅 건축의 정주성과 내구성 향상을 구현하고 플로팅건축의 재난 관리를 위한 위험도평가기술의 개발에 목적이 있음. 플로팅구조물에 작용하는 환경하중을 포함한 다양한 설계변수의 불확실성과 변동성을 고려한 확률적 구조안전성과 사용성을 평가하는 선진화된 신뢰성해석기법의 개발을 본 연구의 최종 목표로 함

○ 확률론적 안전성평가에 대한 기반연구

○ 주요 확률변수의 선정 및 통계특성치 결정기법과 프로그램 개발

○ 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석기법 개발

○ 신뢰성분석 기법에 기초한 수치해석도구 개발

○ 개발 안전성평가기법의 시설계적용을 통한 실증연구

○ 플로팅 하부 폰툰의 구조 설계 및 구조도면 작성

○ 플로팅 건물은 폰툰 위에 설치되어 일반적으로 파랑하중이 작용할 때 폰툰의 운동 고유주기는 건물의 고유주기에 비하여 매우 큼

○ 또한 풍하중도 장주기에서 공진을 유발하므로 상부의 건물과 공진될 가능성은 거의 없는 것이 풍력구조물과 다름

○ 그러나 변동 풍하중이 건물 면에 직각으로 작용하면 추가적으로 회전의 동요현상이 발생할 수 있으므로 동요에 대한 사용성을 확인하고자함

○ 플로팅 상부구조물 접합부 해석 및 설계기술은 상부 모듈러구조시스템 적용 방안 분석 및 파랑하중을 고려한 안정성 평가와 플로팅 상하부 접합부 상세해석, 모듈러구조와 함체 접합부 기술을 개발하는데 있음

○ 플로팅 모듈러 함체접합부 기술 : 플로팅 함체는 해상시공과 육상이송을 용이하게 하기 위하여 모듈러로 작성되며, 모듈러간의 접합부 설계는 내부식성, 최적 강도 및 강성 등을 만족하여함

○ 본 연구에서는 해양환경에서의 콘크리트 함체 설계 및 시공기술을 개발한다. 콘크리트 구조 성능 실험을 통해 축적된 실험 자료 및 기법을 기반으로 최종 구조 설계를 수행하여 안전하고 최적화된 콘크리트 함체 기술을 개발하는 것을 최종 목표로 함

○ 콘크리트 함체 모듈러 연결 방안 개발

– 콘크리트 함체 모듈 접합부의 연결기법 현황분석 및 구조 파악

– 모듈러 접합부의 연결기법 개발

○ 콘크리트 함체 부재 모듈러 접합부 성능평가 방안 연구

– 전단키를 적용한 접합부의 형상 및 실험변수 파악

– 단일 함체 구조물을 제작하기 위한 접합부의 구조성능 예측기법 개발

○ 콘크리트 프리패브 모듈러 함체의 성능평가 수행

– 프리스트레싱과 전단키를 이용한 접합부 성능평가 수행

– 내염에 의한 부식을 방지하기 위한 코팅철근 적용 및 구조성능평가 수행

– 콘크리트 함체 성능평가기술 확보

○ 콘크리트 모듈러 함체 접합부 설계지침 제시

– 콘크리트 모듈러 함체 접합부 설계지침 개발

– 콘크리트 함체 예비 설계 및 구조검토를 통한 검증 시스템 개발

나. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ 플로팅 구조물의 동요진동 해석모델 설정 및 평가기술 : 플로팅 건축물에 발생하는 상시진동의 발생특성, 거동을 예측, 평가 기술 개발

○ 동요진동을 저감하는 능동형 진동제어장치 설계 기술 및 검증 : 동요진동으로부터 보다 쾌적하고 안락한 플로팅 건축물을 제공하기 위한 동요진동 저감기술을 개발

○ 플로팅 구조물의 동요진동 해석모델 설정 및 평가기술 : 플로팅 건축물에 발생하는 상시진동의 발생특성, 거동을 예측, 평가 기술 개발

다. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 본 연구에서는 플로팅구조물의 건전도 평가를 위한 기법을 개발하며 축소모형 실험 및 실제 플로팅 구조물의 구조계 추정 및 손상탐지를 수행하여 개발된 건전도 평가기법을 검증하는 것을 목표로 함

○ 가속도 응답 데이터 분석을 통하여 대상 구조물의 동특성을 추출할 수 있는 기술 개발

– 강제 진동 실험을 통하여 구조물의 동적 특성 추출

– 상시 진동 실험을 통하여 구조물의 동적 특성 추출

○ 손상탐지기법을 통한 손상 확인, 손상부의 위치 및 손상도를 추정할 수 있는 기술 개발

– 모달 변형 에너지를 이용하여 손상위치 및 손상도 추정기법 개발

– 축소모형 및 현장 실험을 통하여 검증

○ 구조계 추정기법을 통한 대상 구조물의 유효물성치를 산정할 수 있는 기술 개발

– 민감도행렬을 기반으로 하는 구조계 추정기법 개발

– 축소모형 및 현장 실험을 통하여 검증

○ 본 연구에서는 플로팅 건축물의 거동 모니터링을 위한 원격 측정 기술을 개발하고, 부유체 모형의 수리모형 실험을 지원한다.

○ 부유체의 동적 인자를 측정하는 다양한 점기반 센서들에 대한 파악

○ 단일 및 다중동영상을 이용하여 부유 건축물의 동적 인자를 원격측정하는 소프트웨어를 개발하고, 실험 평가

○ 계류시스템을 모니터링하기 위한 수리실험 모델을 정의하고, FBG 측정 센서를 통한 장력 측정 방안 개발

○ 플로팅 구조물의 함체에 적용가능한 AAS 콘크리트의 배합 설계 기술

○ 변수에 따른 플로팅 함체의 역학적, 내구적 성능 확보방안

○ 해양환경에서의 구조재료의 내구성능 예측을 위해 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축

○ 비래염분으로 대표되는 해양환경의 열화인자의 과학적 분석을 위해서 비래염분 포집장치를 고안하고 그린 콘크리트 배합설계 프로그램 개발 및 함체 구조재료의 열화저항성/열화환경 DB구축

○ 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가

○ 철근과 콘크리트의 열화에 의한 부착특성 파악을 위한 일련의 실험과 모델 구축으로 구조물 보수기술 개발(열화한 수중구조물 보수 기술, 보수 보강에 따른 성능 변화 시뮬레이션)

○ 온습도 및 염해 중성화 등 실환경에서의 콘크리트 열화요인을 복합적으로 검토할 수 있는 모델구축으로 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발을 꾀함

○ 2세부과제

가. 상부시설 공간 계획 기술

- 본 세세부과제의 연구목표는 정주형 플로팅 건축물에 적합한 상부시설 공간계획 기술을 개발하는 것임
- 연구개발을 통하여 일반 건축물에서 사용하는 계획 지침에 준하는 플로팅 건축물 상부시설에 대한 계획 지침을 작성하는 것으로 배치 및 건축 계획, 시스템 계획을 포함함
- 단계적으로 상부시설 계획 지침을 구성하는 세부 지침을 개발하고 최종적으로 이를 통합한 지침과 해설서를 작성함

나. 법제도 연구

- 법제도 연구에서는 플로팅 건축물 조성 최적지 선정을 위한 입지평가기준 개발과 플로팅 건축물 활성화를 위해 선행되어야 하는 법제도 정비를 위한 법제도 개선안 및 새로운 법안을 제시하는 것을 연구의 목표로함
- 본 연구에서는 구조, 입지, 사용목적 등 플로팅 건축물의 특성을 고려한 입지평가기준을 개발하고 국내외 플로팅 건축물 법적용 현황 및 문제점을 분석하고 국내 법제도 특성을 고려한 법제도 개선안 및 플로팅 건축물을 위한 새로운 법안을 제시함
- 법제도 개선 및 새로운 법안을 통해 플로팅 건축물의 법적지위를 명확히 하고, 플로팅 건축물 및 이용자의 안전을 보장할 수 있는 피난 및 방재계획 기준을 함께 제시함

다. 쾌적환경 설계 기술

- 플로팅건축물의 생활공간을 경제성, 친환경성과 사용자의 안전성 및 편리성을 극대화하기 위한 Passive적 기법 개발에 최종목표를 두고 플로팅건축물의 입지적 특성을 고려하여 냉난방 시스템 설계 시 일반건축물에 적용되는 부하산정 요소 외 해수온도, 해수면 반사일사 및 창면적비를 부하산정 요소로 도입기법을 개발하여 이를 바탕으로 테스트베드 수행 및 사업화 전략을 통하여 개발된 기술을 실용화함
- 이 연구에서 제안하는 해수열 이용 시스템은, 플로팅건축물의 특징인 해상 부유(buoyancy)특성과 이동성을 고려한 고효율 해수열교환기 개발을 목적으로 하며, 또한 시간별, 계절별 해수열교환 성능 데이터베이스를 구축하고 향후 이를 해수열교환기 설계의 기초자료로 제공하고자 함

라. 신재생에너지 적용 기술

○ 풍력-기상자원지도에 의하면 내륙보다 해안의 연평균 풍속이 큰 것을 알 수 있으며, 또한 연해보다 원해의 연평균 풍속이 큼. 동, 서해안보다 남해안이 상대적으로 연평균 풍속이 큼. 내륙의 일부 산악지역에서 풍속이 크나, 해안의 경우보다 그 지역이 제한적임

○ 바람이 내륙으로 이동할수록 풍속이 감소될 뿐만 아니라, 지형과 건물과 같은 장해물에 의해서 난류의 발생가능성이 높아짐. 풍속의 감소와 난류의 발생은 풍력발전기 등의 출력을 급격히 감소시키는 원인됨. 특히 난류의 발생은 풍력터빈이 회전할 수 없게도 함

○ 풍자원을 건축물에서 활용할 수 있게 하는 건물 일체형 풍력시스템을 위한 설계 기술 부족한 실정임

○ 풍력을 이용할 수 있는 건물일체형 풍력시스템의 모델링 및 설계 요소의 성능 분석을 통하여 건물일체형 풍력시스템의 설계 기술을 개발하고자 함

마. 공간디자인 마케팅

○ 기후변화에 따른 해수면 상승과 해양레포츠 수요 증대에 대응하는 새로운 건축적 해결책인 플로팅건축 디자인을 위한 기초자료 제공

○ 국내 마리나 수요와 제반 여건을 반연한 한국형 마리나클럽을 플로팅건축물로 실현할 수 있는 기반 마련

○ 세월호 사태와 같이 이슈화된 현안을 해결할 수 있는 플로팅건축물 제안으로 해상안전에 기여

바. BIM 설계 기술

○ 최근 건설프로젝트의 복합화, 대형화와 함께, 플로팅건축에서 대두되는 협업과 통합프로세스의 요구로 플로팅건축에서의 BIM기술의 접목

○ 플로팅건축의 BIM기반 DB 및 템플릿의 구축으로 건물의 전 생명주기동안 생성되는 정보의 통합관리와 함께 정보의 재활용을 통한 경제성 확보

○ 플로팅건축 설계프로세스의 작성으로 협업주체간의 적극적 협업의 명확성, 신속성, 효율성 확보

○ Test-bed 수행 결과를 피드백하여 목업 함체 디자인과 실시 설계도서 작성하고 및 실시설계를 바탕으로 함체 제작 건축공사에 소요되는 공사비 내역 산정

○ 플로팅 건축 건설관리 프로세스 수립을 통한 플로팅 건축의 생애주기를 파악하고 이를 바탕으로 플로팅 건축의 LCC분석을 위한 구성항목을 산정하여 플로팅 건축물의 경제

성 분석

○ 각 설계 프로세스별 LOI(Level of Information)단계 수준 정의 및 적용하여 플로팅 건축 BIM설계시 적용/활용 가능한 설계 지침 작성

사. 플로팅건축공사 시공기술

○ 본 세세부과제의 연구목표는 플로팅 건축물의 시공에 있어 주요 공종인 함체 제작, 함체 진수, 계류 시스템, 상부구조제작 중 대지의 특성에 가장 많은 영향을 받으며 시공상 중요한 오류가 많이 일어날 수 있고 경제적으로 많은 비용이 들어가는 공종인 함체 진수 방식의 효율적인 진수를 개발하는데 목적을 두고 있음

○ 최대한 간편한 설비로 지수를 시킬 수 있어야 하며 한번 사용 후 제거하는 것이 아닌 이동서도 첨가되어 재사용이 가능한 진수 방식이 개발되어야 함

○ 플로팅 건축공사의 시공단계에 필요한 위험성 평가나 안전작업절차에 대한 연구가 미흡하고 플로팅 건축공사는 일반 건축공사와는 다른 공사의 특수성의 적용이 필수적이기 때문에 위험성 평가와 안전작업절차를 통한 작성법이 필요함

아. 플로팅건축 설비 설계

○ 국내외 플로팅 건축물 설비 사례조사를 통하여 에코텔타시티 홍보관 설비 시설계를 진행하고자 함

○ 에코델타시티 홍보관의 열원, 공조 시스템별 비용편익을 분석하고 최적의 설비를 도출하고자 국토교통부 공인 건축물 에너지 시뮬레이션 프로그램인 ECO2를 이용하여 1차 에너지 소요량을 산출함

○ 설계과정과 열원시스템 분석을 통하여 플로팅 건축물 설비의 기본적인 설계 가이드라인을 작성하여 추후 유사 건축물의 설계 시 참고자료로써 활용하고자 함

## 2. 연구개발 필요성

◯ 1세부과제

가. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

○ 플로팅 구조물은 바람이나 파랑하중 등으로 안전성이나 사용성에 문제가 발생할 수 있으므로 환경하중에 저항하는 해석기술의 정립 필요

○ 플로팅 폰툰에 대한 국내외적의 연구는 많으나 폰툰 상부에 건물이 있는 경우에 대한

연구는 미비함

○ 함체의 응답에 따른 상부구조물의 응답을 추정할 수 있는 해석기법 및 실험이 필요

○ 수조실험을 통한 부유식 구조물의 동적 거동 분석이 필요

○ 상시 환경하중의 영향으로 플로팅 구조물은 표류하기 때문에 계류시스템을 통하여 수직 수평의 이동을 조절할 수 있는 시스템 계획이 필요

○ 부유식 함체 위에 축조되는 건축물을 건설하기 위하여 필요한 하중저항 및 내구성, 시공성 등을 포함하는 종합적인 설계기술이 필요

○ 플로팅 건축(floating architecture)은 부유식 함체 위에 건설되는 모든 건축물의 총칭이다. 플로팅 건축물은 예기치 않은 극한하중 및 사고 등 그리고 구조저항 성능에 내재된 변동성과 불확실성에 의해 전체 구조물의 안전성이나 사용성에 문제가 발생할 수 있으므로 이러한 불확실성을 확률적으로 고려한 안전성평가 방법의 개발이 필요하다.

○ 플로팅구조물 시스템의 구조적 특성과 다양한 외력 및 구조저항 성능의 불확실성과 변동성을 확률적으로 고려하여 구조안전성과 사용성을 정량적으로 평가하기 위한 확률론적 안전성 평가 및 기초적인 성능기반 설계에 대한 연구 필요함

○ 플로팅구조물에 대한 안전성 평가 및 신뢰성 기반 설계 지침서 작성이 필요함

○ 플로팅구조물의 재난관리를 위한 위험도평가 기법이 필요함

○ 국내 플로팅 하부 폰툰의 구조설계가 보편화 되어 있지 않기 때문에 하부 폰툰의 구조설계를 통하여 향 후 기술개발에 적용할 수 있기 위함

○ 다양한 환경의 영향을 받는 플로팅 건물의 시간 이력 해석 기법 개발 및 거동 특성의 분석이 필요

○ 국내 플로팅 건물 위치지역은 대부분 천해파에 해당하나, 이에 대한 풍 · 파랑에 대한 환경하중으로부터 플로팅 건물에 대한 분석이 필요

○ 공장에서 제작·생산된 모듈러 유닛을 현장에서 조립하는 방식의 모듈러시스템은 증설과 이전이 용이하며 내구성이 뛰어난 형태의 구조물로 공기단축과 경제성, 친환경성을 만족하는 미래 지향적 시스템으로 각광받고 있음

○ 미국과 일본 등지에서 널리 활용되고 있으며, 국내에서는 2003년 서울 신기초등학교가 최초의 모듈러 학교 건축물로 시공되었으며, 2006년에는 대규모의 군대막사에 적용되어 널리 사용되고 있음

○ 플로팅구조물은 상부구조물과 하부구조물의 서로 다른 구조시스템을 사용함으로 구조형식이 변화되는 접합부분에서 단면이 작아지거나 상하부의 시스템이 정확하게 맞물려서 연결되지 않는 구조적 문제가 발생함

○ 플로팅구조물의 상부구조물은 일반건축물의 형태와 같지만 기초가 땅이 아닌 대형 부체에 지지되는 구조물로 파랑하중에 의한 영향을 크게 받으며, 파랑하중에 의한 하부구

조물의 변형이 접합부에 영향을 미쳐 상부구조물의 이용자에 사용성과 안전성의 문제를 발생시킴

○상부구조물은 철골구조시스템으로 보-기둥의 접합부의 형태에 따라 골조의 안정성에 큰 영향을 받으므로 접합부의 정확한 상세해석 기술에 의한 안정성평가가 필요함

○ 상부구조물은 파랑하중의 영향을 많이 받기 때문에 부가모멘트가 크게 작용하며, 접합부 상세해석을 통한 모멘트를 줄이는 경제적인 접합부설계 필요

○ 플로팅 건축용 함체 구조를 시공할 때, 함체 구조물의 각 부재를 해상에서 바로 제작하는 것은 많은 기술적 제약이 따름. 따라서 콘크리트 함체 구조부재는 현장 근처에서 공장 또는 별도의 제작장을 마련하여 제작하고, 제작된 부재를 현장으로 이동하여 가설장비를 이용해 각 부재를 조립해서 함체 구조를 완성하는 방법인 프리캐스트 부재 방법을 적용하는 것이 유리함

○ 이러한 과정에서 제작장과 현장에서 각 프리캐스트 부재를 연결하는 작업이 이루어지게 되는데, 이때 연결부의 기능과 구조적 성능을 최대한으로 유지시킬 수 있는 적절한 연결기법을 적용해야함. 따라서 콘크리트 함체 모듈의 연결기법 및 성능평가 기술 확보가 필요함

나. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ 쾌적하고 안락한 플로팅 거주공간을 제공하기 위하여 플로팅 구조물에 발생하는 상시 동요진동을 명확히 예측, 평가하고  동요진동으로부터 거주성능을 확보하기 위한 시스템이 요구되고 있음. 플로팅 구조물의 규모에 따른 동요진동의 특성 및 크기를 예측하기 위한 해석모델이 필요하며, 이를 바탕으로 동요진동을 효과적으로 저감할수 있는 시스템설계기술이 요구되고 있음

○ 단위폰툰을 이용한 확장형 초경량 함체 구조시스템을 개발하여 저진동성 확보를 위한 보강 방법의 개발이 필요

다. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 플로팅 구조물은 바람이나 파도로 인한 피로하중으로 인해 구조물 내에 손상이 축적되거나 시간의 흐름에 따른 노후화로 인해 구조물의 안전성이나 사용성에 문제가 발생할 수 있음

○ 기존의 해양 구조물 관리 및 해석방법으로는 구조물의 건전성을 확보하는 것에는 한계가 있음

○ 육상의 구조물에서의 구조물의 동특성을 이용한 건전성 평가는 연구 및 적용사례가 종

종 있지만, 플로팅 구조물에서는 미비한 실정임

○ 플로팅 구조물에 적용할 수 있는 동특성 추출 기법, 손상탐지 기법 및 구조계 추정 기법의 개발이 필요함

○ 플로팅 건축의 재난 관리를 위한 방재 모니터링 기술의 개발 필요

○ 건축물의 진동 및 변위, 파도 효과의 정성적 분석, 재난의 사전 예측 및 피해 감소의 주요한 자료로 플로팅 건축의 거동을 원격으로 관측하는 기술을 우선 개발

○ 플로팅 구조체의 전체 형상 운동과 연속된 시간에 따른 시계열 분석이 가능한 효율적 변위 관측 방법의 개발 필요

○ OPC 콘크리트는 안정성, 경제성 등의 측면에서 우수한 재료이나, 콘크리트의 경화 및 강도발현이 pH 13 이상의 강알칼리에서 유도되므로 수중에 사용될 경우 생태환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있음

○ 또한 OPC와는 달리 중금속 및 강알칼리성분이 용출되지 않는 알칼리 활성 슬래그 결합재는 수중구조물에 적합한 콘크리트 재료로 인식되었지만, 내구성의 문제점으로 인해 사용이 제한되어져 왔음

○ 따라서 해양환경 또는 수중에서 내구성을 확보하여 친수환경 구조물에 적극적으로 활용될 수 있는 친환경 콘크리트가 필요

○ 삼면이 해양에 둘러싸여 있으며 향후 플로팅 구조물에 대한 수요가 증가할 것으로 기대되나 구조물의 장기 내구성에 대한 연구가 부족한 상황에서 적절한 시공 및 유지관리 계획수립이 곤란한 실정임

○ 해양환경의 열화환경 부하의 과학적 분석 검토 및 데이터 베이스 구축의 결과물은 해양 콘크리트 건축물에도 적용가능하여 그 활용범위가 다양할 것으로 기대됨

○ 해양환경에 적절한 재료개발 및 열화예측 모델개발을 통하여 장기내구성 확보 및 장수명화가 기대 가능

◯ 2세부과제

○ 산업·경제의 발전 및 생활수준 향상에 따라 다양한 개발수요가 증가하고 있으나 토지수용, 환경 문제 등으로 인해 내륙 개발이 어려워져 연안 지역 개발에 대한 관심이 증가하고 있으며 다양한 수해양개발사업이 계획되거나 진행 중에 있음

○ 하지만 연안 지역을 활용한 대부분의 수해양개발사업이 육역에 위치하거나 매립 등의 방법으로 토지를 확보하여 조성하는 방법으로 진행 중에 있으며 이러한 개발방식은 사회, 환경 등의 다양한 분야에 문제를 야기하고 있음

○ 이런 이유로 최근 기존 개발방식에 비해 사회, 환경 등의 문제를 최소화하는 개발방식으

로 부유체를 활용한 플로팅 건축 기술을 이용한 수해양개발이 주목받고 있음

○ 특히 서·남해안 연안개발사업, 새만금 개발사업, 해양엑스포, 국제해양관광지 등의 호남권 수해양개발사업에서 친환경적인 개발방식인 플로팅 건축 도입에 대한 필요가 증가하고 있음

○ 하지만 플로팅 건축에 대한 이해, 기술, 제도 등의 부족 및 부재로 인하여 플로팅 건축을 계획하거나 조성하는 과정에서 많은 문제가 발생하고 있으며 이런 문제들은 플로팅 건축 활성화를 저해하는 중요한 요인이 되고 있음

○ 플로팅 건축 및 관련 산업 활성화를 위하여 플로팅 건축물에 대한 이해와 사용자 안전성, 편리성, 경제성 등을 높이거나 확보할 수 있는 기술개발과 제도의 정비가 시급한 실정임

가. 상부시설 공간 계획 기술

○ 수해양 공간 이용에 대한 요구 증대로 수상을 활용한 플로팅 건축물에 대한 관심이 증가하고 있음

○ 이러한 관심의 증가를 반영하듯 최근 다양한 레저 및 문화공간용 플로팅 건축물이 한강을 중심으로 지어지거나 계획 되고 있음

○ 하지만 관심의 증대와는 반대로 국내에서는 여전히 플로팅 건축물에 대한 관련 산업체 및 행정담당 기관의 기술력과 인식이 미비한 실정임

○ 특히 플로팅 건축물 설계를 위한 설계기술 및 관련 지침의 미비로 일반적인 육상의 건축물과 다른 특성을 가진 플로팅 건축물 설계시 많은 어려움이 따르고 있음

○ 최근 지어진 세빛둥둥섬(플로팅 아일랜드)과 여의도 마리나의 경우 부유체를 이용해 수상에 지어지는 플로팅 건축물의 특성을 제대로 파악하지 못해 설계를 진행하는 과정에서 많은 시행착오로 인하여 시간적, 경제적 비용이 증가하는 어려움을 겪기도 하였음

○ 또한 수상이라는 제한된 공간과 육상과 다른 자연환경으로 인하여 육상의 일반 건축물과는 배치 및 형태계획 측면에서도 차이가 발생하며 이를 이해하기는 쉽지 않음

○ 정주형 플로팅 건축물은 인간이 거주하기 위한 목적의 시설물로 상부시설의 계획은 일반적인 건축물의 건축 계획과 많은 부분 유사하나 명확히 구별되는 부분이 있어 이에 대한 정의와 관련 계획 기술에 대한 지침의 작성이 필요함

○ 국외의 일부 국가에서 정주형 플로팅 건축물의 상부시설에 대한 부분적인 지침이 작성된 사례가 있으나 상부시설과 관련된 다양한 건축 계획 측면을 포괄하는 지침이 개발된 사례는 없으며 국내 역시 관련된 연구와 지침이 개발된 사례는 없음

○ 따라서 플로팅 건축물 설계를 보다 쉽고, 효율적으로 하기 위하여 플로팅 건축물의 형태, 용도, 입지 등의 특성을 고려한 상부공간 계획에 대한 통합설계지침 개발이 필요함

나. 법제도 연구

○ 한강에는 최근 지어진 세빛둥둥섬(플로팅 아이랜드), 서울마리나 마리나센터 등 다양한 형태, 용도의 플로팅 건축물이 하천과 바다에 설치되어 이용되고 있으나 플로팅 건축물에 대한 이해 부족과 명확하지 못한 법적지위, 관련 법제도의 미비 등으로 설계, 조성 및 이용에 많은 어려움이 있으며, 건축물로 인정받지 못하는 경우 경제적, 법적으로 다양한 문제가 발생하고 있음

○ 최근 한강에 지어진 세빛둥둥섬의 경우 선박으로 분류되어 한국선급협회 규칙에 따라 건축물이 설계되고 건설되는 상황이 발생하였으며, 이는 설계비용과 건설비용, 그리고 관리비용의 증가를 가져오며 향후 관리 및 재산권에 있어 문제를 야기할 수 있음

○ 하지만 비슷한 시기에 지어진 서울마리나 마리나센터의 경우 플로팅 건축물임에도 불구하고 일반건축물과 동일한 법적용으로 세빛둥둥섬에 비해 쉽게 시설이 조성되었음

○ 이상의 플로팅 아일랜드와 서울마리나 마리나센터의 상황과 같이 비슷한 시기에 한강에서 지어진 플로팅 건축물임에도 법의 해석에 따라 각기 다른 법의 적용을 받는 등 일률적이지 않고 형평성에 어긋나는 행정적 절차를 야기함

○ 한강뿐만 아니라 해상을 활용한 다양한 수해양 개발계획에서 해상호텔, 해상방갈로 등 플로팅 건축물의 도입을 고려하고 있으나 한강의 플로팅 건축물 조성과정에서와 같이 법적 지위, 재산권, 수상대지, 안전 등의 문제로 인하여 계획 및 조성에 많은 어려움이 있음

○ 이런 문제들은 플로팅건축물을 조성하는데 가장 기본적인 법적 문제가 해결되지 않은 것으로 플로팅건축 활성화와 관련 산업 발전을 저해하는 가장 기본적인 것으로 플로팅 건축물에 대한 기존 법규의 정비 및 새로운 법안 마련을 통해 문제를 해결하는 것이 시급한 과제임

○ 따라서 국내 플로팅 건축 활성화를 위해 선행되어야 하는 관련 법제도정비를 위하여 국내외 플로팅 건축 현황 조사, 전문가 자문 등을 통해 플로팅 건축 법적용 현황 및 문제점을 분석하고 플로팅 건축물에 적합한 법제도 개선안 및 새로운 법안 제안을 본 연구의 목적으로 함

다. 쾌적환경 설계 기술

○ 우리나라의 경우 플로팅건축물의 건설에 대한 연구는 아직 초보적인 단계에 있으며 이용객의 쾌적성에 직접적인 영향을 미치는 공조 설비에 대한 연구는 전무하다고 할 수 있음

○ 플로팅건축물은 지리적으로 해상에 위치하며, 해수열은 무한 부존량을 갖는 청정에너지이기 때문에 해수열 이용 시 효과적인 플로팅건축물의 에너지 절감이 예상됨

○ 플로팅건축물은 해상 유동의 영향을 받아 부유(floating, buoyancy)하며, 필요시 위치 이동이 가능해야 하지만, 기존의 해수열 이용시스템은 대부분 해저 지반에 해수열교환기를 고정 매립하거나 혹은 수조를 설치하는 형태이기 때문에, 플로팅건축의 시스템적 특성을 고한 고효율 해수열교환기 개발이 필요함

○ 또한, 개방적인 수면에 위치한 플로팅건축의 개구부는 육상 건축에 비해 일사나 일조, 바람의 영향을 많이 받는데 이는 에너지소비와 직결됨

○ 개구부는 조망, 개방감 등 거주자의 심리에 큰 영향을 주기 때문에 쾌적환경 조성을 위해서는 환경과 심리의 종합적인 검토를 통한 적정 개구부 설계 기법이 필요함

라. 신재생에너지 적용 기술

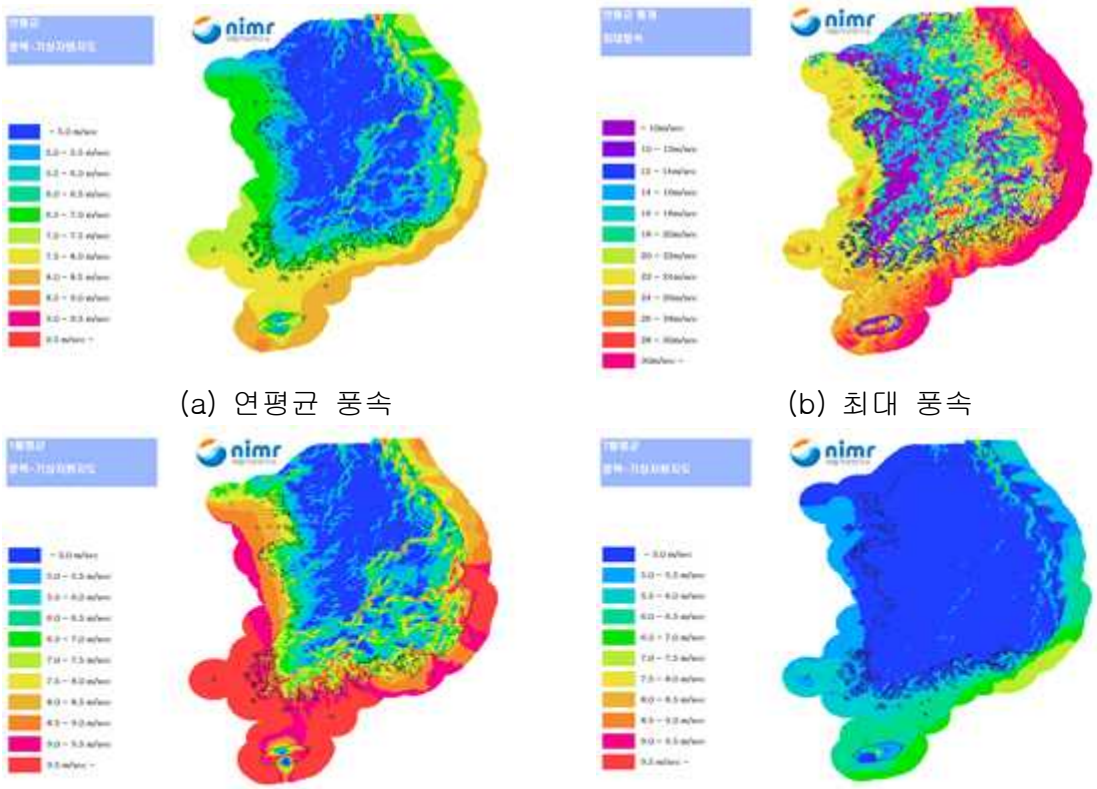
○ 활용가능한 재생에너지

- 모든 건축물이 모든 종류의 신재생에너지를 사용할 수 있는 것은 아님. 신재생에너지 특히 재생에너지는 그 성격상 건축물이 위치한 주변 환경에 따라 이용 가능한 에너지 양이 달라짐. 따라서 건축물을 지을 곳의 사용가능한 재생에너지의 양을 파악하는 것이 제일 중요하며 가장 먼저 해야 하는 일임
- 플로팅 건축물은 수면 위에 인공 대지를 조성하여 건설한 건축물로서, 가장 기본적으로 물 (즉 강수, 호수, 또는 해수이든 상관없음)로부터 에너지를 얻어서 활용할 수 있음. 지역마다 또는 수심마다 수온은 다르지만, 여름철에는 대기의 온도보다 낮고, 겨울철에는 대기의 온도보다 높기 때문에 '수열원 히트펌프'를 '공기열원 히트펌프'보다 더 효율적으로 사용할 수 있게 됨

○ 해안의 풍부한 풍자원[1)]

- 풍력-기상자원지도[그림 1-1-2]에 의하면 내륙보다 해안의 연평균 풍속이 큰 것을 알 수 있으며, 또한 연해보다 원해의 연평균 풍속이 큼. 동, 서해안보다 남해안이 상대적으로 연평균 풍속이 큼
- 내륙의 일부 산악지역에서 풍속이 크나, 해안의 경우보다 그 지역이 제한적임

1) 기상청 국립기상연구소, 풍력-기상자원지도, 2009



(a) 연평균 풍속 (b) 최대 풍속

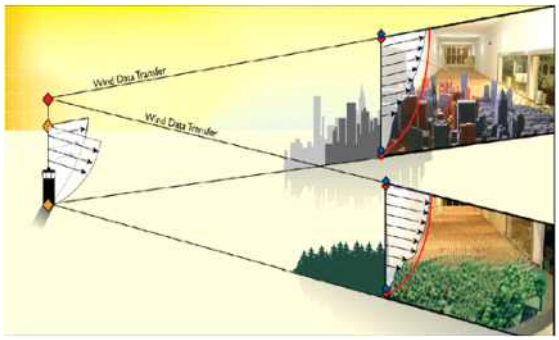
(c) 1월 풍속 (d) 7월 풍속

[그림 1] 풍자원 분석

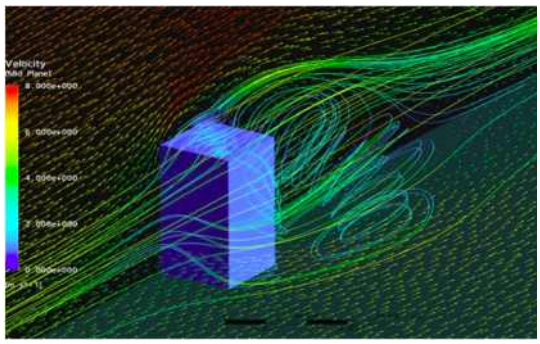
- 또한 플로팅건축물의 인공대지는 물과 흙이 만나는 곳에 있으므로 바람이 계속해서 부는 곳에 있는 것임. 물과 흙은 재료상 비열이 달라 햇빛을 받을 때 흙이 더 빨리 뜨거워지고 물은 천천히 뜨거워짐
- 그래서 물 쪽으로부터 바람이 붐(바닷가에서는 이를 해풍이라 함)
- 반대로 햇빛이 없을 때는 흙이 더 빨리 식기 때문에 흙 쪽으로부터 바람이 붐(이를 육풍이라 함)
- 따라서 도심보다 풍속이 좋을 뿐만 아니라 하루 중에도 수시로 바람이 불기 때문에 이를 활용할 수 있는 좋은 환경임

○ 내륙보다 난류가 적은 풍자원

- 바람이 내륙으로 이동할수록 풍속이 감소될 뿐만 아니라([그림 1-1-3] 참조), 지형과 건물과 같은 장해물에 의해서 난류의 발생가능성이 높아짐([그림 1-1-4] 참조)
- 풍속의 감소와 난류의 발생은 풍력발전기 등의 출력을 급격히 감소시키는 원인됨. 특히 난류의 발생은 풍력터빈이 회전할 수 없게도 함




[그림 1-1-3] 바람의 연직분포




[그림 1-1-4] 건물주변의 유동분포

○ 태양광과 풍력은 기후 보완적

– 태양광과 풍력은 기후적으로 상호보완적인 성격이 강함. 일반적으로 날씨가 맑은 날은 햇빛이 좋은 날은 바람이 불지 않고, 바람이 많이 부는 날은 보통 날씨가 흐린 날임

– 더욱이 해가 없는 밤에도 바람이 있다면 이용할 수 있음. 그래서 이 두 재생에너지원을 결합시킨 시스템을 사용한다면 기후에 관계없이 플로팅건축물에 효과적으로 에너지를 공급할 수 있게 됨

마. 공간디자인 마케팅

○ 수해양을 활용한 관광, 레저, 해상안전 등 다양한 플로팅건축 잠재수요에 대한 발굴 필요성 증대

○ 현실 여건을 반영한 플로팅건축의 공간 수요에 대한 조사 및 연구 부재

○ 플로팅건축의 연구와 기술개발을 통해 새로운 건설시장 창출 및 관련 산업의 연계 발전 가능성 모색

바. BIM 설계 기술

○ 최근 건축설계산업에서는 BIM(Building Information System)을 활용한 프로젝트가 증가하고 있으며 이와 관련하여 다양한 프로그램과 소프트웨어가 개발되고 있음

○ 특히 시설물의 종류와 기능에 따라 각기 최적화된 BIM 툴이 사용되고 있으며 이러한 최적화된 툴의 사용은 설계의 유연성 확보, 도면오류의 감소, 리스크의 감소 그리고 생산성 향상 등의 다양한 이점을 설계과정에서 얻을 수 있음

○ 플로팅 건축의 경우 외부 환경요소와 특수 목적에 의해 일반 건축물과는 요구성능이 상이하여 설계 과정에서 요구되는 프로세스 역시 많은 차이가 있음

○ 따라서 플로팅 건축물 설계의 효율성과 사업성을 확보하고 최근 건축설계산업의 흐름에 적합한 플로팅 건축물의 표준 설계프로세스의 개발이 필요함

○ BIM을 기반으로 하는 플로팅 건축설계지침은 이러한 플로팅 건축물의 요구사항과 디자인성에 부합할 수 있는 선진적인 종합설계프로세로 플로팅 건축물 설계기술 확보를 위하여 시급히 개발되어야 함

사. 플로팅건축공사 시공기술

○ 국내의 플로팅 건축의 사례가 거의 없으며 해외의 기술은 지역적 특징이 다르기 때문에 적용이 불가함

○ 함체 제작, 계류 시스템, 상부구조 제작의 기술은 부족하지 않으나 진수 방식의 경우 국내 사례 및 시공 기술 부족 및 함체 진수도중 파손에 대한 우려가 있음

○ 이런 이유로 건축적 특징이 반영된 함체 제작 및 안전성, 편이성, 이동성, 시공성이 가미된 새로운 진수공법 개발이 필요함

○ 플로팅 건축공사에서 표준안전작업절차서를 활용하기 위해선 플로팅 건축공사의 특수성이 안전작업절차서에 반영이 되어있어야 함

○ 하지만 플로팅 건축에 대한 이해, 기술, 제도 등의 부족 및 부재로 인하여 플로팅 건축을 시공하는 과정에서 사고가 발생하고 있으며 이는 플로팅 건축의 활성화를 저해하는 요인이며 근로자의 인명보호 및 이로 인한 손실을 예방해야 함

○ 플로팅 건축 및 관련 산업 활성화를 위하여 플로팅 건축물에 대한 이해와 사용자 안전성, 편리성, 경제성 등을 높이거나 확보할 수 있는 기술개발과 제도의 정비가 시급한 실정임

아. 플로팅건축 설비 설계

○ 플로팅 건축과 관련산업 설비의 기초자료 및 유의사항과 같은 가이드가 부재하여 설계 시 어려움이 있으며, 일반 건축물에서 고려하지 않는 특수한 사항들을 고려하여야 함

○ 연안 및 강변, 수상에 위치하는 특성상 부식, 인근 해안으로 인한 염해, 수면 및 파도로 인한 진동 등을 고려해야하고 에코델타시티 홍보관에 안정적인 열원 및 전력 시스템, 부식 및 염해방지 장비, 배관 등의 대책 등을 마련하고 적절한 기준 및 근거를 통한 설계가 요구됨

# 제2절 연구개발 내용 및 범위

## 1. 연구개발 내용 및 범위

[표 1.2.1] 당해연도 연구목표 및 연구내용(전체적인 주된 연구내용)

| | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 총괄 | ▪ 연구지원 행정업무 | ▪ 협동연구기관에 연구비 배분 및 조속한 전달<br>▪ 평가원 공지사항 등 연구단 구성원에 전달<br>▪ 연차보고서 취합, 조정, 편집, 인쇄 및 제출 |
| | ▪ 연구단 운영안 정립 | ▪ 연구단 홈페이지 운영<br>▪ 연구단 운영방안 점검 및 개선<br>▪ 연구단 자문위원 교섭 |
| | ▪ 효율적 연구단 운영 | ▪ 연구단 정기 워크숍 주관<br>▪ 연구단 원격 통신 시스템 구축<br>▪ 연구단 과제 평가 진행 |
| 1세부 | ▪ 플로팅 구조물의 설계기법 제시 | ▪ 플로팅 구조물의 설계 지침 작성 |
| | ▪ 플로팅 계류시스템 대안 제시 | ▪ 계류시스템 지침 작성 |
| | ▪ 플로팅건축 상부구조설계 지침개발 | ▪ 플로팅 건축(상부골조)의 구조계획 및 설계에 관한 지침개발<br>▪ 플로팅 건축(상부골조)의 설계를 위한 특허 출원 및 이를 이용한 재설계 |
| | ▪ 플로팅건축 확률론적 안전성평가 기법 실증연구 적용 | ▪ 개발 알고리즘과 프로그램을 이용하여 플로팅건축물 확률론적 안전성평가기법의 통합<br>▪ 시설계에 적용을 통한 실증연구 |
| | ▪ 플로팅 건물의 시간이력해석에 따른 사용성 평가 | ▪ 플로팅 건물 시간이력 해석 기법 |
| | ▪ 동요진동 저감 기술 이전 보급 | ▪ 제진장치 미비점 보완 및 디테일 개발<br>▪ 기술보급 및 교육도구 작성<br>▪ 제진장치 제작 설치 설명서 작성 |
| | ▪ 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 실용성 검토 및 검증 | ▪ 계측된 가속도 응답 값을 이용하여 사용성 평가 기법 적용성 검토<br>▪ 구조계 추정기법 및 손상탐지기법을 통해, 대상 구조물의 건전도 평가 실시<br>▪ 플로팅 구조물의 건전성 평가 지침 개발 |
| | ▪ 플로팅 구조물의 위치 변동 측정 적용 | ▪ 개발 시스템의 테스트베드 적용을 통한 실증연구 수행 및 사용성 평가 |
| | ▪ 플로팅 상부 구조물 접합부 해석 및 설계기술 | ▪ 상하부 접합부 준정적 재하실험<br>▪ 상부구조 안전성평가지침 개발 |
| | ▪ 콘크리트 합체 구조물 접합 설계 기술 적용 | ▪ 합체구조시스템 접합부 설계 가이드라인 제시<br>▪ 용융아연도금철근의 콘크리트 합체 시스템 적용성 평가 |

| | | |
|---|---|---|
| 1세부 | ▪ 해양환경 조건에서 콘크리트 함체의 내구성 평가<br>▪ 함체용 친환경 콘크리트 지침안 작성 | ▪ 축소 또는 모듈 Mock-up test 실시<br>▪ 실제 해양환경 조건에서 염화물(염소이온)의 확산 깊이 평가<br>▪ 표면처리(마감)에 따른 염화물 확산속도 평가 및 적정 피복두께 도출<br>▪ 함체용 콘크리트의 재료시공방법 및 재료설계 가이드라인 보고서 작성 |
| | ▪ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발 | ▪ 플로팅 구조물의 열화 및 보수보강에 따른 내구성능 시뮬레이션 기술 개발<br>▪ 온습도 및 탄산화, 염해의 복합작용에 의한 RC조 열화 및 수명예측을 실시 |
| 2세부 | ▪ 상부시설 계획 지침 보완 및 해설서 개발 | ▪ 상부시설 계획 지침 보완<br>▪ 상부시설 계획 지침 해설서 개발 |
| | ▪ 방재 및 피난기준 개선 | ▪ 법제도 개선안 및 새로운 법안 보완<br>▪ 피난 및 방재계획 기준 개선 |
| | ▪ 해수열이용시스템 적용성 및 성능 평가 | ▪ Mock-up을 통한 해수열시스템 적용성 및 성능 평가<br>▪ 수면 반사일사로인한 건물 냉방부하 분석<br>▪ 해수열이용시스템 매뉴얼 수정/보완 |
| | ▪ 플로팅 건축의 풍력시스템 설계 지침 작성 | ▪ 테스트베드 실험 및 피드백을 통한 풍력 시스템 모델 성능 향상<br>▪ 플로팅건축의 풍력 설계지침 작성 |
| | ▪ 플로팅건축의 공간 디자인 마케팅 프로세스 개발 | ▪ 연구결과 종합에 따른 공간 디자인마케팅 프로세스 개발<br>▪ 최근 개발 동향 및 관광 차원에서의 접근<br>▪ 사업화 방안 |
| | ▪ BIM기반 플로팅 건축 설계지침 개발 | ▪ 플로팅 건축 상하부 구조 BIM기반 DB 보완<br>▪ BIM기반 플로팅 건축 설계 지침 개발<br>▪ 플로팅 건축 LCC측면 경제성 분석 |
| | ▪ 플로팅 건축시공의 유해위험방지계획서 작성 | ▪ 각 작업공종별 세분화 및 위험요인 도출<br>▪ 각 작업공종별 위험성 평가(빈도*강도=등급)<br>▪ 위험성평가에 대한 안전대책 제안 |
| | ▪ 에코델타시티 홍보관 설계 보완 (95%) | ▪ 계산서 보완<br>▪ 설계 도면 보완 |

○ 1세부과제

가. 플로팅 구조물 상호작용해석

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 플로팅 구조물 상호작용해석 모형 및 초기 설계식 제안 | ▪ 플로팅 구조시스템의 해석자료 수집<br>▪ 단계별 해석 모형 정립 및 설계 프로세스 개발 |
| 2차년도 | ▪ 상호작용 해석/설계 및 하중의 산정 | ▪ 일체형 함체의 유탄성해석<br>▪ 환경하중의 조사/분석<br>▪ 예제구조물의 콘크리트 함체/계류시스템 설계 |
| 3차년도 | ▪ 상호작용 상세해석에 의한 실구조물 설계기술 | ▪ 상세해석을 통한 일체형/반강접 함체의 해석 및 실험<br>▪ 플로팅건축 구조설계 기준안 작성<br>▪ 하중산정에 따른 유탄성 Response Spectrum해석 |
| 4차년도 | ▪ 플로팅 구조물의 최적화설계기법 | ▪ 시설계의 환경하중 조사/시뮬레이션<br>▪ 시설계의 모형실험<br>▪ 계류장치를 포함한 플로팅 구조물의 해석<br>▪ 반강접 함체 시스템의 최적화 설계기법<br>▪ 콘크리트 함체 설계기준안작성 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅 구조물의 설계기법 제시 | ▪ 플로팅 구조물의 설계 지침 작성 |

○ 플로팅 구조물의 상호작용해석 및 수조실험

– 플로팅 구조물의 해석과 설계에 관한 해외 기준식의 조사 및 정리

– 함체와 구조물의 상호작용에 대한 포괄적 예비해석의 수행

– 일체형/반강접 함체의 유탄성해석

– 엔지니어링 테스트베드 지역의 환경하중 조사 및 파랑하중과 유속하중의 제안

– 플로팅 구조물에 작용하는 풍/조류/파랑 등의 환경하중을 포함한 해석 및 풍력/조류력을 추정할 수 있는 시뮬레이션 수행

– 상부구조조물 및 계류시스템을 포함한 반강접/일체형 함체의 실험 및 해석을 통하여 플로팅 구조물의 응답을 예측

○ 플로팅건축 구조설계 기준안

– 플로팅 구조물에 대한 전반적인 기준안 작성

– 콘크리트 함체 설계 기준안 작성 및 함체의 예비설계와 평가

- 계류시스템의 설계방법론 정립
- 플로팅 건축물의 상부 구조와 하부 함체의 해석과 설계 절차에 대한 사항을 기술

나. 계류시스템 계획 대안 설계

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 3차년도 | ▪ 계류시스템의 종류에 따른 경제성 분석 | ▪ 계류시설형식(강관pile식, seaflex식, chain식)별 특성 및 부유체 설치 계획지점에서의 경제성 비교 |
| 4차년도 | ▪ 계류시스템 상세 설계 | ▪ 시설계 계류시스템 상세 설계 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅 계류시스템 대안제시 | ▪ 계류시스템 지침 작성 |

다. 플로팅 건축 구조 계획 대안 설계

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 3차년도 | ▪ 플로팅 건축 구조해석 설계와 대안분석 | ▪ 플로팅건축 설계시안에 대한 구조해석 및 설계<br>▪ 구조계획의 대안설계와 VE 분석 |
| 4차년도 | ▪ 실제 개발기획안으로 실시설계를 수행하여 상부구조물의 합리적 구조설계를 도모하여 시공의 효율성을 높임 | ▪ 엔지니어링 테스트베드의 시설계와 VE대안설계 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅건축 구조설계 지침개발 | ▪ 플로팅건축의 구조계획 및 설계에 관한 지침개발 |

라. 플로팅구조물의 확률론적 안전성평가 기술개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 확률론적 안전성평가 기술개발에 대한 기반확립 | ▪ 확률론적 안전성평가 관련 국내외 선행연구 조사와 분석<br>▪ 연구개발 대상 플로팅건축의 형식 선정과 구체화<br>▪ 해양 및 플로팅구조물 신뢰성평가 사례 조사 및 분석<br>▪ 플로팅구조물의 신뢰성평가에서 고려해야 할 특성 파악 |
| 2차년도 | ▪ 주요 확률변수 선정 및 통계특성치 결정<br>▪ 확률변수 통계특성치결정 프로그램개발 | ▪ 플로팅건축물 설계 및 환경특성 검토, 분석 및 주요 확률설계변수 선정<br>▪ 확률변수 통계특성치(평균, 표준편차, 확률분포형태) 결정기법 정립<br>▪ 통계특성치 결정 자동화 프로그램 개발 및 통계특성(분포형태와 변동계수) 결정 |
| 3차년도 | ▪ 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석 기법개발 | ▪ 플로팅건축물의 특성을 반영한 신뢰성분석 기법 개발<br>▪ Latin Hypercube sampling, Response surface method와 MCS, FORM의 조합을 통한 효율적 신뢰성분석 기법 개발<br>▪ 예제분석을 통한 개발 알고리즘 정확성 및 경제성 검증 |
| 4차년도 | ▪ 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석 수치해석 도구개발 및 검증 | ▪ 플로팅구조물 확률론적 안전성평가 수치해석도구(컴퓨터 프로그램) 개발<br>▪ 사례분석 통한 개발 수치해석도구 사용성 및 정확성 검증 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅건축 확률론적 안전성평가기법 통합 및 실증연구 적용 | ▪ 개발 알고리즘과 프로그램을 이용하여 플로팅건축물 확률론적 안전성평가기법의 통합<br>▪ 시설계에 적용을 통한 실증연구 |

○ 확률론적 안전성평가에 대한 기반연구

– 확률론적 안전성평가 관련 국내외 선행연구 조사와 분석

– 연구개발 대상 플로팅건축의 형식 선정과 구체화

– 해양 및 플로팅구조물 신뢰성평가 사례 조사 및 분석

– 플로팅구조물의 신뢰성평가에서 고려해야 할 특성 파악

○ 주요 확률변수의 선정 및 통계특성치 결정기법 개발

– 플로팅건축물 설계 및 환경특성 검토, 분석 및 주요 확률설계변수 선정

– 확률변수 통계특성치(평균, 표준편차, 확률분포형태) 결정기법 정립

– 통계특성치 결정 자동화 프로그램 개발 및 통계특성(분포형태와 변동계수) 결정

○ 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석기법 개발

– 플로팅건축물의 특성을 반영한 신뢰성분석 기법 개발

– Latin Hypercube sampling, Response surface method와 MCS, FORM의 조합을 통한 효율적 신뢰성분석 기법 개발

– 예제분석을 통한 개발 알고리즘 정확성 및 경제성 검증

○ 신뢰성분석 기법에 기초한 수치해석도구 개발

– 플로팅구조물 확률론적 안전성평가 수치해석도구(컴퓨터 프로그램) 개발 및 프로그램 등록

– 사례분석 통한 개발 수치해석도구 사용성 및 정확성 검증

○ 개발 안전성평가기법의 실증연구 적용

– 개발 알고리즘과 프로그램들의 결합을 통한 플로팅건축물 신뢰성분석기법의 통합

– 시설계에 적용을 통한 실증연구

마. 플로팅 함체 대안 설계

○ 플로팅 하부 폰툰 구조계산서 작성

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 4차년도 | ▪ 플로팅 건축 구조계획 대안 설계 | ▪ 플로팅 건축물의 구조계산서 작성<br>▪ 플로팅 건축물의 구조도면 작성 |

바. 플로팅 건물의 사용성 평가

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 5차년도 | ▪ 플로팅 건물의 시간이력 해석에 따른 사용성 평가 | ▪ 시간이력 해석을 위한 환경하중 산정은 육지에 인접한 근해를 조건으로 함 |

사. 동요진동 저감기술

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 동요진동 및 제진장치 성능분석 | ▪ 동요 진동모드특성 추정기술<br>▪ 동요진동모드 추정검증실험<br>▪ 플로팅구조물 동요저감장치 조사 및 적용성 분석<br>▪ 동요저감 시스템 유형분석 및 대안제시 |
| 2차년도 | ▪ 제진장치 해석모델 개발 | ▪ 계류-구조물 해석모델 개발<br>▪ 응답기반 플로팅 구조물 해석모델 추정기술 개발<br>▪ 수동형 제진시스템 해석모델링<br>▪ 능동형 제진시스템 해석모델링<br>▪ 계류-구조물-제진시스템 통합모형 개발 |
| 3차년도 | ▪ 플로팅 구조물 동요진동을 위한 제진장치 성능평가 및 최적화 기술 개발 | ▪ 동요진동 제어기술(알고리듬)개발<br>▪ 축소 함체 모형 제작<br>▪ 제진장치 제작 및 장치 성능 검증<br>▪ 최적파라미터 추정 |
| 4차년도 | ▪ 제진장치 실용화 및 시작품 제작 | ▪ 제진시스템 구성요소 기능 및 특성<br>▪ 함체 연계된 제진장치 제어알고리즘 최적화<br>▪ 제진장치 시제품 제작<br>▪ 동요진동저감 성능 실험 |
| 5차년도 | ▪ 동요진동 저감 기술 이전 보급 | ▪ 제진장치 미비점 보완 및 디테일 개발<br>▪ 기술보급 및 교육도구 작성<br>▪ 제진장치 제작 설치 설명서 작성 |

아. 플로팅 구조물 동요진동 평가

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 3차년도 | ▪ 플로팅 함체의 강체 규모 산정 및 동요 진동 평가 | ▪ 플로팅함체 강체규모 및 거동 해석<br>▪ 저진동 초경량 함체 구조시스템 개발<br>▪ 플로팅 함체 2D, 3D 수조실험 진동 계측 |
| 4차년도 | ▪ 저진동 경량폰툰 개발 | ▪ 경량 단위폰툰 개발<br>▪ 플로팅 건축을 위한 확장폰툰 개발 |

자. 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 플로팅 구조물 건전도 평가기술의 이론 정립 | ▪ 플로팅 구조시스템 손상탐지 및 구조계 추정기법을 이용한 건전도 평가기술 이론 정립<br>▪ 수치해석 모델을 통한 이론 검증<br>▪ 검증을 통한 건전도 평가기술의 적용성 검토 |
| 2차년도 | ▪ 플로팅 구조물 축소모형을 통한 건전도 평가기술 검증 | ▪ 플로팅 구조물 축소모형 디자인 및 제작<br>▪ 수조시험 계측 데이터를 바탕으로 축소모형 동적 거동 분석<br>▪ 플로팅 구조물 축소모형의 모의손상을 통한 손상탐지 실시<br>▪ 손상탐지를 통한 건전도 평가기술 검증 |
| 3차년도 | ▪ 실측을 통한 건전도 평가기술 검토 및 검증 | ▪ 기존 플로팅 구조물 수치해석 모델 작성<br>▪ 기존 플로팅 구조물의 가속도 응답 계측<br>▪ 계측 데이터 분석을 통한 구조물의 동적 거동 분석<br>▪ 구조계 추정기법을 통한 플로팅 구조물의 유효 물성치 산정 |
| 4차년도 | ▪ 주기적 실험을 통한 실제 구조물의 건전성 평가 | ▪ 시안설계 플로팅 구조물 자유진동해석(시설계 지원)<br>▪ 전년도 연구결과 검토 및 수치해석 모델 개선<br>▪ 대상 플로팅 구조물 상시진동 실험<br>▪ 측정 가속도 데이터를 이용한 동적 특성 추출<br>▪ 구조계 추정기법을 통해 대상 구조물의 건전도 평가 실시 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 실용성 검토 및 검증 | ▪ 계측된 가속도 응답 값을 이용하여 사용성 평가 기법 적용성 검토<br>▪ 구조계 추정기법 및 손상탐지기법을 통해, 대상 구조물의 건전도 평가 실시<br>▪ 플로팅 구조물의 건전성 평가 지침 개발 |

차. 영상기반 동적 거동모니터링 기술

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 계류시스템 모니터링 기술의 기초 연구 | ▪ mooring 계류시스템 모니터링기술의 개발 및 수리모형 실험 |
| 2차년도 | ▪ 영상기반 동적 거동 모니터링 구축 방안 연구 | ▪ 6DOF 동적 거동 인자 결정 및 영상기반 변위 측정 알고리즘 연구 |
| 3차년도 | ▪ 점기반 동적 거동 모니터링 기술 개발 | ▪ RFID, GPS 등 점기반 변위 측정 기술 분석 |
| 4차년도 | ▪ 영상기반 동적 거동 모니터링 기술의 수리모형 실험 연구 | ▪ 실외 플로팅건축물 동적 거동량 측정 및 분석<br>▪ 영상기반 거동 관측의 실내 수리모형실험 지원 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅 구조물의 위치 변동 측정 적용 | ▪ 동적 거동 측정 소프트웨어의 개선<br>▪ 동적 거동 측정 시스템의 매뉴얼 작성<br>▪ 거동측정 시스템의 테스트베드 적용 |

○ 계류시스템 모니터링 기술

- 플로팅건축 함체의 긴장력 계측을 위한 수리모형 센서 제작
- 계류방식을 선정하고 수리모형 실험을 위한 모델 및 실험모형 제작

○ 단일 및 다중 동영상기반 변위 측정 알고리즘

- 6자유도 동적 거동 인자
- 영상기반 변위 측정 알고리즘 분석

○ 영상기반 동적 거동 모니터링 기술의 실험

- DLT 및 최소제곱동시조정 기반의 표정요소 산출
- 실외 플로팅건축물의 6자유도 측정 실험 및 분석
- 해안항만실험센터에서 부유체 모형의 변위 측정 실험

○ 점기반 변위 측정 기술

- 부유체의 Total Station, GPS, RFID 변위 측정 기술의 분석

○ 거동측정시스템 테스트

- 6자유도 측정 소프트웨어 개발 및 간단 매뉴얼 작성
- 운동중인 부유체를 위한 표정 개선

카. 플로팅 상부 구조물 접합부 해석 및 설계기술

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 상부구조시스템 모듈화 기술 | ▪ 플로팅구조물 함체 연결부 현황사례조사 및 분석<br>▪ 모듈러 구조시스템 적용방안 검토<br>▪ 파랑하중을 고려한 상부구조 해석<br>▪ 상부 모듈러 구조시스템 안전성평가 |
| 2차년도 | ▪ 상부구조와 함체 접합부 기술 | ▪ 상부구조와 함체의 하중전이 분석<br>▪ 플로팅 상하부 접합부 상세해석 및 수직 접합부 설계<br>▪ 모듈러구조와 함체 접합부 개발<br>▪ 수직접합부 설계 |
| 3차년도 | ▪ 상부구조와 함체 접합부 기술 | ▪ 전이보 시스템 접합부 실험<br>▪ 접합부 해석과 비교분석 및 성능평가 |
| 4차년도 | ▪ 시설계의 설계 및 실험 | ▪ 시설계 상부구조물 구조 개념 설계(Schematic Design)<br>▪ 시설계 상하부 접합부 상세해석<br>▪ 상하부 접합부 Mock-up 실험 |
| 5차년도 | ▪ 상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술 | ▪ 상하부 접합부 준정적 재하실험<br>▪ 상부구조 안전성평가지침 개발 |

타. 모듈러 함체 접합부 설계 기술 개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 함체 구조물의 접합부 설계 기술 현황의 상세 분석 | ▪ 플로팅구조물 함체 연결부 현황사례 조사 및 분석<br>▪ 모듈러 구조시스템 적용방안 검토 |
| 2차년도 | ▪ 콘크리트 함체 구조물 연결부의 성능평가 | ▪ 프리패브 모듈러 구조시스템 접합부 거동 연구<br>▪ 접합부의 수치해석을 통한 구조성능 평가 |
| 3차년도 | ▪ 구조성능실험을 통한 접합부의 실제적 성능평가 및 검증 | ▪ 함체 모듈러 접합부 구조성능평가<br>▪ 접합부 구조성능실험 연구 |
| 4차년도 | ▪ 함체 슬래브 구조시스템의 구조성능평가 및 테스트베드 적용성 검토 | ▪ 함체 슬래브 구조시스템 구조성능 실험 연구<br>▪ 함체 슬래브 구조시스템의 구조성능평가<br>▪ 함체 슬래브 구조성능 실험을 통한 테스트 베드의 적용성 분석 |
| 5차년도 | ▪ 콘크리트 함체 구조물 접합 설계기술 적용 | ▪ 함체구조시스템 접합부 설계 가이드라인 제시<br>▪ 용융아연도금철근의 콘크리트 함체 시스템 적용성 평가 |

○ 함체 모듈 구조시스템의 접합부 설계기법 개발

- 모듈 구조를 일체화하는 연결기법 개발
- 프리스트레싱을 모사한 콘크리트 모듈 접합부의 구조성능평가 수행
- 모듈 구조의 설계 기법 개발과 접합부의 강도 평가 기법 제안

○ 구조성능실험을 통한 접합부의 실제 구조물의 성능평가 및 검증

- 함체 슬래브 구조물의 연결기법 확보
- 콘크리트 함체 접합부의 전단강도 평가 제안식 개발

○ 콘크리트 함체 구조물의 안정성 검토 및 설계도면 제작

- 모듈 구조물의 전단 및 휨에 대한 구조 검토 및 안정성 확보
- 모듈 구조물의 프리스트레싱 도입과 전단키를 적용한 함체 설계도면 제작

○ 콘크리트 함체 구조물의 내구성능 보완 및 접합부 지침 제안

- 아연코팅철근을 적용한 휨 성능 및 부착성능 평가 수행
- 콘크리트 함체 모듈 접합부를 설계하기 위한 지침 제안

파. 함체용 친환경 콘크리트 적용기술

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 함체 적용을 위한 지오폴리머 결합재 개발 | ▪ 함체용 지오폴리머 결합재 개발<br>▪ 함체용 지오폴리머 결합재의 역학적 특성 DB 구축<br>▪ 함체용 지오폴리머 결합재의 내구적 특성 DB 구축 |
| 2차년도 | ▪ 함체 적용을 위한 지오폴리머 콘크리트 개발 | ▪ 함체 적용을 위한 지오폴리머 콘크리트 배합기술 구축<br>▪ 변수에 따른 역학적 특성 DB 구축<br>▪ 지오폴리머 콘크리트의 중성화 특성 분석<br>▪ 지오폴리머 콘크리트의 동결융해 저항성 분석<br>▪ 지오폴리머 콘크리트의 염화물 침투 성능 DB 구축 |
| 3차년도 | ▪ 함체용 알칼리 활성 슬래그 콘크리트 배합설계기술 개발 및 역학적 특성 평가 | ▪ 고내구성 확보를 위한 함체용 콘크리트 배합기술 개발(자기충전 콘크리트)<br>▪ 알칼리 활성 슬래그 콘크리트를 함체용 구조부재에 적용하기 위한 역학적 성능 평가 |
| 4차년도 | ▪ 시공조건에 따른 함체용 콘크리트 배합비 개발 및 해양환경조건하 내구성능 확보 | ▪ 현장타설용 자기충전 친환경 콘크리트 배합비 개발<br>▪ 공장생산용 프리캐스트 콘크리트 배합비 개발<br>▪ 내구성능 검증(탄산화, 동결융해 저항성능)<br>▪ 내구성능 개선연구 |
| 5차년도 | ▪ 해양환경 조건에서 콘크리트 함체의 내구성 평가<br>▪ 함체용 친환경 콘크리트 지침안 작성 | ▪ 축소 또는 모듈 Mock-up test 실시<br>▪ 실제 해양환경 조건에서 염화물(염소이온)의 확산 깊이 평가<br>▪ 표면처리(마감)에 따른 염화물 확산속도 평가 및 적정 피복두께 도출<br>▪ 함체용 콘크리트의 재료시공방법 및 재료설계 가이드라인 보고서 작성 |

하. 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축 | ▪ 플로팅 구조물 구성재료의 해양환경인자 침투확산 특성 연구<br>▪ 플로팅 구조물 구성재료의 각종 외부 환경인자 저항성에 관한 물성 DB 구축 |
| 2차년도 | ▪ 그린 콘크리트 배합설계 프로그램 개발 및 함체 구조재료의 열화저항성/열화환경 DB구축 | ▪ 구조재료 구성 배합 변수에 따른 물성변화 평가 (물-결합재비, 단위결합재량, 잔골재율, 양생조건 등)<br>▪ 플로팅구조물 구성재료의 각종 외부 환경인자 저항성에 관한 물성 DB 구축<br>▪ 외부 열화인자의 플로팅 구조재료에 대한 영향도 평가 |
| 3차년도 | ▪ 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가 | ▪ 전기화학적 기법에 준한 전기음극방식 적용성 검토<br>▪ 함수조건의 변화에 따른 전기 음극방식 적용 범위 설정<br>▪ 함수조건의 변화에 따른 전위 분포 해석 모델 개발로 유지비용의 최소화를 꾀함<br>▪ 콘크리트와 지오폴리머에 대한 재료적 특성 비교 분석<br>▪ 전기방식 시험체 제작 및 측정<br>▪ 재료별 전기방식 적합성 평가 및 비교 분석 |
| 4차년도 | ▪ 구조물 보수기술 개발<br>- 열화한 수중구조물 보수 기술<br>- 보수 보강에 따른 성능 변화 시뮬레이션 | ▪ 열화구조물 성능에 준한 보수재료 선정<br>▪ 수중 구조물 보수재료 성능평가<br>▪ 상세설계 시 적용된 친환경 콘크리트의 보수재료의 적용<br>▪ 구조물 보수에 따른 성능변화 예측 시뮬레이션 |
| 5차년도 | ▪ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발 | ▪ 플로팅 구조물의 열화 및 보수보강에 따른 내구성능 시뮬레이션 기술 개발 |

○ 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축

– 플로팅 구조물 구성재료의 해양환경인자 침투확산 특성 연구

– 플로팅 구조물 구성재료의 각종 외부 환경인자 저항성에 관한 물성 DB 구축

○ 그린 콘크리트 배합설계 프로그램 개발 및 함체 구조재료의 열화저항성/열화환경 DB 구축

– 구조재료 구성 배합 변수에 따른 물성변화 평가

(물-결합재비, 단위결합재량, 잔골재율, 양생조건 등)

- 플로팅구조물 구성재료의 각종 외부 환경인자 저항성에 관한 물성 DB 구축
- 외부 열화인자의 플로팅 구조재료에 대한 영향도 평가

○ 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가

- 전기화학적 기법에 준한 전기음극방식 적용성 검토
- 함수조건의 변화에 따른 전기 음극방식 적용 범위 설정
- 함수조건의 변화에 따른 전위 분포 해석 모델 개발로 유지비용의 최소화를 꾀함
- 콘크리트와 지오폴리머에 대한 재료적 특성 비교 분석
- 전기방식 시험체 제작 및 측정
- 재료별 전기방식 적합성 평가 및 비교 분석

○ 구조물 보수기술 개발

- 열화한 수중구조물 보수 기술(철근과 보수재료의 부착특성 평가 및 모델, 시뮬레이션)
- 보수 보강에 따른 성능 변화 시뮬레이션

○ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발

- 온습도 및 염해 중성화의 복합열화를 고려한 플로팅 구조물의 열화 및 보수보강에 따른 내구성능 시뮬레이션 기술 개발

◯ 2세부과제

○ 본 과제는 ‘수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발’ 과제의 세부과제인 ‘플로팅 건축 공간 설계 기술’로 플로팅 건축물에서 하부 부체구조물을 제외한 상부시설물의 생활공간을 연구의 주요 대상으로 함

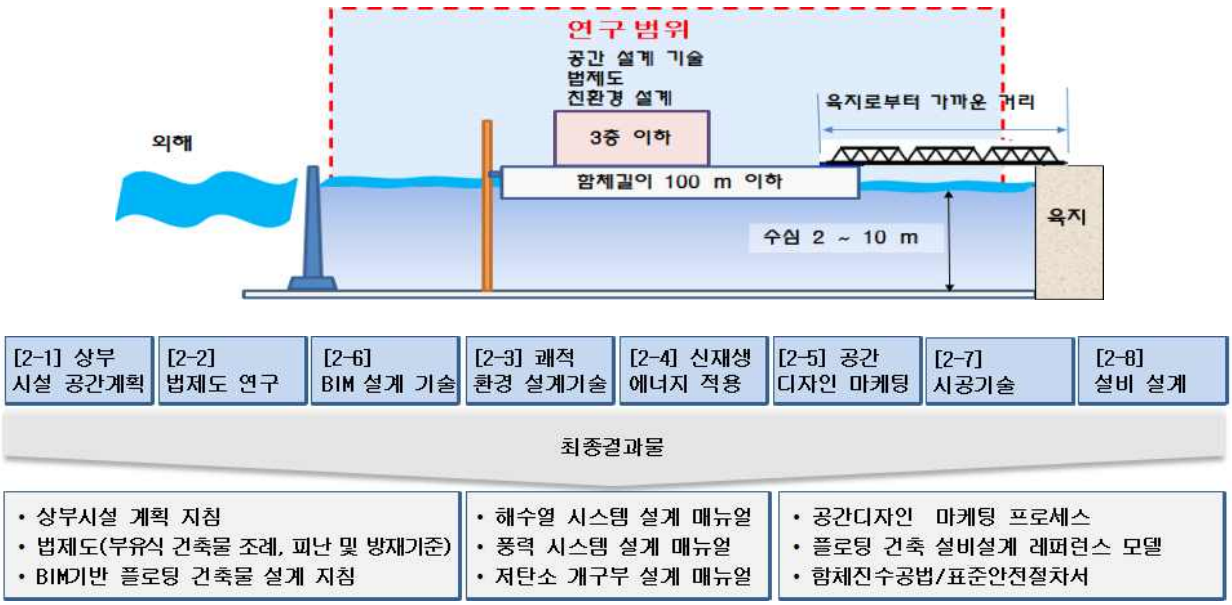
○ 또한 상부시설물 사용자의 안전성, 편리성, 경제성 및 저탄소 배출을 목적으로 하는 실내외공간 계획기술, 법제도 및 방재기준, 쾌적환경 설계기술, 에너지자립 설계기술 개발을 주연구내용으로 함

○ 본 연구의 세부과제는 1) 상부시설 공간계획 기술 개발, 2) 플로팅 건축물 법제도 연구, 3) 플로팅 건축의 쾌적환경 설계기술 개발, 4) 플로팅 건축의 건물일체형 풍력시스템 개발, 5) 플로팅 건축 공간디자인 마케팅기술 개발, 6) 플로팅 건축 BIM설계기술 개발, 7) 플로팅 건축 시공기술, 8) 플로팅 건축 설비 설계 등을 주요 연구 내용으로 함

○ 연구의 주요 대상 및 범위는 다음과 같음

- 수상에 설치되는 플로팅 건축물 중 정온도가 확보된 지정된 수역에 입지하며 육상에서 도교를 통해 직접적으로 연결도어 사용되는 플로팅 건축물

- 길이 100m 이하의 함체에 3층 이하로 설치되는 플로팅 건축물
- 연구의 범위는 ① 상부시설 공간 설계, ② 법제도, ③ 친환경 설계(쾌적환경 및 신재생 에너지 적용), ④ BIM기반 플로팅건축 설계, ⑤ 설계지원(시공기술, 설비서계)




[그림 1-2-1] 연구의 대상 및 범위

가. 상부시설 공간 계획 기술

○ 정주형 플로팅 건축물 상부시설의 공간 계획 기술 개발을 위하여 연차별로 상부시설 계획 지침을 구성하는 세부지침을 개발하고 최종적으로 이를 통합한 플로팅건축 상부시설 통합설계지침과 해설서를 개발함

○ 1차년도 : 정주형 플로팅 건축물 상부시설 공간 계획을 위한 일반 사항 및 플로팅 건축물의 입지와 위치, 조망 등과 관련된 배치 계획 지침, 상부시설의 형태, 규모, 용도 등과 관련된 건축 계획 지침을 개발함

○ 2차년도 : 상부시설 계획에서 모듈러 시스템을 적용하기 위하여 모듈러 시스템의 적용 가능성을 확인하고 플로팅 건축물 상부시설에 적용 가능한 모듈러 시스템 모델과 적용 지침을 개발함

○ 3차년도 : 배치 및 건축 계획 지침과 모듈러 시스템 계획 지침 등을 통합하고, 관련 지침을 참조하여 상부시설 통합 계획 지침을 작성하며, 모듈러 시스템을 적용한 테스트베드 모델을 계획함

○ 4차년도 : 플로팅 주거 단지 계획 및 모듈러 시스템 시공 계획 등과 관련된 지침을 추가 개발하며 모듈러 프로토타입에 대한 설계안을 작성함

○ 5차년도 : 플로팅 건축물 상부시설에 대한 거주 후 평가의 지침을 추가 보완하고 상부시설 계획 지침에 대한 해설서 개발을 통하여 기술의 보급 및 확산을 추진함

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 배치 및 건축계획 지침 개발 | ▪ 공간배치계획지침 개발<br>▪ 공간형태계획지침 개발 |
| 2차년도 | ▪ 모듈러 설계 기술 개발 | ▪ 공간 모듈러 시스템 모델 개발<br>▪ 공간 모듈러 시스템 설계 지침 개발 |
| 3차년도 | ▪ 상부시설 통합화 모델 개발 | ▪ 상부시설 통합 계획 지침 개발<br>▪ 상부시설 통합 설계 모델 개발<br>▪ 테스트베드 상부시설 계획 설계 |
| 4차년도 | ▪ 모듈러 프로토타입 설계 | ▪ 모듈러 프로토타입 설계안 작성<br>▪ 상부시설 계획 지침 개정안 작성 |
| 5차년도 | ▪ 상부시설 계획 지침 보완 및 해설서 개발 | ▪ 상부시설 계획 지침 보완<br>▪ 상부시설 계획 지침 해설서 개발 |

나. 법제도 연구

○ 플로팅 건축물에 대한 법적지위 및 적용되는 법제도가 명확하지 않아 플로팅 건축물을 설계, 조성 및 이용하는데 많은 어려움이 발생하고 있어 플로팅 건축물이 활성화 되는데 많은 제약이 따름

○ 이러한 문제를 해결하기 위하여 플로팅 건축물 법적지위를 명확히 하고, 관련 법제도 정비를 통해 플로팅 건축물 활성화를 위한 사회적 기반을 마련하고자 함

○ 본 연구에서는 플로팅 건축물 적지 선정을 위한 입지선정기준을 개발하고, 국내외 플로팅 건축물 법제도 적용 현황 조사·분석을 바탕으로 국내 현실 및 플로팅 건축물 활용에 적합한 「건축법」 개선안 및 새로운 법안을 제안함

○ 또한 플로팅 건축물을 위한 새로운 법안의 부속 기준으로 피난 및 방재계획 기준을 개발하여 수상에 입지하는 플로팅 건축물 및 이용자의 안전성 확보를 위한 계획 기준을 마련함정주형 플로팅 건축물 상부시설의 공간 계획 기술 개발을 위하여 연차별로 상부시설 계획 지침을 구성하는 세부지침을 개발하고 최종적으로 이를 통합한 플로팅건축 상부시설 통합설계지침과 해설서를 개발함

○ 1차년도 : 플로팅 건축물 설치를 위한 기본조건을 바탕으로 입지평가항목을 도출하고 플로팅 건축물의 입지, 용도, 이용성 등을 고려하여 설치적합성과 이용적합성 평가지침을 바탕으로 플로팅 건축물 최적지 평가기준을 개발함

○ 2차년도 : 국내 플로팅 건축물 법제도 적용 현황을 조사·분석하여 문제점을 도출하고

국외 관렷 법제도 적용 현황을 바탕으로 국내 플로팅 건축물 현실에 적합한 법제도 개선안 및 새로운 법안을 제안

○ 3차년도 : 플로팅 건축물에서 발생가능한 재해를 예측하고, 국내외 건축물, 선박, 플로팅 건축물 등에 적용되는 피난 및 방재관련 기준 검토를 통해 플로팅 건축물 및 이용자의 안전을 확보할 수 있는 피난 및 방재계획 기준을 제안함

○ 4차년도 : 엔지니어링 테스트베드 설계를 통해 현행 법제도 및 제안된 법제도의 적용성을 검토하고 문제점 도출

○ 5차년도 : 제안된 법제도를 보완하여 제안된 법제도의 현장 적용성을 높이고 법제도의 보급 및 확산을 추진함

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 최적지 선정 및 평가지침 개발 | ▪ 최적지 선정기준 개발<br>▪ 최적지 평가지침 개발 |
| 2차년도 | ▪ 법제도 개선안 제안 | ▪ 기존 법제도 개선안<br>▪ 새로운 법제도 제안 |
| 3차년도 | ▪ 방재계획 및 피난기준 개발 | ▪ 상부시설 화재 및 침수 방지계획<br>▪ 상부시설 재해 시 피만 기준 |
| 4차년도 | ▪ 엔지니어링 테스트베드 법제도 검토 | ▪ 새로운 법 적용 검토<br>▪ 현행 법제도 적용 검토 |
| 5차년도 | ▪ 방재 및 피난기준 개선 | ▪ 법제도 개선안 및 새로운 법안 보완<br>▪ 피난 및 방재계획 기준 개선 |

다. 쾌적환경 설계 기술

○ 육상에서의 건축물의 특성과 선박의 특성이 혼재하고 있는 플로팅건축물의 부하계산 기법을 개발하기 위해 실내 및 외기조건, 상당외기온도 및 인접실 온도, 환기량을 육상의 건축물과 선박의 냉난방 부하계산법을 조사 분석하여 플로팅건축물의 부하계산 기법을 개발

○ 구조적으로 수온의 영향을 받기 때문에 이에 의한 영향을 고려할 필요가 있으나 현재 국내에는 플로팅건축의 부하 계산을 위한 수온조건은 설정되어 있지 않으므로 해수온 분석에 대한 연구를 진행, 국내 연안에 대해 관측된 해수온을 토대로 위험률을 고려한 ASHRAE에서 제안한 방법을 채택하여 각각의 지역에 적합한 해수온을 설정하였음

○ 이 연구에서는 플로팅건축용 해수열 이용 시스템을 개발하기 위해, 플로팅건축의 해상 유동 특성을 고려한 이용시스템을 제안하는 것을 목적으로 함

○ 이를 위해 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용해 해수열 이용 열교환기의 열교환 성능을 예측 평가하여 기본 사양을 선정하고, 이를 근거로 실험모형을 제작하며, 계절별 열교환 성능평가를 수행함

○ 궁극적으로 예측평가, 모형개발, 목업개발, 성능평가 과정 중에 취득한 제반 기술을 이용하여 해수열이용시스템 개발 및 적용을 위한 매뉴얼을 개발함

○ 저탄소 개구부 설계를 위한 가장 주요한 조건으로서 개구부의 적정한 크기를 설정해줄 필요가 있으며 이를 위해 개구부의 크기에 따른 심리적 쾌적감과 실내 에너지소비에 대해서 검토함

○ 쾌적성과 부하에 영향을 미치는 개구부의 적정크기와 재료의 환경성능 검토를 바탕으로 개구부 설계 알고리즘을 도출함으로써 플로팅건축물의 저탄소형 창호설계 매뉴얼을 개발함

○ 수상에 위치한 플로팅건축물에 지표면으로 하향하는 일사 외에 넓은 수면에 의해 반사되는 상향 일사와 반사광이 실내 냉방부하에 미치는 영향을 파악하고자 태양고도와 해수면 반사일사량의 관계를 실측을 통해 검토함

○ 케이스 별 시뮬레이션 분석을 통해 일출 이후 냉방 직전까지 입사한 해수면 반사일사량의 누적분이 냉방부하를 가중시키는 것을 확인할 수 있었고 제어기법을 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼에 반영하여 보완하고자 함

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 플로팅건축 부하계산기법 개발 | ▪ 해수열 이용사례 조사 분석<br>▪ 지열 이용사례 조사 분석<br>▪ 플로팅건축의 부하계산 기법 개발 |
| 2차년도 | ▪ 해수열 이용 시스템 제안 | ▪ 해수열 이용시스템 제안<br>▪ 해수열 이용시스템 모형제작<br>▪ 해수열 이용시스템의 하절기 성능실험 |
| 3차년도 | ▪ 해수열 이용 시스템 제안 | ▪ 해수열 이용시스템의 동절기 성능실험<br>▪ 해수열 적용 매뉴얼 개발 |
| 4차년도 | ▪ 저탄소형 개구부 설계 기술 개발 | ▪ 저탄소형 개구부 설계 기술 개발<br>▪ 저탄소형 개구부 재료 선정기술 개발<br>▪ 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼 개발 |
| 5차년도 | ▪ 해수열이용시스템 적용성 및 성능 평가 | ▪ 해수열 이용시스템의 중간기 성능실험<br>▪ 성능예측 기법 개발<br>▪ 수면 반사일사로 인한 건물 냉방부하 분석 |

라. 신재생에너지 적용기술

○ 풍력-기상자원지도에 의하면 내륙보다 해안의 연평균 풍속이 큰 것을 알 수 있음. 내륙의 일부 산악지역에서 풍속이 크나, 해안의 경우보다 그 지역이 제한적임. 풍력을 이용할 수 있는 건물일체형 풍력시스템의 모델링 및 설계 요소의 성능 분석을 통하여 건물일체형 풍력시스템의 적용 기술을 개발하고자 함

○ 1차년도 : 신재생에너지 중의 하나인 풍력 자원에 대하여 수역별로 풍속 빈도와 에너지 밀도를 분석하고, 건물일체형 풍력시스템에 대한 일반 사항을 고찰하며, 집풍효과에 의한 풍속증가를 고려한 건축모델링이론 고찰을 통한 에너지 해석 모델링을 함

○ 2차년도 : 풍속증가를 고려한 양방향 윈드가이드를 모델링하여, 윈드가이드의 설계변수에 따른 수치 해석을 수하고, 또한 디지털 풍동을 제작하여 실험함으로 풍력시스템의 설계요소별 성능 분석을 함

○ 3차년도 : 풍속증가를 고려한 다방향(또는 전방향) 윈드가이드를 모델링하여, 다방향 윈드가이드의 설계변수에 따른 풍동실험을 통하여 풍향변화에 따른 풍력시스템의 성능을 분하고, 주변 장애물에 의한 일영 계산(일영 다각형에 대한 집합 연산 알고리즘) 알고리즘을 개발하여 향후 태양광-풍력 하이브리드 시스템 개발에 필요한 일사량 예측모델을 개발함

○ 4차년도 : 다방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템의 설계변수 및 풍향에 따른 성능 실험 및 분석을 통하여 풍윈드가이드의 출력성능과 항력계수와 관계를 규명하며, 풍력시스템(윈드가이드)의 출력성능 측정 모델 개발함. 또한 엔지니어링 테스트베드를 위한 풍력시스템을 모델링함

○ 5차년도 : 실물 크기의 실험체 설계 및 제작을 하여 출력성능 측정 실험을 하며, 기존의 풍동실험 결과와 비교 분석하여 풍력시스템 모델의 성능을 향상시킴. 또한 양방향/다방향 윈드가이드를 위한 설계 지침을 개발하여 기술확산을 도모함

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 건물일체형풍력시스템 해석 모델 개발 | ▪ 수역별 풍력자원 분석<br>▪ 건물일체형 풍력시스템 해석 모델 개발 |
| 2차년도 | ▪ 건물일체형풍력시스템 개발 | ▪ 풍력시스템 설계요소별 성능분석<br>▪ 건물일체형풍력시스템 설계 지침 분석 |
| 3차년도 | ▪ 하이브리드 에너지 시스템 모델 개발 | ▪ 다방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템 성능 분석<br>▪ 장애물에 의한 음영 및 일사량 분석 모델 개발 |
| 4차년도 | ▪ 엔지니어링 테스트베드를 위한 풍력시스템 모델 설계 및 성능 분석 | ▪ 풍력시스템의 출력 성능 분석<br>▪ 엔지니어링 테스트베드를 위한 풍력시스템 모델 설계 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅 건축의 풍력시스템 설계 지침 작성 | ▪ 테스트베드 실험 및 피드백을 통한 풍력 시스템 모델 성능 향상<br>▪ 플로팅건축의 풍력 설계지침 작성 |

마. 공간디자인 마케팅

○ 1차년도 : 유럽 사례 분석을 통한 수해양문화 프로그램 수용이 가능한 플로팅 건축의 유형화 및 특성 도출

○ 2차년도 : 수해양문화 프로그램 유형화를 바탕으로 한국형 플로팅 마리나클럽의 스페이스프로그램 개발을 위해 수요관련 통계자료 수집 및 분석, 수요자 대상 설문조사 및 분석을 수행하고 스페이스프로그램 기준을 제시함

○ 3차년도 : 공간 디자인마케팅 관점에서 플로팅 건축 디자인 전략

○ 4차년도 : 최적지 선정에 따른 플로팅 마리나클럽의 예시안 설계 및 기술적 지원

○ 5차년도 : 선행된 연구결과를 종합하여 공간 디자인마케팅 프로세스를 개발하였으며 본 프로세스는 최근의 개발 동향과 관광 차원에서 접근하여 사업화 방안을 세움

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 수해양프로그램 유형화 | ▪ 수해양 문화프로그램 분석<br>▪ 수해양 문화프로그램 유형화 |
| 2차년도 | ▪ 수해양 문화프로그램 유형화<br>▪ 공간 수요에 따른 플로팅건축 스페이스프로그램 개발 | ▪ 수해양 문화 프로그램 유형화<br>▪ 최적지 선정에 따른 공간수요 예측<br>▪ 수요관련 통계자료 수집 및 분석<br>▪ 수요자 대상 설문조사 및 분석<br>▪ 스페이스 프로그램 개발 |
| 3차년도 | ▪ 공간 디자인마케팅을 위한 디자인 전략 | ▪ 한국형 마리나클럽 설계안 개발<br>▪ 공간 디자인마케팅 관점에서 플로팅건축 디자인 전략 개발 |
| 4차년도 | ▪ 테스트 베드 설계 지원 | ▪ 연구결과 설계 반영 및 기술적 지원 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅건축의 공간 디자인 마케팅 프로세스 개발 | ▪ 연구결과 종합에 따른 공간 디자인마케팅 프로세스 개발<br>▪ 최근 개발 동향 및 관광 차원에서의 접근<br>▪ 사업화 방안 |

바. BIM 설계 기술

○ BIM기반 플로팅 건축 설계 기술 개발을 위하여 연차별로 BIM 설계 사례를 바탕으로 BIM을 고려한 플로팅 건축물 설계 프로세스 개발, BIM기반 플로팅건축물 정보교환모델 개발 등을 통해 BIM기반 플로팅 건축 설계지침을 제안함

○ 1차년도 : BIM을 이용한 건축설계에 관한 국내외 사례조사 및 국내외 플로팅건축 사례조사, 플로팅건축설계 Flow Chart 작성, 플로팅건축의 기능적 요구사항 분석, 플로팅

건축의 설계단계에서 BIM의 적용을 위한 설계 프로세스를 제안함

○ 2차년도 : BIM기반 플로팅건축설계 템플릿의 대상요소 및 입력사항 분석, 플로팅건축 설계 템플릿의 소요입력정보 작성, 플로팅건축 상하부구조 BIM기반 DB 구축, BIM을 고려한 플로팅건축의 정보교환체계 모델 시각화, BIM을 고려한 플로팅건축 설계프로세스를 개발함

○ 3차년도 : BIM기반 플로팅 건축 설계안 작성을 위하여 새만금 개발청사의 기획안 작성 및 연구관련 DB를 보완하고, 플로팅건축물 설계단계별 프로세스 보완 및 BIM기반 플로팅건축물 정보교환모델을 보완하였음

○ 4차년도 : 플로팅건축의 엔지니어링 테스트베드 BIM 모델 디자인 작성 및 BIM기반 플로팅건축 프로젝트 LOI(Level Of Information) 설정, 플로팅건축 설계 BIM기반 DB 보완, BIM기반 플로팅건축의 설계 프로세스를 수정 및 보완함

○ 5차년도 : TEST 결과 피드백 통한 함체 디자인 및 실시설계 작성을 하고, 플로팅건축 BIM 설계를 위한 DB 수정 및 보완, BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성, 플로팅건축물 건설사업관리 방안 분석, 플로팅 건축물의 LCC 분석 위한 구성항목의 산정, LCC측면 플로팅 건축 경제성 분석을 함

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 플로팅 건축 설계시스템 국내외 사례 조사 | ▪ 플로팅 건축 설계시스템 국내외 사례분석<br>▪ BIM을 고려한 플로팅건축 설계프로세스 개발 |
| 2차년도 | ▪ 플로팅 건축의 소요 기술 정보 DB 개발 | ▪ 플로팅 건축 상하부 구조 BIM기반 DB<br>▪ 플로팅건축의 정보교환체계 모델 개발 |
| 3차년도 | ▪ BIM기반 플로팅 건축 설계 | ▪ BIM기반 플로팅 건축 설계 프로세스 개발<br>▪ Test-bed 설계의 BIM 적용 모델링 작성 |
| 4차년도 | ▪ Test-bed BIM기반 모델링 설계 | ▪ 에코델타시티 플로팅 홍보관 BIM 모델링<br>▪ Mock-up 함체 실시설계안 작성<br>▪ BIM기반 플로팅 건축 설계 프로세스 보완 |
| 5차년도 | ▪ BIM기반 플로팅 건축 설계지침 개발 | ▪ 플로팅 건축 상하부 구조 BIM기반 DB 보완<br>▪ BIM기반 플로팅 건축 설계 지침 개발<br>▪ 플로팅 건축 LCC측면 경제성 분석 |

사. 플로팅건축공사 시공기술

○ 정수역 플로팅 건축공사 주요 시공기술지원을 연구개발을 위하여 연차별로 표준안전작업절차서 및 정수역 함체 진수공법을 개발하고 최종적으로 이를 통합한 플로팅건축 시공기술 지원을 연구개발의 최종 목표로 함

○ 3차년도 : 플로팅 건축 함체 진수공법의 국내외 주요기술 비교 및 함체 진수공법의 요구조건 분석

○ 4차년도 : 정수역 플로팅 함체 진수공법 개발 및 플로팅 건축공사의 표준안전작업절차서 개발

○ 5차년도 : 플로팅 함체 진수공법에 대한 보완사항을 보완하고 플로팅 건축물 시공 플로팅 건축의 특수성을 적용한 ‘플로팅 유해위험방지계획서’, ‘플로팅 건축공사 안전매뉴얼’을 개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 3차년도 | ▪ 플로팅 건축 함체 진수공법 개발 및 적용성 평가 | ▪ 국내외 진수공법의 개요 및 주요기술 비교<br>▪ 플로팅 건축을 위한 함체 진수공법의 요구조건 분석 |
| | ▪ 플로팅 건축공사의 개선대책 수립 및 표준안전작업절차서 개발 | ▪ 플로팅 공사의 표준안전작업절차 분해/결정<br>▪ 각 공종작업별로 안전작업절차 검토 |
| 4차년도 | ▪ 정수역 플로팅 함체 진수공법 개발 | ▪ 정수역의 대지조건과 함체조건에 대응 가능한 플로팅 진수설비 설치 조건 도출<br>▪ 대지 제약에 따른 진수공법 요구조건 도출<br>▪ 함체 조건에 따른 진수공법 요구조건 도출<br>▪ 정수역 플로팅 건축의 함체 진수를 위한 진수공법 개발 |
| | ▪ 플로팅 건축공사의 표준안전작업절차서 개발 | ▪ 각 공종별 고려되어야 할 외부환경 도출<br>▪ 표준안전작업절차서 개발 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅 건축시공의 유해위험방지계획서 작성 | ▪ 각 작업공종별 세분화 및 위험요인 도출<br>▪ 각 작업공종별 위험성 평가(빈도*강도=등급)<br>▪ 위험성평가에 대한 안전대책 제안 |

아. 플로팅건축 설비 설계

○ 국내외 플로팅 건축물의 설비 사례조사를 통하여 에코델타시티 홍보관 설비 시설계를 통하여 플로팅 건축물 설비 참고 매뉴얼을 작성하여 열원설비별 총 생애주기비용 및 1차에너지 소요량을 산출함

○ 4차년도 : 국내외 플로팅 건축물의 설비 사례조사를 통하여 에코델타시티 홍보관의 설

비 계산서 및 도면을 작성함

○ 5차년도 : 에코델타시티 홍보관의 설비 시설계를 보완 후 설비대안별 총 생애주기비용 산출과 1차에너지 소요량을 산출함

| 연 차 | 연구목표 | 주요 연구내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 4차년도 | ▪ 플로팅 건축물 사례 분석 | ▪ 국내외 사례조사를 토대로 설계 시 반영 |
| | ▪ 에코델타시티 홍보관 시설계 (60%) | ▪ 계산서 및 설계 도면 |
| 5차년도 | ▪ 플로팅 건축 설비 참고 메뉴얼 | ▪ 플로팅 건축물의 기본적인 참고 매뉴얼 작성 |
| | ▪ 에너지 편익 분석 | ▪ 열원설비에 따른 총 생애주기비용 산출<br>▪ ECO2 시뮬레이션을 통한 1차에너지 소요량 산출 |
| | ▪ 에코델타시티 홍보관 설계 보완 (95%) | ▪ 계산서 보완<br>▪ 설계 도면 보완 |

# 제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

## 1. 국내기술개발 현황

○ 1세부과제

가. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

- 한국해양연구원 및 관련연구기관이 공동으로 1999년부터 2007년까지 초대형 부유식 구조물 설계와 해석 평가기법 개발 및 시스템 개념설계 연구를 수행하였음
- 대규모 폰툰을 위한 유탄성해석, 부유식 구조물 접합부(함체와 함체)의 형태와 모듈 형상에 따른 거동 및 설계차트 등이 개발이 되었지만 주거 및 상업시설 등 길이 100m이하의 소규모 폰툰에 대한 연구는 미비함
- 중소규모 플로팅건축물에 대한 신뢰성분석이나 확률론적 안전성평가에 선행연구에서 사용한 방법을 직접적으로 단순 적용하는 것은 가능하지 않으며 플로팅건축물의 특징과 국내 해양환경의 특성을 면밀히 고려한 확률론적 안전성평가 기법의 개발 및 절차 확립이 필요한 것으로 판단됨
- 계류시스템과 해상 부유구조물간의 상호작용을 정확하게 파악하는 것이 경제적이며 안전한 계류시스템 설계에 필수 (최항순 등, 2001).
- 계류시스템의 효율적인 적용과 사용을 위해 부유체와 계류시스템의 상호작용에 관한 수치적인 연구들과 실험적 연구들이 진행되었으며, 다양한 계류시스템의 재료개선 및 적용성에 관련된 연구들이 다양하게 진행됨
- 국내의 하부해양구조물에 대한 연구는 진행되었으나 상부건축물이나 상부해양건축물의 설계기법에 대한 연구는 전무하여 해외의 연구 및 기술력에 뒤져있음
- 삼성중공업은 해상 컨테이너 터미널 접안시설을 모사한 콘크리트 부유식 구조물의 설계기술을 개발하여, 거제조선소 해역 내에 콘크리트 부유식 구조물 시험시공을 수행함



[그림 1.3.1] 콘크리트 부유식 구조물 모듈




[그림1.3.2] 실제 해상 실험

○ 충주 탄금호 국제 조정경기장 수상도로 일부구간에 부유식 도로교 구조물을 적용하였음



(a) 시공 전경




(b) 시공후 전경

[그림1.3.3] 충주 탄금호 부유식 교량 구조물

○ 국내에서는 거가대교의 침매터널 시공시에 콘크리트 함체를 적용하였다. 침매터널의 단일함체는 지수재와 전단키만으로 구성된 8개의 세그먼트로 연결된 활절구조이다. 강체연결과는 달리 활절구조로 연결된 침매 함체는 모멘트와 하중의 전달을 차단하여 함체 길이 방향으로 최소 철근량만으로 구조적 안전성을 확보할 수 있도록 계획함

나. 동요저감 기술개발과 모형 실험

○ 고층구조물에 대한 풍진동 저감을 위한 진동제어장치로 동조질량 감쇠기(Tuned mass damper), 능동형 질량감쇠기(Active mass damper)가 국내기술로 제작 적용되고 있음

○ 바람에 의한 교량의 수직진동저감을 위한 제진장치로 TMD가 적용된 사례가 있으며,

슬래브의 진동저감을 위한 소형의 TMD가 적용된 사례가 증가하고 있음

○ 대부분 바람에 의한 진동, 교통하중, 기계설비 또는 거주자의 충격에 의한 진동을 저감하기 위한 제진장치가 적용되고 있으나 파랑하중에 의한 플로팅 구조물의 진동저감을 초기단계임

다. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 구조물의 건전성평가 분야는 최근 센서 등 하드웨어의 급속한 반전과 더불어 손상평가 이론을 결합하여 생긴 새로운 분야로, 현재 국내의 구조물에 대한 계측기술, 모니터링 기법 및 손상평가에 대한 연구는 미흡한 실정임

○ 국내외 플로팅 구조물의 계측분야 연구는 지속적으로 수행되고 있으나, 계측분야의 발전 필요성이 계속 요구되고 있음. 영상기반 계측을 위하여 근거리 사진측량이 많이 활용되고 있으며, 특히 수공간 영역에서의 렌즈 보정도 수행됨.

○ 다중 표적을 이용한 부유식 구조물의 영상 기반 동적 응답 계측 연구가 진행되었으며, 2개 이상의 표적을 사용하고 실험환경에 제약을 받음 (이진학 등, 2012).

○ 한국해양과학기술원의 영상기반 선박자세 측정시스템은 모형선의 6자유도 운동(surge, sway, heave, roll, pitch, yaw)을 실시간으로 계측. 모형선 내에 설치된 계측용 판을 고해상도 카메라를 이용하여 디지털 영상으로 취득하고, 모형선의 자세를 추정함 (윤근항 등, 2014).

○ 시멘트 사용량을 최소로 하거나 전혀 사용하지 않는 친환경 콘크리트 기술개발은 국내 민간기업 및 연구소, 대학의 연구단을 중심으로 활발하게 연구가 진행되고 있음

○ ㈜삼표, 포스코건설, 극동건설, 롯데건설 등을 중심으로 산업부산물인 고로슬래그와 플라이애시를 다량 치환하여, 시멘트의 사용량을 30-50% 수준으로 낮춘 콘크리트 배합기술들의 개발/상용화를 위한 연구를 진행하고 있음

○ 시멘트를 전혀 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트 기술은 전남대를 중심으로 연구가 수행되고 있으며, 실온양생을 위해 주로 고로슬래그를 단독 또는 플라이애시와 혼합하는 결합재 제조기술의 연구를 바탕으로 콘크리트 2차제품 등에 적용한 실적이 있음

○ SCM 시멘트 콘크리트는 조기강도 확보의 문제, 무시멘트 콘크리트는 내구성 문제 등으로 구조체 적용 및 실용화에 어려움을 겪고 있음

○ SCM 시멘트 및 무시멘트 콘크리트의 국내 자기충전기술은 현재 전무하며, 시멘트와 반응 메커니즘이 다르기 때문에 기존 시멘트 기반 콘크리트의 자기충전 기술들을 친환경 콘크리트에 적용하기 위해서는 많은 연구가 필요함

○ 우리나라 정부는 구조물의 내구성 향상을 위하여 '시설물의 안전 및 유리관리 기본계획 3차(2013-2017)'를 수립하고, 시설물 보수·보강 분야에서 융합기술 및 첨단기

술 도입을 통한 첨단 건설재료 개발 및 선진적 유지관리 기술 개발을 강조하고 있음

○ 해안에서의 비래염분 발생량과 내륙에서의 분포상황에 관해서는, 많은 실험적 연구를 국내외에서 실시하여 데이터를 축적하고 있으나 대부분의 기존 연구는 일본에서 개발된 JIS식 또는 토연식 비래염분 포집기에 의존하여 데이터를 획득하여 왔음

○ 그러나 그러한 포집기는 이종석, 최원성의 연구에서 문제점이 제기되었고 그들의 연구에서 JIS식의 포집기는 포집용량이 작으며 토연식 포집기는 포집능력이 떨어진다고 지적하였으며 JIS식 포집기에서 거즈를 여러 겹으로 한  포집기를 개발하여 약 180~250%까지 많은 양의 포집이 가능한 포집기를 개발하였음

○ 해안가에 위치한 구조물에 도달하는 비래염분을 정량적으로 평가하기 위해서는 포집기 자체가 가지는 포집능력과 용량뿐만 아니라, 포집방향에 대한 고려도 동시에 이뤄져야 함

○ 거리에 대한 비래염분량을 도출하고 있지만, 해안가에 위치한 구조물의 경우에는 바닷가를 면하고 있는 방향뿐만 아니라, 측면과 배면에서도 바람이 불며 따라서 비래염분의 영향을 받게 되고 포집기내 거즈에 포집된 비래염분은 배면의 바람에 의해 일탈할 우려도 있으나 이러한 문제점은 아직까지 제기된 적도 없으며 물론 현재까지 고려된 연구도 없는 실정임

○ 철근 부식을 방지하기 위한 방법으로 음극방식기법이 해양구조물에 많이 사용되고 있으며 국내 일부 연구자들에 의한 연구 결과를 살펴보면 음극방식은 피방식체인 철근에 방식전류를 공급함으로써 부식 반응을 억제하는 효과적인 방식법으로 해양구조물은 물론 선박과 항만시설 등까지 널리 적용되고 있음

○ 하지만 해양·항만환경에 대해 여러 방식기법(철근 방청제, 음극방식기법, 피복두께에 의한 방식성능)을 비교 분석하여 음극방식기법이 경계조건에 대한  적절한 연구결과는 아직 미비하며 구축되어 있지 않은 실정임



(a) 해안지역 철근 부식 피해 (b) 철근 부식으로 인한 내구성 저하

[그림 1-3-4] 철근 부식 사례

○ 2세부과제

○ 국토해양부에서는 국토 공간 가운데 해양공간을 효율적이고 친환경적으로 활용하기 위해 1999부터 2008년까지 초대형 부유식 해상구조물의 기술개발 사업을 진행하였음[2)]

○ 한편 2004년 발표된 '해양수산발전기본계획'과 '해양과학기술개발계획'에서는 초대형 부유식 해상구조물을 이용한 해상 산업기지조성기술을 첨단해양과학기술(MT)로 선정하여 지원사업을 추진함

○ 하부구조물에 대한 연구는 진행되었으나 상부건축물이나 상부해양건축물의 설계기법에 대한 국내 연구는 전무하며, 관련 법제도의 정비는 거의 이루어지지 않아 해외의 연구 및 기술력에 뒤져 있음

○ 지금까지 진행되어 온 연구동향을 정리하면 다음과 같음

① 부유식 해양구조물에 대한 연구

- 1994년부터 1996년 까지 3년 동안 울산대학교와 일본 운수성 선박연구소(SRI: Ship Research Institute)가 공동으로 연구함
- 초대형 구조물의 기초 설계 성능 평가 기법의 개발에 관한 연구임
- 1998년~1999년에는 울산대학교 해양공학수조에서 초대형 해상구조물 파랑 중 모형시험을 수행하였음

② 해양공간 이용 대형복합 플랜트 개발[3)]

- 1996~1999년까지 한국기계연구원에서 수행
- 연구목표 : 첫째, 대형부유구조물 설계를 위한 핵심요소기술 개발, 둘째, 해상 바지 담수화 시스템 설계기술 개발, 셋째, 폐기물 해상처리시스템 설계 기술 개발, 넷째, 해양공간 활용방안 수립

③ 초대형 부유식 해상기지 개발

- 1999~2000년까지 2년간 현대중공업(주)와 울산대학교에서 수행
- 하부부유체와 계류시설의 구조배치를 포함하는 설계방법 연구 및 시설계 수행

④ 초대형 부유식 해상구조물 기술개발

- 1999~2007년까지 해양수산부의 지원을 받아 한국해양연구원의 해양시스템안전연구소(KRISO)에서 한국기계연구원(KIMM)과 서울대학교, 홍익대학교, 한국해양대학교를 참여기관으로 하여 공동 연구함

2) 해양수산부, 부유식 초대형 해상구조물 기획연구, p27, 1999. 6
3) 한국해양수산개발원, '부유구조물을 이용한 미래형 컨테이너터미널 개발방향 연구' pp.31-37, 2003

· 연구목표 : 대상구조물 모델선정 및 형상 개념설계 수행, 설계/해석 평가기법 개발 및 시스템 개념설계 수행, 개별 시스템 및 통합 성능평가 수행

· 1단계(1999~2001년) : 초대형 부유식 구조물의 설계, 운용 시 가장 먼저 확보 해야 할 파랑 중 안전성에 초점을 두어 유탄성응답 해석, 돌핀-펜더 계류시스템, 하부 및 상부 구조물의 구조설계 및 안전성 해석 분야를 연구하여 초대형 부유식 해상구조물 설계해석 기반기술을 확보함

· 2단계(2002~2004년) : 1단계에서 개발된 설계 및 해석기술을 기초로 핵심설계기술을 정립하고 이를 이용하여 예시구조물의 설계 성능을 평가함

· 3단계(2005~2007년) : 기 개발한 유탄성응답 해석기술과 설계 기술을 심화하고 방파제 일체형 구조물을 도입함으로써 설계해석 성능을 고도화하였으며 이를 4.5km 규모의 해상공항 설계에 적용함. 또한 해상구조물 설계규정을 개발하여 이를 지침화하고 연구결과의 이해도 제고 및 홍보를 위한 실증구조물 목업을 구축하였으며 3단계의 연구결과를 종합하여 실무 적용이 가능한 설계매뉴얼, 설계해석 통합시스템 등을 개발함으로써 연구결과의 실용화를 위한 토대를 마련함. 아울러 구체적인 시설계 결과 구조물의 형태로서 마리나리조트 및 컨벤션센터(500m×300m), 해상항만 및 컨테이너터미널(1000m×500m), 해상공항 및 복합물류기지(4.5km×1.5km) 등을 제시하였음




(a)마리나리조트 및 컨벤션센터 (b) 해상항만 및 컨테이너터미널

[그림1-3-1] 초대형 부유식 해상구조물 기술개발 연구의 시설계 실증구조물

⑤ 부유식 초대형 해상구조물 기획연구

· 홍익대학교 해양시스템 연구센터에서 주관하고 한국해양수산개발원, 한국해양대학교, 충남대학교가 참여하여 1999년 2월~1999년 6월까지 5개월간 해양수산부의 지원으로 수행함

· 연구목표와 내용 : 부유식 초대형 해상구조물의 개발 필요성 및 타당성 검증과 우리나라 여건에 적합한 해상구조물의 대안을 제시하고, 부유식 초대형 해상구조물 개발에

관한 현 수준의 국내기술 파악, 향후 기술 개발 방향 정립, 체계적인 부유식 해상구조물의 구현 등을 위한 총괄적인 지침을 마련하기 위함. 부유식 초대형 해상구조물의 실현을 위해 경제성, 사회성을 고려하여 사회경제적 타당성을 분석하였으며, 장단점 비교를 통해서 “해양 종합물류기지 개발”과 “초대형 부유식 해상복합기지”의 두 가지 모델을 제시함

⑥ 해상 터미널

- 한국해양수산개발원에서 초대형선의 기항을 위한 물류거점기지의 선점 역할에 대해 연구하였고, 황해권 수송시스템연구센터에서는 조수 간만의 차가 심한 서해안의 환경적 요인을 고려하여 부유구조물을 이용한 터미널에 대한 연구를 제시함

⑦ 모바일하버 사업단

- KAIST 주축으로 2009년 4월 출범
- 해상에 정박 중인 대형 컨테이너선과 수심이 얕은 항구 및 부두를 연결하는 해상 이동형 부유식 하역시설 (항만기능, 단거리 해운기능, 임시 야적기능)
- 대형 부유체로서 함체/계류 설계와 하역작업 관련 기술개발이 중심임
- 2011년 경 실용화시제품(실증실험) 개발 계획 중

⑧ 콘크리트 부유식 해상 인프라건설 기술 개발

- 한국건설기술연구원에서 2010년부터 시작하여 5년 사업으로 현재 진행하고 있는 과제임
- 세계 최고 수준의 고안정성 콘크리트 부유구조체와 이를 기반으로 하는 콘크리트 부유식 해상 인프라 건설기술 개발을 최종목표로 하고 있음
- 주로 콘크리트 함체와 계류시스템에 집중하고 있으며, 함체의 규모와 용도는 LNG 저장고, 폐기물처리시설과 같이 위험하거나 혐오성 시설을 위한 대형 해상 부유구조체 개발을 위한 것임
- 최근에 연구를 시작한 초기 상태로서 현재는 자료조사와 분석 수준임

○ 한편 국내에서는 세계적인 조선산업 기술에 근간을 두고 해양구조물에 대한 여러 기술개발이 시도되고 있으나 주거, 레저, 복합기능 등을 갖는 부유식 건축구조물의 기술 개발은 미흡함

○ 따라서 기술개발이 시작단계에 있는 중소규모의 부유식 건축구조물을 대상으로 한 설계기술 개발 및 관련 법제도 정비를 위한 연구가 필요함

○ 수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발 연구 중 상부시설을 주요 연구 대상으로 하고 있는 ‘플로팅 건축 공간 설계 기술’ 분야에서는 각 분야별 국내기술 동향을 아래와 같이 정리함

가. 상부시설 공간 계획 기술

○ 국내에서 플로팅 건축물의 상부시설 공간 계획과 관련된 체계화된 법규 및 지침의 사례는 없음

○ 유사한 관련 지침으로서 일반적인 건축물에 적용되는 각종 법규 및 지침과 ‘마리나, 항만 및 어항 설계기준’과 ‘부유식 해상 구조물 기준’이 있음

○ 부유식 해상 구조물 기준은 한국 선급(KR)에서 2009년에 발표한 부유식 해상구조물에 대한 기준을 정리한 것으로 [선박안전법] 제2조 제1호 및 제26조부터 28조까지, 같은 법 시행 규칙 제3조 제1호 및 제2호의 규정에 따라 제정된 기준임

○ 마리나, 항만 및 어항 설계기준은 한국 항만 협회에서 2005년에 제시한 항만 및 어항 설계기준으로서 마리나 및 마리나 이용 보트와 관련된 시설에 대한 기술적인 측면에서의 기준임

○ 플로팅 건축물 상부시설에 적용될 수 있는 모듈러 시스템의 경우 국내에서는 학교와 군시설 등에서 점차 그 사용이 확대되는 추세에 있어 이에 대한 기준 및 지침 등이 개발되는 단계에 있음

○ 설계 표준화와 관련된 기준과 도로 관련 법 등이 모듈러 시스템의 계획 및 적용과 부분적으로 관련될 수 있음

나. 법제도 연구

○ 플로팅 건축물 적지 선정을 위한 객관적인 입지평가 기준은 전무한 실정이며, 다만, 「어항 및 항만설계기준」과 같은 항만시설, 해양구조물 관련 기준에서 수역의 사용용도, 구조물 종류 등에 따른 정온도, 수심, 파고, 바람 등 설계에 필요한 요소들을 제시하고 있음

○ 국내의 경우 아직까지 플로팅 건축물의 법적지위가 ‘건축물’인지 ‘선박’인지 명확하지 않아, 입지, 구조형식, 계류방법 등에 따라 법적지위가 달리 해석되어 적용되는 법규가 명확하지 않아 인허가 과정에 많은 어려움이 발생하고 있음

○ 최근 다양한 용도의 플로팅 건축물이 설치되어 사용되고 있지만, 법적지위에 대한 명확한 기준이 없어 각 사례별 각기 다른 법제도를 적용하고 있으며, 일부 사례의 경우 건축물의 용도임에도 불구하고 부동산으로서의 재산가치를 인정받지 못하는 경우가 있어 사업에 많은 제약이 발생함

[표 1.3.1] 사례별 법적용 현황

| 사 례 | 수역 종류 | 법적 지위 | 등 기 | 적용 법률 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 세빛둥둥섬(플로팅 아일랜드)  | 하천 (한강) | 선박 | 선박등기 (동산) | 선박법 | 하부 | 선박법 |
| | | | | | 상부 | 선박법 (건축법 준용) |
| 서울 마리나 클럽하우스  | 하천 (한강) | 건축물 | 건축물 등기 (하부부체 제외) | 건축법 | 하부 | 선박법 준용 |
| | | | | | 상부 | 건축법 |
| 실안 선상카페  | 바다 | 선박 (부선) | 선박등록 (등기 대상 아님) | 선박법 | 하부 | 선박법 |
| | | | | | 상부 | 선박법 (건축법 준용) |
| 제주 마린리조트  | 바다 | 선박 (부선) | 선박등기 | 선박법 | 하부 | 선박법 |
| | | | | | 상부 | 선박법 (건축법 준용) |
| 화진해양펜션  | 바다 | - | 등기 대상 아님 | 수산업법 | - | |

다. 쾌적환경 설계기술

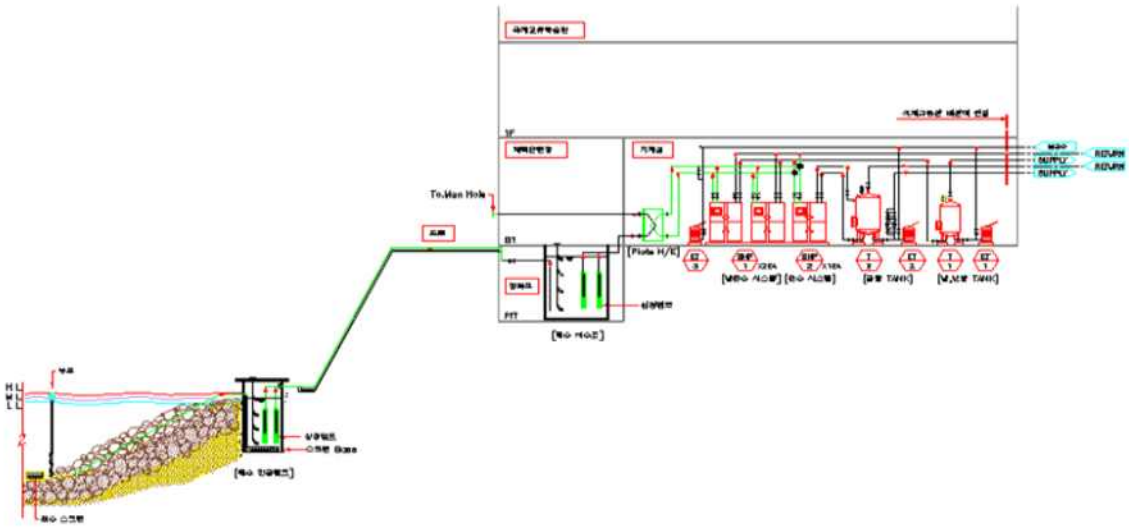
○ 국내에서 해수열을 상용(常用) 냉난방시스템의 열원으로 이용한 사례로는 부산에 위치한 한국해양대학교 국제교류협력관에서 75RT(냉동톤) 용량 규모로 2009년 말부터 운전되고 있는 해수열 이용 시스템이 유일함




[그림 1.3.5] 한국해양대학교 국제교류협력관 조감도와 해수열원히트펌프



[그림 1.3.6] 한국해양대학교 국제교류협력관 해수열시스템의 해수취수지점과 해수진공탱크



[그림 1.3.4] 한국해양대학교 국제교류협력관 해수열시스템의 해수 계통도

○ 국내외에 도입된 해수열 시스템 사례를 분석한 결과, 해수열을 열원으로 하는 히트펌프 방식을 도입한 경우는 해수열 취득을 위한 해수열교환기가 바다 속에 고정되어 있는 형태로 본 과제에서 제안하는 플로팅건축에는 적용할 수 없는 기술임

○ 본 사례의 경우 히트펌프(Heat Pump)를 이용한 Active 적인 방법을 활용하는 사례이며, 이 연구에서 사용하고자 하는 Passive적인 사례는 찾아볼 수 없음

○ 창의 최대면적 제한에 대한 기준으로 '서울시 녹색건축물 설계기준'과 '순천시 저탄소 녹색건축물 설계 가이드라인'이 있음

[표 1.3.2] 창의 최대면적 제한에 관한 기준

| 최대 창 면적기준 | 구분 | | 창면적비 |
|---|---|---|---|
| 서울시 녹색건축물 설계기준 | 주거 | | 벽면율 50% 이상 (창면적비 50% 미만) |
| | 비주거 | | 벽면율 40% 이상 (창면적비 60% 미만) |
| 순천시 저탄소 녹색건축물 설계 가이드라인 | 민간 부문 | 공동주택 | 벽면율 50% 이상 (창면적비 50% 미만) |
| | | 공동주택 외 | |
| | 공공 부문 | 공동주택 | |
| | | 공동주택 외 | |

○ 최소 창 면적기준은 창을 통한 채광 및 환기에 대해서 제한하고 있으며 건물의 바닥면적을 기준으로 창면적을 설정하는데 반해 최대 창 면적기준은 [표 1-3-1]에 나타낸 것과 같이 창을 통한 에너지 소비에 대해서 제한하고 있으며 창이 위치한 벽의 면적을 기준으로 창면적을 설정하고 있음

○ 현재 최대 창 면적기준의 경우 일부 자치단체에서만 시행되고 있는 상태이며 설계 가이드라인으로서 머물러있는 단계라고 할 수 있음

라. 신재생에너지 적용 기술

○ 국내의 풍력활용 현황은 풍자원이 풍부한 해안내륙 또는 해상지역, 섬지역, 산간지역 등이 주 대상지로 되어 왔으며, 대규모 집단화 농장형태의 군락을 이루어 적용되는 형태가 대부분임

○ 지금까지는 kW급에서 MW의 중대형 시스템이 주를 이루고 있음

○ 이러한 대규모 집단화된 풍력 시스템의 형태는 도심 환경에 적합하지 않고, 적정 수준 이상의 풍속이 요구되며, 소음과 경관저해 등의 많은 문제를 야기함

○ 최근에는 kW이하의 마이크로 또는 소형 풍력 터빈시스템의 개발이 급증하고 있는 추세를 이루고 있으며 국내에서는 이를 적용한 건물일체형 풍력발전 시스템에 대한 연구가 부족한 실정

○ 현재 건물일체형 풍력시스템보다는 고층건물의 형상에 의한 주변 유동 특성을 분석하는 것이 연구가 있음

마. 공간디자인마케팅

○ 공간디자인마케팅 차원에서의 접근 전무한 상태

○ 새로운 플로팅건축 창출을 위한 다양한 이해관계자의 참여와 마케팅 커뮤니케이션에 대한 이해 필요

○ 효과를 예측하고 전략 개발에 대한 현실적 요구 증대

바. BIM 설계 기술

○ 한국 BIM 학회가 창립(2010.11)되는 등 BIM기반 설계기술 개발에 대한 학계 및 업체들의 관심은 높으나 여전히 도입속도에는 경직성이 있음

○ 최근 BIM기술 세미나에서는 과거 세션들이 'WHY'에 치중되어 있었다면, 현재는 'HOW'로 급속히 변화중이며 이것은 BIM의 산업전반으로의 확대로 해석할 수 있음.

○ 조달청은 2011년부터 500억이상의 기술형입찰공사 발주 시 BIM설계 적용의 의무화로 관련업계의 관심을 받고 있으며, 민간부분 BIM인프라 조성 촉진을 위해 이후 2013년부터는 500억원 이상 모든 건축공사로 확대하고, 2016년부터는 모든 맞춤형서비스 대상 공사에 적용한다는 중장기 추진계획을 발표하였음.

○ 또한 조달청은 BIM 적용 확대에 대비하여 '조달청 BIM 발주지침서' 및 '관리감독 매뉴얼' 개선과 BIM 발주관리 전문성 향상을 위한 교육자료 개발 등 지속적으로 BIM 적용 확대를 위한 지속적인 사업 추진

○ 최근 「마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률」등에 의해 친수공간 및 연안을 이용한 해양건축에 대한 관심과 수요는 꾸준히 늘고 있음

○ 플로팅건축 분야에서는 BIM적용 프로젝트는 현재로는 전무한 실정이나, BIM의 활용도의 증가와 함께 점차 적용이 확대될 것이라 사료됨

사. 플로팅건축공사 주요 시공기술

○ 국내에서 정수역의 함체진수 공법에 관련된 체계적인 진수공법의 사례는 없음

○ 마리나 리조트의 경우 수상에 완전히 부유한 플로팅 건축이 아니며 당항포 부방파제와 함께 해역으로 분류

○ 조선의 진수공법 사례로는 국내 1~2위를 다투는 S중공업과 H중공업에서 주로 사용하

는 진수공법이 있음

○ 조선 진수공법과 플로팅 진수공법의 특성 비교를 위한 진수공법 선정

○ 국내 대표적인 플로팅 건축인 플로팅 아일랜드의 진수공법의 경우 정수역으로 분류되는 한강에 진수시켜 정수역 진수공법 개발에 적합한 사례

○ 플로팅 건축의 진수공법 적용 사례와 조선의 사례 비교 시 차이점은 설치 형식과 함체 및 선박의 안정성으로 나타나지만, 플로팅 진수공법의 개발을 위하여 조선 공법과는 우선순위를 다르게 나타나며, 정수역의 진수공법에 대하여 부분적으로 관련될 수 있음

○ 같은 용도의 공법이라도 적용대지, 설치형식, 함체 선박 크기 등의 요소에 따라 다른 조건이 존재하며 시공성이 뛰어난 공법이라도 진수설비 설치가 어렵다면 적용이 불가함

아. 플로팅건축 설비 설계

○ 국내외 플로팅 건축물 설비 시스템의 사례 조사 후 이를 토대로 각 설비 시스템 차이점을 분석하였음

○ 국내 플로팅 건축물 설비는 「부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」과 「건축법」, 「선박법」등을 적용하고 있어서 관련 기관 및 담당자에 따라 법적 지위를 달리 해석 할 시 적용 기준이 달라짐에 따라 설계 시 혼선이 있어 일정한 기준으로 설계하기 어려움이 있음

○ 국외의 플로팅 건축물 설비 시스템의 경우 주거 목적만으로 설계가 진행되지 않으며, 환경적, 사회적 지속가능성을 바탕으로 설계가 진행되고 있음

○ 국내의 대표적인 플로팅 건축물은 서초구의 세빛둥둥섬(플로팅 아일랜드), 여의도의 서울마리나 등이 있으며, 건축물의 용도는 근린생활시설 및 문화 집회시설로 사용되고 있음

○ 세빛둥둥섬 설비시스템의 경우 전력을 주에너지원으로 계획하였으며, 설치위치의 특수성을 고려하여 장비의 하중, 운전의 안전성, 유용성을 고려한 직팽식 공기조화기와 시스템에어컨으로 냉난방을 계획함

○ 급수계획은 급수가압펌프와 시직수를 병행 사용하여 상호 Back-up 시스템을 도입하여 비상시 시직수를 이용하는 방식이며, 중수도 시설을 이용하여 화장실 세정용수로 활용됨

○ 급수가압펌프, 승강기, 정화조, 비상조명, 소화펌프 등은 400kW 발전기 1대로 담당하였음

○ 세빛둥둥섬(플로팅 아일랜드)의 경우 설계부터 검사까지 전공정에 거쳐 『선박법』에 의해 설계가 진행됨[4)]

○ 국내 플로팅 건축 설비의 경우 신재생에너지 사용이 극히 적음

4) 대우건설, FLOATING ISLAND, 2012. 11

[표 1.3.3] 한강 세빛둥둥섬(플로팅 아일랜드) 설비시스템 개요

| 구 분 | | 적 용 | 용 량 | 대 수 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기계 | 직팽식 공기조화기 | 1섬 | 730,003 kcal/h | 6 | 외주부 및 고용부 |
| | | 2섬 | 488,060 kcal/h | 1 | |
| | | 3섬 | 126,291 kcal/h | 10 | |
| | 시스템 에어컨 | 1섬 | 524,720 kcal/h | 11 | 전용부 (식당, 소매점 등) |
| | | 2섬 | 164,500 kcal/h | 4 | |
| | | 3섬 | 163,300 kcal/h | 4 | |
| | 급수설비 | 급수용 | 341LPM×2 | 1SET | |
| | | 중수용 | 81LPM×2 | 1SET | |
| | | 저수조 | 185 TON | 1 | 재질 STS |
| | 급탕설비 | 1섬 | 100,000 kcal/h | 1 | 무압관수식 |
| | | 3섬 | 500,000 kcal/h | 1 | |
| | 오배수설비 | 정화조 | 300㎥/day | 1 | BOD 3PPM 이하<br>T-P 0.1PPM 이하 |
| 전기 | 변압기 | 수전용 | 4,500 KVA | 3 | |
| | 발전기 | 선박용 | 400 kW | 1 | |

○ 기계설비 중 열원계획은 전력을 주에너지원으로 계획하였으며, 설치위치의 특수성을 고려하여 장비의 하중, 운전의 안전성, 유용성 등을 고려한 직팽식 공기조화기와 시스템 에어컨으로 계획되었음

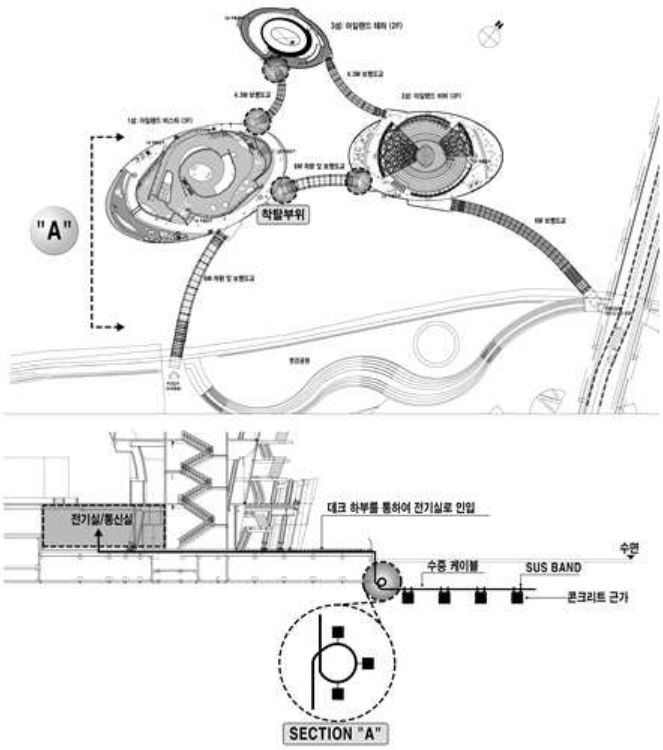
○ 급수계획은 급수가압펌프와 시직수를 병행 사용하여 상호 Back-up 시스템을 도입하여 비상시 시직수를 이용하는 방식이며, 중수도 시설을 이용하여 화장실 세정용수로 활용되었음

○ 급탕설비는 1섬, 3섬 급탕용으로 무압관수식 보일러를 사용하고 간이 화장실 급탕용은 전기 순간온수기를 이용하였음

○ 급수가압펌프, 승강기, 정화조, 비상조명, 소화펌프등은 400kW 발전기 1대로 담당하였음

○ 소방설비는 소방법규를 준수한 소화기구, 스프링클러설비, 옥내소화전, 상수도 소화용수설비, 피난기구를 적용하여 화재 및 피난/탈출에 원활한 계획이 이루어졌음

○ 전기/통신설비로는 한전 개폐기에서 22.9kV로 전기실까지 지중 및 수중인입하였으며, 변압기는 1,500kVA 3대를 설치하여 모든 전력기기를 담당하였으며, 전기설비 인입도는 [그림 1-3-5]와 같음




[그림 1.3.8] 전기설비 인입도

○ [표 1.3.4]는 법규검토를 통한 한강 플로팅아일랜드 소방설비가 적용된 항목임

[표 1.3.4] 한강 플로팅아일랜드 소방설비

| 대지현황 | 구 분 | 소방법규내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전 층 | 소화기구 | 연면적 33㎡ 이상인 건축물 | |
| 전 층 | 스프링클러설비 | 근린생활시설로서 연면적 1,000㎡ 이상인 것 | |
| 전 층 | 옥내소화전설비 | 연면적 3,000㎡ 이상인 건축물 | |
| 소방차가 진입 용이한 장소 | 상수도 소화용수설비 | 연면적 5,000㎡ 이상인 건축물 | |
| 전 층 | 피난기구 | 피난층, 2층을 제외한 전층에 설치 | |

○ 한강 플로팅 아일랜드의 경우 설계부터 검사까지 전공정에 거쳐 「선박법」에 의해 설계가 진행되었음[5)]

5) 대우건설, FLOATING ISLAND, 2012. 11

## 2. 국외기술개발 현황

○ 1세부과제

가. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

- 해상공항, 부유식 항만, LNG 플랜트 등 광범위한 연구가 수행이 되었으나 대규모의 부유식 해상구조물이 주를 이루고 있음
- 부유식 함체를 해석하기 위한 방법으로 함체와 접합부 결합방식을 Rigid 및 Flexible로 각각 나누어서 함체의 응답을 예측하는 기법들이 개발됨
- 국외에서는 상부구조물이 제외한 폰툰 및 기타 풍력발전소에 대하여 연구사례가 있으나, 이는 매우 극한 환경에 대한 연구범위에 해당함
- 천해파에 대한 플로팅 건물을 포함한 풍 · 파랑하중에 의한 거동영향 연구 사례는 없음
- 일본의 경우, 부유식 인공기반과 상재건축물의 일체해석에 의한 동적응답특성을 분석하고 동요지각에 관한 앙케이트 조사 및 동요계측에 의해서 거주성 평가기준을 제안함
- 아래와 같이 2002년과 2003년에 일부 연구자들에 의해 플로팅구조물의 피로에 대한 신뢰성평가 적용과 선박형식의 FPSO의 신뢰성기반 설계와 관련된 내용의 연구를 수행하였음

  – Y. Garbatov & C.G. Soares (2002) "Bayesian Updating in the Reliability Assessment of Maintained Floating Structures" – fatigue reliability of a ship type floating structure

  – H-H Sun & C.G. Soares (2003) "Reliability-based Structural Design of Ship-Type FPSO Units" – Hull girder, stiffened panel or web frames, unstiffened plates between stiffeners

- 중소규모 플로팅건축물에 대한 신뢰성분석이나 확률론적 안전성평가에 선행연구에서 사용한 방법을 직접적으로 단순 적용하는 것은 가능하지 않으며 플로팅건축물의 특징과 국내 해양환경의 특성을 면밀히 고려한 확률론적 안전성평가 기법의 개발 및 절차 확립이 필요한 것으로 판단
- 일본의 초대형 함체식 해양구조물 연구는 1995년에서 1997년까지 수행되었으며, 메가플로트 구조물의 설계·시공을 위해 가이드라인을 작성하였으며, 사용재료, 설계하중, 상부구조체, 접근설비, 재해방지기법, 건설품질관리, 유지관리 및 점검, 안전도 평가 등 전반적인 내용을 포함하고 있음
- 또한, 일본건축학회에 의해 고정식 및 부유식 해양건축물의 구조설계지침이 제안되어 있으며, 일본건축센터에서는 해양건축안전성 평가지침을 제안하고, 구조설계 및 안정성 평가에 관한 기술력을 갖고 있음

○ 모듈러시스템은 미국, 일본 등 국외에서는 주로 저층 주택용으로 사용되고 있으며, 국내에서는 2003년 서울 신기초등학교를 시작으로 군대 막사 등에 사용되고 있으나 대형구조물이나 고층건물까지는 보편화 되지 않았음

○ 모듈러시스템 및 접합부의 상세해석에 관한 연구사례 및 사용사례는 많이 있으나, 아직까지 플로팅건축물을 실현하기 위한 기술적 검토는 필요하다고 판단되므로 세계적 기술 수준은 아직 기업화단계에 있다고 사료됨

○ 미 해군에서는 군함용 선박을 접안하기 위한 접안시설을 콘크리트 부유체 구조물로써 MHP(modular hybrid pier)를 적용한 바 있음

○ MHP는 콘크리트 구조물 내부에 시설물을 설치할 수 있도록 격벽 구조물로 시공되었다. 콘크리트 함체는 상부슬래브, 하부슬래브, 내부 벽체 및 외부 벽체로 구성되어 있다. 또한 MHP의 각 콘크리트 부재는 모듈로 시공함

○ 각 모듈에는 프리스트레스트 콘크리트로 시공되어 포스트텐셔닝을 도입하였다. 벽체 콘크리트 모듈과 슬래브 콘크리트 모듈 연결부는 구조적 일체화를 도모하기 위하여 U형 철근을 적용함




[그림 1-3-5] MHP 콘크리트 함체 모듈 시공 현황

나. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ 국외 또한 바람에 의한 고층, 장대교량에 대한 진동을 저감하기 위한 수동, 능동형 제진장치가 대부분 적용되고 있고 이에 대한 연구가 성숙단계에 이르고 있음

○ 파랑하중에 대한 플로팅 구조물의 진동제어는 함체설계, 부가 함체의 적용을 통한 수동

적인 방법이 사용되고 있으며, 능동형 타입의 진동제어장치 적용은 시작 단계임

다. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 호주 및 유럽을 중심으로 슬래그를 다량 치환한 친환경 콘크리트의 실용화를 위한 연구가 활발하게 진행되고 있음

○ 슬래그를 다량 치환한 콘크리트의 문제점인 조기강도 저하, 낮은 탄산화 저항성능, 높은 수축률 등의 문제 해결을 위해 알칼리 자극제, 메타카올린, ZrO2와 같은 재료를 사용하여 문제해결 가능성을 제시함

○ Huang, Snoeck 외 다수의 연구자들은 고로슬래그를 대량 치환한 친환경 콘크리트에 자기치유 효과를 나타내게 하기 위해 SAP, 포화 수산화칼슘 수용액, 마이크로 섬유 등을 사용하였음

○ 유럽에서는 노르웨이 및 스웨덴을 중심으로 콘크리트 내에 흡수되는 CO2의 정량 평가를 위한 연구를 통하여 대기환경의 CO2를 저감하는 기초적 연구를 수행하고 있음

○ 전 세계적으로 콘크리트 내에 침투하는 유해이온을 고정화하여 내구성을 향상시키는 연구는 거의 없음

○ 일본을 중심으로 비래염분 포집에 대한 연구가 활발히 진행되어 국내에서도 일본의 연구결과를 다수 인용하여 사용하고 있는 실정임



(a) JIS style (b) Toyun style

[그림 1-3-6] 기존의 비래염분 포집기

○ 전기방식의 경우 해양구조물 특히 조선, 지하구조물에 들에 많이 연구 적용되어 왔으나 콘크리트를 대상으로 한 철근 방식에 대한 연구는 일부 실험실 수준에서의 연구결과에

머문 실정임

○ 미국, 캐나다, 유럽, 일본 등에서 건전도 평가기술에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며 구조물의 동적특성 변화를 이용한 구조계 추정기법, 손상평가기법이 수 년 간 다양하게 개발되어 있으나 아직 플로팅 구조물에 대한 연구는 미비함

○ 플로팅 건축물을 최적으로 시공하고 설계하기 위해서는 안전성과 적합성의 검토가 필요. 범용 수치해석 프로그램을 이용한 방법과 실제 구조물과 가장 유사한 축소 모형을 제작하여 수리모형 실험을 수행하여 검토하는 방법을 주로 사용 (Fouert 등, 2007; Ohkusu & Namba, 2004; Vugts, 1970)

○ 해양시뮬레이션센터에서 플로팅 구조물의 영상기반 계측을 위하여 PIV 시스템이 사용되고 있으며, 실험 관측의 지속적으로 필요하여 현재 기술의 한계상 영상 해상도가 제한적이며 고가임. 입체 PIV는 2개의 카메라를 이용하여 3개의 속도성분 관측. Time resolved PIV는 CMOS 카메라 기술을 이용하여 높은 프레임수로 고해상도 영상의 시계열 영상 취득

○ 지상공간에서 입체영상으로부터 3차원 위치정보를 추출할 뿐만 아니라, 단일 센서 동영상으로부터 렌즈 보정 및 3차원 위치정보를 얻는 연구가 활발히 진행되고 있음.

○ Krypton Industrial Metrology는 LED 센서를 사용하여 3개의 CCD가 탑재된 카메라로부터 물체의 좌표계를 측정한 후 물체의 운동량을 6자유도로 나타내는 비접촉식 운동계측기 개발

◯ 2세부과제

○ 플로팅건축에 대한 국외기술동향을 보면 육상공간의 부족을 해결하기 위하여 플로팅건축을 이용하여 해양 및 하천공간을 적극적으로 활용하고 있음

○ 또한 미래지향적인 신개념의 친수성 친환경 플로팅건축물의 설계를 하여 설계 작품을 홍보하고 있으며, 미국과 유럽에서는 친환경적 요소기술을 구비한 주문형 플로팅 건축물을 제작하고 시공하는 회사가 등장하고 있음

○ 그러나 소규모의 플로팅건축 사례는 많이 있으나 중규모 이상의 플로팅건축은 아직 계획 또는 설계안이 있는 상태로 이들을 실현하기 위해서는 기술적 검토가 필요하다고 판단되므로 세계적 기술 수준은 아직 기업화단계에 있다고 사료됨

(1) 일본 기술동향

○ 해양환경의 극대이용을 추구하면서 해양도시라는 뜻의 마리노폴리스(Marinopolis) 건설계획이 추진 됨

○ 실제로 일본의 연안역 이용에 관한 다양한 구상들은 1980년도 이후 고베와 오사카

등에서 지역별로 추진되었으며, 일본의 경제대국화에 따른 내륙공간의 과밀화를 해소하고 늘어나는 공간수요를 이용해 보고자 하는 의도에서 출발



[그림 1.3.11] 일본의 부유구조물 계획(안)

○ 1995년에 신일본제철 등 철강회사 4개사와 미쓰비시 중공업 등 조선사 13개사를 주축으로 한 메가플로트 기술연구조합(Technical Research Association of Megafloat)을 조직하여 1995년부터 체계적인 연구를 시작

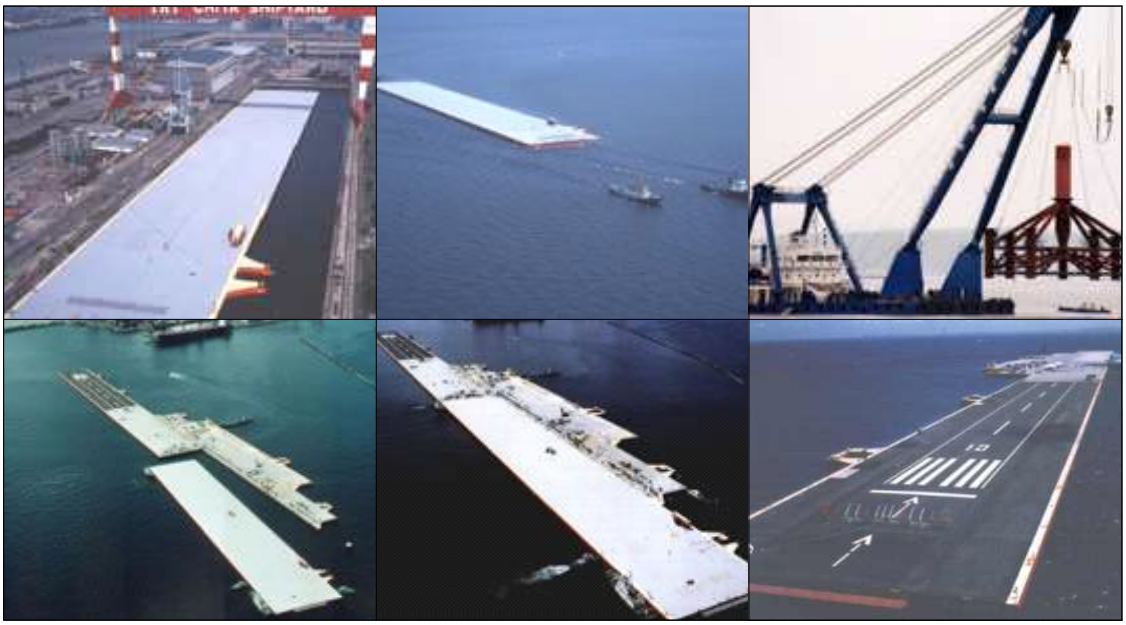
○ 부유식 구조물의 설계 및 시공 시에 철강재를 이용한 부유 구조물의 다각화를 도모하고 있음

○ 해상공항 등 다양한 부유구조물의 기술개발을 주도하였으나, 태생적으로 철강재료 구조에 치중하여, 콘크리트 부유구조체에 대한 연구는 미미한 상태임

○ 일본의 초대형 함체식 해양구조물 연구는 1995년에서 1997년까지 수행되었으며, 함체설계기술, 해상시공기술, 장기내용(耐用)기술, 상재시설 기능 보증기술, 환경영향평가기술에 대한 이론 및 실증실험에 대한 연구를 중점적으로 진행하였음

○ 1998에서 2000년까지 해상공항을 목표로 한 제2기 실증실험을 추진하여 실증 구조물을 완공하는 등의 본격적인 해양 부유 구조물 기술을 축적하고 있음[6)]

6) http://www.srcj.or.jp/html/megafloat_en/index.html



[그림 1.3.12] Mega-Float phase II Structure of Yokosuka

○ 메가플로트 구조물의 설계·시공을 위한 가이드라인을 작성하였으며, 사용재료, 설계하중, 상부구조체, 접근설비, 재해방지기법, 건설품질관리, 유지관리 및 점검, 안전도 평가 등 전반적인 내용을 포함하고 있음

○ 또한, 일본건축학회에 의해 고정식 및 부유식 해양건축물의 구조설계지침이 제안되어 있으며, 일본건축센터에서는 해양건축안전성 평가지침을 제안하고, 구조설계 및 안정성 평가에 관한 기술력을 갖고 있음

○ 이와 같이 메가플로트에 대한 실증실험을 포함한 장기적인 연구를 통하여 대형함체 구조에 대한 기술력을 상당히 축적한 상태이며, 또한 상부건축물에 대한 기술도 일본에 집중되어 있음

○ 한편, 하부구조물에 대한 연구는 심도 있게 진행시켜왔지만 상부건축물을 포함한 전체적인 연구는 진행단계이며, 상부건축물에 대한 연구를 집중적으로 추진하려 하고 있음.

○ 특히, 하부함체설계와 상호연관성을 가지는 상부건축물의 거주성평가 및 동요제어기술에 대한 연구를 가장 심도 있게 추진하려고 함

(2) 미국 기술동향

○ 미국은 정부산하의 ONR(Office of Naval Research)주도로 1997년부터 이동식해상기지(MOB ; Mobile Offshore Base) 설계개발을 위한 기술 검토작업에 본격 착수하였으며, 여러 개의 모듈을 접합하는 부유 구조물 시안 개발



[그림 1.3.13] Mobile Offshore Base : Battle Island

○ 연구개발에는 미국방성, 미해군연구소, Brwon & Root, Aker, Bectel, McDermont, Kvaerner 등이 참여함

○ 항공기의 이착륙이 가능한 길이 2km의 다양한 모듈을 유사 시 해상에서 접합할 수 있고, 40년 이상의 수명, 넓은 저장시설과 숙소, 이동성, 다양한 대양/대공 서비스 등의 기능을 갖춘 플로팅 구조물 구상

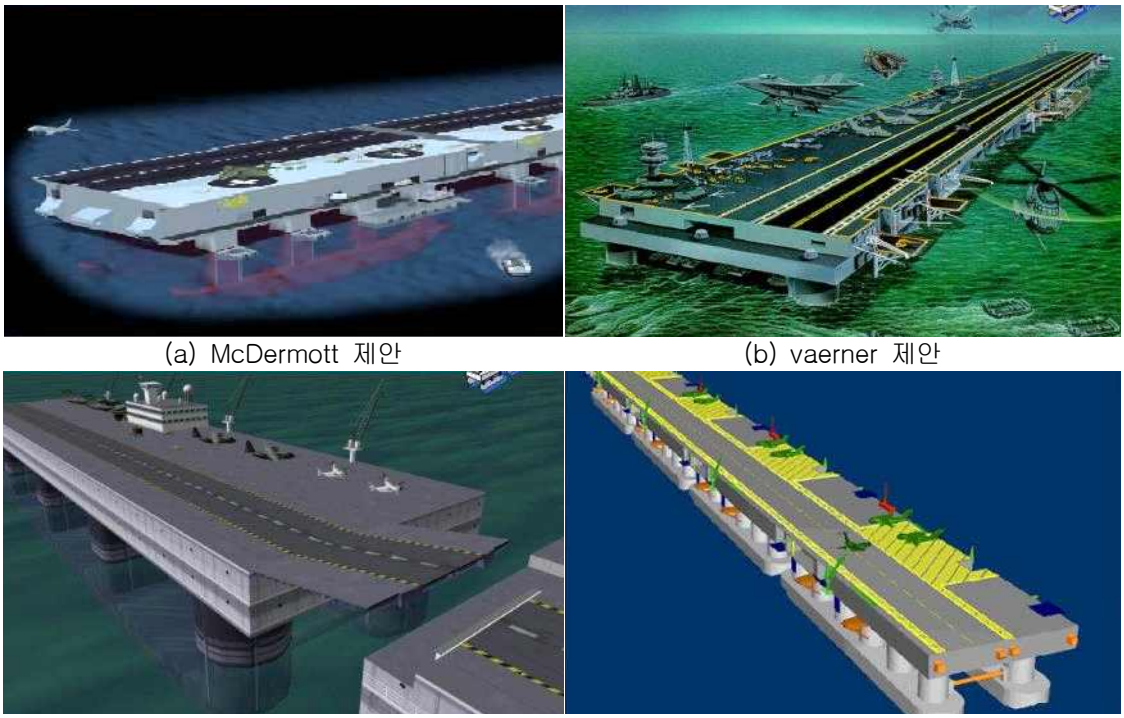
○ MOB는 재료 및 시공 측면에서 콘크리트 부유 본체(concrete hull)와 강재 상판을 조합하는 하이브리드(hybrid) 개념에 근간을 두고 있음

- 콘크리트 부유체에 경량콘크리트 적용
- 강재 상판은 콘크리트보다 가벼우므로 정수 안정성 측면에서 유리
- 여러 개의 모듈을 제작한 후 전체구조물 완성

○ 모듈개념 뿐만 아니라, 일체식 개념으로써, 부유체를 하나의 콘크리트 함체로 제작하고, 상판은 강재 캔틸레버 구조 형태로 연결하는 개념의 하이브리드 개념을 적용하기도 함

[표 1.3.5] 회사별 MOB 제안 유형

| MOB 종류 | 관련회사 |
|---|---|
| 힌지형 반잠수식 모듈 (Hinged Semisubmersible Modules) | McDermott |
| 유동성 교량 연결 반잠수식 모듈<br>(Semisubmersible Modules with Flexible Bridges) | Kvaerner |
| 독립적 반잠수식 모듈<br>(Independent Semisubmersible Modules) | Bechtel |
| 콘크리트/강재 복합 반잠수식 모듈<br>(Concrete/Steel Semisubmersible Modules) | Aker Norwegian |



(a) McDermott 제안 (b) vaerner 제안

(c) Bechtel 제안 (d) Aker Norwegian 제안

[그림 1.3.14 MOB 개발 관련 회사에서 제안한 개념도

○ MOB외에도 미국의 NU Flotilla사는 SeaKeep 이라는 제품명을 사용하여 30m의 깊은 바다에서도 요동하지 않는 플로팅건축을 제안하고 있으며, 그 외에도 다양한 형태의 플로팅 건축물을 제안하고 있음




[그림 1.3.15] 미국 NU Flotilla사의 SeaKeep

(3) 유럽 기술동향

○ AquaBase construction(영국)

- AquaBase : 플로팅주택, 플로팅피어, 마리나 등을 지지하는 콘크리트 폰툰구조물을 설계하고 시공하는 영국회사



[그림 1.3.16] 탬즈강에 위치한 플로팅홈(침실 5개)



[그림 1.3.17] 시공 중인 콘크리트 폰툰



[그림 1.3.18] 상부구조물 시공

○ Aquadomi(덴마크)

- 덴마크의 Aquadomi 회사는 2003년부터 미래형 하우스보트(houseboat)를 건설하고 있으며, 보트주택은 형태가 유연하며, 모듈화된 콘크리트 폰툰을 사용하여 플로팅건축에 대한 기술력을 바탕으로, 다양한 종류의 플로팅건축물을 주택 구매자의 요구에 맞추어 설계에서 시공까지 하고 있음
- 폰툰은 Danish Maritime Authority의 기술규정에 따라 제작되며 International Maritime Authority에 의해 승인됨. 내구성이 크며 유지관리가 용이하며, 한 겨울의 빙하중(ice pressure)에 대한 충분한 내력을 가지고 있기 때문에 추가적인 보강이 필요하지 않음
- 주택, 이벤트하우스, 레스토랑, 오피스, 호텔, 마리나 시스템 등 다양한 용도와 용도에 따른 다양한 형태의 상부구조물, 폰툰 형태(사각형, 원형, 별형 등)를 가진 플로팅 건축물을 설계, 시공하고 있음




[그림 1.3.19] 덴마크 Aquadomi사의 모듈화된 콘크리트 폰툰과 제안 모델



(a) Z3(주택)



(b) Circle house(주택)



(c) Eventhus(이벤트하우스)



(d) Restaurant Popina(레스토랑)



(e) Star Hotel(호텔)



(f) Z Hotel(호텔, 베를린에 계획중

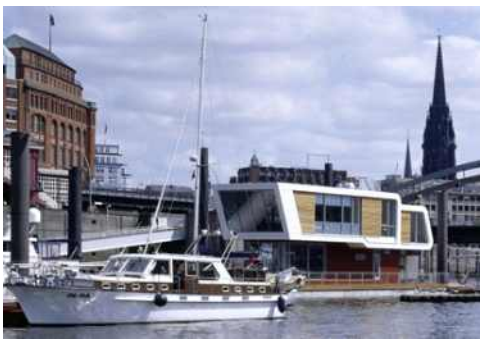
[그림 1.3.20] Aquadomi(덴마크)사 플로팅 건축물 계획(안)

○ 독일의 Aquahouse는 ResWall 이라는 경량형 복합재를 이용한 폰툰과 플로팅 하우스를 개발하여 설계부터 제작 및 시공을 하고 있음




[그림 1.3.21] 독일 Aquahouse의 플로팅건축 제작 과정

○ Floating Home GMBH사는 플로팅건축의 모델을 다양하게 개발하여 이를 시판하고 있음




[그림 1.3.22] 독일 Floating Home GMBH사의 플로팅건축 모델

○ 네덜란드의 DelataSync사는 플로팅건축에 대하여 컨설팅과 설계시공과 더불어 연구개발을 수행하고 있으며, 첨단 콘크리트 소재를 이용한 폰툰의 설계 기술력을 확보하고 있으면서, 다양한 프로젝트를 제안하여 수행하고 있음




[그림 1.3.23] 네덜란드 DelataSync사의 보유기술

○ 수해양 문화공간을 위한 정주형 플로팅건축 설계기술 개발 연구 중 상부시설을 주요 연구 대상으로 하고 있는 ‘플로팅 건축 공간 설계 기술’ 분야에서는 각 분야별 국외기술 동향을 아래와 같이 정리함

가. 상부시설 공간 계획 기술

○ 국내와는 다르게 국외(캐나다, 일본 등)에서는 다양한 형태로 플로팅 건축들이 건설되어 왔음

○ 이에 따라 다양한 형태의 기준이 작성되어 적용되고 있음

○ 국외의 플로팅 건축물 관련 지침으로는 일본 건축학회의 海洋建築計劃指針에 포함된 海洋建築物計劃이 있음

○ 캐나다에서는 Floating Home Association에서 작성된 Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards와 벤쿠버 시에서 마리나 계획과 관련되어 작성된 Marina Neighborhood CD-1 Guidelines for Marina Development가 있음

○ 네델란드에서는 기술기준으로서 플로팅 구조물에 대한 NTA(Nederlandse technische afspraak) 8111, Drijvende bouwwerken(Floating constructions)

[표 1.3.6] 부유식 수상거주시설 계획 관련 국외 지침[7)]

| 구 분 | 관련 기준 |
|---|---|
| 해양건축물 | ・海洋建築計劃指針, 日本建築学会<br>・海洋建築構造設計指針(浮遊式)・同解說, 日本建築学会<br>・浮体構造物技術マニュアル, (財)沿岸開發技術研究センター |
| 부유식 구조물 (Float Home, House Boat 등) | ・British Columbia Float Home Standards, British Columbia<br>・Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards, Floating Home Association Pacific Canada<br>・Drijvende bouwwerken(Floating constructions), NTA(Nederlandse technische afspraak) 8111<br>・Technical Regulation on the Stability, Buoyancy, ect. of Houseboats and Floating Structure, Danish Maritime Authority<br>・Construction, Operation and Inspection of Houseboats in South Australia, Department of Planning, Transport and Infrastructure, Government of South Australia |
| 선박 관련 (해양플랜트 거주구) | ・Living Quarters Area, NORSOK Standard CD-001<br>・Guideline for Crew Habitability on offshore Installation, ABS |

7) 이중 일본건축학회에서 1990년 발표한 「海洋建築構造設計指針(浮遊式)・同解說」와 연안개발기술연구센터에서 1990년 발표한 「浮体構造物技術マニュアル」기준들은 구조설계에 대한 내용을 주로 다루고 있어 건축계획 관련 지침 분석에서 제외하였다.

○ 플로팅 건축물 상부시설에 적용될 수 있는 모듈러 시스템의 경우 국외에서는 광범위하게 적용되고 있는 사례를 확인할 수 있음

○ 또한, 플로팅 건축물 상부시설에 직접적으로 모듈러 시스템을 적용한 사례로서 독일 함부르크의 IBA Dock의 사례를 볼 수 있으며, 네덜란드의 플로팅 주택에서는 건축물 단위로 모듈러 시스템이 적용되는 사례도 있음



(a) IBA Dock 모듈 시스템 (b) IBA-Dock 모듈 시공 (c) IBA-Dock

[그림 1.3.24] IBA Dock 모듈 적용 사례

나. 법제도 연구

(1) 일본 플로팅 건축물 관련 법제도

○ 일본에서 플로팅 건축물의 건조 시에는 「건축기준법」과 「선박안전법」이 동시에 적용되며 플로팅 시설물의 동산 혹은 부동산으로서의 법적인 위치가 애매하여 부동산으로서 등기가 어렵고 담보설정이 불가능하나 극히 일부분(레스토랑, 체험관, 박물관 등)이 관광시설재단등기부에 공작물로서 등기되어 있으며, 이 경우 독립된 시설로서는 부동산으로 인정되지 않으나 주변의 다른 시설물과 함께 집합체로서 부동산으로 인정

(2) 미국 플로팅 건축물 관련 법제도

○ 연안에 플로팅 주택을 설치하는 경우에는 기본적으로 각 주에서 채택하고 있는 연안관리프로그램과 지자체의 연안관리프로그램을 준수해야 하고 또한 각 주 및 지자체 「건축법」과 환경관련법을 준수해야 함

○ 대부분의 지자체에서 플로팅 건축물에 대한 별도의 법을 제정하여 적용하고 있음

○ ‘플로팅 주택 마리나’의 개념 도입을 통해 지자체나 주정부에서 특별히 ‘플로팅 주택지구’로 지정한 곳에 플로팅 주택을 지을 수 있도록 특별히 정해진 수역을 개인이 소유할 수 있도록 하며 마리나 주인은 법적으로 전통적인 토지소유자로서 역할을 하고 있음

(3) 캐나다 플로팅 건축물 관련 법제도

○ 캐나다에서는 플로팅 주택을 위한 기준이 지자체마다 다르고 어떤 곳에서는 기준조차 없는 곳이 있으나 브리티시컬럼비아주(British Columbia)를 비롯한 여러 주와 지자체에서 기준을 만들어 플로팅 주택의 신축이나 개축에 적용하고 있음

○ 캐나다에서는 플로팅주택협회(the Floating Home Association)와 해당 주 혹은 지자체가 협동으로 플로팅 주택에 관련된 기준을 만들고 해당 주 혹은 지자체에서 그 기준을 운영하고 있음

○ 캐나다에서 플로팅 주택 관련 대표적인 기준은 브리티시컬럼비아주의 'British Columbia Float Home Standards'로서 플로팅 주택 입지, 규모, 플로팅 주택 마리나 관련 기준, 기술적 요구사항, 설비, 방화, 관리 등에 대해 규정하고 있음

(4) 네덜란드 플로팅 건축물 관련 법제도

○ 2000년도 이전에는 플로팅 주택에 대해 법적으로 선박인가 혹은 건축물인가에 관하여 의견이 분분하였으나 2000년부터 정부에서는 플로팅 주택에 기존 육상 주택과 마찬가지로 「토지기반건설법(land based construction legislation)」과 「주택법(housing legislation)」을 적용하고 있음

○ 플로팅 주택의 신축인 경우 수면 하부 토지에 대한 소유권을 개인/기업(개발업자)이 소유할 수 있으며 일반적인 건축법의 적용을 받아 설계/시공/설치하며 주택개발을 하는 경우 개발자가 수면 밑 땅을 지자체로부터 구입하여 도시계획에 따라 개발 사업을 진행

○ 네덜란드의 플로팅 건축물은 건축법(Dutch Building Law)의 적용을 받아 플로팅 주택은 기초부분을 제외하고 육상 주택과 동일하게 취급함

(5) 덴마크 플로팅 건축물 관련 법제도

○ 플로팅 건축물은 건설법(The Construction Act)과 이 법에 의한 건축규정(The Building Regulations) 및 지자체 조례(The Municipal Authority's Requirements)를 적용받으며 또한 은행이나 보험회사 안전기준에 따라 인증을 받아 재산권을 행사할 수 있음

○ 하부부체에 대해서 해양안전법(The Act on Safety at Sea)에 의한 기술규정(Technical regulations on stability, buoyancy, etc. of houseboats and floating structures)을 적용받으며 이 규정은 하부구조물 선체(hull)의 안정성, 부유성능, 재료방화성능, 탱크, 빌지시스템(bilge systems) 등에 관련된 기술적 요구사항을 다루고 있음

○ 주택용, 상업용, 식당, 카페, 극장, 음악공연장 등으로 사용되는 플로팅 건축물은 덴마크기업건설공사(The Danish Enterprise and Construction Authority)에서 2004

년 발간한 플로팅 주택 건설과 관련된 가이드라인을 준수해야 함

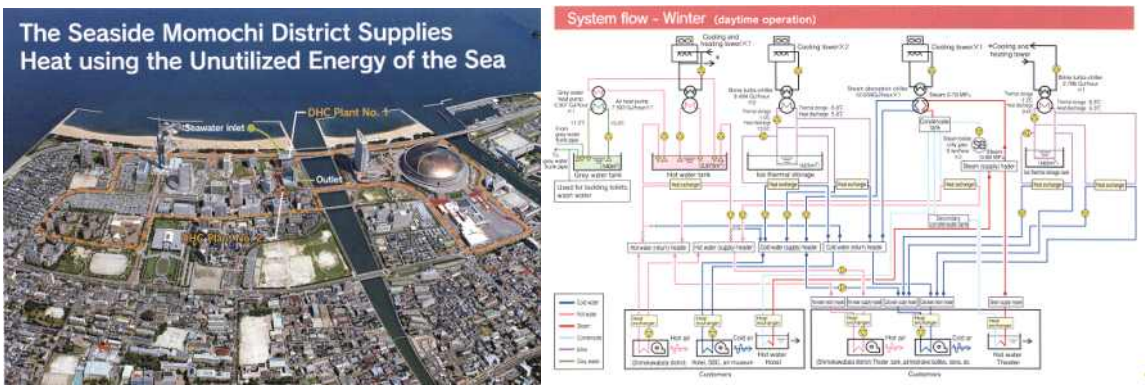
다. 쾌적환경 설계 기술

○ 국외에 도입된 대표적인 해수열 이용사례는 아래의 [표 1-3-1]과 같이 일본 3개 지구(Seaside Momochi 지구-Hukuoka, Cosmo Square 지구-Osaka, Sun port 지구-Takamatu), 핀란드 1개 사례(Katri Vala Plant-Helsinki), 스웨덴 3개 사례(aertan Plant-Stockholm, Ropsten-Stockholm, Lidingo Plant-Stockholm), 노르웨이 1개 사례(Alesund), 미국 1개 사례(Hawaii Gateway Energy Center)가 조사되고 있음

○ 이 중 미국 하와이의 Hawaii Gateway Energy Center를 제외한 대부분이 해수를 히트펌프의 열원(Heat source/Heat sink)으로 활용하고 있음

[표 1.3.7] 국내외 해수열 이용사례

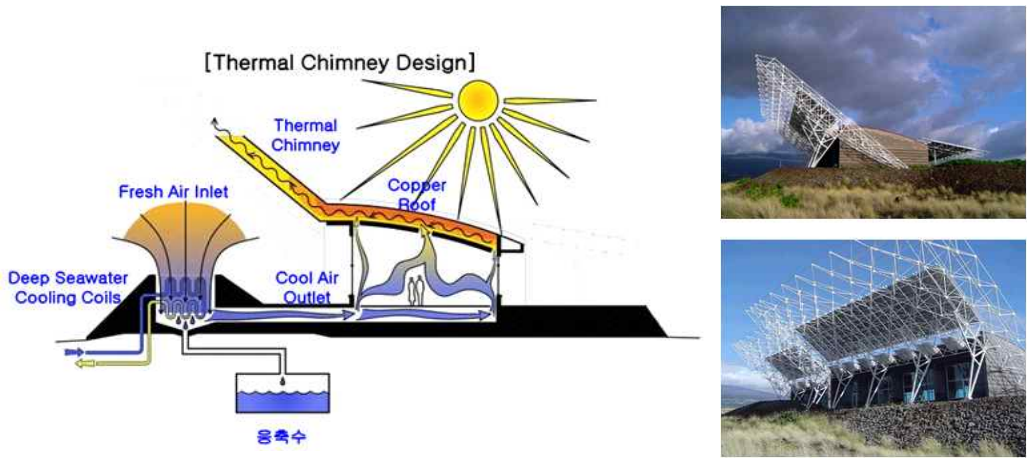
| 구 분 | | 사 례 | 이용 방식 |
|---|---|---|---|
| 국외 | 일본 | Seaside Momochi 지구(Hukuoka)<br>Cosmo Square 지구(Osaka)<br>Sun port 지구(Takamatu) | Heat Pump 방식 |
| | 핀란드 | Katri Vala Plant(Helsinki) | Heat Pump 방식 |
| | 스웨덴 | Vaertan Plant(Stockholm)<br>Ropsten(Stockholm)<br>Lidingo Plant(Stockholm) | Heat Pump 방식 |
| | 노르웨이 | Alesund | Heat Pump 방식 |
| | 미국 | Hawaii Gateway Energy Center | 열교환 방식 |
| 국내 | 부산 | 한국해양대학교 국제교류협력관 | Heat Pump 방식 |




[그림 1.3.25] Seaside Momochi 지구의 전경과 냉방운전 시의 계통도

○ 미국 하와이의 Hawaii Gateway Energy Center는 900m 심층수를 퍼 올려 신선 외기와 열교환한 후 냉각된 공기를 실내로 공급하는 열교환 방식으로 냉방시스템을 운영중임

○ 이는 냉방을 중시하는 지역적 기후적 특성을 반영한 것으로 에너지 절약성이 높은 것으로 평가받고 있으나, 난방이 필요한 지역에서는 활용하기 어려울 것으로 판단됨




[그림 1.3.26] Hawaii Gateway Energy Center 에너지 시스템 개요

○ 대부분 사례들이 히트펌프를 활용한 Active 적인 방법을 활용하고 있으며 미국의 1개 사례만이 Passive 적인 열교환 방식을 사용하고 있음

○ 또한, 단순 열교환기 방식도, 전술한 바와 같이, 건물부하 중 냉방부하가 지배적인 기후지역에서는 합리적이라 판단되지만, 냉난방 수요가 모두 발생하는 우리나라의 건물부하특성에서는 적용하기 어려울 것으로 판단됨. 이는 난방부하가 발생하는 겨울철에 바닷물과 외기를 열교환하여 닥트로 유입할 경우 여러 가지 문제가 발생할 것으로 예상되기 때문임

○ 이상과 같은 사례조사로부터 우리나라의 기후에 따른 냉난방부하 특성을 고려할 때 해수열을 열원으로 하는 외기공조 시스템과 히트펌프 시스템을 접목한 하이브리드 해수열 이용 시스템의 개발이 적합할 것으로 판단되며, 이와 유사한 기술이 아직 없기 때문에 개발에 성공할 경우 그 파급효과는 매우 클 것으로 기대됨

라. 신재생에너지 적용기술

○ 영국, 미국, 일본을 중심으로 건물에 직접 적용하는 소형 풍력발전 시스템의 보급이 증가하고 있음

○ 시스템 형태는 0.5kW급부터 수십 kW급 까지 다양하며 블레이드의 유형, 설치방식, 형태 등 매우 다양한 방식의 제품이 개발되어 사용되고 있음

○ 이런 건물일체형 풍력발전 시스템은 소형 모듈형식을 취하고 있으며 저소음을 구현함

으로서 거주자들에게 주는 불쾌감을 최소화 하며 디자인적으로 건물의 외관과 의장상의 문제를 야기 시키지 않도록 디자인적 유연성과 우수함을 가지도록 고안됨

- 무엇보다도 건축물 디자인에 미치는 영향을 최소화하고 시스템의 효율성을 높일 수 있는 설치형태, 위치 등에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음

마. 공간디자인 마케팅

- 국외의 경우 수상공간을 활용한 다양한 건축물이 활용되고 있으며 관련 산업 역시 국내에 비해 현저히 높은 기술수준을 보유하고 있음에도 불구하고, 공간디자인마케팅 차원에서의 접근 전무한 상태
- 새로운 플로팅건축 창출을 위한 다양한 이해관계자의 참여와 마케팅 커뮤니케이션에 대한 이해 필요
- 효과를 예측하고 전략 개발에 대한 현실적 요구 증대

바. BIM 설계 기술

- 최근 증가하는 초고층, 비정형, 친환경 건축물을 포함한 대형 복합 시설물의 설계 및 시공관리를 위한 전략적 대응방안중의 하나로 BIM을 도입하고 있음
- 해외 특히 미국에서는 AEC (Architect/Engineering/Construction) 분야 전반에 걸쳐 적극 검토 또는 실제 활용되고 있음
- 2007년 기준으로 미국의 74% 설계사무소는 이미 3차원 모델링 툴과 BIM 소프트웨어를 활용하고 있으며, 이 중 34%는 지능형 모델(intelligent modeling)을 사용하고 있음
- 미국 국방성의 일반건설국(Civilian construction) 및 노르웨이 정보의 모든 공공 건축물은 관련 프로젝트 모두를 BIM 기반으로 진행되도록 요구하고 있음
- 플로팅건축에 관한 BIM설계에 관한 연구내용은 알려진 바 없음

사. 플로팅건축공사 시공기술

- 국내와는 다르게 국외에서는 다양한 플로팅 건축물들이 건설되어 왔음
- 이에 따라 다양한 형태와 용도의 건축물이 체계적인 시공기술에 의해 기술되고 있음
- 플로팅 건축물 관련 대표적인 외국계 회사로는 SF 마리나가 있음
- 미국의 플로팅 건축물의 경우 바지선+개인주택의 개념이 강하며 스웨덴의 ‘스톡홀름의 부유식 주택단지’ 는 개인주택으로서의 개념이 강함
- SF 마리나에서는 공장에서 일정한 방식으로 푼툰을 제작하며 대규모 함체를 제작하며,

공장에서 제작된 푼툰을 화물 차량을 이용하여 해안으로 운반

○ 해안에 설치되어있는 크레인을 이용하여 진수시키거나 화물용 대형 선박에 운반하여 해상으로 이동

아. 플로팅 건축 설비 설계

○ 국외 플로팅 건축물 설비는 친환경적인 신재생에너지 열원을 기반으로 설계가 진행되며, 친환경적 자재 등을 사용하여 수해양 문화공간과 생태계의 조화를 우선시 함

○ 스웨덴의 “Salt Sill” 은 스웨덴 최초의 플로팅 호텔로써 수열 온도차 에너지를 이용한 난방 시스템을 적용하였고, 친환경 페인트, 자재를 통하여 환경적 지속가능성을 향상시켜 자연과 하나가 되는 것을 목표로 하였음

○ 네덜란드의 “Floating Pavilion"은 플로팅 전시관으로써 재생에너지 기술 도입 및 중수도를 이용, 태양열을 이용한 냉난방 시스템을 적용하여 엑티브적, 패시브적인 설계 디자인으로 냉난방부하 저감형을 목표로 함

○ 스웨덴의 “Salt Sill"과 네덜란드의 "Floating Pavilion"의 현황은 [그림 1.3.27]과 같음



(a) Salt Sill



(b) Floating Pavilion

[그림 1.3.27] 국외사례 현황

○ 그 중 네덜란드의 유럽 패시브 주택 인증을 받은 “Autark Home"의 설비 시스템을 [표 1-3-21]과 같이 조사하였으며 태양열, 태양광 시스템과 같은 신재생에너지 설비와 냉난방 에너지 절약을 위한 폐열회수 환기시스템과 같이 별도의 화석연료가 필요하지 않은 설비로 설계가 되었음

○ [그림 1-3-22]는 "Autart Home"의 설비시스템 및 Layout을 나타낸 것임

[표 1.3.8] Autark Home 설비 시스템

| 구 분 | 적 용 | 용 량 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전력 설비 | 태양광 시스템 | 24개 태양광 발전<br>[1년 5,300kWh 생산] | 24개의 배터리에 저장 |
| 냉난방 설비 | 태양열 시스템 | 섭씨 80도 정도의 온수<br>4,000리터 보관 | 바닥난방 적용 |
| 환기 설비 | 폐열회수 환기시스템 | - | 냉난방 에너지 절약 |
| 급수 설비 | UV필터 혼합형 역삼투 시스템 | - | 고품질의 음용수 공급 |
| 급탕 설비 | 태양열 시스템 | 섭씨 80도 정도의 온수<br>4,000리터 보관 | 6개 집열판으로<br>4-5일간 보관 |
| 기타 설비 | 오배수 정화 설비 | - | 90% 이상 정화 후<br>공공수역 방류 |
| | 모티터링 시스템 | - | 잔여 전력량<br>육안으로 확인 |



(a) 3중 프레임 유리층



(b) 통합필터 시스템



(c)베터리를 이용한 전기 저장




(d) Autark Home 건축도

[그림 1.3.28] Autark Home 설비 시스템 및 Layout

## 3. 연구개발결과의 우수성 및 차별성

◯ 1세부과제

가. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

○ 상부건축물을 갖는 소규모(장변 100m이하)폰툰과의 상호연계해석을 통하여 상부구조물의 응답을 예측하며, 해석 기법을 정립할 수 있음

○ 외력에 따른 하중을 치환하여 정적 및 동적해석으로 통한 상부구조물의 내력을 추출할 수 있으며 부분구조법을 통한 플로팅 구조물의 해석기법을 확인

○ 국내 환경에 적합한 플로팅 건물의 풍·파랑 모델 산정과 시간이력해석을 통한 사용성 평가가 가능함

○ 개발된 신뢰성분석기법은 유한요소 또는 유한차분 프로그램 등을 이용하는 실제적인 구조물에 대한 신뢰성문제(여기서 하나의 표본추출점은 한 번의 유한요소해석을 의미)의 적용에 적합한 매우 효과적이며 실제적인 방법

○ 개발된 신뢰성분석 수치해석 프로그램은 결과로 신뢰성지수와 대응파괴확률뿐만 아니라 각 확률변수의 민감도지수 값을 제공함. 이를 통해 특정 확률변수가 해당 한계상태의 안전도에 대한 정량적인 영향정도를 확인할 수 있으므로 설계의 안전성 확보와 경제적 설계를 위한 단면결정에 활용 가능

○ 국내의 하부해양구조물에 대한 연구는 진행되었으나 상부건축물이나 상부해양건축물의 설계기법에 대한 연구는 전무함 기존의 (모듈러학교건축물의 구조적 특징/2003/포항산업과학연구원/포스코) 연구는 육상 모듈러구조 기술임

○ 국내 현황 및 실정을 반영한 콘크리트 플로팅 함체 연결부의 성능평가 방법 수립 및 성능평가 수행

○ 플로팅 건축용 콘크리트 함체 모듈구조의 설계를 종합적으로 수행한 사례가 거의 없으므로, 본 연구를 통해 종합설계에 대비한 연결부 성능평가 분석 및 고찰이 가능할 것으로 판단됨

나. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ 플로팅 구조물에 대한 능동형 제진장치를 이용한 동요진동 적용은 초보적인 단계로써, 본 연구를 통해 개발된 진동저감기술은 관련 국내외 기술의 발전단계에 대해 비교우위에 있음

다. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 기존 슬래그 기반 무시멘트 결합재는 분체+액상 타입으로 지대포장이 불가능하며, 강도 또한 20-30 MPa 수준이었으나, 본 성과물은 분체 타입으로 시멘트와 같이 지대포장이 가능하며, 자극제의 최적 조합에 의해 압축강도가 30-50 MPa 수준으로 기존 결합재에 비해 우수함. 또한 수중에서 유해성분 용출이 기존 시멘트에 비해 거의 없어 친수환경형 결합재임

○ 기존 슬래그 기반 무시멘트 결합재는 강알칼리성의 자극제 사용으로 P.C계의 고성능 감수제를 적용할 수 없어 고유동 콘크리트의 제조가 불가능 하였으나, 본 기술은 비교적 약알칼리성의 자극제를 사용하였음에도 더 높은 강도를 발현할 수 있어 고성능 콘크리트 제조가 가능함

○ 3성분계의 자극제 혼입비율을 통해 기존 자극제 투입량의 60% 수준으로도 고온에서 더 높은 강도를 발현할 수 있는 고온양생 전용 결합재 기술임

○ 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축함으로서 양환경에서의 열화인자 이동 매개체가 되는 수분의 확산 이류 등의 현상을 정확히 예측하고자 실험 및 모델을 구축하여 신뢰성을 검정하였음

○ 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가로 함수조건의 변화에 따른 전기 음극방식 적용 범위 설정함으로써 함수조건의 변화에 따른 전위 분포 해석 모델 개발로 유지비용의 최소화를 실현함

○ 구조물 보수기술 개발으로 부착계면 특히 보수재와 철근의 부착특성을 규명함으로써 하중에 대한 구조물의 거동평가의 정확성을 향상할 수 있을 것으로 기대됨

○ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템을 통해 온습도 및 염해 중성화의 복합열화를 고려한 플로팅 구조물의 열화 및 보수보강에 따른 내구성능 시뮬레이션 기술 개발함으로써 정확도 높은 수명산정 및 유지관리 실현

○ 구조물 진단을 위한 기존의 비파괴검사에 비하여 동적특성을 이용한 구조 건전도 평가기술은 시간적•경제적으로 우수하며 상시 모니터링에 의하여 구조물의 안전성, 손상상태를 파악하여 조기에 조치할 수 있음

○ 비접촉 원격 거동 측정을 위하여 영상을 이용한 연구 및 제품이 활용되고 있으며, 본 연구에서는 단일 및 다중 동영상을 이용하여 거동을 측정함

◯ 2세부과제

○ 국내에서 현재까지 진행되어 온 플로팅 건축물 관련 연구는 초대형 부유식 구조물, 모바일 하버 등 대규모 구조물을 대상으로 연구개발이 이루어 졌음

○ 특히, 부유식 구조물 중 하부구조물의 동적 특성과 같은 구조적 측면에 연구가 집중되어 있어, 상부건축물의 설계, 이용특성, 친환경적 설계기술의 접목 등을 비롯하여 관련 산업 저변 확대를 위한 법제도 정비 등의 연구는 전무한 실정임

○ 본 세부연구에서는 이러한 점을 고려하여 일상적으로 사용할 수 있는 중규모 플로팅 건축물을 대상으로 상부건축물 설계에 필요한 기술, 에너지 자급자족을 위한 기술을 포함하여 플로팅 건축물 활성화를 위한 법제도 개선 방안에 대한 연구를 수행하여 결과를 도출함

가. 상부시설 공간 계획 기술

○ 본 연구의 주요 결과물은 거주 용도로 사용되는 플로팅 건축물 상부시설에서의 시스템 계획(모듈러 시스템, 상하부 시스템 연계 등), 배치 계획(입지 및 위치, 조망 및 경관, 단지 계획), 건축 계획(형태, 규모, 용도, 구조, 재료, 친환경 계획) 등에 대한 통합적인 지침임

○ 플로팅 건축물 상부시설과 관련된 부분적인 계획 지침은 미국과 캐나다 일부 지자체의 조례와 네덜란드 등 일부 유럽국가의 기술 문서 성격으로 개발되어 있으나, 그 내용이 부분적이고 한정적인 반면 본 지침은 플로팅 건축물과 관련된 포괄적이며 통합적인 지침으로서의 차별성을 갖고 있음

나. 법제도 연구

○ 본 연구는 플로팅 건축물 저변 확대를 위한 사회적 기반을 마련하기 위하여 플로팅 건축물의 법적지위를 명확히 하고, 관련 법제도를 정비하여 플로팅 건축물을 보다 쉽게 설계, 조성할 수 있는 법제도를 제안하였음

○ 플로팅 건축물을 오래전부터 활용하고 있는 미국, 캐나다, 유럽 등의 플로팅 건축과 관련된 선진기술을 보유하고 있는 국가에서는 플로팅 건축물을 ‘건축물’로써 법적지위를 인정하고 건축법을 기반으로 플로팅 건축물에 적합한 별도의 기술기준 등을 두고 있음

○ 본 연구에서 제안한 플로팅 건축물 조성 최적지 선정을 위한 입지평가기준과 법제도(인허가 절차, 부유식 건축물 조례, 피난 및 방재계획 기준)는 국내에서 최초로 제안된 것으로 연구결과의 우수성을 확보하고 있음

○ 또한 국외의 경우 일반 건축법을 적용하고 관련 기술기준을 별도로 정해 따르도록 하

고 있는 반면, 본 연구에서는 플로팅 건축물을 위한 법을 지방조례로 제안하여 플로팅 건축물을 위한 별도의 법안을 제안하여 보다 효율적으로 플로팅 건축물을 관리할 수 있도록 하였음

다. 쾌적환경 설계 기술

○ 기존의 해수열 이용시스템은 해변가에 위치한 건물의 냉난방을 위한 것으로 건물 인근의 해저 지반에 해수열교환기를 고정 매립하거나 혹은 수조를 설치하는 형태임

○ 그러나, 플로팅건축물은 해상 유동의 영향을 받아 부유(floating, buoyancy)하며, 필요시 위치 이동이 가능해야하기 때문에 기존 시스템은 적용할 수 없음

○ 본 연구에서는 플로팅건축물 일체형 해수열이용시스템을 개발함으로써 기존 시스템이 갖고 있는 구조적 문제를 해결함과 동시에 해수열시스템 자체가 운동성을 갖게 됨에 따라 열교환 성능이 더욱 향상됨

라. 신재생에너지 적용기술

○ 풍자원이 풍부한 해안 및 수변 공간에 건설되는 건축물에 적용할 수 있는 기술임

○ 건축물에서 신재생에너지를 효과적으로 활용하기 위하여 해당 에너지의 특성에 맞도록 건축물의 형태가 설계되어야 함. 풍력도 예외가 아니며 공기 유동의 특성을 고려하여 건축물의 형태를 설계하여야 함

○ 특히 건물일체형 풍력시스템(BIWT)은 건축물이 풍력과 접목이 된 형태이기에 유동 특성을 고려해야 함

○ 풍력 터빈이 효율적으로 운전되기 위해서는 건축 설계의 도움을 받아야 하며, 건축가가 설계 초기 단계부터 고려하지 않으면 건축물에 풍력터빈을 추가하기가 어려움

○ 본 연구의 결과로 건축물에 풍력시스템을 적용할 경우 윈드가이드에 대한 설계 도움을 받을 수 있음

○ 기존의 건물일체형 풍력터빈의 연구는 주로 고층 혹은 초고층 건물을 중심으로, 그리고 건물 전체의 형상을 중심으로 연구가 진행되었음

○ 본 연구는 지붕의 형상과 같이 실제 풍력터빈이 설치될 건물요소에 대한 연구로 진행되었으며, 지붕의 형태과 윈드가이드의 형태에 따른 유동 특성과 풍력 발전량을 예측하였음

○ 또한, 풍력터빈으로 공기 유동을 유인하는 과정에 대한 설계변수들간의 관계가 규명되었음

○ 본 연구에서는 건물의 옥상 부분에 설치할 수 있는 풍력터빈으로 공기유동을 유인하는

윈드가이드에 대하여, 윈드가이드의 형상과 이 관련한 풍속, 난류강도, 및 항력계수 등의 유동특성 간의 관계를 풍동 실험을 통하여 유동특성을 분석하였음

○ 본 연구에서는 테스트베드를 통하여 실물 크기에 대한 성능 분석을 하여, 실제 적용에 있어서 시행착오를 적게 할 수 있음

○ 본 연구의 결과물은 플로팅 건축물뿐만 아니라, 일반 지상 건축물에도 동일하게 적용할 수 있음

바. BIM 설계 기술

○ 기존 건축 설계프로세스 변화의 필요성의 대두에 의해 완벽한 협업과 고도의 통합화를 핵심으로 하는 변화추구에 따라 BIM(Building Information Modeling)이 통합설계프로세스의 기반으로 주목 받고 있음

○ BIM은 플로팅 건축의 기획단계에 있어서 디자인의 유연성과 도면의 감소, 그리고 높은 생산성에 기여하며, 각종 타당성 분석에 있어서 클레임의 감소 및 예산초과와 공기의 감축의 측면에서 우수한 효과를 창출할 것으로 예상되며, 향후 국내외 플로팅 건축 산업에서 전략적 우위를 선점하고 기술적 노하우를 축적하는 것이 가능함

○ 현재 BIM기반의 솔루션에 의한 건축은 육상의 프로젝트로 한정되어 시작되고 있으며 건축 프로세스 및 협업 시스템이 차별화되는 플로팅 건축에의 적용은 전무한 실정임

사. 플로팅건축공사 시공기술

○ 본 연구에서 개발한 정수역 함체 진수공법은 기존의 공법에서 건축적 특성이 부족했던 부분을 보완했으며 또한 플로팅 공사의 특수성을 적용한 진수공법임

○ 개발이전의 기술과 비교하여 안정성, 시공성, 경제성이 보완된 공법이며 개발된 진수공법의 장점은 다음과 같음

- 기계식 작키를 이용하여 동바리 등을 이용하지 않아 근로자의 안전성 확보 가능
- 진수 완료 후 반복적인 진수를 위해 진수설비의 재배치가 필요 없음
- 진수설비의 추가적인 배치가 가능하여 함체의 길이, 넓이에 따른 제약이 적음
- 대지의 훼손이 적음
- 반복 진수 시 진수설비의 운반, 설치, 배치 등의 작업이 없는 단시간 진수공법

○ 또한 플로팅 건축공사에서 작업위치의 경우 작업의 흐름에 따라 위치가 변할 수 있기 때문에 이점을 유의해야 하며 또한 위치가 육지와 수상으로 변하기 때문에 기존 4가지의 위험요인 외에 환경, 작업 위치적 요인을 추가적으로 도출하여 개선하야 함

○ 단위작업의 작업장소의 이동유무에 따른 작업자 안전, 기계, 공구, 보호구 등의 가설설비의 추가적으로 발생하는 고려사항을 개선하였음

○ 표준안전작업절차 작성 시 일반사항과 기계 공구 등의 내용이 누락 없이 포함되어야하고 작업절차를 제시하여 각 단계별 필요한 중점사항이나 안전사항을 작성하고 글로써 부족한 부분은 기타(비고)란에 그림, 표, 사진 등을 첨부할 수 있도록 개선하였음

○ 각 작업공종별 위험 요인을 도출하여 각 위험 요인에 대한 안전대책을 제시하기 위해 '유해위험방지계획서' 를 작성하였으며 플로팅 건축공사 시 전제 공정 관리 및 안전관리를 위하여 '플로팅 건축공사 안전메뉴얼' 를 제정하며 각 작업공종별 필요한 절차서 및 관련 표준의 기준을 제공함

아. 플로팅 건축 설비 설계

○ 국내의 플로팅 건축물에서 고려되지 않았던 환경적 지속가능성을 고려하여 에코델타시티 홍보관 설계에 신재생에너지 열원을 100% 적용하였음

○ 이를 통하여 국내 플로팅 건축물의 사회적 지속가능성과, 환경적 지속가능성을 고려한 국내 최초 플로팅 건축 설비 설계를 적립하고자 함

# 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

○ 1세부과제

## 제1절 플로팅 구조물 상호작용해석

### 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 플로팅 구조물의 해석과 설계에 대한 해외 기준식의 조사 및 정리를 통하여 콘크리트 함체 해외설계기준의 비교표 작성을 통한 설계기준정립

○ 파랑하중 및 유속하중 등의 조사를 통하여 환경하중을 산정하고, 수치해석을 통한 환경하중을 추정

○ 플로팅 구조물의 기본설계 과정을 통하여 포괄적인 해석을 수행하며, 해석방법의 프로세스를 범용프로그램에 적용하여 동수역학-구조 연성해석법 및 부분구조해석법을 이용한 해석으로 상호작용해석방법의 기법을 정립

○ 수조실험을 통하여 플로팅 구조물의 상호작용해석기법을 확인

○ 상부구조물을 갖는 콘크리트 함체의 해석과 설계절차에 대한 기준안을 통하여 부유식 구조물의 설계지침서를 작성

### 2. 연구개발 내용 및 결과

가. 플로팅 구조물 상호작용해석 모형 및 초기 설계식 제안

(1) 플로팅 구조시스템 의 해석 자료 수집

○ 국내의 부유식 해상구조물에 대한 연구는 대부분 하부구조물에 대한 연구이며, 상부시설물의 설계기법에 대한 연구는 취약함

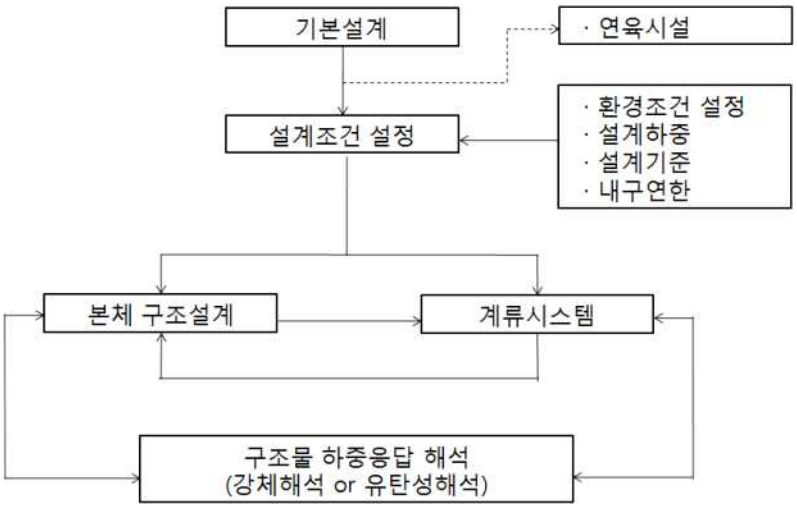
○ 적용 가능한 설계기준은 각국의 선급협회기준, 플로팅 콘크리트 구조물에 대한 기준이 있음

[표 2-1-1] 콘크리트 부유식 구조물에 대한 기준

| 일본 (Taisei corporation, 1987) | | 미국 (ACI 357, 2010) | 영국 (BS 6349) | 캐나다 (CAN/CSA S471-04, S474-04) |
|---|---|---|---|---|
| 하부구조물 | 상부구조물 | | | |
| 개요<br>재료계수와 강도<br>구조강도와 설계하중<br>횡방향강도 관련하중<br>종방향강도 관련하중<br>국부강도 관련하중<br>구조 일반사항<br>부재 단면 설계<br>구조상세<br>콘크리트 바지의 안정성<br>계류 | 개요<br>재료<br>구조강도와 설계하중<br>적재하중<br>결빙하중 및 적설하중<br>파랑하중<br>횡하중<br>기타하중<br>부재단면설계<br>접합부 설계<br>유지관리 | 개요 및 적용범위<br>주요기호 및 용어<br>적용사례<br>재료 및 내구성<br>하중의 산정<br>설계<br>시공<br>진수 및 설치<br>보수 및 유지관리 | · 일반사항(6349-1, 2000)<br>개요<br>환경 고려사항<br>사용 중 고려사항<br>해역조건<br>하중 및 동요진동<br>지질공학적 고려사항<br>재료<br>· 연안계류 및 부유식 구조물 설계(6349-6, 1989)<br>개요<br>환경하중의 산정<br>계류<br>부유식 구조물<br>폰툰,부유식 안벽 및 방파제 | · 일반사항, 설계조건, 자연환경 및 하중(S471-04)<br>적용범위<br>참고문헌<br>기호의 정의<br>일반사항<br>환경조건<br>하중과 하중조합<br>· 콘크리트구조물(S474-04)<br>적용범위<br>기호의 정의 및 참고문헌<br>일반사항<br>재료<br>내구성<br>설계 재료 특성<br>강도와 사용성<br>극한한계상태<br>사용한계상태<br>상세<br>시공<br>보수 및 유지관리 |

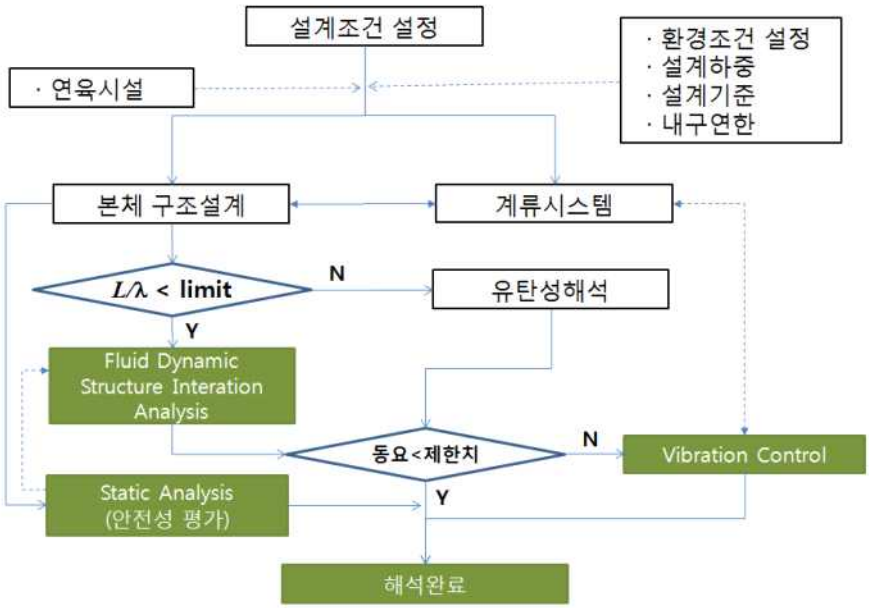
(2) 단계별 해석 모형 정립 및 설계 프로세스 개발

○ 플로팅 구조물에 대한 기본설계는 아래 그림과 같이 설계조건 설정, 본체구조설계, 해석에 기반한 성능검토의 단계로 진행됨



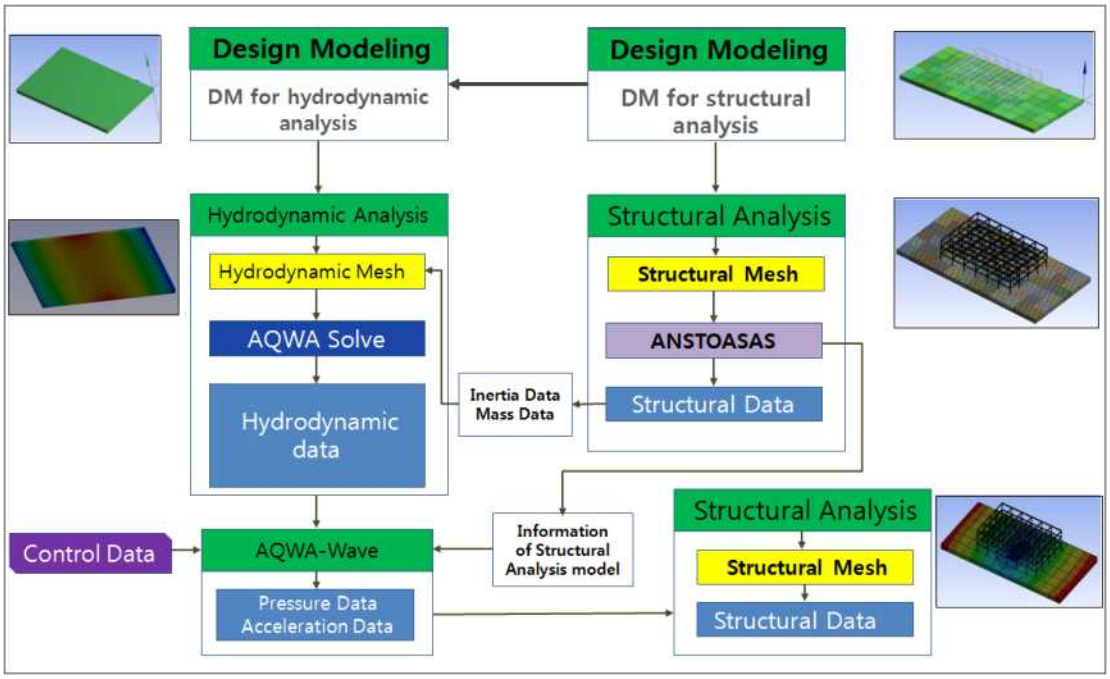

[그림 2-1-1] 기본설계 흐름도
(해양수산부, 초대형 부유식 해상구조물 기술개발, 2008)

(가) 해석 방법의 흐름도 작성




[그림 2-1-2] 해석 방법의 흐름도

(나) 유체동역학-구조 연성 해석




[그림 2-1-3] 동수역학-구조 연성해석 흐름도

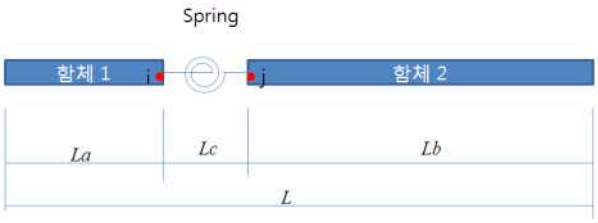
나. 상호작용 해석/설계 및 하중의 산정

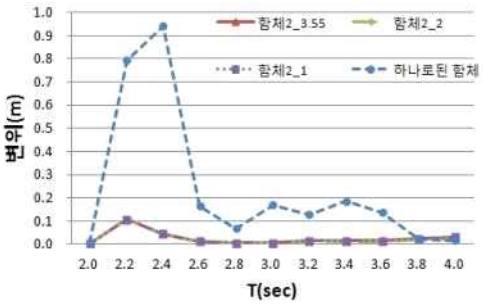
(1) 반강접 시스템의 해석

○ 함체의 길이방향으로 일정한 부분에 강성이 다른 재료를 시공하여 작용하여 함체의 작용하는 힘을 흡수하여 함체의 운동을 제어하기 위함

○ 일반적인 함체를 단순보라고 가정한다면 휨에 대한 강성은 $\frac{\alpha EI}{L}$로 나타낼 수가 있으며, 이에 따라 강성의 계수 $\alpha$를 1, 2, 3.55, 100으로 변화하여 해석을 실시함

○ 연구단의 플로팅 구조물 입후보지인 새만금과 군산저수지의 경우 각각 3.66초, 2.14초의 파주기를 가지고 있으며, 이에 따라 반강접의 시스템이 하나의 함체보다 운동을 제어하는데 유리함

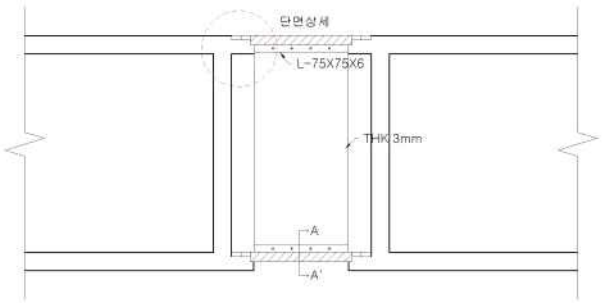


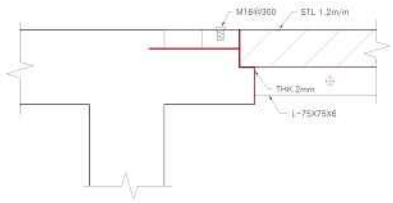

함체의 Heave (T=2~4)

[그림 2-1-4] 반강접 시스템의 개요 및 해석

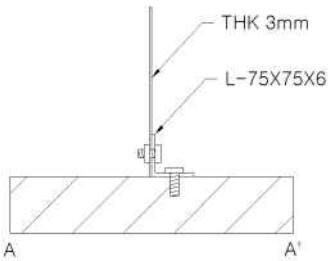
○ 반강접 시스템의 차년도 실험을 위해 설계된 도면과 단면 상세는 아래 그림과 같음




반강접 실험체의 단면도



단면 상세도




A-A' 단면 상세도

[그림 2-1-5] 반강접 실험체의 도면

○ 반강접 시스템의 축소모형실험은 콘크리트로 된 함체에 얇은 박판형태의 철물을 이용하여 손상을 유도함은 물론, 에너지를 소산시키고자 함

(2) TEST BED 지역 환경하중 조사

(가) 고군산군도

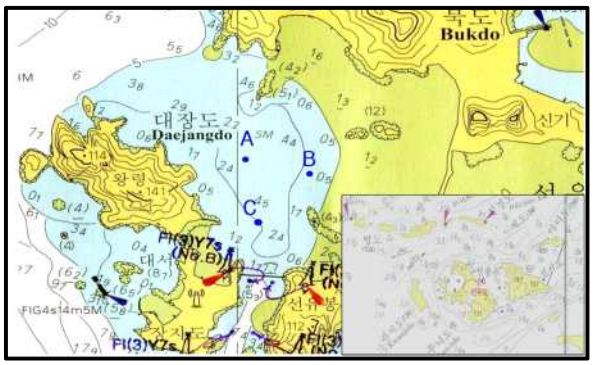
○ 파랑하중

– 새만금 해역 심해 설계파

○ 유속

– 새만금 해역의 조류 관측 실시(2011. 9.29)

– 조류 관측 위치




새만금 해역 조류 관측 위치



조류 관측

[그림 2-1-6] 조류관측

[표 2-1-2] 조류관측결과

| 관측지점 | 시간 | 수심(m) | 관측수심(m) | 유속(m/s) | 유향(°) |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 13:20 | 6.4 | 상층 1m | 0.7 | 277 |
| B | 13:30 | 6.3 | 상층 1m | 0.8 | 39 |
| C | 16:00 | 8.5 | 상층 1m | 0.7 | 232 |
| 평균 | | 7.07 | - | 0.73 | - |

– 새만금 지역의 조류 관측을 통해 최대유속은 1m/s 미만임을 확인 함

(3) 플로팅구조물 예제 설계

○ 위치 : 새만금 방파제 내부

○ 수심 : 10m

○ 구조형식 및 사용 재료

– 상부구조물 : 철골모멘트연성골조(철골 SS400)

– 하부구조물 : 철근콘크리트모멘트골조($f_{ck} = 35\ MPa,\ f_y = 500\ MPa$)

○ 규모

– 상부구조물

① 3층, 층고 3.5m

② 장변방향 48m, 단변방향 32m, 스팬 8m

③ 사용부재–기둥 H–310×305×15×20

보 H–482×300×11×15

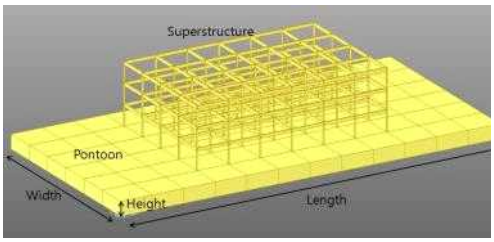
– 하부구조물

① 장변방향 96m, 단변방향 48m,

높이 2.5m

② 8m×8m의 모듈 72개로 구성

③ 폰툰의 외벽 및 격벽 두께 0.2m




[그림 2-1-7] 예제 모델

[표 2-1-3] 적용기준 및 하중

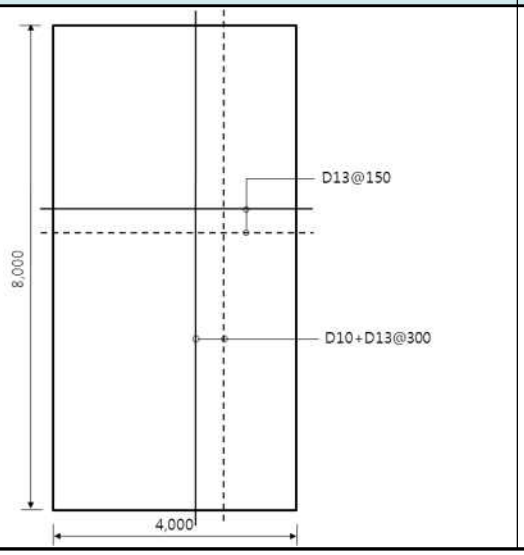
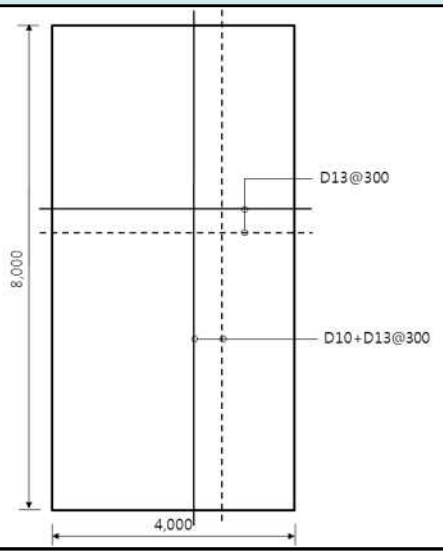
| 적용기준 | 적용 하중 | 하중 조합(ASCE/SEI 7-10) |
|---|---|---|
| ▪ 건축구조설계기준(2009)<br>▪ 항만및어항설계기준(2005)<br>▪ ASCE/SEI 7-10 | ▪ 고정하중 : 3.8 kN/m2<br>▪ 활하중 : 3 kN/m2<br>▪ 환경하중 (앞절 참조) | ▪ 1.4D.L+1.4F.L<br>▪ 1.2D.L+1.6L.L+1.2F.L |

[표 2-1-4] 해석 및 결과

| 입력데이터 | 종방향설계 |
|---|---|
| <함체의 설계> | D19@100 / 200 / 하부 철근 배근<br>D19@400 / 200 / 상부 철근 배근 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. 재료 | 콘크리트 | $f_{ck}$ | 40 | Mpa |
| | 철근 | $f_y$ | 500 | Mpa |
| 2. 부재 | | | | |
| | 바지의 길이 | L | 96 | m |
| | 바지의 폭 | B | 48 | m |
| | 바지의 높이 | H | 2.5 | m |
| | 홀수 | d | 2 | m |
| | 상부 슬래브 두께 | $S_T$ | 200 | mm |
| | 하부 슬래브 두께 | $S_B$ | 200 | mm |
| | 외벽의 두께 | $W_{ext}$ | 200 | mm |
| | 내벽의 두께 | $W_{int}$ | 200 | mm |
| 3. 하중 | | | | |
| | 종방향 모멘트 | $M_x$ | 28000 | kN-m |
| | 종방향 전단력 | $V_x$ | 1360 | kN |
| | 횡방향 모멘트 | | | kN-m |
| | 횡방향 전단력 | | | kN |
| | 비틀림 모멘트 | $T_x$ | | kN-m |
| | 정수압 | | 19.6 | kN/m$^2$ |
| | 내측벽 전단력 | | | kN |

[표 2-1-5] 해석 및 결과

| 하부 슬래브 설계 | 상부 슬래브 설계 |
|---|---|
|  |  |



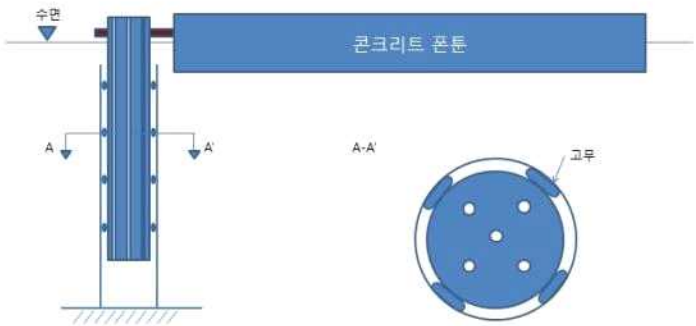
(4) 계류시스템 연구

(가) 돌핀 계류 관련 특허에 대한 조사 연구

○ 돌핀 계류와 관련한 한국 특허에 대한 선행기술 조사 결과, 2000년대 중반 이후 출원 건수가 증가하고 있으며, 특히 2000년대 후반 출원 건수가 급증하고 있음

○ 대부분의 특허는 부유식 구조물의 유동을 제어하며 충격을 흡수 하는 내용면에서는 유사한 부분이 있으나 댐퍼에 대한 내용이 구체적으로 제시하지는 못함

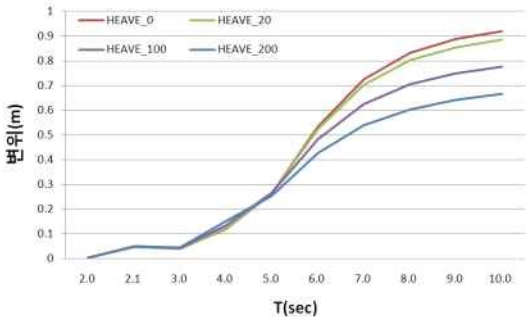
○ 외부의 강관 및 내부의 강관사이에 고무로 인하여 충격 및 슬라이딩식 돌핀 계류의 상하 이동에 따른 소음을 줄이려고 하는 것이며, 내부 강관의 구멍 면적에 따라 강성을 조절하여 댐퍼의 역할을 부여함



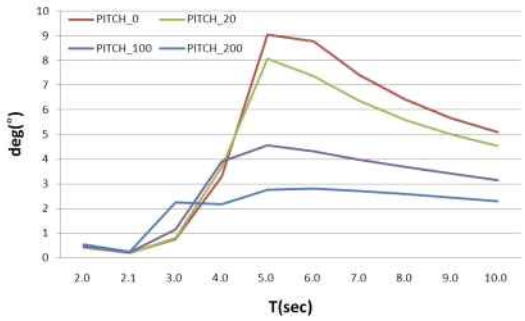

[그림 2-1-8] 슬라이딩 돌핀계류의 제안

○ 댐퍼의 영향에 대하여 확인하고자 강성을 변화시켜 함체의 운동을 확인하였으며, 기본제원은 함체의 길이 24m, 폭 12m, 수심 5m, 입사각 0° , 스프링강성 0,

20, 100, 200 [kg/m]임




강성변화에 따른 Heave




강성변화에 따른 Pitch

[그림 2-1-9] 강성변화에 따른 응답

○ Heave값은 저주기 영역에서는 비슷하나 장주기 영역으로 갈수록 차이나 나타나며, Pitch값 역시 Heave값과 유사한 양상이 나타나며, 장주기 영역으로 갈수록 더 명확하게 차이가 두드러짐을 알 수 있음

다. 상호작용 상세해석에 의한 실구조물 설계 기술

(1) 플로팅 건축 구조설계 기준안

# 제10장 부유식 구조

## 1001 일반사항

### 1001.1 적용범위

이 절은 정온수역의 위치에 설치되는 부유식 건물을 대상으로 한다. 이 절은 부유식 건물의 상부 구조와 하부 함체의 해석과 설계 절차에 대한 사항을 기술하며 철근콘크리트와 강구조, 목구조 등과 같은 설계에 관련된 상세 내용은 본 기준의 해당 장들을 적용한다.

### 1001.2 용어설명

**건현** : 부유식 구조물의 중앙에서 수면부터 부유식 함체의 상부 슬래브 위까지 수직으로 잰 거리.

**계류시설** : 부유구조물이 바람, 유속에 의하여 흘러가지 않도록 위치를 고정시키는 시설

**밸러스트** : 함체의 안정을 유지하기 위해 함체의 바닥에 싣는 물이나 모래 따위의 중량물

**부유식 건축물** : 대지 대신에 물위에 뜨는 함체 위에 지어진 건축물

**부유식 함체** : 자체 부력에 의하여 물 위에 뜨는 구조로 된 함체

**부유식 구조물** : 부유식 함체 위에 설치되는 부유식 건축물을 포함한 구조물의 총칭

**저면바닥** : 부유식 함체의 바닥면

**정온수역** : 내수면 또는 해수면에서 항시 파고가 1m 이하인 곳을 의미한다.

**정주형** : 거주용도의 건물을 의미하며, 장기 또는 단기 거주로 구분할 수 있다.

**파랑하중** : 파도에 의해 구조물에 가해지는 하중

**파압** : 파랑에 의하여 함체가 물과 접하는 면에 발생하는 압력

**초대형 부유식 해상구조물** : 함체(pontoon) 형태로서 길이 및 폭의 치수에 비해 깊이가 매우 얇아서 굽힘 탄성변형을 고려해야 하는 초대형 부유식 해양구조물

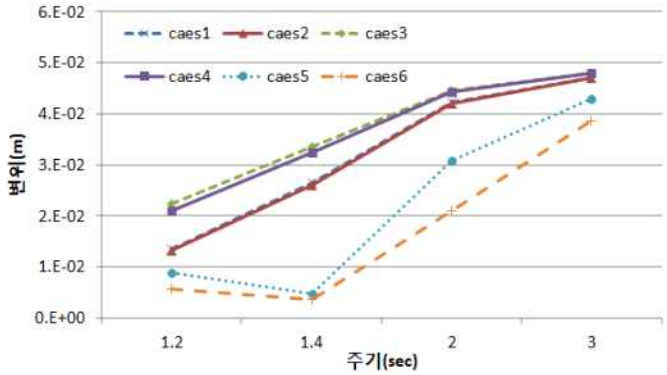
**측벽** : 함체에서 물과 접촉하는 외측 벽

**흘수** : 함체가 떠 있을 때 수면에서 물에 잠긴 함체의 가장 밑부분까지의 수직 거리

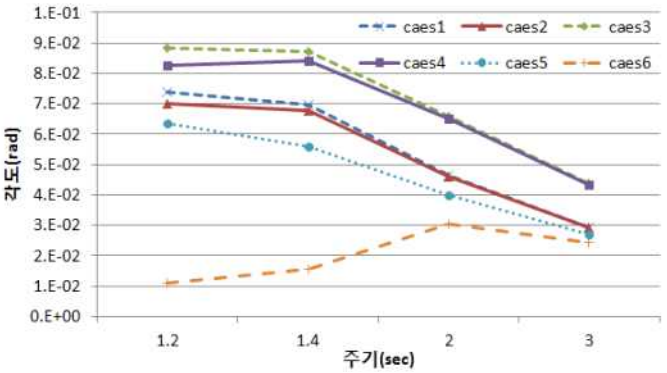
(2) 반강접 함체 상세 해석

(가) RAO해석

○ 구조물의 수직변위(heave)와 피치(pitch)를 확인함




[그림 2-1-10] 수정된 RAO Heave

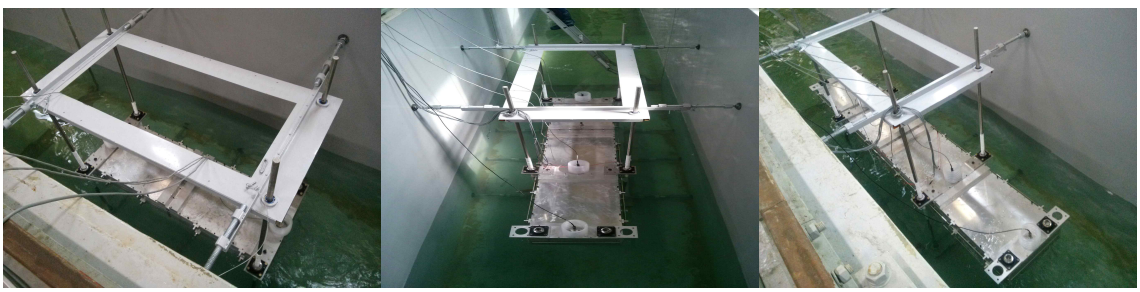



[그림 2-1-11] 수정된 RAO Pitch

(3) 반강접 함체 모형 실험

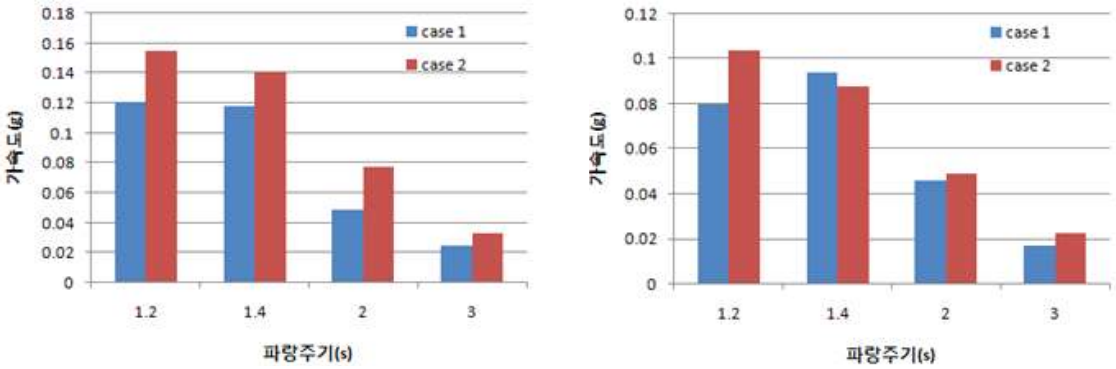
○ 프리스트레싱을 이용하여 플로팅 함체 모듈의 강체 연결 가능성 확인

○ 프리스트레싱과 전단키에 의한 접합부의 성능 확인 및 모듈 접합된 플로팅 함체의 프리스트레싱 완화에 따른 예측모델 개발과 검증



[그림 2-1-12] case별 함체 설치 모습

○ 상부구조물의 유무에 따른 1번 및 3번 채널의 가속도를 비교한 그래프는 아래와 같음




(a) 1번 채널 (전) (b) 3번 채널 (후)

[그림 2-1-13] 상부구조물 유무에 따른 One Body 비교 그래프
(2차원수조, case1 유, case2 무)

○ 일체형 함체와 프리스트레싱으로 연결된 함체를 상부구조물의 유, 무에 따른 결과는 상부구조물이 있는 경우가 가속도 값이 작게 발생함

## 라. 플로팅 구조물의 최적화 설계기법

### (1) 시설계

#### (가) 설계 하중

○ 시설계의 대상지는 부산광역시 강서구의 '평강천' 임



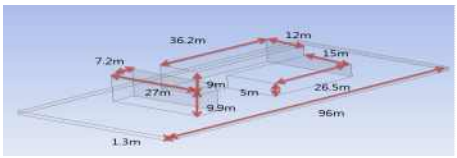

[그림 2-1-14] 대상지

[표 2-1-6] 설계 하중

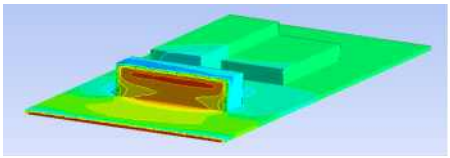
| 풍하중 | 파랑하중 |
|---|---|
| 35m/sec | 최대 취송거리 : 1.5km<br>평균 수심 : 3m<br>유의파고 : Hs = 0.9m<br>유의주기 : Ts= 3.0 sec |
| 조류 | 고정하중 및 활하중 |
| 1m/sec | 고정하중과 활하중은 상부구조물의 하중을 고려하였으며, 활하중의 저감을 고려하여 활하중은 50%만 적용 함 |

(나) 환경하중 시뮬레이션

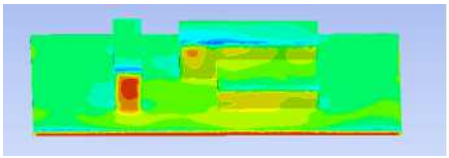
○ 제시된 환경하중을 대상으로 AQWA FLUENT를 이용해 시뮬레이션을 수행함



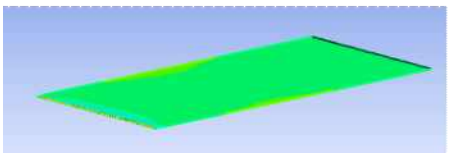

해석 모델



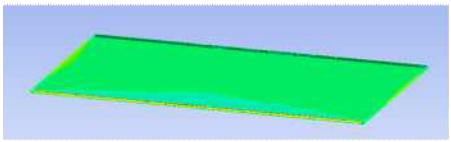
풍력 해석 결과 (0도)



풍력 해석 결과 (90도)



조류력 해석 결과 (0도)



조류력 해석 결과 (90도)

[그림 2-1-15] 환경하중 시뮬레이션

(다) 시설계 해석

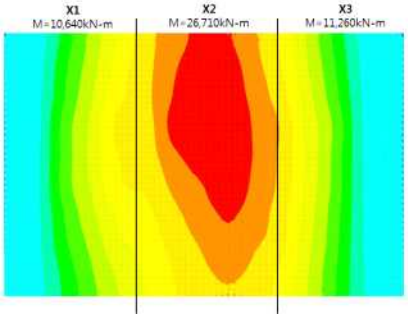
1) 정수압에 대한 해석

① 해석 개요

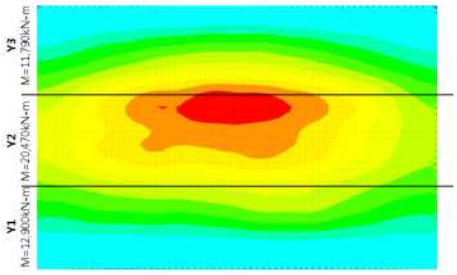
○ 재료는 콘크리트 $f_{ck} = 40\,MPa$ 와 철근 $f_y = 600\,MPa$을 사용함

○ 시설계 함체는 가로 64m, 세로 42m, 높이 2m이며, 흘수는 1.5m이고, 질량은 함체 2,900 ton, 상부건물 1,075ton의 규모로 계획 함

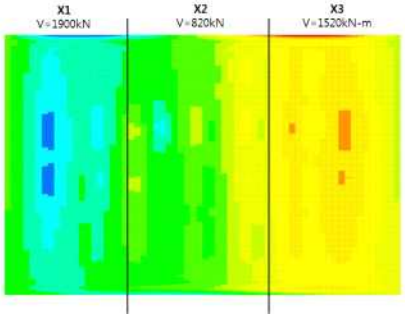
② 해석 결과



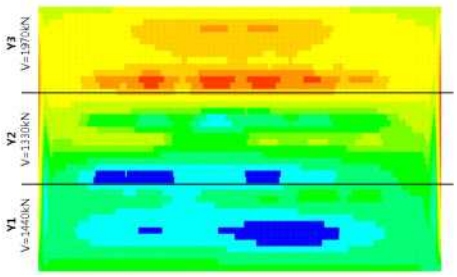

함체 종방향 모멘트




함체 횡방향 모멘트




함체 종방향 전단력




함체 횡방향 전단력

[그림 2-1-16] 정수압에 의한 함체 해석 결과

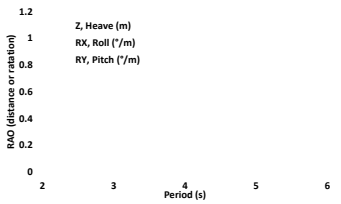
2) 동수압에 대한 해석

① 해석 모델

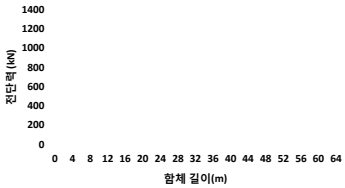
○ 해석 프로그램은 AQWA v14.5으로 사용하였음

○ 본 해석모델은 수평방향을 제어하기 위하여 계류설계가 적용되었음

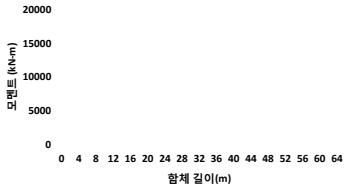
② 해석 결과




RAO 결과




RAO에 의한 전단력

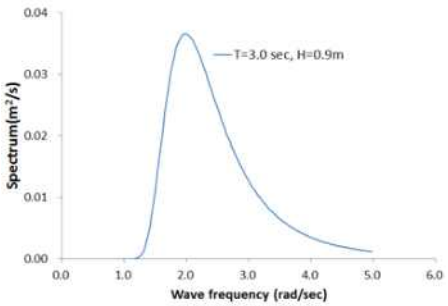



RAO에 의한 모멘트

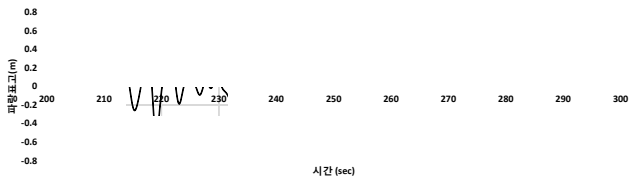
[그림 2-1-17] 동수압에 의한 함체 해석 결과

3) 시간이력 해석

① 입력 하중




(a) 파랑 스펙트럼

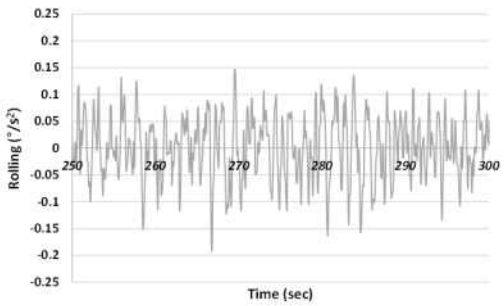



파랑표고

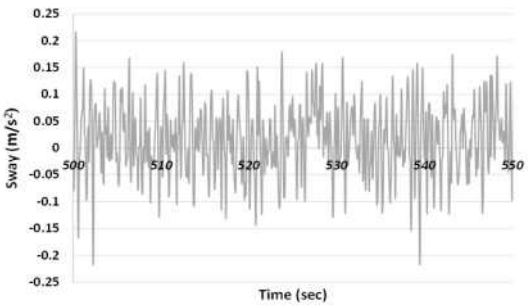
[그림 2-1-18] 입력 파랑

○ 풍•파랑 입사각도는 90° 방향으로 가력하였으며 이는 길이방향 축에 대한 회전 거동, 즉 횡동요의 거동이 가장 크게 나타나기 때문임

② 해석 결과




[그림 2-1-19] 횡동요 가속도의 시간이력




[그림 2-1-20] 좌우동요 가속도의 시간이력

마. 플로팅 구조물의 설계기법 제시

| 플로팅 구조 해석 및 사용성 평가 지침 |
|---|
| 1. 목적<br>2. 적용범위<br>3. 참고기준<br>4. 용어 및 정의<br>5. 하중<br>5.1 수직하중<br>5.2 환경하중<br>6. 함체의 거동 해석<br>6.1 구조물의 모델링<br>6.2 동수역학 해석<br>7. 상부구조물의 해석<br>7.1 개요<br>8. 시간이력해석<br>8.1 하중<br>8.2 해석<br>9. 시공하중의 검토<br>9.1 개요<br>9.2 해석방법<br>10. 동요와 사용성<br>10.1 동요<br>10.2 사용성<br>10.3 동요 허용 한계 |

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

○ 부분구조법 및 동수역학-구조연계해석을 통하여 플로팅 구조물의 상호작용해석기법을 정립하였으며 결과를 확인하기 위하여 계류 장치를 포함한 모형실험을 수행하였음. 해석과 실험의 양상은 비슷하게 발생하였으며 상부구조물의 응답을 예측할 수 있음

○ 수조 실험을 통한 플로팅 구조물의 상호작용해석기법을 실 해역의 Mock-up실험을 통해서 함체의 6자유도 운동과 상부구조물의 6자유도 운동을 동시 계측하여 상호작용의 영향을 재검증 하고자함

○ 부유식 구조의 일반사항, 하중, 재료, 해석 및 설계 등의 부문으로 콘크리트 함체로 이루어진 플로팅 구조물의 설계기준을 제정하고자함

# 제2절 계류시스템 계획 대안 설계

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 현장상황에 따른 계류시스템의 대안 및 비교 검토를 통하여 최적화된 계류시스템을 선정함

## 2. 연구개발 내용 및 결과

### 가. 부잔교 고정시설 경제성 검토(수심에 따른 계류형식 적정성 검토)

#### (1) 부잔교의 정의

○ 부잔교는 여객선 등 중·소형 선박의 계류 및 마리나 시설로 이용되는 부유구조물로 파랑과 흐름조건에 따라 설치에 제한을 받으나 매립공종을 배제할 수 있는 친 환경적 경제적 구조물임

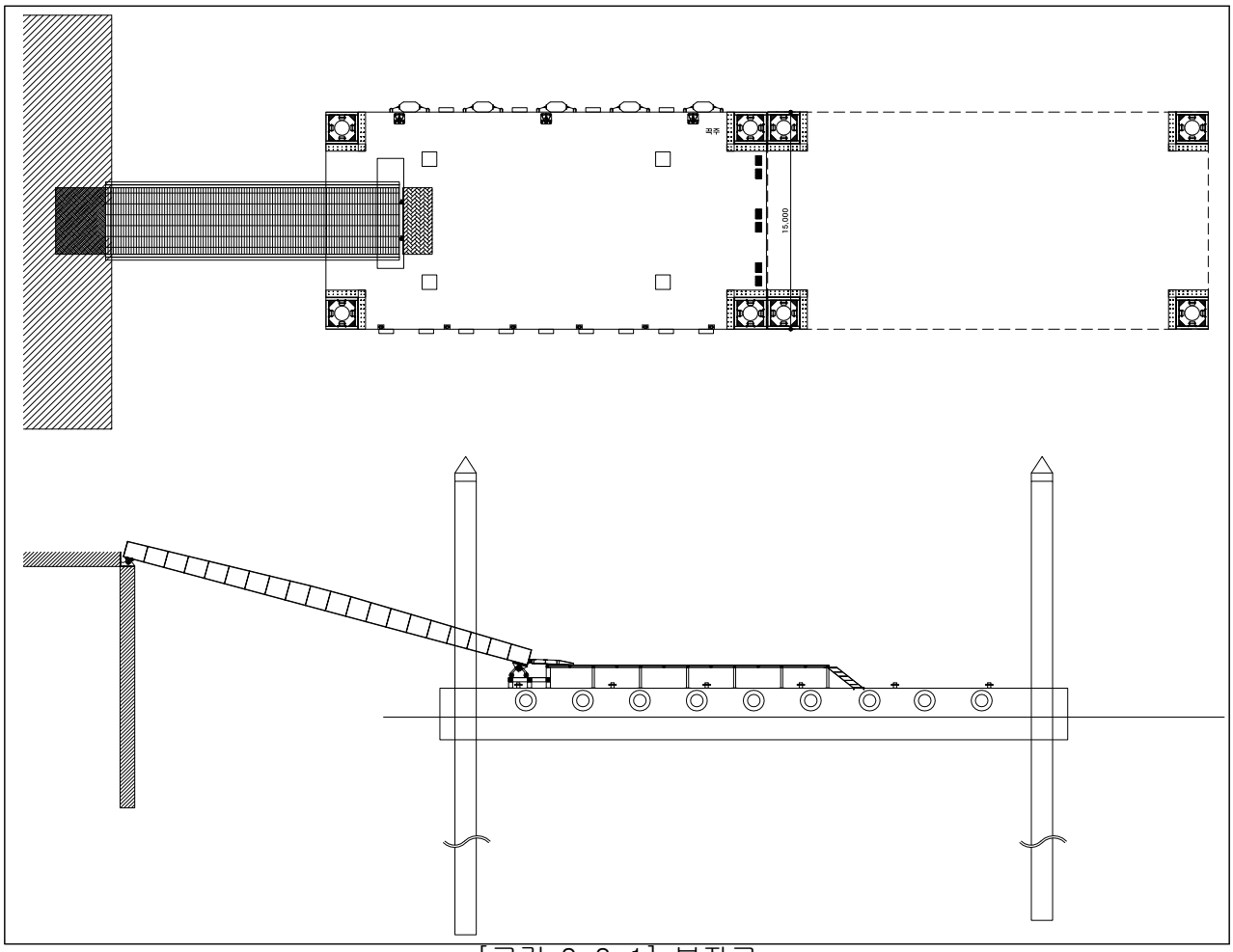
○ 국내 부잔교는 플로팅 도로 및 플로팅 건축물로의 이용범위 확장

#### (2) 부잔교의 구성

○ 부잔교 SYSTEM은 주가 되는 부잔교와 상부구조물

○ 육상과의 연결이 가능한 연락교

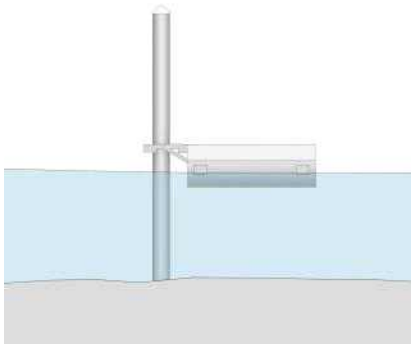
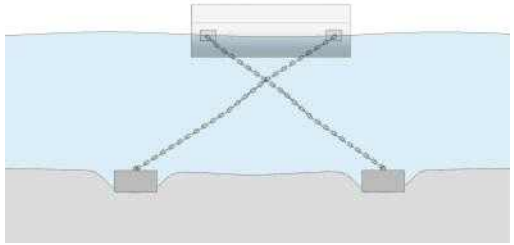
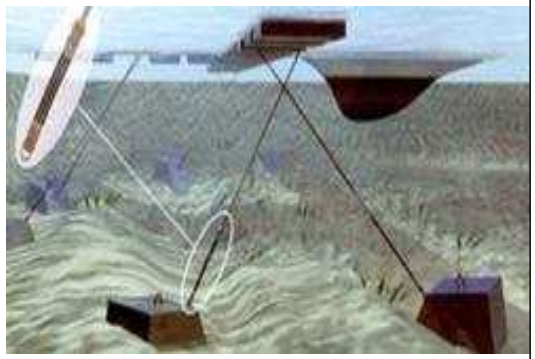
○ 부잔교 고정시설인 계류파일 및 계류앵커로 구성




[그림 2-2-1] 부잔교

(3) 부잔교 고정 시설 비교

[표 2-2-1] 계류 시설 비교

| 구 분 | 파일 고정방식 | 앵커블록 고정방식 | 씨플렉스 고정방식 |
|---|---|---|---|
| 개<br>요<br>도 |  |  |  |
| 특 성 | 유동성이 작고 고정기능 우수<br>유틸리티 시설 설치 유리<br>부식방지 및 유지관리 필요<br>깊은 수심에 경제성 불리<br>국내 시공사례 다수<br>경관성 불리 | 유동성이 커 고정기능 절대 불리<br>유틸리티 시설 설치 불리<br>부식방지 점검 및 교체 필요<br>수심 변화에 영향이 큼<br>국내 시공사례 다수<br>경관성 우수 | 유동성 및 고정기능 보통<br>제한적 강관파일 대체 가능<br>별도 부식방지공 불필요<br>국내 시공사례 상대적 소수<br>경관성 우수 |
| 내 구 성 | 우 수 | 불 리 | 양 호 |
| 유지관리성 | 양 호 | 불 리 | 양 호 |
| 시공성 | 양 호 | 우 수 | 우 수 |
| 경제성 | 불 리 | 우 수 | 양 호 |

(4) 공사비 비교 검토

○ 설계 조건

[표 2-2-2] 설계 조건

| 수심 및 지반조건 | 해상 및 기상조건 |
|---|---|
| 수 심 : DL.(-) 18.00m<br>지 층 : 모래층 17.5m (평균 N치 : 7.5)<br>자갈층 10.0m (평균 N치 : 22) | 파 고 : 1.0M , (T=3.66sec)<br>조류속 : 0.3m/s (가정)<br>풍 속 : 25m/s |

○ 형식에 따른 공사비 비교

(단위 : 백만원)

[표 2-2-3] 형식에 따른 공사비 비교

| Seaflex Rope식 | | 강관 파일식 | |
|---|---|---|---|
| 폴리에스 로프공 : 260<br>씨플렉스 로프공 : 1,910<br>콘크리트 싱커공 : 500 | | 파일 항타공 : 2,173<br>부대공 : 500<br>방식공 : 430 | |
| 총 공 사 비 | 2,670 | 총 공 사 비 | 3,103 |

○ 수심에 따른 공사비 비교(강관파일식)

(단위 : 백만원)

[표 2-2-4] 수심에 따른 공사비 비교

| DL(-) 18.00M | DL(-) 10.00M | DL(-) 5.00M |
|---|---|---|
| 3,103 | 1,930 | 1,320 |

가. 시설계의 돌핀설계

(1) 설계조건

[표 2-2-5] 계류 시설 비교입사각에 따른 풍·파력

| 구 분 | 파력 (kN) | 풍력 (kN) |
|---|---|---|
| 0 deg | 863 | 364 |
| 90 deg | 1,075 | 555 |

(2) 고정시설 설계

(가) 고정시설 비교

[표 2-2-6] 계류 시설 비교고정시설 대안비교

| 구 분 | 제 1 안<br>(강관파일 고정방식) | 제 2 안<br>(앵커체인 고정방식) |
|---|---|---|
| 개념도 |  |  |
| 시공방법 | ◦파일을 수중 암반층까지 항타하여 부잔교의 파일가이드로 고정하는 방식<br>◦태풍, 해일 등 기상변동 큰 해안에 설치 | ◦앵커체인으로 부잔교와 해저의 닻가지 및 콘크리트블록을 연결하여 수중에 고정하는 방식<br>◦기상변동이 적은 내수면 및 내항에 주로 설치 |
| 장 점 | ◦수위에 따라 부잔교가 파일가이드 안에서 상하로 이동하여 태풍, 해일 등의 기상변화에도 부체의 유동이 거의 없음<br>◦조위차가 큰 서해안이나 도서지역에 유리<br>◦파일의 별도 방식 처리로 부식 우려 없음 | ◦시공방식이 파일고정방식보다 간편함<br>◦비용이 파일고정방식보다 저렴함<br>◦고정장치를 수중에 설치하여 미관상 깔끔함<br>◦장래 폰툰 이설이 용이함<br>◦계류라인을 X자로 연결하여 폰툰 안정성, 이용성 양호 |
| 단 점 | ◦파일항타 전용선이 필요하고 시공이 복잡<br>◦도서지방에 소규모 공사시 항타비용 고가 | ◦바람, 태풍에 의한 함선의 유동가능성이 다소 있음<br>◦계류체인의 부식 우려가 있음 |
| 경제성 | 1.3 | 1.0 |
| 선 정 | ◎ | |

(나) 계류말뚝 설계

[표 2-2-7] 계류 시설 비교말뚝 제원

| 구 분 | 609.6 × 12t, Δt = 2 ㎜ | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 단면적 A (c㎡) | 560.0 | 527.6 | |
| 단면2차모멘트 Ix (cm4) | 172,341 | 158,386 | |
| 단면2차모멘트 Iy (cm4) | 172,341 | 158,386 | |

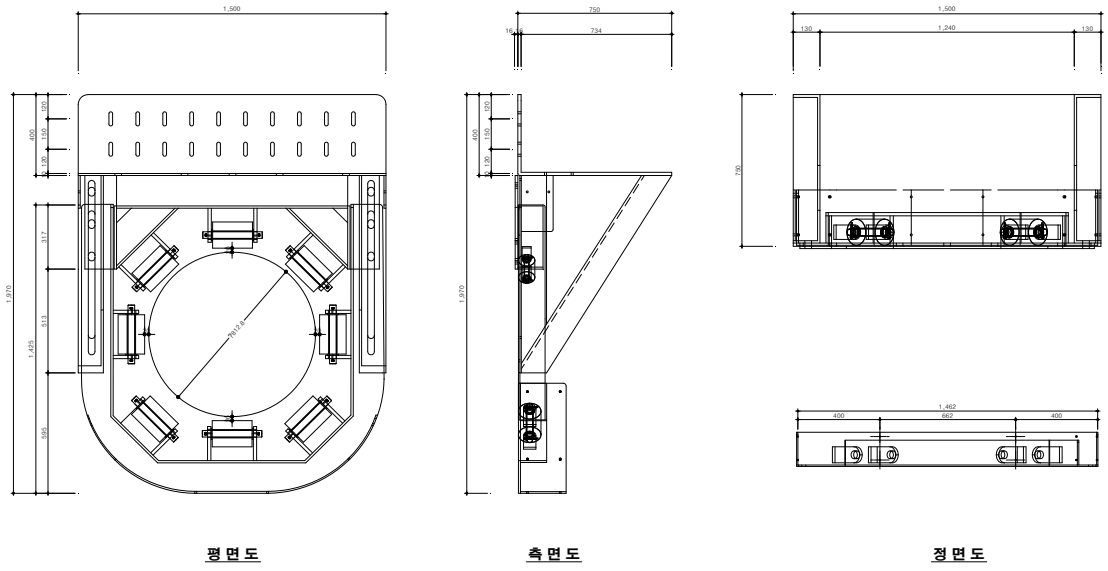
(다) 계류말뚝 제원

[표 2-2-8] 계류 시설 비교제원 및 결과표

| 구 분 | 609.6 × 12t, | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| | Δt = 0 ㎜ | Δt = 2 ㎜ | |
| 단면적 A (c㎡) | 560.0 | 527.6 | |
| 단면계수 Z (cm3) | 5,654 | 5,196 | |
| 회전반경 r (cm) | 17.5 | 17.3 | |
| 단면2차모멘트 Ix (cm4) | 172,341 | 158,386 | |
| 단면2차모멘트 Iy (cm4) | 172,341 | 158,386 | |

[표 2-2-9] 계류 시설 비교결과값

| 구 분 | 위 치<br>폰 툰 | 비 고 |
|---|---|---|
| 축력 (tonf) | 9.20 | |
| 휨모멘트 (tonf・m) | 62.40 | |
| 파일길이 (m) | 10.00 | |
| 최대변위 (m) | 0.075 | |




[그림 2-2-2] 돌핀 가이드 도면

# 제3절 플로팅 건축 구조 계획 설계

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 플로팅 건축 상부구조물의 가장 주요한 문제는 상부 구조물의 자중을 줄이는 것임. 따라서 본 연구에서는 콘크리트로 이루어지는 바닥 슬래브의 경량화를 통해 상부구조물의 하중을 절감 시킬 뿐만 아니라, 보강철근과 콘크리트 타설 과정을 생략하여 시공성을 향상시키고자함

## 2. 연구개발 내용 및 결과

가. 플로팅 건축 상부구조물 대안설계의 일반사항(설계하중) 및 특징

(1) TYPE 1. 일반철골 + Con'c Deck SLAB

○ 일반철골 + Con'c Deck SLAB

○ Deck SLAB THK.=150mm

○ 사용성 측면에서의 장점

(2) TYPE 2. 경량부재설계

○ 경량부재설계(LH부재)

○ SLAB System : 장선(1m이내), 2 PLY 합판 및 마감

○ 기본 SPAN 간격 : 4m

(3) TYPE 3. Modular System

○ 기본 Module Size : 3000 X 5300 X 3300

○ SLAB System : 합판 SLAB 골철판(16mm) + 합판(10mm)

○ 공기단축 유리

(4) TYPE 4. 일반철골 + ALC Panel SLAB

○ 기본 바닥 ALC Panel Span : 2m 이내

○ SLAB System : ALC Panel + 철근배근 필요(연성확보)

○ ALC Panel을 바닥슬래브로 사용하여 경량화

나. 플로팅 건축 상부구조물 각 대안설계별 비교 분석 및 결론

[표 2-3-1] 대안 설계 비교

| 구분 | Type 1. (A)<br>일반철골+Con'c Deck SLAB | Type 2. (B)<br>경량부재 설계 | Type 3. (C)<br>Modular System | Type 4. (D)<br>일반철골+ALC Panel SLAB | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 설계하중 | Dead Load : 4.4kN/m2<br>Live Load : 4.0kN/m2 | Dead Load : 0.74kN/m2<br>Live Load : 4.0kN/m2 | Dead Load : 0.25kN/m2<br>Live Load : 4.0kN/m2 | Dead Load : 0.75kN/m2<br>Live Load : 4.0kN/m2 | |
| Material | SS400<br>Fck : 21MPa | SS400<br>Fb : 80kg/m2 | SS400<br>Fck : 21MPa | SS400<br>ALC Panel 비중 : 0.7kN/㎥ | |
| 부재사이즈 | SG1 : H-446X199X8X12<br>SG2 : H-596X199X10X15<br>SB1 : H-446X199X8X12<br>SB2 : H-148X100X6X9<br>SC1 : H-300X305X15X15 | SG1 : LH-300X150X4.5X6<br>SG2 : LH-300X175X4.5X6<br>SB1 : LH-300X175X4.5X6<br>SC1 : LH-200X200X6X9 | 최적 기본모듈<br>: 3000X5300X3300<br>(B x D x H) | SG1 : H-300X150X6.5X9<br>SG2 : H-496X199X9X14<br>SB1 : H-350X175X7X11<br>SB2 : LH-125X60X3.2X4.5<br>SC1 : H-300X300X10X15 | |
| 특징 | · 기본 Span : 8m<br>· 층수 : 상부구조물 3층<br>· 일반철골 + Deck Slab | · 기본 Span : 4m<br>· 층수 : 상부구조물 3층<br>· 경량철골<br>· 부재의 무게를 최소화하기 위한 경량철골사용 (기둥&보)<br>· Type 1. 의 고정하중에 비해 현저히 감소된 고정하중 (약 80%감소) | · 공기단축 (Short Build Times)<br>· 품질의 안전성 (Superior Quality)<br>· 경량화 (Low Weight)<br>· 내진특성 (Seismic Properties)<br>· 이동의 용이성 (Relocation)<br>· 디자인의 융통성 (Design Flexibility)<br>· 건설공사의 안전성 (Safer Construction) | · 기본 Span : 8m<br>· 층수 : 상부구조물 3층<br>· 바닥 : ALC Panel SLAB 사용<br>· Type 1. 의 고정하중에 비해 현저히 감소된 고정하중 (약 75%감소)<br>· Type 2. 의 사용성 측면에서의 단점 보완 (상부구조물 바닥판의 일체성확보)<br>· ALC Panel의 철근보강 필요 | |
| 강재량&비용 ↓ | C > B > D > A | | | | |
| 흘수 ↓ | C > B > D > A | | | | |
| 시공성 ↑<br>(공사기간 ↓) | C > B > D > A | | | | |
| 공간활용성 ↑<br>(사용성 ↑) | A > D > C > B | | | | |

나. 시설계 플로팅 건축물 설계

(1) 플로팅 건축물 설계 범위 및 목적

- 하부구조물(Pontoon)위 상부구조물의 거동과 특징을 파악하여 가장 최적화된 형태의 구조계획을 수립
- 하부구조물(Pontoon)은 유체위에 떠있는 상태를 수치해석화하여 설계
- 구조물은 고정, 적재하중과 풍하중에 대하여 안전하도록 검토
- 하부구조물의 진동하중은 추후고려 예정

(2) 플로팅 건축 상부구조물 대안설계의 일반사항(설계하중) 및 특징

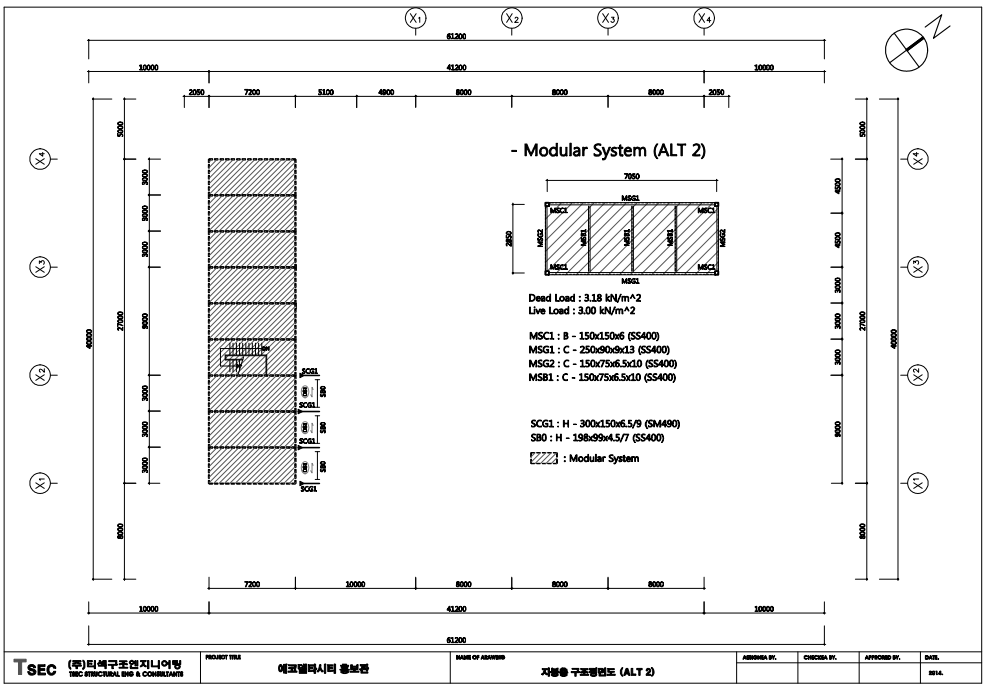
- Modular System + ALC Panel SLAB

[표 2-3-2] 하중조건

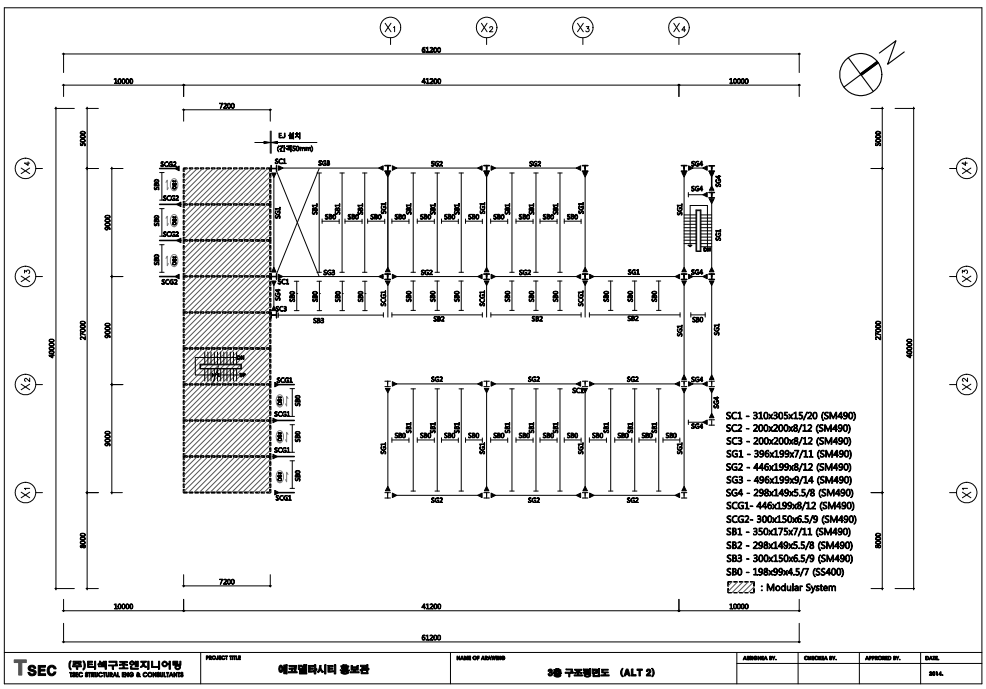
| 플로팅 건축 구조계획 대안설계 | | | | 단위 : kN/㎡ (0.1tf/㎡)<br>Ws=1.0DL +1.0LL<br>Wu=1.2DL +1.6LL | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 번 호 | 용 도 | 층 | 구 분 | 두께(mm) | 단위중량 (kN/㎥) | DEAD LOAD | LIVE LOAD | Ws | Wu |
| 4 | ALC Panel | TYP. | 몰탈 + 바닥지 정마감<br>ALC Panel<br>Ceiling | (t = 100)<br>(t = 225) (r = 7) | | 1.38<br>1.58<br>0.20 | | | |
| 소계 | | | | | | 3.16 | 5.0 (실별고려) | 8.16 | 11.78 |

- 기본 바닥 ALC Panel Span : 2m 이내
- SLAB System : ALC Panel + 철근배근 필요(연성확보)
- ALC Panel을 바닥슬래브로 사용하여 경량화

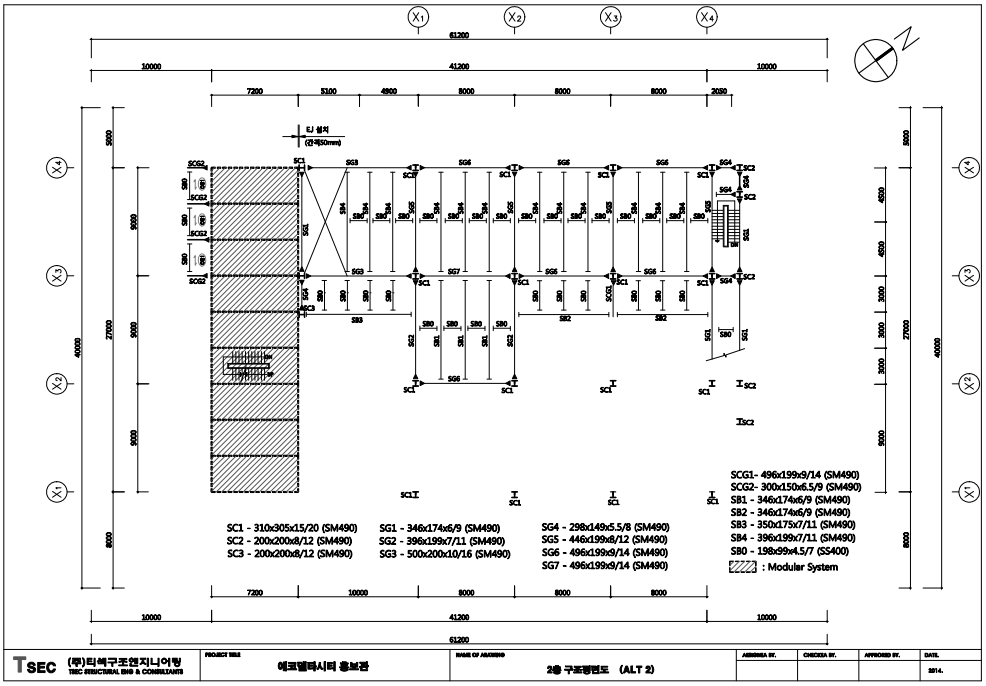
(3) 플로팅 건축 상부구조물 골조 계획 및 부재사이즈



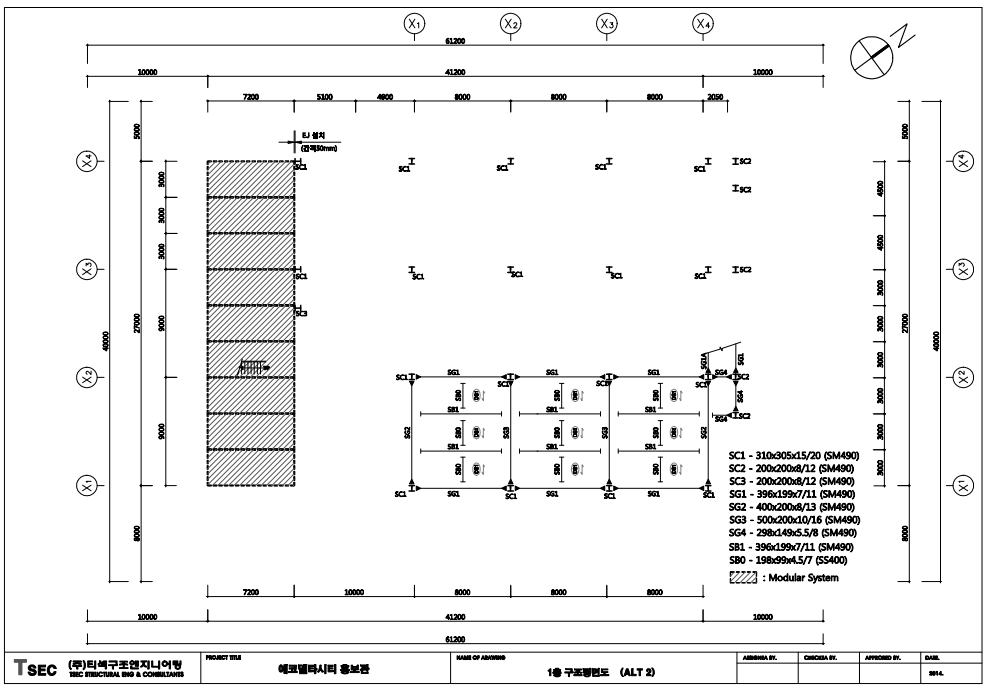

[그림 2-3-1] 지붕층 구조평면도




[그림 2-3-2] 3층 구조평면도




[그림 2-3-3] 2층 구조평면도




[그림 2-3-4] 1층 구조평면도

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

○ 본 연구에서는 최적 설계를 수행하기 위해 에코 델타 시티 홍보관을 대상으로 상부구조물의 경량 일체형 슬래브를 적용한 최적 설계를 수행

## 4. 부유식 구조물 설계 지침 제시

○ 본 연구에서는 부유식 구조물의 최적 설계를 위하여 기존 건축 구조기준의 내용을 보완 및 추가한 부유식 구조물의 설계 지침을 제시함

# 제4절 플로팅구조물 신뢰성평가 기술 개발

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 플로팅건축 확률론적 안전성평가 기술의 성공적 개발을 위한 기반확립

○ 주요 확률변수의 선정 및 통계특성치 결정기법 개발

○ 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석기법 개발

○ 신뢰성분석 기법에 기초한 수치해석도구 개발

○ 개발 안전성평가기법의 시설계적용을 통한 실증연구

## 2. 연구개발 내용 및 결과

가. 확률론적 안전성평가에 대한 기반연구

(1) 확률론적 안전성평가와 관련된 국내외 선행연구 자료 및 문헌 조사와 분석

- 국내외 선행연구 사례조사에 대한 면밀한 분석을 거쳐 과제 목표에 적합한 적용 가능 분석기법의 선정 및 활용가능 자료의 선별
- 확률론적 안전성평가와 관련하여 토목구조물(교량, 터널 등), 건축구조물(빌딩), 항만구조물(방파제, 안벽), 지반구조물(말뚝, 사면)에 대한 연구사례를 조사하고 관련 문헌 수집

(2) 해양 및 플로팅구조물의 신뢰성평가 사례 조사 및 분석

- 조선 및 해양구조물에서는 Ship, Spar, Jacket Platform, FPSO, VLFS에 대한 확률론적 안전성평가 연구사례의 조사 및 수집
- 분석기법의 적용 가능성 확인 및 이에 기초한 연구성과를 학술발표회 논문으로 발표 (2011.06.03)

(3) 연구개발의 대상이 되는 플로팅건축의 형식 선정과 구체화

- 타 세부과제의 연구방향 및 목표와 연계하여 플로팅 건축의 함체 및 계류에 대한 연구대상 형식을 구체화
- 함체는 콘크리트의 폰툰형 함체
- 계류는 Catenary (Cable) Mooring System을 적용

(4) 플로팅구조물의 신뢰성평가에서 고려해야 할 특성 파악

- 한계상태 및 주요 파괴모드(극한강도, 사용성 및 피로강도)의 정의
- 플로팅구조물과 관련된 확률변수의 정립과 확률변수의 통계특성치 평가법 검토
- 적용 가능한 확률론적 안전성평가 기법 검토

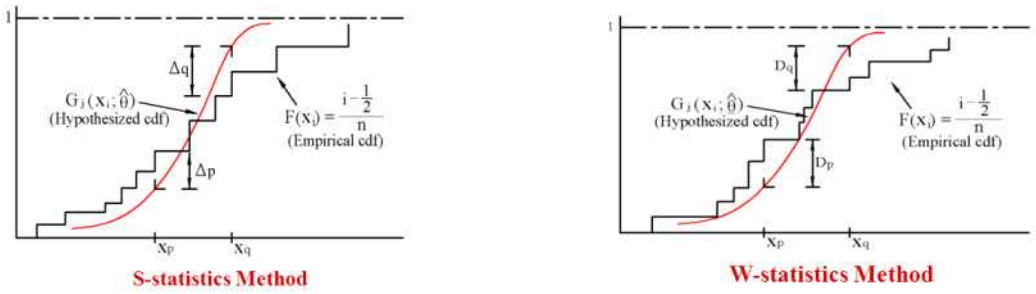
나. 주요 확률변수의 선정 및 통계특성치 결정기법 개발

(1) 확률변수 결정을 위한 서남해안의 연안자료 수집

- 서남해안 해양환경변수인 풍속, 최대파고, 유의파주기, 유의파고에 대한 실측 자료의 확보를 위해 국립해양조사원(http://www.khoa.go.kr)과 기상청(http://www.kma.go.kr)자료를 확보하였으며, 본 연구에서는 기상청자료를 사용
- 서남해안중 보령(외연도 부이), 목포(칠발도 부이), 여수(거문도 부이)의 연안자료(유의파고, 풍속)의 수집과 통계특성치 결정
- 파랑자료는 파력의 확률특성에 직접적인 영향을 주는 계수로서 유의파고(H)값과 유의파주기, 유속을 고려하고, 본 연구에서는 여수지역의 2006. 12. 01 ~ 2011. 10. 30까지 일평균 최대파고와 평균파고 자료 1434개의 테이터 사용
- 바람자료는 풍하중에 직접적으로 가장 크게 영향을 미치는 계수로써 $V_{10}$을 고려하고, 여수지역은 1970.01.01 ~ 2009.12.31까지 일평균 최대풍속과 평균풍속 자료 14610개의 데이터 값 사용

(2) 확률분포 형태 결정을 위한 매개변수 추정 방법에 따른 비교 분석

- Wirsching-Carlson방법(그림 1)에 기초하여 임의 자료에 대한 가장 적합한 확률분포형태와 매개변수를 간편하게 결정할 수 있는 FORTRAN 컴퓨터프로그램(HDIST, 그림 2)을 개발 및 등록




[그림 2-4-1] Wirsching-Calson Method




[그림 2-4-2] 확률분포/매개변수 결정 프로그램(HDIST) (등록번호 C-2012-011085)

(3) 국내 연안자료를 활용한 통계특성치 결정 및 적합도의 비교 분석

- 서남해안 중 여수지역에서 수집된 일평균 파고 및 풍속자료에 대한 통계분석을 수행하여 통계특성치를 다음 표 1과 같이 결정
- HDIST(확률분포형태와 매개변수 결정을 위한 Wirsching-Calson's W-S Statistics Method를 적용한 프로그램)에 의한 적합도 평가를 수행한 결과를 아래 표에 제시

[표 2-4-1] 레일레이분포를 적용한 지역별 풍속 및 파고의 통계특성

| 지역 | 구분 | 평균 | 중앙값 | 표준편차 | 변동계수 |
|---|---|---|---|---|---|
| 여수 | 일 최대풍속 | 5.18(m/s) | 5.02(m/s) | 2.3399(m/s) | 0.45142 |
| | 일 최대파고 | 2.21(m) | 1.94(m) | 0.807(m) | 0.36535 |
| 목포 | 일 최대풍속 | 4.74(m/s) | 4.41(m/s) | 2.6663(m/s) | 0.56217 |
| | 일 최대파고 | 3.214(m) | 2.52(m) | 2.277(m) | 0.70832 |
| 보령 | 일 최대풍속 | 5.22(m/s) | 4.85(m/s) | 2.4984(m/s) | 0.47823 |
| | 일 최대파고 | 3.73(m) | 2.56(m) | 3.223(m) | 0.86427 |

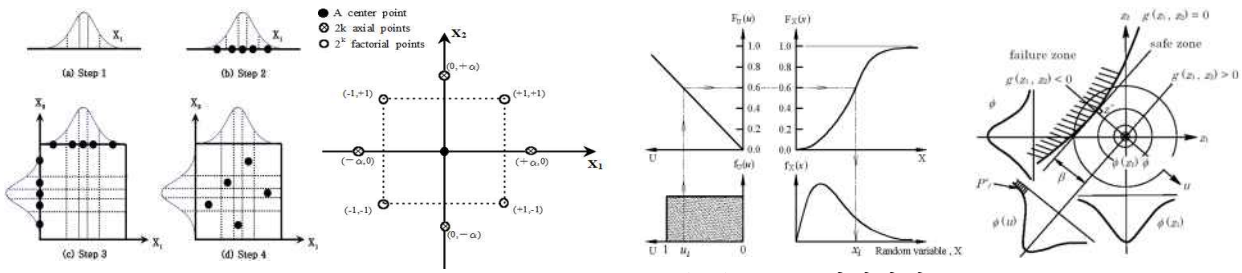
[표 2-4-2] W-statistics기법에 의한 지역별 풍속/파고의 확률분포형태 적합도평가 결과

| 지역 | 순위 | 파고 | 풍속 |
|---|---|---|---|
| 여수 | 1 | GUMBEL(0.02018) | WEIBULL(0.01578) |
| | 2 | WEIBULL(0.02246) | NORMAL(0.02467) |
| | 3 | LOGNORMAL(0.03362) | GUMBEL(0.03331) |
| | 4 | NORMAL(0.04788) | NOGNORMAL(0.04702) |
| 목포 | 1 | LOGNORMAL(0.02364) | WEIBULL(0.01897) |
| | 2 | WEIBULL(0.03815) | GUMBEL(0.02894) |
| | 3 | GUMBEL(0.04912) | NORMAL(0.03784) |
| | 4 | NORMAL(0.07811) | LOGNORMAL(0.04247) |
| 보령 | 1 | LOGNORMAL(0.02391) | GUMBEL(0.01975) |
| | 2 | WEIBULL(0.05497) | LOGNORMAL(0.02225) |
| | 3 | GUMBEL(0.08076) | WEIBULL(0.02355) |
| | 4 | NORMAL(0.08271) | NORMAL(0.04272) |

다. 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석기법 개발

(1) 신뢰성해석 기법의 개발을 위한 요소기법의 검토 및 정립

- 일정수준 이상의 정확성을 보장하고 매우 효율적인 샘플링기법의 검토 : LHS (Latin Hypercube Sampling) & RSM (Response Surface Method)
- 정확성을 보장하며 확률변수의 민감도지수 산정이 가능한 신뢰성평가 방법 : MCS & FORM

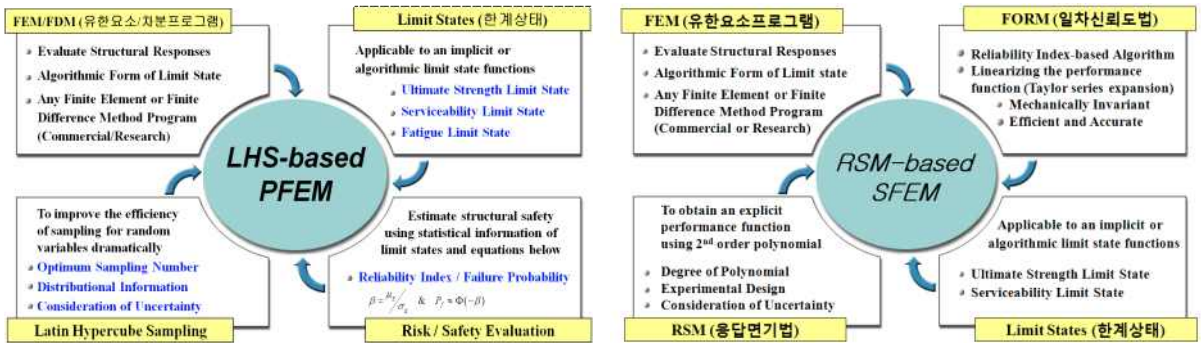



(a1) LHS 샘플링 (a2) RSM 샘플링 (b1) MCS 역변환법 (b2) FORM

[그림 2-4-3] 샘플링과 신뢰성평가 기법의 개념도 (a) LHS & RSM (b) MCS & FORM

(2) 요소기법의 합리적 결합을 통한 효율적인 신뢰성기법의 개발 및 정립

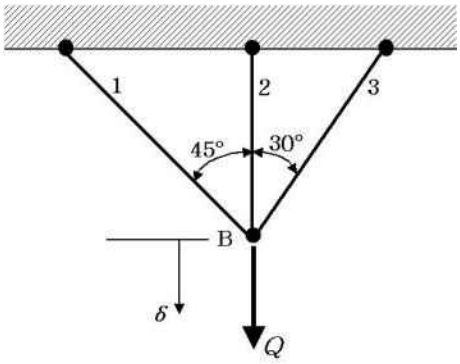
- LHS + MCS 신뢰성해석 기법 : 개념적으로 직접적이고 복잡한 수학적 계산이 필요하지 않아, 상대적으로 프로그래밍이 용이하며 사용자의 전문적 판단이 필요하지 않아 사용성이 우수
- RSM + FORM 신뢰성해석 기법 : 발에 따른 정식화 과정과 절차가 복잡하여 프로그래밍에 상대적으로 많은 노력과 시간이 필요하며 사용자가 샘플링에 따른 장단점을 숙지하여 적용하는 공학적 판단이 필요함. 또한 확률변수가 많은 경우에 적용성에 문제가 발생할 수 있으나, 확률변수의 파괴확률에 대한 민감도를 산정할 수 있는 장점 등 존재




[그림 2-4-4] 통합 신뢰성평가 알고리즘 (a)LHS-기반 기법 (b)RSM-기반 기법

(3) 검증예제 해석과 플로팅구조물 사례분석을 통한 개발 알고리즘의 효율성, 정확성 및 적용성 검증

- 검증용 예제구조물과 한계상태(그림 5) 및 확률변수와 통계특성치(표 3)을 사용한 두 제안기법의 효율성과 정확성을 검증(결과 표 4)




$$g(X) = 0.25 - \frac{Q}{\frac{E_2A_2}{L_2} + \frac{0.93301\frac{E_1A_1}{L_1}\frac{E_3A_3}{L_3}}{0.5\frac{E_1A_1}{L_1} + 0.25\frac{E_3A_3}{L_3}}} \quad (1)$$

$$g(X) = 0.25 - \frac{Q\frac{L_2}{A}}{E_2 + \frac{0.57135E_1E_3}{0.35355E_1 + 0.21651E_3}} \quad (2)$$

[그림 2-4-5] Three bar truss structure

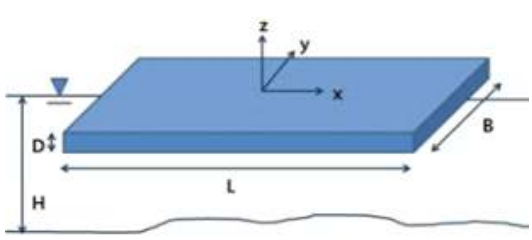
[표 2-4-3] 검증예제의 설계인자 통계 특성치

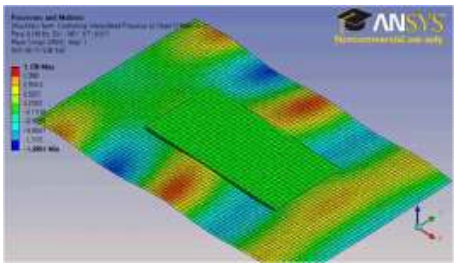
| 설계변수 | 평균값 | 변수 | 변동계수 | 분포형태 |
|---|---|---|---|---|
| A1 (cm2) | 6.452 | X1 | 0.03 | Log-Normal |
| A2 (cm2) | 6.452 | X2 | 0.03 | Log-Normal |
| A3 (cm2) | 6.452 | X3 | 0.03 | Log-Normal |
| L1 (cm) | 43.11 | X4 | 0.05 | Log-Normal |
| L2 (cm) | 30.48 | X5 | 0.05 | Log-Normal |
| L3 (cm) | 35.20 | X6 | 0.05 | Log-Normal |
| E1 (kN/cm2) | 6894 | X7 | 0.10 | Log-Normal |
| E2 (kN/cm2) | 6894 | X8 | 0.10 | Log-Normal |
| E3 (kN/cm2) | 6894 | X9 | 0.10 | Log-Normal |
| Q (kN) | 444.8 | X10 | 0.15 | Log-Normal |

[표 2-4-4] 검증예제의 신뢰성해석 결과 (확률변수 10개)

| Method | Item | 결과 (확률변수10개) |
|---|---|---|
| MCS | 횟수 | 1,000,000 |
| | $P_f$ | 0.004042 |
| 응답면기법-기반 추계유한요소법 | $\beta$ | 2.651 |
| | $P_f$ | 0.004012 |
| | $P_f$의 오차 | 0.7% |

- 플로팅구조물을 대상으로 한 신뢰성분석 수행으로 적용성 및 효율성 검토




[그림 2-4-6] 플로팅함체의 모형

[표 2-4-5] 확률변수의 통계특성치

| 확률변수 | 평균 | 평균치비 | 변동계수 | 분포형태 |
|---|---|---|---|---|
| 콘크리트단위중량 | 23.53 (kN/m3) | 0.98 | 0.02 | N |
| 콘크리트탄성계수 | 29755 (MPa) | 1.0 | 0.06 | LN |
| 파고 (항내) | 1.0 (m) | 1.0 | 0.23 | Gumbel (EVD) |
| 파랑주기 | 13.0 (sec) | 1.0 | 0.12 | LN |

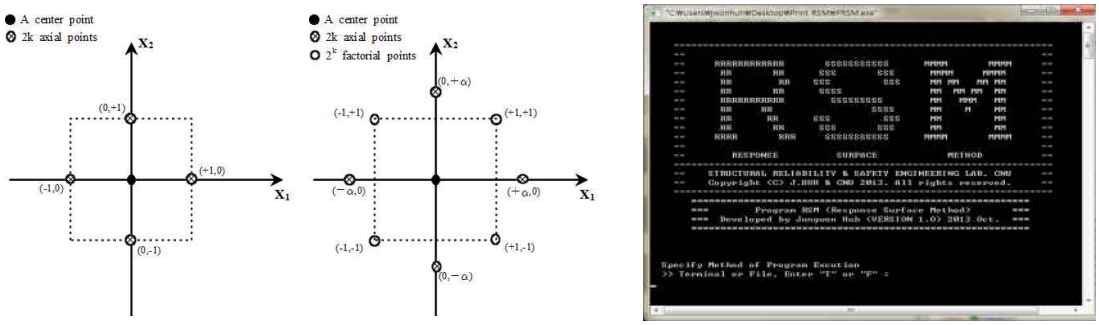
[표 2-4-6] 신뢰성지수 및 대응파괴확률

| 태풍시 | surging (m) | swaying (m) | heaving (m) | rolling (deg) | pitching (deg) | yawing (deg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 신뢰성지수($\beta$) | 0.951 | 1.773 | 0.406 | 1.971 | 0.477 | 1.377 |
| 대응 파괴확률($P_f$) | 0.1706 | 0.4296 | 0.3421 | 0.0243 | 0.3167 | 0.0841 |

라. 신뢰성분석 기법에 기초한 수치해석도구 개발

(1) 일정수준 이상의 정확성을 보장하고 매우 효율적인 신뢰성분석 수치해석 프로그램의 개발을 위한 요소 모듈의 개발

- 효율적 샘플링기법 : RSM 개발




(a) RSM의 모델 ① & 모델 ②　　(b) 개발된 RSM 요소 프로그램 모듈

[그림 2-4-7] 효율적 샘플링기법(RSM)의 요소 모듈 개발

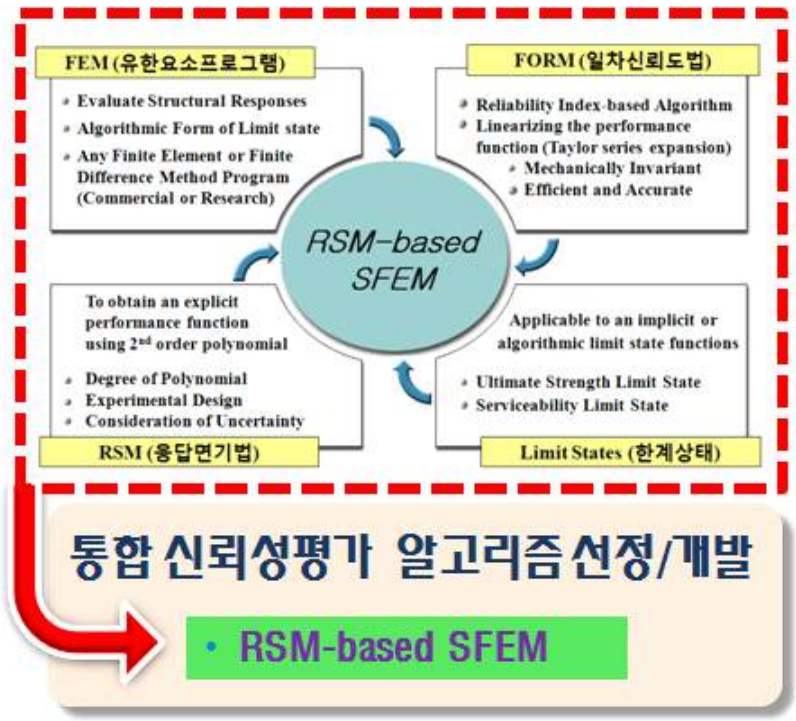
- 신뢰성평가 방법 : FORM 개발



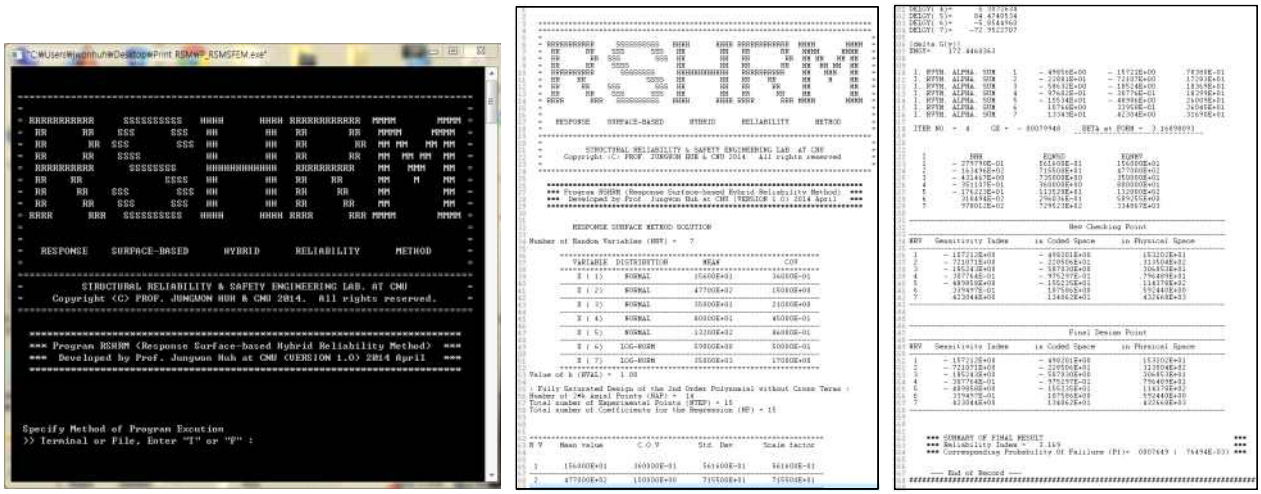

[그림 2-4-8] 신뢰성평가기법(FORM)의 개발된 요소 프로그램 모듈

(2) 적절한 요소기법의 조합을 통한 효율적인 신뢰성분석 수치해석 프로그램의 개발

- RSM+FORM 신뢰성분석 프로그램 개발 :

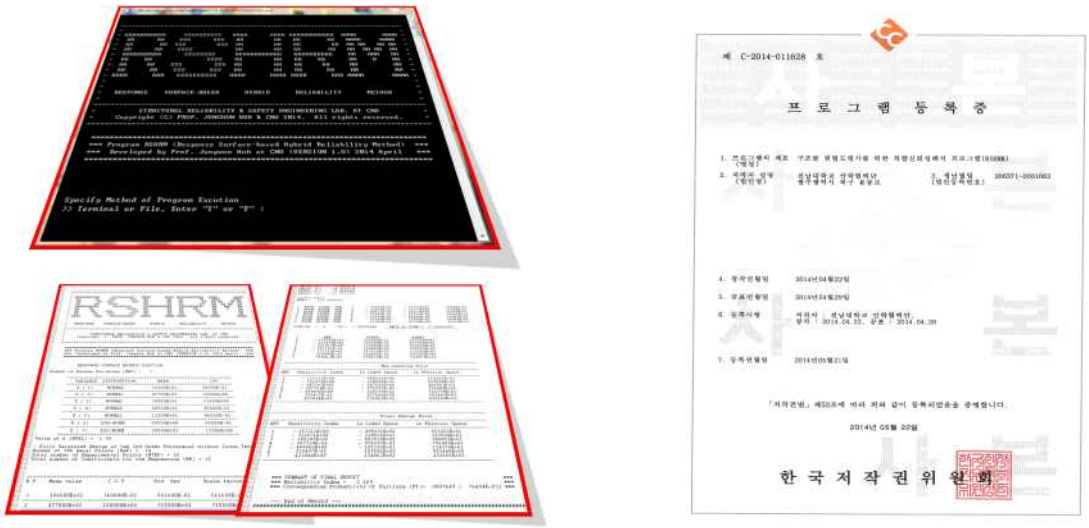



[그림 2-4-9] RSM-기반 복합신뢰성 분석기법의 선정



[그림 2-4-10] RSM-기반 복합신뢰성분석 프로그램 및 해석결과의 출력

- 개발 프로그램의 S/W 출원 및 등록




[그림 2-4-11] 복합신뢰성해석 프로그램(RSHRM) (등록번호 C-2014-011628)

(3) 검증예제 해석과 플로팅구조물 사례분석을 통한 개발 알고리즘의 효율성, 정확성 및 적용성 검증

- 3차년도 검증용 예제구조물과 한계상태 그리고 아래 표의 설계변수 통계특성치를 적용(2가지 경우 고려)한 제안기법의 효율성과 정확성을 검증

[표 2-4-7] 검증예제의 설계변수 통계특성치

| 설계변수 | 평균값 | Case 1 (10개 확률변수) | | | Case 2 (5개 확률변수) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 변수 | 변동계수 | 분포형태 | 변수 | 변동계수 | 분포형태 |
| A1 (cm2) | 6.452 | X1 | 0.06 | Log-Normal | - | - | Constant |
| A2 (cm2) | 6.452 | X2 | 0.06 | Weibull | - | - | Constant |
| A3 (cm2) | 6.452 | X3 | 0.06 | Normal | - | - | Constant |
| L1 (cm) | 43.11 | X4 | 0.05 | Log-Normal | - | - | Constant |
| L2 (cm) | 30.48 | X5 | 0.05 | Weibull | X1 | 0.05 | Weibull |
| L3 (cm) | 35.20 | X6 | 0.05 | Normal | - | - | Constant |
| E1 (kN/cm2) | 6894 | X7 | 0.10 | Log-Normal | X2 | 0.10 | Log-Normal |
| E2 (kN/cm2) | 6894 | X8 | 0.10 | Weibull | X3 | 0.10 | Weibull |
| E3 (kN/cm2) | 6894 | X9 | 0.10 | Normal | X4 | 0.10 | Normal |
| Q (kN) | 444.8 | X10 | 0.15 | Type I (EVD) | X5 | 0.15 | Type I (EVD) |

[표 2-4-8] 검증예제의 신뢰성해석 결과

| Method | Case | | Case 1 (10 RV) | | Case 2 (5 RV) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Monte Carlo Simulation | NOS | | 1,000,000 | | 1,000,000 | |
| | Pf | | 0.05436 | | 0.05338 | |
| | β | | 1.604 | | 1.613 | |
| Proposed Algorithm | Model | | ① | ② | ① | ② |
| | β | | 1.721 | 1.672 | 1.695 | 1.640 |
| | Error for β | | -7.3% | -4.2% | -5.1% | -1.7% |
| | TNSP | | 21개 | 1045개 | 11개 | 43개 |
| | Sensitivity Index | A1 | -0.0442 | -0.0551 | - | - |
| | | A2 | -0.1142 | -0.1434 | - | - |
| | | A3 | -0.0727 | -0.0912 | - | - |
| | | L1 | 0.0367 | 0.0458 | - | - |
| | | L2 | 0.0830 | 0.1021 | 0.1633 | 0.1971 |
| | | L3 | 0.0597 | 0.0749 | - | - |
| | | E1 | -0.0744 | -0.0928 | -0.0751 | -0.0927 |
| | | E2 | -0.2113 | -0.2691 | -0.2132 | -0.2710 |
| | | E3 | -0.1239 | -0.1558 | -0.1251 | -0.1556 |
| | | Q | 0.9500 | 0.9190 | 0.9522 | 0.9246 |

마. 개발 안전성평가기법의 실증연구 적용

(1) 신뢰성평가 프로그램 통합

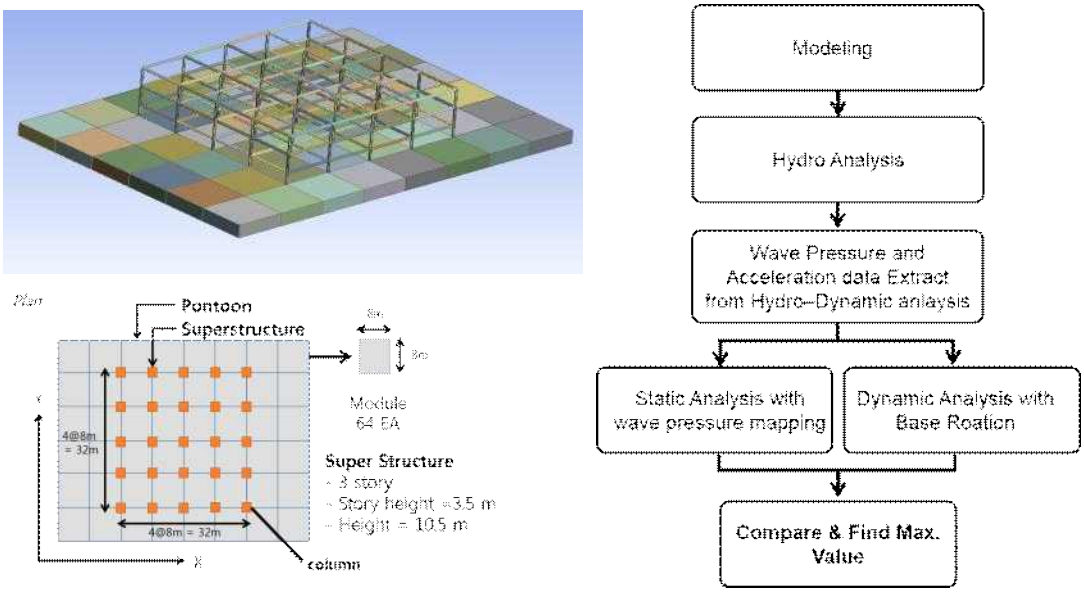
- 개발 프로그램들을 이용하여 플로팅건축 신뢰성분석 안전성평가 프로그램 통합




[그림 2-4-12] 신뢰성평가 프로그램 통합(HDIST+RSHRM)

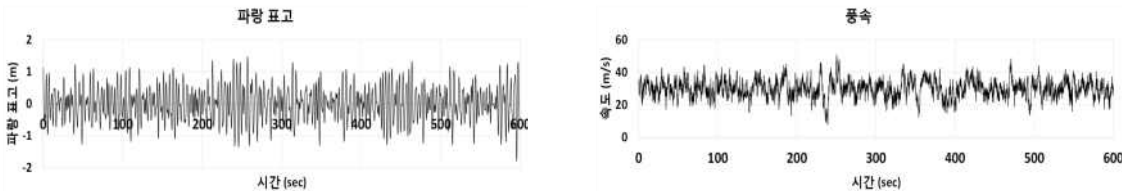
(2) 실증연구 적용

- 시설계 적용을 통한 실증연구 진행으로 통합시스템의 적용성 및 효율성 평가
- 그림 13의 플로팅구조물에 대하여 구조물-파랑의 상호작용은 동수역학해석(ANSYS AQWA) 프로그램으로 고려하고, 함체위의 건축물을 모델링하여 상부구조물의 거동도 함께 고려함




[그림 2-4-13] 시설계 적용을 위한 플로팅구조물의 해석모델 및 동수역학 해석절차

- 하중 입력정보로 풍속과 파고에 따른 입력주기를 제시하고, 여기서 입력파랑은 Pierson
- Moskowitz spectrum을 적용한 시계열 자료를 사용




입력 파랑 표고 (T=4.543s, H=2.0m) 입력 풍속 (v = 40m/s)

[그림 2-4-14] 입력하중(파랑과 풍속)의 시계열 정보

# 제5절 플로팅 함체 대안 설계

## 1. 연구수행 전략 및 방법

○ 국내 및 해외 플로팅 하부 구조물 설계 사례를 통한 하부 구조시스템 조사 및 분석
○ 플로팅 하부 구조시스템 조사 및 분석을 통한 적합한 시스템 대안 제시
○ 플로팅 하부 폰툰 구조검토
○ 플로팅 하부 폰툰 구조계산서 작성
○ 플로팅 하부 폰툰 구조도면 작성

## 2. 연구개발 내용 및 결과

### 가. 플로팅 함체 대안 설계

#### (1) 구조설계개요

(가) 부유구조물(폰툰) 개요

| | |
|---|---|
| 공 사 명 | - 플로팅 연구단 테스트 |
| 대지위치 | - 낙동강 하류 |
| 크 기 | - 장 방향 : 64m<br>- 단 방향 : 42m |

(나) 사용재료의 종류 및 설계기준강도

| 사용재료 | 규 격 | 설계기준강도 | 단위 중량 |
|---|---|---|---|
| 철 골 | KS D 3503 SS400 | Fy = 235MPa | 78.5 kN/$m^3$ |
| EPS 블럭 | - | - | 0.2 kN/$m^3$ |

(다) 구조설계 방법 및 적용 기준

| | |
|---|---|
| 설계방법 | - 강구조 : 한계상태설계법 / 허용응력설계법 |
| 적용법령 | - 건축법 / 건축법시행령 |
| 적용규칙 | - 건축법시행규칙 / 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 |
| 적용기준 | - 건축구조기준 (KBC2009)<br>- 강구조설계기준 (2009) |
| 적용시방 | - 건축공사표준시방서 (대한건축학회) |
| 참고기준 | - AISC-ASD / AISC-LRFD / ANSI/AISC 360-05<br>- ISO 2631<br>- ISO 6897 |
| 참고서적 | - 小林理市, 알기 쉬운 해양건축물 설계<br>- 내파공학, 김낭형, 양순보 역 / Goda Yoshimi 저 |

(라) 해상 조건

| | |
|---|---|
| 파 고 | - 유의 파고 : 0.9m |
| 주 기 | - 파랑 주기 : 3.17 sec<br>'- 유의 주기 : 3.0 sec ($T_2$ = 2.254 sec, $T_m$ = 3.17 sec) |
| 수 심 | - 3m |

(마) 해석 및 설계용 프로그램

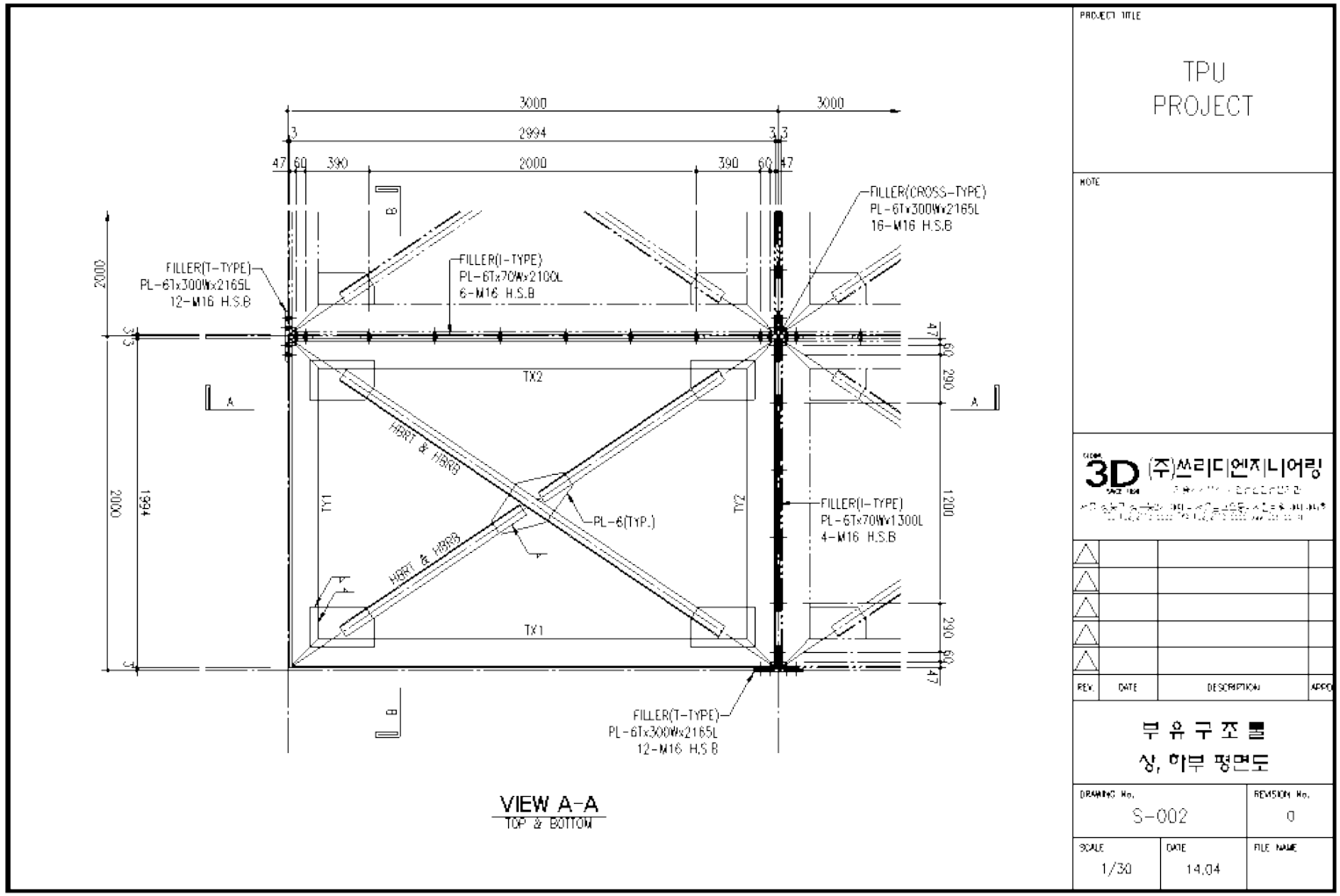
| | |
|---|---|
| 골조 해석 | - 골조해석 - SAP2000 V15.1.0 |
| 파랑 해석 | - ANSYS - AQWA( ANSYS Hydro-Dynamic) |

(바) 하중조합

| | |
|---|---|
| LRFD | - 1.4 DL<br>- 1.2 DL + 1.6 (LL + $W_D$) + 0.5 Lr<br>- 1.2 DL + 1.6 Lr + 1.0 LL<br>- 1.2 DL + 1.6 Lr + 0.65 WL<br>- 1.2 DL + 1.3 WL + 1.0 LL + 0.5 Lr<br>- 0.9 DL + 1.3 WL<br>- 0.9 DL + 1.6 WD |

* DL : 고정하중, LL : 활하중, Lr : 지붕의 활하중, WD : 파랑하중, WL : 풍하중

○ 정수역 상태일 경우를 대상으로 '(라)'의 해상조건을 참고하여, 구조해석하여 SAP2000에서 지원하는 파랑종류인 Ariy wave 에 의한 함체 구조해석을 진행하였음




[그림 2-5-1] 폰툰의 평면도

# 제6절 플로팅 건물의 사용성 평가

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 플로팅 구조물이 파랑과 바람 작용에 대한 사용성 평가

○ 군산지역 가상 Site 위치에 적절한 파랑하중 및 풍하중을 산정하고, 수치 시뮬레이션을 통한 평가

○ 표준적인 플로팅 구조물을 선정하고 불규칙한 20개의 풍하중과 10개의 파랑하중에 따른 통계적 특성 고찰

## 2. 연구개발 내용 및 결과

### 가. 풍속과 파고에 따른 사용성 평가

(1) 동수역학 시간이력 해석

○ 플로팅 폰툰은 파장과 폰툰의 길이 및 두께에 따라서 유탄성 해석을 수행해야 하지만, 특성 길이(characteristic length)보다 짧은 폰툰의 경우 강체거동을 가정할 수 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 파랑주기 5초 이내, 100m 미만의 폰툰은 강체거동이라고 볼 수 있음.

○ 비정현파(irregular wave)에 따른 파도 하중과 풍하중을 고려하기 위하여 시간이력 해석 방법을 사용함.

○ 본 연구에서는 플로팅 구조물은 계류되어 있다고 가정하였기 때문에 비정현파를 고려하여야 하며, 비정현파는 일차원 파도주파수(first order wave frequency)와 다른 주파수에서 진동하는 이차항파력(second order forces)의 하중을 갖으며, 다음의 식과 같이 표현됨

$$[M_s + M_d]\ddot{X} = F(t)$$

$$F(t) = F_{sv}(t) + F_c(t) + F_w(t) + F_t(t) + F_h(t) + F_d(t)$$

여기서, $M_s$ : 구조물의 질량과 관성행렬

$M_d$ : 표류주파수에서의 부가질량행렬

$F_{sv}$ : 천천히 변하는 표류력(drift force)

$F_c$ : 조류에 의한 표류력

$F_w$ : 바람에 의한 표류력

$F_t$ : 계류에 의한 힘

$F_h$ : 수압에 의한 힘

$F_d$ : 감쇠력

○ 앞의 수식 하중 이외에 파도의 회절과 Froude-Kryolf에 의한 힘 $F_{wf}$가 발생하며, 이 힘은 전체 일차 파도주기(first order wave frequency)의 힘으로 고려하는 파도 주파수의 범위에서 일정하지 않으므로 다음과 같이 산정.

$$F_{wf}(t) = Re\left\{\sum_{j=1}^{N} a_j[f_j + (M_d - M_j)\ddot{x}_j + (c_d - c_j)\dot{x}_j]e^{i(-w_j t + k_j x_p + \epsilon_j)}\right\}$$

여기서, $N$ : 파도스펙트럼의 정현파 요소의 개수

$M_d$ : 부가질량

$M_j$ : 주파수 $\omega_j$에서 부가질량

$c_d$ : 표류력(drift force) 감쇠

$c_j$ : 주파수 $\omega_j$에서 감쇠

$a_j$ : 정현파 요소의 진폭

$f_j$ : 주파수 $\omega_j$에서 전체 파력(복소수)

$x_p$ : 원점으로부터 파도까지의 거리

$x_j$ : 주파수 $\omega_j$에서 위치(복소수)

$\epsilon_j$ : 주파수 $\omega_j$에서 임의(random) phase

$\omega_j$ : $j$번째 주파수

$k_j$ : 주파수 $\omega_j$에서 파수(wave number)

○ 정현파에 대한 방정식으로부터 얻은 RAO는 선형의 관계이므로 플로팅 건물이 비선형의 거동을 나타낼 때 RAO로 부터 얻은 부가 질량과 감쇠를 사용하면 해석이 정확하지 않으므로, 컨볼루션(convolution)기법을 적용하였으며 일련의 해석은 ANSYS와 AQWA(version 14.5, 2013)를 이용하여 동수역학 해석을 수행하였음

(2) 풍하중 입력 모델

○ 변동 풍하중의 시간이력 모델을 산정하기 위하여 von Karman 변동풍속 파워스펙트럼밀도 방정식을 이용

○ 기본풍속은 25m/sec, 지표면 조도구분은 C, 지형계수는 $K_{zt}$ =1, 건축물의 중요도계수 $I_w$= 1을 사용

○ 일반적으로 풍하중은 높이와 길이에 따라 변동하므로 갑섭(coherence) 효과를 고려하여 스펙트럼을 산정하여야 하나, 본 연구에서는 해석의 간편성을 위하여 간섭이 없다고 가정하였다. 풍하중 모델은 풍력고도 분포(profile)의 중심점에 풍하중 $F_w$이 작용한다고 가정하고 이 하중에 의한 전도 모멘트 $M_w$를 아래식과 같이 산정함

$$F_w = \frac{1}{2}\rho_a A C_{wd} \cos\theta \, V^2$$

$$M_w = r F_w$$

여기서, $\rho_a$ : 공기의 밀도

$A$ : 풍압을 받는 건물의 면적

$C_{wd}$ : 풍력계수

$\theta$ : 바람의 입사각

$V$ : 풍속

$r$ : 수평력 지지력 중심으로부터 풍력 중심까지 거리

○ 국내 기준에 따르면 군산 지역의 10분간 최대평균풍속은 40m/sec이나 1971년부터 2013년까지 관측된 자료를 분석하여 사용하였다. 풍하중의 극치분포를 Gumbel 형태로 가정하여 100년 재현풍속을 계산한 결과 35.7m/sec의 값이 나왔다. 이 값을 근거로 하여 4장의 수치해석에서는 100년 재현주기 10분간 평균풍속 35m/sec의 값을 사용하였다.

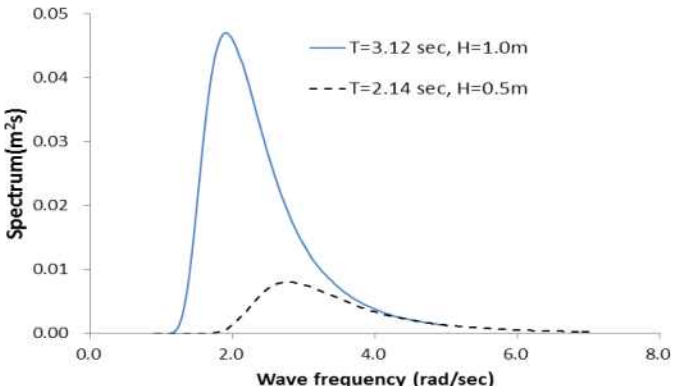
(3) 파랑하중 모델

○ 일반적으로 정온수역이라 함은 파고 0.5m 이내를 기준으로 하고 있으나 태풍과 같은 상황을 고려하여 최대 파도의 높이를 1.0m로 가정함

○ 근해와 내수면의 경우는 수심이 낮으므로 파도가 대부분 천해파에 해당하므로 Bretschneider의 모델을 이용하여 풍속에 대한 주기를 산정함

○ 파랑의 시간이력모델을 작성하기 위하여 2개 변수를 사용하는 Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 사용함

○ 풍속 35m/sec에 대하여 파고 0.5m와 1.0m에 대한 스펙트럼은 다음 그림 같다.



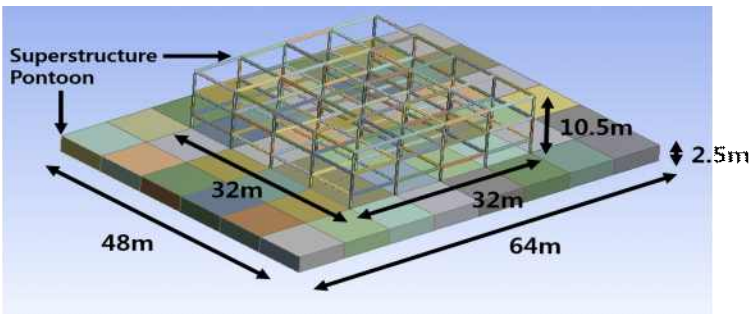

[그림 2-6-1] 파랑하중 Pierson -Moskowitz 스펙트럼

[표 2-6-1] 풍속과 파고에 따른 입력주기

| H*(m) | V = 35 m/s / Angle = 90° | |
|---|---|---|
| | L(km) | T*(sec) |
| 0.5 | 0.35 | 2.14 |
| 1.0 | 1.46 | 3.12 |

* H,T= significant wave height and period
** L= fetch length

(4) 시뮬레이션 대상 모델




[그림 2-6-2] 플로팅 구조물 해석 모델

○ 본 연구에서는 공공건물용도에 사용되는 규모에 대하여 해석 모델로서 형상은 그림 2와 같으며 하부 폰툰은 콘크리트이고 상부 골조는 철골조로 가정함

○ 폰툰은 콘크리트의 직사각형 형태이며 길이와 폭은 64m, 48m이며 함체의 높이는 2.5m, 내부 격벽과 상·하부 슬래브의 두께는 20cm, 상부구조물은 철골재질의 모멘트저항골조시스템

○ 전체 길이는 32m, 폭 32m이며 층고는 3.5m의 3층, 상부골조의 기둥은 H-350 × 305 × 15 × 20이며, 보는 H-480 × 300 × 11 × 15로 설계함

○ 상부구조물에 작용하는 고정하중(DL)은 5 kN/$m^2$ 이며, 활하중(LL)는 0.5 kN/$m^2$ , 외벽에 작용하는 고정하중은 0.5 kN/$m^2$

○ 상부골조와 하부폰툰의 무게비율을 변수인자로 설정하여 4개의 모델을 분류하였으며, 각각의 인자는 아래 표 2와 같으나 각 모델의 흘수는 2.0m로 모두 동일함

[표 2-6-2] 플로팅 구조물 무게 비율

| Model | 총중량 (ton) | 폰툰 (ton) | 상부골조 (ton) | 무게중심* (m) | Ixx** (kg·m2) |
|---|---|---|---|---|---|
| Model Ⅰ | 6,177 (100%) | 3,828 (60%) | 2,339 (40%) | 1.39 | 0.7973x109 |
| Model Ⅱ | | 3,182 (50%) | 2,995 (50%) | 2.10 | 0.7681x109 |
| Model Ⅲ | | 2,783 (45%) | 1,193 (55%) | 2.52 | 0.7475x109 |
| Model Ⅳ | | 2,386 (40%) | 1,590 (60%) | 2.94 | 0.7247x109 |

* 폰툰의 밑면으로부터의 무게 중심까지 거리

** Ixx = 관성질량 모멘트

○ 본 연구에서는 장변방향과 단변방향에 계류와 펜더의 영향에 의한 강성을 350kN/m로 가정함

○ 수직축에 대한 회전강성은 2.1x$10^4$ kN · m/° 로 가정하여 선수동요(yaw) 거동을 제한함

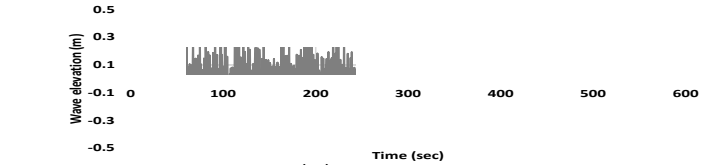
(5) 시뮬레이션 결과

○ 각 모델에 시간이력해석을 위해 입력되는 풍 · 파랑 입력하중은 모두 동일하며, 풍 · 파랑 입사각도는 90° 방향으로 가력함.

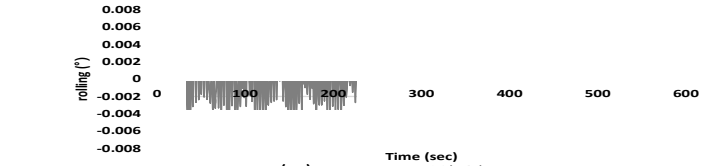
○ 시간은 600초까지 해석하였으며, 앞장에서 언급한 2.2장과 2.3장의 입력 모델에서 계산된 입력주기와 풍속은 각 풍속과 파고에 따른 입력주기의 표와 같음

○ Model Ⅰ에 각 H=0.5m와 H=1.0m인 파랑이 작용할 때 rolling과 sway의 변위와 가속도의 시간이력 결과를 나타냈으며, 7개의 다른 불규칙 파랑에 대한 시간이력 거동에서 진폭의 최대값과 평균값을 구하고 표에 정리함

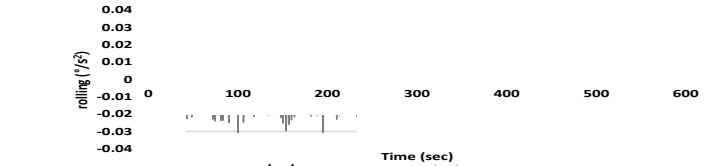
○ sway는 천이(transient) 응답의 영향에 의하여 시간이력의 초기에서 크게 나오나 400초 이후에는 안정화되고, 전반적으로 안정화된 이후의 sway 값은 매우 작게 나타남을 볼 수 있음



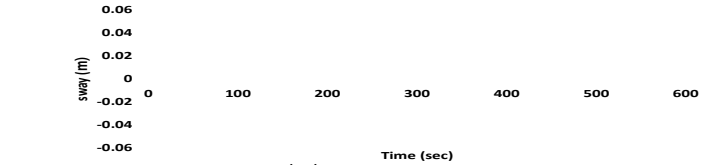

(a) 파랑표고



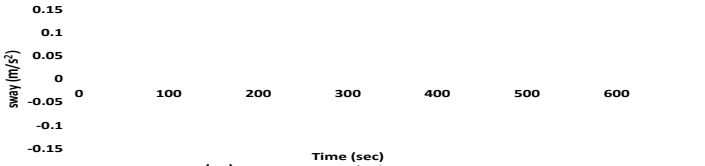

(b) rolling 변위




(c) rolling 가속도

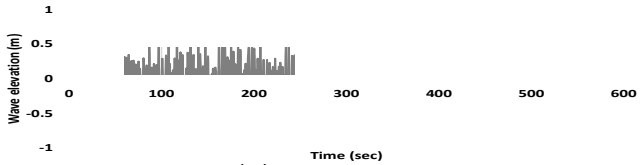



(d) sway 변위

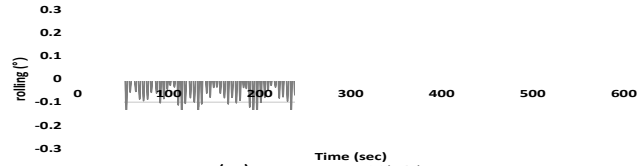



(e) sway 가속도

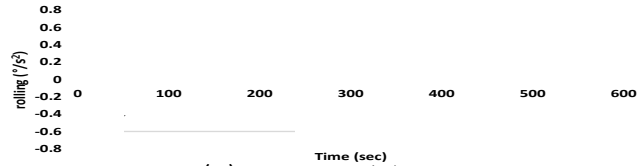
[그림 2-6-3] Model Ⅰ의 응력과 응답 (H = 0.5m)



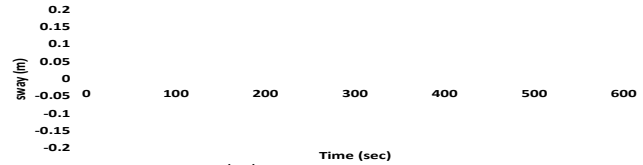

(a) 파랑표고



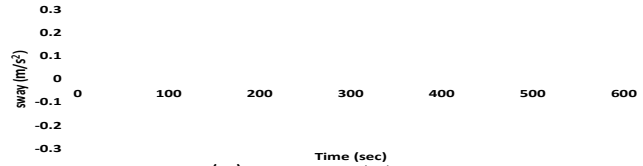

(b) rolling 변위




(c) rolling 가속도



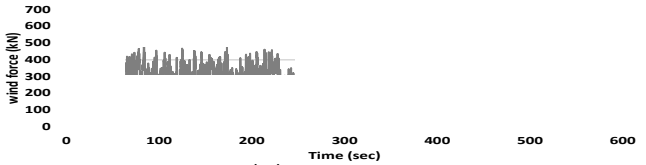

(d) sway 변위



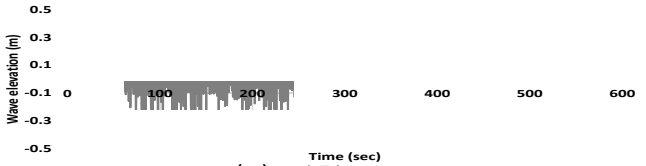

(e) sway 가속도

[그림 2-6-4] Model Ⅰ의 응력과 응답 (H = 1.0m)

○ Model Ⅰ에 각 H=0.5m와 H=1.0m인 파랑과 풍하중이 동시에 작용 경우의 입력 하중과 rolling과 sway 응답변위의 시간이력 결과를 나타냄



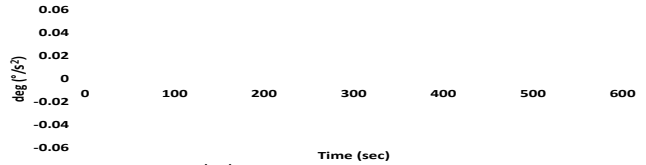

(a) 풍하중



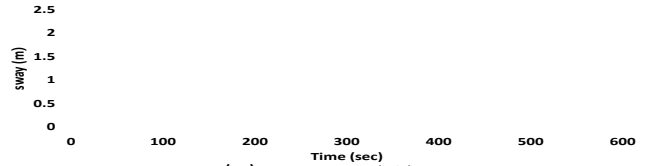

(b) 파랑표고



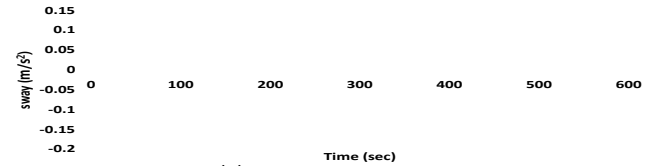

(c) rolling 변위




(d) rolling 가속도

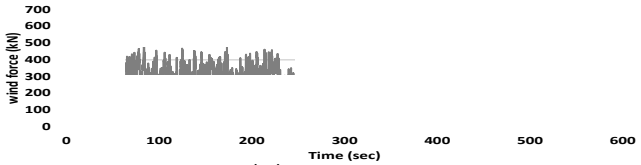



(e) sway 변위

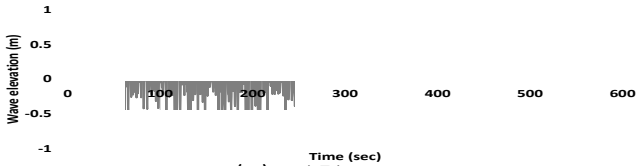



(f) sway 가속도

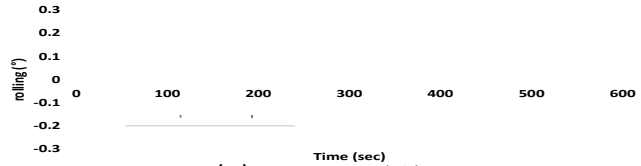
[그림 2-6-5] Model Ⅰ의 응력과 응답 (H = 0.5m)




(a) 풍하중



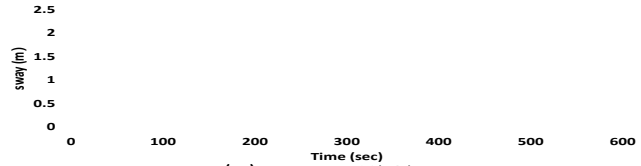

(b) 파랑표고




(c) rolling 변위




(d) rolling 가속도




(e) sway 변위




(f) sway 가속도

[그림 2-6-6] Model Ⅰ의 응력과 응답 (H = 10m)

(5) 비교 및 분석

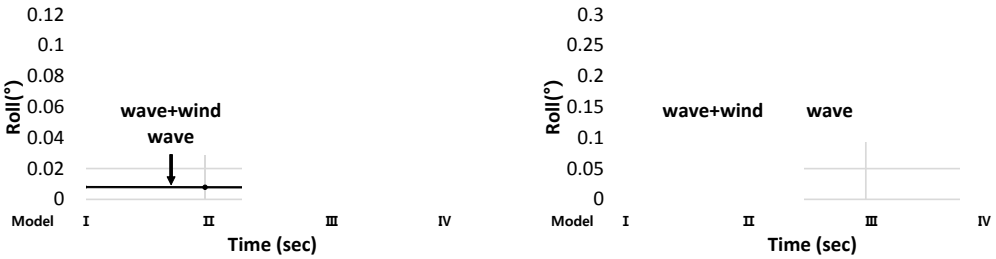
○ 각 모델의 Rolling 변위 평균 비교 그래프에서 파고가 0.5m일 때, 파랑(wave)만 고려된 경우보다 풍 · 파랑(wave+wind)이 고려된 경우가 약 9배 이상 증가량을 보였으나, 파고가 1.0m인 경우에는 풍하중에 의한 큰 증가량을 보이지 않음

○ rolling가속도에 대한 평균값을 도시 – (a)에서 모든 모델의 경우 파고가 0.5m일 때 풍하중에 의하여 가속도의 증분이 0.04에서 0.05° /sec$^2$로 증가하였으나 파고가 1.0m인 경우에는 Model Ⅰ과 Ⅳ에서 차이를 보였지만 증가량은 미미함

○ sway 변위에 대한 평균값을 도시 – 모든 파고에서 파랑만 고려된 경우보다 풍과 파랑하중이 동시 고려된 경우가 큰 증가량을 보였으며 이 증가량은 풍하중에 의한 것

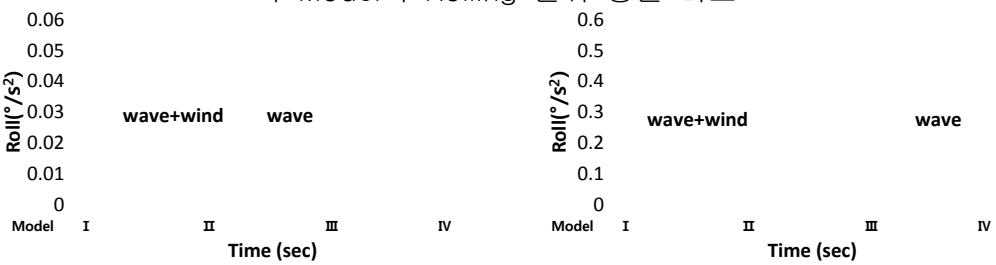
임

○ sway 가속도에 대한 평균값을 도시하였다. sway 변위 평균 결과와는 달리 가속도의 경우는 크게 변동이 발생하지 않고 약간의 증가만 발생하였음



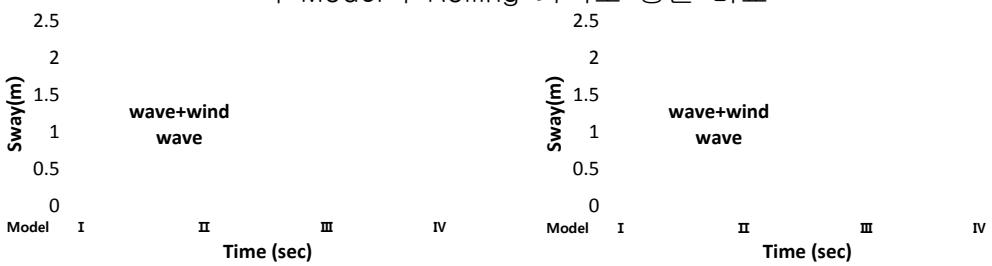

(a) 파고 0.5m (b) 파고 1.0m

각 Model의 Rolling 변위 평균 비교



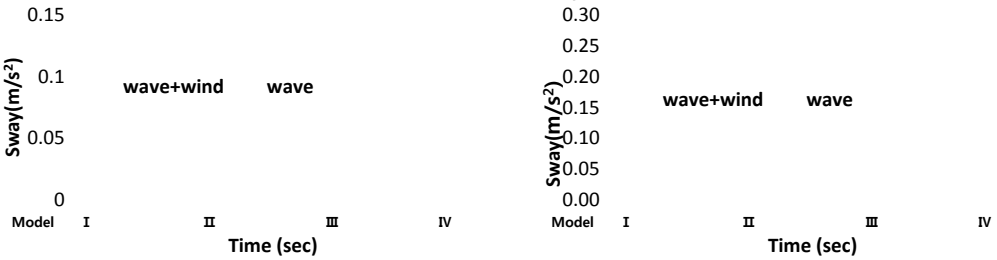

(a) 파고 0.5m (b) 파고 1.0m

각 Model의 Rolling 가속도 평균 비교




(a) 파고 0.5m (b) 파고 1.0m

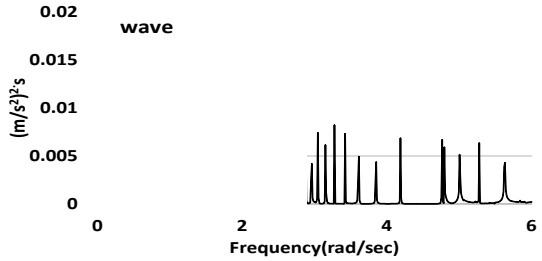
그림 9. 각 Model의 Sway 변위 평균 비교



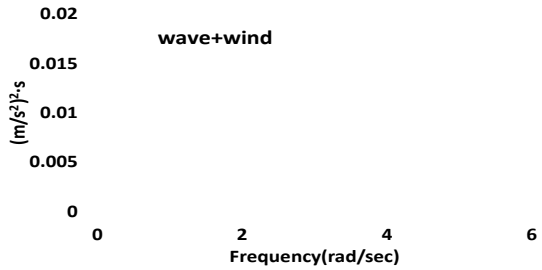

(a) 파고 0.5m (b) 파고 1.0m

[그림 2-6-7] 각 Model의 Sway 가속도 평균 비교

○ Model Ⅰ의 파고 1.0m 대한 파랑과 풍·파랑이 고려된 sway 가속도의 파워스펙트럼을 비교하였으며 저주파수 영역에서 풍하중에 대한 응답이 크게 차이가 있음을 볼 수 있음




(a) 파랑하중 작용 시

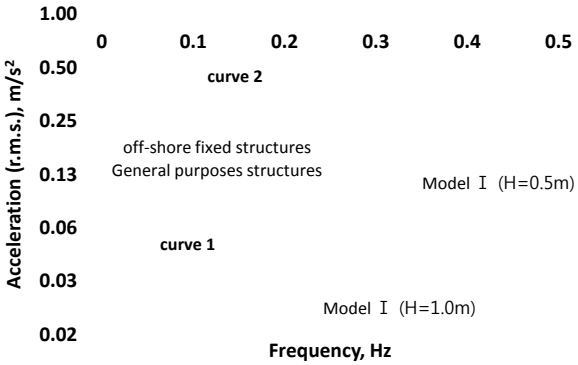



(b) 풍·파랑하중 작용 시

[그림 2-6-8] Model Ⅰ의 sway가속도 파워스펙트럼 (H=1.0m)

○ Model Ⅰ~Ⅳ에 대하여 7개의 불규칙 파랑과 풍하중을 적용한 sway의 가속도와 rolling의 가속도성분을 더한 r.m.s의 평균값을 표 4에 나열하였음.

○ Model Ⅰ에 대하여SO 6897[14]에서 정의하는 기준(Suggested satisfactory magnitudes of horizontal motion of buildings)과 비교하여 도시하였다. 각 파고의 7개 값들은 Curve 1(General purposes structures)의 기준을 초과하나, Curve 2(off-shore fixed structures)의 기준을 초과하지 않아 본 연구범위에 해당하는 플로팅 건물을 만족한다고 볼 수 있음.




[그림 2-6-9] Model Ⅰ와 ISO 6897(13)의 기준가속도 비교

[표 2-6-3] 풍속과 파고에 따른 횡동요(rolling)와 선수동요(sway)의 응답
(7번 불규칙 하중에 대한 해석결과)

| 분류 \ Model | | Model Ⅰ | | | | Model Ⅱ | | | | Model Ⅲ | | | | Model Ⅳ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | wave | wave + wind | wave | wave + wind | wave | wave + wind | wave | wave + wind | wave | wave + wind | wave | wave + wind | wave | wave + wind | wave | wave + wind |
| | | H = 0.5m | | H = 1.0m | | H = 0.5m | | H = 1.0m | | H = 0.5m | | H = 1.0m | | H = 0.5m | | H = 1.0m | |
| rolling 변위 (°) | 최대 | 0.010 | 0.098 | 0.227 | 0.275 | 0.010 | 0.094 | 0.223 | 0.270 | 0.010 | 0.098 | 0.222 | 0.272 | 0.010 | 0.098 | 0.220 | 0.271 |
| | 평균 | 0.008 | 0.096 | 0.203 | 0.251 | 0.008 | 0.093 | 0.200 | 0.246 | 0.008 | 0.097 | 0.199 | 0.247 | 0.008 | 0.097 | 0.197 | 0.246 |
| sway 변위 (m) | 최대 | 0.097 | 2.075 | 0.308 | 2.114 | 0.097 | 2.076 | 0.307 | 2.115 | 0.097 | 2.076 | 0.307 | 2.115 | 0.097 | 2.076 | 0.307 | 2.115 |
| | 평균 | 0.056 | 2.058 | 0.195 | 2.015 | 0.063 | 2.059 | 0.195 | 2.015 | 0.064 | 2.059 | 0.213 | 2.015 | 0.063 | 2.059 | 0.195 | 2.015 |
| rolling 가속도 r.m.s ($m/s^2$) | 최대 | 0.012 | 0.014 | 0.159 | 0.160 | 0.012 | 0.014 | 0.157 | 0.157 | 0.012 | 0.015 | 0.156 | 0.157 | 0.012 | 0.015 | 0.155 | 0.155 |
| | 평균 | 0.012 | 0.014 | 0.143 | 0.158 | 0.011 | 0.013 | 0.155 | 0.155 | 0.012 | 0.014 | 0.154 | 0.154 | 0.012 | 0.014 | 0.141 | 0.153 |
| sway 가속도 r.m.s ($m/s^2$) | 최대 | 0.033 | 0.040 | 0.069 | 0.071 | 0.032 | 0.040 | 0.068 | 0.071 | 0.033 | 0.040 | 0.068 | 0.071 | 0.033 | 0.040 | 0.068 | 0.071 |
| | 평균 | 0.032 | 0.039 | 0.067 | 0.070 | 0.033 | 0.039 | 0.067 | 0.070 | 0.032 | 0.039 | 0.065 | 0.070 | 0.032 | 0.039 | 0.067 | 0.070 |
| 3층가속도 r.m.s* ($m/s^2$) | 최대 | 0.033 | 0.040 | 0.065 | 0.066 | 0.033 | 0.040 | 0.057 | 0.061 | 0.033 | 0.040 | 0.059 | 0.061 | 0.033 | 0.041 | 0.067 | 0.062 |
| | 평균 | 0.032 | 0.039 | 0.057 | 0.065 | 0.032 | 0.039 | 0.056 | 0.060 | 0.032 | 0.040 | 0.057 | 0.061 | 0.033 | 0.040 | 0.059 | 0.061 |

표 4의 내용은 7번의 수치해석을 통해 산정된 가속도의 평균값
* rolling 가속도에 거리를 곱한 후 sway 가속도 성분을 더하여 계산된 가속도의 r.m.s (수면부터 3층바닥면으로부터 거리 = 7.5m)

나. 시뮬레이션 회수와 신뢰성 평가

(1) 사용해석 풍하중과 파랑하중의 샘플

○ 불규칙성 풍하중과 파랑하중의 개수를 풍하중은 20개 파랑하중은 10개를 사용하여 총 200개의 하중조합을 샘플을 작성하고 앞의 '가' 번과 같은 모델과 해석 방법에 따라 동수역학 해석을 200회 수행함.

○ 함체의 roll 거동과 sway 거동의 가속도와 변위를 추출하여 분석을 수행함

○ 시간 증분을 0.1초로하여 총 600초의 시간이력 해석을 수행하여 200개 경우의 최대값을 추출하였으며 그 결과는 표와 같음

[표 2-6-4] 가속도

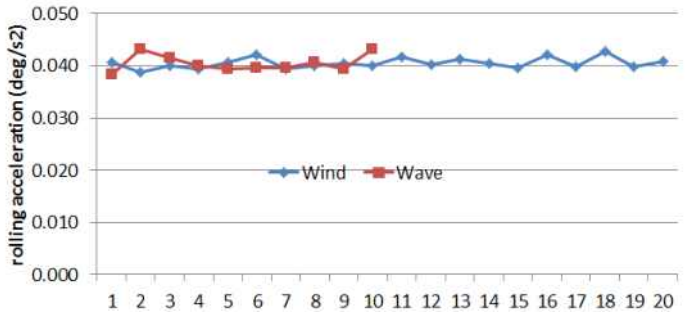
| Wave / Wind | Seed 2 | Seed 3 | Seed 4 | Seed 5 | Seed 6 | Seed 7 | Seed 8 | Seed 9 | Seed 10 | Seed 11 | averge | stdev | stdv/aver |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | | | |
| 1 | 0.0371 | 0.0413 | 0.0412 | 0.0427 | 0.0384 | 0.0391 | 0.0393 | 0.0404 | 0.0405 | 0.0455 | 0.0406 | 0.0024 | 0.0585 |
| 2 | 0.0366 | 0.0394 | 0.0384 | 0.0397 | 0.0400 | 0.0383 | 0.0372 | 0.0402 | 0.0390 | 0.0391 | 0.0388 | 0.0012 | 0.0306 |
| 3 | 0.0357 | 0.0434 | 0.0393 | 0.0395 | 0.0388 | 0.0420 | 0.0383 | 0.0436 | 0.0365 | 0.0419 | 0.0399 | 0.0027 | 0.0685 |
| 4 | 0.0356 | 0.0402 | 0.0405 | 0.0399 | 0.0376 | 0.0375 | 0.0406 | 0.0406 | 0.0390 | 0.0416 | 0.0393 | 0.0019 | 0.0476 |
| 5 | 0.0383 | 0.0473 | 0.0383 | 0.0389 | 0.0359 | 0.0383 | 0.0438 | 0.0413 | 0.0392 | 0.0445 | 0.0406 | 0.0035 | 0.0875 |
| 6 | 0.0374 | 0.0451 | 0.0557 | 0.0412 | 0.0384 | 0.0395 | 0.0378 | 0.0386 | 0.0406 | 0.0458 | 0.0420 | 0.0056 | 0.1337 |
| 7 | 0.0403 | 0.0387 | 0.0384 | 0.0384 | 0.0394 | 0.0359 | 0.0381 | 0.0381 | 0.0400 | 0.0469 | 0.0394 | 0.0029 | 0.0732 |
| 8 | 0.0367 | 0.0433 | 0.0418 | 0.0395 | 0.0379 | 0.0369 | 0.0404 | 0.0421 | 0.0390 | 0.0432 | 0.0401 | 0.0025 | 0.0615 |
| 9 | 0.0403 | 0.0401 | 0.0446 | 0.0404 | 0.0378 | 0.0405 | 0.0389 | 0.0391 | 0.0396 | 0.0429 | 0.0404 | 0.0020 | 0.0492 |
| 10 | 0.0363 | 0.0414 | 0.0422 | 0.0401 | 0.0407 | 0.0417 | 0.0387 | 0.0362 | 0.0382 | 0.0435 | 0.0399 | 0.0025 | 0.0616 |
| 11 | 0.0348 | 0.0450 | 0.0488 | 0.0400 | 0.0399 | 0.0406 | 0.0429 | 0.0414 | 0.0400 | 0.0436 | 0.0417 | 0.0037 | 0.0890 |
| 12 | 0.0384 | 0.0438 | 0.0407 | 0.0410 | 0.0425 | 0.0387 | 0.0366 | 0.0407 | 0.0402 | 0.0402 | 0.0403 | 0.0020 | 0.0507 |
| 13 | 0.0392 | 0.0419 | 0.0398 | 0.0398 | 0.0452 | 0.0396 | 0.0388 | 0.0437 | 0.0429 | 0.0410 | 0.0412 | 0.0022 | 0.0526 |
| 14 | 0.0378 | 0.0442 | 0.0391 | 0.0402 | 0.0428 | 0.0391 | 0.0415 | 0.0403 | 0.0375 | 0.0419 | 0.0404 | 0.0021 | 0.0532 |
| 15 | 0.0404 | 0.0406 | 0.0403 | 0.0398 | 0.0363 | 0.0392 | 0.0388 | 0.0401 | 0.0391 | 0.0418 | 0.0397 | 0.0015 | 0.0372 |
| 16 | 0.0399 | 0.0526 | 0.0396 | 0.0381 | 0.0358 | 0.0469 | 0.0434 | 0.0405 | 0.0403 | 0.0432 | 0.0420 | 0.0048 | 0.1142 |
| 17 | 0.0391 | 0.0404 | 0.0383 | 0.0393 | 0.0402 | 0.0393 | 0.0368 | 0.0417 | 0.0398 | 0.0424 | 0.0397 | 0.0016 | 0.0407 |
| 18 | 0.0384 | 0.0501 | 0.0429 | 0.0433 | 0.0462 | 0.0436 | 0.0411 | 0.0406 | 0.0391 | 0.0427 | 0.0428 | 0.0034 | 0.0805 |
| 19 | 0.0400 | 0.0427 | 0.0380 | 0.0386 | 0.0384 | 0.0382 | 0.0372 | 0.0413 | 0.0388 | 0.0450 | 0.0398 | 0.0025 | 0.0619 |
| 20 | 0.0438 | 0.0416 | 0.0414 | 0.0375 | 0.0366 | 0.0370 | 0.0412 | 0.0434 | 0.0385 | 0.0466 | 0.0407 | 0.0033 | 0.0811 |
| averge | 0.0392 | 0.0443 | 0.0409 | 0.0398 | 0.0404 | 0.0402 | 0.0398 | 0.0414 | 0.0396 | 0.0428 | 0.0408 | 0.0016 | 0.0393 |
| stdev | 0.0023 | 0.0040 | 0.0031 | 0.0016 | 0.0037 | 0.0029 | 0.0025 | 0.0013 | 0.0014 | 0.0019 | 0.0025 | 0.0010 | 0.3856 |
| stdv/aver | 0.0580 | 0.0910 | 0.0763 | 0.0406 | 0.0915 | 0.0725 | 0.0633 | 0.0305 | 0.0363 | 0.0441 | 0.0604 | 0.0222 | 0.3683 |

[표 2-6-5] 가속도

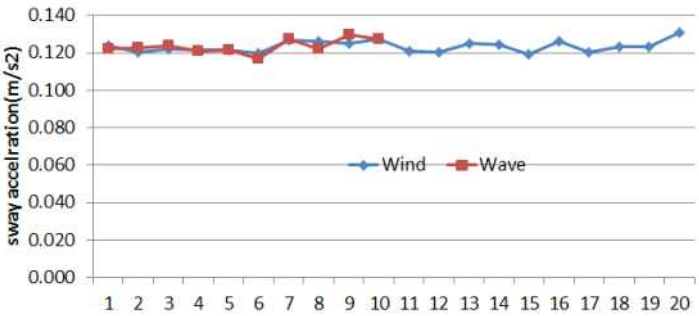
| Wave / Wind | Seed 2 | Seed 3 | Seed 4 | Seed 5 | Seed 6 | Seed 7 | Seed 8 | Seed 9 | Seed 10 | Seed 11 | averge | stdev | stdv/aver |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | deg/s$^2$ | | | |
| 1 | 0.1212 | 0.1231 | 0.1218 | 0.1195 | 0.1167 | 0.1225 | 0.1234 | 0.1168 | 0.1372 | 0.1338 | 0.1236 | 0.0068 | 0.0547 |
| 2 | 0.121 | 0.1205 | 0.1273 | 0.1225 | 0.1107 | 0.1074 | 0.1245 | 0.1292 | 0.1154 | 0.1246 | 0.1203 | 0.0071 | 0.0588 |
| 3 | 0.1205 | 0.1212 | 0.121 | 0.1248 | 0.1126 | 0.1159 | 0.131 | 0.1314 | 0.1222 | 0.1228 | 0.1224 | 0.0058 | 0.0477 |
| 4 | 0.1241 | 0.1155 | 0.1213 | 0.1243 | 0.1207 | 0.1111 | 0.1187 | 0.1234 | 0.131 | 0.1265 | 0.1217 | 0.0057 | 0.0465 |
| 5 | 0.1207 | 0.1234 | 0.1302 | 0.1232 | 0.1169 | 0.1073 | 0.127 | 0.1287 | 0.122 | 0.1174 | 0.1217 | 0.0067 | 0.0551 |
| 6 | 0.1289 | 0.124 | 0.1238 | 0.1189 | 0.1178 | 0.114 | 0.1199 | 0.1151 | 0.1167 | 0.1192 | 0.1198 | 0.0046 | 0.0380 |
| 7 | 0.134 | 0.129 | 0.127 | 0.122 | 0.126 | 0.125 | 0.130 | 0.124 | 0.128 | 0.124 | 0.1268 | 0.0034 | 0.0266 |
| 8 | 0.1346 | 0.1113 | 0.1223 | 0.1159 | 0.1366 | 0.126 | 0.1447 | 0.1244 | 0.1201 | 0.1252 | 0.1261 | 0.0101 | 0.0797 |
| 9 | 0.1187 | 0.1233 | 0.1354 | 0.1177 | 0.1189 | 0.1158 | 0.1267 | 0.1261 | 0.1308 | 0.1348 | 0.1248 | 0.0071 | 0.0572 |
| 10 | 0.1203 | 0.1368 | 0.1241 | 0.1341 | 0.119 | 0.1124 | 0.1355 | 0.1167 | 0.1403 | 0.1324 | 0.1271 | 0.0098 | 0.0768 |
| 11 | 0.1184 | 0.1116 | 0.1167 | 0.1128 | 0.1297 | 0.1116 | 0.1226 | 0.1204 | 0.1376 | 0.1266 | 0.1208 | 0.0085 | 0.0707 |
| 12 | 0.1286 | 0.1193 | 0.1241 | 0.1168 | 0.1195 | 0.1071 | 0.1186 | 0.1222 | 0.1296 | 0.1171 | 0.1203 | 0.0065 | 0.0537 |
| 13 | 0.1136 | 0.1196 | 0.1235 | 0.1211 | 0.1281 | 0.1171 | 0.1298 | 0.1197 | 0.1393 | 0.1378 | 0.1250 | 0.0086 | 0.0689 |
| 14 | 0.1222 | 0.1283 | 0.1284 | 0.1232 | 0.1215 | 0.1214 | 0.1172 | 0.1211 | 0.1216 | 0.1399 | 0.1245 | 0.0064 | 0.0511 |
| 15 | 0.1222 | 0.1182 | 0.1183 | 0.1137 | 0.1259 | 0.1140 | 0.1236 | 0.1178 | 0.1180 | 0.1224 | 0.1194 | 0.0040 | 0.0337 |
| 16 | 0.1222 | 0.1236 | 0.1273 | 0.1209 | 0.1159 | 0.1220 | 0.1308 | 0.1255 | 0.1433 | 0.1317 | 0.1263 | 0.0076 | 0.0601 |
| 17 | 0.1196 | 0.1226 | 0.1234 | 0.1149 | 0.1095 | 0.1252 | 0.1206 | 0.1210 | 0.1276 | 0.1206 | 0.1205 | 0.0052 | 0.0428 |
| 18 | 0.1169 | 0.1250 | 0.1205 | 0.1132 | 0.1152 | 0.1138 | 0.1353 | 0.1239 | 0.1402 | 0.1270 | 0.1231 | 0.0091 | 0.0742 |
| 19 | 0.1196 | 0.124 | 0.1228 | 0.1151 | 0.1252 | 0.1194 | 0.1231 | 0.1185 | 0.1303 | 0.1329 | 0.1231 | 0.0054 | 0.0439 |
| 20 | 0.1162 | 0.1299 | 0.1231 | 0.1403 | 0.1386 | 0.1266 | 0.139 | 0.1201 | 0.138 | 0.1355 | 0.1307 | 0.0088 | 0.0672 |
| average | 0.1200 | 0.1222 | 0.1228 | 0.1192 | 0.1229 | 0.1178 | 0.1261 | 0.1210 | 0.1326 | 0.1291 | 0.1234 | 0.0046 | 0.0374 |
| stdev | 0.0042 | 0.0053 | 0.0036 | 0.0083 | 0.0084 | 0.0062 | 0.0073 | 0.0023 | 0.0085 | 0.0076 | 0.0062 | 0.0022 | 0.3585 |
| stdv/aver | 0.0347 | 0.0435 | 0.0294 | 0.0692 | 0.0684 | 0.0529 | 0.0579 | 0.0193 | 0.0638 | 0.0591 | 0.0498 | 0.0173 | 0.3476 |

○ 롤링의 시간이력 최대 가속도에서, 동일한 Wind 샘플을 이용하고 10개의 다른 파랑하중을 이용한 10개의 평균, 동일한 파랑하중에 대하여 다른 풍하중 20개의 풍하중의 평균을 도시한 것으로, ‘Wave ‘ 는 파랑하중이 동일할 때 Wind 의 평균값이고, ’ Wind ‘는 동일한 wind 하중에 대한 값으로 풍하중과 파랑하중의 샘플의 종류에 따라 롤링의 가속도 값에 차이가 크게 발생하지 않음을 볼 수 있음.

○ 스웨이의 가속도에 대하여 동일하게 작성한 것으로 롤링의 경우와 같이 가속도 값에 차이가 크게 발생하지 않음을 볼 수 있음.




[그림 2-6-10] 각 풍속과 파랑 샘플별 rolling 평균값

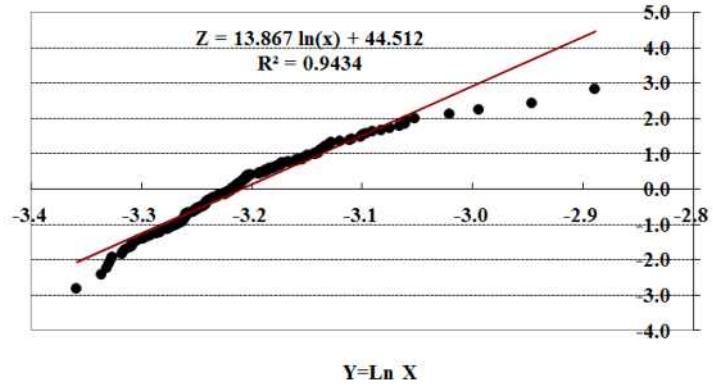



[그림 2-6-11] 각 풍속과 파랑 샘플별 sway 평균값

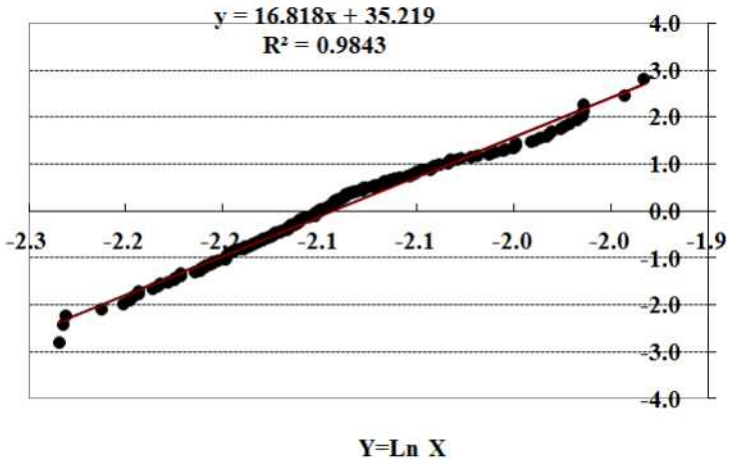
○ 200개 해석에 대한 롤링의 최대가속의 log normal 분포에 대한 회귀분석 결과로서, 값이 큰 경우는 잘 일치하지는 않지만 전반적으로 $R^2 = 0.94$를 상회하여 log normal의 분포라고 할 수 있음.

○ 200개 해석에 대한 스웨이의 최대가속의 log normal 분포에 대한 회귀분석 결과로서 $R^2 = 0.98$를 상회하여 log normal 분포라고 할 수 있음.

○ 따라서 7개 이상의 불규칙하중을 이용하여 시간이력해석을 수행하고 거동의 최대 가속도의 값을 얻는 경우는 정규분포에 따른 평균값을 취하는 것보다 log normal 분포를 가정하여 얻는 평균값이 더욱 정확함




[그림 2-6-12] 가속도의 log normal 분포 회귀분석




[그림 2-6-13] 가속도의 log normal 분포 회귀분석

다. 사용성 평가 지침 작성

- 플로팅 구조 해석 및 사용성 평가 지침(제2장 제1절 플로팅 구조물 상호작용해석) 참조

# 제7절 동요진동 저감기술

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 플로팅 구조물의 진동은 함체와 파랑하중의 상호작용에 의하여 형성되는 동적특성에 의해 지배적인 영향을 받게 되므로 무엇보다 진동현상을 설명할 수 있는 모델이 요구됨. 이러한 동적 모델을 기반으로 동요진동을 저감할 수 있는 능동형 제어 시스템을 설정, 설계하여야 보다 효율적이며, 효과적인 저감 방법을 구현할 수 있음.

○ 함체-파랑하중의 상호작용에 의해 발생하는 진동현상만으로 모델을 추정해야하기 때문에 전형적인 output-only system identification 방법이 요구되며 이 과정에서 지배모드를 추정하기 위한 독립성분추정법을 사용함

○ 함체, 진동제어장치에 대한 축소모형을 제작하여 자유진동, 수조실험을 통한 제어효과 검증을 수행함. 파랑하중에 대한 플로팅 구조물의 설계, 거주의 쾌적성을 갖출 수 있는지의 평가를 위한 동요의 크기 또는 특성을 예측하는 매뉴얼을 작성

## 2. 연구개발 내용 및 결과

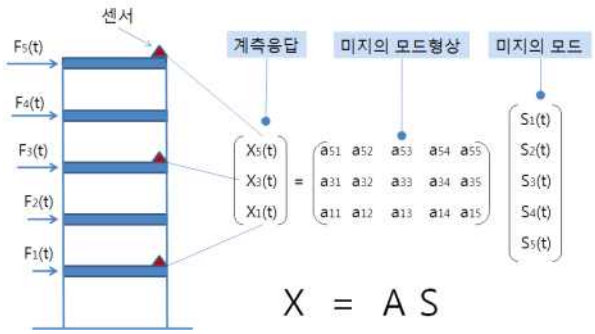
가. 연구동요진동 평가 및 저감 기술

(1) 동요진동 허용기준 조사

- 진동 지각, 멀미, 불쾌감을 유발하는 진동 평가방법
- ISO 2631-2 : 1997 ( KS B 0710-1 :2001)

(2) 탁월 동요진동 모드 추정기술 개발

- 구조물에 적용을 위한 이론식 유도
- ICA 기법을 이용한 구조물의 모드분리




[그림 2-7-1] 구조물의 모드분리

(가) ICA 기법은 구조물 응답에 기여하는 모드의 영향이 큰 순서대로 해당 모드를 분리해 내는 특성을 가지고 있기 때문에 구조물이 가지고 있는 모드 수에 비하여 센서의 수가 작더라도 모드 분리가 가능하며 센서의 수가 증가할수록 더욱 정확하고 안정적으로 모드응답을 분리한다는 것을 알 수 있음.

(나) ICA 기법에 사용되는 변환행렬은 모드형상과 일한 의미를 가지기 때문에 별도의 계산없이 곧바로 모드형상을 구할 수 있으며, 구조물 응답의 공분산행렬로부터 모드형상을 추출하는 POD 기법보다 더욱 정확하게 모드형상을 추출할 수 있음

## 나. 동요진동 평가 및 저감 기술

### (1) ICA 기법에 의한 모드응답 분리

- ICA 기법의 원리 적용
- 독립성을 나타내는 목적함수

(가) 고차원 통계량 중에서 독립성분사이의 독립성을 나타내는 첨도(kurtosis)는 비가우스성의 고전적인 척도로 널리 이용되고 있으며 이는 4차 누적함수로 다음 식과 같이 표현 가능함(단, X는 독립성분의 시간이력을 나타내는 비가우수성 램터 변수로 이루어진 벡터이며, E(.)는 평균화기호임)

$$kurt(X) = E\{X^4\} - 3(E\{X^2\})^2$$

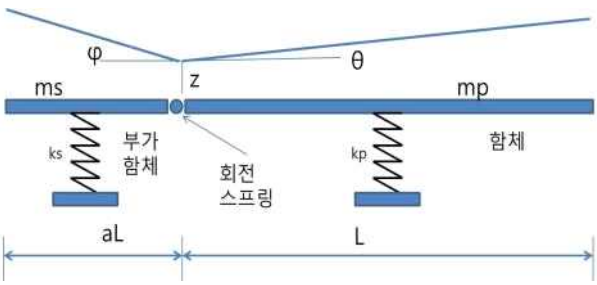
### (2) 플로팅 구조물 제진장치 해석 모델 개발

- 부가함체를 가지는 플로팅 구조물 해석모델

(가) 운동방정식 유도

$$\therefore M\ddot{y} + Ky = \begin{bmatrix} 0 \\ A \\ A \end{bmatrix} u$$

여기서 u : Active control force



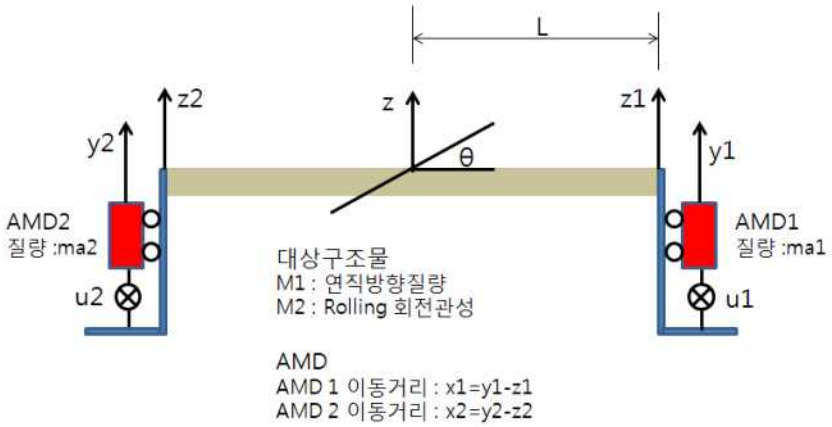

[그림 2-7-2] 해석모델

$$\text{질량행렬 :}\begin{bmatrix}(-m_s\alpha+m_p)L & m_s\frac{(\alpha L)^2}{2} & m_p\frac{L^2}{2}\\ m_s\frac{(\alpha L)^2}{2} & -m_s\frac{(\alpha L)^3}{3} & 0\\ m_p\frac{L^2}{2} & 0 & m_p\frac{L^3}{3}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\ddot{z}\\ \ddot{\varphi}\\ \ddot{\theta}\end{bmatrix}$$

$$\text{강성행렬:}\begin{bmatrix}-\rho g\alpha L+\rho gL & \frac{1}{2}\rho g(\alpha L)^2 & \frac{1}{2}\rho gL^2\\ \frac{1}{2}\rho g(\alpha L)^2 & -\frac{\rho g}{3}(\alpha L)^3 & 0\\ \frac{1}{2}\rho gL^2 & 0 & \frac{\rho g}{3}L^3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}z\\ \varphi\\ \theta\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\rho gH(\alpha L-L)\\ -\frac{1}{2}\rho gH(\alpha L)^2\\ -\frac{1}{2}\rho gH(L^2)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\ 0 & kA^2 & -kA^2\\ 0 & -kA^2 & kA^2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}z\\ \varphi\\ \theta\end{bmatrix}$$

– 수동, 능동형 제진장치를 가지는 플로팅 구조물 해석모델

① 운동방정식




[그림 2-7-3] 플로팅 구조물 해석모델

– AMD으로 구성된 시스템의 운동방정식

$$M_1\ddot{z}+C_1\dot{z}+K_1 z = f_z+u_1+u_2$$

$$M_2\ddot{\theta}+C_2\dot{\theta}+K_2\theta = f_\theta+Lu_1-Lu_2$$

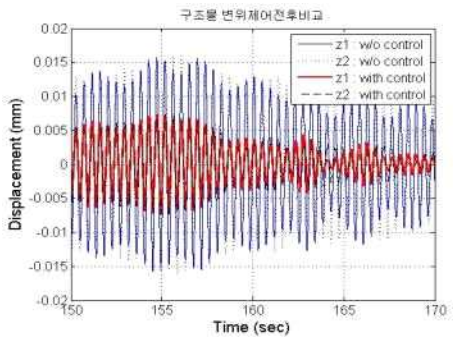
$$m_{a1}\ddot{x}_1=-u_1$$

$$m_{a2}\ddot{x}_2=-u_2$$

– 여기서, $f_z, f_\theta$ 는 각각 z, $\theta$ 방향으로 작용하는 모달 파랑하중이며, C, K는 다음과 같이 나타낼 수 있음

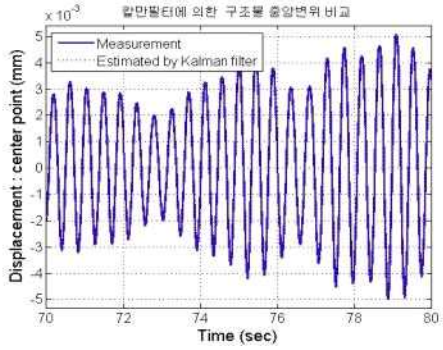
$$C_1 = 2\xi_1\omega_1 M_1$$
$$C_2 = 2\xi_2\omega_2 M_2$$
$$K_1 = \omega_1^2 M_1$$
$$K_2 = \omega_2^2 M_2$$

② 제어 알고리즘 설계




[그림 2-7-4] LQR 제어

$J = p^T Q p + u^T R u$

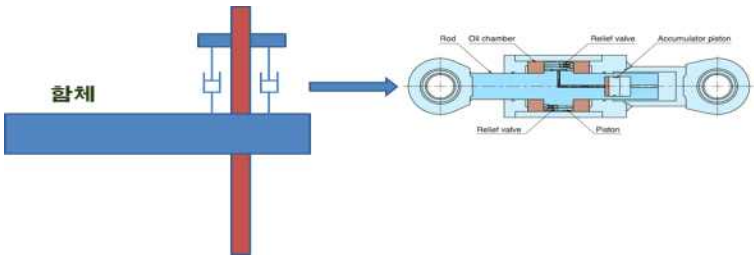



[그림 2-7-5] Kalman 필터

$$\dot{\hat{p}} = A_c \hat{p} + K(r - \hat{r})$$
$$\hat{r} = C\hat{p}$$

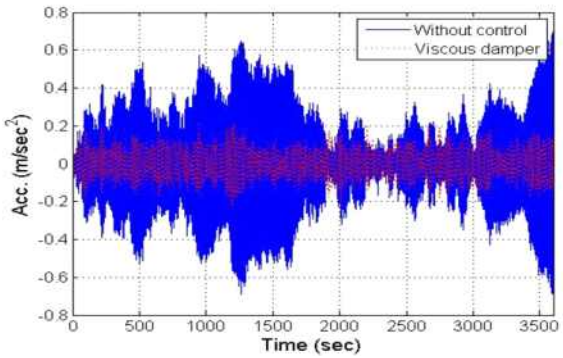
- 돌핀 시스템에 적용된 점성 감쇠시스템

③ 물의 점도(온도 : 20도)는 1 mPa.s (또는 1 cP : 센티 포아즈)로 실리콘 오일(점성감쇠장치에 주로 쓰이는 물질)에 비하여 십만분의 1 수준에 지나지 않으므로, 실리콘 오일을 이용한 점성댐퍼를 이용하여 함체시스템의 감쇠를 증가 시키는 방안




[그림 2-7-6] 돌핀시스템에 부착된 점성감쇠 시스템

④ 점성감쇠 돌핀시스템에 의한 진동제어효과



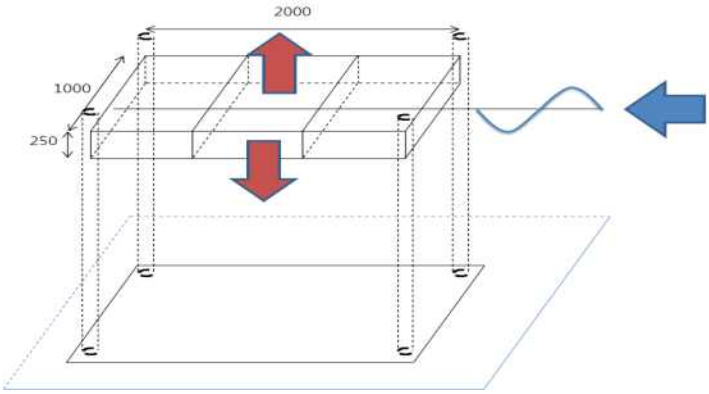

[그림 2-7-5] 진동 제어 효과

(3) 플로팅 함체 모형 제작 및 실험

- 각 방향(heave, rolling, pitch)별로 동적특성을 추정하여 각 방향 부가질량(added mass) 및 감쇠비, 고유진동수를 파악하여 정밀한 해석모형을 설정하고 추후 진동제어시스템에 의한 진동저감효과를 파악하기 위한 기본 대상 모형 및 관련된 일련의 제반 시설을 구축하기 위함

[표 2-7-1] 모형 제원

| 구분 | 실구조물 | 모형(Scale=1/10) |
|---|---|---|
| 길이 | B=20m<br>W=15 m<br>H=2 m | b=2m<br>w= 1.5m<br>h=0.2m |
| 함체 질량 | M=20x 15x 5kN/10<br>=150 ton | m=M/(10)^3<br>=150 kg |
| 밀도 | R=M/B/W/H<br>=250kg/m^3 | r=m/b/w/h<br>=250 kg/m^3 |
| 흘수 | D=H*R /1000<br>=0.5 m | d=h*r/1000<br>=0.05 m |
| 흘수 1m 가정 | D=1m<br>함체질량 (300ton) | d=0.1m<br>함체 질량 =300kg 요구 |




[그림 2-7-6] 함체 모델

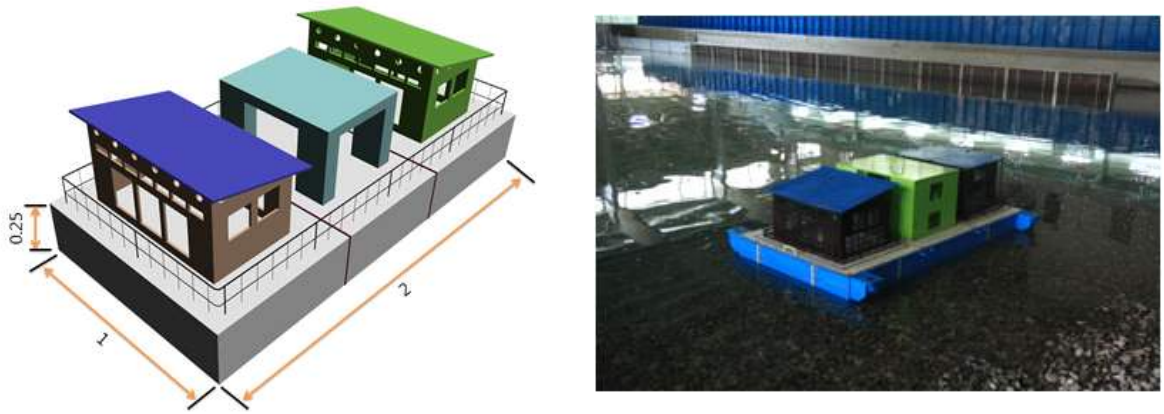
가. 플로팅 동요진동을 위한 제진장치 성능평가 및 최적화 기술 개발

(1) 동요진동 저감기술

– 플로팅 함체의 동특성 추정 실험

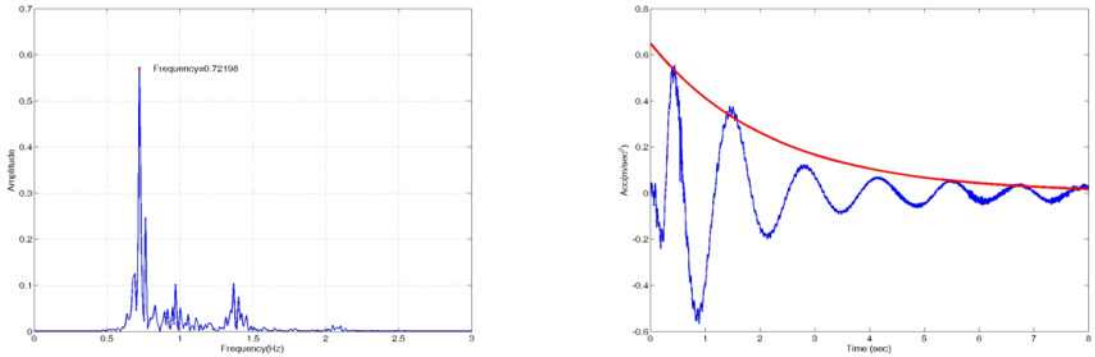
(가) 서론

– AMD 능동형 제진장치를 이용하여 플로팅 구조물을 제어하기 위해서는 수조실험을 통해 플로팅 함체 구조물의 히브, 롤링, 피치 등의 방향에 대한 동적 특성을 추정한 후 대상 구조물 특성에 적합한 제어알고리즘을 적용하여 수치시뮬레이션을 통한 제어의 가능성 확인 및 향후 실제 제진장치를 설치하여 검증실험을 통해 플로팅 구조물을 능동제어하기 위함



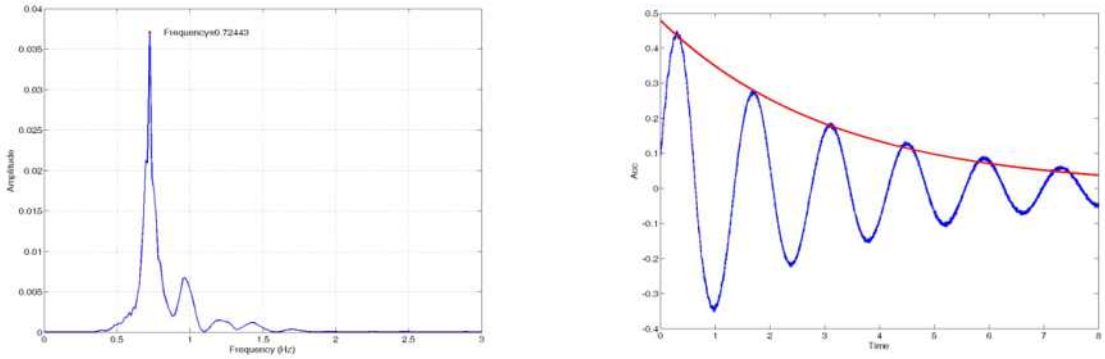

[그림 2-7-7] 실험에 사용된 플로팅 함체

(나) 플로팅 함체 수조 실험 및 결과



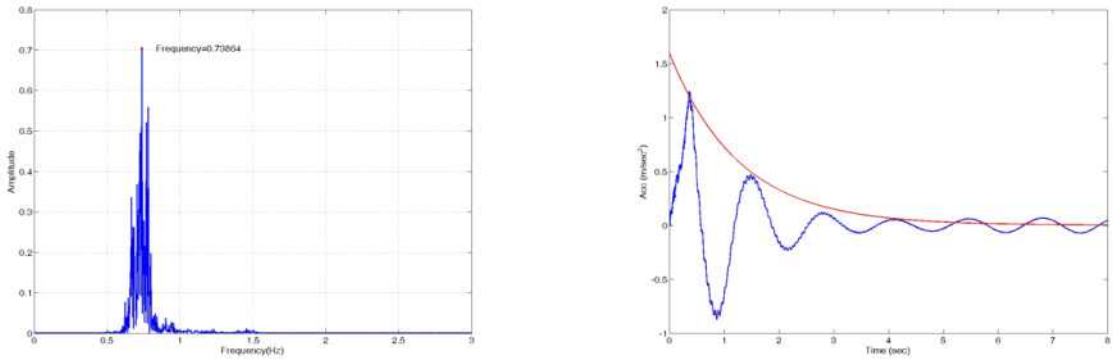

(a) 고유진동수 (0.72Hz) (b) 고유감쇠비 추정 (9-11%)

[그림 2-7-8] 3차원 수조실험 히브방향 동적 특성




(a) 고유진동수 (0.72Hz) (b) 고유감쇠비 추정 (5-7%)

[그림 2-7-9] 3차원 수조실험 롤링방향 동적 특성




(a) 고유진동수 (0.74Hz) (b) 고유감쇠비 추정 (15%)

[그림 2-7-10] 3차원 수조실험 피치방향 동적 특성

- 능동형 제진장치(AMD)의 이송거리 설계

① 서론

- 구조물로부터 계측된 응답을 이용하여 구조물의 동적거동을 명확히 파악하기 위해서는 실구조물 또는 이를 모사한 해석모델에 사용된 각 자유도의 응답인 상태변수를 알아야 함. 상태변수는 자유도에서의 변위와 속도응답으로 나타내어지므로 통상 자유도수의 2배수의 차원을 가지게 됨. 플로팅 구조물은 저차 모드의 응답이 지배적이기 때문에 모든 자유도에서의 응답 대신 오차 허용 범위 내에서 각 모드가 응답에 영향을 미치는 기여도에 따라 수개의 모드를 선택적으로 사용되기도 하지만 이때에도 각 모드의 상태변수를 알아야 함
- 수치해석을 위한 대상 시스템으로는 1 자유도계 시스템을 선정함. 구조물은 다자유도 시스템이지만 ICA기법을 이용하여 모드를 분리하게 되면 1자유도 시스템으로 치환이 가능하며, AMD와 같은 제진장치 또한 1자유도로 가정할 수 있기 때문임. 칼만필터의 구조를 간단히 살펴보고, 적분필터의 필터게인을 구하는 방법에 대해서 다룬 후 1자유도 시스템에 대한 수치해석을 수행하여 적분방법에 따른 효과를 비교함

② 적분 필터

○ 칼만 필터

- 칼만 필터링은 불규칙 외란을 포함하는 동적 시스템(Dynamic System)에 적용되는 최적 상태 추정과정으로 이산 실시간격(Discrete Real Time Interval)마다 측정되는 잡음(Noise)이 실린 데이터로부터 동적시스템이 미지의 상태변수를 최적으로 추정하기 위한 선형, 불변(unbiased), 최소오차 분산(minimum error variance)의 반복적 알고리즘. 칼만 필터는 상태의 최적 추정치를 주는 선형 시스템과 추정오차의 공분산 행렬이 만족하는 리카치 방정식으로부터 구성되고 필터이득은 리카치 방정식의 해로부터 일의적으로 결정됨
- 연속 시간영역 선형 칼만 필터를 이용하여 가속도로부터 상태변수를 구하는데, 일반적으로 동적 해석을 위해서는 다음과 같은 운동방정식을 사용함

$$M\ddot{x} + C_o\dot{x} + Kx = D_o u + Ev$$

$$\dot{z} = \begin{matrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \end{matrix} = \begin{matrix} O & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C_o \end{matrix} \begin{matrix} x \\ \dot{x} \end{matrix} + \begin{matrix} O \\ M^{-1}D_o \end{matrix} u + \begin{matrix} 0 \\ M^{-1}E \end{matrix} v$$

$$\dot{z} = Az + Bu + \Gamma v$$
$$y = Cz + w$$

- $z$는 2n 차원의 상태변수이며, $u$는 m 차원의 제어입력, $y$는 p 차원의 측정출력, $w$는 p 차원의 측정노이즈. 또한 $A, B, \Gamma, C$는 각각 2n × 2n, 2n × m, 2n × r, p × 2n 차원의 시스템 행렬. 한편 외부하중 $v$와 출력에 포함되는 잡음 $w$는 백색잡음이라고 가정하며 각각 평균이 0이며, 서로 상관관계가 없다고 가정함. 즉

$$E[v]=0, cov[v(t), v(\tau)]= V\delta(t-\tau)$$
$$E[w]=0, cov[w(t), w(\tau)]= W\delta(t-\tau)$$
$$cov[v(t), w(\tau)]=0$$

- 여기서, $E[.]$, $cov[.]$는 각각 평균, 공분산 기호를 나타내며, $V, W$는 각각 외력, 노이즈의 공분산 행렬. 식 (1.4)에서 출력 $y$는 시스템 일부의 응답을 나타냄. 출력 $y$로부터 시스템의 모든 응답 $z$를 예측하기 위하여 다음과 같은 칼만 필터 사용

$$\dot{\hat{z}} = A\hat{z} + Bu + K[y - C\hat{z}]$$

- 여기서, $\hat{z}$는 시스템의 측정변수(estimated variable)를 나타내는 것으로 출력 $y$로부터 예측됨. 이때 출력을 가속도로 설정하게 되면 구조물의 상태변수를 구할 수 있음. 측정변수는 시스템의 상태변수 $z$(실제응답)와 다음과 같은 관계가 있으며, 다음과 같은 오차의 제곱을 최소화하기 위하여 필터 이득 $K$를 구함

$$\tilde{z} = z - \hat{z}$$

- 여기서, $\tilde{z}$는 시스템의 실제 응답 $z$와 칼만 필터로부터 구한 측정변수 $\hat{z}$의 오차를 나타냄. 칼만 필터는 이 오차를 최소화하는 과정에서 유도되며, 이때 필터 이득 $K$는

$$K = \sum C^T W^{-1}$$
$$A\sum + \sum A^T + \Gamma V \Gamma^T - \sum C^T W^{-1} C \sum = 0$$
$$\sum = cov[\tilde{z}, \tilde{z}]$$

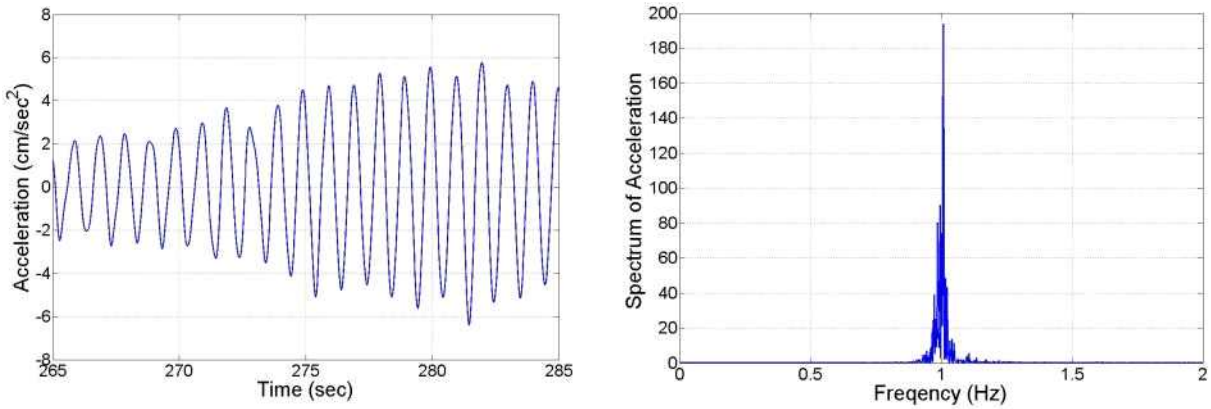
○ 필터 적분

- 제어 알고리듬은 상태변수를 피드백하여 제어력을 계산하기 때문에 가속도계에서 얻어진 정보를 적분하여 속도와 변위를 구함. 이러한 적분과정에서는 편중 신호나 측정잡음 등과 같은 불필요한 요소로 인하여 원형의 속도와 변위를 얻어내기가 다소 어려워지기 때문에 적분과정에서는 필터를 사용함

③ 수치 해석

- 수치해석에 사용된 시스템은 단자유도시스템으로 질량을 1로 정규화, 고유진동수 1Hz, 고유감쇠비 1%인 시스템. 하중은 임의 재생된 것으로 가정, 시간 간격은 10ms, 총 해석시간은 600sec
- 응답은 가속도응답을 구한 것이며, 실구조물에 적용할 때는 POD, ICA기법을 이용한 모드분리를 통해 해당모드의 가속도를 추출해서 사용함. 그림 1은 수치해석을 통해서 구한 가속도 시간응답과 진동수 영역 응답이며, 이를 칼만 필터를 이용해서 구한 변위와 수치해석에 의해서 구해진 변위를 비교한 것이 그림 2와 같음. 수치해석에 의해

구한 변위(정해)와 칼만 필터를 이용해서 구한 변위가 매우 유사함을 알 수 있음




(a) 가속도 시간응답 (b) 가속도 주파수 영역응답

[그림 2-7-11] 수치해석으로 구한 가속도 응답

④ 결론

- 제진장치 구동조건에 따라 직접적으로 가속도를 입력하는 것이 아니라 속도, 또는 변위를 입력하는 과정에서 이들 상태변수가 증가하거나 왜곡되어 원하는 관성력을 구현하기 어렵고, 그에 따라 이송거리가 증가하는 현상이 나타나는데, 이에 대한 이송거리 안정화를 위함
- 이송거리 설계를 위한 적분과정으로 칼만 필터와 적분 필터의 특성 및 수치해석을 통해서 각 적분방법의 특징을 고찰함. 수치해석결과에 의하면 칼만 필터, 적분 필터 모두 필터게인의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 적정한 필터게인을 사용하는 경우 두 필터 모두 변위, 속도를 안정적으로 예측하는 것으로 나타남
- 제안된 알고리즘을 사용하게 되면, 이송거리를 최소화하여 제진장치의 크기를 효과적으로 줄일 수 있으며, 설계하중 이상에서 이송거리 초과가 예상되는 경우에도 안정화 기법으로 사용할 수 있을 것으로 예상됨

(1) 실구조물의 모드특성 추정

(가) 서론

- ICA기법에 기반형 구조물의 응답만을 이용하여 모드 특성을 추정함. 구조물에 작용하는 하중은 미지의 것이지만 그 외에 어떠한 가정도 하지 않고 실제 구조물에서 계측된 응답으로부터 구조물이 가지고 있는 고유모드와 그에 상응하는 고유진동수를 추정함
- 태풍 작용 시 계측한 가속도 응답을 이용하여 ICA 기법에 의한 모드분리와 동적특성

추정을 수행함. 대상구조물은 40층 규모의 병진-비틀림 방향이 연계된 구조물이며, 최상층에 3개의 가속도계를 설치하여 구조물 거동에 가장 큰 거동을 미치는 3개의 모드응답을 ICA 기법을 이용하여 분리한 후 각 모드의 동적특성의 추정이 가능함을 보이며 응답기반 시스템 식별방법에 대하여 검증함

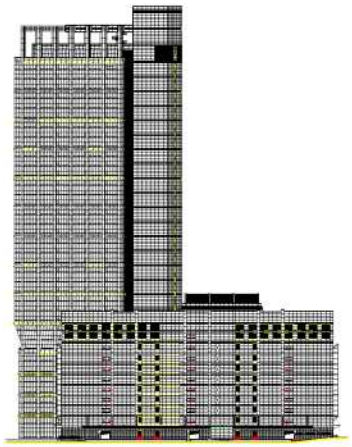
(나) 구조물의 응답계측 및 분석

○ 대상구조물 계측

- 대상 건물은 그림 33과 같이 건물로 사무동과 판매동으로 구분되어 있고 사무동의 층수와 높이는 각각 39층, 188m인 철골조 건물이며, 건축물 개요는 다음 표와 같음

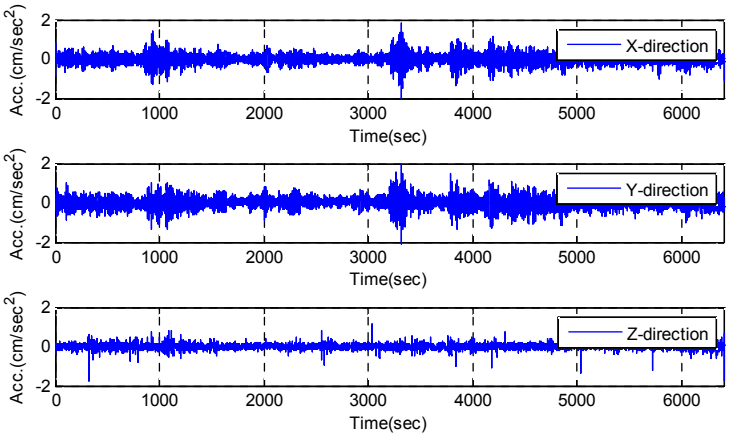
[표 2-7-2] 대상 건축물 개요

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 위치 및 규모 | 서울 광진구<br>지하6층, 지상39층, 옥탑 4층<br>(판매동 지상 12층) |
| 구조형식 | 철골구조 + 철골·철근콘크리트 구조 |
| 준공년도 | 1998년 8월 18일 준공 |
| 경과년수 | 계측 기준 약 13년 경과 |
| 주 용 도 | 업무시설 · 판매시설 · 공연시설· 운동시설 |



[그림 2-7-12] 대상구조물

- 대상구조물에 대한 풍진동 계측은 건축물이 위치한 지역에 영향을 준 2011년 제 9호 태풍 무이파에 대해서 수행함. 현장계측은 8월 8일 오전 5시부터 오후 3시까지 계측함. 최대 10분 평균 풍속은 7.0m/sec
- 풍속이 6m/sec 이상 발생한 오전 8시와 9시간 사이의 계측결과에 대한 가속도 시간이력 결과는 다음 그림과 같음. 그림 3에서와 같이 최대 가속도의 크기가 증가하여 최대 $2cm/\sec^2$까지 발생하였으며, 가속도가 증폭되는 구간이 명확하게 관측되었고 장변방향과 단변방향의 가속도가 증폭되는 경우에도 파형이 다르게 나타나고 있음을 확인함

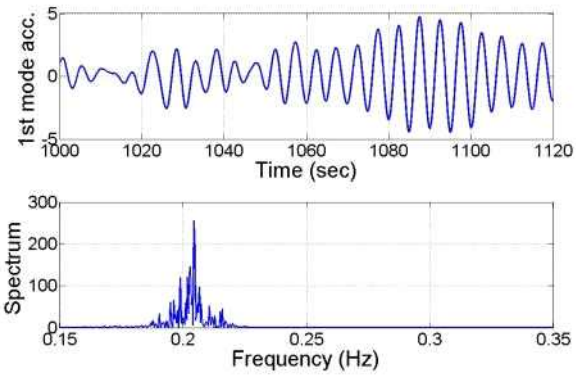



[그림 2-7-13] 2차 계측 가속도 시간이력

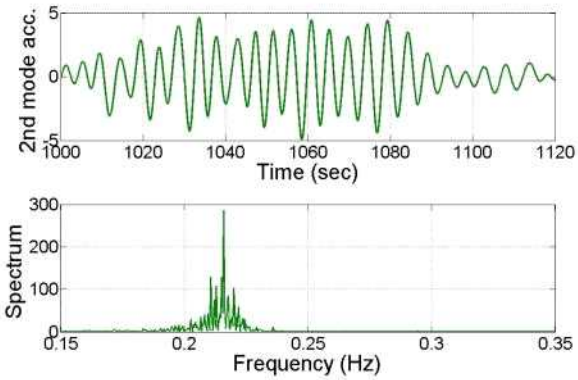
(다) ICA 기법을 이용한 모드특성 추정

○ ICA 기법에 의한 모드 분리

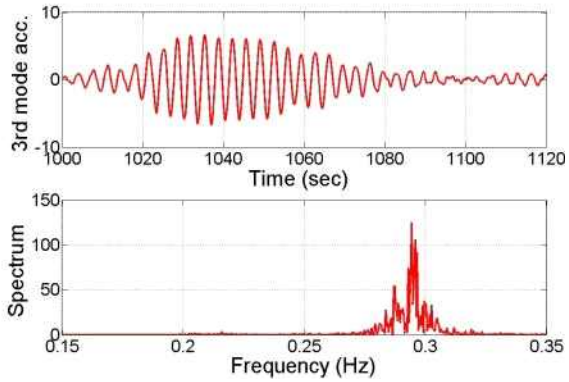
- 3개의 가속도 응답에 ICA 기법을 적용하여, 가속도에 영향을 미치는 것으로 판단되는 3개의 모드응답은 분리함. 분리과정에서 얻어진 선형변환행렬이 모드 값이라는 가정으로부터 이를 이용하여 모드형상을 구함
- 다음 그림은 ICA 기법에 의하여 분리된 1-3차 모드응답과 그에 대응하는 스펙트럼을 나타냄. 각 3개의 모드가 분리되고 있지만 미약하게 다른 모드와 연관성을 가지지만 무시할 정도로 작다고 판단됨




(a) 분리된 1차 모드 응답 및 스펙트럼




(a) 분리된 2차 모드 응답 및 스펙트럼




(c) 분리된 3차 모드 응답 및 스펙트럼

[그림 2-7-14] 구조물 가속도로부터 분리된 모드응답

- ICA 기법에 의한 모드 분리과정으로부터 얻어진 응답은 단위가 없는 무차원의 상대적인 값만을 가지므로 그림 7에 있는 모드 가속도 단위는 계측 가속도의 단위와 관련 없음. 이들이 의미를 가지기 위해서는 분리과정에서 얻어지는 선형 변환행렬의 값은 표 2에 나타냄. 변환행렬의 열이 각 모드응답에 해당하는 모드형상 값임

[표 2-7-3] 변환행렬 : 모드형상값

| 구분 | | 1차모드 값 | 2차모드 값 | 3차모드 값 |
|---|---|---|---|---|
| 변환행렬(A) | x | -0.2036 | -0.1065 | 0.0649 |
| | y1 | -0.2011 | 0.2060 | -0.1505 |
| | y2 | -0.2058 | 0.2187 | -0.3624 |
| 변환관계 | | Z=AS<br>( Z : 계측응답 , S : ICA에 의해 분리된 응답) | | |

(라) 결론

- 실구조물로부터 계측된 가속도응답에 ICA 기법을 적용하여 모드응답으로 분리하는

기법을 제안하고, 분리된 모드응답에 기초하여 보다 효율적으로 구조물의 동적특성을 추정하는 새로운 응답기반 시스템 식별방법을 제시, 검증함

- 계측된 응답을 ICA 기법에 의하여 분리하는 과정에서 가속도 응답에 기여도가 높은 순서대로 매우 정확하게 분리가 되는 것을 확인하였으며, 구조물의 응답에 모드응답의 기여도가 있으면 매우 인접한 모드일지라도 매우 뚜렷하게 분해가 가능함

라. 제진장치 실용화 및 시작품 제작

(1) 서론

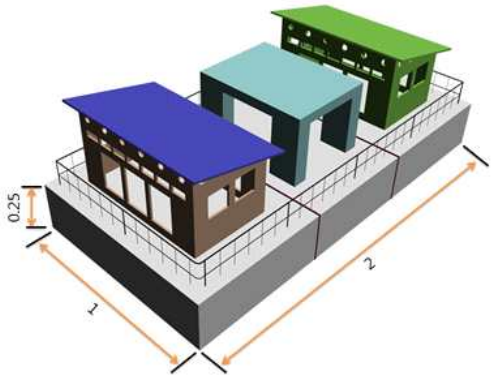
- 본 연구에서는 부유식 구조물에 작용하는 사용성 수준의 파랑하중에 대한 진동 저감을 목적으로 능동형 제진장치의 활용가능성이 검토하고, 이를 바탕으로 축소된 플로팅 구조물에 적용하기 위한 능동형 제작장치가 시작품이 구축되었음.
- 제진기능의 부하여부 검증을 위하여 능동형 제진장치를 구성하는 각 요소의 기능, 특징을 기술하고, 제진효과를 구현하기 위한 제어 알고리듬에 대한 연구가 수행되었음. 또한 자유진동실험을 수행하여 제진성능을 평가하였음.

(2) 플로팅 구조물 진동제어 시스템

- 능동형 제진시스템은 제어대상이 되는 구조물(대상구조물), 구조물의 진동을 계측하고 신호의 노이즈를 제어하는 계측-컨디셔닝 시스템(계측부), 계측신호를 이용하여 최적제어력을 산정하는 제어알고리듬과 이를 프로그래밍하여 탑재하는 시스템(제어부), 제어력을 실제 구조물에 전달하는 기구(동력부: AMD)로 구성됨.

(가) 대상구조물

- 플로팅 함체의 단위모듈(20m x 10m x 2.5m(H))을 1/10로 축소한 것으로 제작의 용이성을 위하여 강재로 제조되었으며 제조된 모형에 대한 수조 실험 결과로부터 구한 롤링 고유진동수는 0.8Hz, 감쇠비는 3%이며 함체와 상부 구조물의 총 질량은 약 250kg 임. 알고리즘 검증등 제어예비실험을 위하여 롤링모드 구현 스프링 및 힌지등을 이용하여 대상구조물 제작함.




(a) 플로팅 구조물 형상



(b) 동적 실험

| 구분 | 특징 | 값 |
|---|---|---|
| 대상 구조물 | 크기 | 2x 1x 0.25m |
| | 질량 | 250 kg |
| | 롤링회전관성 | 40kg $m^2$ |
| | 고유진동수 | 0.8 Hz |
| | 감쇠비 | 3% |
| | 주요모드 | 롤링 |

(c) 동적 특성



(d) 함체 실내 제어 실험 대상구조물



(e) 롤링 모드 구현 스프링 및 힌지

[그림 2-7-15] 대상구조물의 형상 및 동적특성

(나) 능동형 질량감쇠기 (Active Mass Driver : AMD)

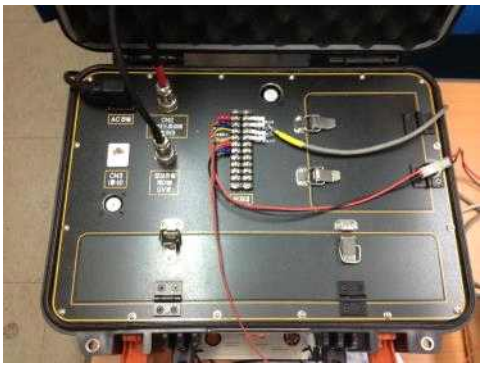
- 제어알고리듬을 이용하여 생성된 제어력은 능동형 질량감쇠비를 통하여 구조물에 전달됨. 능동형 질량 감쇠기는 질량의 관성력에 의하여 제어력을 대상구조물에 전달하는 것으로 감쇠기에서 발생된 관성력의 반대방향으로 제어력이 구조물에 부가됨.

[표 2-7-4] 능동형 질량감쇠기 특성

| 구분 | 특징 | 값 |
|---|---|---|
| 모터 | 타입 | 서보모터 |
| | 입력 볼트 | ± 10V |
| | 정격 RPM | 3000 RPM<br>단위볼트당 300 회전 |
| 모터 드라이브 | 제공 모드 | 변위, 속도, 토크모드 |
| | 1회전당 펄스 수 | 4098 |
| 볼스크류 | 단위회전당 이송거리 | 10mm |
| AMD | 설계 이송거리 | ± 135 mm |
| | 이동질량 | 0-10kg |



(a) 형상



(b) 모터 드라이브



(c) 영점 보정 스위치



(d) limit switch

[그림 2-7-16] 능동형 질량 감쇠기 형상 및 특성

(다) 계측 및 신호 컨디셔닝 시스템

- 제어력은 실시간으로 계측된 구조물의 거동을 이용하여 최적 제어알고리듬으로부터 계산됨. 계측된 신호에는 노이즈 등 불필요한 신호등이 포함되어 있으므로 이를 제거할 필요가 있음.



(a) 가속도계

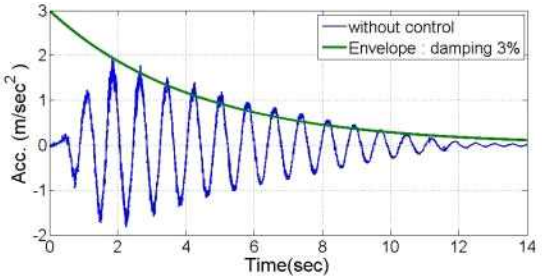


(b) 계측 보드

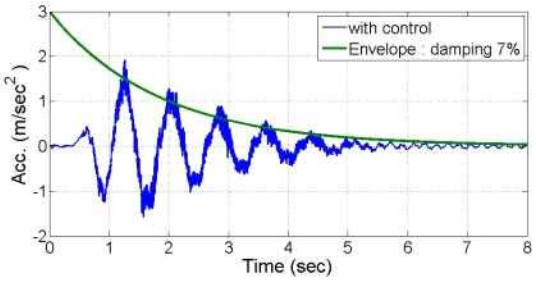
[그림 2-7-17] 계측 시스템

(3) 롤링 진동모드 제어 검증실험

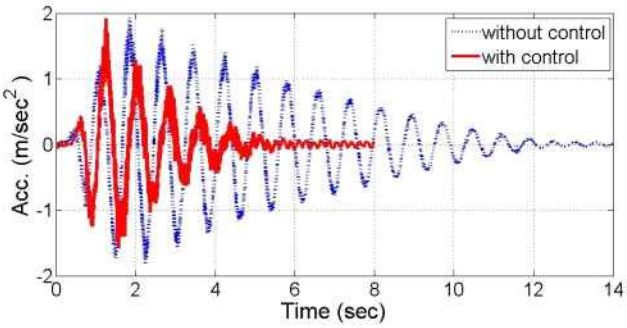
- 검증 실험은 롤링모드를 가지는 구조물에 대한 자유진동실험을 수행하여 AMD에 의한 제어 전 후의 진동저감효과를 평가하는 것임.
- 다음 그림 5는 자유진동에 의한 대상구조물의 진동제어 전후의 가속도를 비교한 것임. 그림에서와 같이 제진장치가 작동할 때의 진동이 비제어시의 진동에 비하여 저감되어 나타나는 것을 알 수 있음.




(a) 비제어 : 등가 감쇠비 3%




(b)제어 : 등가감쇠비 7%




(c) 제어 비제어 비교

[그림 2-7-18] 자유진동상태에서의 제어비제어 비교

- 본 연구에서는 1/10으로 축소된 플로팅 함체에 설치될 능동형 제진장치 시작품을 구축

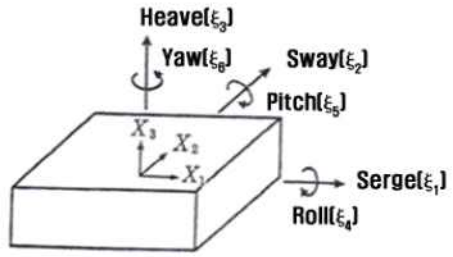
하였고, 자유진동실험을 통하여  플로팅 구조물의 진동저감효과를 검증하였음.

- 롤링모드를 가지는 함체 모형에 대한 제어 전후 검증실험 결과 비제어시의 등가감쇠비 3% 수준의 감쇠비를 가지는 구조물이 능동형 제진장치 적용결과 7%의 감쇠비를 가지는 것으로 나타났으며, 자유진동상태에서 제어효과 또한 가속도가 크게 줄어드는 것으로 나타났음. (제어결과는 동영상으로 제공됨)
- 제진장치 시작품의 변수(AMD 이동질량, 제어알고리듬, 제어이득)를 조정하면서 제진장치의 안정성, 제어의 효율성, 제진장치의 적용성 등을 지속적으로 검증할 예정임

마. 동요진동 저감 기술이전 보급

(1) 플로팅 구조물 동요진동 및 거주성 평가 매뉴얼 작성

- 플로팅 건축물의 거주성에 구애받는 진동으로는 바람, 물결 등의 변동외력에 의한 동요진동 예측법 제공
- 플로팅 구조물에 동요를 발생 시키는 주요한 진동원은 물결과 바람이다. 그 동요는 고층 건축물등과 비교해 보아도 상당히 주기가 길다. 진폭이 큰 진동인 것 진동의 방향도 수평(Serge, Sway), 수직(Heave) 이외에도 바닥면의 경사(Roll. Peach)와 수직축 주변의 회전(Yaw)가 더해져 대단히 복잡한 양상을 나타냄 (그림 2-7-19)




[그림 2-7-19] 유체의 운동

- 현수선 계류식 구조물의 경우, 그 수평면내의 운동(Serge, Sway, Yaw)의 고유주기는 파동 주기 (3~25초 정도)에 비교해 상당히 길다(1~3분 정도),  파동과 같은 주기의 동요의 이외도 변동파, 표류력과 변동풍과의 동조 현상에 의한 장주기의 수평면내 동요를 일어나게 하는 것이 특징적임.
- 한편, 수직면 내의 운동(Heave, Roll, Peach)에 대해서는 고유 주기가 파동 주기에 비교적 가까워 파동 주기 동요가 탁월해 지지만 수선(흘수선)면적(정수면을 따라 잘라낸 유체의 횡단면의 면적)의 작은 반잠수형 구조물에서는 수직면 내에도 장주기 동요의 발생이 관측 된다.
- 그림 2-7-20은 발생하는 진동을 대상으로 그 가속도 (최대치)와 진동수를 인체의 감

각곡선 과의 관계를 나타낸 것이다. 또한, 그림 2-7-21은 플로팅 건축물 동요의 실측 예임

- 부유식 해양 건축물의 거주성을 검토함에 있어서는, 그 해역에 대한 동요의 크기와 특성을 예측하고, 그런 다음 허용 한계 이하에 있는 것들을 확인 하는 절차가 필요하다. 부유식 건축물의 동요의 해석의 표준적인 절차를 이하에 표시함

(가) 운동방정식

- 계류된 부유식 건축물의 운동 방정식은, 부체를 강체라고 판정 하면, 일반에 6 자유도계가 되고, 다음 식과 같이 기술됨 (그림 2-7-22 참조).

$$\sum_{k=1}^{6}\left[(M_{jk}+m_{jk})\ddot{\xi}_k + N_{jk}\dot{\xi}_k + \widehat{N_{jk}}\left(\xi_k - \overline{U_k}\right)\left|\dot{\xi}_k - \overline{U_k}\right| + C_{jk}\,\xi_k\right] + G_j(\xi_1,\xi_2,\cdots\xi_6) = E_j(t)$$

$$(j = 1 \sim 6) \qquad (1)$$

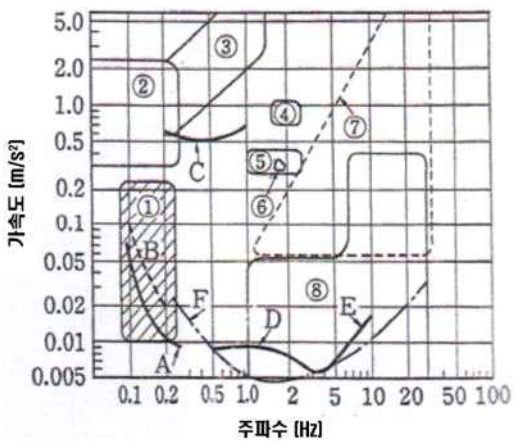
기호 $M_{jk}$ : 질량계수

$m_{jk}$ : 부가질량계수

$N_{jk}$ : 조파감쇠계수

$\widehat{N_{jk}}$ : 점성감쇠계수

$C_{jk}$ : 정수압에 따른 복원력 계수



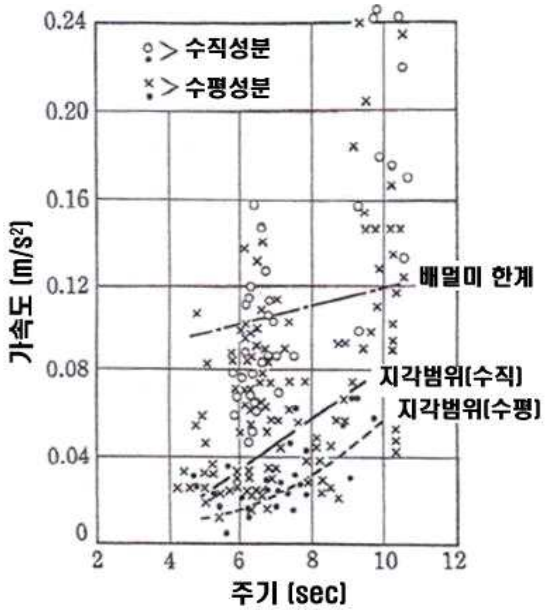

① AQUA POLIS (오키나와 해양박75)에 의한 실측값
② 선박의 동요
③ 고층 건축물의 설계값을 보는 파동
④ 버스에 발생하는 진동
⑤ 전차에 발생하는 진동
⑥ 일반승용차에 발생하는 진동
⑦ 선박의 기관에 의해 발생하는 진동
⑧ 일반 건축물에 발생하는 진동

A 수평 진동의 지각 범위　　B 수직 진동의 지각 범위

C 수평 진동의 허용 한계　　D 수평진동의 지각 범위 (이시모토 씨)

E 지각범위 (Meister)

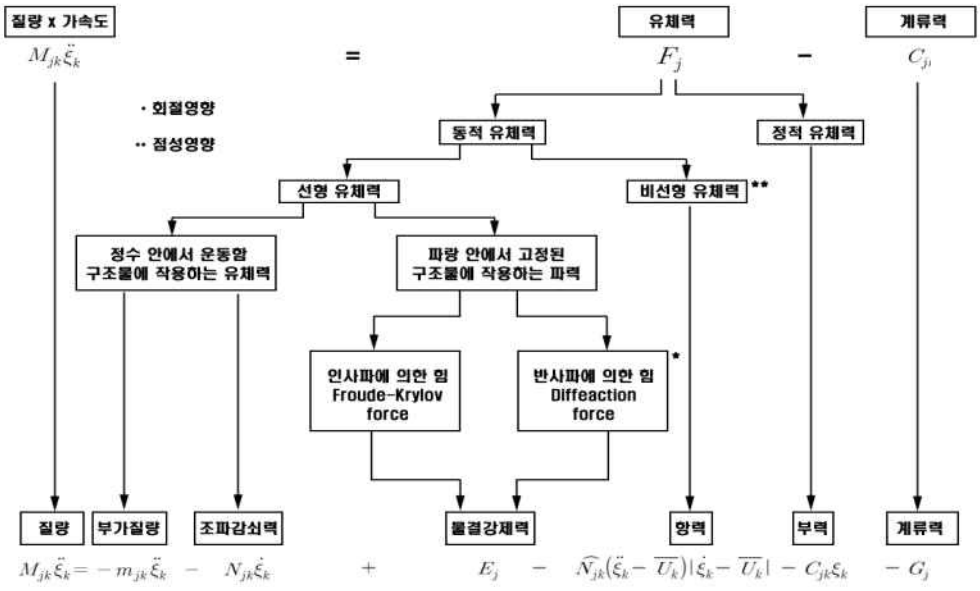
[그림 2-7-20] 해양 건축물의 동요와 진동과의 비교




배멀미 한계
이성보다 요동이 커지면 배멀미 증상을 호소하는 사람이 많아짐.
지각범위(수직) 이선보다 높아지게 되면 약 반수의
지각범위(수평) 사람이 요동을 느낌

[그림 2-7-21] 동요진동 실측예

- 흘수의 상태에 따라서 동요는 다름. 10초 전후의 주기의 요동은 흘수가 약 10m, 6~7초의 주기의 요동은 흘수가 6~6.15m의 경우임




[그림 2-7-22] 계류유체의 운동방정식의 구성도

$G_j$ : 계류계 복원력

$\xi_k$ : 부체의 r모드의 변위

$\overline{U_k}$ : r 모드에 대응하는 파입자 속도의 평균치

$E_j$ : 강제외력

(나) 질량 계수

- 질량 계수는 부체의 중량분포에 근거하여 산정 한다. 적재 하중의 변동, 적재할 액체의 진동효과나 생물 부착에 따른 중량 변화 등도 실상에 따라서 고려함

(다) 부가 질량 계수

- 부가 질량 계수는 선형 potential 이론에 근거하여 평가 한다. 세장재의 경우에는 모리슨(Morrison formula)식에 따라서 산정해도 좋음

$$dm_{\alpha\beta} = \rho_0 C_m A \sin^2(\alpha, l)$$
$$dm_{\alpha\beta} = -\rho_0 C_m A \cos(\alpha, l)\cos(\beta, l), \quad \alpha \neq \beta \qquad (2)$$

기호 $dm_{\alpha\beta}$ : 부재요소 $dl$당 부가 질량

($\beta$ 방향의 단위 진폭 운도에 따른 $\alpha$방향의 부가 질량 ; $\alpha$, $\beta$ = 1~3)

$\rho_0$ : 해수의 단위 체적당 질량

$C_m$ : 부가 질량 계수(단면 형상에 따름)

$A$ : 단면적

$(\alpha, l)$ : 부재축 $l$과 $\alpha$방향이 이루는 각도

$(\beta, l)$ : 부재축 $l$과 $\beta$방향이 이루는 각도

$dl$ : 부재의 길이 요소

(라) 감쇠계수

- 감쇠력으로는 조파 감쇠력과 점성 감쇠력을 고려하여야 한다. 조파 감쇠계수는 선형 potential 이론에 근거하여 평가한다. 점성 감쇠력에 대해서는 각 부재에 작용하는 기여를 모리슨(Morrison formula)식에 따라 산정함

$$dF_{Dn} = \frac{1}{2}\rho_0 C_D D(U_n - \dot{\xi}_n)\left|U_n - \dot{\xi}_n\right| dl \qquad (3)$$

기호 $dF_{Dn}$ : 부재요소 $dl$은 작용하는 항력에 부재 직교 방향 성분

$C_D$ : 항력계수

(단면 형상, Reynolds number, Keulegan-Carpenter number에 따름)

$U_n$ : 물입자 속도의 부재 직교 방향 성분

$\dot{\xi}_n$ : 부재 속도의 부재 직교 방향 성분

- (3) 식을 적분해서 부재마다의 점성 항력을 구해, 한층 더 부체를 구성하는 부재 전체의 총합을 얻은 부체 전체에 작용하는 항력을 구함
- (3) 식의 항력 계수 $C_D$는 다음 식과 같이 등가 선형화해서 처리 하는 것이 가능함

$$C_D(U_n - \dot{\xi}_n)\left|U_n - \dot{\xi}_n\right| \simeq C_{DL}(U_n - \dot{\xi}_n) \qquad (4)$$

여기서,

규칙 진동의 경우 $C_{DL} \simeq C_D \times \frac{8}{3\pi} Max\{\left|U_n - \dot{\xi}_n\right|\}$ (5)

불규칙 진동의 경우 $C_{DL} \simeq C_D \times \sqrt{\frac{8}{\pi}}\, RMS\{\left|U_n - \dot{\xi}_n\right|\}$

- (4) 식의 우변 제1항은 물결 강제력에, 제2항은 점성 감쇠력에 기여함

(마) 복원력 계수

- 정수압에 따른 복원력 계수는 부체의 각 Mode의 운동 시의 부력 변화로 부터 산정한다. 계류계 복원력은 계류 Line의 설치 단부(끝부분)에 따라 변위 와 반력의 관계로 부터 구한다. 계류계의 복원력은 일반적으로 비선형 이지만, 완만한 계류의 경우에는, 통상 이것을 등가한 선형 탄력으로 치환, 선형계로서 취급함

(바) 강제 외력

- 강제 외력으로는, 파(동)과 같은 주기의 1차 물결 강제력 이외에, 장주기의 변동파표류력 또는, 풍압력, 조류력을 고려한다. 물결 강제력이 세장체(가늘고 긴 물체)라면 모리슨식(Morrison formula)에 따라서, 회절영향을 고려할 필요가 있는 경우에는 Potential 이론에 기초하여 평가함

(사) 운동 방정식의 주파수 영역 해석

- 운동 방정식이 무언가의 방법에 의해서 선형화가 가능하다면, (.1) 식을 푸리에 변환 (Fourier transform) 하는 것에 따라, 다음 주파수 역역형의 운동 방정식이 얻어짐

$$\sum_{k=1}^{6}\left[\{M_{jk}+m_{jk}(w)\}(-w^2\xi_k^*)+\left\{N_{jk}(w)+\widehat{N}_{Ljk}\right\}(iw\xi_k^*)+(C_{jk}+G_{jk})\xi_k^*\right]=E_j^*(w)+\sum_{k=1}^{6}\widehat{N}_{Ljk}\overline{U}_k^*(w) \quad (6)$$

기호 $\xi_k^*(w)$ : $\xi_k(t)$의 푸리에 변환 (Fourier transform)

$\overline{U}_k^*(w)$ : $\overline{U}_k(t)$의 푸리에 변환 (Fourier transform)

$E_j^*(w)$ : $E_j(t)$의 푸리에 변환 (Fourier transform)

$\widehat{N}_{Ljk}$ : 등가 선형 점성 감쇠

$G_{jk}$ : 계류계의 선형 복원력 계수

- (6) 식은 계수 $\widehat{N}_{Ljk}$가 $\xi_k^*$의 함수로 있음으로, 비선형이 되지만, $\xi_k^*$의 초기값을 적당하다고 가정한다면, 반복되는 근사에 따라 해답을 얻는 것이 가능함. 외란(잡음)을 정상 확률 과정이라고 판정 한다면, 가해진 외란(잡음) 스펙트럼 $S_\xi(w)$에 대하여 (6)식을 풀어 구해진 부체의 동요의 응답함수 (주파수 응답함수) $H_{\xi E}(w)$로부터 불규칙 외란(잡음) 아래의 동요 스펙트럼 $S_\xi(w)$ 또는 분산 $\alpha_\xi$가 다음 식에 따라서 계산됨

$$S_\xi(w)=\left|H_{\xi E}(w)\right|^2 S_E(w) \quad (7)$$

$$\sigma_\xi^2=\int_0^\infty S_\xi(w)dw \quad (8)$$

- 또한, 불규칙 외란(잡음)아래의 동요 진폭의 극치의 확률 분포가 레일리 분포 (Rayleigh distribution)에 따른다고 가정 한다면, 동요 진폭의 유의값 E⅓과 기대치 E, 또는 초과 확률 등이 분산으로 부터 구해짐

$$\xi_{1/3}=2\sigma_\xi \quad (9)$$

$$\bar{\xi}=1.25\sigma_\xi \quad (10)$$

$$\Pr\{\xi>A\}=\exp\left\{-A^2/2\sigma_\xi^2\right\} \quad (11)$$

기호 $\Pr\{\xi>A\}$ : $\xi$이 어떤값 A를 넘는 확률

(아) 운동 방정식의 시간 영역 해석

- 유체력과 계류계의 복원력이 강한 비선형 성을 가진 경우에는, 운동 방정식이 비선형이 되어, 주파수 영역에의 중첩의 원리가 적용 되지 않는다. 따라서 운동 방정식을 시간영역으로 푸는 것이 된다. 시간 영역형의 운동 방정식의 엄밀한 표시식은, 부체의 운동에 따른 발생 순간의 유체력을 단위 인펄스 응답(impulse response)을 새긴 적분에 따라서 표현 한다면, 다음 미분 적분 방정식에 귀착됨

$$\sum_{k=1}^{6}\left[\{M_{jk}+m_{jk}(\infty)\}\ddot{\xi}_k+\int_0^t K_{jk}(t-\tau)\dot{\xi}_k(\tau)d\tau+\widehat{N}_{jk}(\xi_k-\dot{\overline{U_k}})\left|\xi_k-\dot{\overline{U}}_k\right|+C_{jk}\xi_k\right]+G_j(\xi_1,\xi_2,\cdots\xi_6)=E_j(t)$$

(12)

여기서

$$K_{jk}(t)=\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}N_{jk}(w)\cos wt\,dw \tag{13}$$

$$m_{jk}(\infty)=m_{jk}(w)+\frac{1}{w}\int_0^{\infty}K_{jk}(t)\sin wt\,dt \tag{14}$$

기호 $K_{jk}(t)$ : 지연 함수

$m_{jk}(\infty)$ : 무한대 주파수에 의한 추가 질량 계수

- 시간 영역에서의 동요의 시뮬레이션 계산으로는, (12)식에 표시된 지연 함수를 포함한 미분 적분 방정식을 수치 적분해서 처리하는 방법이 보다 엄밀하지만, 계산 시간은 방대한 것이 된다. 그래서 지연 함수를 구하지 않고, (12)식의 선형항(일차항)을 푸리에 변환하여 얻어지는 주파수 영역형의 운동 방정식의 유체력 계수를 일정한 운동 방정식을 푸는 방법이 통상 사용된다. 그 경우, 유체력 계수로서는, 불규칙파 스펙트럼(spectra)의 최고(peak) 주파수의 값이나, 계류계의 고유 진동수의 값을 사용함

$$\sum_{k=1}^{6}\left[\{M_{jk}+m_{jk}(w)\}\ddot{\xi}_k+N_{jk}(w)\dot{\xi}_k+\widehat{N}_{jk}(\xi_k-\overline{U}_k)\left|\dot{\xi}_k-\dot{\overline{U_k}}+C_{jk}\xi_k\right|\right]+G_j(\xi_1,\xi_2,\cdots\xi_6)=E_j(t)$$

(15)

(자) 거주성의 관점으로부터 동요를 경감할 방법

○ 물결 강제력을 경감하는 방법

① 부체 형상에 따른 물결 강제력의 경감

- 부체 형상에 특별한 고안을 덧붙임에 따라 물결 강제력을 경감하는 것이 가능하다. 파압은 수면에 가까워질수록 커지므로, 수면 아래로 깊이 잠수 시켜, 수면 가까이에 체적을 작게 하면, 물결 강제력은 경감 된다, 다만, 안정성을 확보하기 위해서는 어느 정도의 수선 면적이 필요하다. 파동 없이 주기를 설치 해역의 탁월파 주기와 일치 시키는 것에 의해 상하 진동을 적게 하는 것이 가능함

② 파(동)작용의 위상차를 이용 하는 방법

- 파(동)은 공간적, 시간적으로 위상차를 가지고 작용하기 때문에, 구조물의 모든 부분이 동시에 최대 파압을 받는 일은 없다. 입사파의 파장에 비교하여 장대한 구조물에서는, 충분한 강성이 있으면, 각부에 작용하는 파압이 서로 부정하여, 상하 방향의 물결 강제력, 따라서 동요도 경감됨

○ 동요의 고유 주기를 파(동)주기 범위로부터 멀리하는 방법

- 동요의 고유 주기를 설치 해역에 따라 파(동)주기 범위부터 멀리하는 것에 따라, 물결 강제력과의 동조를 피해, 동요를 경감 하는 것이 가능하다. 완만한 계류의 경우, 수평 모드 (Serge, Sway, Yaw)의 고유 주기는 파주기 보다도 길어지지만, 상하 모드 (Heave, Roll, Peach)의 고유 주기는 파주기 범위에 들어, 동조 현상에 따른 큰 동요가 발생할 가능성이 있다. 반잠수형 구조물에서는, 상하 모드의 고유 주기를 길게 하여 (30초 이상), 동요를 경감 하는 방법을 취하고 있다. 긴장계류식 구조물은, 반대로 고유 주기를 파(동)주기보다도 짧게 하는 것에 따라서 (1~3초), 동요를 경감 하는 방식이 있음

○ 진동제어

- 부체에 감요장치나 추진장치를 설치해 진동을 제어하는 방법으로, 제어방식에 따라서 수동형과 능동형으로 크게 나뉨

① 수동 제어

- 부체의 동요에 대하여, 수동적으로 그것을 부정하는 방향의 외력을 발생해 감쇠 효과를 얻는 방식으로, 내수부(물)의 슬로싱(sloshing)을 이용한 감쇠나 코마(Coma)의 회전 운동을 이용한 감쇠 등이 고안되어 있음

② 능동제어

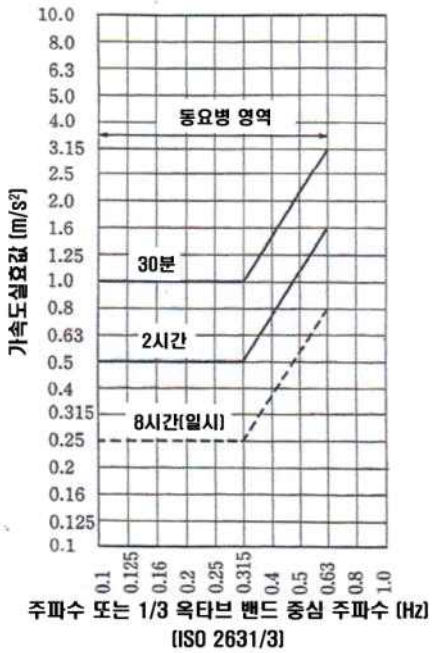
- 동요량을 검출해 적극적으로 어긋남을 보정하는 것으로 동력을 움직여서 제어 하

는 방식으로, 측면에 양력(부양력)을 발생하는 핀(fin)을 설치해, 그 앙각을 제어하는 것에 따라 동요를 줄이는 핀 스태빌라이져(fin stabilizer)나, 부체의 정위치로부터의 변위량을 감지해, 장비한 추진장치(thruster)를 제어하는 것에 따라서, 자동적으로 위치유지를 실행하는 다이나믹 포지셔닝 시스템 (DPS)등이 있음

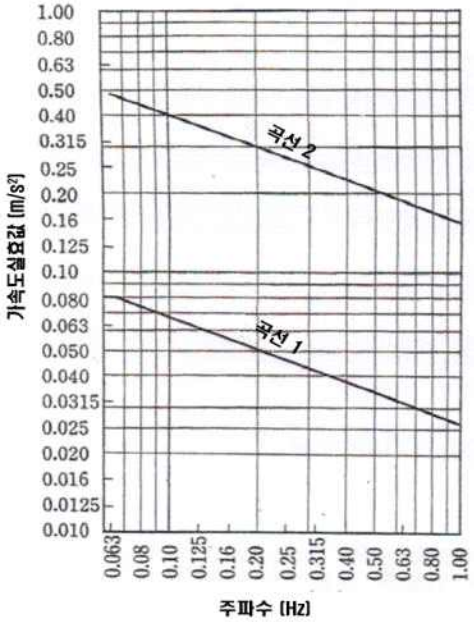
- 부유식 건축물의 동요와 같이 상당한 장주기 영역에서의 동요를 대상으로 한, 허용 동요 한계에 대해서 언급한 규격의 종류로서는, 배멀미 증상의 발생 한계의 관점으로부터, 선상에서의 거주성에 대하여 평가 기준을 제안한 국제 지침 ISO 2631/3이 있다. 이 지침은 0.1~0.63Hz의 수직의 진동에 대하여 불쾌한계를, 주파수 또는 폭로시간의 함수로써 표시한 것으로, 성인 건강한 남자의 약 10%가 동요병에 걸릴 수 있다고 하는 한계를 나태내고 있음 (그림 2-7-23)

  한편, 수평 진동에 대하여 허용 한계를 규정한 규격으로는, 1984년 8월에 공표된 해양구조물의 동요에 관한 국제 규격 ISO 6897이 있다. 이것은 0.063~1Hz의 진동수 범위에서의 고정식 해양 건축물에 발생하는 수평 장주기 진동을 대상으로 한 지침으로, 훈련을 받은 작업자가 정밀 작업을 실시하는 것이 곤란해지는 동요의 한계를 제안한 것이다. (그림 2-7-24) 또한, 이 한계치는 재현기간 5년 동안의 태풍의 최성기(전성기)에 있던 10분간 진동에 대하여 규정 한 것이다. 부유식 해양 건축물을 대상으로 한 동요의 허용 한계를 규정한 규격은 아직까지 전례를 보이지 않음

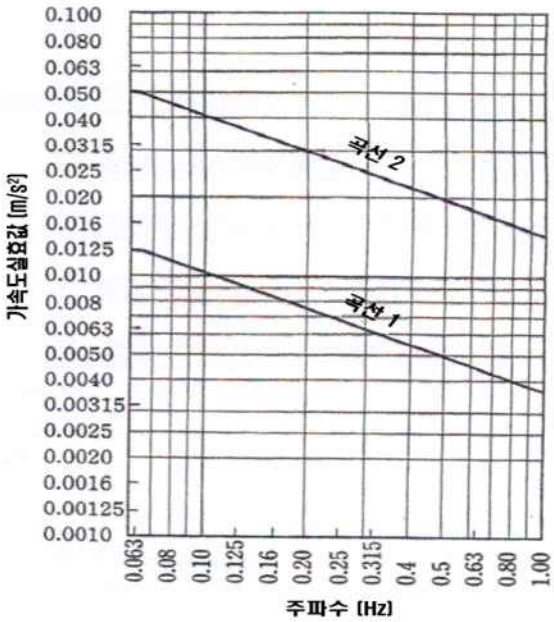
- 부유식 해양 건축물에 허용된 동요의 레벨은, 건축물의 용도에 따라, 또한 같은 용도라 하여도 상시 사용과 이상(정상이 아님)시의 피난을 생각한 경우에서는, 다른 값이 설정 되어야만 한다. 각각의 값을 명확히 제시하는 것은, 해양 건축물 같은 복잡한 진동에 대하여 인체의 반응에 대한 상세히 밝혀지지 않은 현상에 대해서는, 더없이 곤란하다. 부유식 건축물을 장기간에 걸쳐 거주시설로서 이용하는 것이라면, 그 허용된 동요의 레벨을 동요 지각 한계에 놓는 것이 타당하다. 그러나 레저시설처럼 일시적인 거주 공간으로서의 이용을 한정하는 것 이라면, 다소 지각 한계를 넘는 동요는 허용 되어, 쾌적성 한계 또는 배멀미 증상의 발생 한계를 동요의 허용 한계로 하는 것도 필요하다. 건축 공간으로서의 광범위의 이용을 생각하는 것이라면, 쾌적성은 물론, 거주자의 건강성, 작업성, 행동성, 더욱더 이상시의 안전성에 이르기까지, 폭넓게 검토를 실시하고 나서, 부유식 해양 건축물의 거주성 평가의 지침을 작성할 필요가 있음




[그림 2-7-23] 0.1~0.63Hz의 수직 진동에 대한 불쾌한계(ISO 2631/3)



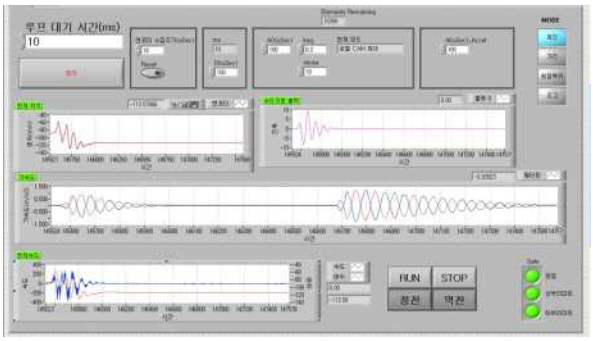

[그림 2-7-24a] 일반용도 건축물(곡선 1)과 고정식 해양 건축물(곡선 2)의 만족해야하는 수평 진동의 크기 (ISO 6897)



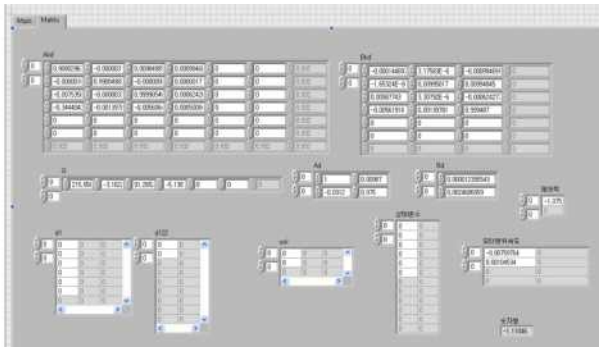

[그림 2-7-24b]사람에 따라 지각 되는 수평 진동의 평균 지각 범위(곡선2)와 저위(민감한 사람)의 지각 범위(곡선 1) (ISO 6897)

(2) 현실조건을 고려한 제어알고리듬 개선

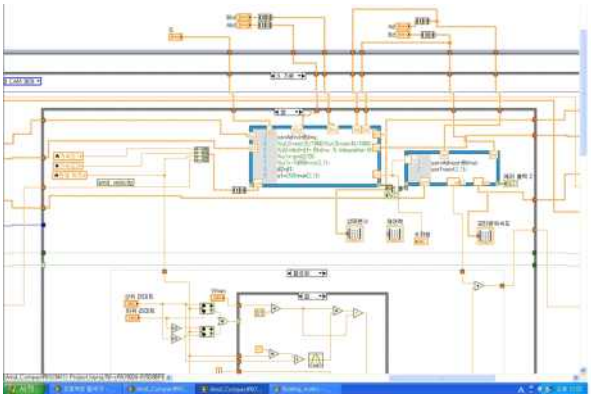
- 파랑하중에 의하여 발생하는 플로팅 함체의 동요진동신호를 특성을 반영한 제어 알고리듬을 수정함. 기존 개발되었던 제어 알고리듬은 자유진동상태에의 진동신호를 대상으로 하였으며, 해석모델이 명확하게 결정되어 있어 적용하기 용이한 편임.
- 그러나 파랑하중에 의한 함체의 진동신호는 비선형성을 보이는 경향이 있으며, 함체의 해석모델은 added mass를 고려한 유체-함체 상호작용에 의한 것이므로 이를 반영할 수 있는 제어 알고리듬이 필요함. 이에 따라 기존의 제어 알고리듬을 파랑하중조건에 적합한 형태로 수정보완하여 탑재하였음.




(a) 프러트 패널 : 계측신호, 모터 구동 신호, 대상구조물 제어 상태 표시



(b)프런트 패널 : 해석모델 및 적분필터 게인 행렬 조정 패널



(c) 다이어 그램 패널 : 제어의 순서 및 연결관계 표시

[그림 2-7-20] 수정된 제어알고리듬 및 운영시스템

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

○ 계측응답을 이용한 구조물의 동적특성 추정은 축소모형 뿐만 아니라 실구조물에서 계측된 진동응답을 대상으로 적용하였으며, 그 결과 구조물의 진동에 영향을 미치는 지배모드 분리가 가능함을 보였다.

○ 능동형 진동제어 시스템에 의한 플로팅 구조물의 동요진동 저감에서는 1/10 스케일로 제작된 함체와 진동제어시스템을 대상으로 연구과정에서 개발– 최적화된 알고리듬을 탑재하고, 자유진동실험과 수조실험을 통해 그 저감효과를 검증하였다.

# 제8절 플로팅 구조물 동요진동평가

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 벽식 콘크리트 폰툰 대비 50%이하의 흘수를 갖는 경량 폰툰을 개발하기 위하여, 콘크리트 함체의 가속도 진동해석과 강체거동을 분석함

○ 확장 폰툰을 위한 단위 폰툰간의 접합 상세 개발과 중량 콘크리트판에 의한 진동 저항성능 향상시키며 해석프로그램에 의한 흘수 및 가속도의 괘적성 평가를 수행함

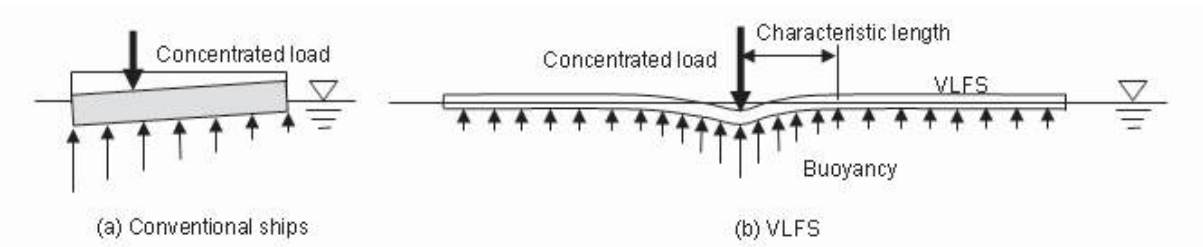
## 2. 연구개발 내용 및 결과

가. 함체의 강체거동에 관한 연구

○ 플로팅구조물을 위한 함체의 길이가 특성길이($\lambda_c$)와 입사파의 파장보다 길면 강체가 아닌 연성거동을 하는 것으로 보고 있음

$$\lambda_c = 2\pi\left(\frac{EI}{k_c}\right)^{\frac{1}{4}}$$

여기서, E : 탄성계수, I : 단면2차모멘트, $k_c$ : 복원력의 탄성계수




[그림 2-8-1] 강체거동 및 연성거동과 특성길이

○ 구조물은 정주형 저층 건축물로서 건물의 사용용도와 규모를 고려할 때에 함체의 길이가 20~100m 이고, 흘수(Draft)를 포함한 두께는 2~5m 이므로 함체의 길이와 강성에 따라서 강체거동을 할 수도 있고, 연성거동을 할 수도 있음

○ 함체의 연성거동으로 인한 판 변형은 상부구조물의 지점 변위에 해당하여 상부구조물의 지점 외력을 유발하게 되고, 함체가 연성거동을 하게 되면, 그로 인한 함체의 수직변위가 상부건축물의 지점 외력으로 작용하는 영향을 무시할 수 없게 됨

○ 플로팅건축물을 위한 함체의 규모는 강체거동을 하는 크기로 제한할 필요가 있음

나. 초경량 저진동 폰툰 개발

(1) 개발 목적

○ 제작, 조립 및 운반이 용이한 플로팅 폰툰 조립체를 제공

○ 큰 하중을 지지하지 위한 폰툰으로서, 지지하중으로 인한 부유블록의 변형 및 손상 등을 방지할 수 있는 플로팅 폰툰 조립체를 제공

○ 파랑에 의한 동요 진동에 대하여 안정성을 확보하고, 외부 충격에 대하여 단위폰툰들을 보호할 수 있는 플로팅 폰툰 조립체를 제공

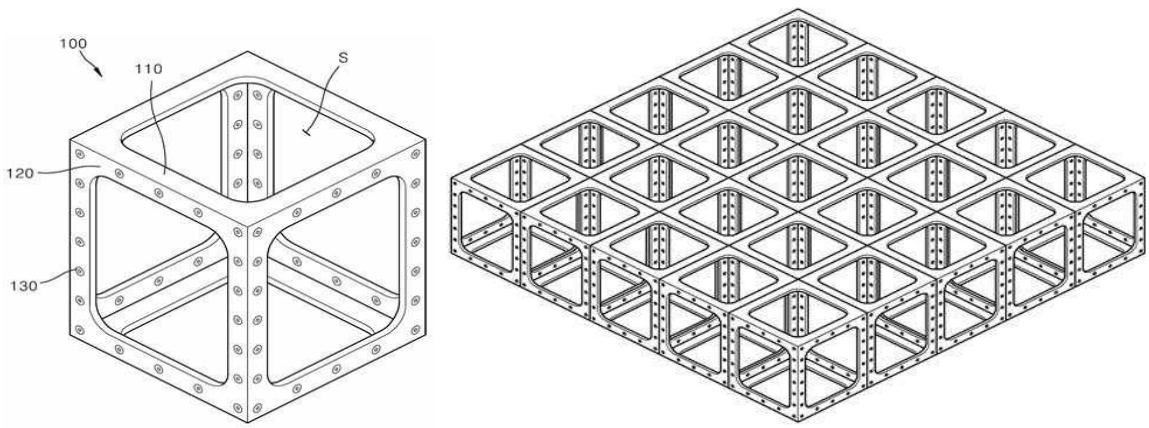
○ 여러 가지 물건을 수납하는 등 특정 용도로 활용 가능한 빈 공간이 형성되는 플로팅 폰툰 조립체를 제공

(2) 장점

○ 단위폰툰은 부유블록에 각종 프레임들이 결합된 구조로, 제작이 쉬움

○ 단위폰툰은 수평프레임, 수직프레임 및 가새가 연속적으로 결합되어 있으므로, 상부에 설치되는 2~3층 이상의 구조물을 지지할 강성이 됨

○ 확장폰툰은 단위폰툰들의 결합에 의해 형성되며, 단위폰툰은 확장폰툰에 비하여 부피가 작아 이동성이 뛰어나기 때문에 운반이 쉬움 또한, 단위폰툰들간의 결합이 용이하기 때문에 확장폰툰을 형성하는 것 또한 용이함




[그림 2-8-2] 초경량 콘크리트 함체

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

- ISO 2631-2의 기준을 참고하여 가속도 평가에 따른 사용성을 검증함
- 정밀작업 또는 수술실, 주거용도, 사무용도, 작업용도 또는 공장의 4분류로 나눌 수 있으며 가속도 실효치에 따라 비교를 수행함. 부가질량판을 이용하여 폰툰의 사용성 및 흘수를 조정함

# 제9절 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

- ○ 플로팅 구조시스템 손상 탐지 및 건전도 평가기술 이론 정립
- ○ 수치해석 모델을 이용해 가상의 손상 탐지 및 손상도 추정을 통한 이론 검증
- ○ 플로팅 구조물의 기준 수치해석 모델을 만드는 구조계 추정기법의 적용성 검증
- ○ 수치해석 프로그램 ABAQUS를 이용하여 모드형상 및 고유진동수를 검토한 후 축소모형 디자인 결정
- ○ Impact Test를 통한 가속도 응답 계측 및 분석을 통한 모드형상 및 고유진동수 추출
- ○ 손상탐지기법을 통해 손상확인 및 손상부위 위치 추정, 구조계 추정기법을 통한 축소모형의 손상전과 후의 유효물성치산정
- ○ 국내에 설치되어 있는 부잔교를 조사하여 실험 대상 구조물 선정
- ○ 수치해석 프로그램 ANSYS를 이용하여 대상 구조물의 수치해석 모델 작성
- ○ 대상 구조물의 가속도 응답 계측을 통한 고유진동수 및 모드형상 추출
- ○ 수치해석 모델과 현장실험 결과를 이용하여 유효 물성치를 산정하기 위해 구조계추정기법을 적용하여 건전도 평가기술 검증
- ○ 수치해석 프로그램 ANSYS를 이용하여 시안설계 플로팅 구조물의 자유진동해석
- ○ 대상 구조물에서 상시진동실험을 실시하고 측정된 가속도 데이터를 이용하여 고유진동수 및 모드형상 추출
- ○ 수치해석 모델과 현장실험 결과를 이용하여 유효 물성치를 산정 및 측정 시점별 산정된 유효물성치를 비교하여 건전성 평가 실시
- ○ 대상 플로팅 구조물의 상시진동 및 강제진동 실험을 통한 가속도 응답 계측
- ○ 계측 데이터를 이용하여 사용성 평가기법 적용성 검토
- ○ 계측 데이터 분석을 통한 구조물의 동적 특성 추출
- ○ 손상 탐지 기법을 통해 대상구조물의 손상 위치 검출 실시
- ○ 산정된 유효 물성치의 변화를 비교하여 대상 구조물의 건전도 평가 실시

## 2. 연구개발 내용 및 결과

### 가. 플로팅 구조물의 건전도 평가기술의 이론 정립

#### (1) 건전도 평가기법

(가) 손상지수 및 손상도 추정 알고리즘

- 바닥구조 시스템에서 모달 변형에너지를 다음식과 같이 나타냄

$$U = \frac{1}{2}\iint K\left\{\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)^2 - 2(1-\upsilon)\left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}-\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}\right)^2\right]\right\}dA$$

$$K = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

여기서 K는 휨강성, A는 바닥 면적, w는 플레이트의 연직방향 변위, $\upsilon$는 포아송비이며 $E$ 는 탄성계수, t 는 바닥의 두께를 의미함

- 바닥구조 시스템에서 모달 변형에너지의 비를 이용하여 손상지수를 유도함

$$\beta_{ij} = \frac{K_j}{K_j^*} \approx \frac{\iint_A (x_i)dA\left[\iint_A (x_i^*)dA + \iint_A (x_i^*)dA\right]}{\iint_A (x_i^*)dA\left[\iint_A (x_i)dA + \iint_A (x_i)dA\right]}$$

(나) 손상탐지 알고리즘

- 손상부위를 결정하는 손상탐지는 패턴인식을 이용하여 효과적으로 구할 수 있으며 손상전과 손상 후의 모달변수의 함수로 이루어진 손상지수를 decision 알고리즘으로 유한 개소의 집단으로 분류할 수 있음
- 손상지수를 계산한 후 손상위치를 결정하는 기준은 통계적 이론으로 구할 수 있으며 각 부재로부터 구한 손상지수 값을 확률변수로 고려하여 표준화된 손상 지수로 다음식과 같이 표현되며 $\mu_\beta$와 $\sigma_\beta$는 각각 손상지수 $\beta_j$의 평균과 표준편차를 나타냄

$$Z_j = \frac{\beta_j - \mu_\beta}{\sigma_\beta}$$

(다) 구조계 추정기법

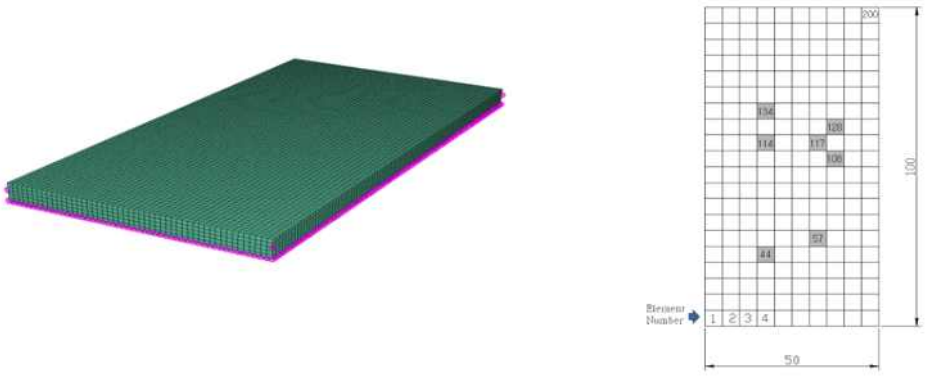
- 구조계 추정기법의 정의는 계측한 시점에서의 구조계의 강성, 질량 등을 가장 잘 대표하는 수학적 모델을 만드는 과정임
- 구조계 추정기법은 초기에는 구조 시스템의 강성의 변화에 의한 고유진동수 변화를

이용하여 손상위치 탐사 및 손상도 추정을 개발하였음

(2) 수치해석 모델을 통한 검증

(가) 해석 모델 및 모의 손상

- 건전도 평가기법수치해석 모델을 통해 제안된 알고리즘의 타당성과 플로팅 구조물에 대한 적용성을 평가하였다. 수치해석 모델은 ABAQUS 프로그램을 사용했으며 구조물은 다음 그림과 같음




(a) 수치해석 모델 (b) 구조물의 손상 위치

[그림2-9-1] 수치해석 모델 및 손상위치

- 모델은 4개의 노드를 가진 플레이트 요소로 모델링하였고 구조물의 크기는 $100m \times 50m \times 5m$ 이며 재료는 철근콘크리트를 사용하였으며 내부에 격벽이 있는 구조를 가짐

(나) 손상위치 및 손상도 추정 결과

- 손상지수를 구하기 위해 손상전과 손상후의 모드형상을 그림 2-9-2와 같이 3개씩 추출하고 3개의 모드를 동시에 사용하여 손상지수를 구함

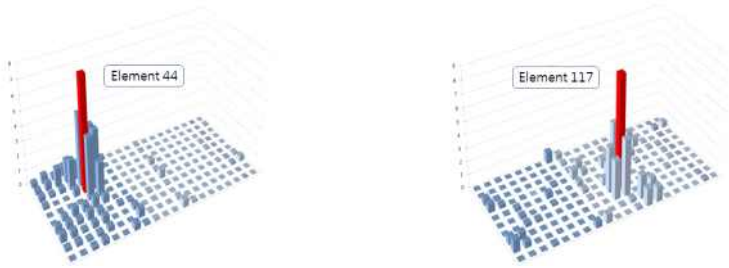


(a) Mode 1 (b) Mode 2 (c) Mode 3

[그림2-9-2] Mode

- 손상탐지를 한 결과 다음 그림에서 보듯이 모든 손상경우에 대해서 손상부재를 정확

히 찾아냄




⒜손상 경우 1　　⒝손상 경우 2

[그림2-9-3] 손상의 경우

(3) 구조계 추정기법 검증

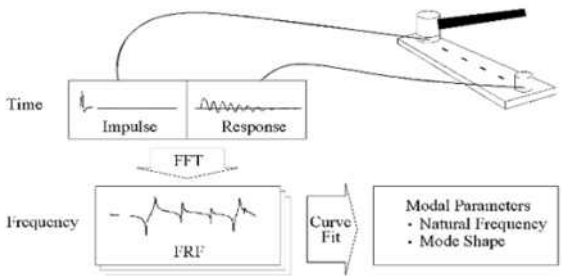
- 구조계 추정기법을 검증하기 위해 자유진동해석을 통해 4개의 고유진동수를 추출하였으며 이 고유진동수가 실측에 의한 고유진동수라 가정함
- 구조계 추정기법의 수행결과는 아래의 표와 같으며 실제 구조물이라 가정한 수치해석 모델의 물성치와 고유진동수를 정확히 찾아냄

나. 플로팅 구조물의 축소모형을 통한 건전도 평가기술 검증

(1) 동적 특성 추출기법 – 강제 진동 실험

(가) 주파수 응답 함수(FRF) 추출

- 강제 진동 시험은 입력하중을 제어하고 계측할 수 있는 시험으로 입력하중과 출력 응답으로부터 직접 고유진동수 및 모드형상을 추출함




[그림2-9-4] Modal Impact Test

- 시간영역에서 입력 하중과 출력 응답을 계측한 후 FFT로 치환하여 주파수영역에서 아래 식을 이용하여 주파수 응답함수 $H(\omega)$를 계산함

$$H_{xf}(\omega) = \frac{S_{xf(\omega)}}{S_{ff(\omega)}}$$

여기서, $S_{xf}(\omega)$는 입력과 출력신호의 상호스펙트럼(cross-spectrum), $S_{ff}(\omega)$는 입력신호의 자기스펙트럼(auto-spectrum)을 의미함

(나) MAC(Modal Assurance Criteria)

- 손상 전, 후의 모드 형상이 같은 모드인지를 판단하는 기준으로
- 일반적으로 MAC값이 0.8이상이면 같은 모드로 간주함

$$MAC(E,F) = \frac{\left| \sum_{k=1}^{N} (\Phi_E)^{T_k} (\Phi_F)_k \right|^2}{\left( \sum_{k=1}^{N} (\Phi_E)^{T_k} (\Phi_E)_k \right) \left( \sum_{k=1}^{N} (\Phi_F)^{T_k} (\Phi_F)_k \right)}$$

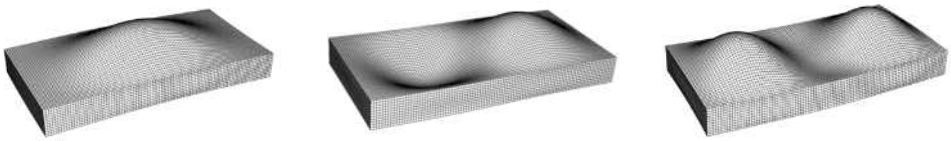
여기서 $\Phi_E$는 손상 전의 모드형상, $\Phi_F$는 손상 후의 모드형상, $N$은 자유도의 수를 나타냄

(2) 축소 모형 실험을 통한 건전도 평가기술 검증

(가) 축소모형의 디자인 및 제작

[표2-9-1]플로팅 축소모형의 디자인

| | |
|---|---|
| 크기 | 50 × 100 ×12 (가로×세로×높이, cm) |
| 두께 | 1cm |
| 재료 | 콘크리트(모레, 시멘트, 플라이 애쉬, 유리섬유, 물) |
| 무게 | 37.5 kg |
| 흘수 | 7.5 cm |



(a) Mode 1 (160.55Hz) (b) Mode 2 (193.86Hz) (c) Mode 3 (260.70Hz)

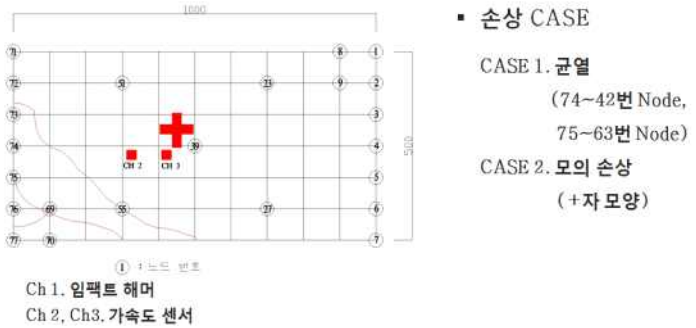
[그림2-9-5]수치해석 모델의 모드형상



(a) 축소모형 형상 (b) 돌핀계류 형상화

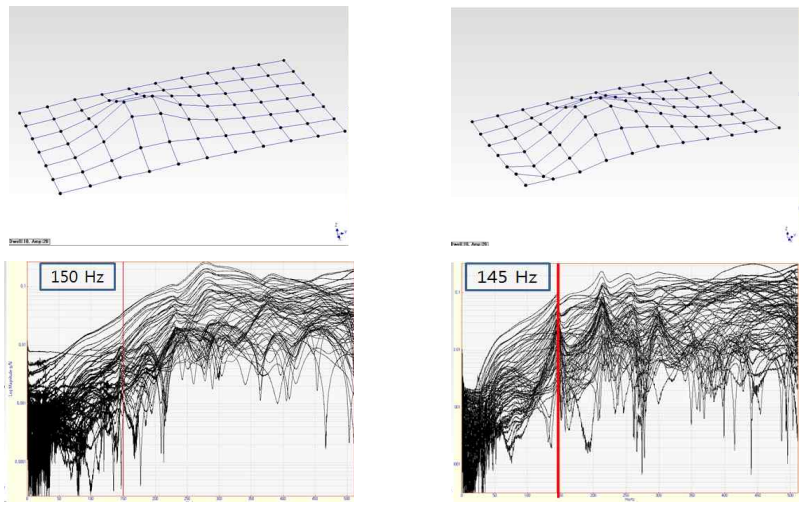
[그림2-9-6] 실험체 형상

(나) Impact Test




[그림2-9-7] 손상 위치 및 가속도계 부착 위치

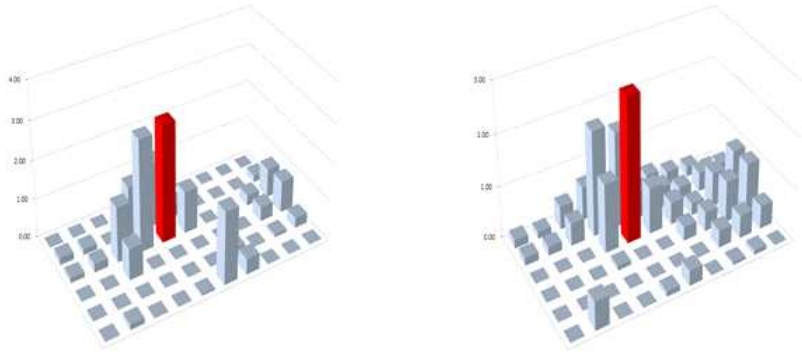
- 손상 전, 후의 모드 형상 및 고유진동수는 다음 그림과 같이 측정됨




(a) 손상전 (b) 손상후

[그림2-9-8] 모드 형상 및 고유진동수

- 가속도계의 위치에 따라 정도의 차이는 있지만, 손상위치 추정은 정확히 이루어짐



(a) Ch2 (b) Ch3

[그림2-9-9] 손상 경우 2 손상위치 추정결과

[표2-9-2]손상 경우 2의 MAC값

| | Ch2 | | Ch3 | |
|---|---|---|---|---|
| | 고유진동수(Hz) | MAC | 고유진동수(Hz) | MAC |
| 손상 전 | 145 | 0.9854 | 145 | 0.9903 |
| 손상 후 | 145 | | 145 | |

가. 실측을 통한 건전도 평가기술 검토 및 검증

(1) 동적 특성 추출기법 – 상시 진동 실험

(가) PP(Peak-Picking)기법

– PP기법은 응답 신호만 계측이 가능한 경우에 가장 흔히 적용되는 기법으로 계측된 시간영역 응답을 Fourier transformation 하여 구한 스펙트럼의 피크에서 고유진동수를 구하고 감쇠비와 모드 형상을 구하는 방법임

$$\phi_{ak} = \frac{S_{y_a y_b}(\omega_k)}{S_{y_b y_b}(\omega_k)}$$

여기서, $\phi_{ka}$는 $k$번째 모드형상의 계측자유도 $a$에서의 크기, $S_{y_a y_b}$는 계측지점과 기준지점의 상관스펙트럼밀도함수, $S_{y_b y_b}$는 계측지점에서의 파워스펙트럼밀도함수임

(나) FDD(Frequency Domain Decomposition)기법

– FDD 기법은 백색잡음입력(white noise excitation)을 가정하여 출력스펙트럼밀도행렬(output spectral density matrix)에 SVD를 통하여 모달파라메터를 추출하는 방법이며, $[U_i]$는 singular벡터의 행렬이며 $[\Sigma_i]$는 singular값의 대각행렬임

$$[X(\omega_i)] = [U_i][\Sigma_i][\overline{U}_i]^T$$

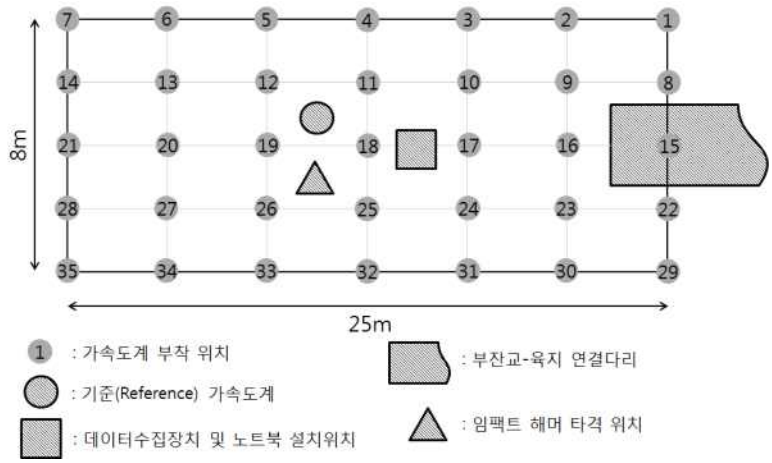
(2) 현장 실험을 통한 구조물의 동적 특성 추출

- 전남 여수시 화양면 용주리 호두항 부잔교에서 상시 진동 및 강제 진동 실험을 실시하였으며 상시 진동 실험에서는 총 35개의 가속도 측정 지점과 1개의 기준 가속도 측정 지점을 지정하여 실험을 진행하였고 강제 진동 실험에서는 임팩트 해머의 가격 포인트를 고정하고 측정 위치를 옮겨가며 가속도 응답을 계측함



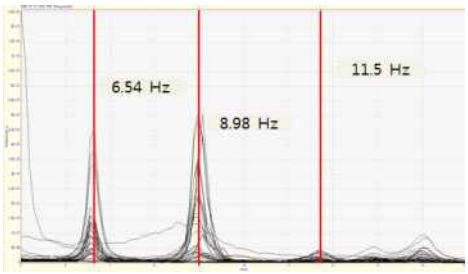
(a) 여수 호두항 선착장 (b) 부잔교에 설치된 체인계류

[그림2-9-10]여수 호두항 부잔교

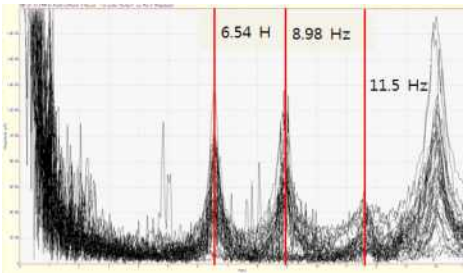



[그림2-9-11] 호두항 선착장 부잔교 실험 계획

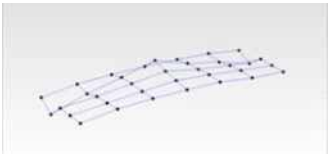
- 고유 진동수 및 모드형상은 다음과 같이 추출됨




(a) 상시 진동 주파수 응답 함수




(b) 강제 진동 주파수 응답 함수



(c) 1차 모드 (6.54 Hz)



(d) 2차 모드 (8.98 Hz)

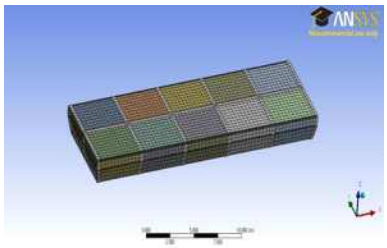


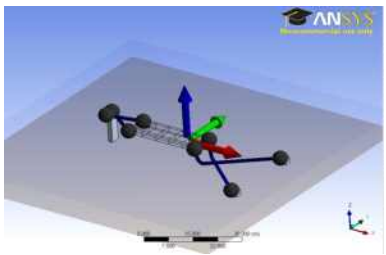
(e) 3차 모드 (11.5 Hz)

[그림2-9-12] 호두항 선착장 부잔교 주파수 응답함수 및 모드형상 추출 결과

(3) 수치해석 모델

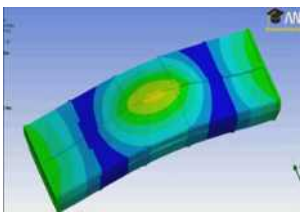
- 수치해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 대상 구조물의 수치해석 모델 작성



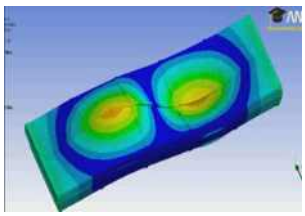


[그림2-9-13] 호두항 선착장 부잔교 구조물 모델링 모습(ANSYS)

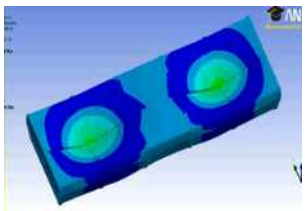
- 수치해석 모델의 초기 물성치는 C24(2.6964E+10 $N/m^2$)를 적용하였음



(a) 1차 모드 (5.8761Hz)



(b) 2차 모드 (8.2143Hz)



(c) 3차 모드 (10.379Hz)

[그림2-9-14]호두항 선착장 부잔교 수치해석 모델의 모드형상

(가) 구조계 추정기법 적용

- 구조계 추정 결과 유효물성치는 3.2911E+10 $N/m^2$ 로 나타났으며, 이는 C45의 탄성 계수인 3.1903E+10 $N/m^2$ 이상의 값임을 알 수 있었으며, 실제 설계 시 적용한 물성치 C35보다 높게 추정이 되었으며, 이는 대상 구조물의 계측시점까지의 건전성이 확보 되어있음을 나타냄

[표2-9-3] 구조계 추정기법 결과

| Mode | Frequency of Initial FE model | Updated Frequencies (Hz) | | Frequency of Target Structure | Error (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Iter. 1 | Iter. 3 | | Initial | Final |
| 1 | 5.8761 | 5.8761 | 6.4918 | 6.5444 | 10.19 | 0.78 |
| 2 | 8.2143 | 8.2143 | 9.0750 | 8.9844 | 8.57 | -1.01 |
| 3 | 10.3790 | 10.3790 | 11.4660 | 11.5444 | 10.31 | 0.92 |

| Elasticity Modulus (N/m2) | Initial Value | Updated Value | | Augmentation of Elastic(%) |
|---|---|---|---|---|
| | | Iter. 1 | Iter. 3 | |
| | 2.6964E+10 | 2.6964E+10 | 3.2911E+10 | 18.07 |

라. 주기적 실험을 통한 실제 구조물의 건전성 평가

(1) 상시 진동 실험을 통한 동적 특성 추출

- 전남 여수시 화양면 용주리 호두항 부잔교를 실험 대상지로 2013년 7월에 1차, 2014년 8월에 2차에 걸쳐 상시 진동실험을 실시하였으며, 특이사항으로 2013년 9월 태풍 산바의 영향으로 부잔교의 연결다리가 파손되어 1차 실험시의 대상 구조물의 위치가 2차 실험 시에는 내륙 쪽으로 이동하였음



(a) 부잔교 위치 이동 (2012.09)



(b) 1차 측정 시 모습 (2012.07)

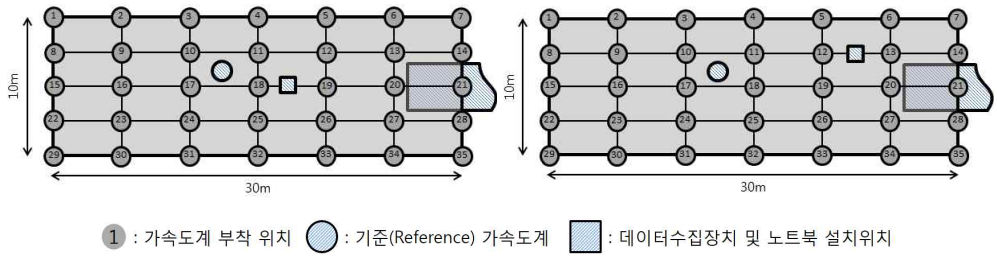


(c) 2차 측정 시 모습 (2013.08)

[그림2-9-15] 여수 호두항 부잔교의 위치 이동 및 1,2차 측정 시 모습

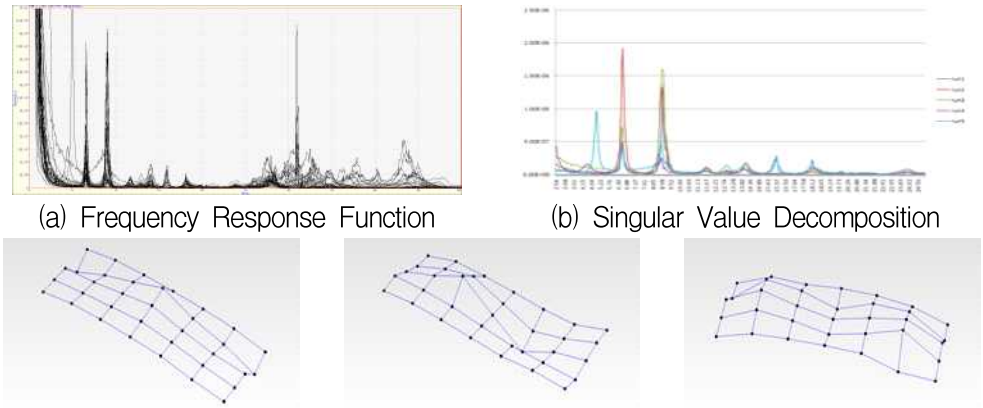
- 상시진동실험은 총 35개의 가속도 측정 지점과 1개의 기준 가속도 측정 지점을 지정하

여 1시간씩 측정을 실시함




[그림2-9-16] 부잔교 상시진동 실험 1차(좌) 및 2차(우) 계획

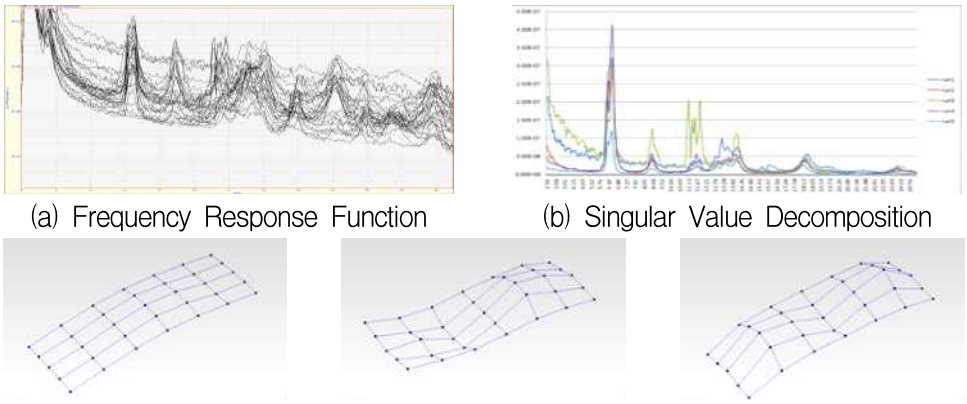
- 상시진동실험을 통해 얻은 가속도 데이터는 PP기법과 FDD기법을 이용하여 분석하고 대상 구조물의 고유진동수 및 모드형상을 추출함



(a) Frequency Response Function (b) Singular Value Decomposition

(c) 1차 모드 (6.5918 Hz) (d) 2차 모드 (9.0332 Hz) (e) 3차 모드 (11.7188 Hz)

[그림2-9-17]여수시 호두항 부잔교 1차 상시 진동 실험 분석 결과



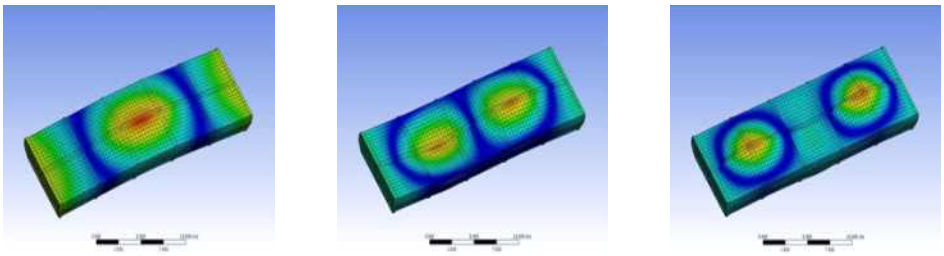
(a) Frequency Response Function (b) Singular Value Decomposition

(c) 1차 모드 (6.5918Hz) (d) 2차 모드 (9.0332Hz) (e) 3차 모드 (11.7188Hz)

[그림2-9-18] 여수시 호두항 부잔교 2차 상시 진동 실험 분석 결과

(2) 수치해석 모델

- ANSYS를 이용하여 대상 구조물의 수치해석 모델을 작성하고 모달해석을 실시하였으며, 수치해석 모델의 초기 물성치는 C24(2.6964E+10$N/m^2$)을 적용하였음



(a) 1차 모드(5.8761Hz) (b) 2차 모드(8.2142Hz) (c) 3차 모드(10.379Hz)

[그림2-9-19] 여수시 호두항 부잔교 수치해석 모델 모드형상

(3) 구조계 추정기법 적용

- 수치해석 결과와 두 번의 상시 진동 실험을 바탕으로 구조계 추정기법을 이용하여 유효 물성치를 산정함

[표2-9-4] 구조계 추정기법 적용 결과

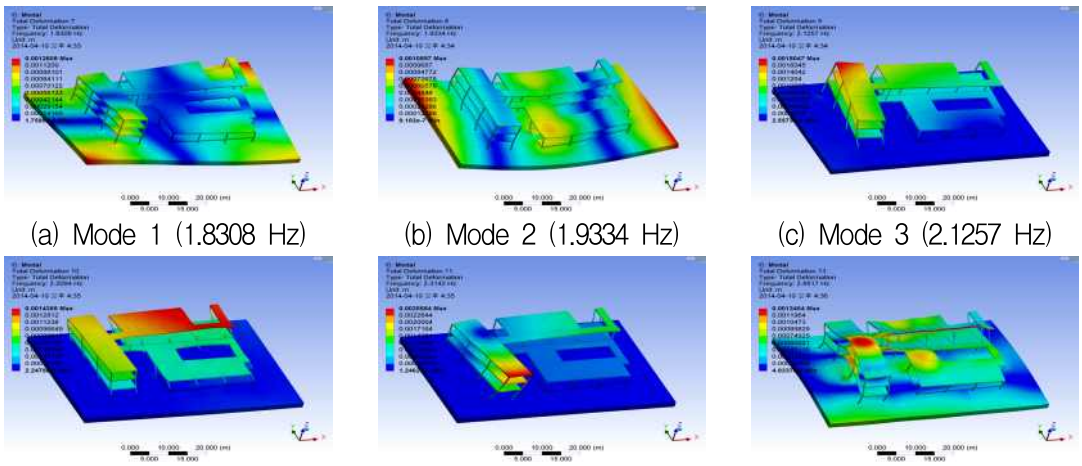
| Test No. | Mode | Frequency of Initial FE model (Hz) | Updated Frequencies (Hz) | | Frequency of Target Structure (Hz) | Error rate(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Iter. 1 | Iter. 3 | | Initial | Final |
| 1 | 1 | 5.8761 | 5.8761 | 6.4918 | 6.5444 | 10.19 | 0.78 |
| | 2 | 8.2143 | 8.2143 | 9.0750 | 8.9844 | 8.57 | -1.01 |
| | 3 | 10.379 | 10.379 | 11.466 | 11.5444 | 10.31 | 0.92 |
| 2 | 1 | 5.876 | 5.8761 | 6.4704 | 6.4941 | 9.52 | 0.36 |
| | 2 | 8.2142 | 8.2142 | 9.045 | 8.9355 | 8.07 | -1.23 |
| | 3 | 10.379 | 10.379 | 11.429 | 11.5234 | 9.93 | 0.82 |

| Modulus of Elasticity (N/m2) | Test | Initial Value | Updated Value | | Augmentation of Elastic(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Iter. 1 | Iter. 3 | | |
| | 1 | 2.6964E+10 | 2.6964E+10 | 3.2911E+10 | 18.07 | |
| | 2 | 2.6964E+10 | 2.6964E+10 | 3.2694E+10 | 17.53 | |

- 대상 구조물의 유효물성치 추정결과 1차 측정 실험에서는 3.3640E+10$N/m^2$, 2차 측정 실험에서는 3.2694E+10$N/m^2$으로 추정되어 약 2.89% 감소하였음
- 1차 측정 실험에서 측정된 탄성계수는 콘크리트 C55에 근접한 값이었으며, 2차 측정 실험에서는 C50에 근접한 값으로 보통 플로팅 구조물에 사용되는 C35보다 상회하는 값으로 건전성에 문제가 없는 것으로 사료됨

(4) 시안설계 플로팅 구조물 자유진동해석

- 시안설계 플로팅 구조물인 에코 델타시티 홍보관을 수치해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 자유진동해석을 실시하였음



(a) Mode 1 (1.8308 Hz) (b) Mode 2 (1.9334 Hz) (c) Mode 3 (2.1257 Hz)

(d) Mode 4 (2.2094 Hz) (e) Mode 5 (2.3142 Hz) (f) Mode 6 (2.8517 Hz)

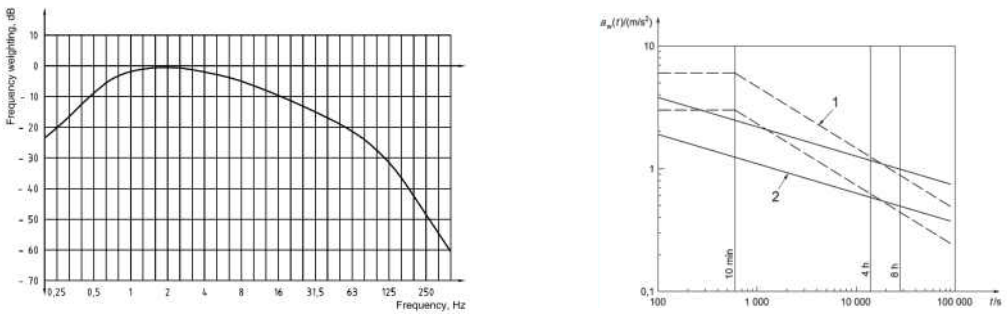
[그림2-9-20] 에코 델타 시티 홍보관 자유 진동 해석 결과

마. 플로팅 구조물 건전도 평가기술 실용성 검토 및 검증

(1) 진동 사용성 평가 기준

(가) ISO 2631-2 건물에서의 진동에 대한 전신 진동 폭로 평가 기준

- 거주자의 불편과 편안함의 관점에서 건물의 전체 진동이나 충격에 대한 사람들의 노출정도에 대해 다루며 1Hz에서 80Hz의 주파수 범위 내에 적용할 수 있는 Frequency weighting $W_m$을 정의함
- 지속시간과 측정값에 따라 인체에 미치는 영향을 평가함




주파수 가중 곡선 건강위험수준 사용성 평가 기준

[그림2-9-21] 주파숙 가중 곡선 및 사용성 평가 기준

(나) ISO 6954 선박 거주구역 진동의 평가 기준

- 개정된 ISO 6954(2000)은 기존의 표준에서 복수주파수 성분의 진동평가가 불가능한 점을 해결하기 위하여 주파수 가중치가 적용된 전체 진동값을 사용함으로써 단일 평가치에 의해 진동을 평가함

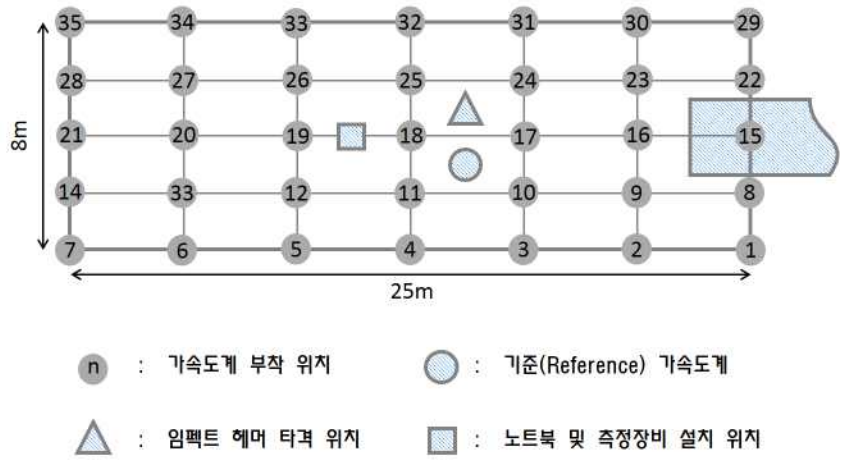
[표2-9-5] 구역에 따른 평가 기준

| 구분 | Class A (승객 침실구역) | | Class B (승조원 거주구역) | | Class C (작업구역) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $mm/s^2$ | mm/s | $mm/s^2$ | mm/s | $mm/s^2$ | mm/s |
| 상한값 | 143 | 4 | 214 | 6 | 286 | 8 |
| 하한값 | 71.5 | 2 | 107 | 3 | 143 | 4 |

(2) 현장실험 및 수치해석모델

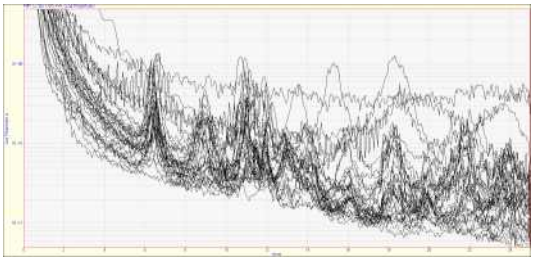
(가) 강제 진동 및 상시 진동 실험

- 상시 진동 실험 조건 및 방법은 다음 그림에서 나타낸 것과 같이 총 35개의 가속도 측정 지점과 1개의 기준 가속도 측정 지점을 지정하여 1회 1시간씩 총 5회를 측정하였으며 강제 진동 실험에서는 임팩트 해머의 가격 포인트를 고정하고 측정 위치를 옮겨가며 가속도 응답을 계측함

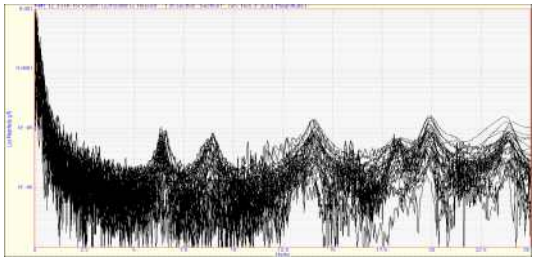



[그림2-9-22]호두항 선착장 부잔교 실험 계획

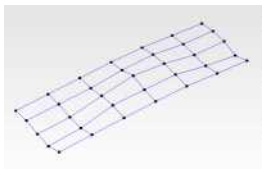
- 1차 모드 6.35Hz, 2차 모드 8.69Hz, 3차 모드 11.62Hz, 4차 모드 13.91로 상시진동 및 강제진동 모두 같은 결과를 나타냄



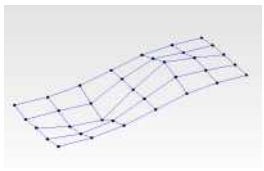
(a) 상시 진동 주파수 응답 함수



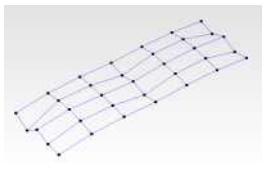
(b) 강제 진동 주파수 응답 함수



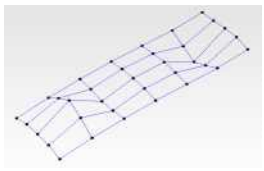
(c) 1차 모드 (6.35Hz)



(d) 3차 모드 (11.62Hz)



(e) 2차 모드 (8.69Hz)

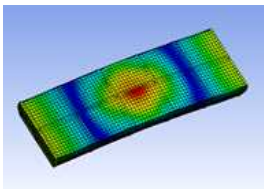


(f) 4차 모드 (13.91Hz)

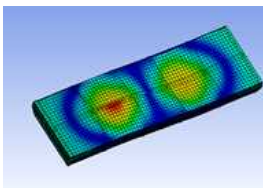
[그림2-9-23] 호두항 선착장 부잔교 주파수 응답함수 및 모드형상 추출 결과

(나) 수치해석 모델

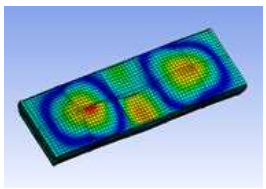
- 구조계 추정기법 적용을 위해 수치해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여, 초기 물성치를 가정한 수치해석 모델을 작성하였음
- 수치 해석 모델의 초기 물성치를 콘크리트 C35의 탄성계수 값인 2.8802E+10 $N/m^2$ 을 적용하여 모달 해석을 수행한 결과 아래 그림과 같이 나타남



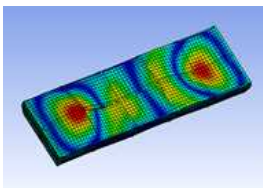
(a) 1차 모드 (6.0304Hz)



(b) 2차 모드 (8.272Hz)



(c) 3차 모드 (10.375Hz)



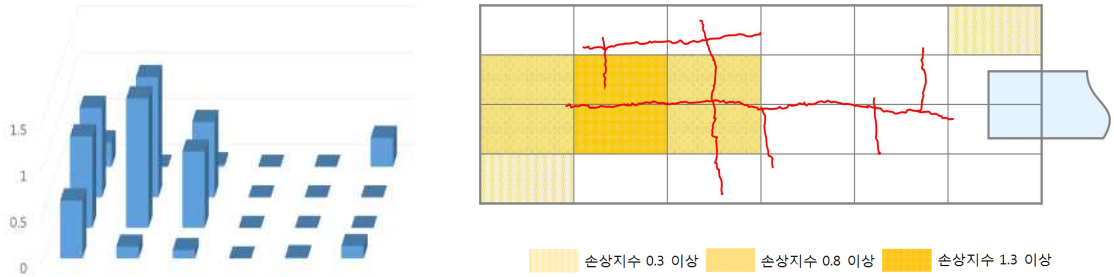
(d) 4차 모드 (12.452Hz)

[그림2-9-23] 수치해석 모델의 모드 형상

(3) 플로팅 구조물 건전도 평가

(가) 손상탐지

- 3차 실험 당시 부잔교 상부 플레이트에 균열이 발생하여 손상탐지를 수행함
- 1차, 3차 현장실험에서 추출한 모드 형상을 이용하여 손상탐지를 수행하였으며 손상탐지 결과 균열도와 유사하게 손상위치가 추정됨

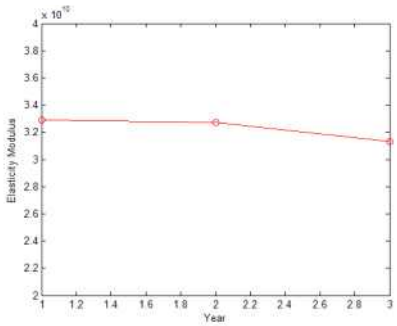



(a) 손상위치 추정 결과 (b) 균열도와 손상위치 추정 결과 비교

[그림2-9-24] 손상위치 추정 결과 및 결과 비교

(나) 유효물성치 추정

- 구조계 추정기법 적용 결과 플로팅 구조물의 1차 현장실험에서 추정한 탄성계수에 비해 3차 측정시의 탄성계수가 4.80% 감소하였음
- 3차 현장실험에서 추정한 탄성계수가 C45이상의 강도를 나타내어 설계 강도인 C35를 상회하기 때문에 건전성에는 문제가 없는 것으로 사료됨

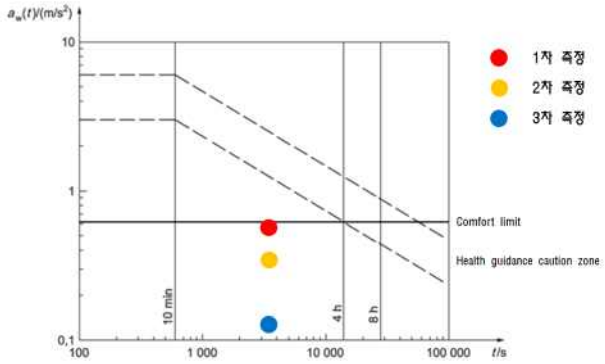



[그림2-9-25] 탄성계수의 변화

(4) 플로팅 구조물 사용성 평가

(가) ISO 2631-2

- 건강위험 수준 사용성 평가 적용 시 다음 그림과 같이 일정 시간 경과 전까지 평가기준을 만족시키지만 대부분 8시간 이상이 되면 기준을 초과함




[그림2-9-26] ISO 2631-2 건강위험수준 사용성 평가

(나) ISO 6954에 적용

- 1차, 2차 측정의 경우 작업구역 기준을 불만족 시켰으나 3차 측정시의 평가결과 객실 수준을 만족 시켰음

[표2-9-6] 선박 사용성 평가

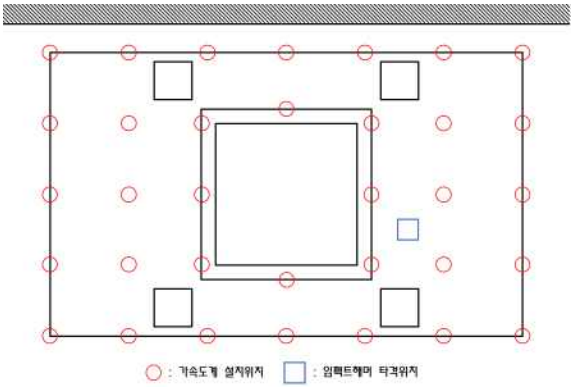
| 구 분 | Overall frequency-weighted RMS | 평가 결과 |
|---|---|---|
| 1차 측정 | 0.6215m/s$^2$ | 작업구역 불만족 |
| 2차 측정 | 0.3396m/s$^2$ | 작업구역 불만족 |
| 3차 측정 | 0.1156m/s$^2$ | 객실 수준 만족 |

- ISO 6954의 경우 수선간장이 100m 이상인 선박을 대상으로 하여 비교적 소규모인 부잔교가 기준을 만족시키지 못하는 것으로 사료됨
- 사용성 평가 결과 플로팅 구조물은 환경하중의 영향을 많이 받기 때문에 환경하중의 영향이 적은 정온수역에 위치시켜야 될 것으로 사료됨

(4) Mock-up 구조물 건전성평가

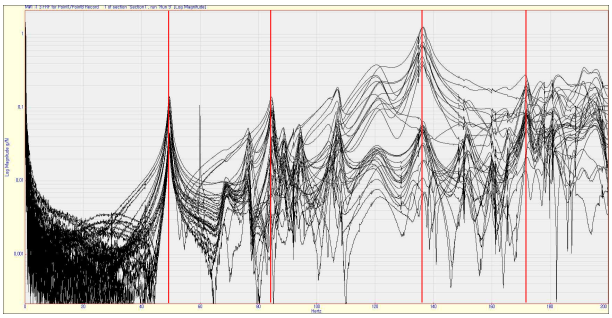
(가) 강제진동 실험

- Mock-Up 구조물의 강제진동 실험은 다음 그림과 같이 임팩트 해머의 타격위치를 고정하고 측정위치를 옮겨가며 가속도 응답을 계측함
- 강제진동 실험 계측 조건은 Data Sampling을 400Hz, Spectral lines를 2048개, Resolution값을 0.097656Hz 로 설정 하였고 노이즈 감소를 위해 각 타격 지점마다 3회 타격을 하여 산술평균값을 사용함

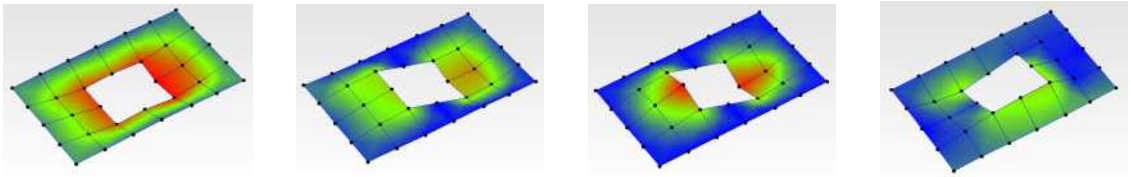



[그림2-9-27] Mock-Up 구조물 실험 계획

- 강제진동 실험결과 1차 모드 48.9Hz, 2차 모드 84.2Hz, 3차 모드 136Hz, 4차 모드 172Hz로 나타남



(a) 강제 진동 주파수 응답 함수

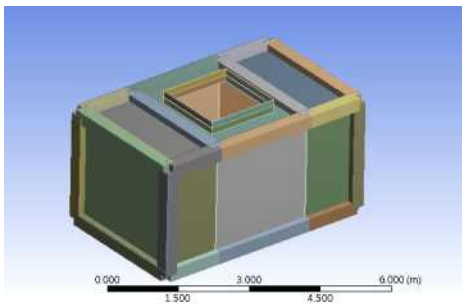


(c) 1차 모드 (48.9Hz) (d) 3차 모드 (84.2Hz) (e) 2차 모드 (136Hz) (f) 4차 모드 (172Hz)

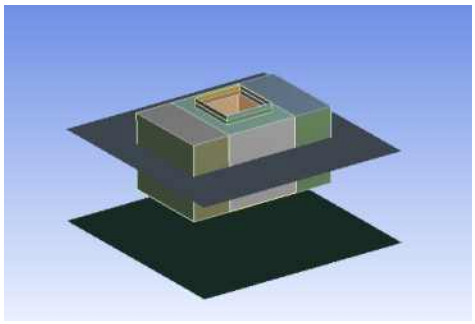
[그림2-9-28] Mock-up 시험체 주파수 응답함수 및 모드형상 추출 결과

(나) 수치해석 모델

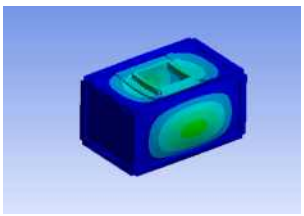
- 구조계 추정기법 적용을 위해 수치해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여, 초기 물성치를 가정한 수치해석 모델을 작성하였음
- 수치 해석 모델의 초기 물성치를 콘크리트 C24의 탄성계수 값인 2.5791E+10 $N/m^2$ 을 적용하여 모달 해석을 수행한 결과 아래 그림과 같이 나타남



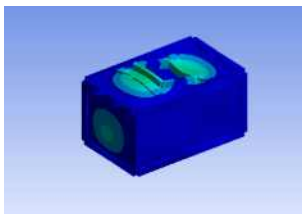
(a) Mock-Up 구조물 유한요소모델



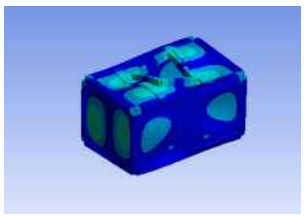
(b) ANSYS AQWA를 이용한 경계조건 모사



(c) Mode 1 (45.58Hz)



(d) Mode 2 (79.08Hz)



(e) Mode 3 (160.9Hz)

[그림2-9-29] Mock-Up 구조물 유한요소모델 및 모달해석 결과

(다) Mock-up 구조물 구조계 추정결과

- 전체 부재 요소를 1개의 유효물성치를 가지는 그룹으로 지정하여 만든 수치해석 모델의 결과 값과 강제진동 실험의 결과 값을 이용하여 구조계 추정기법을 적용한 결과는 다음 표와 같이 나타남

[표2-9-7] 구조계 추정결과

| Mode | Frequency of Initial FE model | Updated Frequencies (Hz) | | Frequency of Target Structure | Error (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Iter. 1 | Iter. 3 | | Initial | Final |
| 1 | 45.58 | 45.58 | 48.686 | 48.8 | -5.13 | -0.23 |
| 2 | 79.08 | 79.08 | 84.467 | 84.2 | -4.61 | 0.32 |
| 3 | 160.9 | 160.9 | 171.86 | 172 | -4.99 | -0.08 |

| Elasticity Modulus ($N/m^2$) | Initial Value | Updated Value | |
|---|---|---|---|
| | | Iter. 1 | Iter. 3 |
| | 2.5791E+10 | 2.5791E+10 | 2.8522E+10 |

- 추정된 탄성계수 값은 $2.8522E+10 N/m^2$이며 콘크리트 강도 C30 이상의 강도로 설계 강도보다 높게 추정됨

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

○ 플로팅  구조물의 안전성 및 건전성 예측 및 평가 (전문가의 기술자문)

○ 플로팅 구조물의 건전성 평가 기법의 적합성 (전문가의 기술자문)

○ 플로팅 건축물 건전성평가지침 개발 (기술표준으로 제정 예정)

# 제10절 영상기반 동적 거동모니터링 기술

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 실제 구조물의 복잡한 물리적 효과를 검토하기 위하여 축소 모형을 이용하여 수리모형 실험을 수행함으로서 수치해석 결과를 검토하고 실제 모델의 잠재적인 효과를 분석. 함체부의 수리모형 실험을 위한 기초연구로 플로팅 건축물 함체의 동적운동에 대한 수학적 모델을 구성하고, 예제 구조물을 선정하여 축소 모형실험 수행.

○ 계류는 Catenary (Cable) Mooring System을 적용. 광섬유센서중 하나인 FBG센서 사용. 길이 30cm 축소모델 제작 및 실내성능시험.

○ 영상에서 변위를 관측하는 국내외 선행연구 및 유사연구 문헌/자료조사를 통하여 최신 연구 성과를 알고리즘 개발에 적용 모색.

○ 다양한 비접촉 점기반 위치 관측 센서를 조사하고, 거동량을 측정하고 센서의 특성을 분석함

○ 영상기반 거동을 측정하는 소프트웨어를 개발하고 다양한 실험에서 적용.

## 2. 연구개발 내용 및 결과

가. 계류시스템의 수리모형실험을 위한 기초연구

(1) 함체의 동적운동 (Dynamic behaviour of a floating body)

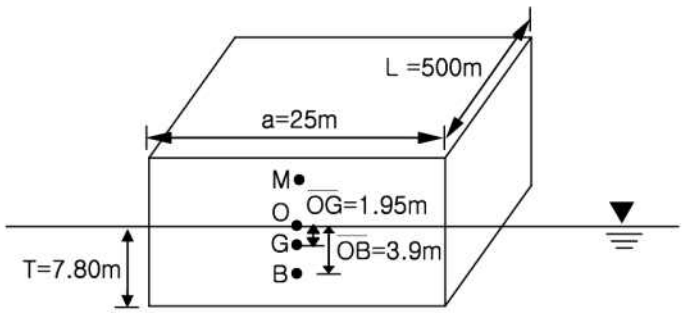
- 플로팅 건축물의 동적운동 영향요소들은 아주 많은 벡터들을 가지고 있으며, 이러한 벡터들과 구조물의 상호작용은 복잡한 관계를 가짐
- 플로팅 함체의 대표적인 3가지 상호작용 요소는 환경(Environment), 계류 시스템(Mooring system), 근접 함체(Other floating body)
- 함체의 동적운동을 표현하기 위해서는 위 변수들의 상호 관계를 이해하고 이를 적용함으로 실제 함체의 거동을 유사하게 표현. 함체의 동적운동을 표현하기 위해 함체의 문제를 정의하고 집중매개변수 해석모델(Lumped-parameter analytical model)로 표현함으로서 함체의 동적운동을 정리.

(2) 예제 구조물의 해석모델

- 집중매개변수 해석모델의 수학적 정식화를 수행하고 두 개의 예제 구조물을 적용함으로서 해석모델을 구성
- 예제 함체구조물은 부유식 방파제 구조물로서 2007년 Fousert의 연구에서 사용된 모

델을 기준으로 작성하였으며, 작성된 모델을 이용하여 범용 수치해석 프로그램인 SAP2000을 이용하여 자유진동모드 해석을 통해 비교 검증.

- 해석모델 작성 결과 유체역학적 부가질량과 부가강성이 큰 영향을 주는 계수임을 확인할 수 있으며, 구조물의 질량 또는 계류시스템의 강성보다 큰 부가질량과 부가강성의 결과는 부유식 방파제의 Y축 방향 길이의 영향 때문으로 생각됨.




[그림2-10-1] 예제 구조물의 모식도

(3) 함체 모형제작 및 수리모형 실험

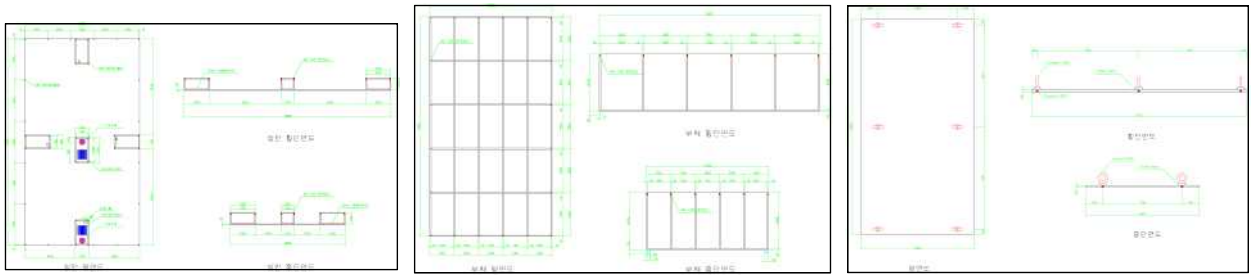
- 수리모형실험에서 모형은 실제구조물과 유사한 방식으로 거동 하도록 제작하며, 가장 효율적인 물리적 모형을 제작하여 특정 조건하의 실물의 거동 예측에 사용.
- 예제 구조물을 이용하여 함체의 폭을 기준으로 기하학적 상사(Geometric Similarity)를 적용하고, 파의 주기는 역학적 상사(Dynamic Similarity)의 Froude의 상사법칙을 적용.

[표2-10-1] 실제구조물과 실험모델

| 구 분 | 실제구조물 | 실험모델 |
|---|---|---|
| 길 이 | $a=25m$<br>$L=500m$<br>$b=11.7m$<br>$T=7.8m$ | $a_m=1m$<br>$L_m=1.8m$<br>$b_m=0.468m$<br>$T_m=0.312m$ |
| 주 기 | $T_f=10\sec$ | $T_{mf}=(1/\sqrt{25})10=2\sec$ |
| 파 고 | $A=2.0m$<br>$A=4.0m$ | $A_m=(1/25)2=0.08m$<br>$A_m=(1/25)4=0.16m$ |
| 단위중량 | $\rho_{str}=m/(a\times b\times L)$<br>$=0.683ton/m^3$ | $\rho_{str}\equiv 0.683ton/m^3$ |
| 무 게 | $m=\rho_{str}V_{str}=99,938ton$ | $m_m=\rho_{str}V_{\mathrm{model}}=0.575ton$ |
| 계류시스템 강성 | $k_{design}=42,537.0kN/m$ | $k_m=6.1kN/m,\ \frac{1}{2}k_m=3.05kN/m$<br>$=311g/mm$ |
| 계류시스템 경사 | $\alpha=30^\circ$ | $\alpha_m=30^\circ$ |

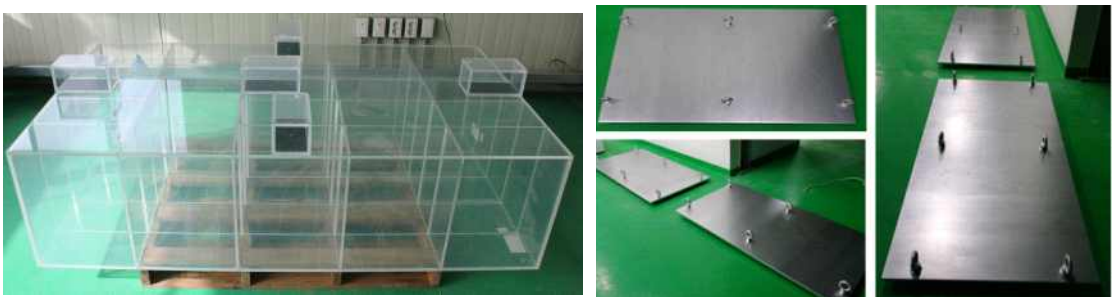
- 제작된 함체 모형을 이용하여 그림과 같이 설치하여 수리모형 실험을 수행.

- 함체 모형의 상판에 가속도계를 설치하여 함체의 진동 특성을 파악하고, 고성능 캠코더를 이용하여 함체의 변위를 계측함으로서 함체의 거동을 확인.
- FBG센서가 내장된 계류케이블을 제작하고 적용함으로서 함체의 거동에 따른 계류시스템의 인장력 변화를 계측.

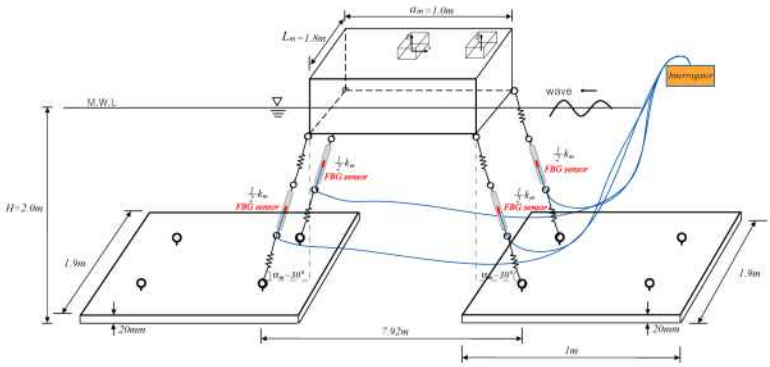


(a) 상판 (b) 부유체 (c) 고정 플레이트 도안

[그림2-10-2] 함체의 실험모델과 고정 플레이트 도면



[그림2-10-3] 제작 완료된 함체 모형과 플레이트



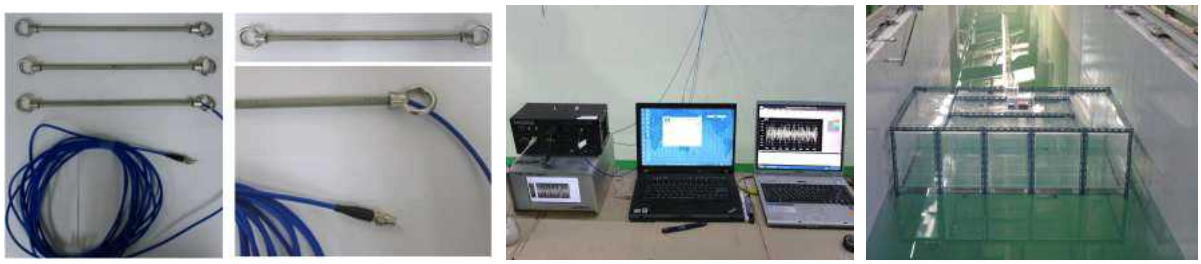

[그림2-10-4] 제작 완료된 함체 모형

- 수리모형 실험은 전남대학교 여수캠퍼스의 해양항만실험센터에서 2차원 파-흐름-조석 복합수조(대형)에서 수행. 정수역 내의 최대 파고인 2.0m에 준한 파고와 주기에 변화를 주어 실험 수행.

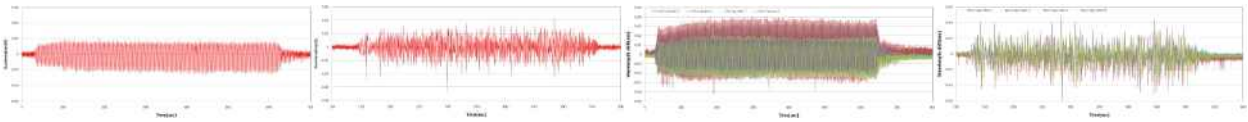
(4) FBG센서를 이용한 계류시스템 모니터링

- 제작된 계류케이블은 계류시스템의 체인형식을 착안하여 제작되었으며, 광섬유센서중 하나인 FBG센서를 적용함으로서 장기모니터링이 가능하도록 제작.

- 제작된 모형 계류케이블은 직경 6mm, 내경 3mm의 Seamless tube를 사용하였으며, 양단에 EyeNut를 결합하여 제작.
- 부유체 중량에 의한 흘수량 확인 결과 약 8.7cm이고, 정수역 해역의 최대 파고(2.0m)에 해당하는 파랑하중 시험에서 적용 센서들의 계측가능성을 확인함.



[그림2-10-5] 모형 계류케이블, 모니터링 기기, 실험 수조



[그림2-10-6] 규칙파의 불규칙파의 Z방향 가속도 계측결과와 계류 케이블 변형도 계측결과

나. 영상기반 거동 측정

(1) 렌즈 보정

- 비측정용 카메라나 비디오 영상은 렌즈 왜곡이 심하여 방사방향 및 접선방향 등에 대한 왜곡계수를 구하여 카메라 내부표정을 수행(손수봉, 2006; 김성삼, 2007)
- 왜곡과 대기굴절 왜곡이나 부등각 변형 왜곡 등을 고려한 보정 모델식을 사용하며, 실험실내에서 형상 위치가 알려진 타겟을 관측하여 보정계수를 산출



(a) 3차원 보정판

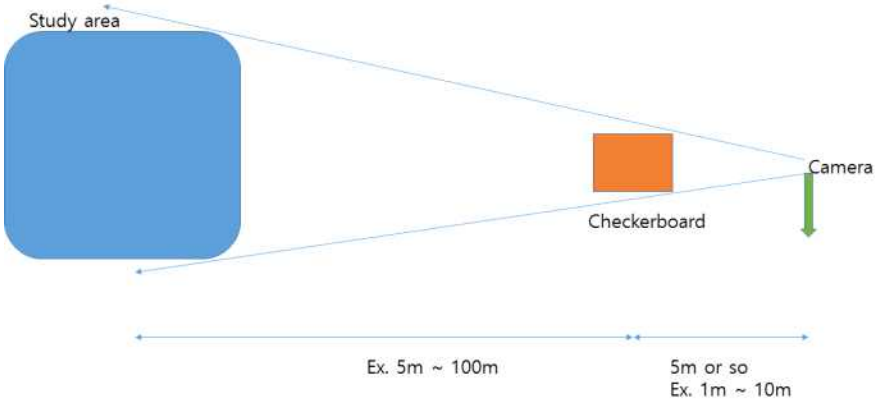
| | X | Y | Z | Omega | Phi | Kappa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | meter | | | degree | | |
| 1120 | -3.134 | 6.65 | -0.178 | -94.626 | -22.621 | -181.062 |
| 1122 | -3.553 | 6.476 | -0.067 | -91.848 | -31.625 | -179.436 |
| 1123 | -4.24 | 6.102 | -0.181 | -95.518 | -45.539 | -182.099 |

(b) 카메라 위치 추정 결과

[그림2-10-7] 차원 보정판을 이용한 카메라 표정

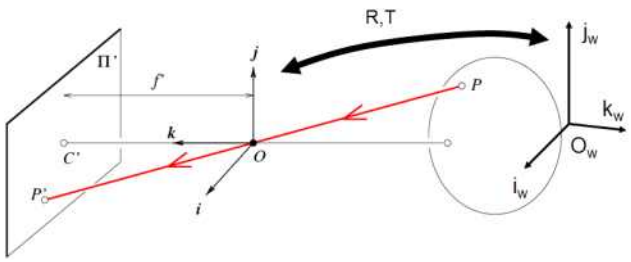
- 원거리의 부유체는 계속 움직이기 때문에 기준점 정보 취득이 어려움. 근거리 렌즈교정

용 판넬을 이용하여 오차 조종의 가능성을 평가함




[그림2-10-8] 타겟판을 이용하여 카메라의 표정을 구하기 위한 원거리 실험 계획도

(2) 카메라 투영 행렬




$$\mathbf{x} = \mathbf{K}[\mathbf{R} \quad \mathbf{t}]\mathbf{X}$$

여기서, x: Image Coordinates: (u,v,1), K: Intrinsic Matrix (3x3), R: Rotation (3x3),
t: Translation (3x1), X: World Coordinates: (X,Y,Z,1)

[그림2-10-9] 카메라 투영행렬

(3) 영상정합

- 기하보정요소는 영상간 관계를 결정하기 위한 지역적 요소(Local Feature)로서, 영상에서 특징점을 추출
- Harris, Heitger, F□rstener와 같은 여러 가지 추출자의 성능을 특징점 추출의 반복률(Repeatability Rate)과 정보량(Information Content)을 기준으로 평가하여, 이 중 Harris 추출자가 영상 회전이나 시점 및 조명의 변화에도 가장 불변
- SIFT는 Lowe, D. (1999)에 의해 처음 소개된 기술자로 영상 축척과 회전에 불변이고, 긴 범위의 어핀 변형, 시점변화, 노이즈 첨가, 조명의 변화에 대해서도 강건한 정합 성능을 제공
- 각 영상에서 추출된 기하보정요소는 서로 동일 위치임을 결정하기 위한 정합(matching) 작업을 수행하여야 하며, 보통 기술자(descriptor)에 의해 정합여부를 판단

- 기준점을 대량으로 취득하는 경우 기준점의 유의성을 판단하기 위한 처리과정의 하나인 RANSAC(RANdom SAmple Consensus) 알고리즘은 영상간의 이상대응점(outliers)을 제거하고 표정식을 추정하는 처리과정을 반복

(4) Kanade-Lucas-Tomasi feature 트래커

- Shi & Tomasi는 개체가 올바르게 추적되었는지를 검사하는 추가적인 단계를 제안하여 KLT 트래킹을 완성
- 프레임간의 affine 변환을 가정하고, 좀 더 복잡한 변환 모델, 중심 투영 모델에는 복잡한 모델을 가정

(5) 사진측량

- 영상으로부터 3차원 위치를 추정하기 위하여 2개 이상의 입체영상에서 정합쌍이 필요
- 렌즈 정보와 함께 센서의 내부표정, 외부표정을 거쳐 공선조건식에 대입되어 3차원 위치를 구함
- 공선조건식

$$x_a = x_0 - f\left[\frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)}\right]$$

$$y_a = y_0 - f\left[\frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)}\right]$$

여기서, 관측된 사진좌표 x와 y

A점의 지상좌표(XA,YA,ZA),카메라 외부표정 6요소(omega-phi-kappa, XL,YL,ZL)

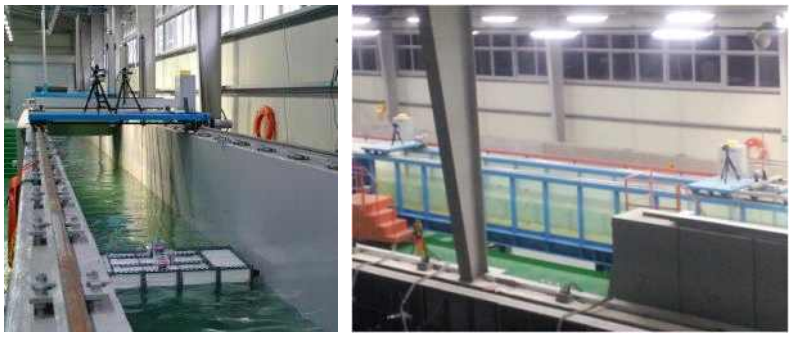
(6) SfM(structure from motion)

- Projective SfM(structure from motion) : $x_{ij} = P_i X_j$, n개의 고정된 3차원 점이 m개의 영상에 나타나 있을 때, mn개의 접합(corresponding) 2D 점으로부터 m개의 투영행렬 P와 n개의 3차원 점을 추정
- Affine SfM(structure from motion) : $x_{ij} = A_i X_j + b_i$, n개의 고정된 3차원 점이 m개의 영상에 나타나 있을 때, mn개의 접합점 $x_{ij}$를 사용하여 m개의 투영행렬 A와 이동벡터 b, n개의 3차원 점 X를 추정

여기서, $i = 1, \ldots, m, j = 1, \ldots, n$

(7) 모형 부유체 수리모형 실험과 입체 영상 촬영 실험

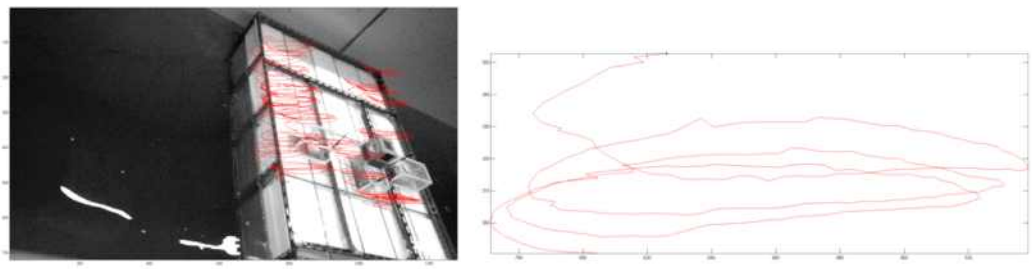
- 카메라 동영상을 이용한 변위 측정
- 조파 : 주기(1sec), 파고(2cm)의 규칙파 , 불규칙파
- 측정 기기 : Cannon EOS 550D, Trimble Total Station 5600



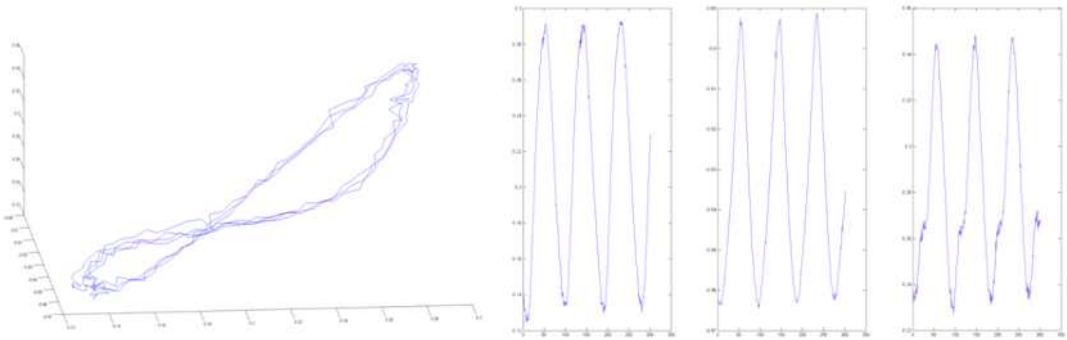
[그림2-10-10] 영상기반 변위관측 실험

(8) SfM을 이용한 이동 추정

- 규칙파와 불규칙파 동영상에 대하여 변위를 자동으로 구함
- 아래 그림은 2차원 영상 트래킹과 3차원 공간 트래킹임



[그림2-10-11] 규칙파의 오토트래킹

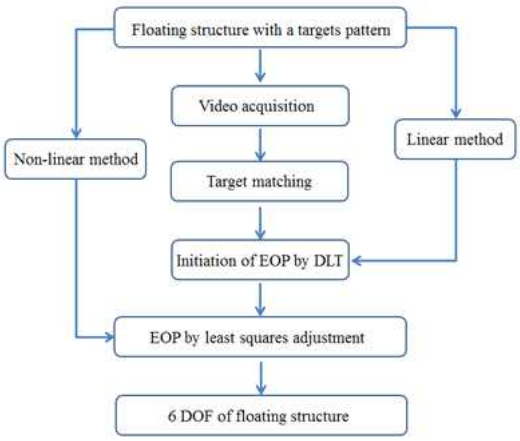


[그림2-10-12] 규칙파의 3차원 위치와 X, Y, Z 축에 투영된 궤적

다. 사진측량기반 거동 측정 시스템

(1) 동영상을 이용하여 부유체 거동을 모니터링하는 사진측량기반 측정 시스템

- 카메라의 외부표정인자(exterior orientation parameter) 산출하여 부유체 거동을 6자유도(6-DOF)로 표현.
- 2단계 프로세스 : 기준점 트래킹과 6 DOF 연산/최소제곱 Resection 연산




[그림2-10-13] 6자유도 산출 흐름도

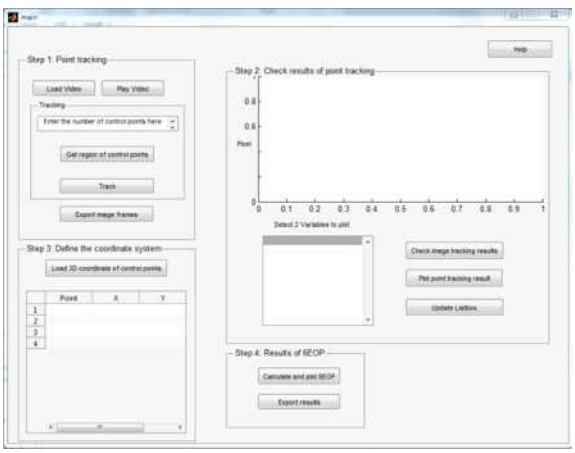
- Lucas-Kanade(LK) 트래킹 알고리즘을 이용하여 동영상의 프레임에서 부유체 기준점(control points)의 거동 트래킹
- Direct Linear Transformation(DLT) : 표정인자 산출을 위한 관측방정식으로 6점 이상의 기준점 필요.

$$x = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1}$$
$$y = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1}$$

- Inverse resection에 의한 6자유도 산출 (Luhmann 등, 2006) : $x^* = R^{-1}(X - X_0)$

(2) 소프트웨어 개발

- Matlab GUIDE(GUI development environment)를 이용한 GUI(graphical user interfaces) 생성



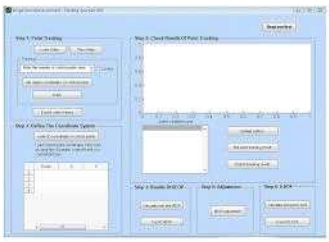
[그림2-10-14] 소프트웨어 사용자 인터페이스

- 소프트웨어 매뉴얼

**Image-based measurement – Floating structure GUI Manual**

The Image-based measurement –Floating structure (IMFS) GUI works on Matlab program to determine six degrees of freedom (6DOF = position and orientation in 3D space) of floating structure with respect to a reference system using one camera only.

The procedure of program includes 6 mains steps in succession. You can open the GUI by clicking "Run.exe" file or "main.m" files from current working directory. After a second, the GUIE will appear as figure below.



Now you can perform your work step by step.

**Step 1: Point tracking**

1. Seclect the graphical display option "Load video" to load a video from a folder. These Video File formats can be used in project:

.asf - ASF File

.asx - ASX File

.avi - AVI File

.m4v - MPEG-4 Video

.mj2 - Motion JPEG2000

.mov - QuickTime movie

.mp4 - MPEG-4

.mpg - MPEG-1

.wmv - Windows Media Video

- Select the option "Play video" if you want to display the video

- Seclect the option "Export video frames" if you want to extract the video into frames

2. Text the number of reference points you want to track in project. The number of points must be more than 6 points.

NOTE:

- The control points must be positioned cover the object well. The patterns of target symbol are various, such as plus, dot, square. And their size should be large, as much as visible in a camera movie, but adequately small, as much as precisely detectable during tracking processing.

- Targets should be in focus and not blurry, in other word control points position should be clearly marked on observed object and absolutely visibility at any current time of video. Targets are high contrast placed on an object (i.e. avoid dark targets on a dark background) to provide an accurate point marking.

3. Seclect "Get region coordinate of control points" to input a **.txt** or **.bmp** which store the pixel region coordinates of reference points.

The pixel region coordinates of each reference point are defined by a rectangle area in image. Each control point is a four-element position vector *[xmin ymin width height]* that specifies the size and position of the crop rectangle. For example:



4. Seclect "Track" to start tracking

This option might take long time to track all control points in video.

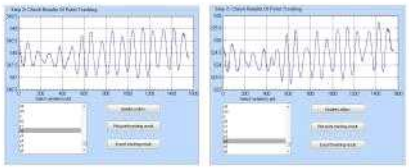
The notification "Finish tracking" will appear when the tracking process complete.

**Step 2 Check results of point tracking**

In this step, you can check the results of points tracking in step 1. A good tracking give a very similar trajectory of control points in pixel coordinate system.

1. Select "Update Listbox" to update the results of step 1 from workspace into list box

2. Check the results of tracking to verify the displacement of control points in image coordinate system. This can be executed by select "x" or "y" of each control points and then click button "Check image tracking results" to perform and check the tracking processing



Select the option "Export tracking result" if you want to export results of step 1. An excel file named "Image tracking result" contains results will be exported into current working directory.

**Step 3: Define coordinate system**

Control Points are 3D xyz points from an external source (survey, GIS, etc.) can be used to define a coordinate system.

Control points 3D coordinates must be imported through a **.txt** file or **.mp** file

Unit of coordinate parameters should be in millimetre (mm).

Define the coordinate system by selecting option "Load 3D coordinate of control points" to load 3D control point coordinated from preprovided file format.



**Step 4: Results of 6EOP**

Once the target points tracking and results checking are complete, you will tell program to process the data using the "Calculate and plot 6EOP" option

Select the option "Calculate and plot 6EOP" to show the results of 6EOP (exterior orientation of camera)

Select the option "Export 6EOP" if you want to export 6EOP into current working directory.

**Step 5: 6EOP adjustment**

Select the option "6EOP adjustment" to adjust the resulted 6EOP of step 4.

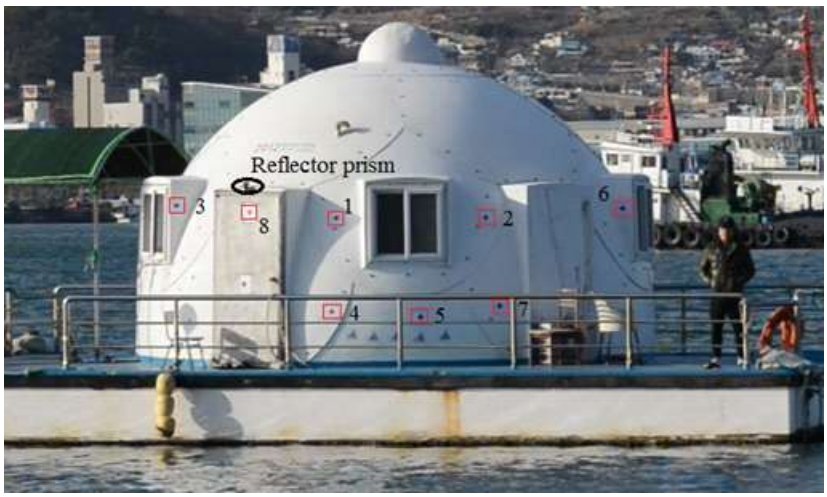
In this step, you have to input 3 interior parameters of camera ($x_0$, $y_0$, f) and format size of image, all units are in mm.



(3) 플로팅건축물 동적 거동량 측정 및 분석

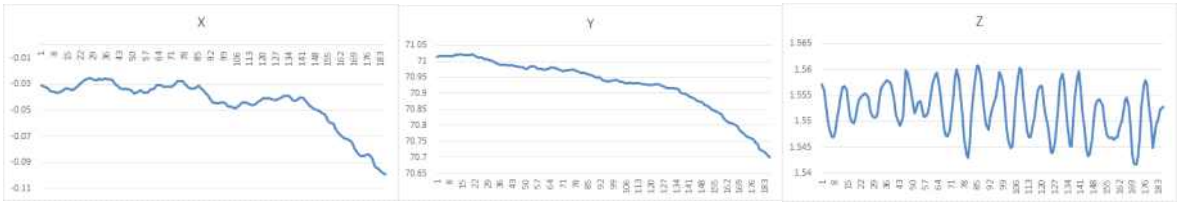
- 여수 경도 부유 해상 펜션. Nikon D800 29fps 카메라, XGPS, Total Station 이용

- Total station으로 측정된 펜션위의 8개 기준점



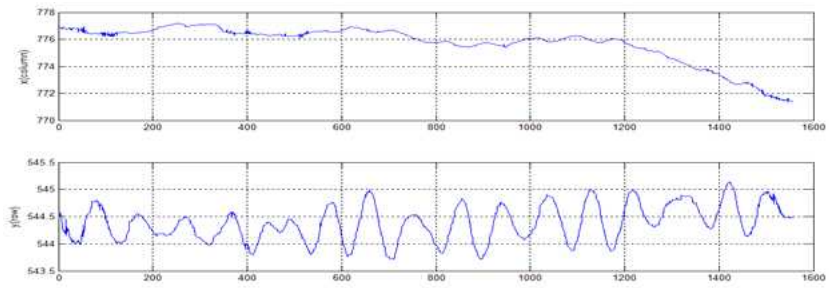

[그림2-10-15] 실험 대상 펜션과 기준점

- Total Station으로 186회 측정된 펜션의 X Y Z 변화는 아래 그림과 같음. 각 축별로 위치변화 범위(range)는 0.0737m, 0.3231m, 0.0192m 이고, Y축 변화량이 가장 크게 나타남



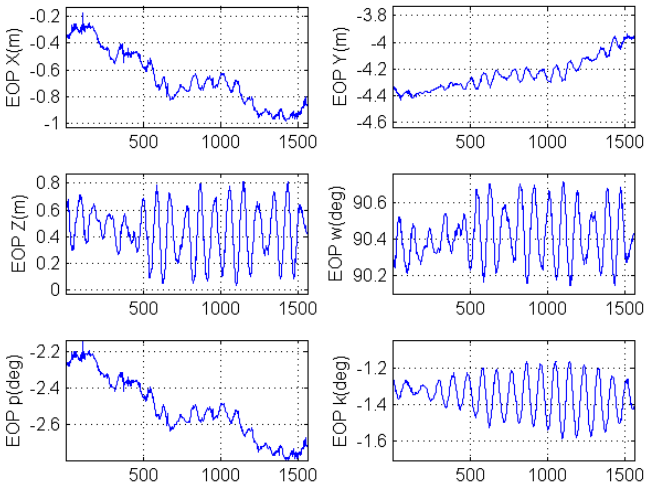

[그림2-10-16] Total station으로 측정된 펜션의 위치변화

- 영상처리를 이용하여 8개 기준점의 프레임 위치를 자동 트래킹



[그림2-10-17] 8번 기준점의 자동 영상 트래킹 결과

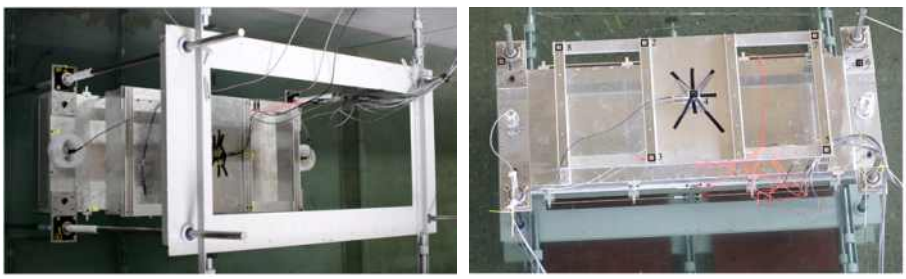
- 최소제곱조정에 의한 6 DOF



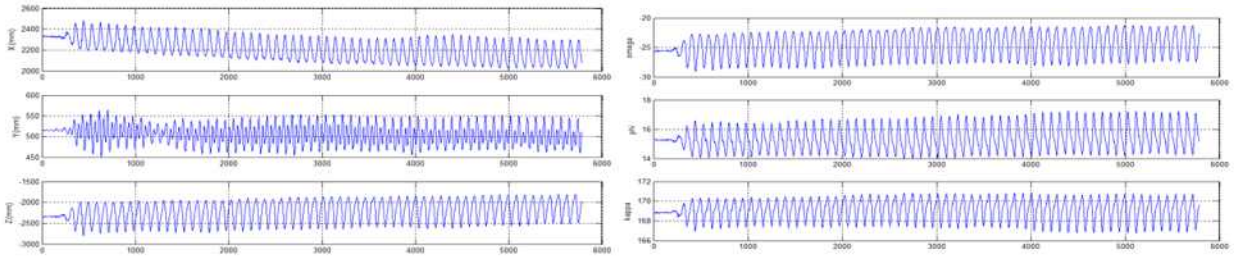

[그림2-10-18] 사진측량 resection 최소제곱조정 기법에 의한 6 DOF 추정

(4) 수리모형실험 지원 성과도출

- 2D & 3D 수조 실험 분석. 전남대 해양항만실험센터 수조에서 진행됨. Nikon D800으로 29fps 193 sec 동영상 취득. DLT 거동 추정 결과, 2D와 3D 모두 운동 특성이 잘 드러남

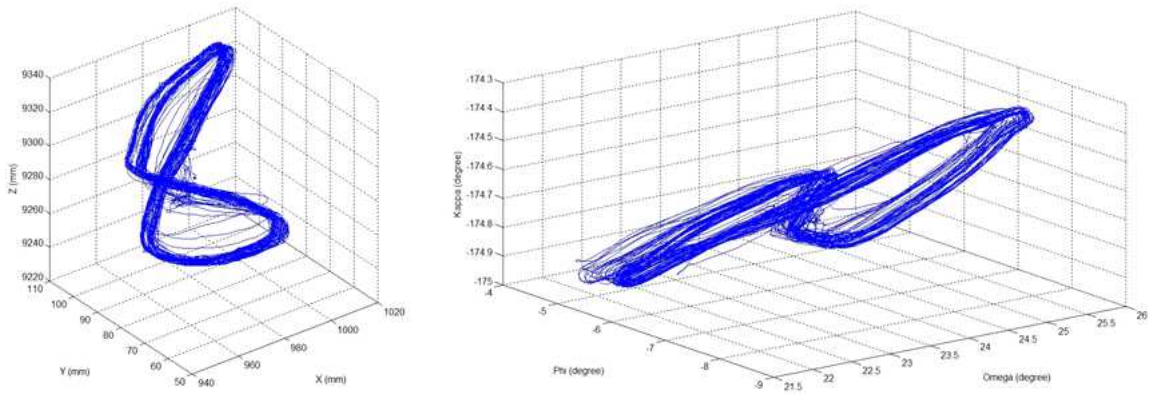


[그림2-10-19] (좌) 2D (우) 3D 수조에서 부유체 모형의 거동 측정 분석



[그림2-10-20] DLT에 의한 부유체 모형의 2D 수조 6 DOF. 위로부터 $X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa$

- Inverse resection에 의한 6-DOF : 아래 그림은 6자유도 결과이며, 제안 방법의 정확도 평균 4.028mm, 최대 오차는 7.818mm임.

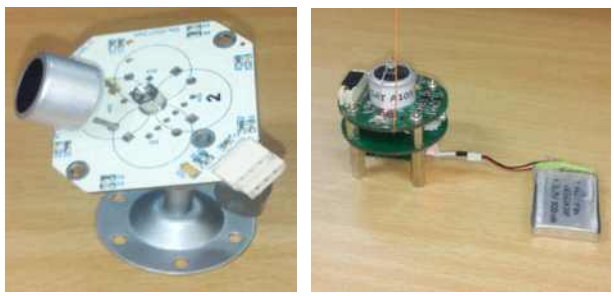



[그림2-10-21] inverse resection에 의한 3D 공간상의 translation과 rotation

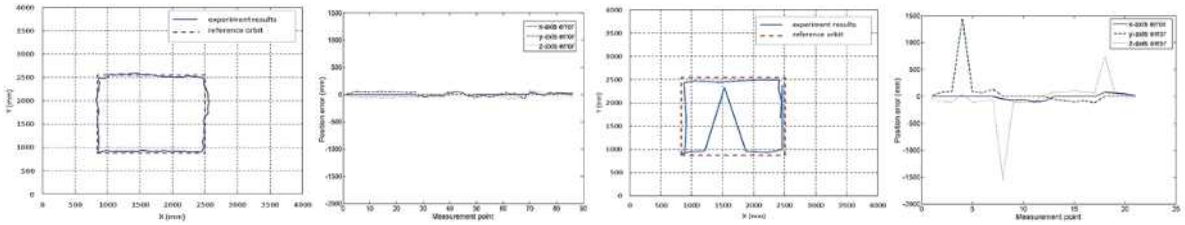
라. 점기반 거동 측정

(1) 점기반 변위 측정 센서

- 레이저변위계 : 레이저 변위계를 이용하여 1차원 또는 2차원에서 mm 수준의 해상도와 ms 수준의 주기로 변위를 관측. 실내외 사용
- 레이저트래커 : Hexagon의 절대거리계와 간섭계(interferometer-IFM)를 사용하는 절대간섭계(Absolute Interferometer). 반사경과 LED를 이용하여 위치(X,Y,Z)와 회전(i,j,k)를 100HZ 이상으로 측정. 트래킹 속도 2m/sec이고 mm 정확도.
- RFID : 실내외 RFID를 이용한 실시간 위치 추정 및 위치 탐색 가능. 본 연구에서는 초음파를 이용하여 삼각측량 이론을 적용한 RTLS RFID를 실험. 10m 내외 작동 범위. 위치 오차 수 cm ~ 수십 cm, 1 ~ 3 sec 측정 주기.



[그림2-10-22] U-SAT 센서

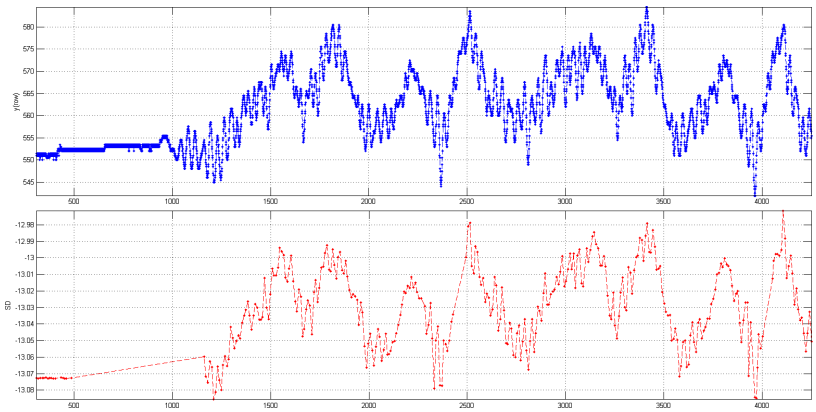


[그림2-10-23] 0.1m/s 및 0.5m/s 이동속도에 따른 U-SAT의 위치오차

- Total Station : 수평 및 수직각과 경사거리를 관측하여 상대적 3차원 좌표를 취득하는 주요 측량 기기. 각 정확도는 초 단위이고, 거리 정확도는 mm임. 모니터링용 Total Station으로 Trimble S8 Total Station/Leica Viva TS15는 10Hz 데이터 취득이 가능.



[그림2-10-24] (좌) 3차원 수조에서 실험용 부유체 모형과 360도 타겟, (우) S8 토털스테이션의 측정 현황



[그림2-10-25] 영상기반 측정 결과와 토털스테이션 결과의 비교

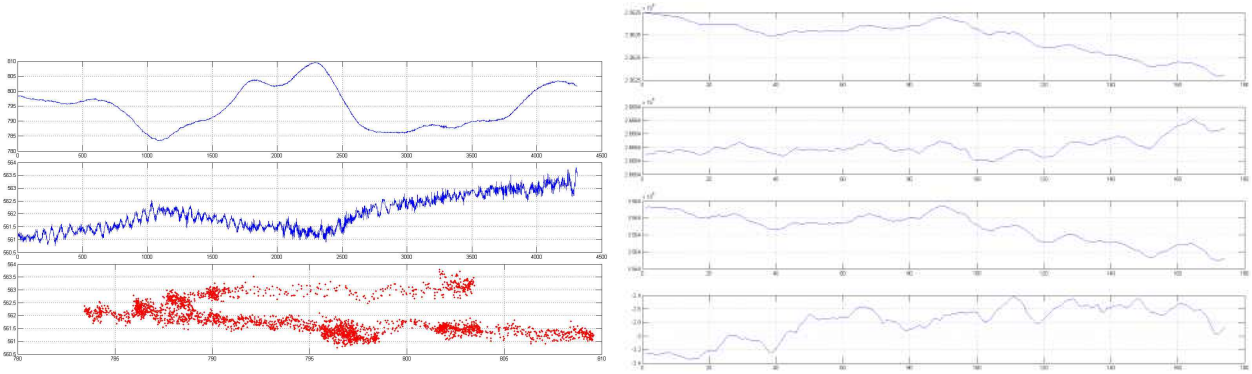
- GNSS : 3차원 위치 측정. 실외 측정 가능. GPS 상시관측소 3점 이상을 이용하여, 이동국 주변에 가상의 기준점을 설정하고 관측오차를 제거한 데이터를 이동국에 전송하여 이동국을 고정밀로 측량하는 DGPS 가능.
- GPS Compass : 2개의 GPS수신기를 고정연결시켜 1개의 이동항과 2개의 회전값을 제공함.

| Device | | Specification | Measurement function |
|---|---|---|---|
| Camera<br>- Nikon D7000<br>- Nikon D800 |  | - Movie frame rate: 24 fps<br>- Movie frame size: 1920 x 1080 pixels | 6-DOF |
| Leica total station TS15 |  | - Measurement rate: 0.1 (s)<br>- Base positioning accuracy of automatic target aiming: ±1 mm<br>- Accuracy of continuous distance measurement: 3 mm +1.5 ppm / typ. <0.15 s | 3D-Translation |
| Vector V103 and V113 GPS Compass |  | - Update Rate: 20 Hz standard<br>- Horizontal Accuracy: < 0.6 m 95% confidence (DGPS1) < 2.5 m 95% confidence (autonomous, no SA2)<br>- Heading Accuracy: < 0.30° rms<br>- Pitch/Roll Accuracy: < 1° rms<br>- Heave Accuracy: 30 cm* rms | 3-DOF |

[그림2-10-26] 실험에 사용된 카메라, Total station, GPS Compass

(2) GPS를 이용한 부유체 측정 실험

- 여수경도 해상펜션을 부유체로 하여, Sony GRX1 네트워크 DGPS 수신기와 Nikon D7000 24fps 동영상을 2013년 4월 12일 측정.



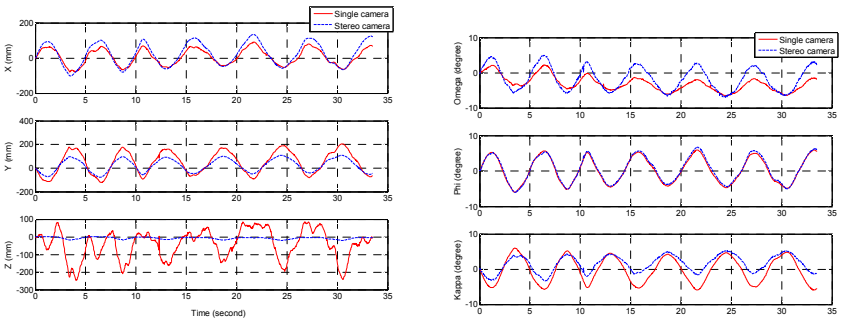
[그림2-10-27] 영상기반 실외측정과 점기반 실외 측정 결과

- XGPS 160을 이용한 변위 측정 실험 : 저가의 단일 GPS 기기이기 때문에 정확도 낮음

마. 영상기반 거동 측정의 실증 연구

(1) 단일 및 입체 동영상을 이용한 거동 측정 비교

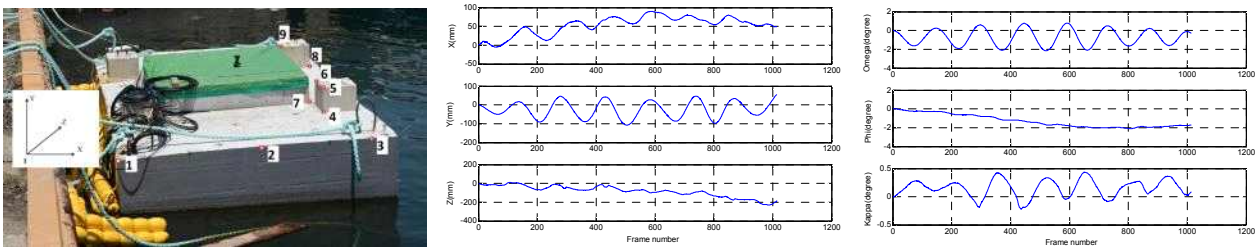
- 입체 동영상을 이용한 관측과 그 중 한 개의 동영상을 이용한 관측의 정확도 비교




[그림2-10-28] 단일동영상과 입체동영상의 6DOF 측정 결과 비교; (좌) 이동량, (우) 회전량

(2) Mock-up 거동 측정

- 한국해양대 Mock-up을 대상으로 거동 측정




[그림2-10-29] Mock-up 모델과 기준점, 6DOF의 이동량과 회전량

# 제11절 플로팅 상부구조물 접합부 해석 및 설계기술

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

- ○ 플로팅 구조 시스템 관련 국내외 자료수집 및 검토상부구조물의 경량화 방안 검토
- ○ 모듈러 구조시스템 및 접합부 사례 조사와 시공성을 고려한 모듈러구조 적용 방안검토
- ○ ABAQUS를 이용한 모듈러 상부구조 모델링 및 해석
- ○ 하중전이부 상세해석을 위한 모델링과 상하부 접합부 응력분포 분석
- ○ 모듈러 수직접합부 해석 및 설계와 모듈러구조와 함체 연결부의 해석 및 설계를 통하여 접합부를 개발
- ○ 탑앤시트 앵글을 적용한 전이보 시스템의 축력비에 따른 횡력 가력 시험
- ○ ABAQUS를 이용한 탑앤시트앵글 전이보와 더블웨브앵글 전이보의 축력 및 횡력 가력에 따른 거동 분석 수행
- ○ 전이보 시스템 실험체와 ABAQUS구조해석 결과의 비교분석 및 성능평가
- ○ MIDAS를 이용하여 전이보 시스템을 구조설계하고, 전이보 시스템 유무에 따른 결과 비교분석
- ○ 축소모델과 Mock-up모델 전이보 시스템의 ABAQUS 모델링 및 상세해석을 통한 거동분석
- ○ TSA 접합부와 TSDW접합부 전이보 시스템의 Mock-up 모델 실험 및 상세해석과 비교분석
- ○ Mock-up모델 전이보 시스템의 반복가력에 대한 ABAQUS 모델링 및 상세해석을 통한 거동분석
- ○ TSA 접합부와 TSDW접합부 전이보 시스템의 Mock-up 모델의 준정적 반복가력실험 및 ABAQUS 상세해석과 비교 분석
- ○ 상부구조물의 구조안전성평가지침 개발

## 2. 연구개발 내용 및 결과

### 가. 상부구조물 접합부 해석 및 설계기술

#### (1) 플로팅구조물 상부구조시스템 사례조사 및 분석

[표2-11-1] 플로팅구조물 형태별 특징

| 형태 | 특징 | 구조물 |
|---|---|---|
| Circle Type | - 안정적이며 내향 존재이면서 구심적<br>- 직선이나 원형을 조합, 원주를 따라 각 요소를 배치함으로써 명확한 회전운동<br>- 내부구조 변경이 용이 |  <br>Circle House |
| Triangle Type | - 한 면이 바닥에 닿았을 경우 매우 안정적인 구조<br>- 삼각형 기본구조로 시공이 용이<br>- 저렴하고 유연한 형태 |  <br>Mini House |
| Z Type | - 선을 따라 움직이는 형태의 연속적 배열<br>- 지형이나 전망 또는 식생등의 대지조건에 맞추거나 분할<br>- 다양한 형태가 합쳐진 요소로 조합하는 타입 |  <br>Z-Hotel |

(2) 모듈러 구조시스템 적용방안 검토

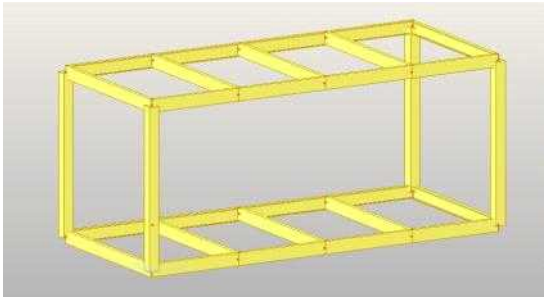
- 유럽에서는 영국과 독일에서 비교적 대형 모듈 제작사들이 있고 다양한 업체들에서 고유시스템을 개발하여 사용
- 프레임 방식의 모듈러 유닛은 코너부 4개 기둥과 내부 기둥, 바닥 장방향, 단방향 보, 천장 장방향 및 단방향 보 등의 철골 부재가 공장에서 볼트 혹은 용접 제작
- 단위 모듈은 보-기둥 철골 프레임 형식으로 바닥판과 천장의 하중이 장방향 보를 통해 기둥으로 전달하며, 모듈과 모듈은 기둥부위에서 상호 접합되어 전체 건축물이 연직하중뿐만 아니라 횡력에 대해서도 안전한 거동



(a)단일구조 (b)적층구조

[그림2-11-1] 프레임-페널형 모듈의 구조

- 모듈러 건물의 치수는 5.6m(L)x2.4(B)x2.7(H)이며, 접합부에 고력볼트를 적용하여 반강접 접합을 적용



(a)MIDAS 모델링

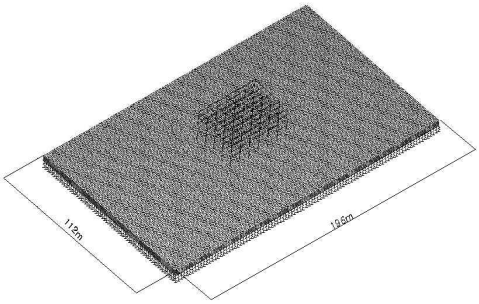
| 구분 | 부재 Size | 재질 |
|---|---|---|
| 기둥 | □-150×150×6.0 | SPSR400 |
| 보 | C-220×65×18×12×3.0 | SGH400 |
| 고력볼트 | M16 | F10T |

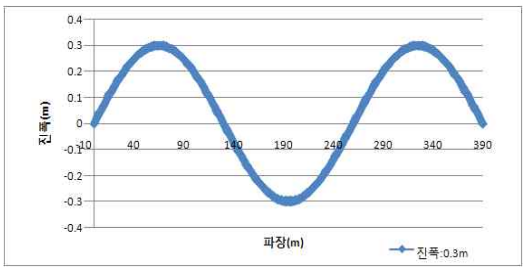
(b)구조체 부재 Size

[그림2-11-2] 상부구조물 단위모듈 제안

(3) 상부 모듈러 구조시스템 안전성평가

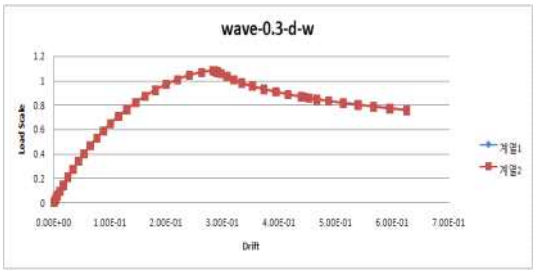
- 구조물의 상하부 구조물을 abaqus 6.5 를 사용하여 3D로 모델링하여 해석
- 구조해석 모델의 하부구조는 196x112x3m이며, 상부 구조물은 42x28x17.5m로 5층(스팬 7m) 구조물로 고정하중, 활하중, 그리고 주기와 진폭을 고려한 가상파랑하중을 고려하여 구조해석을 수행함.



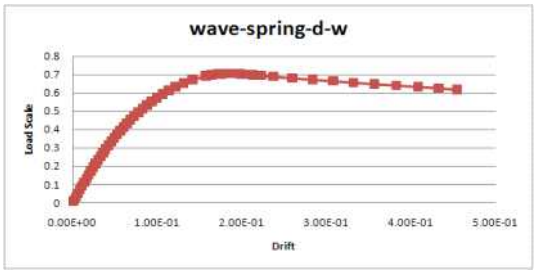




[그림2-11-3] 상하부 모델 및 파랑하중

- 30cm 진폭의 파랑하중, 고정하중, 활하중, 풍하중을 적용하여 기존의 접합부인 강접합과 반 강접 접합의 모멘트 비교 결과 반강접 접합부의 경우 1층 첫 번째 부재에서 17~55% 정도 모멘트 감소
- 파랑하중(진폭 0.3m)를 적용하여 강접합과 TSD접합의 소성해석을 실시한 결과 TSD 접합을 적용한 경우 최대하중계수가 작았고 변형이 크게 나타남




(a) 강접합




(b) TSD 접합

[그림2-11-4] 하중계수-변위 그래프

- 파랑하중(진폭 0.05m)이 작용하는 경우의 강접 접합과 TSD 접합의 변위는 거의 같은 분포를 보이고 있어 구조시스템과 파랑하중과의 관계가 없다고 판단됨
- 정적하중의 TSD 접합의 경우 강접 접합보다 19% 가량 변위의 차이가 발생
- 정적하중과 조합하중의 변위는 모두 H/400(0.04375m)를 만족

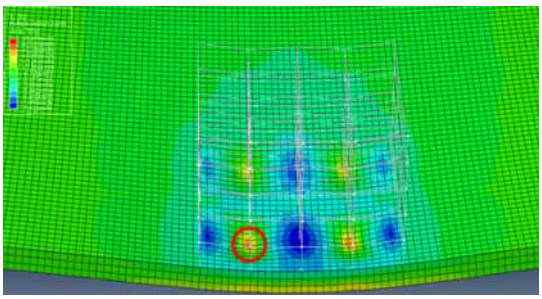
[표2-11-2] 파랑하중(진폭0.05m)일때 변위 비교

| 접합부 종류 | 파랑하중 (진폭0.05m) | 정적하중 | 조합하중 (진폭0.05m) |
|---|---|---|---|
| 강접 접합 | 0.016(H/1067) | 0.016(H/1093) | 0.032(H/541) |
| TSD 접합 | 0.016(H/1033) | 0.023(H/756) | 0.030(H/440) |

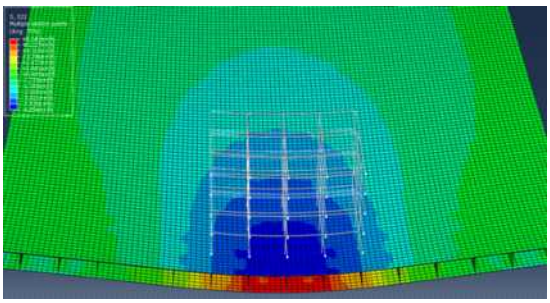
나. 상부구조물 접합부 해석 및 설계기술

(1) 상부구조와 함체의 하중전이 분석

- 7m 격벽은 14m 격벽보다 최대응력에서 30% 정도 감소



(a) 14m격벽



(b) 7m격벽

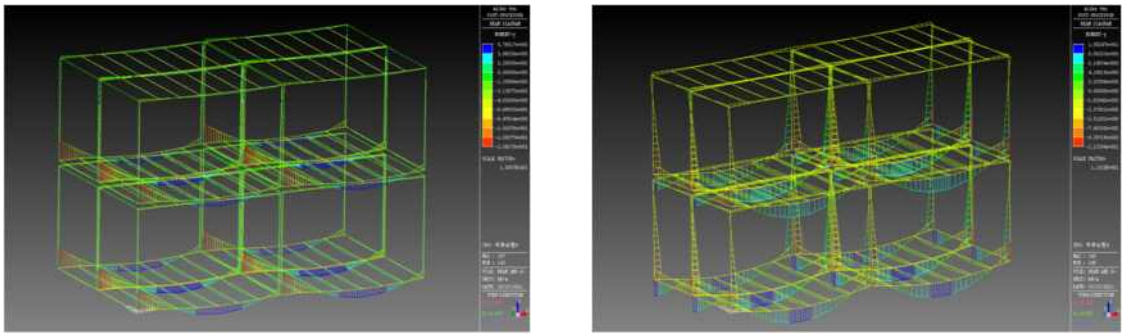
[그림2-11-5] 상부구조체 응력분포

(2) 플로팅 모듈러 시스템 구조해석

- 조합하중(파향 0° )인 경우, 장방향 바닥 큰보의 왼쪽 단부에 최대모멘트가 발생, 정적하중과 파랑하중이 왼쪽 단부에 중첩되기 때문에 최대모멘트가 발생하는 위치가 중앙부에서 단부쪽으로 전이됨. 최대모멘트양을 놓고 보았을 때 진폭 20cm인 경우, 정

적하중보다 조합하중일 때 70% 정도 응력이 증가

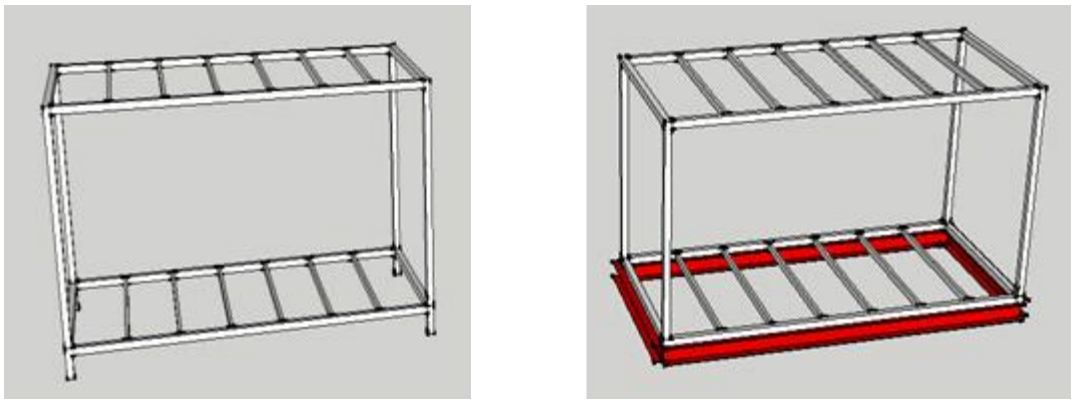
- 조합하중(파향 90° )인 경우 단방향 바닥 큰보의 단부에 최대모멘트가 발생하였고, 정적하중에 의해 발생되는 모멘트와 파랑하중에 의해 발생되는 모멘트가 위치가 다르기 때문에 중첩되지 않고 발생됨



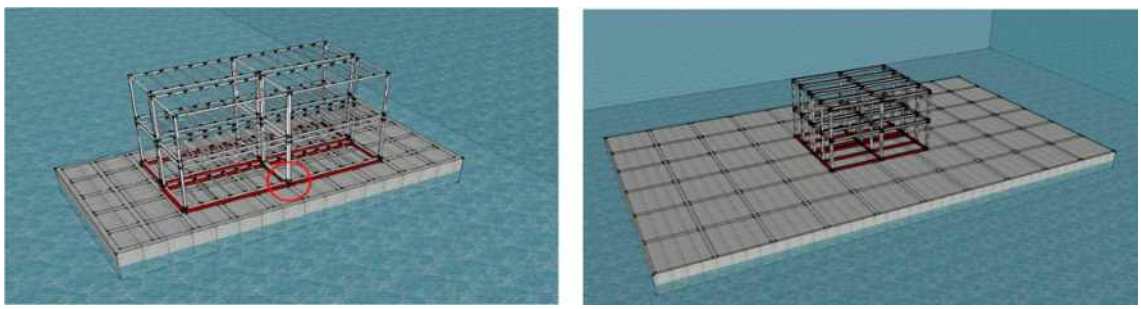
(a) 파향 0°　　(b) 파향 90°

[그림2-11-6] 조합하중 해석결과

- 상부구조물에서부터 내려오는 하중을 전이시킬 수 있는 시스템을 개발하여 콘크리트 하부구조물을 이용한 플로팅구조물에 발생할 수 있는 응력집중현상을 해결하고자 함
- 하중전이에 의한 응력집중현상을 해결하기 위해 본 발명은 상부구조물의 주각부분에 전이보(Transfer Beam)를 설치하여 집중하중을 분산하고자함



(a) 전이보 설치전　　(b) 전이보 설치후



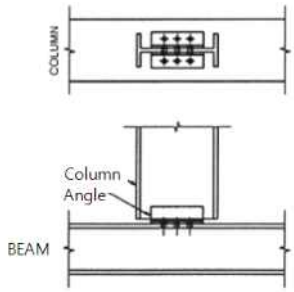
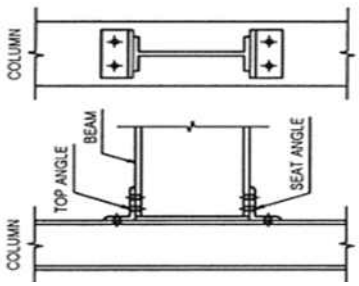
(c) 전이보를 설치한 플로팅 구조물

[그림2-11-7] 조합하중 해석결과

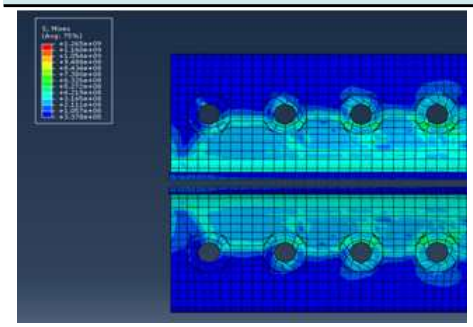
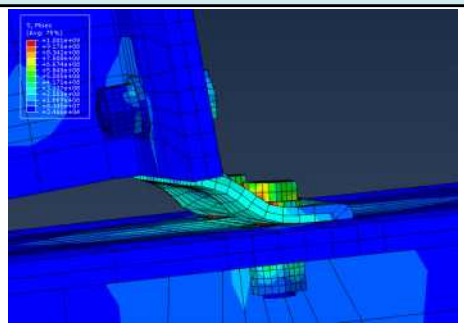
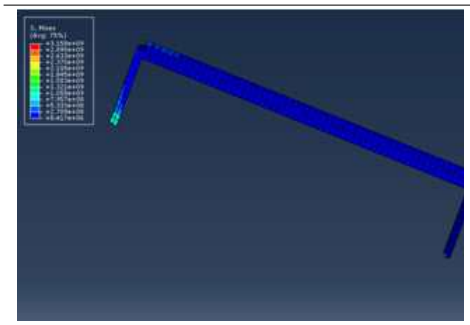
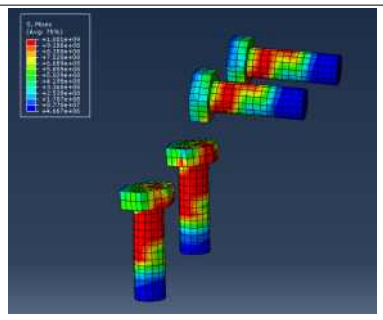
(3) 플로팅 상하부 접합부 상세해석

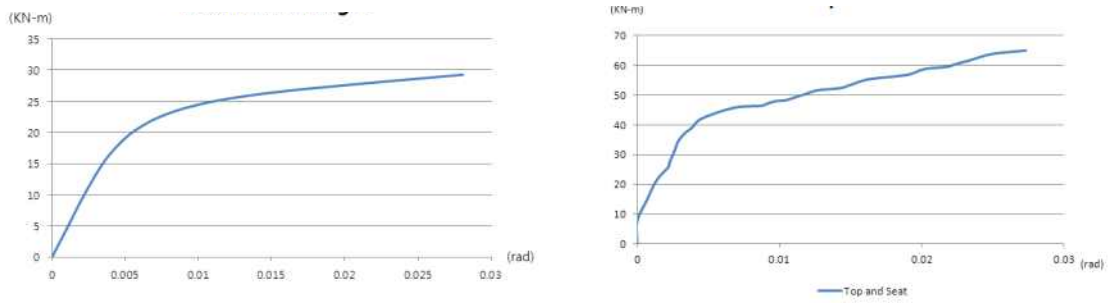
- 플로팅 구조물의 접합부 적용을 근거하기 위해 보다 상세한 구조해석이 필요. 플로팅 구조물의 전이보를 적용한 접합부형태는 일반 철골구조물의 보-기둥에 쓰이는 사용되는 반강접 형태와 같음

[표2-11-3] 접합부 해석부재의 제원

| 더블-웨브 앵글(강도 : SS400) | 탑 앤드 시트 앵글(강도 : SS400) |
|---|---|
| Angle : L - 125×75×7<br>Column : PL-9 (Flange 부분생략)<br>Beam : 350×350×12×19<br>Bolt : M20-10T<br>  | Angle : L - 100×100×10<br>Column : 350×350×12×19<br>Beam : 350×350×12×19<br>Bolt : M20-10T<br>  |

[표2-11-4] 접합부 해석 결과

| 더블-웨브 앵글(강도 : SS400) | 탑 앤드 시트 앵글(강도 : SS400) |
|---|---|
|  <br>앵글 |  <br>앵글부의 들림현상 |
|  <br>용접부 |  <br>볼트 |




(a) Double Web Angle (b) Top and Seat

[그림2-11-8] 모멘트-회전각 결과 그래프

- 더블-웨브 앵글의 모멘트의 최대값은 약 29 kN·m 발생. 탑 앤드 시트 앵글을 적용한 전이보시스템의 접합부 최대 모멘트값은 65.02 kN·m으로 더블웨브앵글에 비해 2배 이상의 성능을 가짐
- 전이보시스템을 이용한 플로팅구조물 실용화단계를 위한 초기 근거 자료로 활용. 향후, 플로팅 구조물의 접합부상태를 모델링에 적용하여야 되며, 플로팅 구조물에만 요구되어지는 특별한 구조성능이나 하중형태를 연구하여 적용할 필요성을 가짐

다. 전이보 시스템 접합부 축력 해석

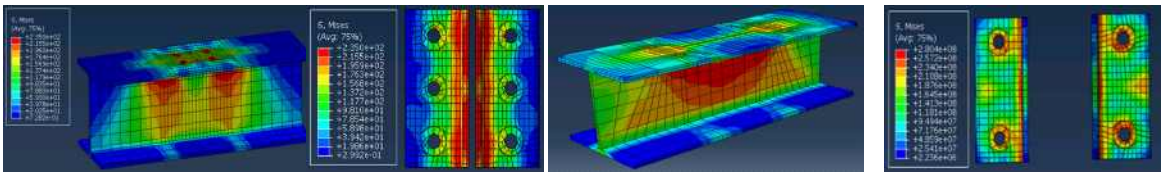
- 일반적인 반강접 접합부와의 차이점은 기둥의 플랜지 폭과 전이보의 플랜지 폭을 일치시키고, 메탈터치(metal touch)의 형태로 기둥을 전이보에 밀착시킨다. 일반적인 보-기둥 접합부처럼 이격거리가 존재한다면 하중을 제대로 전달하지 못하고 앵글부의 볼트에 응력이 집중되는 현상을 초래하게 됨

[표2-11-5] 축력 해석모델 제원

| | 제원 | 길이 |
|---|---|---|
| 기둥 | H-350×350×12×19 | 1150mm |
| 전이보 | H-350×350×12×19 | 1000mm |
| 앵글 | L-100×100×10 | 210mm |
| 볼트, 너트, 와셔 | F10T-M20 | |

- ABAQUS를 이용한 유한요소해석을 실시한 결과 전이보에 접촉된 부재가 위치한 곳에 주로 응력이 분포되었고, 전이보의 웨브를 통해 하단 플랜지에 응력이 전달되며, 볼트를 제외한 모든 부재가 항복응력에 도달함
- 전이보의 경우는 웨브에서, 앵글에서는 기둥에 부착된 면에 항복응력이 발생한다. 두 접합부 모두 전이보의 상단 플랜지에 접촉된 면적은 동일하지만, 면적의 밀집 정도에

따라서 전이보 웨브에 발생되는 응력분포가 다른 양상을 보임



더블웨브앵글 전이보　　탑앤시트앵글 전이보

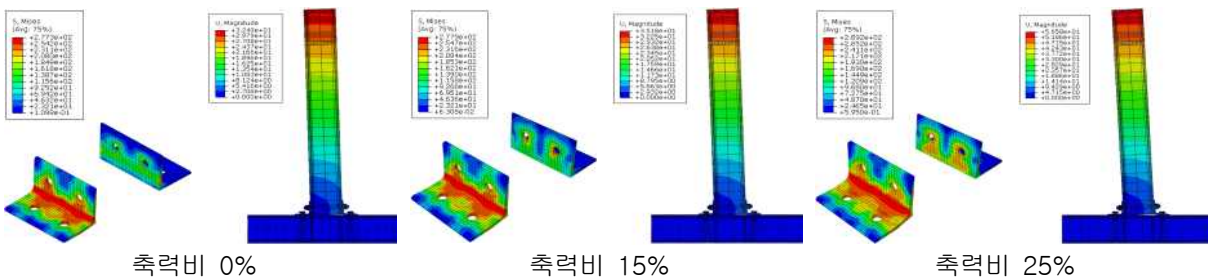
[그림2-11-9] 전이보 응력 분포형태

라. 전이보 시스템 접합부 횡력 해석

- 일반적인 반강접 접합부와의 차이점은 기둥의 플랜지 폭과 전이보의 플랜지 폭을 일치시키고, 메탈터치(metal touch)의 형태로 기둥을 전이보에 밀착시킴
- 축력비 0%, 15%, 25%에 따른 전이보 시스템의 거동을 분석한 결과 탑앤시트 앵글 전이보의 앵글에서의 응력분포를 보면, 축력을 가하는 쪽 앵글의 꺾인 부분이 항복응력에 도달하고 변형이 크게 나타남
- 축력비에 따라 저항하는 최대 횡력은 달라지나 응력분포나 전이보 시스템의 거동은 유사함

[표2-11-6] 횡력 해석모델 제원

| | 제원 | 길이 |
|---|---|---|
| 기둥 | H-150×150×7×10 | 1100mm |
| 전이보 | H-150×150×7×10 | 750mm |
| 앵글 | L-75×75×6 | 140mm |
| 볼트, 너트, 와셔 | F10T-M16 | |



축력비 0%　　축력비 15%　　축력비 25%

[그림2-11-10] 탑앤시트 앵글 전이보 응력 분포형태 및 횡변위

마. 전이보 시스템 실험체 접합부 실험

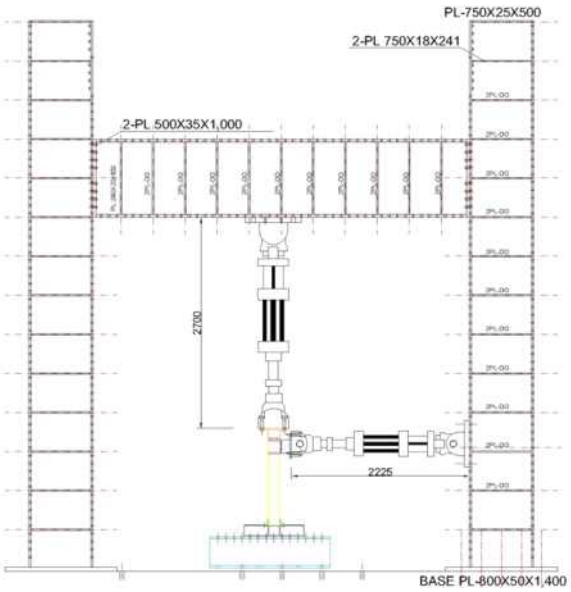
- 강재의 특성 : SS400, E=233,200MPa, Fy=303.16MPa, Fu=438.12MPa, $\varepsilon$ =0.35

(a) 실험체 제원

| | 제원 | 길이 |
|---|---|---|
| 기둥 | H-150×150×7×10 | 1100mm |
| 전이보 | H-150×150×7×10 | 750mm |
| 앵글 | L-75×75×6 | 140mm |
| 볼트, 너트, 와셔 | F10T-M16 | |

(b) 축력비에 따른 축력 가력 하중

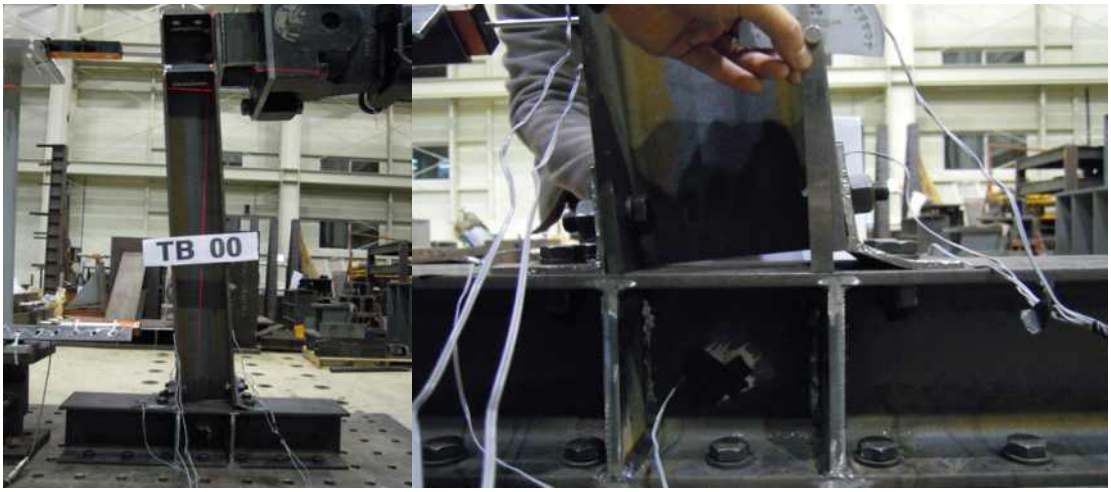
| 축력비 (%) | 축력 가력하중 (kN) |
|---|---|
| 0% | 0 |
| 15% | 140.64 |
| 25% | 234.40 |

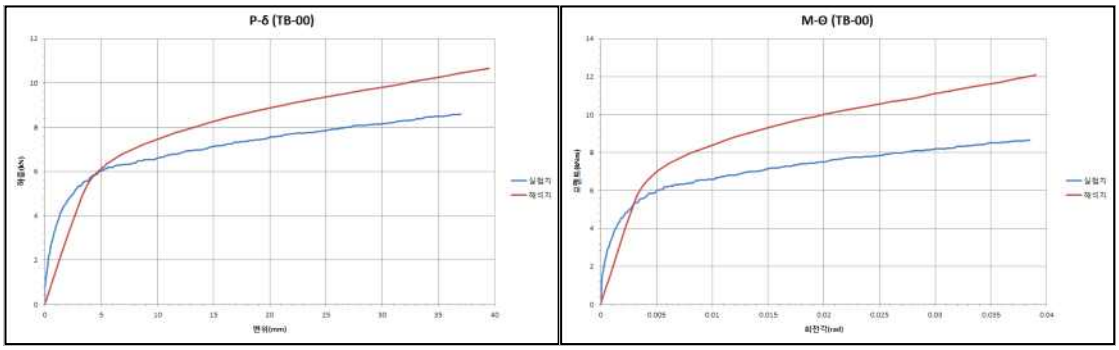



(c) 실험체 설치 도면

[표2-11-7] 전이보 시스템 접합부 실험 개요

- 실험치와 해석치의 P-$\delta$ 및 M-$\theta$를 비교한 결과 유사한 거동의 경향을 나타내었으며, ABAQUS 유한요소 모델링의 적합성이 확인되었음
- 실험치와 해석치를 비교한 결과 해석값이 크며, 초기 하중 가력시 실험치가 크게 나타났다. 축력비 0%, 변위 5mm에서 실험치는 6.02kN, 해석치는 6.13kN으로 1.8%의 차이를, 변위 30mm에서 실험치는 8.49kN, 해석치는 9.81kN으로 약 16.8%의 차이를 나타냄



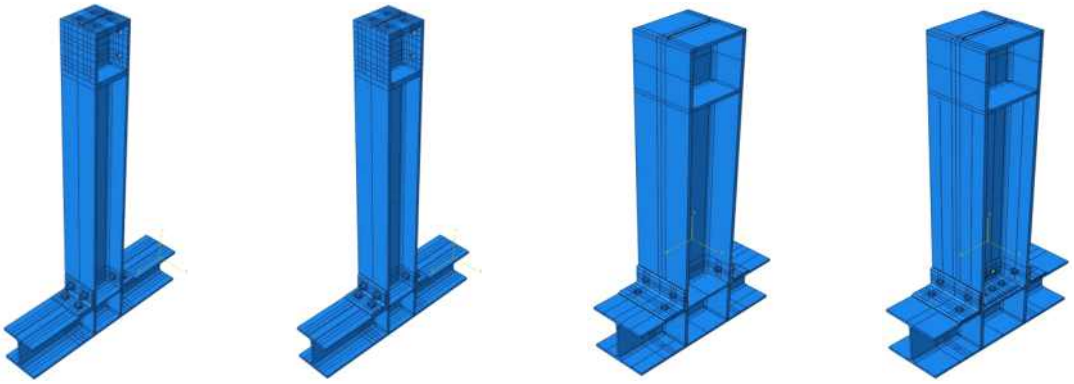




[그림2-11-11] 축력비 0% 실험결과

바. 시설계의 상하부 접합부 해석 및 실험

(1) 해석 모델 개요

- Top and Seat Angle 접합부 및 Top and Seat with Double web Angle을 적용한 전이보 시스템의 구조적 성능을 파악하기 위하여 유한요소 해석을 수행
- 일반적인 반강접 접합부와의 차이점은 기둥의 플랜지 폭과 전이보의 플랜지 폭을 일치시키고, 메탈터치(metal touch)의 형태로 기둥을 전이보에 밀착시킴

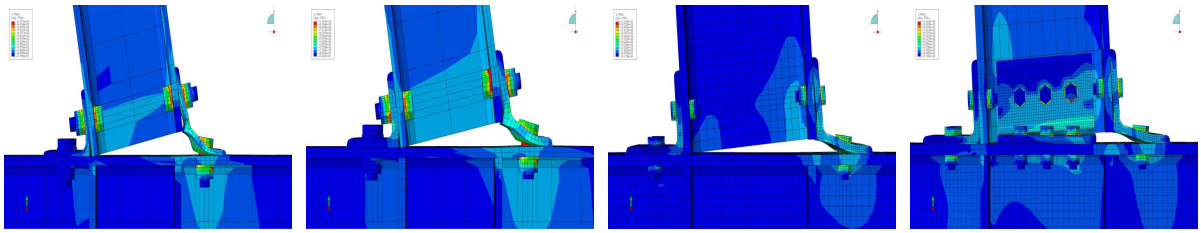



[그림2-11-12] 해석모델 모델링

(2) 전이보 시스템 모델링, 접촉 및 경계조건 설정

- 3차원 유한요소해석을 위한 모델링은 부재간의 접촉 및 지압조건, 볼트의 체결 장력 및 너트의 완전체결 등의 복잡한 현상을 포함하여야 하며, 3차원 유한요소해석에 있어서 해석모델이 실제 접합부의 거동과 가장 유사하게 모델링하기 위해서는 접촉부재사이의 접촉면 조건을 설정하는 것이 중요함

(3) 전이보 시스템 상세해석 결과



[그림2-11-13] 응력분포

(4) 시설계 상하부 접합부 Mock-up 실험

(가) 실험 모델 개요

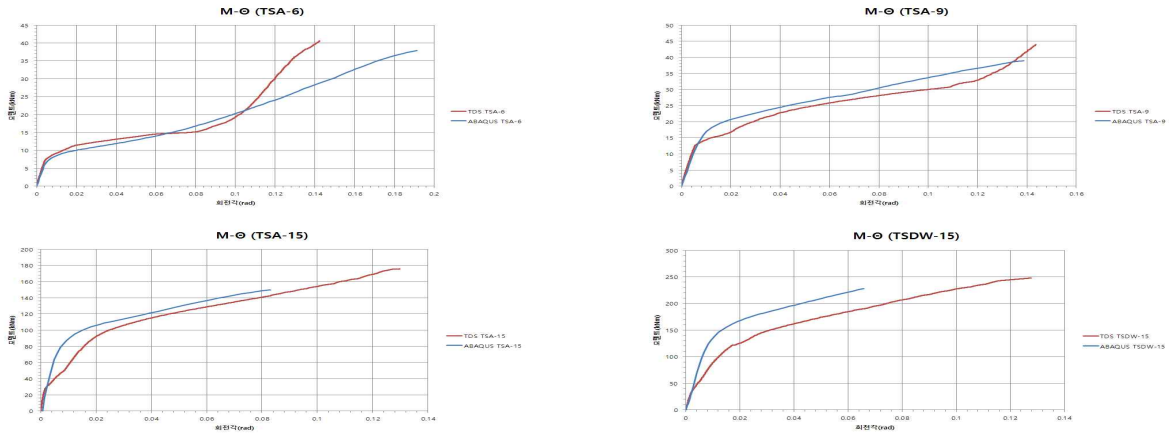
- 실험체는 해석 모델과 같은 제원으로 제작 및 조립됨
- 축소모델은 변위제어 3mm/min로 횡력 가력, Mock-up모델은 변위제어 2mm/min로 횡력 가력함




[그림2-11-14] 각 실험체 세팅 사진

(나) 시설계 상하부 접합부 해석 및 실험 결과

① 해석결과와 실험결과 비교




[그림2-11-15] 결과 그래프

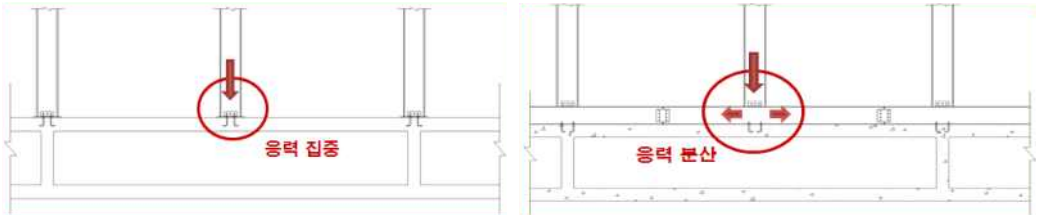
② 결과 분석

- 실험치와 해석치의 M-$\Theta$ 그래프를 비교한 결과 유사한 거동의 경향을 나타내었으며, ABAQUS 모델링의 적합성이 확인됨
- 모든 모델은 회전각 0.03이상으로 충분한 회전강성을 나타냄
- 모든 모델은 가력되는 쪽 앵글의 기둥에 접합된 고력볼트에 가장 많은 응력이 집중되므로 고력볼트의 전단파괴를 고려할 필요가 있음
- 축소모델 TSA-6과 TSA-9의 실험결과 Angle의 두께가 얇은 경우, 가력 하중이 증가함에 따라 앵글이 인장재로 거동하여 회전강성이 증가하는 경향을 나타냄

(다) 시설계 상부구조물 구조개념설계

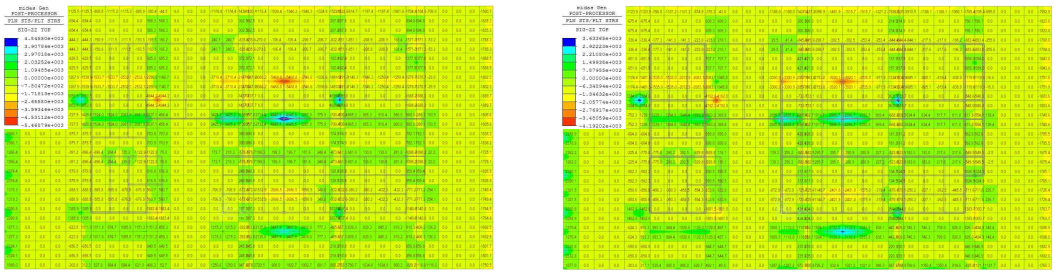
① 전이보 시스템

- 기둥과 격벽이 일직선으로 내려온다면 하중전달에 문제가 없지만, 기둥이 내려온 곳에 함체의 격벽이 없거나 어긋나게 된다면 하중 전달이 원활히 되지 못하고 응력이 집중되는 현상을 초래하며, 응력집중 현상이 심화되면 구조적인 문제가 발생하여 파단이나 파괴에 이르게 됨




베이스 플레이트 전이보 시스템

② 하부 구조물 상부 슬래브 응력분포

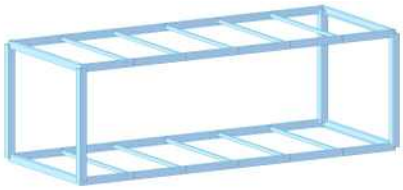


[그림2-11-16] 전이보 있는 경우 및 없는 경우

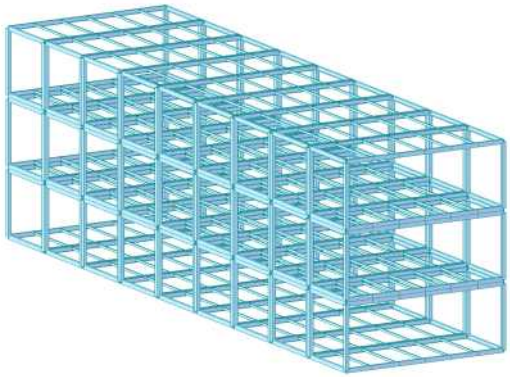
- 전이보가 있는 경우 슬래브에 집중된 최대 압축 응력이 5,469kN/㎡에서 4,192kN/㎡으로 감소함

③ 상부구조 모듈러 시스템

- 모듈러 시스템은 공장에서 제작된 단위 유닛 형상을 현장에서 조립하여 구조체를 완성해가는 공업화 건축을 의미하며, 모듈러 시스템을 구성하고 주요 부재는 경량 형강이며, 벽체와 바닥의 내력 및 비 내력용 구조재로 사용되고, 각형강관 등의 열연강재는 단위 유닛의 양중포인트와 코너에서 기둥 구조재로 사용되며 다양한 형태의 접합방법으로 모듈러 시스템의 구조체로 제작



모듈러 시스템 단일유닛



업무동 모듈러 시스템

**모델 제원**

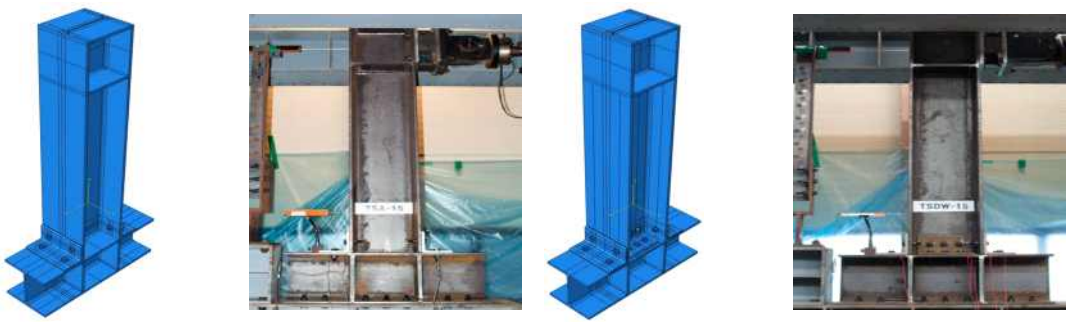
| | |
|---|---|
| 길이 | 7.2m |
| 너비 | 2.85m |
| 높이 | 3.1m |
| 기둥(SPSR400) | □-150×150×5 |
| 큰보(SS400) | C-200×90×8×13.5 |
| 작은보(SPSR400) | □-100×50×3.2 |

[그림2-11-17] 모델 제원 및 도멜 시스템

사. 상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술

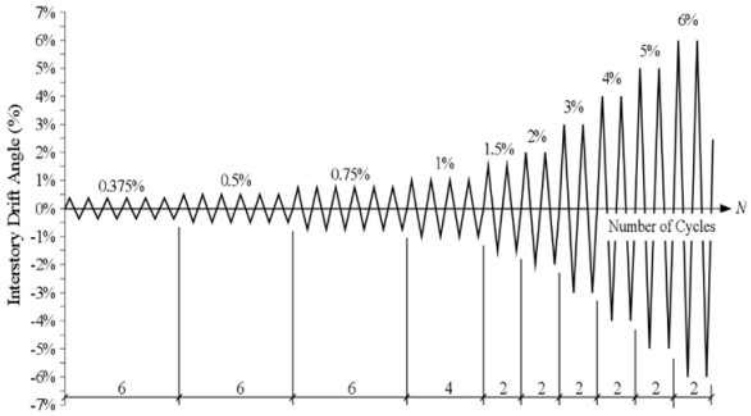
(1) 상하부 접합부 준정적 재하실험

- 전이보 시스템 접합부의 반복하중에서의 성능을 알아보고자 TSA-15와 TSDW-15 모델에 대하여 준정적 해석을 수행하였다. 해석모델의 가력 조건은 SAC Loading Protocol에서 제시하는 하중이력에 따라 1mm/sec의 가력 속도로 기둥의 상단부에 변위제어를 실시함



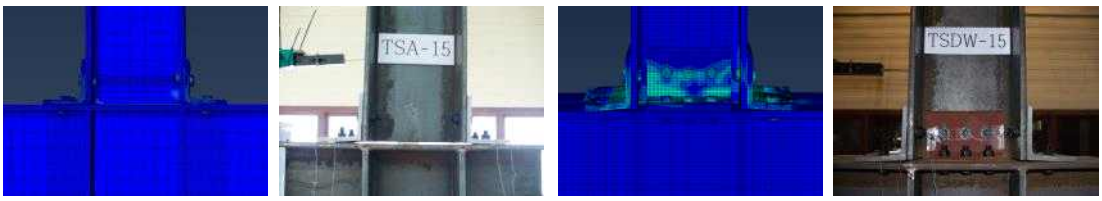
(a) TSA-15 (b) TSDW-15

[그림2-11-18] 해석모델 모델링과 실험체 사진




[그림2-11-19] SAC Loading Protocol

- 유한요소해석결과 가력초기 회전강성($K_e$)은 TSA의 경우 18048 kNm/rad, TSDW는 22167 kNm/rad 정도이며, 항복이후 소성회전강성($K_p$)는 TSA의 경우 1504 kNm/rad, TSDW는 2230 kNm/rad 정도로 TSA보다 TSDW가 탄성구간에서는 20% 소성구간에서는 약 48% 정도 회전강성이 높은 것으로 나타났다. 회전각 0.04rad에서의 휨모멘트는 TSA의 경우 140.9 kNm, TSDW는 201.0 kNm로 강도 역시 TSDW가 TSA보다 43% 높게 나타남.
- 해석 초기의 작은 변형각에서는 미끄러짐이 없이 탄성거동을 하지만, 해석이 진행됨에 따라 변형각이 커지는 구간에서는 푸쉬오버 해석 및 수평하중 가력실험과 마찬가지로 미끄러짐이 발생하는 것으로 판단된다. 소성변형이 본격적으로 발생하기 시작하는 0.01rad 이후의 M-$\Theta$그래프에서 나타나듯이 가력방향이 변화하면 탄성력이 복원된 이후 재가력되는 동안에는 접합부의 구조적 변형에 의해 탄소성형태의 거동을 보인 후 이전변형이 끝나는 시점 이후로 소성거동을 보이는 것을 반복하는 것을 확인함.

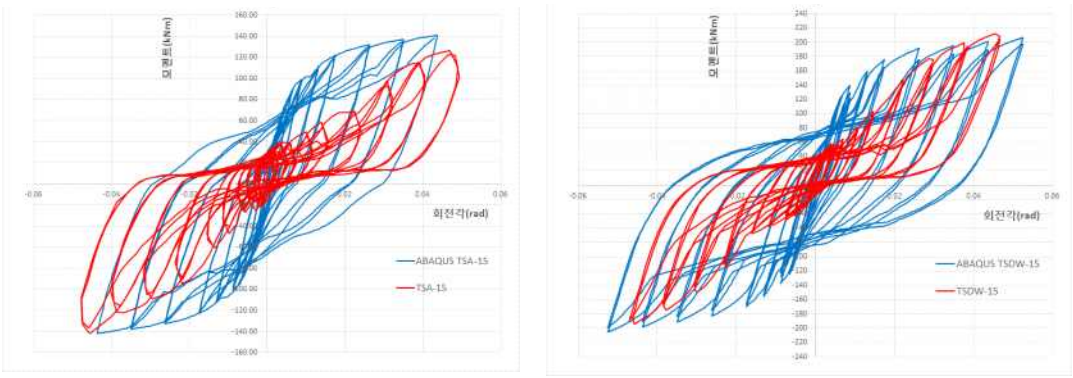



(a) TSA-15 (b) TSDW-15

[그림2-11-20] 해석 후 응력분포와 가력 실험 후 접합부 사진

- 실험결과 가력 초기의 휨강성은 해석결과와 비슷하지만 반복가력횟수가 증가하면서 해석과는 다르게 빠르게 탄소성형태의 거동을 보이는데 이는 볼트접합부의 미끄러짐 현상과 실험체의 제작오차 등으로 인한 것으로 판단된다. 특별지진하중에 필요조건인 회전각 0.04rad에서의 휨모멘트는 TSA의 경우 122.1 kNm, TSDW는 174.1 kNm로 해석결과에 비하여 87%정도이지만 회전각이 증가하면 TSA의 경우 142.0 kNm, TSDW는 208.1 kNm로 해석결과와 비슷하다는 것을 실험결과를 통해 확인함.

- 실험과 해석결과를 비교한 결과 회전각이 0.02rad 정도까지는 해석결과에 비해 실험의 모멘트가 약 45% 정도 작게 나타나며 회전각이 증가할수록 그 오차는 줄어들기 때문에 초기의 볼트접합에 대한 미끄러짐과 제작오차 등에 대한 고려를 해석시에 반영하여 좀 더 실제와 유사한 해석결과를 얻을 수 있을 것으로 판단됨.

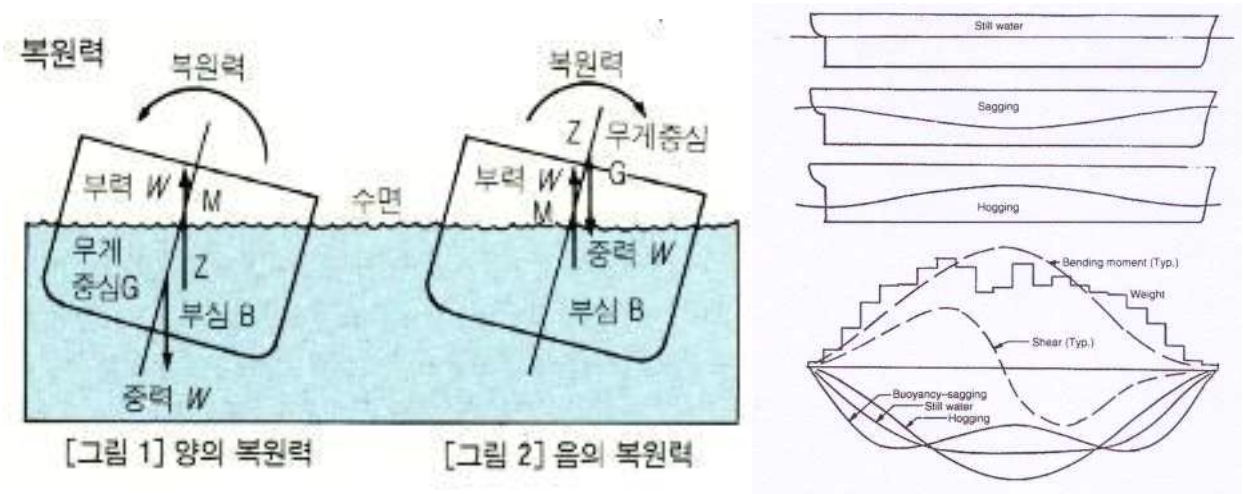



(a) TSA-15 (b) TSDW-15

[그림2-11-21] 해석결과와 실험결과의 M-Θ 그래프

(2) 상부구조 안전성평가지침 개발

- 상부구조 안정성 평가 및 구조설계지침 개발은 플로팅구조물의 상부구조의 안정성에 대한 법규 정비 및 구조적 설계지침을 제정 또는 정비할 때 근거 자료로 활용이 가능함
- 제안지침은 해상조건을 고려하여 다양한 하중과 환경을 고려하여 작성됨




[그림2-11-22]양의 복원력 및 음의 복원력

1. 일반사항 및 범위
1.1 일반사항
1.2 범위

2. 표시, 정의, 약어
2.1 표시
2.2 정의
2.3 약어

3. 재료와 내구성
3.1 해양구조물용 콘크리트
3.1.1 일반(사항)
3.1.2 해양 경량콘크리트
3.1.3 구성재료
3.2 구조재료의 성질 및 특성
3.2.1 콘크리트 강도
3.2.2 해양 경량콘크리트
3.2.3 강재강도
3.2.4 볼트강도

4. 하중산정
4.1 서론
4.2 하중종류
4.2.1 고정하중
4.2.2 활하중
4.2.3 변형하중
4.2.4 사고하중
4.2.5 시공하중
4.2.6 환경하중
4.3 하중조합
4.3.1 KBC2013
4.3.2 DnV지침

5. 설계진행절차
5.1 서론
5.2 설계 요구조건 개요
5.2.1 극한 한계상태
5.2.1 피로 한계상태
5.2.1 연속붕괴 한계상태
5.2.1 사용성 한계상태
5.3 사용성
5.4 복원성능 및 안전성
5.4.1 복원성능의 규준
5.4.2 메타센터 높이
5.4.3 복원력 곡선

부록 A. 바지(Barge) 복원성 계산 예시

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

○ 플로팅 구조물의 상부구조시스템 모듈화 기술 개발 (전문가 평가)

○ 플로팅구조물의 상·하부 접합부 상세해석 기술 개발(전문가 평가, 특허등록)

○ 부유식 건축물 상부구조 안전성평가지침 개발 (기술표준으로 제정 예정)

# 제12절 모듈러 함체 프리패브 설계 기술

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 국내 및 해외 콘크리트 함체 적용 사례를 통한 콘크리트 모듈 연결기법 상세조사 및 분석

○ 프리캐스트 콘크리트 구조실험체를 제작하여 구조 성능평가실험 수행

○ 콘크리트 함체 접합부의 강도 평가식을 제안하여 실험 측정값과 예측값의 비교 분석 수행

○ 모듈 상·하부슬래브의 휨거동 특성 파악

○ 함체 구조시스템 접합부 설계 가이드라인 제시

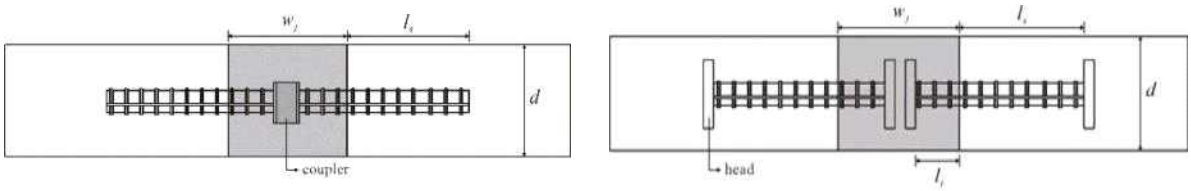
## 2. 연구개발 내용 및 결과

가. 콘크리트 모듈러 함체 접합부 구조성능 평가

○ 함체 구조물의 접합부 설계 기술 현황의 상세 분석 및 성능평가

가. 콘크리트 함체 모듈 접합부의 연결기법 현황 파악

- 철근을 이용한 접합부의 연결기법 현황 조사
- 해양환경에서의 시공의 용이성, 경제성, 구조적 성능 등을 고려하여 콘크리트 함체에 적용이 가능한 접합부 방식에 대한 방법론 검토




(a) 커플러를 이용한 연결기법 (b) 헤디드바를 사용한 연결기법

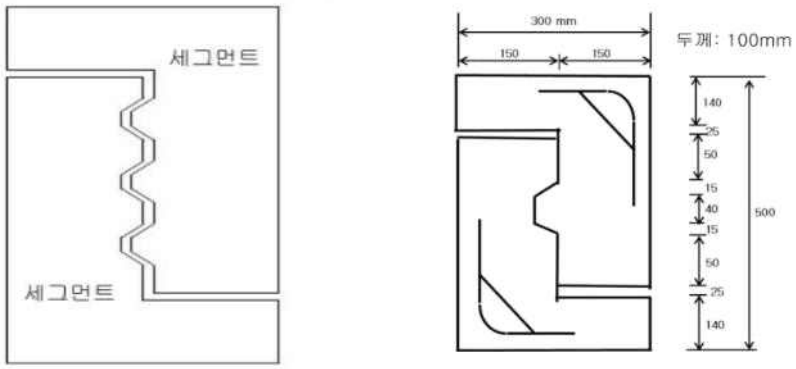
[그림2-12-1] 콘크리트 접합부의 연결기법 사례

나. 전단키를 적용한 콘크리트 함체 모듈 접합 기법 연구

- 사다리꼴 형태의 단일 전단키를 적용한 접합부의 안정성 및 구조검토 수행
- 접합부에서 전단응력과 압축응력을 효과적으로 전달하기 위하여 사다리꼴 전단키를 적용하였으며, 접합부의 전단강도를 확보하는 방안 및 최적의 전단키를 구현하기 위

한 부재 설계를 수행함.

- 전단키의 실험변수는 전단키의 돌출높이는 10~20 mm, 구속응력은 1,2,3 MPa로 설정하였으며, 콘크리트 강도는 60 MPa로 변수를 설정함.

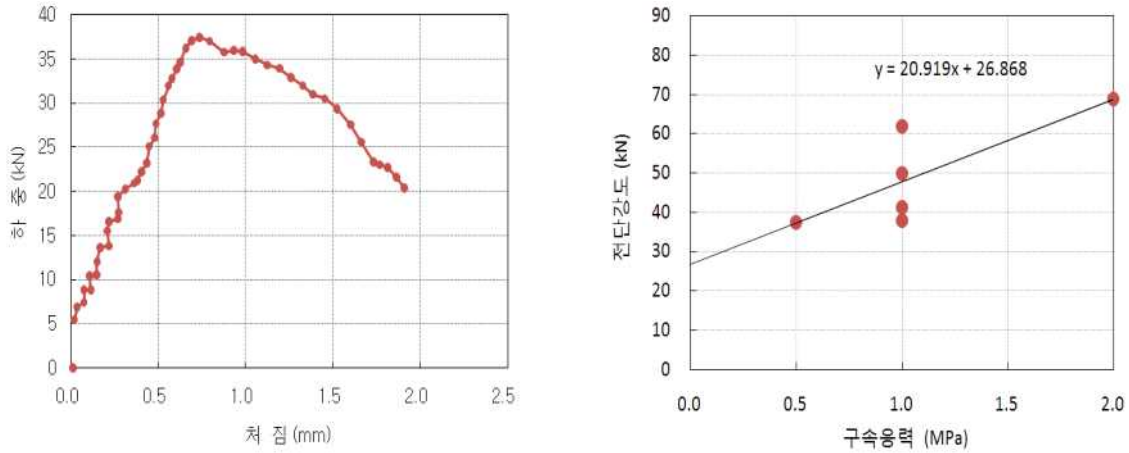



(a) 전단키를 이용한 연결 형상 (b) 접합부 부재 설계

[그림2-12-2] 접합부 구조성능 실험 부재 설계

다. 콘크리트 함체 모듈 접합부의 구조성능평가 수행

- 접합부의 전단면을 따라 초기 균열이 하연에서 발생하여 상연으로 진전되었으며, 최대 하중에 도달함과 동시에 전단면에 걸쳐 파괴를 나타냄.
- 실험결과를 이용한 회귀분석을 통하여 구속응력-전단강도 관계식을 도출함.
- 콘크리트 모듈 접합부의 구조성능 실험결과 및 전단강도 산정 평가식은 함체 모듈 접합부 설계 시에 설계 자료로 적용가능



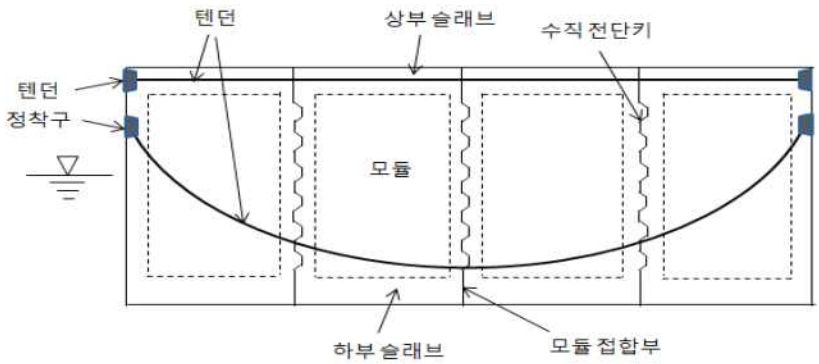

하중-처짐 관계 곡선 모듈 접합부의 전단강도 산정

[그림2-12-3] 하중-처짐 관계 곡선 및 모듈 접합부의 전단강도 산정

○ 콘크리트 함체 구조물 접합부의 성능평가

가. 프리캐스트 모듈 구조의 시공 및 연결기법 개발

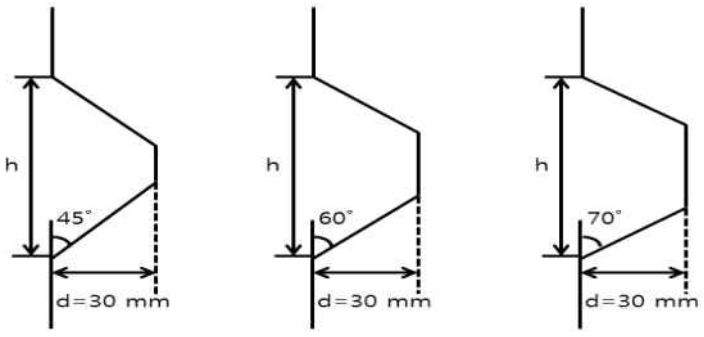
- 여러 개의 작은 모듈(module) 단위로 제작한 후, 각 모듈을 일체화하여 최종적으로 하나의 단일 구조물로 제작하는 시공절차를 적용하는 것으로 계획함.
- 콘크리트 모듈은 상부슬래브, 하부슬래브 및 벽체로 구성되며, 콘크리트 모듈은 내부에 시설물을 설치할 수 있도록 중공단면(hollow section)으로 시공함.
- 해상 또는 수상에서 여러개의 콘크리트 구조체 모듈을 연결해야 하므로 해수의 파랑, 태풍 등의 유동에 대한 안정성을 확보해야함.
- 모듈 단위를 이용한 시공과정에서 각각의 모듈의 접합기능과 구조적 성능을 최대한 유지할 수 있도록 접합하는 방법을 제시하였음.




[그림2-12-4] 플로팅 콘크리트 함체 구조물의 측면도

나. 접합부의 구조성능 평가

- 프리캐스트 콘크리트 모듈 접합부의 구조성능평가를 수행하였으며, 실험 변수는 전단키의 돌출높이(d), 경사각은 (45°,60°,70°), 횡방향 구속응력(1,2,3 MPa), 콘크리트 강도(24, 40 MPa)를 설정하여 실험을 수행하였음.

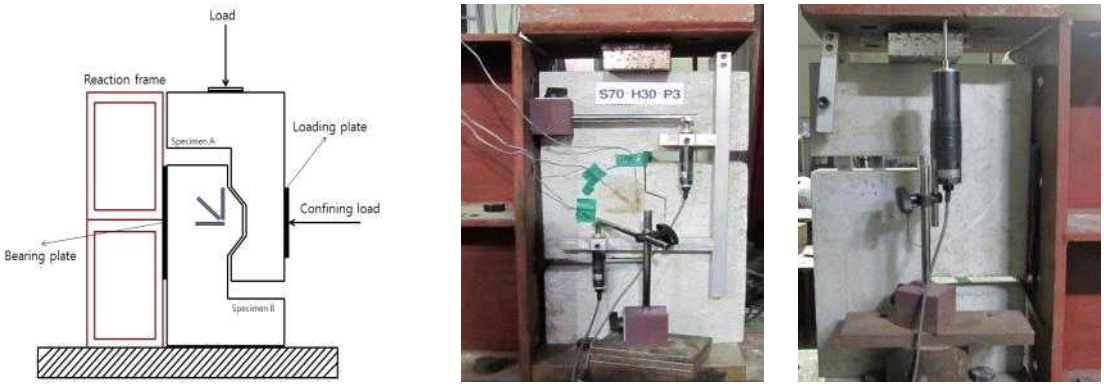



(a) 경사각 45° (b)경사각 60° ⓒ경사각 70°

[그림2-12-5] 전단키의 형상

- 실험 부재의 경우, 높이 500 mm, 폭 300 mm, 두께 100 mm로 제작하였음.
- 전단키 부근에 콘크리트 변형률 게이지를 부착하여 전단키에 발생하는 응력상태를 파

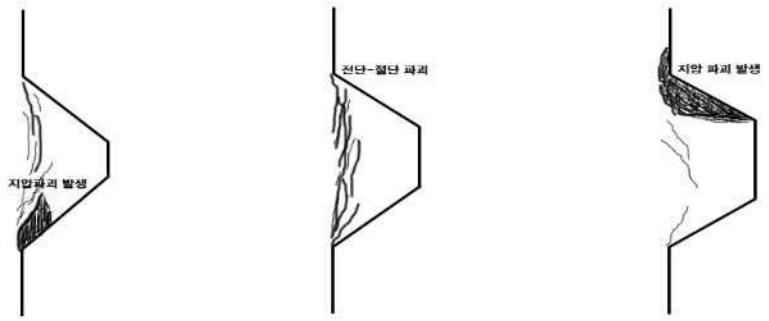
악하였음.




(a) 실험장치 개략도 (b) 부재 전면부 (c) 부재 후면부

[그림2-12-6] 접합부 강도성능평가 실험 형상

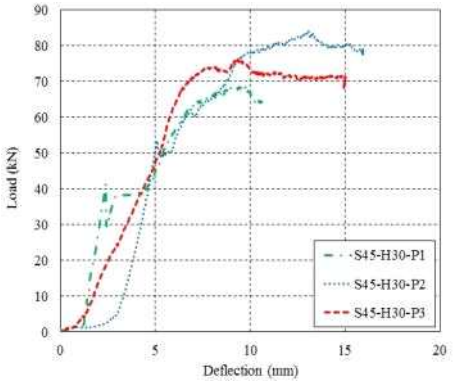
- 초기균열의 경우, 전단키 하부와 복부 중앙에서 사인장균열이 발생하며, 횡방향 구속응력이 작은 경우 전단키 하부에서 지압에 의한 파괴가 발생하고, 구속응력이 3 MPa의 경우 전단키 접합면에서 전단-절단 파괴(shear-off failure)가 발생하는 것을 관찰하였음.



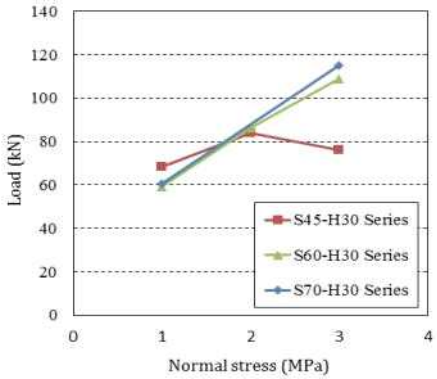

(a) 경사각도 45° (b) 경사각도 60° (c) 경사각도 70°

[그림2-12-7] 경사각도에 따른 최종균열 및 파괴 형상

- 횡방향 구속응력과 경사각도가 증가될수록 하중은 더욱 증가되는 경향을 나타냄.
- 콘크리트 강도가 24 MPa급은 실제 구조물에 적용할 경우 부적합 하다고 판단됨.
- 전단키 부근에서 콘크리트 변형률 게이지의 데이터를 분석한 결과 하중이 가력되기 전에 인장영역에 존재한 후 횡방향 구속응력이 가력되기 시작함과 동시에 압축영역으로 변화되는 형상을 관찰함.




(a) 하중-처짐 관계 곡선




(b) 횡방향 구속응력에 따른 전단강도

[그림2-12-8] 실험결과

다. 접합부의 수치해석을 통한 구조성능 평가

- 실험을 통하여 측정된 접합부의 전단강도를 기초로 하여 미국의 AASHTO에서 제안한 수치해석 예측식과 Rombach & Specker가 제안한 제안식을 가지고 실험값과 예측값을 비교 분석함.
- 1차년도와 2차년도의 전단강도 실험을 통해 축적된 실험결과를 축적하여 접합부의 강도평가와 기법을 제안할 수 있는 유용한 설계 자료로 활용함.

[표 2-12-1] 수치해석 제안식과 실험값의 비교 분석 결과

| 부 재 | 콘크리트 강도(MPa) | 실험값 (kN) | 예측값 (kN) | 예측값/ 실험값 |
|---|---|---|---|---|
| S45-H30-P1 | 24 | 48.83 | 46.88 | 0.96 |
| S45-H30-P2 | | 98.29 | 59.85 | 0.61 |
| S45-H30-P3 | | 86.26 | 72.82 | 0.84 |
| S60-H30-P1 | | 58.46 | 46.88 | 0.80 |
| S60-H30-P2 | | 41.20 | 59.85 | 1.45 |
| S60-H30-P3 | | 88.86 | 72.82 | 0.82 |
| S70-H30-P1 | | 66.69 | 46.88 | 0.70 |
| S70-H30-P2 | | 76.85 | 59.85 | 0.78 |
| S70-H30-P3 | | 79.83 | 72.82 | 0.91 |
| S45-H30-P1 | 40 | 68.54 | 58.78 | 0.86 |
| S45-H30-P2 | | 83.99 | 73.78 | 0.88 |
| S45-H30-P3 | | 76.22 | 88.78 | 1.16 |
| S60-H30-P1 | | 59.51 | 58.78 | 0.99 |
| S60-H30-P2 | | 86.29 | 73.78 | 0.86 |
| S60-H30-P3 | | 108.83 | 88.78 | 0.82 |
| S70-H30-P1 | | 60.72 | 58.78 | 0.97 |
| S70-H30-P3 | | 115.13 | 88.78 | 0.90 |
| 평균 | | | | 0.90 |
| 표준편차 | | | | 0.19 |

(a) AASHTO 제안식과 실험값의 비교

| 부 재 | 콘크리트 강도(MPa) | 실험값 (kN) | 예측값 (kN) | 예측값/ 실험값 |
|---|---|---|---|---|
| S45-H30-P1 | 24 | 48.83 | 34.57 | 0.71 |
| S45-H30-P2 | | 98.29 | 45.62 | 0.46 |
| S45-H30-P3 | | 86.26 | 56.67 | 0.66 |
| S60-H30-P1 | | 58.46 | 34.57 | 0.59 |
| S60-H30-P2 | | 41.20 | 45.62 | 1.11 |
| S60-H30-P3 | | 88.86 | 56.67 | 0.64 |
| S70-H30-P1 | | 66.69 | 34.57 | 0.52 |
| S70-H30-P2 | | 76.85 | 45.62 | 0.59 |
| S70-H30-P3 | | 79.83 | 56.67 | 0.71 |
| S45-H30-P1 | 40 | 68.54 | 50.25 | 0.73 |
| S45-H30-P2 | | 83.99 | 61.30 | 0.73 |
| S45-H30-P3 | | 76.22 | 72.35 | 0.95 |
| S60-H30-P1 | | 59.51 | 50.25 | 0.84 |
| S60-H30-P2 | | 86.29 | 61.30 | 0.71 |
| S60-H30-P3 | | 108.83 | 72.35 | 0.66 |
| S70-H30-P1 | | 60.72 | 50.25 | 0.83 |
| S70-H30-P3 | | 115.13 | 72.35 | 0.72 |
| 평균 | | | | 0.72 |
| 표준편차 | | | | 0.15 |

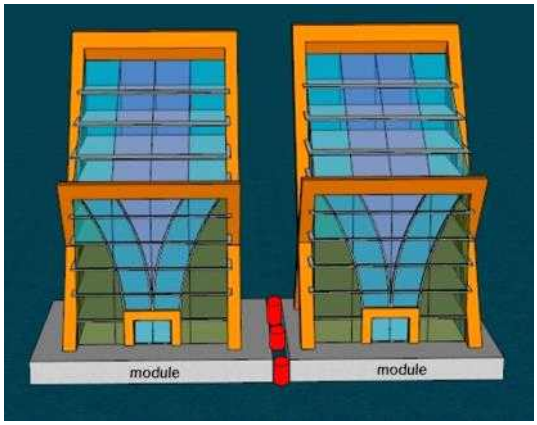
(b) Rom.&Spe. 제안식과 실험값의 비교

○ 구조성능실험을 통한 접합부의 실제적 성능평가 및 검증

가. 콘크리트 플로팅 구조물의 접합부 연결기법 분석




(a) 모듈을 적용한 구조물 시공 1



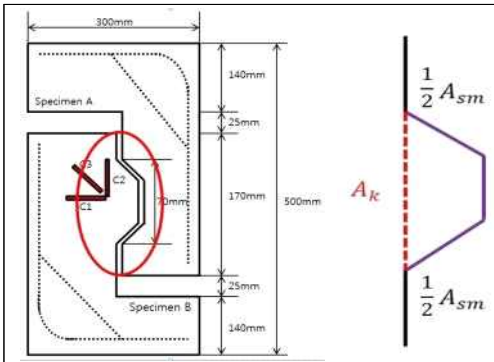

(b) 모듈을 적용한 구조물 시공 2

[그림2-12-9] 플로팅 콘크리트 모듈 접합부 연결기법

- 콘크리트 플로팅 구조물의 경우, 텐던을 콘크리트 모듈의 상부 슬래브와 수직벽체에 배치하며, 텐던 끝단의 정착구를 통해 프리스트레싱 도입 및 정착 작업이 진행된 후 단일 함체가 완성되는 공법
- 판형(slab)으로 실제 부재와 유사하게 모델링하여 접합부 및 판형(slab) 부재에 미치는 휨성능 평가를 위한 변수 계획 및 자료 분석을 수행함.

나. 접합부의 실제적 성능평가 및 검증 그림

[표2-12-2] AASHTO 전단강도 평가 제안식




(a) 제안식의 계산을 위한 변수

$$V_j = A_K\sqrt{6.792\times10^{-3}f_c'}\,(12+2.466\sigma_n)+0.6A_{sm}\sigma_n$$

여기서, $A_K$ : 전단키의 밑면 면적 ($m^2$)

$A_{sm}$ : 평면 연결부 면적 ($m^2$)

$A_{joint}$ : 연결부의 면적 (=$A_K + A_{sm}$)

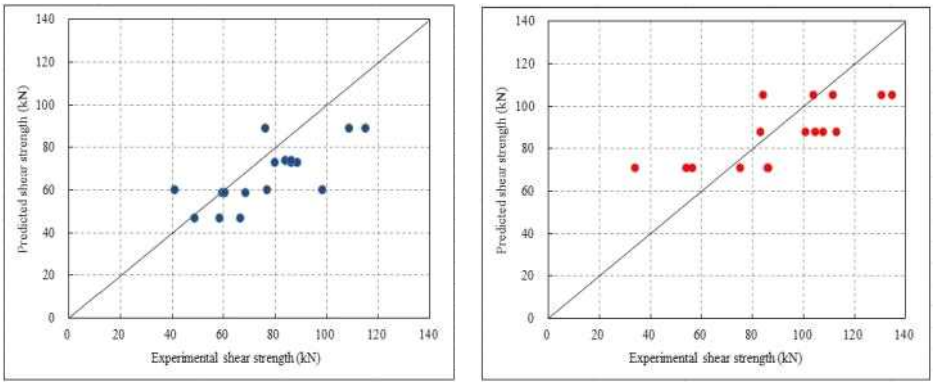
$f_c'$ : 콘크리트 압축강도 (MPa)

$\sigma_n$ : 연결부의 구속응력 (MPa)

(b) 제안식

- 총 3차년도에 걸쳐 접합부의 전단강도 실험을 통해 축적된 자료를 수치해석을 통해, 전단강도 설계 및 안정성 검토 자료를 제시하였음.

- AASHTO 제안식의 경우 전단강도를 전단키의 밑면 부분과 접합부의 평면 부분 면적을 토대로 전단강도를 평가함.
- 보통강도(24, 40 MPa)와 고강도(60 MPa)로 나누어 비교분석하였음.
- 제안식의 계산을 위한 변수 및 제안식은 표 2-12-2에 나타내었음.
- 실험값과 예측값의 강도별로 분석한 결과 예측비가 0.89와 1.00인 것으로 보아 대체적으로 예측값이 실험값에 근접한 것으로 나타내며, 이는 안전한 측면에 속한 것으로 판단됨.



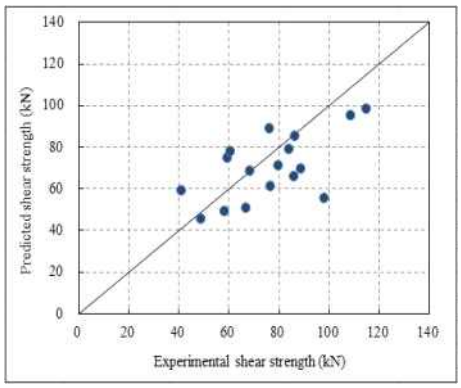

(a) 보통강도 콘크리트 (b) 고강도 콘크리트

[그림2-12-10] AASHTO 예측값과 실험값의 비교 분석

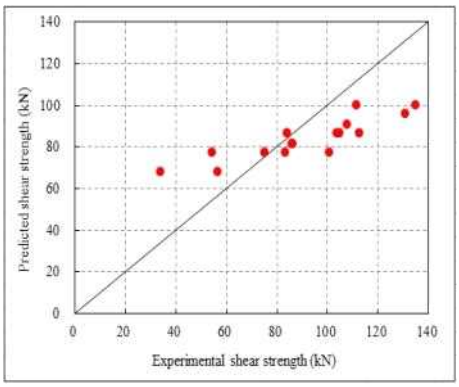
- 전단키의 형상, 구속응력 변화 및 콘크리트 강도 변화에 따른 전단강도 평가 제안식을 제안하였음.
- 보통강도 콘크리트 경우 예측값과 실험값의 비가 0.95, 고강도 콘크리트의 경우 0.97로써 예측값이 실험값에 근접하며 안전한 측면에 속한다고 판단됨.

[표2-12-3] 접합부 전단강도 평가 제안식

| (a) 보통강도 콘크리트 | (b) 고강도 콘크리트 |
|---|---|
| $V_j = \{0.20\,A_K + 0.06A_t\}\,f_c' + 0.60\sigma_n A_{joint}$<br>$A_K$ : 전단키의 밑면 면적 ($m^2$)<br>$A_t$ : 전단키의 상면 면적 ($m^2$)<br>$A_{sm}$: 평면 연결부 면적 ($m^2$)<br>$A_{joint}$ : 연결부의 면적 (= $A_K + A_{sm}$)<br>$f_c'$ : 콘크리트 압축강도 (MPa)<br>$\sigma_n$ : 연결부의 구속응력 (MPa) | $V_j = \{0.13\,A_K + 0.06A_t\}\,f_c' + 0.55\sigma_n A_{joint}$<br>$A_K$ : 전단키의 밑면 면적 ($m^2$)<br>$A_t$ : 전단키의 상면 면적 ($m^2$)<br>$A_{sm}$: 평면 연결부 면적 ($m^2$)<br>$A_{joint}$ : 연결부의 면적 (= $A_K + A_{sm}$)<br>$f_c'$ : 콘크리트 압축강도 (MPa)<br>$\sigma_n$ : 연결부의 구속응력 (MPa) |



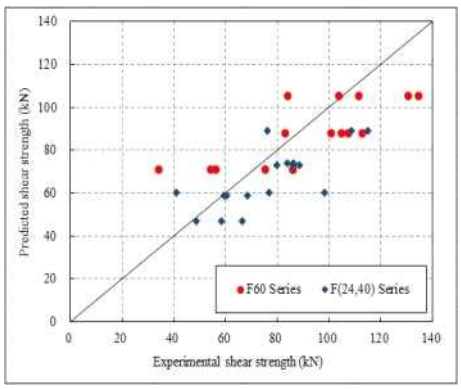

(a) 보통강도 콘크리트



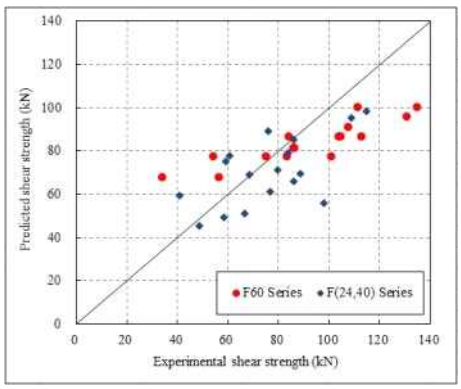

(b) 고강도 콘크리트

[그림2-12-11] 전단강도 평가 제안식의 예측값과 실험값의 비교

- 접합부의 전단강도 실험을 통해 측정된 실험값과 AASHTO 제안식 및 전단강도 평가식을 이용한 예측값의 최종 비교 분석 결과를 그림 2-12-12에 나타내었음.
- 전단강도 평가 제안식의 예측값과 실험값의 비가 1.0에 근접하므로 전단강도 예측 및 구조계산에 유용하게 활용될 수 있음.




(a) AASHTO



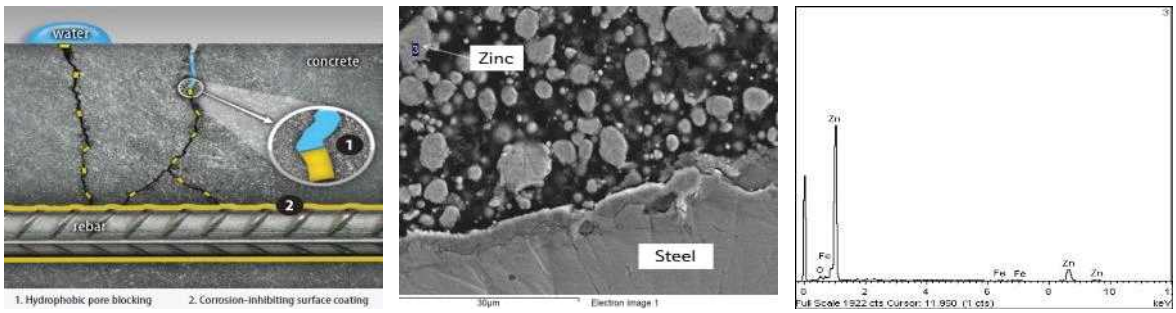

(b) 전단강도 평가 제안식

[그림2-12-12] 실험값과 예측값의 최종 비교 분석

○ 함체 슬래브 구조시스템의 구조성능평가 및 테스트베드 적용성 검토

가. 함체 슬래브 구조시스템 구조성능평가

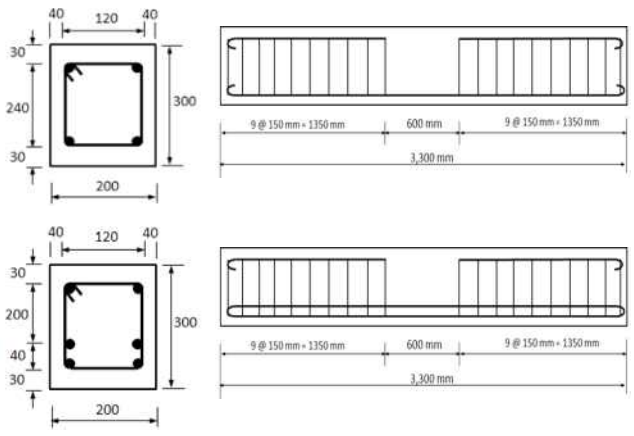
- SEM 기법으로 300배의 촬영 배율을 적용하여 정밀한 아연코팅철근의 코팅두께 측정과 성분분석을 통해 플로팅 콘크리트 구조물의 적용 가능성 파악
- 아연코팅이 거의 균등하게 철근의 표면에 분포하며, 아연성분(Zn)이 코팅 재료의 주성분으로 측정됨.




(a) 코팅철근의 부식방지 (b) 코팅두께 측정 (c) 성분분석

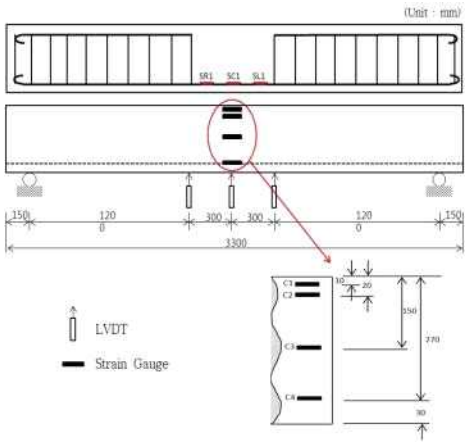
[그림2-12-13] 코팅철근의 분석 자료

- 해양환경에서의 콘크리트 플로팅 구조 부재를 제작하여 휨거동 특성을 파악하였으며 주요 실험 변수로써, 일반철근과 아연코팅철근의 적용유무, 피복두께, 철근량을 각각의 변수로 설정하여 실험을 수행함.



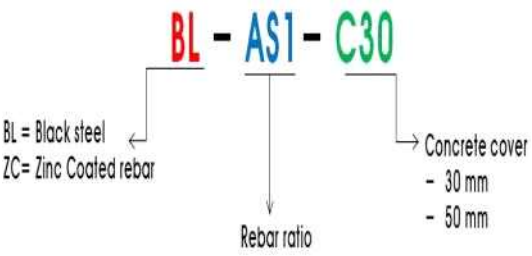

<단면도> <횡단면도>

[그림2-12-14] 실험부재 제원




[그림2-12-15] 측정 시스템

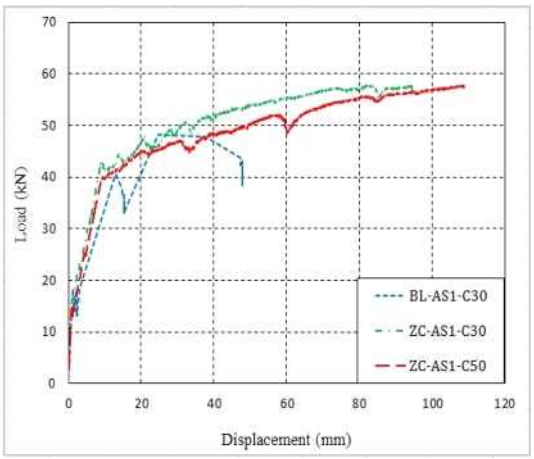
- 부재의 휨 거동 측정 구간인 600 mm에 수직하중이 가력되도록 설정하였으며, 각각의 부재 양 끝단에 롤러 지점을 설치한 후 4점 휨 재하 방법을 적용함.
- 각각의 부재별로 휨 거동, 균열 및 파괴거동, 하중-처짐 관계, 하중-균열 폭 관계를 비교 분석하여, 아연코팅 철근의 적용 가능성 여부를 파악함.



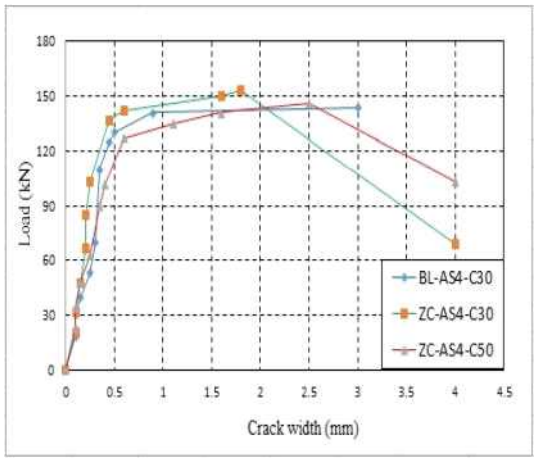

(a) 부재명 체계



(b) 하중가력 시스템




(c) AS1 하중-처짐 관계 곡선




(d) AS4 하중-균열폭 관계 곡선

[그림2-12-16] 휨성능 실험

- 근량이 상대적으로 적은 AS1, AS2 시리즈의 경우 철근이 항복하는 시점이후로, 하중은 증가하지 않고 변위만 증간 이후 실험이 종료되었으며, 철근량이 AS3, AS4 부재들의 경우 극한상태에서 최종 콘크리트 압축파괴로 진전되는 양상을 관찰함.
- 반철근(BL)과 아연코팅철근(ZC)의 평균 균열폭을 분석한 결과, BL 시리즈의 경우 0.91 mm, ZC 시리즈의 경우 0.94 mm로써 균열폭이 유사하게 측정되었으며, 이는 부착성능 또한 유사하다고 판단됨
- 크리트 구조기준(2010)에서는 해양환경에서 적용되는 콘크리트 부재의 피복두께는 100 mm를 갖도록 명시하고 있으나, 아연코팅철근을 구조물에 적용할 경우, 피복두께 감소와 구조물의 규모를 줄일 수 있으며, 내구성 및 경제성을 확보할 수 있는 장점을 갖음.
- 해양환경에서 발생하는 콘크리트 구조물의 염해 침투를 방지하기 위하여, 아연코팅철근을 적용한 결과 부식에 대한 내구성이 뛰어남을 입증하였으며, 콘크리트 플로팅 구조물에 적용함으로써 부식에 대한 내구성을 확보할 수 있을 것으로 판단됨.

나. 콘크리트 폰툰 테스트베드 적용성 검토

- 콘크리트 함체 시설계 모듈구조물에 프리스트레싱 도입과 횡방향 전단키를 적용하여, 전단 및 휨모멘트에 대한 구조 검토를 수행하여 함체 구조물의 안정성 검토

[표2-12-4] 프리캐스트 콘크리트 폰툰 설계

< 단면 제원>
⑴ 폰툰명 : 에코델타시티 콘크리트 폰툰 구조체
⑵ 폰툰형식 : 프리스트레스트 콘크리트
⑶ 폰툰제원 : 64m × 42m × 2m
⑷ 세그먼트제원 : 3m × 2m × 10m

< 사용 재료>
⑴ PS강선 : SWPC 7BN : 12.7 mm
⑵ 콘크리트 : 40 MPa
⑶ 철 근 : 400 MPa

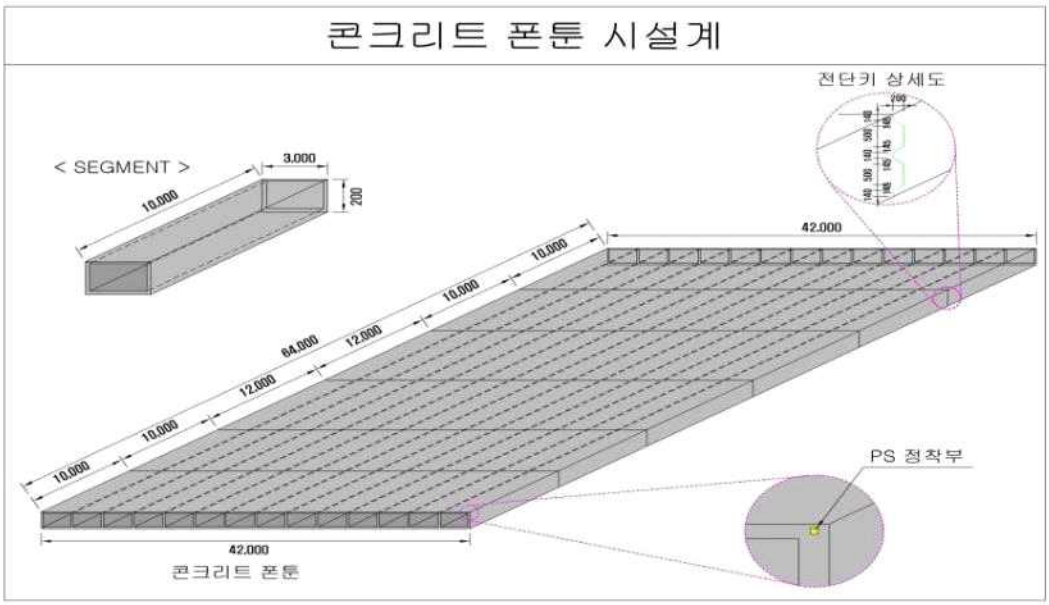
< 휨강도 구조검토 결과>

| 구 분 | $M_u$ (kN · m) | $M_d$ (kN · m) | 검토 결과 |
|---|---|---|---|
| 정적단계 | 34,943 | 2,431,274 | O.K |
| 동적단계 | 20,833 | 2,432,979 | O.K |

< 전단강도 구조검토 결과>

| 구 분 | $V_u$ (kN) | $V_d$ (kN) | 검토 결과 |
|---|---|---|---|
| 정적단계 | 2,507 | 2,667 | O.K |
| 동적단계 | 1,390 | 2,667 | O.K |

- 콘크리트 함체 시설계 모듈구조물에 프리스트레싱 도입과 횡방향 전단키를 적용하여 최종 함체 설계 도면을 작성함.




[그림2-12-17] 콘크리트 폰툰 시설계 도면

○ 콘크리트 함체 구조물 접합 설계기술 적용

가. 융융아연도금철근을 적용한 휨부착 성능평가

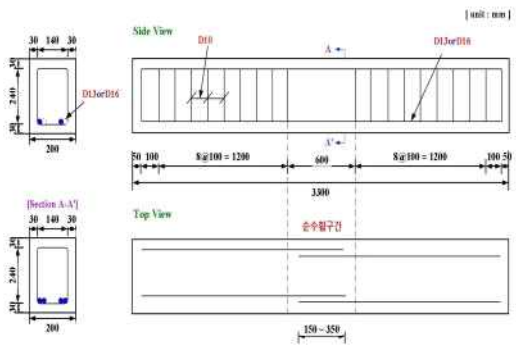
- 일반철근과 융융아연도금철근을 적용한 콘크리트 부재의 휨 부착성능을 평가함.
- 실험변수로는 일반철근과 융융아연도금철근의 적용 유무, 겹이음 길이, 철근의 직경으로 설정하여 콘크리트 부재의 휨 부착성능을 수행함.



(a) 일반철근 및 융융아연도금철근의 비교



(b) 철근의 겹이음 형상



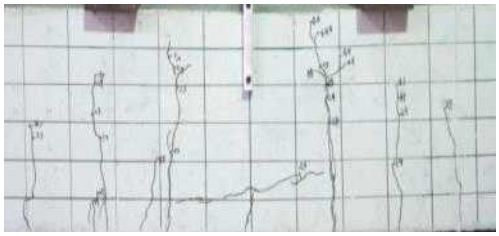

(c) 실험부재 제원



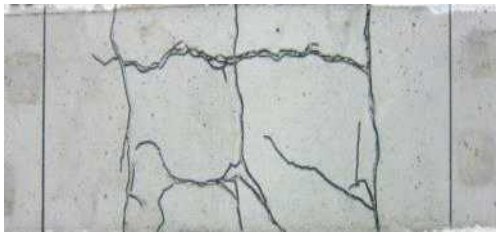
(d) 하중가력시스템

[그림2-12-18] 휨부착성능 평가

- 초기균열이 발생한 후, 하중이 증가됨에 따라 다수의 휨 균열이 발생하며, 극한하중단계에 도달함에 따라 철근의 겹이음 부분에서 수평균열과 함께 부재 밑면에 방사형 균열로 진전되는 것으로 관찰됨.



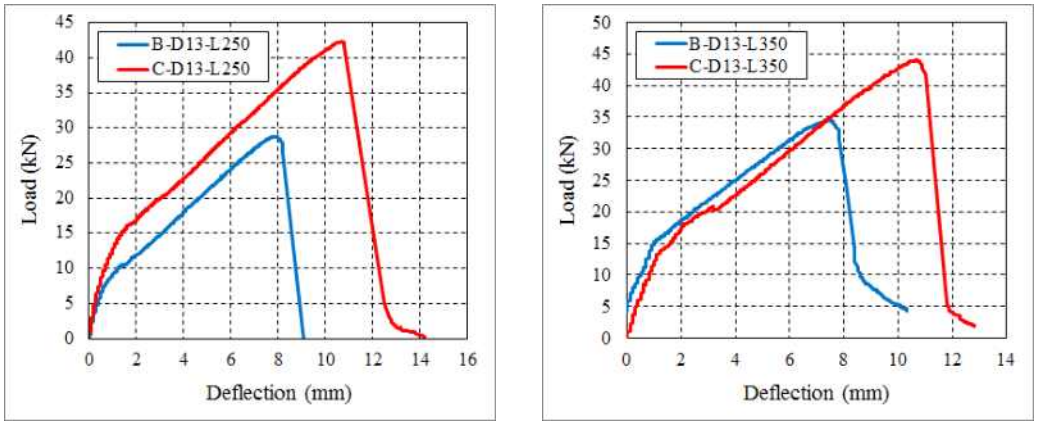
(a) 최종 정면 파괴 형상



(b)최종 밑면 파괴 형상

[그림2-12-19] C-D13-L350 최종 파괴 형상

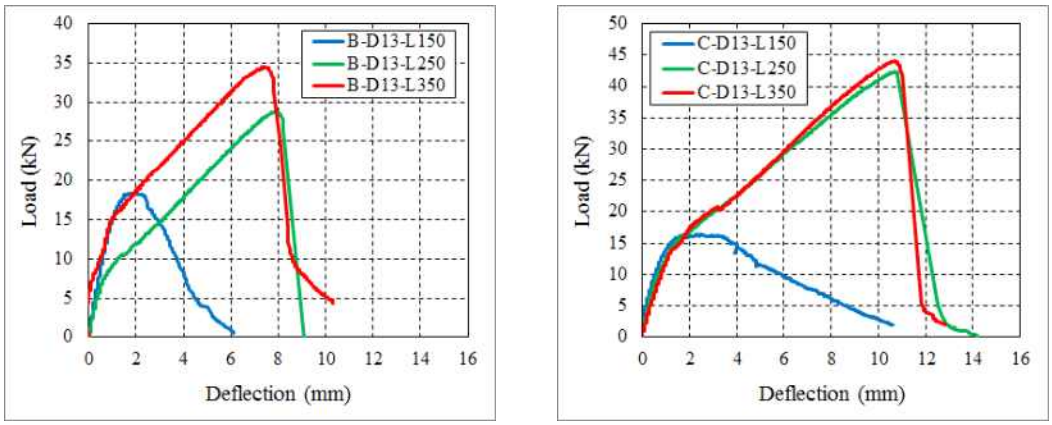
- 하중-처짐 관계 곡선 초기에 탄성 거동을 하다가 균열이 발생 후 강성의 감소가 일어나면서 비탄성 거동을 하며, 극한하중 후 철근 겹이음 부분의 뽑힘 현상에 의해 하중의 급격한 하락이 관찰됨.




(a) 겹이음길이 250mm (b) 겹이음길이 250mm

[그림2-12-20] 하중-처짐 관계 곡선 비교 (일반철근 vs 용융아연도금철근)

- 겹이음 길이가 250mm일 때 일반철근 콘크리트 보의 극한하중은 28.8kN이며, 용융아연도금철근 콘크리트 보는 42.4kN이고 350mm일 때 일반철근 콘크리트 보는 34.5kN, 용융아연도금철근 콘크리트 보는 44.0kN으로 관찰됨.
- 일반철근과 용융아연도금철근 콘크리트 보의 하중-처짐 관계 곡선의 경향은 비슷하나 일반철근에 비해 용융아연도금철근 콘크리트 보의 극한하중이 큰 것으로 관찰됨.



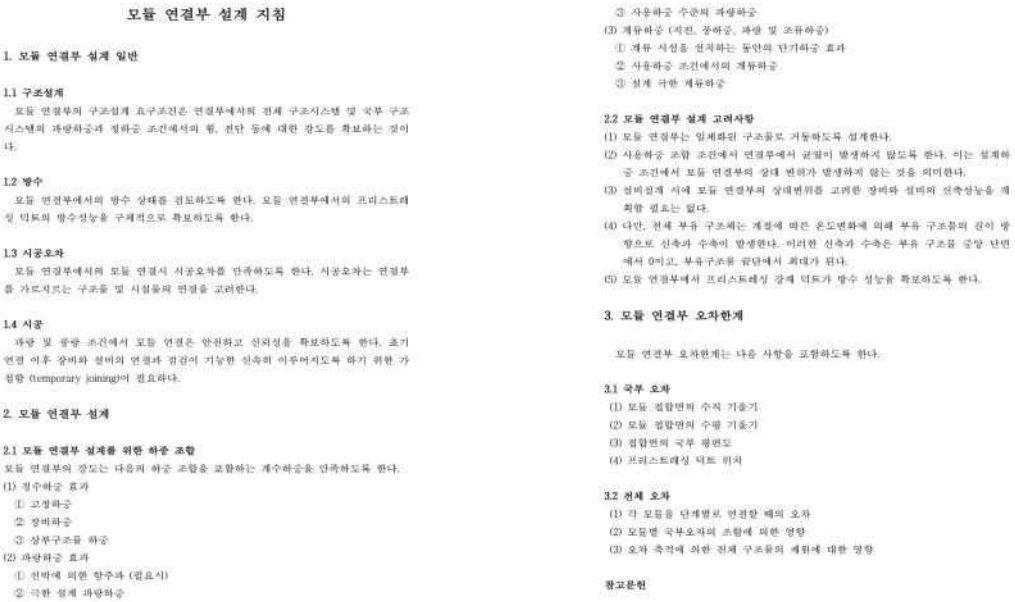

(a) 일반철근 (b) 용융아연도금철근

[그림2-12-21] 하중-처짐 관계 곡선 비교 (겹이음 길이 - 150, 250, 350 mm)

- 철근의 겹이음 길이에 따른 하중-처짐 관계 곡선 비교 시 일반철근과 용융아연도금 철근 모두 겹이음 길이가 길수록 극한하중 값이 큰 것으로 관찰됨.

나. 모듈 연결부 설계 지침 제안

- 콘크리트 함체 모듈 연결부를 설계하기 위한 지침을 제안함.
- 제안 지침은 모듈 연결부 설계 일반, 모듈 연결부 설계 및 모듈 연결부 오차한계 등으로 구성.



모듈 연결부 설계 지침

1. 모듈 연결부 설계 일반

1.1 구조설계
모듈 연결부의 구조설계 요구조건은 연결부에서의 전체 구조시스템 및 국부 구조시스템의 파괴하중과 정하중 조건에서의 휨, 전단 등에 대한 강도를 확보하는 것이다.

1.2 방수
모듈 연결부에서의 방수 상태를 검토하도록 한다. 모듈 연결부에서의 프리스트레싱 덕트의 방수성능을 구체적으로 확보하도록 한다.

1.3 시공오차
모듈 연결부에서의 모듈 연결시 시공오차를 만족하도록 한다. 시공오차는 연결부를 가로지르는 구조물 및 시설물의 연결을 고려한다.

1.4 시공
파랑 및 풍랑 조건에서 모듈 연결은 안전하고 신뢰성을 확보하도록 한다. 초기 연결 이후 장비와 설비의 연결과 결합이 기능한 신속히 이루어지도록 하기 위한 가설함 (temporary joining)이 필요하다.

2. 모듈 연결부 설계

2.1 모듈 연결부 설계를 위한 하중 조합
모듈 연결부의 강도는 다음의 하중 조합을 포함하는 계수하중을 만족하도록 한다.
(1) 정수하중 효과
① 고정하중
② 장비하중
③ 상부구조물 하중
(2) 파랑하중 효과
① 선박에 의한 항주파 (필요시)
② 극한 설계 파랑하중
③ 사용하중 수준의 파랑하중
(3) 계류하중 (지진, 풍하중, 파랑 및 조류하중)
① 계류 시설을 설치하는 동안의 단기하중 효과
② 사용하중 조건에서의 계류하중
③ 설계 극한 계류하중

2.2 모듈 연결부 설계 고려사항
(1) 모듈 연결부는 일체화된 구조물로 거동하도록 설계한다.
(2) 사용하중 조합 조건에서 연결부에서 균열이 발생하지 않도록 한다. 이는 설계하중 조건에서 모듈 연결부의 상대 변위가 발생하지 않는 것을 의미한다.
(3) 설비설계 시에 모듈 연결부의 상대변위를 고려한 장비와 설비의 신축성능을 계획할 필요는 없다.
(4) 다만, 전체 부유 구조체는 계절에 따른 온도변화에 의해 부유 구조물의 길이 방향으로 신축과 수축이 발생한다. 이러한 신축과 수축은 부유 구조물 중앙 단면에서 0이고, 부유구조물 끝단에서 최대가 된다.
(5) 모듈 연결부에서 프리스트레싱 강재 덕트가 방수 성능을 확보하도록 한다.

3. 모듈 연결부 오차한계

모듈 연결부 오차한계는 다음 사항을 포함하도록 한다.

3.1 국부 오차
(1) 모듈 접합면의 수직 기울기
(2) 모듈 접합면의 수평 기울기
(3) 접합면의 국부 평편도
(4) 프리스트레싱 덕트 위치

3.2 전체 오차
(1) 각 모듈을 단계별로 연결할 때의 오차
(2) 모듈별 국부오차의 조합에 의한 영향
(3) 오차 측정에 의한 전체 구조물의 계획에 대한 영향

참고문헌

[그림2-12-22] 모듈 연결부 설계 지침

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

가. 콘크리트 함체 구조물의 접합부 설계 기술 개발

- ○ 해양환경에서의 시공의 용이성, 경제성, 구조적 성능 등을 고려하여 콘크리트 함체에 적용이 가능한 접합부 방식에 대한 방법론 검토
- ○ 국내외 해양환경에서의 콘크리트 함체 모듈 접합부의 접합기법 분석
- ○ 전단응력과 압축응력의 효과적인 전달을 위한 접합부의 접합기법을 개발하였으며, 접합부의 구조성능 실험을 통해 강도평가 기법을 제안할 수 있는 설계 자료를 구축함.
- ○ 접합부의 구조성능 실험 결과를 바탕으로, 미국 AASHTO에서 제안한 수치해석 예측식과 Rombach & Specker가 제안한 제안식을 가지고 실험값과 예측값의 비교 분석을 통해 구조적 안정성을 확보함.

○ 접합부에서 전단키의 형상, 구속응력 변화 및 콘크리트 강도 변화에 따른 전단강도 평가 제안식을 제안함.

○ 콘크리트 함체 시설계 모듈구조물에 프리스트레싱 도입과 횡방향 전단키를 적용하여 전단 및 휨모멘트에 대한 구조 검토를 수행하여 함체 구조물의 안정성을 확보하였으며, 최종 콘크리트 폰툰 시설계 도면을 작성하였음.

○ 콘크리트 함체 모듈 연결부를 설계하기 위하여 설계 일반, 모듈 연결부 설계 및 모듈 연결부 오차한계 등으로 구성된 모듈 연결부 설계 지침을 제안함.

나. 함체 슬래브 구조시스템의 구조성능평가

○ 해양환경에서 발생하는 콘크리트 구조물의 염해 침투를 방지하기 위한 대안으로써, 용융아연도금철근을 적용한 구조성능평가 실험을 수행함.

○ 용융아연도금철근의 SEM 기법을 통해 적용 가능성을 파악하였으며, 용융아연도금철근을 적용한 콘크리트 구조물의 염해 침투에 대한 내구성이 높은 것으로 판단됨.

○ 용융아연도금철근 대비 일반철근을 적용한 휨성능 및 부착성능 실험을 통해, 해양환경에서의 콘크리트 구조물에 적용가능하다고 판단됨.

○ 콘크리트 구조기준(2010)에서 해양환경에서 적용되는 콘크리트 부재의 피복두께는 100 mm를 갖도록 명시하고 있으나, 용융아연도금철근을 구조물에 적용할 경우, 내구성 및 경제성을 확보할 수 있는 장점을 갖음.

# 제13절 함체의 친환경 콘크리트 적용 기술

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

### 가. 함체용 AAS 결합재의 역학적 특성 평가

○ 결합재 설계 조건에 따른 초결과 종결 평가

○ 결합재 설계 조건에 따른 압축강도 발현 특성 평가

○ 유동성과 압축강도를 만족할 수 있는 결합재 조합 및 설계 프로세스 개발

### 나. 함체적용을 위한 AAS 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 평가

○ 결합재 실내실험 결과를 기반으로 AAS 콘크리트 배합기술 구축

○ OPC 콘크리트 실험결과와 비교하여 안정성 검증

○ 변수에 따른 AAS 콘크리트의 중성화 저항성 평가

### 다. 함체적용을 위한 AAS 자기충전 콘크리트 배합 개발

○ 유동성 및 역학적 특성 평가를 통해 자기충전 콘크리트의 적정 배합비 도출

○ 압축강도, Slump flow, T500, J-ring, U-box, V-funnel 시험 평가

### 라. 함체용 프리캐스트 콘크리트 배합 개발

○ 고온증기양생 방법으로 프리캐스트 콘크리트 양생

○ 프리캐스트 성형에 적합한 AAS 콘크리트 적정 배합비 도출

### 마. 함체 적용을 위한 축소 Mock-up 평가

○ 현장 타설을 위한 자기충전 콘크리트와 프리캐스트 콘크리트의 내구성 평가

○ 양생조건에 따른 염소이온 침투저항성 및 동결융해 저항성 분석

## 2. 연구개발 내용 및 결과

### 가. 함체 적용을 위한 AAS 결합재 개발

- 알칼리 품질계수(Alkali Quality Coefficient, $Q_A$) : 수산화나트륨과 탄산나트륨에 포함된 $Al_2O_3$, CaO, $Na_2O$, $SiO_2$의 첨가량에 따라 강도에 영향을 미침. 각각의 활성화제에 포함된 $Na_2O$의 상호관계에 따라 강도에 영향을 미치며 $SiO_2$는 강도에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단되어 다음과 같은 식으로 표현할 수 있음

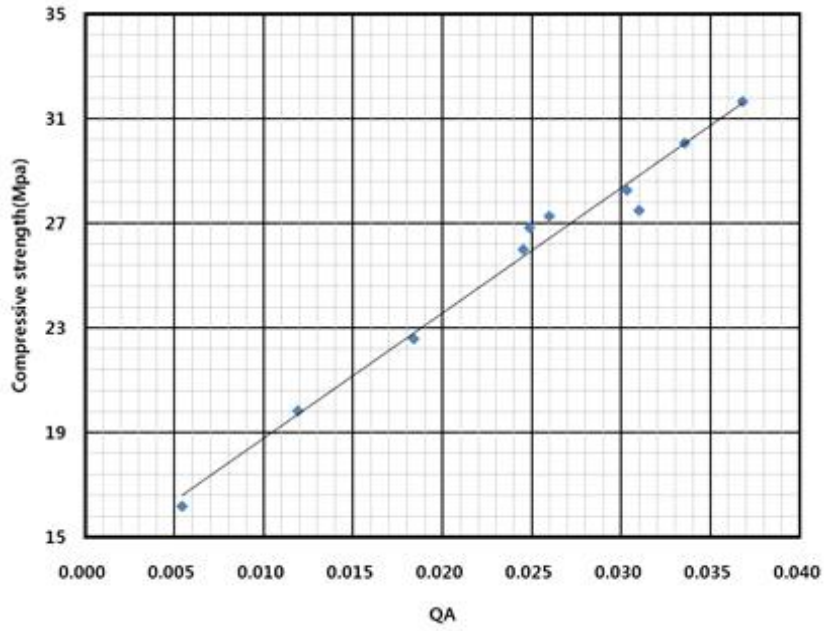
$1.15Na_2O(H) \geq Na_2O(C)$일 경우는

$$Q_A = \left( (Na_2O(H) + Na_2O(C)) \cdot \frac{Al_2O_3 \cdot CaO}{SiO_2^2} \right) / B$$

$1.15Na_2O(H) < Na_2O(C)$일 경우는

$$Q_A = \left( (4.5Na_2O(H) - 2Na_2O(C)) \cdot \frac{Al_2O_3 \cdot CaO}{SiO_2^2} \right) / B$$

$Na_2O(H)$는 전체 바인더 중 수산화나트륨에 포함된 $Na_2O$가 차지하는 비율
$Na_2O(C)$는 전체 바인더 중 탄산나트륨에 포함된 $Na_2O$가 차지하는 비율



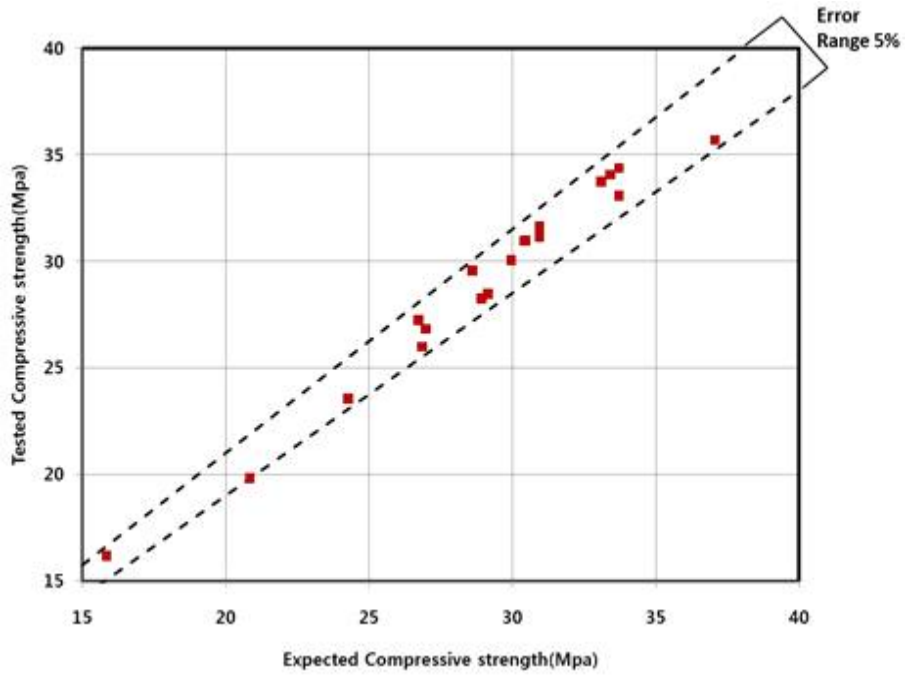

[그림2-13-1] $Q_A$에 따른 압축강도 특성

- 함체적용을 위한 AAS 모르타르의 28일 강도 예측 모델 : 제안된 알칼리 품질계수를 적용하여 수산화나트륨과 탄산나트륨을 활성화제로 사용한 AAS 모르타르의 28일 압축강도를 예측해보면 다음과 같음

$$f'_{28} = 41 \frac{(Q_A \times (S_A/S_{A0} + k_1))^{0.35}}{W/B^{0.9}}$$

$S/B \leq 2.5$이면 $k_1 = (S/B)^{0.5}$이고, $S/B > 2.5$이면 $k_1 = (S/B)^{0.2}$

- $S/B$는 잔골재율을 의미하며, $W/B$는 물/바인더비, $S_{A0}$와$S_A$는 바인더의 분말도와 관련된 계수로 $S_{A0}$는 4,000($cm^2/g$)이며, $S_A$는 사용된 바인더의 분말도로 본 연구에서는 4,204($cm^2/g$)을 사용하였으며 $S_{A0}/S_A$는 1.05임

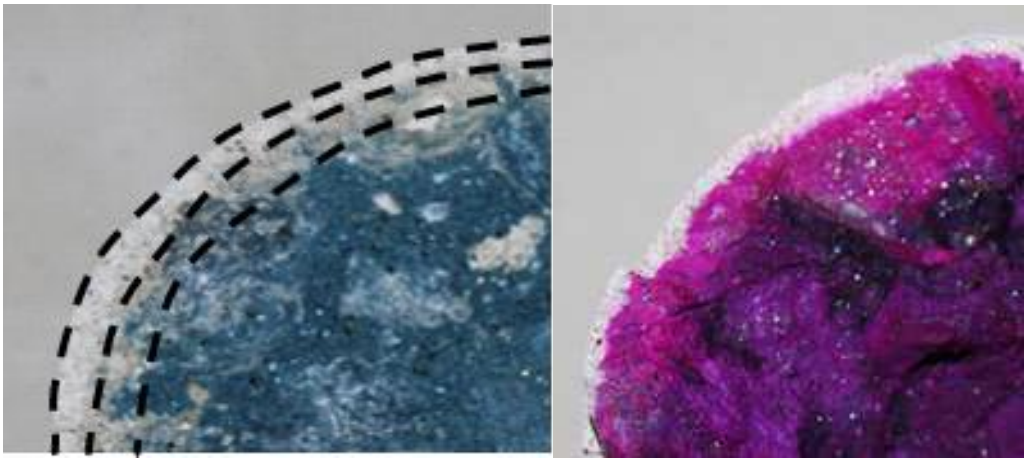



[그림2-13-2] 실험값과 예측모델 값의 비교

나. 함체용 AAS 콘크리트의 중성화 저항성 평가

○ 연구내용

- 염기도 조정을 위한 Mechano-chemical 합성 : Saito에 의한 합성 방법으로 화학적 에너지가 아닌 기계적인 물리에너지를 사용하는 것으로 볼밀의 cage속에 두 가지 이상의 물질을 넣고 실온에서 연마(Milling)
- 염기도를 조정하기 위해 볼밀 cage에 총 모재료 3kg을 넣고 직경 20mm 볼 100개를 넣고 360rpm으로 9시간 밀링 하였으며 cage속의 온도를 실온으로 유지하기 위해 대형 송풍기를 이용하여 cage 외부를 냉각(Cooling)



[그림2-13-3] 백화진행정도와 중성화 깊이

○ 분석 결과

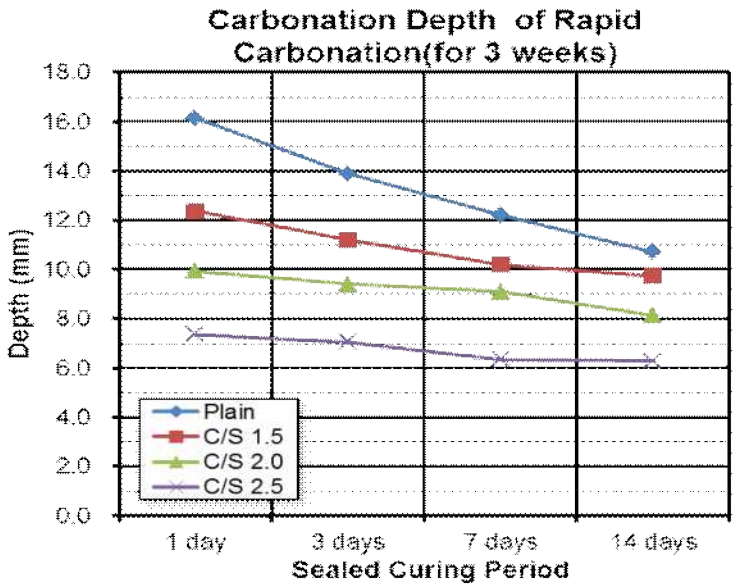
- 촉진 중성화 장치에서 3주간 $CO_2$에 폭기(Aeration)한 시료들의 압축강도를 평가한 결과를 보면 plain 상태에서는 강도가 약 23% 손실됨
- 염기도가 증가할수록 중성화에 의한 강도 손실율은 적어지며, 염기도 2.0이상부터는 중성화에 의한 강도 손실율은 거의 없는 것으로 나타남
- 염기도가 커지면 중성화 후에도 조직의 구조 변화나 붕괴가 거의 없어서 강도 손실이 없는 것을 알 수 있음

○ 중성화 전후의 수화생성물 변화

- 염기도 1.5인 시료는 연마(Milling) 후 어느 정도 CaO peak가 약해지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 Mechano-chemical 방법에 의해 CaO가 다른 물질과 어느 정도 합성된 것으로 판단할 수 있으며 C/S 1.0을 제외한 모든 시료에서 연마(Milling) 후 염기도가 다소 상승하는 특징이 있음
- 염기도 1.5 시료는 연마(Milling) 후 어느 정도 CaO peak가 약해지는 것을 볼 수 있으나 염기도 2.0이상 즉, CaO 첨가량이 많아지면 peak의 변화가 거의 없는 것으로 보아 Mechano-chemical 방법에 의한 합성은 어렵다고 판단됨

○ 중성화 깊이에 영향을 미치는 요소

- 염기도가 증가할수록 중성화에 의한 강도 손실율은 적어짐
- 양생 시 몰드 존치 기간을 늘리면 강도손실이 줄어듬
- OPC 콘크리트와 비교하여 중성화 특성 파악




[그림2-13-4] 밀폐양생에 따른 중성화 깊이(촉진탄산 후)

다. 공극량에 따른 AAS 콘크리트 특성 평가

○ 콘크리트 중의 공극구조

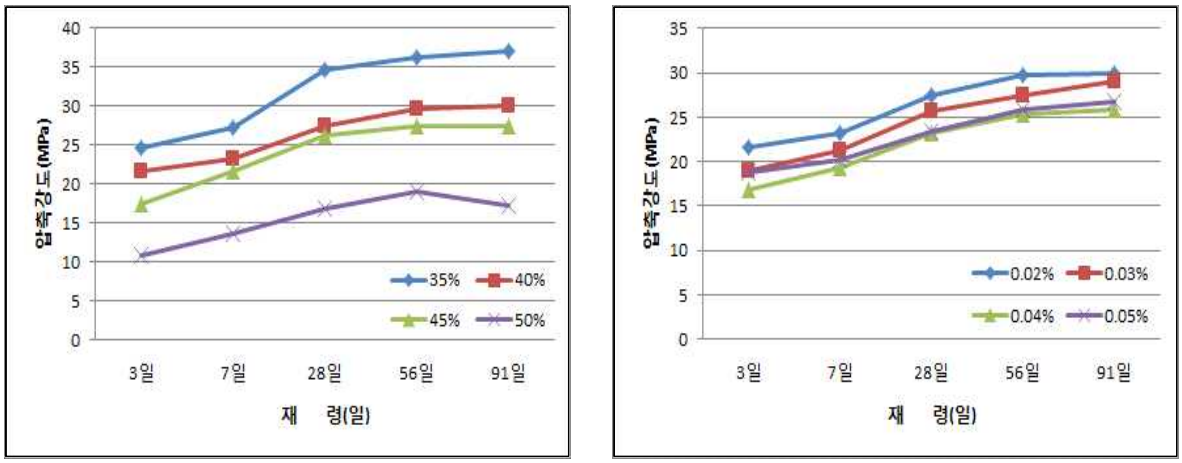
- 시멘트의 수화반응에 의해 수화 전의 시멘트 입자 표면을 경계로 내부와 외부에 수화물이 생성되며 미수화 시멘트 부분 및 수분이 차 있는 부분은 수화반응의 진행과 함께 감소하는데 시멘트 경화체의 수화율이 증가함에 따라 세공의 직경이 큰 공극은 감소하며, 직경이 작은 공극은 증가함
- 콘크리트의 내부에는 미시적으로 스폰지와 같이 다수의 공극 즉, 겔 공극(Gel pore), 모세관 공극(Capillary pore), 모세관 공극보다 큰 기포공극 등이 산재해 있으며 각종 공극의 크기, 모양, 직경별 함유량 등의 분포상태는 콘크리트 구조물의 성능을 결정하는 중요한 역할을 함
- 동해에서는 기포의 분포정도가 수분함유량을 좌우하며 동결될 수 있는 수분량을 결정하고 그 다소에 따라 동해의 정도는 현저한 차이를 나타내고 콘크리트 내부의 기포 크기나 분포상태는 콘크리트의 내구성을 결정하는 중요한 요인으로 작용하며, 구조물의 성능을 판단하는데 중요한 지표로서 사용됨

○ 공극크기에 따른 물리적 특성 변화

- 고로슬래그 기반 AAS 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위하여 물/결합재비 35, 40, 45, 50%로 조정하고, 공기연행제(AE제)의 첨가량을 0.02, 0.03, 0.04, 0.05(%) 조정하여 온도 22.2±2℃, 습도 70%인 항온항습실에서 3, 7, 28, 56일간 양생한 후 압

축강도를 측정

- 재령일에 따라 강도는 증가하는 모습을 보였으나, 물/결합재비 35%에서 50%로 증가함에 따라 강도가 저하되는 경향을 나타내었으며, 공기연행제(AE제)의 첨가량이 증가할수록 강도가 저하되는 양상을 보임

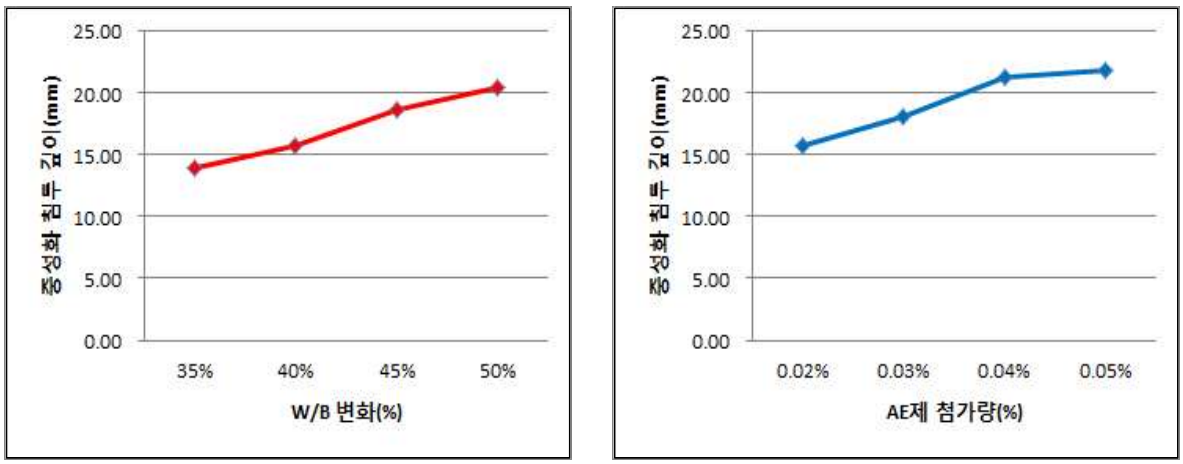



(a) W/B에 따른 압축강도 (b)AE제 첨가량에 따른 압축강도

[그림2-13-5] 변수에 따른 AAS 콘크리트의 압축강도 특성

○ 공극의 크기에 따른 중성화 특성

- 물/결합재비 35%에서 50%로 증가함에 따라 중성화 침투깊이가 증가하는 경향을 나타내었으며 공기연행제(AE제)의 첨가량이 증가함에 따라 마찬가지로 중성화 침투깊이가 증가하는 경향을 보임




(a)W/B에 따른 중성화 침투깊이 (b)AE제 첨가량에 따른 중성화 침투깊이

[그림2-13-6] AAS 콘크리트의 중성화 저항성

라. 탄소저감을 고려한 그린 콘크리트 배합설계 모델 개발

○ 콘크리트의 $CO_2$ 배출량 평가

- 콘크리트 목표강도와 결합재에 따른 전형적인 배합상세에 대한 자료수집
- 각 재료 및 이들의 레미콘 공장까지의 운송수단에 따른 $CO_2$ 배출계수(원 단위)를 결정(LCI Database) (운송거리는 서울을 중심으로 가능한 최대거리를 가정)
- 각 재료의 생산 및 운송에 대한 $CO_2$ 배출계수의 기능단위를 고려하여 콘크리트 생산단계 (배합 및 양생포함) 및 운송단계에서의 $CO_2$ 양 (완성제품의 수송포함)을 산정
- 결합재로서 플라이애시(FA) 및 메타카올린(MK)을 이용한 AA 콘크리트는 고온양생을 고려한 $CO_2$ 배출량을 산정하며, 결과물의 운송 시 레미콘 차량이 아닌 프리캐스트 제품으로 운송됨을 가정

○ 각 콘크리트의 결합재 지수와 탄소 지수의 관계분석 및 모델링

- 결합재 지수 : $B_i = (\text{결합재량})/f_{ck}$
- CO2 지수 : $C_i = (CO_2\text{배출량})/f_{ck}$

① OPC 콘크리트

$$C_i = 0.97\left[\left\{1-\left(R_F + R_G^{1.5}\right)\right\}\times B_i\right]^{1.05}$$

② AAS 콘크리트

$$C_i = 1.15\exp(0.058\times B_i)$$



[그림2-13-7] $C_i$와 $B_i$의 관계식

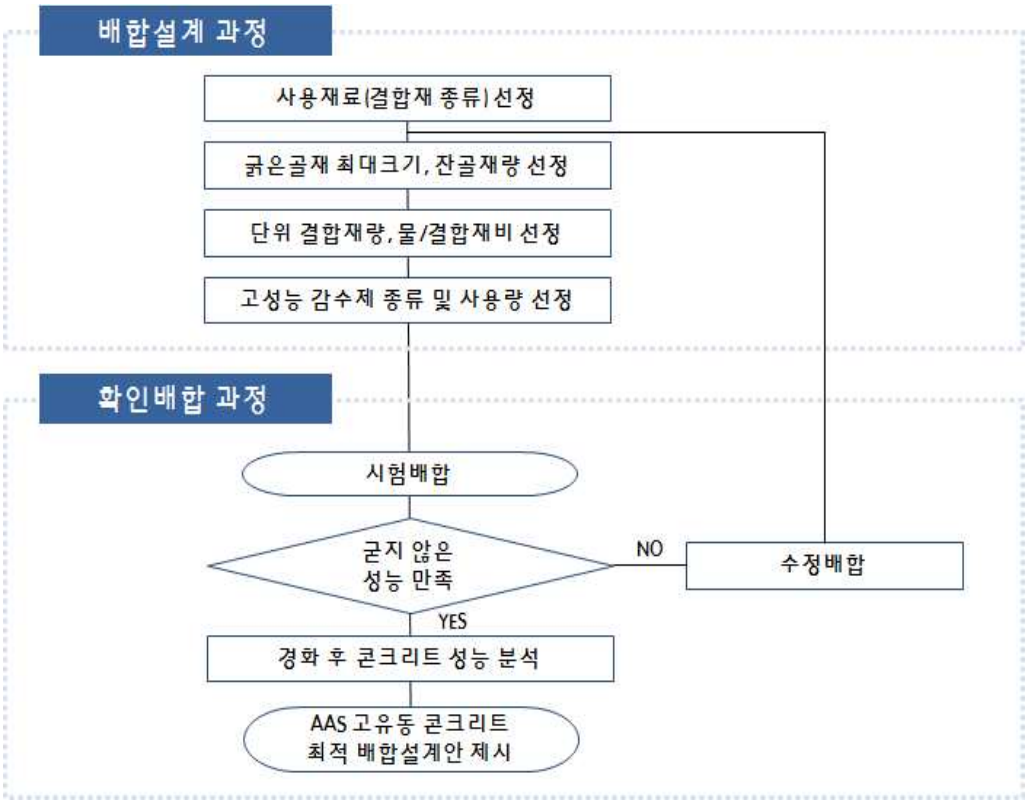
○ 성과내용

- $CO_2$ 평가 프로그램과 연계하여 콘크리트의 요구 성능을 만족하며 탄소저감을 고려한 그린 콘크리트 배합설계 모델 제시
- OPC 콘크리트 대비 AAS 콘크리트의 $CO_2$ 배출 저감율은 45-70% 수준
- AAS 콘크리트 2차제품의 $CO_2$ 배출 저감율은 슬래그 시멘트 제품 대비 20% 수준임 (골재/결합재비 = 3-4인 경우)
- $CO_2$ 지수 및 결합재 지수를 이용하여 콘크리트의 $CO_2$ 배출량을 간단히 예측할 수 있음
- 동일 압축강도에서 AAS 콘크리트의 $CO_2$ 지수는 OPC 콘크리트에 비해 현저히 낮음
- 압축강도 증가에 따른 $CO_2$ 지수 증가 기울기는 AAS 콘크리트에서 낮음
- 원재료로서 고로슬래그를 기반으로 알루미노실리케이트 재료 혼합이 적당함
- 활성화제로서 Na-Si 계열의 알칼리 금속이온 사용의 최소화 필요

마. 함체용 콘크리트 배합기술 개발(자기충전 콘크리트)

○ 실험 목표

- OPC에 비해 AAS 결합재는 Ca계열 활성화제와 PC계열의 고성능 감수제의 조합에서만 높은 감수 성능을 보이는데 이러한 특징을 통해 AAS만을 결합재로 하는 고유동 콘크리트의 배합이 가능한지 확인하기 위해 실험을 통해 검증하고자 함. 또한 단위 결합재량을 조절하여 고유동 콘크리트의 배합을 실시하여 경제성이나 고성능 등 성능기반 배합설계안을 제시할 수 있는지 연구하고자 함




[그림2-13-8] 자기충전 콘크리트 실험 프로세스

○ 실험 계획

– 실험은 단위 결합재량과 물/결합재 비를 달리하여 각각의 배합조건에 따른 유동 특성을 판단하는 것으로써, 먼저 단위 결합재량을 400, 500, 600kg/m$^3$으로 계획함. 단위 결합재량 별로 물/결합재비를 2%씩 달리하여 각각 3수준의 배합, 총 9배합을 실시하여 굳지 않은 상태에서 Slump-flow, T50 time, U-box, J-ring, V-funnel을 통해 유동성과 재료분리 저항성, 충전성을 측정하고 10×20 원주형 공시체를 제작하여 3, 7, 28일 압축강도를 측정함. 그리고 28일 후 쪼갬인장강도 및 동탄성계수를 측정하고 컴프레소미터를 사용하여 알칼리 활성 슬래그 자기치유 콘크리트의 응력-변형률 곡선을 파악함

[표2-13-1] 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 유동특성 및 강도 실험결과

| No | Slump Flow | | J-Ring | U-Box | | V-Funnel | Air (%) | Compressive Strength (MPa) | | | Split tensile (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Flow (㎜) | T50 (sec) | Flow (㎜) | T50 (sec) | Height (㎜) | Flow time (sec) | | 3day | 7day | 28day | 28day |
| 1 | 685 | 11.3 | 670 | 22.1 | 293 | 49.7 | 1.6 | 15.00 | 16.42 | 19.66 | 7.88 |
| 2 | 635 | 19.5 | 565 | 47 | 290 | 69.5 | 1.7 | 17.60 | 18.85 | 23.68 | 8.67 |
| 3 | 685 | 17.8 | 615 | 41.5 | 280 | 94.9 | 1.1 | 15.74 | 16.85 | 20.96 | 7.61 |
| 4 | 705 | 2.3 | 640 | 6.9 | 290 | 12.3 | 4 | 11.27 | 12.69 | 15.48 | 6.84 |
| 5 | 635 | 3.1 | 575 | 10.6 | 295 | 17.1 | 4.9 | 11.87 | 13.88 | 16.56 | 6.29 |
| 6 | 530 | 11.8 | 490 | 27.4 | 290 | 28.2 | 4.1 | 15.41 | 18.32 | 21.45 | 6.33 |
| 7 | 660 | 2.2 | 615 | 5.3 | 285 | 11.9 | 3.9 | 12.89 | 15.08 | 18.59 | 7.28 |
| 8 | 620 | 3.6 | 580 | 8.8 | 285 | 13.4 | 4.3 | 14.24 | 16.66 | 20.38 | 8.59 |
| 9 | 600 | 3.6 | 580 | 9.3 | 290 | 13.9 | 3.1 | 16.25 | 20.17 | 23.69 | 8.98 |

○ 유동성 평가

- 단위 결합재 500kg에 W/B 0.36의 배합을 제외한 모든 배합에서 슬럼프 플로우 650±50mm 정도로 목표 슬럼프치를 달성
- 슬럼프 플로우 T50 도달시간은 단위 결합재량에 따라 다소 차이를 보임. B500과 B600 배합에서는 15초 이내로 목표시간을 충족하였으나 B400배합에서는 11-19초로 목표시간을 다소 초과
- V-funnel 유하시험 결과에서는 위의 차이가 명확하게 나타나는데, 이는 B400 배합이 상대적으로 낮은 단위 결합재량으로 인하여 페이스트의 체적이 감소하고 그로 인해 골재의 체적이 증가하게 되어 항복값 및 소성점도가 커지게 되어 유동성에 손실이 있는 것으로 판단됨
- 결과적으로 낮은 단위 수량에서 상대적으로 낮은 자유수의 비율로 인해 소요 슬럼프를 확보하기 위해서는 높은 고성능 감수제 첨가율이 요구되는 것으로 판단됨

○ 간극 통과성 평가

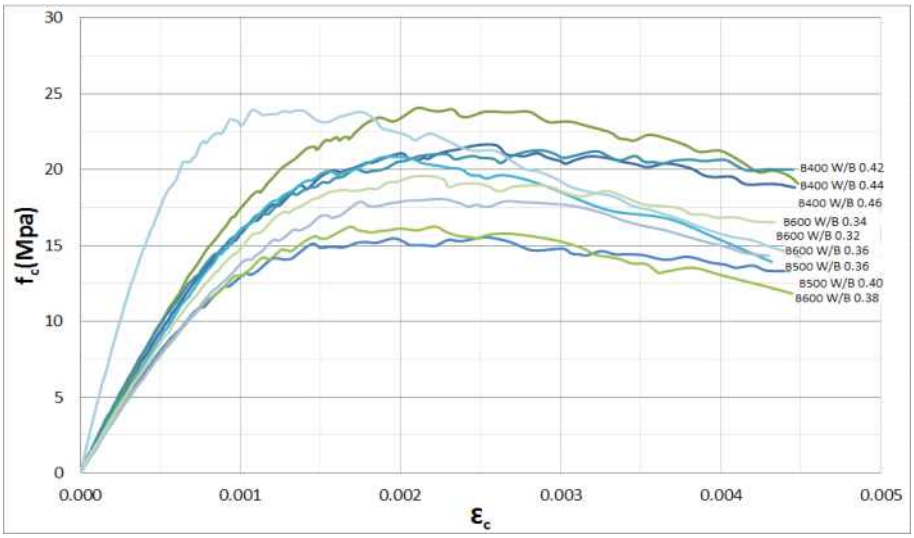
- 모든 슬럼프 플로우는 650±50mm 정도로 요구 슬럼프를 만족하였지만 단위 결합재의 양에 따라 J-ring 플로우와의 차이가 크게 나타났는데 특히 B400 배합에서 두드러짐. 이는 상대적으로 낮은 단위 결합재량으로 인해 콘크리트의 간극통과성이 감소된 것으

로 판단됨. 또한 B400 배합은 항복값과 소성점도가 상대적으로 높아 철근이 과밀배근된 현장적용에는 무리가 있을 것으로 판단됨

- U-box 시험 결과 모든 배합에서 충분한 간극통과성과 충전 성능을 나타냄
- 유동성 실험 결과 AAS 자기치유 콘크리트 배합은 충분히 가능하며 단위결합재의 양이 늘어날수록 슬럼프 플로우 T50 시간과 V-funnel 유하시간이 목표범위에 근접하게 나타남. U-box 시험을 통한 간극통과성은 모두 목표 범위 이내로 나타났으나 B400 배합은 상대적으로 높은 S/B비에 의해 콘크리트의 점성이 증가하여 V-funnel 유하시간과 J-ring 시험결과 자기충전성능이 떨어져 다짐작업 없이 일반적인 구조물에 적용하기에는 적합하지 않을 것으로 보임

○ 강도 특성에 따른 응력-변형률 평가

- 재령 28일에서의 AAS 자기충전 콘크리트 응력-변형률 곡선을 살펴보면, 최고 응력에서의 변형값은 대체로 $2-3\times10^{-3}$의 범위에 있는 것으로 나타났으며, 강도가 높을수록 응력-변형 곡선의 초기 변형이 직선에 가까워짐. 최대하중 이후의 하강응력은 콘크리트의 강도 증가와 비례하여 급격한 응력저하를 가져오는 취성적인 성질을 보이고 있음. 이는 강도가 증가하면 상대적으로 내부 미세 균열이 적게 일어나기 때문에 변형에너지를 흡수하는 능력이 적기 때문인 것으로 판단됨




[그림2-13-9] 강도 특성에 따른 응력-변형률 곡선

바. 함체용 PC 콘크리트 개발을 위한 결합재 선정 시험

○ $Ca(OH)_2$기반 AAS 모르타르 평가

- $Ca(OH)_2$기반 AAS 모르타르에 대한 양생온도와 강도발현 관계를 확인하고자 수행
- 고온양생과 오토클레이브 양생 시 강도는 각각 10, 30MPa 정도 발현되는데, 양생 1일 이후에는 강도 발현이 거의 없음
- 고온양생의 경우 몰드 타설 직후 고온양생과 타설 후 1일 경과 후 고온양생한 시험체를 비교하면 1일 경과 후 고온 양생한 강도가 약 2배 높게 나타남. 하지만 모두 고온양생 이후에는 강도 증진이 없음

○ $Na_2SiO_3$기반 AAS 모르타르 평가

- 활성화제인 규산나트륨의 분말도는 압축강도 발현에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단됨
- 배합 중 급결 현상과 이로 인한 강도 손실을 최소화하기 위해 물유리를 활성화제로 사용한 모르타르 시험과 최적의 물-규산나트륨의 농도를 평가할 시험이 필요
- 규산나트륨 용액은 농도에 따라 점도가 달라지는데, 보통 규산나트륨 용액 1몰의 점성은 용액의 농도 22% 미만에서 1이하지만, 그 이상이 되면 급격하게 점성이 높아짐

○ 증기양생 콘크리트용 결합재 선정

- 4성분계 알칼리 활성화제 조합으로 실험한 결과 주결합제(수산화칼슘, 규산나트륨)에 따라 강도발현에 큰 차이를 보임
- 규산나트륨과 보조 활성화제를 이용하여 실험한 결과, 대기양생조건에서는 강도발현이 20MPa이하의 낮은 강도수준을 보였지만 증기 양생 후 50MPa 수준의 높은 강도를 보이는 특성을 보임
- 추후 알칼리 활성 결합재를 이용하여 PC제품을 생산 시, 자기충전 콘크리트에 적합한 수산화칼슘 기반 결합재보다 규산나트륨과 보조활성화제를 이용한 결합재가 PC제품에 적합한 결합재로 판단됨

[표2-13-2] 콘크리트 시험 배합비

| | 용량 (L) | W/B (%) | S/A (%) | 단위 수량 (kg) | 단위 결합 재량 (kg) | 골재 용적률 (%) | 시험 재료량(kg) | | | | | 현상 / 조치 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 물 | 결합재 | 모래 | 자갈 | 혼화제 | |
| 1차 | 22.0 | 33.3 | 38 | 180 | 540 | 62.7 | 3.331 | 11.88 | 14.63 | 22.93 | 0.19 | 반죽질기가 너무 묽음 |
| 2차 | 22.1 | 29.6 | 38 | 160 | 540 | 64.7 | 2.871 | 11.65 | 15.10 | 23.66 | 0.19 | 반죽질기가 너무 묽음 |
| 3차 | 22.0 | 28.2 | 36 | 155 | 550 | 65.1 | 2.728 | 11.83 | 14.05 | 24.00 | 0.189 | 양호 |

사. 원심력 성형법을 활용한 PC제품 실험

○ 개요

– $Na_2SiO_3$ 기반의 AAS 결합재를 이용한 콘크리트의 원심력 성형을 위한 최적 배합비 도출

– 원심력 성형은 낮은 물/결합재비와 높은 골재율의 특성 상 유동화제의 첨가 비율이 높기 때문에 적절한 배합비 및 유동화제 첨가량 산출 필요

– 원심력 성형 후 중공부 형성 및 골재 불분리, 상·하면 채움 등 외관상 확인



(a) PC 공시체 외관 (b) 압축강도 평가

[그림2-13-10] PC 콘크리트 외관 및 강도평가

○ 성형성 및 강도 평가

– 중공부 형성이 우수함

– 상·하면 및 모서리 채움이 양호함

– 재료분리 현상이 생기지 않음

– 압축강도 57.4MPa, 파괴하중 1164.7 KN 발현

아. 해양조건에서 함체용 콘크리트 내구성능 평가

○ 동결융해 저항성능 평가

– 시험 배합조건

[표2-13-3] 동결융해 저항성능 평가를 위한 콘크리트 배합

| | $G_{max}$ (mm) | W/B (%) | Air (%) | S/a (%) | Unit weight(kg/m3) | | | | | | Slump flow / Slump (mm) | Compressive strength (MPa) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | W | B | F | S | G | AD | | 1day | 3day | 7day | 28day |
| AAS_SCC | 13 | 36 | 2.8 | 47 | 180 | 500 | - | 751.0 | 850.0 | 3.0 (P.C) | 680 | 19.4 | 43.2 | 54.8 | 64.2 |
| AAS_PC | 25 | 40 | 2.5 | 47 | 140 | 350 | - | 937.5 | 1061.2 | 5.2 (PNS) | 70 | 48.3 | | | |
| OPC_SCC | 13 | 36 | 2.6 | 47 | 180 | 500 | - | 751.0 | 850.0 | 2.5 (P.C) | 670 | 11.5 | 21.4 | 29.4 | 50.3 |
| OPC_PC | 25 | 40 | 3.8 | 47 | 140 | 350 | - | 937.5 | 1061.2 | 2.8 (PNS) | 130 | 38.0 | | | |

○ 동결융해 저항성능시험 결과

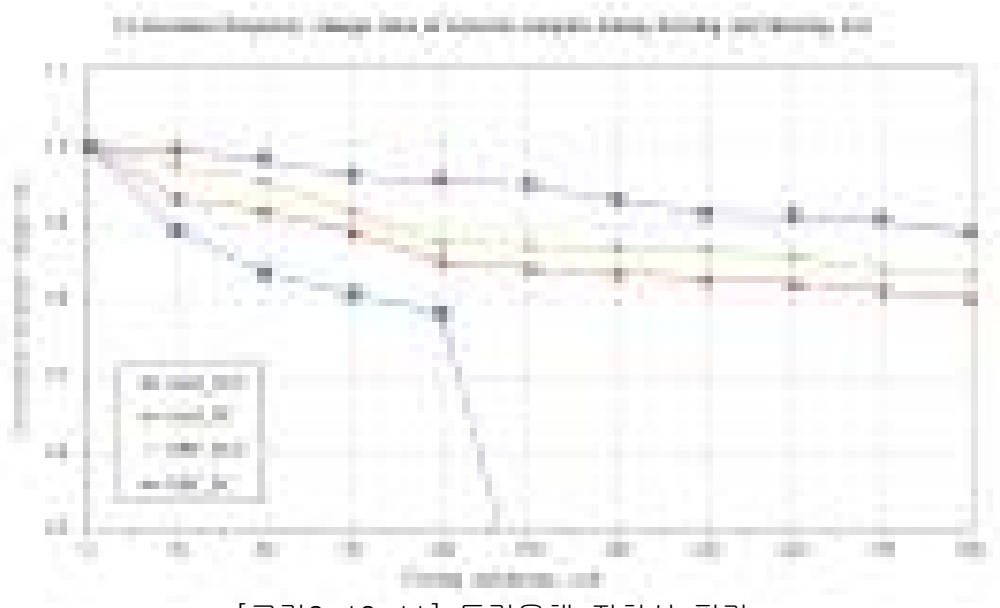
– 알칼리 활성 슬래그 콘크리트는 OPC 콘크리트에 비해 동결융해저항성능이 떨어짐

– 알칼리 활성 슬래그 자기충전 콘크리트는 동결융해 150 사이클을 넘지 못하고 부서짐

– 일반시멘트를 이용한 자기충전 콘크리트와 프리캐스트 콘크리트는 모두 동결융해 300 사이클을 넘김

– OPC 시멘트 및 알칼리 활성 슬래그 콘크리트 모두 증기양생을 한 프리캐스트 콘크리트가 더 우수한 동결융해저항성능을 보임

– 프리캐스트용 알칼리 활성 슬래그 콘크리트는 300사이클을 넘김



[그림2-13-11] 동결융해 저항성 평가

○ 염소이온 침투 저항성능 평가

– 시험 배합조건

[표2-13-4] 동결융해 저항성능 평가를 위한 콘크리트 배합

| No | $G_{max}$ (mm) | W/B (%) | S/a (%) | Unit weight(kg/m3) | | | | | | Compressive strength (MPa) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | W | GGBS | NaOH | $Na_2CO_3$ | AE | SP | 3day | 7day | 28day | 91day |
| 1 | 25 | 40 | 40 | 180 | 418.5 | 13.5 | 18 | 0.09 | 9 | 21.5 | 23.2 | 27.4 | 29.9 |
| 2 | | 40 | | | 418.5 | 13.5 | 18 | 0.135 | 9 | 18.8 | 21.2 | 25.6 | 28.9 |
| 3 | | 40 | | | 418.5 | 13.5 | 18 | 0.18 | 9 | 16.8 | 19.3 | 23.2 | 25.3 |
| 4 | | 40 | | | 418.5 | 13.5 | 18 | 0.225 | 9 | 18.8 | 20.2 | 23.3 | 26.6 |
| 5 | | 35 | | | 479 | 15.5 | 20.6 | 0.09 | 10.3 | 24.7 | 27.3 | 34.6 | 37.3 |
| 6 | | 40 | | | 418.5 | 13.5 | 18 | 0.09 | 9 | 21.5 | 23.2 | 27.3 | 29.9 |
| 7 | | 45 | | | 372 | 12 | 16 | 0.09 | 8 | 17.5 | 21.7 | 26.2 | 27.5 |
| 8 | | 50 | | | 334.8 | 10.8 | 14.4 | 0.09 | 7.2 | 10.8 | 13.8 | 16.9 | 17.2 |

– 변수 : 물/결합재비, 양생조건, 혼화제 첨가량

– 양생조건은 실험실(해수), 실험실(대기) 2가지로 설정

– AAS 와 OPC 콘크리트의 자기충전(SCC) 타입과 PC 타입을 적용하여 평가

- AE제 첨가량과 W/B가 증가함에 따라 압축강도는 감소하고 공극률은 증가
- 시멘트와는 다른 재료 특성 상 시료 전처리 방법에 대한 보완이 필요

[표2-13-5] 공극률 및 염화물 확산계수

| No | W/B | AE (%) | Age (day) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 28 | |
| | | | Porosity(%) | Migration Coefficient ($\times 10^{-11} m^2/s$) |
| 1 | 40 | 0.02 | 19.92 | 2.07 |
| 2 | 40 | 0.03 | 20.77 | 1.83 |
| 3 | 40 | 0.04 | 24.75 | 2.50 |
| 4 | 40 | 0.05 | 25.74 | 2.33 |
| 5 | 35 | 0.02 | 19.48 | 2.04 |
| 6 | 40 | 0.02 | 19.94 | 2.07 |
| 7 | 45 | 0.02 | 20.92 | 2.01 |
| 8 | 50 | 0.02 | 23.58 | 1.54 |

○ 촉진 중성화 저항성능 평가

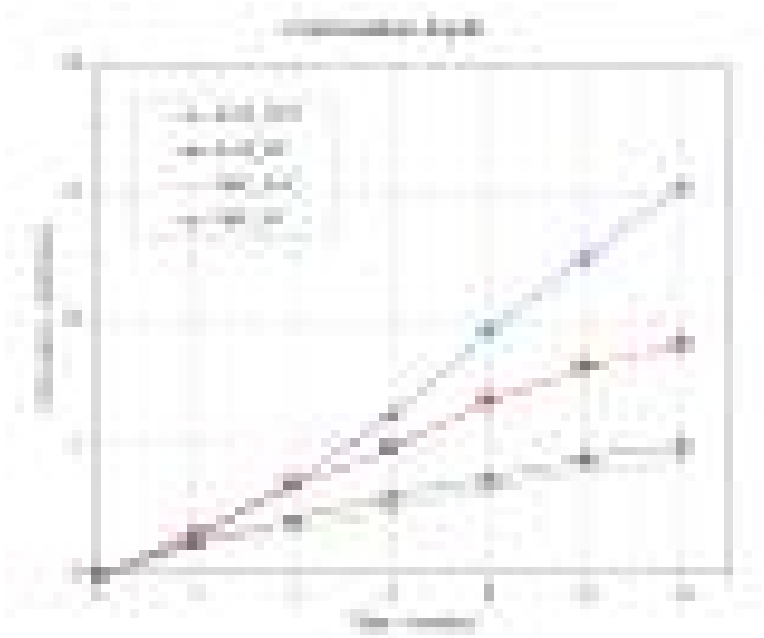
- 시험 배합조건

[표2-13-6] 촉진 중성화 저항성 평가를 위한 콘크리트 배합 조건

| | $G_{max}$ (mm) | W/B (%) | Air (%) | S/a (%) | Unit weight(kg/m3) | | | | | | Slump flow / Slump (mm) | Compressive strength (MPa) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | W | B | F | S | G | AD | | 1day | 3day | 7day | 28day |
| AAS_SCC | 13 | 36 | 2.8 | 47 | 180 | 500 | - | 751.0 | 850.0 | 3.0 (P.C) | 680 | 19.4 | 43.2 | 54.8 | 64.2 |
| AAS_PC | 25 | 40 | 2.5 | 47 | 140 | 350 | - | 937.5 | 1061.2 | 5.2 (PNS) | 70 | 48.3 | | | |
| OPC_SCC | 13 | 36 | 2.6 | 47 | 180 | 500 | - | 751.0 | 850.0 | 2.5 (P.C) | 670 | 11.5 | 21.4 | 29.4 | 50.3 |
| OPC_PC | 25 | 40 | 3.8 | 47 | 140 | 350 | - | 937.5 | 1061.2 | 2.8 (PNS) | 130 | 38.0 | | | |

○ 촉진 중성화 시험 결과

- AAS 자기충전 콘크리트는 강도가 가장 높지만 중성화 속도가 가장 빠르게 나타남
- 중성화 진행부분에서 약 50% 정도의 강도 손실이 발생함(OPC는 강도 증가)
- OPC 대기양생과 증기양생 모두 비슷한 중성화 속도를 나타냄
- AAS 콘크리트는 초기 증기양생이 중성화 저항성능 향상에 기여함
- OPC 수준의 중성화 저항성능 확보가 필요



[그림2-13-11] AAS 결합재의 촉진중성화 시험 결과

자. 국내 특허 출원 및 등록

○ 송진규 외 2인, 고유동 콘크리트용 AAS 결합재 및 상기 결합재를 포함하는 친환경 고유동 콘크리트, 2013(출원)/2014(등록), 10-14448837, 전남대학교산학협력단

차. 국제특허 (미국) 등록

○ 송진규 외 1인, ALKALI-ACTIVATED BINDER, ALKALI-ACTIVATED MORTAR, CONCRETE PRODUCTS AND WET RED CLAY PAVING MATERIAL USING BIDER, 2013, US 8.617.307 B2, 전남대학교산학협력단

## 3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

### 가. AAS 결합재의 배합설계 모델 개발

- ○ 규산나트륨, 수산화나트륨 및 수산화칼슘 기반 결합재 조합 선정
- ○ 활성화제 조합 및 첨가량에 따른 강도 이력 평가 및 DB 구축
- ○ 결합재 조합에 따른 28일 강도 모델 제안

### 나. 함체적용을 위한 AAS 콘크리트 배합기술 구축

- ○ 45MPa 이상의 소요 강도를 만족시킬 수 있는 콘크리트 배합비 개발
- ○ AAS 콘크리트의 중성화 저항성(KS F 2584) 측정 및 DB 구축
- ○ 변수에 따른 AAS 동결융해 저항성(KS F 2456) 평가

### 다. 현장 타설이 가능한 자기충전 콘크리트 개발

- ○ 3성분계 결합재를 기반으로 하는  AAS 콘크리트 선정
- ○ AAS 콘크리트의 자기충전 성능 확보를 위해 폴리카르본산계 감수제를 적용하고 pH 12.5 이하 유도
- ○ 유동성과 간극 통과성 평가에 기반하여 콘크리트의 압축강도 50MPa 이상, Slump flow 650mm이상 확보

### 라. 함체적용을 위한 프리캐스트 콘크리트 개발

- ○ 규산나트륨을 주요 활성화제로 하는 3성분계 결합재를 적용하여 콘크리트의 1일 탈형강도 50MPa 확보
- ○ 65℃, 10시간 양생 기준 고온증기양생 방법 적용
- ○ 중성화 대응형 혼화재 적용 또는 모재료의 염기도 향상을 통한 내구성 개선

### 마. 현장 조건에 따른 자기충전 및 프리캐스트 콘크리트의 내구성 평가

- ○ 양생조건을 실험실(해수), 실험실(대기)로 구분하여 내구성 평가
- ○ 현장 조건을 반영하여 복합열화(동결융해와 염소이온 침투) 저항성을 평가

# 제14절 함체의 고성능 재료 적용 및 유지관리 기술

## 1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 국내외 해외석학 및 전문기관들의 자문을 통하여 해양 콘크리트 구조물의 내구설계 기법 및 플로팅 구조물의 내구설계 적용 방안에 대한 검토

○ 콘크리트 열화인자 침투저항성 평가를 통한 내구성 검토

○ 외부 열화하중의 과학적 검토를 통한 경계조건 설정

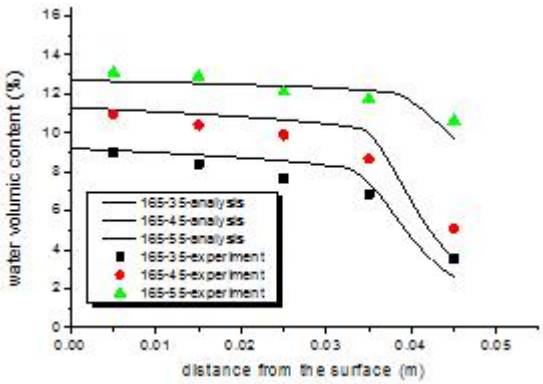
○ 최적 유지보수를 위한 수치해석 모델 구축과 재료개발

## 2. 연구개발 내용 및 결과

○ 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축

가. 연구의 배경과 목표

- 열화현상 중 대표적이라 할 수 있는 것이 중성화와 염해이며, 대부분의 철근콘크리트 구조물은 외부의 이산화탄소와 비래염분이 콘크리트 내부로 침투하여 물리 화학적인 단독 또는 복합현상에 의해 철근부식을 유발하게 됨




[그림2-14-1] Reliability of analytic results by comparison with experimental results

- 이러한 대표적 열화현상은 다년간 세계 각국의 수많은 연구자들에 의해 대부분 규명되었지만 아직 실제 구조물의 수명 산정에 정확히 반영하기는 무리가 있는 실정임
- 그 이유는 수분의 상태가 정확히 규명되어 있지 않은 상태에서 열화인자의 확산속도가 정의되지 않는 이유 사료됨
- 본 연구에서는 콘크리트의 수분 흡수 계수 산출을 통한 예측을 위하여 일련의 실험을 실시하고 수치해석을 실시함으로써 정확도 높은 1차원적 수분이동 현상 시뮬레이션 실현을 목표로 함

나. 실험개요

(1) 실험변수와 시편

- 실험체 사용된 변수는 다음과 같음

[표2-14-1] 실험개요

| Class | Parameters |
|---|---|
| Unit water content | 165kg/m3, 185kg/m3 |
| W/C | 35%, 45%, 55% |

(2) 시험체 제작

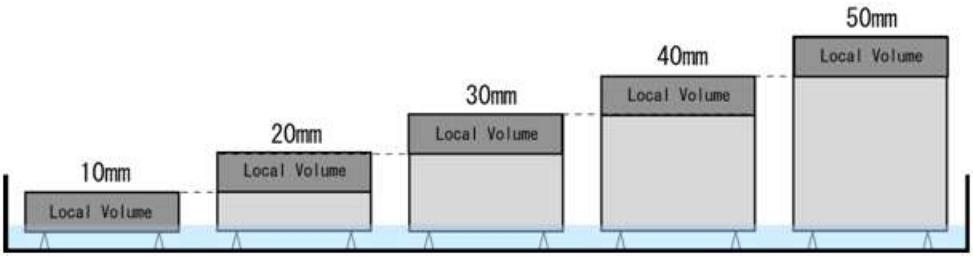
- 시험체의 크기는$\phi$100*200mm로 하였으며, 24시간 봉합양생 타설 후, 28일간 20° C의 수중에 양생한 시험체를 사용
- 시험체는 Figure 3와 같이 길이 10~50mm로 5종류 길이의 시험체를 배합별로 3개씩 준비

(3) 측정

- 시간경과에 따른 시험체 높이마다의 함수상태를 평가하기 위하여, $\phi$100*200mm 시험체를 길이 10, 20, 30, 40, 50mm로 절단하여 Figure 3와 같이 측면에 에폭시 수지를 도포함으로써 1면만이 흡수가능한 상태가 되도록 만들어 시간경과에 따른 질량변화를 측정
- 높이별 흡수율$\theta(x,t)$이 Local Volume의 수분량이 되며 이는 바로 앞 작은 치수 시험체를 넘어선 수분의 량이 산출된 값임

$$\theta(x,t)=\frac{W(x+10,t)-W(x,t)}{V_{local}}\times 100$$

- $\theta(x,t)$는 시간$t$의 높이$x$위치에서의 흡수에 의한 함수율(%), $W(x,t)$는 시간$t$에 있어서 높이$x$에서의 흡수량(cm3), $V_{local}$은 함수율 측정대상이 되는 Local Volume (mm3)

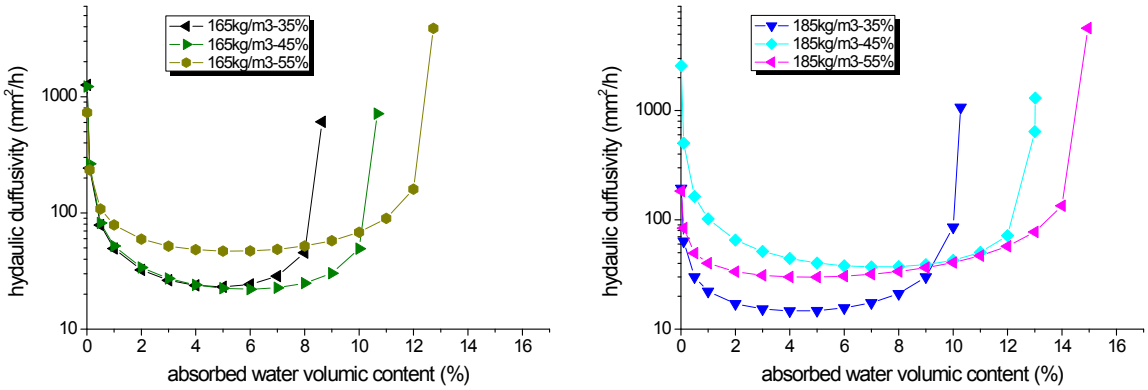


[그림2-14-2] Water absorption test

다. 측정결과 및 검토

- 단위수량이 많을수록 단위체적당 콘크리트 속에 페이스트 부분이 많이 차지하게 되며,

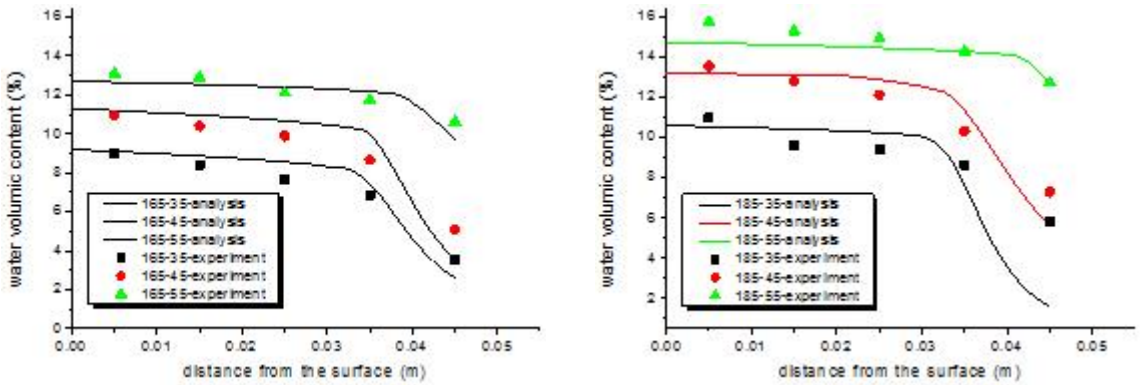
따라서 골재와의 천이대가 감소하여 수분확산이 저해되는 것으로 밝혀졌음




[그림2-14-3] Water diffusion coefficient by absorption

라. 비선형 유한요소 해석에 의한 실험결과 검증

- 실험에서 구한 깊이별 함수율과 유한요소 해석에서 구한 값의 비교로서 두 값 사이에는 약간의 오차가 보임에도 불구하고 상당히 근사한 값을 실현할 수 있는 것으로 입증되었음




[그림2-14-4] Reliability of analytic results by comparison with experimental results

마. 주요 연구 결과

- 수분확산계수는 물시멘트비가 낮을수록, 단위수량이 높을수록 낮은 값을 나타내었음
- 볼츠만 변수를 이용한 회귀분석을 통해 산출한 흡수수분 확산계수를 사용하여 수치해석 한 결과, 상당히 높은 정확도로 실험값을 재현할 수 있었음

○ 그린 콘크리트 배합설계 프로그램 개발 및 함체 구조재료의 열화저항성/열화환경 DB구축

가. 비래염분 포집관련 기존 연구

(1) 기존 포집기의 특징 및 문제점 분석



(a) JIS style



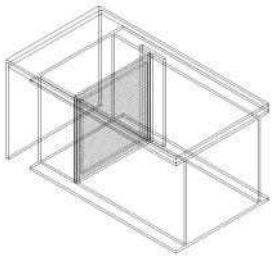
(b) Toyun style

[그림2-14-5] Existing incoming salt collector

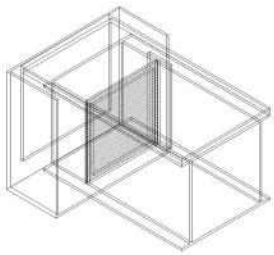
- 그림 1은 JIS식 포집기 및 토연식(일본 독립행정법인 토목연구소에서 개발한 방식이라 하여 줄여서 토연식이라 칭하고 있다) 포집기를 설치한 사진임
- JIS식 포집기는 JIS Z 2381 옥외 폭로시험 통칙에 따른 것으로 국내 KS규격에서는 KS D 0060 옥외 폭로 시험 방법 통칙에 규정되어 있는 방법과 동일함
- 거리에 따른 편차와 방향에 따른 포집량의 차이는 포집기 설치방향의 중요성을 말하고 있으며, 후풍에 의한 포집된 비래염분의 이탈 등 포집기 자체가 가지는 문제점임

나. 비래염분 포집기 개발을 위한 시뮬레이션

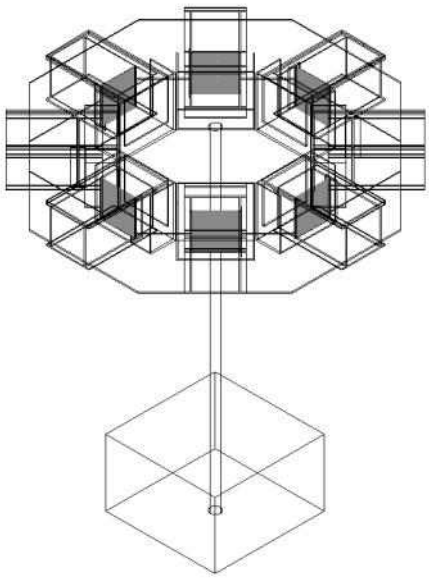
- 아래 그림은 JIS식 비래염분 포집기에 후풍의 영향을 배제시키고자 포집기 뒷면에 ㄱ자형 또는 ㄷ자형 철판을 덧댄 포집기의 모습임
- 거즈의 면적은 100×100mm2이며 거즈의 위치는 강우의 영향을 받지 않도록 150mm 정도 안쪽에 위치하도록 하였음
- 전체 길이는 200mm이며, 뒷판은 30mm정도 포집기에서 격리시켜 내부를 통과하는 바람이 순조롭게 지나갈 수 있도록 유도하였음



(a) ㄱ style



(b) ㄷ style



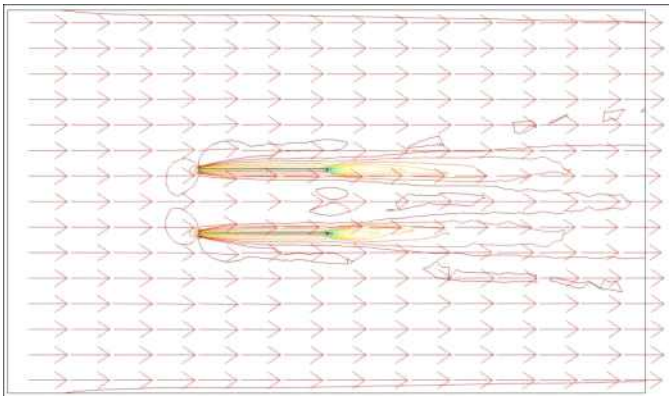
(c) mulidirection collector

[그림2-14-6] Modified multidirection collector

- 포집기는 다방향 포집이 가능하도록 그림 (c)와 같이 8방향으로 등간격으로 고정되어 졌으며, 강우의 영향을 피하기 위하여 상부에 철판을 덧대는 형태로 제작되어 부산 해운대에 위치한 고층 아파트 옥상에 설치됨

(1) 유체 수치시뮬레이션 실시

- 제기된 ㄱ자형 뒷 판 또는 ㄷ자형 뒷판과 후풍에 의한 바람의 유동변화를 분석하기 위하여 유체 수치 시뮬레이션을 실시함
- 사용된 방정식은 나비에스토크 방정식으로 비압축성 유체에 의한 운동을 기술하는 기본 방정식임
- 그림 6은 포집기 앞쪽에서 초속 1m/s가 불어올 경우의 포집기 내부에서의 풍속의 변화(contour과 Arrow로 나타냄)를 나타낸 것임

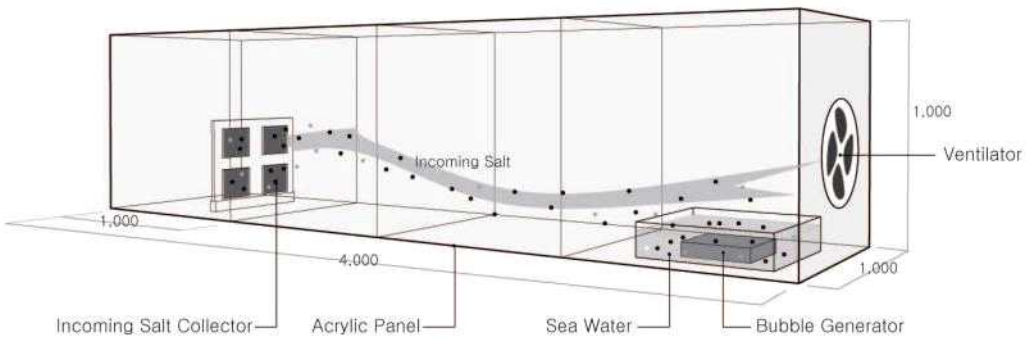


[그림2-14-7] 유체 수치시뮬레이션

- 그림은 포집기 내부의 풍속변화를 나타낸 것으로 포집기를 통과하는 부분에서 약간의 풍속상승이 나타났지만 포집량에 큰 영향을 미칠 정도는 아닌 미비한 풍속변화라 생각됨
- 뒷바람의 영향을 억제하기 위하여 ㄱ자형 뒷판을 설치하였음에도 불구하고 후풍과 각도가 있을 경우 포집기 내부에 풍속이 형성되는 것을 확인할 수 있었음
- 따라서 ㄱ자형 및 ㄷ자형 뒷판은 완전히 후풍의 영향을 억제할 수 없는 것으로 판단되었고, 대안으로 포집기와 간격을 유지하는 철판을 사용하기보다 폴리에틸렌 재질의 100㎛두께 필름을 사용하여 정방향의 바람은 저항없이 통과하며 후풍은 완전히 차단할 수 있는 장치를 고안하였음

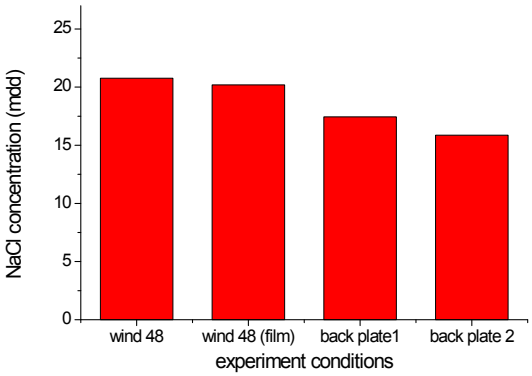
다. 인공비래염분 발생기를 이용한 포집 시뮬레이션

- 본 연구에서 제안한 폴리에틸렌 필름 부착 포집기의 신뢰도를 검증하기 위하여 실험실에서 인공비래염분 포집기를 개발하여 전혀 뒷판이 없는 포집기와의 차이를 분석하기 위하여 실험을 실시하였고, 실험의 모식도는 아래 그림과 같음




[그림2-14-8] Artificial incoming salt collecting test

- 그림은 뒷판의 조건을 변화시킨 경우 포집된 비래염분량을 비교한 그래프이다. x축의 wind 48은 뒷판이 없는 기존의 JIS식 포집기를 사용하여 48시간 동안 포집한 경우이며, wind 48(film)은 앞장에서 설명한대로 후풍의 영향을 차단하기 위하여 JIS식 포집기에 폴리에틸렌 필름을 부착한 포집기를 설치한 경우의 값임




[그림2-14-9] Experiment conditions

- 따라서 JIS식 포집기와 같이 후풍의 영향을 받는 경우에는 실제 비래염분이 통과하면서 포집된 비래염분량보다 다소 적은 값이 검출되는 것을 알 수 있음
- 뒷판으로 폴리에틸렌 필름을 사용한 경우 전방에서 불어오는 비래염분의 포집 정확도가 오차범위 내에 들며, 후풍의 영향도 완전히 배제할 수 있는 것으로 사료됨

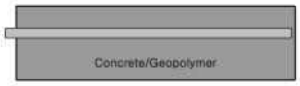
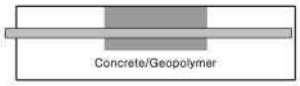
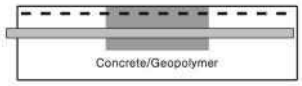
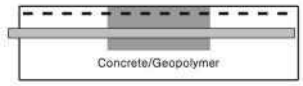
○ 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가 (친환경 콘크리트를 이용한 해양·항만 콘크리트의 철근 방식 기법 연구)

가. 친환경 건설재료이용 전기방식성능평가

(1) 실험 개요

- 적용된 주요방식기법은 전기방식법 중 외부전원법을 이용할 것이며, 실험에 사용되는 실험용 구조물은 지오폴리머 혼합재를 이용한 친환경 콘크리트를 사용함

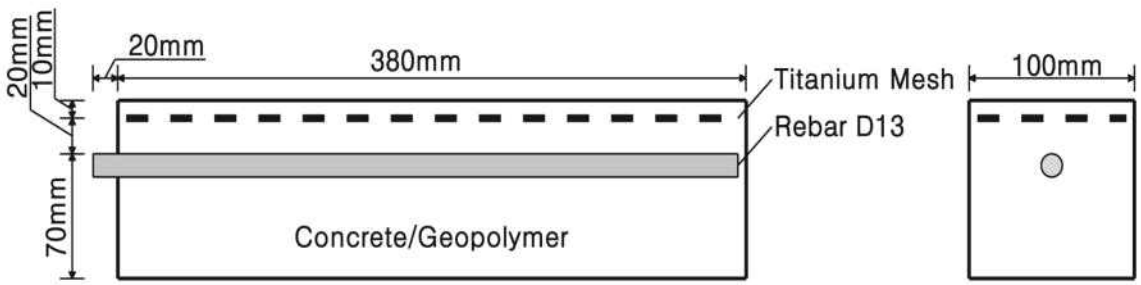
[표2-14-2] 열화 조건을 상정한 시험체 제작 조건

| | (A)<br>외부전원법 적용 X | (B)<br>외부전원법 적용 O | (C)<br>철근부식 후<br>외부전원법 적용 O |
|---|---|---|---|
| (1)<br>해수 침적 |  |  |  |
| (2)<br>배합수로 해수사용 |  |  |  |
| (3)<br>시험체의 일정부분<br>배합수 해수사용 |  |  |  |




(2) 시험체 제작

- 시험체는 일반콘크리트와 지오폴리머를 결합재로 한 친환경 경량 콘크리트를 이용하여 제작
- 시험체는 100×100×380mm크기의 콘크리트 시험체에 표면으로부터 10mm, 30mm깊이에 전류를 공급해 줄 티타늄메쉬와 직경 13mm의 원형철근(KS D 3526)을 매설함

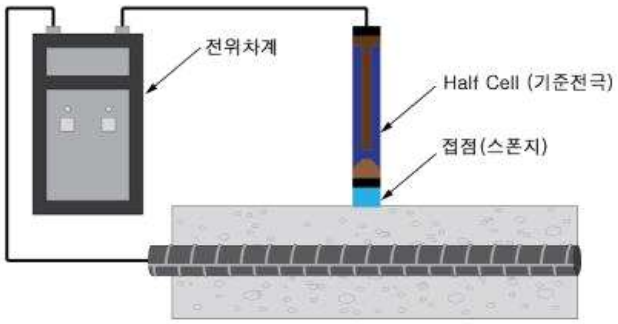



[그림2-14-10] 시험체 도면

- 철근의 방청처리 및 부동태 피막을 제거하기위해 No.600의 샌드페이퍼(KS L 6003)을 이용하여 연마 후 아세톤(KS M ISO 6353-2)으로 닦아냄
- 외부전원식 전기방식기법을 위하여 양극(Anode)철근과 콘크리트 표면 사이(표면에서 1cm 깊이)에 방식용 양극(티타늄 메쉬)을 삽입하여 직류전원의 +극에 연결하고 피방식체인 철근에 -극을 연결하여 직류 전류를 흘려주게 됨

(3) 시험방법

- 부식환경을 적용하기 위해 철근 콘크리트의 촉진부식 시험방법(KS F 2599-2)을 근거하여 실시함




[그림2-14-11] 자연전위 측정법(Half-Cell Method)

- 본 연구에서는 철근의 부식 정도 평가기준을 ASTM C876-91을 사용하며 부식도 측정에 사용한 기준전극은 황상구리 기준전극(CSE)를 사용하였으며 부식상태는 아래와 같음

[표2-14-3] 기준전극에 따른 철근부식정도 평가기준

| Copper.Copper Sulphate(Sat.) Electrode(CSE) | Silver/Silver Chloride Electrode | SHE | SCE | 부식상태 |
|---|---|---|---|---|
| >-200mV | >-160mv | >+116mv | >-126mv | 낮 음 (부식위험 10%) |
| -200 ~ -350mv | -160 ~ -256mV | +116 ~ -34mV | -126 ~ -276mV | 중 간 (부식이 불확실) |
| <-350mV | <-250mV | <-34mV | <-276mV | 높 음 (부식위험90%이상 ) |
| <-500mV | <-406mv | <-184mV | <-426mV | 심각한 부식 |

- 시험체의 외부전원법 적용 3주 동안 해수 침적과 균열에 관계없이 외부전원법적용으로 인해 부식의 진행이 증가하지 않는 것을 보아 외부전원법의 적용성이 적합한 것으로 사료됨

나. 음극방식법 외부전원 경계값 설정

(1) 해석모델 개요

- 양극의 배치에 따라 음극에 도달하는 전류가 불균일할 수 있음

-방식전류가 불균일하면 과방식(over protection)이 되거나 미방식(under protection)

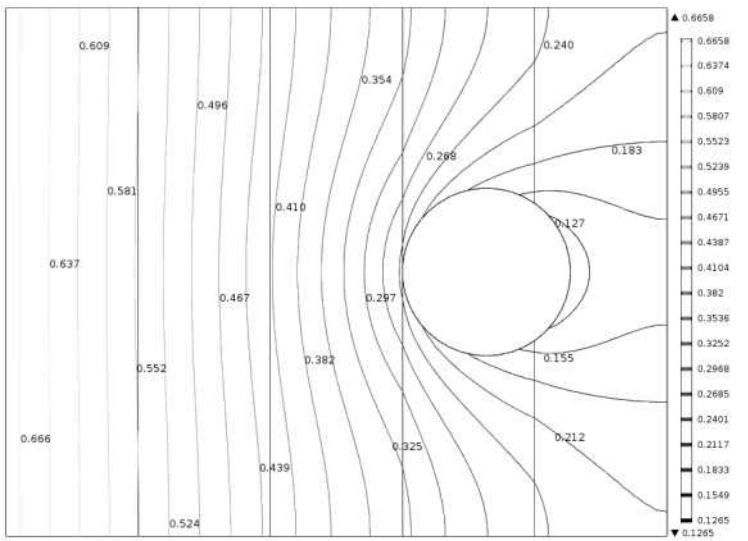
이 될 수 있음

○ 따라서 구조물의 형상을 고려한 양극 배치가 중요하며 수치해석 모델 구축을 통하여 사전에 검증할 필요가 있음

○ 비저항이 변하면 방식전류는 비저항이 적은 곳으로 집중될 우려 존재

○ 수치 해석에서는 콘크리트 구조체의 상태에 따라 전압의 설정변경과 그에 따른 철근 주위의 전류밀도 분포를 확인하는 것임

(2) 해석 결과




[그림2-14-12] 음극방식법에서 인가전압에 의한 콘크리트 내부의 전압분포

- 0.68V를 인가한 경우 좌측(콘크리트 표면)에서 내부의 원(철근)에 이르기까지의 전압분포를 나타냄
- 콘크리트 내부로 들어올수록 전압이 강하하며, 철근 주변에서는 0.268V ~ 0.127V로 전압이 다양하게 분포되는 것을 알 수 있었으며, 이는 콘크리트의 함수율에 따른 저항에 의존하는 것을 알 수 있음
- 산소 농도의 경계값은 콘크리트 외부 값으로 하였으면 806mol/m3로 설정하여 해석 실시
- 콘크리트 내부로 갈수록 산소농도가 감소하며 이는 콘크리트 함수율의 확산 저해와 철근주변에서의 소비에 기인하는 것으로 사료됨
- 철근주변의 전류밀도 분포는 0.381 ~ 0.05mV/m3의 값을 가지며 위치에 따라 상당히 상이한 값을 나타냄
- 전기화학법에 준한 음극방식 수치해석 모델을 구축하였으며 콘크리트 내부 보강근 주변의 방식성능을 평가하기 위한 전류밀도 분포, 콘크리트 내부 전압, 산소농도등을 예측이 가능함

○ 구조물 보수기술 개발 (폴리머 시멘트 모르타르의 철근부착력 평가를 위한 인발실험과 모델링)

가. 열화한 수중구조물 보수 기술

(1) 열화구조물 성능에 준한 보수재료 선정

- 단면복구 보수재료로 대표되는 폴리머시멘트 모르타르와 보강철근의 부착특성에 대한 범용성을 가진 모델구축을 목적
- 철근인발 실험을 실시, 측정결과를 토대로 유한요소 해석을 실시, 부착강성과 강도로 구성된 모델을 구축
- 실험에서 하중에 의한 보강근의 슬라이딩 변위로부터 응력 변형도 곡선을 구하고 부착강성과 부착강도를 도출하여 부착특성으로 규정
- 폴리머 시멘트 모르타르 속의 분말수지 함유량, 철근의 조건 등 다양한 실험변수를 상정하여 실험을 실시, 도출한 부착특성을 비선형 수치해석 입력

(1) 실험개요

Mix design of polymer cement mortar

| Polymer cement ratio (%) | W/C(%) | Water (kg/m3) | Cement (kg/m3) | Fine aggregate (kg/m3) | Deformer (g/m3) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 50 | 43.38 | 650.63 | 1,951.89 | 0 |
| 5 | | | | | 325.32 |
| 10 | | | | | 650.63 |
| 20 | | | | | 1,301.26 |

Properties of redispersible polymer powder

| | Apparent density(mg/l) | MFT(℃) | Tg(℃) |
|---|---|---|---|
| VVA | 0.40± 0.10 | 0 | 14 |
| EVA | 0.35±0.10 | 10 | 45 |
| PAE | 0.35±0.10 | 32 | 9 |
| CPAE | 0.35±0.10 | 0 | 9 |

Property of steel bar

| Steel bar | Yield strength (N/mm2) | Tensile strength (N/mm2) | Elasticity modulus (kN/mm2) |
|---|---|---|---|
| D19/D16, Φ19/Φ16 | 368 | 544 | 193 |

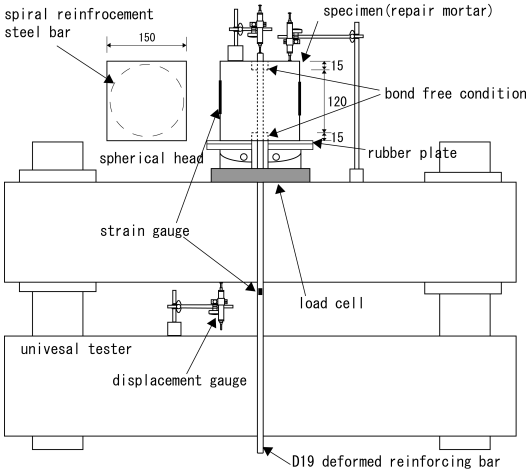
Experiment condition of series 1

| Steel bar | Redipersible polymer type | Polymer cement ratio(%) |
|---|---|---|
| D19 | VVA, EVA, PAE, CPAE | 0,5,10,20 |

Experimental condition of series 2

| Test factors | Type |
|---|---|
| Steel bar | D19, D16, Φ16 |
| P/C | 0%, EVA 10% |
| Corrosion inhibitor | none, PCP, corrosion Inhibitor |
| Corrosion | whether corrosion or not |






Manufacturing of test specimen　　Pull-off test

[그림2-14-13] Manufacturing of test specimen 및 Pull-off test

[표2-14-4] 실험개요

Detailed5 information of series 2 experiment

| test number | steel bar | P/C | corrosion inhibitor | corrosion |
|---|---|---|---|---|
| test 1 | D16 | EVA10% | none | none |
| test 2 | Φ16 | EVA10% | none | none |
| test 3 | D19 | EVA10% | none | none |
| test 4 | D19 | EVA10% | PCP | none |
| test 5 | D19 | EVA10% | PCP | exist |
| test 6 | D19 | EVA10% | commercial corrosion inhibitor | none |
| test 7 | D19 | EVA10% | none | exist |

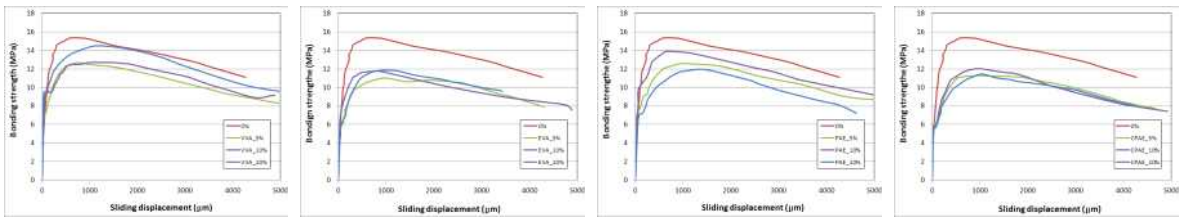
- 시리즈1 : D19철근을 이용하였으며 분말수지 함유에 따른 부착특성을 평가
- 시리즈2 : 철근의 종류 및 부식 및 방청제 사용 유무의 영향 평가

나. 수중 구조물 보수재료 성능평가

(1) 보수재료의 역학적 특성

- 압축강도는 VVA 분말수지 혼입 모르타르 이외에는 10% 함유까지 증가하는 경향을 나타내다가 20%에서는 다소 낮아지는 결과

– 인장강도는 분말수지의 종류에 상관없이 함유량의 증가에 비례하면서 최대 약 1MPa가량 증가



[그림2-14-14] The results of pull-off test

(2) 철근 인발시험

– 부착응력과 슬라이딩 변위의 측정 결과

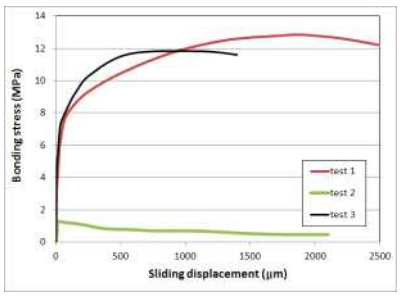
– 철근 종류 및 직경에 따른 미끄럼변위와 강도의 상관관계

– test 1은 D16 철근을 이용한 시험체 이며, test 2는 ϕ16를 이용한 시험체의 인발시험 결과

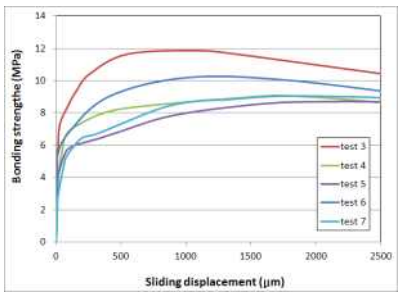
– 원형 철근(test 2)을 이용한 경우 1.3MPa이하의 부착강도

– 이형 철근(test 1)은 13MPa에 이를 정도로 강한 부착력

– 철근 부식 및 방청제 사용유무에 따른 부착특성 변화




Bond properties according to the type of steel bar and diameter




Bond properties according to the exist of corrosion and the usage of corrosion inhibitor

[그림2-14-15] 철근인발시험 결과

다. 보수 보강에 따른 성능 변화 시뮬레이션

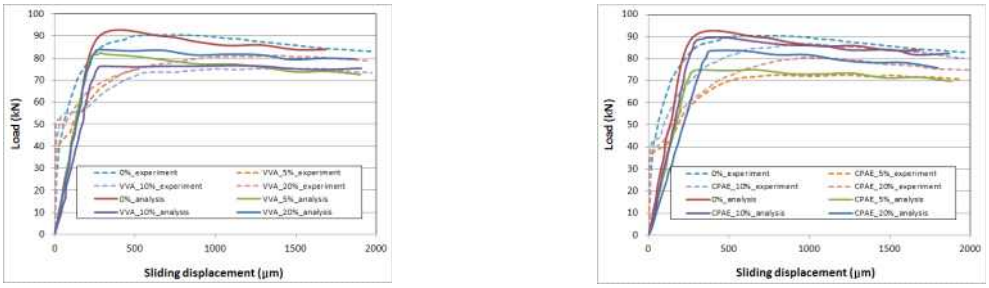
(1) 구조물 보수에 따른 성능변화 예측 시뮬레이션

○ 해석의 개요 및 모델

– 본 해석에서는 폴리머시멘트 모르타르에서 분말수지 함유량을 달리하여 제작된 시험체의 부착요소 특성을 유한요소 파라메타 해석을 통하여 산출

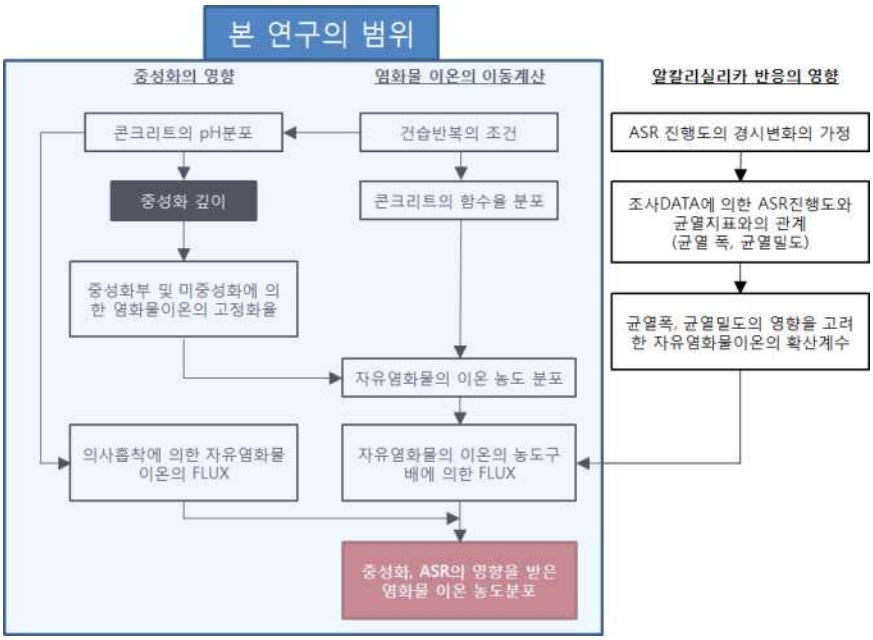
(2) 감도 역해석을 통한 부착특성 도출

– 시리즈 1 시험체의 실험값과 해석값의 비교를 나타냄




[그림2-14-16] Comparison between the results of series 1 experiment and analysis

○ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발




[그림2-14-17] 온습도 기반 염해 중성화 복합열화 모델구축을 위한 연구범위

가. 기초방정식

– 콘크리트 중에의 염화물이온의 이동은 식1에 나타낸 이류 확산방정식을 이용하였음.

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = div\left[D_a grad\left(C_t\right)\right] - \overline{u}_i \frac{\partial C_f}{\partial x_i} \qquad \text{식1}$$

여기서, $D_a = \frac{D_i}{(w+(1-w_{sat})\cdot\gamma)}$ : 콘크리트의 겉보기 염화물이온 확산계수

$D_i$ : 콘크리트중의 정상상태에 있는 염화물이온 확산계수 (cm2/s)

$C_t$ : 전염화물이온량 (kg/m3)

$C_f$ :수분중의 염화물이온 농도(kg/m3)

$C_s$ : 고상중의 염화물이온 농도

$w$ : 콘크리트의 함수율

$w_{sat}$ : 콘크리트의 공극율

$\gamma$ : 고정 염화물이온량과 자유염화물이온량의 결합율 $\gamma = C_s / C_f$

$\overline{u}$ : 염화물 이온 이류속도(cm/s)

- 본 해석에서는 해양콘크리트가 비교적 습윤상태를 상정하고 있기 때문에 염화물이온의 이류속도는 고려하지 않는 것으로 함.

나. 염화물이온의 확산계수

- 기온변동 및 습도변동은, 정상상태에 있어서 염화물이온 확산에 영향을 주는 것으로 하여, 그 확산 현상을 식2로부터 산출하였음.

$$D_i = D_{i,rif} \times f_1(T) \times f_2(t_e) \times f_3(h) \qquad \text{식 2}$$

여기에, $f_1(T) = \exp\left[\frac{U}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T(t)}\right)\right]$

$f_2(t_e) = \zeta + (1-\zeta)\sqrt{28/t_e}$

$f_3(h) = \left[1 + \left\{\frac{1-h(t)}{1-h_c}\right\}^4\right]^{-1}$

여기에, $D_{i,rif}$ : 기준염화물이온 확산계수

$T(t)$ : 환경온도, $T_0$ : 기준온도=296K

$U/R$ =3000K, $t_e$ : maturity에서 본 등가재령, $\zeta$ : 염화물이온 확산계수 감소비

$h(t)$ : 습도, $h_c$ : 한계습도=75%

기준 염화물이온 확산계수는 JSCE G 571-2003에 준거한 전기영동시험에 의해 구한 실효확산계수부터 추정하였다.

다. 콘크리트의 maturity로부터 본 등가재령

- 본 해석에서는 온도와 습도는 콘크리트의 maturity에 영향을 주는 것으로 간주함. 여기서, 등가재령의 산출방법을 아래의 식 3을 이용함.

$$t_e = t_{e,in} + \int_0^t \beta_h \times \beta_T dt \qquad \text{식 3}$$

여기서, $t_{e,in}$ 등가재령의 초기값(=0)

$$\beta_h = \left[1 + \left\{3.5\left(1 - h\left(t\right)\right)\right\}^4\right]^{-1}$$

$$\beta_T = \exp\left[\frac{U}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T(t)}\right)\right]$$

$$U/R = 3000K$$

- 콘크리트의 고상중의 습도는 환경습도를 이용하여 식4로 계산.

$$h(t,d) = h_0(t) + \left[h_{\text{int}} - h_0(t)\right]\left[1 - \exp\left(-\frac{d}{d_0}\right)\right] \qquad \text{식 4}$$

여기에, $h(t,d)$ : 시간 $t$ 및 깊이 $d$ 에 있어서 습도

$h_0(t)$ : 환경습도

$d$ : 표면으로부터의 깊이

$d_0$ =5cm

$h_{int}$ : 초기습도 =90%

라. 경계조건

- 비래염화물이온량 및 강우에 의한 염화물이온의 세류량을 고려할 수 있도록 하였으며, 식 5에 나타낸 것처럼 염화물이온의 플럭스를 표면에 설정하는 것이 가능.

$$q(t,s)=\frac{3.51\times m\times V_0\times Q(s)}{V_0+3.51\times Q(s)}-\delta\times m\times C_0(s) \qquad \text{식 5}$$

$$m=\frac{0.526(W/C)-7.61}{57.4}\times 100$$

여기에, $V_0$ : 단위시간당의 염화물이온 이탈량 (mg/(cm2 year))

$\delta$ : 강우에 의한 염화물이온 세류량 (mg/(cm2 year))

$C_0(s)$ :표면위치의 염화물이온 농도

$Q(s)$ : 비래염화물이온량

그러나 본 해석에서는 강우에 의한 세류량은 고려하지 않는 것으로 함( $\delta$ =0).

3. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

○ 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축

- 해양환경에서의 열화인자 이동 매개체가 되는 수분의 확산 이류 등의 현상을 정확히 예측하고자 모델을 구축하였고 침지실험을 통하여 모델의 신뢰성을 검정하였음

○ 그린 콘크리트 배합설계 프로그램 개발 및 함체 구조재료의 열화저항성/열화환경 DB 구축

- 플로팅구조물 구성재료의 각종 외부 환경인자 저항성에 관한 물성을 과학적 방법으로 실험을 통해 DB 구축하였음

○ 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가

- 함수조건의 변화에 따른 전기 음극방식 적용 범위 설정함으로써 함수조건의 변화에 따른 전위 분포 해석 모델 개발로 유지비용의 최소화를 실현함

○ 구조물 보수기술 개발

– 부착계면 특히 보수재와 철근의 부착특성을 규명함으로써 하중에 대한 구조물의 거동 평가의 정확성을 향상할 수 있을 것으로 기대됨

○ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발

○ 2세부과제

# 제1절 연구수행 전략 및 방법

◦ 본 연구의 목표인 정주형 플로팅 건축공간 친환경 설계기술 개발 및 법제도 제안을 달성하기 위하여 본 세부과제는 1) 상부시설 공간계획 기술 개발, 2) 플로팅 건축물 법제도 연구, 3) 해수열 이용 시스템 개발, 4) 플로팅 건축의 건물일체형 풍력시스템 개발, 5) 플로팅 건축 공간디자인 마케팅기술 개발 6) 플로팅 건축 BIM설계기술 개발 7) 플로팅 건축 시공기술, 8) 플로팅 건축 설비 설계 8가지 세부연구로 구성됨

◦ 1차년도 배치 및 건축계획지침, 입지선정 기준 개발을 포함한 플로팅 건축물 상부공간 설계를 위한 요소기술 DB 구축

◦ 2차년도 상부공간 모듈러 설계지침 개발, 법제도 개선안, BIM기반 플로팅 건축 프로세스 개발 등 플로팅 건축물 설계 기술 개발을 위한 기반 구축

◦ 3찬년도 모델 설계를 통해 설계지침 등 요소기술의 적용성 검토

◦ 4차년도 엔지니어링 테스트 베드 설계를 통해 개발된 지침, 설계기술 등의 요소기술의 현장적용 기술개발

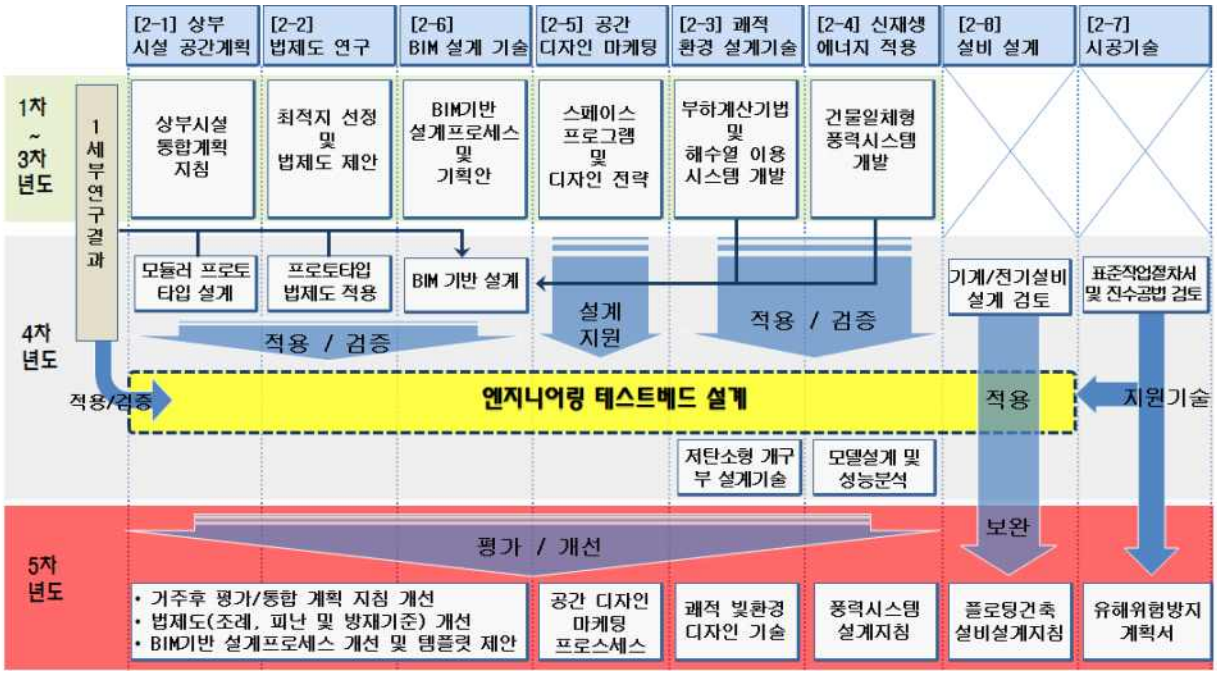
◦ 5차년도 엔지니어링 테스트 베드, Mock-up 실험 등을 통한 요소기술의 적용 및 검증을 통해 문제점을 도출, 개선을 통해 상부공간 설계 지침, 신재생에너지 설계 매뉴얼, 법제도 제안




[그림 2-1-1] 연차별 연구 목표




[그림 2-1-2] 연차별 세세부 연구성과




[그림 2-1-3] 연구개발 추진방안

# 제2절 상부시설 공간 계획 기술

## 1. 공간배치 및 건축계획 지침

### 가. 공간배치 및 형태 관련 기존 지침 분석

(1) 기존 지침 분석 방법

- ○ 국내외 플로팅 건축 사례 조사를 통한 배치 및 형태 요소 도출
- ○ 국내외 플로팅 건축 관련 지침 수집 및 현황 분석
- ○ 기존 지침의 구성 체계 분석
- ○ 기존 지침의 구성 요소별 분석

(2) 국내 관련 지침 분석

- ○ 국내의 플로팅 건축과 관련된 체계화된 법규 및 지침은 거의 없음
- ○ 유사한 관련 지침으로서 “마리나, 항만 및 어항 설계기준”과 “부유식 해상 구조물 기준”이 있음

(가) 부유식 해상 구조물 기준

- ○ 한국 선급(KR)에서 2009년에 발표한 부유식 해상구조물에 대한 기준을 정리한 것으로 [선박안전법] 제2조 제1호 및 제26조부터 28조까지, 같은 법 시행 규칙 제3조 제1호 및 제2호의 규정에 따라 제정된 기준임
- ○ 이 기준의 구성 체계는 다음과 같음
  - ① 선체에 관한 기준
  - ② 만재 흘수선에 관한 기준
  - ③ 방화 구조에 관한 기준
  - ④ 전기 설비에 관한 기준
  - ⑤ 소방 설비에 관한 기준
  - ⑥ 구명 설비에 관한 기준

(나) 마리나, 항만 및 어항 설계기준

- ○ 한국 항만 협회에서 2005년에 제시한 항만 및 어항 설계기준으로서 마리나 및 마리나 이용 보트와 관련된 시설에 대한 기술적인 측면에서의 기준임

○ 이 기준의 구성 체계는 다음과 같음

① 대상선박의 제원

② 수역시설

③ 외곽시설

④ 계류시설

⑤ 선박 역무용 시설

⑥ 임항교통시설

⑦ 환경오염 방지

⑧ 마리나의 안전

[표 2-2-1] 마리나, 항만 및 어항 설계기준의 구성체계

| 구성 | | 내용 |
|---|---|---|
| 대상선박의 제원 | | 대상선박의 제원은 마리나 주변지역에 있어서 플레저보트의 보유현황 또는 장래의 보유동향 등을 고려해서 적절히 정함 |
| 수역시설 | 일반 | 수역시설에 대하여는 제6편 수역시설에서 정하는 바에 따름 |
| | 항로 | 항로는 주 풍향과의 관계를 고려하면서 플레저보트의 안전한 항해를 위해 정온, 충분한 폭원 또는 수심을 갖는 수면을 확보하도록 함 |
| | 박지 및 선류장 | 박지 또는 선류장은 플레저보트의 안전한 계류 또는 원활한 조선을 가능하게 하기 위하여 정온하고 충분한 수심과 면적을 갖는 수면을 확보하도록 함 |
| 외곽시설 | | · 항입구<br>항입구의 방향, 위치, 수심 및 폭원은 플레저보트가 안전하게 입·출항할 수 있도록 풍향, 파랑, 조류, 주변을 항행하는 선박, 표사 등을 충분히 배려해야 함<br>· 마루 높이<br>방파제 또는 호안의 마루높이는 소요의 정온도를 확보할 수 있도록 적절한 높이로 함<br>· 구조 형식<br>소요의 정온도를 확보하기 위하여 방파제 또는 호안의 구조형식을 갖도록 함 |
| 계류시설 | 일반 | 계류시설의 형식 또는 규모는 제8편 계류시설에서 장하는 바에 따르는 외에 계류의 목적, 선형, 조위차 등을 고려해서 적절히 정함 |
| | 설계 조건 | 계류시설의 설계조건은 제2편 설계조건에 따르는 외에 마리나로서의 이용 상황을 고려하여 적절히 정함 |
| 선박 역무용 시설 | 부잔교 | 부잔교의 본체구조 및 본체구조 상호간의 연결 기구는 본편 5-2 계류 시설의 설계조건에서 구한 외력에 견디며 내구성이 있도록 함 |
| | 연락교 | 연락교의 제원은 이용자의 안전성에 지장이 없도록 적절히 정함 |
| | 부대설비 | 부대설비는 위험방지, 환경의 정비, 마리나의 효율적 운용 등을 고려하여 필요에 따라 설치함 |
| | 상 하 가 시 설 | 상하가 시설의 형식 및 규모는 대상으로 하는 플레저보트의 선종 및 선형, 척수, 처리능력 등을 고려하여 적절히 정함 |

| | | |
|---|---|---|
| 선박 역무용 시설 | 일반 | 선박역무용 시설의 형식 및 규모는 제9편 제4장 선박역무용 시설에 정하는 바에 따르는 외에 마리나에 있어서 선박역무가 원활히 행하여지도록 적절히 정함 |
| | 육상 보관 시설 | 육상보관시설의 형식 및 규모는 대상으로 하는 플레저보트의 종류 및 선형, 척수 등을 고려해서 적절히 정함 |
| 임항 교통시설 | | 임항교통시설에 대해서는 제9편 제1장 임항교통시설이 정하는 바에 따르고 그 외에는 마리나의 이용실태 및 자동차의 집중도를 고려하여 적절히 정함 |
| 환경오염 방지 | | 마리나의 환경오염 및 대책은 적절히 수립되어야 하며, 오폐수의 추정 및 대책, 기타 오염으로부터 마리나 시설물을 보호 및 관리해야함 |
| 마리나의 안전 | | 마리나 시설물은 자연환경으로부터 안전하게 설계되고 설치되고 운영되어야 함<br>각종 해양환경의 정확한 이해와 이로 인한 피해로부터 안전할 수 있도록 하여야함 |

(3) 국외 관련 지침 분석

○ 국내와는 다르게 국외(캐나다, 일본 등)에서는 다양한 형태로 플로팅 건축들이 건설되어 왔음

○ 이에 따라 다양한 형태의 기준이 작성되어 적용되고 있음

○ 국외의 플로팅 건축물 관련 지침으로는 일본 건축학회의 “海洋建築計劃指針”에 포함된 “海洋建築物計劃”이 있고 캐나다의 Floating Home Association에서 작성된 “Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards”와 벤쿠버시에서 마리나 계획과 관련되어 작성된 “Marina Neighborhood CD-1 Guidelines for Marina Development”가 있음

(가) 海洋建築物計劃

○ 일본건축학회에서 작성한 해양건축물 계획에 대한 기준으로 해양건축물에 관련된 일반지침과 환경, 어업, 항로, 자연재해, 주변경관 등에 대한 고려사항들이 제시되어 있음

○ 이 기준의 구성 체계는 다음과 같음

① 계획의 기본 방침

② 시설배치 계획

③ 시설규모 · 형상의 결정

[표 2-2-2] 해양건축물 계획 기준의 구성체계

| 구성 | 내용 |
|---|---|
| 계획의 기본 방침 | ·해양건축물의 계획은 계획 대상지 및 건축물의 고찰뿐만 아니라, 지역과 조화를 이룬 것이어야 함<br>·지형, 자연 상황을 파악하고, 안전하고 쾌적한 이용을 위한 시설계획이 되어야 함 |

| | | |
|---|---|---|
| | | ·경치, 자연황경에는 특별히 유의해서 양질의 환경 보존에 노력해야함<br>·해양건축물에 대해서 에너지 공급 관련 시스템 및 폐기물 처리 시스템 등을 충분히 고려하고, 해양 오염방지에 노력해야 함 |
| 시설 배치 계획 | | ·지진, 해일, 태풍, 해소, 유빙 등에 의한 자연재해는 인명, 재산의 안전에 관계되기 때문에 해양건축물의 배치에는 특별히 고려해야함<br>·또 해양건축물을 배치함에 있어 기상, 해상, 지상을 충분히 고려하는 것이 필요함<br>·해양건축물의 입지설계에 있어 생태사이클이 변화하지 않도록 배려하여야함<br>·또 수질에 관한 배려가 있어야 함<br>·해양건축물에는 육역보다 무리 없는 접근이 될 수 있도록 노력해야함<br>·경치의 좋고 나쁨은 직접적으로 해양건축물 및 그 입지 지역의 평가가 되는 것이기 때문에 충분히 유의해야함 |
| 시설규모·형상의 결정 | 하부 구조 | ·해양건축물의 이용목적, 이용방법을 충분히 파악해서 주변 환경과의 조화를 취할 수 있도록 계획함<br>·하부구조의 형식은 해양건축물과 육역시설 등과의 관련 및 최적 지형, 해저지반, 해상 조건 등을 고려해서 선택해야함<br>·부유식에 있어서 탑재중량, 중량의 밸런스에 관해 안정성 및 동요 특성을 고려해서 규모·형상을 선택해야함<br>·수면보다 하부구조의 정부 혹은 물결시 정부까지의 높이는 기본적으로 물결이 들어차지 않게 고려해서 결정해야함 |
| | 상부 구조 | ·시설의 이용형태 및 거주 기간 등 조건을 고려해서 구조·형상을 설정함<br>·육역과의 관련 수용인원 등을 고려해서 물자, 에너지 공급, 폐기물 처리 시스템, 방재 시스템을 결정함<br>·위험물 혹은 소음이 발생 하는 것을 탑재하는 경우는 충분히 그 영향을 고려해 안전성, 쾌적성을 유지할 수 있도록 해야함<br>·출입구·개구부는 끼워 맞추는 등을 고려해서 침수를 방지하는 구조를 해야함<br>·부유식에서는 흔들림에 대해서 위험을 방지하기 위하여 가구의 고정, 통로부의 난간 설치를 고려해야함 |

(나) Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards

○ 캐나다의 Floating Home Association에서 작성한 플로팅 주거에 대한 기준으로 플로팅 주거와 관련된 일반적인 기준과 함께 플로팅 주거의 배치와 관련된 세부적인 기준이 제시되어 있음

○ 이 기준의 구성 체계는 다음과 같음

① Requirements/Standards for Float Homes

② Exemptions

③ Standards for Marinas

④ Site Development Standards

⑤ Spacing

⑥ Resident Access

⑦ Water Supply

⑧ Sewage Disposal

[표 2-2-3] Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards 구성체계

| 구성 | 내용 |
|---|---|
| Site Development Standards | ·플로팅 커뮤니티 개발은 각종 설비와 서비스 공유를 위해 육상부 개발과 결합<br>·수면이 가장 낮은 상태에서 부유체의 하부면 아래로 최소 0.6m 수심 확보<br>·육상부분의 조경은 지자체의 규정에 따름<br>·마리나의 육상부로의 일반인 접근은 통제 가능해야하고 수상부에 대한 시야 확보 필요<br>·마리나 부지로의 접근은 개발업자가 조성하고 그 경로는 지자체 승인<br>·지자체의 법적 규정을 만족하는 가로변 이외의 주차공간 확보 |
| Spacing | ·부유체의 사이 또는 주거의 외벽 사이는 최소 3m<br>·계류된 보행로의 양측에서 부유체 또는 주거는 최소 3m<br>·플로팅 주거에서 수면으로 직접 접근 가능해야 하고 비상시 계류장치 내외로 접근 가능해야 하며 각 주거는 최소 6m이상 개방된 수면에 접해야 함<br>·플로팅 주거의 인접한 최소 2면에서 접근 가능, 구조체 위에서의 접근로는 최소 1m이상의 폭 확보<br>·플로팅 주거에서 최소 1개 이상의 거실이 외벽 폭과 최소 5m이상의 개방된 영역에 대한 시야 확보 |
| Resident Access | ·육상부로의 접근로는 최소 1.5m이상의 폭 확보, 출입구와 연결된 플로팅 주거 내의 통로는 최소 1m이상의 폭 확보<br>·부유식 보행로는 최소 1.5m이상의 폭 확보<br>·모든 보행로 표면은 넌슬립이 시공되어야 하고 견고해야 함 |

(다) Marina Neighborhood CD-1 Guidelines for Marina Development

○ 캐나다의 벤쿠버시에서 작성한 마리나 개발과 관련된 기준으로 부분적으로 플로팅 주거와 관련된 기준이 제시되어 있음

○ 이 기준의 구성 체계는 다음과 같음

① Application and Intent

② Organizing Principles

③ Overall Guidelines

④ Specific Guidelines

- Fixed Commercial Pier
- Floating Homes
- Live-aboards

- Other Floating Structures

[표 2-2-4] Guidelines for Marina Development 구성체계

| 구성 | 내용 |
|---|---|
| Floating Homes | ·전체 내용 중 Floating Homes에 대한 부분적인 가이드라인 포함<br>·내용은 앞의 규정과 유사, 다소 작은 규모<br>·2층 이하, 높이 6m 이하<br>·비거주 부분 제외한 최대 바닥 면적 110㎡<br>·최대 폭 8m, 최대 길이 12m<br>·주거의 돌출부는 부유체까지로 제한<br>·플로팅 주거 커뮤니티는 해양 환경에 적합한 질적으로 우수하며 독특한 디자인 요구<br>·인접 주거 및 외부 보행자를 고려한 향, 사생활 보호, 조망<br>·공용 부유체에서 개별 주거로 접근<br>·무게 중심에 대하여 균형 잡힌 구조체 설계<br>·해양 환경과 관련된 색채 사용, 기타 부위별 재료 규정 |

(라) Living quarters area, NORSOK Standard CD-001

○ 노르웨이 선급협회에서 작성한 석유생산을 위한 해양구조물의 거주 영역 관련 규정으로 필요 실의 종류, 최소면적, 안전 및 쾌적을 위한 최소 조건 등이 제시되어 있음

○ 이 기준의 구성 체계는 다음과 같음

① General requirements

② Living quarters area

③ Living quarters area room program

④ Arrangement of main facilities in the LQ

⑤ Arrangement of main facilities adjacent to the LQ

⑥ Miscellaneous requirements

⑦ Room finishes schedule

⑧ Room areas

⑨ Clean, dry building philosophy

⑩ Company specified items

(마) Guide for Crew Habitability on Offshore Installations

○ 미국 선급협회에서 작성한 해양 산업시설의 작업자를 위한 거주용 편의시설 관련 체크리스트로서 거주 및 작업 환경에서의 진동, 소음, 실내 환경, 조명 관련 규정

등이 제시되어 있음

○ 이 기준의 구성 체계는 다음과 같음

① General

② Accommodations

③ Whole-body Vibration

④ Noise

⑤ Indoor Climate

⑥ Lighting

나. 공간배치 및 형태계획 지침 방안

(1) 지침 구성 방향

○ 기존 지침의 구성 요소별 비교

○ 공간배치 및 형태계획 지침 작성 방안 도출

○ 공간배치 및 형태계획 지침 구성 체계 작성

○ 공간배치 및 형태계획 지침 초안 작성 및 보완

(2) 기존 지침의 구성 요소별 비교 분석

○ 주로 부유식 시설물 및 해양 산업시설 관련 설비 측면에서의 기준인 국내의 기준과 미국 및 노르웨이 선급협회의 기준은 제외

○ 일본의 “海洋建築物計劃”, 캐나다의 “Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards”, “Marina Neighborhood CD-1 Guidelines for Marina Development”를 비교 검토

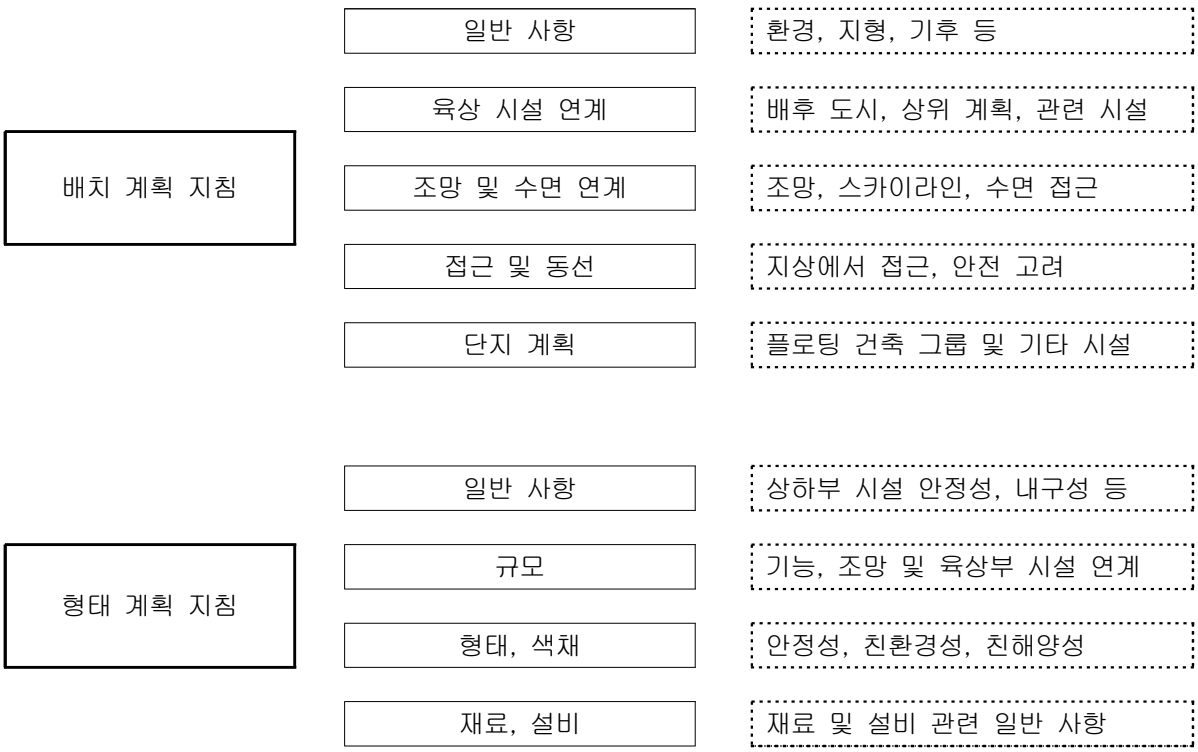
[표 2-2-5] 기존 지침의 구성 요소별 비교

| 구성항목 | | Float Home Standards | Floating Homes | 海洋建築物計劃 |
|---|---|---|---|---|
| 입지 및 배치 | 환경 | | | 친환경, 영향최소화, 모니터링 |
| | 기후 | | | 바람, 파도, 눈 |
| | 지형 | 수심 함체 하부0.6m | | |
| | 경관 | | 다양성 유지 | 경관 고려 |
| | 관련 계획 | 지자체 허가 구역 | 지자체 허가 구역 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 산업 | | | 수면 사용 산업 고려 |
| | 교통 | | 해상 교통 고려 | 해상 교통 고려 |
| 육상 과의 연계 | 광역 | | | 배후지 고려 |
| | 상하수 등 | 150m이내 물공급 육상 연계 | 육상 연계 | 육상 연계, 자체 처리 |
| | 관련 시설 | | 마리나 시설 연계 편의성, 기능성 | |
| 단지 계획 | 단위 간격 | 플로팅 주거간 3m | 플로팅 주거간 2m | |
| | 그룹 | | 동일 피어내 12동 그룹간 4m | |
| | 일반 | | 사생활 보호 | |
| 접근 및 보행로 | 공공 | 통제 가능 | 통제 가능 | 통제 가능 |
| | 지상 접근 | 1.5m 폭 | | |
| | 접근 면 | 2면 이상 | 2면 이상 | 지상에 비해 용이 |
| | 보행로 | 1m | 0.9m | |
| 조망 및 수면 접근 | 육상 | 육상에서 조망 확보 | 육상에서 조망 확보 | 스카이라인 고려 |
| | 거주영역 | 1실이상, 폭-실크기, 수직거리 5m | 1실이상, 폭-실크기, 수직거리 4.5m | |
| | 수면 접근 | 6m 이상 | 6m 이상 | |
| 플로팅 건축 규모 | 바닥 크기 | | 12m×8m | |
| | 연면적 | | 110㎡ | |
| | 층수, 높이 | 3층 | 2층, 6m | |
| | 돌출부 | | 함체 안쪽 | |
| 디자인 | 일반 | | 친 해양성, 양질 | 친 해양성, 일체감, 이용자, 이용행태, 거주시간 |
| | 형태 | | 친 해양성 | |
| | 색채 | | 친 해양성 | |
| | 재료 | 해양 환경 고려 | 해양 환경 고려 | |
| 설비 | 안전 | | 외부 난간 | |
| | 소방, 전기 방재 | 승인 사항 | | |
| | 배수 | 펌프 | | |
| 함체 | 안정성, 내구성 | 물, 부유물, 유기물, 전해질, 화학물질 등에 대한 내구성 안정성 | 균형 | 지형, 지반 고려 중량 고려 |
| 관련 규정 | 해양, 건축 관련 규정 등 | 전문가 승인 | 전문가 승인 | 전문가 승인 |

(3) 공간배치 및 형태계획 지침 구성 체계(안)

○ 국내외 기존 지침의 구성 체계에 대한 비교를 통하여 공간배치 및 형태계획 지침 구성 체계를 다음과 같이 도출함




[그림 2-2-1] 공간배치 및 형태계획 지침 구성 체계

다. 정주형 플로팅 건축물 배치 및 건축 계획 지침 (안)

0.0 지침 구성 체계

1) “정주형 플로팅 건축물 배치 및 건축 계획 지침”(이하 본 지침)은 다음과 같은 국내외 기준을 참조하여 작성됨

□ 부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준, 국토해양부, 2009.

□ 마리나, 항만 및 어항 설계기준, 한국항만협회, 2005.

□ 海洋建築物計劃, 海洋建築計劃指針, 日本建築學會, 1988.

□ Hitchhiker’s Guide to the Float Home Standards, Floating Home Association.

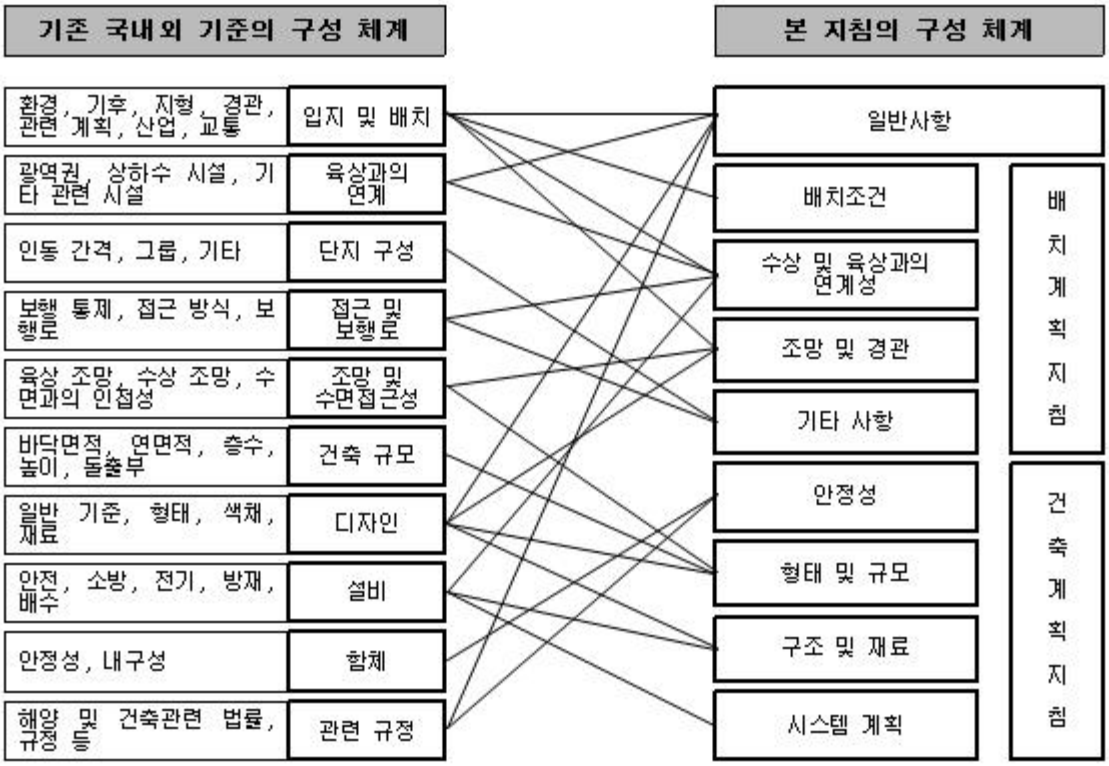
□ British Columbia Float Home Standards, British Columbia

□ Marina Neighborhood CD-1 Guidelines for Marina Development, City of Vancouver, 1993

□ Living quarters area, NORSOK Standard CD-001, 2006.

□ Guide for Crew Habitability on Offshore Installations, American Bureau of Shipping, 2002.

2) 본 지침의 구성 체계는 상기의 국내외 기준에서 플로팅 건축물 배치와 건축 계획에 관련된 구성 체계를 도출하고 이를 재구성한 것임




1.0 일반 사항

1) 본 지침은 정주를 목적으로 하는 플로팅 건축물 상부시설의 배치와 건축 계획에서 일반 건축물과 구별되는 고려사항 및 주의사항 등을 규정하는 것을 목적으로 한다.

2) 정주형 플로팅 건축물(이하 플로팅 건축물 또는 건축물)은 자연재해로부터 안전하며 주변 배후 도시가 갖는 다양한 측면에서의 개발 잠재력과 수해양 문화활동을 위한 자연 환경의 이용 가능성이 충분한 지역에 입지하여야 한다.

3) 플로팅 건축물은 일반 건축물에 비하여 환경 조건의 영향을 강하게 받을 수 있으므로

건축물이 지어지는 수역 및 인접 지역의 자연 환경 및 사회 환경과의 영향 관계를 충분히 계획에 반영하여야 한다.

4) 플로팅 건축물은 건축물이 지어지는 수역 및 인접 지역에 대한 상위 법 및 개발 계획과 연계하여 계획하여야 한다.

5) 플로팅 건축물의 배치 및 건축 계획에는 인명과 재산의 안전, 환경 오염 방지, 경관과의 조화를 위한 대책 및 계획을 구체적으로 수립하여야 하며, 관련 전문가의 검토 의견을 반영하여야 한다.

## 2.0 배치 계획 지침

### 2.1 배치 조건

1) 플로팅 건축물은 자연재해가 없거나 그 영향을 최소화할 수 있는 방호시설이 축조된 지역에 배치하여야 하며 바람과 파도 등 자연 환경 조건의 영향을 최소화할 수 있도록 건축물을 배치하여야 한다.

### 2.2 수상 및 육상과의 연계성

2) 플로팅 건축물은 그 용도에 따라 수면 공간을 적극적으로 활용할 수 있도록 배치하되 건축물의 건설로 인한 생태 환경에의 영향과 환경 오염을 최소화할 수 있도록 배치하여야 하고, 이를 지속적으로 모니터링해야 한다.

3) 플로팅 건축물은 건축물이 지어지는 수역 및 인접 지역의 수상 교통 및 기존 산업, 각종 구조물 등과의 영향 관계를 검토하여 적극적인 연계 활용 대상과 영향을 최소화할 대상을 명확히 구분하여 배치하여야 한다.

4) 플로팅 건축물은 그 용도에 따라 육상의 배후 도시와 시설 등을 활용하기 적합한 곳에 배치하여야 하며, 배후 시설과 물과 에너지를 포함한 각종 자원의 공급과 각종 폐기물의 배출이 용이하도록 배치하여야 한다.

5) 플로팅 건축물은 육상에서 수변 공간으로의 접근 및 이용을 저해하지 않아야 하고, 그 용도에 따라 육상에서의 수변 공간 이용을 활성화시키며 육상에서의 접근이 안전하고 쾌적하게 이루어질 수 있도록 배치하여야 한다.

### 2.3 조망 및 경관

6) 플로팅 건축물은 육상에서 수면으로의 조망을 저해하지 않아야 하고, 수변 지역의 기존 경관과 도시 지역의 스카이라인 등과 조화되도록 배치하여야 한다.

7) 플로팅 건축물 상부시설의 거주 실은 수면에 인접하여 안전하고, 쾌적한 수해양 문화 활동이 이루어질 수 있도록 계획하여야 하며, 재난 상황에서 피난을 위해 거주 실에서

수면으로 직접 접근이 가능하도록 계획하여야 한다.

8) 플로팅 건축물 상부시설의 거주 실은 주변 경관을 조망할 수 있도록 계획하여야 하며 수면에 대한 충분한 시야를 확보할 수 있도록 계획하여야 한다.

2.4 기타 사항

9) 플로팅 건축물이 육상에 인접하여 배치되는 경우, 사생활 보호가 필요한 공간에 대해서는 육상에서의 접근 동선과 시야를 차단할 수 있도록 계획하여야 하며, 2동 이상의 플로팅 건축물이 인접하여 배치되는 경우에도 안전과 사생활 보호를 위해 충분한 간격을 확보하여야 한다.

3.0 건축 계획 지침

3.1 안전성

1) 플로팅 건축물은 재해재난 시 또는 필요할 경우 육상과의 연결을 분리하여 다른 위치로 이동이 가능할 수 있는 형태로 계획하여야 하며, 플로팅 건축물 전체의 무게중심을 고려하여 구조적 안정성을 확보할 수 있도록 계획하여야 한다.

2) 플로팅 건축물 상부시설은 재난 상황뿐만 아니라 일상적인 사용 환경에서 사용자의 안전성을 확보할 수 있는 최적의 형태로 계획하며, 상위 법률을 준수하여 사용자의 안전한 피난과 탈출을 위한 방재 및 피난 계획을 수립하여야 한다.

3.2 형태 및 규모

3) 플로팅 건축물 상부시설은 건축물과 그 주변 영역에 대한 육상에서의 조망, 육상과 수상을 포함한 전체 경관, 건축물의 건설 과정 및 사용과 관련된 기존 구조물에 의한 제한 조건 등을 검토하여 형태 및 규모를 계획하여야 한다.

4) 플로팅 건축물 상부시설의 면적 계획은 일반 건축물의 계획 기준을 준용하되, 해당 건축물의 사용자 특성, 사용자의 거주 시간, 자연 환경 조건 등을 반영하고, 생태 환경에의 영향을 최소화할 수 있는 규모로 계획하여야 한다.

5) 플로팅 건축물 상부시설의 높이는 건축물과 그 주변 영역에 대한 육상에서의 시선과 주변의 자연 경관 조건 및 기존 구조물 등을 고려하여 계획하여야 한다.

3.3 구조 및 재료

6) 플로팅 건축물 상부시설은 월파 등을 고려하여 충분한 수밀성을 갖으며 침수를 방지할 수 있도록 계획하여야 하고, 충분한 방수, 방염, 방식 성능 등을 갖는 경량화된 구조 및

재료로 계획하여야 한다.

7) 플로팅 건축물 상부시설의 보행 공간 특히, 수면에 접한 보행 공간의 바닥은 미끄럼을 방지할 수 있는 마감 재료를 계획하여야 하며, 사용자 특성에 적합한 형태와 구조의 난간을 설치하고, 충분한 폭의 보행 공간을 확보하도록 계획하여야 한다.

3.4 시스템 계획

8) 플로팅 건축물 상부시설은 모듈계획을 통하여 구조 및 설비시스템의 통합, 시공의 용이성, 효율적인 공간구성 및 집합화를 통한 가변적 구성이 가능하도록 계획하여야 한다.

9) 물과 에너지를 포함한 각종 자원의 공급 및 저장시스템과 각종 폐기물의 저장 및 배출 시스템은 건축물과 육상과의 관계, 건축물의 규모 및 용도, 수용 인원 등의 특성에 적합하도록 계획하고, 재난시 환경오염을 최소화할 수 있도록 계획하여야 하며, 재생 가능한 에너지를 활용할 수 있는 친환경 에너지 시스템 도입을 고려하여야 한다.

## 2. 모듈러 설계 기술 개발

### 가. 국내외 모듈러 건축 시스템 기술 현황 분석

#### (1) 모듈러 건축 시스템 개요

(가) MC(Modular Coordination)설계 : 모듈 정합 설계

- 모듈정합(MC : Modular Coordination)을 바탕으로 설계원칙 기준과 기법 등에 관한 기준체계와 각종 건축물에 적용할 수 있는 건축물의 용도별 모듈 정합(MC) 설계방법 등을 개발

(나) Modular Design, Modular Building

- 모듈을 건축물이 세워질 현장으로 운반하여 조립을 통해 건축물을 완성하는 방식
- 모듈러 건축물은 건축물 내에서 대규모의 개축 없이 단위 구성 부재 또는 공간의 추가 또는 제거를 통해 그 규모 조정 및 기능 변화 가능
- 특정 기능을 위한 소규모 건축물 전체를 하나의 모듈로 생산 가능

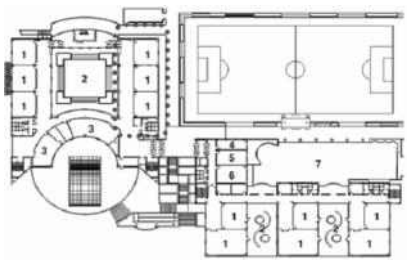
(다) 기타 유사 개념

- Cubicle : 칸막이벽을 통해 구분된 독립적인 단위 작업 공간을 지칭, 주로 사무실에서 시선과 소음을 차단하기 위한 목적으로 1960년대 말에 등장
- Booth : Photo Booth(사진 촬영용 자판기의 성격), Voting Booth(선거에서 투표를 위한 간이 시설물), Telephone Booth(공중전화기)

#### (2) 국내외 모듈러 건축 시스템 적용 대표 사례

(가) 금호 초등학교

- Unit의 각 실은 9,900×9,000(복도 포함)으로 구성
- 모듈러 시스템 적용시 단위 모듈구획은 3,300×9,000과 9,900×3,000로 구획 가능하나 모듈 운송시 폭 3m의 길이를 초과하기 때문에 9,900×3,000로 구획



[그림 2-2-2]금호 초등학교 평면도

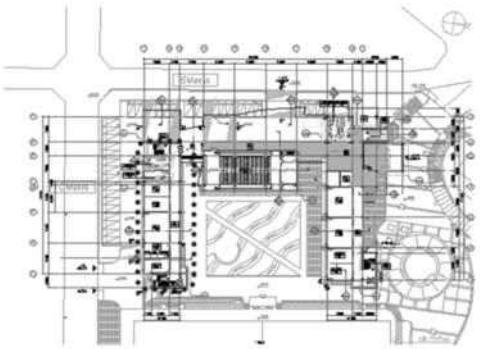
- 모듈은 9,900×3,000으로 3개의 모듈을 조합하여 하나의 Unit을 구성

(나) 태평 중학교

- Unit의 각 실은 10,500×9,000(복도 포함)으로 구성
- 모듈러 시스템 적용시 단위 모듈구획은 3,500×9,000과 10,500×3,000로 구획

가능하나 모듈 운송시 폭 3m의 길이를 초과하기 때문에 10,500×3,000로 구획

○ 모듈은 10,500×3,000으로 3개의 모듈을 조합하여 하나의 Unit을 구성



[그림 2-2-3] 태평중학교 평면도

(다) 웨일즈대학 기숙사-TMT

○ 4층 규모로 총 80개의 룸 모듈을 조합하여 건설된 64규모의 기숙사

○ 적용된 모듈은 TMT 모듈러 빌딩 시스템에서 개발한 것으로 다른 구조적인 보강없이, 12층까지 건립이 가능한 코너 지지형 시스템

○ 내화성능은 최대 3시간으로 설계되었고, 4개층 건립을 위한 총 공사기간은 4개월 소요

○ 단위 모듈의 룸 치수는 2.4m×4m×2.6m로 설정

○ 중앙의 복도를 중심으로 양면에 배치



[그림2-2-4] 웨일즈 대학 기숙사

○ 모듈간 모서리에서 이루어지는 연결부 처리는 모듈간의 소음과 진동을 차단하는 효과가 탁월

(라) Murray Groove

○ 3.2m×8m×3m의 호텔용 모듈을 공동주택용으로 개발하여 적용

○ 공장에서 내부마감까지 제작이 완료된 상태로 현장 반입되어, 현장에서는 모듈 조립 시행

○ 주호의 평면구성은 1침실형의 경우 8m×3.2m 크기의 2개의 모듈로 구성되고, 2침실형은 3개의 모듈로 구성

○ 모든 침실과 거실의 내부치수는 5.15m×3m의 치수로 설계되어, 거실공간을 침실로 이용이 가능하도록 설계



[그림2-2-5] Murray Groove

○ 두 주동의 연결부에 설치된 실린더형 계단실과 엘리베이터는 공장에서 생산된 부품의 형태로 현장에 반입하여 조립

(3) 북미 NRB(Modular Building Specialists) 모듈러 건축 시스템 설계 기술 사례

(가) 민간 기업용 건축물 및 소규모 편의 상점 건축

○ 급변하는 민간 기업의 수요에 대응하는 사무실 및 지원시설, 최소 공기 내의 설계 및 시공, 필요한 경우 분해 후 재조립 가능, 건축물의 기능에 따른 설비 등을 설치하기 위한 별도의 설계, 다수의 모듈 구성, 공장에서 전체 공정의 90%이상 해결 가능

○ 소규모 편의 상점의 경우 2개의 모듈로 구성, 편의점 기능에 충실한 구성 및 상업적인 이미지 형성을 위한 외관 형성, 편의점에 필요한 각종 설비 및 부속 시설 등의 최적화된 사전 설치, 현장 기초 및 바닥 공사와 공장 제작의 동시 진행







U.S Environmental Protection Agency Laboratory  Glegg Water

[그림 2-2-6] 민간 기업용 건축물 및 소규모 편의 상점 건축

(나) 공공 건축물 및 병원 건축물

○ 공간 수요의 급격한 증가로 인한 기존 건축물의 증축을 위해 모듈러 건축물을 활용 사례, 부분적인 현장시공 건물과 모듈러 건축물의 복합 구성, 시공현장으로의 접근성이 낮은 경우에서 모듈러 건축물의 활용 사례

○ 프로젝트의 특성에 따른 골조 건축 시스템과 모듈러 건축 시스템의 조합





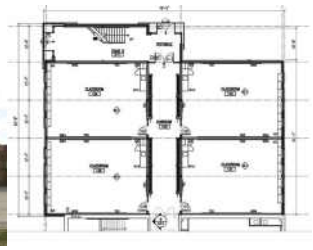

Queen Anne's County Detention Center  Walpole Island Police Building

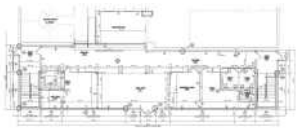
[그림 2-2-7] 공공 건축물 및 병원 건축물

(다) 교육 시설 및 기숙사 건축물

○ 교육시설과 같이 공사기간이 짧고 제한이 강한 경우 적합한 기술로서의 모듈러 건축 시스템의 적용, 임시 가설 건축물에서 영구 정착형 건축물까지 모듈러 건축 시스템의 적용 방식 검토

○ 기초 및 골조 건축 시스템에 의한 현장 시공과 패널 건축 시스템에 의한 조립 공사, 도심 현장과 같은 제약이 있는 현장에서의 모듈러 건축 시스템 시공



Bayview Hill Elementary School　　Mathematics, Civics & Sciences Charter School

[그림 2-2-8] 교육 시설 및 기숙사 건축물

나. 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 건축 시스템 적용 지침 작성

(1) 모듈러 건축 시스템 관련 기존 지침 및 연구 성과 분석

(가) 공공 건축물의 설계 표준화 기준

○ 제10조(구조계획모듈 및 수평계획모듈)

① 구조 및 수평계획모듈은 다음 각 호의 규정에 의한다.

1. 기둥 중심 간의 치수 60센티미터의 증분치수로 하되, 보조적으로 30센티미터의 증분치수도 사용할 수 있다.

2. 구성실 각 변의 수평계획모듈 격자 간 치수는 60센티미터의 증분치수로 한다. 그리고 다음 각목의 규정에 의한 치수는 30센티미터의 증분치수를 사용하는 것을 원칙으로 하되 불가피한 경우 10센티미터의 증분치수를 적용할 수 있다.

가. 건물의 규모 및 공간의 기능상 보다 세분화된 구획이 필요한 경우

나. 복도, 계단 및 계단참의 너비

○ 제11조(수직계획모듈)

① 수직계획모듈은 30센티미터의 증분치수로 하며 보조적으로 10센티미터의 증분치수를 사용할 수 있다.

② 수직계획모듈(층고·천장고·층간대 또는 천장대·창문대 등)의 기준면(선)설정방법은 슬래브 바닥 마감기준면잡기방법을 원칙으로 하되 슬래브 제작면잡기방법을 사용할 수 있다. 단, 천장고는 2.4미터 이상의 치수로 한다.

○ 제12조(주요구성재 조립기준면 설정원칙)

① 공공건축물의 주요구성재중 구조부재인 기둥, 고정벽, 캔틸레버 등의 기준면은 다음과 같이 설정하며, 구성재의 기본공차 및 치수는 KS F 1505에 따른다. 단, 해당구성재의 모듈호칭치수와 제작치수가 한국산업규격에 규정되어 있는 경우에는 이를 준용한다.

1. 기둥은 600밀리미터 격자의 구조대 중심에 위치하는 것을 원칙으로 하며, 기둥의 구조대가 600밀리미터보다 크거나 작을 경우에는 구조대의 크기를 10센티미터의 증분치수로 확대 또는 축소하여 설정하는 것을 원칙으로 한다.

2. 고정벽의 위치는 격자에 대하여 중심선잡기 또는 기준면잡기로 설정하며, 구조대내 외벽의 벽체두께의 기준면간 치수는 10센티미터의 증분치수로 한다.

3. 캔틸레버를 계획하는 경우, 기둥 중심으로부터 외벽 내측 기준면까지의 치수는 30센티미터의 증분치수를 원칙으로 한다.

○ 제13조(주요접합부 설계원칙)

① 각 구성재간의 접합부 설계원칙은 다음 각호와 같으며, 나중에 시공되는 구성재가 먼저 시공되는 구성재의 기준면을 넘어 최대한계치수의 범위 내에서 마무리할 수 있도록 설계하되 최대한계치수는 구성재간의 접합상황에 따라 별도로 설정한다.

1. 구조부재 가운데 슬래브와 외장부품의 외주벽이 접합되는 부분에서는 외주벽이 슬래브와의 기준면을 넘어 틈을 마무리할 수 있도록 설계한다.

2. 구조부재 가운데 기둥 및 고정벽과 내장부품의 천장재가 접합되는 부분에서는 천장재가 기둥 및 고정벽과의 틈을 마무리할 수 있도록 설계한다.

3. 간막이벽은 슬래브 바닥면의 오차와 바닥마감의 두께를 흡수할 수 있는 조정기능이 필요하며, 고정벽과 간막이벽이 접합되는 부분에서는 간막이벽이 틈을 마무리할 수 있도록 설계한다.

4. 외주벽과 천장재가 접합되는 부분에서는 커튼박스나 천장재가 외주벽과의 틈을 마무리할 수 있도록 설계한다.

5. 간막이벽과 외주벽이 접합되는 부분에서는 간막이벽이 외주벽과의 틈을 마무리할 수 있도록 설계한다.

6. 간막이벽과 천장재가 접합되는 부분에서는 간막이벽이 천장 기준면을 넘어 틈을 마무리할 수 있도록 설계한다.

(2) 운송 관련법

(가) 도로 관련법

○ 도로 폭과 관련된 법령으로는 도시 계획건설기준에 관한 규칙 10조, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 10조, 도로교통법 시행규칙 10조 등이 있음

[표 2-2-6] 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제10조(차로) 차로의 폭

| 설계속도 | 도로폭 | 비고 |
|---|---|---|
| 시간당 80킬로미터 이상 | 3.50미터 이상 | |
| 시간당 60킬로미터 이상 80킬로미터 미만인 도로 | 3.25미터 이상 | |
| 시간당 60킬로미터 미만 | 3.00미터 이상 | |
| 다만, 회전차선의 너비는 2.75미터 이상으로 할 수 있다. | | |

[표 2-2-7] 도로교통법 시행규칙 제10조 (차로의 설치)

| 내용 | 비고 |
|---|---|
| ② 제1항의 규정에 의하여 설치되는 차로의 너비는 3미터이상으로 하여야 한다. 다만, 가변차로의 설치 등 부득이하다고 인정되는 때에는 275센티미터이상으로 할 수 있다. | |

(나) 운반트럭 관련법

○ 운반하는 트럭과 관련한 법령으로는 도로의 구조 · 시설기준에 관한 규칙5조, 도로교통법시행령17조, 도로법 시행령 28조의3, 자동차 안전기준에 관한 규칙 등이 있음

[표 2-2-8] 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제5조(설계기준자동차)

| 구분 | 폭 | 높이 | 길이 | 측간거리 | 앞내민 길이 | 뒷내민 길이 | 최소 회전반경 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 소형차 | 1.7 | 2.0 | 4.7 | 2.7 | 0.8 | 1.2 | 6.0 |
| 대형차 | 2.5 | 4.0 | 12.0 | 6.5 | 2.5 | 4.0 | 12.0 |
| 세미트레일러 | 2.5 | 4.0 | 16.7 | 앞측간거리 4.2<br>뒤측간거리 9.0 | 1.3 | 2.2 | 12.0 |

1. 측간거리: 앞바퀴 차축의 중심으로부터 뒷바퀴 차축의 중심까지의 길이를 말한다.
2. 앞내민길이: 자동차의 앞면으로부터 앞바퀴 차축의 중심까지의 길이를 말한다.
3. 뒷내민길이: 뒷바퀴 차축의 중심으로부터 자동차의 뒷면까지의 길이를 말한다.

[표 2-2-9] 자동차 안전기준에 관한 규칙 제4조(길이·너비 및 높이) 및 제6조(차량 총중량 등)

| 내용 | 비고 |
|---|---|
| 제4조(길이·너비 및 높이)<br>①자동차의 길이·너비 및 높이는 다음의 기준을 초과하여서는 아니된다.<br>1.길이:13미터(연결자동차의 경우에는 16.7미터를 말한다.)<br>2.너비:2.5미터(후사경·환기장치 또는 밖으로 열리는 창의 경우 이들 장치의 너비는 승용 자동차에 있어서는 25센티미터, 기타의 자동차에 있어서는 30센티 미터, 다만,<br>피견인 자동차의 너비가 견인자동차의 너비보다 넓은 경우 그 견인자동차의<br>후사경에 한하여 피견인 자동차의 가장 바깥쪽으로 10센티미터를 초과할 수 없다<br>3.높이:4미터<br>제6조(차량 총중량 등)<br>①자동차의 차량 총중량은 20톤(화물자동차 및 특수자동차의 경우에는 40톤). 측중은 10톤, 윤중은 5톤을 초과하여서는 아니된다.<br>②제1항의 규정에 의한 차량 총중량·측중 및 윤중은 연결자동차의 경우에도 똑같다. | |

(다) 차량운행 관련법

○ 차량운행에 관련된 법령으로는 도로법 제54조 (차량의 운행제한), 도로법 시행령 28조의3 (차량은 운행제한)등이 있음

[표 2-2-10] 도로법 시행령 28조의3(차량의 운행제한)

| 내용 | 비고 |
|---|---|
| ② 관리청은 법 제54조의 규정에 의하여 운행을 제한할수 있는 차량은 다음 각호와 같다.<br>1.축하중이 10톤을 초과하거나 총중량이 40톤을 초과하는 차량<br>2.차량의 폭이2.5미터, 높이가 4.0미터, 길이가 16.7미터를 초과하는 차량<br>3.관리청이 특히 도로구조의 조전과 통행의 안전에 지장이 있다고 인정하는 차량 | |

(3) 국내외 기존 연구

(가) 철골조 유닛하우스의 오픈시스템을 위한 설계기준 설정 연구, 임석호, 2004.06

① 연구의 목적

○ 우리의 건축법과 주택법을 통해 규정되어 있는 기존의 설계도서 작성기준과 연계되고, 오픈시스템을 지향하는 유닛하우스의 설계기준 수립

○ 향후 다양한 공업화 주택의 개발을 목표로 발전모델을 제시

② 연구의 방법 및 범위

○ 우리나라에서 건설되고 있는 공업화 주택을 대상으로 실태와 문제점 분석

○ 오픈시스템의 적용을 위하여 기존의 국가적 모듈정합설계기준의 적용성을 검토

○ 유닛하우스의 설계기준내용과 구성 체계를 구축

○ 우리나라의 실정에 맞는 설계기준 도출.

③ 국내 공업화 주택의 설계 실태

○ 스틸하우스를 대상으로 조사(포항산업과학연구원에서 제시하는 13개의 스틸하우스 표준 평면을 대상으로 함)

○ 습식공동주택에 적용되는 “주택의 설계도서 작성 기준”의 주요 항목인 수평계획모듈, 수직계획모듈, 기준면 설정 방법 등을 도면중심으로 분석함

④ 표준평면의 치수 분석

○ 수평방향 치수는 100%가 3M 및 6M의 증분치수이며, 침실과 거실은 90%이상이 3M 및 6M의 증분치수를 적용하고 있는 것으로 나타남. 식당, 욕실 등에서는 3M 및 6M 증분치수 뿐만 아니라 1M의 증분치수도 적용빈도가 높게 나타남

○ 수직방향 치수는 층고는 3M 및 1M의 증분치수가 전체 55.6%로 과반수이상 적용되고 있으며, M/10의 증분치수와 비모듈 치수가 동일하게 적용됨.

○ 또한 천장고는 3M 및 1M의 증분치수가 37.1%로 적용되었음

⑤ 단위유닛의 개발

○ 일본의 유닛하우스의 생산사는 S사와 T사가 전체 시장을 100%점유하고 있음.

○ S사는 450모듈로서 길이방향으로 안목치수 2,700, 3,600, 4,500, 5,400mm의 유닛 사용

○ T사의 경우 500모듈로서 길이방향 안목치수 3,000, 3,500, 4,000, 4,500, 5,000, 5,500, 6,000mm의 유닛을 사용하고 있음

○ 수직치수의 경우, 천장고 2,400mm를 사용하고 있으며, 유닛높이의 경우 S사는 2,830mm, T사의 경우에는 2,880mm로 나타남

⑥ 유닛하우스의 설계기준 제안

[표 2-2-11] 유닛하우스의 계획모듈 제안

| 수평계획모듈 | 수직계획모듈 |
|---|---|
| 유닛하우스의 주요 구성실(거실, 침실, 부엌, 화장실) 각 변의 치수는 안목치수 30센티미터 증분치수 적용을 원칙으로 하고, 불가피한 경우에는 보조모듈 증분치수를 적용한다. 단, 다음 각 목의 치수는 보조모듈 증분치수인 10센티미터 증분치수를 적용할 수 있다.<br>1. 식당, 욕실<br>2. 복도, 계단, 계단참, 발코니의 너비<br>3. 현관, 창고, 다용도실<br>4. 기타공간(드레스실, 수납공간, 온실 등) | 유닛하우스의 수직계획 모듈 치수는 10센티미터 증분치수 적용을 원칙으로 하고 불가피한 경우 보조모듈 증분치수 적용을 할 수 있다. 다음 각목의 규정에 의한 치수는 보조모듈 증분치수를 적용할 수 있다.<br>1. 층고는 아래층 바닥마감기준면에서 위층 바닥마감기준면까지의 치수로 10센티미터 증분치수를 적용하되, 보조적으로 5센티미터 증분치수를 적용할 수 있다.<br>2. 층간대는 천장마감재, 천장보, 바닥보, 바닥온돌판 및 바닥 마감재로 구성되며, 10센티미터 증분치수를 적용하되, 보조적으로 5센티미터 증분치수를 적용할 수 있다.<br>3. 천장고는 10센티미터 증분치수를 적용하며, 2,400mm를 권장한다.<br>4. 창문대 높이는 바닥마감기준면으로부터 30센티미터 증분치수를 원칙으로 하고, 보조적으로 10센티미터 증분치수를 적용할 수 있다. |

[표 2-2-12] 주요 부위의 기준면 설정

| 벽체 | 층간대 | 창호 |
|---|---|---|
| 다. 주요구성재의 기준면 설정<br>1.벽체는 안목기준면 잡기를 적용<br>2.벽체의 기준면 치수는 철골 두께, 마감재 치수, 시공오차 및 시공여유의 합이 5센티미터의 증분치수로 설정<br>3.벽체의 틈값은 철골 두께, 마감재 치수, 시공오차, 시공여유 등에 의해 조정<br>4.두께가 다른 벽체가 인접할 경우, 조립기준면은 두꺼운 벽체를 기준으로 설정<br>5.외벽 기준면 치수는 150mm를 권장<br>6.내벽 기준면 치수는 100mm를 권장 | 1. 층간대 기준면은 천장하부 마감기준면에서부터 상부층 바닥 마감 상부기준면에 설정<br>2. 층간대 치수는 천장판, 천장보, 바닥보, 바닥판, 온수온돌판, 바닥마감 두께에 허용오차를 합하여 10센티미터의 증분치수가 되도록 하고, 보조적으로 5센티미터 보조 증분치수를 사용.<br>3. 층간대 기준면치수는 600mm를 권장 | 1.창문대 높이는 3M의 증분치수 적용을 원칙으로 하되 1M의 증분치수도 적용할 수 이TEk. 창호의 크기는 KSF1515의 표준모듈호칭치수를 따르되, 3M의 증분치수를 권장한다.<br>2. 창호의 틈값 설정은 다음과 같다.<br>①창의 경우 나비 및 높이방향에 대하여 틈값을 5mm로 설정한다.<br>②문의 경우 나비방향에 대한 틈값을 5mm, 높이방향에 대한 틈값을 1mm로 설정한다.<br>3. 창호와 접합되는 고정벽으 틈값은 0으로 설정한다. |

⑦ 결론

○ 구조체를 단위 철골조로 선정하고 평면을 자유롭게 조합할 수 있는 공업화 주택 시스템으로 “공업화 주택으로서 유닛 하우스” 의 개발 보급을 제안

○ 유닛하우스에 대한 설계기준내용을 제안

(나) 부품 및 유닛 DB를 이용한 유닛 모듈러 주택의 설계자동화 연구, 임석호, 2006.06

① 연구의 목적

○ 가장 프리패브화율이 높은 유닛공법을 대상으로 오픈시스템의 바탕위에 수요자의 요구에 대응하고 부품 및 유닛 DB를 활용한 오픈시스템을 접목시켜 생산성의 제고를 도모함

○ 건축 획일화의 문제점을 해결할 수 있는 유닛 모듈러 주택 자동화 설계 방안을 제시

② 연구의 방법 및 범위

○ 부품 및 유닛의 DB설정을 중심으로 다양한 설계원형을 면적별로 도출

○ 설계원형으로부터 다시 유닛으로 분할하여 설계의 자동화 프로그램에 활용할 수 있는 기본적 자료와 DB를 구축

○ DB는 다양한 수요자의 라이프스타일과 가족의 구성, 그리고 대지의 특성, 예산, 법규적 특징에 대응하여 설계에 활용

○ 이를 바탕으로 유닛간의 결합원칙과 유닛의 평면 및 단면의 배치 원칙 그리고 평면의 구성 원칙을 제안

③ Prototype

○ Prototype에 적용한 유닛은 안목치수를 기준으로 폭 2,400mm에 길이 3,600, 4,500, 5,400mm의 유닛을 메인 유닛으로 하고, 1,050mm에 길이 3,600, 4,500, 5,400mm인 하프유닛으로 구성

○ 진입 형태별로 정면, 측면, 후면진입의 3가지 타입으로 구분하여 구성

○ 진입형태별 3타입, 조합형태 2타입, 유닛 2열 조합 발생형태 6타입으로 평면을 조합

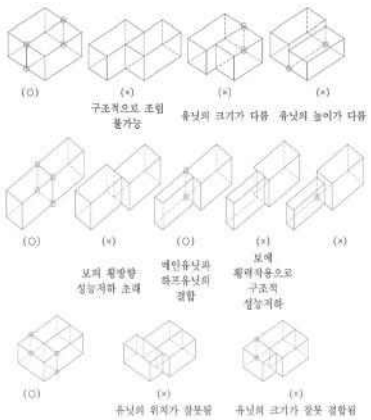
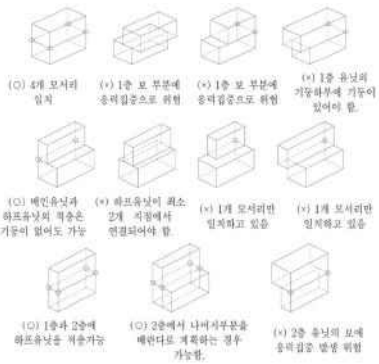
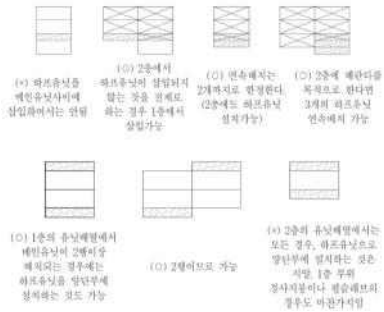
○ 총 72개의 Prototype평면 구성

[표 2-2-13] prototype의 구성요소

| 항목 | 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 메인유닛 | 3,600X2,400, 4,500X2,400. 5,400X2,400 | 유닛의 안목치수 기준 |
| 하프유닛 | 3,600X1,050, 4,500X1,050. 5,400X1,050 | |
| 진입형태 | 정면, 측면, 후면(3타입) | |
| 조합형태 | 2열 3행, 3열 3.5행(2타입) | |
| 유닛2열의 조합형태 | 3,600+3,600, 3,600+4,500, 4,500+4,500, 3,600+5,400, 4,500+5,400, 5,400+5,400(6타입) | |
| 적층수 | 2층 기준 | |

④ 설계 S/W를 위한 유닛간의 결합 원칙

[표 2-2-14] 유닛 간의 결합원칙

| 평면 결합 | 입면 결합 | 배치 원칙 |
|---|---|---|
| -유닛의 도리방향으로 접합하는 경우는 4면 모서리가 일치해야한다.<br>-유닛의 보방향으로 접합하는 경우에도 4면 모서리가 일치해야한다. | -메인유닛과 메인유닛의 결합은 4면 모서리가 일치해야한다.<br>-메인유닛과 하프유닛이 결합하는 경우는 2면모서리가 일치하고 중간에 보강기둥을 세운다.<br>-하프유닛과 하프유닛의 결합은 4면모서리가 일치해야한다. | (1)평행배치<br>-2열 2행이나 3열 3행을 기본배치로 한다.<br>(2)하프유닛 배치<br>-하프유닛은 1층, 2층 모두 도리방향의 단부에 배치한다. |
|  |  |  |

⑤ 설계자동화에 의한 수요자 요구 대응 평면개발

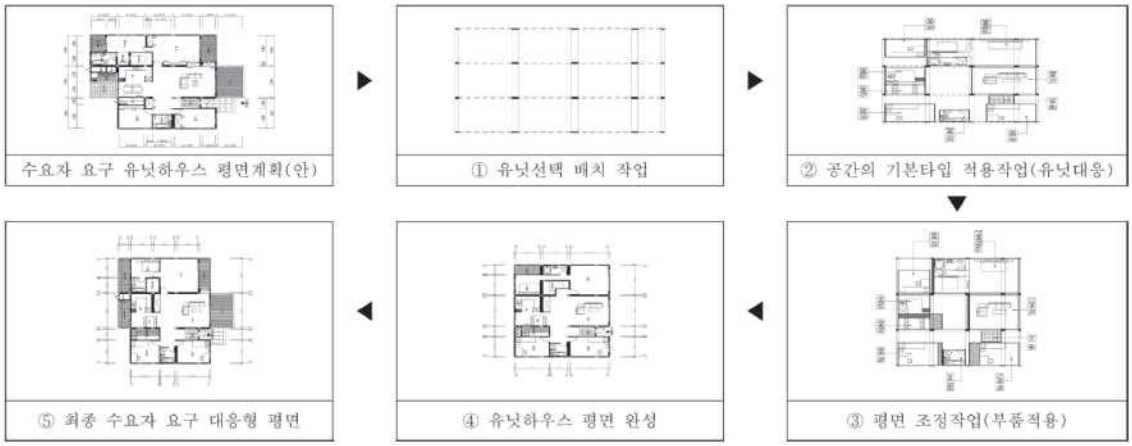
○ 유닛 및 부품 DB를 바탕으로 유닛간의 결합원칙과 배치원칙 그리고 평면원칙을 기본원칙으로 설계 S/W를 개발할 수 있는 기본조건 구축

○ 150㎡의 45평 규모의 주택을 단층으로 계획할 경우, 5,400×2,400mm유닛 3열 3행에 하프유닛을 결합한 형태

○ 유닛을 배치한 후 기본타입의 공간을 적용시킴으로서 공간이 남는 부분과 겹치는 부분이 발생함

○ 주요 구성실을 우선적으로 유닛과 모듈에 맞도록 조정

○ 유닛간의 접합원칙과 배치원칙을 토대로 평면 조정 작업을 시행 후 기본 타입에 없는 기타 공간을 적절히 배치하여 평면 완성




[그림 2-2-9] 유닛하우스(안)의 설계자동화 process

⑦ 결론

○ 구축된 데이터베이스(DB)를 이용하여 유닛 모듈러주택을 가상공간에서 실시간 구현하며, 구현된 유닛 모듈러주택의 설계도면, 물량산출 및 구조검토를 즉시 수행 할 수 있어야 함

○ 유닛 모듈러주택 생산시스템 개발에 필요한 선행 연구를 가상공간에서 미리 수행함으로써 실험 및 모형 제작비용 등을 줄일 수 있음

○ 실용화 단계에서는 수작업으로 이루어지는 설계도면 작성, 물량산출 및 구조설계 등에 소요되는 막대한 시간과 비용을 단축할 수 있을 것으로 기대됨

(2) 플로팅 건축물에서 모듈러 건축 시스템 적용 사례 분석

(가) IBA-Dock

○ IBA 함부르크 본부 및 전시장으로 2009년 지어진 건축물로 하노버의 Han Slawik 교수가 설계하였고, 현재는 함부르크 도시와 건축 정보센터로 활용

○ 3개 층으로 이루어진 연면적 1,623㎡의 건축물로 안정성과 경량화의 요구에 다라 상부시설을 모듈러 건축 시스템으로 설계

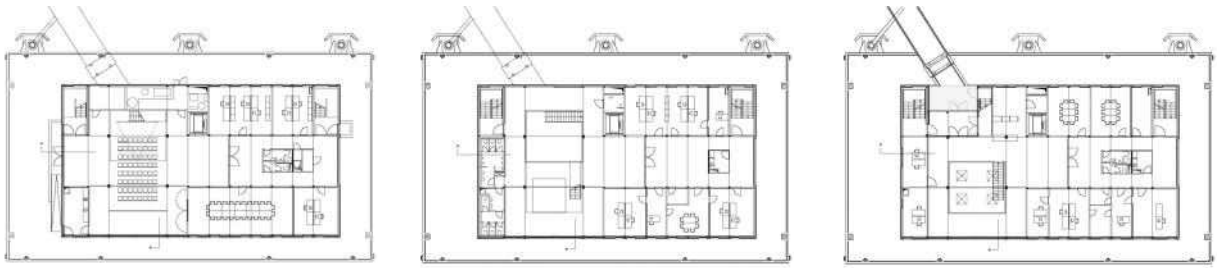
○ 신재생에너지를 활용하여 상층부에 태양열 및 태양광 집열판을 두었고, 강물을 이용한 열교환기를 설치

○ 모듈 3개가 길이 방향으로 연결되어 전체 건축물의 측면 폭을 결정하고 있으며 건축물의 정면 폭은 모듈 13개가 폭 방향으로 연결된 것과 동일



[그림 2-2-10] IBA-Dock 전경 사진 및 내부 전시 공간

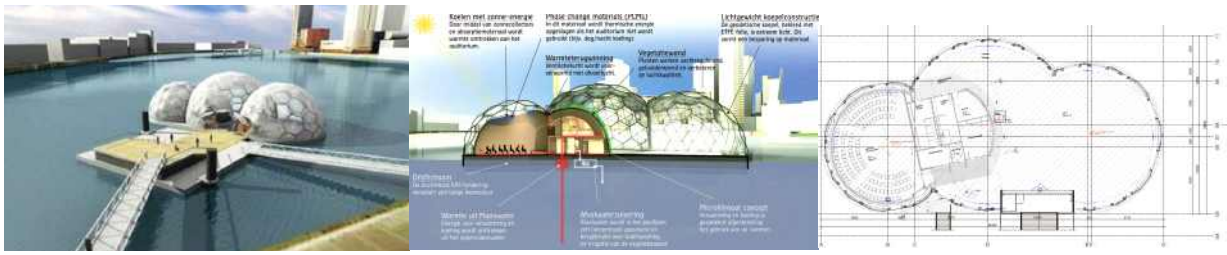
- 모듈 3개가 길이 방향으로 연결되어 전체 건축물의 측면 폭을 결정하고 있으며 건축물의 정면 폭은 모듈 13개가 폭 방향으로 연결된 것과 동일
- 최상층으로 돌출된 계단실까지 포함하면 전체적으로 총 121개의 모듈이 사용됨
- 기본 단위 모듈은 2.5m×6m×3m로서 가장 많은 부분에서 사용
- 측면 양쪽 끝부분의 모듈은 폭이 조금 넓어진 3m×6m×3m 모듈을 사용
- 모듈의 바깥쪽으로 15㎝ 두께의 별도 외벽을 설치하여 외벽 마감
- 육상의 출입구에서 연결되는 부분의 경우 모듈 없이 7m×6m의 크기



[그림 2-2-11] IBA-Dock 평면도 (오른쪽부터 차례대로 1층, 2층, 3층)

(나) Floating Pavilion

- 로테르담에 위치한 전시 및 집회시설로서, 2010년에 완공
- 콘크리트와 폴리스틸렌 수지를 복합화한 폰툰 위에 막구조의 상부시설을 설치하였고, 외부공간의 야외 집회시설을 연결하여 동시 활용
- 단위 공간 중심의 모듈 적용보다는 현장 조립으로서의 모듈러 시스템 적용



[그림 2-2-12] Floating Pavilion 투시도 및 평면도, 단면 개념도

○ 모듈러로 분할될 수 있기 때문에 운반에 용이, 보다 작은 단위로 나누어 운반

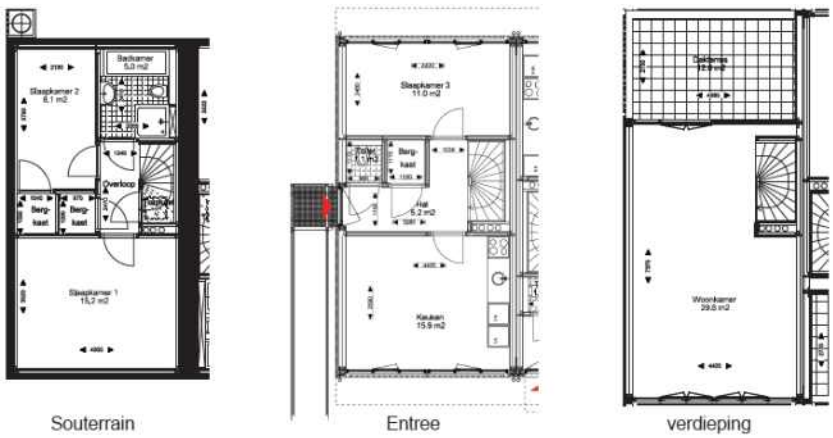
○ 상부시설 구조체의 경우 돔 구조물이 교차하는 지점을 중심으로 3등분하여 형성

○ 폰툰의 경우 상부구조와 연계하여 3등분으로 구분

(다) IJBURG Housing

○ 암스테르담에 위치한 플로팅 주거 단지로서 2011년 준공, 1세대는 3개층으로 구성되고, 2세대가 결합되어 1동 구성

○ 하부 함체 부분은 2개의 침실(15.2㎡와 8.1㎡), 화장실과 계단실, 침실에 포함된 수납장으로 구성




[그림 2-2-13] IJBURG Housing 단위 세대 각층 평면도

(3) 유럽 플로팅 건축물에서 콘크리트 폰툰의 거주성과

○상부 건축공간의 관계

(가) 콘크리트 폰툰과 상부 건축공간의 상관성 분석 방법론

○ 국내 플로팅 건축 사례의 경우 선박(바지선)과 같은 형식의 폰툰을 사용

○ 반면, 유럽의 경우 중소형 플로팅 건축에서 철근콘크리트 폰툰 사례를 다수 사용

(나) 폰툰과 상부공간의 상관성 분석 대상

○ 네덜란드의 사례 5건, 독일의 사례 2건, 스웨덴 사례1건을 선정

○ 사례에 대한 인터넷 자료 등을 포함한 문헌조사와 답사를 통한 현지 조사 병행

[표 2-2-15] 콘크리트 폰툰과 상부공간의 상관성 분석 대상 사례

| 사례 | 폰툰의 유형 | 건물 용도 | 계류방식 | 부속건물의 유무 | 층수 | 국가 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pampus Haven | 단순 부유체 | 전시&회의 시설 | 돌핀계류 | 없음 | 3층 | 네덜란드 |
| Floating Home | 단순 부유체 | 단독주택 | 돌핀계류 | 없음 | 2층 | 독일 |
| Salt & Sill | 단순 부유체 | 호텔 | 와이어 계류 | 있음(사우나) | 2층 | 스웨덴 |
| Kai10 | 단순 부유체 | 식당 | 돌핀계류 | 있음(식당) | 1층 | 독일 |
| Drijvend Pavilioen | 비거주 부속공간 | 전시시설 | 와이어& 돌핀계류 | 있음(무대) | 1층 | 네덜란드 |
| IJBURG 주거단지 | 거주공간 | 연립주택 | 돌핀계류 | 없음 | 3층 | 네덜란드 |
| Terwilde 주거단지 | 거주공간 | 단독주택 | 돌핀계류 | 없음 | 2층 | 네덜란드 |
| Gouden Kust | 거주공간 | 연립주택 | 돌핀계류 | 없음 | 2층 | 네덜란드 |

(다) 콘크리트 폰툰과 상부 건축공간의 관계 분석

① 단순 부유체 유형

[표 2-2-16] 단순 부유체 유형과 이미지

| 구분 | 단순 부유체 유형 |
|---|---|
| 건축물의 설치 장소 | 파랑 등이 심하지 않은 강, 바다 및 정수역 |
| 상부시설 규모 | 소규모 주거건축 및 중규모 단일 건축물 |
| 구조적 관련성 | 콘크리트 폰툰과 직접 관련 없는 상부구조 |
| 공간적 연속성 | 폰툰과 상부시설 간의 공간적 비연속성 |
| 폰툰 제작 기술 | 폰툰제작 및 접합 기술의 보편성 |
| 설비 연결 | 폰툰과 상부시설 사이의 설비층 활용 |






② 비거주 부속 공간 유형

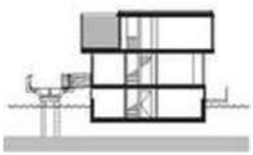
[표 2-2-17] 비거주 부속공간 유형과 이미지

| 구분 | 비거주 부속 공간 유형 |
|---|---|
| 건축물의 설치 장소 | 파랑 등이 심하지 않은 강, 바다 및 정수역 |
| 상부시설 규모 | 중규모 또는 그 이상의 단일 건축물 |
| 구조적 관련성 | 콘크리트 폰툰과 직접 관련 없는 상부 구조 |
| 공간적 연속성 | 폰툰과 상부시설 간의 약한 공간적 연속성 |
| 폰툰 제작 기술 | 폰툰 제작 기술의 보편성 및 보조공간 설치 |
| 설비 연결 | 폰툰 내부의 별도의 기계실 등 활용 |




③ 거주 공간 유형

[표 2-2-18] 거주 공간 유형과 이미지

| 구분 | 거주 공간 유형 |
|---|---|
| 건축물의 설치 장소 | 수위 변동, 파랑 등이 거의 없는 정수역 |
| 상부시설 규모 | 소규모 주거 건축, 건축물이 모인 단지 형식 |
| 구조적 관련성 | 콘크리트 폰툰의 모듈과 일치하는 상부구조 |
| 공간적 연속성 | 폰툰과 상부시설 간의 공간적 연속성 |
| 폰툰 제작 기술 | 폰툰 및 상부구조 접합부의 수밀성 |
| 설비 연결 | 외부 설비의 연결 및 폰툰 내부 기계실 |
|  |    |

(라) 콘크리트 폰툰의 거주성과 상부 건축공간의 상관성

① 단순 부유체 유형

○ 콘크리트 폰툰과 상부 건축 공간 사이의 관련이 거의 없고, 단지 인공대지로서의 역할, 주로 파랑이 심하지 않은 강, 바다 등의 정수역에 건설

○ 상부 건축공간과의 연결 및 콘크리트 폰툰의 제작 기술 측면에서 다른 유형에 비하여 보다 보편적인 기술이 적용

② 비거주 부속 공간 유형

○ 콘크리트 폰툰의 내부 공간을 기계실로 활용하며, 공간 활용도가 높은 장점

○ 콘크리트 폰툰과 상부시설은 구조적으로 직접적인 영향

③ 거주 공간 활용 유형

○ 콘크리트 폰툰 내부를 실내 공간으로 사용함으로써 상부 거축공간과 밀접한 관련성, 물 속의 경우 계절에  따른 기후 변화가 적어 거주 공간으로의 활용에 장점

○ 상부 건축공간의 형식이 폰툰에 의해 제약되는 자유롭지 못한 특징

(4) 지침의 구성

(가) 지침의 구성 체계 규정

○ 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 건축 시스템 적용을 위한 지침의 구성을 위해 기존 지침 및 연구 성과를 바탕으로 다음과 같은 구성 체계를 제안

[표 2-2-19] 지침 구성체계

| 지침의 구성 항목 | 지침의 주요 내용 |
|---|---|
| 배경 및 필요성 | - 플로팅 건축물의 성격에 따른 모듈러 시스템 적용의 필요성<br>- 경량화, 현장 시공의 최소화, 이동성, 가변성, 정밀도 향상 등<br>- 국내 모듈러 적용 건축의 한계, 광의의 공업화로서의 모듈 적용 |
| 지침의 구성 및 관련규정, 참고자료 | - 지침의 전체적인 구성 및 연계성<br>- 기존 지침, 기준, 규정, 표준, 법령 등과의 맵핑 |
| 모듈러 건축 시스템 적용 범위 | - 프로젝트의 3가지 조건(환경, 조직, 기술)에 대한 정확한 평가 필요<br>- 기획 및 설계에서 시공까지의 통합화된 과정의 관리<br>- 초기 단계에서의 세부 계획 수립, 모든 구성 요소의 체계적인 결합 |
| 모듈러 건축 시스템 적용 조건 | - 모듈 설계의 정의 : 모듈 정합 설계와 모듈 축조 방식<br>- 플로팅 건축 축조 방식의 분류, 모듈 축조 방식의 적용 범위, 축조 방식의 융합 |
| 모듈 정합 설계 | - 모듈 정합 설계를 위한 모듈의 정의, 기존 규정 등과의 관계<br>- 수평 모듈과 수직 모듈의 정의, 플로팅 건축에서의 고려<br>- 그리드 체계의 종류 및 적용 |
| 재료 및 구법 | - 구조 체계 구성 재료 : 목재, 철, 콘크리트 등<br>- 축조 방식과 구조 체계<br>- 각 구조 체계 및 구성 재료와의 관계 및 고려사항 |
| 상하부 구조체계의 연계 : 폰툰과의 관계 | - 폰툰의 유형화 : 재료, 시공방식, 거주성 등<br>- 폰툰의 유형과 상부 구조 체계와의 연계 및 영향 |
| 외피 체계 | - 외피와 구조 체계와의 관계<br>- 외피의 재료에 따른 검토 : 유리, 목재, 철, 콘크리트, 벽돌, 돌, 합성수지 등<br>- 비정형 외피 |
| 기타 사항 | - BIM의 적용<br>- 사용자 주문형 모듈 적용<br>- 생산, 운송, 조립, 재활용, 친환경, 수명 등 |

(나) 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 건축 시스템 적용 지침(안)

1.0 배경 및 필요성

1) 플로팅 건축물은 일반 건축물에 비하여 환경 조건의 영향을 받기 쉬워, 현장 시공에 부적합한 많은 제약 조건이 발생할 수 있다. 따라서 플로팅 건축물의 경우 현장에서의 시공 과정을 최소화하기 위한 충분한 사전 계획이 필요하다.

2) 현장 시공의 최소화를 위한 계획에는 건축 부재의 공업화, 조립화, 경량화 등에 대한 고려가 포함되며, 이동성의 확보, 공사기간의 단축, 시공 정밀도의 향상을 위한 계획 등도 고려되어야 한다.

3) 프로젝트의 성격에 따라 적합한 공업화 건축 시스템을 검토하되 현장 시공이 가장 최소화되는 단위 공간 모듈러에 의한 건축 시스템의 적용 가능성을 충분히 검토할 필요가 있다.

- 국내 모듈러 적용 건축의 한계, 광의의 공업화로서의 모듈 적용

2.0 지침의 구성 및 관련 규정, 참고 자료

1) “플로팅 건축물 상부시설의 모듈러 설계 적용 지침”(이하 본 지침)은 정주를 목적으로 하는 플로팅 건축물 상부시설에 단위 공간 모듈러 건축 시스템을 포함한 공업화 건축 시스템을 적용하기 위해 필요한 초기 계획 단계에서의 포괄적인 고려사항 및 검토사항 등을 규정하는 것을 목적으로 한다.

2) 본 지침은 다음과 같은 국내외 기준 및 자료를 참조하여 작성되었다.

□ 주택건설기준 등에 관한 규정, 2011.

□ 주택건설기준 등에 관한 규칙, 2011.

□ 주택의 설계도서 작성 기준, 2009.

□ 공용청사 및 공동주택 설계용역 성과품 작성 기준, 1998.

□ 도로의 구조시설기준에 관한 규칙

□ 자동차 안전 기준에 관한 규칙

□ 도로법 시행령

□ 부품 및 유닛 DB를 이용한 유닛 모듈라 주택의 설계자동화 연구, 2006.

□ 유닛 모듈라 주택의 설계자동화를 위한 기초 연구, 2005.

□ 한국형 공업화 주택의 오픈 시스템을 위한 모듈정합 설계기준설정 연구, 2004.

□ Prefab Architecture : A Guide to Modular Design and Construction, 2010.

□ Components and Systems : Modular Construction, Design, Structure, New Technologies, 2008.

3) 본 지침의 구성 체계는 상기의 국내외 기준과 자료에서 단위 공간 모듈러 건축 시스템을 포함한 공업화 건축 시스템과 관련된 내용을 도출하고 이를 다음과 같은 항목으로 재구성한 것이다.

1.0 배경 및 필요성

2.0 지침의 구성 및 관련 규정, 참고 자료

3.0 모듈러 건축 시스템 적용의 범위

4.0 모듈러 건축 시스템 적용을 위한 조건

5.0 모듈 정합 설계 및 그리드 체계

6.0 재료 및 구법

7.0 하부시설과의 연계

8.0 외피 체계

9.0 기타

- 지침의 전체적인 구성 및 연계성

- 기존 지침, 기준, 규정, 표준, 법령 등과의 맵핑

3.0 모듈러 건축 시스템 적용 범위

1) 모듈러 건축 시스템은 공업화 건축 시스템의 한 종류로서, 플로팅 건축물 프로젝트의 성격에 따라 모듈러 건축 시스템을 포함한 다양한 공업화 건축 시스템이 하나의 프로젝트에 적용될 수 있다.

2) 공업화 건축 시스템은 그 구법에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다. 각각의 구법에 대한 보다 세부적인 검토는 본 지침 “6.0 재료 및 구법”에 수록하였다.

□ 골조 건축 시스템 : 기둥과 보와 같은 선형의 건축 부재로 건축물의 기본적인 내력 시스템을 구성하는 방법으로 철과 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다.

□ 패널 건축 시스템 : 벽체와 바닥판을 구성하는 패널을 이용하여 내부 공간을 형성하는 방법으로 철과 목재, 콘크리트와 함께 벽돌과 같은 재료를 이용한 조적 패널에 의한 구축도 가능하다.

□ 모듈러 건축 시스템 : 단위 공간을 형성하는 모듈러를 결합하여 건축물을 구성하는 방법으로 단위 공간 모듈러는 철과 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다.

3) 위에서 구분한 각 공업화 건축 시스템은 서로 구별되는 별도의 구법이지만 긴밀하게 상호 보완적으로 적용될 수 있다. 비내력 구조로 제작된 단위 공간 모듈러의 경우 별도의 골조 건축 시스템에 의한 내력 구조를 필요로 하며, 경우에 따라서는 패널 건축 시스템에 의한 별도의 내장과 외장 마감을 필요로 한다.

4) 플로팅 건축물 상부시설에 모듈러 건축 시스템을 적용하기 위해서는 프로젝트의 초기 계획 단계에서 해당 프로젝트에 적용될 모듈러 건축 시스템과 다양한 공업

화 건축 시스템의 종류 및 적용 범위 등이 명확히 결정되어야 한다.

5) 공업화 건축 시스템을 적용하기 위한 기본 전제로서 모듈 정합 설계(Module Coordination)의 적용이 필수적이다. 모듈 정합 설계에 대한 세부적인 검토는 본 지침 “5.0 모듈 정합 설계 및 그리드 체계”에 수록하였다.

- 모듈 설계의 정의 : 모듈 정합 설계와 모듈 축조 방식
- 플로팅 건축 축조 방식의 분류, 모듈 축조 방식의 적용 범위, 축조 방식의 융합

4.0 모듈러 건축 시스템 적용 조건

1) 플로팅 건축물에서 모듈러 건축 시스템의 적용 범위를 결정하기 위해서는 프로젝트의 초기 단계에서 프로젝트와 관련된 다양한 조건에 대한 정확한 평가가 선행되어야 한다. 관련된 조건들은 첫째, 프로젝트의 물리적, 환경적 조건, 둘째, 참여 주체사이의 관계인 조직적 조건, 셋째, 기술적 조건으로 구분할 수 있다.

2) 모듈러 설계 적용 여부를 결정하는데 영향을 줄 수 있는 물리적, 환경적 조건은 다음과 같은 항목들로 이에 대한 충분한 사전 검토가 필요한 부분이다.

□ 참여 주체 : 관련 프로젝트 경험, 비용 및 품질 등에 대한 관리의 정도, 프로젝트의 반복 가능성, 초기 투자 자본

□ 프로젝트 유형 : 공사 기간, 단위 부재 또는 단위 공간의 반복성, 프로젝트의 특수성, 건축 부재 또는 재료의 조달 방법

□ 프로젝트 수행 장소 : 지리 및 지형, 건축 부재 및 재료, 노동력 등의 생산지 및 공급지와의 인접성, 관련 법적 규정 및 상위 계획 등

3) 조직적 조건은 프로젝트에 참여하는 다양한 주체 사이의 관계 즉, 건축주, 설계자, 시공자 등의 의사소통과 협력, 계약 형식 등의 상호 관계를 의미한다. 모듈러 건축 시스템을 적용하여 통합화된 방식으로 플로팅 건축물을 생산하기 위한 보다 밀접한 협력 관계에 대한 고려가 필요하다.

4) 기술적 조건은 단위 건축 부재 또는 단위 공간의 생산 및 조립과 같은 측면에서의 기술 수준뿐만 아니라 BIM(Building Information Modeling)과 같은 건축에 대한 통합적 접근과 생산의 자동화 등의 새로운 기술의 적용 등을 포함한다.

- 기획 및 설계에서 시공까지의 통합화된 과정의 관리
- 초기 단계에서의 세부 계획 수립, 모든 구성 요소의 체계적인 결합

5.0 모듈 정합 설계

1) 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈 정합 설계에 대한 지침은 “2.0”에서 언급한

다음과 같은 기존 국내 지침을 참조하여 적용하되, 최근의 관련 연구 성과를 반영한다.

□ 주택건설기준 등에 관한 규정, 2011.

□ 주택건설기준 등에 관한 규칙, 2011.

□ 주택의 설계도서 작성 기준, 2009.

□ 공용청사 및 공동주택 설계용역 성과품 작성 기준, 1998.

2) 플로팅 건축물 상부시설에서 수평계획모듈은 안목치수 30㎝ 증분치수로 설정하는 것을 원칙으로 하되, 보조 공간에서는 그 기능에 따라 불가피한 경우 보조모듈 증분치수인 10㎝를 증분치수로 적용할 수 있도록 한다.

3) 수직계획모듈은 10㎝ 증분치수로 설정하는 것을 원칙으로 하되, 불가피한 경우 보조적으로 5㎝ 증분치수를 적용할 수 있도록 한다.

4) 수직계획모듈에서 창문대의 높이는 바닥마감기준면으로부터 30㎝ 증분치수를 원칙으로 하고 보조적으로 10㎝ 증분치수를 적용할 수 있도록 한다.

5) 벽체의 기준면은 안목기준면으로 하고, 마감재 치수와 시공오차 및 시공여유의 합을 5㎝ 증분치수로 설정하되, 틈값은 앞의 값에 의해 조정한다. 두께가 다른 벽체가 인접할 경우 조립기준면은 두꺼운 벽체를 기준으로 설정한다.

6) 층간대 기준면은 천장하부 마감기준면에서부터 상부층 바닥 마감 상부기준면에 설정하고, 치수는 천장 및 바닥의 구조재와 마감재, 기타 설비, 허용오차 등을 합하여 10㎝의 증분치수가 되도록 하되, 보조적으로 5㎝ 보조 증분치수를 사용한다.

7) 단위 공간 모듈러의 설계기준은 위에서 설정한 모듈 정합 설계 기준을 적용하되, 모듈러의 폭과 길이는 “2.0”에서 언급한 도로 및 운반용 트럭 관련 기준에 따른다.

8) 참고 사례로서 주거 기능의 플로팅 건축물 상부시설을 위한 모듈러의 폭은 안목치수 2,400㎜, 외부치수 2,700㎜로 설정될 수 있고, 길이는 안목치수로 증분치수인 4,500㎜, 5,400㎜ 등으로 설정될 수 있으며, 높이는 천장높이 2,400㎜, 층고 3,000㎜로 설정할 수 있다.

- 그리드 체계의 종류 및 적용

6.0 재료 및 구법

1) 플로팅 건축물 상부시설의 모듈러 건축 시스템에 사용될 수 있는 재료는 철과 목재, 콘크리트, 그리고 다양한 복합재료가 가능하다. 그러나 상부시설이 경량화될 필요가 있는 플로팅 건축물의 특성상 콘크리트 모듈러의 사용은 제한적이라고 할

수 있다.

2) 철을 사용한 단위 공간 모듈러는 제조공장에서 만들어져 현장으로 운송된 후 용접과 볼트 작업을 통해 골조나 단면재를 결합하여 3차원적인 구조를 형성하고, 골조 시스템과 동일한 역할을 하며, 몇 개 층으로 적층하여 그 자체로서 내력 구조물로 사용할 수 있다.

3) 철 단위 공간 모듈러는 일반적으로 벽체를 패널로 형성하게 되는데 이때, 골조 사이를 채우는 방화 및 단열을 위한 충진재, 외부 피복 마감재, 내부 마감재, 바닥 마감재 등을 플로팅 건축물 상부시설의 용도 등에 따라 선택하여 제조공장에서 미리 조립될 수 있도록 한다.

4) 목재를 사용한 단위 공간 모듈러는 일반적으로 수직의 벽체 패널과 수평의 지붕 패널이 결합되어 구성되는데, 지붕의 형상은 박공 지붕 등의 형태로 구성될 수 있으며, 상대적으로 가볍기 때문에 먼 거리로의 이동이 용이하고, 대부분의 경우 주거와 같은 소규모의 건축물에 적용된다.

5) 목재 단위 공간 모듈러는 적층하여 건축물을 구성하며, 모듈러 자체의 내력 구조로 최대 3층까지 적층이 가능하고, 그 이상의 경우에는 철이나 콘크리트를 이용하여 골조 구조를 형성하고, 목재 단위 공간 모듈러를 구조체 사이에 삽입하여 구성한다.

- 구조 체계 구성 재료 : 목재, 철, 콘크리트 등
- 축조 방식과 구조 체계
- 각 구조 체계 및 구성 재료와의 관계 및 고려사항

7.0 상하부 구조 체계의 연계 : 폰툰과의 관계

1) 플로팅 건축물 상부시설에 모듈러 건축 시스템을 적용하는데 있어서 일반 건축물과 가장 많은 차이가 나타나는 부분이 하부구조인 폰툰과의 관계이다. 플로팅 건축물의 폰툰은 부유체로서 그 재료와 시공방식 등에 의해 구분될 수 있으나 상부시설과의 관계에서 가장 중요한 구분은 폰툰 자체의 거주성에 의한 분류이다. 또한 폰툰 역시 모듈러이나 블록 단위로 제조되므로 상부시설의 모듈러와 밀접하게 관련될 수 있다.

2) 폰툰은 그 내부의 활용 여부 즉, 내부의 거주성에 의하여 다음과 같은 3가지의 종류로 구분될 수 있다.

□ 폰툰의 내부를 사용하지 않고 부유체로서만 사용하는 경우

□ 폰툰의 내부 일부를 활용하되 거주공간이 아닌 부속공간으로 사용하는 경우

□ 폰툰의 내부를 인간의 적극적인 거주공간으로 사용하는 경우

3) 폰툰의 내부를 사용하지 않고 부유체로서만 사용하는 경우는 유럽의 사례에서 중규모나 소규모 정도의 플로팅 건축물에서 나타나는 방식으로 폰툰의 내부를 합성수지로 충진하여 폰툰의 내부 공간을 활용하지 않기 때문에 폰툰과 상부시설은 공간적으로 무관하며, 구조적으로도 관련성이 크지 않다.

4) 폰툰의 내부 일부를 활용하되 거주공간이 아닌 부속공간으로 사용하는 경우는 유럽의 사례에서 중규모 이상의 플로팅 건축물에서 나타나는 방식으로 폰툰의 내부 공간 일부를 정화시설이나 기타 설비를 설치하는 공간으로 활용하기 때문에 폰툰과 상부시설은 공간적으로 부분적인 연결을 필요로 하나 밀접하지는 않고, 구조적으로도 관련성이 크지 않다.

5) 폰툰의 내부를 인간의 적극적인 거주공간으로 사용하는 경우는 유럽의 사례에서 소규모 주택인 플로팅 건축물에서 나타나는 방식으로 폰툰을 상자 형태로 만들어 그 내부공간을 거주공간으로 사용하기 때문에 상부시설과의 공간적 연결이 밀접하고, 구조적으로도 긴밀한 연관관계를 갖는다.

8.0 외피 체계

1) 단위 공간 모듈러 시스템을 적용하는 경우 별도의 외피 시스템이 불필요할 수 있으나, 실내 환경 및 에너지 절감, 입면 디자인의 필요에 따라서는 별도의 외피 시스템에 대한 고려가 필요하다.

2) 별도의 외피 시스템을 설계할 경우 외피 시스템 자체의 구조적 역할에 대한 결정이 필요하다. 즉, 외피 시스템이 기존 구조체에 연결되는 비내력 구조인지 또는 자체의 내력 구조체를 갖는 구조인지에 대한 결정이 필요하다.

3) 외피 시스템은 매우 다양하며, 벽돌, 석재와 같은 조적식 재료를 포함하여 유리, 금속, 목재, 콘크리트 등의 일반적인 재료와 합성수지 등의 새로운 재료가 사용될 수 있다. 재료에 따라 패널 시스템의 활용 여부, 고정 방법, 이중 외피의 적용 여부, 표면 처리 등 각각에 대한 고려가 필요하다.

4) 최근의 디지털 디자인 등 다양한 새로운 디자인 도구를 통한 독자적 외피 시스템의 디자인이 가능해지고 있어 이에 대한 도입을 검토하여야 한다.

9.0 기타

1) 컴퓨터에 의한 디자인과 제어, 생산 등 최근의 새로운 기술 발전의 성과에 의해 과거와 같은 획일화된 디자인에서 탈피가 가능해졌고, 건축주의 주문에 적합한 생산이 가능해지고 있어 다음과 같은 다양한 측면의 수용에 대한 검토가 필요하다.

2) 지속가능성 등 새로운 요구에 부합하는 계획이 될 수 있는 측면에 대한 고려가 필요하다. 일반 건축과 달리 다양한 재사용의 가능성, 일회성, 변화의 수용, 철거

가 아닌 분해의 가능성 등에 대한 검토가 필요하며, 다양한 평가 도구와 지표에 의한 평가를 통해 계획이 진행될 필요가 있다.

다. 레저용 소규모 주거형 플로팅 건축물에서 모듈러 설계 기법 적용

(1) 모듈러 치수 선정

○ 모듈러 설계의 적정 규모를 산정하기 위해서는 공장에서 단위 유닛별로 시공하여 현장에 운반하여 조립하는 방법임

○ 현장 운반은 매우 중요한 공정이며, 관련 도로의 관련된 법령 내용을 검토할 필요가 있음

○ 앞서 나온 운송에 관련된 법을 위주로 모듈러 치수를 산정

[표 2-2-20] 운반 관련 제한요인

| | 항목 | 폭(m) | 높이(m) | 길이(m) | 중량(ton) | 예외규정 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제 10조,17조 | 도로조건 | 2.75 | 4.2 | - | - | |
| 자동차 안전 기준에 관한 규칙 제4조 | 운반트럭 | 2.5 | 4.0 | 16.7 | 40 | 제114조 별표 31(너비 2.75) |
| 도로법 시행령 28조의 3 | 차량운행 | 2.5 | 4.0 | 16.7 | 40 | 28조의 3 별표 운행신청서 작성 |

○ 치수는 최대 폭 2.5m, 높이 4m, 길이 16.7m, 중량 40ton으로 정할 수 있음.

○ 일본의 모듈러 주택 기준과 국내의 도로 및 운반트럭 관련법을 검토한 결과 3M의 증분치수로 모듈의 치수를 산정

[표 2-2-21] 모듈러 설계를 위한 모듈의 치수 제안

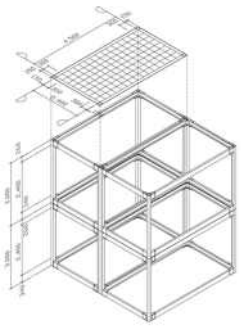
| | 모듈의 치수 | 비고 |
|---|---|---|
| 메인모듈 | 2,700X2,400, 3,600X2,400, 4,500X2,400, 4,800X2,400, 5,400X2,400 | 5종류 |
| 하프모듈 | 2,700X1,050, 3,600X1,050, 4,500X1,050, 4,800X1,050, 5,400X1,050 | 5종류 |
| 천장높이 | 2,400mm | 바닥마감 상부조립기준면으로부터 천장마감 하부조립기준면까지 |
| 층 고 | 3,000mm | |

(2) 모듈의 기본 조건

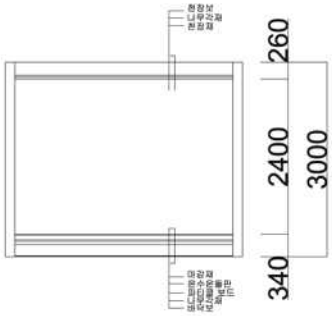
○ 모듈은 3M의 증분 치수로 함

○ 층고는 3,000mm이고 바닥마감은 340mm로 바닥보와 단열재 마감재가 들어가도록 하고, 천장은 260mm로 하여 천장보와 천장 마감재가 들어가도록 함

○ 모듈 결합 원칙은 4모서리가 모두 맞아야 하며, 하프모듈은 메인모듈의 중간에 들어가지 않는 것을 원칙으로 함



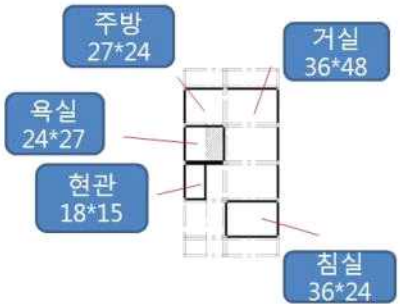
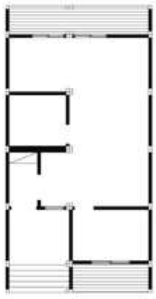
[그림 2-2-14] 기본 모듈




[그림 2-2-15] 기본 모듈의 단면(마감)

(3) 모듈화 과정

[표 2-2-22] 모듈화 과정

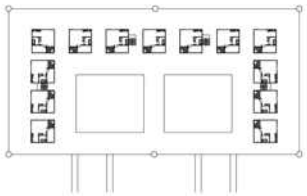
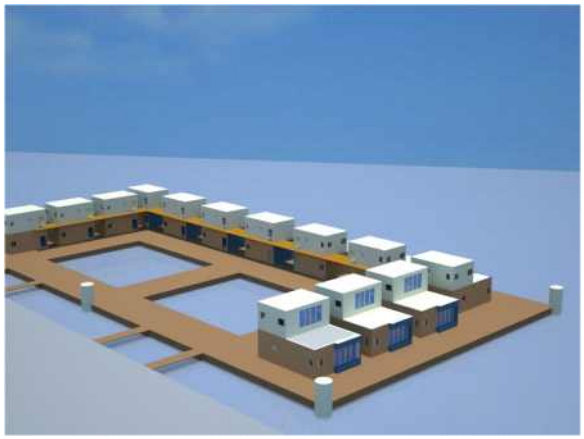
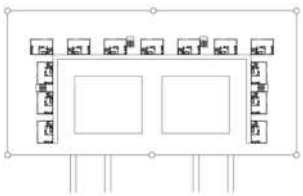
| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 기존의 평면 | 모듈에 따른 분할 | 3M의 증분치수에 맞춘 실 크기변경 |
|  | |  |
| 모듈에 따른 실의 변형 | | 완성 |

(4) 모듈러 설계안

(가) 모듈러 설계 (대안1)

- 2층 구조로 4인실이 1층을 이루고 있어서, 2층(2인실)에서 1층의 남는 부분을 휴게공간으로 이용이 가능하며 폰툰의 크기는 100m×50m의 규모임
- 중정형으로 배치되었으며, 중앙에 수영장을 배치하여 이용가능하게 함

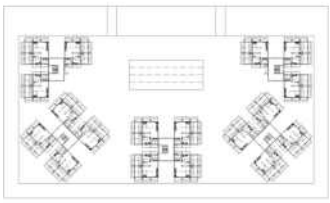
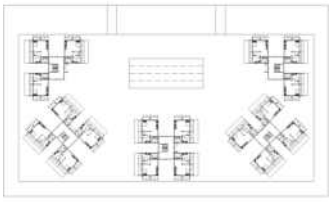
[표 2-2-23] 모듈러 설계 대안 1

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td>2인실</td><td>1층 배치</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>4인실</td><td>2층 배치</td><td>조감도</td></tr>
</table>

(나) 모듈러 설계 (대안2)

- 폰툰의 크기는 100m×50m의 규모
- 5개의 모듈평면을 조합하여 동단위로 계획하여 좋은 전망을 볼 수 있도록 배치하였고, 중앙에 수영장을 배치하여 이용가능하게 함

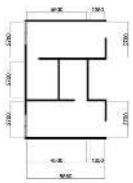
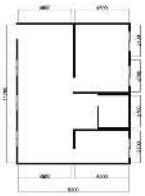
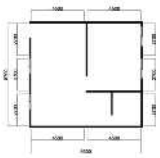
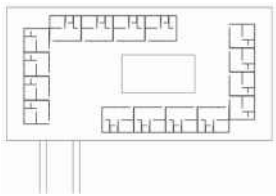
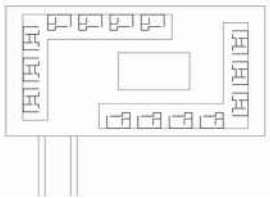
[표2-2-24] 모듈러 설계 대안 2

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td>2인실</td><td>1층 배치</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td></td></tr>
<tr><td>4인실</td><td>2층 배치</td><td>조감도</td></tr>
</table>

(다) 모듈러 설계 (대안3)

- ○ 다양한 실의 수요를 위해 평면을 좀 더 다양하게 계획
- ○ 폰툰의 크기는 100m×50m의 규모
- ○ 4개의 평면들을 조합하여 배치

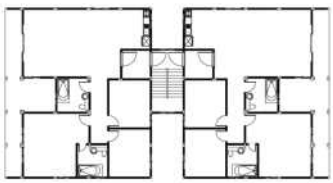
[표2-2-25] 모듈러 설계 대안 3

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>평면1</td><td>평면2</td><td>평면3</td><td>평면4</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td>1층 배치</td><td>2층 배치</td><td>조감도</td></tr>
</table>

(라) 모듈러 설계 (대안4)

- ○ 앞의 것들보다 조금 큰 규모의 팬션
- ○ 폰툰의 크기는 20m×30m의 규모
- ○ 2개의 평면이 하나의 동을 이루면서, 2층은 다락방을 형성하여 사용가능함
- ○ 폰툰의 크기가 앞의 것들보다 작아서 폰툰과 브릿지를 이용하여 군집화가 가능함

[표2-2-26] 모듈러 설계 대안 4

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 평면 | 1개동의 배치 | 조감도 |

다. 상부시설 통합화 모델 개발

(1) 미주 지역 플로팅 주거 단지 사례 연구

(가) 미국

① Tenas Chuck Moorage, Seattle(tenaschuck.org)



- 규모 : 32호
- 폰툰/계류 : 목재/콘크리트 폰툰, 목재/콘크리트/철재 돌핀
- 배치 : 양면형
- 기타 : 육상에 주차장 확보

[그림 2-2-16] Tenas Chuck Moorage, Seattle

○ Tenas Chuck는 유니온호(Lake Union)의 옛 이름으로, 작은 물이라는 의미, 전체적으로 32호 규모, 폰툰은 목재가 대부분, 신축된 주택에서 일부 콘크리트 폰툰 사용

○ 계류는 돌핀식으로 목재가 대부분을 차지하고 있으나 일부에서 콘크리트나 철재도 사용

○ 보행로와 주택의 입구에는 화분에 심어진 수목이 우거져 육지의 주택가를 연상시키고, 각종 설비라인과 계량기 함이 보이고, 화재시를 대비하여 소화전, 소화기, 소방 호스, 구명 로프, 알람 종 등 구비

② Island Cove, Portland



- 규모 : 54호
- 폰툰/계류 : 목재 폰툰, 철재 돌핀
- 배치 : 양면형
- 기타 : 육상에 주차장 확보

[그림 2-2-17] Island Cove, Portland

○ 오리건 주에서 2006년 12월 최초의 “Clean Marina” 상을 수상한 플로팅주택 주거단지로서 54호 규모이며, 각 세대마다 요트를 정박할 수 있는 데크를 갖고 있으며, 주거단지에 인접하여 대규모 요트 계류장이 위치

○ 폰툰은 대부분 목재이나 일부 콘크리트도 확인, 계류는 철재 돌핀인데 구조적으로 강점을 갖는 “ㅅ” 자 형태, 주택의 배치는 3겹의 양면형으로 강 쪽으로 면한 외곽의 주택만이 좋은 조망을 가짐

③ Oregon Yacht Club, Portland



- 규모 : 38호
- 폰툰/계류 : 목재 폰툰, 철재 돌핀
- 배치 : 일면형(+부속건물)
- 기타 : 육상에 주차장 및 부대시설 확보

[그림 2-2-18] Oregon Yacht Club, Portland

○ Oregon Yacht Club(OYC)은 1900년 요트클럽으로 출발하여 100년이 넘는 역사를 가지고 있음

○ 처음에는 회원들이 요트기술을 연마하며 즐기기 위한 모임이었으나, 1910년에는 여름동안만 플로팅주택이 허용되고 점차 영구적인 주택이 건립됨

○ 당초의 단층의 소규모 주택들은 점차 2층 대규모 고급주택으로 대체, 현재 38호 주택이 있고, 폰툰은 대부분 목재이고, 계류는 철재 돌핀을 채용

④ Jantzen Beach Moorage, Portland




- 규모 : 177호
- 폰툰/계류 : 목재 폰툰, 철재/목재 돌핀
- 배치 : 일면형/양면형
- 기타 : 육상에 주차장 및 부대시설 확보

[그림 2-2-19] Jantzen Beach Moorage, Portland

○ 대규모의 플로팅주택 주거단지로서 2단계에 걸쳐서 건립, 전체적으로 주택은 177호 규모이고 폰툰은 거의 목재로 처리, 계류는 1단계에는 목재 돌핀을 사용했고, 2단계에는 철재 돌핀을 채택

○ 통행로는 목재로 되어 있는데 최근 건립된 2단계 부분에는 부분적으로 플라스틱 그레이팅을 설치하여, 물까지 어느 정도 빛이 들어갈 수 있도록 배려, 이러한 시설물은 자연환경에 대한 배려

(나) 캐나다

① Riversbend Floating Homes, Richmond, BC



- 규모 : 11호
- 폰툰/계류 : 목재/콘크리트 폰툰, 철재/목재 돌핀
- 배치 : 양면형
- 기타 : 육상에 주차장 및 창고 확보

[그림 2-2-20] Riversbend Floating Homes, Richmond, BC

○ 리치몬드 도심 외곽에 위치하고 있으며, 플로팅주택과 요트가 같은 폰툰과 계류시설을 이용하고 있어서 주택과 요트가 혼재된 상태

○ 11호 규모로서 소규모이며 매우 한적한 느낌, 주변에 쇼핑센터, 학교 등 커뮤니티 시설이 부족하여 생활에는 다소 불편할 것으로 판단됨

② Richmond Marina, Richmond, BC



- 규모 : 30여호
- 폰툰/계류 : 목재/콘크리트 폰툰, 철재/목재 돌핀
- 배치 : 양면형
- 기타 : 육상에 주차장 및 관리사무소 확보

[그림 2-2-21] Richmond Marina, Richmond, BC

○ 폰툰은 대부분 목재이나 신축된 주택의 경우는 일부 콘크리트 사용, 계류는 돌핀 구조이고 목재, 주택의 배치는 여러 겹의 양면형이고 플로팅주택 대부분이 육지 쪽에 인접해 있어서 강 쪽으로의 조망은 좋은 편은 아님

③ Ladner Reach Marina, Delta, BC



- 규모 : 26호
- 폰툰/계류 : 목재+콘크리트 폰툰(6.6m×8.4m), 목재 돌핀
- 배치 : 일면형
- 기타 : 육상에 창고(2.4m×6.0m)와 주차장(2대/세대)

[그림 2-2-22] Ladner Reach Marina, Delta, BC

○ 주택의 배치가 일면형으로 되어 있어서 각 세대에서의 조망을 가로막는 것은 없음

○ 거실에서 밖을 내다보면 산, 물, 밭 정도만 보일 뿐 인공물은 아무것도 보이지 않는 수려한 조망을 가지고 있음

○ 수상에 건축하기 때문에 외벽재료 선정 시 내구성을 충분히 고려해야 한다는 점을 강조, 특히 알루미늄 재료의 경우도 피막을 제대로 입힌 것을 사용하는 등 재료선정에 유의해야 함

④ Fort Langley Residential Marina, Langley, BC



- 규모 : 30여호
- 폰툰/계류 : 목재 폰툰, 철재 돌핀
- 배치 : 양면형
- 기타 : 육상에 창고와 주차장

[그림 2-2-23] Fort Langley Residential Marina, Langley, BC

○ 주거단지는 플로팅주택 30여호로 이루어져 있으며, 가운데 통로를 중심으로 양쪽으로 주택을 배치한 양면형, 육지 쪽에 면한 주택은 숲을 볼 수 있고, 강 쪽에 면한 주택은 물을 보는 조망임

(다) 미주지역 플로팅주거단지의 건축적 특징

○ 주거단지의 규모는 11호(Riversbend Floating Homes, Richmond, BC)부터 177호(Jantzen Beach Moorage, Portland)까지의 범위로 나타나나, 30호 정도 규모가 가장 많음

○ 배치유형은 주택이 통행로의 한쪽으로만 연결된 일면형과 양쪽으로 연결된 양면형으로 구분할 수 있는데, 물로의 조망을 고려한다면 중첩이 없는 일면형이 바람직함

○ 플로팅주택의 폰툰은 뗏목형태의 목재가 많으며 신축된 부분에는 콘크리트로 제작된 것도 일부 확인됨. 계류 방식은 돌핀 형태가 대부분, 재료는 목재가 주류이나 철재도 혼용되고 있음

[표 2-2-27] 미주지역 플로팅 거주단지

| 주거단지 이름 | 단지 규모 | 배치 유형 | 폰툰/계류 (돌핀) | 기타 |
|---|---|---|---|---|
| Tenas Chuck Moorage, Seattle | 32호 | 양면형 | 목재+콘크리트/ 목재+콘크리트+ 철재 | 도시지역, 단지입구에 주차장 |
| Island Cove, Portland | 54호 | 양면형 (중첩) | 목재/철재 | 도시지역, 단지입구에 창고와 주차장, 도시공원과 모래사장 |
| Oregon Yacht Club, Portland | 38호 | 일면형 | 목재/철재 | 도시지역, 보행로에 철재 그릴, 단지입구에 부대시설과 주차장 |
| Jantzen Beach Moorage, Portland | 177호 | 일면형 (중첩) + 양면형 | 목재/목재+철재 | 도시지역, 보행로에 플라스틱 그릴, 단지입구에 창고와 주차장 |
| Riversbend Floating Homes, Richmond, BC | 11호 | 양면형 (중첩) | 목재+콘크리트/ 목재+철재 | 도시외곽, 단지입구에 창고와 주차장 |
| Richmond Marina, Richmond, BC | 30호 | 양면형 (중첩) | 목재+콘크리트/ 목재+철재 | 도시지역, 단지입구에 관리사무소 와 주차장 |
| Ladner Reach Marina, Delta, BC | 26호 | 일면형 | 목재+콘크리트/ 목재 | 도시외곽, 단지입구에 공용공간, 창고, 주차장 |
| Fort Langley Residential Marina, Langley, BC | 30호 | 양면형 | 목재/철재 | 도시외곽, 단지입구에 창고와 주차장 |

(2) 네덜란드 플로팅 주거 단지 사례 연구

(가) 네덜란드의 플로팅 주거 단지

① Terwijde Housing, Utrecht

○ 2층 단독 주택으로 바닥면적은 66㎡(6m×11m), 연면적은 132㎡ 정도, 총 19동의 플로팅 단독 주택이 소규모 하천에 지어짐, 각 동의 주택은 도크에서 제작되었

고, 육상 교통을 통해 운송된 후 크레인으로 현장에 설치




- 규모 : 19호
- 폰툰/계류 : 콘크리트 폰툰, 콘크리트 돌핀
- 배치 : 육상 개별 진입형
- 기타 : 육상에 주차장 및 지원시설 확보

[그림 2-2-24] Terwijde Housing, Utrecht

○ 기존 주거 단지에 연결된 각종 도시 기반 설비를 공유, 물속에 잠겨 있는 1층은 침실과 기계실 등으로 구성되고 2층은 거실과 부엌 등으로 구성, 2층의 위쪽은 평지붕으로 옥상 공간을 활용할 수 있도록 계획

② Goudenkust Housing, Maasbommel



- 규모 : 14호(플로팅 주택), 32호(플로터블 주택)
- 폰툰/계류 : 콘크리트 폰툰, 콘크리트 돌핀
- 배치 : 연결통로 일면 진입형
- 기타 : 육상에 주차장 및 지원시설 확보

[그림 2-2-25] Goudenkust Housing, Maasbommel

○ 네덜란드 마스봄멜(Maasbommel)의 고든 쿠스트(Gouden Kust) 주거 단지는 총 14동의 플로팅 주택과 총 32동의 플로터블 주택으로 구성, 플로터블 주택은 수위가 일정 수준 이상으로 높아질 경우에는 물에 떠 플로팅 주택이 되는 형식

○ 플로팅 주택과 플로터블 주택은 거의 유사한 형태, 가장 아래층의 콘크리트 폰툰이 부유체의 역할과 함께 거주 공간으로서의 역할을 동시에 수행

③ Ijburg Housing, Amsterdam

○ 벤쿠버 유형 : 3개 층 규모의 플로팅 단독주택, 연면적 156㎡와 테라스 20㎡, 총 13가구

○ 시드니 유형 : 3개 층 플로팅 2동 연립주택, 연면적 107㎡와 테라스 14㎡, 총 24가구

○ 시에틀 유형 : 3개 층 플로팅 3동 연립주택, 연면적 100㎡와 테라스 10㎡, 총 18가구



- 규모 : 55호(단독주택 13호, 2동 연립주택 24호, 3동 연립주택 18호)
- 폰툰/계류 : 콘크리트 폰툰, 콘크리트 돌핀
- 배치 : 연결통로 양면 진입형
- 기타 : 육상에 주차장 및 지원시설 확보

[그림 2-2-26] Ijburg Housing, Amsterdam

④ Blue Heart Housing, Leeuwarden



- 규모 : 7호
- 폰툰/계류 : 콘크리트 폰툰, 콘크리트 돌핀
- 배치 : 육상 개별 진입형
- 기타 : 육상에 주차장 및 지원시설 확보

[그림 2-2-27] Blue Heart Housing, Leeuwarden

○ 네덜란드 리우바르덴에 위치한 플로팅 주거 단지로서 총 7동의 플로팅 주택이 2006년에 건립됨. 총 3개 층의 단독주택 형식의 건축물로 최고 높이 10m이내에서 계획됨

○ 최초 계획 당시 31동의 플로팅 주택이 계획되었으나 이후 계획이 축소되어 13동 이하로 변경되었고, 실제 7동이 건축됨

⑤ Six Water houses, Amsterdam

○ 전체적으로 3개 층으로 구성되어 있으며 여러 동으로 분절, 폰툰은 콘크리트 폰툰이며 내부공간을 사용하지 않는 단순 부유체 구조, 계류 방식은 돌핀계류를 사용

○ 외벽은 조립식 목재 패널이고, 경사 지붕에 입면에는 코팅된 알루미늄으로 처리



- 규모 : 6호(플로팅 주택), 현재는 임대용 집회 시설로 활용
- 폰툰/계류 : 콘크리트 폰툰, 철제 돌핀
- 배치 : 육상 진입 후 내부 복도 형
- 기타 : 육상에 주차장 및 지원시설 확보

[그림 2-2-28] Six Water houses, Amsterdam

(나) 네덜란드 플로팅 주거 단지의 특성

○ 네덜란드 플로팅 주거 단지는 미주 지역의 플로팅 주거 단지와 달리 근대적인 재료와 공업화된 생산 체계에 의해 제작된 단지로서 2000년대 이후 새로 조성된 단지의 숫자는 많지 않고, 그 규모 역시 크지 않음

○ 대부분의 주거 단지가 10호 내외 정도의 크기이고, 단지로 계획되었으나 프로토타입의 성격으로 1동 정도가 실현된 사례가 있음

○ 주거 단지의 규모가 크지 않기 때문에 대부분의 경우 육상에서 직접 진입하는 방식을 사용하고 있음

○ 연결통로를 통해 진입하는 방식은 구든쿠스트 주거단지와 아이버그 주거단지에서 그 사례를 볼 수 있고, 특히 아이버그 주거단지는 전체 호수가 55호로 가장 대규모의 단지이며, 본격적인 단지 계획으로서의 성격을 갖고 있음

(3) 관련 해외 지침 사례 연구

(가) 미국 포틀랜드시 조례 28장 'Floating Structures'

[표 2-2-28] 미국 포틀랜드시 조례 28장

| 목차 | 세부 목차 |
|---|---|
| 28.01 Purpose and Scope | 28.01.010 Statement of Purpose and Intent<br>28.01.020 Scope |
| 28.02 Definitions | 28.02.010 General<br>28.02.020 Definitions |

| | |
|---|---|
| 28.03 Administration and Enforcement | 28.03.010 Responsibility<br>28.03.015 River Community Advisory Committee<br>28.03.020 Permits and Inspections<br>28.03.030 Fees<br>28.03.040 Appeals<br>28.03.050 Enforcement<br>28.03.060 Abatement of Dangerous Floating Structures |
| 28.04 Regulations for Floating Structures | 28.04.010 General<br>28.04.020 Maintenance |
| 28.05 Regulations Pertaining to Existing Construction | 28.05.010 Floating Structures<br>28.05.020 Moorages |
| 28.06 New Construction | 28.06.010 Minimum Standards<br>28.06.020 Materials and Installations<br>28.06.030 Conventional Construction Methods and Materials for Floating Structures and Walkways Using Log Support Systems<br>28.06.040 Engineered Construction<br>28.06.050 Fire Safety<br>28.06.055 Life Safety<br>28.06.060 Gangways, Ramps, Walkways and Walks<br>28.06.070 Identification |
| 28.07 Electrical Installations | 28.07.010 General<br>28.07.020 Specific Requirements |
| 28.08 Plumbing Installations | 28.08.010 General<br>28.08.020 Specific Requirements |
| 28.09 Mechanical Installations | 28.09 Mechanical Installations |

○ 미국 포틀랜드시의 조례는 총 9개장으로 구성되어 있으며 특히 기존 플로팅 구조물과 신규 구조물을 별도로 규정하고 있는 특징을 갖고 있음, 따라서 특히 신규 구조물에 대한 기준의 경우 통합 지침에서 참조할 수 있는 부분이 있음

○ 플로팅 건축물의 계획과 관련된 부분으로서 다양한 폰툰의 재료에 대한 규정, 흘수, 외피와 에너지 효율성, 환기, 연결 통로, 계류 장치, 건축물 설계 및 구조 설계에 대한 전문가 확인, 하중 계산, 기타 구조 계산, 방화 설비, 피난 시설, 건축물의 간격 등에 대한 관련 부분 참조 가능

(나) 캐나다 브리티시 콜럼비아주 'Float Home Standards'

[표 2-2-29] 캐나다 브리티시 콜럼비아주 기준

| 목차 | | 세부 목차 |
|---|---|---|
| Part 1. Scope and Application | | |
| Part 2. Definitions and Symbols | | |
| Part 3. Technical Requirements | 3.1 General Requirements | 3.1.1. Floatation and Stability<br>3.1.2. Safety Equipment |
| | 3.2 Design Standards for Flotation Devices for Floating Homes | 3.2.1 Reserve Buoyancy Criteria<br>3.2.2 Static Stability<br>3.2.3 Damaged Stability |
| | 3.3 Superstructure | 3.3.1 Design and Construction |
| | 3.4 Utilities | 3.4.1 Electrical<br>3.4.2 Gas and Flammable Liquids<br>3.4.3 Plumbing<br>3.4.4 Sewage Disposal |
| | 3.5 Float Home Fire Prevention Measures | 3.5.1 Portable Fire Extinguishers<br>3.5.2 Fixed Fire Extinguishing System |
| | 3.6 Moorage and Attachments | |
| | 3.7 Access | |
| Part 4. Marina Fire Protection | 4.1 Management | 4.1.1 General Requirements<br>4.1.2 Fire Safety Planning<br>4.1.3 Fire Protection of Piers, Wharves and Walkways<br>4.1.4 Cleanliness |
| | 4.2 Maintenance | 4.2.1 General Requirements<br>4.2.2 Fire Department Liaison |
| | 4.3 Fire Protection Equipment Installation | 4.3.1 General Requirements<br>4.3.2 Planning<br>4.3.3 Portable Fire Extinguishers<br>4.3.4 Fire Standpipe Systems (Applicable to piers and buildings on piers only)<br>4.3.5 Hydrants and Water Supplies |
| | 4.4 Maintenance of fire Protection Equipment | 4.4.1 General Requirements |
| | 4.5 Transmittal of Fire Emergency | 4.5.1 General Requirements |
| Part 5. Existing Structures | | |

○ 전체적으로 5개장으로 구성되어 있으며 핵심적인 부분을 차지하는 내용은 기술적인 요구사항의 측면과 방화 시설에 대한 문제임

○ 3장 3절의 상부구조물에 대한 규정은 기존 건축 관련 규정을 적용하되 계단과 난간, 잠금 철물의 재료 등에 대한 내용을 간략하게 규정함

○ 3장 7절의 접근로에서 주요 연결통로에 대한 규정을 정하고 있음

(다) 네덜란드 기술 규약 NTA 8111 'Floating Constructions'

[표 2-2-30] 네덜란드 기술 규약

| 목차 | 세부 목차 |
|---|---|
| 1 Subject matter and scope | |
| 2 Normative references | |
| 3 Terms and definitions | 3.1 Building regulations related<br>3.2 Design<br>3.3 Nautical |
| 4 Abbreviations and symbols | 4.1 Abbreviations<br>4.2 Symbols<br>4.2.1 Parameters<br>4.2.2 Indices |
| 5 Spatial design | 5.1 Zoning<br>5.2 Displacement of a floating structure<br>5.3 Accessibility / availability<br>5.3.1 Width jetty connecting bridge to the mainland and walkway<br>5.3.2 Railing along the pier<br>5.3.3 Uitklim-/vasthoudvoorzieningen<br>5.3.4 Lighting jetty<br>5.3.5 Slip Resistance<br>5.3.6 Access and accessibility for wheelchair users<br>5.3.7 Accessibility of floating structures for road<br>5.3.8 Negotiability jetty or floating infrastructure<br>5.3.9 Flight Routes on scaffolding and dead ends<br>5.3.10 Fire spread through scaffolding<br>5.4 Docks<br>5.5 Collision Risk<br>5.6 Fire fighting equipment and<br>5.6.1 Dry extinguisher line in scaffolding<br>5.6.2 Availability firewater |
| 6 Pipes | 6.1 General<br>6.2 Building Lines<br>6.3 Outside lines<br>6.3.1 General<br>6.3.2 Requirements |

| | 6.3.3 Considerations |
|---|---|
| 목차 | 세부 목차 |
| 7 Stability and buoyancy | 7.1 General<br>7.2 Nautical research<br>7.3 Taxes<br>7.3.1 General<br>7.3.2 Permanent loads<br>7.3.3 Live load<br>7.3.4 Extraordinary taxes<br>7.4 Stability<br>7.4.1 General<br>7.4.2 Requirements<br>7.4.3 Load combinations for determining depth<br>7.4.4 Load combinations for determining maximum heeling<br>7.4.5 Determination eccentric loads and moments by people<br>7.4.6 Determining slope and righting moments<br>7.4.7 Determination metacentric Me<br>7.5 Sink with water to make<br>7.5.1 General<br>7.5.2 Requirements<br>7.6 Water depth in the structure<br>7.6.1 General<br>7.6.2 Requirements<br>7.7 Motion and tilt<br>7.7.1 General<br>7.7.2 Requirements |
| 8 Structural strength | 8.1 General<br>8.2 Load cases<br>8.3 Stand Security adjacent structures |
| 9 Mooring | |
| 10 Burglary Safety | |
| 11 Health | |
| 12 Energy | |
| 13 Environment and Water | 13.1 General<br>13.2 Regulations for clean and healthy surface<br>13.3 Regulations for protected plants and animals<br>13.4 Provisions of water managers<br>13.4.1 RWS<br>13.4.2 Water Board or Water |
| 14 Maintenance, management and use | 14.1 Maintenance<br>14.2 Management<br>14.3 Use |

○ 네덜란드 기술 규약은 총 14개장으로 구성되어 있으며 일반 사항과 기술적인 사항, 각종 계획 기법 관련 사항, 기타 사항 등으로 구성됨

○ 상부시설 계획과 관련된 장으로서는 5장 공간 디자인이 가장 밀접하게 연관된 부분으로서 이 장에서는 크게 지구 계획, 기존 플로팅 구조물의 이전, 접근성, 도크, 충돌 방지, 방화 설비 등의 내용으로 구성됨

○ 6장의 설비 관련 내용으로 통합 지침의 시스템 부분과 관련되고, 7장, 8장, 9장의 내용은 구조적인 측면으로 1세부의 KBC 2013 등의 내용과 관련됨

(4) 테스트베드 상부시설 계획 설계

(가) 위치의 선정

○ 위치는 새만금 지역으로 주변 배후 시설과의 연계를 생각하여 마리나 시설 내에 위치하는 곳으로 “고군산 마리나 항만”, “비응 마리나 항만”, “신시-야미 메가리조트”의 3곳으로 선정

○ 그 중에서도 “고군산 마리나 항만”, “비응 마리나 항만”은 방조제 바깥으로 위치하고 있어 방조제 안쪽보다 자연환경의 영향이 강함



고군산 마리나 항만의 위치



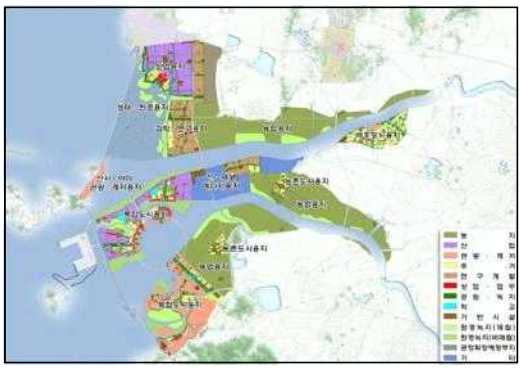
비응 마리나 항만의 위치

[그림 2-2-29] 테스트베드 후보지(1,2)

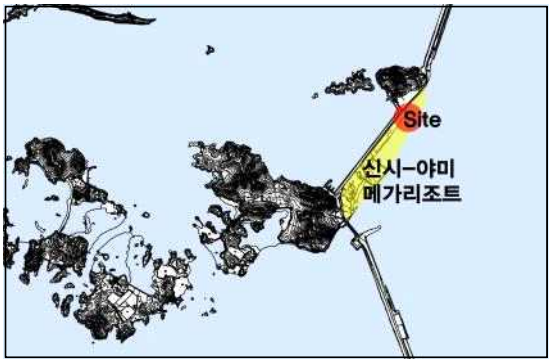
○ “신시-야미 메가리조트”의 계획 대지는 새만금 방조제 안쪽으로 위치하고 있어서 방조제에 의해 파랑의 영향을 더욱 줄일 수 있고, “신시-야미 메가리조트”의 시설들과 연계되어서 시너지 효과를 기대할 수 있음

○ 방조제 안쪽으로는 새만금 개발 사업으로 여러 시설들과 복합 용지들이 계획되어 있음

○ Site는 “신시-야미 메가리조트” 지역으로 선정하여 진행



새만금 개발 사업 토지 이용 계획도




위치선정

[그림 2-2-30] 테스트베드 후보지(3)

(나) 모듈러 계획

○ 플로팅 건축물이 가지는 모듈러 시스템의 운송 방법으로는 공장에서 만들어서 해상과 육상 두 가지 측면에서 고려되어야 함

○ 육상으로는 도로와 운송 수단의 제약 조건에 따라서 모듈러의 크기를 결정

○ 공장이나 조선소의 도크에서 해상으로 운송할 수 경우, 제약 조건으로는 건조 도크의 크기와 해상 이동에 따른 갑문의 크기 등에 따라서 모듈러의 크기 결정

○ 현재 대지 조건은 도로를 통해서 운반 할 수도 있겠지만, 군산 조선소가 근처에 있고 군산조선소의 도크 크기는 700m×115m×18m로 소규모의 모듈러 건축물을 시공하기 적합

○ 또한 해상으로 운송을 함에 있어서 새만금의 갑문의 크기는 폭 30m에 높이가 15m이므로 이것을 통하여 모듈러의 크기 결정 가능

○ 갑문의 폭보다 작은 건축물을 계획할 때는 단위 건축물로 계획하여 하나의 건축물을 해상으로 옮길 수 있고, 갑문의 폭보다 큰 규모의 건축물을 계획할 때는 갑문의 크기에 따라 모듈화하여 단위 공간을 해상으로 옮기는 모듈러 시스템 사용 가능

○ 본 연구에서는 소규모 레져용 주거 건축물 계획으로 12.6m×8.6m로 갑문으로 운송함에 있어서도 문제가 되지 않으므로 단위 건축물로 계획하여 해상으로 운송하여 시공하도록 계획



군산조선소의 위치



새만금 방조제 배수 갑문의 위치

[그림 2-2-31] 모듈러 시스템의 운송

(다) 배치 계획

○ 레저용 플로팅 주거시설은 “신시-야미 메가리조트”의 안에 위치하면서 후에 계발될 새만금 개발 단지의 시설들과의 연계를 할 수 있는 위치

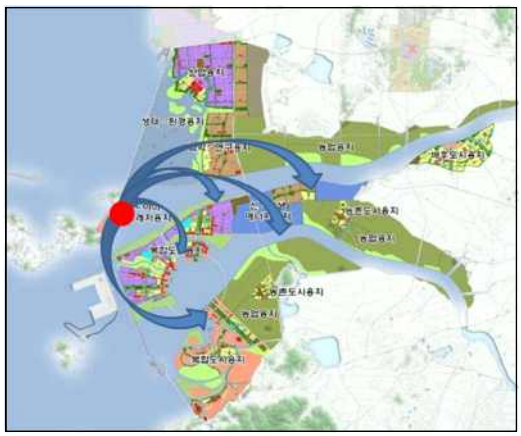
○ 또한, 새만금 방조재의 안쪽에 위치하고, 선행 연구인 “플로팅 건축물 입지선정에 관한 연구”에서도 언급 하였듯이 앞선 내용에서의 배치 조건에 부합하는 장소임

○ 폰툰으로 접근하는 장소를 건물의 배면에 위치하면서 레저용 플로팅 주거시설의 프라이버시를 지킬 수 있게 해결

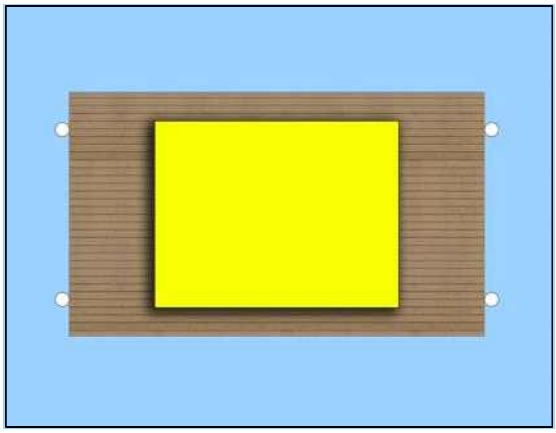
○ 또한 레저용 플로팅 주거시설로 이용자들이 물에서 즐길 수 있는 수영, 요트, 좋은 전망을 특징적으로 설계를 진행

○ 배치계획과 건축계획에 따라 건축물의 배치는 최대한 안정적으로 하고, 주변의 배후시설들과 연계할 수 있는 위치를 선정

○ 대지는 요트를 통해 새만금 내부의 여러 복합용지들로 이동이 용이하고, 만경강으로 이동도 가능한 곳에 위치



주변 배후지역과의 연계성



균형감 있는 Mass형태

[그림 2-2-32] 배치 계획

① 폰툰의 형식

○ 레저용 플로팅 주거시설로 폰툰의 유형은 하부 구조체의 내부를 사용하기 보다는 내부를 충진재로 채워 부력을 높인 유형으로 데크 부분의 활용도가 높은 유형임

○ 데크에서의 활용을 위해 물에서 즐길 수 있는 수영, 요트, 좋은 전망을 특징적으로 설계를 진행

② 요트 계류시설

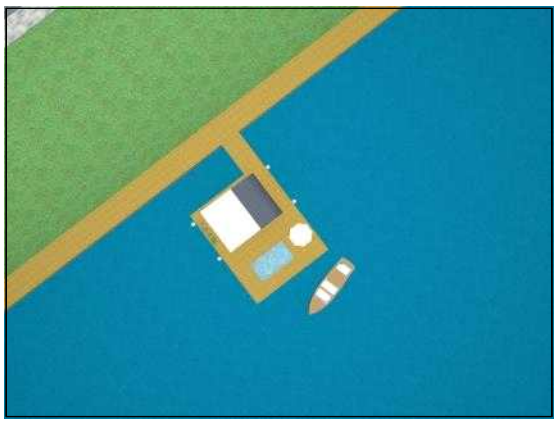
○ 소득 수준의 향상으로 물 가까이에서 생활할 수 있는 친수공간에 대한 욕구가 증가하고 있고, 플로팅 주거시설은 “신시-야미 메가리조트”의 안에 위치하여 기존 시설들을 이용할 수 있으며, 요트를 이용할 수 있도록 계획

○ 향후 새만금 방조제 안쪽에서 요트를 이용한 해상 교통으로 활용 가능

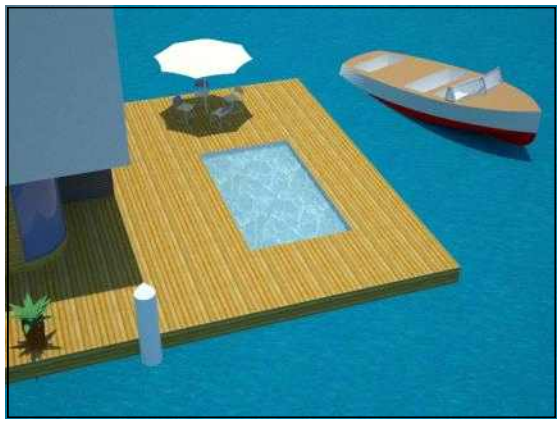
③ 수영장

○ 폰툰을 데크 공간의 활용도가 높은 유형으로 계획하였기에 데크 공간에서 다양한 프로그램이 가능

○ 데크에 수영장을 배치함으로써 주변의 바다를 보면서 수영을 할 수 있는 공간을 제시



레저용 플로팅 주거시설 배치도



수영장과 계류장

[그림 2-2-33] 배치 계획 이미지

(라) 건축 계획

(A) 공간의 구성

① 침실

○ 침실은 거주자들이 잠을 자는 공간으로 다른 어떤 공간보다 개인적인 측면이 강함

○ 침실은 2실로 설계를 하였으며, 2층에서 좋은 조망을 바라 볼 수 있는 곳에 위치

② 욕실

○ 욕실은 사람들이 사용하는 공간으로 거주자와 거주자의 손님들이 사용할 수 있도록 1층에는 화장실이 배치되어 있고, 2층에 침실과 함께 욕실을 배치

③ 데크 공간

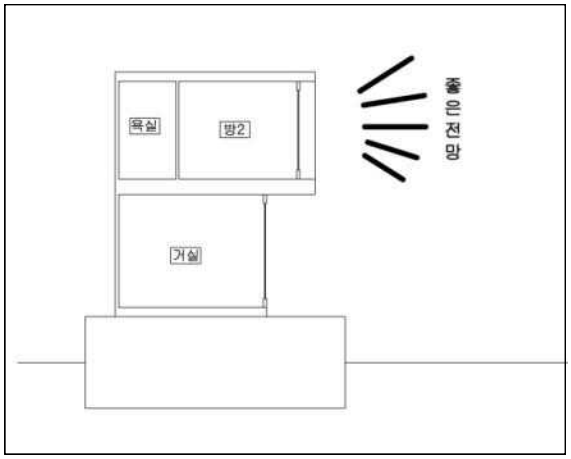
○ 데크 공간은 폰툰의 상부 공간 중 건축물의 내부 공간이 아닌 외부 공간으로 플로팅 건축의 특징적인 부분들을 많이 느낄 수 있는 부분으로 많은 프로그램들과 행동들을 유발할 수 있는 장소

○ 수영장을 데크로 사용

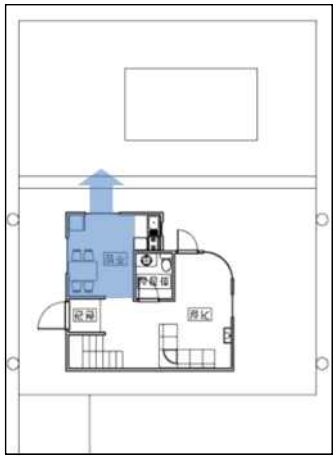
④ 식당+거실+부엌

○ 식당과 거실, 부엌이 합쳐진 공간으로 선행연구에서의 사례들을 보면 3개의 실을 합쳐서 사용하고 있는데, 본 연구에서는 이것들을 거실, 식당+부엌으로 나누어서 설계함

○ 식당+부엌의 공간은 외부 데크와 연계를 생각해서 언제든지 외부로의 오픈이 가능하도록 설계함




[그림 2-2-34]
단면 다이어그램 (좋은 전망)

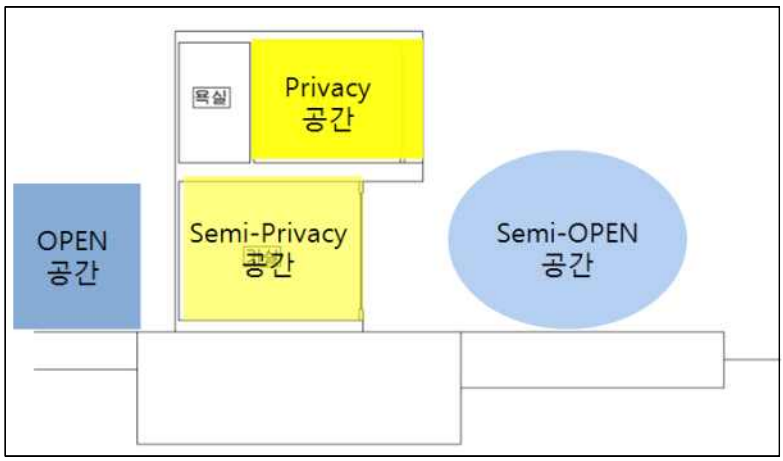


[그림 2-2-35]
주방과 데크의 연계

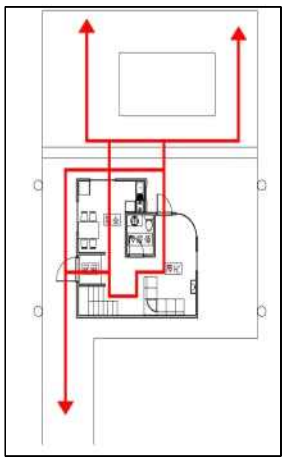
(B) 평면 계획

○ 평면 계획은 두 가지 측면에서 계획. 실의 배치와 동선 계획으로 분류하여 계획하고, 실의 배치와 관련 되어서는 침실과 거실의 분리, 식당과 외부공간과의 연계를 계획

○ 동선 계획에서는 피난 동선과 내부 거주자들의 동선을 중심으로 계획. 설비와 관련 되어 주거시설의 프라이버시를 보호할 수 있도록 따로 분리하여 동선을 계획




[그림 2-2-36]
거주실 배치 다이어그램



[그림 2-2-37]
건축물의 피난동선

① 실의 배치

○ 거실과 식당은 1층에 배치하고, 1층의 실들은 모두 외부 데크로의 이동이 용이하도록 설계함

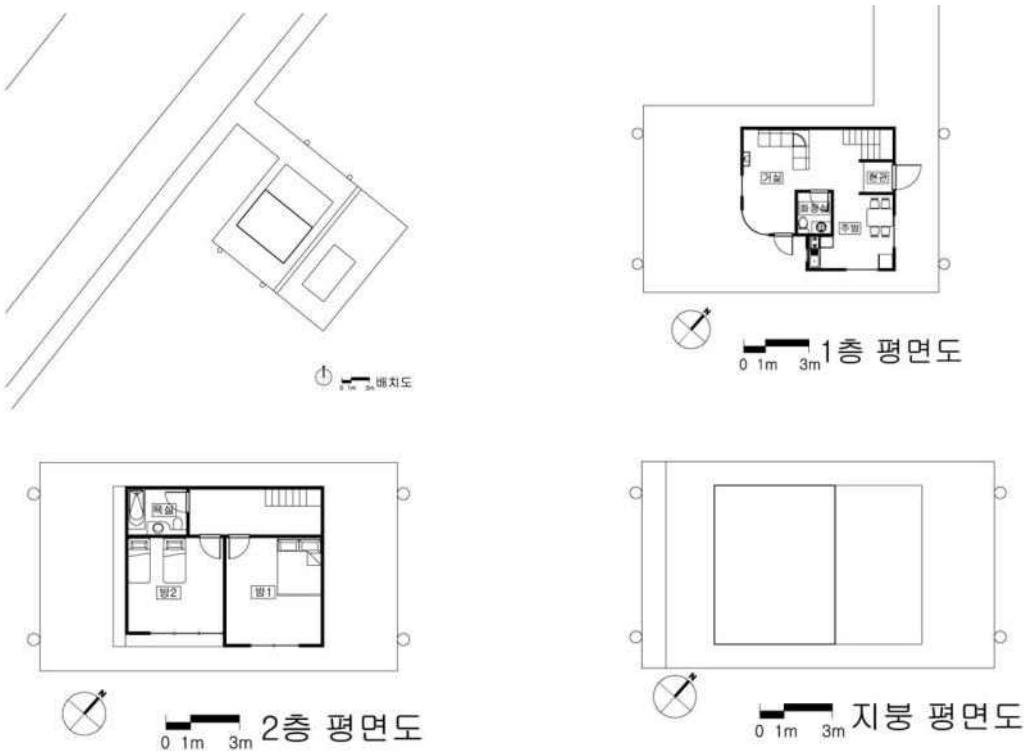
○ 2층은 주로 거주자의 사적인 공간으로 욕실과 2개의 침실을 배치하였고, 침실은 전망이 좋도록 수면을 바라보도록 배치했음

○ 건축물의 배면 쪽으로 사람들이 진입하게 되므로 사생활 보호를 위하여 배면으로는 닫힌 형태임

② 동선계획

○ 플로팅 건축에서는 피난 동선이 매우 중요. 외부 육지와의 동선 연계가 매우 중요함

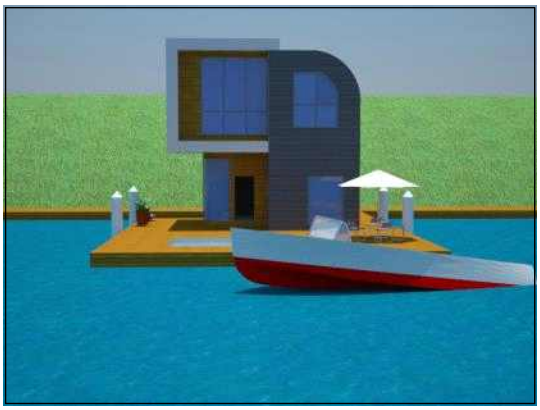
○ 보행로는 최소 1m로 규정. 이것을 피난 시에 대비하여 좀 더 넓은 2m로 설계, 비상시 요트와 육지로 모두 피난 할 수 있도록 설계



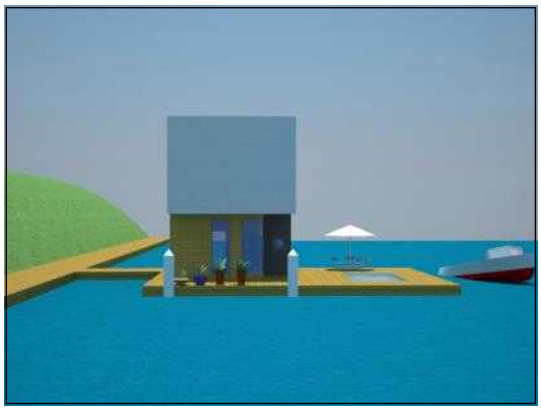

[그림 2-3-38] 평면계획

(C) 입면 계획

○ 플로팅 건축의 특성에 따라 일반적으로 경험할 수 없는 차별화된 경관을 형성 할 수 있도록 최대한 조망을 확보할 수 있도록 계획

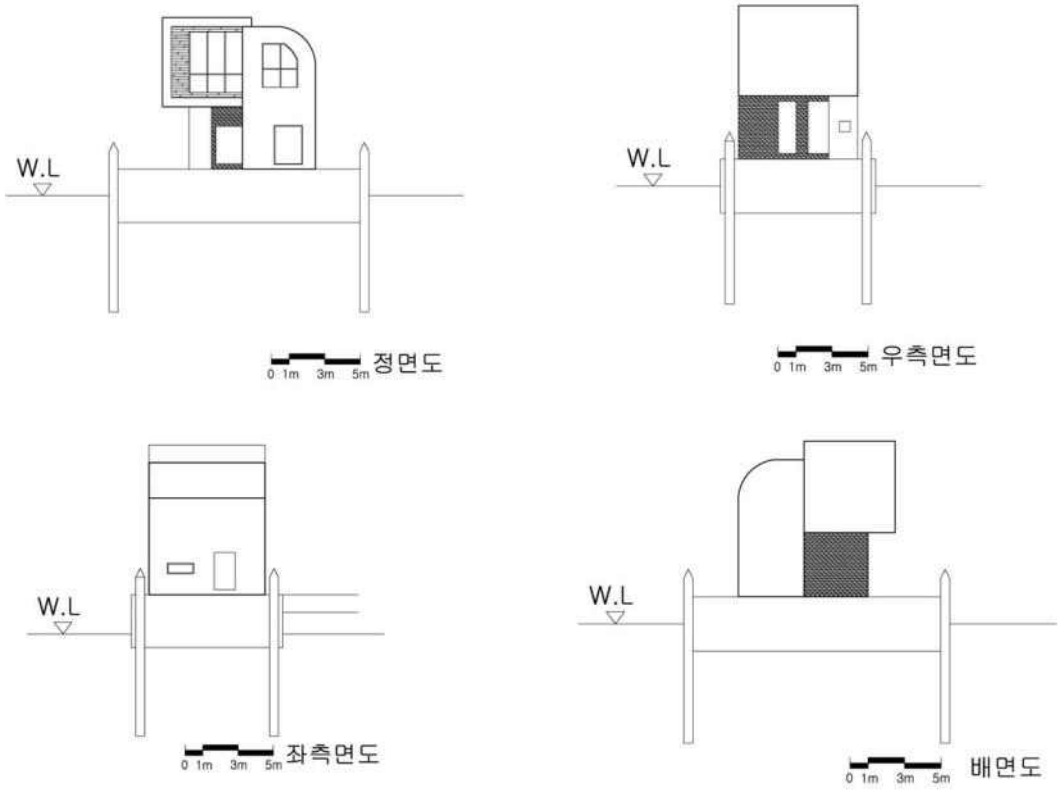


레저용 플로팅 주거시설 입면(정면도)



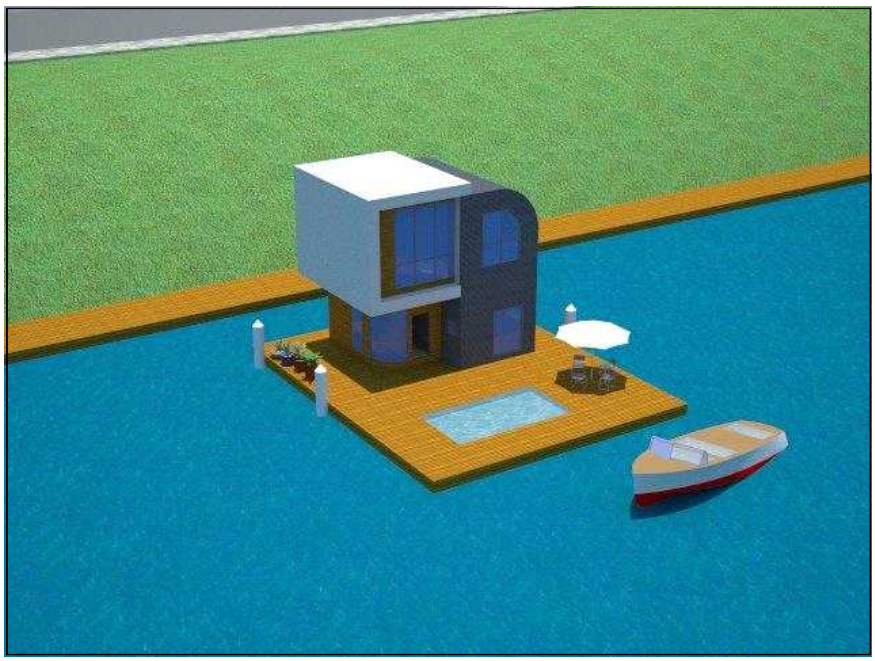
레저용 플로팅 주거시설 입면(우측면)

[그림 2-2-39] 입면 계획 이미지




[그림 2-2-40] 평면계획

(D) 레저용 플로팅 건축물 상부시설 테스트베드 계획 설계안



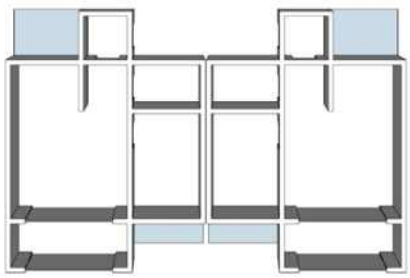
[그림 2-2-41] 레저용 플로팅 주거시설 테스트베드 계획 설계안 조감도

(5) 통합 설계모델 개발

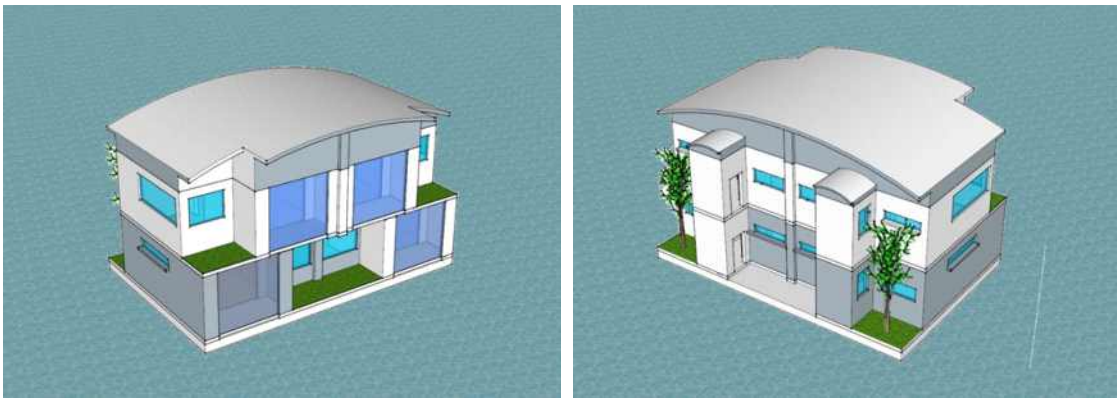
(가) 소규모 플로팅 주거 설계 모델(안) : 연립A형

○ 다양한 유형의 소규모 플로팅 주거 건축물 설계를 통한 통합 설계 모델 개발 : 소그룹 단체 관광객 수요에 대응하는 연립형 소규모 플로팅 펜션 설계 모델(안)

○ 현실에서의 직접적 적용 가능성이 높은 실효성 있는 대안 계획의 필요성



[그림 2-2-42] 평면

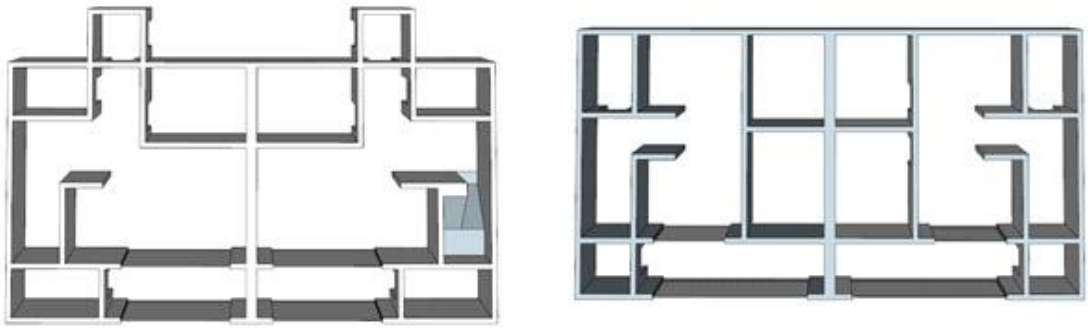


[그림 2-2-43] 연립A형 설계안

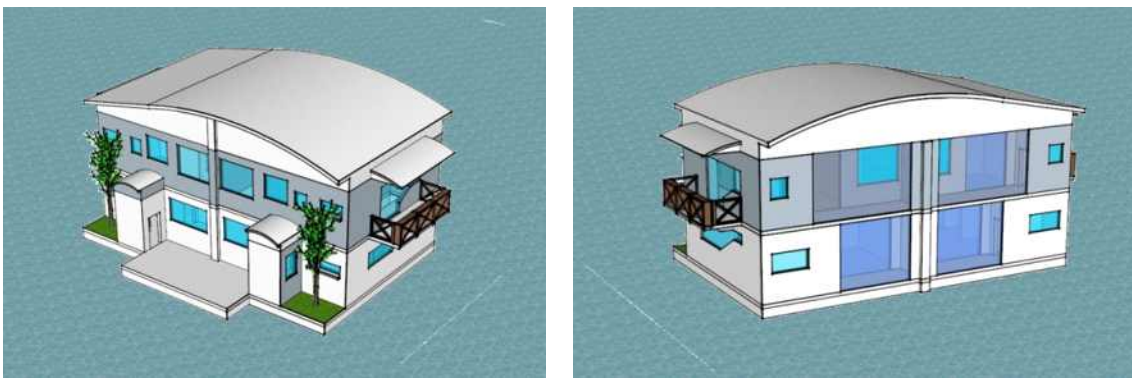
(나) 중규모 플로팅 주거 설계 모델(안) : 연립B형

○ 연립A형에 비하여 상대적으로 면적이 넓고, 중층을 활용하는 방안을 적용한 설계 모델 개발 : 앞의 경우와 동일하게 그룹 단체 관광객 수요에 대응하는 연립형 중규모 플로팅 펜션 설계 모델(안)

○ 현실에서의 직접적 적용 가능성이 높은 실효성 있는 대안 계획의 필요성



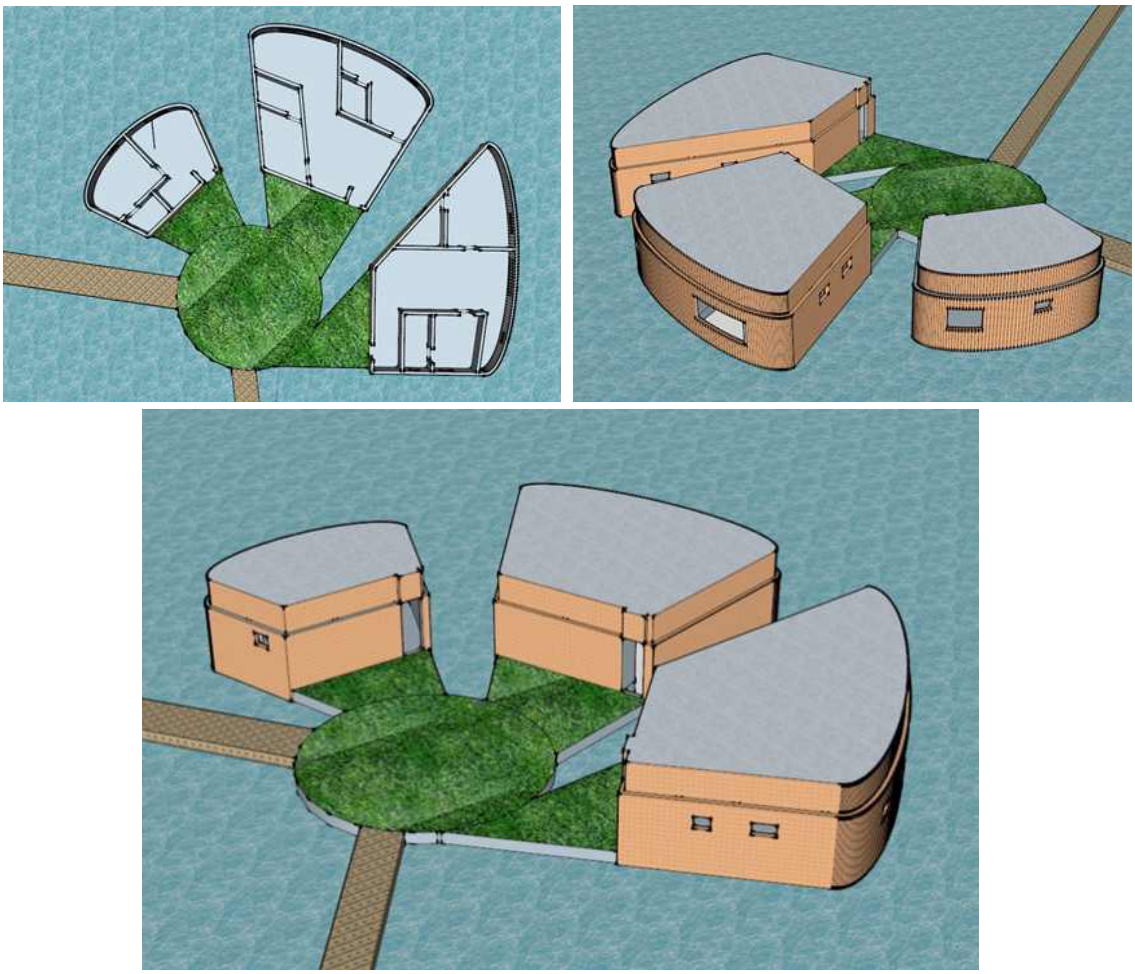
[그림 2-2-44] 연립B형 평면



[그림 2-2-45] 연립B형 설계안

(다) 소규모 플로팅 주거 설계 모델(안) : 자유 유닛 형

○ 도시 지역에서 지어지는 건축물과는 달리 자유로운 형식의 실험이 가능한 플로팅 건축물의 특성을 살려 보다 자유로운 형식의 단위 주거의 결합을 통하여 새로운 형식을 제안하는 설계 모델(안)

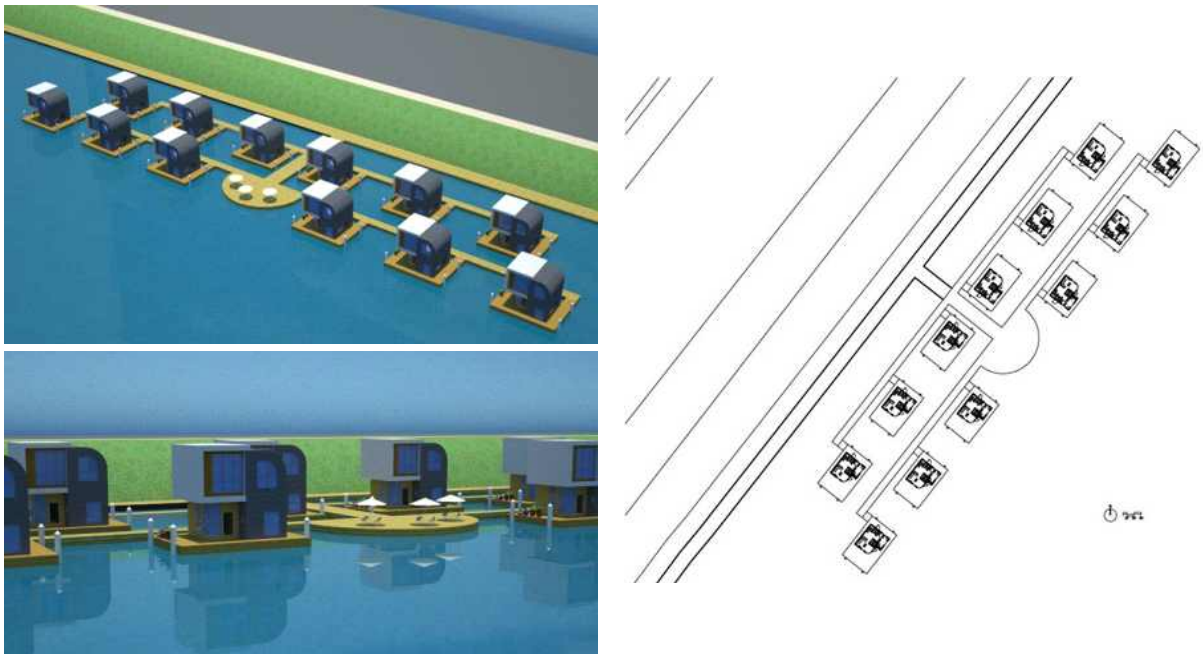


[그림 2-2-46] 자유 유닛 형 설계안

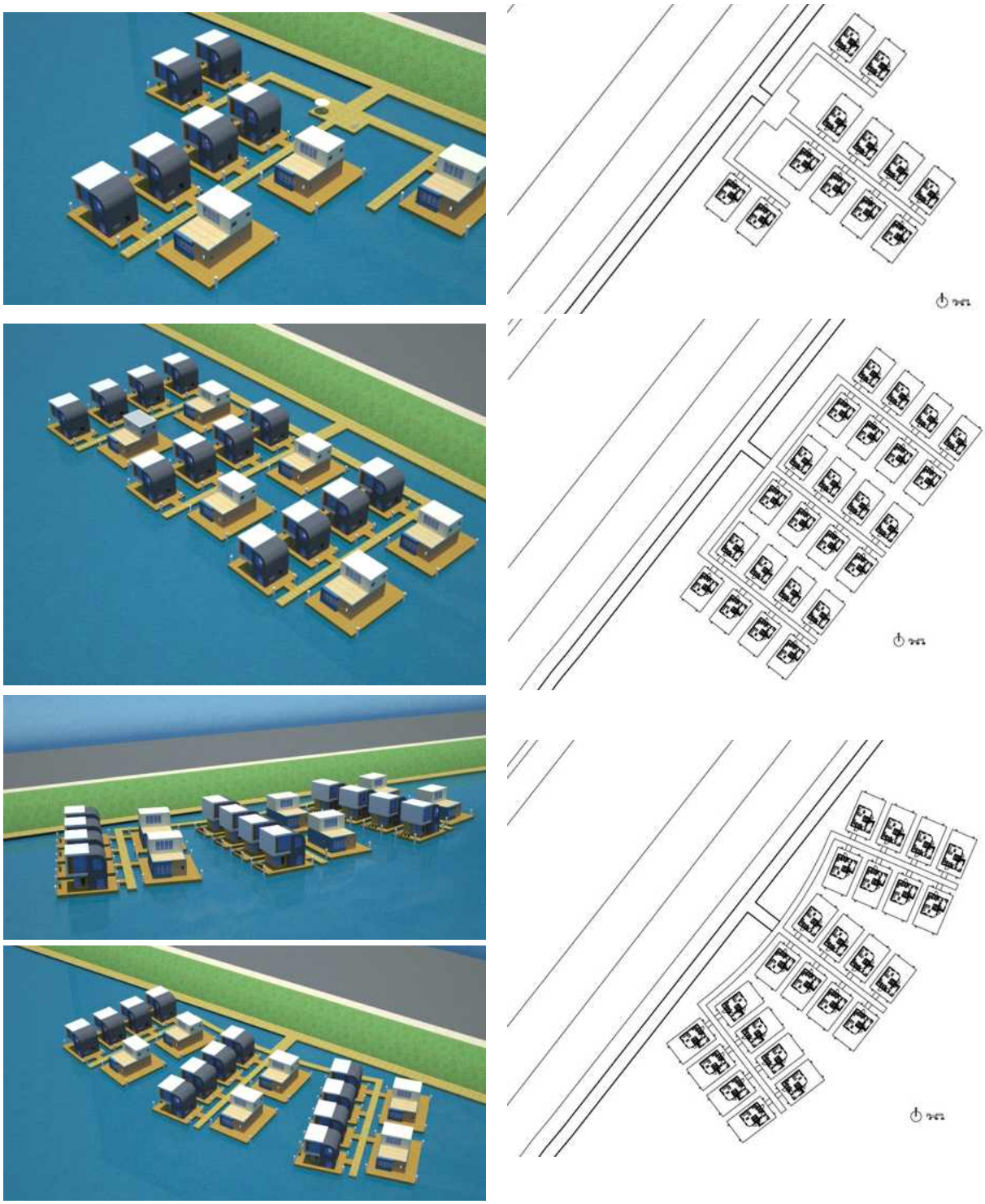
(라) 소규모 플로팅 주거 단지 설계 모델(안) : 테스트베드 설계안 적용

○ 미국, 캐나다, 유럽 등의 해외 플로팅 건축물 사례는 대부분 플로팅 주거 단지의 형태를 갖고 있음

○ 이에 따라 국내에서 플로팅 주거 단지를 개발할 경우 적용될 수 있는 다양한 형식의 주거 단지 설계 모델(안)



[그림 2-2-47] 테스트베드 설계안 적용



[그림 2-2-48] 테스트베드 설계안 적용 2

라. 상부시설 계획 지침 보완 및 해설서 개발

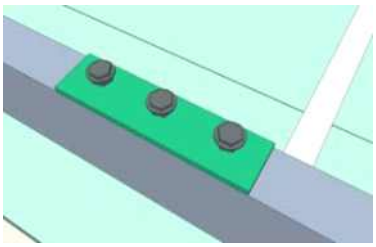
(1)모듈러 프로토타입 설계

(가) 국내 모듈러 기술 현황 분석

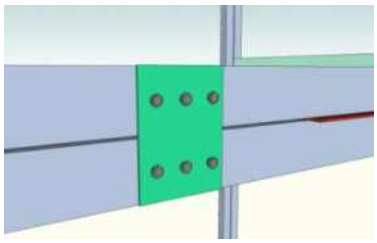
① K사 모듈러 건축 기술사례

○ 1979년 8월 설립, 국내 6개 공장 및 10개 관계사, 말레이시아, 미국 베트남 법인 등 2004년 일본(SEKISUI HEIM사) 모듈러 공법의 기술도입으로 시작하여. Unit의 접합, 층간소음, 진공, 기밀시공 등 기존 공법의 문제점을 개선

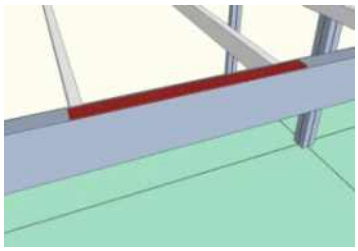
○ 모듈 접합 방식



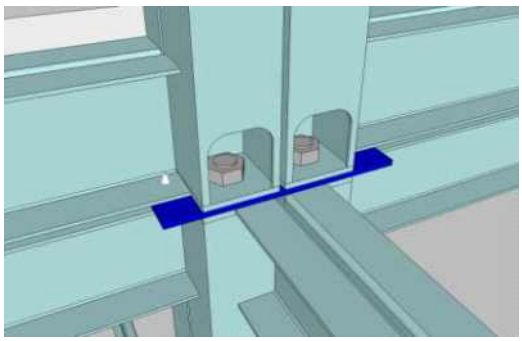
상하부 수평보 결합



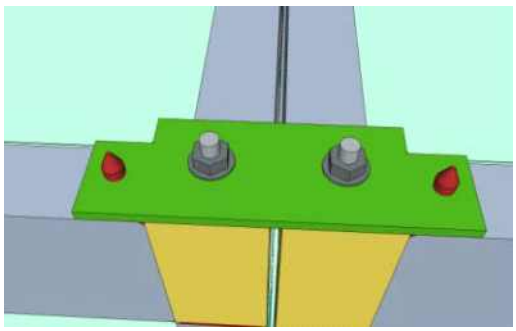
상하수직보 결합



제진재

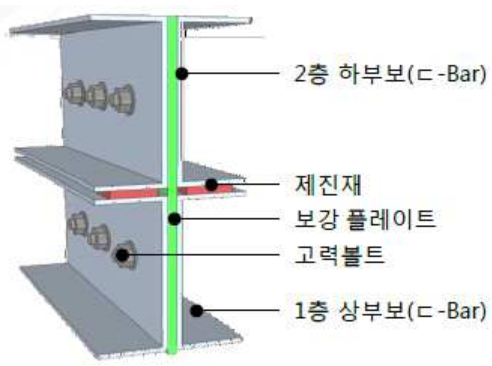


일체식 기둥 연결

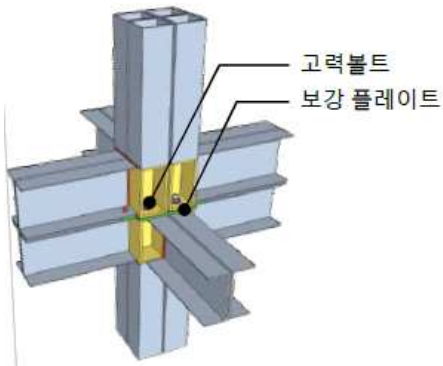


일체화 기둥(2열)

[그림 2-2-49] 구조부 접합 상세




보 접합상세




기둥 접합상세

[그림 2-2-50] 보 및 기둥 접합 상세

[표 2-2-31] K사 모듈러 공법의 특징

| 특징 | 장점 | 비고 |
|---|---|---|
| 공장제작율 | 내외벽체 마감재 80%이상 공장제작(공장제작율 상승) | 공사기간 단축, 운송비 절감 |
| | 건식 또는 습식(철콘) 바닥 구조 | 100% 공장 제작 |
| 품질의 안정성 | 철골구조 모듈 사용으로 내구성 우수 | 고강도 자재 사용 |
| | 합성 보 시스템에 의한 탁월한 내진 구조 | 풍하중, 적설하중에 강함 |
| 단열 및 차음성 | 모듈Unit간의 정밀시공으로 기밀성 우수(실콘폼바, 제진재 등) | ±2㎜ 오차 |
| | Double Wall System에 의한 단열 및 차음성 우수 | 지역별 열관류율 고려 |
| 운송 및 조립, 해체 | 운송 및 조립에 적합한 모듈크기 선택 | 5톤트럭운송, 장비비 절감 |
| | 현장 용접이 없는 고강도 볼트접합 방식 | 조립 및 해체 용이 |

(나) Y사 모듈러 건축 기술 사례

○ 1984년 12월 설립, 국내 2개 공장, 크린룸 사업부와 모듈러 사업부로 구성

[표 2-2-32] Y사 모듈러 공법의 특징

| 특징 | 장점 |
|---|---|
| 모듈러 유닛 적층구조 | 프레임을 형성하는 모듈유닛의 골조 바닥, 벽체 등의 부품화 및 규격화 |
| | 6층까지 수직 적층 가능 |
| | 옹일 유닛의 반복으로 생산효율이 높음 |
| 패널화 벽체 공법 적용 | 내외 벽체는 모두 패널화하여 공장에서 제작/설치됨 |
| | 골조 가공/제작과 동시에 이루어지므로 제작공기 단축이 획기적으로 가능 |
| | 비내력 벽구조이므로 가변 벽체로 적용 가능 |
| 볼트 접합 및 위치조정 PIN으로 현장오차 조정이 용이한 접합시스템 | 모듈과 기초의 접합 용이 |
| | 기둥 1개소당 1~2EA의 고력 볼트 접합과 1개소의 위치 고정용 핀으로 시공 오차 조정이 용이 |
| 조립-해체가 용이한 현장 설치 공법 | 모든 모듈간의 접합은 볼트로만 이루어지는 공법으로 신속, 정확한 시공 가능 |
| | 공장제작 PC 기초와 내후성 강판 지중보로 기초 공사를 시공 |
| | 모듈의 양중/운반은 소형 크레인과 트레일러로 가능 |

○ 경량 형강 프레임 및 콘크리트 타설에 의한 바닥판 제작 후, 경량 형강에 의한 벽체 제작 및 천장 시공, 각종 설비 시설, 단열재 등 시공, 외부 마감



[그림 2-2-51] Y사 제작 공장의 모듈러 제작 과정

(2) 테스트베드에 대한 모듈러 시스템 적용 검토

(가) 플로팅 새만금 청사 계획안

① 플로팅 새만금 청사 기본 계획

○ 테스트베드의 일환으로 새만금개발청을 계획함

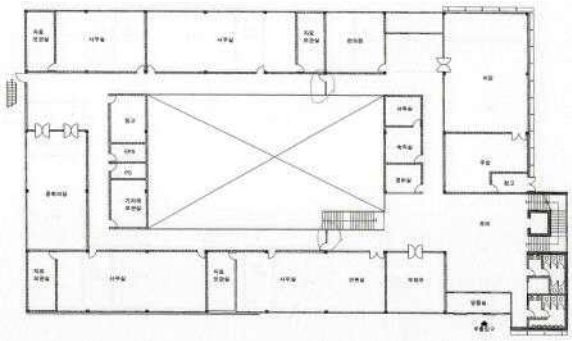
○ 주요 스페이스 프로그램은 다음과 같음

[표 2-2-33] 새만금개발청사의 스페이스 프로그램

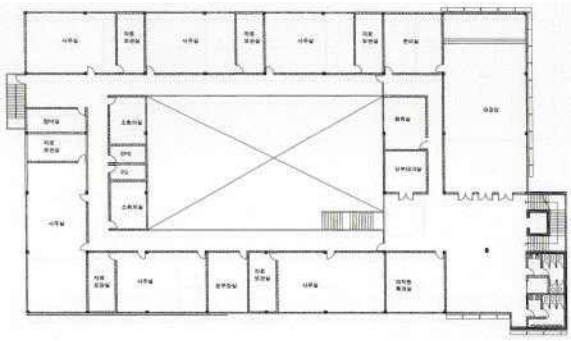
| 구분 | 과별 | 실명 | 수량 | 계획(㎡) | 설계안(㎡) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 청장 | 청장실 | 사무실 | 1 | 66 | | |
| | | 비서실 | 1 | 33 | | |
| | | 접견실 | 1 | (50) | | |
| 소계 | | | | 99+(50) | | |
| 본부장 | 본부장실 | 사무실 | 2 | 33 | | |
| 소계 | | | | 66 | | |
| | 일반사무실 | 사무실 | 16 | 70 | | |
| 소계 | | | | 1120 | | |
| | 자료보관실 | 자료보관실 | 6 | 25 | | |
| | | 문서고 | 1 | 100 | | |
| 소계 | | | | 250 | | |
| 회의시설 | | 소회의실 | 6 | 25 | | |
| | | 중회의실 | 2 | 136 | | |
| | | 대회의실 | 1 | 210(+100) | | |
| 소계 | | | | 632(+100) | | |
| 보안시설 | | 경비실 | 1 | 15 | | |
| | | 숙직실 | 1 | 20 | | |
| | | 샤워실 | 1 | 16 | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 소계 | | | | 51 | | |
| 직원복지시설 | | 구내식당 | 1 | 225 | | |
| | | 휴게실 | 1 | 80 | | |
| | | 연금매점 | 1 | 50 | | |
| 소계 | | | | 355 | | |
| 대민업무시설 | 종합민원시설 | 종합민원실 | 1 | 50 | | |
| | 홍보시설 | 홍보관 | 1 | 100 | | |
| | 편의시설 | 우체국 | 1 | 35 | | |
| | | 은행(ATM) | 1 | 15 | | |
| 소계 | | | | 200 | | |
| 계 | | | | 2,773(+150) | | |
| 공용시설 | | 로비 | | | | |
| | | 홀 | | | | |
| | | 계단 | | | | |
| | | 화장실 | 2 | 64 | | |
| 소계 | | | | 840 | | |
| 관리시설 | | 기계실 | 1 | 95 | | |
| | | 전기실 | 1 | 80 | | |
| | | 정화조 | 1 | 75 | | |
| | | 물탱크 | 1 | 65 | | |
| | | 창고 | 2 | 60 | | |
| 소계 | | | | 235 | | |
| 총계 | | | | 3,848(+150) | | |

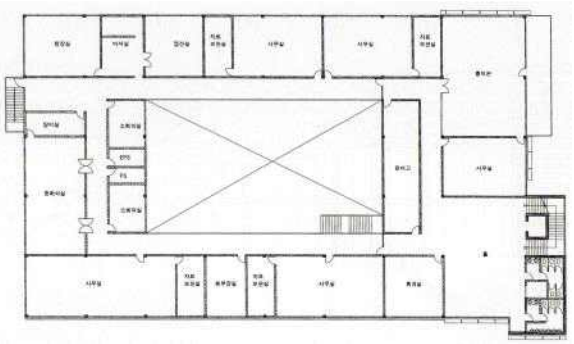
○ 중정을 중심으로 한 새만금개발청의 기본 계획은 다음과 같음



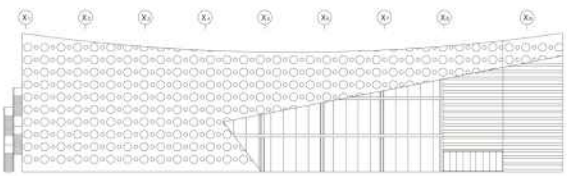
새만금개발청 1층 평면



새만금개발청 2층 평면



새만금개발청 3층 평면



새만금개발청 정면도

[그림 2-2-52] 새만금개발청 기본 계획

② 플로팅 새만금 청사 모듈러 계획

○ 플로팅 새만금 청사는 7,200㎜×7,200㎜ 모듈을 기본으로 하여 계획됨

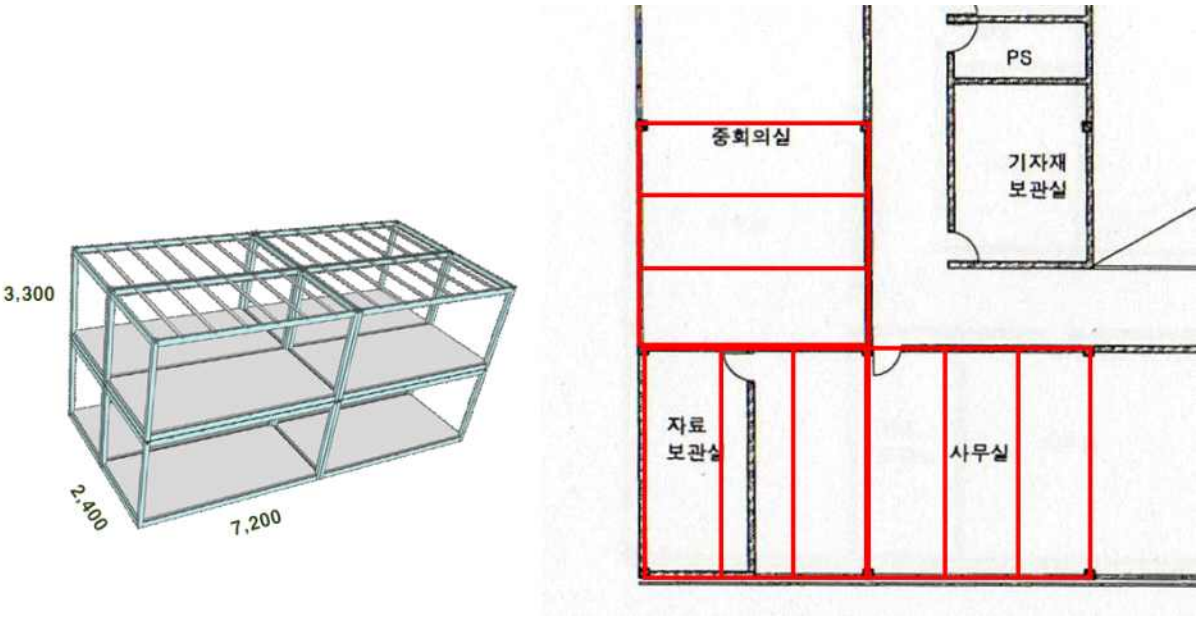
○ 이를 바탕으로 모듈러의 육상 운송을 가정하면 유닛 모듈러의 규모는 폭 3.0m~3.3m, 길이 6.0m~12.0m, 높이 3.0m~3.4m 정도이므로 플로팅 새만금 청사의 기본 모듈을 3등분하여 폭 2,400㎜, 길이 7,200㎜, 높이 3,300㎜로 계획할 수 있음

○ 2,400×7,200×3,300(WLH)로 계획된 유닛 모듈러의 프로토타입을 바탕으로 플로팅 새만금 청사에 적용성을 검토해보면 다음 그림과 같음

○ 내부공간의 활용을 고려하여 유닛 모듈러를 폭 방향으로 연속시켜 구성하는 것을 기본으로 하면 다음 그림과 같이 복도와 외벽으로 모듈러의 폭 방향이 연속되는 구성으로 새만금 청사를 분할하여 계획할 수 있음

○ 모서리 공간의 경우 공간이 연속되는 방향에 따라 결합 방향을 선택할 수 있음

○ 모서리 공간에서 내부 공간의 연속성이 문제가 되지 않는 경우에는 입면의 구성에 따른 방향 선택도 가능함




[그림 2-2-53] 유닛 모듈러 규모 계획, 공간 분할 및 구성 계획 검토

○ 2,400×7,200×3,300(WLH)의 유닛 모듈러 프로토타입을 중심으로 플로팅 새만금 청사의 1층 전체를 분할하면 다음과 같음

○ 복도를 중심으로 하고 외벽에 면한 대부분의 사무 공간은 유닛 모듈러 프로토타입에 의해 분할이 가능하여, 모듈러 시스템 적용에 무리가 없을 것으로 판단됨

③ 플로팅 새만금 청사 모듈러 시스템 적용 검토 사항

○ 국내 모듈러 시장의 미성숙 등으로 경제성, 정밀성 등의 어려움

○ 모듈러 시스템 적용의 경우 공기단축, 현장 시공성 최소화 등의 의미가 있음

○ 국내 모듈러 공장과 육상 운송 조건 등을 고려하여 단위 모듈러 결정

○ 입면 계획에서 획일성 탈피를 위해서는 별도의 외피 계획 필요

○ 로비 공간 및 다양한 종류의 집회 공간 등에서 모듈러 적용 범위(이형 모듈러 적용 범위)에 따른 다양한 조합 가능 → 철골 구조 + 모듈러 시스템

○ 모듈러 적용에 따른 기존 설계의 부분적인 변경 필요

○ 플로팅 공공청사 또는 별도의 플로팅 건축물 상부시설 계획에의 적용

○ 단위 모듈러에 대한 구체적인 설계 : 기본 모듈러를 중심으로 개별 부재에 대한 설계, BIM 적용

○ 단위 모듈러 적용을 통한 기존 설계안에 대한 대안 설계 : 내부 공간 구획, 치수 계획, 외피 계획과 연동된 입면 대안 설계 등

○ 모듈러의 적용 범위 및 경제성 검토 : 기본 모듈러의 규격, 철골 구조의 적용 범위, 이형 모듈러의 적용 범위 → 국내 모듈러 제조업체와의 검토 필요

○ 조선소의 활용 및 해상 운송에 대한 검토 필요 : 육상 운송 중심의 기존 모듈러 시스템을 적용하지 않을 경우, 경제성 검토 등

○ 실제 시공 현장을 중심으로 한 시공 시뮬레이션 및 시공 공법에 따른 설계 변경 검토

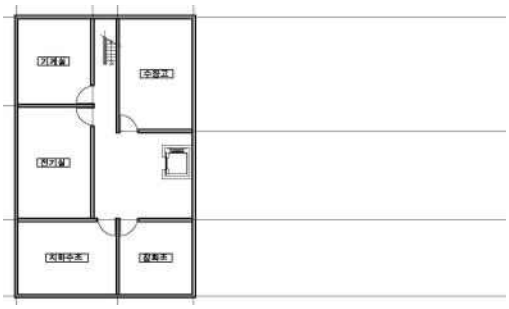
(나) 에코델타시티 전시관 계획안

① 에코델타시티 전시관 기본 계획

○ 부산 강서구 대저2동 일대를 중심으로 에코델타시티 플로팅 홍보관 신축공사를 계획함

○ 건축물 규모는 다음과 같음
(건축면적 : 951.03㎡/ 연면적 : 1,537.64㎡/ 지상 1층 : 951.03㎡, 업무시설, 전시시설/ 지상 2층 : 396.53㎡, 업무시설, 전시시설/ 지상 3층 : 190.08㎡, 업무시설)

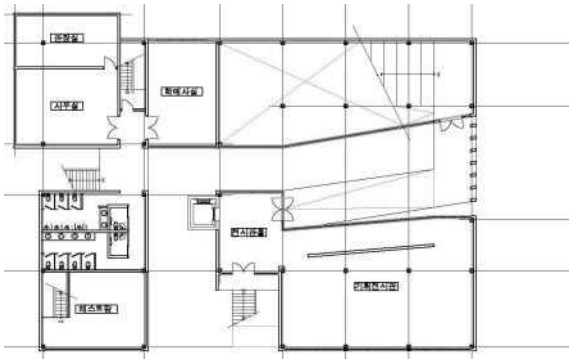
○ 최초 설계 단계에서는 다음과 같은 기본 계획으로 구상되었으나, 지하층 사용의 문제점 등을 고려하여 각 층별 계획이 변경되었고, 사무동의 경우 모듈러 시스템 적용을 위하여 6,000㎜×8,000㎜ 크기의 기본 모듈의 규모를 조정함



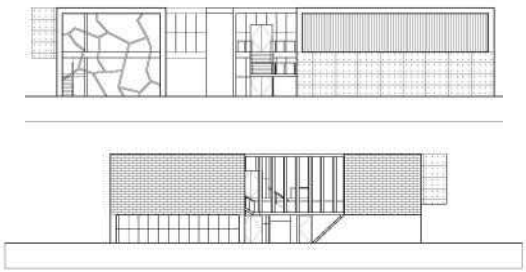
에코델타시티 지하층 평면



에코델타시티 1층 평면



에코델타시티 2층 평면

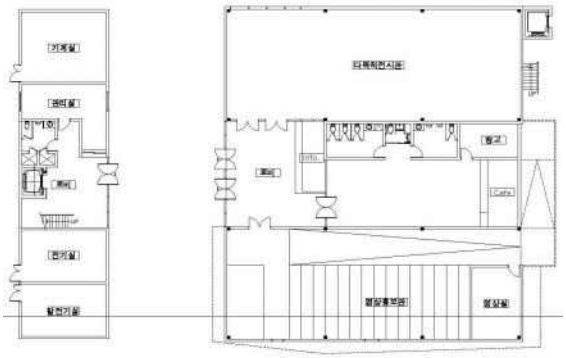


에코델타시티 입면도

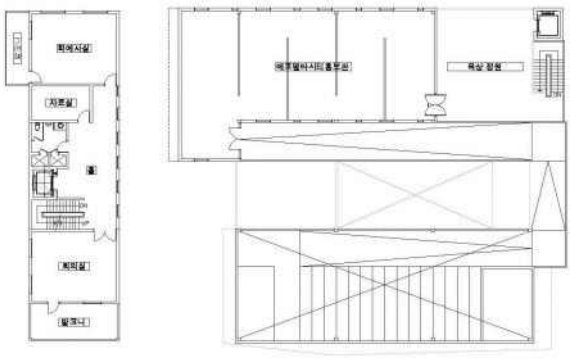
[그림2-2-54] 에코델타시티 기본 계획 1차

◦ 1차 계획에서의 수정 요청 사항을 반영하여 2차 기본 계획이 다음과 같이 작성됨

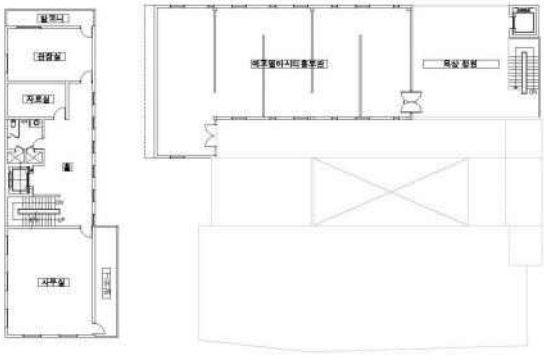
◦ 1차 계획에서 지하실에 계획되었던 기계실 및 전기실, 발전기실 등의 공간을 1층으로 계획하여 변경함



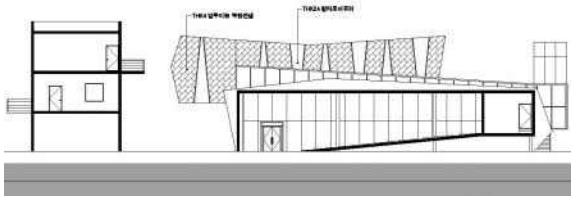
에코델타시티 1층 평면



에코델타시티 2층 평면



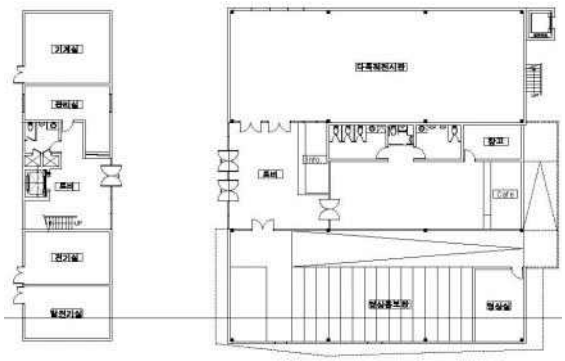
에코델타시티 3층 평면



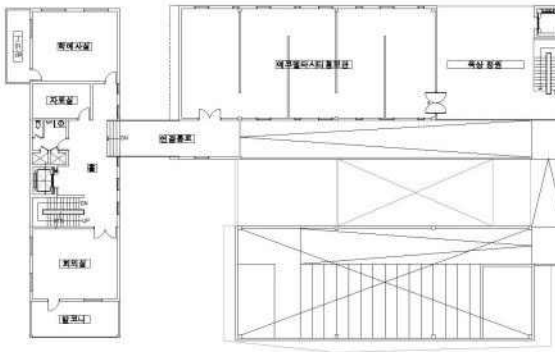
에코델타시티 단면도

[그림 2-2-55] 에코델타시티 기본 계획 2차

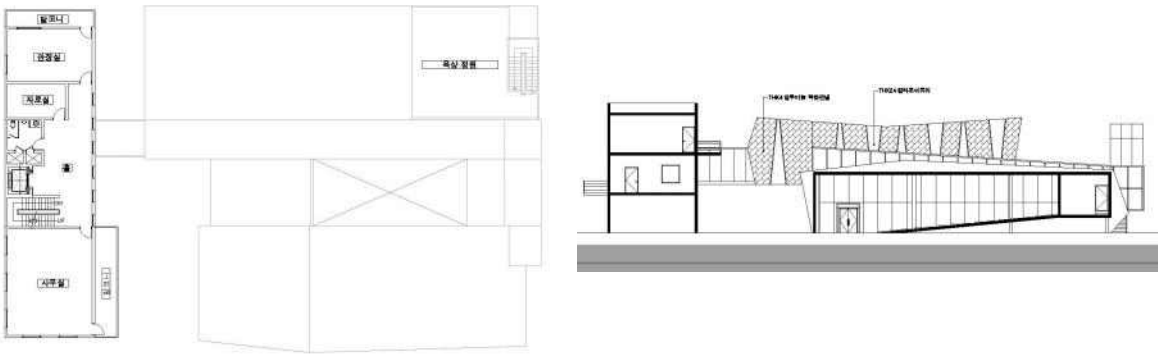
- 1차 계획에서 6,000㎜×8,000㎜ 크기의 사무동 기본 모듈을 변경하여 3,000㎜, 4,500㎜, 6,000㎜, 9,000㎜×7,200㎜의 크기로 계획함
- 사무동과 전시동이 별동으로 분리되어 있어 2층에서 전시동과 사무동을 연결할 수 있는 브리지 등의 계획이 요구됨
- 2차까지의 수정 요구사항을 반영하여 다음과 같이 3차 기본 계획을 작성함. 2층에서의 브리지 연결 등과 세부적인 실 면적 등이 수정됨



에코델타시티 지하층 평면



에코델타시티 1층 평면



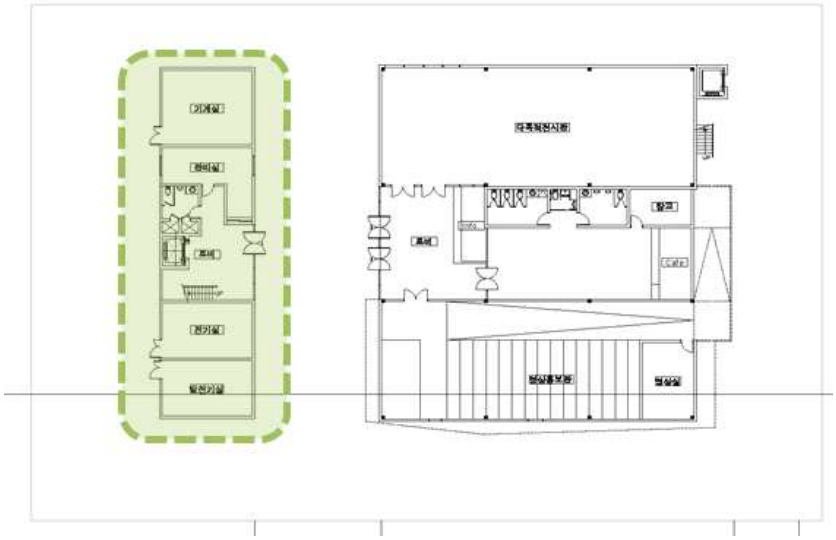
에코델타시티 2층 평면　　에코델타시티 단면도

[그림 2-2-56] 에코델타시티 기본 계획 3차

② 에코델타시티 전시관 사무동 모듈러 계획

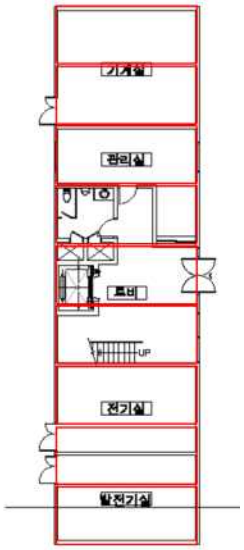
○ 에코델타시티 전시관의 사무동은 3,000㎜×7,200㎜ 모듈을 기본으로 하여 계획됨

○ 이를 바탕으로 모듈러의 육상 운송을 가정하면 유닛 모듈러의 규모는 폭 3.0m~3.3m, 길이 6.0m~12.0m, 높이 3.0m~3.4m 정도이므로 에코델타시티 전시관의 기본 모듈을 수용하여 폭 3,000㎜, 길이 7,200㎜, 높이 3,300㎜로 계획할 수 있음



[그림 2-2-57] 유닛 모듈러 프로토타입 적용 범위




[그림 2-2-58] 유닛 모듈러 프로토타입의 설정 및 적용

○ 3,000×7,200×3,300(WLH)로 계획된 유닛 모듈러의 프로토타입을 바탕으로 에코델타시티 전시관의 사무동에 적용성을 검토해보면 그림과 같음

○ 내부공간의 활용을 고려하여 유닛 모듈러를 폭 방향으로 연속시켜 구성하는 것을 기본으로 하면 그림과 같이 외벽으로 모듈러의 폭 방향이 연속되는 구성으로 사무동을 분할하여 계획할 수 있음

○ 입면 계획에서 획일성 탈피를 위해서는 별도의 외피 계획 필요

○ 단위 모듈러에 대한 구체적인 설계 : 기본 모듈러를 중심으로 개별 부재에 대한 설계

③ 에코델타시티 전시관 사무동 유닛 모듈러 설계

○ 3,000×7,200×3,300(WLH)의 유닛 모듈러 프로토타입 설계

○ 에코델타시티 전시관 사무동에서 관리실을 대상으로 함

○ 국내 모듈러 제조사에서 주로 사용하는 모듈러 설계 방식을 적용함

○ 폭 방향으로 단열재 및 외장재 계획, 창호 계획

○ 관리실의 경우 인접 모듈과 내벽으로 구획되어 있으나 프로토타입의 성격을 감안하여 길이 방향으로 한쪽은 인접 모듈과 내벽으로 구획하고 다른 한쪽은 인접 모듈과 연속된 동일 공간으로 설계함

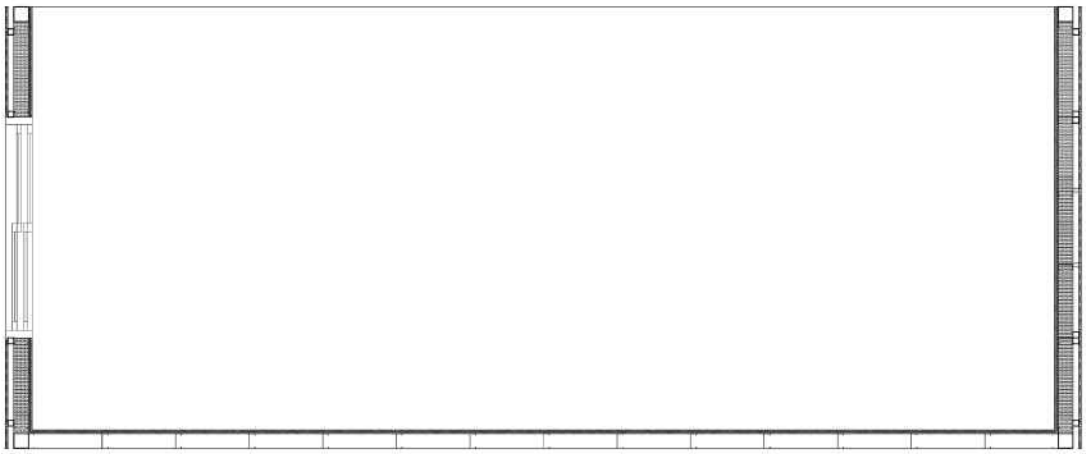
○ 4개의 모서리는 100㎜×100㎜의 강재 기둥으로 설계함

○ 유닛 모듈러 프로토타입의 바닥은 120㎜ 두께의 철근콘크리트 슬래브를 타설하는

것으로 설계함

○ 모서리 기둥 사이의 벽체는 강재 샛기둥(stud)을 사용하여 구성함

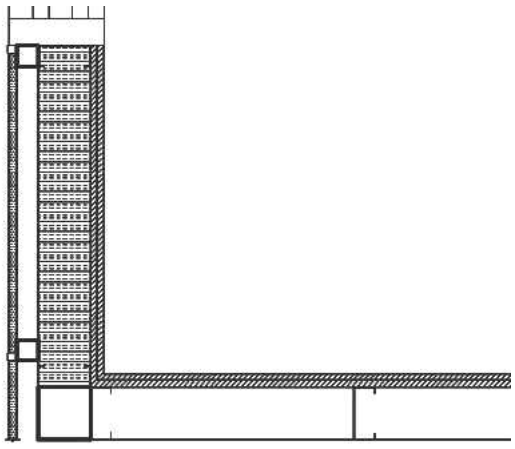
○ 벽체 구성에서의 샛기둥은 경량철골 ㄷ자 형강 100SL14를 사용함



[그림 2-2-59] 유닛 모듈러 프로토타입 설계

○ 외벽의 경우 샛기둥의 사이는 단열재로 충진하는 것으로 설계함

○ 단열재는 '가' 등급 100㎜로 계획하여 에너지절약설계기준에서 남부지방의 기준을 만족시키는 것으로 설계함



[그림 2-2-60] 유닛 모듈러 프로토타입 모서리 상세

○ 내벽 마감은 실의 용도에 따라 다양하나 프로토타입에서는 12.5㎜ 석고보드와 기타 마감 12.5㎜로 총 25㎜로 설계함

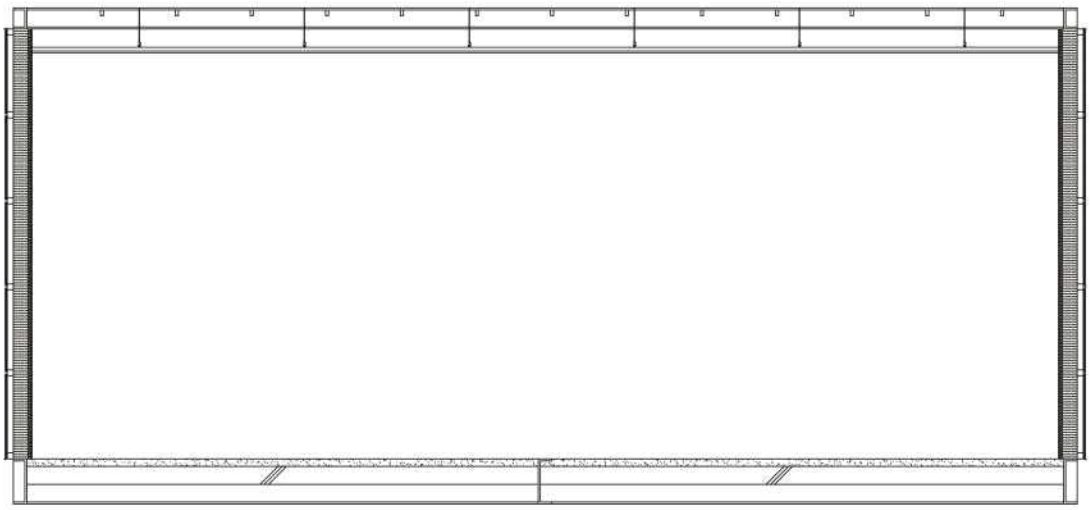
○ 외벽은 40㎜ 크기의 프레임에 15㎜ 두께의 복합 패널 마감으로 설계함

○ 바닥과 천장의 테두리보는 각각 300㎜, 140㎜로 설계하고 마감은 각각 300㎜로 하여 천장고는 2,700㎜로 설계함

○ 유닛 모듈러 프로토타입 사이의 연결은 고력 볼트 접합으로 처리하며 외벽에서는 사이에 300㎜ 폭의 외장재를 현장 시공하여 마감하도록 설계함



[그림 2-2-61] 유닛 모듈러 프로토타입 접합

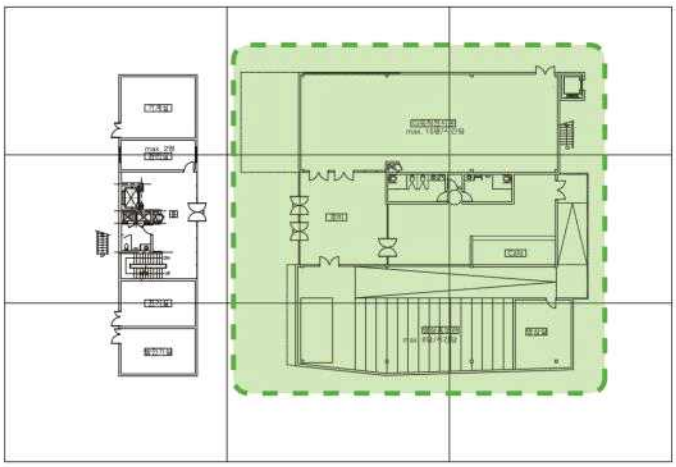


[그림 2-2-62] 유닛 모듈러 프로토타입 단면

○ 바닥은 120㎜ 두께의 철근콘크리트 슬래브위에 20㎜ 두께의 시멘트 모르타르로 마감

○ 천장의 테두리보 사이에 중간보 20㎜×40㎜의 강재를 500㎜ 간격으로 설계함

○ 천장의 마감은 12.5㎜ 두께의 석고보드로 마감



[그림 2-2-63] 유닛 모듈러 프로타입 적용범위

④ 에코델타시티 전시관 홍보관 유닛 모듈러 설계

○ 2600×9650×2920(WLH)의 유닛 모듈러 프로토타입 설계

○ 국내 모듈러 제조사에서 주로 사용하는 모듈러 설계 방식을 적용함.

○ 폭 방향으로 단열재 및 외장재 계획, 창호 계획

○ 다목적전시관의 경우 인접모듈과 구획되어 있지 않는 프로토타입의 성격을 감안하여 길이 방향으로 양쪽을 인접 모듈과 연속된 동일 공간으로 설계함

○ 모듈러의 육상 운송을 가정하면 유닛 모듈러의 규모는 높이 3.0m~3.4m 정도 이므로 층고 1층 3.8m, 2층 4.75m을 수용하여 'H' 형 프로토타입 모듈과 상부 프로토타입 모듈로 나누어 설계함

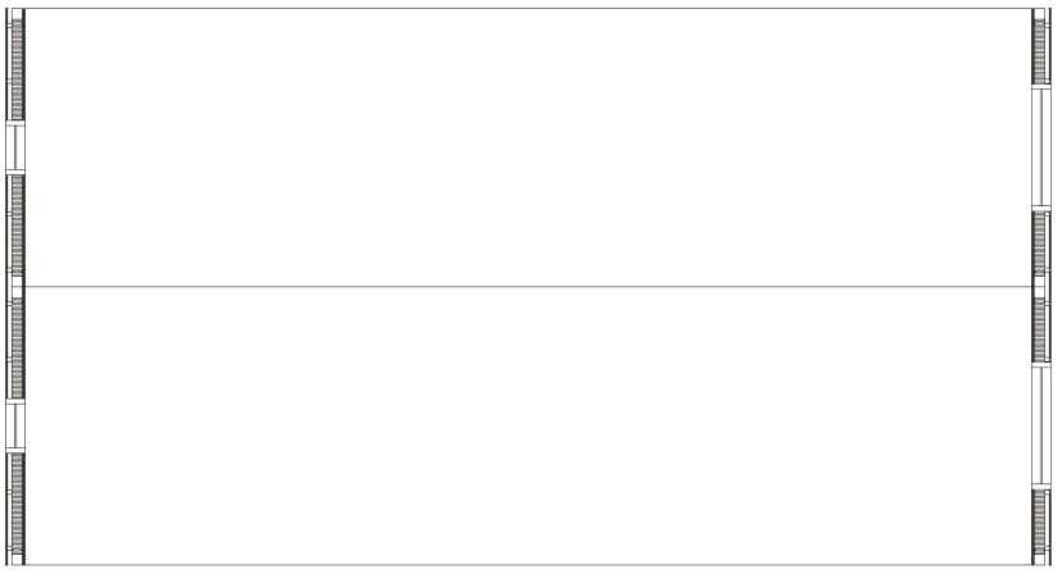


[그림 2-2-64] 'H'형 유닛 모듈러 프로토타입 설계

○ 4개의 모서리는 100㎜×100㎜의 강재 기둥으로 설계함

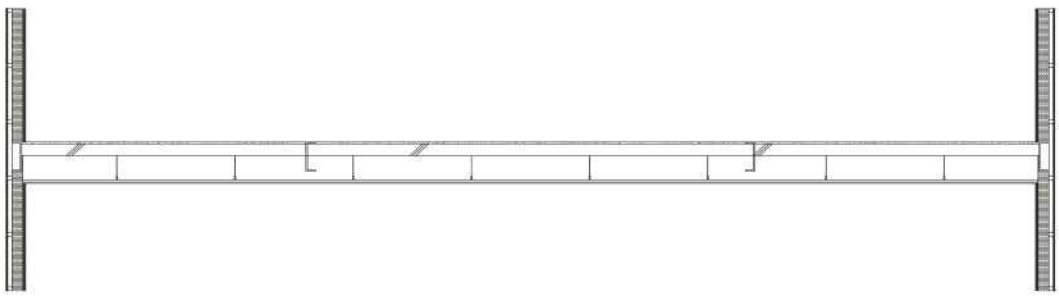
○ 모서리 기둥 사이의 벽체는 강재 샛기둥(stud)를 사용하여 구성함

○ 벽체 구성에서의 샛기둥은 경량철골 ㄷ자 형강 100SL14를 사용함



[그림 2-2-65] 'H'형 유닛 모듈러 프로토타입 접합

○ 유닛 모듈러 프로토타입 사이의 연결은 고력 볼트 접합으로 처리

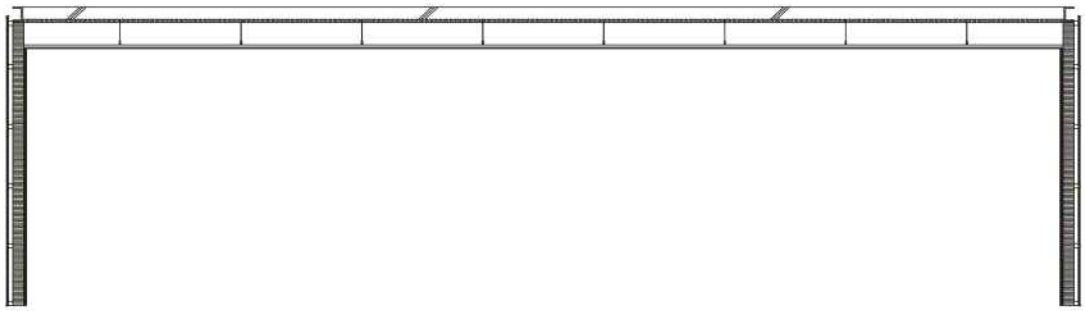


[그림 2-2-66] 'H'형 유닛 모듈러 프로토타입 단면

○ 중앙에 300㎜ 테두리 보를 설계하고 같은 두께의 중앙보를 2645㎜ 간격으로 설계함

○ 유닛 모듈러 프로토타입의 바닥은 120㎜ 두께의 철근 콘크리트 슬래브를 타설하고 20㎜ 두께의 시멘트 모르타르로 마감

○ 외벽은 40㎜ 크기의 프레임에 15㎜ 두께의 복합 패널 마감으로 설계함



[그림 2-2-67] 상부 유닛 모듈러 프로토타입 단면

○ 내벽 마감은 12.5㎜ 석고보드와 기타 마감 12.5㎜로 총 25㎜로 설계함

○ 천장의 테두리보는 140㎜로 설계함

○ 천장부는 120㎜ 두께의 철근 콘크리트 슬래브를 타설함

○ 상부 유닛 모듈러 프로토타입의 천장부는 외기와 면하기 때문에 30㎜ 두께의 단열재를 추가로 설계함

○ 천장의 마감은 12.5㎜ 두께의 석고보드로 마감

(2) 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 보완

(가) 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 보완 방향

① 기존 구성 체계

○ 3차년도 연구 결과를 통하여 작성된 '부유식 건축물 상부시설 계획 지침' 은 다음의 표와 같이 총 5개장으로 구성되어 일반사항, 관련 기준, 시스템 계획, 배치 계획, 건축 계획으로 구성되어 있음

○ 5개장 중 가장 중요한 지침의 부분은 시스템 계획, 배치 계획, 건축 계획으로 평가할 수 있음. 각 세부 지침은 각각 다음과 같은 3가지의 세부 내용 구성으로 구성됨

○ 시스템 계획 : 모듈 정합 설계, 모듈러 시스템 계획, 상하부 시스템 연계

○ 배치 계획 : 입지 및 위치, 조망 및 경관, 단지 계획

○ 건축 계획 : 형태, 규모 및 용도, 구조 및 재료, 친환경 계획

② 보완 방향

○ 4차년도의 추가적인 연구와 관련되어 다음과 같은 측면에서의 추가적인 보완의

필요성이 있음

- ○ 3장 시스템 계획의 내용이 보다 구체적이고 세부적인 점을 감안하여 장의 구성을 5장으로 변경함
- ○ 3장 배치 계획의 단지 계획에서 단지로의 진입로 구성 등에 대한 추가적인 보완이 필요함
- ○ 5장 시스템 계획 : 모듈러 시스템 계획과 상하부 시스템 연계에서 부분적인 보완이 필요함

[표 2-2-34] 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 구성 체계

| 계획 분야 | 분야별 구성 체계 | 세부 내용 구성 | 주요 보완 사항 |
|---|---|---|---|
| 01.00<br>일반사항 | 01.10 목적 | | |
| | 01.20 용어 정의 | | |
| | 01.30 구성 체계 | | |
| 02.00<br>관련 기준 | 02.10 구조설계기준 | | |
| | 02.20 방재 및 피난 기준 | | |
| | 02.30 참조 기준 | | 참조 기준 추가함. |
| 03.00<br>배치 계획 | 03.10 입지 및 위치 | 03.11 자연 환경 조건<br>03.12 사회 환경 조건<br>03.13 관련 법규 및 개발 계획 | |
| | 03.20 조망 및 경관 | 03.21 조망 계획<br>03.22 경관 계획<br>03.23 사생활 보호 | |
| | 03.30 단지 계획 | *03.31 주차, 조경 및 공용 공간*<br>*03.32 단위 건축물 배치 및 동선*<br>*03.33 지원 및 공동 시설* | 4차년도 연구에 따라 03.30 단지계획을 수정, 보완함. |
| 04.00<br>건축 계획 | 04.10 형태, 규모 및 용도 | 04.11 안정성<br>04.12 상부시설 규모<br>04.13 용도 및 공간 구성 | |
| | 04.20 구조 및 재료 | 04.21 상부구조의 경량화<br>04.22 재료의 요구 성능<br>04.23 폰툰의 구조 및 재료 | |
| | 04.30 친환경 계획 | 04.31 수질 관리<br>04.32 신재생에너지 활용<br>04.33 유지 관리 | |
| 05.00<br>시스템 계획 | 05.10 모듈 정합 설계 | 05.11 계획 모듈<br>05.12 기준면 설정<br>*05.13 모듈과 모듈러 규모* | 05.13에서 4차년도 테스트베드 결과를 포함함. |
| | 05.20 모듈러 시스템 계획 | *05.21 공업화 건축 시스템*<br>*05.22 모듈러 시스템 적용 조건*<br>05.23 재료 및 구법<br>**05.24 모듈러 시스템 시공 계획** | 4차년도 연구에 따라 05.24를 신설하고 부분적으로 수정, 보완함. |
| | 05.30 상하부 시스템 연계 | 05.31 함체의 종류 및 거주성<br>*05.32 상하부 구조 연계*<br>05.33 설비 시스템 계획 | 05.23에서 모듈러 시스템 관련 내용을 포함함. |

○ 위와 같이 지침의 구성 체계를 변경하여 작성함

○ 기울임 글씨체는 내용이 보완된 항목이며 진한 글씨체는 신설 항목임

(나) 부유식 건축물 상부시설 계획 지침

02.00 관련기준, 02.30 참조 기준

○ 3차년도에 작성된 지침의 ‘02.30 참조 기준’에 다음과 같은 국내 관련 연구 자료를 추가하여 보완함

- 주거시설로서 모듈러건축 활용화 방안, 2013.
- 도시형 생활주택의 유닛 모듈러 공법 설계에 관한 연구, 2011.
- 유닛 모듈러 공법의 효율성 확보를 위한 공장제작, 운반, 현장설치의 최적 공정 제안, 2011.

○ 다음과 같은 국외 관련 가이드 자료를 추가하여 보완함

- Builder’s Guide to Modular Home Set-Up & Completion, National Modular Housing Council
- A Community Guide to Factory-Built Housing, PATH(Partnership for Advancing Technology in Housing)

03.30 단지 계획

03.31 주차, 조경 및 공용공간

○ 3차년도에 작성된 지침에서 ‘04.00 배치 계획’을 ‘03.00 배치 계획’으로 순서를 변경하여 각 장, 절의 번호체계가 변경됨

○ 조경 및 공용공간과 관련된 일부 내용을 수정하여 각 조항은 다음과 같이 변경함

○ (1)항은 내용은 동일하나 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸었음. (2)항은 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸고 진하게 표현된 수질 오염 부분은 추가하였음. (3)항도 내용은 동일하나 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸었음

(1) 부유식 건축물에 별도의 주차 공간을 확보하기 어려운 소규모 부유식 건축물 또는 부유식 건축물 단지의 경우에는 인접한 육상에 주차 공간을 확보할 수 있도록 계획한다.

(2) 부유식 건축물에서도 다양한 조경 계획이 가능하며, 조경을 위한 별도의 부유식 구조물도 설치할 수 있다. 다만, 함체의 규모와 조경수의 높이에 따른 부유식 구조물의 안정성을 고려하여야 하며, 수질 오염의 직접적인 원인이 될 수 있는 비료와 농약의 사용은 별도의 기준에 따라 관리하여야 한다.

(3) 부유식 건축물 단지, 일반적으로 부유식 주거 단지에서 각 단위 주거를 연결하는 잔교는 공적 공간의 성격과 사적 공간의 성격을 동시에 갖고 있으므로 이를 충분히 고려하여 계획하여야 한다. 잔교에서 개별 주거로의 시선을 차단하여 사생활을

보호할 수 있도록 계획하되 단지 전체의 배치 계획에서 필요에 따라 잔교의 폭과 형태를 변화시켜 공동체의 공적 공간으로 활용할 수 있도록 계획한다.

03.32 단위 건축물 배치 및 동선

○ 3차년도에 작성된 지침에서 부유식 건축물 단지의 배치 와 동선 계획에 대한 내용을 추가하여 다음과 같이 변경함

○ (1)항~(3)항의 내용은 변동사항 없음. (4)항은 진하게 표현된 부유식 건축물 단지의 배치와 동선 계획의 대표적인 유형을 추가하였음

(1) 부유식 건축물 단지에서 단위 건축물의 배치 및 동선 계획은 잔교 및 연결통로와 단위 건축물의 결합 유형과 밀접하게 연관되어 있다.

(2) 일반적으로 잔교는 육상과 평행하거나 수직하게 계획하며, 단위 건축물은 잔교의 일면 또는 양면에 결합하여 전체적인 단지를 구성한다.

(3) 잔교와 단위 건축물의 결합 유형은 부유식 건축물 단지의 용도와 조망, 밀도 등의 조건과 함께 보트나 요트 등의 해상 운송 수단의 연결도 고려하여 계획하여야 한다.

(4) 부유식 건축물 단지의 배치와 동선 계획의 대표적인 유형은 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 개별 부유식 건축물이 육상과 직접 연결되는 방식

② 육상에서 연결되는 단지 진입로에서 개별 부유식 건축물로 연결되는 방식

③ 육상에서 연결되는 단지 진입로에서 별도의 공용 통로가 연결되고 공용 통로에서 개별 부유식 건축물로 연결되는 방식

④ 육상에서 연결되는 단지 진입로에서 별도의 공용 통로가 2회 이상 연결되고 공용 통로에서 개별 부유식 건축물 연결되는 방식

⑤ 개별 부유식 건축물이 연결되는 단지 진입로 또는 공용 통로를 상호 연결하는 별도의 공용 통로를 연결하는 방식, 단지의 규모가 커지는 경우 이러한 연결 방식은 이동에 편리하며 피난 시 유리할 수 있음.

03.33 지원 및 공동 시설

○ 3차년도에 작성된 지침에서 창고 등의 지원 시설과 방재를 위한 공동시설 계획에 대한 내용을 추가하여 다음과 같이 변경함

○ (1)항은 내용은 동일하나 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸었음. (2)항은 우편함과 관련된 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸고 진하게 표현된 창고 부분은 추가하였음. (3)항은 진하게 표현된 방재 공동 시설 부분을 추가하였음

(1) 소규모 부유식 건축물로 구성된 부유식 건축물 단지에서는 인접한 육상에 각종 공동 시설과 지원시설을 계획할 수 있다.

(2) 개별 부유식 건축물을 위한 우편함과 같은 소규모 시설뿐만 아니라 상대적으로 중량이 많은 물건을 수납할 수 있는 창고와 같은 지원 시설을 인접한 육상에 설치하여 이용할 수 있다.

(3) 커뮤니티 센터와 같은 공동 시설과 함께 고정식 소화설비 및 급수탑과 같은 방재를 위한 공동 시설을 계획하여야 한다.

05.13 모듈과 모듈러 규모

○ 3차년도에 작성된 지침에서 '03.00 시스템 계획'을 '05.00 시스템 계획'으로 순서를 변경하여 각 장, 절의 번호체계가 변경됨

○ 모듈러 규모와 관련된 일부 내용을 수정하여 각 조항은 다음과 같이 변경함

○ (1)항은 내용은 유사하나 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸었음. (2)항은 기존의 주거 기능의 부유식 건축물 상부시설에 대한 모듈러 사례를 삭제하고 진하게 표현된 일반적인 모듈러 규모에 대한 부분을 추가하였음

(1) 유닛 모듈러의 설계기준은 위에서 설정한 모듈 정합 설계 기준을 적용하되, 모듈러의 폭과 길이는 모듈러의 제작 공장에서 현장까지의 운송 조건에 따라 변동된다. 육상 운송의 경우 '02.30 참조 기준 '에서 언급한 도로 및 운반용 트럭 관련 기준에 따른다.

(2) 국내 도로교통법 및 운반 장비 관련법과 제작사 현황 등을 고려하면 일반적인 모듈러 규모는 폭 3.0m~3.3m, 길이 6.0m~12.0m, 높이 3.0m~3.4m 정도로 규정할 수 있다. 안목 치수는 폭 2.7m~3.0m, 높이 2.4m~2.7m 정도이다.

05.20 모듈러 시스템 계획

05.21 공업화 건축 시스템

○ 3차년도에 작성된 지침에서 조경 및 공용공간과 관련된 일부 내용을 수정하여 다음과 같이 변경함

○ (1)항, (3)항, (4)항은 동일함. (2)항은 내용은 동일하나 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸었음. (5)항은 진하게 표현된 공업화 건축 시스템의 조합 가능성에 대한 부분을 추가하였음. (6)항은 3차년도 지침에서 '03.22(수정 후 05.22) 모듈러 시스템 적용 조건'에 포함되었던 조항을 이동함. (7)항은 내용은 동일하나 조항의 순서를 바꾸었음

(1) 부유식 건축물은 일반 건축물에 비하여 환경 조건의 영향을 받기 쉬워, 현장 시공에 부적합한 많은 제약 조건이 발생할 수 있다. 따라서 부유식 건축물의 경우 현장에서의 시공 과정을 최소화하기 위한 충분한 사전 계획이 필요하다.

(2) 건축 부재의 공업화, 조립화, 경량화를 통해 현장 시공을 최소화하는 공업화 건축 시스템의 도입이 필요하며, 이를 통한 이동성의 확보, 공사기간의 단축, 시공 정밀도의 향상 등이 동시에 요구된다.

(3) 공업화 건축 시스템은 그 구법에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다. 각각의 구법에 대한 보다 세부적인 검토는 본 지침 “5.23 재료 및 구법”에 수록하였다.

- 골조 건축 시스템 : 기둥과 보와 같은 선형의 건축 부재로 건축물의 기본적인 내력 시스템을 구성하는 방법으로 강재와 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다.
- 패널 건축 시스템 : 벽체와 바닥판을 구성하는 패널을 이용하여 내부 공간을 형성하는 방법으로 강재와 목재, 콘크리트와 함께 벽돌과 같은 재료를 이용한 조적 패널에 의한 구축도 가능하다.
- 모듈러 건축 시스템 : 단위 공간을 형성하는 유닛 모듈러를 결합하여 건축물을 구성하는 방법으로 모듈러는 강재와 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다.

(4) 공업화 건축 시스템은 서로 구별되는 별도의 구법이지만 긴밀하게 상호 보완적으로 적용될 수 있다. 예를 들어 비내력 구조로 제작된 유닛 모듈러의 경우 별도의 골조 건축 시스템에 의한 내력 구조를 필요로 하며, 경우에 따라서는 패널 건축 시스템에 의한 별도의 내장과 외장 마감을 필요로 한다.

(5) 공업화 건축 시스템은 다양한 방식에 의한 조합이 가능하기 때문에 프로젝트의 성격에 대한 충분한 분석을 통하여 최적의 조합을 계획하고 적용할 수 있다.

(6) 공업화 건축 시스템을 적용하기 위한 기본 전제로서 모듈 정합 설계(Module Coordination)의 적용이 필수적이다.

(7) 부유식 건축물 프로젝트의 성격에 따라 적합한 공업화 건축 시스템을 검토하되 현장 시공이 가장 최소화되는 유닛 모듈러에 의한 건축 시스템의 적용 가능성을 충분히 검토할 필요가 있다.

05.22 모듈러 시스템 적용 조건

○ 3차년도에 작성된 지침에서 조경 및 공용공간과 관련된 일부 내용을 수정하여 다음과 같이 변경함

○ (4)항, (5)항, (6)항은 동일함. (1)항은 진하게 표현된 모듈러 건축 시스템의 규모 제한에 대한 부분을 추가하였음. (2)항과 (3)항은 내용은 동일하나 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸었음. (7)항은 진하게 표현된 유닛 모듈러의 적용 범위 결정에 대한 부분을 추가하였음

(1) 모듈러 건축 시스템은 ‘05.13 모듈과 모듈러 규모’에서 언급한 모듈러 규모에 따라 그 적용에 제한이 있을 수 있다.

(2) 모듈러 건축 시스템 적용에 대한 제한 조건 등으로 인하여 프로젝트의 초기 계

획 단계에서 해당 프로젝트에 적용될 수 있는 모듈러 건축 시스템과 조합 가능한 공업화 건축 시스템의 종류 및 적용 범위 등이 명확히 결정되어야 한다.

(3) 부유식 건축물에서 모듈러 건축 시스템 및 공업화 건축 시스템의 적용 범위 및 조합 방식을 결정하기 위해서는 프로젝트에 대한 평가가 선행되어야 하며 다음과 같은 조건에 대한 평가가 포함되어야 한다. 첫째, 프로젝트의 물리적, 환경적 조건, 둘째, 참여 주체사이의 관계인 조직적 조건, 셋째, 기술적 조건으로 구분할 수 있다.

(4) 모듈러 설계 적용 여부를 결정하는데 영향을 줄 수 있는 물리적, 환경적 조건은 다음과 같은 항목들로 이에 대한 충분한 사전 검토가 필요한 부분이다.

- 참여 주체 : 관련 프로젝트 경험, 비용 및 품질 등에 대한 관리의 정도, 프로젝트의 반복 가능성, 초기 투자 자본
- 프로젝트 유형 : 공사 기간, 단위 부재 또는 단위 공간의 반복성, 프로젝트의 특수성, 건축 부재 또는 재료의 조달 방법
- 프로젝트 수행 장소 : 지리 및 지형, 건축 부재 및 재료, 노동력 등의 생산지 및 공급지와의 인접성, 관련 법적 규정 및 상위 계획 등

(5) 조직적 조건은 프로젝트에 참여하는 다양한 주체 사이의 관계 즉, 건축주, 설계자, 시공자 등의 의사소통과 협력, 계약 형식 등의 상호 관계를 의미한다. 모듈러 건축 시스템을 적용하여 통합화된 방식으로 부유식 건축물을 생산하기 위한 보다 밀접한 협력 관계에 대한 고려가 필요하다.

(6) 기술적 조건은 단위 건축 부재 또는 단위 공간의 생산 및 조립과 같은 측면에서의 기술 수준뿐만 아니라 BIM(Building Information Modeling)과 같은 건축에 대한 통합적 접근과 생산의 자동화 등의 새로운 기술의 적용 등을 포함한다.

(7) 이상과 같은 조건에 대한 검토와 함께 구체적인 유닛 모듈러의 규모와 구법, 재료, 세부 상세 등에 대한 대안 검토를 통하여 해당 프로젝트에 적용 가능한 최적의 유닛 모듈러를 계획하고 이를 통하여 모듈러 건축 시스템의 적용 범위를 결정한다.

05.24 모듈러 시스템 시공 계획

○ 4차년도에 추가된 부분으로 총 8개 조항으로 구성하여 모듈러 시스템 시공 관련 사항을 규정하였음

(1) 모듈러 시스템의 현장 시공을 위한 준비는 모듈러의 운송 일자 이전에 완결되어야 한다. 특히, 모듈러 시스템의 기초에 해당하는 폰툰 제작이 모듈러 운송 이전에 완료되어야 한다.

(2) 폰툰 제작이 완료된 이후의 모듈러 시공 과정에서는 오차 보정이 어렵기 때문에 모듈러와 폰툰이 접합되는 각종 구조, 설비, 마감 등의 부분에서는 폰툰 시공 과

정에서 매우 높은 정밀성이 요구된다.

(3) 현장으로 모듈러 운송 차량의 접근을 위한 도로가 확보되어야 한다. 현장에 인접한 광역교통망에서 현장으로 연결되는 접근 도로의 폭과 경사, 차량 높이 및 차축, 전력선 높이, 교량 허용 하중, 터널 규격 등에 대한 점검이 필요하며, 교통 경찰 또는 교통 전문가와의 협조가 필요하다.

(4) 접근 도로의 경사가 큰 경우 모듈러의 운송 및 설치를 지원하기 위하여 트랙터 및 불도저 등의 지원 장비가 필요하다.

(5) 현장에 인접하여 모듈러 적치에 충분한 공간이 필요하며, 크레인의 작업 공간 역시 충분히 확보하여야 한다. 현장 자체의 작업 조건은 크레인 사업자와의 협의를 통하여 계획하여야 한다.

(6) 시공자는 모듈러 시공 이전에 시공과정 전체를 시뮬레이션을 통하여 점검한다. 모듈러가 현장으로 운송되면 시공자는 운송 내역을 확인하고, 운송 과정에서 모듈러의 파손 여부를 확인하고 기록한다.

(7) 모듈러의 시공 과정에서 모듈러 제작사와 시공사 각각의 공사 범위 및 책임 한계가 명확하게 정의되어 계약 단계에서 명시되어야 하며, 다음과 같은 종류의 공사 내용에 대한 세부적인 책임 사항이 규정되어야 한다.

- 모듈러의 하차와 포장 제거, 각종 점검 등과 관련된 사항
- 모듈러의 설치 및 고정, 각종 구조 부재 등의 설치 및 고정 등과 관련된 사항
- 문 및 창호, 계단 및 난간 등의 설치, 실내외 몰딩 및 기타 물품의 설치 등과 관련된 사항
- 틈새의 보수 및 코킹, 단열 마감, 벽체의 최종 마감 등과 관련된 사항
- 냉난방 및 상하수도, 전기 등의 각종 설비 연결과 관련된 사항

(8) 부유식 건축물 계획 단계에서 모듈러 시스템의 시공과 관련된 위와 같은 내용이 검토되어야 하며, 이를 문서화한 절차서 등이 작성되어 모듈러 제작사와 시공사에 전달되어야 한다.

05.32 상하부 구조 연계

○ 3차년도에 작성된 지침에서 상하부 구조 연계와 관련된 일부 내용을 수정하여 다음과 같이 변경함

○ (1)항, (2)항, (3)항은 내용은 동일하나 밑줄 친 부분의 서술 방식을 바꾸었음. (4)항은 진하게 표현된 상하부 시설의 연결 및 접합에 대한 고려 및 시공 정밀도에 대한 부분을 추가하였음

(1) 함체를 부유체 용도에 한정하여 사용하는 경우는 미국, 캐나다, 유럽 등의 사례

에서 일반적으로 나타나는 방식이다. 함체 내부를 합성수지로 충진 하거나 부력이 큰 재료로 구성하여 내부 공간을 활용하지 않기 때문에 함체와 상부시설은 공간적으로 무관하며, 구조적으로도 관련성이 크지 않다.

(2) 함체의 내부 공간 일부를 활용하되 거주 공간이 아닌 부속 공간으로 사용하는 경우는 유럽에서 중규모 이상의 부유식 건축물에서 나타나는 방식이다. 함체 내부 공간 일부를 정화시설이나 기타 설비 공간으로 활용하기 때문에 함체와 상부시설은 부분적인 공간의 연결을 필요로 하나 밀접하지는 않고, 구조적으로도 관련성이 크지 않다.

(3) 함체의 내부 공간을 거주 용도로 적극적으로 사용하는 경우는 네덜란드 사례에서 소규모 주거용 부유식 건축물에서 나타나는 방식이다. 함체를 상자 형태로 만들어 그 내부 공간을 거주 공간으로 사용하기 때문에 상부시설과의 공간적 연결이 밀접하고, 구조적으로도 긴밀한 연관관계를 갖는다.

(4) 부유식 건축물에서 함체는 상부 시설의 기초 및 지하실로서의 기능을 수행하기 때문에 그 연결 또는 접합 부분에 대한 공간 활용 및 구조, 설비, 시공 등의 측면에서 세부적인 검토와 계획을 필요로 한다. 특히, 상부 시설을 모듈러 시스템과 같이 현장 외부에서 제작할 경우에는 함체의 제작 및 시공 과정에서 높은 정밀도가 요구된다.

마. 상부시설 계획 지침 보완 및 해설서 개발

(1) 상부시설 계획 지침 보완

(가) 거주 후 평가 지침 추가의 필요성

○ 거주 후 평가는 건축물의 사용자에 의한 건축물에 대한 평가로서 거주 환경의 개선과 이후의 설계과정에서 반영할 수 있는 정보를 확보할 수 있다는 장점

○ 플로팅 건축 상부시설의 경우 사용자에 의한 경험이 충분하게 축적되지 않은 보편화되지 않은 건축물이고 관련 계획 또는 설계기술이 완전하게 정립되지 않은 상태

○ 플로팅 건축 상부시설에 대한 거주 후 평가의 필요성과 기본적인 절차 등을 상부시설 계획 지침에 추가하여 체계적인 거주 후 평가가 이루어질 수 있도록 할 필요가 있음

(나) 국내 거주 후 평가 관련 연구 동향

○ 국내에서 거주 후 평가에 대한 연구는 초기에는 당시까지 국내에 보편화되지 않았던 평면이나 새롭게 계획된 주택 유형 등에 대한 가능성을 검토하는 방식으로 진행

○ 브랜드 아파트가 생겨나고 아파트 차별화 전략이 진행되면서 새로운 평면이나 유형의 주택이 시도되기 시작한 시기로 주로 이에 대한 검증을 주류를 이룸

○ 이후 디지털 홈, 초고층 주택, 저층집합주택, 다가구 매입임대 주택 등의 다양한 주택유형이나 ‘커뮤니티 시설’ 등 단위 주호 외 공동주택 외부공간에 대한 거주 후 평가 실시

○ 국내에서의 연구는 많은 경우 공동주택의 주거환경에 대한 평가가 주류를 이룸

(다) 국내 공동주택 거주 후 평가 조사 항목 구성

○ 공동주택의 물리적 속성을 단위주택, 주거동, 중정, 가로로 세분화하고 이를 거주성, 커뮤니티, 도시성, 만족도와 연관지어 조사항목을 구성

○ 단위주택 : 단위주택 내의 소음, 채광, 환기, 조망, 프라이버시, 방범/안전에 관련된 만족도 평가 및 블록별 비교

○ 주거동 : 주거동에 대한 만족도, 주거동 내에서의 커뮤니티 장소 확인, 선호하는 주거동 진입방식

○ 중정 : 중정에 대한 만족도, 중정에서 만족하는 시설과 필요한 시설, 외부인 출입제한 필요 여부

○ 가로 : 가구형 집합주택에 의해 형성되는 가로의 장단점 및 만족도, 가로에서 이루어지는 주요 행위

○ 만족도 : 가구형 집합주택에 대한 전체 만족도, 블록 유형별 만족도 비교

[표 A-1-18] 공동주택 거주 후 평가를 위한 조사 항목(강부성 외, 2004.)

| 영역 | 물리적 속성 | 거주성 관련 | 커뮤니티 관련 | 도시성 관련 | 만족도 관련 |
|---|---|---|---|---|---|
| 중정 | 크기(가로*세로)<br>용도/시설 : 녹지, 광장, 주차장, 놀이터, 수공간<br>형태 : 폐쇄형, 부분개방형<br>구성형식 : 단층형, Deck형<br>외부인에의 개방여부 | · 편안한 정도<br>· 휴식·산책의 적합성<br>· 범죄, 사고의 안전성<br>· 프라이버시 침해여부<br>· 중정의 조망, 개방감<br>· 주차방식 | · 커뮤니티 장소로서 적합성<br>· 커뮤니티 유형 | · 외부와의 연계성<br>· 중정 내부로 흡입력<br>· 개구부를 통해 보여지는 외부 시각의 연속성<br>· 출입구 처리 | · 중정의 만족도<br>· 시설/기능 만족도 |
| 주거동 | 주거동 디자인 (상층하층부 디자인, 지붕, 피로티)<br>가로변, 중정변 주거동 디자인 (가로 직출입 주택)<br>주차장 출입방식<br>진입방식, 주거동 형식 (복도형, 계단실형)<br>커뮤니티 장소 (1층홀, 주민회의실 등) | · 1층 주택의 거주성<br>· 주상복합에 따른 기능 상충 여부<br>· 진입방식 여부 | · 커뮤니티 공간의 적절성<br>· 커뮤니티 유형<br>· 커뮤니티 시설 | · 피사드 디자인의 통일성<br>· 가로에 활력을 주는 주거동 디자인 | · 주거동 만족도 |
| 단위주택 | 평면구성(거실, 침실, 발코니) 중정쪽, 가로쪽 남향, 동향 중심<br>1층 세대의 프라이버시 확보방식 중정측, 가로측 | · 소음(가로변, 중정)여부<br>· 프라이버시, 채광, 환기<br>· 개방감, 조망 미흡여부<br>· 가로 직출입의 안전성 및 방범 | · 진입방식에 따른 커뮤니티<br>· 이웃집(근접 세대)과의 커뮤니티<br>· 가로 직출입의 안정성/방범 | · 발코니의 가로변 대응방식 | · 단위주택 만족도 |
| 가로변 | 가로경관<br>가로활력 : 보행자수, 활동유형<br>아이들의 놀이 공간, 안전성<br>가로 유형별 특성<br>상업시설 유형<br>가로변 시설(벤치, 아케이드, 포켓파크 등) | · 가로의 안전(차량)<br>· 차량의 소음 | · 가로변 시설의 커뮤니티 활성화에 기여<br>· 커뮤니티의 형태(인사, 대화, 놀이) | · 가로변 도시경관 기여도 | · 가로변 경관구성 만족도<br>· 상업시설의 만족도 |

(라) 건물 성능인자에 의한 거주 후 평가 항목 구성

○ 거주 후 평가의 평가기준요소로서 기술적 요소, 기능적 요소, 행태적 요소 등 세 가지 유형의 건물성능인자를 중심으로 거주 후 평가 방법을 제안

[표 A-1-19] Wolfgang F, E Preiser 등의 세가지 건물 성능 인자

| 건물 성능 인자 | 하위인자 | 세부구성요소 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 행태적 인자 | 근접학과 영역성 | 영역의 크기와 그 정의<br>근접학(커뮤니케이션을 위한 개인 상 호간의 거리)의 변수 : 문화, 성, 활동, 연령<br>근접성(proximity) : 건물 영역들 간의 기능적 거리, 이용되는 빈도와 질, 사회적 상호작용 | |
| | 프라이버시와 상호작용 | 물리적, 시각적, 청각적 접근, 개인 혹은 집단의 영역에 대한 접근의 통제<br>건축적 요소 : 벽의 배치, 개구부, 접근 | 영역성 및 근접학과 관련 |
| | 환경지각 | 건물의 경험 | 건물설계에 중요한 영향 |
| | 이미지와 의미 | 디자인의 의미 : 행태, 크기, 재료, 상세, 장식은 일종의 언어가 됨 | 언어처럼 건물도 의미를 전달 |
| | 환경인자와 방향성 | 다양한 정보와 인자의 조직, 인지지도 : 길찾기 | 행태적 성능인자의 종합체 |
| 기능적 인자 | 인간관련 인자 (human factors) | 인체측정학(anthropometrics), 인간공학(ergonomics)<br>설계환경(주변환경)의 차원과 배치<br>설비디자인:안락함, 안전성, 조작의 용이성 | |
| | 수납공간(storage) | 수납공간의 양, 형태, 크기, 위치, 분포 | |
| | 커뮤니케이션과 작업 흐름 | 컴퓨터와 모뎀을 이용한 재택근무 | 오피스 |
| | 융통성과 변화 | | |
| | 건물유형의 전문화 | 설비조건 : 우연성(contigency), 단계적인 복잡성의 수용 소매상가의 쇼핑객과 같은 상이한 이용자들이 대응하는 기능적 기준 : 입지, 면적, 마감, 쾌적성의 유형, 이미지, 동선의 배치 | 오피스, 호텔, 소매점 등 |
| 기술적 인자 | 화재안전 | 주요구조부재의 내화, 소화, 방염, 연기발생, 연소재료의 유동성, 피난, 화재시의 출구찾기, 노인과 같은 이용자계층의 특정한 욕구, 화재유독성 측정방법, 사용자 집단의 특성에 따른 화재하중(잠재적 연료) | |
| | 구조 | 구조의 속성, 재료강도, 연결부위, 구조의 내구성, 고층건물에 미치는 바람의 영향, 내진설계, 장스팬 구조, 구조연결부에 영향을 미칠 수 있는 재료의 상호작용 | |
| | 위생과 환기 | 실내공기의 질(라돈가스의 수준) | |
| | 전기 | 새로운 설비(마이크로 컴퓨터, 팩시밀리 등), 새로운 배선 기술(바닥배선, 광섬유) | |
| | 외벽 | 기후, 페이딩(fading), 습기, 바람의 침투, 파편(spalling), 좌굴, 박리, 균열, 청결성, 부식 | 법제화되어 있지 않음 |
| | 지붕 | 방수 | |
| | 내부마감(바닥, 벽, 천장) | 미적속성 : 페이딩, 표면의 평탄정도, 청결성<br>내구성 : 긁힘, 패임, 벗겨짐, 얇은 파편, 얼룩, 담배, 불자국, 기타 손상<br>기타 : 대체성(replaceability), 반달리즘에 대한 대응, 변화가능성, 신속한 회복력(resilience) | 음향 및 조명과 종합적으로 작용 |
| | 음향 | 주변의 음레벨, 공간사이의 음의 전달, 반향, 기계소음과 오디토리움 음향 등의 특정 분야 | |
| | 조명 | 빛의 색상, 전구의 유형, 비디오 디스플레이 이용이 증가 등이 미치는 생리학적 효과, 작업조명에 대한 사용자 통제의 증가 | |
| | 환경조절시스템 | 온도의 안락함 | |

(마) 연수원 거주 후 평가 방법 구성

○ 공동주택 이외의 건축물 유형에 대한 거주 후 평가 방법 구성에 대한 기존 연구

○ 건축물 성능 인자에 의한 평가인자와 요소의 도입

[표 A-1-20] 연수원 거주 후 평가 방법 구성 사례

| 구 분 | 평가인자 | 평가 요소 |
|---|---|---|
| 연수동 · 숙소동 | 행태인자(8) | 연수원의 방향감. 건물외관 이미지. 건물의 식별성. 조명 디자인 건물의 야경. 건물의 형태미. 로비 디자인. 식당 디자인. 외부 공간 디자인 |
| | 기능인자(17) | 현관 및 로비의 크기. 안내 표지판. 실내 천정 높이. 건물 내 통로공간. 실의 크기. 휴게실의 위치. 휴게실의 크기. 흡연실의 위치. 흡연실의 크기. 자판기의 위치. 자판기의 수량. 조망성. 화장실의 위치. 화장실의 크기. 식당의 위치. 식당의 크기. 욕실의 크기 |
| | 기술인자(10) | 실내조도. 외부 소음. 실내 온도. 실내 환기. 각 실의 위생/청결 상태. 공사 마무리 상태. 실내 소음. 화장실의 위생/청결상태. 실내 벽 공사 마무리. 바닥 마무리 상태 |
| 옥외 공간 | 편의시설(5) | 야외 공중전화. 야외 휴게실(벤치 등). 야외 자판기. 야외 휴지통. 야외 세면시설 |
| | 조경시설(4) | 녹지(잔디밭). 수목(나무). 수경시설(분수 등). 화단(꽃) |
| | 도로 및 주차시설(4) | 인도(보행). 차도. 주차장. 산책로 |
| | 야외시설(4) | 운동장. 체육시설(농구장. 족구 등). 야외광장. 야외 조형물 |
| | 건물외관(4) | 건물 안내 표지시설. 건물외관 색채. 건물의 배치상태. 정문(수위실) |
| | 조명시설(1) | 야외조명 |
| | 소음시설(1) | 야외소음 |
| 숙소동 단위실 | 내부시설(11) | 색채. 조명. 숙소. 크기. 가구배치. 소음. 환기. 재료마감. 수납공간. 욕실형태. 침대형태 |

(바) 해외 사례 : 거주 후 평가 절차

○ 영국 웨스트민스터대학교, 건축 및 건설 환경 대학에서 작성한 거주 후 평가 지침(Guide to Post Occupancy Evaluation, 2006)에 수록된 거주 후 평가 절차, 전체 절차를 총 7단계로 구분

○ Step 1 : Identify POE strategy

○ Step 2 : Decide Which approach

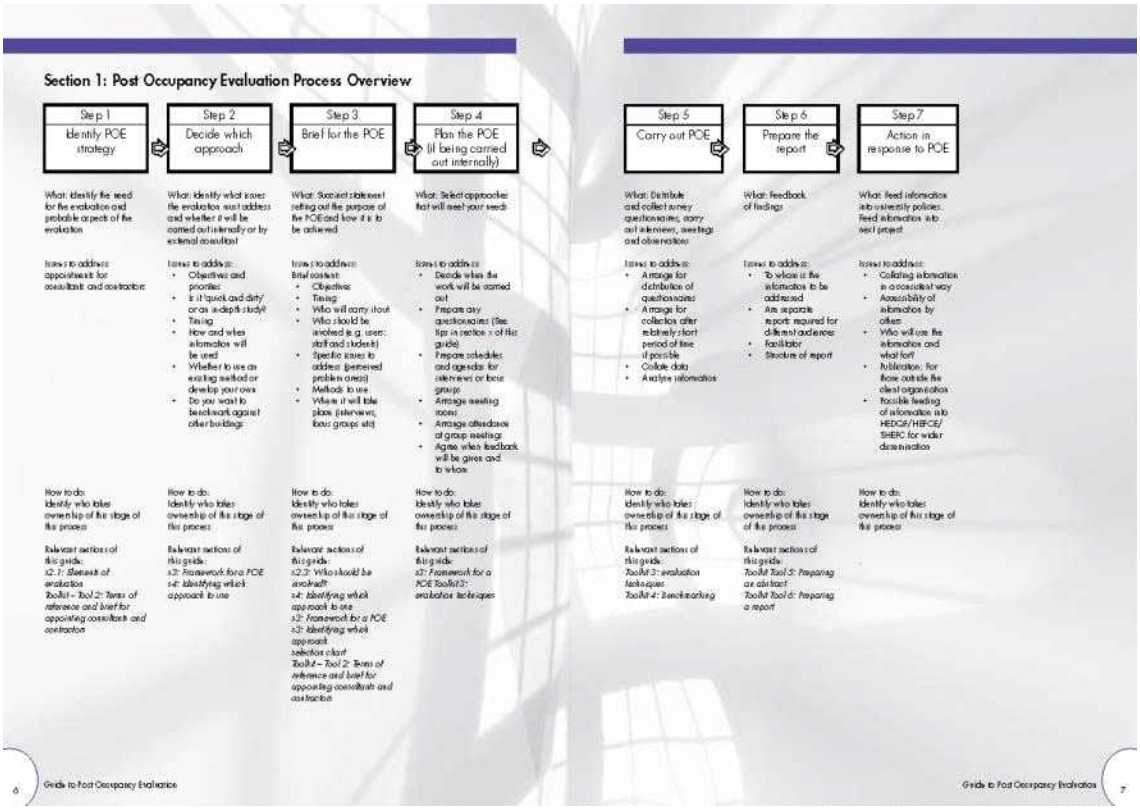
○ Step 3 : Brief for the POE

○ Step 4 : Plan the POE

○ Step 5 : Carry out POE

○ Step 6 : Prepare the report

○ Step 7 : Action in response to POE




[그림 A-1-58] POE Process Overview

(사) 해외 사례 : POE 실행 방법 구성

- 건축 과정(Process), 기능 성능(Functional Performance), 기술 성능(Technical Performance)의 3가지 요소로 구분하고 각각에 대하여 운영 검토(Operational Review), 계획 검토(Project Review), 전략 검토(Strategic Review)와 같은 3가지 측면에서 평가를 수행
- 건축 과정 : 개요(Brief), 조달(Procurement), 설계(Design), 시공(Construction), 시운전(Commissioning Process), 거주(Occupation)로 구성
- 기능 성능 : 전략 가치(Strategic Value), 미학과 이미지(Aesthetics and Image), 공간(Space), 안락(Comfort), 쾌적(Amenity), 편리(Serviceability), 운영 비용(Operational Cost), 생애주기 비용(Life-cycle Cost), 운영 관리(Operational Management)
- 기술 성능 : 물리 체계(Physical Systems), 적용성(Adaptability), 환경 체계(Environmental Systems), 내구성(Durability)
- 3가지 측면에 대하여 각각 양적 평가와 분석 평가가 수행되며 양적 평가 방법은 관찰, 인터뷰, 초점 그룹 면담, 워크숍으로 구성되고 분석 평가 방법으로는 질문, 측정, 벤치마크로 구성

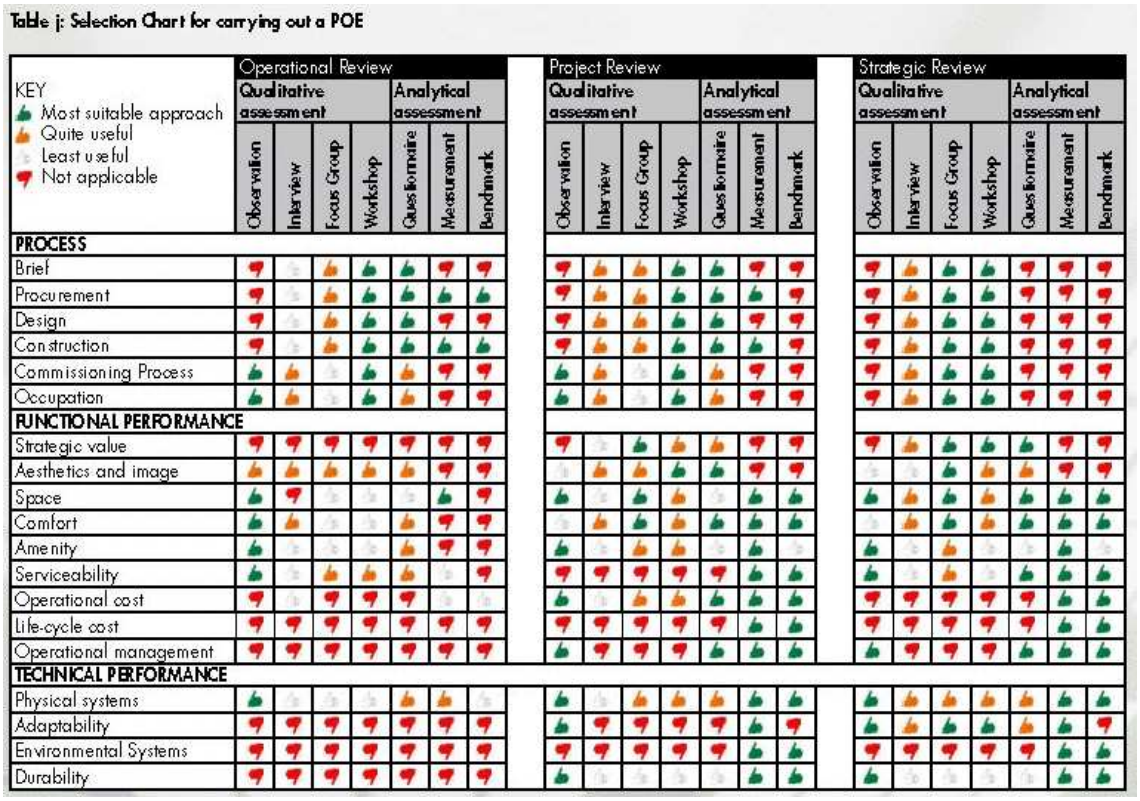


Table j: Selection Chart for carrying out a POE

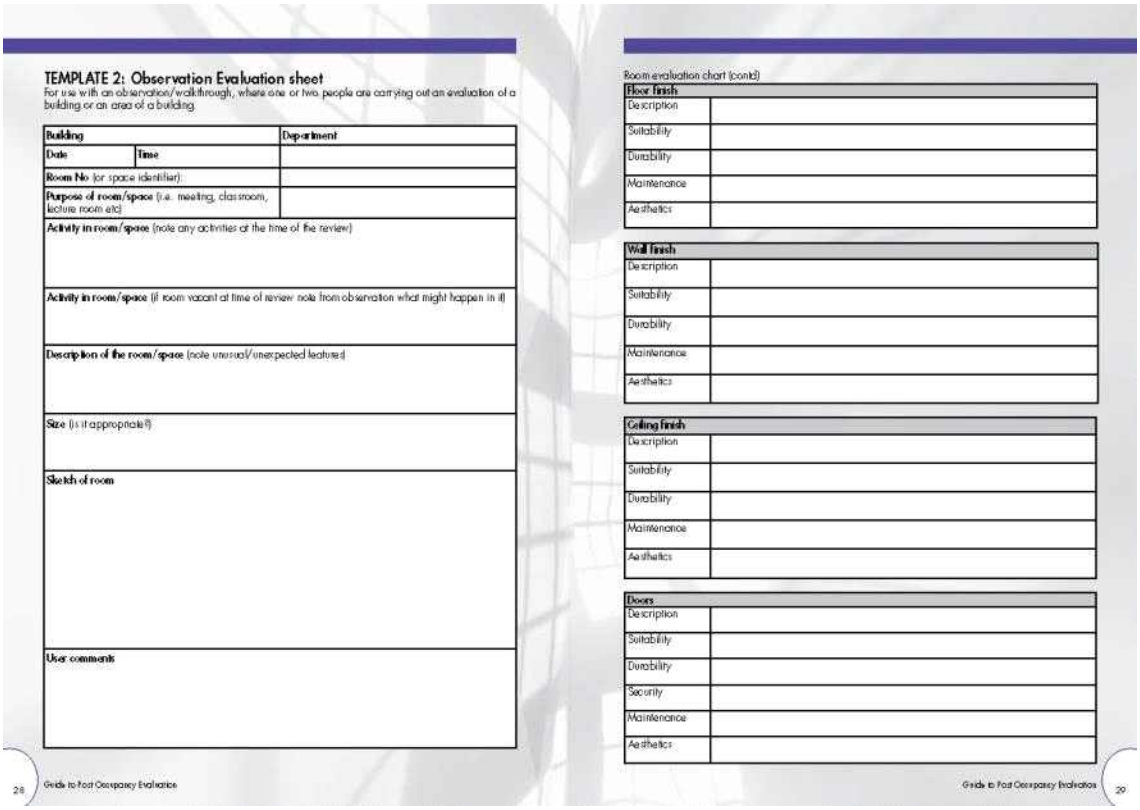
| KEY<br>Most suitable approach<br>Quite useful<br>Least useful<br>Not applicable | Operational Review | | | | | | | Project Review | | | | | | | Strategic Review | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Qualitative assessment | | | | Analytical assessment | | | Qualitative assessment | | | | Analytical assessment | | | Qualitative assessment | | | | Analytical assessment | | |
| | Observation | Interview | Focus Group | Workshop | Questionnaire | Measurement | Benchmark | Observation | Interview | Focus Group | Workshop | Questionnaire | Measurement | Benchmark | Observation | Interview | Focus Group | Workshop | Questionnaire | Measurement | Benchmark |
| **PROCESS** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brief | ✗ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Procurement | ✗ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Design | ✗ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Construction | ✗ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Commissioning Process | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Occupation | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| **FUNCTIONAL PERFORMANCE** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Strategic value | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Aesthetics and image | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ○ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Space | ✓ | ✗ | ○ | ○ | ○ | ✓ | ✗ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Comfort | ✓ | ✓ | ○ | ○ | ✓ | ✗ | ✗ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Amenity | ✓ | ○ | ○ | ○ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ○ | ○ | ✓ | ○ |
| Serviceability | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ○ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Operational cost | ✗ | ○ | ✗ | ✗ | ✗ | ○ | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Life-cycle cost | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Operational management | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| **TECHNICAL PERFORMANCE** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Physical systems | ✓ | ○ | ○ | ○ | ✓ | ✓ | ○ | ✓ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Adaptability | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Environmental Systems | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Durability | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ✓ | ✓ |

[그림 A-1-59] Selection Chart for Carrying out a POE

(아) 해외 사례 : POE 평가 도구

- 6가지 도구 제공 : ① 건축물 개요(Structure of Building Brief), ② 프로젝트 개요 및 목표(Statement for Project Brief/Terms of Reference), ③ 평가 기법(Evaluation Techniques), ④ 벤치마킹(Benchmarking), ⑤ 결과 개요 준비(Preparing an Abstract for Publication), ⑥ 보고서 작성(Preparing a Report for Publication)
- 건축물 개요 : 건축물에 대한 전체적인 개요 및 관련자, 건축물 관련 주요 사항의 개요 및 평가의 주요 대상, 설계 및 기능 요구 사항
- 프로젝트 개요 및 목표 : POE의 목적, 건축 과정 평가, 기능 성능 평가, 기술 성능 평가, 산출물, 자원
- 평가 기법 : 관찰 평가, 인터뷰, 초점 그룹 면담, 워크숍, 질문, 건축주를 통한 운영 검토, 설계자 등 관련 전문가를 통한 운영 검토, 시공자를 통한 운영 검토, 거주자에 대한 질문, 측정 및 물리적 모니터링 : 과정 인자, 기능 인자, 기술 인자
- 벤치마킹 : 유사 건축물과의 비교, 환경적 측면, 건설 비용 측면, 운영 비용 측면, 전 생애주기 비용 모델
- 결과 개요 준비

○ 보고서 작성



**TEMPLATE 2: Observation Evaluation sheet**

For use with an observation/walkthrough, where one or two people are carrying out an evaluation of a building or an area of a building.

| | | |
|---|---|---|
| **Building** | | **Department** |
| **Date** | **Time** | |
| **Room No** (or space identifier): | | |
| **Purpose of room/space** (i.e. meeting, classroom, lecture room etc) | | |
| **Activity in room/space** (note any activities at the time of the review) | | |
| **Activity in room/space** (if room vacant at time of review note from observation what might happen in it) | | |
| **Description of the room/space** (note unusual/unexpected features) | | |
| **Size** (is it appropriate?) | | |
| **Sketch of room** | | |
| **User comments** | | |

Guide to Post Occupancy Evaluation 28

Room evaluation chart (contd)

| **Floor finish** | |
|---|---|
| Description | |
| Suitability | |
| Durability | |
| Maintenance | |
| Aesthetics | |

| **Wall finish** | |
|---|---|
| Description | |
| Suitability | |
| Durability | |
| Maintenance | |
| Aesthetics | |

| **Ceiling finish** | |
|---|---|
| Description | |
| Suitability | |
| Durability | |
| Maintenance | |
| Aesthetics | |

| **Doors** | |
|---|---|
| Description | |
| Suitability | |
| Durability | |
| Security | |
| Maintenance | |
| Aesthetics | |

Guide to Post Occupancy Evaluation 29

[그림 A-1-60] Observation Evaluation Sheet

(자) 거주 후 평가 지침 추가 검토

○ 기존 지침의 04.00 건축 계획에 별도의 항목으로 04.40 거주 후 평가 계획 추가

04.41 거주 후 평가 목적 및 절차

- 플로팅 건축물 상부시설 계획 및 설계 기술이 충분히 정립되기 위해서는 플로팅 건축물 상부시설에 대한 체계적인 거주 후 평가가 수행되어야 한다.
- 플로팅 건축물은 일반 건축물에 비하여 환경 조건의 영향을 받기 쉬워, 거주 후 평가를 통한 지속적인 피드백과 개선 과정이 필요하다.
- 플로팅 건축물의 거주 후 평가 절차는 일반 건축물에서의 거주 후 평가 절차를 준용하여 사용할 수 있다. 전략 계획, 예비 계획, 계획 개요, 실행 계획, 평가 실행, 보고서 준비, 피드백 및 개선 등의 일반적인 절차를 프로젝트에 따라 조정하여 정의한다.

04.42 거주 후 평가 요소 및 방법

- 플로팅 건축물 상부시설의 건축 과정(process), 기능 성능(functional performance), 기술 성능(technical performance) 등과 같은 측면에서 거주 후 평가 요소를 정의하거나 건축물 성능 인자인 행태 인자, 기능 인자, 기술 인자 등을 이

용하여 평가 요소를 정의한다.

- 플로팅 건축물 상부시설의 특성을 반영하기 위하여 플로팅 건축물 상부시설 배치 계획, 건축 계획, 시스템 계획 등 본 지침의 구성 항목 각각에 대한 검토를 통하여 평가 요소를 정의한다.
- 거주 후 평가 방법은 대상 건축물에 대한 관찰 및 측정, 건축주 및 사용자에 대한 인터뷰, 전문가 면담 등의 방법을 사용한다.

04.43 거주 후 평가 도구 및 기법

- 플로팅 건축물 상부시설에 대한 체계적인 거주 후 평가를 위해서는 평가 절차에 따라 각각의 평가 요소 및 방법에 대한 문서화된 구체적인 평가 도구 및 기법을 정립하여야 한다.
- 거주 후 평가 도구에는 평가 대상 건축물 개요, 거주 후 평가 개요 및 목표, 거주 후 평가 기법 등이 포함되어야 한다. 또한 각종 측정값 및 비용 등의 비교 평가를 위한 일반 건축물의 기준 값, 산출물 형식 등이 포함될 수 있다.
- 거주 후 평가 기법 즉, 관찰 및 측정, 거주자, 건축주, 설계 및 시공자, 관련 전문가에 대한 조사 등을 정립하는 과정에서 플로팅 건축물의 특성이 반영될 수 있도록 거주 후 평가 기법을 정의한다.

(2) 상부시설 계획 지침 해설서 개발

○ 플로팅 건축 관련 기존 연구 성과를 활용한 해설서 개발

○ 기존 국내외 연구 성과 및 플로팅 건축 사례를 지침에 접목

○ 플로팅 건축 상부시설 계획 지침 항목별 기존 국내 연구 성과 대응

○ 상대적으로 국내 연구 성과가 부족한 부분에 한정하여 국외 연구 성과 활용

## 플로팅 건축 상부시설 계획 지침 해설서

### 제1장 목적 (Purpose)

플로팅 건축물 상부시설 계획 지침(이하 본 지침)은 플로팅 건축물에서 거주 용도로 사용되는 상부시설의 계획 및 설계와 관련된 사항을 규정하는 것을 목적으로 한다.

### 제2장 적용범위 (Scope)

본 지침은 플로팅 건축물 상부시설의 배치 계획, 건축 계획, 시스템 계획에 적용한다.

2.1 배치 계획에서는 플로팅 건축물의 배치와 관련된 건축 부지의 자연 환경과 사회 환경 조건, 조망 및 경관 계획, 플로팅 건축물 단지에서의 건축물 배치 및 동선 계획, 각종 지원시설 및 공용시설 계획과 관련된 사항을 포함한다.

2.2 건축 계획에서는 플로팅 건축물 상부시설의 형태와 규모, 용도 및 공간 구성 계획, 상하부시설의 재료, 하부 함체의 종류 및 거주성에 따른 상부시설과의 관계, 수질관리, 신재생에너지의 활용 등과 관련된 사항을 포함한다.

2.3 시스템 계획에서는 플로팅 건축물 상부시설에 적용하기 위한 공업화 건축 시스템, 특히 모듈러(modular) 건축 시스템과 관련된 모듈 정합 설계, 적용 조건, 재료 및 구법, 시공 계획 등과 관련된 사항을 포함한다.

### 제3장 참고기준 (Normative References)

본 지침과 관련되어 다음과 같은 국내외 기준을 참고한다.

1) KBC(Korean Building Code) 2013, 2013.

2) Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards, Floating Home Association.

3) British Columbia Float Home Standards, British Columbia

4) NTA(Nederlandse technische afspraak) 8111, Drijvende bouwwerken(Floating constructions)

5) Builder's Guide to Modular Home Set-Up & Completion, National Modular Housing Council
6) A Community Guide to Factory-Built Housing, PATH(Partnership for Advancing Technology in Housing)
7) Marina Neighborhood CD-1 Guidelines for Marina Development, City of Vancouver, 1993
8) 海洋建築物計劃, 海洋建築計劃指針, 日本建築學會, 1988.

## 제4장 용어 및 정의 (Terms and Definitions)

본 지침의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용한다.

1) 플로팅 건축물(floating building) : 대지 대신에 물위에 뜨는 함체 위에 지어진 건축물
2) 함체(pontoon) : 자체 부력에 의하여 물 위에 뜨는 구조로 된 함체
3) 부유식 구조물 : 부유식 함체 위에 건축되는 플로팅 건축물을 포함한 구조물의 총칭
4) 계류 : 부유식 구조물을 일정 위치에 고정시키기 위한 장치
5) 계류시설 : 부유식 구조물이 바람, 유속에 의하여 흘러가지 않도록 위치를 고정시키는 시설
6) 정온수역 : 내수면 또는 해수면에서 파고 1m 이하인 곳을 의미한다.
7) 정주형 : 거주용도의 건축물을 의미하며, 장기 또는 단기 거주로 구분할 수 있다.

## 제5장 배치 계획 (Site Planning)

5.1 플로팅 건축물의 부지는 다음과 같은 자연 환경, 사회 환경 측면의 조건을 충분히 고려하여 선정하고, 배치 계획에 반영하여야 한다.

1) 플로팅 건축물은 조류, 파도, 바람의 영향을 받기 쉬우므로 자연재해가 없거나 그 영향이 최소화된 정수역에 위치하거나, 자연 환경 조건의 영향을 최소화할 수 있는 방파제와 같은 외곽시설, 기타 고정식 구조물 등의 방호시설이 구축된 지역에 위치하여야 한다.

□ 해설

- 플로팅 건축물의 사례를 다수 확인할 수 있는 캐나다와 미국의 서부 지역, 네덜란드 등에서 플로팅 건축물은 방파제나 제방 등에 둘러싸인 바다 또는 하천, 간척지, 유속이 느린 하천, 운하 등에 위치하고 있다.



그림 1. 인공섬 조성 지역의 일부 저류지에 조성된 아이버그(Ijburg) 주거단지, 네덜란드 암스테르담



그림 2. 제방에 인접하여 조성된 고든 쿠스트(Gouden Kust) 주거단지, 네덜란드 마스봄멜(Maasbommel)



그림 3. 도심 내의 소규모 하천에 조성된 털위드(Terwijd) 주거단지, 네덜란드 위트레흐트(Utrecht)

2) 플로팅 건축물은 수상 레저 및 레크리에이션 등과 같은 수해양 문화 활동을 위한 자연 환경 조건이 적합

한 지역에 위치하는 것이 바람직하다.

□ 해설

- 플로팅 건축물의 입지는 친수공간에서의 수해양 문화 활동의 가능성과 직접적으로 연관되어 있다.
- 유럽과 미국, 캐나다 등의 플로팅 주거건축은 수해양 레저 활동을 직접적으로 영위할 수 있는 자연 환경 및 사회 환경 조건이 적합한 지역에 위치하고 있다.



그림 4. 미국 시애틀 유니온 호수(Lake Union)의 플로팅 주거단지에 인접한 근대 산업유산(Gas Works Park)



그림 5. 시애틀 유니온 호수의 플로팅 주거단지에서의 수해양 레저 활동



그림 6. 네덜란드 고든 쿠스트 플로팅 주거 단지에서의 수해양 레저 활동

3) 플로팅 건축물은 육상에서 수변 공간으로의 접근 및 이용을 저해하지 않아야 하고, 그 용도에 따라 육상에서의 수변 공간 이용을 활성화시키며 육상에서의 접근이 안전하고 쾌적하게 이루어질 수 있도록 계획하여야 한다.

4) 플로팅 건축물의 건설로 인한 생태 환경에의 영향과 환경오염을 최소화할 수 있도록 배치하여야 하고, 이를 지속적으로 모니터링 하여야 한다.

5) 플로팅 건축물은 건축물이 지어지는 수역 및 인접 지역의 기존 산업, 각종 구조물 등과의 영향 관계를 검토하여 적극적인 연계 활용 대상과 영향을 최소화할 대상을 명확히 구분하여 계획하여야 한다.

□ 해설

- 해외의 플로팅 주거건축은 대부분 전기와 상하수도 등을 육상과 직접 연결하여 사용하고 있다. 육상에서 플로팅 건축으로 연결되는 단지 진입로 또는 연결통로를 이용하여 플로팅 건축물과 육상의 기존 도시 인프라가 연결된다.
- 스웨덴 클레데스홀멘((Klädesholmen)의 플로팅 호텔(Salt & Sill)에서는 콘크리트 폰툰과 건축물 사이에 별도의 설비층을 두어 육상에서 연결되는 설비가 각각의 객실로 연결될 수 있도록 하였다.



그림 7. 공용 연결통로에서 개별 주택으로 설비를 연결하는 아이버그 플로팅 주거단지



그림 8. 스웨덴 클레데스홀멘의 플로팅 호텔에서 함체 상부의 설비층을 통한 설비의 연결



그림 9. 미국 포틀랜드 오레곤 요트 클럽(Oregon Yacht Club) 플로팅 주거단지의 설비 연결함

6) 플로팅 건축물을 위한 별도의 인프라 시설의 설치와 유지에 많은 비용이 소모되므로 육상의 각종 인프라 시설 등을 활용하기 적합한 곳에 위치하도록 하여 물과 에너지를 포함한 각종 자원의 공급과 각종 폐기물의 배출이 용이하도록 계획하여야 한다.

7) 플로팅 건축물은 배후지의 다양한 개발 잠재력과 연계하는 것이 바람직하다. 특히 수해양 문화 활동을 위한 플로팅 건축물은 배후 도시의 역사, 문화, 관광, 레저 자원 및 시설과 연계하는 것이 바람직하다.

□ 해설

- 플로팅 건축물은 다목적으로 활용되는 소규모 항이나 마리나 등 해양 레저 자원을 활용할 수 있는 시설과 연계하거나 도시 하천에 위치하여 배후 도시의 다양한 도시 자원을 공유하고 있다.



그림 10. 소규모 항에 지어진 플로팅 건축물, 네덜란드 알메르(Almere)의 팸퍼스하벤(Pampushaven) 항



그림 11. 캐나다 리치몬드 마리나(Richmond Marina)에 조성된 플로팅 주거단지



그림 12. 벤쿠버 도심 그랜빌 아일랜드(Granville Island)에 조성된 플로팅 주택

8) 플로팅 건축물은 건축물이 지어지는 수역 및 인접 지역에 대한 상위 법 및 개발 계획과 연계하여 계획하여야 한다. 특히 마리나항, 해양리조트, 해양관광단지 개발 계획 등과 연계하여 시너지 효과를 얻을 수 있는 위치에 계획하는 것이 바람직하다.

9) 플로팅 건축물은 플로팅 건축물에 대한 재산권 행사가 가능한 법제도를 포함하여 각종 규제 및 권리문제 등을 해결할 수 있는 법제도가 정비된 지역에 입지하는 것이 바람직하다.

5.2 플로팅 건축물은 다음과 같은 조망, 경관 및 사생활 보호의 측면을 고려하여 배치하여야 한다.

1) 플로팅 건축물의 경관 계획은 '6.2'에서 규정하는 플로팅 건축물 상부시설의 형태 및 규모, 돌핀 계류 시설의 형태 및 규모 등과 밀접하게 연계되어 계획되어야 한다.

2) 플로팅 건축물은 육상에서 수면으로의 기존 조망을 저해하지 않아야 하고, 수변 지역의 기존 경관 및 도시 지역의 스카이라인 등과 조화되도록 계획하여야 한다.

3) 층수가 높지 않은 플로팅 건축물의 경우에는 제방의 높이를 고려하여 육상에서의 조망을 저해하지 않으면서 주변 경관과 조화될 수 있도록 지붕 형태 및 건축물의 높이를 계획한다.

□ 해설



그림 13. 기존 제방과 조화되도록 조성된 고든 쿠스트 주거단지



그림 14. 기존 도시와 조화되도록 조성된 텔위드 주거단지



그림 15. 기존 도시 경관과 조화된 유니온 호수의 플로팅 주거단지

6) 플로팅 건축물이 육상에 인접하여 배치되는 경우, 사생활 보호가 필요한 공간에 대해서는 육상에서의 접근 동선과 시야를 차단할 수 있도록 계획하여야 하며, 2동 이상의 플로팅 건축물이 인접하여 배치되는 경우에도 안전과 사생활 보호를 위해 다양한 방법을 고려하여야 한다.

□ 해설

- 플로팅 주거단지의 경우 2동 이상의 플로팅 주택이 인접하여 배치되기 때문에 미국과 캐나다의 기준에서는 플로팅 주택 사이의 간격을 구체적인 규정하고 있다.
- 기준에 따라 차이는 있으나 함체와 함체 사이의 간격 또는 플로팅 주택 외벽 사이의 간격을 2m~3m 또는 10ft로 규정하거나 처마와 같이 돌출된 부위 사이의 간격을 8ft로 규정하기도 하며, 기준에 따라서는 플로팅 주거군 사이의 거리를 4m로 규정하는 사례도 있다.
- 처마와 같이 외벽 바깥으로 돌출되는 폭을 제한하는 기준도 있는데 돌출되는 폭을 함체의 가장자리로 제한하거나 플로팅 건축물의 안정성에 영향을 주지 않는 범위 내에서 최대 3ft로 제한하는 사례가 있다.

7) 수목이나 화단을 포함한 일정한 완충장치를 활용하여 사생활을 보호하기 위한 계획을 수립할 수 있으며 플로팅 건축물 상부시설의 개구부, 육상 도로 또는 인접 건축물과의 이격 거리를 조정하는 등의 다양한 방법을 통해 사생활 보호를 위한 계획이 가능하다.

5.3 플로팅 건축물 단지에서는 다음과 같은 사항을 고려하여 건축물 배치 및 동선 계획에 반영하여야 한다.

1) 플로팅 건축물 단지에서 단위 건축물의 배치 및 동선 계획은 단지 진입로 및 연결통로와 단위 건축물의 결합 유형과 밀접하게 연관되어 있다.

2) 일반적으로 단지 진입로는 육상과 평행하거나 수직하게 계획하며, 단위 건축물은 단지 진입로 및 연결통로의 일면 또는 양면에 결합하여 전체적인 단지를 구성한다.

□ 해설

- 미국과 캐나다의 기준에서는 단지 진입로 및 연결통로의 폭과 난간 등에 대해 구체적으로 정하고 있다. 통로의 성격에 따라 차이는 있으나 최소 0.9m~1.5m로 정하고 있다. 또한 난간의 높이와 조도 등에 대하여 정하고 있다.

3) 단지 진입로 및 연결통로와 단위 건축물의 결합 유형은 플로팅 건축물 단지의 용도와 조망, 밀도 등의 조건과 함께 보트나 요트 등의 해상 운송 수단의 연결도 고려하여 계획하여야 한다.

□ 해설

- 플로팅 주거단지는 미국과 캐나다에 사례가 집중되어 있다. 미국 북서부의 시애틀과 포틀랜드 등에 플로팅 주거단지가 집중되어 있고 캐나다의 경우에는 벤쿠버와 리치몬드 등에 집중되어 있다. 특히 시애틀의 유니온 호수와 캐나다의 프레이저 강 주변에는 수많은 플로팅 주거단지가 산재해 있다. 플로팅 주거단지는 20~30가구 정도의 규모가 일반적이지만 100가구 이상인 플로팅 주거단지도 있다.
- 미국과 캐나다의 기준에서는 3동 이상의 플로팅 주택이 인접하여 형성되는 플로팅 주거단지에서는 피난을 위해 최소 2개 이상의 접근 통로가 육상과 연결되어야 한다고 정하고 있다.



그림 16. 미국 뉴베리포트(Newburyport, MA)의 플로팅 펜션의 단지 진입로



그림 17. 캐나다 포트랭글리(Fort Langley)의 루이 크레스켄트(Louie Crescent) 플로팅 주거단지의 연결통로



그림 18. 미국 포틀랜드(Portland, OR)의 덕스 무어리지(Ducks Moorage) 플로팅 주거단지의 연결통로



미국 시애틀 유니온호 주변 플로팅 주거단지의 배치



미국 포틀랜드 아일랜드 코브(Island Cove) 플로팅 주거단지의 배치



캐나다 프레이저 강 주변 플로팅 주거단지의 배치



캐나다 포트 랭글리 루이 크레스켄트 플로팅 주거단지의 배치



네덜란드 마스봄멜 고든 쿠스트 플로팅 주거단지의 배치

그림 19. 다양한 플로팅 주거단지의 항공 사진

4) 플로팅 건축물 단지의 배치와 동선 계획의 대표적인 유형은 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 개별 플로팅 건축물이 육상과 직접 연결되는 방식

② 육상에서 연결되는 단지 진입로에서 개별 플로팅 건축물로 연결되는 방식

③ 육상에서 연결되는 단지 진입로에서 별도의 공용 통로가 연결되고 공용 통로에서 개별 플로팅 건축물로 연결되는 방식

④ 육상에서 연결되는 단지 진입로에서 별도의 공용 통로가 2회 이상 연결되고 공용 통로에서 개별 플로팅 건축물 연결되는 방식

⑤ 개별 플로팅 건축물이 연결되는 단지 진입로 또는 공용 통로를 상호 연결하는 별도의 공용 통로를 연결하는 방식, 단지의 규모가 커지는 경우 이러한 연결 방식은 이동에 편리하며 피난 시 유리할 수 있음.

□ 해설

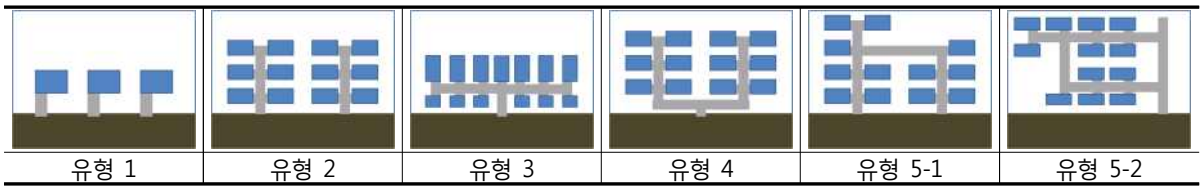



그림 20. 플로팅 주거단지 단지 진입로 및 공용 통로 배치 유형

5.4 플로팅 건축물 단지에서는 다음과 같은 사항을 고려하여 각종 지원시설 및 공용시설을 계획하여야 한다.

1) 소규모 플로팅 건축물로 구성된 플로팅 건축물 단지에서는 인접한 육상에 각종 공동 시설과 지원시설을 계획할 수 있다.

2) 개별 플로팅 건축물을 위한 우편함과 같은 소규모 시설뿐만 아니라 상대적으로 중량이 많은 물건을 수납할 수 있는 창고와 같은 지원 시설을 인접한 육상에 설치하여 이용할 수 있다.

3) 커뮤니티 센터와 같은 공동 시설과 함께 고정식 소화설비 및 급수탑과 같은 방재를 위한 공동 시설을 계획하여야 한다.

4) 플로팅 건축물에 별도의 주차 공간을 확보하기 어려운 소규모 플로팅 건축물 또는 플로팅 건축물 단지의 경우에는 인접한 육상에 주차 공간을 확보할 수 있도록 계획한다.

5) 플로팅 건축물 단지, 일반적으로 플로팅 주거단지에서 각 단위 주거를 연결하는 연결통로는 공적 공간의 성격과 사적 공간의 성격을 동시에 갖고 있으므로 이를 충분히 고려하여 계획하여야 한다. 연결통로에서 개별 주거로의 시선을 차단하여 사생활을 보호할 수 있도록 계획하되 단지 전체의 배치 계획에서 필요에 따라 연결통로의 폭과 형태를 변화시켜 공동체의 공적 공간으로 활용할 수 있도록 계획한다.

□ 해설



그림 21. 캐나다 델타(Delta, BC)의 프레이저(Frazer) 강변 플로팅 주거 단지 입구



그림 22. 아이버그 주거 단지에서 벤치 등을 설치하여 공공 공간으로 사용하는 연결통로



그림 23. 미국 포트 클린턴(Port Clinton, OH)의 레이크프론트(Lakefront) 마리나의 플로팅 주거 공용 시설

6) 플로팅 건축물에서도 다양한 조경 계획이 가능하며, 조경을 위한 별도의 부유식 구조물도 설치할 수 있다. 다만, 함체의 규모와 조경수의 높이에 따른 부유식 구조물의 안정성을 고려하여야 하며, 수질 오염의 직접적인 원인이 될 수 있는 비료와 농약의 사용은 별도의 기준에 따라 관리하여야 한다.

## 제6장 건축 계획 (Architectural Planning)

6.1 플로팅 건축물 상부시설의 형태는 시설의 안정성을 위해 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물은 재해재난 시 또는 필요할 경우 육상과의 연결을 분리하여 다른 위치로 이동이 가능할 수 있는 형태로 계획하여야 하며, 함체를 포함한 건축물의 전체적인 무게 중심을 고려하여 안정성을 확보할 수 있도록 상부시설을 계획하여야 한다.

2) 플로팅 건축물 상부시설은 재난 상황뿐만 아니라 일상적인 사용 환경에서 사용자의 안전성을 확보할 수 있는 최적의 형태로 계획하며, 상위 법률을 준수하여 사용자의 안전한 피난과 탈출을 위한 방재 및 피난 계획을 수립하여야 한다.

3) 플로팅 건축물 상부시설은 수평을 유지하기 위한 적합한 방법을 계획하여야 한다. 특히, 소규모 주거 건축물의 경우, 거주자의 사용 및 유지관리가 용이한 방법으로 계획되어야 한다.

□ 해설

- 플로팅 건축물 상부시설의 수평을 유지하기 위해 폰툰에 격실을 만들어 물을 채워 조절하는 등의 방법을 사용할 수 있다. 소규모 주거 건축물의 경우 물통을 물을 채워 조절하는 단순한 방법을 사용하기도 한다.

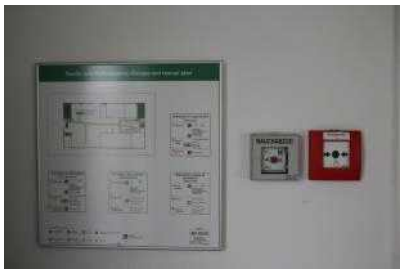


그림 24. 독일 함부르크(Hamburg) 도시건축정보센터(IBA Dock)의 피난 안내도 및 관련 설비




그림 25. 스웨덴 플로팅 호텔 객실에 설치된 피난 안내도



그림 26. 아이버그 주거 단지에서 사용하는 수평 유지용 물통

6.2 플로팅 건축물 상부시설의 형태와 규모, 용도 및 공간 구성은 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물 상부시설은 건축물과 그 주변 영역에 대한 육상에서의 조망, 육상과 수상을 포함한 전체 경관, 건축물의 건설 과정 및 사용과 관련된 기존 구조물에 의한 제한 조건 등을 검토하여 형태 및 규모를 계획하여야 한다.

2) 플로팅 건축물 상부시설의 면적 계획은 일반 건축물의 계획 기준을 준용하되, 해당 건축물의 사용자 특성, 사용자의 거주 시간, 자연 환경 조건 등을 반영하고, 생태 환경에의 영향을 최소화할 수 있는 규모로 계획하여야 한다.

3) 플로팅 건축물 상부시설의 높이는 건축물과 그 주변 영역에 대한 육상에서의 시선과 주변의 자연 경관 조건 및 기존 구조물 등을 고려하여 계획하여야 한다.

□ 해설

- 미국 시애틀시의 경우 '해안선 마스터플랜(Shoreline Master Plan, SMP)'에서 플로팅 홈의 높이를 함체 상부에서 18피트 또는 수면 위 3피트 높이에서 18피트 중 낮은 값으로 규정하여 유니온호의 자연 경관을 포함한 기존 경관과 조화되도록 유도하고 있다.
- 캐나다의 일부 기준에서는 플로팅 주거단지에서 개별 플로팅 주택의 규모를 함체 크기 12m×8m이하, 연면적 110㎡이하, 높이 2층 이하, 6m이하로 정하고 있다.



그림 27. 유니온 호수 플로팅 주거 단지와 도시 경관



그림 28. 유니온 호수 플로팅 주거 단지와 도시 경관

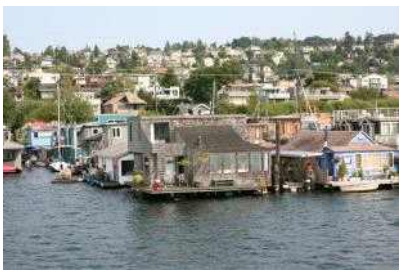


그림 29. 유니온 호수 플로팅 주거 단지와 도시 경관

4) 플로팅 건축물은 공공 영역인 하천이나 해양에 지어지기 때문에 공공의 목적에 부합하는 용도의 건축물로 계획되어야 하며, 수해양 문화 활동과 밀접한 관련을 갖는 용도로 계획되어야 한다.

5) 법제도적인 허용을 통해 하천이나 해양에 대한 사적 점유가 허용되는 경우, 다양한 용도의 플로팅 건축물이 계획될 수 있다.

6) 플로팅 건축물의 공간 구성은 수면에 대한 조망이나 접근, 수해양 문화 활동에 적합하도록 계획한다.

□ 해설

- 캐나다의 기준에서는 플로팅 주택의 거주 영역에서 최소 1개 실 이상에서 수상으로 직접 접근이 가능해야 하고, 직접 접근이 가능한 폭은 6m이상이어야 한다고 정하고 있다.



그림 30. 캐나다 델타의 플로팅 주거에서 본 프레이저 강의 경관



그림 31. 스웨덴 플로팅 호텔에서 본 주변의 자연 경관



그림 32. 거주실에서 수면으로 접근이 가능한 털위드 플로팅 주거단지

7) 플로팅 건축물 상부시설의 거주 실은 수면에 인접하여 안전하고, 쾌적한 수해양 문화 활동이 이루어질 수 있도록 계획하여야 하며, 재난 상황에서 피난을 위해 거주 실에서 수면으로 직접 접근이 가능하도록 계획하여야 한다.

8) 플로팅 건축물 상부시설의 거주 실은 주변 경관을 조망할 수 있도록 계획하여야 하며 수면에 대한 충분한 시야를 확보할 수 있도록 계획하여야 한다.

□ 해설

- 플로팅 주택이 밀집된 플로팅 주거단지의 경우 수면에 대한 충분한 시야를 확보할 수 있도록 캐나다의 기준에서는 거주실의 6m 이상의 폭에 대한 수직 방향의 깊이 4.5m~5m 이상의 수면에 대한 조망이 확보되어야 한다고 정하고 있다.

9) 수위 변동이 많은 지역에서의 돌핀 계류시설은 그 높이가 건축물에 비하여 높을 수 있기 때문에 이를 시각적으로 완화할 수 있는 다양한 설계 방법의 검토 및 적용이 필요하다.

□ 해설



그림 33. 포틀랜드 잔츤 비치 무어리지(Jantzen Beach Moorage) 플로팅 주거단지의 돌핀 계류시설



그림 34. 독일 함부르크 플로팅 홈(Floating Home, B-type)의 돌핀 계류시설



그림 35. 포틀랜드 뉴포트 씨푸드 그릴(Newport Seafood Grill) 식당의 돌핀 계류시설

6.3 플로팅 건축물 상부시설의 재료는 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물 상부시설은 건축물 전체의 안정성 확보를 위하여 최대한 경량화할 수 있는 구조 및 재료로 계획하여야 한다.

2) 목조 및 경량 철골조 등을 포함한 다양한 합성 재료에 의한 구조의 적용이 가능하며 상부시설의 용도에 적합한 구법을 도입할 수 있도록 한다.

3) 플로팅 건축물 상부시설은 월파 등을 고려하여 충분한 수밀성을 갖으며 침수를 방지할 수 있도록 계획하여야 하고, 충분한 방수, 방염, 방식 성능 등을 갖는 경량화된 구조 및 재료로 계획하여야 한다.

4) 소규모 플로팅 건축물의 경우에는 육상에 별도의 창고 시설 등을 설치하여 상대적으로 중량이 높은 물건의 수납을 고려할 수 있다.

5) 플로팅 건축물 상부시설의 보행 공간 특히, 수면에 접한 보행 공간의 바닥은 미끄럼을 방지할 수 있는 마감 재료를 계획하여야 하며, 사용자 특성에 적합한 형태와 구조의 난간을 설치하고, 충분한 폭의 보행 공간을 확보하도록 계획하여야 한다.

□ 해설

- 미국과 캐나다의 플로팅 건축물은 대부분 주거 건축으로서 전통적인 목조 건축 형식이다. 반면, 유럽의 플로팅 건축물은 목조 뿐만 아니라 경량 철골, 합성 재료 등 다양한 구조와 재료를 사용하고 있다.



그림 36. 전통적인 목조 건축 형식으로 지어진 유니온 호수의 플로팅 주택



그림 37. 목조 건축과 합성 재료를 사용한 뉴베리포트의 플로팅 펜션



그림 38. 철골, 공학목재와 합성 재료를 사용한 UBC 보트하우스(Boathouse)

6.4 플로팅 건축물 상부시설은 다음과 같은 하부 함체의 종류 및 거주성을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물 상부시설에서 일반 건축물과 가장 많은 차이가 나타나는 부분이 하부구조인 함체와의 관계이다. 플로팅 건축물의 함체는 부유체로서 그 재료와 시공방식 등에 의해 구분될 수 있으나 상부시설과의 관계에서 가장 중요한 구분은 함체 자체의 거주성에 의한 분류이다. 또한 함체 역시 모듈러이나 블록 단위로 제조되므로 상부시설의 모듈러와 밀접하게 관련될 수 있다.

2) 함체는 그 내부의 활용 여부 즉, 내부의 거주성에 의하여 다음과 같은 3가지의 종류로 구분될 수 있다.

① 함체의 내부를 사용하지 않고 부유체로서만 사용하는 경우

② 함체의 내부 일부를 활용하되 거주공간이 아닌 부속공간으로 사용하는 경우

③ 함체의 내부를 인간의 적극적인 거주공간으로 사용하는 경우

3) 함체를 부유체 용도에 한정하여 사용하는 경우는 미국, 캐나다, 유럽 등의 사례에서 일반적으로 나타나는 방식이다. 함체 내부를 합성수지로 충진 하거나 부력이 큰 재료로 구성하여 내부 공간을 활용하지 않기 때문에 함체와 상부시설은 공간적으로 무관하며, 구조적으로도 관련성이 크지 않다.

4) 함체의 내부 공간 일부를 활용하되 거주 공간이 아닌 부속 공간으로 사용하는 경우는 유럽에서 중규모 이상의 플로팅 건축물에서 나타나는 방식이다. 함체 내부 공간 일부를 정화시설이나 기타 설비 공간으로 활용하기 때문에 함체와 상부시설은 부분적인 공간의 연결을 필요로 하나 밀접하지는 않고, 구조적으로도 관련성이 크지 않다.

5) 함체의 내부 공간을 거주 용도로 적극적으로 사용하는 경우는 네덜란드 사례에서 소규모 주거용 플로팅 건축물에서 나타나는 방식이다. 함체를 상자 형태로 만들어 그 내부 공간을 거주 공간으로 사용하기 때문에 상부시설과의 공간적 연결이 밀접하고, 구조적으로도 긴밀한 연관관계를 갖는다.

6) 플로팅 건축물에서 함체는 상부 시설의 기초 및 지하실로서의 기능을 수행하기 때문에 그 연결 또는 접합부분에 대한 공간 활용 및 구조, 설비, 시공 등의 측면에서 세부적인 검토와 계획을 필요로 한다. 특히, 상부 시설을 모듈러 시스템과 같이 현장 외부에서 제작할 경우에는 함체의 제작 및 시공 과정에서 높은 정밀도가 요구된다.

□ 해설



그림 39. 폰툰을 단순 부유체로 사용하는 스웨덴 플로팅 호텔



그림 40. 폰툰을 기계실로 사용하는 독일 함부르크 도시건축정보센터



그림 41. 폰툰을 거주공간으로 사용하는 아이버그 주거단지

6.5 플로팅 건축물 함체의 구조 및 재료는 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물의 함체에는 강재, 콘크리트, 합성수지 등 다양한 재료와 구조가 적용될 수 있으며, 다수의 재료를 혼용한 복합 재료 및 구조도 가능하며, 부력을 향상시키기 위한 충진재의 활용을 고려할 수 있다.

2) 함체의 구조 및 재료는 플로팅 건축물이 지어지는 수역의 수심을 포함하여 함체의 규모, 초기 건설 비용 및 유지 관리 비용, 함체 내부 공간의 활동 등을 고려하여 계획하여야 한다.

□ 해설



그림 42. 미국과 캐나다에서 일반적인 목재 폰툰



그림 43. 미국의 일부 플로팅 주택에서 사용하는 합성수지 폰툰



그림 44. 유럽에서 사용하는 합성수지를 충진한 콘크리트 폰툰

6.6 플로팅 건축물은 수질 관리를 위하여 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물은 수질에 많은 영향을 줄 수 있으므로 플로팅 건축물 계획의 초기 단계에서 다양한 해양 환경에 대한 영향을 충분히 고려하여 영향을 최소화할 수 있도록 계획하여야 한다.

2) 플로팅 건축물에 의해 발생하는 음영을 감소하기 위해 함체의 규모를 적정하게 계획하여야 하며 플로팅 건축물의 규모와 형태에 따른 영향을 정도에 대한 검토가 필요하다.

3) 다수의 플로팅 건축물을 연결하는 연결통로의 바닥은 수면에 음영을 최소화할 수 있는 형태와 재료로 계획한다.

□ 해설

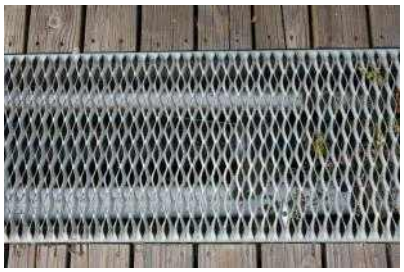


그림 45. 포틀랜드 오레곤 요트 클럽 플로팅 주거단지의 통로 마감

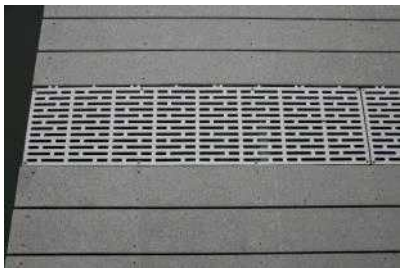


그림 46. 포틀랜드 잔츤 비치 무어리지 플로팅 주거단지의 통로 마감



그림 47. 스웨덴 플로팅 호텔의 통로 마감

4) 플로팅 건축물 하부에서 물이 정체되는 것을 방지하기 위하여 함체 하부와 해저 또는 하저 사이에는 충분한 간격이 확보되어야 한다.

□ 해설

- 퇴적 작용이 강한 강의 하류에서는 플로팅 건축물 하부에 토사가 쌓여 함체 하부와 해저 또는 하저 사이를 막을 수 있기 때문에 주기적인 준설이 필요할 수 있다. 캐나다 벤쿠버의 프레이저 강에 조성된 플로팅 주택의 경우 주기적인 준설이 이루어지고 있는 사례이다.
- 캐나다의 일부 기준에서는 함체 하부에 최소 0.6m의 수심이 필요한 것으로 정하고 있다.

5) 플로팅 건축물의 외부 마감 재료는 장시간의 외기 노출에도 수질 오염을 유발하지 않는 재료를 사용한다.

□ 해설

- 미국 시애틀시의 경우 '해안선 마스터플랜(SMP)'에서 스티로폼과 같이 부스러져 수질에 영향을 줄 수 있는 재료는 노출된 상태로는 플로팅 홈의 함체에 사용할 수 없도록 규정하고 있다.

6.7 플로팅 건축물은 신재생에너지의 활용을 위하여 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물이 입지하는 환경은 기존 도시 환경에 비하여 풍력, 태양광 및 태양열, 해수열 등을 활용하기에 적합한 환경이므로 다양한 신재생에너지를 활용하는 방안이 계획에 포함될 수 있다.

2) 플로팅 건축물 계획의 초기 단계에서 다양한 신재생에너지 시스템의 도입을 고려함으로써 신재생에너지 생산의 효율성을 향상시킬 수 있는 최적화된 상부시설 계획이 가능하다.

□ 해설

- 플로팅 건축물에 다양한 신재생에너지 시스템을 적용한 다양한 해외 사례를 확인할 수 있다.
- 미국 오레곤주 포틀랜드시에서 2007년에 완공된 플로팅 단독 주택인 토마호크 플로팅홈 프로젝트(Tomahawk Floating Home Project, http://www.portlandoregon.gov/bps/article/437433, 2013)에서는 태양광 및 태양열 시스템, 순환수식 냉난방 시스템, 우수 집수 및 이용 시스템 등을 적용하여 'Net Zero Energy'에 근접하는 것을 목표로 하였다.
- 2010년 독일 함부르크의 엘베 강에 지어진 도시건축정보센터(IBA Dock)는 태양광 및 태양열, 수열 등 신재생에너지를 활용한 플로팅 건축물의 대표적인 사례이다.



그림 48. 독일 함부르크 엘베 강에 지어진 도시건축정보센터



그림 49. 폰툰과 3개 층의 구성을 보여주는 도시건축정보센터 단면투시도

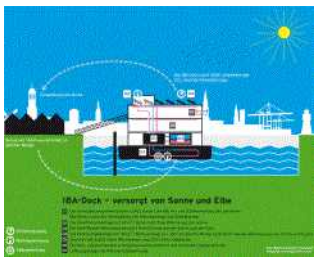


그림 50. 태양광, 태양열 및 강물을 이용한 에너지 시스템

6.8 플로팅 건축물 상부시설 계획 및 설계 기술이 충분히 정립되기 위해서는 플로팅 건축물 상부시설에 대한 체계적인 거주 후 평가가 수행되어야 한다.

1) 플로팅 건축물은 일반 건축물에 비하여 환경 조건의 영향을 받기 쉬워, 거주 후 평가를 통한 지속적인 피드백과 개선 과정이 필요하다.

2) 플로팅 건축물의 거주 후 평가 절차는 일반 건축물에서의 거주 후 평가 절차를 준용하여 사용할 수 있다.

3) 전략 계획, 예비 계획, 계획 개요, 실행 계획, 평가 실행, 보고서 준비, 피드백 및 개선 등의 일반적인 절차를 프로젝트에 따라 조정하여 정의한다.

4) 플로팅 건축물 상부시설의 건축 과정(process), 기능 성능(functional performance), 기술 성능(technical performance) 등과 같은 측면에서 거주 후 평가 요소를 정의하거나 건축물 성능 인자인 행태 인자, 기능 인자, 기술 인자 등을 이용하여 평가 요소를 정의한다.

5) 플로팅 건축물 상부시설의 특성을 반영하기 위하여 플로팅 건축물 상부시설 배치 계획, 건축 계획, 시스템 계획 등 본 지침의 구성 항목 각각에 대한 검토를 통하여 평가 요소를 정의한다.

6) 거주 후 평가 방법은 대상 건축물에 대한 관찰 및 측정, 건축주 및 사용자에 대한 인터뷰, 전문가 면담 등의 방법을 사용한다.

7) 플로팅 건축물 상부시설에 대한 체계적인 거주 후 평가를 위해서는 평가 절차에 따라 각각의 평가 요소 및 방법에 대한 문서화된 구체적인 평가 도구 및 기법을 정립하여야 한다.

8) 거주 후 평가 도구에는 평가 대상 건축물 개요, 거주 후 평가 개요 및 목표, 거주 후 평가 기법 등이 포함되어야 한다. 또한 각종 측정값 및 비용 등의 비교 평가를 위한 일반 건축물의 기준 값, 산출물 형식 등이

포함될 수 있다.

9) 거주 후 평가 기법 즉, 관찰 및 측정, 거주자, 건축주, 설계 및 시공자, 관련 전문가에 대한 조사 등을 정립하는 과정에서 플로팅 건축물의 특성이 반영될 수 있도록 거주 후 평가 기법을 정의한다.

## 제7장 시스템 계획 (System Planning)

7.1 플로팅 건축물은 일반 건축물에 비하여 환경 조건의 영향을 받기 쉬워, 현장에서의 시공 과정을 최소화하기 위한 충분한 사전 계획이 필요하다.

7.2 플로팅 건축물 상부시설에서는 건축 부재의 공업화, 조립화, 경량화를 통해 현장 시공을 최소화하는 공업화 건축 시스템의 도입이 필요하며, 이를 통한 이동성의 확보, 공사기간의 단축, 시공 정밀도의 향상 등이 요구된다.

7.3 공업화 건축 시스템은 그 구법에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

1) 골조 건축 시스템 : 기둥과 보와 같은 선형의 건축 부재로 건축물의 기본적인 내력 시스템을 구성하는 방법으로 강재와 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다.
2) 패널 건축 시스템 : 벽체와 바닥판을 구성하는 패널을 이용하여 내부 공간을 형성하는 방법으로 강재와 목재, 콘크리트와 함께 벽돌과 같은 재료를 이용한 조적 패널에 의한 구축도 가능하다.
3) 모듈러 건축 시스템 : 단위 공간을 형성하는 유닛 모듈러를 결합하여 건축물을 구성하는 방법으로 모듈러는 강재와 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다.

7.4 플로팅 건축물 상부시설에서 공업화 건축 시스템 적용하기 위해서는 다음과 같은 공업화 건축 시스템의 특성을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 공업화 건축 시스템은 구법에 따라 서로 구별되지만 긴밀하게 상호 보완적으로 적용될 수 있다. 예를 들어 비내력 구조로 제작된 유닛 모듈러의 경우 별도의 골조 건축 시스템에 의한 내력 구조를 필요로 하며, 경우에 따라서는 패널 건축 시스템에 의한 별도의 내장과 외장 마감을 필요로 한다.
2) 공업화 건축 시스템은 다양한 방식에 의한 조합이 가능하기 때문에 프로젝트의 성격에 대한 충분한 분석을 통하여 최적의 조합을 계획하고 적용할 수 있다.
3) 공업화 건축 시스템을 적용하기 위한 기본 전제로서 모듈 정합 설계(Module Coordination)의 적용이 필수적이다.
4) 플로팅 건축물 프로젝트의 성격에 따라 적합한 공업화 건축 시스템을 검토하되 현장 시공이 가장 최소화되는 유닛 모듈러에 의한 건축 시스템의 적용 가능성을 충분히 검토할 필요가 있다.

□ 해설

- 플로팅 건축물에서 유닛 모듈러 시스템을 적용한 대표적인 사례는 독일 함부르크의 도시건축정보센터이다. 도시건축정보센터에서는 2.5m×6m×3m의 크기의 유닛 모듈러를 사용하였다. 유닛 모듈러의 각 모서리는 100㎜×100㎜의 강재 기둥으로 처리되었고, 기둥을 연결하는 상하부의 보는 폭×높이가 100㎜×200㎜이다.



그림 51. 도시건축정보센터에서 유닛 모듈러 시공 과정

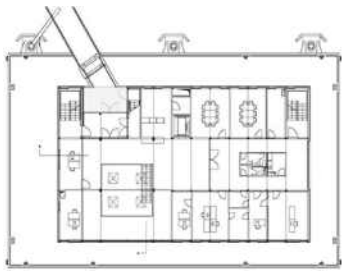


그림 52. 유닛 모듈러를 적용한 도시건축정보센터 3층 평면

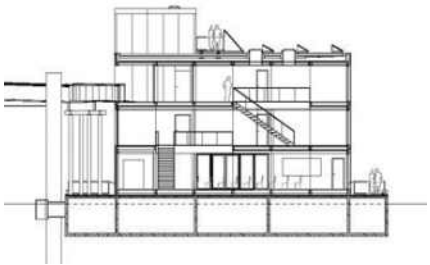


그림 53. 유닛 모듈러를 적용한 도시건축정보센터 단면도

7.5 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈 정합 설계를 적용하기 위해서는 일반건축물에서와 같이 계획 모듈, 기준면 설정 등의 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

7.6 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 건축 시스템 적용을 위해서는 다음과 같은 적용 조건을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 모듈러의 폭과 길이는 모듈러의 제작 공장에서 현장까지의 운송 조건에 따라 변동된다. 육상 운송의 경우 국내 도로교통법 및 운반 장비 관련법과 제작사 현황 등을 고려하면 일반적인 모듈러 규모는 폭 3.0m~3.3m, 길이 6.0m~12.0m, 높이 3.0m~3.4m 정도로 규정할 수 있다. 안목 치수는 폭 2.7m~3.0m, 높이 2.4m~2.7m 정도이다.

2) 모듈러 건축 시스템 적용에 대한 제한 조건 등으로 인하여 프로젝트의 초기 계획 단계에서 해당 프로젝트에 적용될 수 있는 모듈러 건축 시스템과 조합 가능한 공업화 건축 시스템의 종류 및 적용 범위 등이 명확히 결정되어야 한다.

3) 플로팅 건축물에서 모듈러 건축 시스템 및 공업화 건축 시스템의 적용 범위 및 조합 방식을 결정하기 위해서는 프로젝트에 대한 평가가 선행되어야 하며 다음과 같은 조건에 대한 평가가 포함되어야 한다. 첫째, 프로젝트의 물리적, 환경적 조건, 둘째, 참여 주체사이의 관계인 조직적 조건, 셋째, 기술적 조건으로 구분할 수 있다.

4) 모듈러 설계 적용 여부를 결정하는데 영향을 줄 수 있는 물리적, 환경적 조건은 다음과 같은 항목들로 이에 대한 충분한 사전 검토가 필요한 부분이다.

① 참여 주체 : 관련 프로젝트 경험, 비용 및 품질 등에 대한 관리의 정도, 프로젝트의 반복 가능성, 초기 투자 자본

② 프로젝트 유형 : 공사 기간, 단위 부재 또는 단위 공간의 반복성, 프로젝트의 특수성, 건축 부재 또는 재료의 조달 방법

③ 프로젝트 수행 장소 : 지리 및 지형, 건축 부재 및 재료, 노동력 등의 생산지 및 공급지와의 인접성, 관련

법적 규정 및 상위 계획 등

□ 해설

- 유럽에서 플로팅 건축이 가장 활발한 네덜란드의 경우 단위 주택을 드라이 도크에서 하나의 모듈러로 제작하여 육상 또는 해상을 통해 운송하는 다양한 사례를 확인할 수 있다.



그림 54. 털위드 주거 단지 단위 주택 제작 과정



그림 55. 아이버그 주거 단지 단위 주택 제작 과정



그림 56. 플로팅 파빌리온(Floating Pavilion) 폰툰 제작 과정



그림 57. 털위드 주거 단지 단위 주택 육상 운송 과정



그림 58. 아이버그 주거 단지 단위 주택 해상 운송 과정



그림 59. 플로팅 파빌리온 해상 운송 과정

- 아이버그 주거 단지에서는 단독형(벤쿠버 형)과 2동 연립형(시드니 형), 3동 연립형(시에틀 형)의 3가지 유형의 플로팅 주택이 적용되었다.
- 2동 및 3동 연립형의 경우 각 단위주거를 결합하여 연립주택의 형태를 완성한 후 운송하였다. 각 플로팅 주거는 해상을 통해 운송되는 과정에서 갑문을 통과해야 했기 때문에 연립주택의 최대 크기는 9m×20m로 제한되었다.

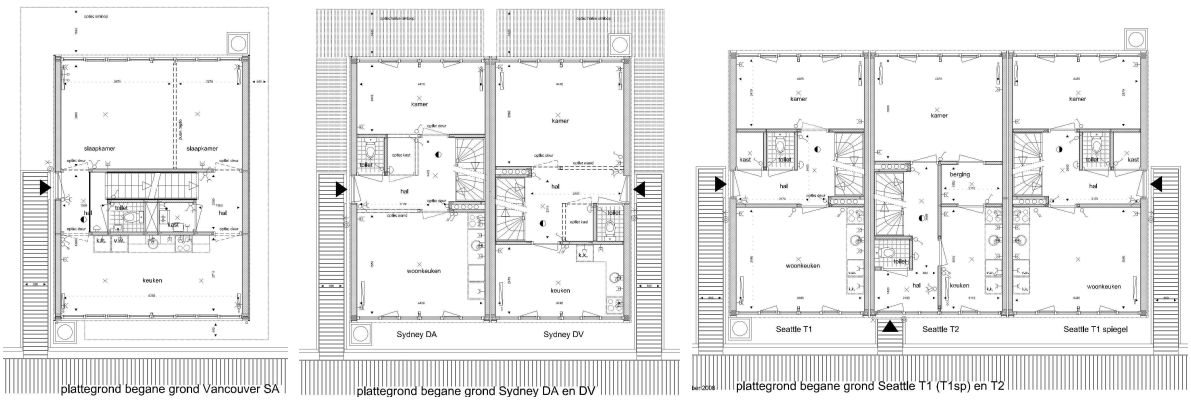



그림 60. 아이버그 주거 단지의 3가지 주택 유형 평면도(좌로부터 벤쿠버, 시드니, 시애틀)

5) 조직적 조건은 프로젝트에 참여하는 다양한 주체 사이의 관계 즉, 건축주, 설계자, 시공자 등의 의사소통과 협력, 계약 형식 등의 상호 관계를 의미한다. 모듈러 건축 시스템을 적용하여 통합화된 방식으로 플로팅 건축물을 생산하기 위한 보다 밀접한 협력 관계에 대한 고려가 필요하다.

6) 기술적 조건은 단위 건축 부재 또는 단위 공간의 생산 및 조립과 같은 측면에서의 기술 수준뿐만 아니라 BIM(Building Information Modeling)과 같은 건축에 대한 통합적 접근과 생산의 자동화 등의 새로운 기술의 적용 등을 포함한다.

7) 이상과 같은 조건에 대한 검토와 함께 구체적인 유닛 모듈러의 규모와 구법, 재료, 세부 상세 등에 대한 대안 검토를 통하여 해당 프로젝트에 적용 가능한 최적의 유닛 모듈러를 계획하고 이를 통하여 모듈러 건축 시스템의 적용 범위를 결정한다.

7.7 플로팅 건축물 상부시설에 적용하는 모듈러 건축 시스템의 재료 및 구법은 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 플로팅 건축물 상부시설의 모듈러 건축 시스템에 사용될 수 있는 재료는 강재와 목재, 콘크리트, 그리고 다양한 복합재료가 가능하다. 그러나 상부시설이 경량화될 필요가 있는 플로팅 건축물의 특성상 콘크리트 모듈러의 사용은 제한적이라고 할 수 있다.

2) 강재를 사용한 유닛 모듈러는 제조공장에서 만들어져 현장으로 운송된 후 용접과 볼트 작업을 통해 골조나 단면재를 결합하여 3차원적인 구조를 형성하고, 골조 시스템과 동일한 역할을 하며, 몇 개 층으로 적층하여 그 자체로서 내력 구조물로 사용할 수 있다.

3) 강재 유닛 모듈러는 일반적으로 벽체를 패널로 형성하게 되는데 이때, 골조 사이를 채우는 방화 및 단열을 위한 충진재, 외부 피복 마감재, 내부 마감재, 바닥 마감재 등을 플로팅 건축물 상부시설의 용도 등에 따라 선택하여 제조공장에서 미리 조립될 수 있도록 한다.

4) 목재를 사용한 유닛 모듈러는 일반적으로 수직의 벽체 패널과 수평의 지붕 패널이 결합되어 구성되는데, 지붕의 형상은 박공 지붕 등의 형태로 구성될 수 있으며, 상대적으로 가볍기 때문에 먼 거리로의 이동이 용이하고, 대부분의 경우 주거와 같은 소규모의 건축물에 적용된다.

5) 목재 유닛 모듈러는 적층하여 건축물을 구성하며, 모듈러 자체의 내력 구조로 최대 3층까지 적층이 가능하고, 그 이상의 경우에는 강재나 콘크리트를 이용하여 골조 구조를 형성하고, 목재 유닛 모듈러를 구조체 사이에 삽입하여 구성한다.

6) 유닛 모듈러 시스템을 적용하는 경우 별도의 외피 시스템이 불필요할 수 있으나, 실내 환경 및 에너지 절감, 입면 디자인의 필요에 따라서는 별도의 외피 시스템에 대한 고려가 필요하다.

7) 별도의 외피 시스템을 설계할 경우 외피 시스템 자체의 구조적 역할에 대한 결정이 필요하다. 즉, 외피 시스템이 기존 구조체에 연결되는 비내력 구조인지 또는 자체의 내력 구조체를 갖는 구조인지에 대한 결정이 필요하다.

8) 외피 시스템은 매우 다양하며, 벽돌, 석재와 같은 조적식 재료를 포함하여 유리, 금속, 목재, 콘크리트 등의 일반적인 재료와 합성 수지 등의 새로운 재료가 사용될 수 있다. 재료에 따라 패널 시스템의 활용 여부, 고

정 방법, 이중 외피의 적용 여부, 표면 처리 등 각각에 대한 고려가 필요하다.

9) 최근의 디지털 디자인 등 다양한 새로운 디자인 도구를 통한 독자적 외피 시스템의 디자인이 가능해지고 있어 이에 대한 도입을 검토하여야 한다.

7.8 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 건축 시스템의 시공을 위해 다음과 같은 사항을 고려하여 계획하여야 한다.

1) 모듈러 시스템의 현장 시공을 위한 준비는 모듈러의 운송 일자 이전에 완결되어야 한다. 특히, 모듈러 시스템의 기초에 해당하는 폰툰 제작이 모듈러 운송 이전에 완료되어야 한다.

2) 폰툰 제작이 완료된 이후의 모듈러 시공 과정에서는 오차 보정이 어렵기 때문에 모듈러와 폰툰이 접합되는 각종 구조, 설비, 마감 등의 부분에서는 폰툰 시공 과정에서 매우 높은 정밀성이 요구된다.

3) 현장으로 모듈러 운송 차량의 접근을 위한 도로가 확보되어야 한다. 현장에 인접한 광역교통망에서 현장으로 연결되는 접근 도로의 폭과 경사, 차량 높이 및 차축, 전력선 높이, 교량 허용 하중, 터널 규격 등에 대한 점검이 필요하며, 교통 경찰 또는 교통 전문가와의 협조가 필요하다.

4) 접근 도로의 경사가 큰 경우 모듈러의 운송 및 설치를 지원하기 위하여 트랙터 및 불도저 등의 지원 장비가 필요하다.

5) 현장에 인접하여 모듈러 적치에 충분한 공간이 필요하며, 크레인의 작업 공간 역시 충분히 확보하여야 한다. 현장 자체의 작업 조건은 크레인 사업자와의 협의를 통하여 계획하여야 한다.

6) 시공자는 모듈러 시공 이전에 시공과정 전체를 시뮬레이션을 통하여 점검한다. 모듈러가 현장으로 운송되면 시공자는 운송 내역을 확인하고, 운송 과정에서 모듈러의 파손 여부를 확인하고 기록한다.

7) 모듈러의 시공 과정에서 모듈러 제작사와 시공사 각각의 공사 범위 및 책임 한계가 명확하게 정의되어 계약 단계에서 명시되어야 하며, 다음과 같은 종류의 공사 내용에 대한 세부적인 책임 사항이 규정되어야 한다.

① 모듈러의 하차와 포장 제거, 각종 점검 등과 관련된 사항
② 모듈러의 설치 및 고정, 각종 구조 부재 등의 설치 및 고정 등과 관련된 사항
③ 문 및 창호, 계단 및 난간 등의 설치, 실내외 몰딩 및 기타 물품의 설치 등과 관련된 사항
④ 틈새의 보수 및 코킹, 단열 마감, 벽체의 최종 마감 등과 관련된 사항
⑤ 냉난방 및 상하수도, 전기 등의 각종 설비 연결과 관련된 사항

8) 플로팅 건축물 계획 단계에서 모듈러 시스템의 시공과 관련된 위와 같은 내용이 검토되어야 하며, 이를 문서화한 절차서 등이 작성되어 모듈러 제작사와 시공사에 전달되어야 한다.

**참고문헌**

1. Hitchhiker's Guide to the Float Home Standards, Floating Home Association.
2. Marina Neighborhood CD-1 Guidelines for Marina Development, City of Vancouver, 1993
3. 海洋建築物計劃, 海洋建築計劃指針, 日本建築學會, 1988.
4. British Columbia Float Home Standards, British Columbia

5. NTA(Nederlandse technische afspraak) 8111, Drijvende bouwwerken(Floating constructions)
6. Builder's Guide to Modular Home Set-Up & Completion, National Modular Housing Council
7. A Community Guide to Factory-Built Housing, PATH(Partnership for Advancing Technology in Housing)
8. 주거시설로서 모듈러건축 활용화 방안, 2013.
9. 도시형 생활주택의 유닛 모듈라 공법 설계에 관한 연구, 2011.
10. 유닛 모듈러 공법의 효율성 확보를 위한 공장제작, 운반, 현장설치의 최적 공정 제안, 2011.
11. 부품 및 유닛 DB를 이용한 유닛 모듈라 주택의 설계자동화 연구, 2006.
12. 유닛 모듈라 주택의 설계자동화를 위한 기초 연구, 2005.
13. 한국형 공업화 주택의 오픈 시스템을 위한 모듈정합 설계기준설정 연구, 2004.
14. Prefab Architecture : A Guide to Modular Design and Construction, 2010.
15. Components and Systems : Modular Construction, Design, Structure, New Technologies, 2008.

# 제3절 법제도 연구

## 1. 최적지 선정 및 평가지침

### 가. 최적지 선정조건

○ 플로팅 건축물은 수역에서 물 위에 조성되기 때문에 최적지를 선정하기 위해서는 건축물의 구조와 사용자에게 미치는 영향을 고려하여 다양한 조건을 사전에 검토할 필요가 있음

○ 플로팅 건축물 최적지 선정을 위한 조건들은 육상건축물의 설계에서 고려하는 것들과 그 종류 및 내용에서 큰 차이가 있을 뿐 아니라 각 조건들이 미치는 영향력이 커서 설계단계에서 소홀히 할 경우 많은 문제점을 일으킬 수 있음

○ 플로팅 건축물 최적지를 선정하기 위해 바다와 관련하여 고려해야 할 과제는 다음과 같음

① 플로팅 건축물은 육상건축물과 달리 가혹한 자연조건 하에 있기 때문에 건물과 공간의 관리가 중요하며 따라서 전체 건물사용시간 동안에 발생할 사회 변화와 활동을 예측하고 시간(사회, 인간, 시설, 건축물의 라이프사이클), 공간(해안에서 거리, 시설규모, 자연환경), 기능(자급자족, 폐쇄사이클환경)을 종합적으로 고려함

② 플로팅 건축물 안전성은 인명과 재산에 직접 관계되는 것과 간접적으로 관계되는 것이 있으며 전자는 플로팅 건축물의 강도 및 구조설계에 관련된 것과 방재 및 피난에 관계된 것이고 후자는 해양생태계와 관련하여 환경의 질을 변화시키는 것으로 거주쾌적성 및 환경보전 더 나아가 인간 건강에 관련된 문제임

③ 정주형 플로팅 건축물은 대다수 사람들이 거주 및 일상적 활동에서 지장이나 불쾌감을 느끼지 않는 쾌적성을 확보해야만 하며 이를 위해 접근의 부자유함, 단조로운 경관에 의한 고립감 및 불안감, 부유구조물의 동요, 온습도 등 물리적 환경조건에 대한 생리적·심리적 반응 및 허용한계 등에 대해 충분한 고려가 필요한 것이며 또한 건축물의 충돌, 침수, 유출, 화재 등 재난에 대한 불안감을 해소하는 것도 쾌적성의 중요한 요인이 됨

○ 이와 같은 과제를 고려하여 플로팅 건축물의 입지를 선정할 때에는 먼저 지역 및 주변을 충분히 조사하여 지역 특성을 살리는 곳이어야 하며, 다음으로 지역의 자연조건, 사회조건, 법규제조건이 적합한 곳이어야 하며, 마지막으로 기존 토지이용, 개발상황, 개발계획과 유기적으로 결합될 수 있는 곳이어야 함

○ 일본에서 발간된 「부체구조물기술매뉴얼」[8]을 살펴보면, 부체구조물 위치선정에 대해서는 다음 사항을 고려하도록 하고 있음

8) (재)연안개발기술연구센터, 부체구조물기술매뉴얼, 제2장 위치선정, 평성3년3월 참고

① 선박항행의 영향, 기타 주변 수역의 이용 상황, 주변 환경에 미치는 영향 등을 고려하여 지장이 없도록 함

② 항만 내에 설치하는 경우에는 다음 수역점용허가 요건을 만족시킴

- 항만이용 또는 보전에 지장 없을 것
- 항만계획 수행을 저해하지 않을 것
- 항만 개발 및 발전에 지장 없을 것

③ 바람, 파랑, 조류 등 기상 및 해상조건을 고려하여 적절할 것

(일반적으로 정온도를 확보할 수 있는 위치가 공사비 및 유지관리 등에서 유리함)

○ 한편 플로팅 건축물 입지선정을 위해서는 우선 다음 표와 같은 조성방침 구성요소[9]에 대해 검토하고 결정한 후 이에 적합한 최적지 검토를 진행해야 함

[표 2-3-1] 플로팅 건축물 조성방침 구성요소

| 구성요소 | 내 용 |
|---|---|
| 개발형태 | a. 조성 및 운영주체<br>·기반시설(외곽시설 등) 정비 주체는 누구인가?<br>·기반시설 이외 플로팅 건축물 조성 주체는 누구인가?<br>·플로팅 건축물 및 기반시설 관리 및 운영주체는 누구인가? |
| | b. 지리적 위치<br>·도시형, 도시근교형, 어촌어항형, 도서형 가운데 어떤 형태인가?<br>·자연지형을 이용하는 자연형인가, 항만시설을 이용하는 항만형인가? |
| | c.개발환경<br>·항만공간을 재개발하여 사용하는가?<br>·신규로 수역개발을 목표로 하는가?<br>·해안지역(도시) 개발과 일체로 하는가?<br>·단독시설을 개발을 목표로 하는가?<br>·복합시설의 개발을 목표로 하는가? |

9) 아키오 구로야나기 편저, 김남형·이한석 공역, 해양성 레크레이션 시설: 계획과 디자인, 도서출판 과학기술, 1999, p82 표 2-15 참조

[표 2-3-1] 플로팅 건축물 조성방침 구성요소(계속)

| 구성요소 | 내 용 |
|---|---|
| 이용형태 | a. 플로팅 건축물<br>·해양레저스포츠 시설로 할 것인가?<br>·해양관광 및 문화 시설로 할 것인가?<br>·혼합된 다목적 시설로 할 것인가? |
| | b. 이용자층<br>·어느 연령층을 목표로 할 것인가? |
| | c. 이용기간<br>·주말·당일 이용을 중심으로 할 것인가?<br>·장기체류 이용을 목적으로 할 것인가?<br>·여름철 휴가기간에만 집중 이용할 것인가?<br>d. 대상마켓<br>·광역레벨을 대상으로 할 것인가?<br>·지역레벨을 대상으로 할 것인가?<br>·외국 관광객도 대상으로 할 것인가? |
| 활동형태 | a.수역활용<br>·주변 수역에서 보트 이용을 유치할 것인가?<br>·낚시·다이빙·수상스키 등을 유치할 것인가?<br>·크루즈 기항지로 활용할 것인가? |
| | b.기타<br>·플로팅 건축물 용도와 조화되는 주변 수역이용은 무엇인가?<br>·플로팅 건축물을 비롯하여 주 수익은 어디서 어떻게 올릴 것인가?<br>·비시즌에는 플로팅 건축물 및 주변 수역을 어떻게 활용할 것인가? |

○ 이상과 같은 입지선정 시 검토해야 할 과제를 바탕으로 입지선정을 위한 조건은 자연적 조건, 사회적 조건, 법규제 조건으로 정리할 수 있음

(1) 자연적 조건

○ 최적지의 자연적 조건에는 기상, 해상, 지상조건이 있음

○ 기상(氣象)조건

– 바람, 기온, 청천일수, 강우량, 강설량, 안개발생일수 등이 있으며, 이중에서 바람은 선박의 정박시설 및 플로팅 구조물의 위치결정에 중요하므로 풍향 및 풍속 등에 대해 과거 기록 및 시뮬레이션을 통해 충분히 파악해야 함

– 또한 하늘상태와 안개 등은 시공일수, 선박항해, 시설 가동일수 등에 영향을 미치는 요인이 됨

○ 해상(海象)조건

– 해상조건에는 파도, 조석, 조류, 수심, 해일, 유빙(遊氷), 해수온도 등이 있음

- 파도는 일상적인 상태에서의 파도뿐만 아니라 계절풍, 태풍, 지진 등에 의한 높은 파도 및 태풍해일, 지진해일 등의 이상파 모두를 검토해야 하며 파도의 파고, 파향(波向), 주기, 빈도 등에 대하여 충분한 검토가 필요함
- 조석에 대해서는 천문조위(天文潮位)와 기상조위(氣象潮位)를 조사하고, 해류는 방향 및 속도에 대하여 검토해야 하며, 유빙역에서는 결빙에 의한 빙압력과 이동에 의한 빙압력을 검토해야 함
- 이러한 조건들은 부유식 수상거주시설의 구조적 안전성, 시설물의 가동률, 이용자 안전 및 쾌적성에 직·간접적으로 영향을 미침

○ 지상(地象)조건

- 해안선형상, 해저형상, 지질, 토질, 지진, 활단층 등이 있음
- 해안선에는 자연해안과 인공해안이 있는데 자연해안은 적극적으로 보전해야 하며 특히 해안선에 인접한 시설에서의 접근으로 때문에 환경이 파괴되지 않도록 해야 함
- 해저에 구조물을 고정하거나 설치할 때 해저구배가 급한 곳보다 완만한 곳이 좋으며 수심도 충분히 검토하고, 수심이 낮은 해역에서는 암초의 존재를 파악해야 하며 활단층이 있거나 지진 가능성도 파악함

(2) 사회적 조건

○ 플로팅 건축물 최적지 조건을 검토할 때 어업, 선박항행 등 이미 이용되고 있는 수역에서는 기존 이용현황과 법체계에 대해 조사해야 하며, 특히 향후 법규제 변경가능성도 조사함

○ 이미 사용되고 있는 수역의 근접한 곳에 플로팅 건축물 입지를 계획할 때에는 건축물 이용이 이미 사용되고 있는 수역의 여러 활동에 미칠 영향을 시뮬레이션 및 관측을 통해 조사함

○ 역사적으로 중요한 보전지역이나 경관보전구역에는 플로팅 건축물 입지를 피하고 만일 이 구역 내 입지할 경우 보전할 역사유물이나 경관과 충분한 완충거리를 두고 입지해야 하며 대기·수질·소음·진동·악취·토양오염·지반침하·경관 등에 대한 광범위한 환경영향을 고려하여 입지를 정함

(3) 법규제 조건

○ 정주형 플로팅 건축물이 들어설 연안에 적용하는 법규제 범위를 보면 다음과 같음

- 육역만을 대상으로 하는 것
- 수역만을 대상으로 하고 있는 것
- 육역과 수역을 일체로 취급하는 것

○ 플로팅 건축물을 다음과 같은 수역에 위치시킬 경우에는 관련 법규제 조건을 충분히 검토하고 필요한 경우에도 법제도를 사전에 정비해야 함

- 용지확보 및 환경보전 입장에서 특별히 정한 수역
- 국립공원으로 지정된 수역 및 그 주변 수역
- 어업권을 보호하기 위해 특별히 설정된 구역
- 수산자원을 보호하기 위해 특별히 정해진 수역
- 항만 관련 활동 및 시설을 보호하기 위해 정한 수역
- 해상교통안전을 위해 규정한 선박항행 및 정박 관련 수역

○ 이상에서 살펴본 조건들을 바탕으로 본 연구에서 목표로 하고 있는 문화공간용 정주형 플로팅 건축물의 최적지 선정을 위한 전제조건을 정리하면 다음과 같음

① 구조물 안정성

- 무엇보다도 플로팅 건축물의 구조적 안정성 여부를 충분히 고려해야 함
- 플로팅 건축물은 해양환경에 민감하게 반응하는 구조물임
- 물위에 떠있는 형태의 플로팅 구조물은 해양환경 가운데 특히 파도, 바람, 조류 영향을 많이 받으므로 이러한 환경요소에 대해 충분한 고려가 필요함

② 해양환경오염

- 해양에 위치하는 플로팅 건축물에 필연적으로 수반되는 문제가 해양환경오염 문제임
- 수상 레저 및 생활문화공간 용도의 플로팅 건축물은 건물 시공 및 사용 과정에서 해양환경과 수생태계에 큰 영향을 미칠 수 있음
- 수질, 대기 등 해양환경이 오염되면 플로팅 건축물의 의미와 가치 뿐 아니라 건물 이용성, 쾌적성이 크게 훼손됨

③ 선박운항 및 어업권

- 우리나라 연안 해역에는 많은 이해관계가 얽혀 있으며 그중에서도 선박항해와 어업권에 대한 문제는 플로팅 건축물 입지선정에서 큰 걸림돌이 될 수 있음
- 플로팅 건축물 입지선정에서는 기존 선박운항항로, 어항 및 양식장, 항만구역 등에 대한 철저한 조사 및 대책이 필요함

④ 사업 경제성

- 문화공간용 플로팅 건축물을 이용한 사업은 공공사업이든 민간사업이든 대규모 투

자 및 관리비용을 필요로 하므로 경제성에 대한 충분한 검토가 필요함

- 입지선정, 시설내용 및 규모 결정에 있어서도 사업성 확보를 우선 고려해야 함
- 특히 민간투자가 활성화 될 수 있도록 법제도 개선과 재정적 지원이 필요함

⑤ 해양관광개발사업과 연계

- 수상 레저 및 생활문화공간용 플로팅 건축물은 마리나항, 해양리조트, 해양관광단지 등 해양관광개발사업과 연계하여 위치를 정하여야 함
- 마리나항, 해양리조트, 해양관광단지는 해양공간을 복합적으로 개발하여 국토공간을 효율적으로 이용하고 지역경제를 활성화하려는 것으로 최근 정부와 지자체에서 다양한 계획을 세워 추진하고 있음
- 문화공간용 플로팅 건축물은 마리나항, 해양리조트, 해양관광단지의 계획부지 내에 위치하는 것이 수역 정온도 확보, 사업성 확보, 시설물 활용도 증대 등 다양한 측면에서 유리함

⑥ 적정규모

- 플로팅 건축물 규모는 만, 반도, 수역, 비치 등 여러 가지 측면에서 환경적 용량과 도로 공항 등 교통 용량 등을 고려하여 적정규모로 설치함
- 플로팅 건축물의 부체 구조물 규모는 수역 상황에 따라 안전성, 이용성, 설치편리성 등을 고려하여 적정규모로 설치해야 함

⑦ 경관 고려

- 플로팅 건축물이 들어서는 수역은 경관이 우수한 곳이어야 하며 건축물은 이 경관을 보호해야 함
- 플로팅 건축물 외관이나 모양과 색깔 등은 주변 경관과 조화 있게 설치되어야 그 가치를 높일 수 있음

나. 최적지 선정기준

○ 문화공간을 위한 정주형 플로팅 건축물의 최적지 선정기준은 건축계획 측면, 시설배치계획 측면, 쾌적성 확보 측면에서 각각 검토·정리하면 다음과 같이 정리할 수 있음

(1) 건축계획 측면

○ 문화공간용 플로팅 건축물의 입지선정은 합리적 건축계획을 위해 후보지와 주변의 사회환경조건 및 자연환경조건을 충분히 이해하고 필요한 각종 특성과 조건을 파악해야함

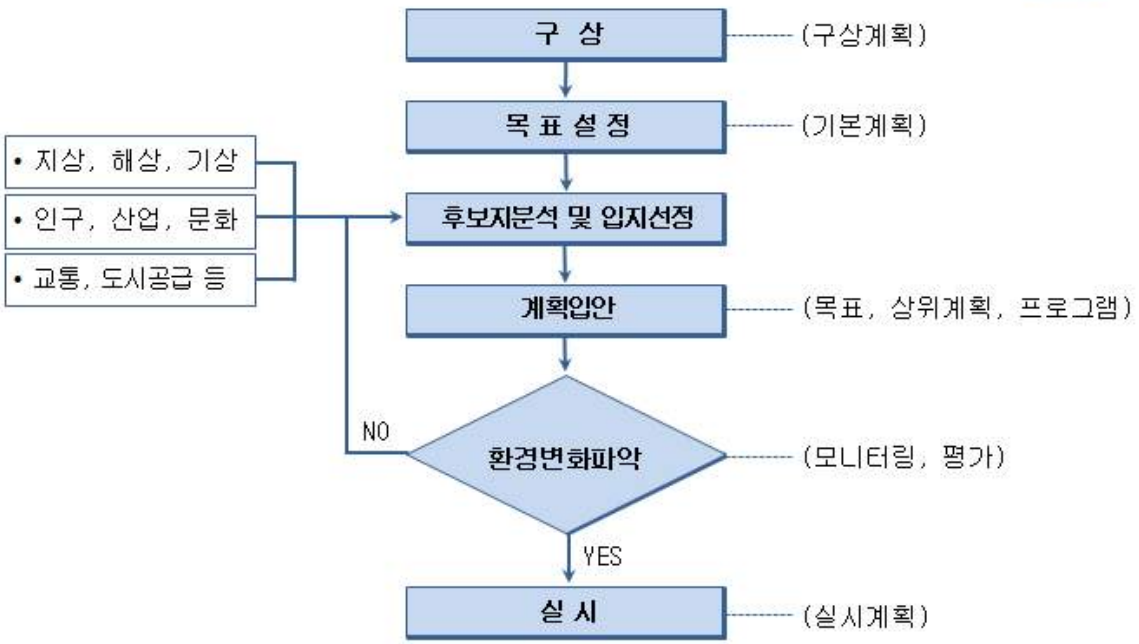
○ 특히 정주형 플로팅 건축물의 입지는 다음과 같은 선정기준이 필요함

- 플로팅 건축물 입지는 특히 주변 지역과 조화된 곳
- 안전하고 쾌적한 건축물이 되도록 지형 및 자연조건을 갖춘 곳
- 아름다운 경관 및 깨끗한 환경 등 양질의 환경이 보전된 곳
- 플로팅 건축물의 에너지공급 및 폐기물처리가 가능한 곳

○ 플로팅 건축물의 건축계획에서는 입지 수역 뿐 아니라 인접한 육역에 대해서도 교통망, 접근성, 토지이용, 개발계획 등 사회적 상황과 지형, 경관, 기후 등 자연적 상황을 모두 포함하여 고려해야함

○ 특히 플로팅 건축물은 육지로부터 경관을 고려하여 스카이라인 등 조형계획이 중요하며 플로팅 건축물로부터 보이는 경관은 해안선을 포함한 육지경관이 일체적이고 아름다운 곳이어야 함

○ 또한 플로팅 건축물의 에너지 및 각종 폐기물처리에 의한 해양환경에의 영향을 최소한으로 줄이기 위해 인근 육역에서 지원이 가능한 곳에 입지해야 하며 입지조건에 따라서는 건축물 내에 자체처리시스템을 검토해야 함




<출처; 일본건축학회, 해양건축과환경, p2 참조>

[그림2-3-1] 플로팅 건축물 계획순서

(2) 시설배치계획 측면

○ 정주형 플로팅 건축물 시설배치계획 측면에서 최적지는 선정기준을 정리하면 다음과 같음

- 지진, 고조, 태풍, 해일, 유빙 등에 의한 자연 재해가 없는 국소적 기상(氣象), 해상(海象), 지상(地象) 조건을 가진 곳
- 해양생태계 사이클 변화를 최대한 억제하고 수질 보호가 가능한 곳
- 바다나 육지를 통해 플로팅 건축물로 무리 없는 접근이 가능한 곳
- 기존 해상교통, 항만 및 어업 관련 활동에 영향을 미치지 않는 곳

○ 문화공간용 정주형 플로팅 건축물의 시설배치계획 시 가장 어려운 점은 자연 재해로서 이것을 피할 수 있는 장소 설정이 중요하며 플로팅 건축물 자체에도 방재 및 안전대책을 수립해야 하며 이를 위해 정온도가 높은 곳을 선정해야 하며 정온도가 낮은 개방성 혹은 외해성 수역에 입지하는 경우에는 외해 또는 탁월파 방향에 면한 건축물 부분의 안전을 충분히 고려하여 시설을 배치함

○ 또한 플로팅 건축물은 환경생태의 파괴, 수질오염 등 회복하기 어려운 환경문제를 일으킬 수 있으므로 이를 고려하여 입지를 선정하면서 자연환경에 관하여 개발 후 상황을 항상 파악하는 것이 중요하며 따라서 지역의 상황을 감시·조사하는 모니터링시스템이 필요

○ 한편 플로팅 건축물 입지는 레저 및 생활문화공간으로서 목적에 적합한 입지 수역과 그 배후지 육역의 상황을 충분히 파악한 후 선정, 육역은 플로팅 건축물에의 접근영역이며 플로팅 건축물이 기능을 발휘해야할 지역이므로 플로팅 건축물의 설치에 따른 영향을 도시차원의 광역적 관점에서 고려할 필요가 있으며, 수역에 대해서는 항만시설, 어업관계시설, 해상교통(항로 등) 등에 특히 유의하여 지장이 없는 곳을 정함

(3) 쾌적성 확보 측면

○ 문화공간용 정주형 플로팅 건축물은 불특정 다수의 사람들이 일상적으로 이용하는 시설물이기 때문에 건축물 쾌적성 확보는 입지선정을 위한 전제조건이며 이에 따른 최적지 선정기준을 정리하면 다음과 같음

- 플로팅 건축물에서 에너지사용을 줄이기 위해 태양, 바람 등 자연에너지를 이용할 수 있는 곳
- 수역에서 느끼는 고립감이나 불안감을 없앨 수 있는 곳
- 사용자에게 불쾌감을 주는 동요, 진동, 소음, 악취 요인을 제거·예방할 수 있는 곳
- 플로팅 건축물 실내공간에서 열환경, 빛환경, 공기환경, 음환경 등 물리적 환경 측면에서 쾌적한 환경을 보장할 수 있는 곳

○ 정주형 플로팅 건축물에서는 체류자들이 느낄 수 있는 고립감 해소를 위해 녹지공간, 친수공간, 레크리에이션시설 등이 필요함

○ 또한 고립감 해소를 위해 색채계획, 공간계획, 마감재료에 대해서도 충분히 고려해야 하며 이와 같은 조치도 필요하지만 우선적으로 고립감을 없앨 수 있거나 전혀 없는 곳에 위치하는 것이 필요함

○ 플로팅 건축물의 경우 일기가 나쁠 때에는 사용자가 공포감을 가질 수 있고 침수·충돌·화재 등에 대한 불안감을 가지게 되므로 이를 저감시키는 것이 쾌적성 확보에 매우 중요함

○ 따라서 재난에 관한 공포감이나 불안감을 해소할 수 있는 곳에 입지하는 것이 필요함

○ 플로팅 건축물은 구조물 고유주기와 파도주기가 동조(同調)되면 멀미를 일으킬 수 있으므로 동요를 최대한 억누를 수 있는 다양한 대책이 필요하며 이를 위해 정온도가 확보된 곳에 위치해야 함

○ 실내공간에서 쾌적성 확보를 위하여 자연채광에 대한 배려와 바다환경에 대한 고려를 통한 적정한 공조시스템이 계획되어야 하며 그 이전에 햇빛과 바람 등 해양의 특성을 고려한 시설배치계획 및 친수계획이 가능한 곳에 위치해야 함

○ 이상에서 살펴본 레저 및 문화용 정주형 플로팅 건축물 최적지 선정기준을 바탕으로 구체적 입지기준을 정리하면 다음과 같음

① 해양관광개발 계획부지

· 우리나라 연안에는 국가 및 지자체 주도로 다양한 해양관광개발계획이 추진 중에 있음

· 문화공간용 플로팅 건축물의 성공적 조성 및 운영을 위하여 기존 마리나항, 해양리조트, 해양관광단지 개발계획과 연계하여 시너지효과를 얻을 수 있도록 계획부지 내 위치함

· 특히 문화공간용 플로팅 건축물은 새만금지역, 2012 여수세계박람회장, 국가마리나항만기본계획에 반영된 마리나항만 등의 부지 내 수역에 위치하면 사업성, 시설물 활용도, 구조물 안정성을 쉽게 확보할 수 있음

② 접근성이 좋은 곳

· 수상에 조성되는 모든 시설물에서 이용 편리함과 피난·방재 측면에서 가장 중요시되는 것이 시설물로의 접근성임

· 문화공간용 플로팅 건축물과 같이 지역주민과 외부 관광객의 다양한 이용을 위해서는 무엇보다도 육지에서 접근성(도로, 주차장, 잔교 등)에 대한 고려가 우선되어야 함

· 문화공간용 플로팅 건축물은 육지에서 분리되어 바다 위에 고립되어 있고 불특정 다수의 사람들이 이용하기 때문에 재난 시 피난을 고려하면 접근성이 매우 중요함

③ 기존 인프라시설 이용가능한 곳

· 문화공간용 플로팅 건축물은 단독으로 인프라시설을 설치하고 유지하는데 많은 비용이 소요되며 환경오염 및 훼손 우려가 있음

· 연안에 이미 인프라시설이 확보된 배후지와 연계하여 개발함으로서 기존 인프라시설을 충분히 적극 활용하는 것이 중요함

· 특별히 배후지에 역사·문화 체험, 관광 및 레저를 위한 인프라시설이 구축되어 플로팅 건축물과 연계하여 일체로 활용할 수 있는 곳이 바람직함

④ 해상교통수단 이용가능한 곳

· 수역에 조성될 플로팅 건축물의 활용을 위해 연안크루즈, 항내크루즈를 비롯한 해상교통이용을 위한 여건을 충분히 고려할 필요가 있음

· 다양한 선박의 입출항이 이루어지는 항만구역 내에 플로팅 건축물이 조성될 경우 주변 항만 활용과 갈등이 있을 수 있음

· 플로팅 건축물의 접근성 및 활용도를 높이기 위하여 지역에서 계획 중이거나 운항하고 있는 Sea Bus, Sea Taxi, 관광유람선 등 해상교통수단을 이용할 수 있는 곳이어야 함

⑤ 플로팅 구조물이 안전한 곳

· 플로팅 건축물은 해양구조물 중에서 해양환경의 영향을 많이 받는 구조물 중 하나임

· 플로팅 구조물은 고정되어 있지 않기 때문에 조류, 파도, 바람에 많은 영향을 받음

· 플로팅 건축물 입지는 해양환경으로부터 구조물의 안정성을 확보할 수 있는 곳이어야 함

⑥ 자연환경이 양호한 곳

· 문화공간용 플로팅 건축물 특성을 살리기 위해 사시사철 수상 레저 및 레크리에이션 활동이 가능하며 강한 바람이나 파도가 없는 등 기후조건이 적합한 지역이어야 함

· 정온도 확보 등 적합한 자연환경을 가진 수역이 없을 경우 방파제와 같은 외곽시설 설치, 섬 및 고정식 구조물과 연계, 해양구조물의 대형화 등 기술적 해결이 필요함

· 문화공간용 플로팅 건축물이 들어서는 곳의 주변 자연경관이 아름답고 자연지형이나 환경의 오염 및 훼손이 적은 곳이 바람직함

⑦ 법제도 정비가능한 곳

· 플로팅 건축물은 자연환경이 매우 열악한 상황에 위치하는 해양구조물이기 때문에 초기 건설비와 관리운영비가 많이 들어 건축물에 대한 재산권이 확보되지 못하면 조성 자체가 불가능함

· 민간사업자가 투자할 수 있는 매력을 창출하기 위해 플로팅 건축물에 대한 재산권 행사가 쉽게 이루어 질 수 있도록 법제도 정비가 정비된 지역이 중요함

· 해역 위치에 따라 수역을 관리하는 기관이 달라지는 것도 후보지 선정에서 고려해야 함

· 특히 해양에는 이미 법제도 측면에서 다양한 규제가 적용되고 권리가 확보되어 있는 곳이 많이 있기 때문에 기존 규제 및 권리의 문제를 해결할 수 있도록 법제도 정비된 곳이어야 함

다. 입지평가항목

○ 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물은 수역에 건설되는 구조물이기 때문에 입지 선정에 있어서 자연조건과 사회조건에 대해 정확한 평가가 필요로 함

○ 플로팅 건축물에는 출입하는 선박이 있기 때문에 시설물 뿐 아니라 선박운항에도 안전 확보가 중요함

○ 이런 측면에서 플로팅 건축물 입지 평가항목은 기본적으로 마리나 입지 평가항목과 유사함

○ 따라서 아래에서는 마리나 입지 평가항목[10]을 기본으로 플로팅 건축물 입지 자연조건과 사회조건 각각 평가항목과 검토내용을 정리함

(1) 자연조건 평가항목

○ [표 2-3-2]는 플로팅 건축물 입지 자연조건 평가항목을 나타낸 것으로 기상. 해상. 육상. 환경 등 크게 네 가지 조건으로 분류하여 평가항목 및 검토내용을 정리하였음

10) 染谷昭夫, 藤森泰明, 森繁 著, マリーナの計劃, 第2章 マリーナ計劃論, 鹿島出版會, 1990 참고

[표 2-3-2] 자연조건 평가항목

| 분류 | 평가항목 | | 검토내용 |
|---|---|---|---|
| 기상 조건 | 기온 | 기온변화(최고,최저,평균) | 월별경년변화 |
| | 맑음,흐림,비 날수 | 맑음,흐림,비온날 수<br>일조시간 | 월별경년변화 |
| | 강수 | 강수량<br>강수강도와 시간변화 | 강수량-월별경년변화<br>강우강도<br>시간당 강수량 |
| | 풍황 | 풍향출현빈도<br>이상기상시 바람<br>기타 바람특성<br>(무풍일수, 돌풍회수, 지형과 풍향 풍속) | 풍속단계별풍향출현회수-<br>월별경년변화<br>돌풍출현회수-<br>월별경년변화-시간-구역<br>무풍일-월별경년변화<br>태풍- 저기압출현회수, 통과코스<br>지형상황과 바람변화 |
| | 시정 | 시정과 기상상황<br>시계지속시간 | 안개출현회수<br>월별경년변화-지속시간-분포 |
| | 기타 | 기타 기상상황<br>(습도-적설 등) | 월별경년변화 |
| 해상조건 | 흐름상황 | 해류 성상<br>조류 성상<br>연안류 성상 | 위치-방향-속도 월별경년변화<br>최강류 시간변화 |
| | 조석 | 기본수준면<br>각종 조위조화정수<br>기상조 | 조위변화 |
| | 파랑 | 파랑발생빈도<br>이상기상시 파랑<br>파랑굴절·회절현상 | 파랑단계별출현회수- 월별경년변화<br>및 파향<br>이상기상시 파랑<br>파랑굴절·회절현상 |
| | 표사 | 표사특성 | 탁월방향<br>표사량<br>이동한계-분포<br>매몰특성<br>해안침식특성<br>쇄굴(洗掘), 비사(飛砂) 특성 |
| | 기타 | 기타 해상상황<br>(정진동 - 해일해소) | 정진동 |
| 지상조건 | 지형 | 해안지형 성상<br>해저지형 성상<br>배후지지형 성상 | 해안선 형상<br>유입하천경년변화<br>해저지형변화(깊음과 얕음)<br>육역지형 높이-경사각도 |
| | 지질 | 토질분류<br>토질역학실험 | 토질분류<br>토질역학실험결과 |
| 환경조건 | 경관 | 광범위한 현지조사<br>토지이용 관련 보존,개발지역 | 토지이용 관련 보존·개발지역<br>랜드마크 |
| | 생태계 | 육상생태계 분류와 분포<br>해중생태계 분류와 분포 | 육상동식물 분류와 분포<br>해양동식물 분류와 분포 |
| | 기타 | 기타 자연환경 | 수질-대기 오염상황과 원인 |

(2) 사회조건 평가항목

○ 레저 및 생활문화공간을 위한 정주형 플로팅 건축물은 해양관광단지 혹은 마리나항만에 위치하여 다른 해양관광 및 레크리에이션 시설과 제휴, 기능 분담을 어떻게 해 나갈지를 결정하는 것이 중요함

○ 또한 위치 특성을 파악하고 상위 관련계획, 법제도 등 사회조건을 평가할 필요가 있음

○ 사회조건에 관한 주요 평가항목을 항목별로 정리하면 [표 2-3-3]과 같음

[표 2-3-3] 사회조건 평가항목

| 분류 | 평가항목 | | 검토내용 |
|---|---|---|---|
| 커뮤니티 조건 | 사회구조<br>소득<br>직업 | 인구<br>소득<br>직업 | 인구이동-인구분포<br>남녀연령구성<br>소득단계별인구<br>직업분포상황 |
| | 생활구조 | 노동조건<br>소비구조<br>자유시간<br>생활의식<br>자동차보유상황 | 노동조건<br>소득단계별 레저비용 점유율<br>자유시간<br>해양레저활동지향성<br>자동차보유율 |
| | 지역특성 | 지역문화-풍속 등 | 풍속-습관-문화-습관-전통-역사 |
| 관광레저 조건 | 기존 레저, 문화시설 | 기존 시설 분포와 이용상황<br>플로팅 건축물 상황 | 기존시설분포,종류,성격,규모,이용상황<br>플로팅 건축물 상황 |
| | 다른 관광 - 레저자원 | 다른 해양관광-레저자원 분포와 이용상황<br>내륙관광-레저자원-시설 분포와 이용상황 | 해양관광-레저자원 및 내륙관광-레저자원 분포와 이용상황 |
| 육역이용 조건 | 토지이용 | 토지이용상황<br>공원분포와 정비상황<br>토지이용규제 | 지목별토지이용분포<br>자연공원, 도시공원분포와 정비상황<br>토지이용규제 현황 - 미래계획 |
| | 교통체계 | 교통망현황(분포-교통용량)<br>미래계획 | 교통망 정비상황<br>교통체계 미래계획 |
| | 기반시설 | 기반시설분류 - 분포 | 전기-가스-상하수도-전화 분포, 용량 |
| | 하천 | 하천상황 | 수역에 영향을 미치는 하천 |
| 수역이용 조건 | 수역이용조사 | 해변이용상황과 미래<br>수역이용분포 - 범위<br>해상교통체계 | 해변종류 - 이용가능면적<br>이용자수월별경년변화<br>항만 - 어항 - 보존 - 공원 등 구역 |

[표 2-3-3] 사회조건 평가항목(계속)

| 분류 | 평가항목 | | 검토내용 |
|---|---|---|---|
| 어업 조건 | 어항 | 어항분류와 분포 · 시설현황 | 어항종류 · 이용가능면적<br>선형별재항수 · 어종별수확고추이 |
| | 어로실태 | 어로형태 | 어로구역 · 방법 · 어기 · 어종 |
| | 활동상황 | 선박입출항 현황 등 | 계절별어선입출항시각, 집중도변화 |
| | 어업권 | 어장지정 현황 등 | 어업권설정구역, 종류 |
| 항만 조건 | 항만종류와 시설이용상황 | 항만종류, 시설이용상황 | 항만종류 · 분포<br>시설규모<br>확장구역 · 시설정비계획 |
| | 항로이용상황 | 통항선박 현황 | 항로혼잡도, 이용시간대변화 |
| 관련 계획 조건 | 관련계획 | 관련계획 현황 및 실행여부 | 국가 해양관광레저 관련 개발계획<br>지자체 해양관광레저 관련 개발계획 |
| 기타 | 주민의식 | 개발에 대한 주민수요 | 주민의식조사 |
| | 이해관계자 | 지자체, 주민, 어민 등 의견 | 주민, 해사관계자, 어업자등 의향 |
| | 법규제 | 관련 법제도 | 항만법, 어촌어항법, 해상교통안전법, 공유수면관리법 등 규제 |

라. 항목별 평가지침

○ 수상에 설치되는 정주형 플로팅 건축물 입지선정을 위한 평가에서 가장 먼저 평가해야 할 항목이 물과 관련된 수역 정온도, 수심, 수질임

○ 따라서 먼저 정온도와 수심, 수질의 평가지침부터 정함

(1) 정온도

○ 정주형 플로팅 건축물 설치를 위한 수역 정온도의 평가지침은 항만 하역작업을 위한 박지 정온도 기준과 수상레저를 위한 마리나 박지 정온도 기준을 참고하여 정하는 것이 타당함

○ 우리나라 항만설계기준[11]에 따르면 선박 정박이나 계류용 박지는 연간 97.5% 이상 정박 또는 계류가능일수를 얻을 수 있는 정온도를 확보해야 하며 일반적으로 박지 정온도는 박지 내 파고로 평가하는 것이 통례이며 이에 따라 정온도 확보를 위한 계류시설 전면박지의 하역한계 파고는 선박 종류에 따라 [표 2-3-4]와 같음

11) (사)한국항만협회, 항만 및 어항 설계기준, 제6편 수역시설 및 준설·매립, 제1장 수역시설, 2005.12 참고

[표 2-3-4] 항만 정온도를 위한 하역한계파고

| 선 형 | 하역한계파고(H1/3) |
|---|---|
| 소형선(500GT급 미만) | 0.3m |
| 중·대형선(500GT-50,000GT급) | 0.5m |
| 초대형선(50,000GT급 이상) | 0.7-1.5m |

○ 한편 마리나 관련 설계기준[12]을 살펴보면, 마리나 박지 또는 선류장은 플레저보트의 안전한 계류 또는 원활한 조선을 가능하게 하기 위해 정온하고 충분한 수심과 면적을 갖는 수면을 확보하도록 함

○ 마리나 박지 또는 선류장 내 정온도는 앞서 설명한 항만 하역한계파고에 준하는 것으로 하며 일반적으로 마리나에서 이용한계파고(H1/3)를 0.3m이하로 하고 이상기상시에는 0.5m이하를 확보하도록 계획함

○ 이러한 기준을 참고하면, 본 연구 대상인 문화공간용 정주형 플로팅 건축물이 위치할 수역은 연간 97.5% 이상 사용일수를 얻을 수 있는 정온도 확보를 위해 이용한계파고(H1/3) 0.5m이하, 이상기상시에 1.5m이하를 기준으로 하는 것이 적합함

(2) 수심

○ 플로팅 건축물이 설치되는 수역의 수심에 대한 평가지침을 위해 우선 캐나다에서 플로팅 주택을 위한 기준[13]을 살펴보면, 최저조위 시 하부 부체구조물 최저면에서 수저바닥까지 최소 0.6m 이상 공간을 확보할 수 있는 수심이 필요함

○ 또한 항로설계지침인 PIANC Rule에 의하면, 항로 수심은 [그림 2-3-2]와 같이 기본수준면을 기준으로 최대 허용 흘수, 선저여유수심, 그리고 명목상 해저면과 준설해저면의 차이를 합한 값을 최저 수심으로 하며, 이 경우 기본 수준면은 다음 사항을 고려해서 계산해야 함

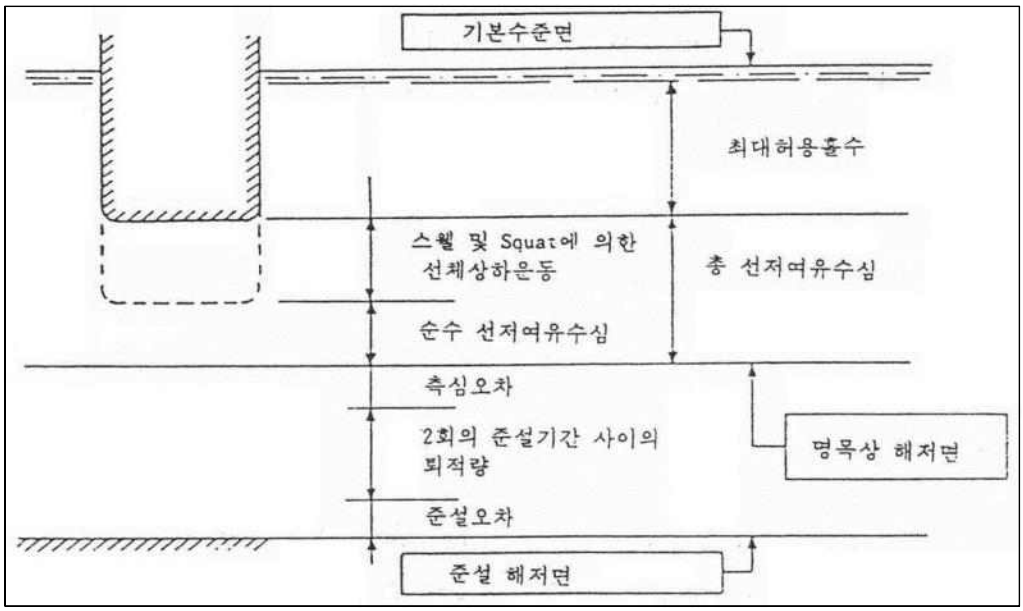
① 기상악화로 인한 수심 감소를 포함해서 최저조석상태의 최저 수준면

② 계획된 조선 시간이 초과될 경우를 대비한 안전 여유

③ 기본수준면 예측 상 부정확성과 관련한 여유

12) (사)한국항만협회, 항만 및 어항 설계기준, 제12편 마리나, 제3장 수역시설, 2005.12 참고

13) 「HITCHHIKER'S GUIDE TO THE FLOAT HOME STANDARDS」, 4. Site Development Standards, Floating Home Association Pacific Canada, http://www.floathomepacific.com/standards.htm 참고




[그림 2-3-2] 항로 수심

○ 흘수는 정온 상태 해상에서 선속이 없는 선박의 선체 최대 침하량을 말하며, 최대 허용흘수는 출입하는 선박 중 최대 선박의 국제만재흘수선 증서상의 흘수를 의미함

○ 총 선저 여유수심은 정온 상태에서 선박 최대 흘수와 항해 중 기본 수준면을 고려하여 선박의 용골에서 명목상 해저면까지 거리를 말함

○ 순수 선저여유수심은 항로를 항해할 최대 선박이 가장 극심한 바람과 파도 상태 하에서 계획 속도로 항해할 때 선체의 용골과 명목상 해저면 사이의 최소한 여유를 말며 순수 선저여유수심은 최소 0.5m되어야 하며 해저가 암반으로 되어 있는 경우 1.0m 여유 수심이 필요함

○ 선체 침하(Squat) 및 Swell에 의한 선체의 수직운동 거리도 다양한 변수들의 값 즉, Swell의 크기, 주기 및 방향, 선박의 크기와 속도, 수심 등에 따라 계산되며 결국 수심을 결정하는 데는 지역적 조건들이 매우 중요하게 작용하기 때문에 항로 최소 수심 결정에 대한 정확한 규칙을 정하는 것은 불가능함

○ 현재까지 각종 연구 및 관측 자료들을 바탕으로 하여 최소 수심에 대하여 수역 상황에 따라 권고된 내용은 다음과 같음

① 파고가 높고 파장이 긴 Swell에 노출된 해역: 총 선저 여유수심은 흘수의 15%

② 파고가 높고 파장이 긴 Swell에 노출이 덜 된 항로: 총 선저여유수심은 흘수의 15%

③ 비교적 Swell에 노출이 덜 된 항로: 총 선저여유수심은 흘수의 10%

④ Swell에 노출되어 있는 조선 및 접·이안 해역: 총 선저여유수심은 흘수의 10~15%

⑤ Swell이 차폐되어 있는 조선 및 접·이안 해역: 총 선저여유수심은 흘수의 7%

○ 정주형 플로팅 건축물 입지 경우 상기 내용 중 ③-⑤에 해당하므로 평가지침으로는 총 선저여유수심을 흘수의 10%로 정하는 것이 바람직함

(3) 수질

○ 일반적인 해역에서 수질환경기준을 정리하면 [표 2-3-5]와 같으며 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물을 설치하는 수역은 Ⅱ등급 이상 수질을 기준으로 함

[표 2-3-5] 해역 수질환경기준

| 등급 | 기준 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 수소이온농도(pH) | 화학적 산소요구량(COD)(mg/l) | 용존산소량(DO)(%) | 부유물질량(SS)(mg/l) | 대장균군수(MPN/100㎖) | 노말핵산추출물질(mg/l) | 총질소(mg/l) | 총인(mg/l) | 무기물질 등 |
| Ⅰ | 7.8~8.3 | 1이하 | 포화율 95 이상 | 10 이하 | 200 이하 | 검출되어서는안됨 | 0.05 이하 | 0.007 이하 | 6가크롬:0.05 이하<br>비소:0.05 이하<br>카드뮴:0.01 이하<br>아연:0.1 이하<br>구리:0.02 이하<br>시안,유기인,수은,<br>PCB-검출되어서는 안됨 |
| Ⅱ | 6.5~8.5 | 2이하 | 포화율 85 이상 | 25 이하 | 1,000 이하 | 검출되어서는안됨 | 0.1 이하 | 0.015 이하 | |
| Ⅲ | 6.5~8.5 | 4이하 | 포화율 80 이상 | | | | 0.2 이하 | 0.03이하 | |

1. DO를 농도로 표시하는 경우 등급Ⅰ은 6mg/l, 등급Ⅱ, 등급Ⅲ은 5mg/l 이상
2. 등급Ⅰ은 수산생물의 서실, 양식 및 산란에 적합한 수질
3. 등급Ⅱ는 해수욕 등 해양관광 및 여가선용, 등급Ⅰ외 수산생물에 적합한 수질
4. 등급Ⅲ은 공업용수, 선박정박 등 기타 용도로 이용되는 수질
5. 총질소는 NO2-N, NO3-N, NH3-N의 합계

(4) 이용적합성과 설치적합성

○ 문화공간형 정주형 플로팅 건축물 입지는 크게 이용적합성과 설치적합성의 측면에서 평가할 수 있음

○ 이용적합성은 레저 및 문화활동 측면에서 플로팅 건축물 입지의 적합성을 평가하는 것이며 설치적합성은 플로팅 건축물을 실제로 설치할 때 부체 구조물 설치 용이성 및 안전성을 평가하는 것임

○ 입지선정 평가항목과 이용적합성 및 설치적합성 관계는 [표 2-3-6]과 같음

[표 2-3-6] 평가항목과 이용 및 설치적합성 관계

| 조건 | 평가항목 | | 이용적합성 | 설치적합성 |
|---|---|---|---|---|
| 자연 조건 | 기상 조건 | 기온 | △ | |
| | | 맑은날, 흐린날, 비온날 수 | △ | |
| | | 강수(강설) | △ | |
| | | 바람상황 | ◦ | △ |
| | | 시정(視程:공기투명도) | ◦ | △ |
| | 해상 조건 | 물의 흐름(유황) | ◦ | ◦ |
| | | 조수간만차(조석) | ◦ | ◦ |
| | | 파랑 | ◦ | ◦ |
| | | 표사 | ◦ | ◦ |
| | 자연환경 조건 | 지형 | | ◦ |
| | | 지질 | | ◦ |
| | | 경관 | | ◦ |
| | | 생태계 | | ◦ |
| 사회 조건 | 커뮤니티 조건 | 사회구조 | △ | |
| | | 생활특성 | △ | |
| | 레크리에이션 조건 | 기존상황 | △ | |
| | | 관광, 레크리에이션자원시설 | △ | |
| | 육역이용 조건 | 토지이용 | ◦ | |
| | | 교통체계 | △ | |
| | | 기반시설 | ◦ | |
| | | 하천 | | △ |
| | 수역이용 조건 | 어업 | ◦ | |
| | | 항만 | ◦ | |
| | | 항로 | ◦ | |
| | 법 규 제 | | △ | ◦ |
| | 관련계획 | | △ | |
| | 주민의식 | | △ | △ |
| | 이해 관계자 의향 | | △ | △ |

주) ○ : 영향이 있다. △ : 경우에 따라 영향이 있다.

○ 레저 및 문화공간을 위한 플로팅 건축물 이용적합성을 판단하기위해 가장 중요한 조건은 기상조건, 해상조건 등 자연조건과 해안선 이용 등 임

○ 기상조건에 대해서는 특히 바람이 가장 큰 영향을 줌

○ 또한 기상조건 중 안개에 의한 시정은 다양한 수상레저를 위해 검토가 필요하고 기온, 맑은 날, 흐린 날, 비온 날의 일수는 수역이용 평가에 필요함

○ 해상조건에 대해서는 파랑발생빈도, 이상기상시 파랑발생빈도 및 파랑의 굴절, 회절 상황 평가가 필요함

○ [표 2-3-7]은 레저 및 문화용 플로팅 건축물 이용적합성 평가를 위한 해양레크리에이션 종류와 자연조건을 표시한 것이며, 특히 [표 2-3-8]은 해양레크리에이션 가운데 가장 중요한 요트활동의 자연조건 한계를 표시한 것임

○ 또한 [표 2-3-9]는 바다에서 가장 많이 발생하는 레저활동인 해수욕과 해변놀이 자연조건을 나타낸다.

○ 본 연구의 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 입지 평가지침에서는 이러한 활동기준을 포함하는 것이 바람직하다.

[표 2-3-7] 해양레크리에이션 자연조건

| 해양레크리에이션 종류 | | 기상조건 | | | | | | 해상 조건 | | | | | | | | 지형. 지질 조건 | | | | | | 기타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 기온 | 일조 | 강수 | 바람 | | 시야 | 해류 | 조류 | 연안류 | 조수간만 | 파랑 | 표사 | 수온 | 수질 | 수심 | 사빈 | 사빈암석해안 | | 암석해안 | 경관 | 어장 |
| | | | | | 풍속 | 풍향 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 해수욕 | | ◎ | ◎ | ○ | ○ | | ○ | △ | ○ | ◎ | △ | ◎ | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | | | ○ | |
| 낚시 | | △ | △ | ○ | | | | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ○ | | ○ |
| 세일 보트 | 일반 레이싱 | ○ | | ○ | ◎ | △ | ○ | | ◎ | | | ◎ | | △ | ○ | | | | | ○ | | |
| | 장거리 외양 레이싱 | | | | ◎ | | ○ | ○ | ○ | | | ◎ | | | | | | | | ◎ | | |
| | 세일링 | ○ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ◎ | △ | △ | ◎ | | ○ | △ | △ | | | | ○ | ○ | |
| | 크루징 | ○ | | △ | ◎ | | ○ | ○ | △ | △ | △ | ◎ | | △ | △ | | | | | ◎ | ○ | △ |
| 모터 보트 | 보팅 | ○ | | ○ | ○ | | ○ | | △ | | | ◎ | | △ | △ | | | | | ○ | ○ | |
| | 수상 스키 | ○ | | ○ | ○ | | ○ | | △ | | | ◎ | | △ | ○ | △ | ○ | ○ | | ○ | | |
| | 크루징 | ○ | | △ | ○ | | ○ | ○ | △ | | | ◎ | | △ | | | | | | ◎ | ○ | △ |
| | 트롤링 | △ | | △ | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | ◎ | | ○ | ○ | | | | | ◎ | | ◎ |
| 로우보트 | | | | ○ | ○ | | ○ | | ○ | ◎ | ○ | ◎ | | ○ | △ | | ○ | ○ | | | | |
| 서핑 | | ○ | | | | | △ | | ○ | ◎ | | ◎ | | ○ | △ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| 다이빙 | | △ | | △ | | | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ◎ | | ○ | ◎ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | △ |
| 해양수렵. 채집 | | | | ○ | △ | | | | | | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ◎ | ○ | | | | ○ |
| 해중공원 | | | | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ○ | | | ○ | | ◎ | ◎ |

주) ◎ : 상당히 중요하고 영향이 큼 ○ : 비교적 중요한 영향이 있음 △ : 간접적 또는 경우에 따라 영향이 있음
<출처: 染谷昭夫, 藤森泰明, 森繁 著, マリーナの計劃, 표2.3.4, p85, 鹿島出版會, 1990>

[표 2-3-8] 요트활동 자연조건

| 구 분 | 일반 레이싱 | 장거리 외양레이싱 | 세일링 | 크루징 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기 온 | 10℃ 이상 | - | 10℃ 이상 | - | 객실이 있으면 낮은 기온도 가능함 |
| 강 수 | - | - | - | - | 집중호우가 아니면 가능함 |
| 풍 속 | 15m/sec 이하 | 20m/sec 이하 | 10m/sec 이하 | 15m/sec 이하 | 배 종류. 돛의 수에 따라 달라짐 |
| 시 정 | 1.8km 이상 (1마일) | 1.8km 이상 (1마일) | 1.8km 이상 (1마일) | 0.9km 이상 (0.5마일) | 많은 배가 운행하는 수역에서 중요함 |
| 해 류 | - | - | - | - | 유속이 너무 빠르지 않아야 함 |
| 조 류 | 1m/sec 이하 (2노트 이하) | - | 1m/sec 이하 (2노트 이하) | 2.5m/sec 이하 (5노트 이하) | 풍속. 풍향에 크게 영향을 받음 |
| 파 랑 | 1.5m 이하 | - | 1.5m 이하 | - | 너울은 제외함 |
| 수 온 | 10℃ 이상 | - | 10℃ 이상 | - | 선박전복을 생각하면 저온은 위험함 |

주) 상기 수치는 일반적 활동이 곤란하다고 여겨지는 경우 뿐 아니라 이들 조건이 또 다른 경우에는 한계치 변화가 있을 수 있기 때문에 이 한계치는 상당한 변수를 가지고 있음

<출처: 染谷昭夫, 藤森泰明, 森繁 著, マリーナの計劃, 표2.3.5, p85, 鹿島出版會, 1990>

[표 2-3-9] 해수욕장 및 해변놀이 자연조건

| 활 동 / 자연조건 | 해 수 욕 | 해변놀이(낚시 등) |
|---|---|---|
| 파도의 상태 | 파고는 50cm 이내가 가장 적당하며, 1m 이상일 때는 위험 | 파고가 낮아서 위험성이 없음 |
| 조류 | 수영 한계 유속 : 50cm/sec<br>수영 주의 유속 : 20~30cm | 관련성이 적다. |
| 수온 | 수영 한계 수온 : 20~24℃ | 특별히 차가운 수온(10℃이하가 아니면 적합) |
| 수질 | 대장균 수가 1,00MPN/100㎖이하 또는 유막을 느낄 수 없을 정도, 투시도 30cm이상, pH 7.8~8.3, 바다찌꺼기, 먼지 등의 우유물이 적을 것 | 해수욕만큼 심한 제약 없으나 수질이 좋으면 적합성이 높음 |
| 해저상태 | 진흙과 암석이 없을 것, 입경 2mm 이내 모래가 적합, 해저경사는 2~10%가 적당하고, 수영 가능 수심 1.5m 적합 | |
| 수제선 | 길이 500m 이상이 적절하며 폭은 1.5m | 넓고 개방적인 해안이 적당 |
| 해양생물 | 사람에게 유해한 생물이 적을 것 | 수면이 맑고 바다생물 관측이 용이한 곳 |
| 배후여건 | 배후지에 수림지, 구릉지가 있고 좋은 햇볕과 유입하천이 없을 것 | |
| 기온 | 24℃ 이상일 것 | 추위를 느낄 정도(10℃)가 아니면 적합, 20℃이상이 적합함 |
| 날씨 | 맑은 날이 많고 한 여름이 2주간 이상 | 맑은 날이 적합함 |
| 바람 | 풍력 5m/sec 이하가 좋음 | 강풍(10m/sec)은 적합지 않음 |

<출처: 이상춘, 여호근, 최나리 공저, 해양관광의 이해, 제10장 해양관광 프로젝트, 2. 해양리조트 입지조건과 주요시설, p227~p228, 백산출판사 2004>

○ 한편 플로팅 건축물은 파랑, 조류 등 해상조건이나 설치지점의 수심, 수저지형, 지질 등 지형조건에 의해 건설비가 크게 좌우되며 그밖에 기술적으로도 곤란한 경우가 있을 수 있음

○ 따라서 적지 선정에서 설치적합성 관점에서도 충분히 검토를 할 필요가 있음

○ 이상과 같이 다양한 조건을 고려하여 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물의 설치적합성과 이용적합성 측면에서 입지선정을 위한 평가지침을 자연조건과 사회조건 평가항목에서 정리하면 [표 2-3-10] 및 [표 2-3-11]과 같음

[표 2-3-10] 설치적합성 평가지침

| 평가항목 | | | 평가지침 | 평가기준<br>(평상시:연간 97.5%이상 사용일) |
|---|---|---|---|---|
| 자연조건 | 기상 | 바람 | - 바람이 너무 세지 않은 곳 | - 평상시 풍속 15m/s 이하 |
| | | 시계 | - 안개 발생빈도가 낮은 곳 | - 짙은 안개시 시거리 500m이상<br>- 안개일수 20일 이하 |
| | | 기온 | - 연평균 기온이 높은 곳 | - 월평균수온15℃이상 10개월이상 |
| | | 날씨 | - 맑은 날, 일조시간이 많은 곳 | - 평상시 집중호우가 없을 것<br>- 쾌청일수가 100일 이상일 것 |
| | 해상 | 흐름 | - 물 흐름이 빠르지 않은 곳 | - 평상시 2.5m/s이하 |
| | | 조위 | - 조위차가 크지 않은 곳 | - 평상시 조차 1.5m이하 |
| | | 파고 | - 이상기상시 파고가 높지 않은 곳 | - 평상시 0.5m이하<br>- 이상기상시 1.5m이하 |
| | 육상 | 지형 | - 바람과 파도 영향을 적게 받는 곳 | - 암초 등 장애물이 없는 곳 |
| | | 지질 | - 부체구조물 앵커설치 지장 없는 곳 | |
| 사회조건 | 해역 | 수역 | - 수역이용에 법규제 영향이 없는 곳<br>- 다른 수역시설과 복합 이용가능한 곳 | |
| | 어업 | 어업 | - 어업활동에 영향을 주지 않는 곳<br>- 구획어업권이 설정되어 있지 않은 곳<br>- 어선항행에 영향을 주지 않는 곳 | |
| | 기타 | 주민 | - 주민과 민원을 해결하기 쉬운 곳 | |

[표 2-3-11] 이용적합성 평가지침

| 평가항목 | | | 평가지침 |
|---|---|---|---|
| 자연조건 | 기상 | 바람 | - 태풍 등 강한 바람을 직접 받는 장소는 바람직하지 않음 |
| | | 시계 | - 안개발생빈도가 높은 장소는 바람직하지 않음 |
| | 해상 | 파랑 | - 내만(內灣)·후미진 곳 등 파랑조건이 좋은 장소가 바람직함<br>- 항만 등 이미 외곽시설이 조성되어 있는 곳이 유리하함 |
| | | 흐름 | - 주변 흐름에 큰 영향을 주는 장소는 바람직하지 않음<br>- 주변 흐름은 느린 쪽이 좋음<br>- 유입하천 및 높은 수위 시 흐름 영향이 경미한 것이 바람직함 |
| | | 표사 | - 폭우 때 표사(表沙)영향에 의해 매몰 위험성이 없는 장소가 좋음 |
| | 지상 | 지형 | - 설치수심은 건설비 관계 등으로 너무 깊지 않은 곳이 좋음<br>- 배후지와 고저차가 작고 급경사면을 형성하지 않는 곳이 좋음 |
| | 환경 | 경관 | - 보존지구로 지정된 곳은 좋지 않음<br>- 배후지 경관이 아름다운 곳이 좋음 |
| | | 생태계 | - 생태계를 교란시킬 우려가 있는 장소는 좋지 않음 |
| 사회조건 | 구조 | 구조특성 | - 배후인구가 많은 것이 좋음(반경 100km이내 최소 100만 명)<br>- 거점도시와 가까운 것이 좋음(차로 1시간 거리) |
| | 배후이용 | 토지이용 | - 토지이용 상 규제가 엄격하지 않은 장소가 좋음<br>- 해양관광레저 관련 토지이용계획이 수립된 곳이 바람직함 |
| | | 수역이용 | - 기존 도시인프라시설을 이용하기 쉬운 장소가 바람직함<br>- 플로팅 건축물과 조화되는 수역이용계획이 있는 곳이 바람직함 |
| | 해역이용 | 법규제 | - 기존 이용이나 법규제가 없는 곳이 바람직함 |
| | 어업이용 | 어업 | - 허가어업 등 어민활동에 영향을 미치는 장소는 좋지 않음<br>- 구획어업권이 설정되어 있지 않은 장소가 바람직함<br>- 어선의 항행에 영향을 주는 장소는 좋지 않음 |
| | 기타 | 주민 | - 이해 관계자와 민원을 해결하기 쉬운 장소가 바람직함 |

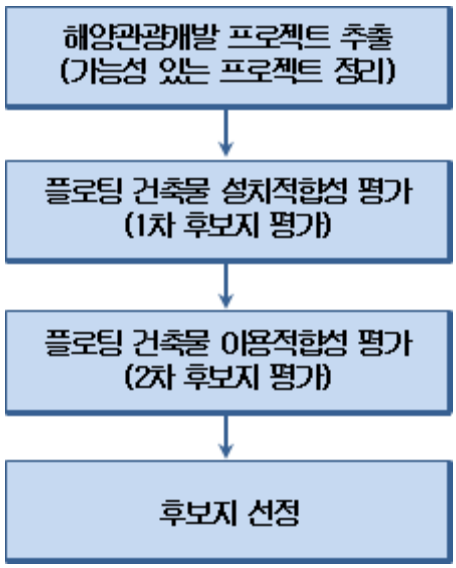
마. 후보지 선정

(1) 후보지 선정과정

○ 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 입지는 앞서 정리한 최적지 선정기준 및 항목별 입지 평가지침의 자연조건과 사회조건을 만족해야 하는데 마리나항, 해양관광단지, 해양리조트, 항만재개발지역은 일반적으로 플로팅 건축물 입지조건을 대부분 만족하는 환경을 갖추고 있음

○ 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 후보지 선정은 전라남도와 전라북도 해안지역을 대상으로 정부와 지자체에서 진행하고 있는 마리나항, 해양관광단지, 해양리

조트, 항만재개발 등 해양관광 개발사업을 추출하여 기존 혹은 계획 프로젝트로부터 유망대상지역을 추출하고자 하며 그 과정은 [그림 2-3-3]와 같음




[그림 2-3-3] 후보지 선정과정

○ 특히 해양관광개발 가운데서 마리나항과 항만재개발은 플로팅 건축물이 들어서기에 적합한 정온한 수역 정비가 이루어지고 수역을 중심으로 주변 육역에 해양레저 및 문화시설을 비롯한 복합시설이 정비되며 이를 위한 도시기반시설 정비가 이루어지므로 본 연구의 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물이 들어서기에 가장 적합한 조건을 갖추고 있음

○ 국토해양부는 2010년 1월 '제1차(2010-2019) 마리나항만 기본계획'을 고시하고 정부에서 마리나항만 인프라시설 정비를 지원하는 국가 마리나항만 대상지역 43곳을 정하였는데 이 가운데 전남·북 해안지역에서는 전북권 2개소, 전남권 3개소, 서남권 4개소가 선정되었음

○ 따라서 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 후보지 선정과정은 먼저 전남·북 해안지역에서 계획되고 있는 국가 마리나항만 예정지와 항만재개발지역을 중심으로 하여 기존 해양관광시설이 조성된 곳과 2000년 이후 국가와 지자체에서 계획 혹은 추진 중인 해양광관단지, 해양복합생활공간, 해양리조트 관련 프로젝트를 추출하고 이 가운데서 플로팅 건축물이 들어설 가능성이 있는 주요 프로젝트를 선별함

○ 다음으로 이들 가능성 있는 프로젝트를 대상으로 1차 후보지 평가를 실시함

○ 1차 후보지 평가는 플로팅 건축물의 설치를 위한 조건을 검토하여 설치적합성이 있는 프로젝트를 추출하며 이렇게 추출된 설치적합성이 있는 프로젝트를 대상으로 2차

후보지를 평가함

○ 2차 후보지 평가는 레저 및 문화공간용 플로팅 건축물의 이용 조건 및 효과를 검토하여 이용적합성 있는 프로젝트를 추출하며 이렇게 추출된 프로젝트의 입지를 후보지로 선정함

(2) 기존 운영시설 및 계획 프로젝트

(가) 전북해안지역 계획 프로젝트

○ ‘제1차(2010-2019) 마리나항만 기본계획’ 중 전북지역은 ‘고군산 마리나항만’, ‘비응 마리나항만’ 2개소가 포함되어 있음

○ 새만금지역에 다양한 해양개발 프로젝트가 계획됨

○ 군산시는 군산항재개발사업을 비롯하여 새만금과 연계된 해양개발계획이 계획되어 있음

○ 부안군 역시 새만금과 연계된 해양개발계획이 계획되어 있으며 변산반도와 격포, 줄포 등 어항을 위주로 하는 해양개발 계획이 추진 중 임

○ 고창군 지역은 지역 어촌어항 개발사업과 갯벌을 활용한 개발사업이 추진 중에 있음

○ 전북해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트를 정리하면 [표 2-3-12]와 같음

[표 2-3-12] 전북해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트

| 구 분 | 개 발 사 업 | 내 용 |
|---|---|---|
| 서해안권<br>관광개발계획 | 전라북도<br>(가칭 : JB sunset 리조트) | <공간요소-부안군 새만금지구><br>골프장 증 대규모 레져시설을 집중 배치<br>JB sunset 리조트의 중심레저기능 담당 |
| | | <공간요소-부안군 변산지구><br>내변산의 산악자원과 외변산의 해양자원을 연계한 다양한 레저활동 가능 수행 |
| | | <공간요소-군산시 고군산 지구><br>설해의 절경, 낙조 등 해양경관을 감상 할 수 있는 테마관광지 |

[표 2-3-12] 전북해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트(계속)

| 구 분 | 개 발 사 업 | 내 용 |
|---|---|---|
| 새만금 지구 | 새만금 주변지역 문화관광자원 개발 종합기본계획 | 군산시,김제군,부안군, 외측바다 및 유.무인도서(공간 범위) |
| | 새만금 방조제 명소화 만들기 기본계획 수립 | 군산시, 김제군, 부안군 일원(공간 범위) |
| | 새만금 군산경제자유구역 지정을 위한 개발계획 수립 | 군산시, 부안군일원 새만금 간척지 및 고군산군도 일원(공간 범위) |
| | 새만금 종합개발계획 (Master Plan) | 신시-야미 메가리조트계획 복합해양레저단지 조성 |
| 군산시 | 환황해권 국제해양관광지 계획 | 군산시 옥도면 일원(공간 범위) |
| | 환황해권 국제해양관광지 조성 | 해양문화전시관, 마리나시설, 생태박물관, 관광호텔 등 |
| | 진포해양테마공원 조성 | 육해공군 퇴역군 장비(11종 14대)전시 |
| | 금강호 관광지 조성 | 생태학습장, 식물원, 조각공원, 관광호텔 등 |
| | 고군산마리나 항만 | 관광 레저, 휴양시설개발과 연계한 중·대형 복합 레저공간을 갖춘 리조트형 마리나로 개발 |
| | 비응마리나항만 | 중소 규모의 수요에 대응하는 연안 중간기항지 역할을 수행하는 레포츠형 마리나로 개발 |
| | 해양레저 태마 공원 (2000년 전북 해양관광진흥 기본계획) | 골프장, 생태학습장, 테니스장, 워터파크 시설, 테마형 호텔, 자전거 전용도로, 다목적 스포츠 광장, 편의시설 등 |
| | 신시도 해양낚시공원 조성 | 관리동, 낚시교, 관리탑, 자원조성시설, 편의시설 및 관찰 체험장, 관리선 및 접안시설, 안전시설 기타 보조 시설 등 |
| | 수상빌리지 조성 | 숙박시설, 설비시설, 접근시설, 구조형식 등 |
| | 항만 재개발 계획 | 주거 및 주상복합 기능, 문화.숙박,업무기능의 복합 타운 및 근대조세 박물관, 근대상업사 박물관 등 |
| 고창군 | 고창갯벌 습지보호지역관리 | 염전체험, 갯벌웰빙생태체험 및 스포츠테마파크 등 |
| | 어촌종합개발사업 | 종합안내센터, 수산물판매장, 수산물가공처리시설 등 |
| | 구시포 국가어항개발 | 연육도로, 방파제, 물량장, 호안, 선양장 등 |
| | 구시포항 관광 개발 | 모노레일, 수산물판매장, 해양공원, 잔망대, 산책로 등 |
| | 도서종합개발사업 | 갯벌건강공원, 해안순환도로, 향토갯벌민박, 공중화장실 등 |

[표 2-3-12] 전북해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트(계속)

| 구 분 | 개 발 사 업 | 내 용 |
|---|---|---|
| 부안군 | 격포 다기능 어항 개발 | 해양공원, 분수공원, 아쿠아리움, 테라소테라피 등 |
| | 부안 해양테마파크 조성 | 육.해.공군 전투장비 전시, 해양전시관, 전투체험관 등 |
| | 줄포 갯벌습지보호구역 조성 | 갯벌생태계 복원, 갯벌생태학습관 건립 등 |
| | 변산 해수욕장 개발 | 호텔, 관광펜션, 어촌체험장, 홍보관, 파크골프장 등 |
| | 해의길 관광명소사업(바둑공원) | 바둑대국장, 전시관, 컨벤션홀, 야외광장 등 |
| | 모항관광단지 조성 | 가족호텔, 휴양콘도미니엄, 관광펜션, 전망대, 주차장 등 |
| | 격포 친수공간 조성 | 수상쇼핑레져센터, 해변광장, 친수데크, 수변공원, 이벤트 광장, 산책로 등 |
| | 궁항 해양마리나 시설 조성 | 요트계류장, 클럽하우스, 해양체험 및 항해술 교육장, 정비소, 해양 관광 시설, 상업.숙박시설 등 |
| | 모항 헬스케어타운 조성 | 의료시설, 실버타운, 한방, 재활 등 비응급 중심치료 시설, 테라소 테라피(기능성 해수탕), 해안산책로, 미니골프장, 명상원 등 |
| | 위도 해양리조트 조성 | 해변공원, 해양레포츠센터, 워터파크, 해양수족관, 해양식물 공원, 숙박시설, 상업시설 등 |




[그림 2-3-4] 전북해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트 위치도

(나) 전남해안지역 계획 프로젝트

○ ‘제1차(2010-2019) 마리나항만 기본계획’ 중 전남 및 서해안지역은 ‘화원 마리나만’, ‘팽목 마리나항만’, ‘목포 마리나항만’, ‘함평 마리나항만’ 4개소가 포함되어 있음

○ 항만재개발계획, 제2차 해양수산발전기본계획(2010년), 남해안권 발전종합계획 및 2012년 여수세계박람회 등의 해양개발계획이 전남해안지역에 계획되어 추진중에 있음

○ 전남해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트를 정리하면 [표 2-3-13]과 같음

[표 2-3-13] 전남해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트

| 구 분 | 개 발 사 업 | 내 용 |
|---|---|---|
| 강진군 | 미래형 해양복합공간<br>(정주형 해양리조트) 후보지 | <공간적 범위 - 가우도 지구><br>해양마리나 시설 및 레포츠 기반을 조성하려는 개발 방향을 수립 |
| 진도군 | | <공간적 범위 - 죽림리 지구><br>종합적인 테마공간으로 조성하려는 계획을 수립 |
| 완도군 | | <공간적 범위 - 화흥포 지구><br>해양리조트, 국민휴양촌, 체험어장<br>개발계획을 수립 |
| 여수시 | 미래형 해양복합공간후보지<br>(정주형 해양리조트) | <공간적 범위 - 소호 지구><br>주거, 해양, 레포츠, 역사·문화학습 체험관광 |
| | 소호 마리나항만 | 중간규모 이상의 도시근교형 마리나로 해양레저활동의 거점역할을 수행하는 마리나로 개발 |
| | 소호·망끝 해양관광거점단지개발 | 복합적인 도시형 해상관광단지 개발 |
| | 화양 관광단지<br>(남해안 해양관광단지) | 2003년 경제자유구역, 2004년도 사업시행자 후 추진중 |
| | 2012여수세계박람회<br>(여수 해양엑스포관광지) | 2012년 세계박람회개최, 박람회 개최 후 「Eco-Polis」 핵심거점 조성 |
| | 여수 마린피아<br>(남해안관광밸트개발계획) | 남해안관광벨트개발계획 중 종합휴양권<br>거점지역: 여수, 부거점지역: 보성만 |
| | 해양리조트 및 해양벨트구축 | 여수중장기 종합발전계획 가막만 중심 개발계획 |
| 목포시 | 목포마리나항만 | 중소 규모의 수요에 대응하는 연안 중간기항지 역할을 수행하는 레포츠형 마리나로 개발 |
| | 남항 친수문화공간종성 | 친수 문화 공간 |
| | 목포 항만재개발계획 | 테마형 상가몰, 미술관, 공연장, 공원, 오피스 시설, 소형선계류시설 등 |
| | 목포 Gate City<br>(남해안관광밸트개발계획) | 남해안관광벨트개발계획 중 역사·문화관광권 |

[표 2-3-13] 전남해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트(계속)

| 구 분 | 개 발 사 업 | 내 용 |
|---|---|---|
| 광양시 | 광양항 해양생태공원, 관광목장 조성 | 해양관광진흥기본계획(2003년) |
| | 광양항 항만재개발 계획 | 근린시설, 위락시설, 해양환경개선 연구단지, 자동차 서킷, 문화시설, 해양생태공원,<br>해양 습지 등 |
| 완도군 | 완도 마리나항만 | 중소 규모의 수요에 대응하는 연안 중간기항지 역할을 수행과 다도해 해상 네트워크 형성을 위한 레포츠형 마리나로<br>개발 |
| 고흥군 | 수상가옥 입지 후보지 | 보드 세일링을 즐길 수 있는 시설,<br>수상가옥 |
| | 남열 마리나항만 | 중소 규모의 수요에 대응하는 연안 중간기항지 역할을 수행하는 레포츠형 마리나로 개발 |
| 해남군 | 화원 마리나항만 | 배후권역의 관광 레저, 휴양시설개발과 연계한 중·대형 복합 레저공간을 갖춘 레포츠형 마리나로 개발 |
| | 화원 관광단지<br>(남해안 해양관광단지) | 블랑코 비취 해수욕장 개장, 골프장 등 |
| | 미래형 해양복합공간<br>(정주형 해양리조트) 후보지 | <공간적 범위 - 송종 지구><br>해양수산 전시관, 어촌체험 프로그램 |
| | 수상가옥 입지 후보지 | 리조트호텔, 수상가옥 |
| 영암군 | F1국제자동차 경주대회 | 해양레포츠, 생태체험, 역사문화체험 등 다양한 관광 프로그램 개발 |
| 진도군 | 팽목 마리나항만 | 중소 규모의 수요에 대응하는 연안 중간기항지 역할을 수행하는 레포츠형 마리나로 개발 |
| 함평군 | 함평 마리나항만 | 중소 규모의 수요에 대응하는 연안 중간기항지 역할을 수행하는 레포츠형 마리나로 함평군의 개발계획 반영 |
| | 미래형 해양복합공간<br>(정주형 해양리조트) 후보지 | <공간적 범위 - 석창리 지구><br>해양복합시설 |
| | 수상가옥 입지 후보지 | 마리나 이욕객 대상 수상가옥 |
| 무안군 | 수상가옥 입지 후보지 | 부유식 바다낚시터개발과 함께 검토 |
| 신안군 | 해남 화원관광단지 개발, 홍도 관광지개발 | <공간적 범위 - 도서 연안권> |
| | 미래형 해양복합공간<br>(정주형 해양리조트) 후보지 | <공간적 범위 - 자은면 지구><br>갯벌생태공원, 임해복합개발형의 관광지구 |




[그림 2-3-5] 전북해안지역 기존계획 및 추진 프로젝트 위치도

(3) 플로팅 건축물 설치적합성 평가

○ 이상에서 선정한 기존 계획 및 추진 프로젝트 가운데 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 설치적합성을 평가하여 1차 프로젝트를 선정함

○ 여기에서 선정기준은 앞장에서 제시한 최적지 선정기준 및 입지평가지침 가운데 [표 2-3-10] 설치적합성 평가지침을 바탕으로 기존 계획 및 추진 프로젝트 상황을 고려하여 다음과 같이 정함

① 수역 정온도를 확보할 수 있을 것

· 정온도를 확보를 위한 천혜 자연조건을 갖춘 곳

· 항만(마리나항)이 이미 조성되어 있는 곳

· 항만(마리나항)의 조성계획이 있는 곳

② 충분한 수역과 수심을 확보할 수 있을 것

· 플로팅 건축물 면적과 주변 활동영역이 확보된 곳

· 수심이 충분하거나 수심 확보가 가능한 곳

· 충분한 수역 및 수심 조성계획이 있는 곳

③ 수역에 플로팅 건축물 설치가 자유로울 것

· 수상 건축물 설치를 위해 법규제(보호지역) 해결가능한 곳

· 기존 어업권과 갈등을 해결할 수 있는 곳

· 육역 주민과 민원문제를 해결할 수 있는 곳

(가) 전북해안지역 설치적합성 평가

○ 전북해안지역을 대상으로 마리나항만, 항만재개발, 해양관광단지, 해양리조트 관련 국가, 지자체 등에서 계획 혹은 추진하고 있는 프로젝트를 조사하여 플로팅 건축물이 들어설 가능성이 있는 16개 프로젝트를 선정하였음

○ 이들 16개 프로젝트를 대상으로 수역정온도, 수역크기 및 수심, 설치자유도(법규제 및 어업권)를 평가항목으로 하여 관련 자료 및 인공위성 사진 등을 이용하여 '제1차 후보지 평가'로서 '설치적합성'을 평가하였음

○ 이러한 1차 후보지 평가결과 한개 항목에서라도 '부적합함(×로 표시)' 평가를 받은 것을 제외한 8개 프로젝트를 선정하였음

○ 8개 가운데 '서해안권관광개발계획'의 새만금지구는 '새만금종합개발계획'의 신시-야미 메가리조트 프로젝트와 중복되며, '서해안권관광개발계획'의 고군산지구는 '1차 마리나항만기본계획'의 고군산마리나항만과 중복되므로 제외하고 남은 6개 프로젝트 입지를 '2차 후보지 평가'인 이용적합성 평가의 대상으로 선정하였음

[표 2-3-14] 전북해안지역 플로팅 건축물 1차 후보지 평가(설치적합성)

| 구 분 | 프로젝트명 | 프로젝트장소 | 프로젝트규모 | 설치적합성 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수역 정온도 | 수역크기 /수심 | 설치 자유도 |
| 제1차마리나항만 기본계획 | 고군산마리나항만 | 군산시 옥도면 신시도리 산4-58일원 | 해상:34,550㎡ 육상:165,450㎡ | ◦ | ◦ | ◦ |
| | 비응마리나항만 | 군산시 비응도동 102-121번지일원 | 해상:15,250㎡ 육상:24,750㎡ | ◦ | ◦ | ◦ |
| 제1차항만재개발 기본계획 | 군산항항만재개발 | 군산시 장미동 일원 및 전면 공유수면 | 해상:257,371㎡ 육상:216,929㎡ | ◦ | × | ◦ |
| 전라북도해양관광 진흥기본계획 | 해양레저테마공원 | 군산시 해망동 일원 | 전체:1,500,000㎡ | ◦ | × | △ |
| | 신시도해양낚시공원 | 군산시 옥도면 신시도 일원 | | × | ◦ | △ |
| | 수상빌리지 | 군산시 내흥동 일원 | | × | × | △ |
| | 격포친수공간 | 부안군 변산면 격포국가어항 일원 | | ◦ | ◦ | △ |
| | 궁항마리나시설 | 부안군 변산면 격포리 일원 | | △ | ◦ | △ |
| | 모항헬스케어타운 | 부안군 변산면 도청리 일원 | | × | ◦ | △ |
| | 위도해양리조트 | 부안군 위도면 치도리 일원 | | × | ◦ | △ |
| | 외죽도 해양관광레저단지 | 고창군 심원면 만돌리 산1번지 | 전체:144,000㎡ | × | ◦ | △ |
| 서해안권관광 개발계획 | 새만금지구 | 부안군 계화면 새만금사업지 내 | 전체:약300만평 | ◦ | ◦ | ◦ |
| | 변산지구 | 부안군 변산반도 일원 | 전체:약16만평 | | | |
| | 고군산지구 | 군산시 옥도면 선유도, 신시도 등 | 전체:약26만평 | ◦ | ◦ | ◦ |
| 새만금종합 개발계획 | 신시-야미 메가리조트 | 새만금사업지 내 신시-야미관광레저용지 | 전체:1.95㎢ | ◦ | ◦ | ◦ |
| 시·군추진사업 | 구시포항 국가어항개발 | 고창군 구시포항 | | △ | ◦ | △ |

주) ○ : 적합함, △: 적합가능성 있음, ×:부적합함

(나) 전남해안지역 설치적합성 평가

○ 전남해안지역을 대상으로 마리나항만, 항만재개발, 해양관광단지, 해양리조트 관련 국가, 지자체 등에서 계획 혹은 추진하고 있는 프로젝트를 조사하여 플로팅 건축물이 들어설 가능성이 있는 23개 프로젝트를 선정하였음

○ 이들 23개 프로젝트를 대상으로 수역정온도, 수역크기 및 수심, 설치자유도(법규제 및 어업권)를 평가항목으로 하여 '1차 후보지 평가'로서 '설치적합성'을 평가하였으며 이러한 1차 후보지 평가결과 한개 항목에서라도 '부적합함(×로 표시)' 평가를 받은 것을 제외한 14개 프로젝트를 선정하였음

○ 이 가운데 '미래형 해양복합생활공간조성계획'의 여수시-소호는 '제1차마리나항만기본계획'의 소호마리나항만과 중복되며, '남해안관광단지'의 해남 화원관광단지는 '1차 마리나항만기본계획'의 화원마리나항만과 중복되므로 제외하였음

○ 또한 목포마리나항만의 입지와 목포항 항만재개발입지는 이웃에 면하고 있어서 둘 중에서 목포마리나항만을 선정하였으며, '리조트형 수상가옥촌 조성계획'의 함평군은 '1차 마리나항만기본계획'의 함평마리나항만과 이웃하므로 제외하였고 이와 같이 4개를 제외한 10개 프로젝트의 입지를 '제2차 후보지 평가'인 이용적합성 평가의 대상으로 선정하였음

[표 2-3-15] 전남해안지역 플로팅 건축물 1차 후보지 평가(설치적합성)

| 구 분 | 프로젝트명 | 프로젝트장소 | 프로젝트규모 | 설치적합성 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수역 정온도 | 수역크기 /수심 | 설치 자유도 |
| 제1차 마리나항만 기본계획 | 화원마리나항만 | 해남군 화원면 주광리 374-2번지 일원 | 해상: 83,500㎡ 육상: 94,400㎡ | ○ | ○ | ○ |
| | 팽목마리나항만 | 진도군 임회면 남동리 산 85-7번지 일원 | 해상: 15,250㎡ 육상: 24,750㎡ | ○ | ○ | ○ |
| | 목포마리나항만 | 목포시 산전동 1452번지 일원 | 해상: 15,250㎡ 육상: 24,750㎡ | ○ | ○ | ○ |
| | 함평마리나항만 | 함평군 손불면 학산리 1013-32번지 일원 | 해상: 15,250㎡ 육상: 24,750㎡ | ○ | ○ | ○ |
| | 완도마리나항만 | 완도군 완도읍 북방파제 704번지 일원 | 해상: 15,250㎡ 육상: 24,750㎡ | ○ | ○ | ○ |
| | 남열마리나항만 | 고흥군 영남면 남열리 212-3번지 일원 | 해상: 15,250㎡ 육상: 24,750㎡ | ○ | ○ | ○ |
| | 소호마리나항만 (여천요트장) | 여수시 소호동 1181-2번지 일원 | 해상: 15,250㎡ 육상: 24,750㎡ | ○ | ○ | ○ |

주) ○ : 적합함, △: 적합가능성 있음, ×:부적합함

[표 2-3-15] 전남해안지역 플로팅 건축물 1차 후보지 평가(설치적합성)(계속)

| 구 분 | 프로젝트명 | 프로젝트장소 | 프로젝트규모 | 설치적합성 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수역 정온도 | 수역크기 /수심 | 설치 자유도 |
| 제1차 항만재개발 기본계획 | 목포항 항만재개발 | 1차: 목포시 해안동, 금화동 일원 및 공유수면<br>추가: 목포시 산정동 준설토 투기장 | 1차<br>해상: 83,639㎡<br>육상: 73,861㎡<br>추가<br>육상: 355,364㎡ | ◦ | ◦ | ◦ |
| | 광양항 항만재개발 | 여수시 묘도동 준설토기장 | 육상:3,085,800㎡ | △ | ◦ | ◦ |
| 미래형 해양복합생활 공간조성계획 | 강진군-가우도 | 강진만내 가우도 | | × | ◦ | △ |
| | 진도군-죽림리 | 진도군 임회면 | | △ | ◦ | × |
| | 여수시-소호 | 여수시 소호동 | | △ | ◦ | ◦ |
| | 해남군-송종 | 해남군 송종해수욕장 | | × | ◦ | △ |
| | 함평군-석상리 | 함평군 돌머리해수욕장 | | △ | × | △ |
| | 완도군-화흥포 | 완도군 화흥항 | | × | ◦ | △ |
| | 신안군-자은면 | 신안군 자은면 자은해수욕장 | | × | ◦ | △ |
| 리조트형 수상가옥촌 조성계획 | 함평군 | 학산리 함평항 함평마리나 | | ◦ | ◦ | △ |
| | 무안군 | 성내리 모래야적장 일대 | | × | ◦ | △ |
| | 해남군 | 화원면 주광리 일대 | | ◦ | × | △ |
| | 고흥군 | 덕흥리 덕흥해수욕장 일대 | | △ | × | △ |
| 남해안해양관광단지 | 여수 화양관광단지 | 여수시 화양면, 화정면 일대 | 전체: 9.99㎢ | △ | ◦ | ◦ |
| | 해남 화원관광단지 | 해남군 화원면 일원 | 전체: 5,0090,932㎡ | ◦ | ◦ | ◦ |
| 2012여수 세계박람회 | 2012여수세계박람회 | 여수시 덕충동 일대 | 육상: 1,745,000㎡ | ◦ | ◦ | ◦ |

주) ○ : 적합함, △: 적합가능성 있음, ×:부적합함

(4) 플로팅 건축물 이용적합성 평가

○ 이상에서 선정된 후보지 가운데 다음 단계로서 이용적합성을 검토하여 2차 평가를 실시하여 최종 후보지를 결정함

○ 이용적합성 검토에서 사용된 평가기준은 최적지 선정기준 및 입지평가지침 가운데 [표 2-3-11] 이용적합성 평가지침을 바탕으로 기존 계획 및 추진 프로젝트 상황을 고려하여 다음과 같이 정하였음

① 해양관광레저를 위한 복합시설이 있는 곳

· 해양관광레저를 위한 복합시설계획이 수립된 곳

· 해양관광레저 활동을 위해 수역이용계획이 수립된 곳

· 육역 관광레저시설과 일체화를 통해 시너지 효과를 높일 수 있는 곳

② 정주생활을 위한 인프라시설이 설치 혹은 계획된 곳

· 정주생활을 위한 인프라시설이 구축 혹은 계획된 곳

· 접근시설(도로, 주차장, 잔교 등)이 구축 또는 계획된 곳

· 배후지에 관광레저 인프라시설이 구축 또는 계획된 곳

③ 연중 집객력이 우수한 곳

· 배후지역 인구가 많은 곳(반경 100km 내에 100만 명 이상)

· 거점도시와 가깝고 접근성이 좋은 곳(자동차로 1시간 거리)

· 사계절 경관이 수려하고 자연환경이 좋은 곳

(가) 전북해안지역 이용적합성 평가

○ 전북해안지역에서 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 후보지 2차 평가는 1차 평가 결과 선정된 6개 프로젝트를 대상으로 이용적합성을 평가함

○ 평가항목으로는 해양관광레저 복합시설(단지), 접근성을 비롯한 정주생활 인프라시설, 인근 거점도시 인구상황 및 거리 등 연중 집객력의 세 가지이며 관련 자료를 이용하여 평가한 결과는 [표 2-3-16]과 같음

○ 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 후보지 2차 평가결과를 [표 2-3-16]에서 보면 세 가지 평가항목 가운데 한 개 항목에서라도 '부적합함(×로 표시)' 평가를 받은 곳을 제외하고 국가 마리나항만 개발프로젝트인 고군산마리나항만, 비응마리나항만 그리고 새만금내부 개발프로젝트인 신시-야미 메가리조트 프로젝트의 입지를 최종 후보지로 선정함

[표 2-3-16] 전북해안지역 플로팅 건축물 2차 후보지 평가(이용적합성)

| 프로젝트명 | 해양레저복합시설 (해양관광단지) | 인프라시설 (접근성) | 거점도시 (인구,거리) | 이용적합성 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 레저복합시설 | 인프라시설 | 집객력 |
| 고군산마리나항만 | 환황해 국제해양관광단지 | 새만금방조제 도로 및 고군산도 연결도로 | 군산(인구27만명,동군산IC에서 약 42㎞) | ◦ | ◦ | ◦ |
| 비응마리나항만 | 군산 국제해양관광도시 | 국도(4,27,21호선)와 지방도에 의해 접근가능 | 군산(인구27만명,동군산IC에서 약 29km) | ◦ | ◦ | ◦ |
| 격포 국가어항 | 격포친수공간(수상쇼핑레저센터, 수변공원 등) | 국도30호 및 지방도에 의해 접근가능 | 부안(인구6만명,부안군청에서 약32㎞) | × | ◦ | △ |
| 궁항마리나시설 | 요트계류장, 클럽하우스, 해양관광시설, 상업숙박시설 등 | 국도30호 및 지방도에 의해 접근가능 | 부안(인구6만명,부안군청에서 약35㎞) | × | △ | △ |
| 신시-야미 메가리조트 | 복합해양레저단지(숙박·레저·오락·휴양 등) | 새만금방조제 도로 | 군산(인구27만명,동군산IC에서 약 40㎞) | ◦ | ◦ | ◦ |
| 구시포 국가어항 | 구시포항 관광개발(모노레일, 수산물판매장, 해양공원, 전망대 등) | 국도22호 및 지방도에 의해 접근가능 | 고창(인구7만명,고창군청에서 약28㎞) | × | △ | △ |

주) ○ : 적합함, △: 적합가능성 있음, ×:부적합함

(나) 전남해안지역 이용적합성 평가

○ 전남해안지역에서 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 후보지 2차 평가는 1차 평가 결과 선정된 10개 프로젝트를 대상으로 이용적합성을 평가하였음

○ 평가항목으로는 해양관광레저 복합시설(단지), 접근성을 비롯한 정주생활 인프라시설, 인근 거점도시 인구상황 및 거리 등 연중 집객력의 세 가지를 가지고 평가하였으며 평가결과는 [표 2-3-17]과 같음

○ 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 2차 후보지 평가결과를 [표 2-3-17]에서 보면 세 가지 평가항목 가운데 한 개 항목이라도 '부적합함(×로 표시)' 평가를 받은 곳을 제외하고 국가 마리나항만 개발프로젝트인 화원마리나항만, 목포마리나항만, 남열마리나항만 그리고 여수화양관광단지, 2012여수세계박람회 프로젝트 등 5개 프로젝트의 입지를 최종 후보지로 선정하였음

[표 2-3-17] 전남해안지역 플로팅 건축물 2차 후보지 평가(이용적합성)

| 프로젝트명 | 해양레저시설 (관광단지) | 인프라시설 (접근성) | 거점도시 (인구,거리) | 이용적합성 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 레저복합시설 | 인프라시설 | 집객력 |
| 화원마리나항만 | 해남화원관광단지 | 국도77호 및 지방도에 의해 접근가능 | 목포(인구28만명, 목포IC에서 약 35㎞) | ◦ | ◦ | ◦ |
| 팽목마리나항만 | 팽목마린시티 | 국도18호에 의해 접근가능 | 진도(인구3.5만명,진도군청에서 약 20km) | ◦ | △ | × |
| 목포마리나항만 | 삼학도관광특구, 목포항만재개발 | 서해안고속도로 및 KTX종착지 | 목포(인구28만명, 목포시내) | ◦ | ◦ | ◦ |
| 함평마리나항만 | 함평나비축제, 함평항개발 | 국도30호 및 지방도에 의해 접근가능 | 광주(인구145만명,광주시청에서 약55㎞) | × | △ | △ |
| 완도마리나항만 | 다도해해상국립공원 | 국도13,77호 및 지방도에 의해 접근가능 | 목포(인구28만명, 목포IC에서 약 65㎞) | × | △ | △ |
| 남열마리나항만 | 고흥 우리해양리조트 특구, 나로도 우주센터 | 국도2호 및 지방도에 의해 접근가능 | 순천(인구27만명, 서순천IC에서 약55㎞) | ◦ | △ | △ |
| 소호마리나항만 | 2012여수세계박람회연계, 디오션리조트 | 국도17호 및 지방도에 의해 접근가능 | 여수(인구30만명, 여수시내) | × | △ | △ |
| 광양항 항만재개발 | 묘도관광휴양지(골프장, 해양생태공원 등) | 접근로없음(선박으로 접근가능) | 여수(인구30만명, 여수시내) | △ | × | △ |
| 여수 화양관광단지 | 화양해양관광복합단지 | 국도17호 및 지방도에 의해 접근가능 | 여수(인구30만명, 여수시청에서 약10㎞) | ◦ | ◦ | ◦ |
| 2012여수 세계박람회 | 세계박람회, 에코폴리스 | 여수KTX종착역 | 여수(인구30만명, 여수시내) | ◦ | ◦ | ◦ |

주) ○ : 적합함, △: 적합가능성 있음, ×:부적합함

바. 입지평가

(1) 평가과정

○ 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 입지선정을 위해 앞에서 선정된 최종 후보지(대상지)를 대상으로 평가항목 및 요인에 따라서 비교 검토하는 방식으로 평가를 실시하였으며 이러한 방식으로 실시한 입지평가과정은 구체적으로 다음과 같음

① 최종 후보지(대상지)에 대한 현장조사를 실시하여 입지현황을 파악하고 앞장에서

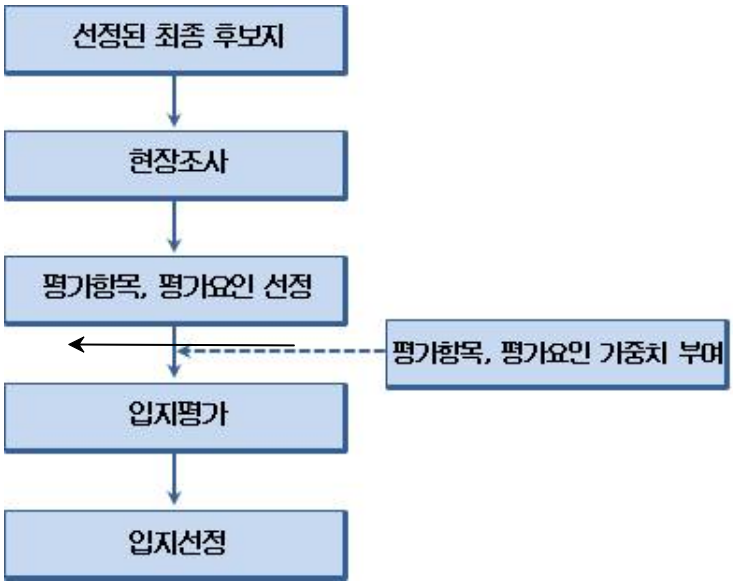
정리한 최적지 선정기준과 입지평가지침에 대해 후보지 특성에 적합한지 검토하였음

② 최종 후보지(대상지) 현장조사 결과를 바탕으로 최적지 선정기준과 입지평가지침을 활용하여 4개 평가항목과 20개 평가요인을 선정하였음

③ 평가항목 및 평가요인에 대해 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 평가항목 및 요인별로 가중치를 구하였음

④ 전문가 조사를 통해 결정된 가중치를 활용하여 대상지 입지평가를 실시하여 본 연구에 참여하는 연구원들이 각 대상지를 20개 평가요인에 대해 각각 5단계로 평가하여 1~5점을 부여했으며 이렇게 해서 구한 20개 평가요인의 평가점수에다 각각 가중치를 곱하고 그 값들을 모두 더하여 대상지별로 총점을 구하였음

⑤ 전북해안지역과 전남해안지역을 구분하여 대상지 가운데 총점이 높은 순서에 따라 레저 및 문화공간용 정주형 플로팅 건축물 입지로 선정함




[그림 2-3-5] 입지평가과정

○ 최종 후보지(대상지)에 대한 현장조사는 다음과 같은 일정으로 실시하였으며 현장조사내용으로는 대상지의 자연조건과 사회조건 조사, 관련 자료수집, 그리고 관련 담당자들과 인터뷰를 실시함

(2) 평가항목 및 요인

○ 입지평가를 위하여 먼저 입지와 관련되는 지역 개발계획을 종합적으로 검토하였으며 평가항목으로는 예상되는 입지에 필요한 자연조건을 먼저 검토함

○ 여기에는 기상, 지질, 경관, 환경오염 등이 포함되며 또한 토지소유, 법률적 제약 등 개발여건, 입지가 갖는 사회조건, 해양관광레저시설을 개발하기 위한 관광조건이 평가됨

○ 한편 전체적으로 플로팅 건축물 설치 및 관리에 대한 경제성도 평가되었으며 평가요인 및 항목을 도출하기 위하여 지역 전문가들과 지속적 의견교환과 피드백을 통하여 [표 2-3-18]의 평가항목 및 요인에 대한 평가내용이 도출되었음

[표 2-3-18] 플로팅 건축물 입지평가요인

| 평가 항목 | | 평가 요인 | 평가 내용 |
|---|---|---|---|
| 자연 조건 | | 지형/ 지질 | - 플로팅 건축물 설치를 위해 해저 지형이 평탄할 것<br>- 토사의 퇴적, 침식 등이 일어나지 않을 것 |
| | | 환경 | - 소음, 대기오염 등이 없고 수질이 깨끗할 것 |
| | | 기상 | - 쾌청일수, 바람, 안개, 강수량 등 기상조건이 좋을 것 |
| | | 경관 | - 주변 경관이 수려할 것<br>- 주변 조망에 지장이 없을 것 |
| | | 수역 | - 수심이 확보될 것<br>- 조위차가 적을 것<br>- 파고는 적정하게 유지될 것<br>- 수역의 크기가 충분할 것 |
| 사회 조건 | 이용적합성 | 집객성 | - 해양관광문화 활동 집객력이 충분한 곳 |
| | | 친수성 | - 다양한 친수공간이 위치한 곳 |
| | | 접근성 | - 대상지 및 수역으로 접근이 용이한 곳 |
| | | 편리성 | - 정주생활을 위한 인프라시설이 갖추어진 곳 |
| | | 이미지 | - 해양관광문화 관련 인지도와 선호도가 높은 곳 |
| | 설치적합성 | 법규제 | - 대상지 수역이용에 대한 규제가 없는 곳<br>- 대상지 개발제한이나 경관규제가 없는 곳 |
| | | 기반여건 | - 지자체의 적극적인 의지가 있는 곳<br>- 기존 어업권 등과 마찰이 없는 곳 |
| | | 부지 가용성 | - 해양관광문화 복합시설 조성이 가능한 곳<br>- 대상지 토지 취득 및 보상이 용이한 곳<br>- 충분한 크기 개발공간을 확보할 수 있는 곳 |
| | | 필요성 | - 지역발전을 위해 설치 필요성이 높은 곳 |
| 관광 문화 조건 | | 다양성 | - 인근에 다양한 해양관광문화자원이 있는 곳 |
| | | 효율성 | - 플로팅 건축물로 시너지효과를 얻을 수 있는 곳 |
| | | 보편성 | - 플로팅 건축물로 기본 관광문화여건을 충족시킬 수 있는 곳 |
| | | 차별성 | - 플로팅 건축물로 지속적 차별성 유지가 가능한 곳 |
| 경제성 | | 건설비용 | - 초기 건설비용 관련 경제성 |
| | | 운영비용 | - 생애주기동안 관리운영비용 관련 경제성 |

(3) 평가가중치

○ 평가항목별로 평가 상 중요도가 다르므로 각 요인별로 가중치 부여가 필요하며 이러한 가중치 부여의 객관성 유지를 위하여 전문가들에게 평가를 의뢰하여 각 항목별 가중치를 부여토록 하였음

○ 전문가 그룹은 플로팅 건축 설계기술개발 연구에 참여하고 있는 교수 12명, 건축설계사무소에 근무하는 실무자 28명 등 전문가 40명에게 의뢰하여 항목별 가중치를 부여하도록 하였으며(설문내용은 부록 참조). 가중치들을 항목별로 종합하여 평균을 구한 결과 [표 2-3-19]와 같으며 이를 평가 시 항목별 가중치로 활용됨

[표 2-3-19] 평가항목 및 요인별 가중치 설문조사 결과

| | | |
|---|---|---|
| 자연조건 (0.252) | 지형/지질 | 0.048 |
| | 환경 | 0.050 |
| | 기상 | 0.043 |
| | 경관 | 0.054 |
| | 수역 | 0.058 |
| 사회조건 (이용적합성) (0.196) | 집객성 | 0.043 |
| | 친수성 | 0.040 |
| | 접근성 | 0.043 |
| | 편리성 | 0.040 |
| | 이미지 | 0.031 |
| 사회조건 (설치적합성) (0.166) | 법규제 | 0.041 |
| | 부지가용성 | 0.041 |
| | 기반여건 | 0.039 |
| | 필요성 | 0.045 |
| 관광조건 (0.187) | 다양성 | 0.050 |
| | 효율성 | 0.047 |
| | 보편성 | 0.046 |
| | 차별성 | 0.045 |
| 경제성 (0.200) | 건설비용 | 0.090 |
| | 운영비용 | 0.110 |
| 합계 | | 1.000 |

○ 평가항목에 대한 가중치 산정결과를 보면, 자연조건(가중치 0.252)이 가장 높고 다음으로 경제성(가중치 0.200), 사회조건 중 이용적합성(가중치 0.196), 관광조건(가중치 0.187) 순으로 높게 나타났으며 사회조건 중 설치적합성(가중치 0.1666)이 가장 낮게 나타남

○ 사회조건은 이용적합성과 설치적합성의 가중치를 합하면 0.362로서 높게 나타남

○ 평가요인에 대한 가중치 산정결과를 보면, 경제성에 속하는 운영비용(가중치 1.000)과 건설비용(가중치 0.090) 요인이 가장 높고, 다음으로 자연조건에 속하는 수역(가중치 0.058), 경관(가중치 0.054), 환경(가중치 0.050) 요인이 높게 나타난 반면에 사회조건 중 이용적합성에 속하는 이미지(가중치 0.031) 요인이 가장 낮게 나타났으며 사회조건 중 설치적합성에 속하는 기반여건(가중치 0.039)도 낮게 나타남

○ 평가항목별로 요인들의 가중치를 살펴보면, 자연조건에서는 수역 요인이 가장 높게 나타났고, 사회조건 중 이용적합성에서는 집객성과 접근성이 가장 높게 나타났으며, 사회조건 중 설치적합성에서는 필요성이 가장 높게 나타남

○ 또한 관광조건에서는 다양성이 가장 높고, 경제성에서는 운영비용이 보다 높게 나타남

사. 입지선정

(1) 대상지 평가

○ 입지선정을 위해 전북지역과 전남지역을 나누어 대상지들을 비교·평가하였으며 대상지별로 각 평가요인의 입지평가내용에 대해 5단계로 평가하여 1~5점을 부여하였음

○ 평가요인 중 경제성은 건설비용과 관리비용 모두 플로팅 건축물 하나만을 위한 것이라면 도저히 경제성을 확보할 수 없음

○ 본 연구에서는 후보지 선정 시 플로팅 건축물이 마리나항만, 항만재개발지 혹은 해양레저단지 내에 조성되어 플로팅 건축물을 위한 수역 조건이 확보되고 계속해서 관리될 수 있는 여건이 마련되어 있는 곳을 최종 후보지(입지평가 대상지)로 선정하였음

○ 따라서 입지선정을 위한 평가에서는 경제성 항목을 제외한 18개 항목에 대해 평가하여 입지를 선정하였음

[표 2-3-20] 전북지역 대상지 입지평가자료

| 평가항목 | | 평가요인 | | 고군산 마리나항만 | 비응 마리나항만 | 신시-야미 메가리조트 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 자연 조건 | | 지형/ 지질 | 토사퇴적 | 전혀 없음 | 없음 | 가능성 있음 | 새만금방조제 내부는 가능성 있음 |
| | | 환경 | 수질 | 아주 좋음 | 좋음 | 보통 | |
| | | 기상 | 안개일수 | 44.4일 | 44.4일 | 44.4일 | |
| | | 경관 | 경관조망 | 수려함 | 양호함 | 양호함 | |
| | | 수역 | 평균조차 | 393.0㎝ | 444.8㎝ | 100㎝내외 | |
| 사회조건 | 이용적합성 | 집객성 | 관광객수 | 군산시 5,984천명 | 군산시 5,984천명 | 군산시 5,984천명 | 2007년 기준 |
| | | 친수성 | 거점도시 친수공간 | 바다낚시공간 | 항만친수공간 | 복합친수공간 | |
| | | 접근성 | 거점도시 에서거리 | 동군산IC에서 약42㎞ | 동군산IC에서 약 29km | 동군산IC에서 약 40㎞ | |
| | | 편리성 | 인프라 시설 | 높음 | 보통 | 아주 높음 | 기반시설조성완료시 |
| | | 이미지 | 인지도 | 보통 | 낮음 | 높음 | 현재 인지도 |
| | 설치적합성 | 법규제 | 수역규제 | 미약함 | 항만구역 | 미약함 | |
| | | 기반 여건 | 양식장, 항만 | 없음 | 항만 | 없음 | |
| | | 부지 가용성 | 주변 개발공간 | 200,000㎡ | 40,000㎡ | 1,950,000㎢ | 육상 및 해상공간포함 |
| | | 필요성 | 지역발전 | 아주 높음 | 보통 | 높음 | |
| 관광 문화 조건 | | 다양성 | 관광자원 | 양호 | 보통 | 아주 양호 | 관광단지조성완료시 |
| | | 효율성 | 시너지 효과 | 고군산 국제해양관광지 | 복합어항단지 | 복합해양레저단지 | |
| | | 보편성 | 관광문화 여건충족 | 새만금군산경제자유구역 고군산군도지구 | 군산도시기본계획 | 새만금개발종합계획 | |
| | | 차별성 | 지속적 차별성 | 높음 | 보통 | 매우 높음 | |

[표 2-3-21] 전남지역 대상지 입지평가자료

| 평가항목 | | 평가요인 | | 화원마리나항만 | 목포마리나항만 | 남열마리나항만 | 여수화양관광단지 | 2012여수세계박람회 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 자연조건 | | 지형/지질 | 토사퇴적 | 전혀 없음 | 가능성 있음 | 없음 | 없음 | 가능성 많음 | |
| | | 환경 | 수질 | 아주 좋음 | 보통 | 좋음 | 좋음 | 좋지 않음 | |
| | | 기상 | 안개일수 | 24.6일 | 24.6일 | 13.9일 | 22.6일 | 22.6일 | |
| | | 경관 | 경관조망 | 수려함 | 보통 | 양호 | 양호 | 보통 | |
| | | 수역 | 평균조차 | 225.4㎝ | 282.2㎝ | 232.4㎝ | 202.4㎝ | 약200㎝ | |
| 사회조건 | 이용적합성 | 집객성 | 관광객수 | 해남군 39천명 | 목포시 4,805천명 | 고흥군 3,525천명 | 여수시 5,796천명 | 여수시 5,796천명 | 2007년 기준 |
| | | 친수성 | 친수공간 | 해수욕장 | 항만친수공간 | 해수욕장 | 해수욕장 | 항만친수공간 | |
| | | 접근성 | 거점도시에서거리 | 목포IC에서 35㎞ | 목포시내 | 서순천IC에서55㎞ | 여수시청에서10㎞ | 여수시내 | |
| | | 편리성 | 인프라시설 | 높음 | 아주 높음 | 보통 | 높음 | 아주 높음 | 기반시설조성완료시 |
| | | 이미지 | 인지도 | 보통 | 높음 | 보통 | 보통 | 아주 높음 | 현재 인지도 |
| | 설치적합성 | 법규제 | 수역규제 | 미약함 | 항만구역 | 해상국립공원 | 환경보전해역 | 항만구역 | |
| | | 기반여건 | 양식장, 항만 | 없음 | 목포항내 | 없음 | 없음 | 없음 | |
| | | 부지가용성 | 주변개발공간 | 177,900㎡ | 40,000㎡ | 40,000㎡ | 9,990,000㎢ | 1,833,000㎡ | 육상 및 해상공간포함 |
| | | 필요성 | 지역발전 | 아주 높음 | 보통 | 아주 높음 | 높음 | 높음 | |
| 관광문화조건 | | 다양성 | 관광자원 | 아주 양호 | 양호 | 양호 | 아주 양호 | 양호 | 관광단지조성완료시 |
| | | 효율성 | 시너지효과 | 마린월드시설지구 | 목포관광특구 | 고흥우리해양리조트특구 | 경제자유구역개발 | 여수세계박람회단지 | |
| | | 보편성 | 관광문화여건충족 | 화원관광단지 | 삼학도복원화사업 | 항공우주테마파크 | 화양관광단지 | ECO-polis 핵심거점 | |
| | | 차별성 | 지속적 차별성 | 높음 | 높음 | 높음 | 높음 | 높음 | |

(2) 입지선정 결과

○ 전북지역과 전남지역을 구분하여 대상지별로 경제성 항목을 제외한 자연조건, 사회조건, 관광문화조건의 18개 평가요인에 대한 점수를 구하고 여기에 가중치를 곱하여 최종 득점을 산출하였음

○ 그리고 18개 요인의 최종득점을 모두 합하여 대상지별 총점을 구하고 총점 최고 순위로 입지우선순위를 선정하였음

[표 2-3-22]평가항목 및 요인별 가중치 설문조사 결과

| 평가항목 | 평가요인 | 대상지 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 고군산 마리나항만 | | 비응 마리나항만 | | 신시-야미 메가리조트 | |
| | | 점수 | 환산점수 | 점수 | 환산점수 | 점수 | 환산점수 |
| 자연조건 (0.252) | 지형/지질(0.048) | 4 | 0.192 | 4 | 0.192 | 3 | 0.144 |
| | 환경 (0.050) | 5 | 0.250 | 4 | 0.200 | 3 | 0.150 |
| | 기상 (0.043) | 3 | 0.129 | 3 | 0.129 | 3 | 0.129 |
| | 경관 (0.054) | 5 | 0.270 | 4 | 0.216 | 4 | 0.216 |
| | 수역 (0.058) | 3 | 0.170 | 3 | 0.174 | 4 | 0.232 |
| 사회조건 (이용적합성) (0.196) | 집객성 (0.043) | 3 | 0.129 | 4 | 0.172 | 4 | 0.172 |
| | 친수성 (0.040) | 3 | 0.120 | 4 | 0.160 | 4 | 0.160 |
| | 접근성 (0.043) | 3 | 0.129 | 4 | 0.172 | 3 | 0.129 |
| | 편리성 (0.040) | 3 | 0.164 | 4 | 0.160 | 4 | 0.160 |
| | 이미지 (0.031) | 3 | 0.093 | 2 | 0.062 | 4 | 0.124 |
| 사회조건 (설치적합성) (0.166) | 법규제 (0.041) | 4 | 0.164 | 3 | 0.123 | 4 | 0.164 |
| | 부지가용성 (0.041) | 3 | 0.123 | 3 | 0.123 | 5 | 0.205 |
| | 기반여건 (0.039) | 4 | 0.156 | 3 | 0.117 | 5 | 0.195 |
| | 필요성 (0.045) | 4 | 0.180 | 3 | 0.135 | 4 | 0.180 |
| 관광조건 (0.187) | 다양성 (0.050) | 4 | 0.200 | 3 | 0.150 | 4 | 0.200 |
| | 효율성 (0.047) | 4 | 0.188 | 3 | 0.141 | 5 | 0.235 |
| | 보편성 (0.046) | 4 | 0.184 | 4 | 0.184 | 5 | 0.230 |
| | 차별성 (0.045) | 4 | 0.180 | 3 | 0.135 | 5 | 0.225 |
| 합계 | | 2.981 | | 2.745 | | 3.25 | |

[표 2-3-23] 평가항목 및 요인별 가중치 설문조사 결과

| 평가항목 | 평가요인 | 대상지 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 화원마리나항만 | | 목포마리나항만 | | 남열마리나항만 | | 여수화양 관광단지 | | 2012여수세계 박람회장 | |
| | | 점수 | 환산점수 | 점수 | 환산점수 | 점수 | 환산점수 | 점수 | 환산점수 | 점수 | 환산점수 |
| 자연조건 (0.252) | 지형/지질(0.048) | 3 | 0.144 | 3 | 0.144 | 4 | 0.192 | 3 | 0.144 | 3 | 0.144 |
| | 환경 (0.050) | 3 | 0.150 | 3 | 0.150 | 4 | 0.200 | 4 | 0.200 | 3 | 0.15 |
| | 기상 (0.043) | 4 | 0.172 | 4 | 0.172 | 5 | 0.215 | 4 | 0.172 | 4 | 0.172 |
| | 경관 (0.054) | 5 | 0.270 | 3 | 0.162 | 4 | 0.216 | 4 | 0.216 | 3 | 0.162 |
| | 수역 (0.058) | 3 | 0.174 | 3 | 0.174 | 3 | 0.174 | 3 | 0.174 | 4 | 0.232 |
| 사회조건 (이용적합성) (0.196) | 집객성 (0.043) | 3 | 0.129 | 4 | 0.172 | 2 | 0.086 | 3 | 0.129 | 5 | 0.215 |
| | 친수성 (0.040) | 4 | 0.160 | 3 | 0.12 | 3 | 0.120 | 4 | 0.160 | 4 | 0.160 |
| | 접근성 (0.043) | 3 | 0.129 | 5 | 0.215 | 2 | 0.086 | 4 | 0.172 | 5 | 0.215 |
| | 편리성 (0.040) | 4 | 0.160 | 5 | 0.200 | 3 | 0.120 | 4 | 0.160 | 5 | 0.200 |
| | 이미지 (0.031) | 3 | 0.093 | 4 | 0.124 | 2 | 0.062 | 3 | 0.093 | 5 | 0.155 |
| 사회조건 (설치적합성) (0.166) | 법규제 (0.041) | 4 | 0.164 | 3 | 0.123 | 3 | 0.123 | 3 | 0.123 | 4 | 0.164 |
| | 부지가용성 (0.041) | 4 | 0.164 | 3 | 0.123 | 2 | 0.082 | 4 | 0.164 | 4 | 0.164 |
| | 기반여건 (0.039) | 4 | 0.156 | 3 | 0.117 | 3 | 0.117 | 4 | 0.156 | 4 | 0.156 |
| | 필요성 (0.045) | 5 | 0.225 | 3 | 0.135 | 3 | 0.135 | 4 | 0.180 | 5 | 0.225 |
| 관광조건 (0.187) | 다양성 (0.050) | 5 | 0.250 | 4 | 0.200 | 3 | 0.150 | 5 | 0.250 | 4 | 0.200 |
| | 효율성 (0.047) | 4 | 0.188 | 4 | 0.188 | 3 | 0.141 | 4 | 0.188 | 5 | 0.235 |
| | 보편성 (0.046) | 4 | 0.184 | 4 | 0.184 | 3 | 0.138 | 4 | 0.184 | 4 | 0.184 |
| | 차별성 (0.045) | 4 | 0.180 | 3 | 0.135 | 3 | 0.135 | 4 | 0.18 | 5 | 0.225 |
| 합계 | | 3.092 | | 2.838 | | 2.492 | | 3.045 | | 3.358 | |

○ 전체 대상지 중에서 전북과 전남지역을 구분하여 살펴보면, 총점이 가장 높은 곳으로는 전북은 새만금 내부 신시-야미메가리조트지역이며, 전남은 2012 여수세계박람회장으로 나타났음

○ 한편 총점이 가장 낮은 곳으로는 전북에서 비응마리나항만 예정지역이며, 전남은 남열마리나항만 예정지역으로 나타났음

## 2. 플로팅 건축물 법제도 개선

### 가. 법적용 현황

#### (1) 설치를 위한 법제도

##### (가) 허가 및 승인

○ 플로팅 건축물을 공유수면에 설치하기 위해서는 관련법에 따라 허가와 승인을 받아야 하며 공유수면과 관련된 법으로는 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」이 있음

○ 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」은 공유수면을 이용 및 관리하는데 적용되며 공유수면에 부유해 있는 플로팅 건축물을 조성하기 위해서는 이 법에 의한 공유수면관리청의 점·사용 허가를 받아야 하고 관리청으로는 국토해양부 및 특별자치도지사, 시장, 군수, 구청장이 업무를 담당함

##### (나) 공유수면 점·사용허가

① 점·사용 허가 신청

○ 공유수면의 점·사용허가는 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」 시행규칙 제4조 제1항의 별지 제4호 서식과 첨부서류를 구비하여 공유수면관리청에 점·사용허가 신청을 할 수 있으며, 허가 신청을 받은 해당관리청은 관계행정기관(부서) 협의 등을 거쳐 종합적인 검토 후 최종적으로 허가여부를 결정

② 실시계획 인가 신청

○ 점·사용허가를 받은 후에 관련 공사에 착수하기 위해 공유수면관리청으로부터 실시계획에 대한 승인을 받아야 하고 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」시행규칙 제15조 제1항의 별지 제12호 서식과 첨부서류를 구비하여 공유수면관리청에 실시계획 인가 신청을 할 수 있음

○ 공유수면관리청이 실시계획의 인가신청을 받은 경우에는 선급법인(공유수면에 부유하는 건축물의 경우)에 실시설계도서의 타당성, 건축물의 안전성 및 공사시행의 적정성 여부 등에 관한 검토를 의뢰할 수 있음

③ 준공검사 신청

○ 실시계획의 승인을 얻은 후 해당공사를 완료하였을 경우에는 공유수면관리청의 준공검사를 받기위한 신청을 하여야 함

(다) 등록 및 등기

○ 선박법 개정(2009.12.29)에 따라 플로팅 건축물은 선박법에 의해 부선으로서 등록 및 등기가 가능

(2) 법적용 해석 사례

○ 지금까지 국내에서 플로팅 건축물을 수상에 설치하려는 다양한 시도가 있어 왔으며 플로팅 건축물의 법적지위가 불명확한 관계로 관련 기관 및 허가권자에게 플로팅 건축물의 법적 해석에 대한 문의가 끊이지 않고 있어 왔음

○ 1997년 토지에 정착하지 않은 건축물에 대한 해석을 허가권자인 서울시에 질의한 결과 “토지에 정착하지 않은 건축물에 대해 건축법 적용이 불가능 하다.”라고 해석함

○ 1999년 건설교통부에 해상 공작물의 건축물 여부에 대해 질의한 결과 “임의적 이동이 불가능 하거나 이동의 실 이익이 없어 현저한 이동이 추정되지 않는 경우 건축물에 해당한다.”라고 해석함

○ 또한 2000년 건설교통부에 폐선을 계류하여 수상호텔로 사용하는 경우 건축물 여부에 대한 질의에서는 일차적으로는 건축물로 볼 수 없다고 하였으며 정확한 판단은 허가권자에게 위임함

○ 2002년 대법원에서는 폐선박을 이용한 해상관광호텔에 대하여 부동산등기 능력이 없다고 판시하였으며 2004년 관광용 수상호텔에 대해서는 선박으로 등기할 수 없다고 판시함

○ 2006년 수상호텔의 「선박법」 적용 여부를 해양수산부에 질의한 결과 “이동성이 없고 수상에 고정 설치되는 선박에 대하여 「선박법」 적용을 받지 않는다.”라고 해석함

○ 2010년 파일 지지형 해상구조물의 「선박안전법」 적용 여부에 대하여 국토해양부에 질의한 결과 「선박안전법」적용 대상이 아니라고 해석함

○ 플로팅 건축물에 대한 법적용 해석 사례 [표 2-3-24]를 살펴보면 플로팅 건축물에 대한 법적지위가 불명확하여 유사한 구조물에 대하여 관련 기관 및 허가권자에 따라 법적지위를 달리 해석하고 있으며 플로팅 건축물에 대한 법적 기준이 명확하지 않음

[표 2-3-24] 법적용 해석 사례

| 문서 번호 | 질의사항 | 회신 내용 | 전문기관 회신일시 |
|---|---|---|---|
| 서울시 건 지 58501-014077 | 토지에 정착하지 아니한 건축물에 대한 건축법 관련 법률 해설 | 건축물의 형태를 갖추었다 하더라도 토지에 정착하지 아니하면 건축물로 볼 수 없음 | 서울시 (1997.12.31) |
| 건교부 건 축 58550-1482 | 해상 공작물의 건축물 여부<br>①바다에 파일 등을 설치하고 그 위에 건축물 형태를 갖춘 공작물을 설치한 경우<br>②부선형태의 구조물 위에 건축물 형태로 신축하는 경우<br>③기존 선박에 기관장치를 제거하고 건축물 형태로 사용하는 경우 | 건축법 제2조제1항 규정에서 언급한 건축물의 정의 중 “정착한다는 것”은 실질적, 임의적으로 이동이 불가능하거나 이동이 가능하더라도 이동의 실익이 없어서 상당한 기간 현저한 이동이 추정되지 않는 것을 뜻하는 것으로 ①, ②, ③ 모두 건축물에 해당함 | 건설교통부 (1999.04.26) |
| 건교부 건 축 58550-2159 | 육지에서 해양 방향으로 선박계류시설을 설치한 후 정박한 선박을 수상관광호텔로 사용 시 건축물 인정여부 | 배가 육지에 떨어진 수역에 위치하고 또한 토지에 정착하지 않는 것은 건축물에 해당되지 않는 것으로 사료되나 공작물의 여부 등 구체적인 사실판단은 허가권자가 관련법령 등을 검토하여 적의 판단할 것 | 건설교통부 (2000.07.25) |
| 등기 3402-462 | 폐선박을 이용한 해상관광호텔의 부동산등기 여부 | 부동산등기 능력 없음 | 대법원 (2002.08.22) |
| 공탁법인 3402-219 | 관광용 수상호텔 선박등기 여부 | 현행법으로 선박등기할 수 없음 | 대법원 (2004.10.12) |
| 해양수산부 안전정책담당관실 1440호 | 수상호텔의 선박법적용 여부 | 이동성이 없고 수상에 고정 설치되어 사용되는 부선은 선박등기·등록 대상에서 제외되므로 선박법 적용을 받지 않음 | 해양수산부 (2006.04.24) |
| 국토해양부 해사기술과 | 파일 지지형 부유식 해상구조물의 선박안전법 적용여부 | 파일에 장치된 롤러에 의해 수위변동시 상하운동만 가능한 해상구조물은 선박안전법 적용대상이 아님 | 국토해양부 (2010.02.01) |

(3) 최근 법제도 변화

○ 최근에 플로팅 건축물에 관련된 법제도가 정비되었으며 특히 「선박법」을 중심으로 등기 및 등록에 관한 사항, 「선박안전법」을 중심으로 안전에 관한 사항이 정비됨

(가) 선박법 개정(2009.12.29 개정)

○ 지금까지 부유식 수상구조물형 부선은 「선박법」상 선박에 해당되지 않아 등록대상에서 제외되어 있어 등기 및 담보설정이 불가능하였음

○ 향후 수상구조물의 설치가 활성화될 것으로 전망됨에 따라 부유식 수상구조물형

부선을 「선박법」상 등록 대상에 포함시켜 등기 또는 저당이 가능하도록 관련규정을 개정함[※시행일: 2010.6.30]

○ 개정내용: 「선박법」 제26조 제4호에 다음과 같은 단서조항을 신설

○ “다만, 공유수면관리법 제5조에 따른 점용 또는 사용허가나 하천법 제33조에 따른 점용허가를 받은 수상호텔, 수상식당 또는 수상공연장 등 부유식 수상구조물형 부선은 제외”

○ 개정 효과
- 부유식 수상구조물형 부선을 「선박법」 적용대상에 포함
- 물권설정을 통한 원활한 담보설정 가능 및 사업 활성화
- 소유권 확보를 통한 재산권 보호 및 법적 분쟁 완화

(나) 선박안전법 시행령 개정 (2008.3.14 개정)

○ 「선박안전법」 시행령 제3조(부유식 해상구조물)를 다음과 같이 개정함
-「선박안전법」 제2조 제1호에서 "국토해양부령이 정하는 부유식 해상구조물"이란 다음 각 호와 같음
- 이동식 시추선 : 액체상태 또는 가스상태의 탄화수소, 유황이나 소금과 같은 해저 자 원을 채취 또는 탐사하는 작업에 종사할 수 있는 해상구조물(항구적으로 해상에 고정된 것은 제외)
- 수상호텔, 수상식당 및 수상공연장 등으로서 소속 직원 외에 13명 이상을 수용할 수 있는 해상구조물(항구적으로 해상에 고정된 것은 제외)
- 해양오염방지법 제2조에 따른 기름 또는 폐기물(「해양오염방지법」 시행규칙 별표 1 제1호가목부터 라목까지 및 같은 표 제2호나목의 폐기물을 말함. 이하 같음)을 산적하여 저장하는 해상구조물
- 법 제41조에 따른 위험물을 산적하여 저장하는 해상구조물

(다) 부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준 제정 (2008.11 제정)

○ 「선박안전법」 개정에 따라 국토해양부고시(2008-647호)로서 ‘부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준’이 제정

○ 이 기준의 제2조에 따른 적용범위는 다음과 같음
- 「선박안전법」 시행규칙 제3조제1호 및 제2호의 규정에 의한 부유식 해상구조물에 대하여 적용한다. 다만, 외판, 상갑판 또는 수밀격벽이 강(鋼), 알루미늄, 강화플라스틱(FRP), 목(木) 또는 콘크리트 이외의 재료인 것에 대하여는 이를 적용하지 아니함

○ 이 기준에서는 거주시설에 대해 제25조에 다음과 같이 정하고 있음

– 부유식 해상구조물 거주시설에 대하여는 「선박설비기준」의 여객실 관련 규정 준용

○ 「선박설비기준」에서 여객실 관련 규정으로 '제2편 제1절 여객실의 설치'에서 여객실의 설치위치(제4조), 여객실의 구조(제7조), 객석의 설비(제12조, 제13조), 여객실의 통로(제14조), 여객실의 출입구(제15조), 여객실의 계단(제16조) 등을 정하고 있음

(4) 법제도 적용 사례

(가) 세빛둥둥섬(한강 플로팅 아일랜드)




[그림 2-3-6] 세빛둥둥섬 조감도

○ 한강 플로팅 아일랜드는 국내에서 플로팅 건축물을 설치한 최초 사례로서 여기서 법제도 적용은 향후 플로팅 건축물 설치를 위한 법제도 적용에 중요한 시사점을 제공함

○ 한강 플로팅 아일랜드 설계 및 공사 그리고 운영사업계획에서 검토된 법제도는 다음과 같음

① 상부시설 관련 법제도

– 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙(국토해양부)
– 건축구조설계기준(대한건축학회)
– 한계상태법에 의한 강구조설계기준(대한건축학회)
– 건축물 하중기준 및 해설(대한건축학회)
– 수도권정비계획법 및 시행령
– 환경영향평가법 및 시행령
– 건축법 및 시행령, 시행규칙
– 서울시도시계획조례, 건축조례, 주차장조례
– 주차장법 및 시행령, 시행규칙
– 문화예술진흥법 및 시행령, 시행규칙
– 공중화장실 등에 관한 법률 및 시행령, 시행규칙

– 장애인, 노인, 임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률 및 시행령, 시행규칙

② 하부구조물 관련 법제도

– 유선 및 도선사업법, 시행령, 시행규칙
– 하천법 및 시행령, 시행규칙
– 환경정책기본법 및 시행령
– 선박법 및 시행령, 시행규칙
– 선박관리법 및 시행령
– 선박안전법 및 시행령

③ 인허가 관련 법제도

– 하천점용허가 및 실시계획인가
– 사전환경성검토: 대상은 아니지만 공유수면에 설치하는 점을 감안하여 수행함
– 서울시 기술심의
– 건축허가
· 상부시설물은 건축법 상 수상에 고정된 건축물로 간주하여 서초구청 허가 추진
· 하천점용허가 실시계획인가 시에 의제 처리
· 건축허가 득하지 못함
– 선박허가
· 하부구조물은 선박법을 적용하여 한국선급(KR) 허가 추진
· 선박으로 허가 됨

④ 소유권 관련 법제도

– 「선박법」에 따라 등기 및 등록되어 재산권을 행사함

○ 한강 플로팅 아일랜드의 경우 체인계류방식을 사용하고 있어 구조물이 고정되었다고 보지 않고 움직일 수 있다고 해석하여 구조물의 법적지위를 선박으로 규정하였으며 「선박법」에 준하여 인 · 허가 되었고, 인천해양항만청에 선박으로 등록되었으며 「선박등기법」에 따라 선박 등기하여 재산권을 행사하고 있음(선박–> 부선 –>부유식 해상구조물)

○ 상부시설물은 「건축법」에 준하여 관련법을 적용하였으며 사용승인 전 일반건축물과 동일한 검사 및 승인을 득하였으며 하부시설물은 「선박법」 및 관련법을 적용한 한국선급으로부터 사용승인을 득하였음

○ 「부유식 해상구조물의 구조 및 설비등에 관한 기준」 제4조(기준적용의 특례 ) ‘부유식 해상구조물의 설치와 관련하여 건축법, 소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률, 식품위생법 등 다른 법률에서 규정하는 것에 대하여는 이 기준의 규정에 적합한 것으로 봄’ 라는 규정에 따라 상부구조물을 일반건축물과 동일하게 적용하여 사용승인을 득한 후 전체적으로 선박법에 따라 사용승인을 득하여 선박으로 등기하였음

○ 수역의 점용은 「하천법」에 따라 국토해양부장관으로부터 점용허가를 받았고, 한강의 경우 관리권자는 국토해양부장관이나 한강공원의 경우 서울시에서 일괄적으로 하천점용허가를 득하고 있으나 이처럼 새로운 시설의 조성 및 설치는 하는 경우 기존 점용허가 사항에 변경사항을 반영하여 하천점용허가를 새롭게 받아야 함

○ 국토해양부장관으로부터 서울시가 허가받은 하천점용기간은 영구적인 것으로 볼 수 있으며 플로팅 아일랜드 설치와 관련한 점용은 사업시행자와 서울시간의 공동투자와 관련된 계약상 25년간 민간이 운영하고 그 후 기부체납하는 형태로 사업이 추진되었기 때문에 민간의 하천점용기간은 25년으로 볼 수 있음

○ 서울시가 하천을 점용하여 사용하는 부분에 대해서는 관련법에 따라 점사용료를 면제 받지만 민간사업자가 사용하는 부분에 대해서는 매년 점사용료를 납부해야 하며 수역과 육역에 대하여 점사용를 부과함

[표 2-3-25] 플로팅 아일랜드 법적용 사항

| 시설물 법적 지위 | 법규 적용사항 | | 수역점용 | 등기 |
|---|---|---|---|---|
| 선박 | 하부시설 | 상부시설 | 하천법 | 선박 등기 |
| | 선박법 | 건축법 | | |

(나) 서울마리나 마리나센터




[그림 2-3-7] 서울마리나 조감도

○ 서울 마리나 클럽하우스로 사용되는 마리나센터는 「건축법」을 적용한 최초의 플로팅 건축물로서 향후 플로팅 건축물에 관련된 법규의 정비 및 제정에 아주 중요한 역할을 할 것임

○ 마리나센터 설계 및 시공 그리고 운영사업계획에서 검토된 법제도는 다음과 같음

① 상부시설 관련 법제도

- 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙(국토해양부)
- 건축구조설계기준(대한건축학회)
- 한계상태법에 의한 강구조설계기준(대한건축학회)
- 건축물 하중기준 및 해설(대한건축학회)
- 수도권정비계획법 및 시행령
- 환경영향평가법 및 시행령
- 건축법 및 시행령, 시행규칙
- 서울시도시계획조례, 건축조례, 주차장조례
- 주차장법 및 시행령, 시행규칙
- 문화예술진흥법 및 시행령, 시행규칙
- 공중화장실 등에 관한 법률 및 시행령, 시행규칙
- 장애인, 노인, 임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률 및 시행령, 시행규칙

② 하부구조물 관련 법제도
- 유선 및 도선사업법, 시행령, 시행규칙
- 하천법 및 시행령, 시행규칙
- 환경정책기본법 및 시행령
- 선박법 및 시행령, 시행규칙
- 선박관리법 및 시행령
- 선박안전법 및 시행령

③ 인허가 관련 법제도
- 하천점용허가 및 실시계획인가
- 서울시 기술심의
- 건축허가

・하부구조물의 KST 안전도 검사 확인 조건으로 건축허가

④ 소유권 관련 법제도
- 「건축법」에 따라 건축물로 등기됨(하부부체에 대한 내용은 전체연면적에서 제외되어 건축물대장에서 미기재됨)

○ 서울마리나 마리나센터는 건축물로 등재된 최초의 플로팅 건축물로서 말뚝을 이용한 계류방식을 사용하여 구조물이 고정 및 정착되었다고 해석하여 법적으로 건축물로 분류됨

○ 본 사례는 일반적인 건축물과 동일한 「건축법」의 적용을 받았으며 허가권자인 영등포구청으로부터 건축물 사용승인을 득하였음

○ 하부부체의 경우 하부체를 전문적으로 사용승인검사를 할 수 있는 역량이 건축인허가권자에게 없기 때문에 별도의 하부부체 감리자를 선임하고 건축사용승인 전 최종적으로 하부부체에 대한 안정성을 전문기관으로부터 확인받은 후 관련 보고

서를 제출하여 건축물 사용승인을 득함

○ 마리나센터 역시 플로팅 아일랜드와 마찬가지로 기존 서울시가 허가받은 하천점용허가에 대하여 새로운 시설의 설치 등에 따라 변경사항을 반영하여 하천점용허가를 국토해양부장관으로부터 새롭게 득하였으며 민간사업자가 서울시와 체결한 사업협약에 따라 점사용기간은 20년(2011년~2031년)이라고 할 수 있음

○ 건축물로 허가된 본 시설은 법에 따라 용도지구의 적용을 받고, 「건축법」 제5조 및 「건축법」 시행령 제6조(적용의 완화)에 따라서 수면에 위치한 건축물의 경우 대지와 도로, 건폐율, 용적률, 높이제한 등의 완화를 받을 수 있으나 하천점용허가에 따라 점사용 중인 하천구역27,620㎡(수역:14,600㎡ 육역:13,020㎡)을 대지로 인정하여 건폐율 및 용적률의 완화를 받지 않았으며 해당 사업지역이 자연녹지지역으로 관련 용도지구에 대한 법 적용을 받음

- 건축면적: 80.12㎡ 건폐율: 2.92%(기준 20%이하)
- 연면적: 2,195.21㎡ 용적률: 7.75%(기준 50%)

[표 2-3-26] 서울마리나 마리나센터 법적용 사항

| 시설물 법적 지위 | 법규 적용사항 | | 수역점용 | 등기 |
|---|---|---|---|---|
| 건축물 | 하부시설 | 상부시설 | 하천법 | 건축물 등기 |
| | 선박법 준용 (안전도 검사) | 건축법 | | |

○ 플로팅 아일랜드와 여의도 마리나의 경우에서 나타나듯 플로팅 건축물에 대한 법적지위를 부여하는 기준은 계류방식에 따른 고정 및 정착 여부에 따라서 선박 또는 건축물로 구분하여 법적지위를 부여하고 있음

○ 하지만 구조물의 움직임이 예상되는 계류방식을 사용하더라도 앞서 언급한 건설교통부 질의 회신(건교부 건축 58550-1482. 1999.4.26)에서 “정착한다는 것”의 의미를 “실질적, 임의적으로 이동이 불가능하거나 이동이 가능하다 하더라도 이동의 실익이 없어서 상당한 기간 현저한 이동이 추정되지 않는 것”으로 해석한 것을 적용하여 건축물로서 법적 지위를 인정하는 것이 타당하다고 판단됨

○ 「하천법」에 따른 점사용 허가를 받아 육역 및 수역을 사용하는 경우 하천에도 토지와 같이 지번이 부여 되어 있으며 「국토계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 지역지구의 적용을 받고, 이 경우 여의도 마리나 사례와 같이 플로팅 건축물이 건축물로서 법적지위를 인정받게 되면 점사용 중인 수역 및 육역을 대지로 인정하여 「건축법」을 적용하면 대지에 정착하여 건설되는 일반 건축물과 같은 법의 적용을 받을 수 있음

○ 하지만 하부부체에 대한 건축허가권자의 기술적 검증 역량이 부족한 관계로 기술

심의를 거쳐 하부부체와 상부구조물의 설계 안정성에 대한 검토가 필요하며 준공 후 사용승인에 있어서도 선박관련 엔지니어링 전문가로부터 하부부체에 대한 기술적 안정성을 검증/확인 받은 후 건축물 사용승인을 받을 수 있는 별도의 건축물 심의, 허가 및 승인 체계를 도입할 필요가 있음

(다) 실안 선상카페



[그림 3-53] 실안 선상카페

- ○ 사천시 건축사사무소 예림(소장 안현생 건축사)에서 설계하였으며 선례가 없어 허가기간만 2년여가 걸렸고 상부시설은 「건축법」을 적용받고 하부부체는 「선박법」, 연결다리는 별도의 구조계산을 실시함
- ○ 2009년 개정된 「선박법」에 따라 100 ton 이상은 등기대상이며 100 ton이하는 등록대상으로 등기대상은 재산권 행사가 가능하나 등록대상은 취득세는 납부하지만 등기가 되지 않아 재산권을 행사하는데 많은 어려움이 따름
- ○ 각 허가부서의 법적 기준 모호 및 상이로 사업자가 허가를 득하는데 어려움이 있으며 통합된 부서의 부재로 시간 및 노력이 낭비되고 있음
- ○ 법적 점유허가 사항을 보면 면적:1,302㎡, 바지:132.32㎡, 건축면적:82.64㎡, 연결다리:2m × 60m 이고 그 밖에 샤워실, 화장실, 사무실은 육지에 별도로 조성되어 있음
- ○ 현재 레저카페로 등록(점용허가 연장 등 필요한 대관업무상 분류) 되어 있으며 법적으로는 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」 상 계류시설, 「수상레저안전법」 상 수상레저사업, 「식품위생법」 상 카페시설로 관리되고 있음
- ○ 휴게음식점은 신고만으로 가능하나 각 담당부서들의 업무적 연계가 원활치 않아 어려운 점이 있으며 수상구조물에 관한 법, 특히 수상레저시설에 필요한 부대시설 관련법 마련이 필요

[표 2-3-27] 실안 선상카페 법적용 사항

| 시설물 법적 지위 | 법규 적용사항 | | 수역점용 | 등기 |
|---|---|---|---|---|
| 선박 | 하부시설 | 상부시설 | 공유수면점용 | 등록<br>(등기대상 아님) |
| | 선박법 | 선박법<br>(건축법 준용) | | |

(라) 제주 마린리조트



[그림 2-3-8] 제주 마린리조트(해상호텔)

○ 제주 마린리조트는 부선형 하부부체 위에 상부시설을 설치한 것으로 일정한 위치에 고정되지 않으므로「선박법」에 따라 선박으로 분류됨

○ 본 사례의 하부부체는 부선으로 흔히 바지선이라 부르는 선박이며 상부시설은「건축법」에 준하여 설계 되었으며 「부유식 해상구조물의 구조 및 설비등에 관한 기준」 제4조에 따라 「선박법」의 규정에 적합한 것으로 인정

○ 본 사례는 일정한 공유수면에 고정되어 있지 않고 예선을 이용하여 항행하므로「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」에 따른 공유수면 점용·사용 허가를 받을 필요가 없음

[표 2-3-28] 제주 마린리조트 법적용 사항

| 시설물 법적 지위 | 법규 적용사항 | | 수역점용 | 등기 |
|---|---|---|---|---|
| 선박 | 하부시설 | 상부시설 | 허가사항 아님 | 선박 등기 |
| | 선박법 | 선박법<br>(건축법 준용) | | |

(마) 화진 해양펜션



[그림 2-3-9] 화진 해양펜션

○ 본 사례는 「수산업법」 제65조(유어장의 지정 등)에 따라 유어장으로 지정된 곳에 「유어장의 지정 및 관리에 관한 규칙」 제9조(유어장의 시설 및 자원조성)제1항 ‘유어장에는 유어장 이용자의 편의를 위하여 간이화장실, 폐기물의 처리 또는 저장시설, 그 밖의 편의시설을 설치하여야 한다.’ 라는 규정에 따라 설치 됨

○ 상부시설 및 하부시설에 대한 별도의 규정이 없이 유어장 관리권자에 의해 임의로 설치되는 것으로 공유수면 점용·사용허가, 건축허가, 선박검사 등 시설물 설치 및 사용승인에 관련된 어떤 법의 적용도 받지 않음

○ 다만 참고할 수 있는 시설기준으로 「유어장의 지정 및 관리에 관한 규칙」에 따른 가두리 낚시터 시설기준 [표 2-3-29]이 있음

[표 2-3-29]가두리 낚시터의 시설기준

| 시설 내용 | 시설기준 | |
|---|---|---|
| | 가두리를 이용한 낚시터 | 축제식을 이용한 낚시터 |
| 계류 시설 | - 계류로프: ∅40mm 이상<br>- 닻(철재): 450kg 이상<br>- 가두리시설부력: 100kg/㎡ 이상 (완충부자 400ℓ) | - 부유식 및 석축식 잔교부력: 300kg/㎡<br>- 콘크리트식 낚시터 내부에 사다리 갖출 것 |
| 안전 시설 및 장비 | - 보행로: 1m 50cm<br>- 난간보호대: 로프∅40mm 이상<br>- 구명동의: 최대동시이용가능인원의 100%에 해당하는 수. 다만, 20% 이상은 반드시 어린이용<br>- 구명줄: 직경 10mm 이상, 길이 30m 이상<br>- 구명부환: 최대 동시이용가능인원 20%에 해당하는 수 | - 보행로: 1m 50cm<br>- 난간보호대: 로프∅40mm 이상<br>- 구명줄: 직경 10mm 이상, 길이 30m 이상<br>- 구명부환: 최대 동시이용가능인원의 20%에 해당하는 수 |
| 편의 시설 | - 화장실(소각식) 1개 이상<br>- 차양시설 3×6m 1개 이상 | - 화장실(수세식) 1개 이상, 반드시 정화조가 설치<br>- 차양시설 3×6m 1개 이상 |
| 기타 시설 | - 안내간판 1개<br>- 선박접안시설 1개소<br>- 구급약품, 피뢰침 | - 안내간판 1개<br>- 구급약품, 피뢰침 |

출처: 유어장의 지정 및 관리에 관한 규칙 [별표 1]

○ 유어장의 경우 「수산업법」에 따라 어촌계, 영어조합법인 또는 지구별 수협이 면허받은 어업과 허가받은 어업 중 어업에 지장 없는 범위에서 수역을 일정부분을 관리관청으로부터 유어장으로 지정받아 운영할 수 있으며 최근 어촌의 관광수입 증대를 위하여 많은 어촌에서 유어장을 운영하고 있으며 해상방갈로라는 이름으로 플로팅 건축물 형태의 구조물을 편의시설로 설치하여 사용함

○ 「수산업법」에 따라 지정되는 유어장은 유어장을 지정받은 자의 어업면허 및 어업허가 기간에 따라 달라진다. 「수산업법」 제14조와 제46조에 따라 어업면허기간은 최장 10년이며 어업허가기간은 5년으로 연장이 가능하나 공유수면 점사용과 같이 사용기간이 한정적임

○ 유어장에 설치되는 플로팅 건축물 시설의 안정성 및 기술적 성능을 규정하는 관련법이 없어 무분별하게 설치되며 안전사고에 노출됨

[표 2-3-30] 화진해양펜션 법적용 사항

| 시설물 법적 지위 | 법규 적용사항 | | 수역점용 | 등기 |
|---|---|---|---|---|
| 유어장 시설 중 편의시설 | 하부시설 | 상부시설 | 수산업법 (유어장) | 대상 아님 |
| | - | - | | |

○ 이상에서 언급한 국내 플로팅 건축물 법적용 현황을 정리하면 [표 2-3-31]와 같음

[표 2-3-31] 플로팅 건축물 사례별 법적용 특성

| 사 례 | 수역 종류 | 수역 점용 | 계류 방식 | 구조물 용 도 | 법 적용 | | 법적 지위 | 등 기 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 플로팅 아일랜드  | 하천 (한강) | 하천 점용 사용 (하천법) | 체인 | 복합 문화 시설 | 하부 | 선박법 | 선박 | 선박등기 |
| | | | | | 상부 | 선박법 (건축법 준용) | | |
| 서울 마리나 클럽하우스  | 하천 (한강) | 하천 점용 사용 (하천법) | 말뚝 | 일반 음식점 (건축물 대장) | 하부 | 선박법 준용 | 건축물 | 건축물 등기 (하부부체 제외) |
| | | | | | 상부 | 건축법 | | |
| 실안 선상카페  | 바다 | 공유수면 점용사용 (공유수면 관리) | 체인 (로프) | 카페 (계류 시설-공유수면관리법) | 하부 | 선박법 | 선박 (부선) | 선박등록 (등기 대상 아님) |
| | | | | | 상부 | 선박법 (건축법 준용) | | |
| 제주 마린리조트  | 바다 | 이동식 | 체인 (로프) | 숙박시설 일반 음식점 | 하부 | 선박법 | 선박 (부선) | 선박등기 |
| | | | | | 상부 | 선박법 (건축법 준용) | | |
| 화진해양펜션  | 바다 | 유어장 지정 (수산업법) | 체인 (로프) | 편의(숙박)시설 (바다낚시시설) | - | | - | 등기 대상 아님 |

나. 기존 법제도 문제점

(1) 수면점용 관련

○ 수상을 점용·사용하는 플로팅 건축물의 설치가 가능한 수역으로는 바다, 하천 등이 있으며 바다에 플로팅 건축물을 설치할 경우 일반적으로「연안관리법」 및「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」의 적용을 받으며 항만, 어촌·어항, 마리나항만으로 지정된 수역의 경우는 「항만법」, 「어촌·어항법」,「마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률」의 적용을 받아 플로팅 건축물을 설치할 수 있음

○ 유어장 관리 및 해상낚시터 시설로 설치되는 플로팅 건축물의 경우는 「수산업법」의 적용을 받으며 국가하천 및 지방하천으로 지정된 하천에 플로팅 건축물을 설치할

경우 「하천법」의 적용을 받음

○ 「항만법」,「어촌·어항법」,「마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률」,「수산업법」, 「하천법」의 적용을 받지 않는 공유수면의 경우「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」의 적용을 받음

○ 현행 법제도에서는 일반인이 공유수면에 플로팅 건축물을 건축하기란 거의 불가능하며 법적 제한으로 플로팅 건축물을 지을 땅이 없어 플로팅 건축물을 유선시설, 도선시설, 수상스포츠시설(「체육진흥법」 적용) 등으로 짓고 있는 형편임

○ 최근 「마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률」이 제정됨에 따라 이 법에 의거하여 마리나항만에서는 플로팅 건축물 설치가 가능

(가) 연안관리에 대한 검토

○ 「연안관리법」에 따라 우리나라 영해에서 플로팅 건축물을 건설할 경우 10년 단위로 국가가 수립하는 연안정비계획에 포함된 연안정비사업의 기본방향과 단기·중기·장기계획에 부합되어야 함

○ 이 법에 의해 민간사업자는 국가나 지방자치단체로부터 연안정비사업의 시행자로 지정을 받아 플로팅 건축물을 건설할 수 있으나 현재 시행자로서 지정받기 위한 조건이나 절차 등이 법적으로 명확하게 정해져 있지 않은 문제점이 있음

(나) 공유수면관리에 대한 검토

○ 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」에 플로팅 건축물의 설치를 위한 공유수면의 점용·사용 규정이 잘 명시되어 있어 관련법에 따라 플로팅 건축물을 설치를 위한 수역을 확보할 수 있으나 시행규칙상 부유식 건축물의 설계 주체가 선박부분 엔지니어링사업자로 되어 있어 여전히 부유식 건축물에 대한 법적 지위가 불명확함을 보여 주고 있음

○ 수역공간의 확보는 법에 따라 이루어 질 수 있지만 수역을 사용할 수 있는 건축물의 용도가 항만관련 시설 또는 「관광진흥법」상의 관광숙박시설 등으로 한정되어 있어 다양한 시설을 도입하는데 어려움이 있음

○ 수역을 활용하는 기존 권리관계가 복잡하여 사업자가 원하는 수역에 대하여 점용·사용허가를 받기가 어려우며 점용·사용허가 기간이 법규상 최대 30년 이내로 규정 되어 있으나 관리관청의 의견 및 수역의 상황 등 다양한 여건에 따라 공유수면 점용·사용 기간이 달라지며 지속적으로 점용·사용허가를 갱신해야 하는 어려움이 있음

○ 수면(해저지반 포함)을 영구적으로 점용하는 것이 법적으로 어렵게 되어 있어 사업의 연속성과 안정성을 확보하기 어려워 민간사업자의 투자를 활성화 하는데 많은 어려움이 있음

(다) 항만시설의 검토

○ 플로팅 건축물은 항만구역 내에 항만시설이나 항만친수시설의 용도로서 건설될 가능성이 크다. 항만구역 내 항만시설로 건설하기 위해서는 국토해양부장관이 10년 단위로 수립하는 항만기본계획에 포함되어야 함

○ 항만구역에서 항만시설의 신축·개축·유지·보수·준설 등의 공사는 국토해양부장관이 시행하며 비관리청이 시행하려는 경우는 국토해양부장관의 허가를 받아야 하므로 민간사업자가 항만시설로 플로팅 건축물을 설치하려면 국토해양부장관으로부터 항만공사계획 허가를 받아야 함(「항만법」 제9조)

○ 민간사업자에 의해 항만공사로 조성 또는 설치된 토지 및 항만시설은 준공과 동시에 국가 또는 지방자치단체에 귀속되나[14](「항만법」 제15조) 일부시설은 민간사업자가 소유할 수 있으며, 민간이 소유할 수 있는 시설 중 항만친수시설인 해양레저용 시설 및 해양문화·교육 시설은 플로팅 건축물을 활용하여 조성하기에 적합함

○ 민간사업자에 의해 조성 또는 설치된 후 국가 또는 지방자치단체에 귀속된 토지 및 시설에 대하여 총사업비 범위에서 무상사용할 수 있으며 타인에게 그 시설을 사용하게 할 수 있으며, 하지만 무상사용기간 및 항만시설관리권 유효기간은 민간사업자의 총사업비범위에서 항만시설의 사용료 및 임대료 등의 비용을 감안하여 그 기간을 산정하므로 영구적인 항구시설관리권을 사업자가 보유할 수 없음

○ 항만법의 적용을 받는 범위에서 플로팅 건축물을 건설할 수 있는 또 다른 방법으로는 항만재개발사업을 들 수 있고, 항만재개발사업을 통해 플로팅 건축물을 건설하기 위해서는 10년 단위로 수립되는 항만재개발기본계획에 관련 계획이 포함되어야 함

○ 항만재개발공사를 시행할 수 있는 자는 「항만법」 제59조(사업시행자의 지정 등)에 따라 ①국가기관 또는 지방자치단체, ②항만공사, ③공공기관(한국토지주택공사, 한국관광공사, 한국농어촌공사, 제주국제자유도시개발센터-제주도에 한정), ④지방공기업, ⑤민간투자자, ⑥ ①~⑤항 중 둘 이상이 항만재개발사업을 시행할 목적으로 출자하여 설립한 법인 또는 공사를 말하는 것으로 사업시행자에 대한 자격이 명확하게 명시되어 있음

○ 공공성이 높은 항만 및 항만재개발지역의 경우 민간사업자가 시행하여 조성 또는 설치된 토지 및 시설에 대하여 현행법상 민간사업자가 소유권을 확보하기가 어려워 민간사업자의 사업성 확보에 어려움이 예상됨

○ 항만공사가 시행하는 항만공사를 통해 조성된 토지 및 시설은 항만공사가 소유권을 가지므로 시행자를 항만공사로 하고 민간투자 방식(BTL 또는 BOT 등)에 의하여 플로팅 건축물을 조성한 후 일정기간 민간투자업체가 운영하여 투자비를 회수 한

14) 단, 항만법 제15조제1항의 단서조항과 동법시행령 제18조에 의해 일부 항만시설을 민간이 소유할 수 있음.

후 항만공사에 시설물의 운영권을 돌려주는 방식으로 사업을 진행하고 관련 법제도 정비를 통하여 체계를 명확히 한다면 민간투자사업의 안정성을 확보할 수 있음

- ○ 항만구역 중 수역에 대한 점용 및 사용에 대한 법적 규정이 명확하지 않아 항만기본계획 및 항만재개발기본계획 수립시 심의기관 및 관련 행정부처의 의견 및 협의에 따라 수역 점용 및 사용에 대한 각기 다른 규정이 적용될 수 있음
- ○ 항만은 점차 생활기능과 친수기능을 더하여 종합적인 항만으로 변화해 가고 있기 때문에 항만구역에는 다양한 플로팅 건축물이 들어서게 될 것임 그러나 현행법에서는 민간이 항만구역 내에서 수역을 점용하거나 플로팅 건축물을 건설하여 사업하기에 어렵게 되어 있음
- ○ 따라서 항만구역에서 수역점용기간을 장기화하고 민간에 의한 플로팅 건축물을 이용한 사업을 촉진하기 위한 법제도의 개선이 요구됨

(라) 마리나항만시설의 검토

- ○ 「마리나항만의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따라서 마리나항만에 플로팅 건축물은 서비스편의시설로 건설이 가능하며 이를 위해서는 10년 마다 수립되는 마리나항만기본계획에 관련 사항이 미리 반영되어야 함
- ○ 사업시행자가 국가 또는 지방자치단체인 경우 개발사업으로 조성된 토지와 설치된 시설은 법 제20조에 따라 준공과 동시에 국가 또는 지방자치단체에 귀속되며 사업시행자가 국가 또는 지방자치단체가 아닌 경우 투자한 총사업비의 범위에서 해당사업시행자가 소유권을 가지나 외곽시설, 수역시설 및 임항교통시설 및 시설의 부지, 마리나항만 관련 업무용 시설 중 공공서비스 업무용시설 및 시설의 부지, 공원시설 중 해안녹지 및 광장 및 시설의 부지는 국가 또는 지방자치단체에 귀속됨
- ○ 국가 및 지방자치단체가 아닌 사업자가 시행하여 조성 또는 설치된 토지 및 시설 중 국가 또는 지방자치단체에 귀속되는 토지 및 시설은 투자금액 범위 내에서 사용기간을 산정하여 일정기간 사업시행자로 하여금 무상으로 사용·수익 할 수 있으며, 이 경우 사업시행자는 타인에게 시설의 일부를 사용·수익하게 할 수 있으며 이 기간은 사업시행자가 무상으로 사용·수익하는 기간을 초과할 수 없음
- ○ 법 제21조에 따라 국토해양부장관 및 지방자치단체장은 사업시행자의 마리나항만시설 무상사용·수익과 관련하여 사업시행자가 마리나항만시설을 무상으로 사용·수익할 수 있는 기간 동안 이를 유지·관리하고 해당 마리나항만시설의 사용자로부터 사용료를 받을 수 있는 권리를 해당 사업시행자에게 설정할 수 있음
- ○ 「마리나항만의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따라 마리나항만시설로 건설되는 시설 및 관련 부지에 대한 민간사업자의 소유권 확보가 항만이나 어항에 비해 수월하며 민간사업자의 사업 참여에 대한 규정 또한 명확하여 민간투자를 통한 충분한 사업성을 확보할 수 있으며, 그러나 이 법에서도 플로팅 건축물 건설에 필요

한 수역의 사용 및 점용에 관련된 규정을 찾아보기 어려우며 수역에 설치될 플로팅 건축물의 소유권에 대한 명확한 규정의 제정이 필요

(마) 어항시설의 검토

- 「어촌·어항법」에 따라서 플로팅 건축물은 어항구역 내 어항시설로 건설이 가능하며 어항시설 중 어항편익시설로 건설이 가능하다고, 어항시설로 플로팅 건축물의 건설을 위해서는 어촌·어항발전기본계획에 관련 사항을 반영하여야 함
- 어촌·어항법 제23조에 따라 어항구역 내에서 플로팅 건축물을 설치할 경우에는 제16조에서 정한 어항의 지정권자가 시행하며  비지정권자가 어항개발사업을 시행하려는 경우 지정권자로 부터 어항개발사업시행허가를 받아야 하며, 비지정권자가 사업을 시행하려는 경우 어항시설 이용에 직접 이해관계가 있는 공공단체인 수산업협동조합, 어촌계, 한국어촌어항협회 전업어업인 및 어업인후계자를 구성원으로 하는 수산업경영인의 연합단체에 우선적으로 허가할 수 있음
- 이상의 법 규정에 따라 어항시설로서 플로팅 건축물을 건설할 수 있지만 비지정권자에 의해 조성된 시설 및 토지는 국가 및 지방자치단체에 귀속되게 되어 있으며 그 중 귀속되지 않는 시설은 비지정권자가 시행하여 조성된 토지 중 비지정권자의 토지에 설치되는 어항시설에 대하여 민간사업자가 소유권을 가질 수 있으나 플로팅 건축물과 같이 수역에 위치하는 시설에 대해서는 소유관계가 불명확함
- 또한 귀속이 되지 않는 시설 중 플로팅 건축물을 활용하여 설치 가능한 시설은 복지회관, 체육시설, 전시관 및 공연장 등이 있으나 사업시행자가 앞서 언급한 공공단체가 되어야 하며 비영리 공익사업을 위해 설치해야 한다는 조건이 있어 민간사업자의 투자를 통한 플로팅 건축물의 건설은 어려움

(바) 하천 점용·사용의 검토

- 한강이나 낙동강과 같은 하천에 플로팅 건축물을 건설하기 위해서는 하천 수역의 점용에 대한 허가를 받아야 하며, 일반적으로 플로팅 건축물은 하천법에서 정의하는 하천시설 및 하천공사에 속하지 않으므로 플로팅 건축물을 하천의 수역에 설치하기 위해서는 「하천법」 제33조(하천의 점용허가 등)의 규정에 따라 하천관리청으로부터 점용 허가를 득해야 함
- 하천점용유형 별 점사용 유효기간은 다음 표와 같으며 당 하천구역에 국가 또는 지방자치단체가 공공사업을 시행할 계획이 있거나 그 하천점용의 목적상 특히 필요한 경우에는 점용허가의 유효기간을 단축하거나 연장할 수 있음

[표 2-3-32] 하천점용유형 별 점사용 유효기간

| 점용유형 | 점용기간 |
|---|---|
| 토지의 점용 | 5년 |
| 하천시설의 점용 | |
| 공작물의 신축·개축·변경 | |
| -공공용 또는 공용의 교량, 철도, 상수도관로 통신선로 등 설치 | 영구 |
| -그 밖의 공작물의 설치(관로 등을 매설하는 것을 포함) | 5년 |
| -공작물의 신축·개축·변경공사를 하기 위한 점용 | 설계서 공사기간 |
| 토지의 굴착, 성토, 절토, 그 밖의 토지의 형질변경 | 1년 |
| 토석, 모래, 자갈 기타 하천산출물의 채취 | 5년 이내 |
| 스케이트장, 도선장 또는 유선장의 설이 | |
| -스케이트장의 설치 | 1년 |
| -유선장 또는 도선장의 설치 | 3년 |
| 식물의 식재 | 1년 |
| 수상레저사업 목적의 물놀이 행위 | 3년 |
| 선박의 운항 | 3년 |

출처: 하천법 시행규칙 [별표5]

○ 「하천법」에 따른 플로팅 건축물의 수역 점사용에 대한 규정은 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」에서 규정하고 있는 것에 비해 명확하지 못하며 공유수면과 달리 하천이라는 특성상 하천환경의 보존을 큰 목적으로 하기 때문에 하천 점용·사용허가에 대한 제한 사항이 많음

○ 하천 점용·사용 기간은 공유수면 점용·사용 기간에 비해 규정된 기간이 짧으며 공유수면과 마찬가지로 수역을 영구적으로 소유할 수 없는 관계로 사업의 연속성과 안정성을 확보하기 어려움

(2) 건축물의 법적 지위

○ 수상에 부유하는 플로팅 건축물의 하부부체는 「선박법」의 규정을 적용하는 것이 적합하나 상부시설에 대해서는 「선박법」을 적용하는 것이 현실에 맞지 않으며 「선박법」 자체에서도 다양한 용도로 사용되는 플로팅 건축물의 상부시설에 대해서는 「선박법」 테두리에서 벗어난 타법의 규정을 인정해주므로 플로팅 건축물의 경우 반드시 「선박법」의 규정을 받지 않아도 됨

○ 한강 플로팅 아일랜드와 서울 마리나 클럽하우스의 사례를 살펴보면 플로팅 아일랜드 경우 「선박법」의 적용을 받아 선박으로 등기 되었으며 여의도 마리나 클럽하우스의 경우는 「건축법」의 적용을 받아 건축물로 등기

○ 비슷한 시기에 유사한 시설물이 한강에 설치되었으나 확연히 다른 법적 지위를 적용받았다. 「선박안전법」에서 부유식 시설물을 해상구조물로 인정하지 않는 단서는 '항구적으로 해상에 고정된 것' 으로 일반적으로 체인계류를 사용하는 경우 항구적

으로 고정된 시설로 인정하지 않고 이동이 가능한 시설로 인정하여 선박으로 해석하며 말뚝을 이용한 돌핀계류를 사용하는 경우 고정된 시설로 인정하여 건축물로 취급

○ 하지만 단순히 계류 방법에 따라 시설물의 법적 지위를 정하는 것은 모순적인 면이 많으며 다양한 용도로 사용되는 시설물의 설계, 시공, 설치 및 사용하는 데 많은 어려움을 줌

○ 건설교통부 질의회신(건교부 건축 58550-1482. 1999.4.26)을 살펴보면 「건축법」 제2조제1항제2호의 규정에서 "건축물"에 대하여 정의하고 있는 내용 중 '정착한다'는 것에 대하여 "실질적, 임의적으로 이동이 불가능하거나 이동이 가능하다 하더라도 이동의 실익이 없어서 상당한 기간 현저한 이동이 추정되지 않는 것을 뜻하는 것"으로 규정하고 있어 플로팅 건축물이 체인계류방식으로 고정되어 있다고 하더라도 실질적, 임의적 이동이 불가능 하거나 이동에 실익이 없다고 판단되는 경우에는 고정된 것으로 해석하여 건축물로 규정 하는 것이 바람직함

○ 따라서 플로팅 건축물에 대한 법적 지위는 '건축물'로 하여 「건축법」에서 다룰 수 있도록 법제도를 정비할 필요가 있으며 부유식 구조물이라는 하부부체의 특성을 감안하여 선박안전법에 따라 기술적 안정성을 검토·확인 받는 것을 전제로 건축물 허가 및 사용승인을 할 수 있는 제도적 체계를 정비할 필요가 있음

(3) 수역과 육역의 관계

(가) 용도지역 검토

○ 플로팅 건축물은 일반적으로 육역개발과 연계하여 설치될 것임

○ 따라서 수역과 육역이 조화되도록 수역에도 용도지역과 같은 법제도를 정하는 것이 필요하며, 「관광진흥법」에서는 육지에 지정한 관광지, 관광단지, 관광특구를 수상호텔이 들어서는 수역에도 적용할 수 있음

○ 그러나 현행 법제도에서는 기본적으로 육역과 수역의 법적인 취급이 다르며 수역에는 용도지역이 명확하게 수립되어 있지 않은 문제점이 있고, 한편 「국토의 계획 및 이용에 관한법률」 제41조1항에서는 공유수면매립지에 대해 매립목적이 당해 매립구역과 이웃하고 있는 용도지역의 내용과 동일한 때에 이웃하고 있는 용도지역으로 지정하고 있음

○ 따라서 플로팅 건축물이 들어서는 수역에도 공유수면매립지에 적용하는 법 규정을 준용할 수 있을 것임

○ 「하천법」의 적용을 받는 하천의 경우 하천의 범위는 수역뿐만 아니라 수역에 접한 일정부분 육역도 하천구역에 포함되며 육역과 함께 수역도 도시계획에 따라 용도지역이 지정되어 있어 하천에 건설되는 플로팅 건축물의 경우 용도지역에 따른 법 적용을 하는 데는 큰 어려움이 없음

(나) 도시계획 검토

○ 현행 법제도에서는 플로팅 건축물을 도시기반시설로서 설치할 경우에는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제43조에 따라 도시계획시설로서 미리 도시관리계획에 결정되어야 함

○ 또한 도시계획구역 내에서 건축물을 지을 경우에는 도시계획 및 토지이용과 관련된 건축법의 집단규정을 적용하며, 집단규정은 건축물의 입지에 따라 규모, 용도, 도로와의 관계 등을 규정하고 있다. 따라서 도시계획구역에 인접한 수면 위에 있는 플로팅 건축물 경우에 건축물의 집단규정이 적용될 필요가 있음

○ 그러나 현행 법규에서 집단규정은 본래 일조, 채광과 같은 주거환경이나 방재 및 안전성 확보를 목적으로 육역에서 적용되는 것이기 때문에 근본적으로 환경조건이나 중요성의 차이가 있는 수역에서 현행법의 내용을 그대로 적용하는 것은 문제가 있으며, 즉 현재의 법제도로서는 플로팅 건축물의 건설에 의해 수역과 육역을 일체로 조성하고 양호한 도시환경을 만드는 데 한계가 있음

(4) 구조물 안전성

○ 플로팅 건축물의 안전에 관해서는 현행 법체계 밑에서 아래와 같이 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」, 「건축법」, 「선박안전법」, 「항만법」 등의 적용을 받음

○ 플로팅 건축물이 공유수면의 점용허가를 받을 때에는 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률 시행령」 제6조제2항에 의해 태풍·지진 등 재난에 대한 방지대책과 건축물의 규모·형상 및 구조의 적정성을 관리청으로부터 검토를 받음

○ 플로팅 건축물 상부시설물이 육상건축물과 같은 용도로 이용되는 경우에는 육상건축물과 같은 안전성을 확보해야 하며, 이러한 관점에서 상부시설물은 「건축법」(「소방법」을 포함)의 적용을 받으며 건축허가의 대상이 됨

○ 또한 플로팅 건축물은 선박과 같이 부유성을 가지며 불특정 다수의 사람이 이용하고 바람이나 파도의 외력을 받기 때문에 일반인들이 안심하고 이용할 수가 있도록 「선박안전법」에 의해 안전을 확보해야 함

○ 플로팅 건축물은 방파제 등 외곽시설에 의해 보호되고 계류시설에 의해 고정되어 태풍이나 해일 등 이상 기상 시에도 안전해야 하며, 이를 위해서는 외곽시설, 계류시설 등 항만시설에 대해 「항만법」 제29조에서 정하는 기술기준에 적합하도록 설치

○ 이상에서 살펴본 바와 같이 플로팅 건축물의 안전성은 하부구조체의 경우 「선박안전법」의 적용을 받으며 상부시설물은 건축법의 적용을 받고 계류시설은 항만법이 적용되며, 그리고 플로팅 건축물의 안전성에는 이들 법 내용을 그대로 적용할 수 없는 부분도 있으며 또한 이들 법만으로 충분하지 못한 부분도 존재

○ 따라서 플로팅 건축물의 안전성을 확보하기 위해서는 플로팅 건축물에 적용되는 별

도 기술기준의 수립이 필요

(5) 현행 법제도 문제점

○ 플로팅 건축물 상부시설물은 목적, 기능, 용도 등이 건축물이지만 건축물로서 법적 지위를 가지고 있지 못하며 설치행위 및 안전관리에 대한 절차와 기준이 부족하고 허가절차 등이 불분명하여 민간인에 의한 설치 및 사업의 시행이 어려움

○ 민간사업자가 플로팅 건축물을 설치하고 스스로 운영하는 경우 현행 법제도 아래에서는 민간인이 사업주체가 되기 곤란하며 상부시설물을 나누어 분양하거나 소유권을 민간이 갖는 것도 어려움

○ 플로팅 건축물에 대해 최소한 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」에서 정하고 있는 매립지의 소유권 취득과 매립지 매수청구권리 등과 동등한 사업조건의 정비가 필요하며 또한 민간 자금의 조달이 쉽게 될 수 있도록 플로팅 건축물 상부시설물을 부동산으로 인정하여 분양, 임대, 관리가 육상건축물과 같이 자유롭게 할 필요가 있음

○ 민간인이 플로팅 건축물을 건설하기 위해서는 상부시설물에 대해 건축물로서 법적 위치와 권리관계가 육상건축물과 같이 분명하게 설정되어야 하며, 현행 법제도는 「선박법」에서 플로팅 건축물을 다루고 있으나 「선박법」 제정 당시에 플로팅 건축물의 건설이나 이것을 이용한 사업은 전혀 예상하지 못했기 때문에 「선박법」의 기본정신은 플로팅 건축물과 조화되지 못함

○ 현행 법제도 아래에서는 플로팅 건축물의 경우 그 자체로서 선박 즉 동산으로 등기와 등록이 가능한 실정이지만 플로팅 건축물을 선박으로 취급할 경우 건축물의 용도와 기능을 가지는 상부시설물의 소유권 분할, 분양 및 임대, 거주시설의 설비, 구조물 및 시설물의 관리 등 여러 가지 측면에서 불합리한 점이 나타남

○ 특히 현행 「선박법」 아래에서는 플로팅 건축물의 상부시설물이 건축물의 용도와 기능을 가지고 있으나 그 자체로서 부동산으로 인정되지 못하며 이 때문에 부동산으로 등기를 할 수 없어 소유권문제, 분양 및 임대사업, 시설물 안전관리 등에서 많은 문제가 발생

○ 또한 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률 시행규칙」 제15조제1항에서 공유수면에 부유하는 건축물의 경우 실시설계도서를 선박부분의 엔지니어링활동주체로 신고한 자가 건축사의 참여 하에 작성하도록 되어 있으며, 시행규칙 제15조제2항에서는 실시설계도서의 타당성, 건축물의 안전성 및 공사시행의 적정성 여부를 선급법인에서 검토하도록 되어 있어 플로팅 건축물의 주 용도로서 사람들이 사용하게 될 상부 건축물에 대한 거주성, 안전성, 경제성, 시공성 등 측면에서 많은 문제가 발생할 가능성이 높음

○ 플로팅 건축물의 설계 및 시공, 관리에서 안전에 대해 「건축법」, 「선박안전법」,

「항만법」 등 여러 가지 법이 적용되어 이중규제가 되면 동일 설비에 대해 「건축법」과 「선박안전법」의 적용에 의해 일부는 이중 설비로 되거나 특별 주문품을 장치해야 할 것이며 설비에 따라서는 선박 및 건물에 적용되는 것을 혼합 사용하는 경우도 발생

○ 플로팅 건축물의 상부시설물 설계조건이나 설계하중은 여러 법에서 가장 엄한 설계조건 및 하중조건을 채용해야 하며 또한 여러 법을 동시에 만족하도록 설계해야 하고 최종 허가를 얻기 위해 필요한 기술심사 및 검사를 중복해서 받아야 하므로 이로 인해 플로팅 건축물의 사업자나 시공자의 부담이 커지게 됨

○ 플로팅 건축물을 선박으로 취급하여 「선박법」과 「선박안전법」을 적용할 경우 상부시설물 관련 부분에서 다음과 같은 문제점이 예상됨
- 상부시설물의 소유권분할, 임대 및 분양
- 상부시설물의 안전(피난, 소방 등)
- 상부시설물의 유지관리(정기 관리 등)
- 상부시설물의 옥외공간(건폐율에 따른 면적, 조경처리 등)
- 상부시설물에 건축물 관련 각종 기준 및 지침 적용

○ 플로팅 건축물을 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률 시행규칙」 제15조에서 공유수면에 부유하는 건축물로 취급하여 실시설계도서를 선박부분의 엔지니어링활동주체로 신고한 자가 작성하고, 실시설계도서를 선급법인에서 검토하면 상부건축물에 대한 거주성, 안전성, 경제성, 시공성 등 측면에서 많은 문제가 발생할 수 있음

○ 플로팅 건축물을 법적으로 선박으로 취급함에 따라 먼저, 선박등기 및 허가를 위해 공사비와 등록비가 증가하는 문제가 있으며 다음으로 건축물과 달리 등기 기준이 없으며 소유권 분할, 유치권 행사에 어려움 있음

○ 또한 플로팅 건축물을 선박으로 등기할 경우 여객선 기준을 따르기 때문에 건축물 용도 및 수준에는 전혀 맞지 않으며 더욱이 허가관청에 담당부서 및 공무원이 없고 사용승인을 얻기도 어려움

○ 플로팅 건축물을 「선박안전법」에 따라 검사와 관리를 시행할 경우 건축물 본래 목적에도 맞지도 않을 뿐 더러 무척 어려우며 현행 법제도에서는 공유수면에 플로팅 건축물을 건축하기란 지자체는 가능하지만 일반인은 거의 불가능하며 법적 제한으로 플로팅 건축물을 지을 땅이 없음

○ 「선박법」 제1조의2(정의)에서 ‘선박’이란 수상 또는 수중에서 항행용으로 사용하거나 사용할 수 있는 배 종류로 정의하고 있어서 「선박법」 제26조에서 ‘선박’으로서 등기 및 등록하도록 하고 있는 수상호텔, 수상식당 또는 수상공연장 등 부유식 수상구조물형 부선 가운데 수면 한 곳에 항구적으로 고정하여 설치되는 플로팅 건축물은 선박으로 등기 및 등록이 불가능

○ 또한 「선박안전법 시행규칙」 제3조에서도 ‘선박’으로 정의하는 것에서 ‘항구적

으로 해상에 고정된 것은 제외’ 하고 있어서 항구적으로 수면에 고정되어 설치되는 플로팅 건축물은 「선박안전법」으로 취급될 수 없음

○ 「선박안전법 시행규칙」 제3조에서 ‘선박’으로 정의하는 것은 ‘수상호텔, 수상식당, 수상공연장 등으로서 소속 직원 외에 13명 이상 수용할 수 있는 해상구조물’로서 실제 유럽이나 미국 등에서 일반화 되어 있는 수상주택 혹은 13명 이하를 수용할 수 있는 플로팅 건축물은 「선박안전법」으로 취급될 수 없음

○ 「선박안전법」에 따라 제정된 「부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」을 플로팅 건축물에 적용할 경우 이 기준은 선박을 대상으로 만들어졌기 때문에 설계를 과하게 할 수 밖에 없게 되며 하부 부체를 콘크리트로 만들어 사용할 경우 적용이 어렵게 되어 있어 부유식 건축물에 적합한 새로운 기술기준이 마련되어야 함

다. 기존 법제도 개선안

(1) 플로팅 건축물 법적 지위

○ 플로팅 건축물은 수면 위 일정한 위치에 고정된 부유식 하부구조물과 그 위에 설치된 상부시설물로 구성된 건축물이다. 하부구조물은 수면에 떠 있는 부체, 부체를 토지에 고정시키는 계류시설, 육역으로부터 접근시설 등으로 구성되며 상부시설물은 일반 건축물의 용도, 기능 및 특성을 가짐

○ 플로팅 건축물은 기능이나 용도 상 상부시설물이 주가 되고 하부구조물은 상부시설물의 기초구조의 역할을 하게 되며 하부구조물의 규모는 소형 바지선 형태부터 길이 수 킬로미터의 초대형 부유식 구조물까지 다양함

○ 플로팅 건축물은 수면 위에서 인간이 안전하고 쾌적하게 생활하기 위해 조성되는 건축물이며 일정한 위치에 항구적으로 고정되어 거주, 작업, 레저 등 생활공간으로 사용되기 때문에 선박이나 해양구조물과는 분명하게 구분되는 건축물임

○ 플로팅 건축물은 기능 및 용도 측면에서 선박이라기보다는 일반 건축물과 다름이 없으며 단, 수면 위에 위치하기 때문에 기초형식에서 플로팅 구조형식을 사용함

○ 따라서 플로팅 건축물은 법적으로 선박보다는 일반 건축물과 같은 지위를 획득하는 것이 타당함

○ 플로팅 건축물에 관해 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」제8조에서 공유수면 점·사용허가를 받아야 하는 것의 하나로서 “「건축법」 제2조제1항제2호에 따른 건축물로서 공유수면에 토지를 조성하지 아니하고 설치한 건축물”을 정하고 있으며 시행령 제6조에서는 이와 같은 건축물의 범위를 “공유수면 또는 공유수면 밑의 지하에 설치되거나 공유수면에 떠 있는 건축물”로 구체적으로 정하고 있음

○ 이와 같이 이미 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」에서는 공유수면에 떠 있어

서 점용·사용 허가를 받아야 할 시설물은 선박이 아닌 건축물로서 그 정체성을 정의하고 있으므로 플로팅 건축물을 기존 법제도에서 「건축법」의 건축물로 인정하는 것이 타당함

○ 일반적으로 '플로팅 건축물'이라고 불리며 법적으로 정리해야 하는 부유식 건축물은 [표 2-3-33]과 같이 크게 세 가지로 구분됨

- 첫 번째는 당초 건축물의 용도를 목적으로 설계되고 또한 한 곳에 항구적으로 고정되어 설치되는 것
- 두 번째는 당초 선박의 용도로 설계되었으나 나중에 건축물의 용도로 전환되어 한 곳에 고정되어 설치되는 것
- 세 번째로는 당초 건축물의 용도로 설계되었으나 한 곳에 고정되지 않고 이동을 목적으로 한 것

○ 이상 세 가지 유형으로 구분되는 플로팅 건축물은 기존 법체계 내에서 법적으로 동일하게 취급하기 곤란하며 따라서 건축물 유형의 특성에 따라 법적으로 서로 다르게 지위를 부여하여야 함

[표 2-3-33] 플로팅 건축물 종류별 법적 지위

| 종 류 | 사 례 | 특 성 | 법적 지위 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 1. 고정형 |  | -당초 건축물 용도로 설계되었음<br>-한 곳에 항구적으로 고정하여 설치됨 | -「건축법」에 의한 '건축물'로 취급함 | -평상시 수변 육지에 고정 설치되어 있으나 물이 불어나면 부유식 건축물이 되는 것을 포함함 |
| 2. 선박 전용형 |  | -당초 선박 용도로 설계되었음<br>-건축물 용도로 전환됨<br>-한 곳에 항구적으로 고정하여 설치됨 | -「선박법」에 의한 '선박'으로 취급함<br>-단,「건축법」에 맞게 개조한 경우에는 「건축법」에 의한 건축물로 인정함 | |
| 3. 이동형 |  | -건축물 용도로 설계·시공되었음<br>-이동을 목적으로 함<br>-한 곳에 항구적으로 고정 설치되지 않음 | -「선박법」에 의한 '선박(부선)'으로 취급함 | -호화유람선과 유사한 기능을 가짐 |

○ 첫 번째 '고정형'은 플로팅 주택을 비롯한 일반적인 플로팅 건축물로서 수면의 일

정한 위치에 항구적으로 고정되어 있으면서 계류장치에 의해 토지에 단단히 붙어 있고 사람에게 쉘터와 생활공간을 제공하는 건축물의 기능을 가지므로 계류방식(파일식, 체인식 등)에 관계없이 「건축법」에 의한 ‘건축물’로서 지위를 보장함

○ 고정형 가운데 체인계류인 경우 ‘건축물’로서 법적 지위를 인정을 받기 위해 이동한계치를 기술기준에서 설정하고 건축심의위원회에서 승인하여 ‘건축물’로서 인정하도록 함

○ 참고로 현재 「건축법」 제2조에서는 ‘건축물’이란 “토지에 정착(定着)하는 공작물 중 지붕과 기둥 또는 벽이 있는 것과 이에 딸린 시설물, 지하나 고가(高架)의 공작물에 설치하는 사무소·공연장·점포·차고·창고, 그 밖에 대통령령으로 정하는 것”으로서 정의하고 있는데 “토지에 정착한다”는 사전적 의미[15]는 “1. 일정한 곳에 자리를 잡아 붙박이로 있거나 머물러 살다. 2. 다른 물건에 단단하게 붙어 있게 되다.”의 뜻을 가지고 있음

○ 「건축법」 시행령 제6조에서는 「건축법」 제5조 제1항에 의거하여 법의 규정을 적용하는 것이 매우 불합리하다고 인정되는 건축물로서 ‘수면위에 건축하는 건축물’을 규정하고 있어 플로팅 건축물을 건축물의 하나로서 인정하고 있음

○ 또한 「선박안전법」(시행규칙 제3조)에서 ‘선박’으로 취급하는 부유식 해상구조물 가운데 ‘항구적으로 해상에 고정된 것’은 제외하고 있어서 수면에 항구적으로 고정하여 설치되는 플로팅 건축물은 선박이 아닌 건축물로 취급해야 함

○ 두 번째 ‘선박전용형’은 특별한 유형의 플로팅 건축물로서 당초 선박으로 설계되고 사용되었기 때문에 안전기준 및 설비 등이 「선박안전법」을 따르고 있어서 현재와 같이 「선박법」의 선박으로서 지위를 인정함

○ 단, 선박을 한 곳에 항구적으로 고정시키고 실내공간과 설비를 「건축법」에 맞도록 개조하여 건축물의 용도로 사용하는 경우에는 「건축법」에 의한 건축물로 인정할 수 있음

○ 이렇게 하면 문화적·역사적 가치를 지닌 선박을 영구적으로 고정하여 건축물의 용도로 사용하는 경우에도 원칙적으로 기존 선박을 크게 개조하지 않아도 되고 선박으로서 가치를 담보할 수도 있게 됨

○ 세 번째 ‘이동형’은 당초 건축물의 용도로 사용하기 위해 설계되고 사용되고 있으나 한 곳에 항구적으로 고정되지 않고 이동을 목적으로 사용되고 있기 때문에 현재와 같이 「선박법」의 선박으로서 지위를 인정하며, 엄밀하게 말하면 이동형은 플로팅 ‘건축물’로 명명하기 보다는 ‘선박(부선)’으로 불리는 것이 타당함

○ 따라서 본 연구에서 플로팅 건축물 관련 법적 정비는 [표 2-10]에서 분류한 ‘고정형’을 대상으로 함(단, ‘선박전용형’ 가운데 건축물로서 인정받은 것을 포함)

○ [표 2-3-33]의 플로팅 건축물에서 ‘선박전용형’ 가운데 ‘선박(부선)’으로 취

15) 네이버 국어사전(http://krdic.naver.com/) 참조

급되는 것과 ‘이동형’은 현재 선박 관련법으로 취급하고 있으므로 본 연구에서는 제외 함

(2) 플로팅 건축물의 대지

○ 플로팅 건축물의 설치장소는 정온수역이 확보된 항만구역, 어항구역, 항만재개발구역, 마리나항만구역 같은 해역과 내수면 수역이며 구조물 안전, 수질 오염, 주변 지역과 관계 등을 고려하여 관리청이 지정한 구역에 한함

○ 플로팅 건축물이 입지하는 수역에 대해서는 해당 지자체가 조례로서 플로팅 건축물을 조성할 수 있는 특별구역을 사전에 지정하도록 하며, 특별구역을 지정할 경우 「연안관리법」 및 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」을 중심으로 항만구역에서는 「항만법」, 마리나항만구역에서는 「마리나항만의 조성 및 관리에 관한 법률」, 어항구역에서는 「어촌·어항법」, 저수지 등에서는 「농어촌정비법」, 하천에서는 「하천법」 등 관련법에 따른 관리청과 협의하여 승인을 얻음

○ 플로팅 건축물을 설치할 수 있는 특별구역은 지자체장이 제안하여 건축위원회 검토를 거쳐 지정하거나 민간인이 신청하여 해당 지자체장이 건축위원회 검토를 거쳐 지정할 수 있도록 함

○ 플로팅 건축물을 설치할 수 있도록 지정된 특별구역에서는 정해진 용도 및 규모의 플로팅 건축물만 입지할 수 있으며 플로팅 건축물이 해당 대지에서 항구적으로 고정 및 점유할 수 있도록 별도 수면 점용·사용허가 규정을 정함

○ 수역에 위치하는 플로팅 건축물은 그 규모에 따라 가장 가까운 육지 접안부분에 공지를 확보하도록 하고 그곳을 도로 혹은 주차장에 준하는 공간으로 인정하며 플로팅 건축물은 이 공지와 연결되도록 하며 단, 일정 규모 이상의 플로팅 건축물은 서로 다른 방향에서 두 군데 이상 잔교 등을 통해 공지와 연결되어야 함

○ 플로팅 건축물이 들어설 수 있는 특별구역은 수역과 육역을 함께 지정하며 이 구역에는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 주변 도시상황과 적합하도록 별도 조닝제도(지역지구제)를 지정 및 운영하고 지구단위계획 등을 수립하여 전체 도시계획 체계 내에서 관리하도록 함

○ 「건축법」 제2조의 ‘대지’에 관한 해석에서 대지를 육상의 토지만이 아니라 수상대지의 개념을 도입하여 수면 밑 토지와 수면 위에 잔교나 계류시설 등으로 정착된 일정 규모 이상의 인공대지도 건축물의 대지로서 인정하는 것이 요구됨

○ 이 경우 건축허가는 공유수면 점용허가와 연동하여 처리하도록 하고 건축허가 시에는 반드시 해당 공유수면관리부서의 장의 승인을 얻도록 함

○ 플로팅 건축물의 상부시설물에 「건축법」을 적용하기 위해서는 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 의하여 각 필지로 구획된 토지 즉, 대지가 필요한데 이를 위해 수면의 인공대지 및 수면 밑 토지를 구획하고 지번을 부여함

(3) 플로팅 건축물 인·허가 및 등기

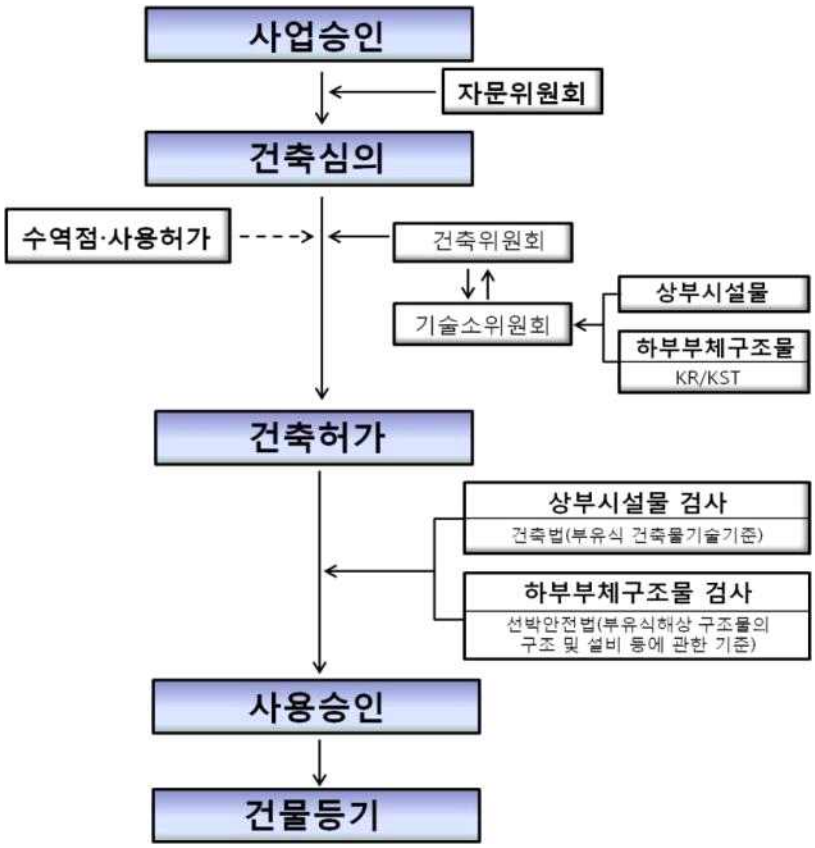
○ 플로팅 건축물은 기본적으로 「건축법」에 따라 건축물로서 법적 지위를 가지며 이에 따라 플로팅 건축물에 관련된 건축허가 및 건물등기 등 절차는 일반 건축물과 동등하게 처리

○ 플로팅 건축물의 설계 및 시공, 인·허가, 재산권 행사를 위해 구조물 안전, 설비, 환경 관리 등에 대해 구체적으로 정한 기술기준을 별도로 만들어 적용하는 것이 바람직함

○ 플로팅 건축물이 들어설 수 있도록 지정된 특별구역에는 플로팅 건축물의 규모에 따른 건물대지 및 잔교 등 공용시설물의 대지에 대해 사전에 구획하고 지번을 부여하여 토지로서 등기가 가능하도록 함

○ 플로팅 건축물 가운데 상부시설물로서 여러 동(棟)의 건축물이 들어서게 되는 길이 1km 이상 초대형 하부구조체의 경우 토지 관련법이 요구하는 토지의 요건을 대부분 만족시키고 있으므로 토지로 인정하여 부동산으로서 등기가 가능하도록 함

○ 플로팅 건축물의 건축허가는 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」등에 따른 공유수면 점·사용허가 및 수역점·사용허가를 연동하여 처리하며 따라서 건축허가 시에는 반드시 해당 수역관리부서장의 승인을 얻도록 함




[그림 2-3-10] 플로팅 건축물 허가과정

○ 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」 시행규칙 제15조 5항 나목에서 공유수면에 떠 있는 건축물(즉, 플로팅 건축물)의 경우 실시설계도서를 “「기술사법」 제6조에 따른 건축 관련 분야 기술사사무소 개설자 또는 「엔지니어링산업 진흥법」 제21조에 따라 선박 부문의 엔지니어링사업자로 신고한 자가 건축사의 참여하에 작성”하도록 되어 있으나 이를 개정하여 플로팅 건축물의 실시설계도서는 「건축사법」에서 정한 건축사가 「기술사법」 제6조에 따른 건축 관련 분야 기술사사무소 개설자 또는 「엔지니어링산업 진흥법」 제21조에 따라 선박 부문의 엔지니어링사업자로 신고한 자의 참여하에 별도 기술기준에 적합하게 작성하도록 함

○ 한편 플로팅 건축물에 대한 심의는 건축위원회에서 하되 건축위원회에 기술소위원회를 두어 건축심의에 앞서 기술소위원회에 선급이나 선박안전기술공단을 참여시켜 하부구조물을 심의하도록 함

(4) 플로팅 건축물 안전 및 환경 관리

○ 플로팅 건축물에 설치 가능한 건축 용도로서는 주거시설, 산업시설, 관광위락시설, 레저시설 등을 포함하여 매립지나 육상 건축물에서 실현될 수 있는 모든 용도가 가능함

○ 플로팅 건축물은 계류방식과 관계없이 「건축법」에서 다루는 것이 합리적이며 다만, 위치가 땅이 아니라 수면이고 하부구조물이 일반 건축물의 기초구조와 다른 특성으로 인해 플로팅 건축물에 적용하는 별도의 기술기준을 만들어 적용하는 것이 바람직한

○ 플로팅 건축물에 관한 기술기준에는 안전한 대지 및 정온수역에 관한 기준, 상부시설물 및 실내공간에 관한 기준, 하부구조체와 계류시설물에 관한 기준, 잔교 등 연결통로에 관한 기준, 수질이나 대기오염에 관한 기준, 건물에너지사용 등에 관한 기준, 위생 및 환경 관리기준, 안전 및 환경에 관한 확인·검사·평가 등 관리 및 운영 기준을 포함함

○ 플로팅 건축물은 뜬 구조 형식의 건축물로서 「건축법」에서 건축물로 규정하고 있으므로 도면작성은 건축사가, 시공은 전문건설업체가, 감리는 건축감리(상부시설물)와 선박감리(하부구조체)가 별도로 맡도록 함

라. 법제도 개선 내용

○ 기존 법제도 안에서 플로팅 건축물을 건축물로서 적절하게 취급하기 위해서는 「건축법」과 지자체의 건축 조례가 함께 개선되어야 함

○ 먼저 「건축법」의 개선사항을 살펴보면 다음과 같음

① 「건축법」 제2조(정의) 1항 정의에 다음과 같이 첨가

– 20. 수면 위에 건축하는 건축물

② 「건축법」 시행령 제2조(정의) 제1항2호에 다음과 같이 첨가

- 17. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 이란 바다, 강, 호수 등 수면의 한 곳에 항구적으로 고정하여 설치되는 공작물로서 건축법 제2조 2항 및 시행령 제3조의4에서 규정한 건축물 용도로 사용되는 것으로서 다음과 같은 것을 말한다.

  가. 수면 밑 토지에 기둥이나 파일에 정착하고 있는 고정식 건축물

  나. 수면 밑 토지에 고정된 기둥이나 파일에 계류되어 있는 부유식 건축물

  다. 수면 밑 토지에 고정된 체인 등 계류장치에 의해 계류되어 있는 부유식 건축물

③ 「건축법 시행령」 제3조(대지의 범위) 제1항1호에 다음 단서조항을 첨가

단, ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물은 대지의 범위를 조례로 정함

④ 「건축법 시행령」 제3조(대지의 범위) 2항에서 하나 이상의 필지의 일부를 하나의 대지로 할 수 있는 토지에 다음 사항을 첨가

- 6. ‘수면 위에 건축하는 건축물’의 대지로서 결정·고시된 부분의 토지에 대해 하나 이상의 필지 일부에 대하여 건축허가를 받은 경우

⑤ 「건축법 시행령」 제6조의2(기존의 건축물 등에 관한 특례) 1항에 다음과 같이 첨가

- 4. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물

⑥ 「건축법 시행령」 제6조의2(기존의 건축물 등에 관한 특례) 2항에 다음과 같이 첨가

- 7. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물

⑦ 「건축법 시행령」 제18조(설계도서의 작성) 3호에 다음과 같이 첨가

- 3. 건축사가 「기술사법」 제6조에 따른 건축 관련 분야 기술사사무소 개설자 또는 「엔지니어링산업 진흥법」 제21조에 따라 선박 부문의 엔지니어링사업자로 신고한 자의 참여하에 「부유식 건축물 기술기준」에 적합하게 작성한 부유식 건축물

⑧ 「건축법 시행령」 제19조(공사감리) 1항에 3호를 다음과 같이 첨가

- 3. 부유식 건축물의 건축하는 경우: 건축사와 선박안전법 제45조에 따른 선박안전기술공단 혹은 선급

⑨ 「건축법 시행령」 제23조(건축물의 유지·관리) 2항에서 유지·관리 대상 건물에 “수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물”을 포함하도록 함

⑩「건축법 시행령」 제32조(구조 안전의 확인) 1항에 다음 호를 첨가

- 8. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물

⑪ 「건축법」 제40조(대지의 안전 등)에서 다음 항목을 첨가

– ⑤ 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물의 대지에 관한 안전기준은 별도로 정할 수 있음

⑫ 「건축법 시행령」 제27조(대지의 조경) 1항10호에 다음과 같이 첨가

– 마. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물

⑬ 「건축법」 제42조(대지의 조경) 2항에 다음과 같은 단서 조항을 첨가

단, 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물의 경우 식재기준을 별도로 정할 수 있음

⑭ 「건축법」 제44조(대지와 도로의 관계)에 다음 항을 추가

– 1. 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물의 경우 대지와 도로의 관계는 별도로 정할 수 있음

⑮ 「건축법」 제46조(건축선의 지정)에 다음 항을 첨가

– ①. 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’에 대해 별도의 건축선을 정할 수 있음

⑯ 「건축법」 제35조(지하층)에 다음 항을 첨가

– ②. 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 은 지하층에 관하여 별도 기준을 정할 수 있음

⑰ 「건축법」 제58조(대지안의 공지)에 다음 단서 조항을 첨가

단, ‘수면 위에 건축하는 건축물’에 대해 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 건축위원회의 심의를 거쳐 별도의 건축선을 정할 수 있음

⑱ 「건축법」 제61조(일조 등의 확보를 위한 건축물의 높이 제한) 5항을 다음과 같이 첨가

– ⑥. 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물에 관한 건축물 높이를 별도로 정할 수 있음

⑲ 「건축법」 시행령 제91조의3(관계전문기술자와의 협력)에 다음 항을 첨가

– ④. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물의 설계와 공사감리 업무에는 하부 부체구조물에 대해서 「기술사법」 제6조에 따른 건축 관련 분야 기술사사무소 개설자 또는 「엔지니어링산업 진흥법」 제21조에 따른 선박 부문의 엔지니어링사업자가 참여하여야 함

⑳ 「건축법」 제68(기술적 기준)에 다음 항을 첨가

– ②. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물에 관한 「부유식 건축물 기술기준」을 만족하여야 하며 단, 「부유식 건축물 기술기준」이 만들어질 때까지 국토해양부고시(2008-647호) ‘부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기

준’ 을 만족하여야 함

㉑ 「건축법」 제69조(특별건축구역의 지정) 1항에 다음 호를 첨가

- 2. 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장이 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물을 건축하기 위하여 정한 사업구역

㉒ 「건축법」 제70조(특별건축구역의 건축물)에 다음 호를 첨가

- 3. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물

㉓ 「건축법」 제71조(특별건축구역의 지정절차 등) 제1항에 다음 단서조항을 신설

단, 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물을 건축하기 위하여 사업구역의 지정절차를 별도로 정함

○ 「건축법」의 개선과 함께 해당 지자체의 건축 조례를 개선해야 하는데 본 연구에서는 테스트 베드 플로팅 건축물이 위치하게 될 새만금호에 인접한 관리청인 「군산시 건축 조례」를 대상으로 개선 내용을 다음과 같이 제시함

① 제4조(구성) 3항에서 군산시지방건축위원회 위원에 플로팅 건축물의 부체에 관련된 선박안전기술공단 혹은 선급의 전문가를 첨가

② 제5조(건축심의대상) 1항에 다음 호를 첨가

- 8. 시행령 제2조 17호 수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물을 첨가

③ 제8조(소위원회)에 다음 항을 추가

- ④ 시행령 제2조 17호 수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물의 경우 선급이나 선박안전기술공단 전문가가 포함된 기술소위원회에서 하부 부체에 관해 심의한 후 그 결과를 건축위원회의 심의에 제출

④ 제14조(적용완화)의 경우 「건축법」 제5조(적용의 완화)와 시행령 제6조(적용의 완화)에서 ‘수면 위에 건축하는 건축물’에 대해 적용완화를 규정하고 있으며 적용완화 절차와 필요한 사항은 지방자치단체 조례로 정한다고 하였으나 군산시 건축 조례에는 부유식 건축물에 대한 항목별 세부적인 적용 완화 기준이 정해져 있지 않으므로 항목별로 세부기준을 정함

⑤ 제17조(건축공사현장 안전관리예치금) 1항에 다음 호를 첨가

- 6. 시행령 제2조 17호 수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물

⑥ 제23조(건축물의 유지·관리)에서 유지·관리 대상 건물에 “수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물”을 포함하고 다음과 같이 3호를 첨가

- 3. 시행령 제2조 17호 수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물

⑦ 제25조(조경면적) 2항에 “영 제27조제1항제11호”를 보완하고 다음을 첨가

– 10. 시행령 제2조 17호 수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물

⑧ 제26조(대지 안의 식재기준 등)에 다음과 같은 단서 조항을 둠

단, 시행령 제2조 17호 수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물은 법 제42조 2항의 단서조항에 따른 별도 식재기준에 의함

⑨ 조례에 '건축선의 지정'에 대한 조항을 별도 신설하여 수면 위에 건축하는 건축물에 관한 건축선 지정 기준은 건축위원회 심의를 거쳐 정하도록 함

⑩ 제30조(대지안의 공지)에 다음과 같은 항을 추가함

– ④ 법 제2조 20호 수면 위에 건축하는 건축물의 대지안의 공지에 대해서는 건축위원회 심의를 거쳐 별도로 정함

⑪ 제32조(건축물의 높이제한 완화)에 다음 항을 추가

– ④ 법 제2조 20호 수면 위에 건축하는 건축물의 높이 제한 완화에 대해서는 건축위원회 심의를 거쳐 별도로 정함

⑫ 제38조(부설주차장 및 미술장식품 설치 등)에 다음 항을 추가

– ② 법 제2조 20호 수면 위에 건축하는 건축물의 주차장 위치에 대해서는 건축위원회 심의를 거쳐 별도로 정함

⑬ 시행규칙 제3조(적용의 특례)에 다음 항을 추가

– ② 시행령 제2조 17호 수면 위에 건축하는 건축물 가운데 부유식 건축물의 지하층의 설치에 관해서는 건축위원회 심의를 거쳐 별도로 정함

마. 새로운 법안 제안

(1) 해외사례 검토

(가) 일본 사례[16)]

① 법제도 일반현황

○ 일본에는 수역을 포괄적으로 관리하는 법이 없이 「항만법」, 「어업법」, 「해안법」 등 개별로 대응해야 하며, 또 법정 외 공공용물인 일반해안에서는 「국유재산법」 또는 「지방자치법」에 의해 관리되어 담당자의 재량으로 처리됨으로 허가가 어려웠음

○ 초대형 플로팅 인공섬(메가플로트)은 새로운 플로팅 인공섬의 가능성에 대한 길을 열었으나 엄청나게 규모(길이 1km 이상)가 큰 점에서 법제도상 많은 문제가 제기됨

16) 横内憲久, '海洋建築と法制度', 第1回 海洋建築と土地利用シンポジウム, (社)日本建築學會 海洋委員會, 1999.10 참조

- 메가플로트가 부동산으로 인정 유무
- 메가플로트가 입지하는 해수면의 영구적 점유 여부
- 메가플로트 공간에 안전성(방재) 인정 여부

○ 플로팅 인공섬은 「건축기준법」 제2조 1의 '토지에 정착하는'에 저촉되어 해석이 다양하며, 새롭게 건설되는 플로팅 인공섬의 경우 구조나 거주성 특히, 안전성을 검토하기 위해 「건축기준법」에 준하는 경우가 많고 일부는 「선박안전법」이 적용되어 각각의 법에 따라 허가를 득하는 형태가 되어 행정에 따라 달라진다는 불만이 나타나고 있음

② 플로팅 건축물 관련현황

○ 일본에서 플로팅 건축물의 건조 시에는 「건축기준법」과 「선박안전법」이 동시에 적용되며 플로팅 시설물의 동산 혹은 부동산으로서의 법적인 위치가 애매하여 부동산으로서 등기가 어렵고 담보설정이 불가능하나 극히 일부분(레스토랑, 체험관, 박물관 등)이 관광시설재단등기부에 공작물로서 등기되어 있으며, 이 경우 독립된 시설로서는 부동산으로 인정되지 않으나 주변의 다른 시설물과 함께 집합체로서 부동산으로 인정됨

○ 관광시설재단은「관광시설재단저당법」 제7조, 제8조에 의해 개별시설물은 부동산으로 취급하지 않으나 관광시설과 그의 부속되는 토지, 공작물, 기계기구 등을 한데 묶어 관광시설재단등기부에 소유권보전등기를 함에 따라 하나의 부동산으로 취급함

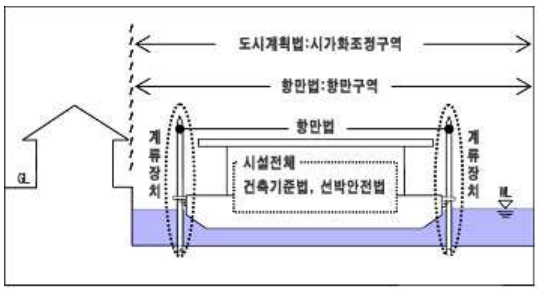
○ 일본에서 플로팅 건축물에 대한 관련 기관의 기본입장은 다음과 같음
- 법무국: 등기라는 측면에서 부동산 및 건물의 요건을 채우면 부동산등기준칙 제149조6에 의해 등기가 가능하지만 이 요건을 채우지 않는 한 등기·등록을 할 수 없음
- 플로팅 시설물의 경우 그 계류 방법이 어느 정도이면 부동산으로 간주될 것인가?, 즉 물리적 정착기준의 애매함, 관념적 정착기준 역시 애매한 것이 문제이며, 동시에 '건물이다'라는 판단(정착성/영속성/목적/외기분단성 등 부동산등기준칙 제136조)에도 애매함이 있음
- 운수성 해상기술안전국: 현재 선박으로서 등기·등록을 하는 것은 불가능하며, 「선박법」은 배의 국적을 증명하기 위한 것으로 같은 장소에 계류된 플로팅 시설물에 관해서는 국적을 증명할 필요가 있는지에 대해 의문을 가짐
- 또한 행정적 측면에서도 움직이지 않는 물건을 등록시킬 필요가 있는 것인가라는 논의가 있으며 움직이지 않는 배는 자산가치가 없는 물건이며 따라서 등기·등록의 필요성도 없음
- 운수성 항만국: 항만국에서는 항만구역내의 수역점용허가에 관해서만 다룸

③ 2000년 이후 현황

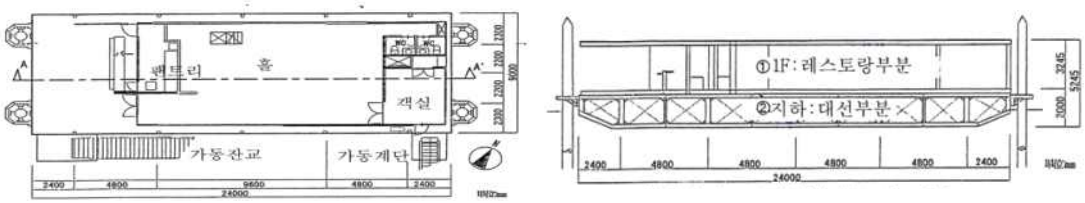
- 1990년대 정온수역을 유효하게 이용하게 위해 플로팅 시설물이 출현하였으며, 플로팅 시설물은 수면에 부유하는 집객시설이라는 특수성으로 인해 「건축기준법」과 「선박안전법」 두개의 법이 적용되었고 「항만법」에 의한 수면점용허가가 필요하며, 이 결과 이중설비, 관계기관 마다의 검사 등으로 인한 초기투자비의 증가와 복잡한 절차가 문제가 되어 왔음
- 1998년 3월 해양건축물에 대한 통달(通達: 알림, 통첩) 및 2000년 6월에 「건축기준법」의 일부 개정 등에 의해 플로팅 시설물의 건조는 새로운 전기를 맞이하였으며, 1998년 3월 건설성에서 「해양건축물 안전평가 지침」을 개정(제38조가 삭제되어 플로팅 시설물에 적용되었던 지침이 폐지)하고, '해양건축물의 취급에 대하여'를 통지하여 관계기관 마다 행해왔던 건축검사를 동시에 행하도록 하여 절차가 간소화됨
- 동경도에서는 2005년 3월에 '운하르네상스'를 결정하여 수면점용의 규제를 완화하여 플로팅 시설물에 적용되는 수역점용허가가 쉬워지고 「건축기준법」 제38조의 삭제에 의해 성능평가는 건설대신의 인정을 받도록 하였으며, 특수건축물을 건조할 때 대신인정이 필요한 경우를 구조 및 방화 등의 각 규정에서 정하고 심사기관과 심사방법을 법령상 명확하게 정하고 있음
- 지금까지 「항만법」의 수면점용허가는 물류 등 항만기능에 공하는 용도에 한하여 허락되었으나 2005년 6월 동경도에서는 이들 운하를 관광에 활용하고자 하는 '운하르네상스' 구상을 발표하고 이용이 저하된 운하와 그 주변 토지를 매력 있는 공간으로 재생하기 위해 사업추진지구를 지정하고 이 지구에서는 운하를 번화하게 하고 수변의 매력을 창출하기 위해 상업시설의 설치가 가능하도록 「항만법」의 수면점용허가기준이 완화되었음
- '운하르네상스' 구상으로 말미암아 부유식 시설물의 건조에 따른 상황이 크게 바뀌었으며 [그림 3-57] '운하르네상스' 구상의 제1호 사례로서 건조된 부유식 레스토랑 'Waterline' 임



A: 부유식 레스토랑 'Waterline' 전경

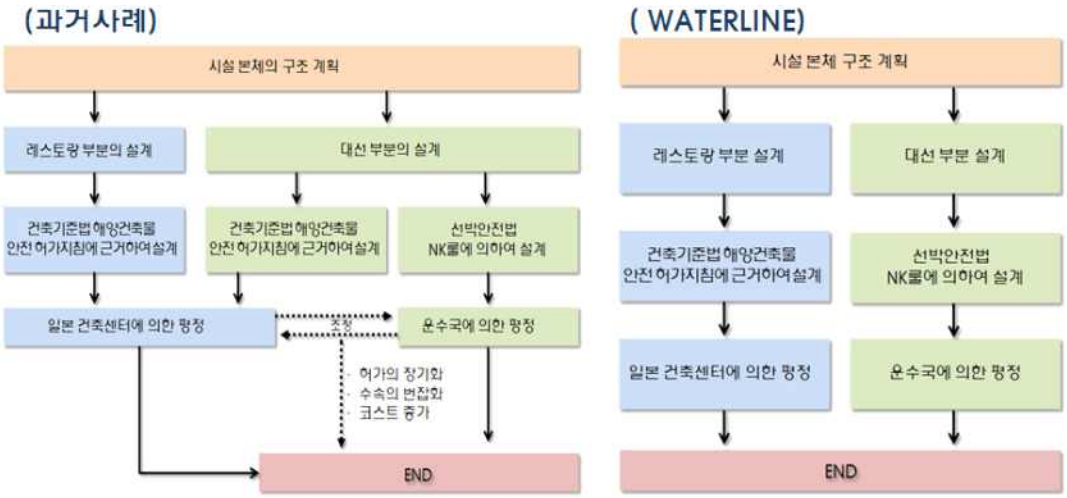



B: 부유식 레스토랑에 적용된 주요 법률




C: 부유식 레스토랑 평면도　　D: 부유식 레스토랑 A-A' 단면도

[그림 2-3-11] 부유식 레스토랑 'Waterline' 사례




[그림 2-3-12] 일본 플로팅 건축물 법적용 프로세스

○ 부유식 레스토랑 'Waterline' 이 설치된 운하의 수면에는 「도시계획법」에 의한 '시가화조정구역'과 「항만법」에 의한 '항만구역'이 지정되어 있음

○ 이 시설의 전체에는 「건축기준법」과 「선박안전법」을 동시에 적용하였고, 이 시설은 선박과 같이 수면에 부유하는 시설이기 때문에 「선박안전법」 제2조 1항에서 정한 '계류선'에 해당하며 건축물의 정의에 해당하는 '토지에 정착'하고 있지 않으나 음식점의 용도로서 불특정 다수인을 수용하는 시설이기 때문에 「건축기준법」도 함께 적용함

○ 당 사례는 민간사업자가 수면에 음식점을 짓는 경우로 운하를 관광자원화하려는 '운하르네상스' 구상의 이념을 따르는 프로젝트로 인정되어 동경도와 시나가와구(品川區)가 협의한 결과 「도시계획법」 제34조 제1항 제2호의 '관광자원을 유효하게 이용하는 경우에 필요한 건축물의 건설'에 해당하는 개발행위로 인정됨

○ 항만구역 내 수면을 점용하는 경우「동경도 항만구역 및 항만 인접지역 점용료 등징수 조례」에 의거 점용료를 항만관리자에게 지불해야 하며 따라서 2005년 4월에 '운하르네상스' 구상에 맞추어 조례를 일부 개정하여 상업시설의 점용료로

서 ‘수역점용장소 근방의 토지에서 고정자산세평가액’에 1㎡ 당 0.000625를 곱한 금액(월 금액)을 새롭게 정함

○ 지금까지 사례와 같은 부유시설의 점용기간은 1990년의 通達에 의해 점용조건의 성격 등에 따라 최장 10년(갱신가능)으로 되었고 안건에 따라 기간에 차이가 있었고 ‘동경도항만관리조례시행규칙’ 제8조 제1항 제3호에 의하면 수면점용기간은 1년간(매년 갱신)이지만 당 사례의 경우에는 도지사가 특별히 5년간 공유수면 점용허가를 내주었음

○ 계류장치는 「항만법」 제56조의 2에서 정한 ‘항만시설기술기준 및 동해설’에 의해 설계되며, 당 사례에서는 최신식인 롤러식 방현재를 사용하였으며 이에 따라 계류기구의 설계 시 사단법인 일본마리나·비치협회의 ‘프레저보트용 부잔교 설계 매뉴얼’을 함께 사용하였으며 지진을 대비한 안전성 평가를 위해 전문가에게 진동계산을 의뢰하였음

○ 부유식 시설물을 건조시 「건축기준법」 제37조에 규정되지 않은 특수한 건축재료 및 건조방법을 사용하는 경우가 많아 통상 이에 대한 기술적 기준을 제시한 (재)일본건축센터의 ‘해양건축물 안전평가지침’에 의해 설계하며 당 사례도 이에 기초하여 설계함

○ 종래에는 상부 레스토랑부분은 일본건축센터에서 평가하고 하부부체부분은 일본건축센터의 건축 확인과 운수국의 선박검사를 모두 받아야 했음

○ 이 과정에서 두기관의 조정이 필요하였으며 이에 따라 절차는 복잡해지고 소화설비나 피난계단 등에서 이중 설치 및 추가공사가 발생함

○ 당 사례는 레스토랑부분은 「건축기준법」이 적용되고 하부부체부분은 시설을 부유시키는 기능을 가지고 있기 때문에 선박안전법의 적용을 받고 있으며, 건축 확인은 레스토랑부분만 ‘일본건축센터’에서 구조평가를 하고 선박검사에서는 부체부분만 운수국에서 구조검사를 담당하여 법률 적용부분이 명확해지고 사업자는 중복된 기준 및 심사를 받을 필요가 없어져 절차의 간소화가 가능해 짐

○ Waterline은 부유식이기 때문에 부동산등기는 불가능하였으며 선례가 없다는 이유로 동산으로도 등기하지 못하였으며 5년 동안 수역점용허가를 받아 사용되고 있음

(나) 미국 사례

○ 미국은 연방정부차원에서 「연안관리법」이 있고 연안에 위치한 주정부는 「연안관리법」에 적합한 연안관리프로그램을 채택하고 있으며 주에 소속된 지자체는 주정부의 연안관리프로그램을 준수하거나 그에 따른 연안관리프로그램을 채택함

○ 따라서 연안에 플로팅 주택을 설치하는 경우에는 기본적으로 각 주에서 채택하고

있는 연안관리프로그램과 지자체의 연안관리프로그램을 준수해야 하고 또한 각 주 및 지자체 「건축법」과 환경관련법을 준수해야 함

○ 플로팅 주택은 주에 따라 “floating home” 혹은 “floating house”로 불리고 있으며 일반적으로 “한 곳에 정지된 수상주택으로서 자체 추진력을 갖지 않으며 필요한 설비는 육상과 연결되어 공급받고 하수처리 역시 육지 하수처리시스템에 연결되어 있는 플로팅 구조물”로 정의하고 있음

○ 미국에서는 플로팅 주택과 관련하여 ‘플로팅 주택 마리나’의 개념이 매우 중요한데 이는 플로팅 주택들이 그룹으로 모여 있는 일정한 구역 즉 플로팅 주택을 지을 수 있도록 특별히 정해진 지역을 의미

○ 일반적으로 ‘플로팅 주택 마리나’는 개인이 소유하고 있으며 지자체나 주정부에서 특별히 ‘플로팅 주택지구’로 지정한 곳에 위치하고 이 마리나 주인은 법적으로 전통적인 토지소유자로서 역할을 하고 있음

○ 캘리포니아주(California), 아이다호주(Idaho), 오레곤주(Oregon) 등에서는 플로팅 주택 입주자와 플로팅 주택 마리나의 주인 사이에 일어나는 법적 문제를 해결하기 위해 「플로팅 주택법(Floating Home Residency Law)」을 제정하여 운영하고 있으며 캘리포니아주의 「플로팅 주택법(Floating Home Residency Law)」이 대표적임

○ 「플로팅 주택법」에서는 부지 임대 협정, 부지 임대 조건, 플로팅 주택의 매도 및 이전 등에 관해 정하고 있음

○ 캘리포니아주와 워싱턴주에는 플로팅 주택에 관한 별도의 법을 가지고 있음에 반해 뉴욕주 뉴욕시의 경우에는 플로팅 구조물(floating structure)에 관한 도시지역조례(Zoning Resolution of the City of New York)를 가지고 있음

○ 캘리포니아주 로스엔젤스 마린카운티(County of Marin)는 마린카운티 건축법전(Marin County Code-Building)에서 제19.18장 플로팅 주택 건축 및 관리 규정(Regulation of the Construction and Maintenance of Floating Homes)을 채택하고 있음

○ 플로팅 주택 관련 세금을 목적으로 주마다 플로팅 주택에 대한 재산권이 다른데 캘리포니아주는 부동산(real property)으로 확실하게 인정하는 반면에 워싱톤주에서는 동산(personal property)으로 분류하고 있으며 이에 따라 주민이 지불해야 하는 세금도 달라짐

○ 플로팅 주택의 재산권에 따른 세금 때문에 각주마다 부동산이나 동산으로 다르게 취급되더라도 입지를 위한 지역조례(zoning regulation)는 부동산(건물), 동산(선박) 모두에게 적용되고 있음

○ 플로팅 주택 허가 및 등기에 관해 캘리포니아주는 이동식 주택(mobile home)을

위한 등기법을 플로팅 주택에도 적용하고 있으며 뉴저지주에서는 연속해서 10일 이상 플로팅 주택을 계류하기 위해서는 허가를 받도록 규정하고 있음

- ○ 민간인이 플로팅 건축물을 건축하려고 할 경우 지자체의 건축법 및 환경법 등을 준수하고 연안관리프로그램에 합치할 경우 허가를 받을 수 있으며 플로팅 주택의 허가권자는 원칙적으로 연안관리프로그램을 책임지고 있는 지자체임
- ○ 플로팅 주택의 법적 규제 및 관리에 대해 플로리다주와 아이다호주에서는 주에 소속된 기관에서 담당하고 있으나 캘리포니아, 버지니아, 메릴랜드, 노스캐롤라이나 등의 주에서는 지자체(County 혹은 City)에 위임하고 있음
- ○ 워싱톤주에서는 주의 연안관리법(Shoreline Management Act)에 따라 지자체에서 연안관리프로그램(Shoreline Master Programs)을 만들고 이 프로그램 내에 플로팅 주택 관련조항을 집어넣었음
- ○ 워싱톤주 시애틀시에서는 시애틀토지이용법전(Seattle Land Use Code) 제23.60.196조에서 플로팅 주택에 대해 규정하고 있음
- ○ 워싱톤D.C.에서는 플로팅 주택을 위해 마리나와 요트클럽에 대해 특별 지역조례(zoning regulations)를 정하고 있으며 플로팅 주택들이 마리나나 요트클럽 전체 정박지(berths)의 50%를 초과하지 못하도록 하고 있음
- ○ 하천 및 항만법(the Rivers and Harbors Act)에 따라 배가 다닐 수 있는 수역에 플로팅 주택을 건축할 경우 미군공병단(the U.S. Army Corps of Engineers)의 허가를 득하여야 함

[표 2-3-33] 미국 플로팅 주택 법제도 분석

| 주 | 플로팅 주택 개념 | 플로팅 주택 법제도 |
|---|---|---|
| 캘리포니아 | · 정지된 수상주거시설<br>· 자체 추진동력 없음<br>· 설비와 하수는 육상과 연결 | · Floating Homes Residency Law<br>· 부동산으로 인정(세금목적)<br>· 이동식 주택 관련 등기제도 적용 |
| 조지아 | · 하구 수역에 정박한 플로팅시설<br>· 인간 혹은 동물 거주용<br>· 선박 포함 모든 부유식 구조물 | – |
| 아이다호 | · 캘리포니아주 개념 사용<br>· 정지된 모든 수상주거시설 | · Floating Homes Residency Act<br>· 이동 혹은 고정에 따라 동산 혹은 부동산으로 인정<br>· 주 소속기관에서 법적 규제 활동 |
| 메릴랜드 | · 자항능력이 있거나 없는 모든 선박<br>· 주거용, 상업용, 개인클럽 혹은 사교클럽 용도<br>· 용적계수 >3000ft$^2$(거주공간용적/흘수)<br>· 고정된 바지에 지어진 구조물 | · 플로팅 주택의 계류, 정박, 앵커링, 설치에 관한 규제 및 제한을 위한 법의 채택 및 개정은 지자체(county)에 권한이 있음 |
| 뉴저지 | · 영구 혹은 임시 주거용 수상구조물<br>· 레크리에이션용 선박은 제외<br>· 10일 이상 일정한 장소에 고정 | · 10일 이상 계류는 허가를 득해야함 |
| 오레곤 | · 피어나 말뚝에 의지하는 계류구조물<br>· 보트나 플로팅 레크리에이션 캐빈을 제외한 주거용 구조물 | · 이동식 주택과 플로팅 주택을 위한 법률 적용<br>· 동산으로 인정하지만 계류된 부지가 팔릴 경우 부동산처럼 과세 및 매매 |
| 워싱톤 | · 선박이 아닌 주거용 구조물 | · 세금을 위해 동산으로 인정하지만 매매의 경우 부동산처럼 취급<br>· 지자체에서 Shoreline Master Programs (SMPs)를 채택하고 플로팅 주택은 지역 SMPs를 준수해야함<br>· 새로운 플로팅 주택은 금지하지만 기존 플로팅 주택과 주거단지는 수용함 |
| 워싱톤 D.C. | · 주거용으로 사용되는 보트나 플로팅 구조물<br>· 설비는 육상에 의존<br>· 1달에 15일 이상 야간숙박 | – |
| 노스캐롤라이나 | – | · 지자체(county)에서 플로팅 주택을 위한 용도지역조례(zoning ordinances) 채택 |
| 미국(U.S.) | – | · 미국 내 항해가능 수역에 플로팅 주택을 설치할 경우 미공병단 허가를 득해야 함 |
| 미국공병단 새크라멘토 브랜치 | · 자항능력을 갖지 아니하며 거주구 및 레크리에이션 룸이 있는 플로팅 바지나 건물, 보트 | |

출처: Middle Peninsula Planning District Commission, A Planning Report: Law and Policy Regarding Floating Homes, 2010, Appendix C

(다) 캐나다 사례

○ 캐나다에서는 플로팅 주택을 위한 기준이 지자체마다 다르고 어떤 곳에서는 기준조차 없는 곳이 있으나 브리티시컬럼비아주(British Columbia)를 비롯한 여러 주와 지자체에서 기준을 만들어 플로팅 주택의 신축이나 개축에 적용하고 있음

○ 캐나다에서는 플로팅주택협회(the Floating Home Association)와 해당 주 혹은 지자체가 협동으로 플로팅 주택에 관련된 기준을 만들고 해당 주 혹은 지자체에서 그 기준을 운영하고 있음

○ 캐나다에서 플로팅 주택 관련 대표적인 기준은 브리티시컬럼비아주의 'British Columbia Float Home Standards'로서 플로팅 주택 입지, 규모, 플로팅 주택 마리나 관련 기준, 기술적 요구사항, 설비, 방화, 관리 등에 대해 규정하고 있음

○ 브리티시컬럼비아주의 플로팅 주택 관련 기준은 주에 소속된 지자체에서 채택되어 설계 및 시공자가 플로팅 주택을 건축하는데 그리고 지자체에서 설계도면을 승인하는데 지침으로 활용되고 있음

○ 'British Columbia Float Home Standards' 에서는 브리티시컬럼비아 건축법(Building Code), 배관설비법(Plumbing Code), 캐나다 전기법(Canadian Electrical Code), 구조기준(CSA structural standards), 주거기준(CSA residential standards), 방화협회(NFPA) 기준 등 다른 법과 기준의 내용을 차용하고 있음

○ 'British Columbia Float Home Standards' 의 주요 내용을 살펴보면 다음과 같음

- 정의: 플로팅 주택이란 항해가 불가능한 주거용도의 플로팅 구조물이며 항해를 위한 일체의 장비를 설치하지 못함
- 입지: 플로팅 주택은 지자체가 조례에서 수상주거지로서 조닝을 지정하여 마리나로 개발된 곳에만 입지할 수 있으며 마리나는 플로팅 주택 등록부를 비치해야 함
- 마리나: 마리나란 플로팅 주택이 계류하는 장소로서 수역과 육역을 포함하며 플로팅 주택이 입지하기에 적합한 시설을 갖추어야 하고 특히 가장 낮은 조위에서도 주택 최하부에서 수심 0.6m를 확보해야 함
- 주택규모: 하나의 플로팅 주택은 한 가구(家口)만을 위한 것이어야 하며 3층 높이를 초과하지 못함
- 하부부체: 부체는 해양공학(marine engineering) 및 건축원리(architectural principles)에 따라 설계되어야 하고 해사검정인협회(the Association of Marine Surveyors) 혹은 브리티시컬럼비아 전문기술자협회(the Professional Engineers Association of British Columbia)의 인증 받은 회원의 승인을 받아야 함

- 상부시설 및 거주구: 플로팅 주택의 상부시설 및 주거구는 브리티시컬럼비아 건축법(the B.C. Building Code)의 Part9, "Housing and Small Building"에 따라 설계 및 시공되어야 함
- 상부시설 구조안전: 상부시설은 구조 안전에 대하여 브리티시컬럼비아 건축가협회(the Architectural Institute of British Columbia) 혹은 브리티시컬럼비아 전문기술자협회(the Professional Engineers Association of British Columbia)의 인증 받은 회원의 승인을 얻어야 함
- 설비배치: 주택내부 기계, 전기, 배관의 배치는 안전을 위해 브리티시컬럼비아 전문기술자협회(the Professional Engineers Association of British Columbia)의 인증 받은 회원의 승인을 얻어야 함
- 법적관리: 플로팅 주택에 대한 법적 관리 및 규제의 주체는 지자체이며 이를 위해 해당 지자체는 주정부 혹은 연방정부와 협정을 통해 그러한 권리를 얻어야 함

(라) 네덜란드 사례

○ 지면이 해수면보다 낮은 네덜란드에서는 지구온난화에 의한 해수면 상승으로 인해 저지대 주거지가 침수되는 것을 방지하기 위해 플로팅 건축물 특히 플로팅 주택을 이용한 주거단지 개발을 정부가 정책적으로 지원하고 있음

○ 2008년 플로팅 주택에 관해 개최된 국회(National Congress on Floating Houses)에서 공간계획 및 주거 담당 장관(the minister of Spatial Planning and Housing)이 더 많은 플로팅 주택의 건설을 천명하였으며 2008년 12월 발표된 국가물(水)계획(National Water Plan)에서 공유수면 1,100ha에 플로팅 주택을 건설하도록 국가가 관리하는 공유수면을 지자체에 이양하였음

○ 현재 네덜란드에는 약 2,400가구가 내수면에서 수상생활을 하고 있으며 자국에서 개발한 플로팅 주택 설계기술을 두바이 등 해수면 상승에 대비하는 해양국가에 수출하고 있음

○ 2000년도 이전에는 플로팅 주택에 대해 법적으로 선박인가 혹은 건축물인가에 관하여 의견이 분분하였으나 2000년부터 정부에서는 플로팅 주택에 기존 육상주택과 마찬가지로 「토지기반건설법(land based construction legislation)」과 「주택법(housing legislation)」을 적용하고 있음

○ 플로팅 주택 건설은 크게 두 가지로 구분되는데 하나는 기존의 낡고 오래된 플로팅 주택을 새로운 주택으로 대체하는 사업이고, 다른 하나는 새로운 수역을 찾아내어 새로운 주택을 짓는 사업이며 네덜란드를 비롯한 유럽의 경우 새로운 플로팅 주택 시장이 점차 커지고 있음

○ 오래된 플로팅 주택을 대체하는 사업이 네덜란드 플로팅 주택사업의 기본 시장을

형성하고 있으며 이 경우 대체하는 주택 규모는 기존 주택 규모에 준하며 네덜란드 「건축법(Dutch Building Law)」을 준수할 필요는 없음

- ○ 기존 주택을 대체하는 경우 주택 설계 및 시공은 철저하게 기존 대지 조건과 건축주의 요구사항에 맞게 이루어지고 있으나 이 경우에도 설계 및 시공과정에서 「건축법」을 준수하여 건물의 질을 높이고 있음
- ○ 플로팅 주택의 신축인 경우 수면 하부 토지에 대한 소유권을 개인/기업(개발업자)이 소유할 수 있으며 일반적인 건축법의 적용을 받아 설계/시공/설치함
- ○ 새로운 수역에 새로운 플로팅 주택을 개발하는 경우에는 개발자(developer)가 수면 밑 땅을 시청으로부터 구입해서 플로팅 주택을 건축하고 난 후 분양하는 방식으로 이루어지며 시청에서는 이에 맞게 도시계획을 변경하게 됨
- ○ 새로운 수역에 새로운 플로팅 주택을 개발할 때에는 네덜란드 건축법(Dutch Building Law)의 적용을 받아 플로팅 주택은 기초부분을 제외하고 육상 주택과 동일하게 취급함
- ○ 이상에서 살펴보면 네덜란드에서 플로팅 주택은 법적으로 일반 주택과 마찬가지로 취급되어 동일한 법적 지위를 누리며 이와 더불어 일반 주택과 같은 법적 기준을 만족하고 건축허가를 받아야 함
- ○ 또한 플로팅 주택은 금융기관에서 재산권, 대출, 모기지 등이 가능하며 다만 이 경우 금융기관에서 기초부분 즉, 플로팅 함체는 선급의 검사를 받아 등록하도록 요청함
- ○ 한편 플로팅 주택은 일반 주택과 구조적으로 다르기 때문에 The Netherlands Normalization Institute(NEN)에서 플로팅 주택에 대해 별도로 기술지침(Technical Guidelines and Standards)을 제정하여 건물 안정성, 파동, 계류, 방화, 탈출 등 기술적 사항을 관리하고 있음

(마) 덴마크 사례

- ○ 덴마크에서 플로팅 건축물은 법적으로 “거주, 상업, 업무 용도로 사용되면서 항구에 영구적으로 자리를 잡은 부유식 구조물”로서 정의되고 있음
- ○ 이러한 플로팅 건축물은 우선적으로 건설법(The Construction Act)과 이 법에 의한 건축규정(The Building Regulations) 및 지자체 조례(The Municipal Authority's Requirements)를 적용받으며 또한 은행이나 보험회사 안전기준에 따라 인증을 받아 재산권을 행사할 수 있음
- ○ 한편, 플로팅 건축물은 하부부체에 대해서 해양안전법(The Act on Safety at Sea)에 의한 기술규정(Technical regulations on stability, buoyancy, etc. of houseboats and floating structures)을 적용받으며 이 규정은 하부구조물 선체

(hull)의 안정성, 부유성능, 재료방화성능, 탱크, 빌지시스템(bilge systems) 등에 관련된 기술적 요구사항을 다루고 있음

- ○ 이 기술규정은 안전한 플로팅 건축물 선체의 설계 및 시공을 위해 Danish Maritime Authority에서 2007년에 만들어 집행 및 관리하고 있으며 이에 맞게 건축된 플로팅 건축물은 덴마크선급(The Danish Ship Registry)에서 하우스보트나 플로팅 구조물로 등록할 수 있고 이 때 선급에서는 플로팅 건축물을 구체적으로 플로팅 주택 등으로 지정함
- ○ 특히 플로팅 건축물의 하부 부체(hull)는 시공업체에서 Lloyds Inland Waterways Class를 충족시키며 노르웨이선급(Norwegian Veritas)의 인증을 획득한 시공업체에서 제작함
- ○ 또한 주택용, 상업용, 식당, 카페, 극장, 음악공연장 등으로 사용되는 플로팅 건축물은 덴마크기업건설공사(The Danish Enterprise and Construction Authority)에서 2004년 발간한 플로팅 주택 건설과 관련된 가이드라인을 준수해야 함
- ○ 한편 상업용도로 지어진 플로팅 건축물은 덴마크작업환경공사(The Danish Working Environment Authority)가 관리하는 작업건강안전법(Health and Safety at Work Act)의 적용을 받음
- ○ 덴마크에서 플로팅 건축물 건설과 운영에 관련된 법 적용 및 관리는 지자체에서 담당하며 지자체에서 각 개별 사안에 따라 건축물 용도나 특성에 의해 다양한 법 가운데 어느 것을 적용할 것인지 그리고 법조항 가운데 어느 것을 면제 혹은 완화할 것인지 등을 결정함

[표 2-3-34] 플로팅 건축 관련 법제도 국가별 비교 분석

| 국 가 | 법제도 내용 | 특 성 |
|---|---|---|
| 한 국 | - 선박법을 적용하여 선박(동산)으로 등기함<br>- 선박안전법 및 부유식 구조물에 관한 안전기준을 적용함<br>- 서울 한강에는 지번이 설정되어 있음<br>- 한강 플로팅 건축물 중에는 건축물로 등기한 경우도 있음 | -계류방식에 따라 취급을 달리함 |
| 일 본 | - 기본적으로 플로팅 건축물에서 상부시설물은 건축기준법을 적용하고 하부구조물은 선박법을 적용하고 있음<br>- 최근 운하르네상스사업이나 하천정비사업을 위해 하천법이나 항만법을 완화하여 플로팅 건축물을 허가하고 있음 | |
| 미 국 | - 플로팅 건축물에 대해 주정부 혹은 지방정부의 건축법이 적용되며 플로팅 주택에 대해서는 주정부나 지방정부가 별도의 법을 제정하여 관리함<br>- 플로팅 건축물은 연방법인 연안관리법에 기초해 주정부가 자체적으로 마련한 연안관리프로그램에 부합해야 하며 건축법과 환경관련법을 준수해야 함<br>- 플로팅 건축물의 법적 관리(인허가, 등록 등)를 주정부가 직접 하는 경우와 지자체가 하는 경우로 구분됨 | |
| 캐나다 | - 플로팅주택협회와 지자체가 협동으로 관련 기준을 만들고 해당 지자체에서 법적 관리함<br>- 플로팅 주택의 법적 관리 주체는 지자체이며 해당 지자체는 주정부 혹은 연방정부와 협정을 통해 그 권한을 부여받음 | |
| 네덜란드 | - 플로팅 주택은 법적으로 일반 주택과 동일한 법적 지위를 누리며 같은 법적 기준을 만족하여 건축허가를 받아야 함<br>- 플로팅 주택에는 토지기반건설법(land based construction legislation) 및 주택법(housing legislation)을 적용하고 별도 기술지침을 제정하여 관리하고 있음 | |
| 덴마크 | - 플로팅 건축물은 건설법과 이 법에 의한 건축규정 및 지자체 조례를 적용하며 은행이나 보험회사의 안전규정에 따른 인증을 받도록 함<br>- 플로팅 건축물 하부구조물에 대해 해양안전법에 의한 기술규정을 적용받으며 Danish Maritime Authority에서 만들고 관리함 | |

(2) 새로운 법안

(가) 새로운 법제도 필요성

○ 본질적으로 건축물이지만 선박의 특성도 가지고 있는 새로운 형태의 시설물인 플로팅 건축물을 위해 새로운 법제도는 정당한 재산권 인정, 시설물의 안전, 해양환경 보전을 함께 달성할 수 있어야 함

○ 현행 법제도 하에서 플로팅 건축물의 건설 및 관리에는 「건축법」과 「선박법」을 중복하여 적용할 수밖에 없으나 ,「건축법」이나 「선박법」은 당초 플로팅 건축물을 전혀 예상하지 못하고 만들어졌기 때문에 이들 법의 기본을 이루는 법정신과 입법취지를 무시한 채 이들 법 가운데 어느 하나를 일방적으로 플로팅 건축물에 적용하는 것은 어려운 형편임

○ 기존 「건축법」 개정을 통해 플로팅 건축물의 건축, 인·허가, 등기 등의 내용을 담는 것은 비교적 용이하나 「건축법」은 토지에 정착하는 건축물을 대상으로 제정한 법률로서 플로팅 건축물에 대한 내용을 반영하면 「건축법」 체계 및 법률 시행에 혼란을 초래할 우려가 있음

○ 특히 「건축법」 제5조(적용의 완화)와 동법 시행령 제6조(적용의 완화)에서는 플로팅 건축물이 포함되는 '수면 위에 건축하는 건축물'을 건축 관련 공적 업무에서 대부분 "건축법을 적용하는 것이 매우 불합리하다고 인정되는 대지나 건축물"로서 취급하고 있음

○ 따라서 플로팅 건축물을 법적으로 제대로 관리하기 위해서는 「건축법」에 위임 근거를 마련하고 지자체에서 '건축 조례'와는 별도 플로팅 건축물 관련 조례를 새롭게 제정하여 관련 내용을 명확하게 하는 것이 바람직함

(나) 새로운 법제도 성격

○ 외국 사례를 보면 플로팅 건축물은 일본을 제외한 미국, 캐나다, 유럽의 대부분 국가에서 건축물로서 법적 지위를 가지며 건축물 관련 제반 법규를 적용하고 있음

○ 또한 미국의 많은 주와 캐나다에서는 플로팅 건축물의 인·허가, 등기 등 법적 관리를 중앙정부나 주의 연안관리정책에 적합한 범위 내에서 해당 지방자치단체가 조례에 의해 실시하고 있음

○ 한편 외국 사례에서는 플로팅 건축물의 건설 및 관리를 위해 별도의 기술기준을 만들어 법 제도와 함께 시행하고 있음

○ 이러한 해외 사례를 참고로 하여 우리나라에서도 플로팅 건축물은 「연안관리법」에 의한 연안관리계획의 적합한 범위 내에서 「건축법」을 기반으로 해당 지자체가 별도 새로운 조례를 만들어 관리하도록 법제도를 정비하는 것이 바람직함

○ 법제도 정비와 함께 플로팅 건축물 관련 새로운 「부유식 건축물 기술기준」을 만들어 적용하는 것이 바람직하며 이 기술기준이 만들어질 때까지 기존 「부유식 해상구조물 구조 및 설비 등에 관한 기준」을 준용할 수 있음

○ 플로팅 건축물을 법적으로 건축물로서 지위를 인정하고 「건축법」의 테두리 내에서 다루고자 할 때에 일반 건축물과 법적으로 가장 다른 점은 건축물이 들어설 대지와 하부구조체이므로 새로운 법제도에서는 대지와 하부구조체에 대해 별도로 다루어야 함

○ 플로팅 건축물에 대해 「건축법」을 기반으로 해당 지자체 조례를 통해 법적으로 관리하려면 먼저 「건축법」을 개정하여 플로팅 건축 관련 위임규정 및 법 내용을 마련해야 하며 이에 기초하여 해당 지자체에서 「부유식 건축물 조례」를 새

롭게 제정해야 함

○ 플로팅 건축물에 관한 새로운 조례에는 부유식 건축물 정의, 검사 및 점검, 안전(규모, 재료 및 설치방법, 잔교 및 계류, 설비, 방화 및 피난 등), 환경영향, 관련 사업 등이 포함되며 세부 기술적 내용은 「부유식 건축물 기술기준」을 적용함

○ 플로팅 건축물의 기반이 되는 공유수면에 대해 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」을 개정하여 일반 토지와 다른 '수상대지'의 개념을 설정하고 대지의 등록단위, 등록단위의 조사·측량, 등록단위의 소재, 지번, 지목, 면적, 경계, 등록절차 및 방법 등을 마련해야 함

○ 플로팅 건축물을 위해 새롭게 마련할 「부유식 건축물 기술기준」은 다음과 같은 내용으로 구성함

– 대지의 안전기준
  · 대지의 조성 기준
  · 대지의 관리 기준

– 상부시설물 인증 및 영향평가 기준
  · 건축물에 적용되는 인증 및 영향평가 (친환경건축물예비인증, 에너지효율등급인정, 에너지절약계획, 에너지사용계획, 교통영향평가, 환경영향평가, 경관영향평가, 재해영향평가, 가스영향평가 등) 적용기준

– 상하부구조물 구조안전기준
  · 상하부구조물 구조형식, 재료성능, 구조설계, 구조해석, 구조기준
  · 상하부구조물 하중 및 하중데이터 관련 기준
  · 상부구조물과 하부구조물의 일체를 위한 구조 기준
  · 상하부구조물의 구조변이에 대한 기준
  · 상하부구조물의 접합상세에 관한 기준
  · 하부구조물의 계류장치에 관한 기준
  · 상하부구조물의 관리 및 운영에 관한 기준

– 상하부시설물 설비 및 마감재 기준
  · 상부시설물의 건축, 기계, 전기, 소방 설비와 자재 관련 기준
  · 하부구조물의 기계설비, 공동구, 주요 배관에 관한 기준
  · 내역 정리 시 노임단가 산정 기준
  · 마감재 및 배관재 변이대응성에 대한 기준
  · 비상발전기 등 예비전력 확보 기준
  · 열원, 전원, 상하수도 등 도시기반시설과 연계 기준

· 상하부시설물 설비 및 마감재 관련 관리 및 운영 기준

– 방재 및 피난 기준

· 화재, 환기, 피난 관련 기준

· 지진, 침수, 태풍 관련 방재기준

– 환경오염 기준

· 오수, 폐수, 폐기물 등 처리에 관한 기준

· 수질, 대기, 경관, 에너지사용 등 관리 기준

(다) 새로운 조례를 위한 「건축법」 정비

○ 지자체에서 플로팅 건축물 조례를 제정하여 운영하기 위해서는 우선 「건축법」을 개정해야 함

○ 법의 개정 내용은 앞서 2-1의 '나. 법제도 개선 내용'의 ①에서 ㉓)까지 제시한 것과 같으며 단, ⑨부터 ⑱까지는 '나. 법제도 개선 내용'의 내용과 달리 다음과 같이 개선함

⑨「건축법」 제35조(건축물의 유지·관리)에서 4항을 다음과 같이 첨가

– ④ 특별자치도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 '수면 위에 건축하는 건축물' 가운데 부유식 건축물의 유지 · 관리 기준 및 절차 등에 관하여 필요한 사항을 정할 수 있음

⑩「건축법」 시행령 제32조(구조 안전의 확인) 1항에 다음 호를 첨가

– 8. '수면 위에 건축하는 건축물' 가운데 부유식 건축물로서 「부유식 건축물 기술기준」으로 정하는 것

⑪ 「건축법」 제40조(대지의 안전 등)에서 다음 항목을 첨가

– ⑤ 특별자치도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 '수면 위에 건축하는 건축물' 가운데 부유식 건축물의 대지에 관한 안전은 별도로 정함

⑫ 「건축법」 시행령 제27조(대지의 조경) 1항10호에 다음과 같이 첨가

– 다. '수면 위에 건축하는 건축물' 가운데 부유식 건축물

⑬ 「건축법」 제42조(대지의 조경) 2항에 다음과 같은 단서조항을 첨가

단, 특별자치도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 '수면 위에 건축하는 건축물' 가운데 부유식 건축물의 경우 조경기준은 별도로 정함

⑭「건축법」 제44조(대지와 도로의 관계)에 다음 항을 추가

– ③ 특별자치도지사 또는 시장 · 군수 · 구청장은 '수면 위에 건축하는 건축물'

가운데 부유식 건축물의 경우 대지와 도로의 관계는 별도로 정함

⑮ 「건축법」 제46조(건축선의 지정)에 다음 항을 첨가

– ③ 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물의 건축선은 별도로 정함

⑯「건축법」 제53조(지하층)에 다음 항을 첨가

– ② 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물은 지하층에 관하여 별도로 정함

⑰「건축법」 제58조(대지안의 공지)에 다음 단서 조항을 첨가

단, 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물의 대지안의 공지는 별도로 정함

⑱ 「건축법」 제61조(일조 등의 확보를 위한 건축물의 높이 제한) 5항을 다음과 같이 첨가

– ⑤ 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물에 관한 건축물 높이는 별도로 정함

○ 다음으로 「건축법」 내에 플로팅 건축물 관련 정의를 새롭게 하고 해당 지자체 조례에 대한 위임 규정을 마련함

① 「건축법」 제2조(정의) 1항 정의에 다음과 같이 첨가

– 20. 수면 위에 건축하는 건축물

②「건축법」 시행령 제2조(정의) 제1항2호에 다음과 같이 첨가

– 17. ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 이란 바다, 강, 호수 등 수면의 한 곳에 항구적으로 고정하여 설치되는 공작물로서 건축법 제2조 2항 및 시행령 제3조의4에서 규정한 건축물 용도로 사용되는 것으로서 다음과 같은 것을 말함

가. 수면 밑 토지에 기둥이나 파일에 정착하고 있는 고정식 건축물

나. 수면 밑 토지에 고정된 기둥이나 파일에 계류되어 있는 부유식 건축물

다. 수면 밑 토지에 고정된 체인 등 계류장치에 의해 계류되어 있는 부유식 건축물

③「건축법 시행령」 제3조(대지의 범위) 제1항1호에 다음 단서조항을 첨가

단, ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물은 대지의 범위를 조례로 정함

④ 「건축법」에 부유식 건축물에 관하여 새로운 조항을 다음과 같이 신설함

–「건축법」 제10조(부유식 건축물) ① 법 제2조 1항20호 ‘수면 위에 건축하

는 건축물’ 가운데 시행령 제2조 17호 나목 및 다목의 ‘부유식 건축물’을 건축하는 경우에는 부유식 건축물에 관한 조례가 정하는 바에 따라 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장의 허가를 받아야 한다. 다만, 대통령령이 정하는 일정한 규모 및 용도의 부유식 건축물을 설치하고자 하는 경우에는 국토해양부장관의 허가를 받아야 한다.

② 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장은 제1항에 따라 부유식 건축물의 건축을 허가하는 경우 국토해양부령으로 정하는 바에 따라 건축물대장에 이를 기재하여 관리하여야 한다.

③ 국토해양부장관은 부유식 건축물의 설계·시공·감리 및 허가 등 제반 건축 업무에 필요한 「부유식 건축물 기술기준」을 별도로 국토해양부령으로 제정하여 관계자가 사용할 수 있도록 하여야 한다.

⑤「건축법」 제68(기술적 기준)에 다음 항을 첨가

– ② ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물은 「부유식 건축물 기술기준」을 만족하여야 한다. 단, 「부유식 건축물 기술기준」이 만들어질 때까지 국토해양부고시(2008-647호) ‘부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준’을 만족하여야 한다.

⑥「건축법」 제69조(특별건축구역의 지정) 1항에 다음 호를 첨가

– 2. 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장이 ‘수면 위에 건축하는 건축물’ 가운데 부유식 건축물을 건축하기 위하여 정한 사업구역

[표 2-3-3] 새로운 법제도 구성

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 새로운 법안 | · 「건축법」의 위임으로 새로운 조례 제정 :<br>「부유식 건축물에 관한 조례(안)」 |
| 조례의 대상 | · 수역 : 해양시설물과 내수면시설물<br>· 구조 : 부유식 구조물<br>· 소유 : 국유시설물, 민간소유시설물<br>· 위치 : 내수면과 해수면의 공유수면<br>· 용도 : 건축물 및 이에 부속된 시설물<br>· 상태 : 이미 설치된 건축물, 설치할 건축물 |
| 조례의 구성 | · 제1장 총 칙<br>· 제2장 부유식 건축물의 설치<br>· 제3장 부유식 건축물의 대지<br>· 제4장 부유식 건축물의 유지·관리<br>· 제5장 보 칙 |
| 재산권 공시 | · 건축물로서 부동산 등기 |
| 인허가 사항 | ·「건축법」에 따른 인허가 |
| 안전기준 | · 국토해양부령으로 「부유식 건축물 기술기준」 마련 |

(라)「부유식 건축물에 관한 조례(안)」

**제1장 총 칙**

**제1조(목적)** 이 조례는 「건축법」, 「건축법 시행령」, 「건축법 시행규칙」에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

**제2조(적용범위)** 이 조례는 ○○○시 행정구역 안의 '수면 위에 건축하는 건축물' 가운데 부유식 건축물 및 그 대지에 대하여 적용한다.

**제2장 부유식 건축물의 설치**

**제3조(기술소위원회)** ① 「○○○시 건축 조례」에 의해 설치된 ○○○시건축위원회(이하 "건축위원회"라 한다) 내에 부유식 건축물 기술소위원회(이하 "기술소위원회")를 둔다.
② 기술소위원회에는 위원장을 포함한 5명 위원으로 구성하되 위원에는 선급 혹은 선박안전기술공단의 전문가, 해양공학분야 전문가, 건축구조분야 전문가를 포함한다.

③ 기술소위원회에서는 다음 각 호의 사항을 심의한다.
1. 「건축법 시행령」 제2조 17호 '수면 위에 건축하는 건축물' 가운데 부유식 건축물
2. 위원회에서 기술소위원회의 심의가 필요하다고 인정하여 부의하는 사항
3. 「건축법」 및 기타 법령에서 기술소위원회의 심의를 받도록 한 사항
④ 기술소위원회에서 심의한 결과는 건축위원회에 제출하며 건축위원회는 이 결과에 근거하여 해당 부유식 건축물의 건축심의를 시행한다.
⑤ 제1항의 규정에 의한 기술소위원회의 조직·운영 기타 필요한 사항은 조례 시행규칙으로 정한다.

**제4조(적용의 완화)** ① 법 제5조와 시행령 제6조에 따라 부유식 건축물에 대하여 이 법의 기준을 완화하여 적용할 것을 시장에게 요청하고자 하는 자는 별지 서식의 완화 요청서와 관계도서를 구비하여 시장에게 건축허가 전에 제출하여야 한다.
② 제1항에 의한 요청을 받은 시장은 검토의견을 첨부하여 건축위원회에 제출하며 건축위원회의 심의를 거쳐 그 결과를 신청인에게 통지하여야 한다.
③ 제2항에 의한 심의요청을 받은 건축위원회는 해당 사항에 대해 기술소위원회 심의를 거쳐 완화여부 및 적용범위를 결정한다.

**제5조(기존 부유식 건축물에 대한 특례)** ① 법 제6조 및 시행령 제6조의2제1항에 따라 기존 부유식 건축물에 대하여 건축(재축·증축·개축) 및 용도변경을 허가할 수 있다.
② 제1항에 의한 건축 및 용도변경은 기술소위원회 심의를 거쳐서 시장이 허가하며 건축 및 용도변경의 결과가 「부유식 건축물 기술기준」에 적합하여야 한다.

**제6조(부유식 건축물의 설치에 관한 사전결정)** ① 법 제10조에 따라 부유식 건축물의 사전결정을 신청하고자 하는 자는 별지 서식의 사전결정신고서와 관계도서를 구비하여 시장에게 건축허가 전에 제출하여야 한다.
② 제1항에 의한 사전결정을 신청하는 자는 건축위원회의 심의 및 「환경영향평가법」에 의한 환경영향평가를 동시에 신청할 수 있다.
③ 시장은 제1항에 따른 신청을 받으면 부유식 건축물의 입지, 규모, 용도 등을 기술소위원회 심의를 거쳐 사전결정한 후 사전결정 신청자에게 알려야 한다.

**제7조(설치허가)** ① 법 제11조에 따라 부유식 건축물의 설치허가를 받고자 하는 건축물은 「부유식 건축물 기술기준」에 적합하게 설계되어야 한다.
② 부유식 건축물 설치허가를 받고자 하는 자는 별지 서식의 설치허가신청서와 관계도서를 구비하여 시장에게 제출하여야 한다.
③ 시장은 제2항의 설치허가를 하는 때에는 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」 제8조에 따라 공유수면 점용·사용허가를 함께 하여야 한다.
④ 시장은 제2항에 따른 신청을 받으면 건축위원회 및 기술소위원회 심의를 거쳐 부유

식 건축물의 설치허가를 결정한 후 허가신청자에게 알려야 한다.
⑤ 시장은 부유식 건축물의 용도·규모 또는 형태가 연안 또는 공유수면의 보전·이용·관리 등을 감안할 때 부적합하다고 인정하는 경우에는 이 조례의 규정에도 불구하고 건축위원회 및 기술소위원회의 심의를 거쳐 설치허가를 하지 아니할 수 있다.

**제7조의2(타법과의 관계)** 제7조에 의해 설치허가를 받은 부유식 건축물은 「항만법」, 「어촌·어항법」, 「하천법」, 「농어촌정비법」에 의해 해당 공유수면의 점용·사용허가를 받은 것으로 본다.

**제8조(설치현장 안전관리예치금)** ① 제7조의 규정에 의하여 설치허가를 받은 자는 법 제13조제2항 규정에 의하여 설치현장의 미관 개선 및 안전관리에 필요한 비용(이하 "예치금"이라 한다)을 예치하여야 한다.
② 1항에 따른 "예치금"은 착공신고를 하는 부유식 건축물의 설치자에게 장기간 설치현장이 방치되는 것에 대비하여 공유수면의 오염방지 등에 필요한 비용을 설치공사비의 1퍼센트 범위 안에서 예치하게 할 수 있다.
③ 시장은 설치현장이 방치되어 연안 또는 공유수면 주변의 미관을 저해하거나 안전에 위해가 되거나 혹은 공유수면의 오염의 위험이 있다고 판단하는 경우에는 설치허가를 받은 자에게 수부유식 건축물의 설치현장에 대한 미관, 안전관리, 또는 공유수면의 오염방지 등을 위한 개선을 명할 수 있다.
④ 부유식 건축물의 건축허가를 받은 자가 법 제22조의 규정에 의해 사용승인을 받은 때에는 시장은 당해 건축주가 예치한 예치금을 반환하여야 한다.

**제9조(설치제한)** ① 시장은 연안관리지역계획 또는 도시계획상 특히 필요하다고 인정하는 경우에는 허가를 받은 부유식 건축물의 착공을 제한할 수 있다.
② 제1항의 규정에 따라 부유식 건축물의 착공을 제한하는 경우 그 제한기간은 2년 이내로 한다. 다만, 1회에 한하여 1년 이내의 범위에서 그 제한기간을 연장할 수 있다.
③ 시장은 제1항의 규정에 의하여 부유식 건축물의 착공을 제한하는 경우에는 그 목적·기간·대상건축물의 용도·대상 공유수면 등을 상세하게 정하여 지체 없이 공고하여야 한다.

**제10조(용도변경)** ① 시행령 제14조제6항에 의거 부유식 건축물의 용도를 변경하고자 하는 자는 별지의 용도변경 신청서와 관계도서를 구비하여 시장에게 신청하여야 한다.
② 시장은 제1항에 따른 신청을 받으면 건축위원회 및 기술소위원회 심의를 거쳐 부유식 건축물의 용도변경의 허가를 결정한 후 허가신청자에게 알려야 한다.

**제11조(지하층설치)** 법 제53조 제2항에 의거하여 부유식 건축물의 지하층은 「부유식

건축물 기술기준」에 적합하게 설치하여야 한다.

**제12조(건축물높이제한)** 법 제61조 제5항에 의거하여 부유식 건축물의 높이는 「부유식 건축물 기술기준」에 적합한 높이 이하로 하여야 한다.

**제13조(수질 및 환경오염방지)** 부유식 건축물의 공사시공자는 「부유식 건축물 기술기준」에 적합하도록 공사현장의 수질 및 환경오염을 방지하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.

**제14조(안전관리)** 부유식 건축물의 공사시공자는 「부유식 건축물 기술기준」에 적합하도록 공사현장의 안전관리를 위해 필요한 조치를 하여야 한다.

## 제3장 부유식 건축물의 대지

**제15조(대지의 범위)** ① 법 제2조 제1항1호 단서조항에 의거하여 부유식 건축물의 대지는 「부유식 건축물 기술기준」에 적합하게 조성된 수면 밑 토지나 수면에 떠 있는 인공대지의 하나로 할 수 있다.
② 1항에 따라 부유식 건축물의 대지로 인정할 수 있는 대지의 범위는 정온수역이 확보된 곳으로서 건축물 안전, 수질 오염, 주변과의 관계 등을 고려하여 법 제69조 제1항2호에 의거하여 시장이 건축위원회와 기술소위원회 심의를 거쳐 지정한 특별건축구역 내에 한한다.
③ 부유식 건축물을 위한 특별건축구역의 지정절차는 조례 시행규칙으로 정한다.

**제16조(대지의 안전)** 법 제40조제5항의 규정에 의거하여 부유식 건축물의 대지는 「부유식 건축물 기술기준」에 따라 안전하게 조성되어야 한다.

**제17조(대지의 조경)** ① 법 제42조2항 단서조항에 의거하여 부유식 건축물에 대해 건축위원회 및 기술소위원회 심의를 거쳐 「ㅇㅇㅇ시 부유식 건축물 조경기준」을 별도로 정한다.
② 시행령 제27조10호의 규정에 의거하여 부유식 건축물은 조경을 위한 식수를 대신하여 「ㅇㅇㅇ시 부유식 건축물 조경기준」에 따라 수상에 연못·분수대·고정분재 등을 설치할 수 있다.

**제18조(대지와 도로 및 주차장의 관계)** ① 법 제44조1항 단서 조항에 의거하여 부유식 건축물의 경우 건축위원회와 기술소위원회의 심의를 거쳐 인접 육지의 접안부분에 공지를 확보하고 그곳을 도로에 준하는 공간으로 인정할 수 있다.

② 부유식 건축물의 주차장은 건축위원회와 기술소위원회의 심의를 거쳐 인접 육지에 공지를 확보하고 그곳을 주차장에 준하는 공간으로 인정할 수 있다.
③ 부유식 건축물은 1항 및 2항에서 인정한 도로 및 주차장과 잔교 등 연결수단을 통해 연결되어야 한다. 단, 건축위원회에서 정한 일정규모 이상의 부유식 건축물은 서로 다른 방향에서 두 군데 이상 도로 및 주차장과 연결되어야 한다.

**제19조(건축선의 지정)** 법 제46조(건축선의 지정) 3항에 의거하여 부유식 건축물의 건축선은 부유식 건축물의 계류를 위해 건축물에 연결하여 설치한 계류시설물들의 제일 바깥지점을 연결한 선으로 정한다.

**제20조(대지안의 공지)** ① 법 제58조(대지안의 공지) 단서조항에 의거하여 부유식 건축물의 건축선으로부터 건축물의 각 부분까지 띄어야 하는 거리는 「부유식 건축물 기술기준」에서 제시한 거리 이상으로 한다.
② 부유식 건축물의 인접대지 경계선으로부터 건축물까지 띄어야 하는 거리는 「부유식 건축물 기술기준」에서 제시한 거리 이상으로 한다.

## 제4장 부유식 건축물의 유지와 관리

**제21조(건축물의 유지·관리)** 법 제35조에 의거하여 부유식 건축물의 설치자 또는 관리자는 「부유식 건축물 기술기준」에서 정하는 바에 따라 부유식 건축물·대지 및 건축설비를 적절하게 유지·관리하여야 한다.

**제22조(건축물의 철거)** ① 법 제36조에 의거하여 부유식 건축물을 철거하는 경우에 설치자 또는 관리자는 별지 서식의 신청서와 관계서류를 철거하기 전에 시장에게 제출하여야 한다.
② 제1항에 따라 부유식 건축물을 철거하는 경우 수질 오염 및 주변 환경이 오염되지 않도록 하고 철거 후에는 건축물의 잔유물이 수상에 남아 있지 않도록 해야 한다.

**제23조(건축물 관리대장의 비치·관리)** ① 시장은 부유식 건축물에 대해 다음 각 호에 해당되는 경우 별도 관리대장에 부유식 건축물에 관한 사항을 기재하고 이를 보관하여야 한다.
1. 사용승인서를 교부한 경우
2. 설치허가대상 건축물외 수상시설물 설치공사를 끝낸 후 기재 요청이 있는 경우
3. 시장이 건축위원회 및 기술소위원회 심의를 거쳐 기재를 정하는 건축물의 경우

② 제1항의 규정에 의한 부유식 건축물 관리대장의 서식·기재내용·기재절차 등 기타 필요한 사항은 조례 시행규칙으로 정한다.

## 제5장 보 칙

**제24조 (감독)** ① 시장은 부유식 건축물의 허가, 설치 및 관리업무에 대해 철저히 감독해야 한다.
② 시장은 부유식 건축물에 대해 허가, 설치, 운영 및 관리실태 등을 지도·점검하기 위하여 매년 지도·점검계획을 수립·시행하여야 한다.

**제25조(위반 부유식 건축물에 대한 조치)** ① 시장은 부유식 건축물이 이 조례를 위반한 경우에는 허가 또는 승인을 취소하거나 그 부유식 건축물의 설치자·공사시공자·현장관리인·소유자·관리자 또는 점유자에 대하여 그 공사의 중지를 명하거나 상당한 기간을 정하여 그 건축물의 철거·개축·증축·수선·용도변경·사용금지·사용제한 기타 필요한 조치를 명할 수 있다.
② 시장은 제1항의 규정에 의하여 허가 또는 승인이 취소된 부유식 건축물 또는 제1항의 규정에 의한 시정명령을 받고 이행하지 아니한 부유식 건축물에 대하여는 당해 건축물을 사용하여 행할 다른 법령에 의한 영업 기타 행위의 허가를 하지 아니하도록 요청할 수 있다.
③ 제2항의 규정에 의한 요청을 받은 자는 특별한 이유가 없는 한 이에 응하여야 한다.
④ 시장은 제1항의 규정에 의한 시정명령을 하는 경우에는 조례 시행규칙이 정하는 표지를 당해 위반건축물 안에 설치하여야 하며 부유식 건축물 관리대장에 위반내용을 기재하여야 한다.

**제26조(시행규칙)** 이 조례를 시행함에 있어 필요한 사항은  규칙으로 정할 수 있다.

## 3. 피난 및 방재계획 기준

### 가. 플로팅 건축물의 재해특성

#### (1) 예상가능 재해

○ 플로팅 건축물은 기능 및 용도에 있어 일반 건축물과 유사한 특성을 가지며 구조형식 및 입지에 있어서는 선박과 유사한 특성을 가짐

○ 현재 국내의 경우 플로팅 건축물의 사용이 활성화되지 않고 있기 때문에 발생한 재해에 대한 정확한 자료가 부족함

○ 따라서, 방재 계획 시 육상 건축물에서 고려되는 것과 해상의 선박 및 부유식 해양구조물에서 고려되는 것에 대하여 모두 검토할 필요가 있음

#### (가) 선박 및 부유식 해양구조물 재해의 분류

○ 선박에서 발생할 수 있는 사고는 충돌, 침몰, 기름유출, 전복, 좌초, 화재, 폭발, 기관고장 등의 재해가 발생할 수 있음(김동진 외, 2011)

○ 부유식 해양플랜트 구조물에서 발생되는 재해의 경우 [표 2-3-36]과 같이 분류할 수 있으며 해양플랜트 구조물 중 거주용 시설에 있어서 발생한 재해에 대한 분류는 [표 2-3-37]과 같음

[표 2-3-36] 해양플랜트에서 발생할 수 있는 재해유형

| 재해유형 | 설명 | 재해유형 | 설명 |
|---|---|---|---|
| Anchor failure | 앵커, 앵커라인, 계류장치 등과 관련된 문제 | Helicopter | 헬리콥터와 관련된 사고 |
| Blowout | 저장된 오일, 가스 등의 예기치 않은 유출 | Leakage | 침수 등 부력, 안정성 상실의 원인이 되는 사고 |
| Capsize | 안정성 상실로 인한 전복 | List | 의도하지 않은 기울어짐 |
| Collision | 타 선박 등과의 충돌사고 | Machinery | 엔진, 트러스트 등 기계장치의 조종불능, 고장 |
| Contact | 충돌사고의 원인이 되는 타 선박 등과의 접촉 | Off position | 설치장소 이탈, 표류 |
| Crane | 크레인과 관련된 사고 | Spill/release | 석유, 가스 등의 유출로 인한 오염, 폭발 등의 원인이 되는 사고 |
| Explosion | 폭발 | Structural | 선체 등 구조체의 파괴 |
| Falling object | 장구류, 물건 등의 낙하 | Towing/towline | 예인선 파단 등의 사고 |
| Fire | 화재 | Well problem | 시추 공과 관련되 사고 |
| Foundering | 부력 상실로 인한 침몰 | Others | 이상의 것 외의 사고 |
| Grounding | 해저지반, 암초 등과 접촉 | | |

출처: DNV(2007)

[표 2-3-37] 주용 구조물 재해유형별 발생건수

| 재해유형 | Anchor failure | Blowout | Capsize | Collision | Contact |
|---|---|---|---|---|---|
| 발생건수 | 26 | - | - | 1 | 10 |

| 재해유형 | Crane | Explosion | Falling object | Fire | Foundering |
|---|---|---|---|---|---|
| 발생건수 | 30 | 1 | 46 | 12 | - |

| 재해유형 | Grounding | Helicopter | Leakage | List | Machinery |
|---|---|---|---|---|---|
| 발생건수 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |

| 재해유형 | Off position | Spill/release | Structural | Towing/towline | Well problem |
|---|---|---|---|---|---|
| 발생건수 | 11 | 1 | 7 | 1 | - |

출처: DNV(2007)

○ 초대형 부유식 해상구조물에서 발생할 수 있는 사고 유형의 분류로는 충돌, 침수, 전복 · 침몰, 표류, 구조파괴, 화재 · 폭발 및 기관 · 전기계통의 고장 등으로 나눌 수 있음

○ 이상에서 조사된 선박과 해양플랜트 및 초대형 부유식 해상구조물에서 발생할 수 있는 재해유형을 통해 플로팅 건축물에서 발생이 예상되는 재해는 다음과 같이 정리할 수 있음

① 구조파괴(Structural failure)
② 충돌(Collision)
③ 침몰(Foundering/Sinking)
④ 전복(Capsizal)
⑤ 좌초(Grounding)
⑥ 표류(Drift)
⑦ 화재(Fire)
⑧ 폭발(Explosion)
⑨ 기관손상(Malfunction)
⑩ 침수(Flooding)
⑪ 해양오염(Pollution)

(2) 안전특성

○ 플로팅 건축물에서 예상되는 재해에는 구조파괴, 충돌, 침몰, 전복, 좌초, 표류, 화재, 폭발, 기관손상, 침수, 해양오염 등이 있음

○ 일반적으로 이러한 재해는 한 번에 하나의 재해가 발생되기 보다는 하나의 재해가 다른 재해의 원인이 되거나 여러 가지의 재해가 동시에 발생됨

○ 플로팅 건축물의 재해유형 및 발생원에 대해 정리하면 다음 [표 2-3-38]과 같음

[표 2-3-38] 플로팅 건축물의 예상 재해유형

| 재해유형 | 설 명 |
|---|---|
| 구조파괴 | - 설계단계에서 하중, 구조형식, 구조재료 등의 설계 잘 못 또는 지속적인 해양환경 등에 의한 피로하중의 가중, 이상기후 등에 따른 혹독한 해양환경, 충돌 등으로 구조물 자체의 파괴가 발생하는 재해<br>- 좌초, 침몰, 전복, 표류, 해양오염 등의 재해의 원인이 됨 |
| 충 돌 | - 항해 중인 선박, 부유물 등과의 충돌에 따른 재해로 복원력 상실, 부력상실, 구조파괴 등의 원인이 됨 |
| 침 몰 | - 구조파괴, 충돌 등에 따른 부력 상실로 인한 구조물의 물에 가라앉음 |
| 전 복 | - 구조파괴, 충돌, 침수 등으로 복원력 상실로 구조물이 뒤집어 짐 |
| 좌 초 | - 계류시설 파괴, 앵커라인 파단, 침수 등의 이유로 구조물이 해저지반 또는 암초와 충돌하는 재해 |
| 표 류 | - 계류시설 파괴, 앵커라인 파단 등으로 조정되지 않은 상태에서 자항능력이 없는 구조물이 물에 떠 다님<br>- 충돌, 침몰, 전복, 좌초 등의 재해의 원인이 됨 |
| 화 재 | - 상부 및 하부 시설에서 불이 남 |
| 폭 발 | - 기계류, 유류탱크 등의 폭발 |
| 기관손상 | - 발전기, 급수장비 통신장비 등 고장 및 손상으로 인해 거주가 불가능 하거나 외부로 부터 고립됨 |
| 침 수 | - 충돌, 구조파괴, 월파 등으로 구조물 내로 물이 들어옴<br>- 부력 및 복원성 상실의 원인이 되며 침몰, 전복, 기관손상 등의 재해의 원인이 됨 |
| 해양오염 | - 구조파괴, 충돌, 침몰, 좌초, 폭발 등으로 인하여 유류 및 오·폐수, 폐기물의 유출 등으로 인한 해양오염 |

○ 플로팅 건축물은 기능 및 목적은 일반 건축물과 유사하지만 재해에 있어서는 크게 두 가지의 다른 특성을 보임

○ 첫째, 플로팅 건축물은 부력에 의해 지지되는 하부부체에 시설물이 설치되기 때문에 하부 부체가 부력 또는 복원력을 상실할 경우 침몰이나 전복의 재해가 발생되며 이는 일반적인 건축물에서 기초구조가 파괴되거나 손상을 입는 것과 유사함

- 부력은 기대되는 부력에 비해 상부에 설치되거나 탑재되는 하중이 크거나 구조파괴 및 충돌 등으로 인해 침수되어 부력이 상실될 수 있음
- 복원력은 탑재물의 중량 밸런스가 맞지 않아 구조물이 한 쪽으로 기울어지거나 침수로 인해 구조물이 기울어진 경우 등으로 이 정도가 복원성을 회복할 수 있는 한계를 넘어 설 때, 급격한 해양환경 변화로 인해 구조물에 발생하는 동요가 한계치 이상일 때 등으로 인해 복원력이 상실될 수 있음

○ 둘째, 플로팅 건축물은 해상에 위치하기 때문에 육상과의 거리 및 설치 형태에 따라 육상과 연결된 도교를 이용해 접근하거나 선박, 헬기 등의 이동수단을 이용해서 접근해야하며 따라서, 접근성에 있어 육상 건축물과 확연한 차이를 보이며 이는 경우에 따라 플로팅 건축물이 해상에 고립될 수도 있음을 의미함

○ 즉, 플로팅 건축물은 재해발생 시 기본적으로 재해를 막고 확산을 방지하는 활동의 대부분이 자체적으로 이루어져야 하며 또한 재해 발생 시 피난 및 탈출의 완료시점을 판단하는 방법에 있어서도 차이를 보임

- 육상건축물의 경우 지상으로 연결된 층으로 탈출하는 것을 피난 및 탈출이 완료되었다고 하나 플로팅 건축물은 구조물의 설치 위치 및 접근방법에 따라 피난의 완료가 달라짐
- 플로팅 건축물의 피난 유형은 다음과 같으며 이러한 피난 유형 외에도 이용자들이 육상에 도착하기까지에는 많은 위험이 따를 것으로 예상됨

① 선박과 같이 구명정을 타기 위한 승정갑판까지의 피난

② 플로팅 건축물 내부에서 외부 데크로의 피난

③ 도교 등을 통한 육상으로의 피난

④ 구명동의 등을 착용하고 바다로의 입수를 통한 피난

○ 위의 특성들로 인해 플로팅건축물에서 발생하는 재해는 침몰, 전복, 전소 등의 시설물의 완전한 파괴를 가져와 재산가치의 보전에 막대한 피해를 입히며 특히 대규모 인명피해를 동반하는 재해가 될 수 있으며 재해에 따른 주변 해역 환경오염 역시 중요한 문제가 될 수 있기 때문에 이러한 특성을 고려하여 계획단계에서부터 재해 대비를 위한 방재계획이 요구됨

## 나. 플로팅 건축물의 방재 및 피난계획

### (1) 방재계획 시 고려사항

○ 플로팅 건축물의 방재계획에 앞서 플로팅건축물의 기능 및 이용 특성에 대한 검토가 필요하며 그 내용은 다음과 같음

① 다양한 계층의 불특정 다수의 사람들이 이용 (노인, 장애인, 어린이, 부녀자, 외국관광객 등 재해에 취약한 사람들 다수 포함)

② 다양한 용도와 성격의 공간이 복합적으로 구성되며 동선이 복잡함

③ 화재발생 위험이 많은 공간(주방, 창고 등), 가연성 물질이 많아 연소 위험이 높은 공간(유류탱크, 발전기 등), 고밀도 이용으로 인해 피난 위험이 높은 공간(공연장 등) 등의 공간이 일체화 되어 있으며 통일적으로 관리하기가 어려움

④ 24시간, 일 년 내내 사용되는 공간이 있어 시간적인 요인이 가중

⑤ 육상으로 집적 피난하는 것이 어려운 경우가 대부분이며 따라서 피난 및 방재활동에 있어 외부로부터 도움을 받는데 한계 발생

⑥ 파도, 바람 등 기상 및 해상조건으로 인한 동요, 접근로 파괴, 선박, 헬리콥터 등을 이용한 접근의 어려움 등 방재 및 피난활동에 어려움 예상

⑦ 선박과 달리 출입이 자유로워 이용자를 대상으로 안전교육을 실시하기 어렵고 선박의 승무원과 같은 개념의 직원이 근무하는 것이 아니어서 선박에서 요구되는 탈출 및 안전관련 훈련이나 승무원의 전문적인 방재활동을 기대하기가 어려움

⑧ 하부구조물 파괴, 침수 등으로 인해 구조물 자체의 기울어짐이 발생하여 피난 및 방재활동에 어려움 초래

⑨ 하부부체의 부력, 복원력 상실로 인해 구조물 전체가 침몰, 전복될 수 있어 신속한 방재활동이 요구됨

(2) 요구 방재성능

○ 방재(防災, Prevention of disaster)란 폭풍, 홍수, 지진 등의 자연재해, 화재, 폭발 등의 인적재난 그리고 에너지, 통신 등의 기반시설 마비에 따른 사회적 재난의 발생을 방지하고 피해를 경감시키는 것으로 정의 됨(한국방재협회, 2007)

○ 방재의 목적, 기능, 대상에 따른 시설물에 요구되는 안전성 분류

– 방재의 목적에 따라 요구되는 시설물의 안전성은 인명의 안전성, 재산의 안전성, 기능의 안전성이 있음

– 방재의 기능에 따라 요구되는 시설물의 안전성은 구조강도의 안전성, 차단방호의 안전성, 공간관리의 안전성이 요구됨

– 방재의 대상에 따른 안전성은 방화안전성, 방수안정성, 방범안전성, 내진 · 내풍 · 내설 안전성 등이 요구됨

○ 위의 요구 성능을 토대로 재해를 방지하는 방법으로 가해현상의 발생 방지, 가해현상의 존재 배제, 가해현상의 전달억제 등 3가지 방법으로 도출 가능함

○ 즉 예방, 진압, 회피로 볼 수 있으며 따라서, 방재를 위한 플로팅 건축물에서 요구되는 성능은 다음과 같음

① 재해에 대한 예방성능

– 재해를 사전에 방지하기 위한 성능으로 구조물의 안전율 확보, 구조강도 확보, 계류성능 확보, 재료의 불연화, 난연화 등의 재료의 제한, 방화구획, 수밀구획 등의 구획의 세분화, 개구부 폐쇄장치, 방어장치 등의 설비의 설치, 손상 시 복원성, 구조물 자세제어 장치 등 재해의 발생 확률을 줄이고 확대를 저감시킬 수 있는 예방적 성능을 뜻함

② 재해에 대한 진압성능

– 내화 · 방연 성능 확보, 방화구획 설치, 소방설비 설치를 통한 초기 소화성능 확보, 스프링클러 등의 설치를 통한 자체 소화성능 확보, 보조 계류장치, 수밀격벽

등 적극적인 방재활동으로 재해의 확산을 최소하고 재해를 진압할 수 있는 성능을 말함

③ 재해로부터 피난성능

- 재해 발생 시 피난 도피할 수 있는 공간, 시스템 및 방법 확보를 통해 재해로부 터의 이용자 피난성능을 말함

④ 방재정보의 처리성능

- 재해의 감시, 재해의 초기 확인, 재해발생 정보 전달, 방재설비의 제어 등 정보처리와 제어성능을 뜻함

(3) 방재 및 피난기준 검토

○ 방재계획은 법제도에서 정한 기준에 따라 시설물의 특성에 맞게 계획되는 것이 타당하지만 플로팅 건축물의 경우 그에 대한 관련 기준이 불명확 함

○ 플로팅 건축물의 특성에 방재계획 지침을 정하기 이전, 건축물과 선박에 적용되는 기준에 대한 비교분석이 우선 되어야 하며 플로팅 건축물의 사용이 비교적 활발한 국외 기준에 대한 검토가 필요함

○ 검토한 방재 기준의 종류는 [표 2-3-40]과 같으며 방화구획, 피난 및 탈출, 소방설비, 구조물 안전성, 구명설비, 계류시설 총 6가지 항목에 대해 검토하였음

[표 2-3-39] 검토 방재 기준 분류

| | | |
|---|---|---|
| 국내 | 건축 | 건축법 |
| | | 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 |
| | | 소방기본법 |
| | 선박 | 선박안전법 |
| | | 한국선급(KR-RULES) |
| 국외 | 플로팅건축물 | ・「British Columbia Float Home Standards」, Canada Floating Home Association<br>・「Hitchhiker's Guid to the Float Home Standards」, Canada Floating Home Association(2000)<br>・「Technical regulation on the stability, buoyancy, etc. of houseboats and floating structures」, Danish Maritime Authority<br>・「Construction, Operation and Inspection of Houseboats in South Australia」, Department of Planning, Transport and Infrastructure, Government of South Australia |
| | 선박 | 1974 SOLAS, 최신해상인명안전협약 |

(가) 방화구획

○ 방화구획은 방재계획 중 기본이 되는 것으로 화재 시 화재의 확산을 막고 이용자의 신속한 피난을 위해 설치

○ 건축물의 경우 「건축법」 시행령 제46조[17]와 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제14조 따라 [표 2-3-40]과 같이 방화구획을 하고 있음

○ 선박의 경우 「1974 SOLAS, 최신해상인명안전협약」에서 정한 규정에 따라 각국 선급협회에서 주수직구획이라는 방화구획을 40m 간격으로 A급 구획[18]의 격벽으로 구분하도록 하고 있으며 특별한 경우 그 길이를 최대 48m 까지 확장할 수 있으며 그 면적이 1,600㎡이하가 되도록 하고 있음

○ 또한 방화구획으로 구분하지는 않지만 각 구역별 각 실에 대하여 실의 종류, 실의 위치, 인접하는 실의 종류 등에 따라 A-60~B-0 등급으로 구분하여 해당 실의 격벽과 갑판에 방화기준에 적합한 재료를 사용하여 방화보존성(fire integrity)을 확보하도록 하고 있음([표 2-3-41] 참조)

[표 2-3-40] 건축물 방화구획 설치기준

| 방화구획의 종류 | 구획의 기준 | | |
|---|---|---|---|
| 층별 구획 | 3층 이상의 층, 지하층 | 각 층마다 구획 | |
| 면적별 구획 | 10층 이하의 층 | 바닥면적 1,000㎡ (3,000㎡*1)이내 마다 구획 | |
| | 11층 이상의 층 | 실내마감재가 불연재가 아닌 경우 | 200㎡(600㎡*1) |
| | | 실내마감재가 불연재인 경우 | 500㎡(1,500㎡*1) |
| 용도별 구획 | 건축물의 일부가 문화 및 집회시설, 의료시설, 공동주택에 해당하는 경우 그 부분과 다른 부분을 방화구획 | | |
| 수직관통부 구획 | 피난계단, 특별피난계단에 있어서 실내에서 노대(부속실), 노대(부속실)에서 계단실로 통하는 출입구 등 방화구획 | | |

주) *1: 스프링클러 등 자동식소화설비를 설치한 경우

17) 주요구조부가 내화구조 또는 불연재료로 된 건축물로서 연면적이 1,000㎡ 이상인 경우 방화구획을 설치하도록 하고 있으며 건축물의 일부가 문화 및 집회시설, 의료시설, 공동주택에 해당하는 경우 그 부분과 다른 부분을 방화구획 하도록 하고 있다. 또한 공동주택 중 아파트로서 4층 이상의 층의 각 세대가 2개 이상의 직통계단을 사용할 수 없는 경우에는 방화구획으로 구획된 대피공간을 각 세대별로 하나 이상 설치해양 한다.

18) A급 구획은 강 또는 이와 동등한 재료로 건조된 것으로 화재 시 벽 한쪽의 온도가 140℃를 초과 상승하지 아니하고 이음매를 포함한 어느 한 점에서의 온도가 최초의 온도보다 180℃를 초과 상승하지 않도록 승인된 불연재료 방열 시공된 곳(1974 SOLAS, 제2-2장 A편 규칙 3-2 참조)

[표 2-3-41] 선박 구획별 기준

| 구획 | 설명 | 구분 | 기준 |
|---|---|---|---|
| A급 구획 | 강 또는 기타 동등한 재료로 건조된 것으로 1시간의 표준 화재시험이 종료될 때까지 연기 및 화염의 토와를 방지할 수 있도록 제조된 격벽 또는 갑판으로 형성된 구획 | A-60 | 60분 내에 불에 노출되지 않은 쪽의 평균 온도가 최초의 온도보다 140℃를 초과하지 않고 이음매를 포함한 어느 한 점에서의 온도가 최초의 온도보다 180℃를 초과하지 않도록 승인된 불연성 재료로 방열이 시공된 것 |
| | | A-30 | 30분(30분~60분 미만) |
| | | A-15 | 15분(15분~30분 미만) |
| | | A-0 | 0분(0~15분 미만) |
| B급 구획 | 승인된 불연성 재료로 건조된 것으로 최초 30분의 표준화재시험이 종료될 때까지 화염의 통과를 저지할 수 있도록 건조된 격벽, 갑판, 천정 또는 내장판으로 형성된 구획 | B-15 | 15분 내에 불에 노출되지 아니한 쪽의 평균 온도가 최초의 온도보다 140℃를 초과하지 않고 이음매를 포함한 어느 한 점에서의 온도가 최초의 온도보다 225℃를 초과하지 않는 방열치를 보유한 것 |
| | | B-0 | 0분(0~15분 미만) |
| C급 구획 | 승인된 불연성 재료로 건조하여야 하며 이 구획은 연기 및 화염통과에 관한 요건과 온도 상승에 관한 제한 요건에 적합하지 않아도 되며 가연성 단판은 기준 요건에 적합하면 사용하여도 됨 | | |

출처: 한국선급(2008), 제2-2장 A편 규칙 3 정의

(나) 피난 및 탈출

① 건축물의 피난 및 탈출

○ 피난 및 탈출은 화재 등의 재해 시 대피를 위한 것으로 건축물의 경우 외부로 연결된 피난 층을 통해 지상으로 나오는 것을 피난이 완료된 것으로 간주

○ 건축물의 경우 피난을 위한 피난계단, 특별피난계단의 설치에 대한 규정이 있으며 용도 및 규모에 따른 계단 및 복도 규격이 [표 2-3-41]과 같이 규정되어 있음

○ 건축물의 피난관련 기준을 살펴보면 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제8조에 따라 피난층 외의 층에서 지상으로 통하는 직통계단을 설치하도록 하고 있으며 각 실에서 직통계단까지의 보행거리를 제한하고 있음

○ 직통피난계단의 설치는 「건축법」시행령 제34조에서 [표 2-3-43]과 같이 용도, 규모 등에 따라 직통계단을 2개소 이상 설치하도록 하고 있으며 용도, 규모에 따라서 [표 2-3-44]와 같이 직통계단, 피난계단, 특별피난계단의 설치를 규정하고 있음

[표 2-3-42] 거실에서 직통계단에 이르는 거리 기준

| 층의 구분 | | | 일반층(거실->직통계단) | |
|---|---|---|---|---|
| 주요 구조부 | | | 내화구조 또는 불연재 | 기타 |
| 용도 | 일반용도 | | 50m 이하 | 30m 이하 |
| | 공동주택 | 15층 이하 | 50m 이하 | 30m 이하 |
| | | 16층 이상 | 50m 이하 | 30m 이하 |

출처: 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제8조(직통계단의 설치기준)

[표 2-3-43] 2개소 이상 직통계단을 설치해야 하는 경우

| | 적용용도 | 사용층 | 바닥면적 | 실구분 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2개소설치 | 문화 및 집회시설 (전시장, 동식물원 제외) 장례식장(의료시설 중) 주점영업(위락시설 중) | 당해용도로 쓰는 층 | 200㎡ 이상 | 관람석 또는 집회실 | 직통계단은 건축물의 모든 층에 걸친 직통계단을 말함 |
| | 다중주택, 다가구 주택(단독주택 중), 학원, 독서실(제2종 근린생활시설 중), 판매시설, 운수시설, 의료시설(입원실이 없는 치과병원 제외), 아동관련시설, 노인복지시설(노유자시설 중), 유스호스텔(수련시설 중), 숙박시설 | 당해 용도로 쓰이는 3층 이상의 층 | 200㎡ 이상 | 거실 | |
| | 공동주택(층당 4세대 이하 제외) 오피스텔(업무시설 중) | | 300㎡ 이상 | 거실 | |
| | 위에 해당하지 않는 3층 이상 층 | | 400㎡ 이상 | 거실 | |
| | 지하층 | | 200㎡ 이상 | 거실 | |

출처: 「건축법」 시행령 제34조 (직통계단 설치)

[표 2-3-44] 직통계단, 피난계단, 특별피난계단 설치 기준

| 구 분 | | 직통계단 | 피난계단 | 특별피난계단 |
|---|---|---|---|---|
| 건축물의 주요구조부가 내화구조 또는 불연 재인 경우 | 5층 이상인 층의 바닥면적의 합계가 200㎡ 이하 | ○ | – | – |
| | 5층 이상인 층의 바닥면적 200㎡ 이내마다 방화구획 | ○ | – | – |
| 판매시설의 용도 | | – | – | ○ |
| 5층 이상 또는 지하 2층 이하인 층 | | – | ○ | |
| 건축물의 11층 이상 층 (공동주택 16층) 또는, 지하 3층 이하 층 | 바닥면적 400㎡ 미만 | ○ | – | – |
| | 바닥면적 400㎡ 이상 | – | – | ○ |
| 5층 이상 층으로서, 문화 및 집회시설 중 전시장 또는 동·식물원, 판매시설, 운수시설(여객용 시설만 해당한다), 운동시설, 위락시설, 관광휴게시설(다중이 이용하는 시설만 해당한다) 또는 수련시설 중 생활권 수련시설의 용도로 쓰는 층의 바닥면적 합계가 2000㎡ 를 넘는 경우 | | – | ○ 2000㎡ 이내마다 1개소 | |

출처: 「건축법」 시행령 제35조 (피난계단 기준)

○ [표 2-3-45]과 같이 높이 31m가 넘는 건축물에서는 법적으로 비상용 승강기를 설치하도록 규제하고 있음

[표 2-3-45] 비상용 승강기 설치 기준

| 구 분 | 설치 기준 |
|---|---|
| 31m 넘는 각 층의 바닥면적 중 최대 바닥면적이 1,500㎡ 이하인 건축물 | 1대 이상 |
| 31m 넘는 각 층의 바닥면적 중 최대 바닥면적이 1,500㎡ 이상인 건축물 | 1,500㎡넘는 3,000㎡ 이내마다 1대씩 더한 수 이상 (2대 이상 설치시 소화에 지장이 없도록 일정한 간격을 두고 설치) |

출처: 「건축법」 시행령 제90조 (비상용 승강기의 설치)

○ 건축물에 설치되는 계단과 복도의 폭에 대해서도 법에 따라 [표 2-3-46] 및 [표 2-3-47]와 같이 기준을 정하고 있으며 대부분 건축물의 용도, 면적에 따라 기준을 정하고 있음

[표 2-3-46] 계단의 설치기준

| 건물의 용도 및 규모 | 계단 및 계단참의 폭 (옥내계단에 한함) | 단 높이 | 단 너비 | 기타 |
|---|---|---|---|---|
| 초등학교 | 150cm 이상 | 16cm 이하 | 26cm 이상 | 돌림 계단의 경우 단 너비는 좁은 너비의 끝부분으로부터 30cm 위치에서 측정 |
| 중고등학교 | 150cm 이상 | 18cm 이하 | 26cm 이상 | |
| 문화 및 집회시설<br>판매 및 영업시설<br>기타 이와 유사시설 | 120cm 이상 | - | - | |
| 바로 윗층 거실 바닥면적이 합계가 200㎡ 이상이거나 거실의 바닥면적의 합계가 100㎡ 이하층의 계단 | 120cm 이상 | - | - | |
| 기타의 계단 | 60cm 이상 | - | - | |

출처: 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제15조(계단의 설치기준)

[표 2-3-47] 복도의 너비 및 설치기준

| 구 분 | 복도의 너비 | |
|---|---|---|
| | 양옆에 거실이 있는 복도 | 그 밖의 복도 |
| 유치원, 초등학교, 중학교, 고등학교 | 2.4m 이상 | 1.8m 이상 |
| 공동주택, 오피스텔 | 1.8m 이상 | 1.2m 이상 |
| 당해층 거실의 바닥면적 합계가 200㎡ 이상인 경우 | 1.5m 이상<br>(의료시설의 복도는 1.8m 이상) | 1.2m 이상 |
| | 당해층의 바닥면적의 합계 | 복도의 유효너비 |
| 문화 및 집회시설(종교집회장, 공연장, 집회장, 관림장, 전시장) | 500㎡ 미만 | 1.8m 이상 |
| 교육연구 및 복지시설 (아동관련시설, 노인복지시설, 생활권 수렴시설)<br>위락시설 중 주점영업<br>의료시설 중 장례식장 | 500㎡ 이상~ 1,000㎡ 미만 | 1.2m 이상 |
| | 1,000㎡ 이상 | 1.2m 이상 |

출처: 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제15조 2(복도의 너비 및 설치기준)

② 선박의 피난 및 탈출

○ 선박에서의 피난은 재난을 피해 승정갑판까지 이동하는 것을 뜻하며 탈출은 구명정 등의 구명장비를 이용하여 선박에서 완전히 벗어나는 것을 뜻 함

○ 선박에서 복도, 계단, 사다리 등과 같이 탈출설비로 정의된 것은 선내의 인원이 구명정 또는 구명뗏목이 있는 승정갑판까지 안전하고 신속히 탈출할 수 있도록 탈출수단을 제공하는 목적성을 띰(한국선급, 2008)

○ 선박에서는 건축물과 달리 피난전용 계단에 대한 개념이 없으며 일상적으로 사용되는 계단을 피난용으로 함께 사용[19]하도록 하고 있으며 승정갑판으로 연결되도록 규정하고 있음

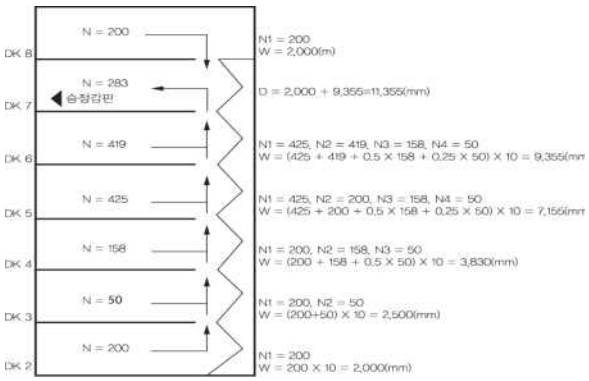
○ 선박은 기본적으로 모든 장소에서 최소한 2개의 탈출설비(계단포함)가 설치되도록 규정하고 있으며 탈출 설비 중 최소한 1개는 즉시 접근할 수 있는 폐위된 계단으로 형성되어야 하며 승정갑판 또는 최상층 노천갑판까지 연장되고 화재로부터 보호되도록 규정함(한국선급, 2008)

○ 위의 규정은 건축법에 있어 2개의 피난계단을 설치하는 것과 유사하나 거실에서 피난설비까지 보행거리에 대한 제한이 없으며 선박에서는 거주구역, 업무구역, 기관구역 등 각 구역 및 각 실의 위치에 따라서 탈출하는 방법에 대하여 규정함

○ 선박에서 탈출로의 폭, 수 등에 관련된 사항은 화재안정장치코드(FSS: Fire Safety System Code)를 따르며 복도 및 계단 폭 등에 대하여 이용이 예상되는 인원수에 따라서 폭을 정함

○ 「FSS Code 2002」에서 계단과 복도의 실제 폭은 900mm이상 이어야 하며 이용하는 사람이 90명을 초과하는 경우 1명당 10mm씩 폭을 늘리도록 하고 있으며 최소 계단 폭은 인접한 갑판의 상부 및 하부로부터 승정갑판(소집장소)로 피난하는 사람들을 기준으로 [그림 2-3-13]의 방법으로 정할 수 있으며 층계참이나 계단 부속실이 있는 경우 계단 폭의 축소가 가능함

19) 한국선급(2008), 1974 SOLAS, 제2-2장 D편 규칙 13-3.1.2 “여객 및 선원 거주구역과 선원이 통상 업무에 종사하는 장소(기관구역 제외)에서 구명정 및 구명뗏목의 승정갑판까지의 상설 탈출설비로서 계단 및 사다리를 설치하여야 한다.”




·두 개의 갑판을 연결할 때:
W=(N1+N2)×10mm;
·세 개의 갑판을 연결할 때:
W=(N1+N2+0.5N3)×10mm;
·네 개의 갑판을 연결할 때:
W=(N1+N2+0.5N3+0.25N4)×10mm
(여기서 N은 갑판으로부터 이용할 것으로 예상되는 인원수로, 이용예상 인원수의 크기는 N1>N2>N3>N4로 함)

[그림 2-3-13] 최소 계단폭 계산 방법 (FSS Code 기준)

(다) 소방설비

○ 화재 발생 시 자체적인 소화활동을 위하여 건축물과 선박 모두 스프링클러, 감지기 등의 소방설비를 갖추도록 하고 있음

○ 국내의 경우 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」에서 정한 특정소방대상물에 대하여 소방설비의 설치를 의무화 하고 있으며 건축물의 용도, 높이, 면적에 따라 설치되는 소방설비의 종류 및 설치기준이 규정되어 있지만 단독주택에 대한 소방설비의 설치는 별도로 규정되어 있지 않음

○ 미국, 캐나다, 호주, 영국 등의 국가에서는 단독주택 등의 주거시설에 대하여 스프링클러 등의 설치를 규정하고 있으며 특히 「British Columbia Float Home Standard」에서는 소방설비 및 방화에 관하여 NFPA의 규정들을 따르도록 함

○ 「British Columbia Float Home Standard」에서는 플로트 홈 자체와 플로트 홈을 계류하는 마리나 시설에 대하여 소방시설 설치를 다음과 같이 규정하고 있음

- 플로트 홈에는 NFPA 10의 13장 'Standard for Portable Fire Extinguishers'에 따라서 1개 이상의 2A5BC 소화기를 출입구에 배치해야 함
- 플로트 홈에는 NFPA 13D 'Standard for the Installation of Sprinkler in One-and Two Family Dwellings and Mobile Home'에 따라서 자동식 스프링클러가 설치되어야 함

○ 또한 「Construction, Operation and Inspection of Houseboats in South Australia」에서도 소방설비에 대하여 다음과 같이 규정하고 있음

- 하우스 보트에는 2개의 4.5kg 분말소화기, 1개의 분말소화기와 1개의 3kg 이산화탄소 소화기 또는 1개의 분말소화기와 9ℓ포말 소화기 중 한 가지를 배치해야 함
- 이상의 모든 경우에 9ℓ이상의 양동이와 2m 이상의 묶을 수 있는 밧줄을 함께 배치해야 함

○ 36인 이상의 여객을 운송하는 여객선의 경우 한국선급(2008)에 따라 통로 및 계단을 포함한 모든 제어장소, 거주구역 및 업무구역에 자동식 스프링클러, 화재탐지 및 화재경보장치가 설치되어야 하며 물이 주요 설비에 손상을 야기할 수 있는 경우 다른 형식의 동등한 성능의 시설을 설치하도록 함

○ 소방설비에 대한 사항은 미국선급협회(ABS)의 규정에서 좀 더 세밀하게 다루고 있는데 그 내용은 다음과 같음

○ 먼저 ABS(2005)는 IMO 결의안 A602(15)에 따라서 화재의 종류를 [표 2-3-48]과 같이 A, B, C, D 4가지로 구분하고 있으며 화재의 종류에 따라서 적절한 소화기의 배치를 [표 2-3-49]와 같이 규정함

[표 2-3-48] 화재의 분류

| 기준 | ABS |
|---|---|
| 화재의 분류 | A급 : 목재 및 목재로 된 물질, 직물 및 섬유, 플라스틱 및 고무 물질의 화재<br>B급 : 가연성 액체, 가연성 가스관련 화재<br>C급 : 전기 장비 관련 화재<br>D급 : 금속에 관련된 화재 |

출처: ABS(2005)

[표 2-3-49] 화재종류 별 이용 가능한 소화장비

| 화재종류 / 소화장비 | A급 화재 | B급 화재 | C급 화재 |
|---|---|---|---|
| 워터타입 소화기 | ○ | – | – |
| 포말타입 소화기 | ○ | ○ | – |
| $CO_2$ 소화기 | – | ○ | ○ |
| 분말타입 소화기 | ○ *[1] | ○ | ○ |

주)*1: 모노암모늄 인산염 사용 시

○ 각 구역 및 실에 따라서 사용할 수 있는 소화시스템 종류와 소화기의 종류를 다음과 같이 규정하고 있으며 소화장비와 더불어 중요한 소화설비인 감지시스템의 경우 선박의 구역에 따라 연기탐지기, 고정식 화재탐지기 및 화재경보장치 등의 설치에 대하여 SOLAS를 기준으로 DNV, ABS, KR 등 각국 선급협회에서 기준을 제시하며 그 기준은 다음과 같음

[표 2-3-50] 구역별 소화시스템 설치기준

| 구역분류 / 소화시시템 | A류 기관구역 | 제어구역, 거주구역 업무구역 | 화물구역, 펌프 실 | 개방된 로로구역 특수분류구역 |
|---|---|---|---|---|
| 고정식 가스 소화시스템 | ○ *1 | – | ○ | – |
| 고정식 포말 소화시스템 | ○ *1 | – | ○ | – |
| 고정식 가압수 분무 시스템 | ○ | – | ○ | – |
| 물분무 소화시스템 | ○ *2 | – | ○ | – |
| 자동 스프링클러 | – | ○ | – | – |
| 워터 스프레이 | ○ | – | – | ○ |
| 워터 스프링클러 | – | ○ | – | – |
| 워터 미스트 시스템 | ○ | – | ○ | – |
| 고정식 국부 소화장치 | ○ *3 | – | – | – |

주) *1: 추가로 휴대식 포말 방시가 설치
*2: 36인 이상 승선하는 여객의 경우 2개
*3: 총 톤수 500톤 이상 여객선, 2000톤 이상의 화물선에서 용적 500㎥초과 시

[표 2-3-51] 구역별 이용 가능한 소화기 기준

| 구역분류 / 소화시시템 | A류 기관구역 | 증기터빈 증기엔진 구역 | 보일러, 오일 연소장치 | 거주구역 | 업무구역 | 제어구역 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 워터타입 소화기 | – | – | – | ○ | – | – |
| 포말타입 소화기 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | – |
| $CO_2$ 소화기 | ○ | ○ | ○ | – | ○ | ○ |
| 분말타입 소화기 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

주) 구역별 '○' 표시된 소화기 중 한 종류의 소화기를 설치하면 됨

[표 2-3-52] 구역별 이용 가능한 소화시스템 기준

| 구역분류 / 소화시스템 | A류 기관구역 | 거주구역 | 중앙홀 | 화물구역 | 목욕실 조리실 | 공동화장실 등 화재위험이 거의 없는 곳 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 연기탐지기 | – | ○ | ○ | – | – | – |
| 고정식 화재탐지기 및 화재경보기 | ○ *1 | ○ *2 | – | ○ *3 | – | – |

주) *1: 정기적으로 무인이 되는 기관구역 또는 당직자가 계속 근무하지 않는 경우
*2: 36인 이상의 여객선에서 거주구역 내 모든 구역 및 업무구역, 제어장소 포함
*3: 여객선 화물구역

## [표 2-3-53] 건축물 용도별 소방설비 설치기준

| 소방시설 \ 특정소방대상물 | ① 근린생활시설 | ② 위락시설 | ③ 문화 및 집회시설 | ④ 판매시설 및 영업시설 | ⑤ 숙박시설 | ⑥ 노유자시설 | ⑦ 의료시설 | ⑧ 공동주택 | ⑨ 업무시설 | ⑩ 통신촬영시설 | ⑪ 교육연구시설 | ⑫ 공장 | ⑬ 창고시설 | ⑭ 운수자동차시설 | ⑮ 관광휴게시설 | ⑯ 동식물관련시설 | ⑰ 위생관련시설 | ⑱ 교정시설 | ⑲ 위험물저장 및 처리시설 | ⑳ 지하가 | ㉑ 지하구 | ㉒ 문화재 | ㉓ 복합건축물 | ※ 특수가연물 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 소화설비 | 소화기 | ▶ 수동식 소화기 : 연면적 33 이상 ▶ 지정문화재 및 가스시설 ▶터널 ▶자동식 소화기 : 아파트 ※ 노유자시설의 경우 : 투척용소화기등을 1/2 이상 설치 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 옥내소화전설비 | ▶ 옥상주차장 바닥면적 200 이상 ▶ 차고·주차장 터널로 1,000 m 이상 ▶ 연면적 1,500 이상 (지하층·무창층, 4층이상인 층 중 바닥면적 300 이상인 층이 있는 것) 전층 ▶ ③, ④, ⑤, ⑮~⑱은 연면적 3,000 이상 (지하층·무창층, 4층 이상인 층 중 바닥면적 600 이상인 층이 있는 것) 전층 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 750배 |
| | 옥외소화전설비 | ▶지정문화재 연면적 1,000 이상 ▶ 지상 1층 및 2층 바닥면적의 합계 9,000 이상 ※ 연소우려가 있는 구조 ( 동일구내에 20이상의 건축물이 있는 경우 상벽으로부터 수평거리가 1층은 6m이하 2층 이상의 층은 10m이하로 개구부가 다른 건축물을 향해 설치된 경우 하나의 대상물로 본다 ) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 750배 |
| | 스프링클러설비 | ▶ ⑭ ~ ⑱과 동 일 | ▶수용인원 100인 이상 ▶무대부가 지하·무창층, 4층이상 300이상(그외의 층은 500이상) ▶영화상영관 중 지하·무창층은 500이상(그외의 층은1,000이상) | ▶수용인원 500인 이상 ▶4층 이상 바닥 면적 합계 5,000이상 전층 ▶5층 이하 바닥 면적 합계 6,000이상 전층 | ▶ ⑭ ~ ⑰과 동 일 | ▶면적 600 이상 전층 (정신보건시설포함) | ▶ ⑭ ~ ⑰과 동 일 | | | ▶청소년시설(숙박형)면적 600 이상 전층 ▶기숙사면적5,000 이상전층 | ▶ ⑭ ~ ⑰과 동 일 | ▶ 락크식창고 10 m이상으로 면적 1,500 이상 | ※ 스프링클러 설치대상 전체적용 ▶ 11층이상인 경우 전층 ▶무속된 보일건설 또는 연결통로 ▶ 지하층·무창층, 4층이상의 층으로 바닥면적 1,000 이상 ▶ 중·저준위방사성폐기물저장시설(수처리계) | | | | | ▶연면적 1,000 이 상 (터널제외) | ▶연소방지 설비 대체 가 능 | · | ▶기숙사 연면적 5,000 이상 전층 | 1,000 배 이상 |
| | 간이스프링클러 | ▶ 합숙소(교육연구시설 내에 있는 것) 연면적 100 이상 ▶ 다중이용업소 ( 지하층) 바닥면적 150 이상 ▶ 노유자 또는 정신보건시설 바닥면적 합계 300 이상 600 미만 (창살설치시 300 미만) ▶ 근린생활시설(주용도)연면적 1,000 이상 전층 ▶ 출입국보호창소 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 물분무등설비 | ▶ 기계식 주차 시설 20대이상 ▶ 차고·주차장(건물 내부에 설치된 것) 바닥면적 200 이상 ▶전기실, 발전실, 변전실, 축전지실, 통신기기실, 전산실등 바닥면적 300 이상 ▶ 주차용 건물 연면적 800 이상 ▶ 노지하가중 터널 3,000 미터이상 ▶ 항공기 격납고 ▶ 중·저준위방사성폐기물처장시설 (수처리계) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 배 이상 |
| 경보설비 | 자동화재탐지설비 | ▶ 연면적600 이상 (일반목욕장 1,000이상) | ▶ 연면적 1,000 이상 | | ▶ 연면적 600 이 상 | ▶ 연면적 400 이 상 | ▶ 연면적 600 이 상 | ▶ 연면적 1,000 이상 | | ▶ 연면적 2,000이상 청소년시설(숙박시설제)100 연이상 | ▶ 연면적 1,000 이상 | | ▶ 연면적 2,000 이상 | · | | | ▶ 연 면 적 1,000 이상 ▶ 연 면 적 1,000m 이상의 터널 | | ▶ 지하구 ▶ 통 합 감 시시설 | · | ▶ 연면적 600 이상 | 500 배 이상 |
| | 비상경보 | ▶ 지하층·무창층의 바닥면적 150 이상 ( 공연장은 경우 100 이상 ) ▶ 연면적 400 이상 (지하가중 터널 제외) ▶ 지하가중 터널로서 길이가 500m 이상 ▶ 50 인 이상의 근로자가 작업하는 옥내작업장 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 비상방송설비 | ▶ 연면적 3,500 이상 ▶ 지하층의 층수가 3 개층 이상 ▶ 지하층을 제외한 층수가 11 층 이상 ※ 가스시설·지하구 지하가중 터널 제외 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 누전경보기 | ▶ 계약전류용량 100 A 초과 ※ 가스시설·지하구 및 지하가중 터널제외 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 자동화재속보 | ▶ 노유자 시설 바닥면적 500 이상인 층이 있는 것 ▶ 교육연구시설중 청소년시설 ( 숙박시설 있는 것 ) 바닥면적 500 이상인 층이 있는 것 ▶ 공장, 창고, 업무시설 바닥면적 1500 이상인 층이 있는 것 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 단독경보감지기 | ▶ 연면적 600 미만 숙박시설 ▶ 연면적 1,000 미만 아파트 ▶ 연면적 1,000 미만 기숙사 ▶ 교육연구시설내에 있는 합숙소 또는 기숙사로 연면적 2,000 미만 ▶ 청소년시설 ( 숙박시설 있는 것 ) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 시각경보기 | ▶ 근린생활시설, 위락시설, 문화집회 및 운동시설, 판매 및 영업시설 ▶ 숙박시설, 노유자시설, 의료시설, 업무시설 ( 군사시설 제외) ▶ 통신촬영시설중 방송국, 교육연구시설중 도서관 ▶ 지하상가 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 가스누설경보기 | ▶ 숙박시설, 노유자시설, 판매 및 영업시설 ▶ 교육연구시설 중 청소년시설, 의료시설, 문화집회 및 운동시설 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 피난설비 | 피난기구 | ▶ 피난층, 지상 1 층, 지상 2 층 및 11 층 이상의 층을 제외한 모든층 ※가스시설·지하구 및 지하가중 터널제외 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 인명구조기구 | ▶ 5 층 이상인 병원 (인공소생기 제외) ▶ 7 층 ( 지하층 포함 ) 이상인 관광호텔 ▶100인 이상의 지하역사·백화점·대형점·쇼핑센터·지하상가·영화상영관 · 공기호흡기를 층마다 2 대 이상 비치 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 피난유도등 | ▶ 피난구유도등, 통로유도등, 유도표지 : 모든 소방대상물 (지하구 및 지하가중 터널제외) ▶ 객석유도등 : 유흥주점 영업 ( 카바레·나이트클럽 등 ) 과 문화집회 및 운동 시설 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 비상조명등 | ▶ 지하층, 무창층등의 바닥면적이 450 이상인 경우 당해층 ▶지하가중 터널로서 길이 500m 이상 ▶ 5 층 ( 지하층 포함 ) 이상으로서 연면적 3,000 이상 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 휴대용비상조명등 | ▶ 숙박시설 ▶100 인 이상의 지하역사, 백화점, 대형점, 쇼핑센터, 지하상가, 영화상영관 ▶ 다중이용업 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 소화용수(상수도설비) | | ▶ 연면적 5,000 이상 ( 가스시설, 지하구, 지하가중 터널 제외 ) ▶ 가스시설로서 저장에 노출된 탱크의 저장용량이 100 톤이상 ※ 대지경계선으로부터 180이터 이내에 구경 75㎜ 이상인 상수도용 배수관이 설치되지 않은 지역은 소화수조 또는 저수조 설치. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 소화활동설비 | 제연설비 | ▶ 근린생활시설, 위락시설, 판매 및 영업시설, 숙박시설로서 지하층·무창층의 바닥면적 1,000 이상인 것은 당해용도로 사용되는 모든 층 ▶ 판매 및 영업시설 중 시외버스정류장, 철도역사, 공항시설, 항만시설 중 대합실 또는 휴게시설로 지하층·무창층의 바닥면적 1,000 이상 ▶ 문화집회 및 운동시설로서 무대부의 바닥면적 200 이상, 영화상영관은 100 인 이상 ▶지하가 연면적 1,000 이상 (터널제외) ▶ 지하가중 터널로서 길이 500m 이상 ▶ 특정소방대상물의 특별피난계단 (각복도형 아파트 제외) 및 비상용 승강기 승강장 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 연결살수 | ▶ 지하층의 바닥면적 150 이상 ▶ 공만주택 규모 이하인 아파트 ( 대피시설 ) 의 지하층 및 학교 지하층의 바닥면적 700 이상 ▶ 판매시설 및 영업시설로 바닥면적의 합계 1,000 이상 ▶ 지상노출 가스탱크 30 톤 이상 ▶ 부속 연결통로 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 연결송수관 | ▶ 7 층 ( 지하층포함 ) 이상 ▶지하층의 층수가 3 개층 이상으로 바닥면적의 합계 1,000 이상 ▶지하가중 터널로서 길이 1,000m 이상 ▶ 5 층 이상으로 연면적 6,000 이상 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 비상콘센트 | ▶ 11층 ( 지하층 포함 ) 이상인 경우 11층 이상의 층 ▶ 지하층의 층수가 3개층 이상으로 지하층 바닥면적의 합계 1,000 이상인 것은 지하 전층 ▶ 지하가중 터널로서 길이 500m 이상 ※ 가스시설 또는 지하구 제외 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 무선통신보조 | ▶ 지하가 ( 터널제외) 연면적 1,000 이상 ▶ 지하층 바닥면적의 합계 3,000 이상인 것은 지하전층 ▶ 지하층의 층수가 3개층 이상이고 바닥면적의 합계 1,000 이상인 것은 지하 전층 ▶ 지하가중 터널로서 길이 500m이상 ▶지하구로서 공동구 (국토계획이용법 제2조9호) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ·연소방지설비 | ▶ 지하구 : 폭 1.8 m 이상 높이 2 m, 길이 50 m 이상 ( 전력 또는 통신 사업용인 것에 한한다 ) ※ 방화벽포함 (대통령령 제 20610호 : 일부개정 2008.2.15 : 청색부분) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

### 1. 건축허가 동의 대상 (시행령 제12조)

가. 연면적400㎡이상인 건축물(학교시설은 100㎡)
나. 청소년 및 노유자시설로 연면적 200㎡이상
다. 차고, 주차장으로 사용하는 층중 바닥면적이 200㎡이상인 층이 있는 것
라. 기계식 주차시설로 20대이상 주차할 수 있는것
마. 항공기 격납고, 관망탑, 방송용 송·수신탑
바. 지하층 또는 무창층중 바닥면적 150㎡ 이상 (공연장의 경우 100㎡)이상인 층이 있는 것
사. 별표 2의 특정대상물 중 위험물 제조소등, 가스시설 및 지하구

### 2. 소방감리 대상 (공사업법 시행령 제10조)

◉ 일반감리
가. 연면적 1,000㎡ 이상의 특정 소방대상물
나. 지정문화재및지설비, 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등 소화설비 또는 제연설비를 설치하여야 하는 특정소방 대상물
다. 길이가 1,000m 이상인 지하구
◉ 상주감리(별표3)
가. 연면적 30,000㎡이상의 특정소방대상물(지정문화재및지설비, 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등 소화설비 또는 공사 제외)
나. 16층(지하층포함)이상500세대 이상인 아파트

### 3. 자체점검 대상(설안규칙 제18조)

◉ 작동기능점검: 연 1회이상
<대상> 영 제5조의 특정소방대상물
<시기> 종합정밀점검 받은달로 부터 6개월 되는 달 ( 그 밖의 대상 : 연중 실시)
◉종합정밀점검: 연 1회 이상
<대상>
①스프링클러설비 또는 물분무등 소화설비가 설치된 연면적 5,000㎡ 이상인 특정소방대상물
(호아파트 :5,000㎡ 이상, 16층이상
<시기>사용승인일이 속하는 달까지 실시
◉ 점검결과보고서(설안규칙제19조)
가. 작동기능 점검(21년간자체보관) 나. 종합정밀점검(3월이내제출)

### 4. 방염처리대상(소방시설 설치유지 및 안전관리법 시행령 제 20조)

가. 근린생활시설중 안마시술소 및 헬스클럽장, 옥내에 있는 문화집회 및 운동 시설(수영장 제외), 숙박시설, 종합병원, 통신촬영시설중 방송국 및 촬영소
나. 노유자시설, 의료시설 중 정신보건시설 및 숙박시설이 있는 청소년 시설
다. 별 제8조 제1항의 규정에 의한 다중이용업의 영업장
라. 가호 내지 다호에 해당하지 않는 11층 이상인 것(아파트 제외)
※ 방염 대상물품 (설안령 제 20조)
1. 창문에 설치하는 커튼류 (브라인드 포함)
2. 카펫트, 두께 2㎜미만인 벽지류 (종이벽지 제외)
3. 전시용 합판 또는 섬유판, 무대용 합판 또는 섬유판
4. 암막, 무대막(영화상영관에 설치하는 스크린 포함)

### 5. 특정소방대상물의 방화관리(시행령제 29조)

◉ 1급 방화관리 대상
가. 연면적 15,000㎡ 이상인 것
나. 가목외의 특정소방대상물로 11층 이상인 것
다. 가연성가스 1000톤이상 저장 취급하는시설
◉ 2급 방화관리 대상
가. 스프링클러설비, 간이스프링클러설비, 물분무등소화설비를 설치한 것
나. 옥내소화전 자동화재탐지설비를 설치한 것
다. 가스제조설비를 갖추고 도시가스사업허가를 받아야하는 시설 또는 가연성가스 100톤이상 1000톤미만을 저장.취급하는 시설
라. 주택법시행령 제63조1항에 해당하는 공동주택
마. 지하구
※방화관리자 30일 이내에 선임, 14일이내 신고
※공공기관 방화관리:연 1회 이상 종합정밀점검

### 6. 소방·방화시설 완비증명(기본법 제36조1항)

◉ 다중이용업의 범위(시행령 제13조)
가. 휴게음식점·일반음식점·제과점바닥면적합계 100㎡(지하층은 66㎡)이상
나. 단란주점, 유흥주점, 영화상영관, 비디오장업, 비디오물소극장업
다. 학원으로 수용인원 300이상
※ 수용인원 100-300인 미만 : 기기숙사구비 주학원의 2이상(수용인원 300인이상) 3다른 다중이용업과 함께 있는 경우
라. 목욕장으로 수용인원 100인 이상, 찜질방
마. 게임제공업, 인터넷컴퓨터게임시설제공업, 복합유통게임제공업
바. 노래연습장업, 산후조리원업
사. 고시원업, 전화방업, 화상대화방업, 수면방업,콜라텍업(규칙 제 2조)
◉ 소방·방화시설등 (시행령 제 9조)
가.소화설비:소화기, 자동확산소화용구 간이스프링클러
나.피난설비:유도등(피난, 비상조명등, 휴대용비상조명등, 피난기구
다.경보설비:비상벨, 비상방송, 가스누설경보기, 단독경보감지기
라.소화용수설비:방 화 문, 비 상 구 (75㎝X150㎝ 이상)
마.기타시설:영상음향차단장치, 누전차단기, 피난유도선
바.방 염 물:내부물로는 방문(열차부착으로 정하는 것임)

(라) 구조물 안정성(Stability)

- 부력 및 건현의 확보를 통해 부력에 의해 지지되는 플로팅 건축물의 침몰, 전복 등에 대한 기본적인 안정성을 확보할 수 있으며 침몰 및 전복의 원인이 되는 침수에 대하여 수밀격벽을 설치함으로써 부력 및 복원력의 상실 최소화가 가능함
- 플로팅 건축물의 안정성을 확보하기 위한 중요 요소에는 부체를 지지하는 부력과 상재하중, 외력 등과의 평형관계 그리고 복원성이 있음
- 플로팅 건축물의 구조형식은 선박에서 기인된 것으로 선박의 안정성 및 복원성에 대하여 규정하고 있는 IMO(International Maritime Organization)의 각종 규정, 협약, 규약 등을 참조할 수 있으며 각국 선급에서는 IMO의 기준을 토대로 선박의 안정성을 확보 하도록 하고 있음
- 하지만 선박의 안정성과 복원성에 대한 기준은 매우 복잡하며 일반적으로 폰툰형의 콘크리트 부체를 사용하고 돌핀계류를 적용하여 수평거동 및 동요를 제어하고 있는 플로팅 건축물의 안정성에 적용하기에는 많은 무리가 있음
- 따라서 선박에서 적용되는 기준이 아닌 플로팅 건축물의 사용이 활발한 캐나다, 덴마크, 호주 등에서 적용하고 있는 「British Columbia Float Home Standards」, 「Technical regulation on the stability, buoyancy, etc. of houseboats and floating structures」, 「Construction, Operation and Inspection of Houseboats in South Australia」등의 기준이 참고 가능함
- 「British Columbia Float Home Standards」에서는 플로팅 건축물의 안정성과 관련하여 충분은 부력 확보를 위해 적설하중을 제외한 평상시 하중조건에서 400mm 이상의 건현을 확보하도록 하고 있으며 적설하중을 포함한 상태에서 200mm이상의 건현을 확보하도록 함
- 복원성의 경우 바람이나 파도의 영향으로 구조물이 기울어질 때 건현의 50% 이상이 물에 잠기지 않거나 그 각도가 5° 가 되지 않도록 규정함
- 부체 구조는 수밀격벽으로 세분하도록 하고 있으며 구획된 두 개의 인접한 구역이 침수되더라도 최대하중 상태에서도 100mm이상의 건현이 유지될 수 있는 구조로 하부부체를 계획하도록 함
- 「Technical regulation on the stability, buoyancy, etc. of houseboats and floating structures」에서는 최소 500mm 이상의 건현을 확보하도록 하며 예상되는 모든 하중 상태에서도 충분한 안정성을 확보하고 시험을 통해 문서로 증명하도록 하고 있음
- 또한, 충분한 부양성을 확보하기 위하여 하부부체를 수밀구조로 세분하도록 하고 있으며 최대하중상태에서 구획된 수밀구획 중 가장 큰 구획이 파손되어 물이 차더라도 충분한 부양성을 확보할 수 있도록 하거나 $\overline{GM}$ 이 최소 0.6m이상 유지할 수 있도록 하부구조물이 설계되도록 규정함

○ 최대 이용가능 인원이 한 쪽 방향에 집중되는 것과 같은 편심하중 상태에서 그 기울기는 4° 이상 기울어 지지 않아야 하며 기울어짐에 의해 잠긴 부체는 평상시 건현 깊이의 1/3이상을 항상 유지할 수 있어야 함

○ 「Construction, Operation and Inspection of Houseboats in South Australia」에서는 폰툰의 경우 수밀격벽으로 장방향 및 횡방향으로 구획되어야 하며 그 길이가 1.2m넘지 않도록 규정하고 있음

○ 최대 하중상태의 하우스보트에 있어 그 길이가 6m 이하일 경우 400mm 이상, 20m 이상의 하우스보트는 600mm 이상의 건현을 확보하도록 하고 있으며 6m 초과 20m 미만의 하우스보트에 대해서는 보간법을 통해 건현을 결정하도록 하며 폰툰형태로 제작되는 플로팅 건축물의 경우 적어도 폰툰 부피의 25% 이상의 예비부력을 유지할 수 있도록 하고 있음

○ 안정성의 경우 최대 승선인원이 한쪽 방향에 집중되는 편심하중 상태에서 부체의 기울어짐이 7° 이하가 되도록 하여야 하며 잠긴 쪽의 건현은 평상시 건현의 25% 이하가 되지 않도록 규정함

○ 이상의 기준에서 알 수 있듯이 부체 내부를 수밀격벽을 통해 구획하고 부분적 손상에 따른 침수에 대비할 수 있도록 하고 있으며 충분한 건현 확보를 통해 예비부력과 복원성을 확보하여 비상시에 대비할 수 있도록 하고 있음

○ 선박의 경우는 국제만제흘수선협약(ICLL)에 따라 건현 및 흘수를 규정하고 있으며 충분한 부력과 복원성을 확보하도록 하고 있음

○ 또한 충돌, 좌초 등으로 인한 국부적인 손상이 발생했을 때 안정성을 확보하고 기름과 같은 환경오염을 유발할 수 있는 선내 물질이 외부로 유출되는 것을 막기 위하하여 횡방향 및 종방향으로 수밀격벽을 설치하고 선체 바닥면을 이중으로 설치하는 이중저구조로 하여 비상시에 대비할 수 있도록 함

(마) 구명설비

○ 해상에 위치하는 플로팅 건축물은 입지에 따라서는 육상과 바로 연결된 도교를 이용하지 않고 선박이나 헬리콥터 등을 이용하여 접근해야 하는 경우도 있음

○ 도교로 육상과 바로 연결되는 경우 재해발생 시 이용자의 피난 및 탈출이 비교적 용이하나 선박이나 헬리콥터를 이용할 경우 육상으로 대피하는 데는 어려움이 따른다. 따라서 플로팅 건축물에는 해상에 입지하는 특성에 따라 구명정, 구명부의, 구명환 등이 배치가 필요함.

○ 이러한 구명장비의 설치 기준은 일반적인 건축물과 관련된 기준에는 전무하며 선박에 적용되는 기준 중 여객선에 적용되는 기준을 검토하는 것이 바람직함

○ 「부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」에서는 [표 2-3-54]와 같이 구명설비로 구명부환, 구명동의 설치만 규정.

[표 2-3-54] 부유식 해상구조물 구명설비 설치 기준

<table>
<tr><th>구명설비</th><th>설치기준</th></tr>
<tr><td>구명부환</td><td>30m구명줄이 부착된 구명부환을 구조물의 난간, 핸드레인 등에 비치
<table>
<tr><th>구조물 길이</th><th>구명후환 수(개)</th></tr>
<tr><td>60m 미만</td><td>8</td></tr>
<tr><td>60m 이상 120m 미만</td><td>12</td></tr>
<tr><td>120m 이상 180m 미만</td><td>18</td></tr>
<tr><td>180m 이상 240m 미만</td><td>24</td></tr>
<tr><td>240m 이상</td><td>30</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>구명동의</td><td>소속직원 100% 해당하는 수의 구명동의 등(燈)이 부착된 구명동의를 쉽게 사용할 수 있는 장소에 보관</td></tr>
</table>

출처:「부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」제7장 구명설비 참조

[표 2-3-55] 여객선 구명설비 설치 기준

<table>
<tr><th>구명설비</th><th colspan="2">설치 기준</th></tr>
<tr><td>구명부환</td><td colspan="2">최대경하상태의 흘수선상에서 보관위치까지 높이의 2배 또는 30m 중 큰 길이와 부양성이 있는 구명줄 부착, 각 현에 적어도 한 개 이상의 구명부환 부착
<table>
<tr><th>구조물 길이</th><th>구명후환 수(개)</th></tr>
<tr><td>60m 미만</td><td>8</td></tr>
<tr><td>60m 이상 120m 미만</td><td>12</td></tr>
<tr><td>120m 이상 180m 미만</td><td>18</td></tr>
<tr><td>180m 이상 240m 미만</td><td>24</td></tr>
<tr><td>240m 이상</td><td>30</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>구명동의</td><td colspan="2">승선인원 수에 맞게 비치, 그 중 10% 또는 실제 승선한 어린이 수 중 큰 수에 해당하는 어린이용 구명동의 비치</td></tr>
<tr><td rowspan="4">생존정</td><td>여객선 종류</td><td>기준</td></tr>
<tr><td>국제항해</td><td>각 현에 총 승선인원 50%를 수용할 수 있는 구명정 또는 각 현에 37.5%를 수용할 수 있는 구명정과 동등한 인원을 수용할 수 있는 구명뗏목</td></tr>
<tr><td>단기국제항해</td><td>각 현에 총 승선인원의 30%를 수용할 수 있는 구명정과 구명정 수용 능력을 포함 총 승선인원을 수용할 수 있는 구명뗏목 배치</td></tr>
<tr><td>승선인원 200명 미만이고 총톤수 500톤 미만</td><td>총 승선인원을 수용할 수 있는 구명뗏목 배치<br>각 현으로 구명뗏목의 이동이 불가능 한 경우 총 승선인원의 150%를 수용할 수 있는 구명뗏목 배치</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조정</td><td>500톤 이상</td><td>각 현에 1척씩 배치(최소 2척)</td></tr>
<tr><td>500톤 미만</td><td>1척 배치</td></tr>
</table>

출처:「부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」제7장 구명설비 참조

○ 여객선의 경우 한국선급(2008)에서 구명설비로 구명부환, 구명동의를 비롯하여 구명정, 구명뗏목과 같은 생존정과 구조정을 [표 2-3-55]과 같이 배치하도록 하고 있으며 생존정은 퇴선신호가 울린 시각부터 30분 이내에 총 정원과 의장품을 실은 채로 진수될 수 있는 능력을 가지도록 규정함

○ 호주의 「Construction, operation and inspection of Houseboats」에서는

30m 이상 지름 12mm 이상의 부양성이 있는 로프로 연결된 구명부환을 배치하도록 하고 있으며 최대이용인원수 만큼 구명동의를 비치하도록 규정함

(바) 계류시설

○ 계류시설은 플로팅 건축물의 위치를 고정해 주는 시설로 부체에 작용이 예상되는 모든 외력에 대하여 견딜 수 있는 구조와 강도로 계획되어야 함

○ 계류시설이 파괴되면 자항능력이 없는 플로팅 건축물은 표류, 선박 및 구조물, 암초 등과 충돌하여 대형 재난을 불러 올 수 있으므로 초기 계획단계에서부터 예상되는 외력에 대한 가정과 설계하중의 산정이 매우 중요함

○ 한국항만협회(2005)에서는 체인계류시설에 사용되는 체인의 경우 시험에 의해 정해진 재료의 인장강도의 1/3을 허용인장력으로 하여 구조물을 설계하며 앵커의 경우 안전율은 1.2 이상으로 설계에 적용하도록 하고 있음

○ 「부유식 해양구조물 구조 및 설비 등에 관한 기준」에서는 계류시설은 예상되는 전체 저항에 대하여 설계를 하며 안전율을 2.0이상으로 하도록 하고 있으며 홍사영(2007)에서 돌핀계류시설을 설계할 경우 설계허용응력을 평상 시 설계허용응력의 1.5배로 하여 설계하도록 하고 있음

○ 플로팅 건축물의 계류시설 설계에 있어 안전성을 확보하기 위하여 충분한 안전율을 적용하여 설계를 하고 있으며 구조물의 위치를 고정시켜 주어 재해발생시 구조물의 안정성을 확보하고 계류시설 파괴에 따른 구조물 표류로 인한 2차 재해를 예방할 수 있도록 계획되어야 함

다. 방재 및 피난계획 지침

(1) 방재 및 피난기준 비교

○ 이상에서 살펴 본 것처럼 건축물과 선박 그리고 각종 기준에서 규정하고 있는 방재 및 피난관련 기준이 상이하며 특히 건축물과 선박의 관련 기준에서 많은 차이를 보임

○ 건축물과 선박의 방재관련 기준을 중심으로 비교 정리하면 다음과 같음

① 방화구획

- 건축물에서는 용도, 면적, 층에 따라서 방화구획을 규정하고 하고 있으며 내화성능에 따라 주요 구조체는 3시간동안 화재에 견디도록 하고 있음
- 선박에서는 수밀성 확보와 구조상 특성 때문에 일정범위에서 일정 시간(최대 1시간)동안 화재에 견디는 방화구획을 규정하고 있으며 시간별, 구역별 방열보존성에 대하여 규정하고 있어 건축물과 유사하다고 할 수 있음

② 피난 및 탈출

- 건축물은 지상층 또는 외부로 연결된 피난층을 통해 건물 밖으로 피하는 것이 피난이 완료된 것으로 규정
- 선박의 경우 지정된 승정갑판으로 이동하여 구명설비를 이용한 선박에서 탈출하는 것이 피난이 완료된 것으로 규정하므로 건축물과 달리 승정갑판이 피난처가 되므로 피난인원에 적합한 공간을 확보하는 것이 중요함
- 건축물에서는 지상으로 통하는 직통계단, 비상시 사용할 수 있는 피난계단, 특별피난계단 등의 피난 및 탈출 설비의 설치를 규정하고 있으며 건축물의 용도 및 규모에 따라서 2개의 직통계단을 설치하도록 하고 있어 2방향 피난을 규정하고 있으며 거실에서 피난계단까지의 이동거리를 제한하고 있음
- 선박은 일반계단과 피난계단, 특별피난계단과의 구분이 없으며 일상적으로 사용되는 계단을 함께 사용 하고 있으며 피난계단까지의 보행거리도 규정되어 있지 않아 건축물에 비교하면 방화구획이 성립되지 않는 경우가 있으나 선박에서도 기본적으로 각 장소에서 2개의 탈출설비를 이용할 수 있도록 하는 2방향 피난을 규정하고 있음
- 건축물에서 복도와 계단의 폭은 용도 및 규모에 따라 일정하게 규정하고 있으며 선박의 경우 복도와 계단 폭에 대한 최소기준을 설정하고 예상되는 이용자수에 비례하여 복도 및 계단의 폭이 증가되도록 규정함
- 건축물에서 복도와 계단의 폭은 용도 및 규모에 따라 일정하게 규정하고 있으며 선박의 경우 복도와 계단 폭에 대한 최소기준을 설정하고 예상되는 이용자수에 비례하여 복도 및 계단의 폭이 증가되도록 규정함

③ 소방설비

- 건축물에서 소방설비는 건축물의 용도, 면적, 높이에 따라 설치 유무를 규정하고 있으며 건축물의 용도에 따라 소방설비의 종류를 지정함
- 선박에서는 건축물과 달리 외부로부터 소방, 피난 등의 활동에 대한 도움을 받기 어렵기 때문에 자체 방재활동을 최우선으로 하고 있음
- 여객선의 소방설비 기준에서는 거주구역, 업무구역, 제어구역의 계단, 복도를 포함한 모든 공간에 스프링클러와 연기감지기, 고정식 화재탐지기 등 소방설비의 설치를 기본으로 하고 있으며 구역별, 시설별 이용할 수 있는 소방장비 등을 규정하고 있음
- 복도 및 각 구역에는 개별소방장비를 배치하도록 하여 숙달된 선원으로 하여금 자체 소방 활동을 할 수 있도록 함
- 캐나다 플로트 홈 기준에서는 일반건축물에 적용되는 NFPA 규정을 일부 적용함
- 스프링클러의 설치 시 NFPA 13D「Standard for the Installation of Sprinkler Systems in One-and-Two Family Dwelling and Mobile Home」의 기준에 따르도록 하고 있으며 소화기의 배치는 각 거주구의 입구에 1개 이상을 설치하도록 하고 있으며 NFPA 10「Standard for Portable

Fire Extinguisher」의 규정을 따르고 있음

④ 구조물 안전성

- 지반에 고정된 건축물과 달리 수상에 부유한 선박의 경우 구조물의 안정성에 대한 규정을 별도로 정하고 있으며 미국, 캐나다, 덴마크, 호주 등에서는 플로트 홈에 대한 기준에서 안정성의 기준이 되는 건현 및 복원성에 대한 기준을 정하고 있음
- 선박과 플로트 홈 기준에서는 기본적으로 하부부체를 수밀격벽으로 구분하여 침수에 의한 부력 및 복원력 상실에 대비하도록 하고 있으며 충분한 건현확보를 통해 복원원성과 부력을 확보할 수 있도록 함

⑤ 구명설비

- 여객선의 경우 구명부환, 구명동의 등의 개인 구명장비와 구명정, 구명뗏목 등의 생존정의 배치를 규정하고 있으며 구명부환은 선박의 길이에 따라 수량을 정하고 있으며 구명동의와 생존정은 최대승선인원에 적합한 수용력을 가지도록 규정하고 있음
- 「부유식 해양구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」에서는 선박 길이에 따른 구명부환의 배치와 소속직원 수만큼의 구명동의를 배치하도록 하고 있으며 플로트 홈 기준에서 별도로 규정하고 있는 것은 없으나 호주의 「Construction, operation and inspection of Houseboats」에서 구명부환의 배치를 규정하고 있음

(2) 방재 및 피난계획 지침

○ 현재로는 플로팅 건축물에 참고할 만한 재난경험이 별로 없어 확실한 자료나 안전기준이 없기 때문에 여객선에 적용하는 방재 및 피난 기준과 「건축법」에 따른 안전규정 그리고 플로트 홈 또는 하우스 보트에 적용되는 기준을 함께 적용하여 계획하는 것이 바람직함

○ 건축물, 선박 그리고 부유식 주거시설에 대한 방재관련 기준을 토대로 플로팅 건축물에 적용할 수 있은 일반적인 방재계획 지침을 정리하면 다음과 같음

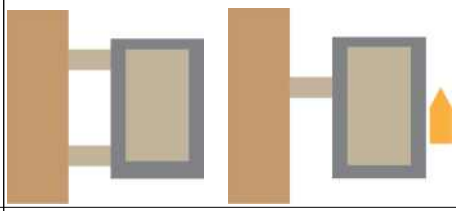
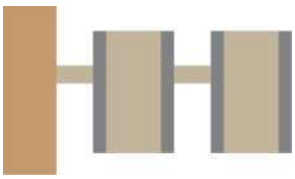
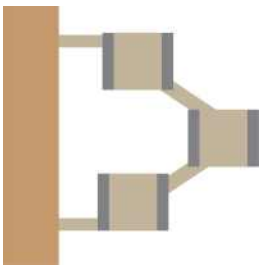
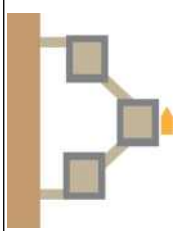
① 플로팅 건축물에서 발생하는 화재에 대해서는 방화구조 및 연소방지용 벽으로 방화구획을 설치하고 「건축법」의 규정에 따른 구조 및 재료로 계획하며 연기제어 역시 「건축법」의 규정에 따라 계획함

② 플로팅 건축물의 피난계단 및 특별피난계단의 설치 기준은 「건축법」에 따라 배치하며 모든 거실에서 2개 이상의 피난계단 또는 일정 규모 이상의 창을 포함한 피난설비에 접근할 수 있도록 계획하고 조명 설비를 설치하여 야간 및 화재 시 사람들의 피난동선을 유도할 수 있도록 하며 시설물 배치에 따른 피난 및 탈출에 사용되는 외부 통로는 [표 2-3-56]에 따라 계획함

③ 플로팅 건축물의 마감재료는 「건축법」에서 규정하는 방화재료(불연성 또

는 난연성 내장재), 「선박방화구조 기준」에서 정한 B급 내장재 정도로서 사용자가 건물 밖으로 탈출에 필요한 시간이 확보되는 정도가 되어야 하며 선박에서 적용하는 불연성 재료의 성능을 인정함

[표 2-3-56] 배치유형에 따른 피난통로 계획기준

| 배치유형 | 피난통로 계획기준 |
|---|---|
| Type-1<br>(단독배치형)<br>  <br>·육역과 한 개의 연결통로로 연결되어 단독으로 배치된 플로팅 건축물 | ·2개 이상의 연결통로로 육역과 연결되도록 계획<br>·불가능한 경우 1개의 연결통로와 선박을 이용한 탈출이 가능하도록 계획(2방향 피난 및 탈출 확보)<br>·상부시설 외부에 부체 전면으로 이동 가능한 1.5m이상 통로 확보<br>·단, 1가구가 거주하는 단독주택은 제외<br>  |
| Type-2<br>(병렬배치형)<br>  <br>·육역과 연결된 한 개의 통로로 2개 이상의 플로팅 건축물이 병렬로 배치된 경우 | ·기본적으로 이런 형태의 병렬배치는 금지함<br>·병렬로 설치를 하고자 할 경우 2개 이상의 연결통로를 확보하고 각 부체에서 실내를 통하지 않고 육상으로 이동할 수 있도록 계획<br>·1개의 통로로 육역에 연결된 경우 각 부체에서 실내를 통하지 않고 육상으로 이동할 수 있도록 계획하며 선박을 이용한 탈출이 가능하도록 계획<br>·상부시설 외부에 부체 전면으로 이동 가능한 1.5m 이상 통로 확보<br>  |
| Type-3<br>(섬형배치)<br>  <br>·2개 이상의 플로팅 건축물이 순환되는 연결통로로 연결되어 배치된 경우 |  <br>·구조물 간 연결통로는 30m 이상 되지 않도록 계획<br>·육상 연결통로는 50m 이상 되지 않도록 계획<br>·각 연결통로 폭은 1.5m 이상 되도록 계획하며 충분한 구조적 안전성과 방화성능을 확보할 수 있는 구조 및 재료로 계획하고 적합한 소방설비를 갖출 것<br>·상부시설 외부에 부체 전면으로 이동 가능한 1.5m 이상 통로 확보<br>·기본적으로 2방향 피난 및 탈출이 가능하도록 배치<br>·부수적으로 선박을 이용한 탈출이 가능하도록 계획 |

④ 하부시설물의 침수를 방지하기 위해 충돌 손상에 염려가 있는 부체 외주(外周)를 이중각구조(二重殼構造)로 하고 그 사이를 격벽으로 구획하여 침수부분을 최소범위로 한정할 수 있도록 하며 전체 구조물의 경사가 피난탈출

에 지장이 없을 정도로 억제할 수 있는 설비를 설치하거나 동등한 성능을 유지할 수 있도록 계획함

격벽으로 구획된 내부 공간은 밀도가 낮은 충진재를 사용하여 채우거나 빌지 펌프(Bilge pump)를 설치하여 침수 및 침몰에 대비할 수 있도록 하거나 이와 유사하거나 동등한 성능의 설비를 갖춤

⑤ 하부시설물은 설치 해역이 한정되고 좌초에 의해 저부 파손의 염려가 작은 경우 하부시설물 저판을 이중각구조로 할 필요는 없으나 오수탱크 등이 설치되는 경우 오폐수 유출에 대비하여 이중각구조를 고려하며 충돌가능성이 있는 측면의 몸체는 이중각구조로 계획함

내부를 격벽으로 구획하는 경우 사람이 접근할 수 있는 곳 또는 접근할 필요가 있는 곳은 수밀문짝(水密扉)을 설치하고 구획마다 옥외갑판으로 탈출 가능한 계단, 사다리 등의 설비의 설치를 계획함

⑥ 이상기상 시 하부구조물의 최상부 갑판면이 물에 잠기거나 개구부로부터의 침수에 대비하여 취급이 용의한 수밀문짝을 계획하고 하부구조물의 최상부 바닥과 상부시설물 바닥 사이에 충분한 공간을 두어 배수가 가능하도록 하거나 그 부분에 방수, 지수 등 충분한 조처를 계획하여 상부시설물 출입구로 물이 유입되는 것을 방지할 수 있도록 계획함

⑦ 하부구조물의 침수에 대한 안전도는 부력 및 건현의 확보로 표시되므로 충분한 부력을 유지할 수 있도록 건현을 확보함

정온수역이 확보된 곳에 설치되어 있을 경우 평상시 0.4m 이상 만재 시 0.2m 이상 확보하도록 하며 정온도가 확보되지 않은 곳에서는 최소 0.5m 이상의 건현을 확보[20]하도록 하며 부체의 길이에 따라서 80m에서 1.0m, 100m에서 1.3m, 160m에서 2.1m, 그리고 200m에서는 2.6m으로 계획함[21]

갑판으로 파도가 쳐들어와 침수되는 것을 방지하기 위해서는 외측에 파도막이를 설치하거나 출입구의 높이를 조절하는 등의 조치를 취함

⑧ 상부시설물에서는 가연성 재료의 사용 제한과 피난통로의 확보가 중요하다. 육지로의 피난경로가 도교를 이용하거나 구명정인 경우 피난 층은 하부시설물의 상부 갑판, 헬리콥터에 의한 탈출에서는 상부시설물의 최상층 지붕을 피난층으로 계획한다. 피난시설은 「건축법」에 따른 구조와 재료를 기본적으로 적용하여 계획함

⑨ 가연성재료가 쓰인 경우 방화구획, 방화벽, 스프링클러, 소화설비 등으로 화재에 대비함

⑩ 체인·와이어 계류시설을 사용할 경우 플로팅 건축물에 예상되는 모든 외력

20) Canada Floating Home Association,「British Columbia Float Home Standards」 에서는 평상시 0.4m, 만재 시 0.2m의 건현을 확보하도록 하고 있으며, Danish Maritime Authority(2007),「Technical regulation on the stability, buoyancy, etc. of houseboats and floating structures」에서는 0.5m 의 건현을 확보 하도록 하고 있다.
21) 선박의 건현기준 참조

에 대하여 검토해 충분한 안전율을 적용하여 계획하며 계류삭의 배치는 좌우 및 전후로 구조물이 고정될 수 있도록 최소 2축, 4방향 이상 계류를 하도록 계획함

⑪ 또한 비상시 계류라인의 파단, 앵커 및 닻의 끌림 등으로 인해 구조물이 표류하는 것을 방지하기 위하여 1개의 계류라인으로 플로팅 건축물 전체를 계류할 수 있도록 설계함

⑫ 돌핀계류를 이용할 경우 충분한 계류력을 가질 수 있도록 설계하며 안정적인 위치유지를 위해 최소 2축, 2개 이상의 돌핀을 이용하여 계류함

⑬ 계류시설 파괴로 인해 구조물의 표류를 방지하기 위해 1개의 돌핀으로도 플로팅 건축물을 계류할 수 있도록 계획하며 가능하면 1개 이상의 비상용 체인계류 시설을 추가로 설치하는 것에 대하여 고려함

⑭ 접근로는 충분한 폭을 가진 안전적인 구조로 계획하며 접근로의 폭은 최소 1.5m 이상 유지될 수 있도록 하며 플로팅 건축물에서 2방향 피난 및 탈출이 가능하도록 배치함

⑮ 소방 등 안전상의 문제로 플로팅 건축물 내로 차량의 접근이 필요한 경우 최대 이용가능 차량에 대하여 충분히 수용할 수 있는 폭과, 구조로 계획함

⑯ 접근로의 주요 구조는 방화구조로 하고 난간 등의 마감재는 불연성 재료로 한다. 상부 바닥 마감은 녹슬지 않고 미끄럼을 방지 할 수 있는 재료로 하거나 이와 동등한 성능을 가진 재료로 하며 안전난간은 수면에서 1m 이상 되는 곳에 바닥 마감에서 1.2m 이상 높이로 설치하며 난간 살은 세로로 배치하여 어린이들이 밟고 올라가지 못 하도록 계획함

⑰ 접근로의 화재 발생에 대비하여 소화기를 배치하고 가능하면 소방설비를 갖춤

⑱ 접근로를 통해 플로팅 건축물로 수도, 전기 등의 설비들이 연결되는 경우 접근로 파괴시 자동적으로 공급이 차단될 수 있는 구조 및 시스템으로 계획함

라. 피난 시뮬레이션

(1) 피난실험 개요

○ 건축물 및 선박의 피난에 있어 가장 기본적인 것은 재실자가 지정된 피난층까지 안전하게 이동할 수 있도록 건축물을 계획하는 것임

○ 재실자의 안전한 피난을 위하여 건축물과 선박에서 모든 거실에서 2방향 피난이 가능하도록 기준을 정하고 있음

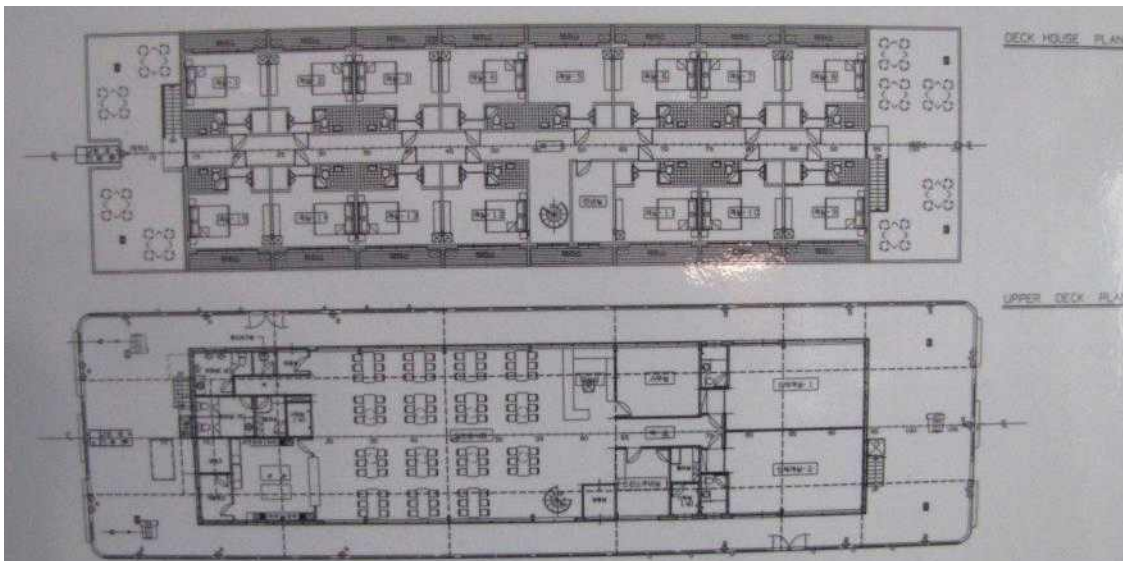
○ 2방향 피난의 중요성을 알아보기 위하여 현재 이용되고 있는 플로팅 건축물 대상으로 현장 피난실험 및 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였음

○ 실험의 내용을 정리하면 다음과 같음

[표 2-3-57] 피난실험 개요

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>실험내용</td><td colspan="3">플로팅 건축물에서 2방향 피난의 중요성 분석</td></tr>
<tr><td>실험일시</td><td colspan="3">2013년 5월 14일</td></tr>
<tr><td rowspan="3">실험장소</td><td colspan="3">제주마린리조트</td></tr>
<tr><td colspan="2">용도</td><td>위치</td></tr>
<tr><td colspan="2">부유식 해상 호텔</td><td>제주 성산항 전면 수역</td></tr>
<tr><td rowspan="2">실험방법</td><td>1차</td><td colspan="2">- 2층 객실의 재실자가 1층의 지정된 피난층까지 이동하는데 걸리는 시간 측정(현장실험 및 컴퓨터 시뮬레이션)<br>- 피실험자 개인별 RFID(Radio Frequency Identification)를 이용하여 피난개시점(피난방소 시작)에서 지정된 장소에 도달할 때까지 걸리는 시간 측정<br>- 피실험인원: 25명</td></tr>
<tr><td>2차</td><td colspan="2">- 2층 피난통로 한쪽을 임의로 폐쇄하고 재실자가 인지하지 못한 상태에서 1차 실험과 동일하게 1층 지정된 피난층까지 이동하는데 걸리는 시간 측정(현장실험 및 컴퓨터 시뮬레이션)<br>- 피실험인원: 21명</td></tr>
<tr><td rowspan="2">실험순서</td><td>1차</td><td colspan="2">① 피실험자 신체특성 조사(개인별 신체 크기 및 보행속조 측정)<br>② 피실험자 객실 및 복도 등 일상적인 생활 유지<br>③ 피실험자가 인지하지 못한 상태에서 피난 방송<br>④ 피실험자가 모두 지정된 피난층까지 피난하는데 걸리는 시간 측정</td></tr>
<tr><td>2차</td><td colspan="2">① 피살험자가 인지하지 못한 상태에서 한 방향 피난통로 폐쇄<br>② 피실험자 객실 및 복도 등 일상적인 생활 유지<br>③ 피실험자가 인지하지 못한 상태에서 피난 방송<br>④ 피실험자가 모두 지정된 피난층까지 피난하는데 걸리는 시간 측정</td></tr>
</table>






[그림 2-3-14] 제주마린리조트 현황 및 평면구성



(a)피실험자 보행속도 측정



(b) 피난실험

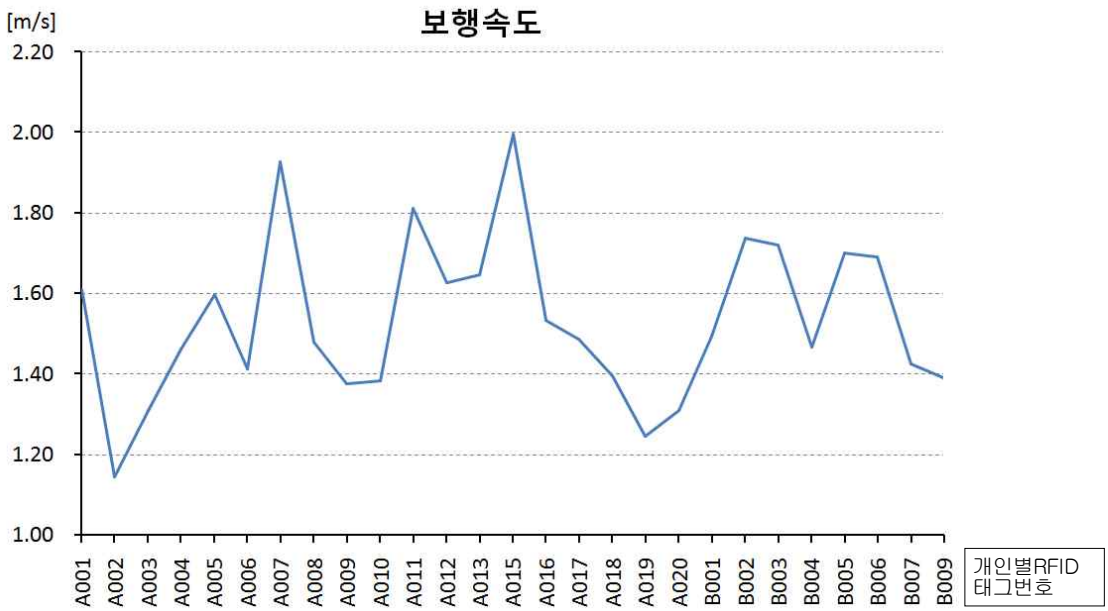
[그림 2-3-15] 피난실험

○ 피난실험에 참가한 피실험자 정보는 다음과 같음

[표 2-3-58] 피실험자 정보

| 구 분 | 20세 미만 | | 20~40세 | | 40~60세 | | 60세 이상 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 남 | 여 | 남 | 여 | 남 | 여 | 남 | 여 |
| 인원수 | 0 | 0 | 14 | 8 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| 평균키 | N/A | N/A | 175.2 | 162.4 | 170.7 | 154.0 | N/A | N/A |
| 평균체중 | N/A | N/A | 76.6 | 57.9 | 67.0 | 53.5 | N/A | N/A |
| 평균어깨 넓이 | N/A | N/A | 47.2 | 41.6 | 47.3 | 40.0 | N/A | N/A |

○ 피실험자 보행속도 측정결과 평균 보행속도는 1.53[m/s]로 측정됨




[그림 2-3-16] 피실험자 보행속도 측정 결과

(2) 피난실험 분석

○ 피실험자가 거주하고 있는 객실에서 1층 피난장소까지 양쪽 출구를 통해 피난이 가능하도록 설정하여 실시한 1차 피난실험 결과 25명의 피실험자가 2층 객실에서 지정된 1층 피난장소까지 피난하는데 걸린 총소요시간은 71.5초임

○ 1차 실험과 달리 하나의 피난 통로를 통제한체 실시된 2차 피난실험에서 피실험자 인원이 1차보다 4명이 줄어든 21명임에도 불구하고 피실험자 전체가 1층 피난장소까지 피난에 걸린 시간은 91.48초임

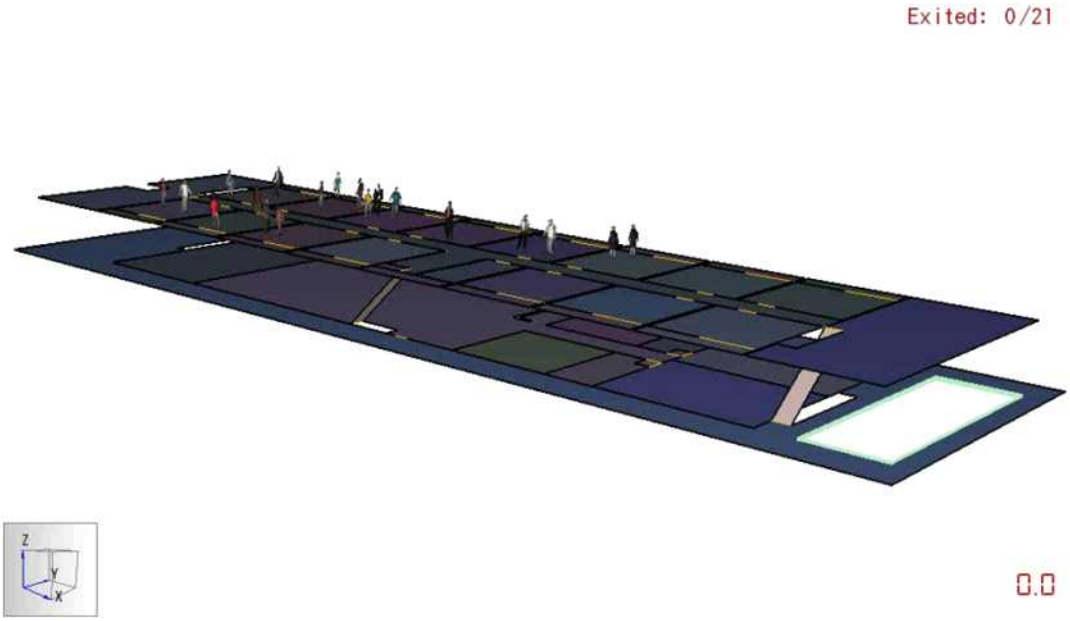
○ 1차 실험에서 2차 실험과 같은 21명의 피실험자가 2층 객실에서 지정된 1층 피난장소까지 피난하는데 걸린 총소요시간은 64.43초 임




[그림 2-3-17] 1차 및 2차 피난실험 결과(실측)

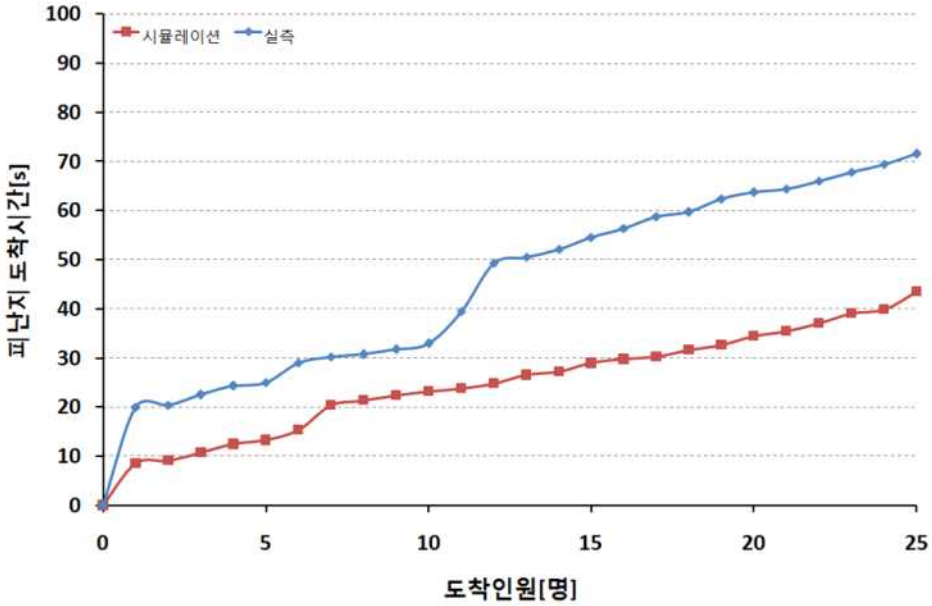
○ 1차 및 2차 피난실험의 결과를 검증하기 위하여 피난해석프로그램인 Pathfinder를 이용하여 피난 시뮬레이션을 실시함

○ 1차 및 2차 피난실험에서 측정한 피실험자들의 속성을 각각 입력하고, 마린리조트 평면을 이용하여 동일한 환경과 조건을 모델링하여 시뮬레이션을 실시



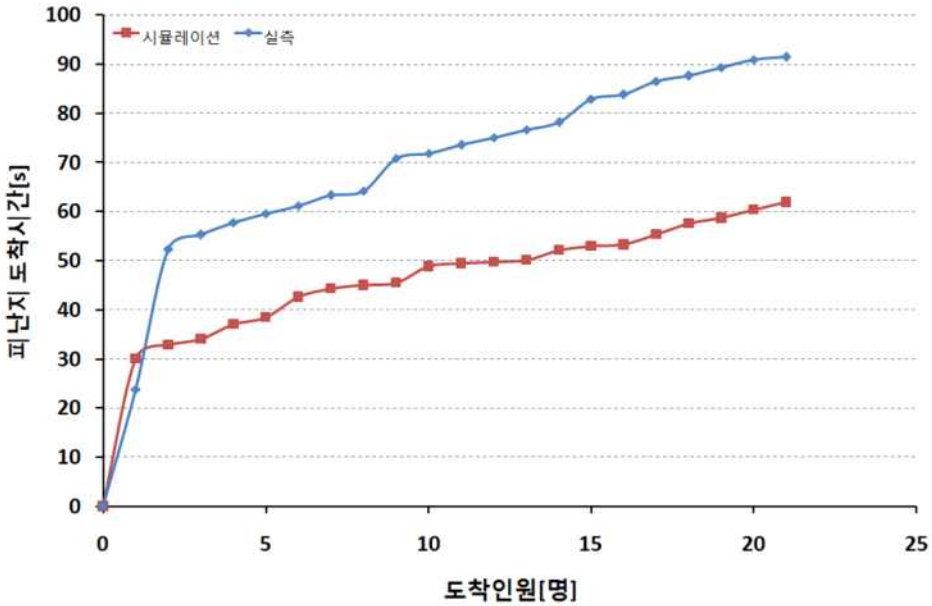

[그림 2-3-18] 피난해석프로그램 Pathfinder를 이용한 피난시뮬레이션

○ 피난시뮬레이션 결과 1차와 같은 조건에서 25명의 재실자가 피난하는데 소요된 총 시간은 43.48초 이며, 21명의 재실자가 피난하는데 소요된 총 시간은 35.42초임




[그림 2-3-19] 1차 피난실험 실측값과 시뮬레이션 값 비교

○ 2차 실험과 동일한 조건으로 프로그램을 이용한 피난 시뮬레이션 결과 21명의 재실자가 지정된 피난 장소로 피난하는데 소요된 총 시간은 61.89초 임




[그림 2-3-20] 2차 피난실험 실측값과 시뮬레이션 값 비교

○ 피난실험 실측값과 시뮬레이션 값이 다소 상이하나 두 실험 모두 2방향 피난이 가능했던 1차 실험이 1방향 피난만 가능했던 2차 실험보다 피난에 소요되는 시간이 1/3정도 단축됨을 알 수 있음

마. 피난 및 방재계획 기준

○ 앞서 언급한 피난 및 방재계획 지침의 내용과 「건축법」 및「 선박법」에서 규정하고 있는 관련 기준들을 종합하여 플로팅 건축물 피난 및 방재계획 기준을 설정함

○ 피난 및 방재계획 기준은 플로팅 건축물의 기능 및 용도가 건축물과 동일하므로 재실자의 플로팅 건축물 사용을 고려하여 기본적으로 「건축법」및 일반 건축물에 적용되는 피난 및 방재관련 법에서 정하는 사항을 따르도록 기준을 설정함

○ 또한 플로팅 건축물의 입지 및 구조적 특성을 고려하여 「선박법」 및 국외 관련 기준에서 정한 사항을 참조하여 작성함

○ 방재 및 피난계획 기준은 본 연구에서 제안한 군산시 「부유식 건축물 조례」에서 플로팅 건축물로 인정한 건축물에 적용되며 조례에서 위임하는 플로팅 건축물의 피난 및 방재계획 관련 사항에 있어 기준으로 사용됨을 목표로 함

○ 플로팅 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)의 구성은 다음과 같음

[표 2-3-59] 플로팅 건축물 피난 및 방재계획 기준(안) 구성

| 제1편 총칙 | 제2편 피난 | 제3편 방재 |
|---|---|---|
| 제1조(목적)<br>제3조(적용범위)<br>제4조(적용의 특례) | 제5조(대지 안의 피난통로 설치)<br>제6조(내부 피난통로의 설치)<br>제7조(직통계단의 설치)<br>제8조(피난계단의 설치)<br>제9조(옥외 피난계단의 설치)<br>제10조(승정데크의 설치)<br>제11조(구명설비의 비치)<br>제12조(관람석 등으로부터의 출구 설치)<br>제13조(상부건축물 바깥쪽으로의 출구 설치)<br>제14조(계단 및 복도의 설치)<br>제15조(거실반자의 설치)<br>제16조(채광 및 환기를 위한 창문 등)<br>제17조(안내판의 설치)<br>제18조(피난 시뮬레이션 및 결과의 반영)<br>제19조(피난계획보고서의 제출) | 제20조(재해방지계획 보고서의 제출)<br>제21조(내화구조)<br>제22조(방화구조)<br>제23조(난연재료)<br>제24조(불연재료)<br>제25조(준불연재료)<br>제26조(방화구획의 설치)<br>제27조(방화문의 구조)<br>제28조(소방시설의 설치)<br>제29조(침수방지)<br>제30조(수밀격벽의 구조)<br>제31조(충돌방지)<br>제32조(안정성의 확보)<br>제33조(하부함체의 구조 및 검사)<br>제34조(계류시설의 설치)<br>제35조(해양오염방지) |

## 3. 테스트베드 법제도 적용

### 가. 법제도 검토 및 적용

#### (1) 법제도 검토

##### (가) 법제도 적용 사례

○ 국내에서는 다양한 형태의 플로팅 건축물이 조성되어 사용되고 있으며, 현재 사용되고 있는 플로팅 건축물을 법제도가 적용된 사례에 따라 살펴보면 [표 2-3-1]과 같이 5가지 유형으로 분류할 수 있음

① 건축물의 법적 지위를 건축물로 인정하고 「건축법」에 따른 설계, 인허가 과정을 거쳐 건설되어 건축물로 등록된 경우로, 하부시설에 대해서는 「선박법」을 준용하여 설계된 경우

– 사례: 서울 마리나 마리나센터

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| · 설치위치 | 하천(한강) | · 법적지위 | 건축물(건축법) |  |
| · 계류방식 | 말뚝 | · 적용법규 | 상부-건축법<br>하부-선박법 준용 | |
| · 용 도 | 일반음식점 | | | |

② 플로팅 건축물의 법적 지위를 선박으로 인정하고 「선박법」을 적용하여 설계 및 검사가 이루어지고 선박으로 등기된 경우로, 상부시설에 대해서는 「선박법」에서 정한 기준[22]에 따라 「건축법」을 준용하여 설계된 경우

– 사례: 세빛 둥둥섬(플로팅 아일랜드)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| · 설치위치 | 하천(한강) | · 법적지위 | 선박(선박법) |  |
| · 계류방식 | 체인 | · 적용법규 | 상부-건축법 준용<br>하부-선박법 | |
| · 용 도 | 복합문화시설 | | | |

③ 플로팅 건축물의 법적 지위를 선박으로 인정하고 「선박법」을 적용하여 설계 및 검사가 이루어지고 「선박법」에서 따라 부선으로 등록된 경우이나 사례 2와 달리 한 곳에 항구적으로 고정되지 않고 위치 이동이 가능한 것으로 수역사용에 대한 별도의 법 적용을 받지 않는 경우

– 사례: 제주 마린리조트

22) 「부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」 제4조(기준적용의 특례) 부유식 해상구조물의 설치와 관련하여 건축법, 소방시설설치및유지에관한법률, 식품위생법 등 다른 법률에서 규정하고 있는 것에 대하여는 이 기준의 규정에 적합한 것으로 본다.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| · 설치위치 | 공유수면 | | · 법적지위 | 선박(선박법) |  |
| · 계류방식 | (이동식) | | · 적용법규 | 상부-건축법 준용<br>하부-선박법 | |
| · 용 도 | 숙박시설 및<br>일반음식점 | | | | |

④ 플로팅 건축물의 법적 지위를 선박으로 인정하고 「선박법」을 적용하여 설계 및 검사가 이루어 졌으나, 「선박법」에서 정한 규모 이하의 부선으로 등기가 아닌 등록된 경우로 선박으로의 재산권을 보장 받지 못한 경우

– 사례: 실안 선상카페

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| · 설치위치 | 공유수면 | | · 법적지위 | 선박(선박법-부선) |  |
| · 계류방식 | 로프 | | · 적용법규 | 상부-건축법 준용<br>하부-선박법 | |
| · 용 도 | (허가)계류시설<br>(이용)카페 | | | | |

⑤ 「수산업법」에 정한 기준에 따라 지정된 유어장에 설치되는 편의시설로, 유어장 사업자가 임의로 설치, 사용이 가능한 시설로 시설물과 관련된 어떠한 법적 기준이 없으며, 인허가 및 등기 등 관리 대상이 아닌 경우

– 사례: 회진 해양펜션

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| · 설치위치 | 공유수면 | | · 법적지위 | 해당사항 없음 |  |
| · 계류방식 | 체인 | | · 적용법규 | 해당사항 없음 | |
| · 용 도 | (허가)유어장<br>(이용)숙박시설 | | | | |

○ 이상의 사례에서 알 수 있듯이 국내에서는 다양한 유형의 플로팅 건축물이 조성되어 사용되고 있으나 명확한 법제도를 적용하여 설계되고 인허가 과정을 거쳐 부동산 또는 동산으로 등기된 경우는 거의 없음

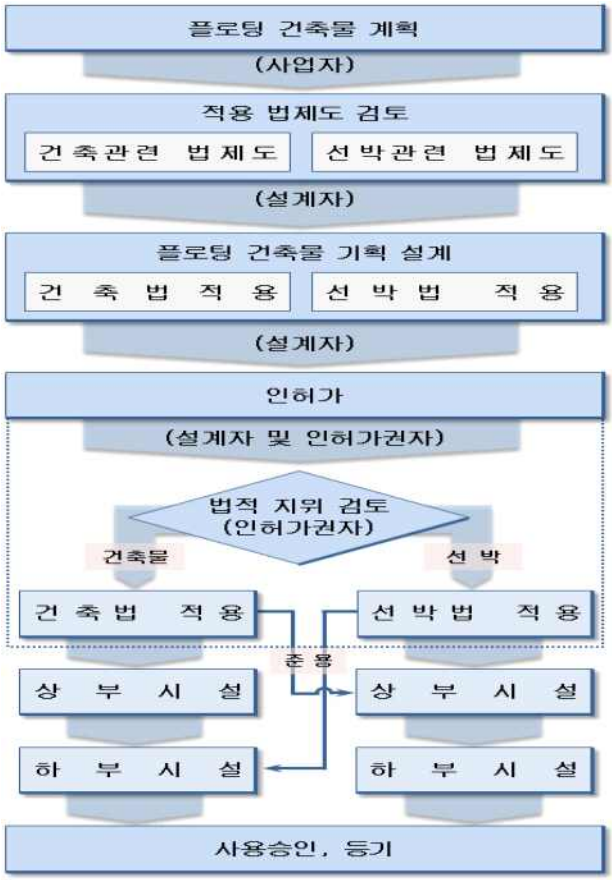
○ 서울마리나 마리나센터와 세빛둥둥섬의 경우 「건축법」 또는 「선박법」 등 명확한 법제도를 적용하고 관련 법제도에 따른 인허가 과정을 거친 국내 최초의 사례라 할 수 있으나 설계 및 인허가 과정에서 설계자와 인허가권자 모두 플로팅 건축물에 대한 사전 경험 부족으로 수많은 시행착오로 인하여 일반건축물에 비해 설계 및 인허가 과정에 오랜 시간과 비용이 소요됨

– 서울마리나 마리나센터는 마리나를 관리하고 이용자에게 편의 시설을 제공해 주는 복합시설로 설계과정에서 「건축법」과 「선박법」 2가지 경우에 대하여 검토되었으며, 건축허가 과정에서 인허가권자인 영등포구청에서 건축물로 인정받아 최종적으로 「건축법」이 적용되었으며 일반건축물과 동일

한 벌률 및 인허가 절차가 적용됨

- 다만, 서울마리나 마리나 센터의 경우 건축물 인허가 과정에서 하부부체에 대하여 선박관련 전문기관의 승인을 득하는 조건으로 건축허가가 이루어 졌으며 건축물 사용승인 전 선박관련 전문기관으로부터 하부부체에 대한 검사 및 승인을 득한 후 최종적으로 건축물 사용승인을 득함
- 세빛둥둥섬은 세 개의 플로팅 건축물로 구성된 시설로 식당, 공연장 등 복합 문화공간의 용도로 설계과정에서 서울 마리나 마리나 센터와 같이 「건축법」과 「선박법」 2가지 경우에 대하여 모두 검토되었으며, 건축물로 허가를 진행하였으나 인허가권자의 이해 부족으로 인하여 건축물로 인정받지 못하고 선박으로 인정되어 최종적으로 선박법이 적용되고 인천항만청에 선박 중 부선으로 등록됨

○ 국내의 경우 현재까지 플로팅 건축물이 '건축물' 인지 '선박' 인지에 대한 법적 지위가 명확하지 않고 인허가권자의 플로팅 건축물에 대한 이해 부족과 관련 사례 부족으로 인하여 플로팅 건축물을 계획할 경우 [그림 2-3-1]과 같이 사전에 건축물 및 선박 2가지 경우 대하여 법제도 검토가 이루어 져야 함




[그림 2-3-21] 플로팅 건축물 법제도 적용 프로세스

○ 따라서 일반건축물 또는 선박과 달리 업무가 중복되거나 가중되며 관련 기

관에서도 명확한 행정절차를 제시하는데 어려움이 있어 인허가기간이 장기화되거나 인하가 과정에서 법적 지위가 달리 해석 되는 등 시간적, 경제적 손실이 발생됨

(나) 법적 지위 따른 법제도

1) 법적 지위가 건축물인 경우

○ 플로팅 건축물의 법적 지위가 건축물로 인정된 경우 플로팅 건축물을 명확하게 규정하는 별도의 법제도가 마련되어 있지 않아 현행법상 일반건축물에 적용되는 「건축법」을 적용하여 관련 법률 및 기준 등 일반건축물과 동일한 법률 및 인허가 절차를 적용 함

○ 다만, 건축물 허가권자 및 건축심의위원에서 플로팅 건축물의 입지적 특성 및 구조적 특성에 따른 하부부체에 대한 기술적 검토를 하는 것에 한계가 있어 인허가 과정에서 하부부체에 대한 별도의 기술심의가 필요함

○ 플로팅 건축물이 입지하는 수역에 대해서는 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」, 「하천법」 등 해당 수역의 종류에 따른 관련된 법률에 따라 수역의 사용 및 점용에 대하여 관리관청으로부터 승인을 득하여야 함

○ 플로팅 건축물이 건축물로 법적지위가 인정될 경우 상부구조물 및 하부구조물에 대하여 [표 2-3-60]와 같은 법률에 대한 검토 및 적용이 필요함

[표 2-3-60] 건축물로 법적 지위가 인정된 플로팅 건축물에 적용 및 검토되는 법률

| 구 분 | 관련 법제도[주1)] | |
|---|---|---|
| 상부시설 | 주요법률 : 건축법 | |
| | · 장애인, 노인, 임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률 및 시행령, 시행규칙<br>· 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙<br>· 건축구조설계기준 | · 한계상태법에 의한 강구조설계기준<br>· 건축물 하중기준 및 해설<br>· 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙<br>· 건축물의 설비기준등에 관한 규칙 |
| 하부시설 | · 선박법에서 정한 관련 법률 | |
| 입지[주2)] (수역) | · 하천법<br>· 공유수면관리 및 매립에 관한 법률<br>· 연안관리법 | · 항만법<br>· 어촌·어항법 |
| 소유권 | · 부동산 등기법 | |
| 인허가 | · 건축법<br>· 국토관리 및 이용에 관한 법률<br>· 문화재보호법<br>· 수역 점용 및 사용 관련 법률 | |

주1) 건축물 용도에 따른 법률, 주차장법, 환경관련 법률 및 각 지자체별 조례 등 하위 법률 및 기준은 표기하지 않음
주2) 수역의 종류(바다, 하천, 어항구역, 항만구역 등)에 따라 적용되는 법률이 다름

2) 법적 지위가 선박인 경우

○ 플로팅 건축물의 법적 지위가 선박으로 인정될 경우 화물 및 여객의 운송을 목적으로 하는 선박에 적용되는 「선박법」 및 「선박안전법」, 「선박등기법」 등의 관련 법률 및 기준을 적용함

○ 일반적으로 플로팅 건축물은 자항능력이 없는 선박으로 부선(艀船, Barge)으로 분류되며 부유식 해양구조물로 구분되어 「부유식 해상구조물 구조 및 설비 등에 관한 기준」의 적용을 받으며 한국선급, 선박안전관리공단 등 법에서 정한 선박전문기관으로부터 선박검사를 거쳐 「선박등기법」에 따라 등기됨

○ 하지만 플로팅 건축물은 선박과 달리 불특정 다수의 사람이 수시로 이용하며 수송을 목으로 하기 보다는 수상에 고정되어 주거 및 생활공간으로 사용하므로 선박에 적용되는 법제도를 적용하기에는 다소 무리가 있으며, 관련 기관에서도 이를 인지하여 플로팅 건축물에 적용되는「부유식 해상구조물 구조 및 설비 등에 관한 기준」에 기준적용의 특례 조항을 두어 건축법 등 다른 법률에서 규정하고 있는 사항에 대하여 본 기준에 적합한 것으로 규정하고 「선박법」에서 규정하지 못하는 사항에 대하여 「건축법」 등 관련 법률을 준용하도록 하고 있음

○ 선박으로 인정된 플로팅 건축물이 입지하는 수역에 대해서는 법적 지위가 건축물인 경우와 동일하게 수역의 종류에 따른 법률을 적용받아 관리관청으로부터 승인을 득해야 함

○ 다만, 선박으로 인정된 플로팅 건축물이 ‘제주 마린리조트’ 사례와 같이 한 곳에 고정되지 않고 사용되는 경우 수역 점용 및 사용에 대한 법률은 적용되지 않음

○ 플로팅 건축물이 선박로 법적지위가 인정될 경우 상부구조물 및 하부구조물에 대하여 [표 2-3-61]과 같은 법률에 대한 검토 및 적용이 필요함

[표 2-3-61] 선박으로 법적 지위가 인정된 플로팅 건축물에 적용 및 검토되는 벌률

| 구 분 | 관련 법제도[주1)] |
|---|---|
| 상부시설 | 주요법률 : 선박법<br>· 선박안전법<br>· 부유식 해상구조물 구조 및 설비 등에 관한 기준<br>(본 기준에서 건축법 등에서 인정한 사항에 대해서는 이 기준에 적합한 것으로 인정하고 있어 이에 따라 건축물에 적용되는 건축법과 동일한 사항에 대하여 적용) |
| 하부시설 | · 선박법 및 선박안전법, 부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준 등 |
| 입지[주21)]<br>(수역) | · 하천법<br>· 공유수면관리 및 매립에 관한 법률<br>· 연안관리법<br>· 항만법<br>· 어촌·어항법<br>(이동식일 경우 입지하는 수역에 관한 법률을 적용받지 않음) |
| 소유권 | · 선박등기법 |
| 인허가 | · 수역 점용 및 사용 관련 법률 |

주1) 법적 지위에 따른 주요 법률 외 관련된 하위 법률 및 기준 등은 표기하지 않음
주2) 수역의 종류(바다, 하천, 어항구역, 항만구역 등)에 따라 적용되는 법률이 다르며 고정되지 않을 경우 입지에 대한 별도의 법 적용을 받지 않음

(다) 입지에 따른 법제도

○ 수상을 점용 또는 사용하여 설치되는 플로팅 건축물은 공유수면인 해상, 하천, 그리고 어항, 항만, 마리나항 등으로 지정된 항내 수역 등에 입지할 수 있음

○ 플로팅 건축물이 입지하는 수역의 종류에 따라 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」, 「하천법」, 「어촌·어항법」, 「항만법」, 「마리나항만」, 「연안관리법」 등 각기 다른 법제도를 적용해야 하며 각 법률에 따라 설치될 수 있는 플로팅 건축물의 유형이 달라지므로 플로팅 건축물을 계획하기 이전 설치되는 수역에 대한 법적 검토가 필요함

1) 공유수면

○ 「하천법」, 「어촌·어항법」, 「항만법」 등이 적용되는 하천, 어항, 항만 등의 공유수면에 대해서는 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」이 적용되지 않으며, 그 외 공유수면에 플로팅 건축물을 설치할 경우 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」 제8조(공유수면의 점용·사용허가)에 따라 공유수면(바다)에 대한 점용 또는 사용에 대한 허가를 을 득하여야 함

○ 공유수면을 점용 또는 사용하기 위해서는 「배타적 경제수역법」에 따른 배타적 경제수역 및 「항만법」에 따른 무역항 및 연안항의 항만구역 등 해양수산부장관의 관리를 받는 공유수면을 제외한 모든 공유수면에 대하여 지방자치단체장(도지사, 시장, 군수, 구청장 등)으로부터 점용 및 사용 허가를 받아야 함

○ 공유수면의 확보는 법률에 따라 가능하지만 수역을 사용할 수 있는 건축물의 용도가 항만 및 어항 운영에 필요한 건축물, 「관광진흥법」에 따른 관광숙박시설 등으로 제한되어 있어 다양한 시설을 도입하는데 제한이 따름

○ 또한 공유수면의 점용 및 사용기간은 법에 따라 최대 30년 이내로 제한되어 있으나 관리관청의 의견 및 수역의 상황 등 다양한 여건에 따라 기간이 달라지며 지속적으로 사용하기 위하여 허가를 갱신해야 함

2) 하천

○ 하천은 「하천법」에 따라 국가하천과 지방하천으로 구분되며 하천구역은 하천의 수역 및 법에 따라 지정된 육역까지 포함된 구역을 말함

○ 한강, 낙동강 등 「하천법」이 적용되는 하천에 플로팅 건축물을 건설할 경우 「하천법」 제33조(하천의 점용허가 등)에 따라 관리관청의 점용 및 사용 허가를 받아 수역을 점용 또는 사용할 수 있음

○ 하천의 관리는 한강, 낙동강 등과 같은 국가하천의 경우 국토교통부에서 관리하며 수영강 등과 같은 지방하천의 경우는 지방자치단체에서 관리하므로 관리관청으로부터 점용 및 사용 허가를 득해야 함

○ 하천에 설치되는 플로팅 건축물 역시 수역 점용 및 사용 기간이 하천점용 유형별로 다르며 시설물의 종류에 따라서 1년에서 5년 이내로 제한되어 있어 공유수면 점용 및 사용 기간에 비해 짧고 지속적인 이용을 위해서는 허가를 갱신해야 함

○ 「하천법」에 따른 플로팅 건축물의 수역 점용에 대한 규정은 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」에서 점용허가 대상을 명확하게 규정하고 있는 것과는 달리 명확하지 못하며 하천환경 보존을 주요 목적으로 하기 때문에 하천을 점용하거나 사용하는데 대한 제약이 비교적 많아 세밀한 검토가 필요함

3) 어항구역 내 수역

○ 어항구역으로 지정된 수역에 플로팅 건축물을 설치하기 위해서는 「어촌·어항법」에 따라 어항시설 중 어항편익시설로 설치가 가능함

○ 어항구역 내 플로팅 건축물을 건설할 경우 공유수면 및 하천과 달리 수역에 대한 점용 및 사용허가를 별도로 득하지 않아도 되나 법 제4조에 따른 어촌·어항발전기본계획 또는 법 제6조에 따른 어촌종합개발계획 수립 시 플로팅 건축물 관련 사항을 반영해야 함

○ 또한 어항구역 내 플로팅 건축물을 건설할 경우 「어촌·어항법」 제23조(어항개발사업의 시행)에 따라 제16조(어항의 지정권자)에서 정한 어항의 지정권자가 시행하며 비지정권자가 어항개발사업을 시행하려는 경우 지정권자로 부터 어항개발사업시행허가를 받아야 함

○ 비지정권자가 사업을 시행하려는 경우 어항시설 이용에 직접 이해관계가 있는 공공단체인 수산업협동조합, 어촌계, 한국어촌어항협회 전업어업인 및 어업인후계자를 구성원으로 하는 수산업경영인의 연합단체에 우선적으로 허가할 수 있으며 지정권자와 협의를 거쳐야 함

4) 항만구역 내 수역

○ 「항만법」에 따라 항만구역으로 지정된 수역에 플로팅 건축물을 설치하기 위해서는 「항만법」에 따른 항만시설 중 지원시설 및 항만친수시설로 설치가 가능함

○ 항만구역 내 플로팅 건축물을 건설할 경우 어항구역과 마찬가지로 별도의 수역 점용 및 사용허가를 받지 않아도 되나 해양수산부장관이 10년 단위로 수립하는 항만기본계획에 관련 사항이 포함되거나 5년마다 이루어지는 항만기본계획 변경에 포함되어야 함

○ 항만구역에 항만시설로 건설되는 플로팅 건축물과 같은 항만공사는 관리관청이 시행할 수 있으며, 민간사업자가 시행하고자 할 때에는「항만법」제9조(항만공사의 시행자 등)에 따라 관리관청의 허가를 득해야 함

○ 또한 민간사업자에 의해 항만공사로 조성 또는 설치된 항만시설은 「항만법」제15조(항만시설의 귀속 등)에 따라 준공과 동시에 국가 또는 지방자치단체에 귀속되나 해양레저용 시설, 해양문화교육 시설 등 일부 시설은 민간사업자가 소유할 수 있으며, 민간사업자에 의해 조성된 시설에 대하여 총사업비 범위에서 민간사업자가 무상으로 사용할 수 있음

○ 항만구역 내 수역에서 플로팅 건축물을 건설할 수 있는 다른 방법으로는 「항만법」제51조(항만재개발기본계획의 수립)에 따른 항만재개발사업으로 10년 마다 수립되는 항만재개발기본계획에 플로팅 건축물과 관련된 사항이 포함될 경우 플로팅 건축물을 항만시설로 건설할 수 있음

5) 마리나항만 내 수역

○ 「마리나항만의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따라 마라니항만으로 지정된 구역에 서비스편의시설로 플로팅 건축물의 건설이 가능하며, 이를 위해서는 법 제4조(기본계획의 수립 등)에 따라 10년 마다 수립되는 마리나항만기본계획에 관련 사항이 미리 반영되거나 법 제5조(기본계획의 변경 등)에 따라 5년마다 변경 수립되는 마리나항만기계획 변경에 반영되어야 함

○ 「마리나항만의 조성 및 관리에 관한 법률」제9조(사업시행자의 지정 등)에 따라 사업시행자를 지정해야 하며, 사업시행자가 국가 또는 지방자치단체인 경우 개발사업으로 조성된 시설은 법 제20조(마리나항만시설의 귀속)에 따라 준공과 동시에 국가 또는 지방자치단체에 귀속되며 사업시행자가 국가

또는 지방자치단체가 아닌 경우 투자한 총사업비의 범위에서 해당사업시행자가 일부 시설에 대하여 소유권을 가질 수 있으며, 국가 및 지방자치단체에 귀속되는 시설 중 총사업비 범위에서 사업시행자가 사용 또는 수익하게 할 수 있음

6) 그 외 입지의 지역·지구 지정에 따른 법제도 검토

○ 플로팅 건축물이 건축물로서 입지하기 위해서는 수역 점용 및 사용에 대한 검토뿐만 아니라 건축물에 적용되는 해당 대지의 토지이용규제에 대한 사항을 검토해야 함

○ 토지이용규제 사항은 건축물의 종류, 규모 외 건축허가 가능 여부 등에 대하여 규정하고 있는 것으로 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 등 각 법에 따른 지역, 지구 지정에 따른 행위제한 사항에 대하여 검토해야 하며 주요 검토 항목은 다음과 같음

[표 2-3-62] 대상지 지역/지구 지정에 따른 행위제한 내용

| 법률 | 주요 지역/지구 |
|---|---|
| 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 | · 용도지역<br>· 지구단위계획구역 |
| 개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법 | · 개발제한구역<br>· 개발행위허가제한구역 |
| 군사기지 및 군사시설보호법 | · 군사기지 및 군사시설 보호구역<br>· 비행안전구역<br>· 대공방어협조구역 |
| 문화재보호법 | · 문화재보호구역 |

주) 관련 제한사항 중 플로팅 건축물과 같은 건축행위에 해당하는 사항만 요약 정리함

○ 토지이용규제에 따라 지정된 지역, 지구에 대하여 관련 법률에 따라서 다양한 행위제한을 받게 되므로 토지이용규제정보시스템 등을 통해 해당 입지의 토지이용규제에 대하여 면밀하게 검토해야 함

(2) 테스트 베드 법제도 적용

(가) 지역 및 지구 지정에 따른 법제도

○ 테스트 베드로 계획된 에코델타시티 플로팅 홍보관은 「친수구역특별법」에 따라 '친수구역'으로 지정된 구역을 개발하는 에코델타시티 개발사업의 홍보를 위한 시설로 부력에 의해 지지되는 플로팅 건축물로 계획됨

○ 플로팅 홍보관은 수상에 설치되는 건축물로 일반 건축물에 적용되는 토지이

용계획의 적용이 어려울 수 있으나 대상지와 같은 하천은 주변 대지에 적용되는 지역 및 지구지정에 관련된 법률이 적용됨

○ 플로팅 홍보관의 입지는 부산광역시 강서구 대저2동 4744-13(천)으로 「하천법」에 따른 국가지정하천이며 수역 및 육역을 포함하여 면적이 138,440㎡으로 매우 넓으며 다양한 법률에 따라 지역 및 지구로 지정되어 있어 건축물의 신축과 같은 행위에 제한인 있음

○ 해당 입지는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 도시지역, 자연녹지지역, 개발행위제한지역(친수구역), 지구단위계획구역(친수구역)으로 지정되어 있으며,「문화재보호법」에 따라 문화재보호구역(낙동강 하류 철새도래지)로 지정되어 있음

○ 또한 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법」에 따른 개발제한구역, 「군사기지 및 군사시설 보호법」에 따른 비행안전 제5구역 및 6구역으로 지정되어 있음

○ 대상 수역 및 대지의 지역 및 지구 지정에 따른 플로팅 건축물 신축과 관련된 행위제한 사항은 [표 2-3-63]과같음

[표 2-3-63] 대상지 지역/지구 지정에 따른 행위제한 내용

| 지역/지구 | 법규 | 조항 | 주요 행위제한 내용 |
|---|---|---|---|
| 자연녹지지역 | 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 | 법 76조<br>영 71조<br>영 별표 17<br>조례 30조<br>조례 별표 16 | · 용도지역안에서 건축물의 용도·종류 및 규모 등의 제한<br>· 자연녹지지역 안에 건축할 수 있는 건축물: 4층 이하 건축물, 문화 및 집회시설 |
| 개발행위허가제한지역 | 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 | 법 63조 | · 국토교통부장관, 시,도지사, 시장 또는 군수는 도시·군관리계획상 필요하다고 인정하는 지역에 대하여 3년 이내 기간 동안 개발행위를 제한할 수 있음 |
| 개발제한구역 | 개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법 | 법 12조<br>영 13조 | · 개발제한구역에서 건축물의 건축, 용도변경 등을 시행할 수 없음 다만, 허가권자의 허가를 받아 그 행위를 할 수 있음 |
| 비행안전제5, 6구역(전술) | 군사기지 및 군사시설보호법 | 법 10조<br>영 10조<br>영 별표 5 | · 비행안전구역 안에서는 건축 행위 등이 제한됨 다만, 전술항공작전기지 제5구역, 제6구역에서는 지표면으로부터 45미터 높이 건축행위 가능 |
| 국가지정문화재구역<br>문화보호구역 | 문화재보호법 | 법 35조<br>법 36조<br>법 27조<br>규칙 15조 | · 국가지정문화재구역 에서는 건축물 등 공작물 신축, 증축, 개축, 이축, 용도 변경행위 등 제한<br>· 제한된 행위를 하고자 할 경우 문화재청의 허가를 받아야 함 |
| 문화재보존영향검토대상구역 | 부산광역시 문화재보호조례 시행규칙 | 규칙 21조 | · 해당 시지정문화재 등의 보존에 영향을 미치거나 경관을 저해할 우려가 있는 건축물 또는 시설물을 설치, 증설하는 행위에 대하여 문화재보존영향검토 필요 |
| 하천구역 | 하천법 | 법 33조<br>영 35조<br>영 36조 | · 토지의 점용, 공작물의 신축, 개축, 변경 등 행위를 하려는 자는 하천관리청으로부터 하천을 점용 또는 사용 허가를 받아야 함 |

주) 관련 제한사항 중 플로팅 건축물과 같은 건축행위에 해당하는 사항만 요약 정리함

○ 「친수구역특별법」에 의해 친수구역으로 지정되고 이에 따라 시행되는 개발사업의 경우 「친수구역특별법」이 타 법률에 대해 우선적으로 적용되는 특별법으로 개발행위제한, 지구단위계획구역 등 지역 및 지구의 지정에 따라 관련된 행위제한에 대한 사항을 쉽게 해결할 수 있지만 「친수구역특별법」에서 정한 친수구역은 수역에 접한 육지로 한정하고 있어 수역에는 적용되지 않음

○ 따라서 플로팅 홍보관이 입지하는 하천의 수역은 「친수구역특별법」의 적용을 받지 않으며, 「국토의 계획 및 이용에 관한법률」등에 따른 용도지역이 지정되어 있으므로 각 법률에서 정한 지역 및 지구의 지정에 따라 건축물의 신축과 같은 일부 행위에 대한 제한이 있어 관련 사항에 대한 세부적인 검토가 필요함

○ 에코델타시티 플로팅 홍보과 설치 입지는 [표 2-3-63]와 같이 법률에 따른 지역 및 지구 지정으로 건축행위 등에 대한 제한이 있나 단서 조항 및 관련 법률에서 정한 규정에 따라서 에코델타시티 플로팅 홍보관의 신축 행

위는 가능함

- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 ‘자연녹지지역’으로 지정된 지역에서는 일부 건축행위가 제한되나 에코델타시티 플로팅 홍보관과 같이 4층 이하의 문화 및 집회시설은 신축이 가능함
- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른 ‘개발행위허가제한지역’은 관리관청에서 도기계획상 필요하다고 인정되는 지역에 대하여 개발행위를 일부 제한하는 것으로 해당 입지는 「친수구역특별법」에 따라 친수구역으로 지정하여 에코델타시티 개발사업을 위해 개발행위허가제한지역으로 지정한 지역으로 에코델타시티 개발사업의 일부로 계획된 플로팅 홍보관의 신축은 가능함
- 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법」에 따라 대상지는 ‘개발제한구역’으로 지정되어 있어 개발에 대한 행위가 제한되어 있으나 「친수구역특별법」에 따라 지정된 친수구역으로 에코델타시티 개발사업에 따라 관련 시설은 설치가 가능함
- 「군사기지 및 군사시설보호법」에 따라 대상지는 ‘비행안전구역’으로 지정되어 있으며 전술항공기지 제5구역 및 제6구역에 속하여 비행안전과 관련된 개발행위에 대한 일부 제한이 있으나 지표면으로부터 높이 45m 이하의 건축물의 신축은 가능함
- 「문화재보호법」에서 대상지 및 대상지 주변 수역과 육역을 ‘문화재보호구역’ 및 ‘국가지정문화재구역(낙동강 하류 철새도래지)’으로 지정하여 문화재의 현상을 변경하는 행위 또는 문화재보존에 영향을 미치는 행위에 대하여 제한하고 있으나 문화재청의 심의를 거쳐 건축물의 신축이 가능함
- 「부산광역시 문화재보호조례 시행규칙」에서 대상지 및 대상지 주변 수역과 육역을 ‘문화재보존영향 검토대상구역’으로 지정하고 있어 건축물의 신축을 위해서는 문화재보존영향에 대한 검토를 거쳐 부산시로부터 건축허가를 득할 수 있음
- 대상지인 평강천은 「하천법」에 따라 국가하천으로 지정된 곳으로 수역을 점용 및 사용하기 위해서는 관리관청인 국토교통부장관으로부터 점용 및 사용 승인을 받아야 하며 에코델타시티 사업이 부산시와 한국수자원공사에서 시행하는 사업으로 하천의 점용 및 사용 허가를 득하는 데는 어려움이 없음

[표 2-3-64] 토지이용 규제에 따른 테스트베드 건축가능 여부

| 법률 | 규제사항 | 건축가능여부 | |
|---|---|---|---|
| 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 | ·자연녹지지역 | 건축가능 | 4층 이하<br>문화 및 집회시설 |
| | ·개발행위허가제한구역(친수구역) | 건축가능 | 친수구역 지정 |
| | ·지구단위계획구역(친수구역) | 건축가능 | 친수구역 지정 |
| 개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법 | ·개발제한구역 | 건축가능 | 친수구역 지정에 따른 개발제한구역 해제 |
| 군사기지 및 군사시설 보호법 | ·비행안전제5구역(전술)<br>·비행안전제6구역(전술) | 건축가능 | 10조 2항: 지표면으로부터 45m 이하 높이 건축가능 |
| 문화재보호법 | ·국가지정문화재구역<br>(낙동강 하류 철새 도래지)<br>·문화재보호구역 | 건축가능 | 문화재청 심의 |
| 부산광역시지정문화재보호조례 | ·문화재보존영향 검토대상구역 | 건축가능 | 문화재보존영향 검토 |
| 하천법 | ·하천의 점용 허가 | 건축가능 | 국토교통부 허가<br>(에코델타시티 관련 시설로 허가) |

(나) 건축물에 대한 법제도 적용

1) 법적 지위

○ 에코델타시티 플로팅 홍보관의 시설 설계를 위한 법제도 적용을 위해서는 해당 시설물이 ‘건축물’ 인지 ‘선박’ 인지에 대한 법적지위를 명확히 하는 것이 중요함

○ 과거 플로팅 건축물과 관련한 정부부처의 질의회신 [표 2-3-65]을 살펴보면 항구적으로 고정되어 수상에 설치되고, 건축적 용도로 사용되는 플로팅 건축물에 대하여 건축물로 인정하고 있음

○ 따라서 문화 및 전시공간 사용되는 에코델타시티 플로팅 홍보관 역시 수상에 고정되어 설치되며 용도 및 기능이 건축물로 「건축법」에 따른 건축물로 법적지위를 인정하는 것이 타당함

[표 2-3-65] 법적용 해석 사례

| 문서 번호 | 질의사항 | 회신 내용 | 전문기관 회신일시 |
|---|---|---|---|
| 건교부 건 축 58550-1482 | 해상 공작물의 건축물 여부<br>①바다에 파일 등을 설치하고 그 위에 건축물 형태를 갖춘 공작물을 설치한 경우<br>②부선형태의 구조물 위에 건축물 형태로 신축하는 경우<br>③기존 선박에 기관장치를 제거하고 건축물 형태로 사용하는 경우 | 건축법 제2조제1항 규정에서 언급한 건축물의 정의 중 “정착한다는 것”은 실질적, 임의적으로 이동이 불가능하거나 이동이 가능하더라도 이동의 실익이 없어서 상당한 기간 현저한 이동이 추정되지 않는 것을 뜻하는 것으로 ①, ②, ③ 모두 건축물에 해당함 | 건설 교통부 (1999.04) |
| 공탁법인 3402-219 | 관광용 수상호텔 선박등기 여부 | 현행법으로 선박등기 할 수 없음 | 대법원 (2004.10) |
| 해양수산부 안전정책담당관실 1440호 | 수상호텔의 선박법적용 여부 | 이동성이 없고 수상에 고정 설치되어 사용되는 부선은 선박등기·등록 대상에서 제외되므로 선박법 적용을 받지 않음 | 해양 수산부 (2006.04) |
| 국토해양부 해사기술과 | 파일지지형 부유식 해상구조물의 선박안전법 적용여부 | 파일에 장치된 롤러에 의해 수위변동시 상하운동만 가능한 해상구조물은 선박안전법 적용대상이 아님 | 국토 해양부 (2010.02) |

○ 그 외 경우에 따라서는 2차년도 연구결과에서 제시한 [표 2-3-65]에서 정한 것과 같이 플로팅 건축물의 유형을 고려하여 법적 지위를 정하는 것이 타당함

[표 2-3-65] 플로팅 건축물 종류별 법적 지위

| 종 류 | 사 례 | 특 성 | 법적 지위 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 1. 고정형 |  | · 당초 건축물 용도로 설계되었음<br>· 한 곳에 항구적으로 고정하여 설치됨 | · 「건축법」에 의한 '건축물'로 취급함 | · 평상시 수변 육지에 고정 설치되어 있으나 물이 불어나면 부유식 건축물이 되는 것을 포함함 |
| 2. 선박 전용형 |  | · 당초 선박 용도로 설계되었음<br>· 건축물 용도로 전환<br>· 한 곳에 항구적으로 고정하여 설치됨 | · 「선박법」에 의한 '선박'으로 취급함<br>· 단, 「건축법」에 맞게 개조한 경우에는 「건축법」에 의한 건축물로 인정함 | |
| 3. 이동형 |  | · 건축물 용도로 설계·시공되었음<br>· 이동을 목적으로 함<br>· 한 곳에 항구적으로 고정 설치되지 않음 | · 「선박법」에 의한 '선박(부선)'으로 취급함 | · 호화유람선과 유사한 기능을 가짐 |

2) 인허가 절차

○ 플로팅 건축물의 법적 지위가 '건축물'로 정해 졌으며 「건축법」에 따른 일반 건축물과 동일한 인허가 과정을 거쳐야 함

○ 일반적인 건축물 인허가 과정은 설계 및 사업을 시행하는 시행자와 허가를 담당하는 행정청으로 그 역할이 구분되며 지역지구에 대한 검토, 문화재에 대한 검토, 사전환경성검토, 교통영향평가, 건축허가, 착공신고, 사용승인 등의 과정으 거쳐 이루어 짐

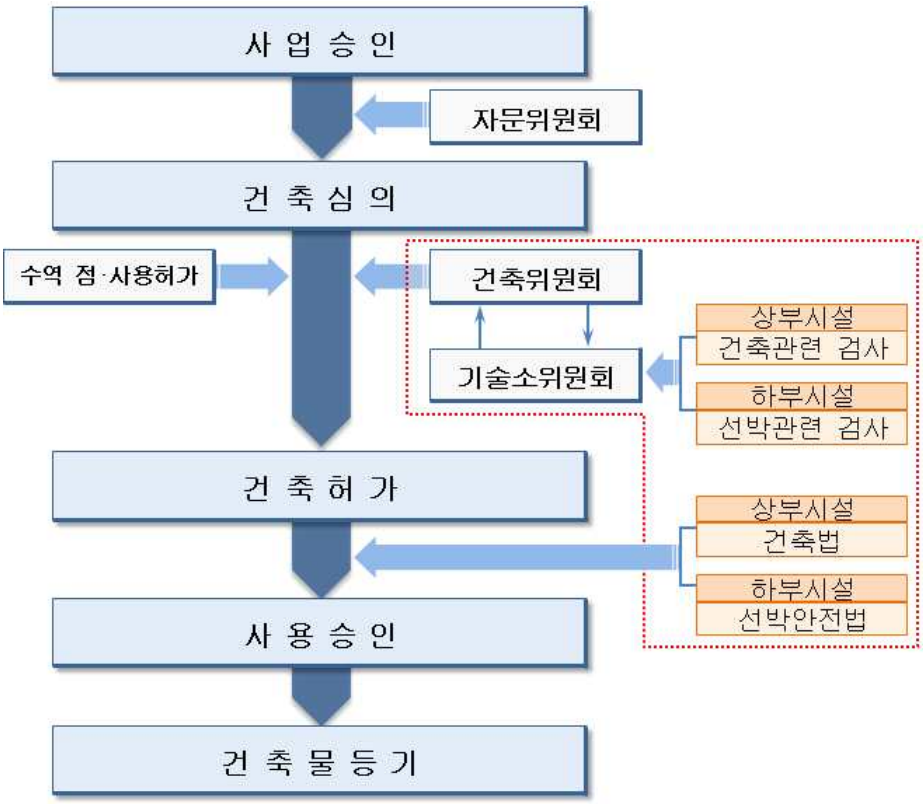
○ 현행 법제도 상에서의 건축물 인허가 과정은 [그림 2-3-22]와 같음




[그림 2-3-22] 일번 건축물 인허가 절차

○ 현행 법제도에 따른 플로팅 건축물 인허가에 있어 하부부체에 대한 인허가권자의 검증 능력이 부족하므로 인허가 과정에서 인허가권자는 [그림 2-3-23]과 같이 건축위원회 내 기술소위원회를 두어 하부부체에 대한 기술적 검증을 위한 과정이 필요함

○ 기술소위원회에는 한국선급, 선박안전기술공단 등과 같은 선박관련 전문가를 참여 시켜 하부부체의 안정성에 대한 기술적 검토와 확인 후 관련 허가를 진행하는 것이 바람직함




[그림 2-3-23] 플로팅 건축물 인허가를 위한 절차 개선

3) 건축설계를 위한 법제도 적용

○ 에코델타시티 플로팅 홍보관은 「건축법」 제2조 및 동법 시행령 3조 4항 별표 1에서 정한 '문화 및 집회시설'로 관련 법률의 적용을 받음

○ 플로팅 건축물의 법적 지위가 '건축물'로 인정받을 경우 「건축법」의 적용을 받으나 「건축법」에서는 대지, 도로, 조경 등에 대하여 규정하고 있어 수상에 설치되는 플로팅 건축물의 경우는 수상 대지에 대한 정의가 명확하지 못해 관련 규정의 적용을 받는 것이 어려움

○ 따라서 본 연구에서 제안한 법제도 개선(안)이나 「부유식 건축물 조례」는 「건축법」의 위임을 받아, 건축물 중 수상에 건축하는 건축물에 대하여 현재 법제도에서 명확하게 규정할 수 없는 부분에 대하여 법제도 내에서 문제를 해결할 수 있도록 하였음

○ 하지만 「부유식 건축물 조례」에 대한 법제정이 연기되어 테스트베드 설계에 해당 조례를 적용하는 것이 어려워 현제 사용되고 있는「건축법」을 적용하였음

○ 에코델타시티 플로팅 홍보관이 입지하는 수역은 하천구역으로 「국토 계획 및 이용에 관한 법률」 및 지역, 지구 지정에 관련된 법률이 적용되는 지역으로 일반 건축물 설계 및 인허가 프로세를 그대로 적용할 수 있음

○ 또한 대지, 도로, 조경, 건폐율, 용적률 등과 같이 수상대지에 적용이 어려운

규정에 대해서는 「건축법」 제5조 적용의 완화에서 수상에 건축하는 건축물 등에 대하여 [표 2-3-66]과 같은 조항에 관한 완화규정을 두어 「건축법」을 적용하여 수상에 건축하는 것이 가능하도록 하고 있음

[표 2-3-66] 건축법 완화규정에 따른 완화 조항

| 법률 | 조항 | 내용 |
|---|---|---|
| 건축법 | 제5조<br>영 제6조 | 수면 위에 건축하는 건축물 등 대지의 범위를 정하기 곤란한 경우 건축심의위원회의 심의를 거쳐 관련 규정을 완화할 수 있음 |
| | | · 제40조 대지의 안전<br>· 제41조 토지 굴착 부분에 대한 조치 등<br>· 제42조 대지의 조경<br>· 제43조 공개 공지 등의 확보<br>· 제44조 대지와 도로의 관계<br>· 제45조 도로의 지정·폐지 또는 변경<br>· 제46조 건축선의 지정<br>· 제47조 건축선에 따른 건축제한<br>· 제55조 건축물의 건폐율<br>· 제56조 건축물의 용적률<br>· 제57조 대지의 분할 제한<br>· 제61조 일조 등의 확보를 위한 건축물의 높이 제한 |

○ 에코델타시티 플로팅 홍보관은 「건축법」제2조 및 동법 시행령 3조 4항 별표 1에서 정한 ‘문화 및 집회시설’로 관련 법률의 적용을 받음

(※에코델타시티 플로팅 홍보관 자료는 부록 A6 및 부록 C 참조)

○ 에코델시티 플로팅 홍보관 건축설계를 위하여 「건축법」, 「주차장법」, 「장애인·노인·임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률」 및 관련 법률에서 규정하고 있는 각 조항에 대한 적용 여부를 검토하고 해당 규정에 맞게 설계를 하여 함

○ 에코델타시시티 플로팅 건축설계를 위해서하 검토 및 적용한 각각의 규정들은 [표 2-3-67], [표 2-3-68], [표 2-3-69]과 같음(방재 및 피난에 관한 사항은 다음 장에서 별도로 검토)

[표 2-3-67] 건축법 적용 검토

| 검토항목 | 법 | 영/조례 | 법적기준 | 설계적용 |
|---|---|---|---|---|
| 건축의 정의 | 2조 | 2조1항 | · "건축"이란 건축물을 신축·증축·개축·재축(再築)하거나 건축물을 이전하는 것을 말함 | 신축 |
| 건축물의 용도 | 2조 | 3조 4항 (별표1) | · 문화 및 집회시설 | 적용 |
| 건축 위원회 | 4조 | 조례6조 | · 다중이용 건축물로서 21층 이상 또는 연면적 10만제곱미터 이상인 건축물의 건축에 관한 사항은 본청심의 | 해당없음 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 적용의 완화 | 5조 | 영 6조<br>조례 3조 | ・건축법의 규정을 적용하는 것이 매우 불합리 하다고 인정되는 대지 또는 건축물: 수면위에 건축하는 등 대지의 범위를 설정하기 곤란한 경우<br>40조 대지의안전<br>41조 토지굴착부분에 대한 조사<br>42조 대지의 조경<br>43조 공개공지등의 확보<br>44조 대지와 도로의 관계<br>45조 도로의 지정·폐지 또는 변경<br>46조 건축선의 지정<br>47조 건축선에 따른 건축 제한<br>55조 건축물의 건폐율<br>56조 건축물의 용적률<br>57조 대지의 분할제한<br>60조 건축물의 높이 제한<br>61조 일조등의 확보를 위한 건축물의 높이 제한 | 부산시 심의: 완화여부 및 적용범위 결정 |
| 건축허가 | 11조 | 영 8조 | ・건축물의 건축 또는 대수선: 특별자치시장 특별자치도지사, 시장·군수·구청장 허가 | 구허가대상: 강서구청 |
| 대지의 안전 | 40조 | 규칙 25조 | ・대지는 인접한 도로보다 낮지 않을 것<br>・대지의 빗물 및 오수배출 처리 위한 시설설치<br>・대지조성시 안전조치 | 완화대상 |
| 토지 굴착부분 대한 조치 | 41조 | 규칙 26조 | ・지하매설물 파손방지 대책<br>・인접건문 붕괴방지 대책<br>・1.5m 이상 굴착시 토압에 대하여 안전한 구조의 흙막이 설치<br>・시공 중 점검, 보강, 배수 조시 등 안전상태 유지<br>・성토, 절토 부분의 비탈면 조치<br>・굴토심의 대상: 시 심의 대상 중 깊이 10m이상 굴토 또는 5m이상 옹벽 등 공사 수반 | 해당없음 |
| 대지의 조경 | 42조 | 조례 25조 | ・대지면적 200㎡ 이상의 대지<br>- 연면적 1,000㎡이상 2,000㎡미만: 대지면적의 10% | 조경면적: 대지면적의 10% 이상<br>(완화 대상) |
| 대지의 조경 | 42조 2항 | 조례 26조 | ・대지안에 설치하는 조경의 식재기준, 조경시설물의 종류 및 설치방법 등은 국토교통부장관이 고시한 기준에 따름<br>-교목(줄기가 곧고 굵으며 높이 자라는 나무) : 0.2본 이상(단, 수고 5미터이상으로 수관의 폭이 2미터 이상인 경우에는 0.1본 이상)<br>관목(줄기와 가지의 구별이 분명하지 않고 키가 낮은 나무): 0.4본 이상 | 완화대상 |
| 공개공지 등 확보 | 43조 | 조례 48조 | ・설치대상지역: 일반주거지역, 준주거지역, 상업지역, 준공업지역<br>・대상시설: 의료시설, 운동시설, 위락시설, 장례식장으로 연면적의 합계가 5,000㎡ 이상인 건축물<br>・공개공지 면적<br>- 5,000㎡~10,000㎡ : 5%<br>- 10,000㎡~20,000㎡ : 8%<br>- 20,000㎡ 이상 : 10% | 해당사항 없음<br>(완화대상) |
| 건폐율 및 용적률 | 55조<br>56조 | 조례 49조<br>조례 50조 | ・「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제77조 및 78조 적용<br>・「부산시 도시계획조례」 제49조 및 제50조<br>- 자연녹지(건폐율 20%, 용적률: 80%) | 하부부체 면적 기준<br>건폐율 : 39%<br>용적률 : 63%<br>(완화대상) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| 건축설비 | 62조 | 영 87조 | ・해풍이나 염분 등으로 인하여 건축물의 재료 및 기계 설비 등에 조기 부식 등의 피해 발생 우려 지역<br>- 연면적 500㎡ 이상은 대지에 전기를 배전(配電)하는 데 필요한 전기설비를 설치할 수 있는 공간 확보<br>- 해풍이나 염분 등에 대한 내구성설계 기준<br>- 해풍이나 염분 등에 대한 내구성허용 기준 | 적법하게 반영<br>(2-8세세부 설비설계) |
| 건축물의 열손실 방지 | 64조 | 설비규칙 21조 | ・대상건축물 : 건축물을 건축하는 모든 건축물<br>・열관류율 및 단열재<br>- 거실의 외벽, 최하층에 있는 거실의 바닥(외기에 면하는 바닥 포함) : 열관류율 0.5이하 단열재 두께 50이상<br>- 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕 : 열관류율 0.35이하 단열재 두께 80이상<br>- 거실의 외기와 접하는 창(2중창 또는 복층유리 제외) : 열관류율 2.92이하<br>- 연면적이 5,000㎡이상인 건축물로서 중앙 집중식 냉·난방 설비를 하는 건축물의 바깥쪽과 접하는 거실의 창 및 출입문은 국토교통부장관이 고시하는 기준에 적합한 공기차단 성능을 갖출 것<br>- 건축물이 배치, 구조 및 설비설계를 하는 경우 에너지가 합리적으로 이용될 수 있도록 할 것 | 적법하게 반영 |
| 관계전문기술자와의 협력 | | | ・구조기술사등으로 구조 안전을 확인 받아야 하는 건축물<br>- 층수가 6층 이상인 건축물<br>- 기둥과 기둥사이의 거리가 30m이상인 건축물<br>- 다중이용건출물(판매 및 영업시설로 바닥면적 5,000㎡이상인 건축물)<br>- 차양 등의 구조로 외벽의 중심선으로부터 3m 이상 돌출된 건축물 | |
| | | | ・토목분야 기술계기술자격취득자의 협력<br>- 10m이상 토지 굴착공사<br>- 높이 5m이상 옹벽설치<br>- 지질조사<br>- 토공사의 설계 및 감리<br>- 흙막이 벽·옹벽설치 등에 관한 위해방지 및 기타 필요한 사상 | 적법하게 반영 |
| | | | ・건축기계설비기술사 또는 공조냉동기계기술사의 협력<br>- 연면적 10,000㎡이상 (창고제외)<br>- 에너지대량소비 건축물에 급수·배수·난방 및 환기 건축설비설치 경우<br>(에너지 절약계획서 제출 대상) | 적법하게 반영 |
| | | | ・관계기술자의 서명·날인<br>(설계자 또는 공사 감리자와 하께)<br>- 설계도서 | 적법하게 반영 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | - 감리중간보고서<br>- 감리완료보고서<br>· 구조기술사의 서명날인<br>구조설계도서(구조 안전 확인 건축물) | |
| | | | · 관계전문기술자<br>- 건축구조분야의 공학박사학위를 가진 자로서 3년이상 건축구조분야의 업무를 수행한 자<br>- 건축구조분야의 공학석사학위를 가진 자로서 9년이상 건축구조분야의 업무를 수행한 자<br>- 건축기사의 자격을 가진 자로서 10년이상 건축구조부야의 업무를 수행한 자 | 적법하게 반영 |

[표 2-3-68] 주차장법 검토

<table>
<tr><th>검토항목</th><th>법</th><th>영/조례</th><th>법적기준</th><th>설계적용</th></tr>
<tr><td>부설<br>주차장<br>설치</td><td>19조</td><td>영 6조<br><br>부산시조례<br>14조</td><td>· 부설주차장의 설치대상시설물 종류 및 설치제한기준<br><table><tr><td>시설물</td><td>시설기준</td></tr><tr><td>1,2종 근린생활시설</td><td>시설면적 134㎡당 1대</td></tr><tr><td>문화 및 집회시설/운수시설</td><td>시설면적 100㎡당 1대</td></tr></table>· 당해부지의 경계선으로부터 부지인근에 단독 또는 동으로 설치하는 부설주창장의 경계선까지의 직선거리 300m이내 또는 보도거리 600m이내</td><td>별도 검토<br>(육역에 별도로 계획)</td></tr>
<tr><td>장애인<br>전용<br>주차장의<br>설치</td><td></td><td>규칙 2조<br><br>부산시조례<br>16조<br><br>장애인편의<br>증진법 8조<br><br>장애인편의<br>증진법영<br>4조<br>별표2</td><td>· 설치기준<br>- 부설 주차장대수의 3%이상<br>(단, 10대 미만인 경우 제외)<br>- 주차구획 :3.3×5.0m이상<br>(평행주차 2.0×60.m이상)<br>- 설치위치 : 주요출입구, 승강기, 계단,<br>경사로에서 가장 가까운 장소<br>- 바닥 및 표지 :미끄럼 방지 및 평탄하게 마감<br>- 입구 및 바닥에 장애인 주차표지<br>- 전용주차장표지를 식별이 용이한 장소에 설치<br>- 입구에서 전용 주차장까지 유도표지<br>- 도로에 연접 또는 부설하는 주차장에는 장애인 전용 주차구역을 주차장법령이 정하는 설치대수에 따라 구분·설치</td><td>별도 검토<br>(육역에 별도로 계획)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조 및<br>설비기준</td><td rowspan="2">6조</td><td rowspan="2">규칙 3조<br>규칙6조<br>규칙11조</td><td>· 주차구획<br>- 일 반 : 2.3×5.0m<br>- 지체 장애인 : 3.3×5.0m<br>- 평 행 주 차 : 2.0×6.0m</td><td>별도 검토<br>(육역에 별도로 계획)</td></tr>
<tr><td>· 주차장의 구조 및 설비기준<br>- 출입구는 회전 운활하게<br>- 출구 2m후퇴점 1.4m높이에서 60°시선<br>- 차로의 너비 :직각주차 6m이상<br>- 출입구 3.5m이상, 50대 이상 출입구 분리 또는 5.5m이상 출입구<br>- 자주식 주차장<br>·지하주차장 입구높이 :2.3m 이상<br>·회전반경 :6m 이상<br>·직선형 차로너비 : 3.3m(1차선), 6.0m(2차선이상)<br>·곡선형 차로너비 : 3.6m(1차선), 6.5m(2차선이상)<br>·경사로의 종단구배 :17%(직선), 14%(곡선)미만<br>·경사로의 노면은 거친며으로 한다.<br>·50대 이상은 출입분리 또는 6m이상<br>- 주차부분 높이 :2.1m 이상<br>- 일산화탄소의 농도는 8시간평균 50ppm이하<br>- 바닥에서 85cm높이에서 70lux이상의 조도<br>- 필요한 경보장치 설치<br>- 30대 초과시 “주차장내의 방범시설 설치 세부지침”이행</td><td>적법하게 반영<br>(육역에 별도로 계획)</td></tr>
</table>

[표 2-3-69] 장애인·노인·임산부 등의 편의증진 보장에 관한 법률 검토

| 검토항목 | 법 | 영/조례 | 법적기준 | 설계적용 |
|---|---|---|---|---|
| 편의시설 설치대상 | 7조 | 영 3조 별표1 | • 문화 및 집회시설<br>- 바닥면적의 합계가 500㎡ 이상인 시설 | 적용대상 |
| 편의시설 설치기준 | 8조 | 규칙 2조 별표1 | • 장애인등의 통행이 가능한 보도 및 접근로<br>- 보도 유효폭 : 1.2m이상<br>- 교행구역 및 휠체어 휴식공간 설치 가능<br>- 보도 기울기 : 1/18이하<br>(지형상 곤란한 경우 1/12까지 완화)<br>- 보도의 바닥표면은 미끄러지지 않는 재질로 평탄하게 마감<br>- 덮개 격자구멍 및 틈새 : 2cm 이하<br>- 가로수는 지면에서 2.1m까지 가지치기 할 것<br><br>• 장애인전용 주차구역<br>- 주차구역크기 : 3.5m×5m<br>(평형주차 : 2m×6m)<br>- 주차공간 바닥은 높이차가 없고, 기울기는 1/50 이하<br>- 바닥표면은 미끄러지지 않는 재질로 평탄하게 마감<br>- 주차구역 바닥에 장애인전용 표시 할 것<br>- 주차장 입구에 난내표지 설치<br><br>• 건축물 출입구<br>- 주출입구와 통로의 높이차 : 2cm 이하<br><br>• 입구(문)<br>- 통과유효폭 : 0.8m 이상,<br>전면 유효거리 : 1.2m 이상<br>- 문턱이나 높이차이 금지<br>- 회전문 설치 금지<br>- 미닫이문은 문지방, 홈을 설치 금지<br>- 여닫이문 도어체크 설치 시 3초 이상 확보<br>- 자동문의 개방시간은 충분히 확보하고 감지 범위를 넓게 확보<br>- 출입문 손잡이는 바닥에서 0.8~0.9m에 설치<br>- 공중이용 사무실 등의 출입문 옆 벽면 1.5m 높이에 방 이름을 표기한 점자표지판 부착<br>- 주출입구계단, 장애인용 승강기, 화장실의 0.3m 전면에 점형블록을 설치하거나 시각장애인을 위한 바닥재의 질감을 달리 할 것<br><br>• 계단<br>- 직선 또는 꺾임 형태로 할 수 있다.<br>- 유효폭 : 1.2m이상(옥외피난계단은 0.9m이상)<br>- 너비 0.28m 이상, 높이 0.18m 이하<br>- 챌판의 기울기 : 디딤판의 수평으로부터 60도<br>-계단코 : 3cm 이상 돌출하지 말 것<br>- 손잡이 끝부분은 0.3m 이상 수평손잡이 설치하 | 별도 검토 (육역에 별도로 계획) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 고 양끝부분 및 굴절부분에는 점자표지판 부착<br>- 계단 시작, 끝지점 0.3m 전면에 점형블록 설치 하거나 바닥재의 질감을 달리한다.<br><br>• 복도 및 통로<br>- 복도의 유효폭 : 1.2m,이상(양옆에 거실이 있는 경우 1.5m 이상)<br><br>• 승강기<br>- 전면에 1.4m × 1.4m 이상 활동공간 확보<br>- 승강장 바닥과 승강기 바닥의 틈은 3cm 이하<br>- 승강장 크기 : 폭 1.1m이상, 깊이 1.35cm 이상<br>- 출입문 유효폭 : 0.8m이상<br>- 조작반, 통화장치등에 점자표지판 부착<br><br>• 에스컬레이터<br>- 유효폭 : 0.8m 이상,<br>- 속도 : 30m/분 이내<br><br>• 경사로<br>- 유효폭 : 1.2m 이상<br>- 참: 바닥면적으로부터 높이 0.75m 이내마다 설치<br>- 활동공간 : 경사로 시작과 끝, 굴절부분 참에 1.5m × 1.5m 이상<br>- 경사로 기울기 : 1/12 이하(높이 1m이하 1/8 까지 완화)<br>- 손잡이 : 길이 1.8m 이상이거나 높이 0.15m 이상일 때 양측 면에 설치하고 끝부분은 0.3m 이상 수평 손잡이 설치<br>- 추락방지턱, 측벽 : 5cm 이상<br><br>• 화장실<br>- 바닥면에 높이차 금지, 바닥표면은 물에 젖어도 미끄럽지않는 재료로 마감<br>- 출입구 옆 벽면의 1.5m 높이에 남·여 구별용 점자표지판 부착<br>- 세정장치, 수도꼭지등은 광감지식, 누름버튼식, 레버식 등 설치<br>- 대변기 칸막이 : 폭 1.0m × 깊이 1.8m 이상<br>- 대변기문의 유효폭 : 0.8m 이상<br>- 대변기문의 형태 : 미닫이문, 접이문, 여닫이문 (바깥쪽으로 개폐)<br>- 대변기는 양변기로 하고 바닥부착형 일 때 전면 트랩부분에 휠체어 발판이 닿지 아니한 형태로 할 것<br>- 대변기좌대 높이 : 0.4~0.45m 이하<br>- 세면대 : 상단높이는 바닥으로부터 0.85m, 하단높이는 0.65m이상<br><br>• 점자블록<br>- 크기 : 0.3m × 0.3m<br>- 종류 : 점형블록, 선형블록<br>- 점형블록은 계단·장애인승강기·화장실·승강장 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 등에 전면 0.3m, 선형블록이 시작, 교차, 굴절 되는 지점에 설치(시각장애인용은 0.3~0.9m 범위 안에서 설치)<br>- 선형블록은 유도방향에 따라 평행하게 연속설치<br><br>• 유도, 안내설비(시각장애인)<br>- 점자안내판 또는 촉지도식 안내판에 주요시설, 방의 배치를 양각면, 선으로 표시<br>- 음성안내 장치<br><br>• 관람석<br>- 유효바닥면적 : 1석당 폭0.9m × 깊이 1.3m 이상<br>- 휠체어 사용자를 위한 관람석은 항상 비워두거나, 이동식 좌석을 사용<br><br>• 매표소, 판매기 또는 음료대<br>- 매표소 높이 : 0.7m이상 ~ 0.9m이하<br>- 자동판매기 또는 자동발매기의 동전투입구, 조작버튼. 상품 출구의 높이 : 0.4m~1.2m이하<br>- 음료대 분출구의 높이 : 0.7m<br>- 자동판매기 및 자동발매기의 조작버튼 : 품목, 금액, 행선지 등을 점자료 표시<br>- 음료대조작기는 광감지식, 누름버튼식, 레버식 등 설치<br>- 매표소, 자동발매기의 0.3m 전면에 점형블록 설치하거나 바닥재의 질감을 달리 할 것<br><br>• 공중전화<br>- 전화대하부 : 바닥면으로부터 높이 0.65이상, 깊이 0.25m이상 공간확보<br>- 전화부스 설치시 보도 또는 통로와 높이차 금지<br>- 전화동전, 카드투입구, 전화다이얼 및 누름버튼 등의 높이 : 바닥면으로부터 0.9~1.4m이하<br><br>• 우체통<br>- 투입구의 높이 ; 0.9~1.2m 이하 | |

○ 이상의 주요 법률에서 정한 규정을 검토하고 각 규정에서 정한 사항들을 에코델타시티 플로팅 홍보관 설계에 반영하여 건축설계를 진행함(부록 C 설계도서 참조)

## 3. 방재 및 피난계획

(1) 방재 및 피난 기준 검토 및 적용

○ 일반 건축물에서 방재 및 피난은 주로 화재에 대한 구조물의 안전성 확보와 재실자의 피난을 목적으로 하고 있어 관련 기준 역시 「건축법」에 따른 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」을 적용함

○ 하지만 플로팅 건축물은 일반 건축물과 다른 입지 및 구조적 특성으로 인하여 화재뿐만 아니라, 침몰, 전복, 침수 등 [표 2-3-70]와 같이 일반 건축물에서 예상하지 못하는 재해가 발생할 수 있어 건축물에 적용되는 기준만을 적용하여 계획하기에는 플로팅 건축물의 안전을 보장하는데 어려움이 있음

[표 2-3-70] 플로팅 건축물의 예상 사고유형

| 사고유형 | 설 명 |
|---|---|
| 구조물파손 | - 설계단계에서 하중, 구조형식, 구조재료 등의 설계 잘못 또는 지속적인 해양환경 등에 의한 피로하중의 가중, 이상기후 등에 따른 혹독한 해양환경, 충돌 등으로 인한 구조물 자체의 파손<br>- 좌초, 침몰, 전복, 표류, 해양오염 등의 사고 원인이 됨 |
| 충 돌 | - 항해 중인 선박, 부유물 등과 충돌에 따른 사고로 복원력상실, 부력상실, 구조물 파손 등의 원인이 됨 |
| 침 몰 | - 구조물 파손, 충돌 등에 따른 부력상실로 인해 구조물이 물에 가라앉음 |
| 전 복 | - 구조물 파손, 충돌, 침수 등에 의한 복원력상실로 구조물이 뒤집어짐 |
| 좌 초 | - 계류시설 파괴, 앵커라인 파단, 침수 등의 이유로 구조물이 해저지반 또는 암초와 충돌함 |
| 표 류 | - 계류시설 파괴, 앵커라인 파단 등으로 인해 조정되지 않은 상태에서 자항능력이 없는 구조물이 물에 떠다님<br>- 충돌, 침몰, 전복, 좌초 등 사고의 원인이 됨 |
| 화 재 | - 상부건축물 및 하부구조물에서 불이 남 |
| 폭 발 | - 기계류, 유류탱크 등의 폭발 |
| 기관손상 | - 발전기, 급수장비, 통신장비 등의 고장 및 손상으로 인해 거주가 불가능하거나 외부로 부터 고립됨 |
| 침 수 | - 충돌, 구조물 파손, 월파 등으로 인해 건축물 내로 물이 들어옴<br>- 부력상실 및 복원성상실의 원인이 되며 침몰, 전복, 기관손상 등 사고의 원인이 됨 |
| 해양오염 | - 구조물 파손, 충돌, 침몰, 좌초, 폭발 등으로 인해 유류 및 오·폐수, 폐기물의 유출로 인한 해양오염 |

○ 따라서 에코델타시티 플로팅 홍보관 설계시 「건축법」에 따른 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」을 건축물의 용도 및 규모에 맞게 적용하고 「건축법」에서 규정하지 못하는 사항에 대해서는 본 연구에서 제안한 「부유식 건축물 피난 및 방재계획(안)」을 적용하여 설계함

○ 에코델타시티 플로팅 홍보관 계획에 적용된 방재 및 피난 기준은 「건축법」에 따른 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」으로 [표 2-3-71]과 같이 관련 규정을 검토하고 설계에 적용함

[표 2-3-71] 「건축법」적용에 따른 방재 및 피난관련 규정 검토

| 검토항목 | 법 | 영/조례 | 법적기준 | 설계적용 |
|---|---|---|---|---|
| 구조안전 확인 | 48조 | 영 32조 | • 건축물은 고정하중, 적재하중, 적설하중, 풍압, 지진, 진동 및 충격 등에 대해 안전한 구조<br>-구조안전 확인<br>· 3층 이상 / 높이 13m 이상 | 적용<br>(1세부 위탁과제(구조기술사) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | · 연면적 1,000㎡ 이상<br>· 처마높이 9m 이상<br>· 기둥간격 10m 이상 | 설계) |
| 직통계단 설치 | 49조 | 영 34조<br><br>피난·방화 규칙 8조 | • 피난층 외의 층에서 거실 각 부분으로부터 계단까지 보행거리 30m이하 일 것<br>- 주요구조부가 내화구조, 불연재료인 경우는 50m이하<br>• 직통계단 2개소 이상 설치대상<br>- 문화 및 집회시설(전시장 및 동·식물원제외), 종교시설, 위락시설 중 주점영업 또는 장례식장의 용도의 바닥면적 합계가 200㎡ 이상<br>- 판매 및 영업시설 : 3층 이상의 층으로서 당해 용도거실 바닥면적 합계 200㎡ 이상<br>- 이외의 용도 : 3층 이상의 각층 거실의 바닥 면적의 합계 400㎡ 이상<br>- 지하층: 그 층의 거실 바닥면적 합계 200㎡ 이상 | 적법하게 반영<br><br>- 업무동 1개소<br>- 전시동 1개소 |
| 피난계단 설치 | 49조 | 영 35조 피난·방화 규칙 9조 | • 5층 이상 또는 지하 2층 이하인 층에 설치하는 직통계단은 피난계단 또는 특별피난계단으로 설치 | 해당사항없음 |
| 옥외 피난계단 설치 | 49조 | 영 36조 | • 건축물의 3층 이상인 층으로서 다음 용도로 쓰이는 층의 경우 제34조 규정에 의한 직통계단 외 그 층으로부터 지상으로 통하는 옥외피난계단을 따로 설치<br>• 제2종 근린생활시설 중 공연장, 문화 및 집회시설 중 공연장, 위락시설 중 주점영업 용도로 쓰는 층으로서 그 층 거실의 바닥면적의 합계가 300㎡ 이상인 것<br>• 문화 및 집회시설 중 집회장 용도로 쓰는 층으로 그 층 거실 바닥면적 합계가 1,000㎡ 이상인 것 | 적법하게 반영 |
| 관람석 등으로부터의 출구설치 | 49조 | 영 38조 | • 제2종 근린생활시설 중 공연장·종교집회장 (바닥면적 300㎡ 이상)<br>• 문화 및 집회시설(전시장 및 동·식물원은 제외)<br>• 종교시설 / 위락시설 / 장례식장 | 해당사항 없음 (전시장) |
| 건축물 바깥쪽으로의 출구 | 49조 | 영 39조<br><br>피난·방화 규칙 11조 | • 제2종 근린생활시설 중 공연장·종교집회장·인터넷컴퓨터게임시설제공업소(바닥면적 300㎡ 이상)<br>• 문화 및 집회시설(전시장 및 동·식물원 제외) / 장례식장<br>• 종교시설 / 판매시설 / 업무시설<br>• 위락시설 / 교육연구시설 중 학교<br>• 업무시설 중 국가(지자체) 청사 | 해당사항 없음 (전시장) |
| 회전문의 설치 | 49조 | 영 39조<br><br>피난·방화 규칙 12조 | • 계단이나 에스컬레이터로부터 2m 이상 이격<br>• 회전문과 문틀사이 및 바닥사이는 아래와 같이 간격확보하고 고무와 고무펠트의 조합체 등을 사용<br>- 회전문-문틀 5센티미터 이상<br>- 회전문-바닥 3센티미터 이하<br>- 분당회전수 8회 넘지 않을 것 | 적법하게 반영 |
| 옥상광장 등 설치 | 49조 | 영 40조 | • 옥상광장 또는 2층 이상인 층에 있는 노대(露臺)나 그 밖에 이와 비슷한 것의 주위에는 높이 1.2m 이상의 난간을 설치 | 적법하게 반영 |

<table>
<tr><td>방화구획의 설치</td><td>49조</td><td>영 46조<br><br>피난·방화 규칙 14조</td><td>• 주요구조부가 내화구조 또는 불연재료로 된 건축물로서 연면적이 1,000㎡를 넘는 것은 내화구조로 된 바닥·벽 및 갑종 방화문으로 구획<br><br>- 방화구획 설치기준<br>· 10층 이하의 층은 바닥면적 1,000㎡ 이내마다 구획(스프링쿨러 설치 시 바닥면적 3,000㎡ 이내마다 구획)<br>· 3층 이상의 층과 지하층은 층마다 구획</td><td>적법하게 반영</td></tr>
<tr><td>계단·복도·계단 및 출입구의 설치</td><td>49조</td><td>영 48조<br><br>피난·방화 규칙 15조</td><td>• 높이 3m를 넘는 계단은 3m 이내마다 너비 1.2m이상의 계단참 설치<br>• 높이 1m을 넘는 계단 및 계단참 양옆에는 난간설치(벽포함)<br>• 너비 3m을 넘는 계단은 너비 3m 이내마다 난간설치 다만, 단 높이 15㎝이하, 단너비 30㎝이상 제외<br>• 계단 및 계단참의 치수(㎝)
<table>
<tr><td>종류</td><td>계단 및 계단참 너비</td><td>단높이</td><td>단너비</td></tr>
<tr><td>초등학교</td><td>150</td><td>16</td><td>26</td></tr>
<tr><td>중 고교</td><td>150</td><td>18</td><td>26</td></tr>
<tr><td>문화 및 집회시설(공연장,집회장,관람장)<br>판매 및 영업시설(도매,소매시장,상점)</td><td>120</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>거실면적 200㎡ 이상(지하는 100㎡)</td><td>120</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>60</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>
• 문화 및 집회시설의 바닥면적 합계 500㎡ 이하 복도의 너비 1.5m이상</td><td>적법하게 반영</td></tr>
<tr><td>건축물의 내화구조</td><td>50조</td><td>영 56조</td><td>• 문화 및 집회시설(전시장 및 동식물원 제외), 종교시설, 의료시설, 공동주택 등 건축물은 주요구조부를 내화(耐火)구조로 하여야 함<br><br>- 내화구조 대상<br>· 문화 및 집회시설 중 전시장 또는 동·식물원 용도로 쓰는 건축물로 바닥면적 합계가 500㎡ 이상<br>· 3층 이상인 건축물 및 지하층이 있는 건축물</td><td>적법하게 반영<br>(내화구조설계)</td></tr>
<tr><td>건축물의 방화벽</td><td>50조</td><td>영 57조<br><br>피난·방화 규칙 21조</td><td>• 연면적 1,000㎡ 이상인 건축물은 방화벽으로 구획<br>각 구획의 바닥면적 합계는 1,000㎡ 미만<br>(주요구조부가 내화구조이거나 불연재료인 경우 제외)<br>• 방화벽의 구조<br>- 내화구조로 홀로 설 수 있는 구조<br>- 방화벽 양쪽 끝, 위쪽 끝은 건축물의 외벽면, 지붕면에서 0.5m 이상 돌출<br>- 방화벽에 설치하는 출입문의 너비 및 높이는 각각 2.5m이하 갑종방화문 설치<br>- 급수관, 배전관, 환기, 난방, 냉방시설의 풍도가 관통하는 경우는 방화구획 기준에 따름</td><td>적법하게 반영</td></tr>
<tr><td>건축물의</td><td>52조</td><td>영 61조</td><td>• 대상</td><td>적법하게 반영</td></tr>
</table>

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 마감재료 | | 피난·방화 규칙 24조 | - 문화 및 집회시설(예식장 제외), 종교시설, 판매시설, 운수시설 또는 위락시설(단란주점 및 주점영업제외)용도에 쓰이는 건축물로서 당해용도에 쓰이는 거실의 바닥면적의 합계가 200$m^2$ (주요구조부가 내화구조, 불연 재료일 경우 400$m^2$) 이상인 건축물<br>- 5층이상 층으로 거실의 바닥면적 합계가 500$m^2$ 이상<br>• 기준<br>- 거실의벽 반자는 불연, 준불연, 난연재료를 사용<br>- 복도계단통로는 불연, 준불연재료를 사용할 것 | |
| 지하층 | 53조 | 피난·방화 규칙 25조 | • 지하층의 구조기준<br>- 바닥면적의 50$m^2$이상인층은 직통계단 외 비상탈출구 및 환기를 설치(직통계단이 2개소 이상인때는 예외)<br>- 바닥면적이 1,000$m^2$ 이상인 층은 방화구획으로 구획하는 각부분 마다 1개소 이상의 피난계단 또는 특별피난계단 설치<br>• 지하층의 설비기준<br>- 거실의 바닥면적 합계 1,000$m^2$ 이상인 층은 환기설비설치<br>- 바닥면적 300$m^2$ 이상인 층은 식수공급을 위한 급수전을 1개소 이상 설치 | 해당사항 없음 |

○ [표 2-3-71]에서 검토한 것과 같이 「건축법」에 따른 방재 및 피난관련 규정은 화재에 집중되어 있어 화재 외 침몰, 전복 등과 같이 일반적인 건축물에서 예상할 수 없는 재해가 발생할 수 있는 플로팅 건축물에「건축법」에서 정한 규정만을 적용하는 것은 건축물 및 재실자의 안전성을 확보하는데 어려움이 있음

○ 따라서 에코델타시티 플로팅 홍보관 설계시 본 연구에서 제안한 「부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)」에서 제안하고 있는 관련 규정을 [표 2-3-72]와 같이 검토하고 설계에 적용함

○ 「부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)」은 기본적으로 「건축법」에서 규정하고 있는 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」의 적용을 기본으로 하고 있으며 이 규칙에서 규정하지 못하는 침수 등에 사항을 추가적으로 규정하고 있음

[표 2-3-72] 「부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)」 검토 및 적용

| 검토항목 | 조항 | 법적기준 | 설계적용 |
|---|---|---|---|
| 피난층 | 2조 | • 「건축법」에서 규정한 피난층<br>• 육상으로 연결된 연결통로 또는 육상으로 이동 가능한 선박 등을 직접 이용할 수 있는 외부 데크로 통하는 출입구가 있는 층<br>• 탈출용 설비를 갖춘 승정데크와 바로 연결된 층 | 적용 |
| 적용의 특례 | 4조 | • 이 기준을 적용하는 것이 그 구조상 곤란하거나 적당하지 않다고 인정되는 경우 이 기준의 규정에도 불구하고 저문기관 및 심의위원회의 심의 거쳐 허가권자가 정하는 바에 따름<br>• 이 기준의 규정에 적합한 것과 동등 이상의 성능이 있다고 인정하는 경우 이 기준에 적합한 것으로 봄<br>• 하부함체의 구조 및 설비와 관련하여 「선박법」등 선박관련 법률에서 규정한 것에 대하여 이 기준에 적합한 것으로 봄 | 적용 |
| 대지안의 피난통로 | 5조 | • 육상과 연결된 2개 이상의 통로 확보<br>- 내화구조로 설치<br>- 전문기술자의 승인을 받은 구조물<br>- 마감재는 불연재료로 설치<br>- 예비 조명에 따른 조명설비 설치<br>- 최소 2개 이상의 소화기 배치<br>- 연결통로의 폭은<br>단독주택: 0.9m이상<br>문화 및 집회시설, 종교시설, 의료시설, 위락시설 장례식장(바닥면적 합계 500㎡이상): 3.0m 이상<br>그 밖의 용도로 쓰이는 건축물: 1.5m 이상<br>• 2개 이상의 통로를 확보하지 않아도 되는 경우<br>- 평상시 건축물 한 부분이 육상에 고정되어 설치된 경우<br>- 건축물의 한면이 육지에 직접면해 있는 경우<br>- 육상과 바로 연결된 1개 이상의 통로와 육상과 연결된 연결통로에 연결된 보조연결통로가 설치된 경우<br>- 육상과 연결된 연결통로 또는 2방향 피난 및 이동이 가능한 주 연결통로에 연결된 보조연결통로 설치된 경우<br>- 육상과 바로 연결된 1개 이상의 연결통오와 언제든지 이용 가능한 안전한 구조물과 연결된 1개 이상의 연결통로가 설치된 경우<br>- 재실자가 언제든지 이동 할 수 있는 2개 이상의 안전한 구조물과 연결통로로 연결된 경우<br>- 육상과 연결된 연결통로의 설치가 불가능하다고 인정되고, 선박, 헬리콥터 등과 같은 다른 수단을 이동수산으로 상시 제공하는 경우 | 적용<br>(육지로 바로 연결된 2개의 연결통로 설치) |
| 내부 피난통로의 설치 | 6조 | • 모든 실에서 2방향 피난이 가능하도록 피난층 또는 외부로 연결된 최소 2개 이상의 피난시설 또는 피난기구와 직접적으로 연결된 피난통로를 설치<br>• 피난시설 또는 피난기구는 각기 다른 방향으로 설치되어야 하며 해당 피난통로 전체 길이의 1/2이상의 이 | 적용<br>(각 실에서 2방향 피난이 가능하도록 평면배치) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 격거리 확보<br>• 피난통로의 설치 기준<br>- 출입구, 창문 기타 개구부를 제외한 부분은 다른 부분과 내화구조의 바닥 및 벽으로 구획할 것<br>- 하부함체 내부에 설치되는 피난통로는 내화구조 및 수밀구조로 설치, 배수시설 설치<br>- 피난통로 내부의 마감은 불연재료<br>- 피난통로에는 예비전원에 의한 조명설비<br>- 핸드레일의 높이는 통로 바닥 마감에서 최소 0.8m 이상 0.9m 이하, 벽 등으로부터 5센티 내외로 설치할 것<br>- 그 외 핸드레일의 설치 및 재료에 관한 사항은 「장애인·노인·임산부 등의 편의 증진 보장에 관한 법률」 제2조 1항에 따를 것<br>- 피난통로의 유효너비는 「건축법시행령」 제33조에서 정한 기준에 따르며 최소 0.9m 이상<br>- 피난통로 너비의 측정은 통로 양측에 설치된 핸드레일 내측간의 거리<br>- 각 실에서 피난통로로 통하는 출입구의 유효너비는 0.9m 이상으로 하며 갑종방화문으로 설치<br>• 그 밖에 정하지 않은 사항에 대해서는 「건축법」 등 관련 법률에서 정한 기준에 따르며 플로팅 건축물 특성상 기준의 적용이 불가능하다고 판단되는 경우 「부유식 건축물 조례」에서 정한 심의위원회의 심의 결과를 따를 것 | |
| 직통계단의 설치 | 7조 | • 「건축법시행령」 제34조 규정에 따라 설치 | 적용 |
| 피난계단의 설치 | 8조 | • 「건축법시행령」 제35조에 따라 설치하며 그 구조는 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제9조의 기준을 적용 | 적용 |
| 옥외피난계단의 설치 | 9조 | • 「건축법시행령」 제36조에 따라 설치 | 적용 |
| 승정데크의 설치 | 10조 | • 본 기준 제4조 제2항의 기준에 따라 연결통로가 설치된 경우 승정데크를 설치하지 않을 수 있음<br>• 승정데크의 설치기준<br>- 승정데크에는 탈출에 사용되는 구명정 등의 장비 및 관련 설비를 갖추어야 함<br>- 구명정을 이용하기 위한 승정데크는 「선박법」에서 정한 기준에 적합한 설비를 갖추어야 함<br>- 헬리콥터를 위한 승정데크는 「건축법시행령」 제40조 3항 1호 및 「건축물의 피난 방화 구조 등의 기준에 관한 규칙」 제13조에 따라 설치<br>- 승정데크는 집합장소와 직접적으로 연결되도록 설치되어야 하며 집합장소는 승정데크와 별도의 구획 없이 같은 공간에 설치될 수 있음<br>- 집합장소의 면적은 이용 가능한 구명정 및 헬리콥터의 최대승선인원을 수용할 수 있는 충분한 면적을 확보해야 하며 최소 1인당 0.35㎡ 이상의 면적을 확보<br>- 승정데크와 집합장소는 다음 기준에 적합하게 설치하여야 한다. | 연결통로 2개소 설치<br>승정데크 설치 의무 없음 |

<table>
<tr><td></td><td></td><td>· 내화구조 또는 방화구조로 내부와 구획 될 것<br>· 승정데크와 집합장소는 피난통로, 특별피난계단 또는 피난계단과 연결되도록 설치<br>· 승정데크와 집합장소에는 비상전원이 공급되어야 하며 비상전원을 이용한 조명설비가 설치될 것것<br>· 승정데크에는 관리사무소 등과 긴급 연락이 가능한 통신시설을 설치할 것</td><td></td></tr>
<tr><td>구명설비의 비치</td><td>11조</td><td>• 본 기준 제4조 2항에 따른 연결통로가 설치되지 않은 시설물 구명정, 구명동, 구명부환 등의 구명설비를 비치<br>- 구명동의 수: 이용가능 인원의 120%<br>(20% 어린이용)<br>- 30m 이상 구명줄이 부착된 구명부환 수<br><table><tr><td>구조물 길이</td><td>구명후환 수(개)</td></tr><tr><td>60m 미만</td><td>8</td></tr><tr><td>60m 이상 120m 미만</td><td>12</td></tr><tr><td>120m 이상 180m 미만</td><td>18</td></tr><tr><td>180m 이상 240m 미만</td><td>24</td></tr><tr><td>240m 이상</td><td>30</td></tr></table>- 구명정 및 구명뗏목 수: 최대 이용가능 인원의 150%를 수용</td><td>연결통로 2개소 설치<br>구명설비 비치 의무 없음</td></tr>
<tr><td>바깥쪽으로의 출구 설치</td><td>13조</td><td>• 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제11조 기준에 따라 바깥쪽으로 나가는 출구를 설치해야하는 건축물<br>- 문화 및 집회시설(전시장 및 동식물원 제외)<br>- 종교시설/판매시설<br>- 업무시설 중 국가 또는 지방자치단체 청사<br>- 위락시설<br>- 연면적 5,000㎡ 이상인 창고시설<br>- 교육연구시설 중 학교<br>- 장례식장<br>- 승강기를 설치하여야 하는 건축물</td><td>문화 및 집회시설 중 전시장으로 적용 제외</td></tr>
<tr><td>계단 및 복도의 설치</td><td>14조</td><td>• 연면적 200㎡를 초과하는 상부건축물에 설치하는 계단 및 복도는 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제15조의 기준에 적합하게 설치</td><td>적용</td></tr>
<tr><td>거실반자의 설치</td><td>15조</td><td>•「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제16조 적용</td><td>적용<br>(반자높이 2.1m 이상)</td></tr>
<tr><td>안내판의 설치</td><td>17조</td><td>• 내부 및 외부 안내판 설치 기준<br>- 각 층 최소 2개 이상<br>- 가로 0.6m 세로 0.6m 이상 크기<br>- 재실자가 주로 이용하는 복도 및 로비에 설치<br>• 안내판 표기 내용<br>- 각 층 구성 및 평면도<br>- 피난통로 및 피난설비의 위치<br>- 구명설비의 비치 위치, 개수 및 사용방법<br>- 피난동선<br>- 비상시 피닌 및 행동요령<br>- 비상시 연락처 및 담당자 등</td><td>적용</td></tr>
<tr><td>피난 시뮬레이션 및 결과의 반영</td><td>18조</td><td>• 피난 시뮬레이션프로그램을 이용한 피난평가 실시<br>• 피난 시뮬레이션은 「소방시설등의 성능위주설계 방법 및 기준」의 [별표 1] “화재 및 피난시뮬레이션의 시나리오 작성 기준”에 따른 시나리오를 적용하여 실시하고 그 결과를 반영 다만, 이 시나리오를 적용하기 곤</td><td>차년도 연구에 피난평가 포함</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 란하거나 불가능한 경우 시나리오 적용을 달리 할 수 있으며 이 경우 해당 관리관청의 승인을 받아야 한다.<br>• 이 기준에서 정한 기준에 적합하게 설계되었다 하더라도 시뮬레이션 결과 피난시간 등이 법에서 정한 기준에 미치지 못할 경우 새로운 피난계획을 적용하여 시뮬레이션을 실시하며 변경 전 계획과 변경 후 계획 및 결과에 대한 보고서를 허가권자에게 제출 | |
| 재해방지계획 보고서의 제출 | 20조 | • 재해방지계획 보고서를 심의위원회에 제출<br>• 재해방지계획 보고서 내용<br>- 예상되는 재해의 종류<br>- 설치되는 수역의 조건<br>- 건축물 용도 및 구조(하부함체 및 계류시설 포함)<br>- 예상되는 재해에 대한 검토 내용<br>- 예상되는 재해방지 대책<br>- 재해 발생 시 확산방지 대책 | 적용 |
| 내화구조 | 21조 | •「건축법시행령」제2조 제7호에서 정의한 것으로「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제3조에 따른 구조<br>• 하부함체가 철, FRP 등「선박안전법」에 따라 설계된 경우 「선박안전법」에서 규정 적용 | 적용 |
| 방화구조 | 22조 | •「건축법시행령」제2조 제8호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제4조에 따른 구조 또는 「선박방화구조기준」제2조 제5항에 따른 A60급 구획에 적합한 구조 | 적용 |
| 난연재료 | 23조 | • 건축법시행령」제2조 제9호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제5조에 따른 재료 | 적용 |
| 불연재료 | 24조 | •「건축법시행령」제2조 제10호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제6조에 따른 재료 또는 「선박방화구조기준」제2조 제1호에 따른 재료 | 적용 |
| 준불연재료 | 25조 | •「건축법시행령」제2조 제111호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제7조에 따른 재료 | 적용 |
| 방화구획의 설치 | 26조 | •「건축법시행령」제46조에 따른 방화구획을 설치하여야 하며 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제14조에 적합하게 설치<br>•「선박방화구조기준」제3조 및 제7조 제2항에 따른 A급구획은 「건축법」등에서 말하는 방화구획과 동일한 것으로 보며 그 설치기준 등은 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제14조에 적합한 것으로 함<br>• 하부함체의 구조가 「선박안전법」에 따라 설계된 경우「선박안전법」에서 규정하는 것에 대하여 이 기준에 적합한 것을 함<br>• 규정을 적용하는 것이 불가능하다고 판단되는 특수한 구조로 설계된 경우 소방기술사 등 전문가의 의견을 반영하여 기술심의위원회에서 정한 바에 따름 | 적용 |
| 방화문의 구조 | 27조 | •「건축법시행령」제64조에서 정한바와 같이 갑종 방화문 및 을종 방화문으로 구부하며, 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제26조에 적합해야 함<br>•「선박방화구조기준」제2조 및 제12조 제4항에서 말하는 A급구획에 설치되는 A급방화문은 갑종 방화문과 동일한 것으로 함 | 적용 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | • 「선박방화구조기준」 제2조 및 제12조 제2항에서 말하는 B급구획에 설치되는 방화문은 을종 방화문과 동일한 것으로 함 | |
| 소방시설의 설치 | 28조 | • 「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제8조 및 제9조의 기준에 의해 적합하게 설치<br>• 하부함체의 구조가 「선박안전법」에 따라 설계된 경우 「선박안전법」에서 정한 규정하는 것에 대하여 이 기준에 적합한 것으로 함<br>• 「선박안전법」에 따라 설치된 소방시설의 성능 및 기능 등이 요구되는 성능 및 기능과 동일하거나 또는 보다 우수하다고 판단되는 경우 「선박안전법」에서 정한 기준을 적용할 수 있음 | 적용 |
| 침수방지 | 29조 | • 하부함체 외측 및 저부를 이중각구조로 함<br>• 이중각구조를 적용하지 않는 경우<br>- 하부함체 내부를 부력이 큰 재료를 이용하여 채운 경우<br>- 하부함체 내부를 수밀격벽으로 1.2미터 이하 간격으로 구획한 경우<br>-「선박안전법」의 규정에 적합하게 설계된 경우<br>• 수밀격벽을 이용하여 하부함체 내부를 최소 2개 이상의 수밀구획으로 구획 다만, 하부함체 내부를 부력이 큰 재료를 이용하여 채운 경우 적용제외<br>• 하부함체의 수밀구획은 가장 큰 구획이 침수되더라도 충분한 부력을 확보할 수 있도록 구획<br>• 하부함체가 「선박안전법」에 정한 기준에 따라 설계된 경우 「선박안전법」의 규정에 적합하게 설치<br>• 상부건축물의 출입구 등으로 부터의 침수를 막기 위하여 상부건축물 최하층 구조물의 바닥 높이는 하부함체 상부에서 최소 0.45m 이상으로 하며 침수를 방지할 수 있는 구조 및 재료로 설치<br>• 하부함체 상부의 외부 데크에 설치된 모든 개구부는 수밀구조로 설치<br>• 하부함체에 창문 등의 개구부를 설치할 경우 개구부 하단이 만재시 수면에서 최소 0.35미터 이상 떨어질 수 있도록 설치하며 개구부가 열리는 구조로 설치될 경우 개구부 하단에서 수면까지 0.8미터 이상 되도록 설치<br>• 구획된 하부함체 내부는 침수에 대비하여 각 구획에 빌지 펌프 또는 이와 동일한 기능 및 성능을 가진 설비를 설치 | 적용<br>(차년도 평가를 통해 일부 기준 수정) |
| 수밀격벽의 구조 | 30조 | • 수밀격벽의 구조는 「선박구획기준」 제15조의 기준에 따라 설치하여야 하며 「선박구획기준」 제16조의 요건에 적합하게 시험되어야 함 | 적용 |
| 충돌방지 | 31조 | • 선박을 이용하여 접근해야 하거나 선박을 탑승할 수 있는 시설이 갖추어진 건축물에서는 이용하는 선박의 접안으로 인한 건축물에 가해지는 충돌하중을 최소화하기 위한 설비를 설치하거나 하부함체 자체 구조물에 충돌에 의한 재해가 발생하지 않도록 구조적 대책을 마련<br>• 수역을 통항하는 선박에서 언제든지 건축물을 쉽게 인지하고 위치를 파악할 수 있도록 외부 경고등(燈)을 하부함체 각 면에 설치 | 적용 |
| 안정성의 확보 | 32조 | • 하부함체는 「선박법」에 따라 복원성을 포함한 플로팅 건축물 안정성에 대하여 전문기관으로부터 확인을 | 적용<br>(만재시 건현 0.5m 확보) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 받아야 함<br>• 최소한의 안정성을 확보하기 위하여 만재시 건현 0.5미터 이상을 확보할 수 있도록 함 | |
| 계류시설의 설치 | 34조 | • 충분한 안전성을 가질 수 있는 계류시설을 설치하고 기술사, 전문기관, 엔지니어링업체 등 계류시설의 성능을 평가할 수 있는 자로부터 계류시설 설계에 대한 사항을 승인 받을 것<br>- 계류시설 설계 기준<br>· 항만 및 어항 설계기준에 적합하게 설치할 것<br>· 최소 2축 4방향 이상 설치할 것<br>· 콘크리트, 철 등 항만설계기준에서 인정한 재료로 된 계류시설을 설치할 것<br>· 수심, 조류, 파고 등 주변 해역의 환경조건에 적합하게 설치할 것<br>• 계류시설은 예상되는 모든 외력에 대하여 검토하고 충분한 안전율을 적용하여 계획<br>• 좌우 및 전후로 고정될 수 있도록 최소 2축, 4방향 이상 계류시설을 설치<br>• 계류시설 파괴로 인한 표류를 방지하기 위하여 설치된 계류시설 1개로도 전체 건축물을 지지할 수 있도록 계획<br>• 정온수역이 확보되지 않거나 심의위원회에서 필요하다고 인정되는 경우 비상용 계류시설 1개 이상을 설치<br>- 체인 및 와이어 계류로 설치할 것<br>- 1개의 계류라인으로 플로팅 건축물을 지지할 수 있도록 설치할 것 | |
| 해양오염 방지 | 35조 | • 해양오염방지를 위해 「선박에서의 오염방지에 관한 규칙」 및 관련 법령에서 정한 기준 적용<br>• 하부함체 내부에 오폐수 및 유류 저장을 위한 탱크 또는 관련 설비가 설치되는 경우 오폐수 및 유류의 유출로 인한 해양오염을 방지하기 위하여 수밀격벽의 성능을 가진 이중바닥 및 벽 구조로 다른 공간과 구획<br>• 수밀격벽으로 구획된 공간에 별도로 제작된 탱크를 설치하는 경우 해당 공간의 외측 바닥 및 벽체에 충분한 방수처리를 하고 빌지 펌프 또는 동일한 성능 및 기능의 설비를 설치 | |

○ 이상의 관련 규정을 적용하여 에코델타시트 플로팅 홍보관을 설계하였음

○ 또한 이 과정에서 「부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)」에서 규정하고 있는 사항 중 플로팅 건축물에 적용이 어렵거나 플로팅 건축물의 특성에 적합하지 않은 조항이 있어 차년도 연구에서 테스트베드에 대한 피난평가 후 관련 규정을 개선하여 「부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)」하고자 함

(2) 방재 및 피난 계획

○ 에코델타시티 플로팅 건축물과 같은 플로팅 건축물은 일반적인 선박, 건축물 등과 다른 방재 및 피난 특성이 있으므로 이를 고려한 방재 및 피난 계획이 필

요함

○ 플로팅 건축물이 선박 및 일반 건축물과 다른 안전 특성을 요약하면 다음과 같음

- 다양한 계층의 불특정 다수의 사람들이 이용 (노인, 장애인, 어린이, 부녀자, 외국 관광객 등 재해에 취약한 사람들 다수 포함)
- 다양한 용도와 성격의 공간이 복합적으로 구성되며 동선이 복잡함
- 화재발생 위험이 많은 공간(주방, 창고 등), 가연성 물질이 많아 연소 위험이 높은 공간(유류탱크, 발전기 등), 고밀도 이용으로 인해 피난 위험이 높은 공간(공연장 등) 등의 공간이 일체화 되어 있으며 통일적으로 관리하기가 어려움
- 24시간, 일 년 내내 사용되는 공간이 있어 시간적인 요인이 가중
- 육상으로 집적 피난하는 것이 어려운 경우가 대부분이며 따라서 피난 및 방재활동에 있어 외부로부터 도움을 받는데 한계 발생
- 파도, 바람 등 기상 및 해상조건으로 인한 동요, 접근로 파괴, 선박, 헬리콥터 등을 이용한 접근의 어려움 등 방재 및 피난활동에 어려움 예상
- 선박과 달리 출입이 자유로워 이용자를 대상으로 안전교육을 실시하기 어렵고 선박의 승무원과 같은 개념의 직원이 근무하는 것이 아니어서 선박에서 요구되는 탈출 및 안전관련 훈련이나 승무원의 전문적인 방재활동을 기대하기가 어려움
- 하부구조물 파괴, 침수 등으로 인해 구조물 자체의 기울어짐이 발생하여 피난 및 방재활동에 어려움 초래
- 하부부체의 부력, 복원력 상실로 인해 구조물 전체가 침몰, 전복될 수 있어 신속한 방재활동이 요구됨

○ 이상에서 검토한 방재 및 피난 관련 규정과 플로팅 건축물 안전특성을 고려하여 에코델타시티 플로팅 홍보관 계획시 적용되는 방재 및 피난 계획 방향은 다음과 같음

- 방재 및 피난 계획은 「건축법」에 따른 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에서 규정하고 있는 사항을 기본적으로 적용함
- 발생하는 화재에 대해서는 방화구조 및 연소방지용 벽으로 방화구획을 설치하고 「건축법」의 규정에 따른 구조 및 재료로 계획하며 연기제어 역시 「건축법」의 규정에 따라 계획함
- 피난계단 및 특별피난계단의 설치는 「건축법」에 따라 배치하며 모든 거실에서 2개 이상의 피난계단 또는 일정 규모 이상의 창을 포함한 피난설비, 피난기구에 접근할 수 있는 2방향 피난이 가능하도록 계획하고 조명 설비를 설치하여

야간 및 화재 시 사람들의 피난동선을 유도할 수 있도록 함

- 마감재료는 「건축법」에서 규정하는 방화재료(불연성 또는 난연성 내장재), 「선박방화구조 기준」에서 정한 B급 내장재를 적용하여 설계하도록 하며 피난층, 피난구역 등에는 「건축법」에서 규정하는 방화재료(불연성 또는 난연성 내장재), 「선박방화구조 기준」에서 정한 A급 마감재를 적용함
- 기계실, 전기실 등은 배치는 침수에 따른 피해를 줄이기 위하여 함체 상부에 설치하도록 계획함
- 하부시설물의 침수를 방지하기 위해 충돌 손상에 염려가 있는 부체 외주(外周)를 이중각구조(二重殼構造)로 하거나 함체를 블록을 이용하여 계획하여 하부부체 파괴 및 침수에 대비함
- 하부부체 내부는 기계설비 배관을 위한 공간을 제외하고는 사용하지 않도록 계획 하며 충진재를 사용하여 채우거나 빌지 펌프(Bilge pump)등을 설치하여 침수 및 침몰에 대비할 수 있도록 계획함
- 이상기상 시 하부구조물의 최상부 갑판면이 물에 잠기거나 개구부로부터의 침수에 대비하여 취급이 용의한 수밀문짝을 계획하고 하부구조물의 최상부 바닥과 상부시설물 바닥 사이에 충분한 공간을 두어 배수가 가능하도록 하거나 그 부분에 방수, 지수 등 충분한 조치를 계획하여 상부시설물 출입구로 물이 유입되는 것을 방지할 수 있도록 계획함
- 하부구조물의 침수에 대한 안전도는 부력 및 건현의 확보로 표시되므로 충분한 부력을 유지할 수 있도록 건현을 최소 0.5m 이상 확보하도록 함
- 돌핀계류를 이용할 경우 충분한 계류력을 가질 수 있도록 설계하며 안정적인 위치유지를 위해 최소 2축, 2개 이상의 돌핀을 이용하여 계류함
- 또한 비상시 계류시설의 파괴 등으로 구조물이 표류하는 것을 방지하기 위하여 1개의 파일로도 플로팅 건축물 전체가 계류될 수 있도록 설계함
- 육지와 연결되는 통로는 2개 이상으로 계획하고 2개의 연결통로 중 하나는 3.0m 이상 되도록 하며 나머지 하나는 최소 폭 1.5m 이상 유지될 수 있도록 계획함
- 소방 등 안전상의 문제로 플로팅 건축물 내로 차량의 접근이 필요한 경우를 대비하여 최대 이용가능 차량에 대하여 충분히 수용할 수 있는 폭과, 구조로 계획함
- 연결통로의 주요 구조는 방화구조로 하고 난간 등의 마감재는 불연성 재료로, 상부 바닥 마감은 녹슬지 않고 미끄럼을 방지 할 수 있는 재료로 하거나 이와 동등한 성능을 가진 재료로 하며 안전난간은 수면에서 1m 이상 되는 곳에 바닥 마감에서 1.2m 이상 높이로 설치하며 난간 살은 세로로 배치하여 어린이들이 밟고 올라가지 못 하도록 계획함
- 접근로의 화재 발생에 대비하여 소화기를 배치하고 가능하면 소방설비를 갖춤

- 접근로를 통해 플로팅 건축물로 수도, 전기 등의 설비들이 연결되는 경우 접근로 파괴시 자동적으로 공급이 차단될 수 있는 구조 및 시스템으로 계획함

○ 에코델타시티 플로팅 홍보관의 계획은 이상에서 검토한 규정 및 본 연구에서 제안한 관련 규정을 적용하여 계획하며 그 결과는 부록 C에서 확인할 수 있음

## 다. 피난시나리오(안)의 개발과 피난성능 예측비교

### (1) 피난시나리오 개발

#### (가) 피난시나리오 개발의 필요성

○ 플로팅 건축물의 기반은 수상, 해상 위에 유동 객체(流動 客體)로 정의됨

○ 육지 건축물의 경우 건물 내 재실자가 건물 밖으로 이동하면 피난이 완료된 것으로 판단

○ 수상, 해상구조문의 경우는 아래와 같은 프로세스에 의해 피난활동이 진행됨

- 재난발생 시 비상경보를 발생시켜, 재실자를 집합장소로 모이게 함
- 집합장소에서는 인원 점검
- 관리자의 판단으로 퇴선 여부 결정
- 퇴선 명령 시 집합장소에서 구명보트를 이용하여 퇴선

○ 하지만 플로팅 건축물의 경우는 일반 건축물과 달리 피난의 완료에 대한 개념이 불명확고 선박에서와 같이 훈련된 선원이 상주하지 않으며 승선이 허락된 여객만이 이용하는 것과 달리 불특정 다수의 인원이 이용하므로 재해발생시 피난활동에 대한 프로세스 확립이 어려움

○ 또한 플로팅 건축은 유동체로써 재난에 대한 안전개념 정립이 육상 건물의 안전개념보다 고려해야할 사항이 많고 복잡하며 완성도가 높아야만 함.

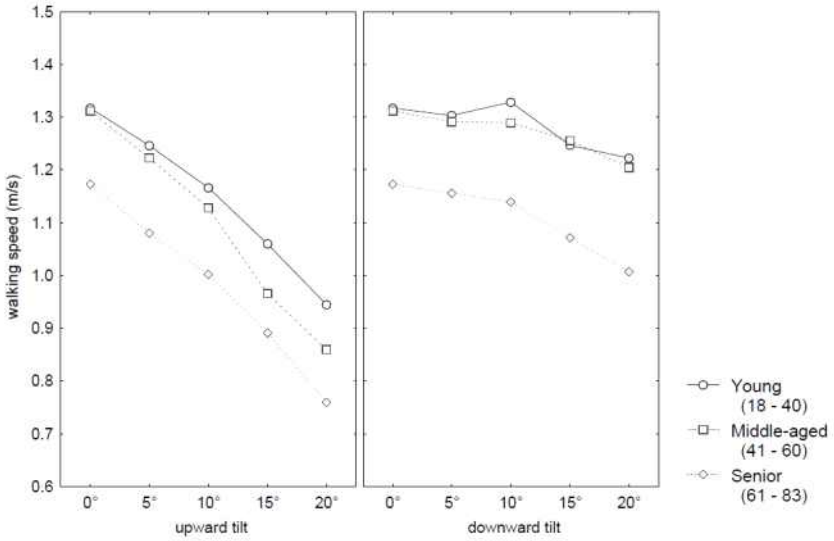
○ 예를 들어, 플로팅 건축물이 화재 확산에 대응할 만큼의 충분한 공간을 함체 상에 확보하고 있다하여도 침몰, 전복 등의 복합적인 재해에 대한 대한 대응력은 미흡함

○ 피난방법도, 건축물이 기본적으로 갖추어야 할 안전장비 외에 육지 혹은 타 해상구조물과의 이동방법 등도 고려해야만 하고, 태풍 등 기상조건에 따라서는 심한 유동으로 인해 피난, 구조 활동이 장애를 발생시킬 수 있음

○ 또한 일반 건축물과 달리 외부로부터 소방, 피난 등 방재활동에 대한 도움을 받는 것이 어려워 방재 및 피난 계획에 대한 건축물 자체의 성능에 대한 고려가 필요함

○ 피난평가를 위하여 플로팅 건축물과 같이 유동하는 객체인 경우 구조물의 유동이 피난평가의 중요한 요소인 재실자의 피난 속도에 영향을 미치므로

육상 건축물에서 적용하는 일반적인 보행속도를 적용하기 보다는 선박 등과 같은 유동객체의 특성을 고려한 재실자 보행 속도에 대한 고려가 필요함




[그림 2-3-24] 선박 기울기에 따른 보행속도 실험결과

○ [그림 2-3-24]은 선박의 기울기에 따른 이동속도 변화를 실험한 것으로 선박의 기울기가 20도 변화하면 이동속도는 약 50% 감소함을 알 수 있음

○ 즉, 플로팅 건축에서의 피난시뮬레이션은 단순히 재난 자체의 특성요소뿐 아니라, 건축물 자체의 운동성에 대한 요소도 포함되어 시나리오를 구성하고 시뮬레이션을 수행해야만 함

(나) 피난시나리오 적용 사례

○ 피난 및 방재에 대한 관심의 증가로 건축물의 종류, 용도 등 개별 건축물의 특성에 따른 피난평가 요구되고 있으며 다양한 방법을 통한 피난 평가가 이루어지고 있음

○ 본 장에서는 최근 그 수요가 증가하고 있는 초고층건축물과 2010년 한강에 건설된 세빛둥둥섬(한강 플로팅아일랜드) 그리고 선박에 적용된 피난시나리오 사례에 대하여 조사하였음

1) 초고층건축물 피난시나리오 사례

○ 최근 초고층건축물의 증가로 인해 초고층건축물에서의 화재와 같은 복합적 재난 발생시 대형재난으로 확대될 가능성에 대한 우려가 증가하고 있음

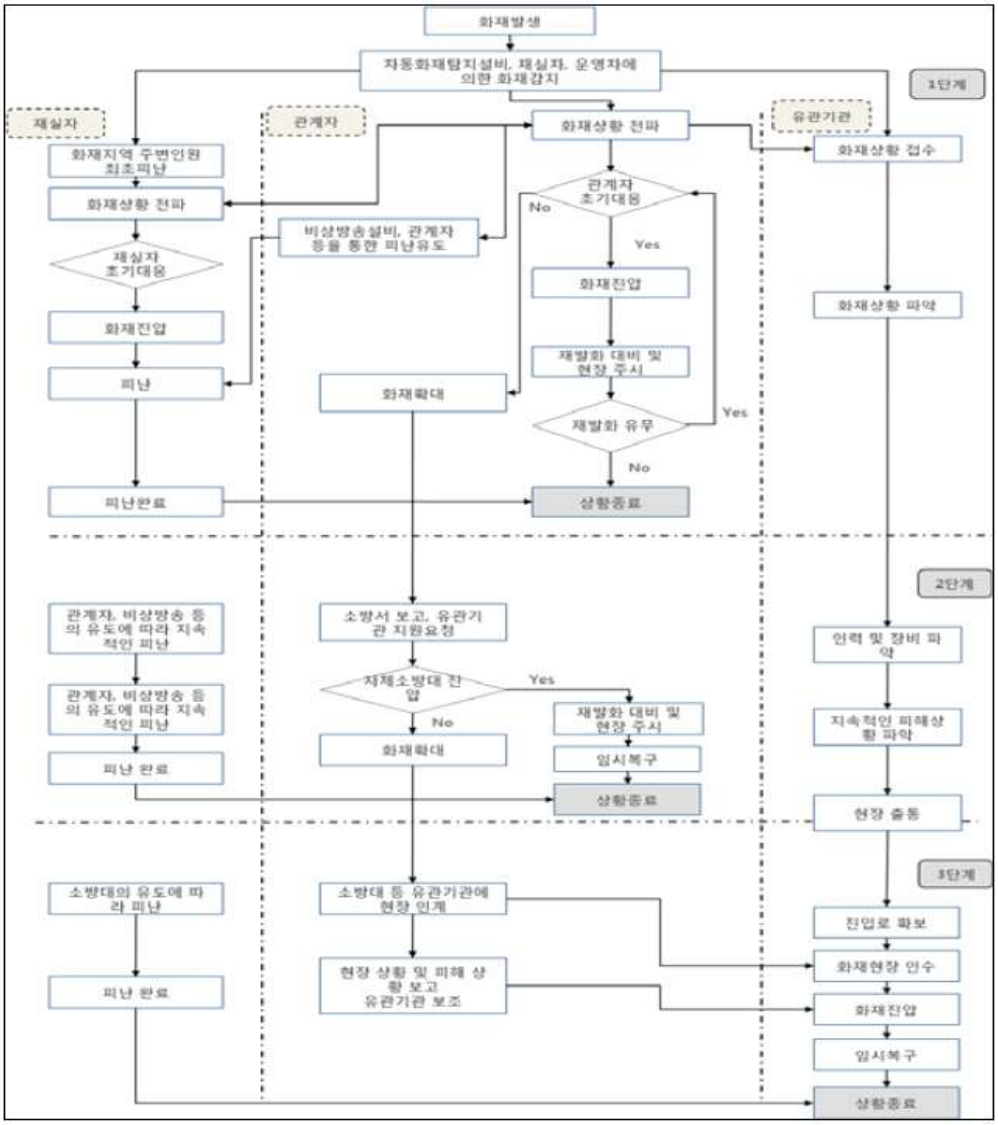
○ 초고층복합빌딩의 재난사고에 대응하기 위해 각종 재난별로 일어날 수 있는 사고시나리오를 제시할 필요가 있음

○ 초고층복합빌딩 사고대응 시나리오 구축 방법

[표 2-3-73] 초고층복합빌딩의 단계별 사고대응

| 구분 | | 단계1 | 단계2 | 단계3 |
|---|---|---|---|---|
| 내용 | | 실질적인 피해를 동반하지 않는 초기단계 | 사고확대의 초기단계<br>화재의 경우 자체소방대에 의한 진압 가능 | 사고 확대로 자체적인 진압이 불가능한 단계 |
| 관계자 | 내부 | 재실자, 운영관리자 | 운영관리자에 의한 자체소방대 | 사고상황에 따른 소방대의 보조역할 |
| | 외부 | | | 유관기관(소방서, 경찰서, 병원, 전력 및 가스 관련 기관 등) |

○ 초고층복합빌딩 사고대응 시나리오 적용 프로세스




[그림 2-3-25] 초고층복합빌딩의 사고대응 시나리오 적용 프로세스

○ 도출된 초고층복합빌딩에서의 재난 유형별 시나리오를 기반으로 사고대응 주체의 행동절차 및 운영절차를 시스템화하고 사고시나리오에 기반한 상황 대응이 필요

2) 세빛둥둥섬 피난시나리오 적용 사례

○ 피난대상인원 산정은 용도와 특성에 따라 “NFPA 101 CODE”와 “일본 건설성 건축방재지침“에서 제시하는 용도별 피난인원밀도 산정을 기준으로 하여 산정하였고, 수용인원이 결정되어진 경우에는 NFPA 코드와 일본건축 방재지침의 기준을 모두 검토하여 최대 수용인원이 산정되어진 기준을 적용하여 최대수용인원을 산정

○ 각 공간에 대한 용도별, 기능별특성 및 피난인원 밀집도와 피난시설의 용량 등을 종합 분석하여 대상공간을 선정

○ 피난시뮬레이션 대상공간의 선정방법

– 가장 사람 수가 많은 공간

– 용도별, 기능별 공간 중에서 가장 기준이 되거나 대표적인 공간

– 불특정 다수인이 군집하는 공간

– 피난로가 편중되어 있는 등 안전성에 문제가 있다고 생각되는 공간

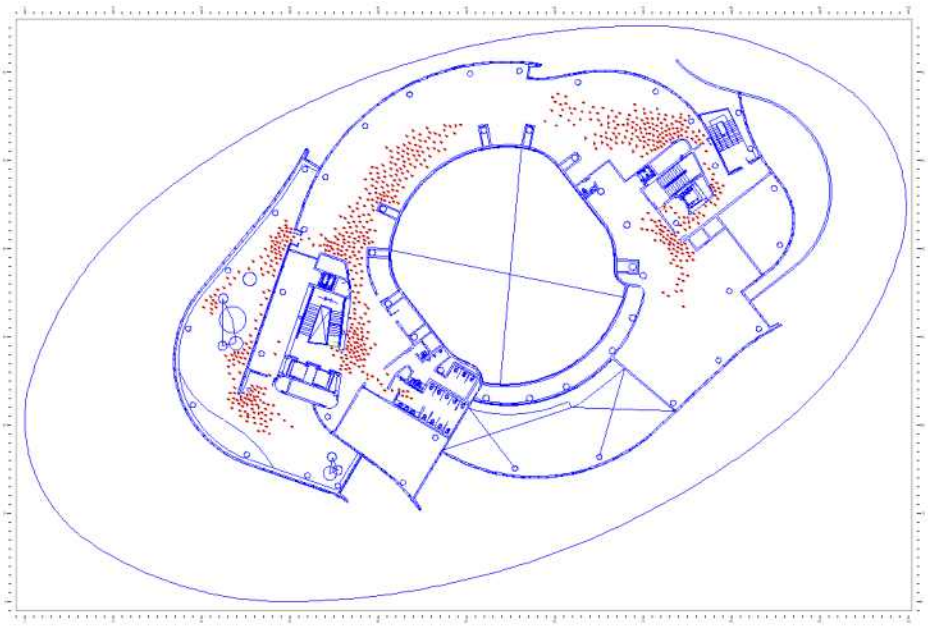
○ 피난 시나리오의 선정

– 한강 플로팅 아일랜드 제1섬, 제2섬, 제3섬의 각 층별

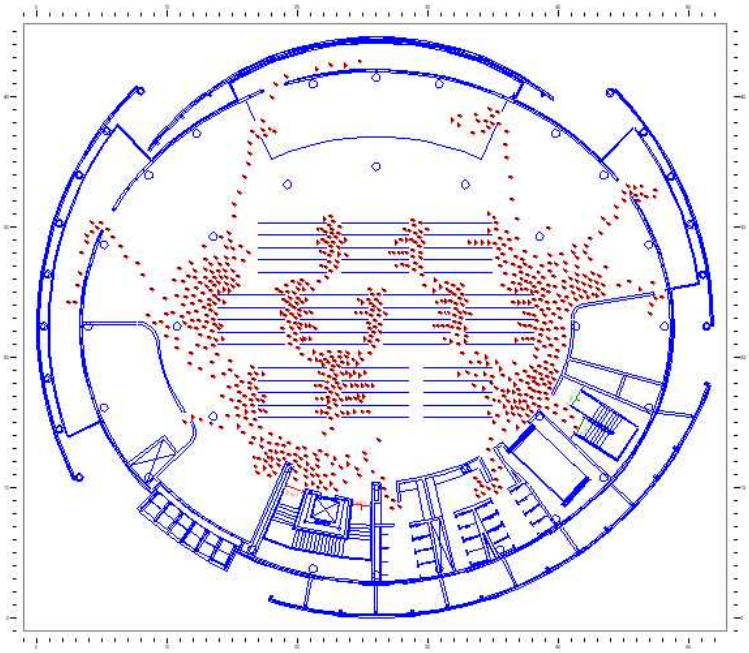
– 한강 플로팅 아일랜드 각 섬별 피난

– 한강 플로팅 아일랜드 각 섬을 통합한 전체

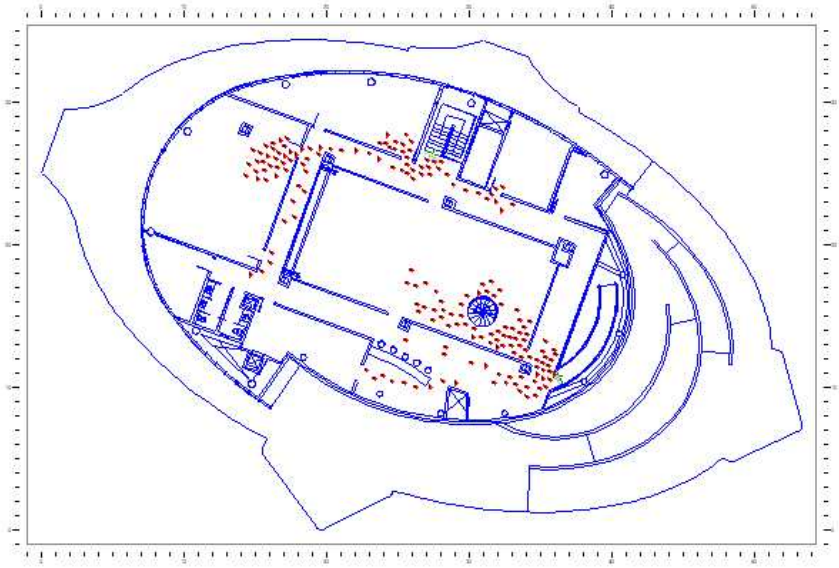
○ 피난 시나리오별 결과



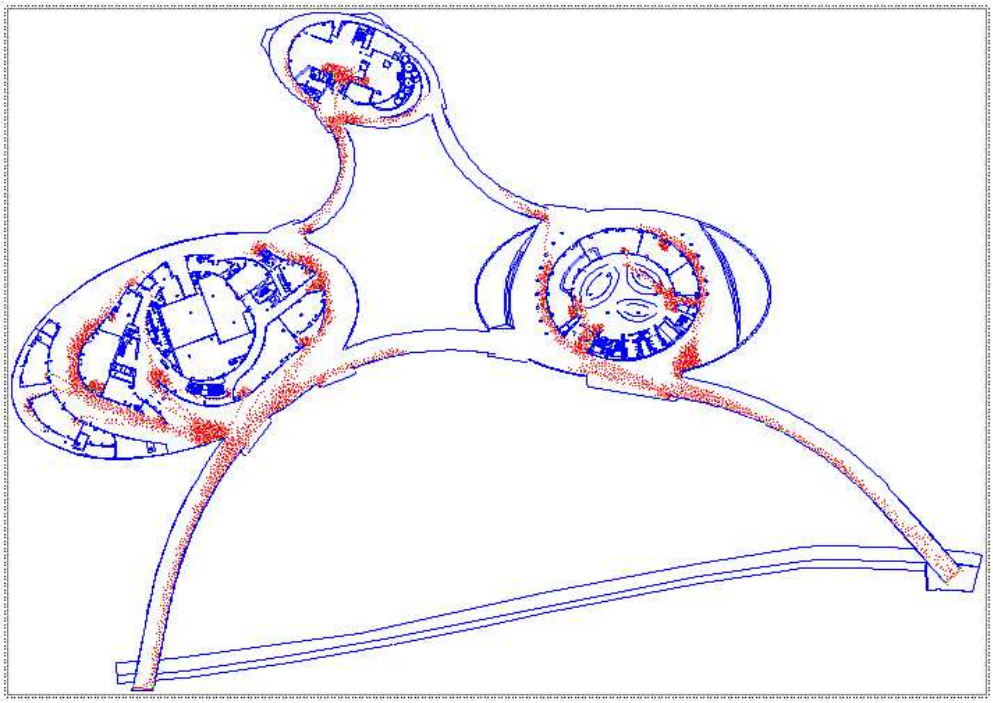
[그림 2-3-26] 제1섬 3층 피난시작 10초 후



[그림 2-3-27] 제2섬 피난시작 10초 후



[그림 2-3-28] 제3섬 2층의 피난시작 10초 후



[그림 2-3-29] 한강 플로팅 아일랜드 전체의 피난시작 30초 후

○ 시뮬레이션 결과 설계인원 7442명에 대한 전체 피난시간은 30분19.9초 소요

○ 한강 플루팅 아일랜드의 전체 피난시뮬레이션 Data 분석에 따른 결론

- 각 섬에 대한 각 층 별 피난시뮬레이션을 수행한 결과 피난허용시간 이내에 피난이 완료되는 것을 확인함
- 전층 피난시나리오와 각 섬의 개별 층에 대한 피난시나리오의 시뮬레이션

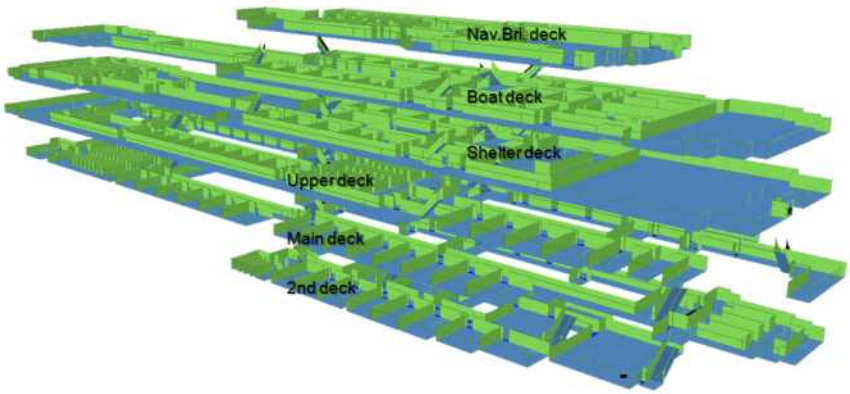
결과를 비교함으로써 피난로의 피난 하중을 줄일 수 있는 방안 제시함

- 제1섬 및 제2섬의 야외 데크나 제3섬의 옥상에 구조대를 설치함으로써 비상시 피난대피 공간 확보
- 또한 비상시 한강의 수중으로 탈출하는 경우에는 인명구조선이나 개별 구명구조대를 일정 수량이상 갖출 것을 권장함

3) 선박 피난시나리오 사례

○ 크루즈 혹은 중대형 여객선에 승선한 승객의 활동이 다양하다는 점에 주목하고, 선박 내 재난발생을 가상하여 선내 승선자의 군집유형에 따른 피난시간과 특성을 시뮬레이션에 의해 예측 비교

○ Navigation and Bridge deck, Boat deck, Shelter deck, Upper deck, Main deck, 2nd deck 등 총6개의 deck로 구성된 한국해양대학교 운항실습선 한바다호를 대상으로 시나리오를 개발하고 시뮬레이션을 수행




[그림 2-3-30] 한바다호의 피난시뮬레이션 모델링

○ 운항실습선에서 생활하는 승조원들의 생활환경에 대한 인터뷰를 통해 선내 생활은 정규 활동, 식사, 그리고 휴식 혹은 취침의 3가지 행동이 대표성을 갖는 것으로 분석되었기 때문에 이를 기초로 승조원의 군집유형 시나리오를 개발함

- 시나리오 A : 모든 승조원이 지정된 선실에 위치
- 시나리오 B : 모든 승조원이 업무공간에 배치. 단지 강의실 등은 규정 인원의 60%가 재실하는 것으로 설정
- 시나리오 C : 모든 승조원이 소속 식당에 위치

○ 시뮬레이션 결과를 요약 정리하면 다음과 같음

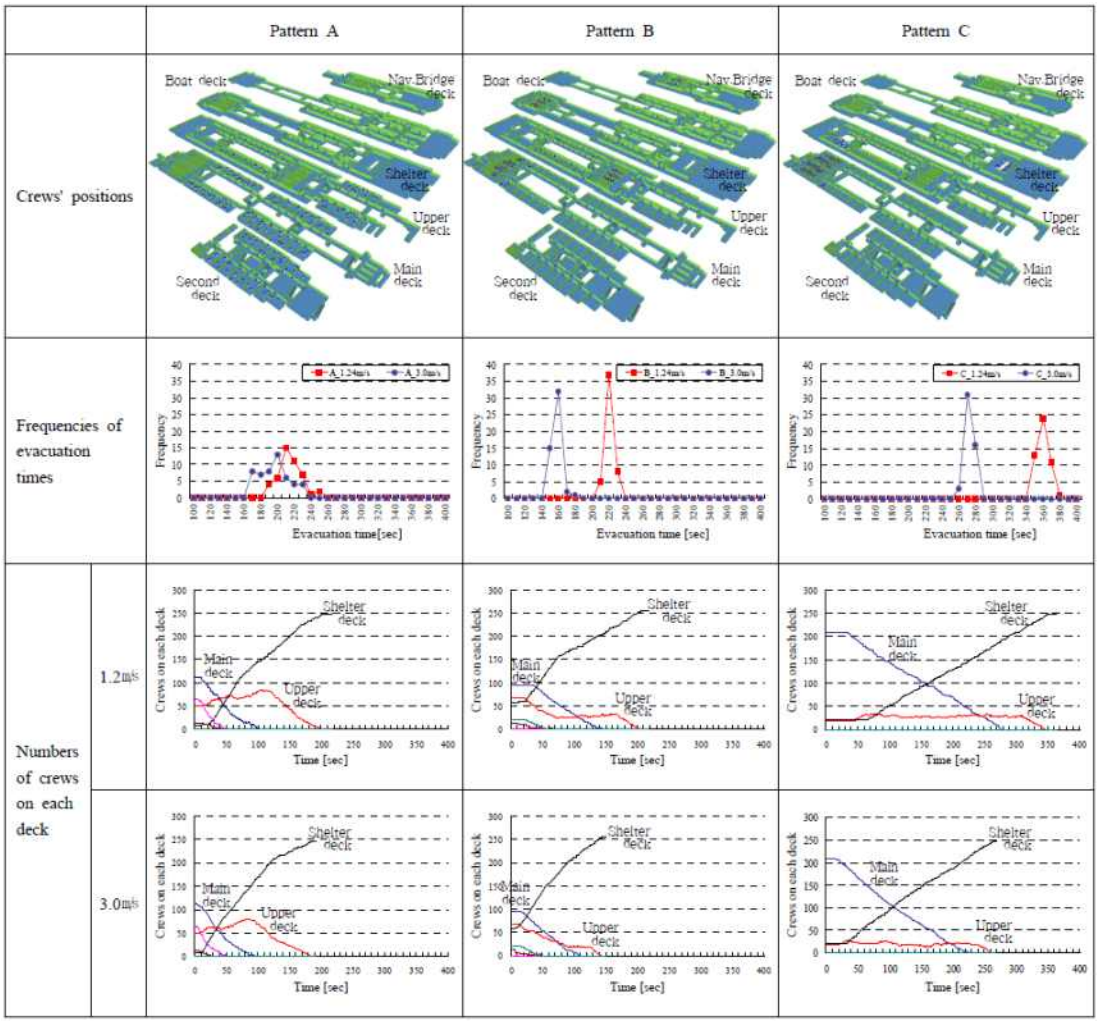
- 군집유형 A의 피난시간은 피난속도에 따라 평균 200초~215초이고, deck별 피난자 수 변화에서 Upper deck에서 일부 정체 발생

- 군집유형 B의 경우 피난속도 1.2㎧ 일 때 피난시간은 평균 220초, 3.0㎧ 일 때 평균 160초로, 이 유형에서는 이동속도가 전체 피난시간에 큰 영향을 미치는 것으로 해석되며, 또한 시간경과에 따른 deck별 피난자의 정체구간이 가장 짧은 것으로 나타남

- 군집유형 C는 피난속도 1.2㎧ 일 때 피난시간은 평균 360초, 3.0㎧ 일 때 평균 270초가 소요되어 90초의 피난시간 차이가 발생함에 따라, 이 유형에서도 이동속도는 전체적인 피난시간에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 해석. 시간경과에 따른 deck별 승조원 수 증감의 변화에서 모든 피난자가 지정된 1차 집결지로 모이기 직전까지 Upper deck에는 피난자가 존재하고 있어 이 유형에서는 Upper deck가 피난의 병목지점으로 작용한 것으로 분석

- 군집유형간 비교분석을 통해 승조원이 고르게 분포해 있는 군집유형 B의 피난시간이 가장 짧았고 deck별 피난자 정체구간도 없었지만, 군집유형 C의 경우 승조원이 특정공간에 집중적으로 분포함에 따라 피난과정에서 Upper deck가 병목 구간으로 작용하였고 피난시간이 오래 걸리는 것으로 평가됨

[표 2-3-74] 시나리오별 시뮬레이션결과 비교



(라) 피난시나리오의 개발

○ 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 피난안전성 분석 목적

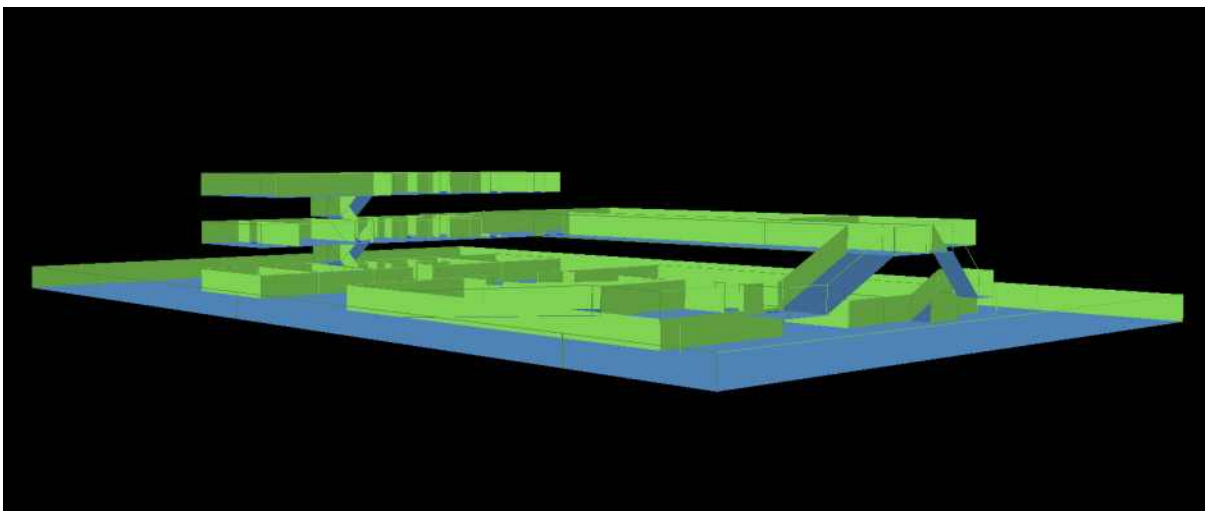
– 건축계획상 피난시설에 대한 피난용량 및 위치의 적정성을 종합적으로 검토 분석하고, 동시에 화재 위험성이 높은 대상공간의 피난안전성 확보여부를 검증

– 또한, 단지 피난시간의 확보여부 및 피난한계시간에 대한 예상이기보다는 건축물 대상 공간 내 피난동선의 구성 및 피난시설의 적절한 배치와 화재 확산에 대한 대책 등을 마련하기 위한 공학적이고 과학적인 방재계획

○ 본 연구에서 Satety at Sea Ltd.(UK)가 개발한 상업용 해상구조물 내 인적 피난프로그램인 Evi Ver.3.7.4를 활용해 시뮬레이션을 수행함

○ 각 피난객체의 평균이동속도는 평지 1.30±0.25㎧, 상향계단 0.63±0.25㎧, 하향계단 0.86±0.25㎧로 플로팅 건축물 특성을 고려하여 설정함

○ 대상 공간의 시뮬레이션 모델링 결과



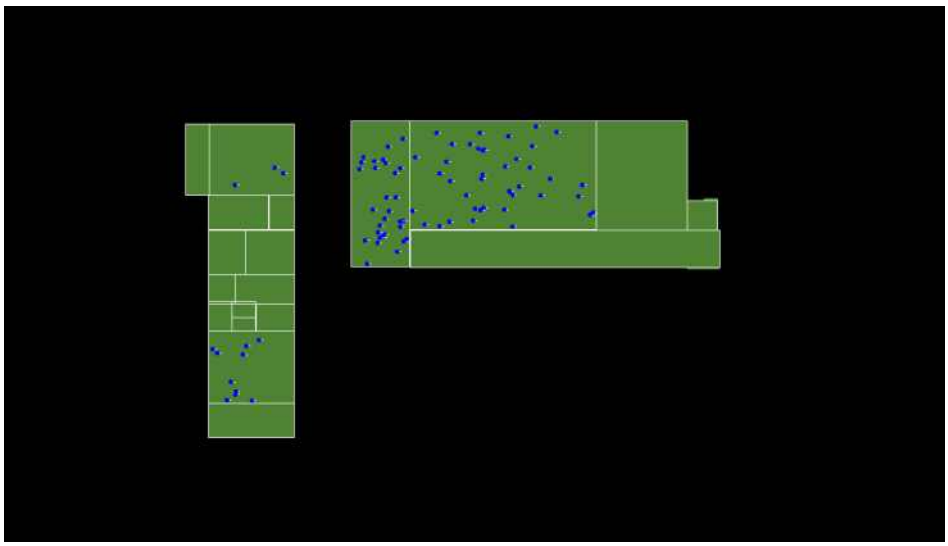
[그림 2-3-31] 시뮬레이션 모델링 결과

○ 각 공간의 인원배치, 즉 피난초기조건은 전시동 1층에 220명, 2층에 70명으로 설정하였고, 관리동 1층은 8명, 2층은 13명, 3층은 12명으로 설정함

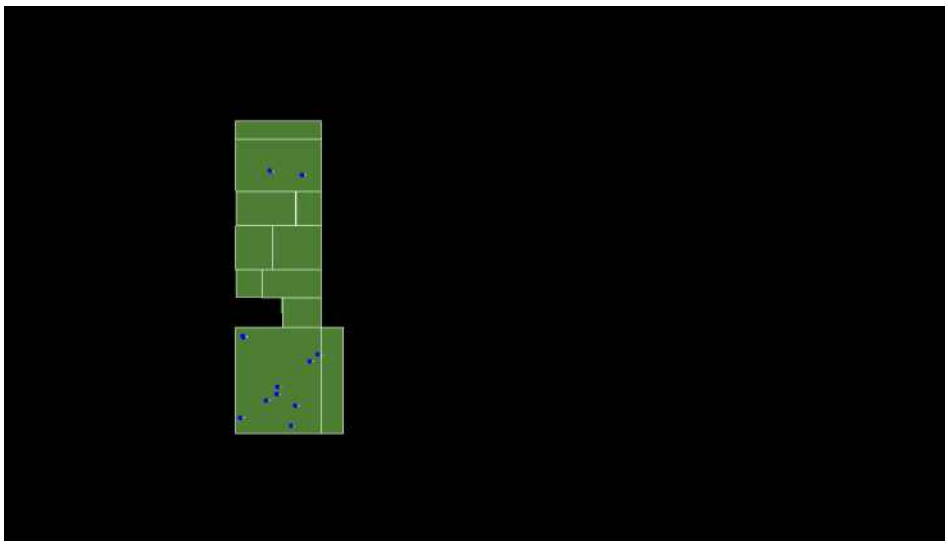
○ 아래 그림들은 각 층별, 공간별 인원배치를 보여줌



[그림 2-3-32] 1층(관리동, 전시실) 평면 및 인원배치



[그림 2-3-33] 2층(관리동, 전시실) 평면 및 인원배치



[그림 2-3-34] 3층(관리동) 평면 및 인원배치

(4) 피난시나리오의 피난성능 예측결과

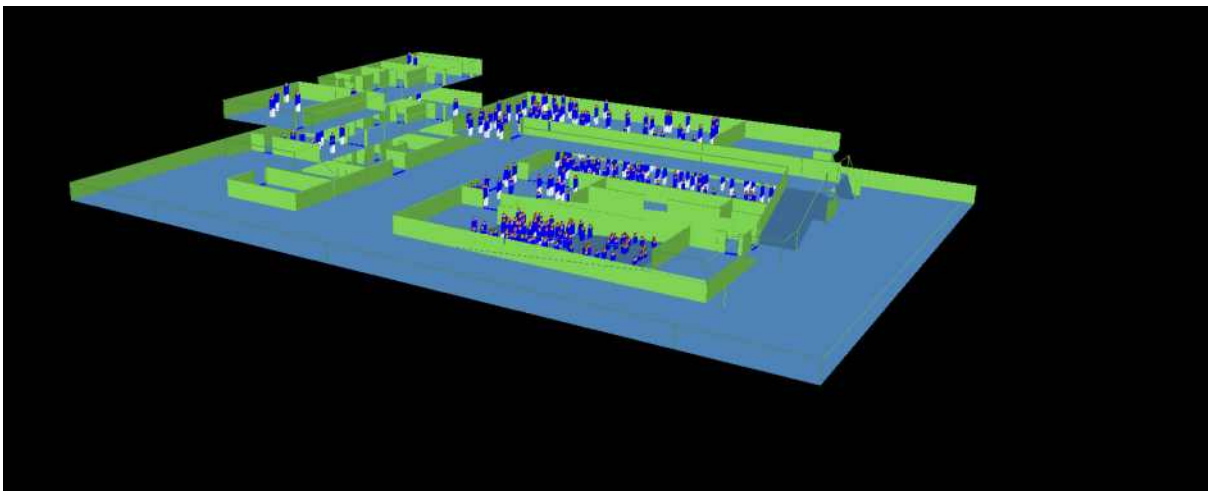
○ 각 피난시나리오의 피난성능은 각 공간에서 피난출구까지 탈출하는 완료시간을 산출하고 피난출구별 시간에 따른 피난인원의 유동계수를 분석하여 피난성능을 비교 검토함

○ 재난의 유형은 정의하지 않았으며, 임의 재난 발생시 예상 가능한 집합형태에 대한 예측을 수행함

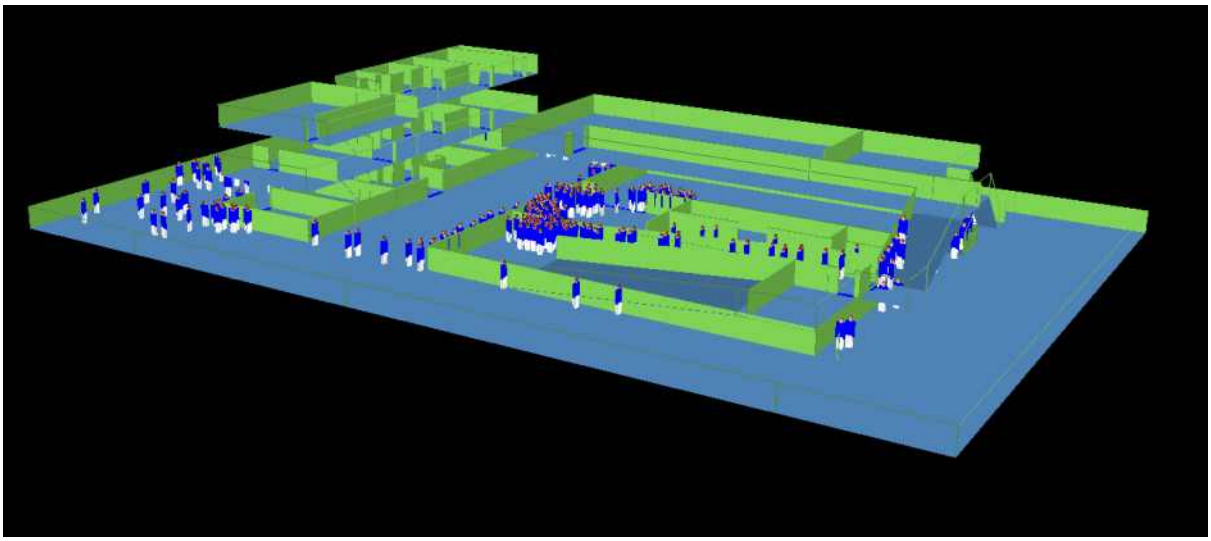
○ 피난시나리오의 설정

- 시나리오 A : 1층 좌측 개방공간에 피난집합
- 시나리오 B : 1층 우측 개방공간에 피난집합
- 시나리오 C : 1층 좌우측 개방공간에 피난집합
- 시나리오 D : 연결교를 이용해 육지로 피난집합(연결교 1개인 경우)
- 시나리오 E : 연결교를 이용해 육지로 피난집합(연결교 2개인 경우)

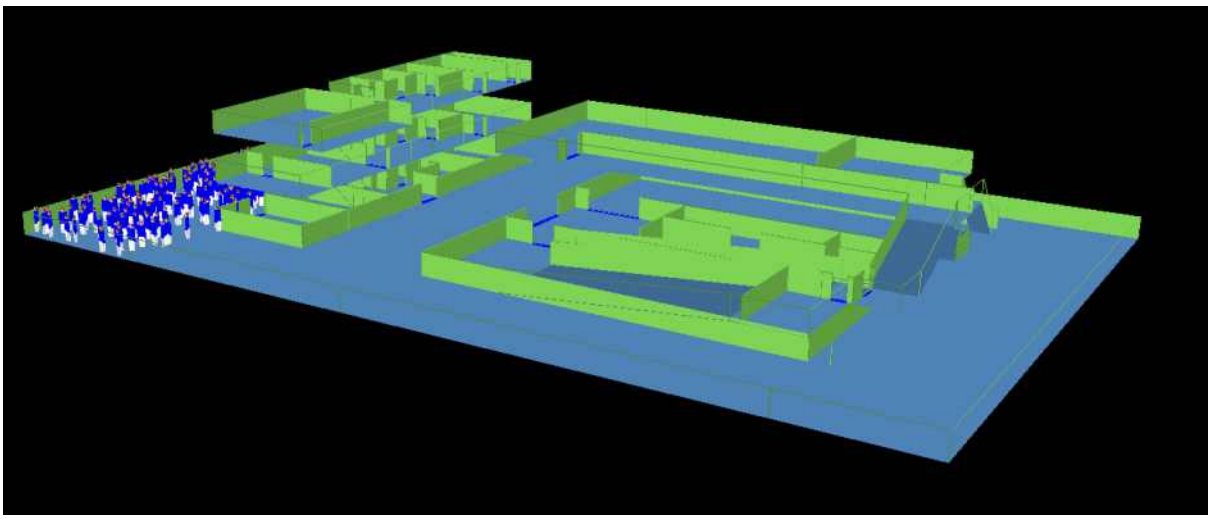
○ 피난시나리오 A의 예측결과 : 피난시간 총 214.5초 소요



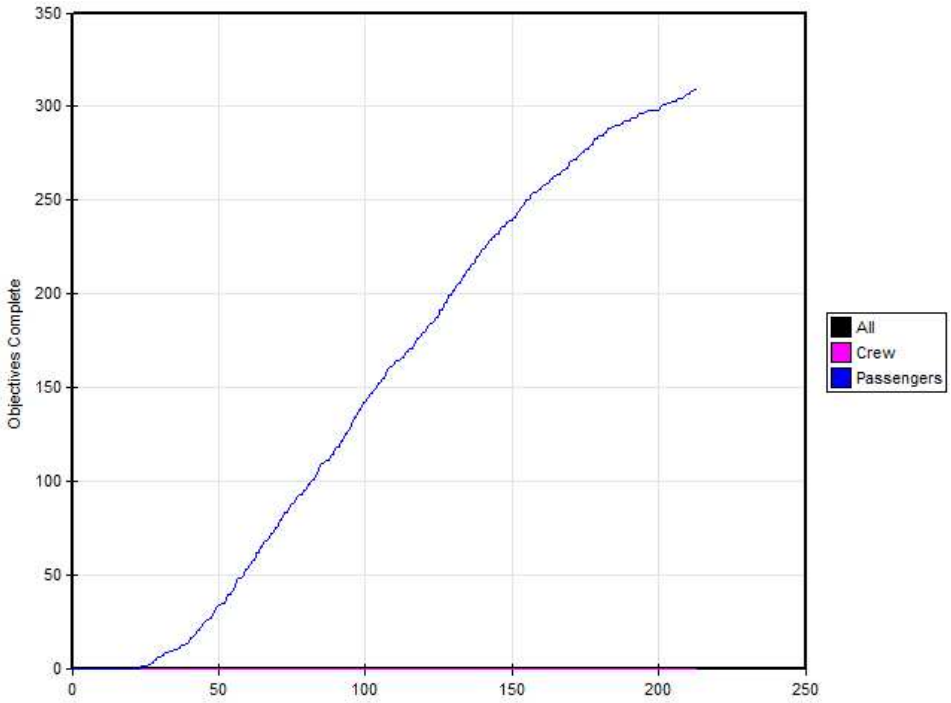
[그림 2-3-35] 피난시나리오 A의 시작전 모습



[그림 2-3-36] 피난시나리오 A의 중간시점 모습

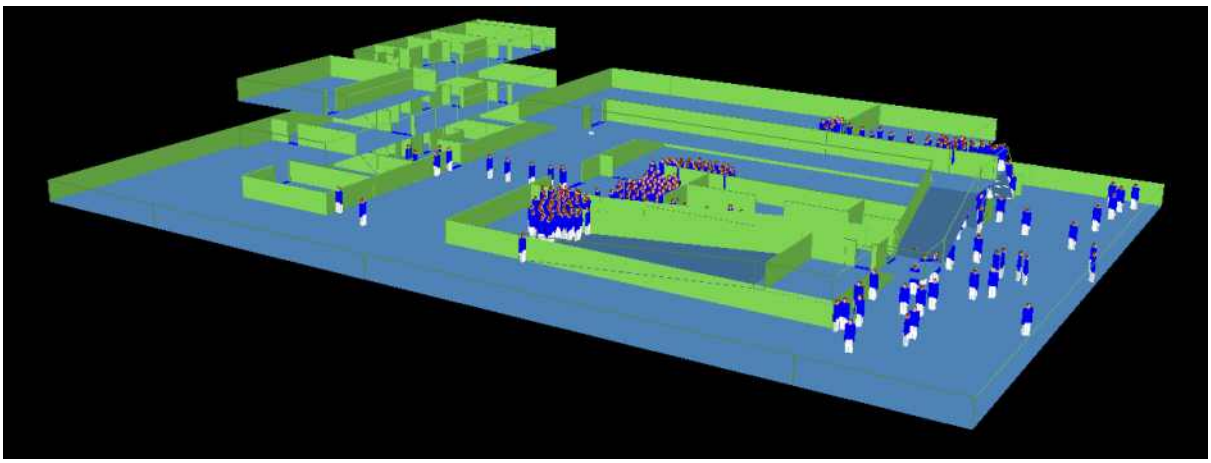


[그림 2-3-37] 피난시나리오 A의 종료후 모습

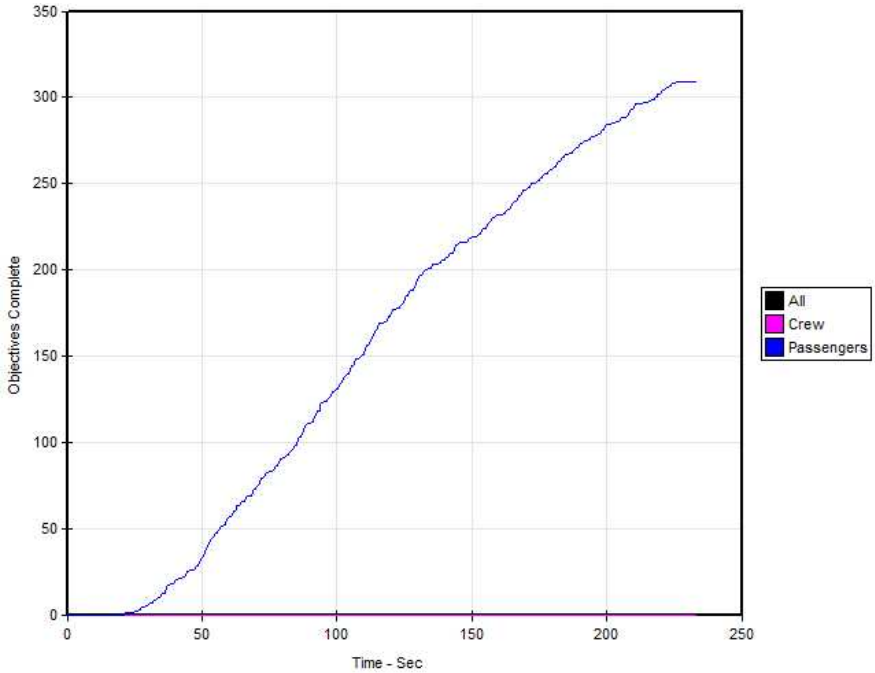



[그림 2-3-38] 피난시나리오 A의 시간별 누적 피난자 수

○ 피난시나리오 B의 예측결과 : 피난시간 총 221.0초 소요

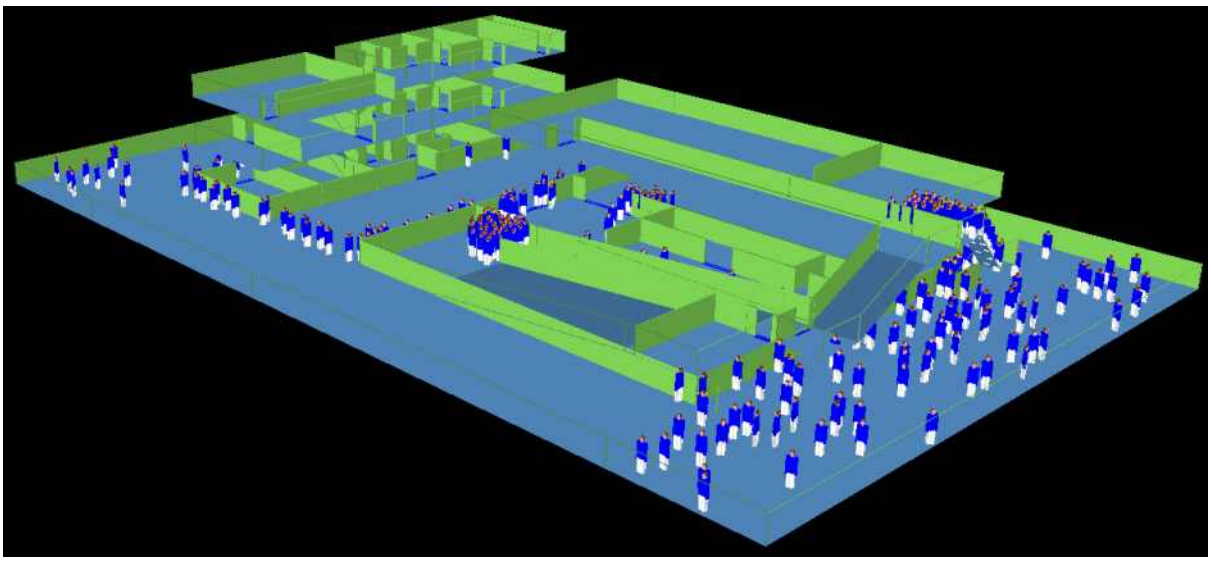


[그림 2-3-39] 피난시나리오 B의 중간시점

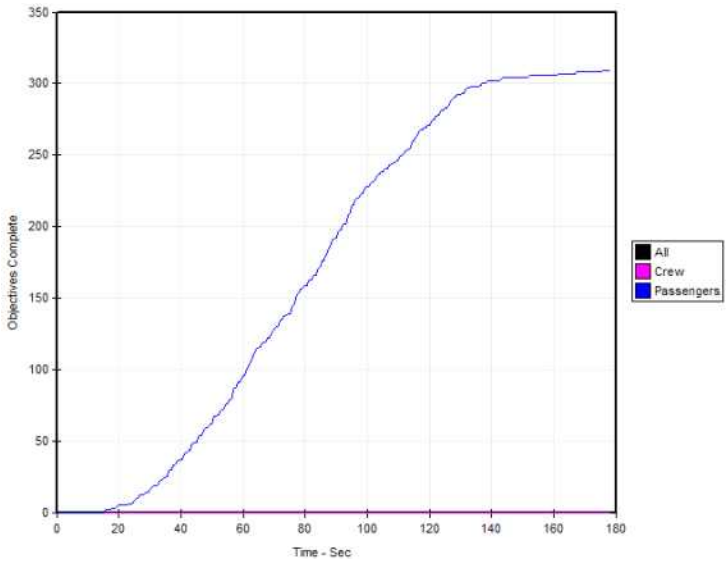



[그림 2-3-40] 피난시나리오 B의 시간별 누적 피난자 수

○ 피난시나리오 C의 예측결과 : 피난시간 총 179.5초(2분 59.5초) 소요

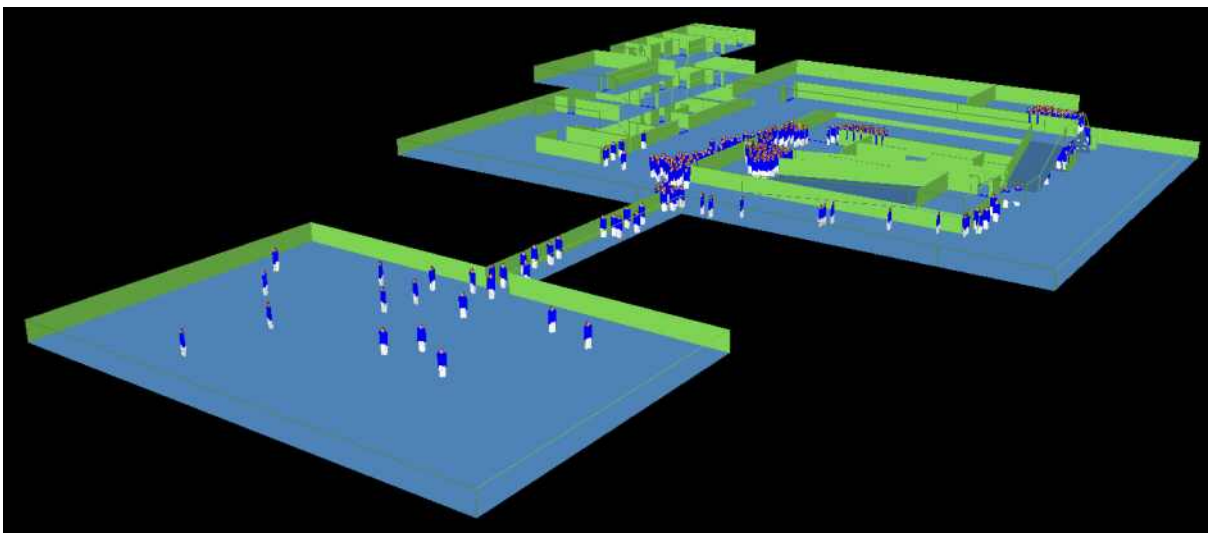


[그림 2-3-41] 피난시나리오 C의 중간시점 모습

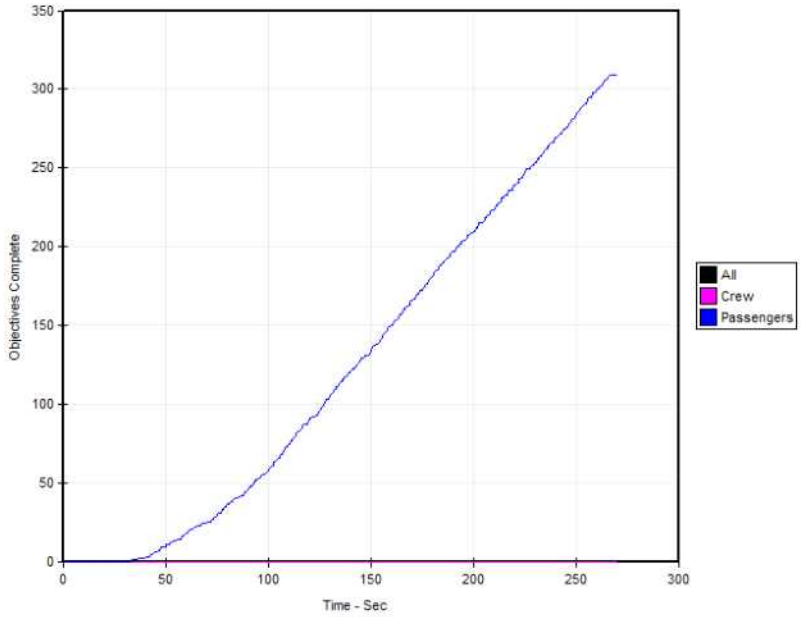



[그림 2-3-42] 피난시나리오 C의 시간별 누적 피난자 수

○ 피난시나리오 D의 예측결과 : 피난시간 총 270.5초 소요

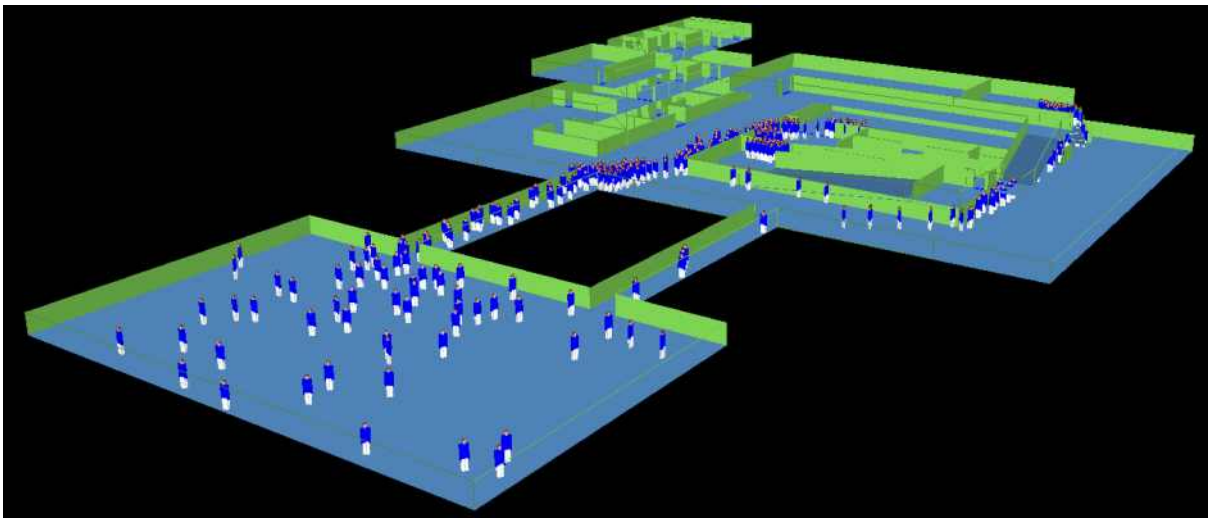


[그림 2-3-43] 피난시나리오 D의 중간시점 모습

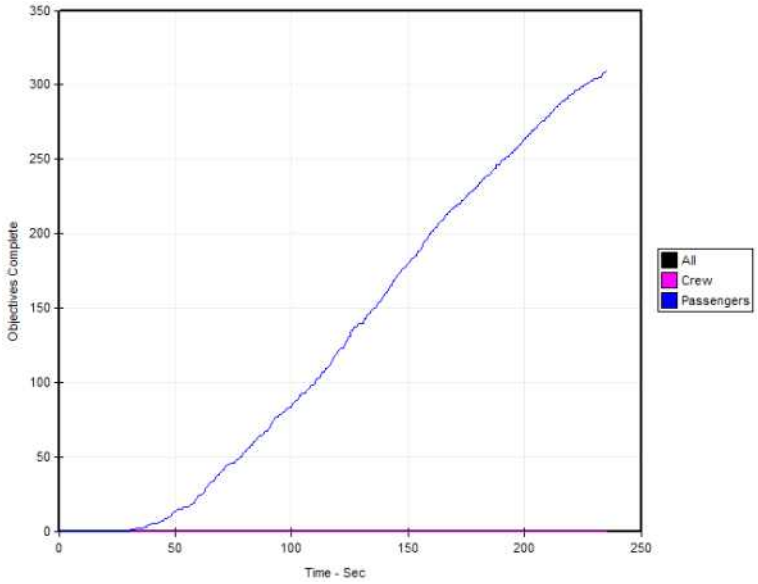



[그림 2-3-44] 피난시나리오 D의 시간별 누적 피난자 수

○ 피난시나리오 E의 예측결과 : 피난시간 총 236.5초 소요



[그림 2-3-45] 피난시나리오 E의 중간시점 모습




[그림 2-3-46] 피난시나리오 E의 시간별 누적 피난자 수

(2) 화재시나리오의 개발 가능성 검토

(가) 화재시뮬레이션의 개요

○ 화재시뮬레이션 툴

- 미국 표준 기술국인 NIST(National Institute of Standards and Technology)에 의해 개발되고 배포된 Field Modeling 화재시뮬레이션 소프트웨어인 FDS (Fire Dynamics Simulator)
- FDS는 화재에 의해 일어나는 유체의 유동을 다루기 위한 전산유체역학모델로 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 분석
- 화재로부터 나오는 열과 연기의 초점을 맞춘 열적 구동흐름에 대한 적절한 Navier-Stokes 방정식을 이용해 화재 발달상황을 예측

○ 화재시뮬레이션 평가기준

- 화재 발생후 화재전개에 따른 인명안전에 위험이 되는 임계조건에 도달하는 시간인 임계시간 도출 기준

Clear layer 높이 =1.5m

Clear layer 평균온도 < 65℃(안전허용 기준), 120℃(위험한계기준)

연기입자밀도(㎎/㎥) < 5000㎎/㎥

일산화탄소 농도(ppm) < 500ppm

(나) 화재시뮬레이션 조건

○ 플로팅 건축물의 경우 육상 건축물과 달리 수상에 위치하는 특수성을 가지고 있기 때문에 화재가 발생했을 시 바람과 같은 기상조건의 영향이 큼

○ 본 연구에서는 화재 시뮬레이션 프로그램(FDS)을 기반으로 한 Pyrosim을 이용하여 제안된 플로팅 건축물의 화재 발생 가능성이 높은 장소에서 화재 확산에 영향을 미치는 요소 중 하나인 바람에 따른 화재 발달 성능 시뮬레이션을 수행함

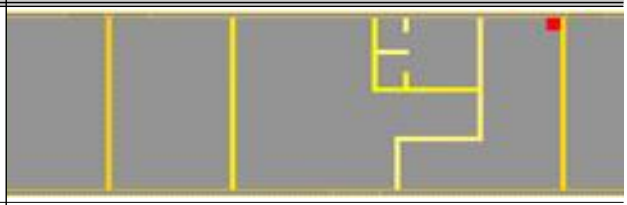
○ 플로팅 건축물의 업무시설 공간 중에서 주요 기계 및 장비가 근처에 있어 화재 발생 시 건물 전체에 큰 영향을 미칠 수 있는 1층 관리실을 대상으로 화재시뮬레이션을 수행

○ 화재는 1층 관리실 벽면 근처 가연물의 발화로 화재가 발생하여 주변 벽면을 연소시키면서 화재가 확대하는 것으로 가정

○ 플로팅 건축물의 특수성을 고려하여 화재 확대에 큰 영향을 미치는 바람에 의한 화재 발달 성능을 살펴보기 위하여 풍속 조건 설정에 따라 시나리오 1, 2로 나누어 시뮬레이션을 실시

○ 시뮬레이션의 상세 조건

[표 2-3-76] 시뮬레이션 조건

| Classification | Contents | |
|---|---|---|
| Floor plan |  | |
| Plane size | 7.4m×27.2m×10.1m | |
| Cells | Size(m) | 0.31×0.31×0.28 |
| | Number of cells for mesh:81,000 | |
| Set point | Heat release rate | 3,000kW |
| | Wind velocity | 5m/s |
| | Time | 0-500sec |

(다) 화재시뮬레이션 결과

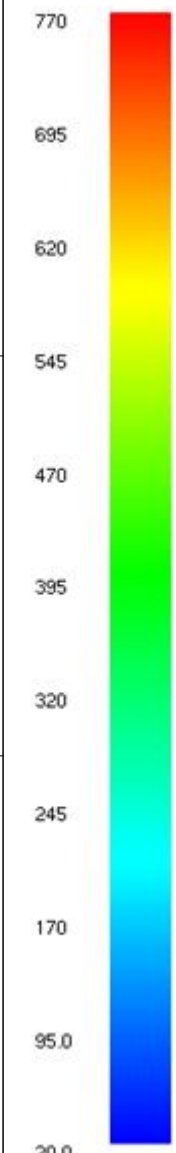
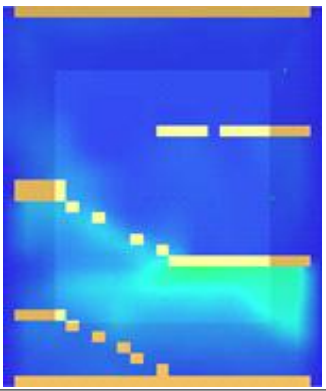
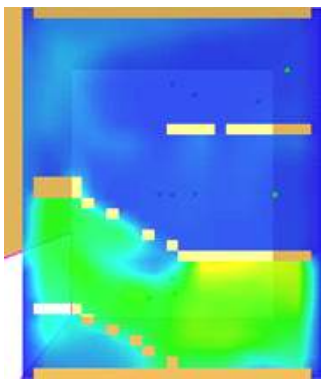
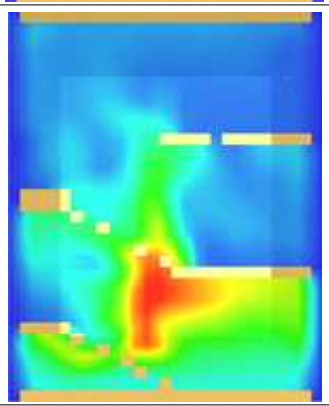
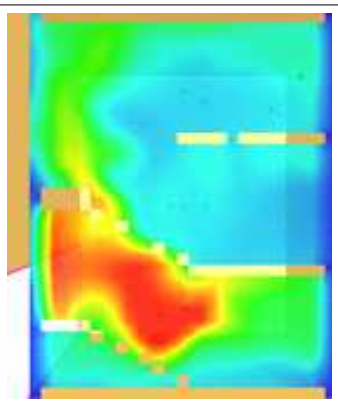
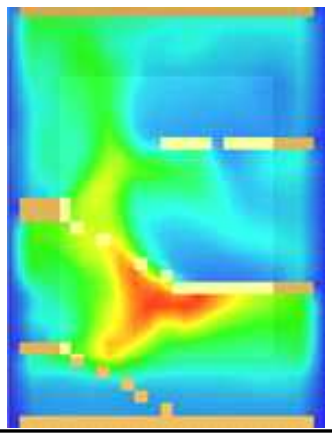
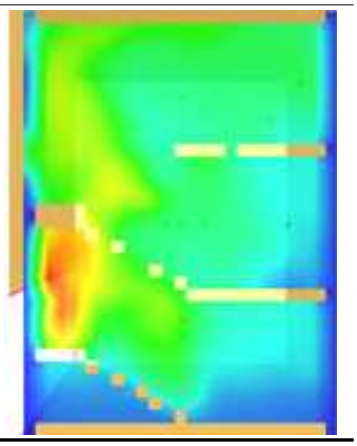
○ 시뮬레이션 결과

– 화재가 발화하고 난 뒤 50초가 되었을 때 각 시나리오별 단면을 살펴보면, 시나리오 1의 경우 시나리오 2에 비하여 상대적으로 온도의 분포가 낮은 것으로 예측됨

- 그 다음 100초가 되었을 때 각 시나리오별 온도 분포를 살펴보게 되면 50초 때에 비하여 더 큰 차이가 발생
- 시나리오 1의 경우 화염의 확대로 인하여, 50초 때에 비하여 1층 전체를 비롯하여 2층까지 온도 분포가 확대
- 시나리오 2의 경우, 바람의 영향으로 인하여 3층까지 온도분포가 넓어짐
- 150초 때도 마찬가지로 시나리오 2의 경우 시나리오 1에 비하여 건물 전체에 온도가 확산

○ [표 2-3-77]은 업무시설 공간 중앙에서의 온도 분포 결과를 니타냄

[표 2-3-77] 업무시설 중앙부의 온도분포(단면)

| Time | Temperature | Scenario 1 | Scenario 2 (Wind) |
|---|---|---|---|
| 50 sec |  |  |  |
| 100 sec | |  |  |
| 150 sec | |  |  |

라. 피난 및 방재계획 기준 수정보완

○ 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)의 내용은 「건축법」 및「 선박법」에서 규정하고 있는 관련 기준 및 국외 플로팅 건축물 관련 기술기준들을 종합하여 설정한 것임

○ 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준은 기본적으로 「건축법」및 일반 건축물에 적용되는 피난 및 방재관련 법에서 정하는 사항을 따르도록 기준을 설정하였으며, 플로팅 건축물의 구조 및 입지적 등의 특성에 따라 적용이 어려움 부분에 대해서는 「선박법」 및 국외 관련 기준에서 정한 사항 따르도록 하였음

○ 엔지니어링 테스트베드 설계 과정에서 도출된 문제점 및 플로팅 건축물에 적용에 있어 제한된 사항에 대하여 수정 보완함

○ 특히, 하부함체 구조 및 활용 특성에 따라 함체 내부를 거실로 사용하는 경우 등 피난 및 방재계획이 선행되어야 하는 부분에 대하여 추가적인 기준을 제시함

○ 수정보완된 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)의 구성 및 내용은 다음과 같음

[표 2-3-78] 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안) 구성

| 제1편 총칙 | 제2편 피난 | 제3편 방재 |
|---|---|---|
| 제1조(목적)<br>제2조(정의)<br>제3조(적용범위)<br>제4조(적용의 특례) | 제5조(대지 안의 피난통로 설치)<br>제6조(내부 피난통로의 설치)<br>제7조(직통계단의 설치)<br>제8조(피난계단의 설치)<br>제9조(옥외 피난계단의 설치)<br>제10조(승정데크의 설치)<br>제11조(구명설비의 비치)<br>제12조(관람석 등으로부터의 출구 설치)<br>제13조(상부건축물 바깥쪽으로의 출구 설치)<br>제14조(계단 및 복도의 설치)<br>제15조(거실반자의 설치)<br>제16조(채광 및 환기를 위한 창문 등)<br>제17조(안내판의 설치)<br>제18조(피난모의실험 결과의 반영)<br>제19조(피난계획서의 제출) | 제20조(재해방지계획의 제출)<br>제21조(내화구조)<br>제22조(방화구조)<br>제23조(난연재료)<br>제24조(불연재료)<br>제25조(준불연재료)<br>제26조(방화구획의 설치)<br>제27조(방화문의 구조)<br>제28조(소방시설의 설치)<br>제29조(침수방지)<br>제30조(수밀격벽의 구조)<br>제31조(충돌방지)<br>제32조(안정성의 확보)<br>제33조(하부함체의 구조)<br>제34조(하부함체의 설비)<br>제35조(계류시설의 설치)<br>제36조(해양오염방지) |

## - 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안) -

### 제1편 총 칙

**제1조(목적)** 이 기준은 「부유식 건축물 조례」에 따른 부유식 건축물의 피난 및 방재계획의 기술적 기준을 정함을 목적으로 한다.

**제2조(정의)** 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “부유식 건축물”이라 함은 「부유식 건축물 조례」에서 정한 건축물로서 부력에 의해 구조물의 자중 및 외력에 저항하는 형태의 건축물이며 상부시설물과 하부함체로 구성된다.
2. “상부시설물”이라 함은 부유식 건축물에서 하부함체 위에 설치되며 건축물의 용도, 기능, 형태 및 구조적 특징을 가진 시설물을 말한다.
3. “하부함체”라 함은 부유식 건축물에서 상부시설물을 부력으로 지지하는 구조물로서 물위에 떠 있거나 물속에 잠겨있는 구조물을 말한다.
4. “피난층”이란 다음 각 목의 것을 말한다.

   가.「건축법」시행령 제34조에서 정한 직접 지상으로 통하는 출입구가 있는 층

   나. 육상으로 연결된 피난통로 또는 피난이 가능한 선박을 이용할 수 있는 외부데크로 직접 통하는 출입구가 있는 층

   나. 구명정 및 헬리콥터 등 탈출기구를 탑승할 수 있는 승정데크로 직접 통하는 출입구가 있는 층
5. “피난시설”이란 부유식 건축물로부터 안전한 장소로 피난하기 위하여 직접 이용할 수 있는 시설로서 복도, 출입구, 직통계단, 피난계단 등 「건축법」에서 정한 피난시설을 말한다.
6. “피난기구”란 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」시행령 제3조 관련 [별표1] 소방시설에서 정한 피난설비를 말한다.
7. “탈출”이란 구명정, 구명부의, 헬리콥터 등 탈출기구를 이용해 부유식 건축물에서 안전한 곳으로 벗어나는 행위를 말한다.

**제3조(적용범위)** ① 이 기준은 「부유식 건축물 조례」에서 정한 부유식 건축물에 대하여 적용한다. 다만, 단독주택(1세대가 거주하는) 용도로 사용되는 부유식 건축물에 대하여는 이를 적용하지 아니한다.

② 이 기준에서 부유식 건축물의 용도별 종류는 「건축법」시행령 제3조의 5 관련

[별표1] 용도별 건축물의 종류에서 정한 것을 따른다.

③ 이 기준에서 규정하지 않은 사항은 「건축법」, 「소방기본법」, 「선박안전법」, 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」등 관련 법률에서 정한 사항을 적용한다.

④ 제3항에서 규정한 관련 법률에 따른 기준이 동일한 사항에 대해 둘 이상 서로 중복되거나 서로 대치되는 경우에는 관련 전문단체 협의를 거쳐 기술심의위원회에서 기준을 정할 수 있다.

⑤ 제1항의 기준에도 불구하고 단독주택(1세대가 거주하는)이 2동 이상 동일한 수역에 배치되는 경우 본 기준 제5조 기준을 적용한다.

**제4조(적용의 특례)** ① 이 기준을 적용하는 것이 구조상 곤란하거나 적당하지 아니하다고 인정되는 경우에 대해서는 이 기준에도 불구하고 기술심의위원회의 심의를 거쳐 건축허가권자가 정하는 바에 의한다.

② 이 기준을 적용하는 것이 적합하지 아니하거나 이 기준에 규정되어 있지 아니한 특수한 구조, 설비 등이 이 기준에 적합한 것과 동등이상의 성능이 있다고 인정하는 경우에는 이 기준에 적합한 것으로 본다.

③ 하부함체와 관련하여 「부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준」에서 정한 것에 대하여는 이 기준에 적합한 것으로 본다.

## 제2편 피 난

**제5조(대지 안의 피난통로 설치)** ① 부유식 건축물의 대지(垈地)는 부유식 건축물의 설치 및 사용을 위해 점용·사용이 승인된 수역을 말한다.

② 부유식 건축물의 대지에는 피난을 위해 육상과 직접 연결된 2개 이상의 피난통로를 다음 각 호의 기준에 따라 설치하여야 한다.

1. 피난통로는 내화구조로 설치할 것
2. 피난통로는 조류, 파도, 조석, 바람 등 외부환경에 안전한 구조일 것(관련 전문기술자가 승인하고 기술심의위원회에서 인정한 구조일 것)
3. 피난통로에는 난간 등 안전시설을 설치할 것
4. 피난통로의 내부마감은 불연재료로 할 것
5. 피난통로에는 예비전원에 의한 조명설비를 설치할 것

6. 피난통로에는 최소 2개 이상의 소화기를 설치할 것

7. 상부시설물의 피난층 출구 및 피난계단, 특별피난계단의 출구에서 육상까지 보행거리는 50미터 이하가 되도록 설치할 것

8. 피난통로의 유효폭은 다음 각 목의 기준에 적합하게 설치할 것

가. 바닥면적 합계가 500제곱미터 이상인 문화 및 집회시설, 종교시설, 의료시설, 위락시설, 또는 장례식장의 경우에는 유효폭 3미터 이상

나. 그 밖의 용도로 사용하는 경우에는 유효폭 1.5미터 이상

다. 2개 이상의 부유식 건축물과 연결되는 피난통로에는 모든 피난통로에 가장 넓은 기준의 폭을 적용한다.

③ 제2항의 규정에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 육상과 연결된 2개 이상의 피난통로를 설치하지 않을 수 있다.

1. 부유식 건축물이 육지와 직접 면해 있으며 상부시설물의 주된 출구가 육지 방향으로 설치되고 출구와 육지 사이에 장애물이 없는 경우

2. 육상과 직접 연결된 1개 이상의 피난통로와 이 피난통로에 연결된 보조피난통로가 설치된 경우

3. 육상과 직접 연결된 1개 이상의 피난통로와 피난을 위해 상시 이용이 가능한 선박이 비치된 경우

4. 육상과 직접 연결된 1개 이상의 연결통로와 피난을 위해 상시 이용할 수 있는 안전한 구조물과 1개 이상의 연결통로로 직접 연결된 경우

5. 피난을 위해 상시 이용할 수 있는 안전한 구조물과 2개 이상의 연결통로로 직접 연결된 경우

6. 육상과 직접 연결된 피난통로의 설치가 불가능하다고 인정되고 피난을 위해 상시 이용할 수 있는 선박, 헬리콥터 등 두 개 이상의 탈출수단이 제공되는 경우

④ 제3항 제4호 및 제5호에서 규정한 “안전한 구조물”이란 당해 부유식 건축물 이외에 다른 부유식 또는 고정식 구조물로서 육상과 직접 면하여 설치되거나 육상과 직접 연결된 피난통로 혹은 상시 이용이 가능한 탈출기구가 설치된 구조물을 말한다.

⑤ 부유식 건축물의 하부함체 상부에는 다음 각 호의 기준에 따라 피난통로를 다음 각 호의 기준에 따라 설치하여야 한다.

1. 피난통로의 유효너비는 상부시설물 외부벽체 바깥 면에서 하부함체 끝의 시설물 혹은 안전난간까지 길이를 말하며 다음 기준의 유효너비로 한다.

가. 바닥면적 합계가 500제곱미터 이상인 문화 및 집회시설, 종교시설, 의료시설, 위

락시설 또는 장례식장: 유효너비 3미터 이상

나. 그 밖의 용도로 쓰는 건축물: 유효너비 1.5미터 이상

2. 피난 시 안전을 위하여 난간 등 안전시설과 구명동의 등 탈출시설을 설치할 것

3. 바닥 마감재료는 불연재료 및 내수재료로 하며 특히 물이 묻은 경우에도 미끄러지지 않는 재료로 설치할 것

⑥ 제5항의 규정에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 부유식 건축물의 하부함체 상부에 피난통로를 설치하지 않을 수 있다.

1. 부유식 건축물의 장변이 육상과 직접 면하거나 상부시설물의 주 출구 또는 비상계단 및 특별피난계단과 직접 연결된 2개 이상의 통로가 육상과 연결된 경우

2. 육지로부터 50미터 이내에 설치된 부유식 구조물로서 피난을 위하여 부유식 건축물과 연결된 1개 이상의 함체를 다음 각 목에 적합하게 별도로 설치한 경우

가. 부유식 건축물의 최대 이용자를 수용할 수 있는 규모 이상의 크기와 부력을 가진 것

나. 비상시 부유식 건축물과 쉽게 분리할 수 있는 것

다. 비상시 안전을 확보할 수 있다고 기술심의위원회가 승인한 것

⑦ 부유식 건축물의 배치에 따른 피난통로는 [별표 1] 배치형태별 피난통로 배치기준에 따라 설치하여야 한다.

⑧ 제2항부터 제6항까지의 규정에도 불구하고 당해 부유식 건축물을 대상으로 한 피난 모의실험 결과에 따라 피난통로의 너비 및 개수가 충분하지 않다고 판단되거나 구조적 특성으로 인해 이 규정의 적용이 곤란한 경우에는 기술심의위원회의에서 통로의 너비 및 개수를 따로 정할 수 있다.

**제6조(내부 피난통로의 설치)** ① 부유식 건축물의 각층 내부에는 모든 실에서 피난층과 직접 연결된 출입구 혹은 피난계단으로 최소 2방향 피난이 가능하도록 피난통로를 설치하여야 한다.

② 제1항에서 정한 피난통로는 각기 다른 방향으로 설치하여야 하며 당해 피난통로 전체 길이의 1/2이상 이격거리를 두어야 한다.

③ 하부함체 내부를 거실(밸러스터 탱크, 정화조, 기계실, 창고 등 설비시설 설치용 공간 제외)로 사용하는 경우에는 함체 내부의 모든 거실에서 피난층과 직접 연결된 피난계단 혹은 함체 외부로 연결된 비상탈출구까지 최소 2방향 피난이 가능하도록 피난통로를 설치하여야 한다. 다만, 함체 내부 거실의 바닥면적이 200제곱미터 미만인 경우에는 기술

심의위원회의 심의를 거쳐 이를 완화할 수 있다.

④ 내부 피난통로의 설치는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다.

1. 출입구, 창문, 기타 개구부(이하 “창문 등”이라 한다)를 제외한 피난통로의 바닥 및 벽은 내화구조로 할 것

2. 하부함체 내부에 설치되는 피난통로는 수밀구조로 설치하며 또한 물의 유입에 대비하여 빌지펌프 또는 이와 유사한 성능을 가진 배수시설을 설치할 것

3. 피난통로의 내부 마감은 불연재료로 할 것

4. 피난통로에는 예비전원에 의한 조명설비를 할 것

5. 피난통로 양 측면에는 다음 각 목에 적합하게 핸드레일을 설치할 것

가. 핸드레일 높이는 바닥 마감에서 최소 0.8미터 이상 0.9미터 이하, 벽 등으로부터 5센티 내외에 설치할 것

나. 핸드레일의 설치는 「장애인·노인·임산부 등의 편의 증진 보장에 관한 법률」시행령 제4조 관련 [별표2] 대상시설물 편의시설의 종류 및 설치기준에 따를 것

6. 피난통로의 유효너비는 통로 양측에 설치된 핸드레일 내측간의 거리로 하고 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제15조의2에서 정한 기준에 따르며 최소 유효너비는 0.9미터 이상으로 할 것

7. 모든 거실에서 피난통로로 통하는 출입구의 유효너비는 0.9m 이상으로 하며 제22조에 따른 갑종방화문으로 설치할 것

8. 하부함체 내부의 피난통로는 함체의 다른 부분과 제25조에서 정한 수밀구조로 구획되어야 하며 함체 상부로 직접 연결된 비상탈출구의 외측 개구부는 수밀구조로 설치할 것

12. 그 밖에 사항에 대해서는 「건축법」, 「선박안전법」등 관련 법률에서 정한 기준에 따르며 부유식 건축물 특성상 기준의 적용이 불가능하다고 판단되는 경우 기술심의위원회의 심의 결과를 따를 것

**제7조(직통계단의 설치)** ① 부유식 건축물에 설치되는 직통계단은 「건축법」시행령 제34조 제1항 및 제2항의 규정에 따라 설치한다.

② 제1항에도 불구하고 부유식 건축물의 하부함체 내부를 거실로 사용하는 경우에는 「건축법」시행령 제34조 제2항 제5호 기준을 적용한다. 이 경우 바닥면적의 합계는 밸러스트 탱크 및 정화조 등과 같은 설비시설에 사용되는 바닥면적을 제외한다.

② 직통계단은 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제8조에 따라 설치하

며 동일 층에 2개 이상의 직통계단이 설치되는 경우에는 직통계단으로 향하는 출구가 당해 층 장변길이의 1/2 이상 이격거리를 확보하여 설치한다.

**제8조(피난계단의 설치)** ① 부유식 건축물의 내부에 설치되는 피난계단은 「건축법」시행령 제35조에 따라 설치하며 그 구조는 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제9조 제2항 1호 건축물의 내부에 설치하는 피난계단의 구조를 따른다.

**제9조(옥외 피난계단의 설치)** ① 부유식 건축물의 옥외 피난계단은 「건축법」시행령 제36조에 따라 설치하며 그 구조는 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제9조 제2항 제2호 건축물의 바깥쪽에 설치하는 피난계단의 구조를 따른다.

**제10조(승정데크의 설치)** ① 부유식 건축물에는 탈출을 위한 1개소 이상의 승정데크를 다음 각 호의 기준에 따라 설치한다.

1. 승정데크에는 탈출에 사용되는 구명정 등 탈출장비 및 구명설비를 갖추어야 한다.
2. 구명정을 이용하기 위한 승정데크는 「선박안전법」제26조 선박시설의 기준에 적합한 설비를 갖추어야 한다.
3. 헬리콥터를 이용하기 위한 승정데크는 「건축법」시행령 제40조 제3항 제1호 및 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제13조에 따라 설치한다.
4. 승정데크는 구명정 및 헬리콥터에 승선하기 위한 집합장소와 직접 연결되도록 설치하여야 하며 집합장소는 승정데크와 같은 공간에 설치할 수 있다.
5. 집합장소의 면적은 이용 가능한 구명정 및 헬리콥터의 최대승선인원을 수용할 수 있도록 충분한 면적을 확보해야 하며 최소 1인당 0.35제곱미터 이상의 면적을 확보한다.
6. 승정데크와 집합장소는 다음 각 목의 기준에 적합하게 설치한다.

   가. 승정데크와 집합장소는 내화구조 또는 방화구조로 부유식 건축물 내부와 구획 될것

   나. 승정데크와 집합장소는 피난통로, 특별피난계단 또는 피난계단과 연결되도록 설치할 것

   다. 승정데크와 집합장소에는 비상전원이 공급되어야 하며 비상전원을 이용한 조명설비가 설치할 것

   라. 승정데크에는 관리사무소 등과 긴급 연락이 가능한 통신시설을 설치할 것

② 제1항의 규정에도 불구하고 제5조 제2항에 따라 피난통로가 설치된 부유식 건축물의

경우 승정데크를 설치하지 않을 수 있다.

**제11조(구명설비의 비치)** ① 부유식 건축물에는 탈출을 위한 구명설비를 다음 각 호의 기준에 따라 비치하여야 한다.

1. 부유식 건축물의 최대 이용가능 인원의 120%에 해당하는 수의 구명동의를 쉽게 사용할 수 있는 장소에 비치해야 하며 그 중 20%는 어린이용 구명동의를 비치한다. 단, 특수한 건축물의 경우에는 기술심의위원회에서 구명동의 개수 및 어린이용 구명동의 비치 비율을 정할 수 있다.
2. 부유식 건축물에는 다음 표에 의한 수의 구명부환을 비치하여야 한다. 이 경우 구명부환에는 30m의 구명줄을 부착하여야 하며 언제든지 사용할 수 있도록 구조물의 난간, 핸드레일 등에 비치한다.

| 구조물 길이 | 구명부환 수(개) |
|---|---|
| 60m 미만 | 8 |
| 60m 이상 120m 미만 | 12 |
| 120m 이상 180m 미만 | 18 |
| 180m 이상 240m 미만 | 24 |
| 240m 이상 | 30 |

3. 기타 구명설비에 대해서는「선박구명설비기준」제76조에서 정한 평수구역을 항해구역으로 하는 제2종선에 해당하는 기준에 따라 설치한다.

② 제1항의 규정에도 불구하고 제5조 제2항에 따라 피난통로가 설치된 부유식 건축물의 경우 제1항 1목 및 3목의 기준을 적용하지 않을 수 있다.

**제12조(관람석 등으로부터의 출구 설치)** ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 부유식 건축물에는 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제10조에 따라 관람석 또는 집회실로부터의 출구를 설치하여야 한다.

1. 문화 및 집회시설
2. 종교시설
3. 위락시설
4. 장례식장

**제13조(상부시설물 바깥쪽으로의 출구 설치)** ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 부

유식 건축물에는 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제11조 기준에 따라 그 부유식 건축물의 상부시설물로부터 바깥쪽으로 나가는 출구를 설치하여야 한다.

1. 문화 및 집회시설(전시장 및 동·식물원은 제외한다)
2. 종교시설
3. 판매시설
4. 업무시설
5. 위락시설
6. 연면적이 5천 제곱미터 이상인 창고시설
7. 교육연구시설
8. 장례식장

② 상부시설물의 출입구에 설치하는 회전문은 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제12조의 규정에 적합하여야 한다.

**제14조(계단 및 복도의 설치)** ① 연면적 200제곱미터를 초과하는 상부시설물에 설치하는 계단 및 복도는 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제15조와 제15조의 2의 기준에 적합하여야 한다.

② 제1항의 규정에도 불구하고 부유식 건축물에 설치되는 계단의 너비는 [별표2] 최소계단너비의 계산방법에 따른 너비 이상이어야 한다. 다만, 상부시설물이 3층 이하인 경우 그러하지 아니하다.

**제15조(거실반자의 설치)** ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 용도의 부유식 건축물을 제외한 부유식 건축물의 거실반자(반자가 없는 경우에는 보 또는 바로 위층의 바닥판의 밑면 기타 이와 유사한 것을 말한다)는 그 높이를 2.1미터 이상으로 하여야 한다.

1. 공장
2. 창고시설
3. 위험물저장 및 처리시설
4. 동물 및 식물 관련 시설
5. 분뇨 및 쓰레기처리시설
6. 묘지 관련시설

② 문화 및 집회시설(전시장 및 동·식물원은 제외한다), 종교시설, 장례식장 또는 위락

시설 중 유흥주점의 용도에 쓰이는 상부시설물의 관람석 또는 집회실로서 그 바닥면적이 200제곱미터 이상인 것의 반자의 높이는 제1항의 규정에도 불구하고 4미터이상이어야 한다. 다만, 기계환기장치를 설치하는 경우에는 그러하지 아니다.

**제16조(채광 및 환기를 위한 창문 등)** ① 공동주택의 거실, 교육연구시설 중 학교의 교실, 의료시설의 병실 및 숙박시설의 객실에는 그 거실의 바닥면적의 10분의 1 이상 면적의 채광을 위한 창문 등을 설치한다. 다만, [별표3] 거실의 용도에 따른 조도기준에 따른 조도 이상의 조명장치를 설치하는 경우에는 그러지 아니하다.

② 환기를 위하여 거실에 설치하는 창문 등의 면적은 그 거실의 바닥면적의 20분의 1 이상이어야 한다. 다만, 기계환기장치 및 중앙관리방식의 공기조화설비를 설치하는 경우에는 그러하지 아니하다.

③ 그 외의 사항은 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제17조의 기준에 따라 창문 등을 설치한다.

**제17조(안내판의 설치)** ① 부유식 건축물 각층 실내 및 외부공간에는 다음 각 호에 따라 안내판이 설치되어야 한다.

1. 각층 실내와 외부공간에 각각 최소 2개 이상 설치할 것
2. 가로 0.6미터 이상, 세로 0.6미터 이상 크기로 설치할 것
3. 복도 및 로비 등 잘 보이는 곳에 설치할 것
4. 시인성이 높은 재료 및 색깔로 설치할 것

② 제1항의 안내판에는 다음 각 호에 따른 내용이 표시되어야 한다.

1. 각층의 구성 및 평면도
2. 피난통로 및 피난설비의 위치
3. 구명설비의 위치, 개수 및 사용방법
4. 피난동선
5. 비상시 피난 및 행동요령
6. 비상시 연락처 및 담당자 등

**제18조(피난모의실험 결과의 반영)** ① 부유식 건축물은 피난모의실험을 실시하고 그 결과를 설계에 반영하여야 하며 피난모의실험에 사용가능한 프로그램은 다음 각 호와 같

다.

1. FDS(Fire Dynamics Simulation)
2. Simulex
3. EXDOUS
4. FEA(Fire Escape Simulator Atrium)
5. Pathfinder
6. 기술심의위원회에서 또는 소방방재청이 인정하는 프로그램

② 피난모의실험은 「소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준」의 [별표1] 화재 및 피난시뮬레이션의 시나리오 작성 기준에 따른 시나리오를 적용하여 실시하며, 부유식 건축물의 동요에 의한 재실자 행동 특성을 반영하여야 한다. 다만, 이 기준을 적용하기 곤란한 경우 기술심의위원회의 승인을 얻어 시나리오 적용을 달리 할 수 있다.

③ 부유식 건축물이 이 기준에 적합하게 피난계획이 되었다 하더라도 피난모의실험 결과 각종 피난성능이 관련 법률에서 정한 기준에 미치지 못할 경우에는 새로운 피난계획을 마련하여야 하며 변경 전 계획과 변경 후 계획 및 각각에 대한 피난모의실험 결과를 기술심의위원회의에 제출한다.

제19조(피난계획서의 제출) ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 부유식 건축물은 건축허가를 위해 피난계획서를 기술심의위원회에 제출한다.

1. 문화 및 집회시설(전시장 및 동・식물원은 제외한다)
2. 종교시설
3. 위락시설
4. 다중주택 및 다가구주택
5. 제2종 근린생활시설 중 학원・독서실
6. 판매시설
7. 운수시설(여객용 시설만 해당한다)
8. 의료시설(입원실이 없는 치과병원은 제외한다)
9. 교육연구시설
10. 노유자시설설
11. 수련시설

12. 업무시설

13. 숙박시설

14. 공동주택(층당 4세대 이하인 것은 제외한다)

15. 교정 및 군사시설(제1종 근린생활에 해당하는 것은 제외한다)

16. 함체 내부를 밸러스트 탱크, 정화조 등 설비시설 외의 용도로 사용하는 거실의 바닥면적의 합계가 200제곱미터 이상인 것

17. 상부시설물이 5층 이상인 것

② 부유식 건축물의 피난계획서는 양식에 따라 작성하고 피난모의실험 결과를 함께 제출한다.

③ 부유식 건축물의 피난계획서가 접수되면 기술심의위원회에서는 접수 후 15일 이내에 심의결과를 민원인에게 통보한다.

**제3편 방 재**

제20조(재해방지계획의 수립) ① 제19조 제1항 각 호의 어느 하나에 해당하는 부유식 건축물은 사용 중 발생할 수 있는 침수, 화재, 전복에 따른 재해방지계획을 수립하고 그 결과를 건축물의 설계에 반영해야 한다.

② 제19조 제1항 각 호에 해당하지 않더라도 다음 각호에 해당하는 경우 재해방지계획을 수립하고 그 결과를 건축물의 설계에 반영해야 한다.

1. 육지와 직접 연결되는 통로가 없이 설치되는 부유식 건축물

2. 육지에서 50m 이상 떨어진 수역에 설치되는 부유식 건축물

3. 정온수역이 아닌 곳에 설치되는 부유식 건축물

4. 그 외 기술심의위원회에서 필요하다고 인정되는 부유식 건축물

③ 부유식 건축물의 재해방지계획에는 다음 각 호의 사항을 포함한다.

1. 수역의 조건(파랑, 조류, 조석, 지형, 통항선박정보, 주변수역이용정보 등)

2. 부유식 건축물의 주요 용도 및 구조(하부함체 및 계류시설 구조 포함)

3. 예상되는 재해의 종류 및 세부내용

4. 예상되는 재해에 대한 방재대책(발생억제, 확산방지 포함)

5. 그 외 기술심의위원회에서 필요하다고 인정되는 사항

**제21조(내화구조)** ① 부유식 건축물에서 내화구조란 「건축법」시행령 제2조 제7호에서

정의한 것으로「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제3조에 따른 구조를 말한다.

**제22조(방화구조)** ① 부유식 건축물에서 방화구조란 「건축법」시행령 제2조 제8호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제4조에 따른 구조 또는 「선박방화구조기준」제2조 제5항에 따른 A60급 구획에 적합한 구조를 말한다.

**제23조(난연재료)** ① 부유식 건축물에서의 난연재료란 「건축법」시행령 제2조 제9호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제5조에 따른 재료를 말한다.

**제24조(불연재료)** ① 부유식 건축물에서의 불연재료란 「건축법」시행령 제2조 제10호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제6조에 따른 재료 또는 「선박방화구조기준」제2조 제1호에 따른 재료를 말한다.

**제25조(준불연재료)** ① 부유식 건축물에서의 준불연재료란 「건축법」시행령 제2조 제11호에서 정의한 것으로 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제7조에 따른 재료를 말한다.

**제26조(방화구획의 설치)** ① 부유식 건축물은「건축법」시행령 제46조에 따른 방화구획을 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제14조의 설치기준에 적합하게 설치한다.

② 「선박방화구조기준」제7조 제2항에 따른 A급구획은 「건축법」등에서 말하는 방화구획과 동일한 것으로 보며 그 설치기준은 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제14조에 적합한 것으로 본다.

③ 제1항의 규정을 적용하는 것이 불가능하다고 판단되는 특수한 구조로 설계된 경우 소방기술사 등 관련 전문가의 의견을 반영하여 기술심의위원회에서 방화구획에 대해 따로 정할 수 있다.

**제27조(방화문의 구조)** ① 부유식 건축물에서 방화문은 「건축법」시행령 제64조에서 정한 갑종방화문 및 을종방화문으로 구분하며 「건축물의 피난 방화구조 등의 기준에

관한 규칙」제26조의 기준에 적합하게 설치한다.

②「선박방화구조기준」제12조 제4항에서 말하는 A급구획에 설치되는 제1항에서 규정한 A급방화문은 갑종방화문과 동일한 것으로 본다.

③「선박방화구조기준」제12조 제2항에서 말하는 B급구획에 설치되는 방화문은 제1항에서 규정한 을종방화문과 동일한 것으로 본다.

**제28조(소방시설의 설치)** ① 부유식 건축물에서 소방시설의 설치는「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」제8조 및 제9조의 기준에 적합하게 설치하여야 한다.

② 제1항에도 불구하고 「선박안전법」에 따라 설치된 소방시설의 성능이 제1항에서 요구되는 성능과 동일하거나 또는 보다 우수하다고 판단되는 경우에는 이 기준에 적합한 것으로 본다.

**제29조(침수방지)** ① 외부 충격으로 인한 하부함체의 파손에 따른 침수피해를 예방하고 재해확대를 최소화하기 위하여 하부함체의 외측 및 저부는 이중각구조로 하여야 한다.

② 제1항에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 그러하지 아니하다.

1. 하부함체 내부를 부력이 큰 재료를 이용하여 채운 경우
2. 하부함체 내부를 수밀격벽으로 1.2미터 이하 간격으로 구획한 경우
3. 하부함체를 「선박안전법」의 규정에 적합하게 설계한 경우

③ 침수 피해를 예방하고 재해확대를 최소화하기 위하여 수밀격벽을 이용하여 하부함체 내부를 최소 2개 이상의 수밀구획으로 구획하여야 한다. 다만, 하부함체 내부를 부력이 큰 재료를 이용하여 채운 경우에는 그러하지 아니하다.

④ 제3항에 따라 구획되는 하부함체의 수밀구획은 가장 큰 구획이 침수되더라도 충분한 부력을 확보할 수 있도록 구획하고 각 구획에는 침수에 대비하여 빌지 펌프와 또는 이와 동일한 기능 및 성능을 가진 배수설비를 설치한다.

⑤ 하부함체 상부의 외부 데크에 설치된 모든 개구부는 수밀구조로 설치한다.

⑥ 하부함체에 창문 등의 개구부를 설치할 경우 개구부 하단이 만재시 수면에서 최소 0.35미터 이상 떨어지도록 설치하며, 개구부가 열리는 구조로 설치될 경우에는 개구부 하단에서 수면까지 0.8미터 이상 되도록 설치한다.

⑦ 상부시설물의 출입구 등으로부터 침수를 막기 위하여 상부시설물 최하층의 바닥 높이는 하부함체 상부에서 최소 0.45미터 이상으로 하며 출입구에는 침수를 방지할 수 있는 구조 및 재료로 설치한다.

⑧ 하부함체 상부에서 함체내부로 바로 통하는 개구부를 설치할 경우 함체 상부에서 최소 0.45미터 이상 높이로 설치하고 침수를 방지할 수 있는 구조 및 재료로 설치한다.

**제30조(수밀격벽의 구조)** ① 부유식 건축물의 수밀격벽의 구조는 「선박구획기준」제15조의 기준에 따라 설치하며 수밀격벽은 「선박구획기준」제16조의 요건에 적합하게 시험한다.

제31조(충돌방지) ① 선박을 이용하여 부유식 건축물에 접근하거나 선박을 탑승할 수 있는 시설이 갖추어진 부유식 건축물에서는 이용하는 선박의 접안으로 인해 부유식 건축물에 가해지는 충돌하중을 최소화하기 위한 설비를 설치한다.

② 부유식 구조물의 하부함체에 다른 구조물이 충돌하여 건축물에 재해가 발생하지 않도록 하부함체에 구조물 및 설비를 설치한다.

③ 부유식 건축물이 위치하는 수역을 통항하는 선박에서 부유식 건축물을 쉽게 인지하고 위치를 파악할 수 있도록 외부 경고등(燈)을 하부함체 각 면에 설치한다.

**제32조(안정성의 확보)** ① 부유식 건축물은 안정성을 확보하기 위해 정온수역에 위치해야 한다. 이 경우 정온수역의 기준은 「항만 및 어항 설계기준」에서 정한 한계파고 0.3m 이하인 날이 연간 97.5% 이상이다.

② 부유식 건축물의 안정성을 확보하기 위하여 만재시 건현 0.5미터 이상을 확보한다.

③ 부유식 건축물의 하부함체는 「선박안전법」에 따라 복원성을 포함한 구조물의 안정성에 대하여 관련 전문기관으로부터 확인을 받고 그 결과는 기술심의위원회의 승인을 얻어야 한다.

**제33조(하부함체의 구조)** ① 하부함체의 구조는 건축구조기준(KBC)의 특수구조물 기준에 적합해야 한다.

하부함체의 주요 구조는 제21조 내화구조 또는 이와 동일한 성능을 가진 구조로 이루어져야 한다.

② 하부함체의 구조는 외부환경조건, 하중조건 등에 적합하게 설계하며 구조적 안정성에 대하여 관련 전문기관으로부터 확인을 받고 그 결과는 기술심의위원회의 승인을 얻어야 한다.

③ 하부함체는 이 기준에서 정한 방화구획, 수밀구획, 이중격벽 등의 구조를 갖추어야 하며 이밖에도 「선박구획기준」, 「선박방화구조기준」, 「선박설비기준」에서 정한 기

준에 적합하여야 한다.

④ 제3항에도 불구하고 하부함체 내부를 충분한 부력을 가진 재료로 채운 경우에는 그러하지 아니하다.

⑤ 하부함체는 「선박안전법」제2장에서 정한 규정에 따라 정기검사, 중간검사, 임시검사를 받아야 한다.

제5항에도 불구하고 콘크리트로 구성된 함체의 경우 이 규정을 적용하지 않으며

**제34조 (하부함체의 설비)** ① 부유식 건축물의 하부함체를 거실로 사용하는 경우에는 함체내부에 다음 각 호의 기준에 적합한 설비를 설치한다.

1. 거실로 사용하는 바닥면적이 50제곱미터 이상인 층에는 직통계단외에 피난층 또는 함체 상부로 통하는 비상탈출구 및 환기통을 설치하여야 한다. 다만, 직통계단이 2개소 이상 설치되어 있는 경우에는 그러하지 아니하다.
2. 바닥면적이 1천제곱미터이상인 층에는 피난층 또는 함체 상부로 통하는 직통계단을 방화구획으로 구획되는 각 부분마다 1개소 이상 설치하되, 이를 피난계단 또는 특별피난계단의 구조로 할 것
3. 거실의 바닥면적의 합계가 1천제곱미터 이상인 층에는 환기설비를 설치할 것
4. 바닥면적이 300제곱미터 이상인 층에는 식수공급을 위한 급수전을 1개소이상 설치할 것

② 제1항 제1호에 따른 함체의 비상탈출구는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다.

1. 비상탈출구의 유효너비는 0.75미터 이상으로 하고 유효높이는 1.5미터 이상으로 할 것
2. 비상탈출구의 문은 피난방향으로 열리도록 하고 실내에서 항상 열 수 있는 구조로 하며 문의 안과 밖에는 비상탈출구의 표시를 할 것
3. 비상탈출구는 출입구로부터 3미터 이상 떨어진 곳에 설치할 것
4. 함체 내부 바닥으로부터 비상탈출구의 아랫부분까지의 높이가 1.2미터 이상이 되는 경우에는 벽체에 발판의 너비가 20센티미터 이상인 사다리를 설치할 것
5. 비상탈출구는 피난층 또는 함체 상부로 통하는 복도나 직통계단에 직접 접하거나 통로 등으로 연결될 수 있도록 설치하여야 하며, 피난층 또는 함체 상부로 통하는 복도나 직통계단까지 이르는 피난통로의 유효너비는 0.75미터 이상으로 하고, 피난통로의 실내에 접하는 부분의 마감과 그 바탕은 불연재료로 할 것

6. 비상탈출구의 진입부분 및 피난통로에는 통행에 지장이 있는 물건을 방치하거나 시설물을 설치하지 아니할 것

7. 비상탈출구의 유도등과 피난통로의 비상조명등은 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」에 따라 설치할 것

**제35조(계류시설의 설치)** ① 부유식 건축물의 위치 고정 및 표류를 방지하기 위하여 충분한 안전성을 가진 계류시설을 「항만 및 어항 설계기준」에 적합하게 설치하며 그 안전성에 대해 관련 전문기관으로부터 확인을 받고 그 결과는 기술심의위원회의 승인을 얻어야 한다.

② 계류시설은 부유식 건축물에 예상되는 모든 외력에 대하여 검토하고 충분한 안전율을 적용하여 계획한다.

③ 부유식 건축물이 좌우 및 전후로 고정될 수 있도록 최소 2축, 4방향 이상 계류시설을 설치한다.

④ 계류시설 파괴로 인한 부유식 건축물의 표류를 방지하기 위하여 설치된 계류시설 1개로도 전체 부유식 건축물을 지지할 수 있도록 계획한다.

⑤ 부유식 건축물의 여건에 따라 기술심의위원회에서 비상용 계류시설이 필요하다고 인정하는 경우에는 다음 각 호에 적합하게 비상용 계류시설을 설치한다.

1. 체인 및 와이어 계류로 설치할 것

2. 1개의 계류라인으로 부유식 건축물을 지지할 수 있도록 설치할 것

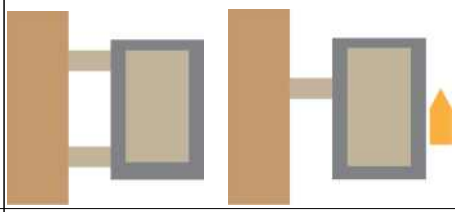
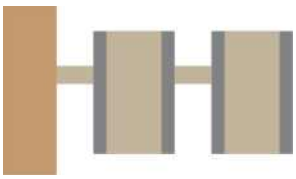
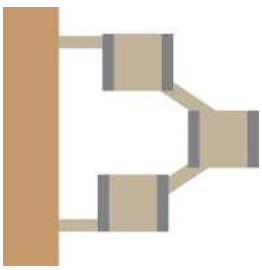
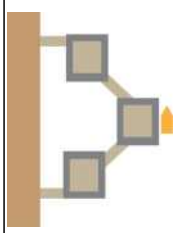
**제36조(해양오염방지)** ① 부유식 건축물에서의 해양오염방지를 위해 「선박에서의 오염방지에 관한 규칙」 및 관련 법령에서 정한 기준을 따라야 한다.

② 하부함체 내부에 오폐수 및 유류 저장을 위한 탱크 또는 관련 설비가 설치되는 공간은 오폐수 및 유류의 유출로 인한 해양오염을 방지하기 위하여 수밀격벽의 성능을 가진 이중바닥 및 벽 구조로 하여 다른 공간과 구획한다.

③ 제2항의 수밀격벽으로 구획된 공간에는 외측 바닥 및 벽체에 충분한 방수처리를 하고 빌지 펌프 또는 동일한 성능의 설비를 설치한다.

## [별표 1] 부유식 건축물 배치에 따른 피난통로 설치기준

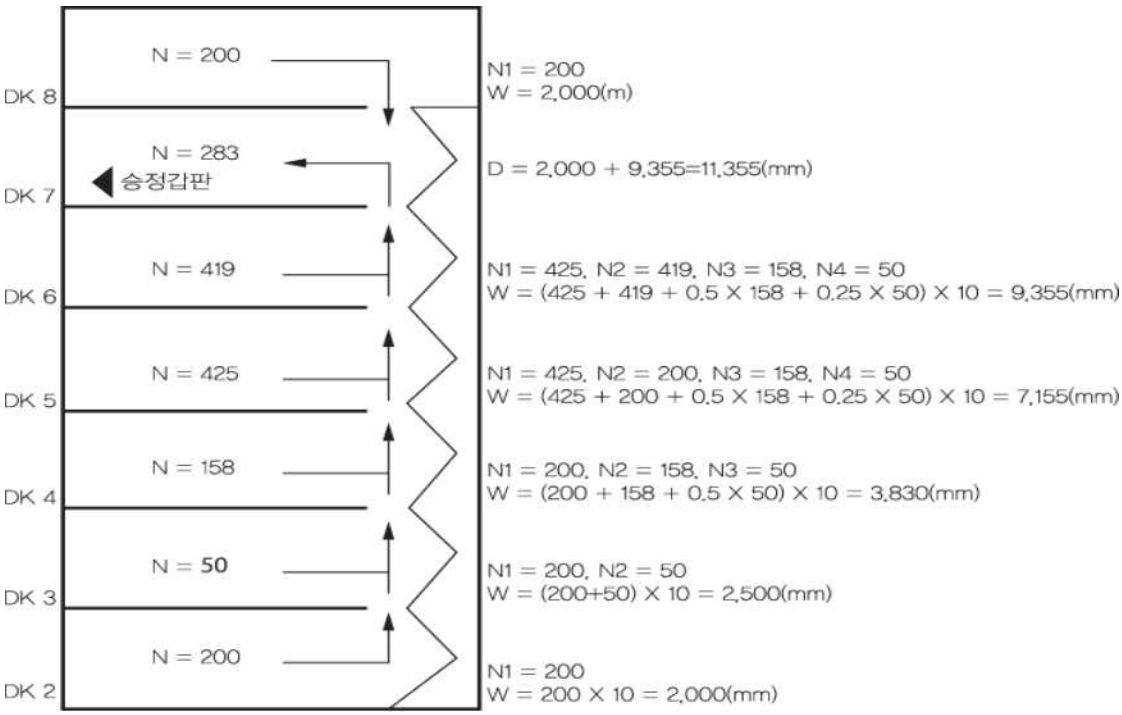
- 제5조 제7항 관련

| 배치유형 | 피난통로 계획기준 |
|---|---|
| Type-1<br>(단독배치형)<br>  <br>·육역과 한 개의 연결통로로 연결되어 단독으로 배치된 부유식 건축물 | ·2개 이상의 연결통로로 육역과 연결되도록 계획<br>·불가능한 경우 1개의 연결통로와 선박을 이용한 탈출이 가능하도록 계획(2방향 피난 및 탈출 확보)<br>·상부시설 외부에 부체 전면으로 이동 가능한 1.5m이상 통로 확보<br>·단, 1가구가 거주하는 단독주택은 제외<br>  |
| Type-2<br>(병렬배치형)<br>  <br>·육역과 연결된 한 개의 통로로 2개 이상의 플로 팅 건축물이 병렬로 배치 된 경우 | ·기본적으로 이런 형태의 병렬배치는 금지함<br>·병렬로 설치를 하고자 할 경우 2개 이상의 연결통로를 확보하고 각 부체에서 실내를 통하지 않고 육상으로 이동할 수 있도록 계획<br>·1개의 통로로 육역에 연결된 경우 각 부체에서 실내를 통하지 않고 육상으로 이동할 수 있도록 계획하며 선박을 이용한 탈출이 가능하도록 계획<br>·상부시설 외부에 부체 전면으로 이동 가능한 1.5m 이상 통로 확보<br>  |
| Type-3<br>(섬형배치)<br>  <br>·2개 이상의 부유식 건축물이 순환되는 연결통로로 연결되어 배치된 경우 |  <br>·구조물 간 연결통로는 30m 이상 되지 않도록 계획<br>·육상 연결통로는 50m 이상 되지 않도록 계획<br>·각 연결통로 폭은 1.5m 이상 되도록 계획하며 충분한 구조적 안전성과 방화성능을 확보할 수 있는 구조 및 재료로 계획하고 적합한 소방설비를 갖출 것<br>·상부시설 외부에 부체 전면으로 이동 가능한 1.5m 이상 통로 확보<br>·기본적으로 2방향 피난 및 탈출이 가능하도록 배치<br>·부수적으로 선박을 이용한 탈출이 가능하도록 계획 |

## [별표 2] 최소계단너비 계산방법

- 제14조 제2항 관련

- 계단과 복도의 실제 폭은 900mm이상 이어야 하며 이용하는 사람이 90명을 초과하는 경우 1명당 10mm씩 폭을 늘리도록 하고 있으며 최소 계단 폭은 인접한 갑판의 상부 및 하부로부터 승정갑판(소집장소)로 피난하는 사람들을 기준으로 아래의 방법으로 정할 수 있다.




.

두 개의 갑판을 연결할 때: W=(N1+N2)×10mm;
·세 개의 갑판을 연결할 때: W=(N1+N2+0.5N3)×10mm;
·네 개의 갑판을 연결할 때: W=(N1+N2+0.5N3+0.25N4)×10mm
(여기서 N은 갑판으로부터 이용할 것으로 예상되는 인원수로, 이용예상 인원수의 크기는 N1>N2>N3>N4로 함)

[그림] 최소 계단폭 계산 방법 (FSS Code 기준)

**[별표 3] 거실의 용도에 따른 조도기준**

- 제16조 관련

| 거실의 용도구분 \ 조도구분 | | 바닥에서 85센티미터의 높이에 있는 수평면의 조도(룩스) |
|---|---|---|
| 1. 거주 | 독서·식사·조리 | 150 |
| | 기타 | 70 |
| 2. 집무 | 설계·제도·계산 | 700 |
| | 일반사무 | 300 |
| | 기타 | 150 |
| 3. 작업 | 검사·시험·정밀검사·수술 | 700 |
| | 일반작업·제조·판매 | 300 |
| | 포장·세척 | 150 |
| | 기타 | 70 |
| 4. 집회 | 회의 | 300 |
| | 집회 | 150 |
| | 공연·관람 | 70 |
| 5. 오락 | 오락일반 | 150 |
| | 기타 | 30 |
| 6. 기타 | | 1란 내지 5란 중 가장 유사한 용도에 관한 기준을 적용한다. |

# 제4절 쾌적환경 설계 기술

## 1. 플로팅건축 부하계산기법 개발

○ 플로팅건축물의 경우 수상, 해상에 떠 있다는 점은 육상의 건축물과 다르며 선박에 유사하나 해안 또는 연안에 계류되어 이용되기 때문에 항로를 운항하는 선박과 차이가 있음

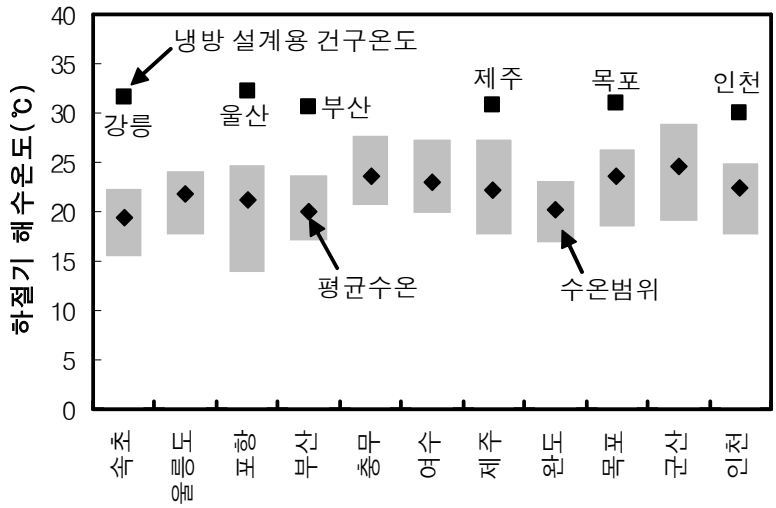
○ 따라서 플로팅건축물은 육상의 건축물과 선박의 중간적인 성격을 띤다고 할 수 있어 본 연구에서는 육상의 건축물과 선박의 냉난방 부하계산법을 조사 분석함으로써 플로팅건축물의 부하계산 기법을 개발함

### 가. 플로팅건축물의 냉난방 부하의 계산 방법

○ 플로팅건축물은 해수면 위에 떠 있다는 점에서 선박과 유사한 점이 있지만 해안 또는 연안에 계류되어 이용되며 사용 목적과 구조가 건축물과 동일하기 때문에 선박보다는 일반 건축물에 가까운 특성을 가짐

○ 따라서 플로팅건축물의 부하계산 일반 건축물에서의 부하계산 방법에 준해서 [표 2-4-1]과 같이 부하요소를 고려 계산하며 해수온도는 플로팅건축물에 적합하도록 설정할 필요가 있음

○ [그림 2-4-1]은 우리나라의 주요 연안정지 해양관측지점[23]의 자료를 이용하여 2002년도 하절기(6~8월)의 해수온도를 나타낸 것으로 해수온도는 14~28℃의 범위에 있음




[그림 2-4-1] 주요 지점의 하절기 해수온도(2002년도)

23) 국립수산과학원 한국해양자료센터 홈페이지(http://kodc.nfrda. re.kr)

[표 2-4-1] 일반건축물의 냉난방부하 계산시 고려하는 부하요소

| 부 하 구 성 요 소 | | 냉방부하 | 난방부하 |
|---|---|---|---|
| 실내부하 | 유리창 투과 일사부하 | ○ | △ |
| | 전열부하 | ○ | ○ |
| | 투습 열부하 | △ | △ |
| | 틈새바람 열부하 | ○ | ○ |
| | 실내발열부하 | ○ | △ |
| | 간헐공조에 따른 축열부하 | △ | ○ |
| 장치부하 | 실내부하 | ○ | ○ |
| | 송풍기에 의한 부하 | ○ | × |
| | 덕트 통과 열부하 | ○ | ○ |
| | 재열부하 | ○ | — |
| | 외기부하 | ○ | ○ |
| 열원부하 | 장치부하 | ○ | ○ |
| | 펌프에 의한 부하 | ○ | × |
| | 배관통과 열부하 | ○ | ○ |
| | 장치 축열부하 | × | △ |

주) ○ 고려 × 무시 △ 무시(영향이 크다고 생각될 때는 고려)

[표 2-4-2] 선박의 냉난방부하 계산시 고려하는 부하요소

| 구 분 | | 냉방부하 | | 난방부하 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 현열 | 잠열 | | |
| 실내부하 | 전 열 부 하 | ○ | — | ○ | |
| | 인 체 부 하 | ○ | ○ | 생략*[1] | |
| | 침입공기부하 | 생략*[1] | 생략*[2] | 생략*[2] | |
| | 실내기기부하 | ○ | ○ | 생략*[1] | |
| 기기부하 | 송풍기부하 | ○ | — | 생략*[1] | |
| | 덕트취득부하 | ○ | — | 생략*[1] | |
| | 순환펌프부하 | ○ | — | 생략*[1] | 간접냉각식은 계상 |
| 환기부하 | 신선외기부하 | ○ | ○ | ○ | |
| | 순환공기부하 | ○ | — | ○ | |
| 재열부하 | | ○ | — | — | 재열식은 계상 |

주)

*[1] 이들 각항은 난방부하를 줄이므로 계획시에는 일반적으로 고려하지 않음.

*[2] 선박의 경우 공기침입의 원인이 되는 창은 수밀이며 또 거실의 문은 직접 외기측으로 만들지 않고 통로에 면해 있다. 이 때문에 침입공기에 의한 부하의 영향은 작으므로 계획시에 침입공기부하는 고려하지 않아도 좋다.

*[3] 전열부하로서는 벽체로부터의 부하, 유리로부터의 부하를 생각할 수 있지만 선박과 같이 유리면이 작은 구조에 있어서는 초기의 계산에서 번잡함을 피하기 위해 유리면을 벽체로서 취급하여 단순화를 꾀하고 있다. 객선과 같이 유리창이 큰 것에 대해서는 별도로 고려할 것.

[표 2-4-3] 일반건축물의 냉난방부하 계산시 고려하는 부하요소

| 부 하 구 성 요 소 | | 냉방부하 | | | 난방부하 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 건축물 | 선박 | Floating | 건축물 | 선박 | Floating |
| 실내부하 | 유리창 투과 일사부하 | ○ | × | ○ | △ | × | △ |
| | 전열부하 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 투습 열부하 | △ | × | △ | △ | × | △ |
| | 틈새바람 열부하 | ○ | × | △ | ○ | × | △ |
| | 실내발열부하 | ○ | ○ | ○ | △ | × | △ |
| | 간헐공조에 따른 축열부하 | △ | — | △ | ○ | — | ○ |
| 장치부하 | 실내부하 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 송풍기에 의한 부하 | ○ | ○ | ○ | × | × | × |
| | 덕트 통과 열부하 | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ |
| | 재열부하 | ○ | ○ | ○ | — | — | — |
| | 외기부하 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 열원부하 | 장치부하 | ○ | — | ○ | ○ | — | ○ |
| | 펌프에 의한 부하 | ○ | — | ○ | × | — | × |
| | 배관통과 열부하 | ○ | — | ○ | ○ | — | ○ |
| | 장치 축열부하 | × | — | × | △ | — | △ |

주) ○ 고려 × 무시 △ 무시(영향이 크다고 생각될 때는 고려)

○ 플로팅건축물의 경우에는 냉각탑을 사용하지 않고 해수이용 냉각기를 적용할 경우에는 해수온도도 고려해야 하며 하절기의 해수온도가 [표 2-4-4]에 나타낸 냉방 설계용 건구온도보다 3℃ 이상 낮은 온도이기 때문에 냉각탑을 이용하는 경우보다 냉각효율을 높일 수 있으며 냉각탑에 의한 소음도 방지할 수 있다는 장점이 있으나 해수에 의한 배관 부식 대책이 필요함

[표 2-4-4] 냉·난방장치의 용량계산을 위한 실내 온·습도 기준

| 구 분 / 지 역 | 난 방 | 냉 방 | |
|---|---|---|---|
| | 건구온도(℃) | 건구온도(℃) | 상대습도(%) |
| 공동주택 | 20~22 | 26~28 | 50~60 |
| 학교(교실) | 20~22 | 26~28 | 50~60 |
| 병원(병실) | 21~23 | 26~28 | 50~60 |
| 관람집회시설(객석) | 20~22 | 26~28 | 50~60 |
| 숙박시설(객실) | 20~24 | 26~28 | 50~60 |
| 판매시설 | 18~21 | 26~28 | 50~60 |
| 사무소 | 20~23 | 26~28 | 50~60 |
| 목욕장 | 26~29 | 26~29 | 50~75 |
| 수영장 | 27~30 | 27~30 | 50~70 |

○ 플로팅건축물의 경우 해수면 위에 떠 있기 때문에 해수온도에 의한 영향을 고려해야 하며 해수온도 역시 지중온도와 같이 여름, 겨울 모두 실내온도 기준보다

낮기 때문에 난방부하의 계산에만 적용하면 되지만 설계용 해수온도는 아직 정비되지 않았음

○ 따라서 플로팅건축물의 냉난방부하를 계산하기 위한 실내외 온습도 조건은 일반 건축물의 조건과 동일한 조건으로 하면 되지만 해수온의 영향을 고려하기 위한 설계용 해수온도와 해수이용 냉각기를 적용할 경우의 해수온도 기준을 설정할 필요가 있음

나. 플로팅건축물의 부하계산용 해수온도 설정

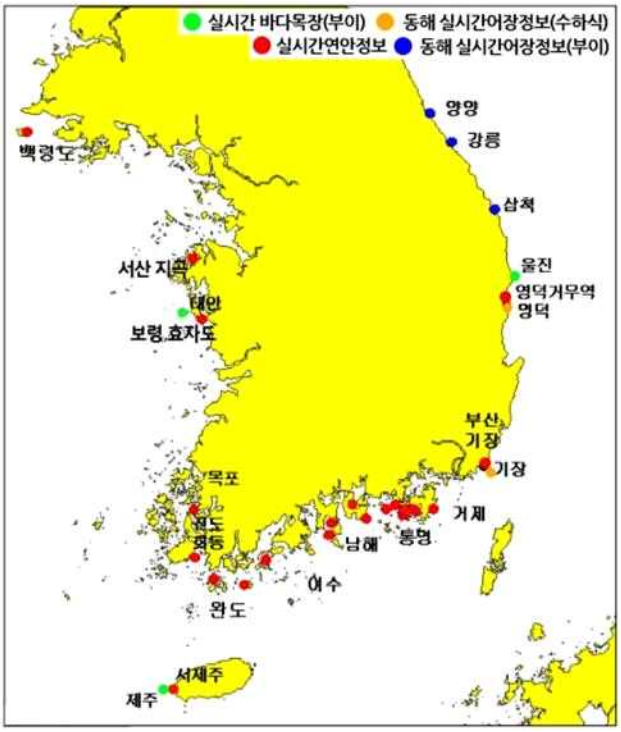
○ 국토해양부가 고시한 「건축물의 에너지절약 설계 기준」[24]에는 '난방 및 냉방 설비 장치의 용량계산을 위한 외기조건은 각 지역별로 위험율[25] 2.5%(냉방기 및 난방기를 분리한 온도출현분포를 사용할 경우) 또는 1%(연간 총시간에 대한 온도출현 분포를 사용할 경우)로 하거나 [별표6](표 1)에서 정한 외기온·습도를 사용한다' 고 되어 있음

○ 이러한 방법은 ASHRAE의 기술자문위원회인 TAC(Technical Advisory Committee)에서 제안한 온도로 TAC 온도라 하며 부하계산용 해수온도도 외기조건과 같은 방법으로 설정하면 됨

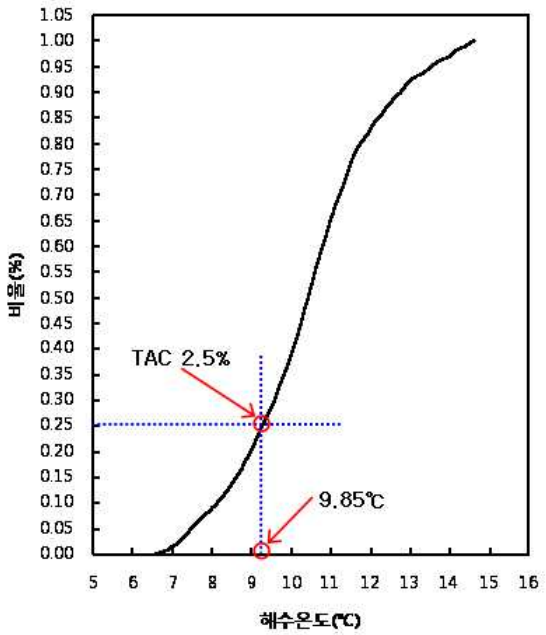
○ 냉·난방 설계용 외기온도를 결정할 때 난방 시는 12월~3월까지 2,904시간, 냉방 시는 6월~9월까지 2,928시간을 대상으로 하므로 부하계산용 해수온도를 결정하는 것도 이 기간을 대상으로 함

○ 부하계산용 해수온도를 설정하기 위해서는 장기간의 해수온도를 측정한 곳이어야 하지만 본 연구에서는 [그림 2-4-2]에 나타낸 해수온도 측정 지점 중 플로팅건축의 적용 가능성이 높은 서해 및 남해의 측정 지점만을 대상으로 하며 대상지점의 해수온도 관측 기간은 [표 2-4-5]과 같음

24) 건설교통부 고시 제2008-5호 "건축물의에너지절약설계기준", 2008. 1.
25) 위험률"이라 함은 냉(난)방기간 동안 또는 연간 총시간에 대한 온도출현분포중에서 가장 높은(낮은) 온도쪽으로부터 총시간의 일정 비율에 해당하는 온도를 제외시키는 비율을 말함




[그림 2-4-2] 해수온도 측정 지점




[그림 2-4-3] 통영 비산도의 난방기 해수온도 설정

○ [그림 2-4-3]는 부하계산용 해수온도의 설정 예로 통영 비산도의 난방기의 경우이며 「건축물의 에너지절약 설계 기준」에 정하고 있는 TAC 2.5%를 적용할 경우 9.85℃가 난방기용 설계온도가 됨

○ 이와 같은 방법으로 각 지점의 부하계산용 해수온도를 설정한 결과를 [표 2-4-6]에 나타냄

[표 2-4-5] 해수온도 관측지점의 관측 기간

| 지역 | 관측 기간 |
|---|---|
| 여수 자봉 | 2008년 7월 3일 ~ 2010년 9월 8일 |
| 통영 비산도 | 2008년 8월 15일 ~ 2009년 12월 31일 |
| 통영 사량 | 2005년 11월 29일 ~ 2009년 12월 12일 |
| 통영 영운 | 2005년 10월 26일 ~ 2009년 12월 7일 |
| 통영 풍화 | 2005년 1월 1일 ~ 2008년 12월 31일 |
| 통영 학림 | 2005년 1월 1일 ~ 2008년 12월 31일 |
| 완도 노화도 | 2008년 7월 24일 ~ 2009년 12월 30일 |
| 완도 신지 | 2005년 10월 25일 ~ 2009년 12월 30일 |
| 완도 금일 | 2009년 4월 12일 ~ 2009년 12월 30일 |
| 군산 | 2001년 1월 1일 ~ 2010년 12월 31일 |
| 목포 | 2006년 7월 3일 ~ 2010년 12월 31일 |
| 부산 기장 | 2005년 10월 26일 ~ 2010년 12월 31일 |

[표 2-4-6] 설정한 부하계산용 해수온도

| 지 역 | 난방기(동절기) | 냉방기(하절기) |
|---|---|---|
| 통영 비산도 | 9.85℃ | 25.23℃ |
| 통영 사량 | 7.17℃ | 26.36℃ |
| 통영 영운 | 8.53℃ | 25.77℃ |
| 통영 학림 | 9.56℃ | 25.85℃ |
| 통영 풍화 | 7.11℃ | 14.01℃ |
| 완도 노화도 | 17.96℃ | 13.98℃ |
| 완도 신지 | 18.17℃ | 12.38℃ |
| 여수 자봉 | 7.15℃ | 25.72℃ |

## 2. 해수열 이용 시스템 제안

### 가. 해수열 이용시스템 제안의 기초개념

○ 해수열을 냉난방열원으로 활용하는 방법은 지열을 이용하는 방법과 매우 유사하여 직접활용방식과 간접활용방식으로 구분 가능함

– 직접활용방식은 해수열과 해수면을 지나는 유로(流路)통해 흐르는 공기 혹은 작동유체(Working fluid)간에 열교환을 통해 냉방 혹은 난방 부하를 저감시키는 방법임

– 간접활용방식은 해수열을 히트펌프의 냉각수로 활용하는 방법임

○ 해수열을 취득하는 방법은 지열 열교환기 시공방법과 유사한 방법을 응용할 수 있음

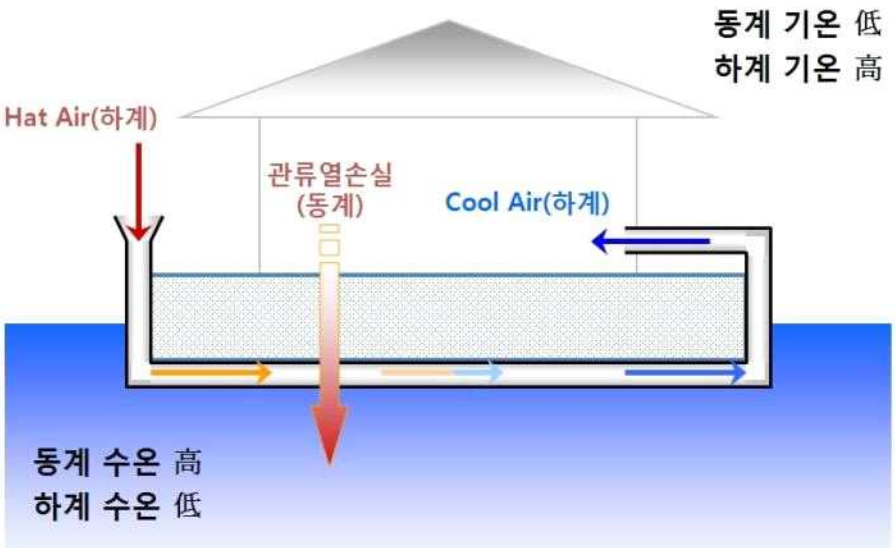
○ 그러나, 본 사업에서 추진하는 플로팅건축의 구조물은 유동성을 갖기 때문에 해수열교환기가 해저 지반(地盤)에 매설하여 이용하는 기술을 적용할 수 없으며, 유동성을 고려하여 부유체 하부면에 설치하고 매우 근접한 공간의 해수열을 이용하는 기술이 합리적임

○ 즉, 플로팅건축 구조물의 유동성에 미치는 영향을 최소화해야만 함

나. 해수열 이용시스템 제안 모델 개발

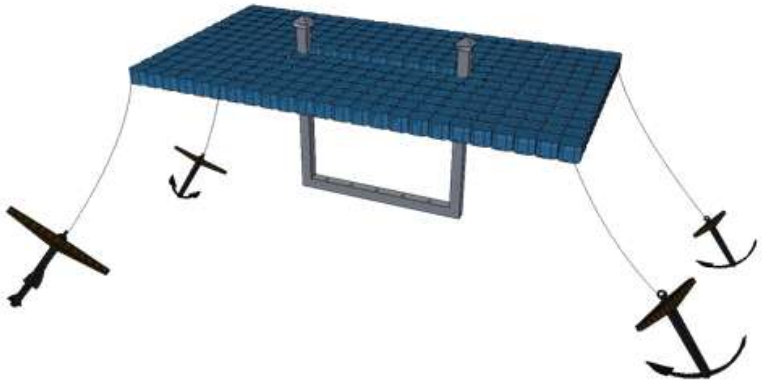
(1) 제1안 : 해수 쿨튜브 방식

○ 해수 쿨튜브 방식은 [그림 2-4-4]의 개념으로 플로팅건축 구조물 해저 배면에 해상 공기가 통과할 수 있는 유로를 만들어 이를 통과하는 공기와 해수열 사이에 열교환을 통해 냉난방부하를 절감하는 방법




[그림 2-4-4] 해수 쿨튜브 방식의 개념

○ [그림 2-4-5]은 실험 모델은 도식화 한 것으로, 부력체와 부력체의 위치고정을 위한 앵커, 그리고 쿨튜브로 구성됨



[그림 2-4-5] 해수 쿨튜브 방식을 고려한 실험모델

○ 해수 쿨튜브 방식은 육상에 비해 강력한 해상풍(海上風)을 이용할 수 있다는 장점이 있으나, 공기의 열전달 밀도가 유체에 비해 낮다는 점을 비롯하여 해상풍 발생의 불균일성, 해상풍의 단점인 염분함유에 의한 풍로 내부 부식, 쿨튜브 내부에 해상풍이 유통함에 따라 박테리아 등의 환경오염물질 발생하고 이는 제거하기 위한 적정한 유지관리 방법을 현실적으로 단기간에 개발하기 어렵다는 등의 단점이 문제가 제기됨

○ 또한 해상 쿨튜브 방식은 내부에 공기가 유통하는 풍로가 형성되기 때문에 쿨튜브 구조물이 상부인 플로팅 건축물에 대해 부력으로 작용하게 됨에 따라, 쿨튜브 구조물은 상부로부터의 하중 압력과 해수로부터의 부력압력이 상하방향으로 동시에 작용함에 따라 상당한 압력 영향을 받게 됨에 따라 이를 극복하기 위한 구조역학적 검토가 필요함

(2) 제2안 : 해수 열교환기 방식

○ 해수 쿨튜브 방식은 일반적으로 직접활용방식으로 활용이 가능하지만 전술한 문제점을 내포하기 때문에 이를 극복할 수 있는 해수 열교환기 방식을 검토함

○ [그림 2-4-6]은 본 연구에서 제안하는 해수 열교환기 방식의 실험용 모델의 개념을 나타낸 것으로, 폐쇄순환형(Closed loop) 형식으로 플로팅 건축물의 냉난방부하에 대응하는 냉난방부하 발생기와 작동유체를 순환시키는 순환펌프 그리고 플로팅 건축물 하부 배면에 설치가능한 수평형 열교환기로 구성됨

냉난방부하 발생기

순환펌프

해수배면 열교환기 상응

[그림 2-4-6] 해수 쿨튜브 방식을 고려한 실험모델

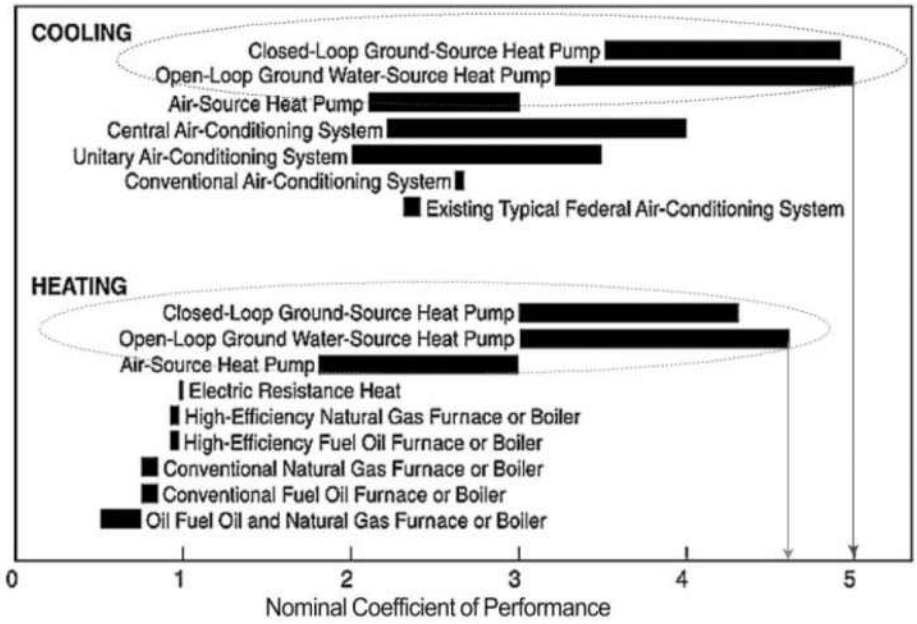
○ 상기 실험체에서는 냉난방부하 발생기 출구에서 해수열교환기로 유입되는 온도와 해수열교환기 출구에서 냉난방부하 발생기 입구로 토출되는 온도의 차이가 해수에 방열(Heat sink)되거나 흡열(Heat source)된 영향이므로, 냉난방부하 발생기 입출구 온도, 해수열교환기 입출구 온도, 유량을 측정하면 전반적인 해수의 활용가능성(열역학적 관점에서 이하 “열교환 성능”이라 기술)을 평가할 수 있음

○ 해수열교환기를 통해 취득열(흡열 혹은 방열)의 활용방법은 아래와 같음

① 직접활용방법 : 실내 혹은 기계실로 반송된 취득열을 송풍기에 의한 물-공기 열교환방식으로 실내의 냉방부하를 담당함. 이는 봄, 가을과 같이 냉방부하가 발생하지만 부하량이 크지 않은 시기에 적용 가능함 (육상 건물에서는 이를 “외기공조”라 칭함)

② 간접활용방법 : 냉방, 난방부하가 큰 여름철과 겨울철에 히트펌프의 냉각수로 해수열을 활용. 수열원 히트펌프는 공기열원 히트펌프에 비해 일반적으로 성능계수가 높기 때문에 상대적으로 에너지 절약효과가 크게 발생함

○ [그림 2-4-7]는 수열원(Water-Source) 히트펌프의 성능(COP)이 공기열원(Air-Source) 히트펌프에 비해 1.5배 이상 높음을 보여줌 (단, [그림 2-4-7]의 Ground-Source, Ground Water-Source는 각각 지열교환기에 작동유체를 흘려 열교환하는 방식과 지하수를 열원으로 하는 방식을 의미하는 것으로 기계적으로는 모두 수열원 히트펌프로 분류하는 방식임)




[그림 2-4-7] 열원 방식별 성능[26)]

다. 해수열 이용시스템 제안 모델의 성능 예측

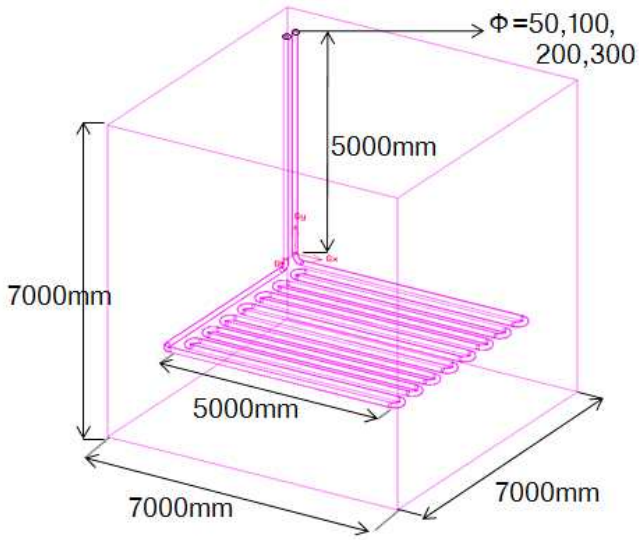
(1) 예측방법 및 모델링 개요

○ 해수열 이용시스템 제안 모델의 기본적인 열성능을 파악하기 위해 수치해석(Computational Fluid Dynamics, 이하 CFD로 표기)을 수행함

○ 본 연구에서는 열, 유체분야 성능예측을 위한 CFD 소프트웨어로 국제적으로 인정받아 범용적으로 활용되고 있는 FLUENT를 사용하였고, CFD를 위한 기본 조건은 아래 [그림 2-4-8]과 같음

○ 해석 범위는 7m×7m×7m이고 위로부터 5m 깊이에 해수 열교환기가 위치하고, 해수 열교환기의 관경에 따른 차이를 평가하기 위해 관경을 50㎜, 100㎜, 200㎜, 300㎜로 다양화 함

26) DOE, Ground-Source heat pump applied to federal facilities - second edition, Federal Energy Management Program DOE/EE-0245(PNNL-13534), US Department of Energy, 2001




(a) 수치해석(CFD)을 위한 시스템 크기 설정

(b) CFD 외형 크기

| | |
|---|---|
| Size [㎜×㎜×㎜] | 7,000×7,000×7,000 |
| Depth [㎜] | 5,000 |
| Pipe Diameter[㎜] | 50, 100, 200, 300 |

(c) 재질 특성

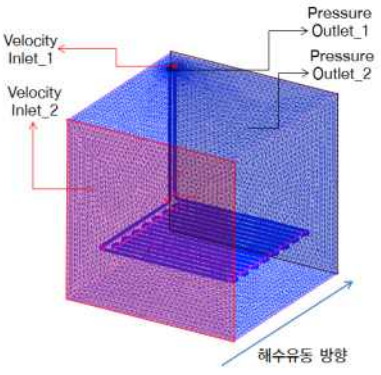
| | SUS304 | Water |
|---|---|---|
| ρ [㎏/㎥] | 8,030 | 998.2 |
| Cp[J/㎏K] | 560 | 4,182 |
| K[W/mK] | 16.3 | 0.6 |

[그림 2-4-8] CFD를 위한 설정

○ CFD를 위해 Mesh는 T-Grid 타입으로 하여 총 200만개의 Mesh가 생성됨. 해수열교환기로 유입되는 온도는 여름철 에어컨의 취출온도와 지열원 히트펌프의 장기운전 시 토출온도를 참고[27]하여 45℃(318K)로 설정하였고 관내 유속은 0.5㎧, 1.0㎧, 1.5㎧로 설정하여 관내 유속 차이에 따른 열교환 성능을 비교하고자 함

○ 해수온도는 20℃(293K)로 설정하였고 해수유속의 차이에 따른 열교환 성능 비교를 위해 해수 유속을 0.5㎧, 1.0㎧, 1.5㎧, 2.0㎧의 4가지로 가정함

○ CFD에 의한 해석 결과는 [그림 2-4-10]과 같이 3차원으로 도출됨



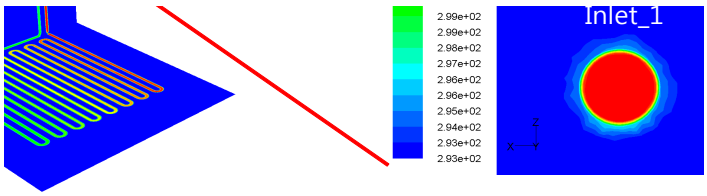

(a) CFD를 위한 모델링 및 Mesh 형상

(b) 경계조건

| | | |
|---|---|---|
| Mesh | 200만 개 (±10%) | |
| Mesh Type | T-Grid | |
| 해수 열교환기 내 유체속도 | 318K | 0.5, 1.0, 1.5 [m/s] |
| 해수속도 | 293K | 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 [m/s] |

[그림 2-4-9] CFD 경계조건과 Mesh

27) 황광일, 김중헌, 신승호, "연구·사무용 건물에 적용된 수직형 지열냉난방시스템의 계절별 성능평가", 대한건축학회 논문집 계획계, 2011 25권 제7호, 2009




[그림 2-4-10] CFD에 의한 3차원 해석결과 사례

(2) 수심에 따른 해수온도 특성

○ 앞 절에서 기술한 바와 같이 플로팅건축물의 유동특성 상 해수를 활용하기 위한 열교환 기구는 해수 수중 지반에 고정될 수 없으며 플로팅건축물의 하부구조에 위치해 함께 유동해야하기 때문에, 본 절에서는 해수 깊이별 온도변화와 그에 따른 열교환 성능에 관해 분석함

○ 해수의 수심에 따른 해수열 이용 가능성을 검토하기 위하여 한국해양대학교 부근의 해수 깊이별 계절별 온도 변화를 조사하였고 [표 2-4-7]에 일부를 정리함

[표 2-4-7] 한국해양대학교 부근의 해수 깊이별 온도[28)]

| 봄 | | | 여름 | | | 겨울 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 관측일 | 관측수심 [m] | 수온[℃] | 관측일시 | 관측수심 [m] | 수온[℃] | 관측일시 | 관측수심 [m] | 수온[℃] |
| 2011.04.04 | 0 | 13.1461 | 2011.08.11 | 0 | 24.6593 | 2011.02.05 | 0 | 12.2625 |
| | 10 | 13.0237 | | 10 | 21.3408 | | 10 | 12.3136 |
| | 20 | 12.9067 | | 20 | 14.2312 | | 20 | 12.3159 |
| | 30 | 12.8878 | | 30 | 12.066 | | 30 | 12.3107 |
| 2010.04.14 | 0 | 12.405 | 2010.08.21 | 0 | 27.16 | 2010.02.15 | 0 | 13.317 |
| | 10 | 12.117 | | 10 | 24.649 | | 10 | 13.333 |
| | 20 | 12.114 | | 20 | 17.6758 | | 20 | 13.323 |
| | 30 | 12.123 | | 30 | 14.8501 | | 30 | 13.257 |
| 2009.04.24 | 0 | 15.092 | 2009.08.31 | 0 | 25.321 | 2009.02.25 | 0 | 13.523 |
| | 10 | 14.73 | | 10 | 24.3411 | | 10 | 13.428 |
| | 20 | 13.825 | | 20 | 22.4826 | | 20 | 13.031 |
| | 30 | 13.585 | | 30 | 16.2199 | | 30 | 12.379 |
| 깊이별 평균온도 | 0 | 13.548 | 깊이별 평균온도 | 0 | 25.713 | 깊이별 평균온도 | 0 | 13.034 |
| | 10 | 13.290 | | 10 | 23.444 | | 10 | 13.025 |
| | 20 | 12.949 | | 20 | 18.130 | | 20 | 12.890 |
| | 30 | 12.865 | | 30 | 14.379 | | 30 | 12.649 |

○ 봄, 겨울의 경우 상호간에 동일 깊이에서의 온도가 매우 유사하고 깊이별 온도 차이도 크지 않음을 보여줌

○ 이에 비해 여름의 경우에는 해수면에 가까울수록 해수온도가 다른 계절에 비해 2배 가까이 높게 나타나지만 수중으로 깊이 들어갈수록 동일 깊이에서의 계절간 차이가 작아지는 경향을 보임

28) 국립수산과학원 한국해양자료센터(http://kodc.nfrdi.re.kr), 측정점 : 위도 35.0217, 경도 129.12

(3) CFD 결과 및 분석

○ 4가지 해수 열교환기 관경(50㎜, 100㎜, 200㎜, 300㎜)을 기준으로 해수 열교환기 내부 유속과 해수유속을 다르게 한 해석결과를 [그림 2-4-11]~[그림 2-4-14]에 나타냄

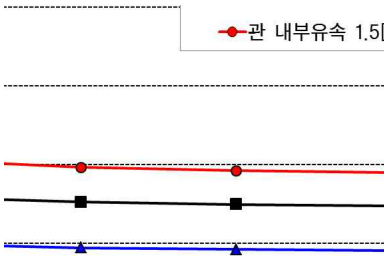
○ 해수 열교환기로의 유입온도를 45℃로 설정하였기 때문에 결과 그림에서 출구온도가 낮게 나타나는 것, 즉 해수 열교환기 입출구 온도차가 크게 나타나는 것이 열교환 성능이 우수하다고, 즉 해수 활용성이 높다고 평가할 수 있음

○ 상대적인 열교환량이 출모든 경우에 상대적으로 해수유속의 변화에 따른 해수 열교환기 출구온도 변화는 매우 미미한 결과를 보임

○ 해수 열교환기 내부 유속의 변화에 따른 출구온도 변화는 일정한 차이를 보이며 관경이 커지면 차이가 커졌다 작아지는 경향을 나타냄

○ 해수 열교환기의 관경이 작은 경우가 큰 경우에 비해 동일 유속에서 출구온도가 낮아 열교환 성능이 우수하다고 평가할 수 있는데, 이는 열교환 면적 대비 유량이 작기 때문임

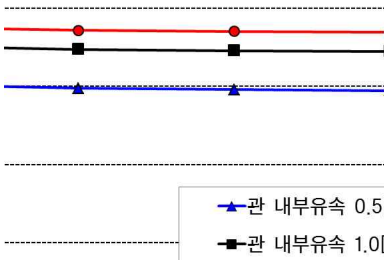
[그림 2-4-11] 해수 열교환기 관경 50㎜일 때의 CFD 해석 결과




[그림 2-4-12] 해수 열교환기 관경 100㎜일 때의 CFD 해석 결과

해수유속[m/s]

[그림 2-4-13] 해수 열교환기 관경 200㎜일 때의 CFD 해석 결과




[그림 2-4-14] 해수 열교환기 관경 300㎜일 때의 CFD 해석 결과

○ 한편, [표 2-4-7]의 계절별 깊이별 해수온도 데이터에 대입하여 각각의 열교환 성능을 예측 평가하였고 그 결과를 [그림 2-4-15]에 나타냄

○ 해석을 위한 조건은 해수 열교환기 관경 15A, 관내 유속 1.0㎧, 해수유속 0.5㎧, 해수 열교환기로의 유입온도는 45℃로 설정함

○ 봄과 겨울에는 수심 깊이별 해수 열교환기 출구온도가 거의 유사한 결과를 나타냄

○ 여름철에는 해수 표면에서는 높은 해수온도로 인해 해수 열교환기 출구온도가 높지만, 수심 20m 지점에서는 해수온도가 상대적으로 낮기 때문에 출구온도가 낮은 상태로 토출되는 것으로 예측됨

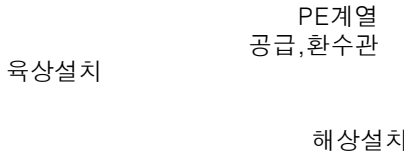
[그림 2-4-15] 계절별 수심에 따른 열교환 성능 CFD 해석 결과

## 3. 해수열 이용 시스템 실험모형 및 성능평가

### 가. 실험모형 제작

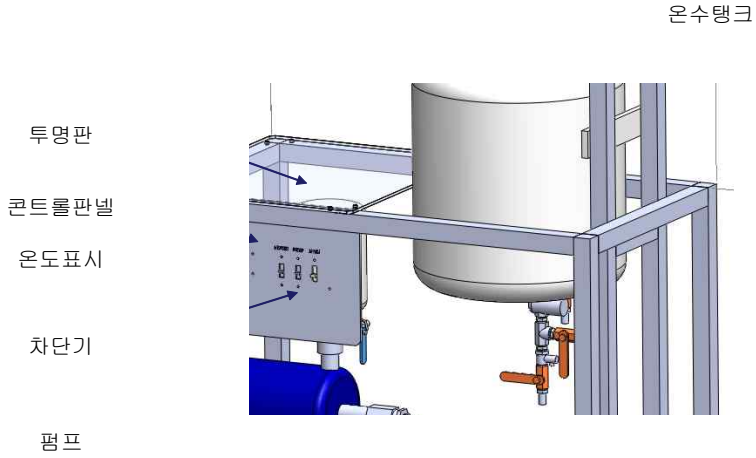
○ 앞 절의 CFD 해석결과를 기초로 해수열 이용 시스템의 실험모델을 제작함

○ 앞 절 ‘(2) 해수열 이용시스템 제안 모델 개발’ 내용 중 본 연구에서 제안하는 해수 열교환 모델을 [그림 2-4-6]에 제시하였으나, 실험지역의 특성과 순환펌프 동력 전원의 공급문제 등을 고려하여 기존과 달리 상부에 위치한 냉난방부하 발생기와 순환펌프, 하부에 위치한 해수 열교환기를 분리하였고 상부와 하부는 플렉시블 파이프로 연결한 [그림 2-4-16]의 구조를 갖도록 변경함

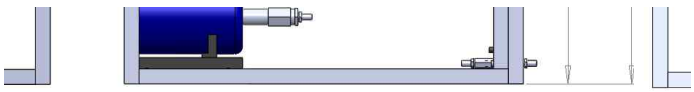



[그림 2-4-16] 수정된 실험모델 개념도

○ 상기 개념도를 기초로 실험체 제작을 위한 도면 작업을 수행하였고 상부의 조감도와 상세도는 [그림 2-4-17], [그림 2-4-18]과 같음

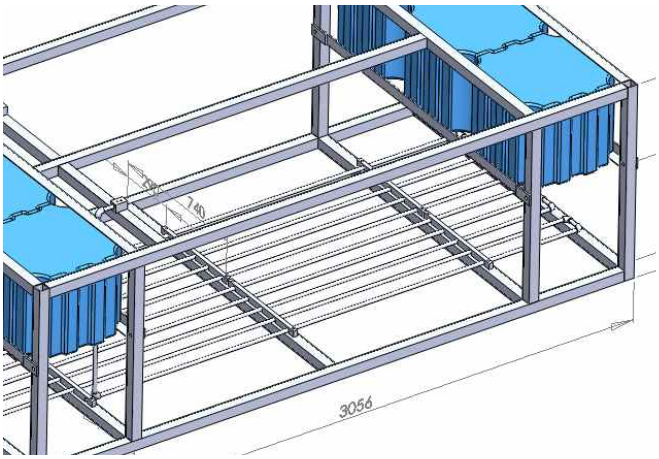



[그림 2-4-17] 실험체 육상부 개념도



[그림 2-4-18] 실험체 육상부 상세도

○ 또한 실험체 하부의 조감도와 상세도는 [그림 2-4-19], [그림 2-4-20]과 같음




[그림 2-4-19] 실험체 해상부 개념도

[그림 2-4-20] 실험체 해상부 상세도

○ [그림 2-4-21], [그림 2-4-22]는 전술한 도면에 근거해 제작한 실험체의 외형을 보여줌



[그림 2-4-21] 실험체 육상부 실물



[그림 2-4-22] 실험체 해상부 실물

나. 실험현장 개요

○ 플로팅건축물이 일반적으로 정수구역에 위치한다는 조건을 고려하여 한국해양대

학교 인근 수역 중 가장 정적인 해수 유동이 발생하는 한국해양대학교 내 요트계류장내에 실험 장치를 설치



[그림 2-4-23] 한국해양대학교 요트계류장 위치



[그림 2-4-24] 실험체 설치 위치

○ [그림 2-4-25] ~ [그림 2-4-27]은 실험체의 육상부와 해상부 각각의 설치 모습과 전체 설치 상태를 나타냄



[그림 2-4-25] 실험체 육상부 설치된 모습



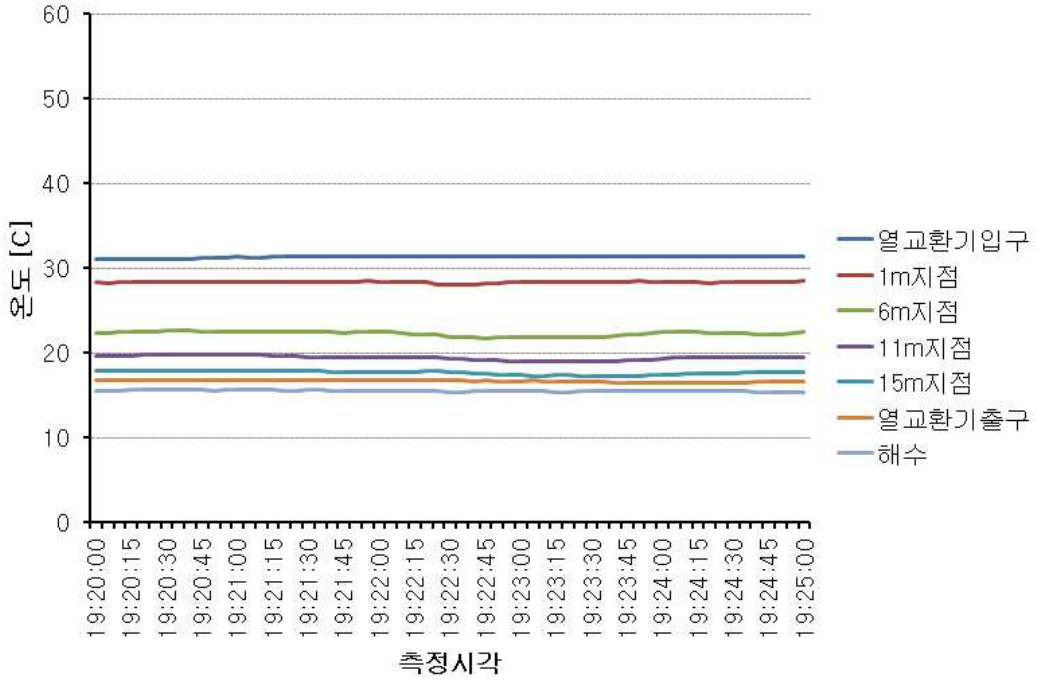
[그림 2-4-26] 실험체 해상부 설치된 모습



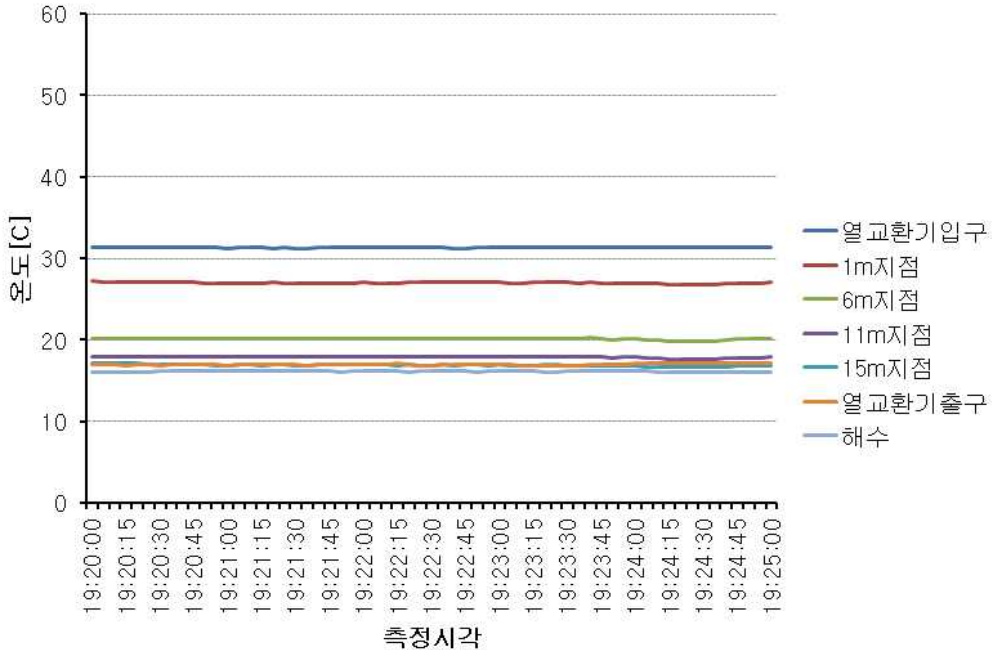

[그림 2-4-27] 실험체 육상부와 해상부가 연결된 전체 모습

다. 하절기 열교환 성능실험 결과

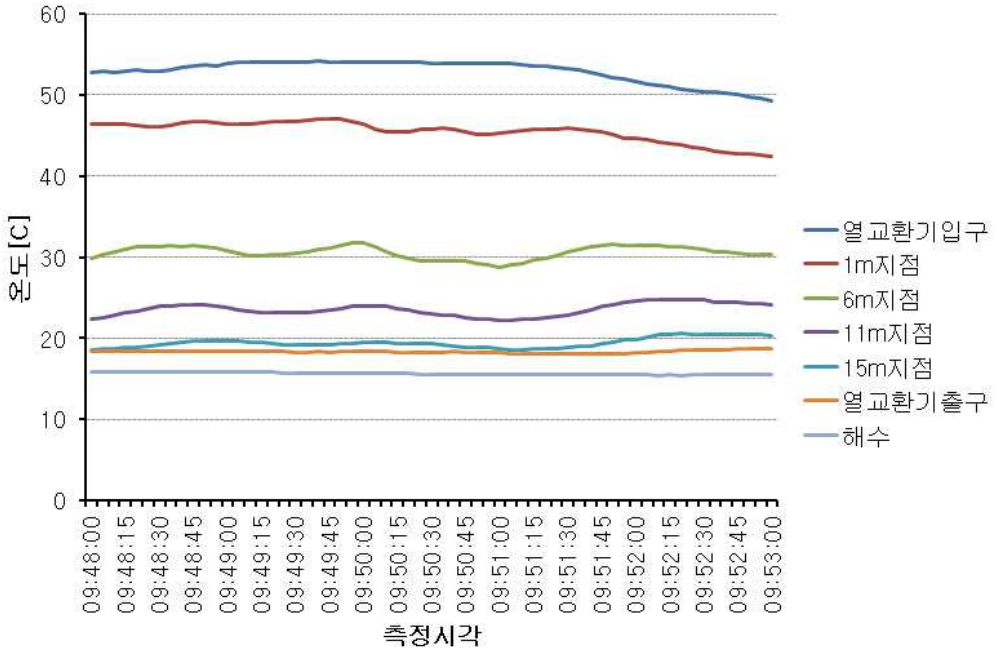
- ○ 해상에서의 열교환 성능을 수행하기 위해 해수온도가 16℃ 수준에서 열교환기로의 유입온도를 30℃와 50℃로 조절하면서 각각 2회씩 실험함
- ○ 또한 배관 유동 중의 온도변화를 실측하기 위하여 열교환기 입구로부터 1m, 6m, 11m, 15m 지점에 열전대(Thermocouple)를 설치함
- ○ [그림 2-4-28] ~ [그림 2-4-31]은 각 유입온도별 위치별 측정 온도변화를 나타냄
- ○ [그림 2-4-28]과 [그림 2-4-29]는 열교환기로의 유입온도가 30℃ 수준일 때의 실험결과로 6m 지점부터 해수에 의해 급격히 온도가 낮아진다는 것을 알 수 있고 15m 지점에서의 온도는 해수온도와 유사하게 측정됨
- ○ [그림 2-4-30]과 [그림 2-4-31]은 열교환기로의 유입온도가 50℃ 수준일 때의 실험결과로 입구로부터의 거리에 따른 온도변화가 매우 크게 나타남
- ○ 열교환기 유입온도의 변화에도 불구하고 열교환기 출구온도는 해수온도에 근접한 18℃ 전후로 측정됨
- ○ 이상과 같은 결과는 CFD의 예측 결과와 매우 유사함
- ○ 그러나 실험기간이 매우 짧았기 때문에 향후에도 지속적인 실측과 통계적 분석을 통해 엔지니어링 데이터로서의 신뢰성을 확보하고 이를 설계의 기초자료로 활용할 계획임



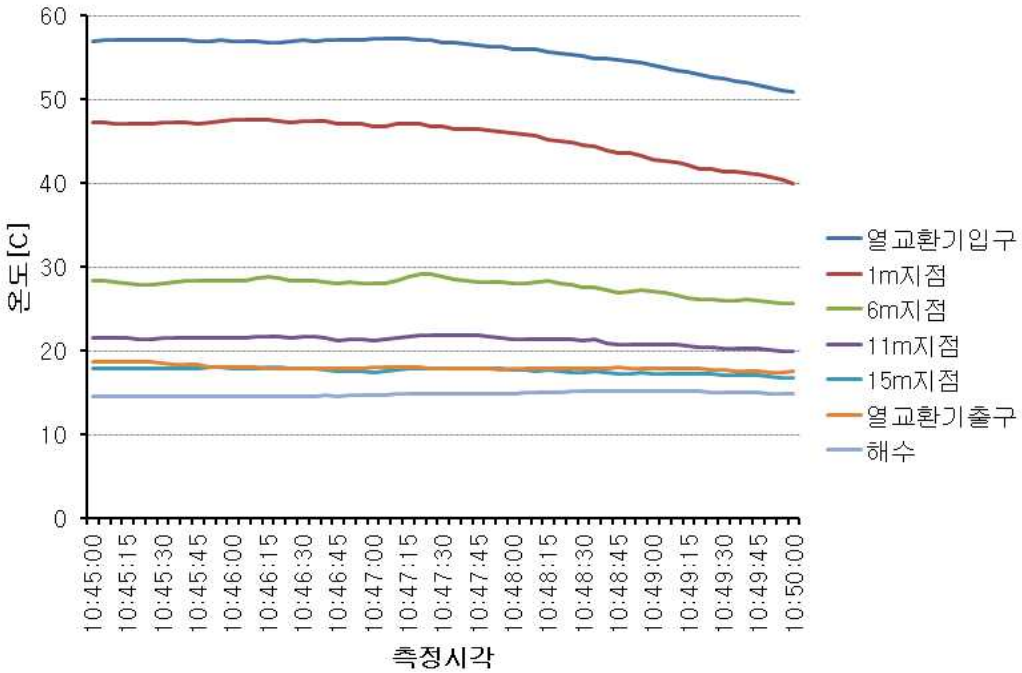

[그림 2-4-28] 해수 열교환 성능실험 결과 (@30℃, 5월 16일)




[그림 2-4-29] 해수 열교환 성능실험 결과 (@30℃, 5월 17일)




[그림 2-4-30] 해수 열교환 성능실험 결과 (@50℃, 5월 17일)




[그림 2-4-31] 해수 열교환 성능실험 결과 (@50℃, 5월 18일)

라. 해수열교환기 형상과 매립방법에 대한 실험 결과

○ 유동특성을 갖는 플로팅건축에 적용 가능한 열교환기는 전술한 바와 같이 구조물 일체형이어야만 함

○ 이에 본 연구에서는 플로팅건축에 매립할 열교환기를 구조물 하단에 설치하기 위한 형상결정을 위하여 U type과 Spring type의 열교환기를 비교 평가함

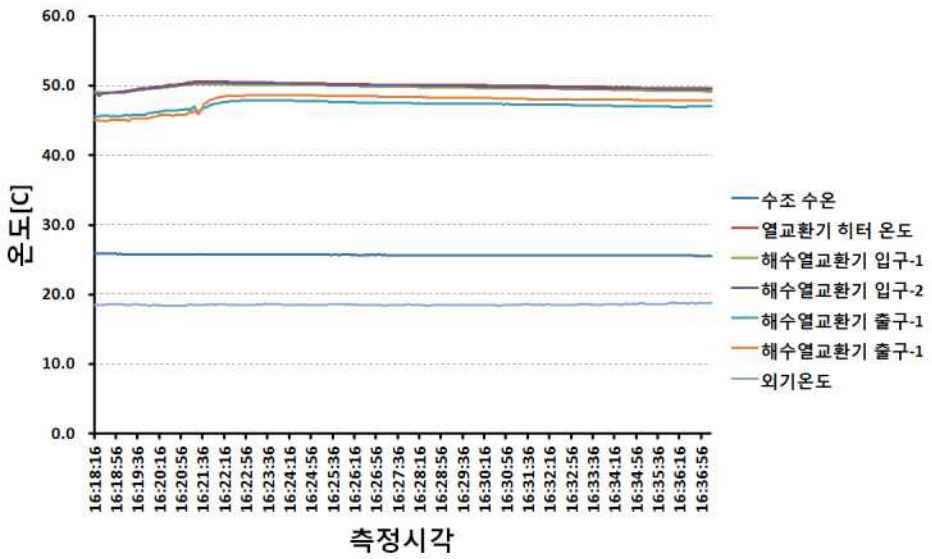


[그림2-4-32] U type 열교환기



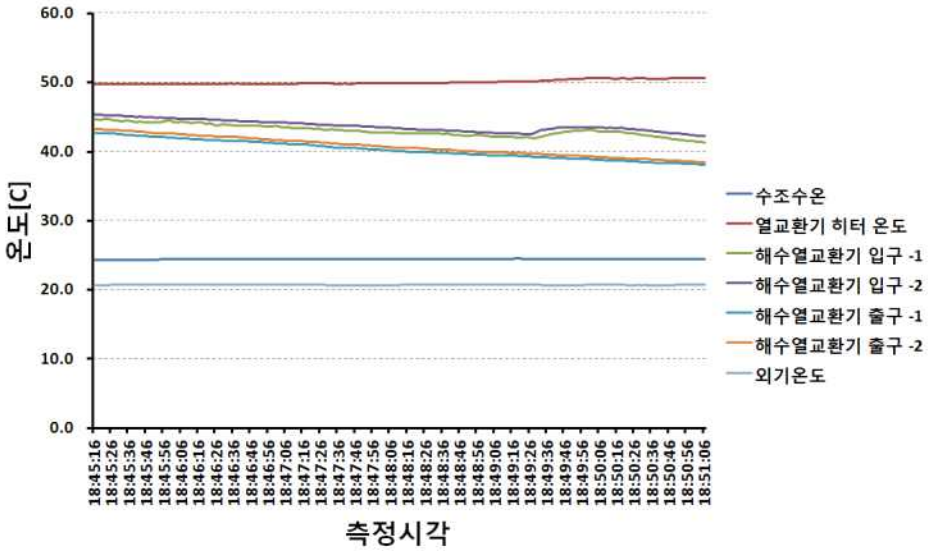
[그림2-4-33] Spring type 열교환기

○ U type 수중 열교환기의 성능 평가 결과, 아래 그림과 같이 수조 온도가 25℃ 수준이고 열교환기 유입 온도가 49℃ 전후 일 때 열교환기 입 출구 온도차는 3℃ 전후의 열교환 성능을 보임




[그림 2-4-34] U type 수중 열교환기의 성능 실험 결과

○ Spring type 수중 열교환기의 성능 평가 결과, 아래 그림과 같이 수조 온도가 24℃ 수준이고 열교환기 유입 온도가 49℃ 전후 일 때 열교환기 입 출구 온도차는 3℃ 전후의 열교환 성능을 보임




[그림 2-4-35] U type 수중 열교환기의 성능 실험 결과

○ U type, Spring type 해수 열교환기가 모두 3℃의 온도차를 나타내고 있지만 상기 그림에서 확인 할 수 있는 바와 같이 U type은 온도차가 안정적으로 형성되는 반면, Spring type은 시간 경과와 함께 온도차가 줄어드는 경향이 분명히 나타남에 따라 본 연구에서는 U type 해수열교환기를 적용하기로 함

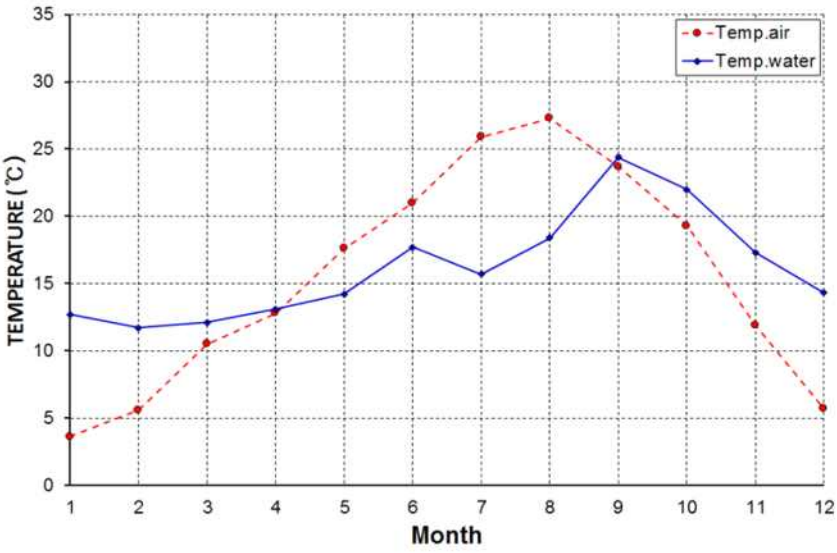
## 마. 목업 실험

### (1) 목업 플로팅구조물을 위한 기초설계

#### (가) CFD를 이용한 해수열 이용시스템 성능예측(기초연구)

○ 한국해양대학교 인근에 설치될 Mock-up구조물에 적용할 해수열교환시스템을 CFD(Computational Fluid Dynamics) 기법으로 예측평가하고 제작 사양을 결정함

○ CFD 시뮬레이션 조건은 부산시의 기상데이터를 활용하여 아래 표와 같이 설정함



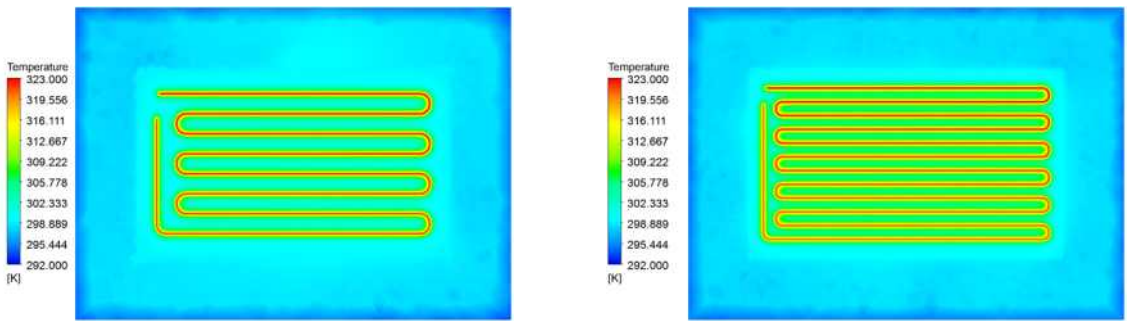

[그림 2-4-36]부산의 월별 대기 및 해수의 평균 온도 (2013년도)

○ CFD 시뮬레이션 각 영역의 물성은 아래 표와 같이 설정함

[표 2-4-8]재료의 물성

| | Water | Air | Mortar |
|---|---|---|---|
| ρ $[kg/m^3]$ | 998.2 | 1.225 | 2000 |
| Cp $[J/kg \cdot K]$ | 4182 | 1006.43 | 795 |
| K $[W/m \cdot K]$ | 0.6 | 0.0242 | 1.5119 |

○ CFD 시뮬레이션을 통해서 다음 그림과 같이 기본 목업 사양을 비교하여 설정함

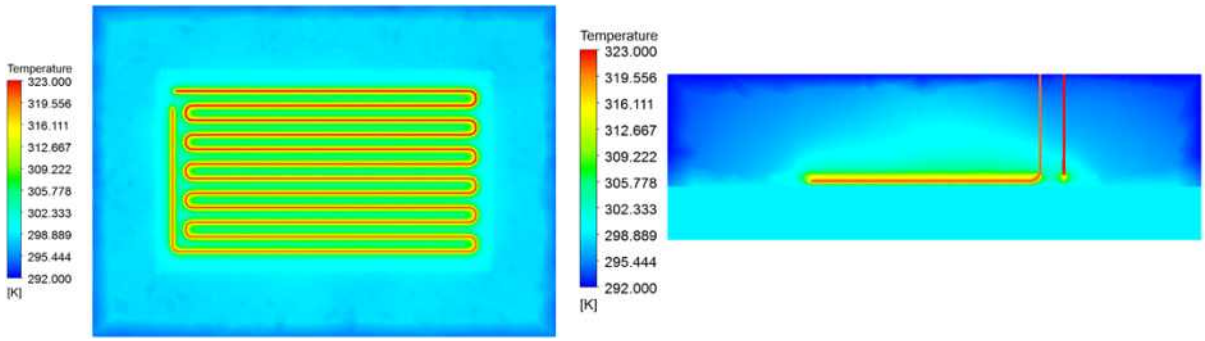



[그림 2-4-37] 배관 간격에 따른 열교환기 성능차이

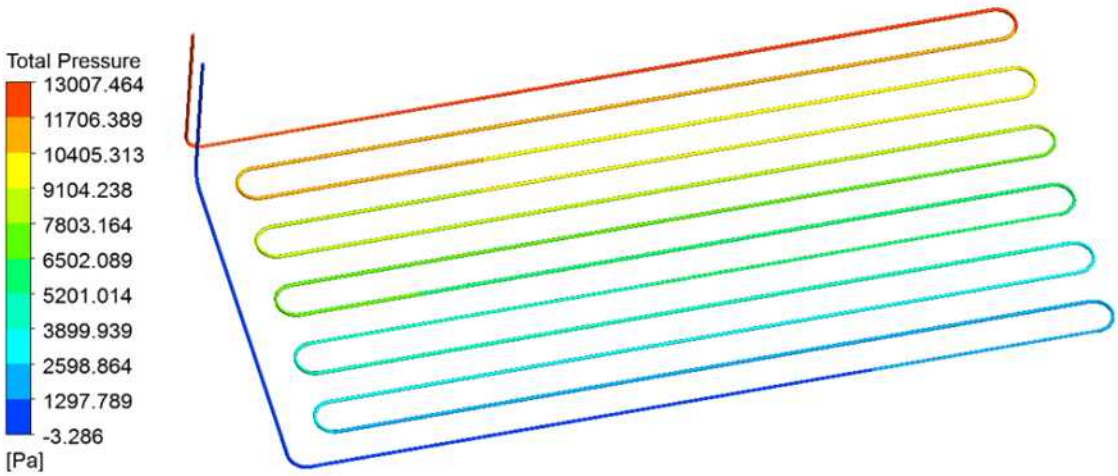
[표 2-4-9]시뮬레이션 조건에 및 결과

| Interval [mm] | Diameter [mm] | Inlet [℃] | Outlet [℃] | Differences [℃] | Heat transfer [W] |
|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 20 | 50 | 46.14 | 3.86 | 4153.5 |
| | 25 | | 47.39 | 2.61 | 4810.5 |
| | 30 | | 48.03 | 1.97 | 5420.9 |
| 300 | 20 | | 47.31 | 2.69 | 2899.1 |
| | 25 | | 48.22 | 1.78 | 3270.6 |
| | 30 | | 48.67 | 1.33 | 3666.5 |

○ 상기 설계조건에 근거하여 CFD 시뮬레이션을 수행한 결과 다음과 같은 온도분포와 압력분포특성을 파악할 수 있었음




[그림 2-4-38] 열교환기의 온도분포 결과

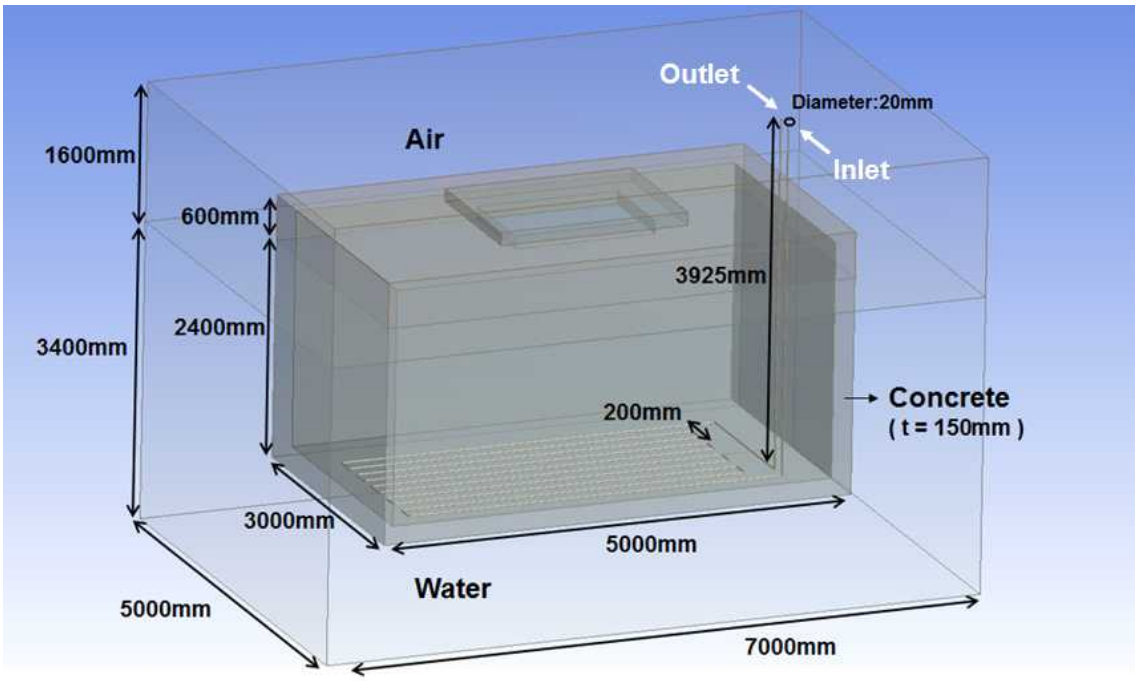



[그림 2-4-39] 열교환기의 압력분포 결과

(나) CFD를 이용한 해수열 이용시스템 성능예측

○ 앞선 CFD 기초 해석 결과를 바탕으로 [그림 2-4-40]과 같이 Mock-up 구조물에 적용할 해수열 이용 시스템을 설계함

○ 해석 범위는 5m×7m×5m이고 위로부터 3m 깊이에 해수 열교환기가 위치하고, 열교환기의 관경은 20mm, 콘크리트 함체의 두께는 150mm로 설정함




[그림 2-4-40] CFD 해석용 구조체의 상세도

○ CFD를 위해 Mesh는 Tetra 및 Prism 타입으로 하여 총 400만개의 Mesh를 생성함

○ 해수열교환기로 유입되는 온도는 40℃(313K), 45℃(318K), 50℃(323K)로 설정하였고, 관내 유속은 0.5㎧, 0.75㎧, 1.0㎧, 1.25㎧로 설정하여 관내 유속 차이에 따른 열교환 성능을 비교하고자 함

○ 총 12가지의 실험 시나리오를 정하였고 [표 2-4-10]에 정리 함

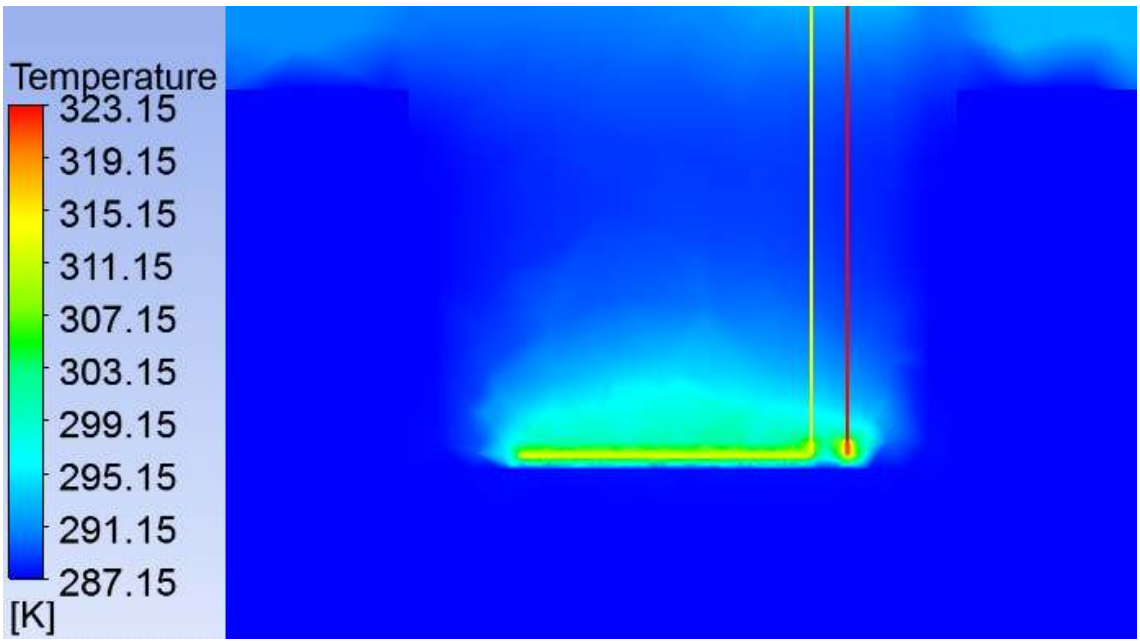
[표 2-4-10] 실험 시나리오

| Scenario | Inlet Temperature [℃] | Flow Velocity [m/s] | Mass Flow Rate [kg/s] |
|---|---|---|---|
| SN-1 | 50 | 0.50 | 0.157 |
| SN-2 | | 0.75 | 0.236 |
| SN-3 | | 1.00 | 0.314 |
| SN-4 | | 1.25 | 0.393 |
| SN-5 | 45 | 0.50 | 0.157 |
| SN-6 | | 0.75 | 0.236 |
| SN-7 | | 1.00 | 0.314 |
| SN-8 | | 1.25 | 0.393 |
| SN-9 | 40 | 0.50 | 0.157 |
| SN-10 | | 0.75 | 0.236 |
| SN-11 | | 1.00 | 0.314 |
| SN-12 | | 1.25 | 0.393 |

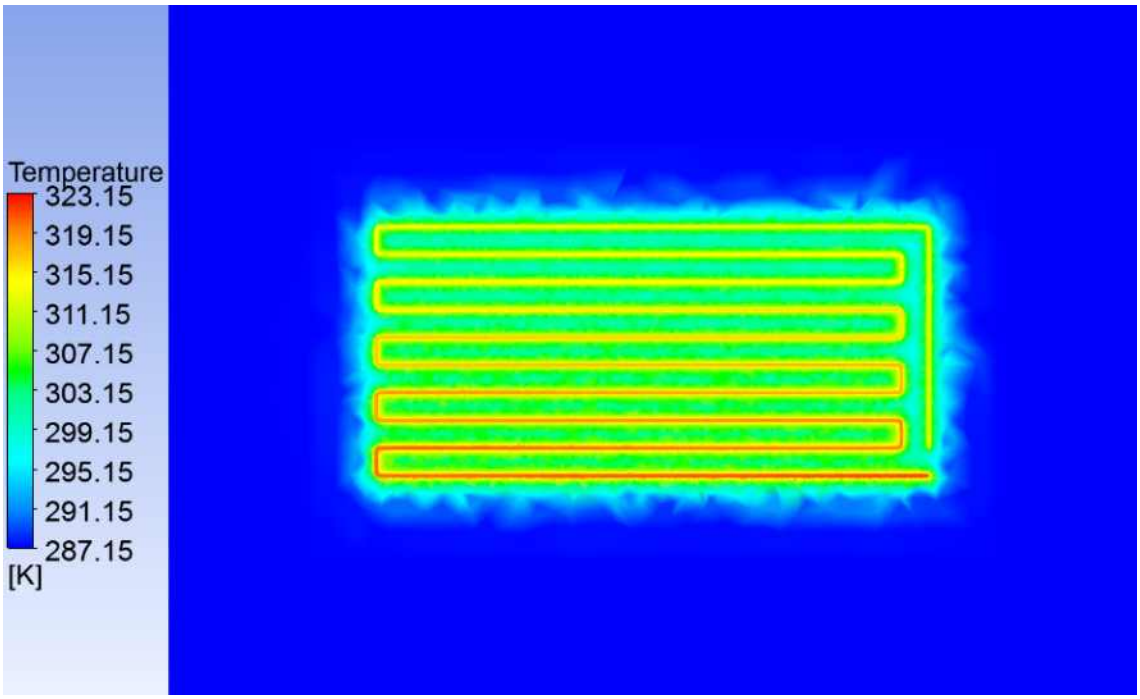
○ 부산의 5월 기상데이터를 참고하여 해수온도는 14℃(287K), 대기의 온도는 20℃(293K)로 설정함

○ CFD에 의한 해석 결과는 [그림 2-4-41] ~ [그림 2-4-42]와 같이 3차원으로 도출됨

○ [그림 2-4-41]은 경계조건이 SN-1(입구의 온도 - 50℃, 관내유속 - 0.5㎧) 일 때의 결과로써 수직단면과 수평단면에서의 온도분포를 나타냄



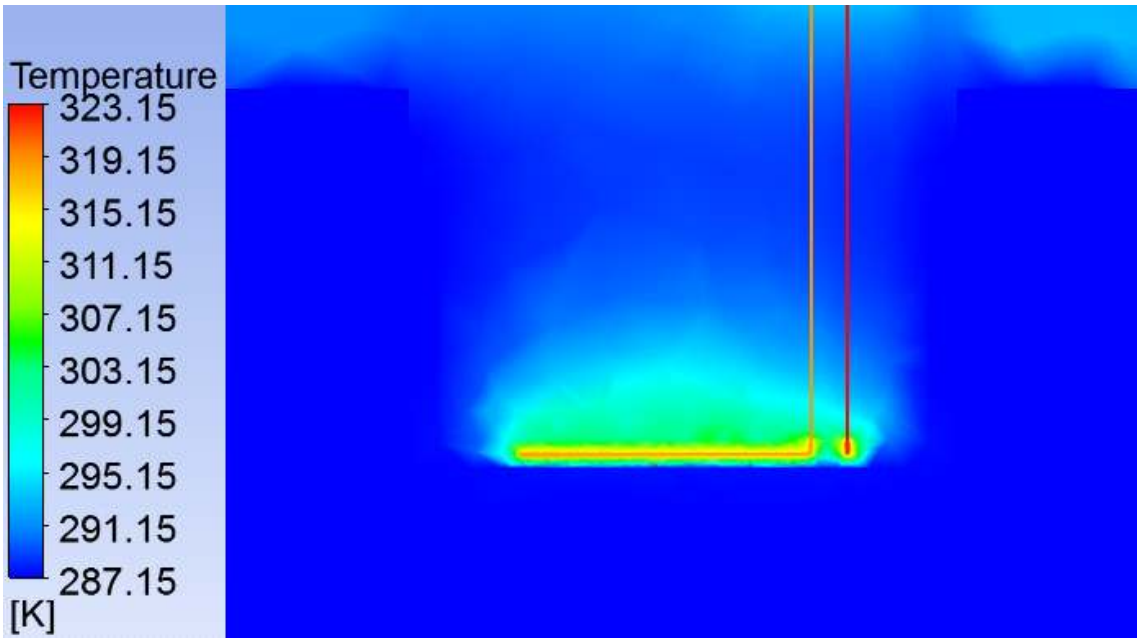

<수직 단면>



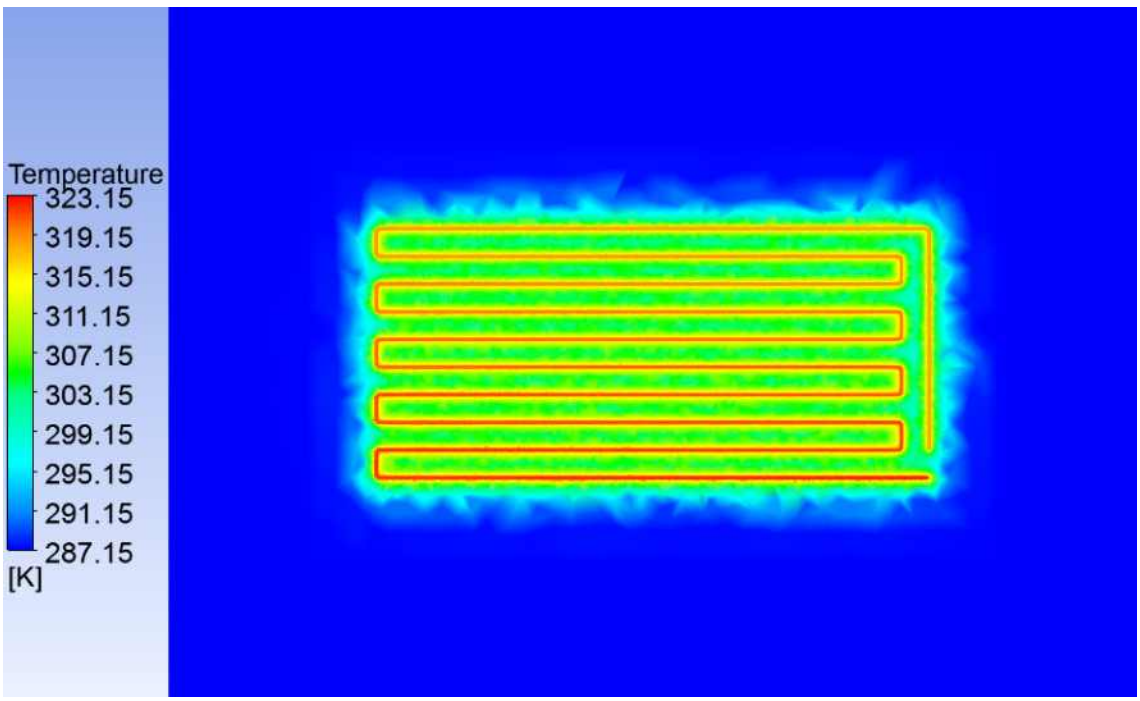

<수평 단면>

[그림 2-4-41] CFD 성능 예측 결과(온도 분포)

○ [그림 2-4-42]는 경계조건이 SN-4(입구의 온도 - 50℃, 관내유속 - 1.25㎧) 일 때의 결과로써 수직단면과 수평단면에서의 온도분포를 나타냄




<수직 단면>




<수평 단면>

[그림 2-4-42] CFD 성능 예측 결과(온도 분포)

[표 2-4-11] 실험 시나리오별 CFD 성능예측 결과

| Scenario | Flow Velocity [m/s] | Inlet Temp. [℃] | Sea Water Temp. [℃] | Outdoor Air Temp. [℃] | Outlet Temp. [℃] | △T [℃] | Heat Transfer [W] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SN-1 | 0.50 | 50 | 14.0 | 20.0 | 40.16 | 9.84 | 5,175 |
| SN-2 | 0.75 | | | | 43.01 | 6.99 | 5,510 |
| SN-3 | 1.00 | | | | 44.58 | 5.42 | 5,699 |
| SN-4 | 1.25 | | | | 45.57 | 4.43 | 5,818 |
| SN-5 | 0.50 | 45 | | | 36.53 | 8.47 | 4,456 |
| SN-6 | 0.75 | | | | 38.98 | 6.02 | 4,746 |
| SN-7 | 1.00 | | | | 40.33 | 4.67 | 4,908 |
| SN-8 | 1.25 | | | | 41.19 | 3.81 | 5,009 |
| SN-9 | 0.50 | 40 | | | 32.90 | 7.10 | 3,736 |
| SN-10 | 0.75 | | | | 24.95 | 5.05 | 3,981 |
| SN-11 | 1.00 | | | | 36.09 | 3.91 | 4,117 |
| SN-12 | 1.25 | | | | 36.81 | 3.19 | 4,200 |

○ 실험 시나리오별 CFD 해석결과를 [표 2-4-11]에 나타냄

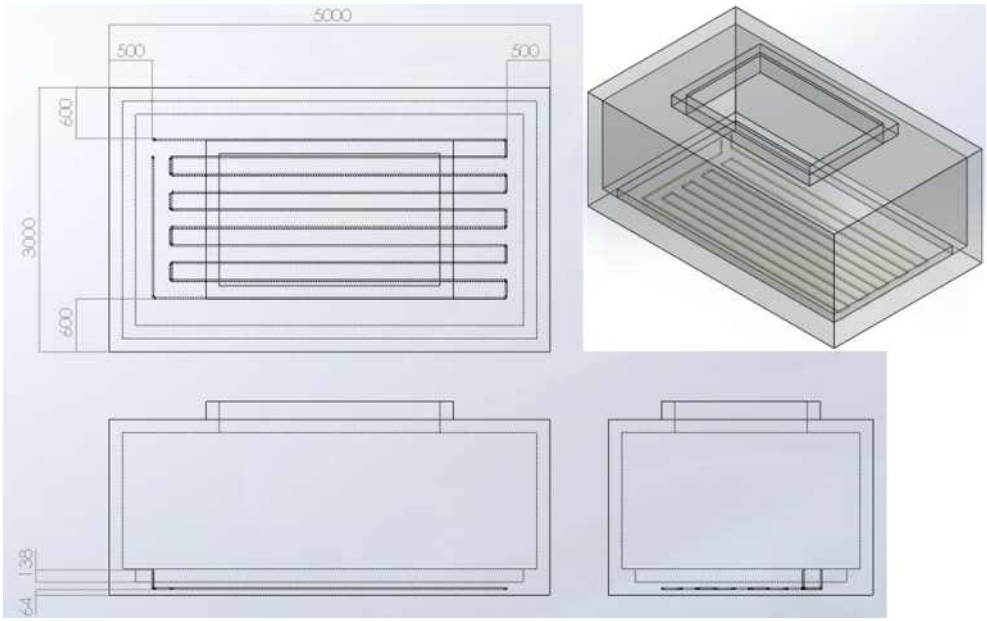
○ 해수 열교환기의 유입온도가 높을수록 입출구의 온도차가 크고 열교환량이 큰 것을 알 수 있음

○ 해수 열교환기 내부 유속이 커질수록 입출구의 온도차는 적지만 열교환량이 커지는 것을 알 수 있는데, 이를 통해 열교환 성능은 유량에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있음

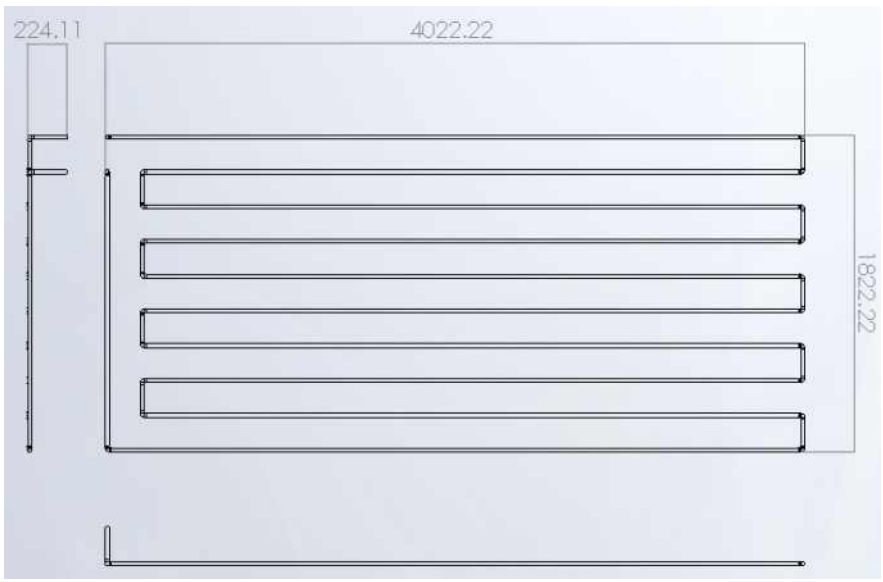
(2) 목업 실험구조체 설계 및 제작

○ CFD 시뮬레이션의 예측결과에 근거하여 목업 사양을 결정함

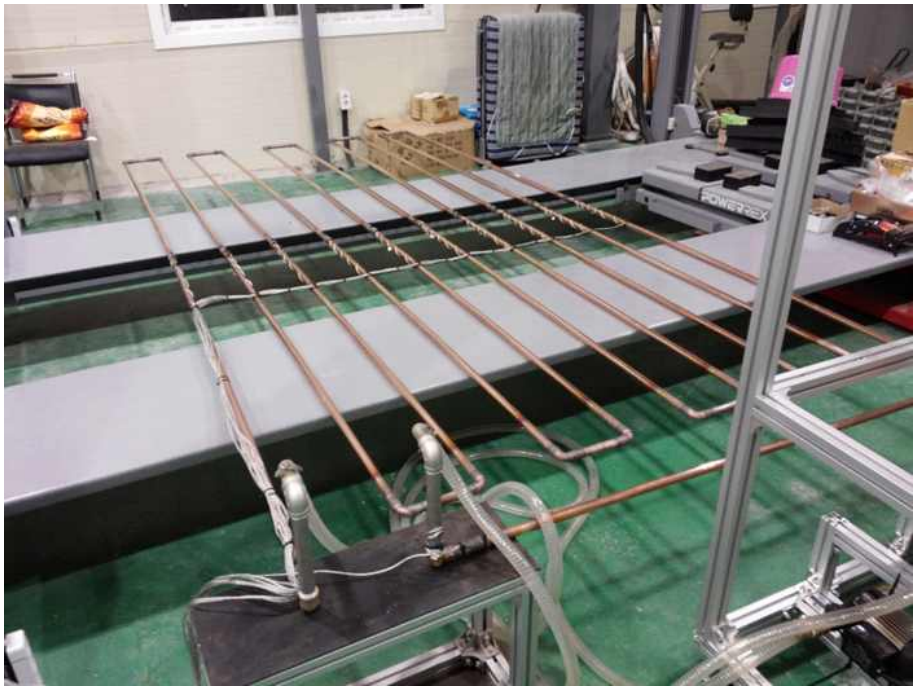
○ 목업 실험 구조체 중 배관부의 형상은 다음과 같음




[그림 2-4-43] CFD 해석용 구조체 사양




[그림 2-4-44] CFD 해석용 구조체의 평면 상세도



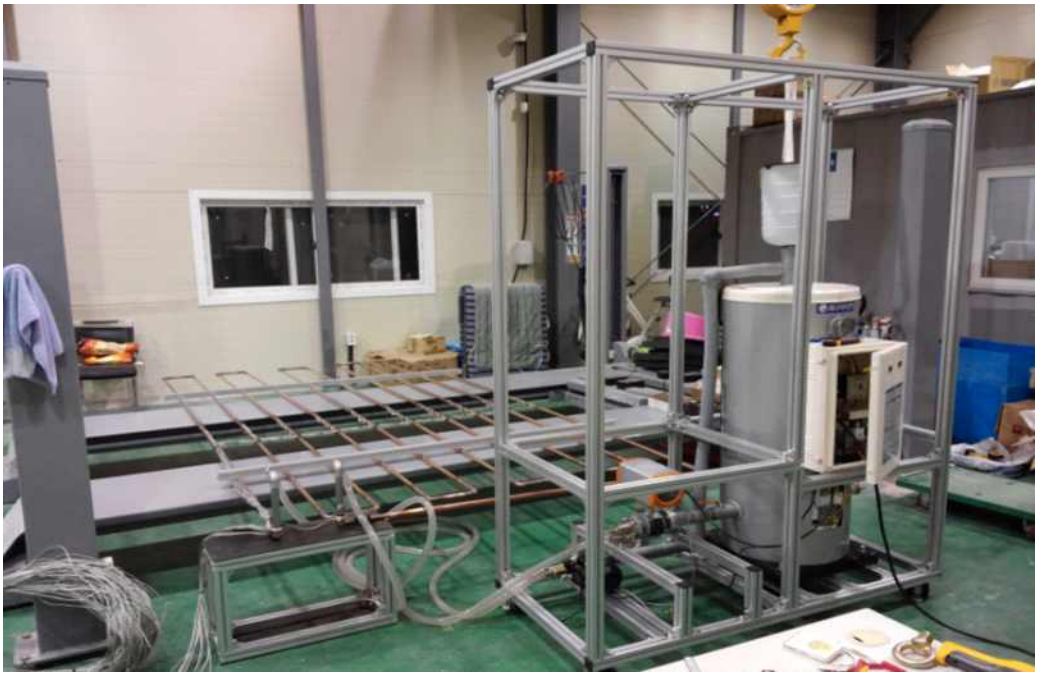
[그림 2-4-45] 해수열이용시스템 (배관)

○ 목업 실험 구조체 중 육상부의 형상은 다음과 같으며, 육상부는 히터, 수조, 송수펌프, 제어판으로 구성되어 있으며, 유량계, 온도계 등 각종 측정계가 부착되어 있거나, 측정 가능하도록 고안되었음



[그림 2-4-46] 해수열이용시스템 (육상부)

○ 육상 조립 테스트 : 완성된 해수열이용시스템 모습



[그림 2-4-47] 해수열이용시스템 (완성)

○ [그림 2-4-48] ~ [그림 2-4-49]는 실험체의 육상부와 해상부 각각의 설치 모습과 전체 설치 상태를 나타냄

○ 목업 시스템 (육상부)



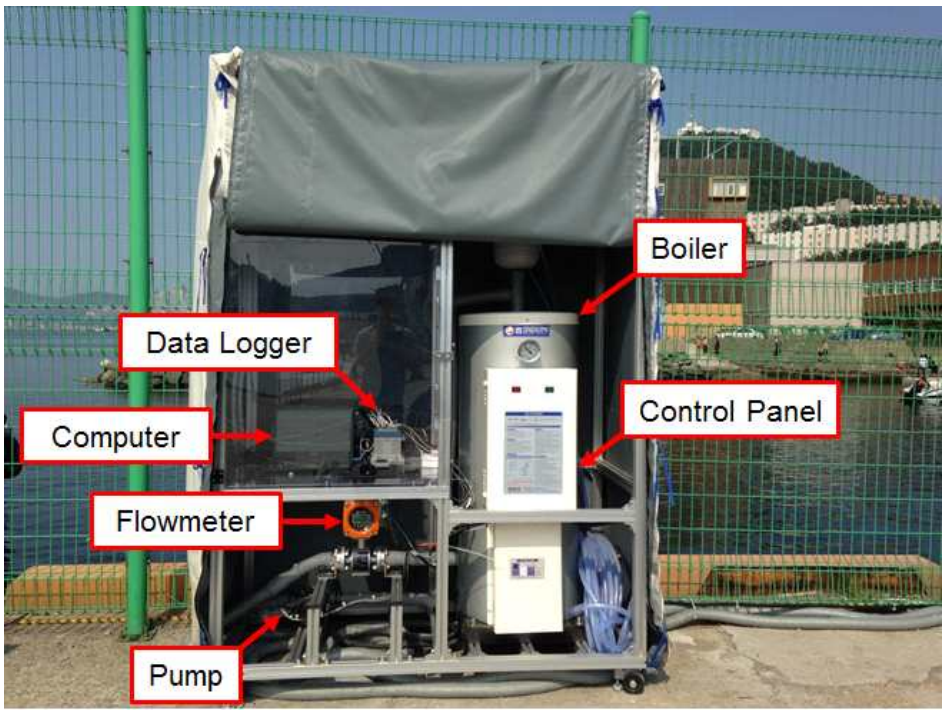
[그림 2-4-48] 해수열이용시스템 설치(육상부)

○ 목업 시스템 설치모습



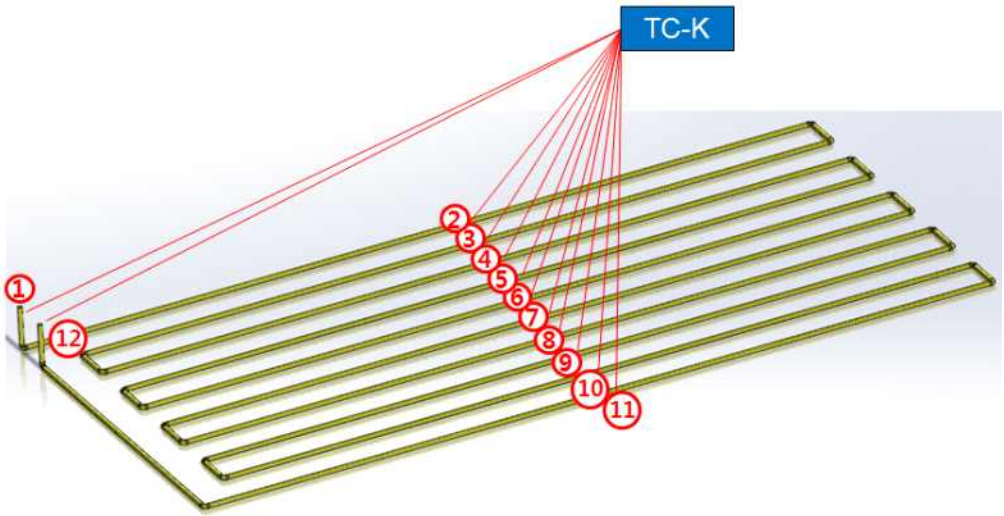

[그림 2-3-49] 해수열이용시스템 설치(해상부)

○ 육상장비(제어부)




[그림 2-4-50] 해수열이용시스템(육상부)

○ 해수열이용시스템의 성능을 측정하기 위해 [그림 2-4-51]에 표시된 12곳을 포함해 총 15곳, (온도 측정-14, 전압 측정-1)에 열전대(Thermocouple)을 설치함




[그림 2-4-51] CFD 해석용 구조체의 평면 상세도

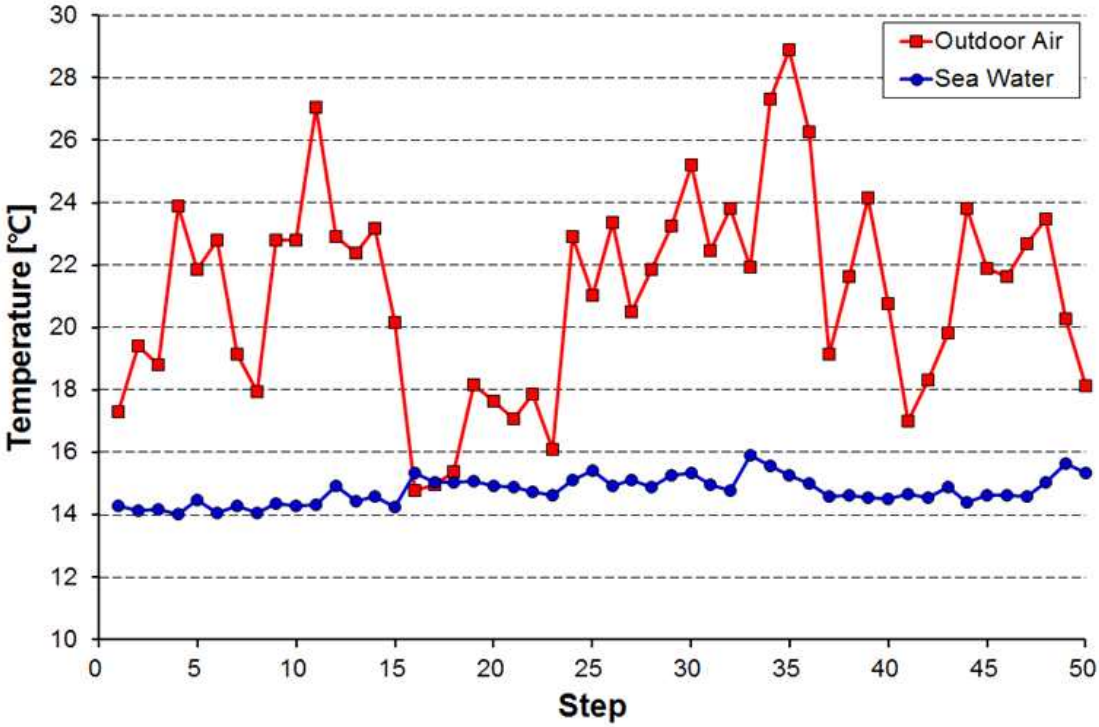
① Inlet ② 2m ③ 6m ④ 10m ⑤ 14m ⑥ 18m ⑦ 22m ⑧ 26m
⑨ 30m ⑩ 34m ⑪ 38m ⑫ Outlet ⑬ Air ⑭ Sea ⑮ Velocity

(3) 목업 성능실험 결과

[표 2-4-12] 측정항목과 방법

| 측정항목 | 측정내용 | 측정방법 | 측정장비 | 측정기간<br>주기 |
|---|---|---|---|---|
| 순환유량 | 해수열교환기 배관내의 순환 유량 측정 | 유량계 설치 | 유량계 | 월<br>1주일 |
| 공급온도<br>환수온도 | 해수열교환기 배관내의 공급온도와 환수온도 측정 | 배관 내 온도계 설치 | T-type 열전대, 데이터 로거 | 월<br>1주일 |
| 해수유속<br>해수방향 | 해수의 유속과 흐름 방향 측정 | 침수면에 유량계와 방향계 설치 | 유량계, 방향계, 데이터 로거 | 월<br>1주일 |
| 에너지<br>사용량 | 보일러에서 실내온도를 유지하기 위해 소비되는 전력량과 열량 측정 | 열량계 설치 | 전력량계 | 월<br>1주일 |
| 에너지<br>시뮬레이션 | 1.각 대상부위별 3차원 전열해석<br>2.외피시스템 및 냉난방 적용에 따른 건물 전체의 연간 냉난방 부하 및 에너지 소비량 해석 | 에너지 해석 프로그램을 활용한 성능평가 | Fluent,<br>EnergyPlus | 진행중<br>상시 |
| 외기<br>온습도 | 실험 기간 내의 온도 및 습도변화 측정 | 실내외 온습도 상시 모티너링 | 온습도계, 데이터 로서 | 상시<br>상시 |

○ 외기 및 해수 온도 측정 결과




[그림 2-4-52] 외기 및 해수온도 측정 결과

○ 해상에서의 열교환 성능을 수행하기 위해 해수온도가 14℃ 수준에서 열교환기로의 유입온도를 40℃, 45℃, 50℃로 조절하고, 관내유속을 0.5㎧, 0.75㎧, 1.0㎧, 1.25㎧로 조절하면서 각각 4회씩 실험함

○ 또한 배관 유동 중의 온도변화를 실측하기 위하여 열교환기 입구로부터 2m, 6m, 10m, 14m, 18m, 22m, 26m, 30m, 34m, 38m, 지점에 열전대(Thermocouple)를 설치함

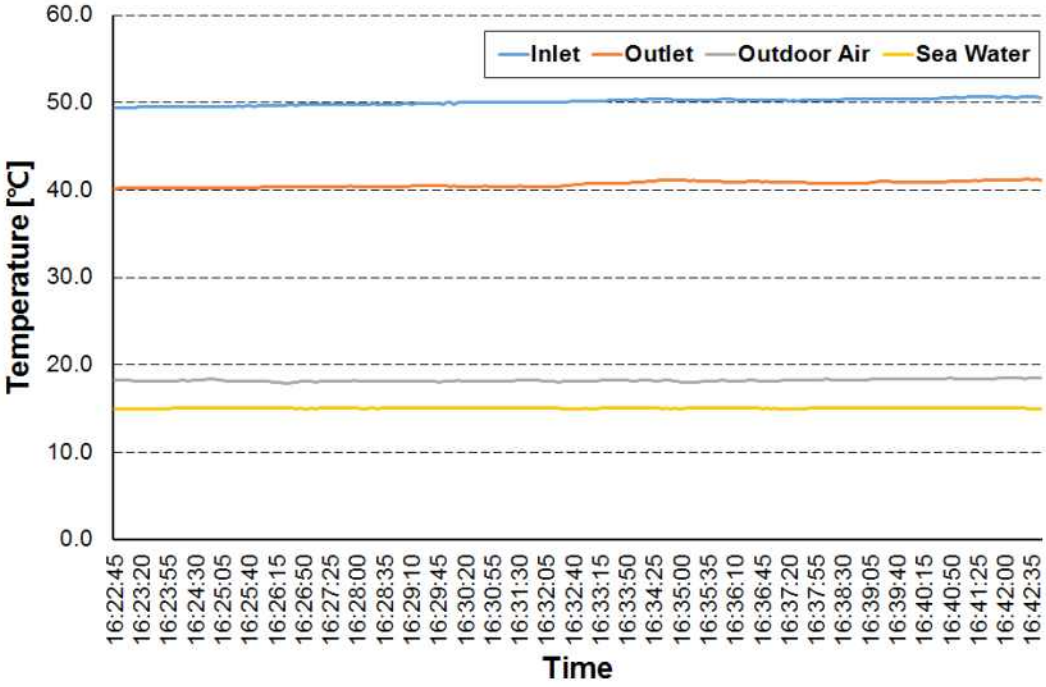
○ [그림 2-4-53] ~ [그림 2-4-64]은 각 유입온도별 위치별 측정 온도변화를 나타냄

○ 각각의 실험에서 해수의 온도는 14℃~15℃로 비슷한 수준이고, 대기의 온도는 16~25℃로 차이가 있지만, 열교환 성능 결과에 상대적으로 미비한 영향을 끼침

○ [표 2-4-13]에 실험조건 및 입출구의 온도차, 열교환량 등 시나리오 별 실험결과를 종합하여 정리함

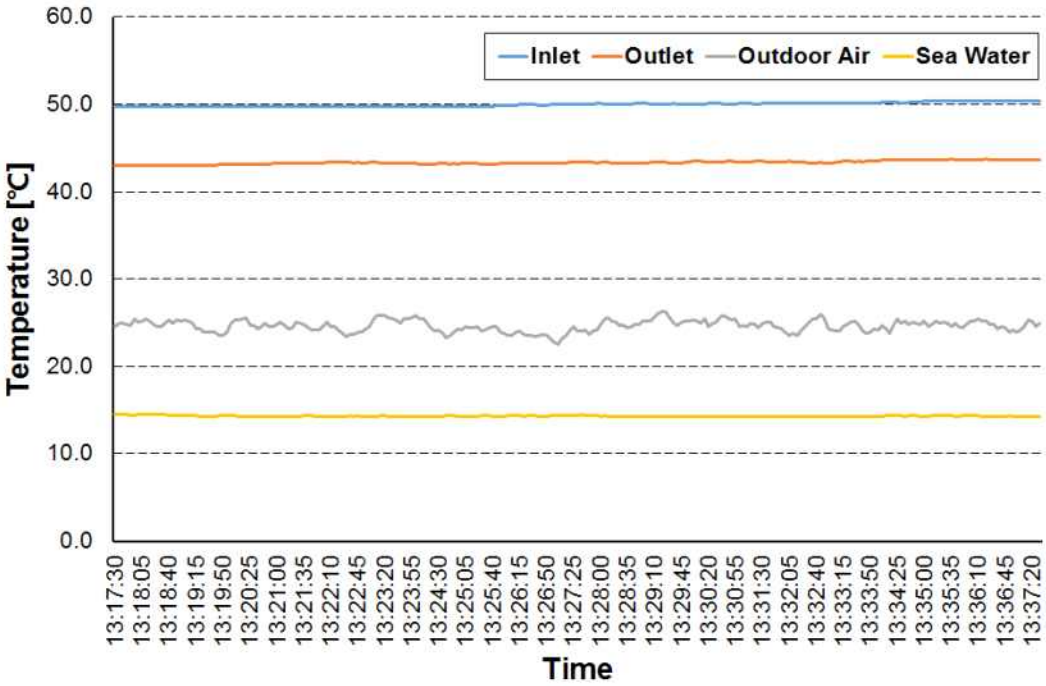
○ 이상과 같은 결과는 CFD의 예측 결과와 매우 유사함

○ SN-1 실험결과(입구온도-50℃, 관내유속-0.5㎧)



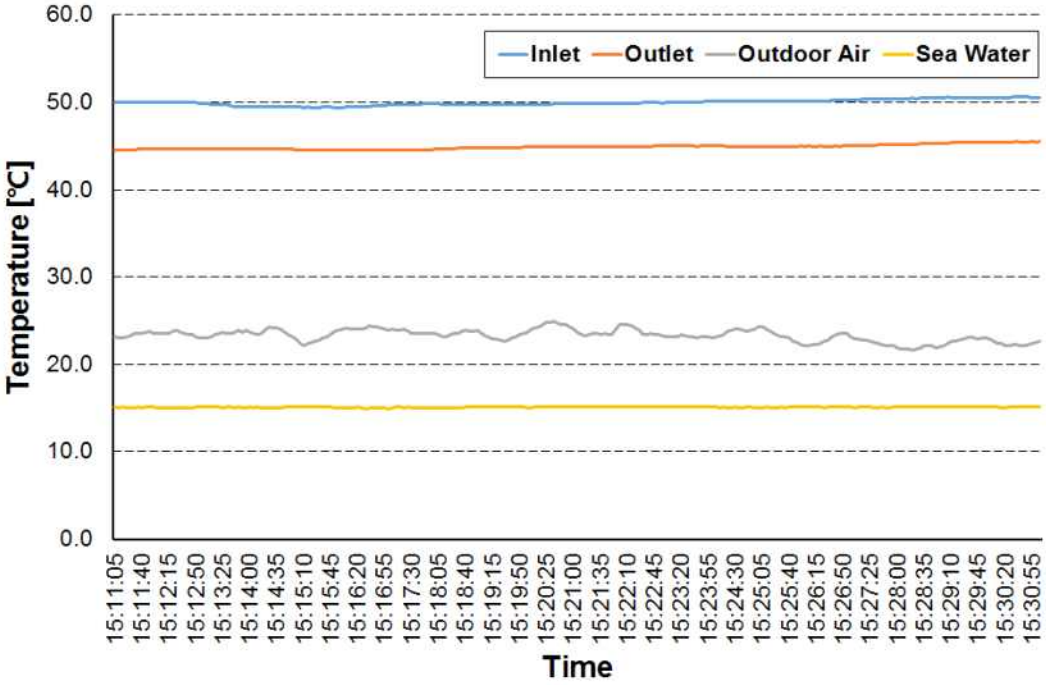

[그림 2-4-53] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 4일)

○ SN-2 실험결과(입구온도-50℃, 관내유속-0.75㎧)



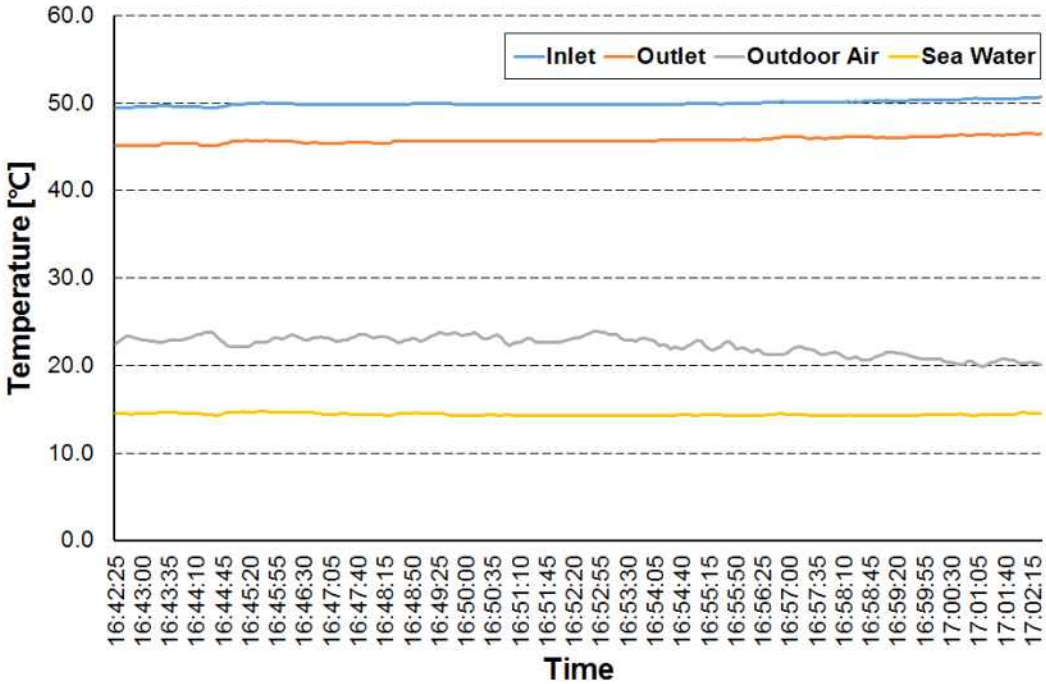

[그림 2-4-54] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 1일)

○ SN-3 실험결과(입구온도-50℃, 관내유속-1.0㎧)



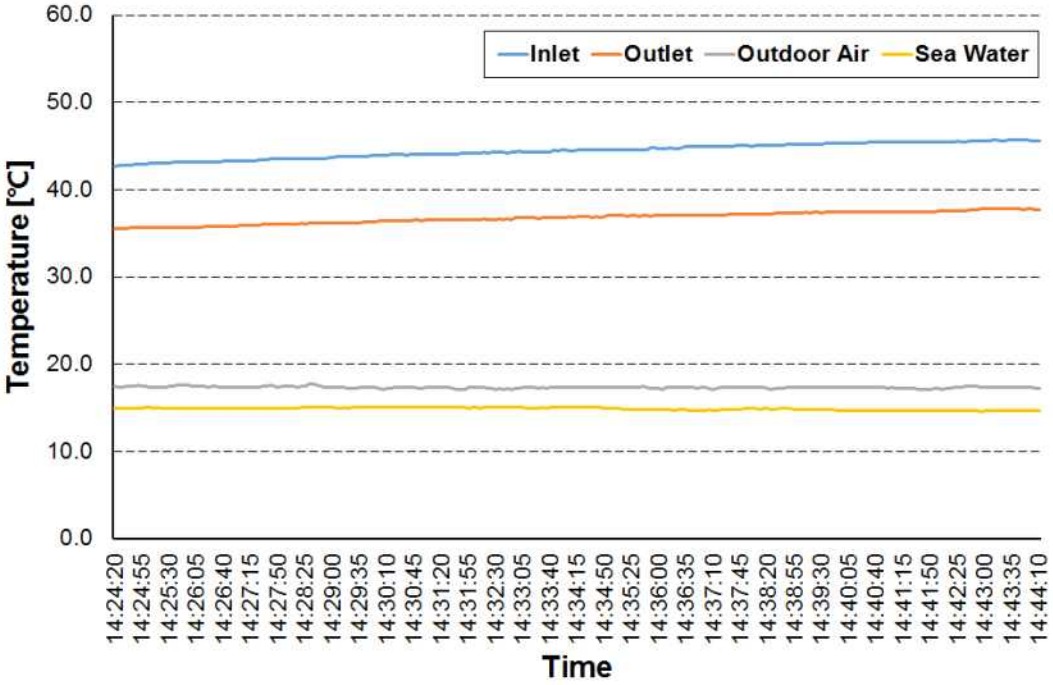

[그림 2-4-55] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 6일)

○ SN-4 실험결과(입구온도-50℃, 관내유속-1.25㎧)



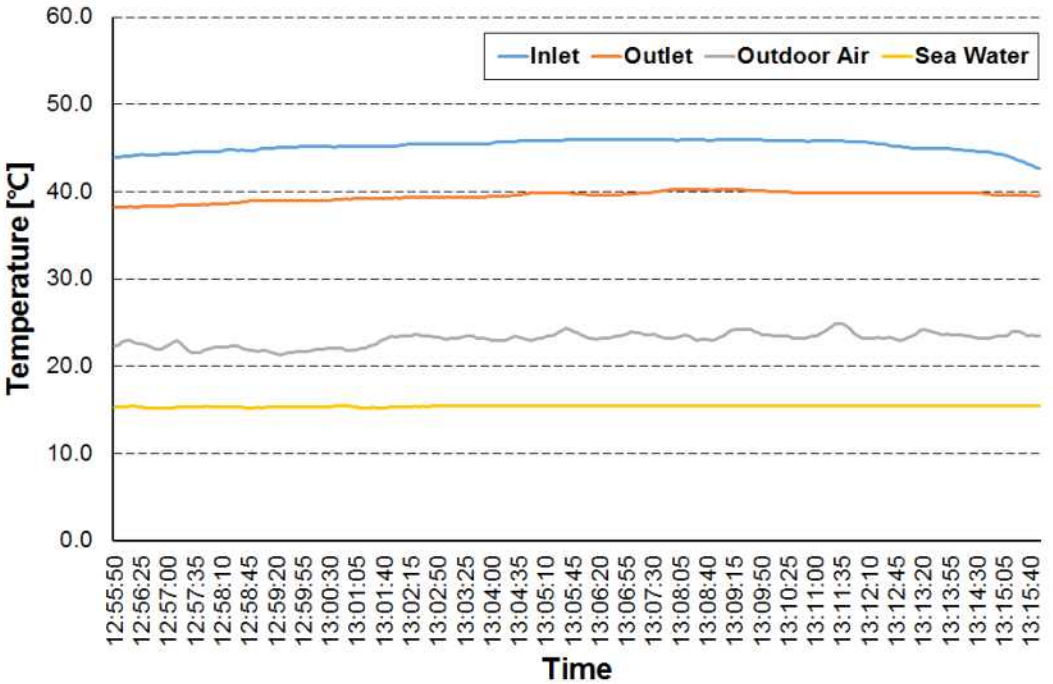

[그림 2-4-56] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 2일)

○ SN-5 실험결과(입구온도-45℃, 관내유속-0.5㎧)



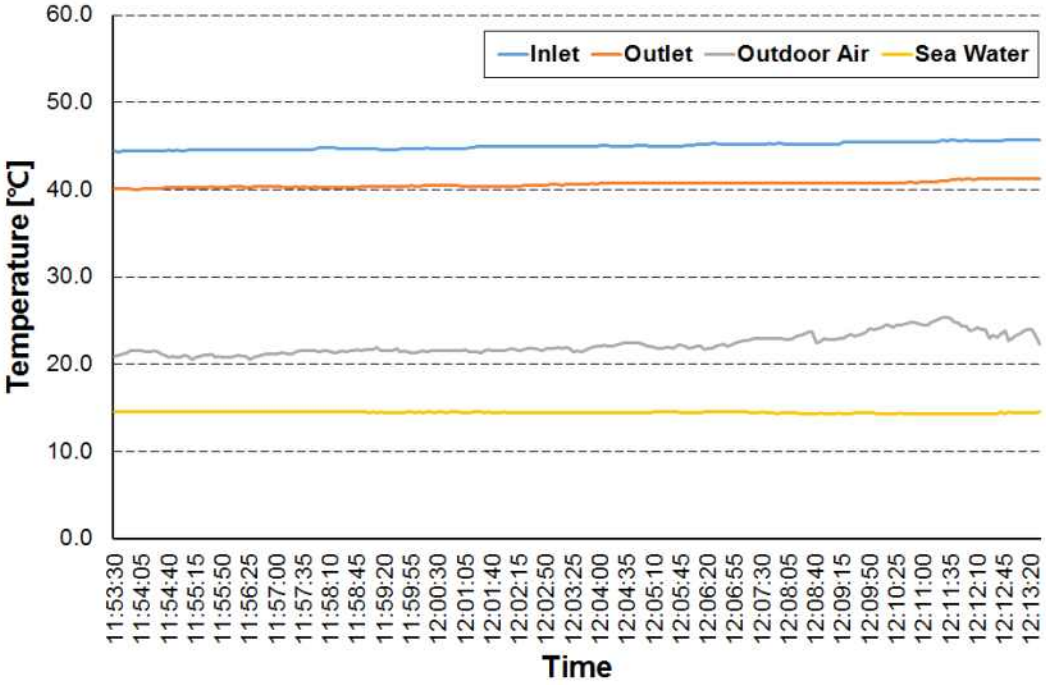

[그림 2-4-57] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 2일)

○ SN-6 실험결과(입구온도-45℃, 관내유속-0.75㎧)



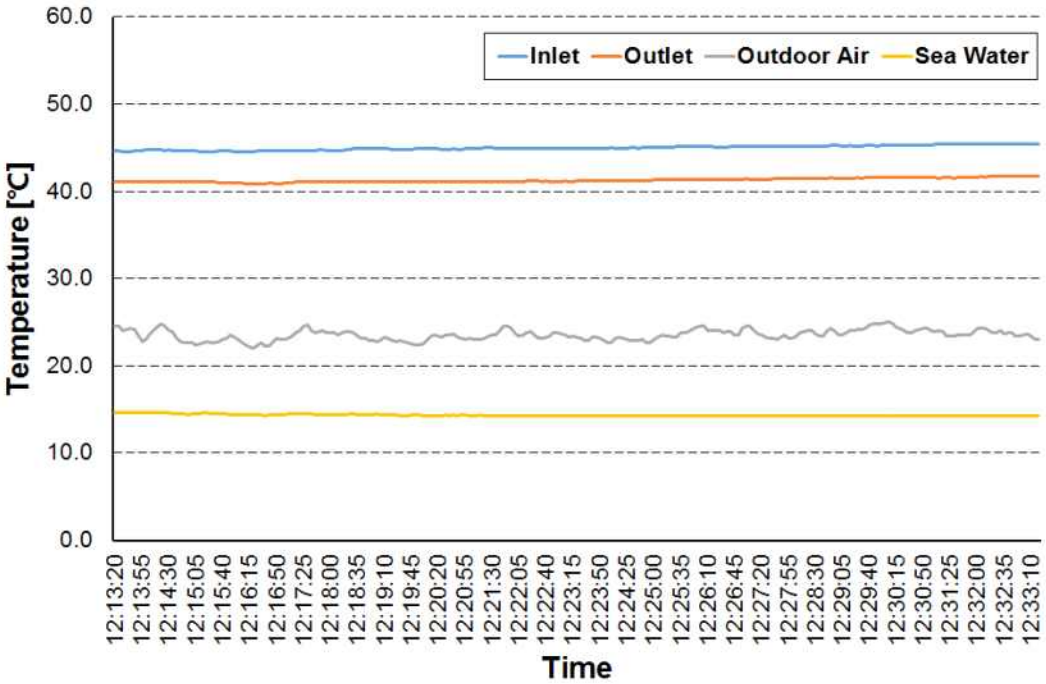

[그림 2-4-58] 해수 열교환 성능실험 결과 (4월 30일)

○ SN-7 실험결과(입구온도-45℃, 관내유속-1.0㎧)



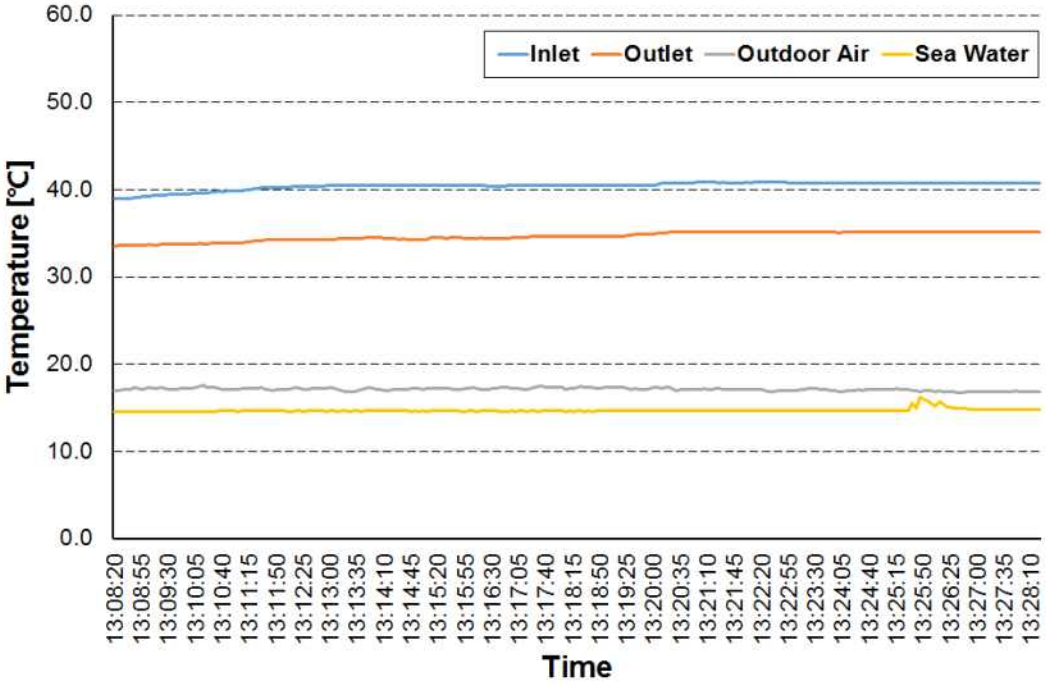

[그림 2-4-59] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 5일)

○ SN-8 실험결과(입구온도-45℃, 관내유속-1.25㎧)



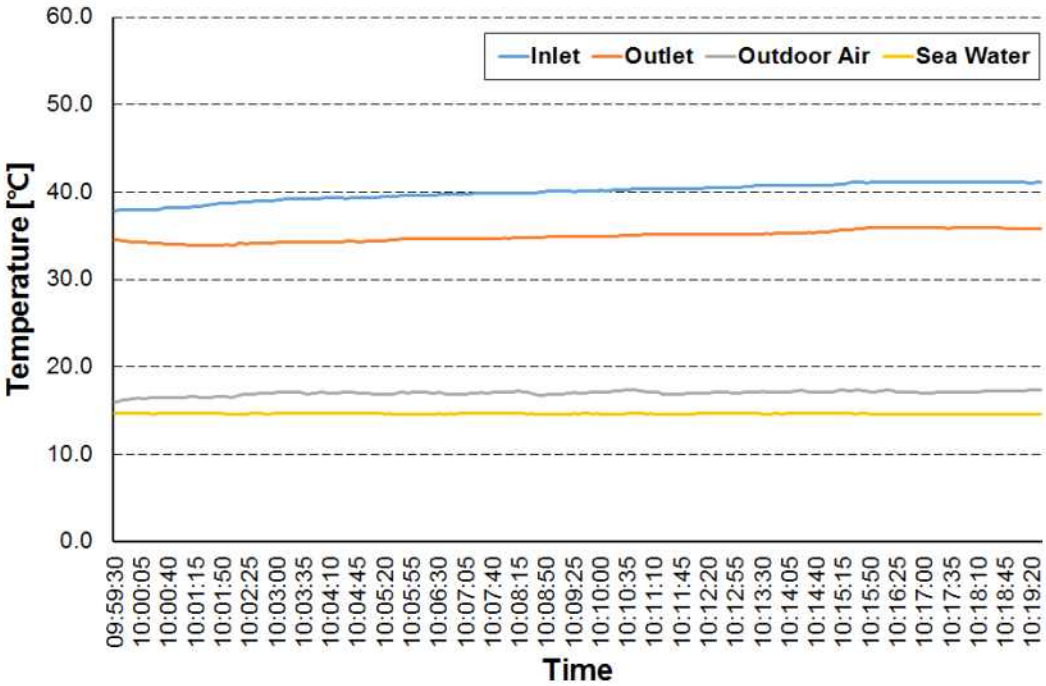

[그림 2-4-60] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 6일)

○ SN-9 실험결과(입구온도-40℃, 관내유속-0.5㎧)



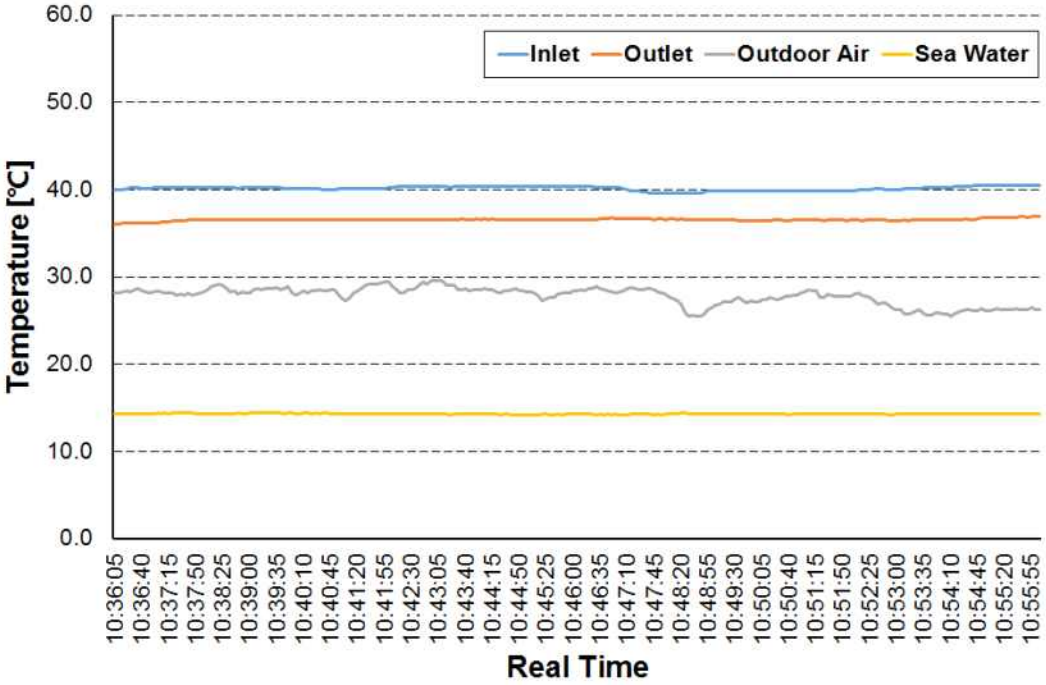

[그림 2-4-61] 해수 열교환 성능실험 결과 (4월 30일)

○ SN-10 실험결과(입구온도-40℃, 관내유속-0.75㎧)



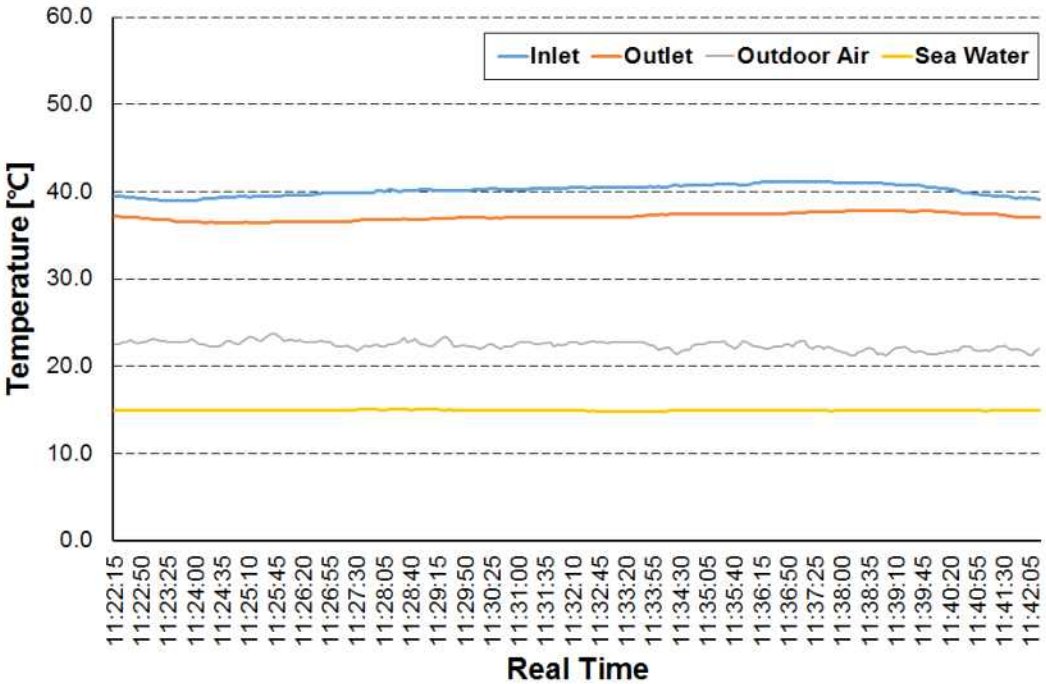

[그림 2-4-62] 해수 열교환 성능실험 결과 (4월 30일)

○ SN-11 실험결과(입구온도-40℃, 관내유속-1.0㎧)




[그림 2-4-63] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 5일)

○ SN-12 실험결과(입구온도-40℃, 관내유속-1.25㎧)




[그림 2-4-64] 해수 열교환 성능실험 결과 (5월 6일)

[표 2-4-13] 시나리오별 실험 결과

| Scenario | Flow Velocity [m/s] | Inlet Temp. [℃] | Sea Water Temp. [℃] | Outdoor Air Temp. [℃] | Outlet Temp. [℃] | △T [℃] | Heat Transfer [W] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SN-1 | 0.50 | 50.07 | 15.08 | 18.20 | 40.64 | 9.43 | 4,958 |
| SN-2 | 0.75 | 50.00 | 14.34 | 24.64 | 43.35 | 6.64 | 5,245 |
| SN-3 | 1.00 | 49.98 | 15.07 | 23.30 | 44.90 | 5.09 | 5,342 |
| SN-4 | 1.25 | 49.97 | 14.41 | 22.31 | 45.76 | 4.21 | 5,533 |
| SN-5 | 0.50 | 45.02 | 14.83 | 17.32 | 37.24 | 7.78 | 4,091 |
| SN-6 | 0.75 | 45.24 | 15.37 | 23.08 | 39.47 | 5.77 | 4,551 |
| SN-7 | 1.00 | 44.99 | 14.44 | 22.24 | 40.60 | 4.39 | 4,616 |
| SN-8 | 1.25 | 45.00 | 14.36 | 23.53 | 41.28 | 3.72 | 4,890 |
| SN-9 | 0.50 | 40.46 | 14.73 | 17.12 | 34.66 | 5.80 | 3,050 |
| SN-10 | 0.75 | 39.70 | 14.66 | 16.88 | 34.86 | 4.84 | 3,579 |
| SN-11 | 1.00 | 40.13 | 14.30 | 27.81 | 36.53 | 3.60 | 3,786 |
| SN-12 | 1.25 | 40.17 | 14.95 | 22.40 | 37.11 | 3.06 | 4,022 |

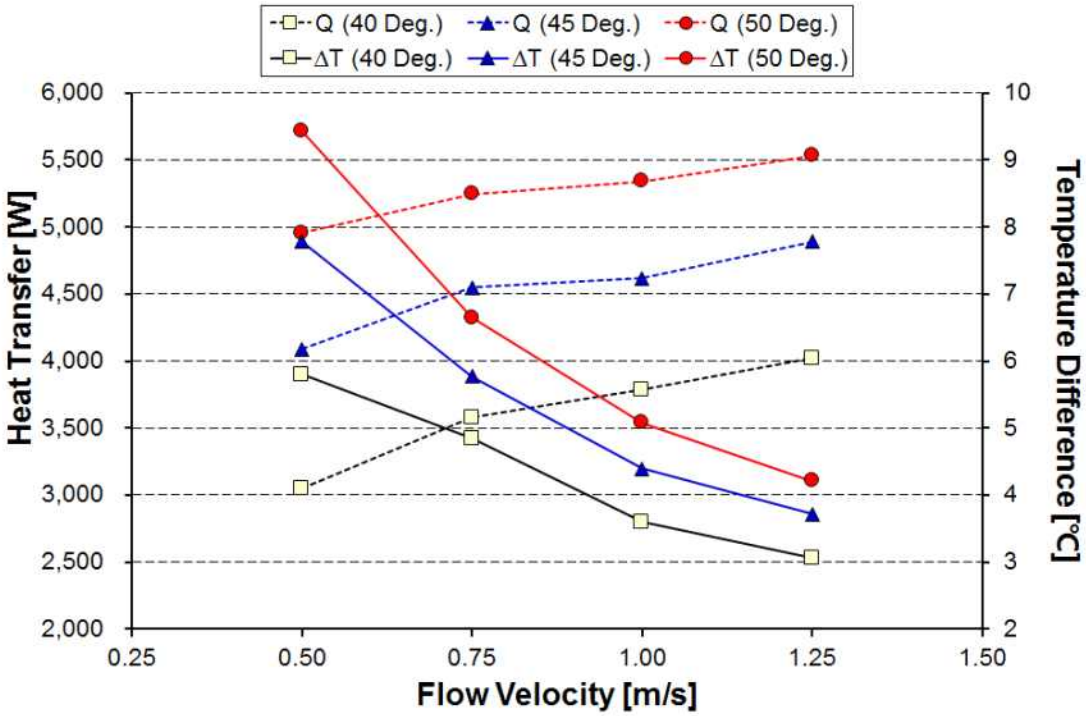
○ 앞서 수행하였던 열교환기 성능예측(CFD 해석)과 동일한 시나리오를 적용하여 총 12가지의 시나리오로 실험을 진행함

○ 동일한 입구온도일 때, 관내유속이 증가함에 따라 입출구의 온도는 감소하지만 전체적인 열교환량은 증가하는 것을 알 수 있음

○ 해수 열교환기로의 유입온도를 50℃, 관내유속을 0.5㎧로 설정하였을 때 입출구의 온도차이가 9.43℃로 가장 크고, 유입온도를 50℃, 관내유속을 1.25㎧로 설정하였을 때 열교환량이 5,533W로 가장 큼

○ [그림 2-4-65]에 시나리오 별 실험결과를 입출구의 온도차는 점선, 열교환량은 실선으로 표시하여 나타 냄

○ 입출구의 온도 차이와 열교환량 중 사용자가 원하는 결과에 맞추어 관내유속을 조절하여 운전조건을 선택하여야 함




[그림 2-4-65] 시나리오 별 실험결과 종합

○ 실험 시나리오별로 각각 CFD와 실측 실험 결과를 [표 2-4-14]에 정리하여 나타냄

○ CFD와 실험결과는 입출구의 온도차이가 0.4℃ 정도, 열교환량의 차이는 200W 정도로 대부분 거의 유사한 값을 보임

○ CFD와 실험결과 비교분석

[표 2-4-14] CFD 및 실측 실험 결과

| | Scenario | Flow Velocity [m/s] | Inlet Temp. [℃] | Sea Water Temp. [℃] | Outdoor Air Temp. [℃] | Outlet Temp. [℃] | △T [℃] | Heat Transfer [W] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CFD | SN-1 | 0.50 | 50.07 | 15.08 | 18.20 | 40.50 | 9.57 | 5,034 |
| Exp. | | | | | | 40.64 | 9.43 | 4,958 |
| CFD | SN-2 | 0.75 | 50.00 | 14.34 | 24.64 | 43.08 | 6.92 | 5,455 |
| Exp. | | | | | | 43.35 | 6.64 | 5,245 |
| CFD | SN-3 | 1.00 | 49.98 | 15.07 | 23.30 | 44.73 | 5.25 | 5,524 |
| Exp. | | | | | | 44.90 | 5.09 | 5,342 |
| CFD | SN-4 | 1.25 | 49.97 | 14.41 | 22.31 | 45.60 | 4.37 | 5,743 |
| Exp. | | | | | | 45.76 | 4.21 | 5,533 |
| CFD | SN-5 | 0.50 | 45.02 | 14.83 | 17.32 | 36.76 | 8.26 | 4,343 |
| Exp. | | | | | | 37.24 | 7.78 | 4,091 |
| CFD | SN-6 | 0.75 | 45.24 | 15.37 | 23.08 | 39.44 | 5.80 | 4,571 |
| Exp. | | | | | | 39.47 | 5.77 | 4,551 |
| CFD | SN-7 | 1.00 | 44.99 | 14.44 | 22.24 | 40.39 | 4.60 | 4,836 |
| Exp. | | | | | | 40.60 | 4.39 | 4,616 |
| CFD | SN-8 | 1.25 | 45.00 | 14.36 | 23.53 | 41.24 | 3.76 | 4,948 |
| Exp. | | | | | | 41.28 | 3.72 | 4,890 |
| CFD | SN-9 | 0.50 | 40.46 | 14.73 | 17.12 | 33.42 | 7.04 | 3,700 |
| Exp. | | | | | | 34.66 | 5.80 | 3,050 |
| CFD | SN-10 | 0.75 | 39.70 | 14.66 | 16.88 | 34.83 | 4.87 | 3,838 |
| Exp. | | | | | | 34.86 | 4.84 | 3,579 |
| CFD | SN-11 | 1.00 | 40.13 | 14.30 | 27.81 | 36.25 | 3.88 | 4,082 |
| Exp. | | | | | | 36.53 | 3.60 | 3,786 |
| CFD | SN-12 | 1.25 | 40.17 | 14.95 | 22.40 | 37.07 | 3.10 | 4,073 |
| Exp. | | | | | | 37.11 | 3.06 | 4,022 |

바. 소 결

○ 해수열 시스템과 열활용방법이 유사한 지열시스템의 열교환 기술과 국내외에 적용된 해수열 이용 시스템에 대한 분석 위에 플로팅건축물의 부유특성, 유동특성을 고려하여 작동유체를 매개체로 한 열교환 방식을 제안함

○ 해수열 이용 시스템의 운전방식은 봄, 가을의 중간기에는 단순 열교환에 의한 냉난방부하저감 방식으로 운전하고 여름, 겨울에는 해수열을 열원으로 하는 히트펌프를 활용하여 냉방 혹은 난방을 수행하는 방식임

○ CFD 해석 결과 해수의 열교환 성능을 확인할 수 있었고, 이를 기초로 실험용 모델을 제작하고 해상 실험을 수행함

○ 해수열교환기로의 유입수 온도가 50~35℃일 때 해수온도에 근접한 18~19℃로 유출됨에 따라 해수열교환기의 성능은 매우 우수한 것으로 평가됨

○ 열교환 성능은 해수열교환기로의 유입되는 작동유체의 관내 유속에 비례하고, 유입온도와 유량에 가장 큰 영향을 받음

○ 열교환 성능은 해수온도에 영향을 많이 받고 상대적으로 외기온도에 영향이 미비함

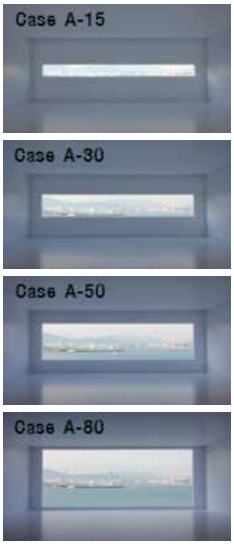
○ 실측 데이터와 동일 조건에서의 CFD 해석결과가 상호간에 매우 유사함에 따라 CFD 해석 능력을 확보함

## 4. 저탄소형 개구부 설계기술 개발

### 가. 저탄소형 개구부 설계기술 개발

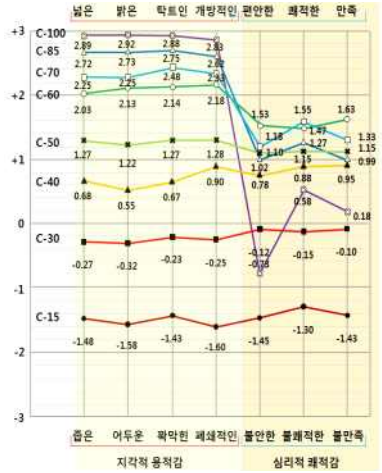
#### (1)개구부의 심리적 쾌적감 검토

○ 플로팅 건축물의 개구부 크기 변화에 따른 재실자의 심리적 쾌적감 평가를 위해 축소모형체를 제작하여 내부를 사진 촬영한 뒤 실제 실(室)에서 스크린을 통해 촬영된 이미지를 실제 창의 크기만큼 확대, 투영하여 실험을 진행함



<축소모형체 내부>


<실험·설문을 통한 평가>



<감각량 평가 결과>

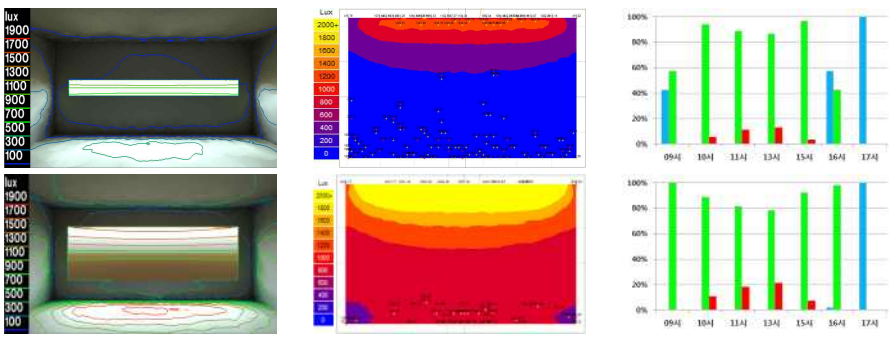
[그림 2-4-66] 개구부 크기 변화에 따른 재실자의 심리적 쾌적감 평가

○ 개구부 크기가 커질수록 피험자가 느끼는 개방감 및 지각적 용적감(知覚的 容積感)은 증가하였으나 일정크기 이상으로 개구부가 커질 경우 그 증가량은 미비하거나 감소하였으며 심리적 쾌적감 또한 감소하는 모습을 보임

○ 대다수의 피험자는 개구부의 크기가 커질수록 창대 높이가 낮아져 해수면으로의 추락에 대한 심리적 불안감을 피력하였으며 또한 사생활 노출에 대한 우려를 표현함

(2) 열 · 빛환경성능 검토

○ 개구부의 크기 변화에 따른 동지의 실내 바닥면 조도분포를 분석하였으며 유효조도 범위(400~2000lux)를 설정하여 일과시간(09시~17시) 동안 고른 조도분포 범위를 나타낼 수 있는 개구부 크기를 도출함



[그림 2-4-67] 창면적비 변화에 따른 실내조도분포

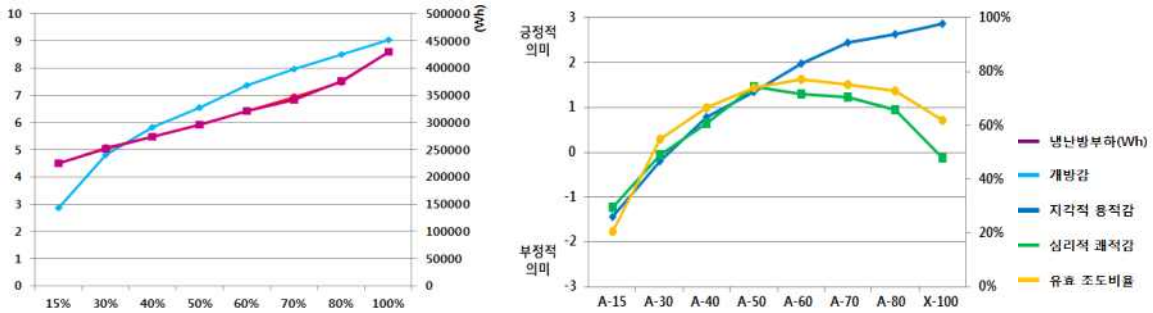
○ 겨울철, 개구부의 크기가 벽면에 대비하여 약 40% 이상의 비율이 될 경우 일과시간 동안 바닥면에 최소 기준조도(400lux 이상)의 충족이 가능하나 70% 이상

이 될 경우 유효조도 범위를 초과하는 조도(2000lux 이상)에 해당하는 바닥면적의 비율이 늘어남

○ 이는 개구부 근처에 위치한 재실자에게 수면반사광, 현휘 등의 시각적·열적 불쾌감을 초래하며 따라서 자연채광 이용으로 인한 에너지 절약적 관점과 재실자의 환경적 쾌적감 등을 고려하였을 때 창면적비는 40~60%가 가장 적절할 수 있음

(3) 종합적 환경 조정

○ 저탄소 개구부 설계를 위한 가장 주요한 조건으로서 개구부의 적정한 크기를 설정해줄 필요가 있으며 이를 위해 개구부의 크기에 따른 심리적 쾌적감과 실내 에너지소비에 대해서 검토함




[그림 2-4-68] 창면적비 변화에 따른 종합적 환경조정

○ 실내 냉·난방부하의 경우 창면적비가 증가할수록 이에 비례하여 증가하는 모습을 보였으며 개방감 및 지각적 용적감 또한 창면적비가 커질수록 비례하여 증가하였으나 그 증가폭이 미비해지거나 감소하는 모습을 보임

○ 이에 반해 심리적 쾌적감은 창면적비가 60%이하에서는 창의 크기가 커질수록 심리적 쾌적감이 상승하였으나 창면적비가 70%이상이 될 경우 오히려 감소하였으며 유효조도에 해당되는 바닥면적의 비율 또한 창면적비의 증가에 따라 오히려 감소하는 모습을 보여 재실자에게 눈부심 및 열적 불쾌적을 초래하는 결과를 나타냄

○ 따라서, 이상의 결과를 토대로 고려해 볼 때 가장 유효한 창면적비 범위는 50~60%라고 사료됨

나. 저탄소형 개구부 재료 선정 기술 개발

(1) 개구부 구성 재료 환경성능 종합검토

① 단판유리

○ 창호의 구성 재료에 따른 성능 평가를 위해 Window 6.3과 Therm 6.3 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 시행함

[표 2-4-15] 단판유리 두께 및 색상변화 분석결과

| Glazing | Width [mm] | Color | U-Value [W/m2·K] | SC | SHGC | Rel.Ht.Gain [W/m2] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Single | 6.0 | Clear | 5.808 | 0.965 | 0.840 | 650 |
| | | Blue | 5.808 | 0.737 | 0.642 | 506 |
| | | Green | 5.808 | 0.702 | 0.611 | 484 |
| | | Gray | 5.808 | 0.681 | 0.592 | 470 |
| | 10.0 | Clear | 5.673 | 0.922 | 0.802 | 622 |
| | | Blue | 5.673 | 0.628 | 0.547 | 436 |
| | | Green | 5.673 | 0.609 | 0.530 | 424 |
| | | Gray | 5.673 | 0.546 | 0.475 | 384 |

U-Value : 열 관류율, SC : 일사획득 계수, SHGC : 차폐 계수, Rel.Ht.Gain : 상대 일사 획득량

○ 단판 유리는 유리 두께가 두꺼워질수록 열 관류율이 낮아져 창호의 단열성능이 개선되었으며 6mm 두께의 단판유리에 비해 8mm 단판유리의 경우 열 관류율이 약 1.2% 감소하였으며 10mm는 2.3%, 12mm는 3.4%가 감소함

○ 동일한 두께의 단판 유리에서 유리의 색을 변화할 경우 열 관류율은 변하지 않으나 일사획득 계수, 차폐계수, 상대 일사 획득량이 변화하였으며 5가지의 색유리 중에서 투명 유리가 가장 높은 수치를, 회색 유리가 가장 낮은 수치를 나타냄

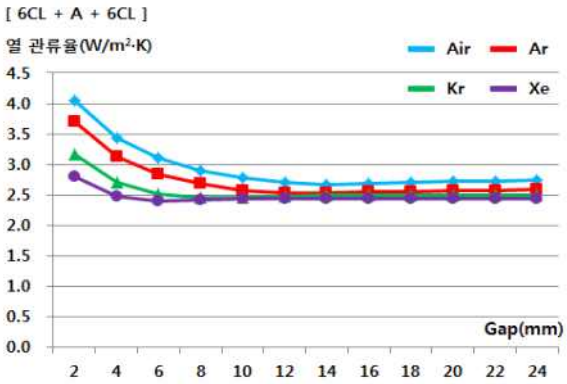
② 복층유리

○ 복층 유리는 유리와 유리 사이의 중공층에 공기 또는 가스 등의 충진재를 주입하며 충진재의 종류에 따라 다양한 성능 변화를 보임

○ 충진재의 성능은 제논(Xe)—크립톤(Kr)—아르곤(Ar)—공기(Air) 순으로 열관류율이 낮아 제논이 가장 높은 단열성능을 보였으며 공기에 비해 아르곤(Ar)의 경우 열 관류율이 약 6%정도 감소되었으며 크립톤은(Kr)은 8%, 제논(Xe)은 9.5% 감소됨

[표 2-4-16] 복층유리 충진재 종류별 창호성능

| Glazing | Width [mm] | Gap [12mm] | Color | U-Value [W/m2·K] | SC | SHGC | Rel.Ht.Gain [W/m2] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Double | 6.0 | Air | Clear | 2.699 | 0.844 | 0.734 | 554 |
| | | Ar | | 2.532 | 0.844 | 0.735 | 554 |
| | | Kr | | 2.475 | 0.845 | 0.735 | 553 |
| | | Xe | | 2.439 | 0.846 | 0.735 | 553 |

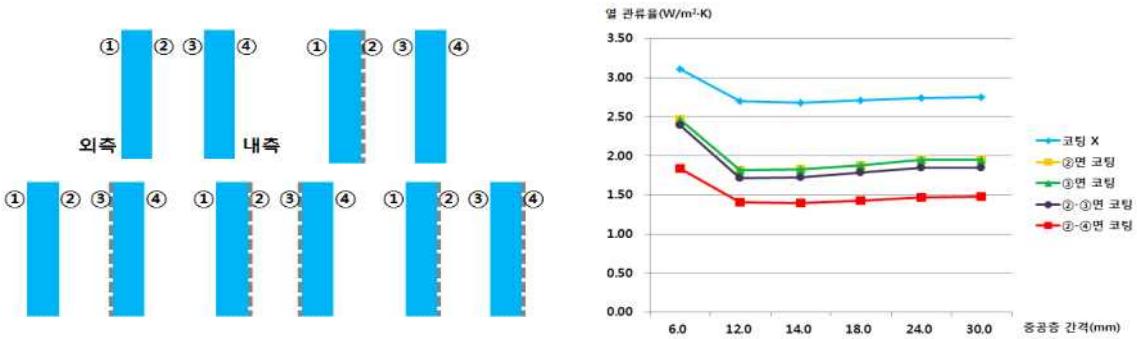



[그림 2-4-69] 충진재 성분 및 중공층 간격에 따른 유리의 열 관류율

○ 각각의 충진재 성분에 대한 최적의 중공층은 공기의 경우 중공층 간격 14mm, 아르곤의 경우 12~14mm, 크립톤의 경우 8mm, 제논은 6mm에서 가장 낮은 열 관류율을 나타냄

③ 로이 유리

○ 로이 유리는 일반 단판 유리에 로이 코팅을 시행한 것으로 높은 단열성능을 갖고 있으며 코팅 위치에 따라 그 성능이 크게 달라지기 때문에 이를 평가함



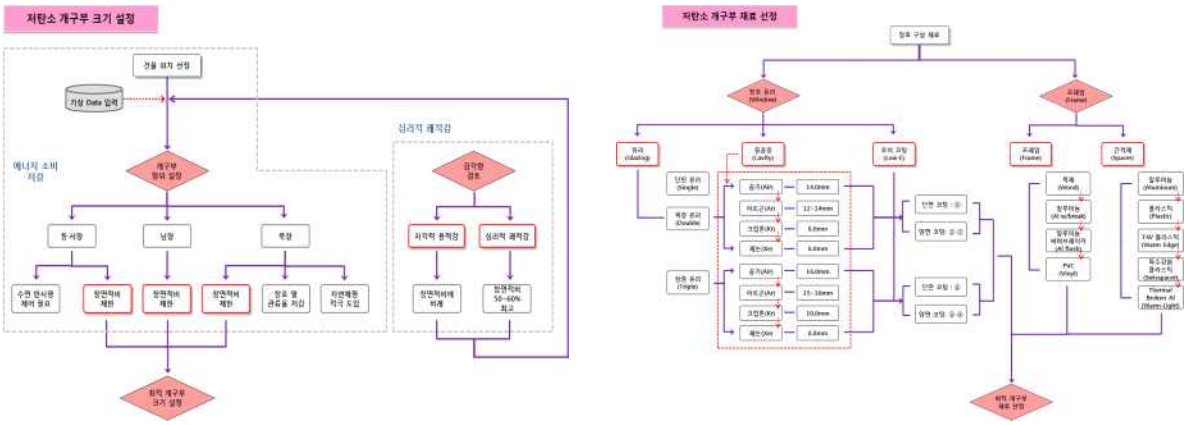

[그림 2-4-70] 복층유리 로이코팅 적용 면에 따른 성능평가

○ 복층유리의 한쪽 면에 Low-E 코팅을 시행할 경우 열 관류율은 기존에 비해서 약 20~32%의 감소효과가 있으며 양쪽 면 모두에 Low-E 코팅을 시행할 경우 23~48%의 감소효과가 발생함

○ 한쪽 면에 Low-E 코팅을 시행할 경우 코팅 면에 따른 열 관류율의 변화는 없었으나 일사획득계수 및 차폐계수, 상대 일사 획득량이 ③면에 비해 ②면에 시행하는 것이 더욱 낮게 나타났음. 양쪽 면 모두 Low-E 코팅을 시행할 경우 유리의 ②-④면에 시행하는 것이 ②-③면에 비해 약 10~18%정도 더 높은 감소효과를 나타냈으나 ④면에 코팅을 시행할 경우 코팅면이 실내에 노출되기 때문에 유지·보수에 문제가 발생할 우려가 있음

다. 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼 개발

○ 저탄소형 개구부 설계를 위한 의사결정 과정을 알고리즘으로 만들었으며 다음의 [그림 2-4-71]과 같음




[그림 2-4-71] 저탄소 개구부 설계 알고리즘 (좌 : 크기설정 우: 재료선정)

○ 기존의 창호설계 매뉴얼에서는 에너지소비만을 고려하여 최대 창면적비를 제한했던 것과 달리 재실자의 심리적 쾌적감을 고려하여 개구부가 위치한 방위에 따라 적정한 크기를 제시함

○ 또한, 플로팅 건축물의 특성에 맞게 동·서향의 수면 반사광으로 인한 여름철 냉방부하 증대를 고려하여 적절한 차양 설계를 권고함

○ 저탄소형 개구부 설계를 위한 매뉴얼을 개발하였으며 [표 2-4-17]과 같은 내용을 포함하고 있음

[표 2-4-17] 플로팅 건축물의 저탄소형 창호 설계 매뉴얼

| 1. 일반사항 | 2. 저탄소 개구부 크기 설정 | 3. 저탄소 개구부 재료 선정 |
|---|---|---|
| 1.1 매뉴얼 소개<br>1.2 적용범위<br>1.3 정의<br>1.4 고려사항<br>1.5 매뉴얼 시뮬레이션 조건 | 2.1 일반사항<br>2.2 심리적 쾌적감 검토<br>2.3 에너지소비량 검토<br>2.4 동·서향 개구부 크기 설정<br>2.5 남향 개구부 크기 설정<br>2.6 북향 개구부 크기 설정 | 3.1 일반사항<br>3.2 동·서향 개구부 재료 선정<br>3.3 남향 개구부의 재료 선정<br>3.4 북향 개구부의 재료 선정 |

○ 플로팅건축물의 개구부를 설계하는 과정에서 기본적인 개방감 및 조망감 등 심리적 쾌적감의 장점을 살리는 범위 내에서 실내 에너지소비를 최소화할 수 있는 방안을 제시함

○ 또한, 기존의 창호 설계에서는 개구부가 위치한 방위와 그 크기에 무관하게 건물

이 위치한 지역에 따라 창호의 열 관류율을 제한해왔으나 위의 매뉴얼에서는 개구부가 위치한 방위와 각각의 크기를 고려하여 적정한 창호재의 사용을 제시함

## 5. 쾌적 빛환경 디자인 기술 개발(5차년도)

○ 육상의 경우 지면으로부터의 반사 일사량이 전체 일사량에 비해 상대적으로 작은데 반해 수면의 경우는 지면과는 달리 낮은 태양고도에서 일사의 반사율이 높게 나타남

○ 해수면으로부터의 반사가 해양건축물의 실내 환경에 미치는 영향은 클 것이라 예상됨에 따라 태양고도에 따른 반사의 정도, 계절과 반사량의 관계 등에 대한 데이터 구축을 통한 제어기법의 개발이 필요함

### 가. 해수면 반사일사량 도출 방법

○ 일반적인 건축물에서 지면반사 또는 수면반사 일사는 상향 일사로 연직면으로 입사하기 때문에 반사 일사량을 계산하기 위해서는 식 (1)과 같이 연직면에서 측정한 연직면 전일사량에 연직면 직달일사량과 연직면 천공일사량을 빼면 됨

$$J_{vR} = J_{vT} - J_v - J_{vD} \qquad (1)$$

$J_{vR}$ : 연직면 반사일사량
$J_{vT}$ : 연직면 전일사량
$J_v$ : 연직면 직달일사량
$J_{vD}$ : 연직면 천공일사량

○ 연직면 직달일사량의 계산은 수평면에서 측정한 전일사량으로부터 Utagawa의 직산분리 공식인 아래의 식 (2)를 이용하여 먼저 법선면 직달일사량을 계산함

$$I_{ND} = I_0 K_D \qquad (2)$$
$$K_D = (2.277 - 1.258\sin h + 0.2396\sin^2 h)K_T^3 \quad (K_T < K_{TC})$$
$$K_D = -0.43 + 1.43K_T \quad (K_T \geq K_{TC})$$
$$K_T = I_{HT}/(I_0 \sin h)$$
$$K_{TC} = 0.5163 + 0.333\sin h + 0.00803\sin^2 h$$

$I_{ND}$ : 법선면 직달일사량(MJ/㎡h)
$I_0$ : 대기권외 일사량(태양상수. 4.932MJ/㎡h)
$I_{HT}$ : 수평면 전천일사량(MJ/㎡h)
$h$ : 태양고도(°)

○ 식 (2)를 이용하여 계산한 법선면 직달일사량을 식 (3)에 대입하여 연직면 직달일사량을 계산

$$J_v = I_{ND}\cos h\cos(\alpha - \alpha') \quad (3)$$

$\alpha$ : 태양방위각
$\alpha'$ : 면이 향하고 있는 방위각
$J_v$ : 연직면 직달일사량
$I_{ND}$ : 법선면 직달일사량

○ 연직면에 입사하는 천공일사량은 수평면 천공일사량의 1/2이므로 Utagawa의 직산분리 공식 중 수평면 천공일사량 계산식인 식 (4)를 통해 계산할 수 있음

$$I_{HT} = I_{ND}\cdot\sin h + I_{HS} = I_0 P^{\mathrm{cosec}\,h} + I_{HS} \quad (4)$$

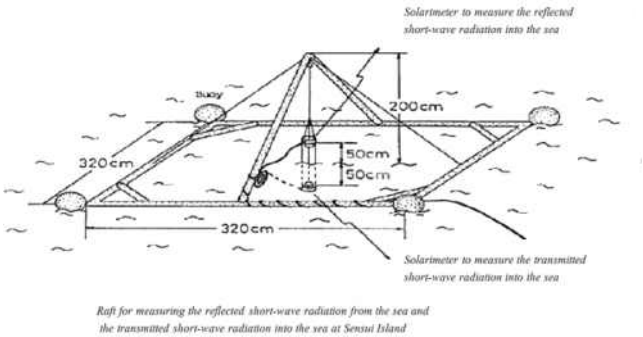
$I_{HS}$ : 수평면 천공일사량(MJ/㎡h)
$P$ : 대기투과율

$$J_{vD} = \frac{I_{HS}}{2} \quad (5)$$

나. 해수면 반사일사량 도출을 위한 연직면 일사량 측정

(1) 연직면 일사량 측정 위치 선정

○ Endo 등[29]은 [그림 2-4-72]와 같이 수면 상부와 하부에 일사계 2대를 설치한 실험 장치를 해수면에 띄워서 상향 일사와 하향 일사를 동시에 측정함

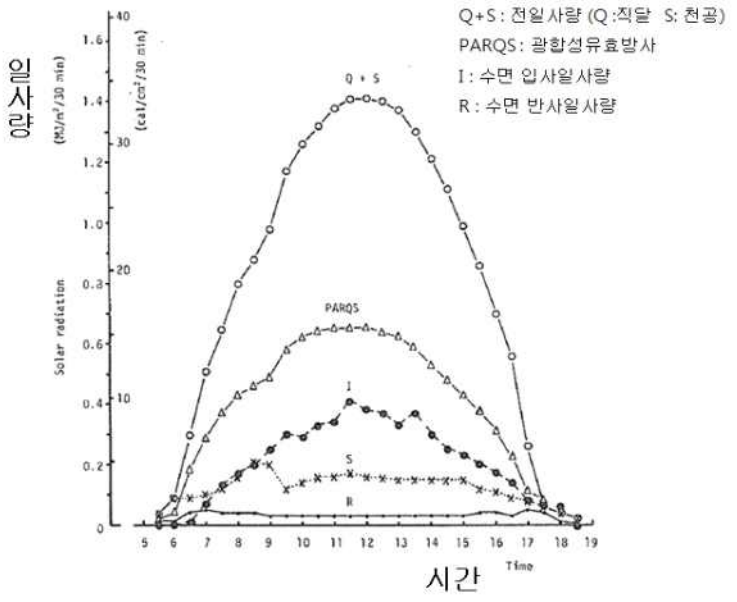



[그림 2-4-72] Endo 등의 실험 장치

○ [그림 2-4-73]은 실험결과를 나타낸 그래프로 전일사량에 비해 해수면 반사일사량이 매우 작으며 정오에 가까워질수록 전일사량은 증가하는 반면 해수면 반사일사량은 거의 변화가 없는 것으로 나타남

○ 즉 태양고도가 낮은 시간대에 전일사량에 대한 해수면 반사일사량의 비율은 상대적으로 큰 경향을 나타냄을 알 수 있음

29) Takuo Endo, et al, Seasonal variation of solar radiation and underwater irradiance in the Seto Inland Sea.(1983)




[그림 2-4-73] Endo 등의 실험 결과

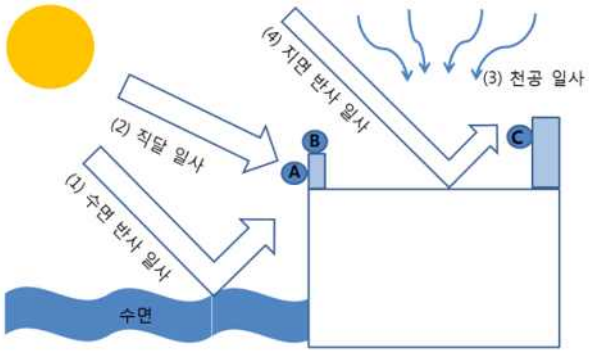
○ 물의 알베도는 천정각이 작은 경우 즉 태양고도가 높은 경우에는 3~10%이지만 천정각이 큰 경우(태양고도가 낮은 경우)에는 10~50%로 변동이 큰 편이므로 해수면 반사 일사가 건축실내환경에 큰 영향을 미치는 시간대는 일출 이후와 일몰 이전이라 할 수 있으며 이 시간대의 해수면 반사일사량을 파악하기 위해서는 전면에 넓은 해수면이 있는 동향 또는 서향의 건축물에서 일사량을 측정할 필요가 있음

○ 또한 태양고도가 낮을 때 해수면 반사일사량이 크기 때문에 연직면 일사량 측정위치의 높이가 낮을수록 해수면에 가까워져야하기 때문에 연직면 일사량의 측정위치는 해수면과의 거리를 고려하여 일정 높이 이상에서 측정할 필요가 있음

(2) 연직면 일사량 측정방법

○ 건물의 방위와 해수면과의 거리를 고려하여 일사량을 측정하기 위한 장소로 한국해양대학교 예섬회관 옥상으로 선정함

○ [그림 2-4-74]는 해수면 반사일사량을 도출하기 위해 본 연구에서 일사량을 측정한 실험방법을 도식화한 그림으로 세 개의 일사계를 이용하여 세 지점의 일사량을 동시에 측정함




A(연직면 일사계1) : 연직면 수면반사일사 + 연직면 직달일사 + 연직면 천공일사
B(수평면 일사계 ) : 수평면 직달일사 + 수평면 천공일사
C(연직면 일사계2) : 연직면 지면반사일사 + 연직면 직달일사 + 연직면 천공일사

[그림 2-4-74] 일사량 측정방법의 개념도

○ 일사의 반사각은 일사가 표면에 입사할 때의 입사각과 동일하기 때문에 연직면에 입사하는 해수면 반사일사량은 파도에 영향을 많이 받으며 파고가 높은 경우보다 파고가 낮아 수평면에 가까운 해수면일 때 가장 많아짐

○ 본 연구에서는 해수면 반사일사량이 가장 많아 실내 환경에 미치는 영향이 가장 클 것으로 생각되는 파고가 낮아 해수면이 수평면에 가까운 상태에 한정하여 일사량을 측정함

○ 실험 조건을 고려하여 [표 2-4-18]의 개요와 같이 2013년 10월 한 달 동안 일사량을 측정하였고 그 중 일사량이 많은 청천공이었으며 수면이 잔잔했던 7일간의 데이터를 이용하여 해수면 반사일사량을 도출함

[표 2-4-18] 실험 개요

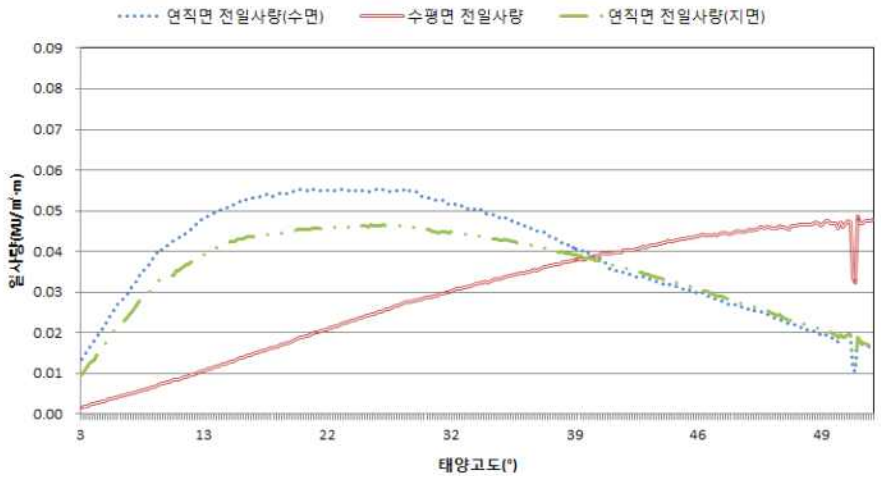
| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 실험장소 | 한국해양대 예섬회관 |
| 실험시간 | AM 7:00 ~ 12:00 |
| 실험날짜 | 2013. 10. 1 ~ 31(7일 Data 이용) |
| 기상조건 | 맑음, 운량(0~2), 청천공 |
| 파고 | 뷰포트 스케일 1 (0.1m) 이하 |
| 연직면이 향하는 방위각 | - 83° |
| 수면으로부터 거리 | 52m |
| 지면으로부터 고도 | 32m |

(3) 실험 결과 분석

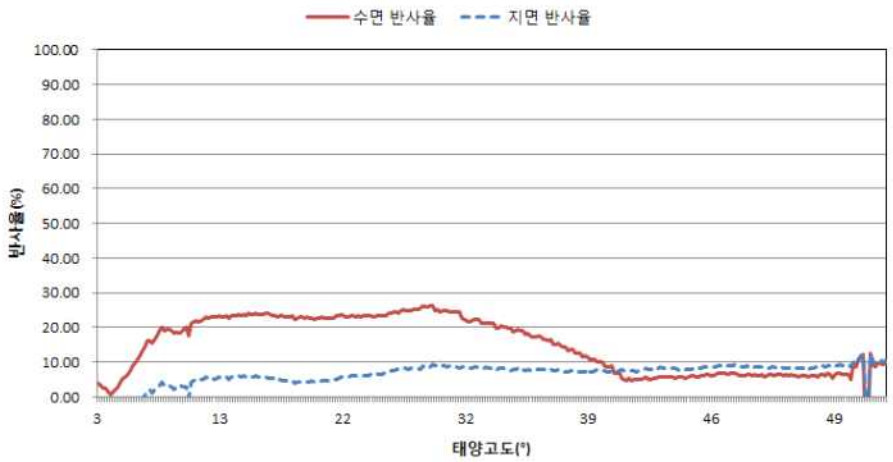
○ [그림 2-4-75]는 2013년 10월 4일 각 지점(그림 5의 A, B, C)별 측정한 일사량 실측 데이터를 나타 낸 것으로 수면을 면한 연직면에 입사하는 해수면

반사일사량은 태양의 일출 직후 급격히 증가하여 태양고도가 10~30° 에서 연직면 전일사량의 20% 이상, 최대 30%의 비율을 나타내지만 이후 연직면 전일사량에 대한 비율이 감소하여 태양고도 40° 이상이 되면 5% 정도의 비율로 감소함

○ 연직면 전일사량에 대한 연직면 반사일사량의 비율을 반사율로 정의하고 [그림 2-4-76]과 같이 지면 반사일사량이 동일한 태양고도에서 10% 미만인 것으로 나타나 해수면 반사일사량은 태양고도가 낮은 시간대에 지면 반사일사량의 2~3배에 달하므로 실내 환경의 쾌적성을 해칠 가능성이 크다고 할 수 있음




[그림 2-4-75] 3(A, B, C)지점에서의 일사량 측정 결과(2013. 10. 4)




[그림 2-4-76] 해수면 및 지면 반사율(2013. 10. 4)

○ 특히 오피스의 경우에는 일출 이후 해수면 반사일사량이 많은 시간대가 여름철 냉방을 개시하기 직전이기 때문에 전면에 해수면이 있는 동향의 오피스에서는 냉방을 개시할 때 일출 이후 냉방 직전까지 입사한 해수면 반사일사량의 누적

분이 냉방부하를 가중시킬 수 있으므로 해수면 반사 일사를 차단하기 위한 대책이 필요하다고 사료됨

○ 반사율은 실험 방법, 장소, 기상상태 등의 요인으로 변동이 있을 것으로 추정되므로 본 연구와 다른 방법으로 해수면 반사 일사를 분석할 경우 최대 반사율이 상이할 수 있지만 태양고도에 따른 경향은 동일한 형태로 나올 것으로 추정됨

○ 반사율의 도출과정의 경우, 정밀한 분석을 위해서는 목업 테스트를 비롯한 축소모형 실험이 그 신뢰성을 높일 것으로 보임

다. 해수면 반사 일사의 영향에 따른 냉방부하 계산

(1) 시뮬레이션 모델설정

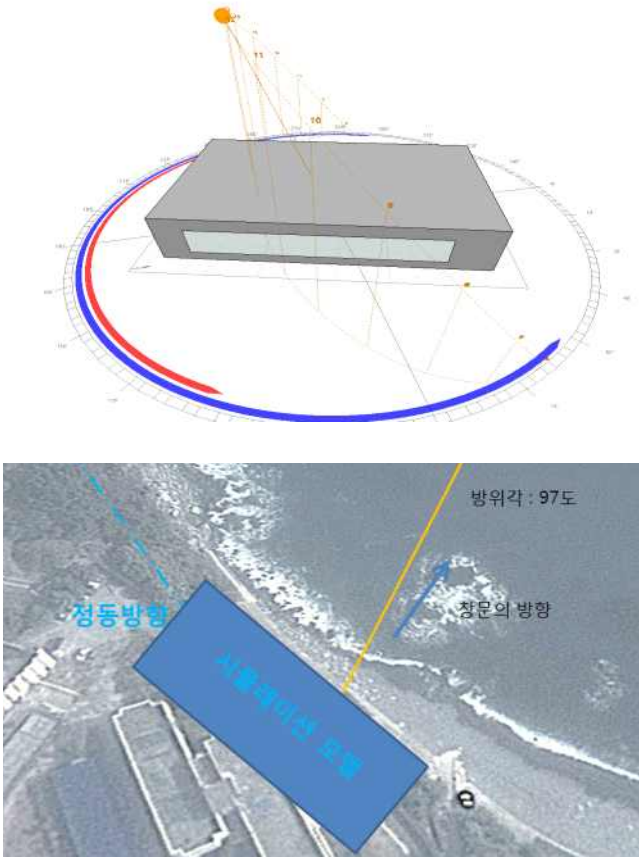
○ 코사인 법칙을 이용하여 태양방위각에 따라 일사량의 감쇠하는 것을 확인하기 위해 태양방위각 및 태양 고도 별 일사량 실측값과 계산값의 비교를 통해 특정일의 반사일사량을 시각별로 도출할 수 있음을 확인함

○ ECOTECT를 이용하여 실측장소와 동일하게 방위설정을 하고 일반 오피스 건물의 조명부하를 참고하여 [그림 2-4-77]과 같이 모델링함

○ HAVC 시스템은 공조기만으로 냉난방을 하는 Full Air-Conditioning으로 설정하고 나머지 기타 부재의 관류율은 건축물 에너지절약 설계기준을 따랐으며 물성치 및 경계조건은 [표 2-4-19]와 [표 2-4-20]과 같음

○ 축열에 의한 냉방부하의 변화를 고려하여 각 케이스는 공조기 가동 시작시간을 달리하여 CASE1이 6시, CASE2는 7시, CASE3은 8시, CASE4는 9시로 하였으며 작동 중지시간은 동일하게 19시로 설정함

○ 또한 동일 케이스에 도출된 해수면 반사일사량을 적용하여 계산결과의 비교를 통해 해수면 반사일사량의 영향 정도를 확인하고자 함




[그림 2-4-77] 시뮬레이션 모델(위)과 실측장소(아래)

[표 2-4-19] 모델링 설정 물성치

| 부위 | 재료 | 열관류율 [W/㎡·K] |
|---|---|---|
| 벽 | ConcBlockPlaster | 0.480 |
| 바닥 | ConcSlab_Carpeted_OnGround | 0.470 |
| 창 | DoubleGlazed_LowE-AlumFrame | 2.400 |
| 문 | SolidCore_Pine Timber | 2.400 |
| 지붕 | ConcSlab_OnGround | 0.220 |

[표 2-4-20] 시뮬레이션의 경계조건

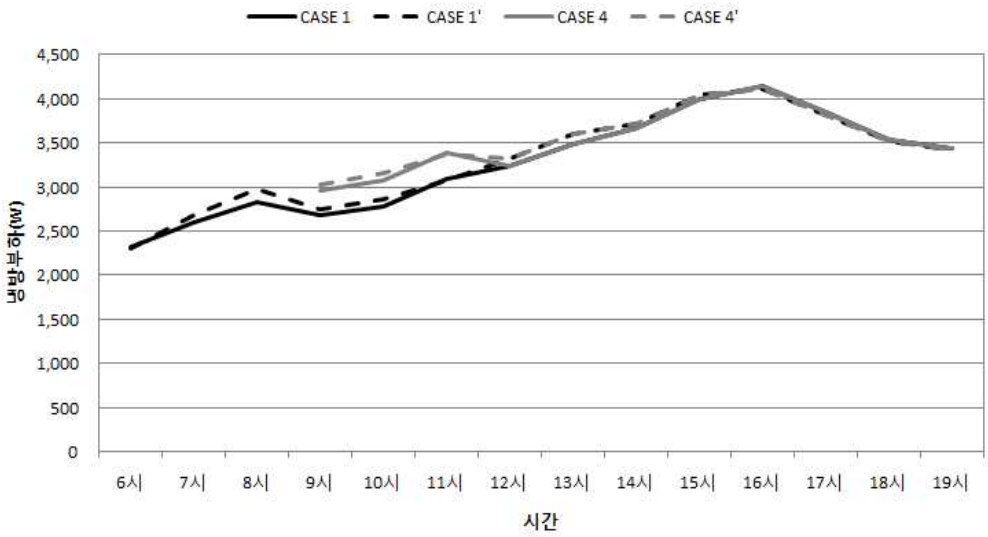
| 항목 | 내용 |
|---|---|
| 건물 위치 | 부산 |
| 건물 형태 | 주변의 간섭이 없는 개방형 |
| 건물향 | 동남향(3장 실험 방향과 동일) |
| 건물 면적 | 104㎡ |
| 건물 층수 | 1층 |
| 최적 온도 | 18 ~ 26℃ |
| 재실인원 | 오피스 일반 기준(12㎡ ea) |
| Active System | Full Air Conditioning |
| 풍속 | 0.5m/s |
| 습도 | 60% |
| 착의량 | 1.00(clo) |
| Lighting Level | 400 lux |
| Internal Gains | 10(Sensible Gain) |
| 창 면적비 | 50% |
| 최대 냉방부하 | 8월 4일 16:00 (4403W) |

(2) 시뮬레이션을 이용한 냉방부하 분석

○ 일출 이후 냉방 직전까지 입사한 해수면 반사일사량의 누적분이 냉방부하를 가중시키는 것을 확인할 수 있었음

○ [그림 2-4-78]은 CASE 1과 CASE 4의 냉방부하 계산 결과로 가동시간부터 상승하다가 16시 이후에는 감소는 경향을 보임

○ 해수면 반사 일사를 고려한 경우에 약 최대 5%의 증가를 나타내 이는 안전율을 통상적으로 최대부하의 10%를 가산하는 것을 고려하면 안전율 범주 내에서 부하가 상승함을 알 수 있었음




[그림 2-4-78] CASE 1과 CASE 4의 냉방부하 비교

○ 따라서 에너지 측면에서는 이른 시간에 공조기를 가동한 경우가 손해일 수 있으나 부하의 최대치는 감소하기 때문에 공조기의 용량 산정 및 부하 설정을 재검토할 필요가 있을 것으로 판단됨

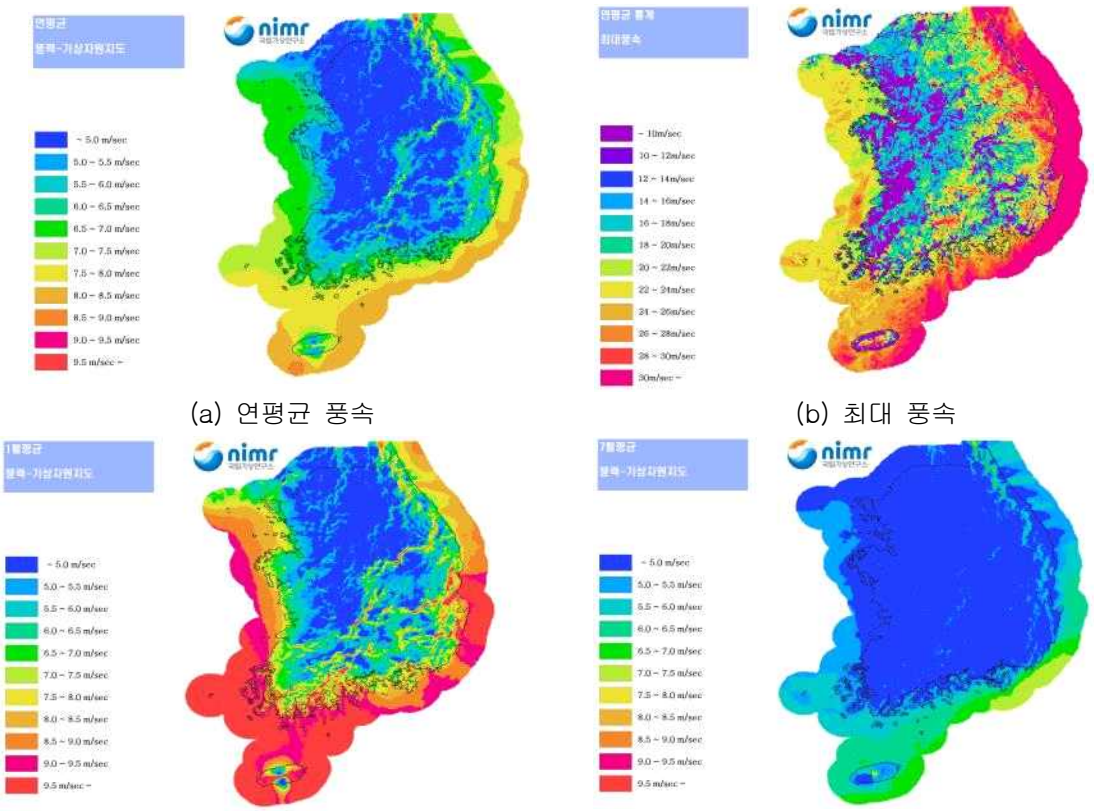
# 제5절 신재생에너지 적용 기술

## 1. 수역별 풍자원 분석

### 가. 풍력자원지도에 의한 풍자원 분석[30)]

○ 풍력자원지도는 1km × 1km의 격자로 작성된 것으로 실제 해당 지역의 풍자원과 다소 차이가 발생할 수 있음

○ 건물의 규모는 이보다 훨씬 작은 규모이므로 건물에 풍력터빈을 설치하여 풍력 활용을 위해서는 해당지역의 풍자원에 대한 정밀 조사가 필요함




(a) 연평균 풍속 (b) 최대 풍속

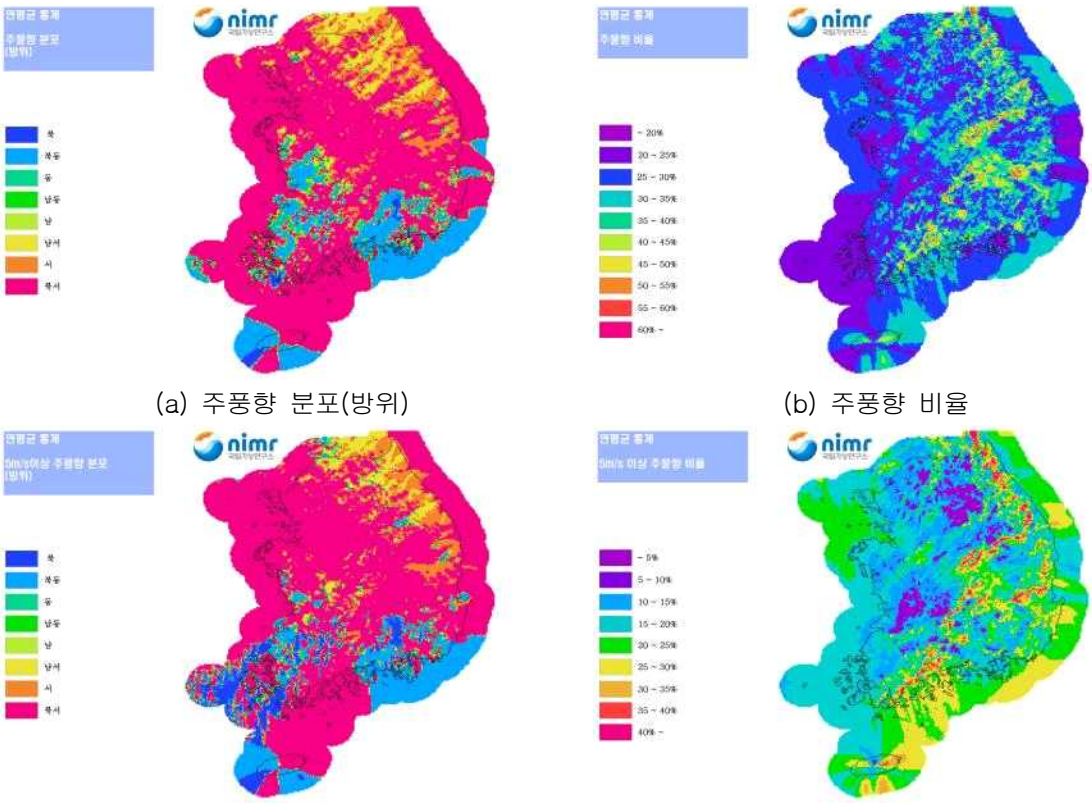
(c) 1월 풍속 (d) 7월 풍속

[그림 2-5-1] 풍력자원 분석

○ 내륙보다 해안의 연평균 풍속이 큰 것을 알 수 있으며, 또한 연해보다 원해의 연평균 풍속이 크고 동, 서해안보다 남해안이 상대적으로 연평균 풍속이 큼

○ 동계의 풍속이 하계보다 높게 나타나며, 동계의 풍향이 주풍향을 이루는 것으로 나타남

30) 기상청 국립기상연구소, 풍력-기상자원지도, 2009



(a) 주풍향 분포(방위) (b) 주풍향 비율

(c) 5m/s0이상 주풍향의 방위 (d) 5m/s0이상 주풍향의 비율

[그림 2-5-2] 주풍향 분석

○ 주풍향은 서해안과 전남쪽의 남해안은 북서풍이고 경남쪽의 남해안은 북서풍으로 나타남

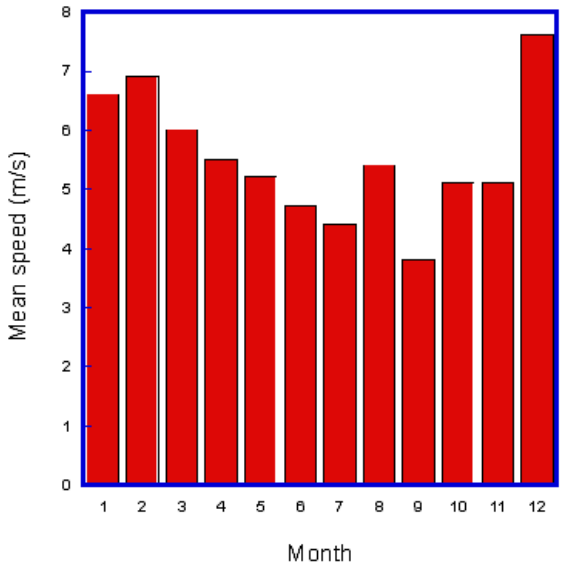
○ 이는 겨울철의 바람이 주풍이며, 월평균 풍속도 큰 것에서 기인한 것임

○ 주풍향의 비율은 서해안보다 남해안이 상대적으로 높게 나타나지만 건물에 적용 시에는 풍향 변동에 대한 고려가 있어야 함[31)]

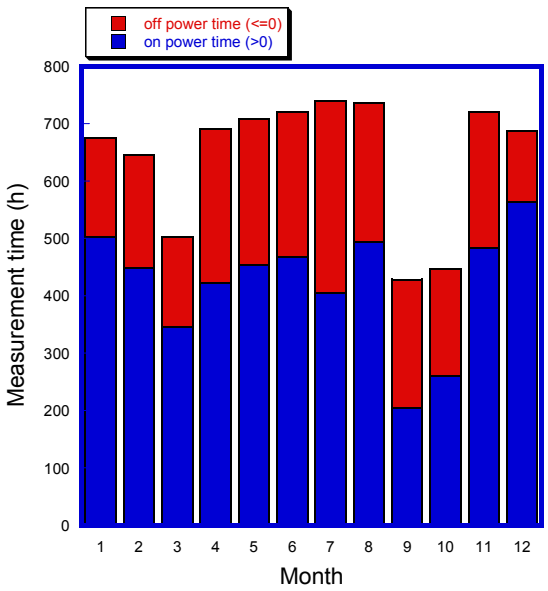
○ 전남쪽의 남해안은 주풍향의 비율도 높으며, 5m/s이상의 주풍향 비율도 높아서 건물일체형 풍력터빈 설계 시 yaw control 없는 수평축형 풍력터빈(horizontal axis wind turbine)을 적용할 수 있음

31) 건물 일체형 풍력터빈의 경우, 나셀의 yaw control를 할 수 없는 상황이 발생할 수 있음. 이를 위해 풍향 변동에 관계없이 작동하는 수직축형 풍력터빈(vertical axis wind turbine)을 사용하기도 함.

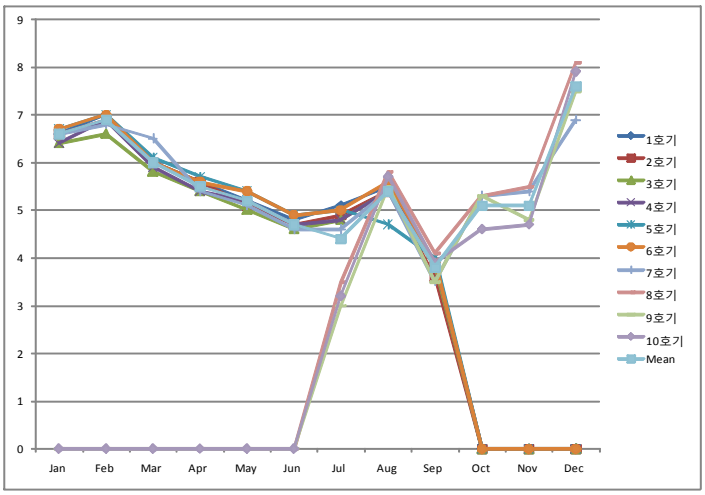
나. 전북지역의 10개 풍력시스템에 대한 풍자원 분석




[그림 2-5-3] 풍속의 시평균 분석



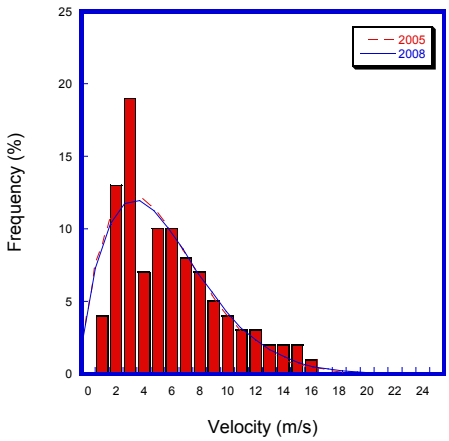

[그림 2-5-4] 전북지역 풍력발전 현황




[그림 2-5-5] 발전기별 풍력발전량

○ 시평균 풍속은 하계보다 동계에 더 빠르므로 동계 풍속 활용 가능성 높고 난방용 에너지로 사용가능

○ 풍력 발전량은 시평균분석과 패턴이 유사함

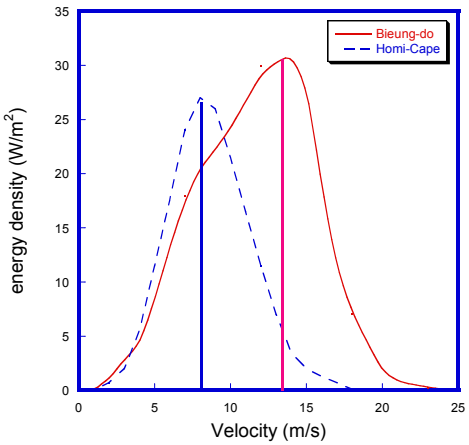



[그림 2-5-6] 풍속의 Weibull분포

$$f(V) = \frac{k}{c}\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^{k}\right]$$

| | k | c |
|---|---|---|
| 2005 | 1.66 | 6.25 |
| 2008 | 1.65 | 6.43 |

○ 풍속의 Weibull 분포 : 2005년과 2008년간의 차이는 거의 없음. 저풍속(3m/s 근처)의 빈도가 높음




[그림 2-5-7] 에너지밀도 분포

○ 풍속의 에너지 밀도는 8m/s 또는 14m/s와 같이 최빈 풍속과는 차이가 발생

○ 생산 전력은 풍속의 세제곱에 비례하므로 저속의 최빈 풍속은 생산 전력이 매우 적음

○ 풍력시스템 도입시 에너지 밀도 분석이 수반되어야 함

○ 풍속 할증을 통해 에너지 밀도의 증가 가능

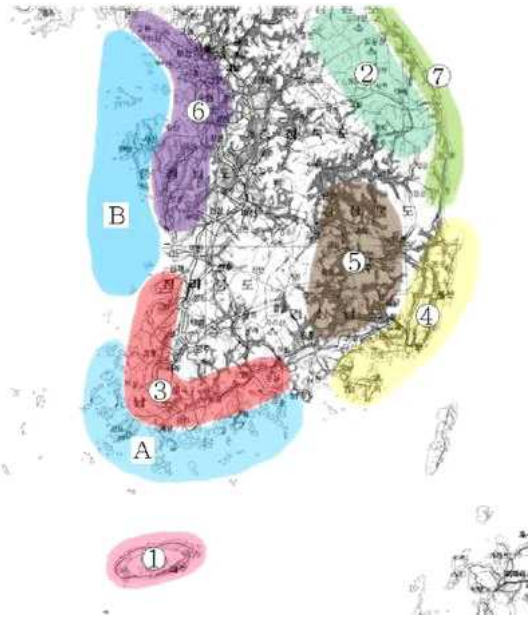
다. 전남지역의 Met Mast 자료를 이용한 풍자원 분석

○ Met Mast 자료분석

[표 2-5-1] 전남지역의 Met Mast 풍자원 분

| 위치 | 평균풍속[m/s] | 에너지밀도 [kWh/㎡/y] | 주풍향 [빈도] | 측정기간 |
|---|---|---|---|---|
| 안마도 | 6.52[59m] | 3,889.6 | NNW[16.9%] | 2008.12~2009.11 |
| 대노록도 | 6.80[60m] | 4,931.3 | E[16.7%] | |
| 비금도 | 5.49[50m] | 2,697.5 | N[15.1%] | 2006.11~2007.11 |

○ 현재 국가의 신재생에너지 R&D 전략 2030에 의하면 해상풍력후보지 1순위는 A지역이며, 2순위는 B지역으로 되어 있음




[그림 2-5-8] 해상풍력후보지(출처:신재생에너지 RD&D 전략2030)

## 2. 건물일체형 풍력시스템[32]의 개념과 모델링

### 가. 건물일체형 풍력시스템을 위한 풍력 이론

○ 바람으로부터 추출하여 이용할 수 있는 일률 또는 출력(power)은 식 (4-1)과 같음

$$P_e = C_p \times \frac{1}{2}\rho A v^3 \qquad (4\text{-}1)$$

$P_e$는 풍력 터빈의 일률(또는 출력) [W]

$C_p$는 풍력 터빈의 출력계수 [무차원]

$\rho$는 공기의 밀도 [kg/㎥]

$A$는 풍력터빈의 수풍면적 [㎡]

$v$는 풍속 [m/s]

○ 식 (4-1)의 시사점은, 풍력터빈의 출력은 터빈의 출력계수와 크기에 선형적으로 비례하지만 풍속에 대해서는 세제곱에 비례한다는 것임

○ 이는 또한 터빈의 외부 환경으로서의 풍속이 매우 중요함을 의미함. 이 때 풍속이 25%정도 증가하면 식 (4-1)에 의해서 동일한 터빈에 대하여 약 2배의 출력 증가가 이루어짐

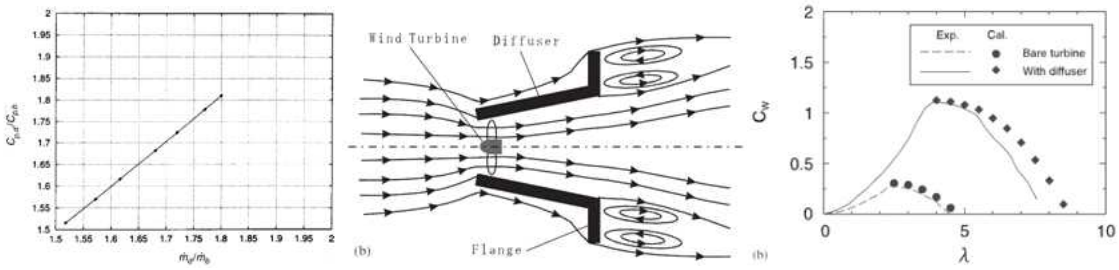
○ 따라서 터빈을 통과하는 풍속의 최대화를 위해서는 다음과 같은 조치가 필요함

32) Building-Integrated Wind Turbine, 이하 BIWT

- 수풍면적 극대 : 터빈의 수직배열 또는 수평배열
- 풍속 극대 : 집풍

○ 건축요소에 의한 집풍 효과의 극대화

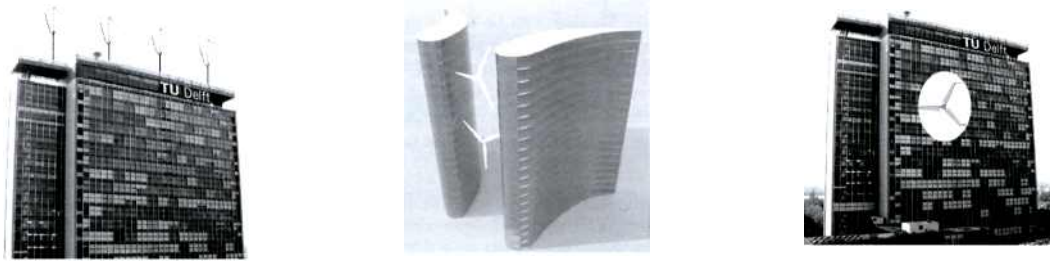
- 터빈을 diffuser안에 두면, Betz 한계를 넘을 수 있음
- 풍력계수(Cp)는 터빈을 통과한 질량비만큼 증가함




[그림 2-5-9] 집풍효과에 의한 풍속 변화

나. 건물 일체형 풍력터빈의 유형

○ Mertens[33]는 다음과 같이 공역학적인 운전 원리에 따라서 건물일체형 풍력터빈을 건물부착형, 익형건물 사이 설치형, 건물 관통형 등 3가지 유형으로 분류하여 성능을 분석함




(a) wind turbine close to a building

(b) wind turbine between airfoil-shaped buildings

(c) wind turbine in a duct through a building

[그림 2-5-10] Three basic BAWT configuration

○ Stankovic et al[34]은 Fig. 2와 같이 풍력터빈의 설치 위치에 따라 옥상 설치형, 원형 옥상 설치형, 원형 옥상의 집풍장치형, 건물 정면의 각형 집풍장치형, 건물 정면의 원형 집풍장치형, 건물측면 설치형, 건물사이 설치형 등 6가지 유형으로 분류함

○ 이 분류는 Mertens의 분류보다 건물 모서리 부분의 곡면 처리 여부에 따라 더 세분하였음

○ 즉, 건물 부착형의 풍력터빈을 건물의 옥상 설치형과 측면 설치형으로 나누었으

33) Stankovic, S. et al, 2009, Urban Wind Energy, earthscan, pp.144 ~ 179
34) Mertens S., 2006, Wind Energy in the Built Environment, Multi-Science, Brentwood, pp. 65 ~ 138

며, 여기에서 모서리 부분을 곡면 처리 여부에 따라 원형 옥상 설치형으로 세분함

○ 또한 건물 관통형 풍력터빈을 각형의 집풍장치형 터빈과 원형의 집풍장치형 터빈으로 형상에 따라 세분함

○ 모서리의 곡면 처리는 공역학적으로 난류의 발생을 억제하며 풍속을 할증시키는 장점이 있으나, 건축적 측면에서는 활용할 수 없는 공간(dead space)이 많아지며, 시공상의 어려움이 증가하여, 공사비가 증가하는 단점이 되기도 함

○ 또한 풍속이 증가한 곳은 강제 대류에 의한 열손실이 증가할 수 있으므로, 건축물의 단열이 더 필요하게 됨

○ 건물 관통형 풍력 터빈은 풍속 할증이 가장 많은 측면이 있으나, 건축적으로 활용할 수 없는 공간이 많아지게 되고, 임대면적이 감소하게 됨

○ 터빈이 있는 공간은 외기에 노출되므로 열손실 면적이 증가하게 됨



(a) On top of building



(b) On top of rounded building



(c) Concentrator on top of rounded building



(d) Square concentrator withing a building façade



(e) Circular concentrator withing a building façade



(f) On the side of a building



(g) Between multiple building forms

[그림 2-5-11] Generic options for building-integrated wind turbines

[표 2-5-2] 풍향과 BIWT

| 풍향의 특성 | 판단기준 | 적합한 유형 |
|---|---|---|
| 약한 일방향성 | 임의의 풍향(150도 이내)에 대해서 연평균 파워 밀도의 60%이상 | A,B,G |
| 일방향성 | 임의의 풍향(150도 이내)에 대해서 연평균 파워 밀도의 75%이상 | 모든 유형 |
| 양방향성 | 임의의 두 반대 풍향(150도 이내)에 대해서 연평균 파워 밀도의 95%이상 | A,B,C,D,F,G |

[표 2-5-3] 풍향과 BIWT 유형별 에너지 생산량

| BIWT의 유형 | 상대적 에너지 생산 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 균일 | 약한 일방향성 | 강한 일방향성 | 양방향성 |
| 옥상설치형 | 1.12 | 1.12 | 1.12 | 1.12 |
| 원형 옥상 설치형 | 1.15 | 1.15 | 1.15 | 1.16 |
| 원형 옥상의 집풍장치형 | 1.03 | 1.07 | 1.10 | 1.16 |
| 건물 정면의 각형 집풍장치형 | 1.24 | 1.27 | 1.31 | 1.38 |
| 건물 정면의 원형 집풍장치형 | 1.35 | 1.39 | 1.43 | 1.51 |
| 건물 측면 설치형 | 0.78 | 0.81 | 0.84 | 0.88 |
| 건물 사이 설치형 | 0.99 | 1.03 | 1.07 | 1.13 |

주) 동일한 지상고의 독립형 풍력타워에서 생산되는 에너지에 대한 상대적인 크기

다. 건물일체형 풍력터빈 사례

○ 건물 부착형 풍력터빈은 [표 2-5-4]과 같이 건물의 옥상 또는 측면에 설치한 것으로, 단순히 풍력터빈을 건물의 옥상에 설치한 것으로부터 터빈의 지지를 건축적으로 디자인하여 설치한 것도 있음

○ 특히 COR Tower, Miami는 터빈의 지지대가 원형으로 건물 전체 외관 디자인에도 동일하게 반복 적용하고 있음. The Green Building(Macintosh Village, Mancester)는 건물 옥상에 풍력터빈뿐만 아니라, 옥상의 경사를 이용하여 태양열도 활용한 사례임

○ 건물 사이에 설치형 풍력터빈은 두 동(棟)의 건물 혹은 건물 자체에 의한 집풍효과를 이용한 것으로 The Bahrain World Trade Centre는 세계 최초의 건물일체형 풍력터빈으로 알려져 있음

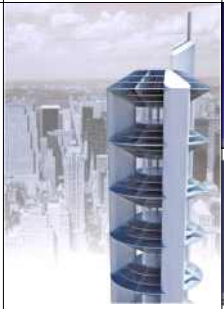
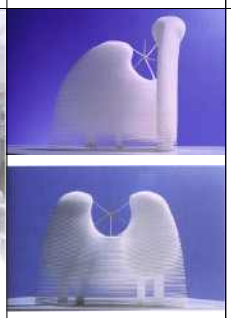
○ 이 터빈은 연간 1100~1300 MWh를 생산하여 건물에서 필요한 에너지의 약 11-15%를 공급함

○ 지표면에 가까운 곳의 풍속은 높은 곳의 풍속에 비하여 느리나, 두 동의 형상에

있어서 아래가 넓고 위가 좁은 것은 삼각형 형태로 설계함으로써 세 개의 터빈이 거의 동일한 풍속을 얻도록 함

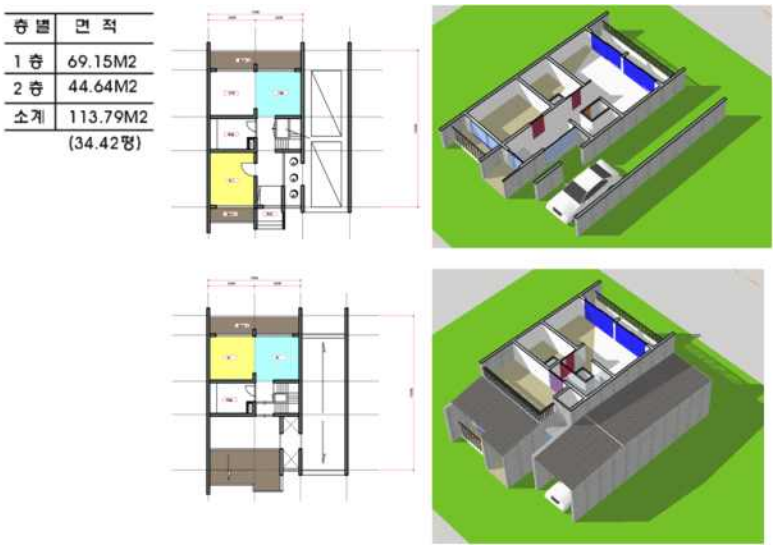
- Project WEB – ibk2는 풍향이 변화하는 것까지 고려하여 설계한 것으로 두 동의 형상이 콩팥처럼 되어 있으며, 방향이 거의 90도에 가까워도 터빈이 회전할 수 있게 설계하였음
- 또한 두 동 사이를 수평적으로 왕래할 수 있도록 터빈의 지지대를 통로로 설계하였음
- Turbine Tower(Tokyo)는 본동과 수직 동선을 분리하여 그 사이에 풍력 터빈을 설치한 예로 본동의 형상은 풍속을 할증할 수 있도록 곡면으로 설계되어 있음
- 현재까지 설계된 건물들은 주로 중고층 건물임

[표 2-5-4] 건물일체형 풍력시스템 사례

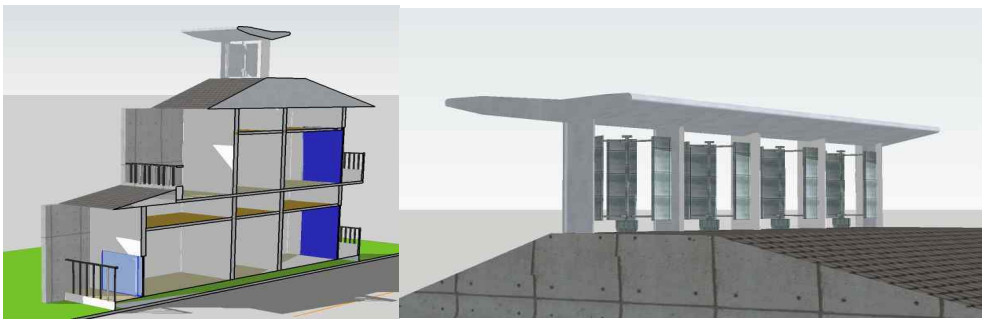
| 유형 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 건물 부착형 풍력터빈 |  Logan airport, Boston |  COR Tower, Miami |  The Green Building |  Strata E1, London |
| 건물 사이 설치형 풍력터빈 |  The Bahrain World Trade Centre |  Project WEB – ibk2 |  Turbine Tower | |
| 건물 관통형 풍력터빈 |  Pearl River tower |  High-Rise Integration |  Ventiform | |

라. 플로팅건물의 풍력시스템의 디자인 컨셉

- ○ 한 세대가 사용할 수 있는 정주형 건물이 되도록 함
- ○ 풍속이 가속되도록 옥상에 풍력터빈을 설치하도록 함
- ○ 풍속이 증가하도록 지붕의 형상과 날개를 설치함 (집풍효과)
- ○ 풍력터빈은 풍향과 관계없이 저속의 풍속에도 운전될 수 있도록 수직형으로 함



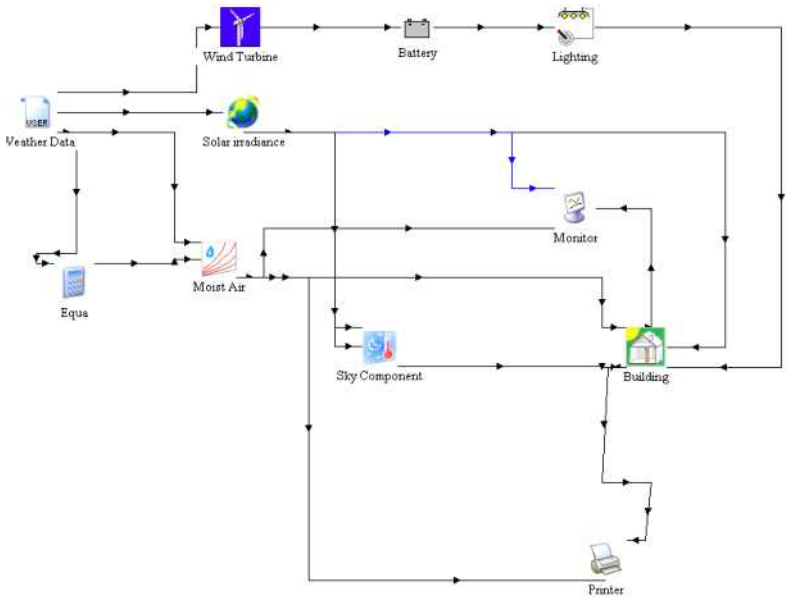

[그림 2-5-12] 층별 평면과 단면



[그림 2-5-13]주요단면과 풍력터빈

마. 풍력시스템의 에너지 해석 모델링

- ○ 에너지 해석 프로그램인 TRNSYS를 통하여 [그림 2-5-14]와 같이 해석 모델을 구축함
- ○ 기상자료 중 풍속풍향 등의 정보는 실측 자료를 이용함
- ○ 풍력터빈은 Type 90을 이용함. 현재 성능곡선 등과 같은 내부 parameter에 대한 데이터베이스 구축은 없는 상태임. 향후 기본적인 자료 축적이 필요함
- ○ 풍력터빈을 통한 발전은 조명에너지로 사용하는 것으로 함
- ○ 풍자원 분석 결과에 의한 난방열원의 활용은 추가 모델링이 필요함



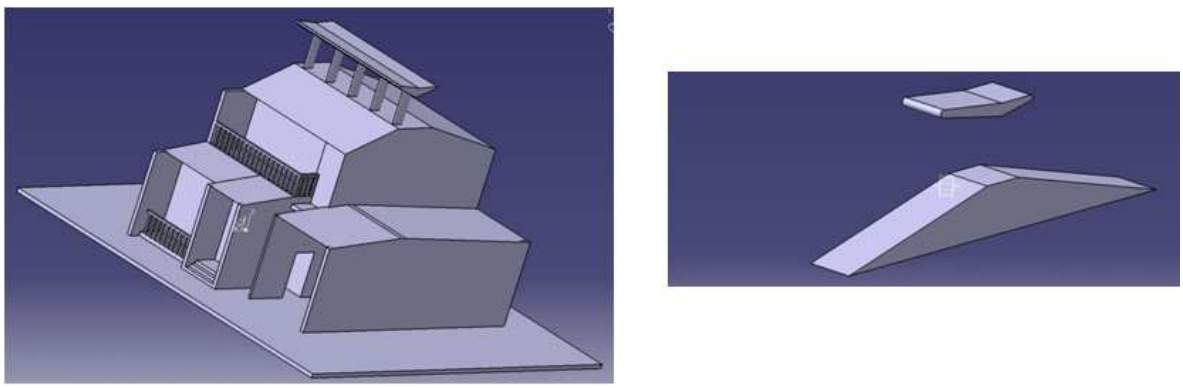

[그림 2-5-14] TRNSYS Component models

## 3. 양방향 윈드가이드가 있는 건물일체형 풍력시스템 개발

### 가. 양방향 윈드가이드의 수치해석에 의한 성능 분석

(1) 양방향 윈드가이드의 수치해석 모델링

- 수치해석을 위해 3차원 건물 모형을 정확도를 훼손하지 않는 범위에서 계산 속도 증진을 위해 건물의 형상을 단순화함
- 특히, 반복되는 풍력터빈에 대해서 1개로 축소하여 대표로 수치해석을 실시하였음
- [그림 2-5-15]는 건물일체형 풍력시스템을 단순화한 내용임



(a) 건물 모델 (b) 단순화된 건물 모델

[그림 2-5-15] 수치해석을 위한 모델링 단순화

(2) 양방향 윈드가이드의 설계 변수

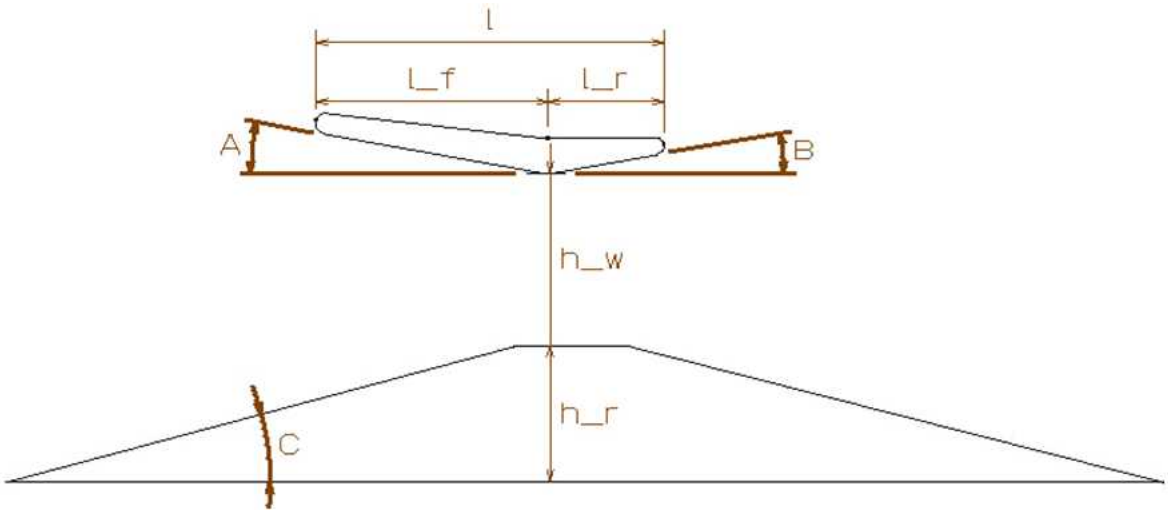
- 지붕 설치형 윈드가이드에 대한 수치해석 모델링은 [그림 2-5-16]와 같음

○ 윈드가이드 전체 길이 L은 3m이며, 전방길이는 2m, 후방길이는 1m임

○ A는 윈드가이드의 전방각도이며, B는 윈드가이드의 후방각도임

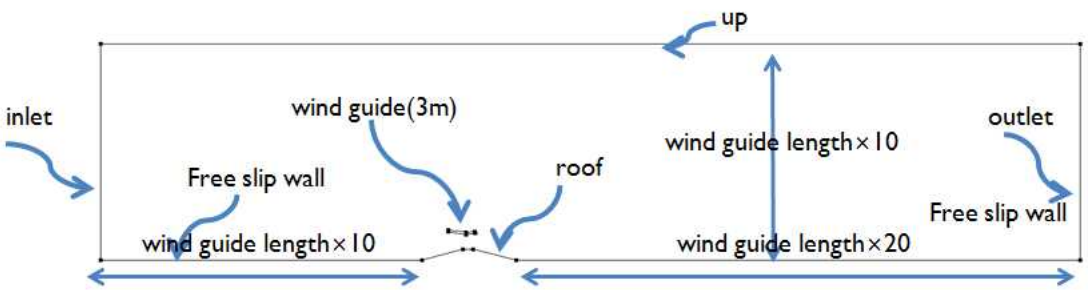
○ C는 지붕의 각도임

○ 지붕과 윈드가이드 간격은 1.5m이며 지붕의 높이는 1.2m임




[그림 2-5-16] 윈드가이드 수치해석 모델링

○ 수치해석을 위한 경계조건은 [그림 2-5-17]과 같음




[그림 2-5-17] 윈드가이드 수치해석 경계조건

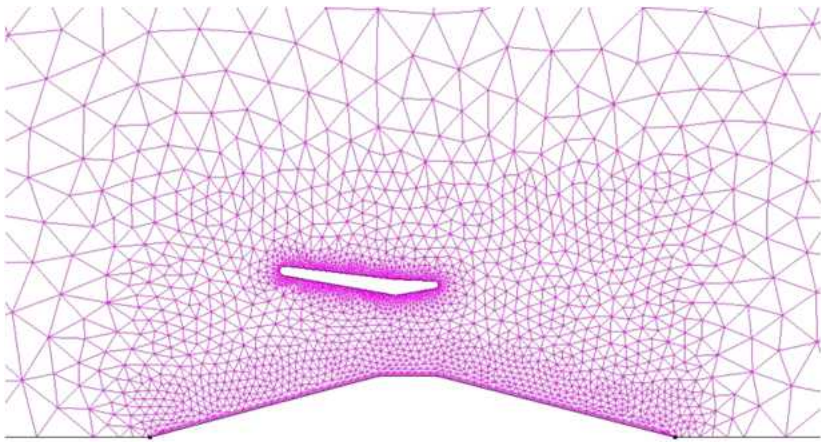
○ 경계조건은 [표 2-5-5]와 같이 설정하였음

[표 2-5-5] 윈드가이드 수치해석을 위한 경계조건

| 경계 | 경계조건 |
|---|---|
| 좌측경계 | 5 m/s |
| 우측경계 | Static pressure (0 pa) |
| 상단경계 | Natural inflow/outflow |
| 지붕 | Stationery wall |
| Wind guide | Stationery wall |
| 하단경계 | Free slip wall |
| 난류모델 | Standard k-ε |

○ 메시 생성은 [그림 2-5-18]와 같음. 총 메시(mesh)수는 약 19만 개이며, 메시의 최대 크기는 2m에서 최소 크기는 0.03m임

○ 프리즘 레이어는 지붕에는 0.02 m, 윈드가이드에는 0.005m로 3 Level로 설정함



[그림 2-5-18] 윈드가이드 수치해석을 위한 메시 생성

(3) 양방향 윈드가이드의 설계 변수에 따른 성능 분석

(가) 윈드가이드의 설계변수 설정

○ 윈드가이드의 성능에 영향을 줄 것으로 예상되는 설계변수로 부위별 각도를 설정함

○ 윈드가이드의 전방각도인 A, 후방각도인 B, 지붕각도인 C 등의 3가지 요소를 [표 2-5-6]와 같이 4수준으로 변화시켰을 때, 총 81개의 경우의 수가 나옴

[표 2-5-6] 윈드가이드 설계 변수의 직교배열

| | A (degree) | B (degree) | C (degree) |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 10 | 15 |
| 2 | 20 | 20 | 20 |
| 3 | 30 | 30 | 25 |
| 4 | 40 | 40 | 30 |

○ 실험 계획법[35]을 사용하여 다음 [표 2-5-7]과 같은 16개의 해석 조건을 도출함

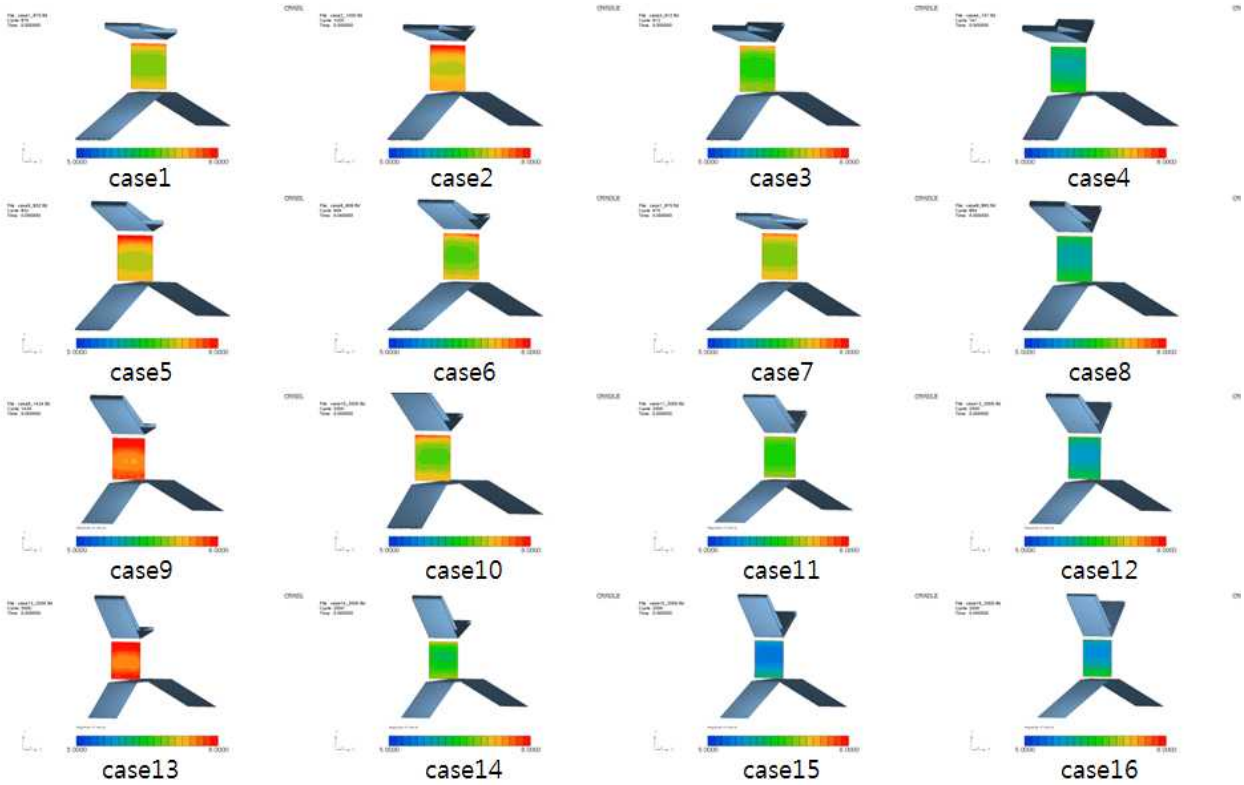
[표 2-5-7] 윈드가이드 수치해석의 조건

| case | A (degree) | B (degree) | C (degree) |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 10 | 15 |
| 2 | 10 | 20 | 20 |
| 3 | 10 | 30 | 25 |
| 4 | 10 | 40 | 30 |
| 5 | 20 | 10 | 20 |
| 6 | 20 | 20 | 15 |
| 7 | 20 | 30 | 30 |
| 8 | 20 | 40 | 25 |
| 9 | 30 | 10 | 25 |
| 10 | 30 | 20 | 30 |
| 11 | 30 | 30 | 15 |
| 12 | 30 | 40 | 20 |
| 13 | 40 | 10 | 30 |
| 14 | 40 | 20 | 25 |
| 15 | 40 | 30 | 30 |
| 16 | 40 | 40 | 15 |

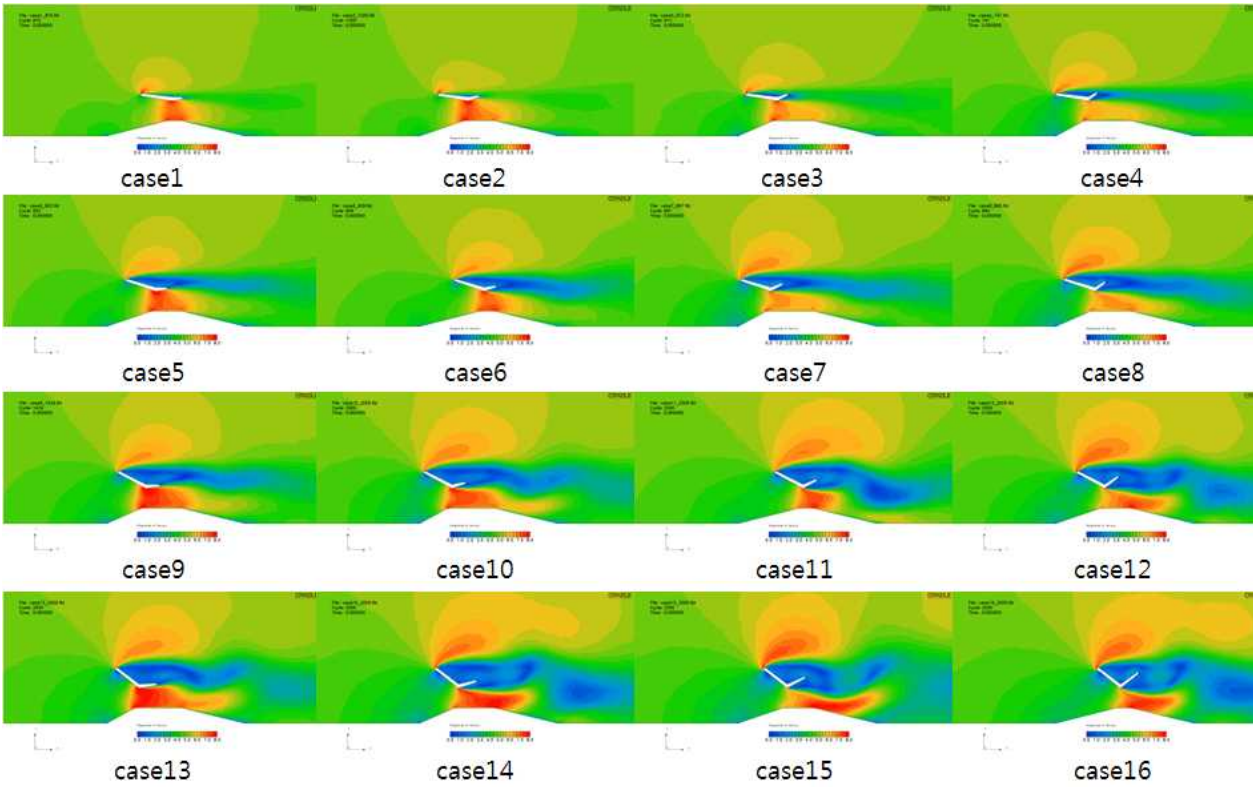
35) 해석 횟수가 줄어든 만큼 정확도가 다소 떨어지나, 이를 보안하기 위하여 분산 분석 작업을 통하여 모든 경우에 대하여 실험 했을 경우와 근사한 결과를 얻을 수 있음

(나) 양방향 윈드가이드 각도별 수치해석 결과

○ 16가지의 수치해석 결과 [그림 2-5-19]은 윈드가이드 내의 풍속 분포를 보여주는 것이며, [그림 2-5-20]은 윈드가이드 안팎의 유동 분포를 보여줌




[그림 2-5-19] 윈드가이드 설계변수에 따른 속도 분포



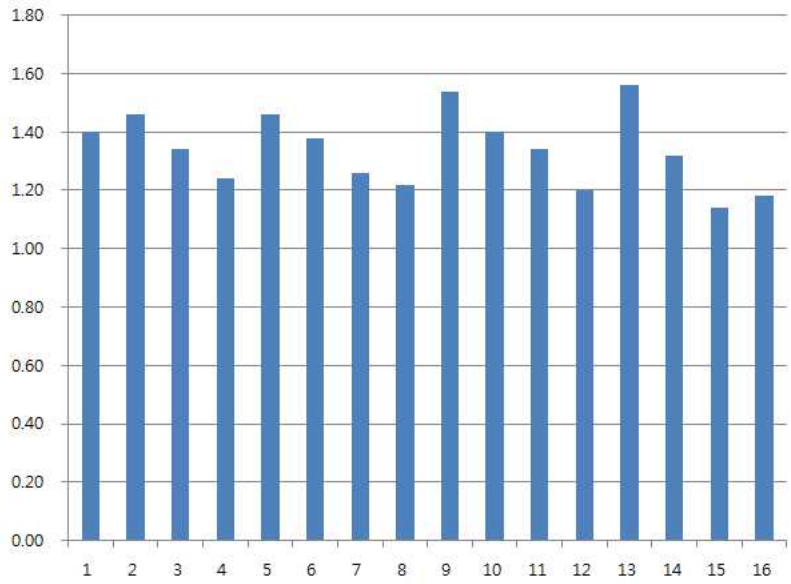

[그림 2-5-20] 윈드가이드 설계변수에 따른 유동 분포

○ 풍속증속에 대한 비율을 윈드가이드 성능지수(performance index)라고 할 수 있으며, 이는 유입풍속에 대한 윈드가이드 내의 풍속의 비로 표현할 수 있음

○ 윈드가이드 성능지수 = $\frac{U_{wg}}{U_{\infty}}$ 여기서, $U_{wg}$는 윈드가이드 내의 평균풍속 [m/s], $U_{\infty}$는 유입풍속[m/s]

○ 시뮬레이션 결과에 의한 성능지수는 [그림 2-5-21]과 같음

○ 기본적으로 유입풍속에 대하여 집풍에 의한 증속 효과(speed-up effect)가 뛰어난 것으로 나타났음

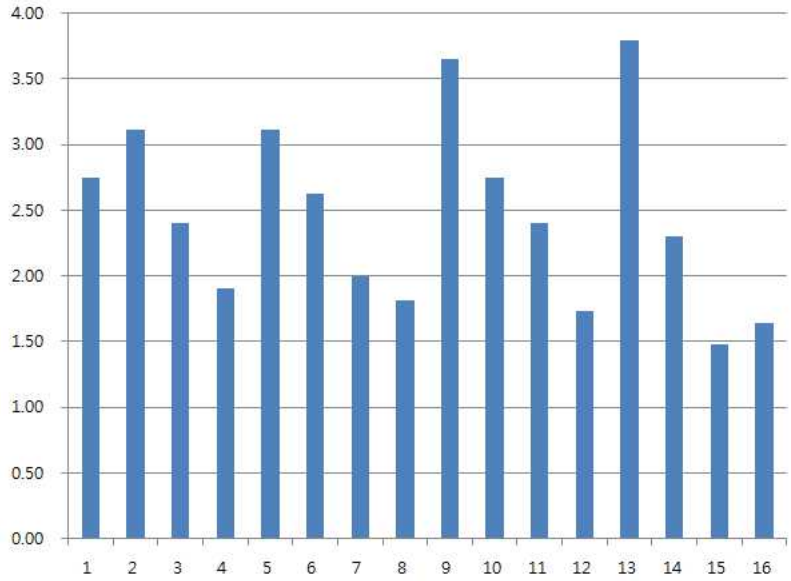



[그림 2-5-21] 윈드가이드 설계변수에 따른 성능 지수

○ 윈드가이드 내의 바람으로부터 얻을 수 있는 출력(power)은 [그림 2-5-22]와 같이 나타났음

○ 유입풍속에 대한 비율로 표시되었으므로, 윈드가이드를 설치하면 설치하지 않았을 때와 비교하여 최소 약 1.5배의 출력을 낼 수 있음을 보여주며, 최대 약 3.8배까지 출력을 향상시킬 수 있음을 보여줌

○ 따라서 윈드가이드의 설치가 매우 중요함을 알 수 있음




[그림 2-5-22] 윈드가이드 설계변수에 따른 출력(power)

○ 전방각도(A)는 case 3에 경우 가장 높은 값을 나타내는 반면 case 4에서는 가장 낮은 값을 나타남

○ 후방각도(B)는 수준이 증가 할수록 결과 값이 일정하게 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며 이는 후방각도(B)의 수준은 가장 작을 때 좋은 결과 값을 기대할 수 있음

○ 지붕의 각도(C)는 수준이 증가할수록 정차 증가하는 경향을 보이나, 제한적임

○ 이 모든 설계인자 중 가장 좋은 결과 값의 조합은 전방각도(A)는 3번 즉 30°일 때, 후방각도(B)는 1번 10°일 때, 지붕의 각도(C)는 4번 30°일 때임

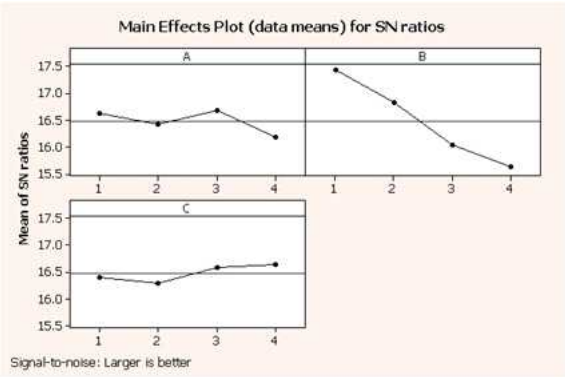
○ 윈드가이드 설계변수인 각 부재의 각도에 대한 영향을 종합하면 [그림 2-5-23]과 같음

○ 윈드가이드 전방각도는 높을수록 특히 30도일 때 최대 출력이 나오며, 윈드가이드 후방각도는 오히려 작을수록 출력이 좋은 것을 알 수 있음

○ 그러나 40도 이상이 되면 터빈 위치에 풍속이 증속이 되는 것이 아니라 더 후류쪽에서 풍속이 증속되어 나타날 수 있음을 보여줌

○ 따라서 윈드가이드의 전방각도를 40도 이상으로 하지 않는 것이 바람직해 보임

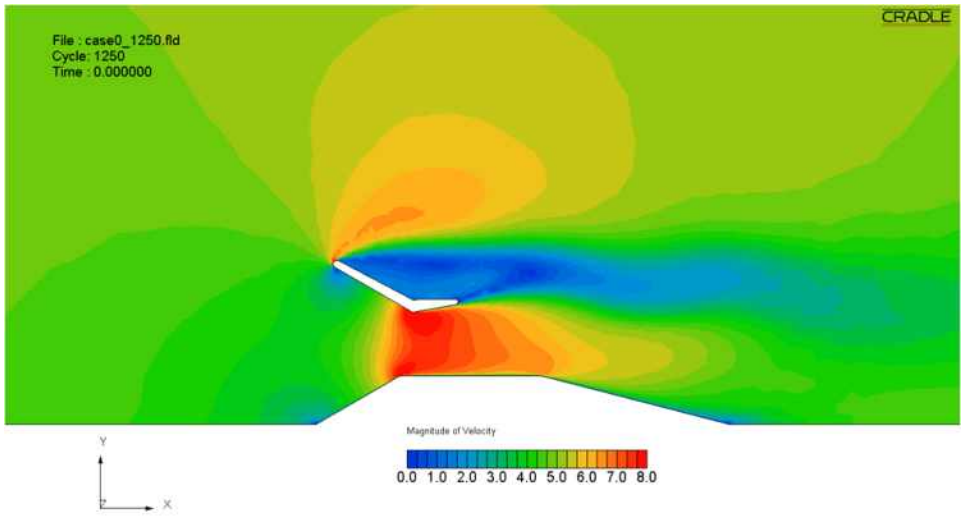
○ 지붕의 각도는 실제 높이 변화가 없는 관계로 풍속의 변화가 상대적으로 작았고 오히려 유동 분포에 영향을 주었음



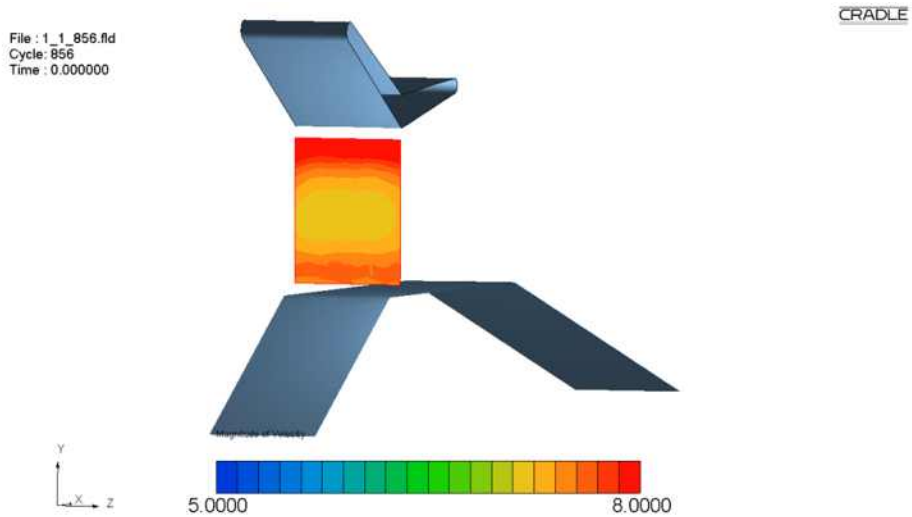

[그림 2-5-23] 설계변수의 영향

○ 이상의 설계 변수를 조합하면 전방각도(A)는 30도, 후방각도(B)는 10도, 지붕각도(C)는 30도가 됨

○ 최적 설계 변수를 조합한 수치해석 결과는 [그림 2-5-24]의 유동 분포와 [그림 2-5-25]의 속도 분포와 같음




[그림 2-5-24] 설계변수의 최적조합에 의한 유동 분포



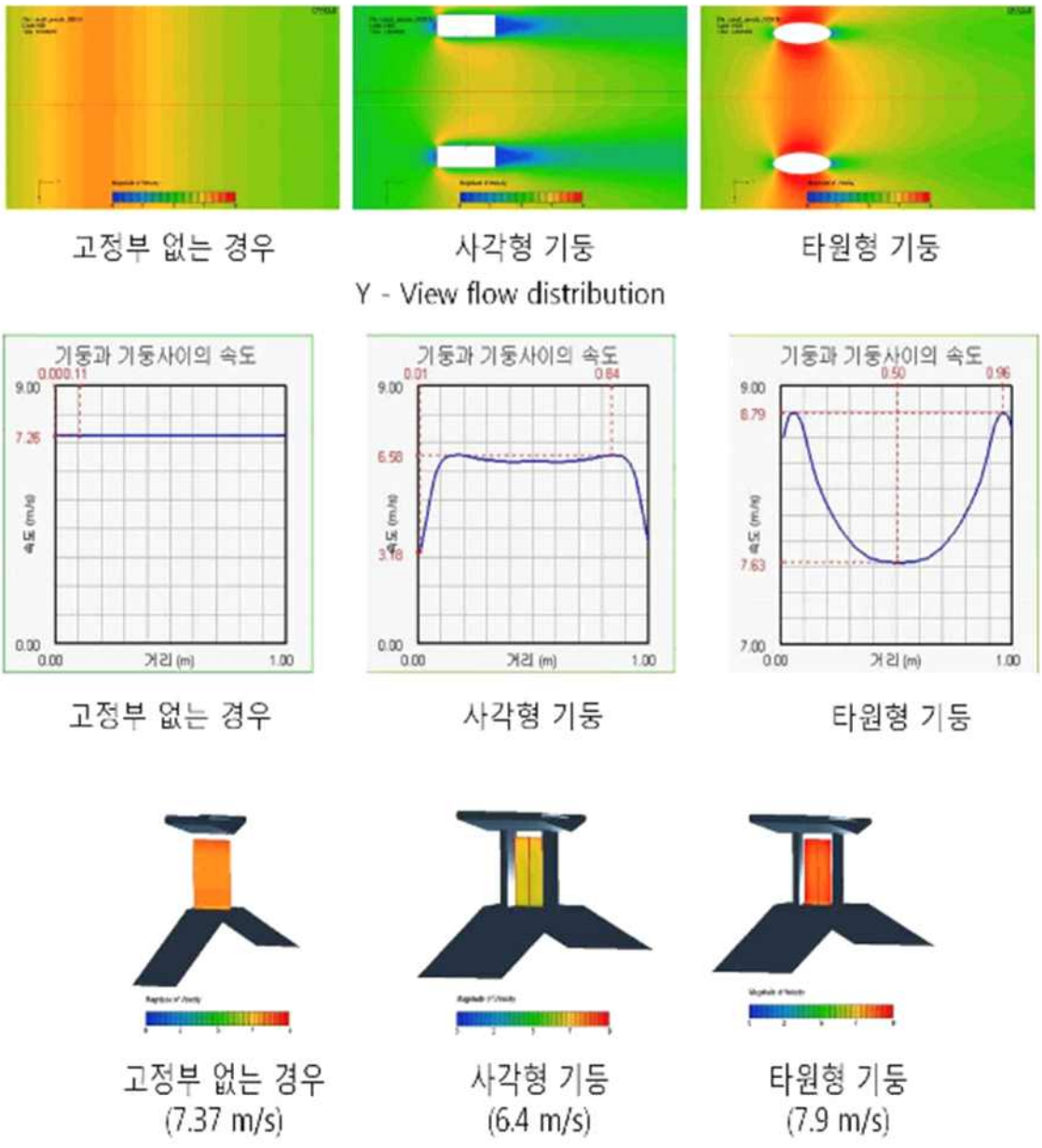

[그림 2-5-25] 설계변수의 최적조합에 의한 속도 분포

(4) 윈드세퍼레이터의 수치해석

- 윈드가이드를 지지하면서 동시에 각각의 풍력터빈에 들어가는 바람을 분리하는 것을 윈드 세퍼레이터(wind separator)라고 할 수 있음
- 윈드세퍼레이터의 형상에 따라 풍력터빈 주변의 유동과 풍속을 수치해석하였으며, 경계조건은 윈드가이드 수치해석과 동일함
- 형상은 사각형과 타원형에 대해서 실시하였으며, 윈드세퍼레이터가 없는 경우에 대한 상대적인 비교를 하였음
- [그림 2-5-26]과 같이 사각형일 때는 윈드세퍼레이터가 없는 것보다 풍속이 감속되는 것으로 나타났으며, 윈드세퍼레이터가 타원형일 때는 풍속이 증가하는 것으로 나타났음

○ 특히, 타원형 윈드세퍼레이터의 최저 풍속이 7.63m/s로 윈드세퍼레이터가 없는 경우의 풍속 7.26m/s보다 더 큰 풍속임

○ 또한, 풍력터빈의 날개(blade)가 윈드가이드 내를 통과하는 윈드세퍼레이터의 주변 풍속이 다른 곳보다 더 크게 나타나 풍력터빈을 위한 토크로 작용할 것으로 예상됨

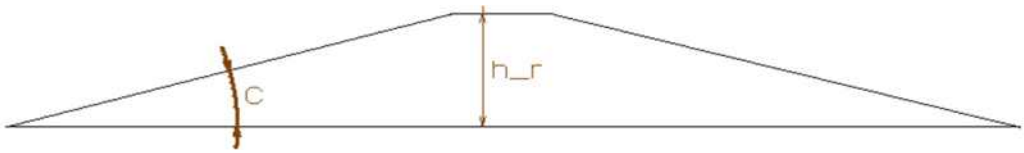



[그림 2-5-26] 윈드세퍼레이터에 의한 유동 분포와 속도분포

(5) 지붕의 수치해석

○ 풍력터빈의 출력 비교를 위하여 윈드가이드가 없는 경우를 비교 대상으로 선정하여 수치해석을 수행함

○ 이를 위한 수치해석 모델링은 [그림 2-5-27]과 같음



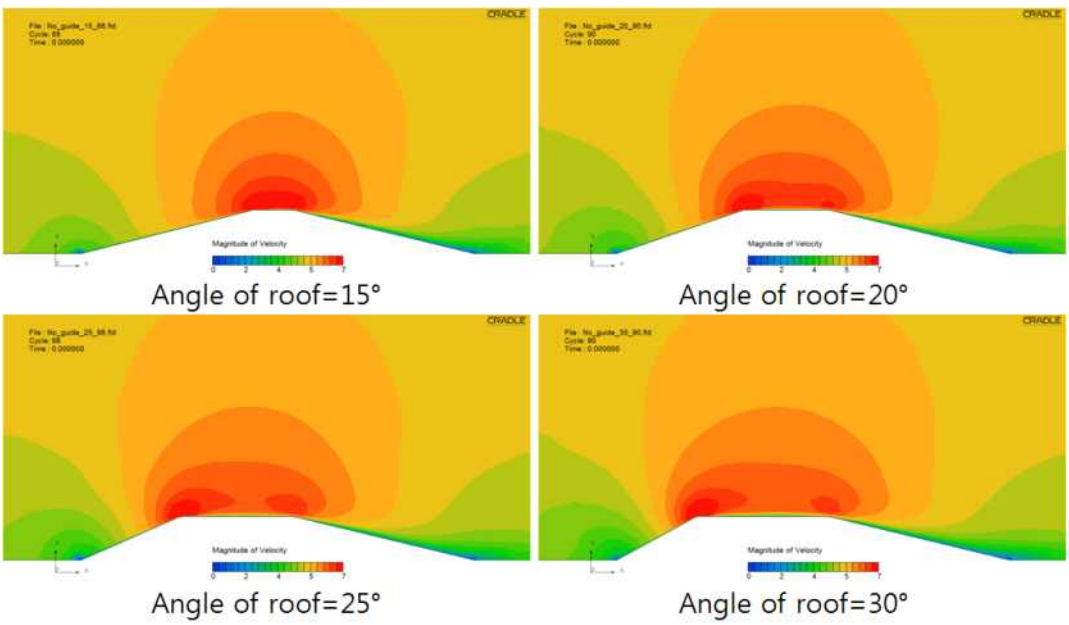

[그림 2-5-27] 지붕의 수치해석 모델링

○ 지붕 각도에 따른 수치해석 결과는 [그림 2-5-28]의 유동 분포와 [그림 2-5-29]의 속도 분포로 나타남

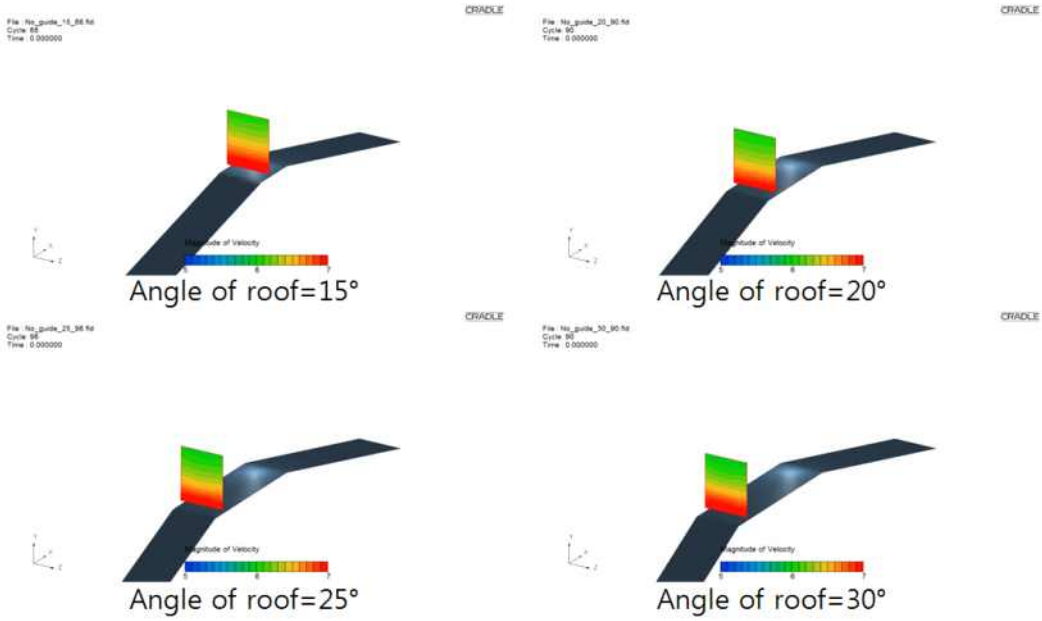
○ 풍력터빈을 지붕경사면과 마루가 만나는 곳에 설치하기에 지붕 각도에 의한 영향은 상대적으로 거의 없는 것으로 보임

○ 이는 유동 분포에서도 알 수 있듯이 경사면과 수평면(지붕마루)이 만나는 곳에서는 풍속이 증속이 되나 지붕마루가 길어지면 중간에 증속 효과가 감소하는 것으로 보임 (지붕경사각이 30도일 때의 유동 분포를 참조)

○ 따라서 지붕에 풍력터빈을 설치할 때, 경사면이 꺾이는 부분에 설치해야 하는 것도 확인할 수 있음



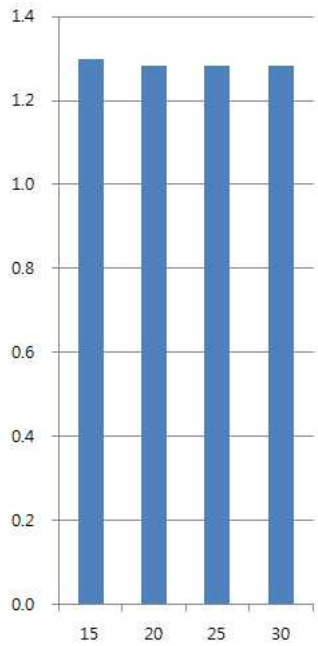

[그림 2-5-28] 지붕각도에 따른 유동 분포

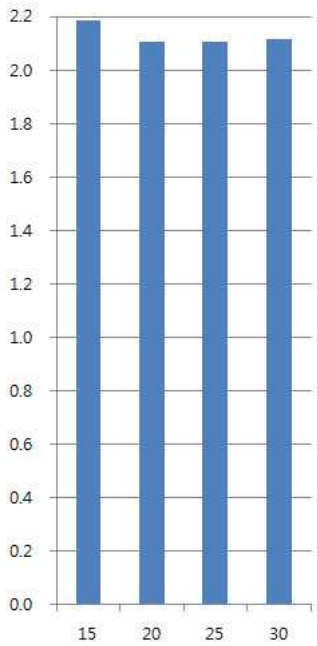



[그림 2-5-29] 지붕각도에 따른 속도 분포

○ 지붕 각도에 따른 성능지수는 [그림 2-5-30]과 같고, 출력(power)지수는 [그림 2-5-31]과 같음

○ 지붕을 경사지붕으로 함으로써 풍속을 약 30%까지 증속시킬 수 있으며, 또한 출력을 약 2.2배까지 증가시킬 수 있음




[그림 2-5-30] 지붕각도에 따른 성능 지수 [그림 2-5-31] 지붕각도에 따른 출력(power)

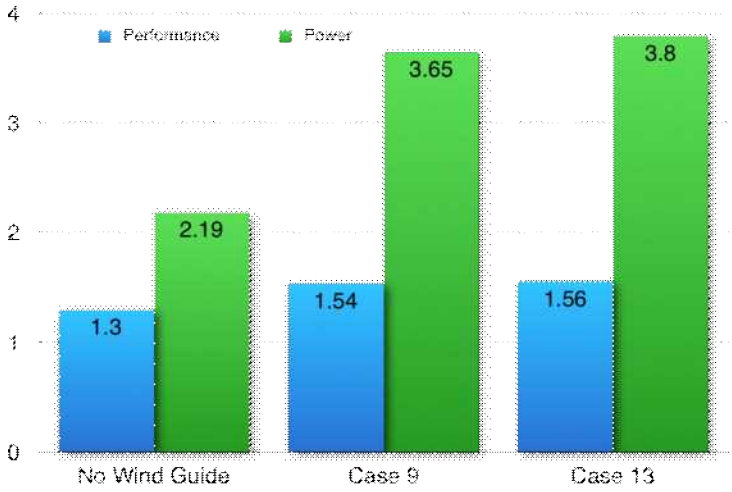
(6) 윈드가이드가 없는 지붕과 윈드가이드가 있는 지붕과의 성능 비교

○ 단순 경사 지붕과 윈드가이드가 설치된 지붕과의 성능 비교는 [그림 2-5-32]과

같이 나타남

○ 단순 경사 지붕보다 윈드가이드가 설치된 지붕에서, 풍속은 약 1.2까지 증속되며, 풍력터빈의 출력은 약 1.74배까지 증가될 것으로 나타남

○ 이는 윈드가이드에 의한 풍력 활용도가 높은 것을 시사 함




[그림 2-5-32] 설계 변수에 따른 성능 비교

○ 수치해석에 의한 풍속 증속과 출력 증가 평가가 실제와 다를 수 있기 때문에 이에 대한 디지털 풍동이 병행되어야 함

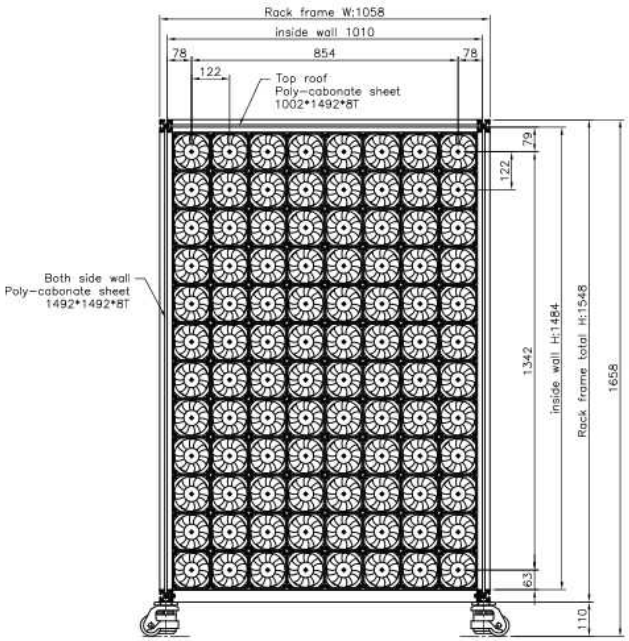
나. 양방향 윈드가이드의 풍동 실험에 의한 성능 분석

(1) 디지털풍동 제작 및 실험

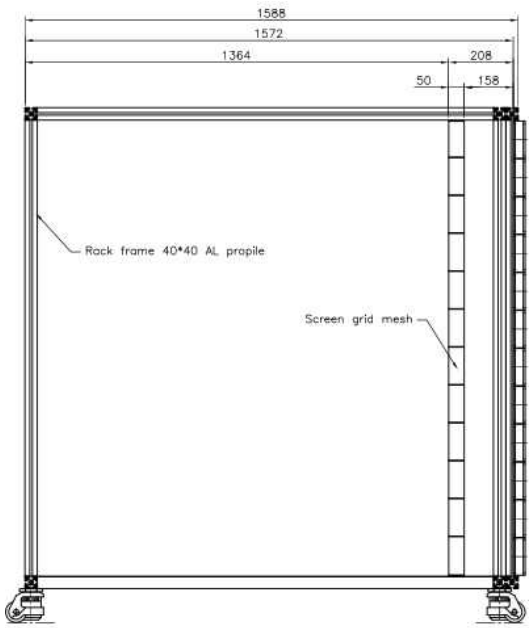
○ 다음과 같은 디지털 풍동의 성능과 치수가 확보되도록 설계됨

- 풍속 : 5.5 m/s 이상
- 시험 면적 : 1450 mm X 960 mm
- 난류강도 : 5% 이내
- 팬 : DC Fan Array
- 구동 power : 20 kW 이내
- 풍동설치방식 : 이동식
- 유질 제어 방법 : 메시 교체 사용
- 풍속 계측 방법 : Hot wire anemometer

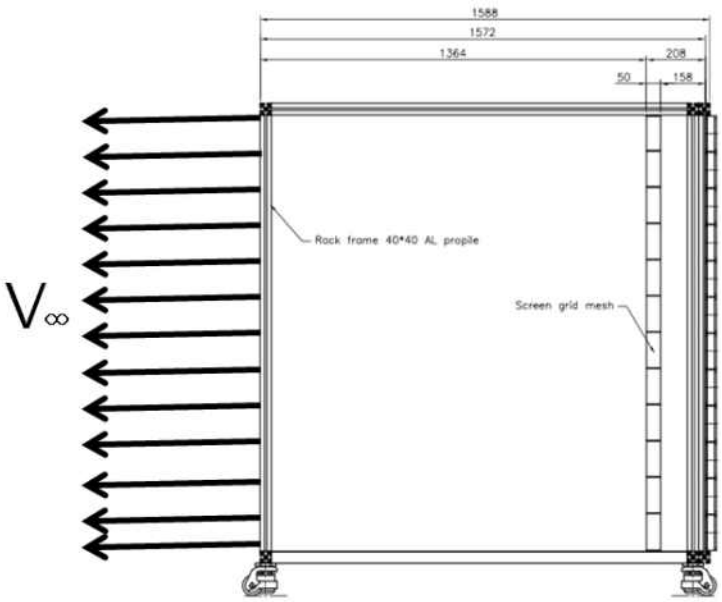
○ 디지털 풍동의 형태적인 제원은 [그림 2-5-33] ~ [그림 2-5-35]과 같음




[그림 2-5-33] 디지털 풍동 후면부(각 팬의 위치)




[그림 2-5-34] 디지털 풍동 측면부




[그림 2-5-35] 디지털 풍동 유체흐름 방향

○ 디지털 풍동의 성능

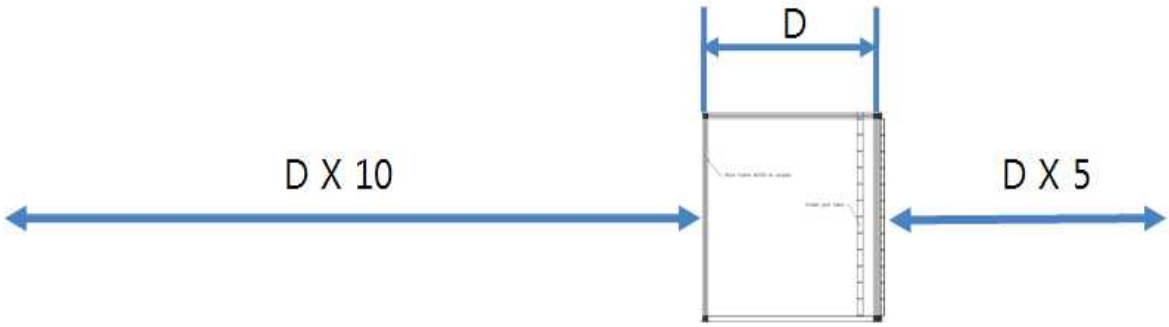
- 기존의 풍동은 크기가 1.45[m]$X$0.96[m]의 시험부를 가짐
- 유동형태는 재순환을 하지 않고 밖으로 배출되는 개회로 방식의 풍동임
- 풍동의 바람을 생성하는 장치는 풍동 유동 입구면의 96개의 DC FAN 으로 각 팬이5.5[m/s] 의 유속을 발생시킴
- 난류강도 측정

$$\text{표준편차}(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} u_k^2}{n} - \overline{u^2}} \qquad \text{난류강도} \equiv \frac{\sqrt{(u')^2}}{u} = \frac{\sqrt{(u-\overline{u})^2}}{u}$$

- 위의 식은 기존의 풍동의 풍속 표준편차 및 난류강도 산출에 이용된 식임
- 풍속은 wire anemometer(HHF2005HW)를 사용하여 측정하였으며 시험부 내부의 평균 풍속은 5.5[m/s]로 나타났고 난류강도는 5[%]로 나타남
- 다음의 식을 사용하여 Re 수를 산출한 결과 약 36000로 나타남

$$Re = \frac{\rho A u^2}{\mu}$$

- [그림 2-5-36]과 같이 디지털 풍동의 유입구와 출구가 트여 있어야 풍동 성능의 저하를 막을 수 있고 시험에도 지장이 없음




[그림 2-5-36] 풍동 입 출구 여유 공간

- 디지털 풍동은 내부의 유동형태를 보기 위하여 투명 아크릴 등으로 제작을 하였음
- 풍동시험 시 계측장비가 외부영향(특히 진동)을 크게 받는다면 풍동과 팬 사이에는 공기가 새 나가지 않으면서 진동을 흡수할 소재를 활용하여 방진 구조로 하여야 하고, 바닥면과 풍동 자체의 진동 전달을 차단하기 위하여 지지부 또한 방진소재가 활용됨

○ 풍동 성능에 영향을 주는 큰 요소

- 유입 부 팬의 성능
- 정류부 메시(mesh) 크기 및 정류부 위치
- 풍동 시험 부 길이
- 풍동 내벽 거칠기
- 시험 부 크기

○ 디지털 풍동 설치

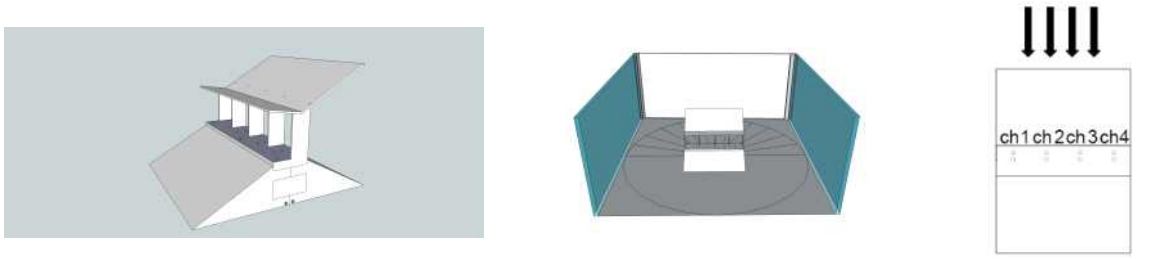


[그림 2-5-37] 디지털 풍동 제작 및 설치

(2) 풍력시스템 설계를 위한 풍동 실험 방법 및 측정 조건

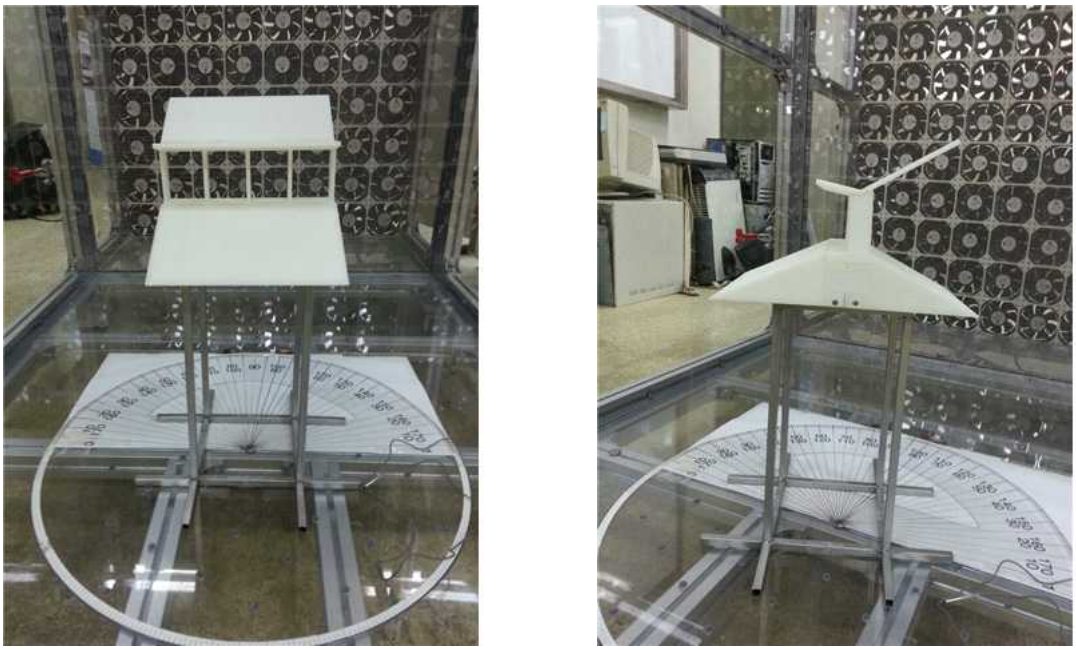
○ 전년도 연구를 활용하고 테스트베드에 적용하기 위해서는 풍동실험을 통하여 풍력시스템의 출력성능에 대한 검증과정이 필요함

○ 측정 장비와 측정점의 위치




(a)풍력시스템 모델링 (b)실험모델과 실험 조건 (c) 측정점의 위치

[그림 2-5-38] 풍동실험 방법과 측정 조건



(a) 풍향각도가 0일 결우 (b) 풍향각도가 임의의 각일 경우

[그림 2-5-39] 테스트베드 지붕에 설치할 풍력시스템의 풍동실험 모델

(3) 풍동 실험 결과 및 분석

○ 풍속증속에 대한 비율을 윈드가이드 성능지수(performance index)라고 할 수 있으며, 이는 유입풍속에 대한 윈드가이드 내의 풍속비(wind speed ratio)로 표현할 수 있음

○ 윈드가이드 성능지수 = $\frac{U_{wg}}{U_{\infty}}$ 여기서, $U_{wg}$는 윈드가이드 내의 평균풍속[m/s], $U_{\infty}$는 유입풍속[m/s]

○ 또한 성능지수(풍속비)의 값이 1보다 크다는 것은 집풍효과로 유입풍속보다 윈

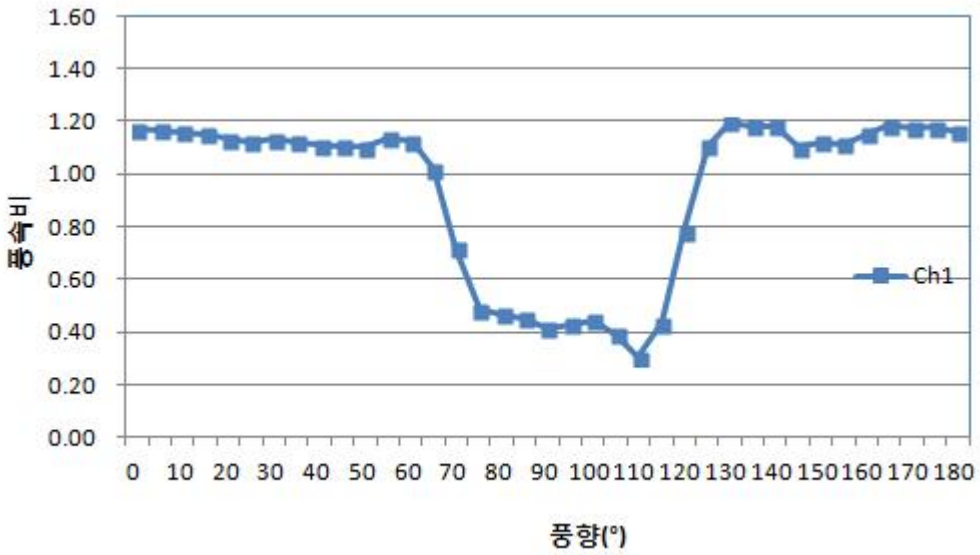
드가이드 내의 풍속이 크다는 것을 의미하며, 이는 윈드가이드가 없는 일반적인 풍력발전기보다 더 많은 에너지를 생산할 수 있다는 것을 의미하는 것임

- 양방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템에 대한 수치해석 결과(속도비 최소 1.5)와 비교하여 풍동실험 결과(속도비 1.19~1.42)가 [표 2-5-8]와 같이 상대적으로 적게 나왔음
- 이는 수치해석은 2차원적인 영향만을 고려하고, 풍동실험은 3차원적인 영향까지 고려했기 때문으로 보임
- 즉, 공기 유동이 윈드가이드의 상하뿐만 아니라 좌우로도 분산되어 집풍효과가 상대적으로 감소한 것으로 보임

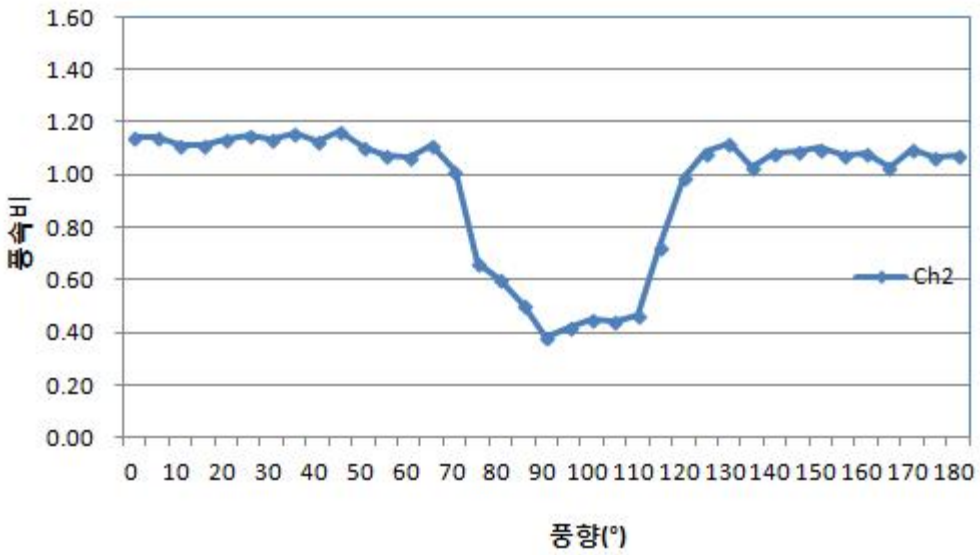
[표 2-5-8] 양방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템의 풍속비(성능지수)

| 풍향(°) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ch1 | 1.17 | 1.17 | 1.16 | 1.15 | 1.13 | 1.12 | 1.13 | 1.12 | 1.11 | 1.11 | 1.10 | 1.13 | 1.12 | 1.02 | 0.72 | 0.49 | 0.47 | 0.45 | 0.41 |
| Ch2 | 1.14 | 1.14 | 1.11 | 1.11 | 1.14 | 1.15 | 1.13 | 1.16 | 1.12 | 1.16 | 1.11 | 1.08 | 1.07 | 1.11 | 1.01 | 0.66 | 0.60 | 0.50 | 0.39 |
| Ch3 | 1.20 | 1.18 | 1.19 | 1.19 | 1.20 | 1.22 | 1.23 | 1.25 | 1.24 | 1.25 | 1.23 | 1.21 | 1.22 | 1.21 | 1.03 | 0.70 | 0.56 | 0.48 | 0.47 |
| Ch4 | 1.22 | 1.24 | 1.23 | 1.22 | 1.22 | 1.26 | 1.26 | 1.27 | 1.27 | 1.27 | 1.27 | 1.27 | 1.28 | 0.95 | 0.46 | 0.32 | 0.42 | 0.43 | 0.38 |
| 풍향(°) | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 135 | 140 | 145 | 150 | 155 | 160 | 165 | 170 | 175 | 180 | 최대 |
| Ch1 | 0.43 | 0.45 | 0.39 | 0.30 | 0.43 | 0.78 | 1.11 | 1.19 | 1.18 | 1.18 | 1.10 | 1.12 | 1.12 | 1.15 | 1.19 | 1.18 | 1.18 | 1.16 | 1.19 |
| Ch2 | 0.42 | 0.45 | 0.44 | 0.47 | 0.73 | 0.99 | 1.09 | 1.12 | 1.03 | 1.08 | 1.09 | 1.10 | 1.08 | 1.09 | 1.03 | 1.10 | 1.06 | 1.07 | 1.16 |
| Ch3 | 0.46 | 0.42 | 0.39 | 0.45 | 0.79 | 1.18 | 1.25 | 1.23 | 1.22 | 1.24 | 1.22 | 1.25 | 1.20 | 1.19 | 1.13 | 1.13 | 1.11 | 1.15 | 1.25 |
| Ch4 | 0.37 | 0.34 | 0.39 | 0.36 | 0.42 | 0.85 | 1.24 | 1.42 | 1.37 | 1.36 | 1.34 | 1.30 | 1.31 | 1.22 | 1.19 | 1.16 | 1.16 | 1.18 | 1.42 |

- 풍향에 따른 윈드가이드의 성능지수(풍속비)는 [그림 2-5-40]과 같음
- 바람에 대하여 가장 좌측에 있는 윈드가이드 내의 풍속비는 [그림 2-5-40]의 (a)와 같이 65도까지 풍속비가 1보다 크게 나오다가, 이후로는 1보다 작아졌음
- 다시 뒷면을 통해서 125도와 180도 사이에서 풍속비가 1보다 커지고 있음
- 양방향으로 부는 바람에 대하여 집풍효과가 있음을 실험을 통해서도 확인할 수 있었으며, 또한 풍향의 범위가 좌우 65도까지 비교적 넓은 범위까지 집풍효과가 있음을 확인할 수 있었음
- 70도에서 120도 사이로 부는 바람은 윈드가이드의 측면으로 부는 바람으로 풍속비가 현저하게 낮아지는 것으로 나타나, 윈드가이드 설치시 주풍향을 고려하여 설치하지 않으면 성능을 발휘할 수 없음을 알 수 있음
- 가운데 위치한 Ch 2와 Ch 3의 풍속비, 그리고 가장 우측에 위치한 윈드가이드 Ch 4의 풍속비도 Ch1과 거의 같은 패턴을 보여 주고 있음

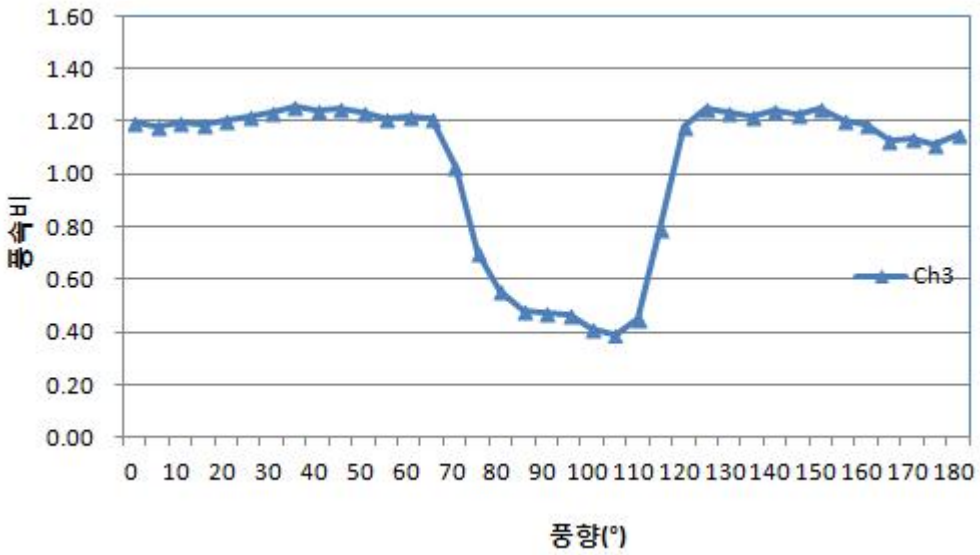



(a) 풍향에 따른 Ch 1번 윈드가이드 내 풍속비

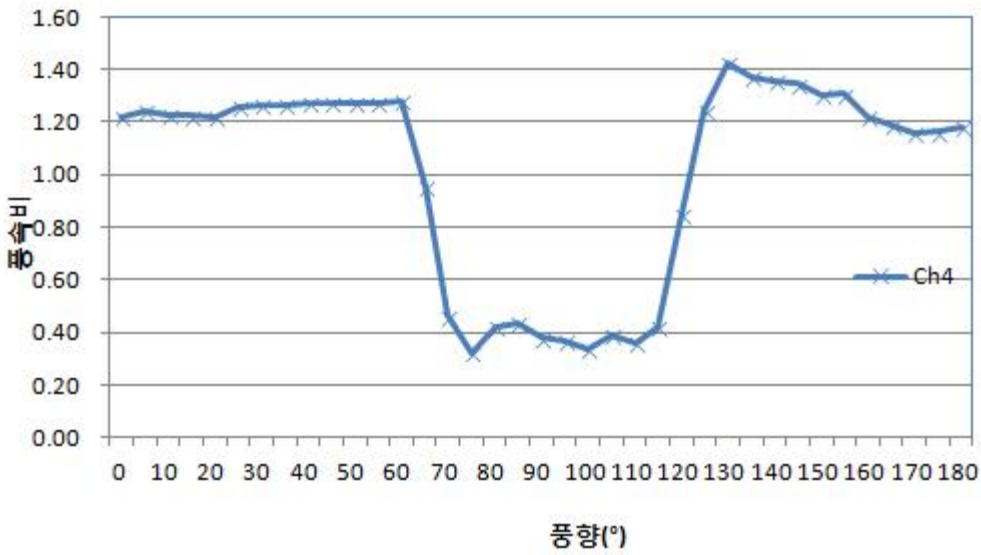



(b) 풍향에 따른 Ch 2번 윈드가이드 내 풍속비

[그림 2-5-40] 풍향에 따른 윈드가이드 위치별 풍속비 변화




(c) 풍향에 따른 Ch 3번 윈드가이드 내 풍속비

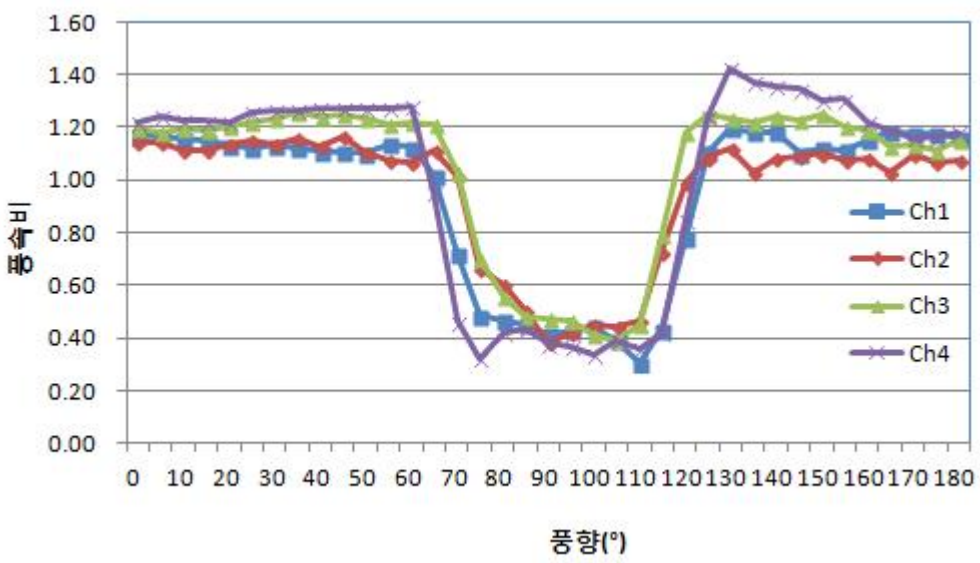



(d) 풍향에 따른 Ch 4번 윈드가이드 내 풍속비

[그림 2-5-40] 풍향에 따른 윈드가이드 위치별 풍속비 변화 (계속)

○ 이상의 모든 위치에 대한 윈드가이드의 풍속비 비교는 [그림 2-5-41]과 같음

○ 여기서 풍향이 바뀜에 따라 윈드가이드의 위치가 상류측에 가까워질수록 풍속비가 상대적으로 크게 나타나는 경향이 있음




[그림 2-5-41] 풍향에 따른 윈드가이드 위치별 풍속비 비교

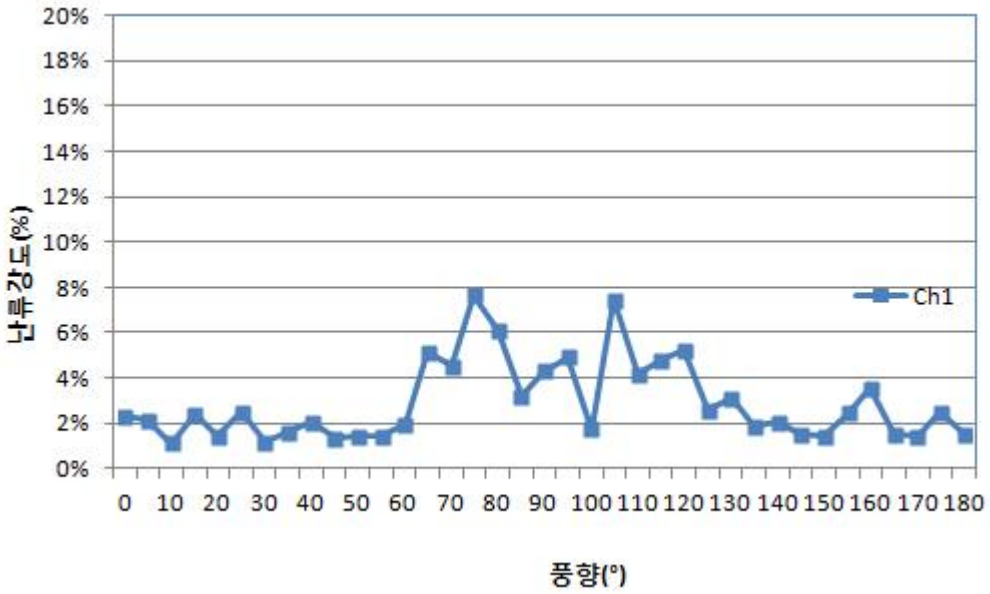
○ 풍력 활용에 영향을 주는 난류강도 변화는 [표 2-5-9]와 같음

○ 또한 [그림 2-5-42]와 같이 풍속비의 변화와 같이 풍향 각도가 약 60도가 될 때부터 난류강도가 증가하는 경향을 나타냈음

○ 이는 윈드가이드의 지지대 역할을 하는 윈드세퍼레이터가 난류를 발생하기 때문인 것으로 보임

[표 2-5-9] 양방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템의 난류강도

| 풍향(°) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ch1 | 2.3 | 2.1 | 1.1 | 2.4 | 1.5 | 2.5 | 1.2 | 1.6 | 2.1 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 5.1 | 4.5 | 7.7 | 6.1 | 3.2 | 4.3 |
| Ch2 | 1.5 | 3.5 | 4.3 | 2.1 | 2.9 | 1.7 | 3.5 | 2.1 | 1.2 | 1.4 | 1.1 | 2.3 | 2.2 | 1.9 | 4.4 | 2.9 | 3.1 | 6.7 | 2.3 |
| Ch3 | 1.1 | 1.7 | 1.4 | 1.3 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | 1.3 | 1.6 | 0.8 | 1.8 | 1.5 | 1.1 | 1.3 | 4.5 | 2.8 | 3.1 | 3.1 | 1.9 |
| Ch4 | 1.5 | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 1.1 | 1.0 | 1.4 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.4 | 2.0 | 1.1 | 6.4 | 5.5 | 7.5 | 4.9 | 4.6 | 4.2 |
| 풍향(°) | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 135 | 140 | 145 | 150 | 155 | 160 | 165 | 170 | 175 | 180 | - |
| Ch1 | 4.9 | 1.7 | 7.5 | 4.1 | 4.8 | 5.3 | 2.6 | 3.1 | 1.9 | 2.0 | 1.5 | 1.4 | 2.5 | 3.6 | 1.6 | 1.4 | 2.5 | 1.5 | - |
| Ch2 | 2.7 | 3.6 | 4.1 | 5.7 | 7.1 | 4.5 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 2.3 | 2.2 | 3.6 | 1.5 | 3.0 | 2.6 | 1.3 | 3.5 | 1.8 | - |
| Ch3 | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 5.3 | 8.9 | 3.4 | 1.9 | 2.4 | 1.6 | 2.5 | 3.6 | 3.5 | 2.7 | 1.3 | 1.0 | 3.1 | 2.5 | 1.9 | - |
| Ch4 | 2.9 | 4.1 | 4.0 | 5.8 | 5.4 | 14.0 | 3.2 | 1.4 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 0.7 | 1.4 | 0.9 | 1.6 | 1.3 | 1.6 | 1.6 | - |

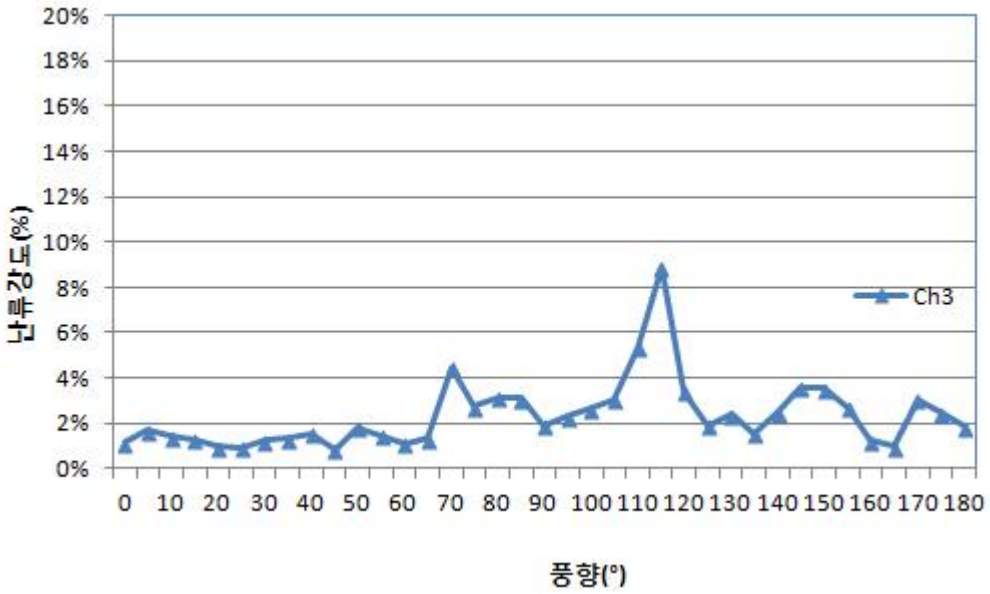



(a) 풍향에 따른 Ch 1번 윈드가이드 내 난류강도




(b) 풍향에 따른 Ch 2번 윈드가이드 내 난류강도

[그림 2-5-42] 풍향에 따른 윈드가이드 위치별 난류강도 변화

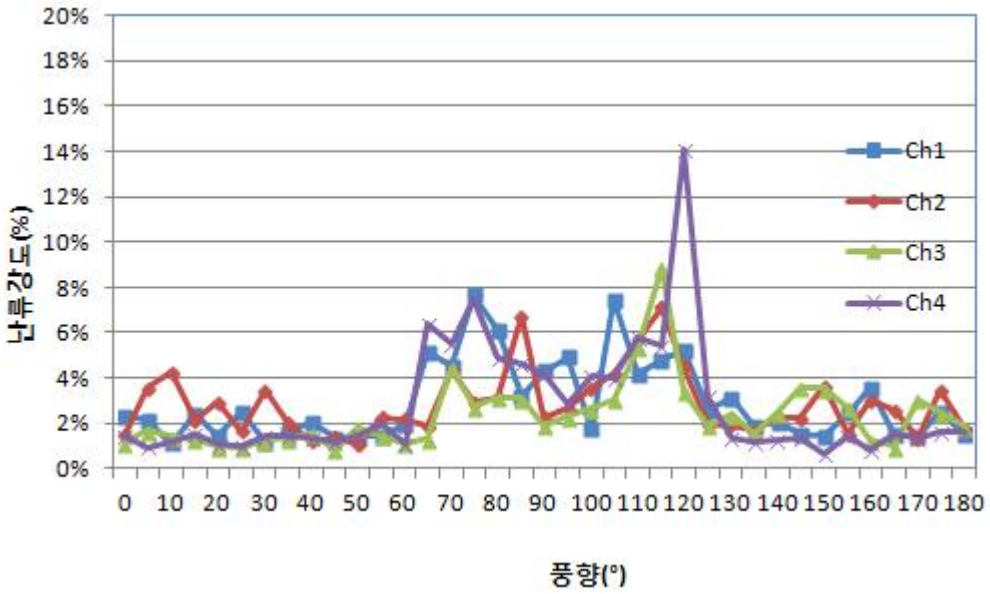



(c) 풍향에 따른 Ch 3번 윈드가이드 내 난류강도




(d) 풍향에 따른 Ch 4번 윈드가이드 내 난류강도

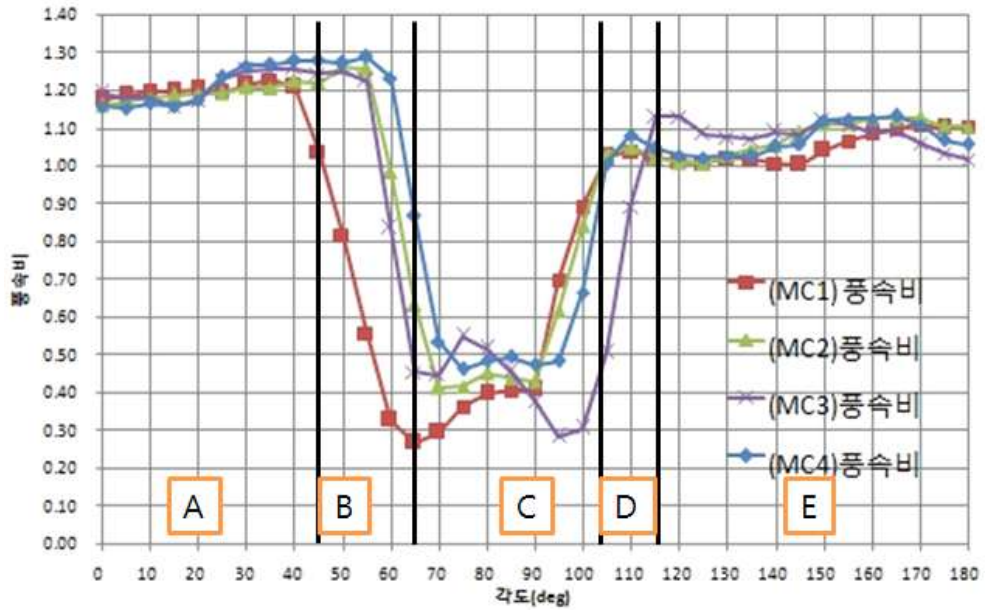
[그림 2-5-42] 풍향에 따른 윈드가이드 위치별 난류강도 변화 (계속)




[그림 2-5-43] 풍향에 따른 윈드가이드 위치별 난류강도의 비교

○ 본 연구에서는 풍향각도가 변함에 따라 윈드가이드의 유동특성이 달라지기에 풍속비가 1인 경우를 기준으로 하여 1보다 큰 구간과 1보다 작은 구간으로 나눔

○ 여기에 측정점 위치에 따라 현저하게 변하는 구간을 세분하여 [그림 2-5-44]와 같이 구분함




[그림 2-5-44] 유동특성에 따른 구간 구분

○ A 구간의 유동 특성

– 네 개의 측정점에서 풍속비가 1이상인 구간으로 표 3과 같이 풍향이 0° 에

서 45° 가 될 때까지는 풍속비가 최대 1.28까지 증가하는 것으로 나타났다. 이는 윈드가이드의 집풍효과가 실제 발생한 것으로 이 풍향구간 내에서는 풍향이 변하더라도 모든 풍력터빈의 출력이 2.1배까지 증가할 것으로 예상된다. 그러나 기존 수치해석 연구의 최대 1.56배의 풍속증가에 비교해서는 작은 값으로 2차원 수치해석과 3차원 풍동실험과는 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 이 구간에서의 난류강도는 대부분 1%이하로 나타났다.

- 풍향각도가 증가함에 따라 풍속비가 증가하는 것으로 나타나, 주풍향에 대하여 정면으로 설치된(풍향각도 0도) 윈드가이드보다 풍향각도가 있는 경우가 풍력터빈의 출력 향상에 도움이 되는 것으로 보인다. 이는 윈드세퍼레이터에 의해서 추가적으로 바람을 유도하기 때문인 것으로 판단된다.

[표 2-5-10] A구간의 풍속비와 난류강도의 비교

| 풍향 각도 | 측정점 | | | | | | | | 최소 | 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MC1 | | MC2 | | MC3 | | MC4 | | | |
| 0 | 1.17 | 0.8% | 1.16 | 0.7% | 1.19 | 0.5% | 1.16 | 0.6% | 1.16 | 1.19 |
| 5 | 1.19 | 0.6% | 1.17 | 0.6% | 1.18 | 0.6% | 1.15 | 0.7% | 1.15 | 1.19 |
| 10 | 1.19 | 0.7% | 1.18 | 0.7% | 1.18 | 1.0% | 1.16 | 0.8% | 1.16 | 1.19 |
| 15 | 1.20 | 0.9% | 1.19 | 0.7% | 1.16 | 0.8% | 1.16 | 0.7% | 1.16 | 1.20 |
| 20 | 1.20 | 0.6% | 1.19 | 0.5% | 1.17 | 0.7% | 1.17 | 0.5% | 1.17 | 1.20 |
| 25 | 1.19 | 1.0% | 1.19 | 0.9% | 1.23 | 0.8% | 1.23 | 0.8% | 1.19 | 1.23 |
| 30 | 1.21 | 1.1% | 1.21 | 1.3% | 1.25 | 0.6% | 1.26 | 0.5% | 1.21 | 1.26 |
| 35 | 1.23 | 0.7% | 1.21 | 0.7% | 1.25 | 0.7% | 1.27 | 0.7% | 1.21 | 1.27 |
| 40 | 1.21 | 1.4% | 1.22 | 1.2% | 1.26 | 0.7% | 1.28 | 0.8% | 1.21 | 1.28 |
| 45 | 1.04 | 2.6% | 1.22 | 0.7% | 1.24 | 1.0% | 1.28 | 0.8% | 1.04 | 1.28 |

○ B 구간의 유동 특성

- 풍향이 변함에 따라 바람을 먼저 받는 풍상측과 나중에 받는 풍하측의 풍속비가 달라지는 구간으로 풍상측의 측정점(MC4)의 풍속비는 1보다 크나, 풍하측 측정점(MC1)의 풍속비는 1보다 작아지는 구간이다. 이는 풍상측에 위치한 풍력터빈의 출력은 증가하고 풍하측 풍력터빈의 출력은 감소할 것으로 예측되며, 윈드가이드에 의한 출력증가가 부분적일 것임을 의미한다.

- 풍상측이 풍하측보다 풍속비가 큰 것은 난류강도 결과에서 알 수 있듯이 바람이 먼저 닿은 풍상측 윈드가이드를 지나온 바람이 난류를 발생시켜 풍하측에 영향을 주기 때문인 것으로 보인다. 또한 윈드세퍼레이터에 대한 받음각(angle of attack)이 증가하면서 층류에서 난류로의 천이가 이루어지기 때문이다.

[표 2-5-11] B구간의 풍속비와 난류강도의 비교

| 풍향 각도 | 측정점 | | | | | | | | 최소 | 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MC1 | | MC2 | | MC3 | | MC4 | | | |
| 50 | 0.82 | 3.1% | 1.26 | 1.1% | 1.25 | 1.1% | 1.27 | 0.9% | 0.82 | 1.27 |
| 55 | 0.56 | 5.3% | 1.26 | 0.8% | 1.23 | 1.3% | 1.29 | 0.5% | 0.56 | 1.29 |
| 60 | 0.33 | 3.8% | 0.98 | 4.3% | 0.83 | 6.9% | 1.23 | 2.0% | 0.33 | 1.23 |

○ C 구간의 유동 특성

- 풍력터빈이 위치할 네 개의 측정점 모두에서 풍속비가 표 5와 같이 1보다 작아지는 구간으로 난류강도도 이전 구간에 비교하여 증가한 것을 알 수 있다. 따라서 실제 윈드가이드 설치시 대지의 주풍향을 고려하여 설치하지 않으면 성능을 발휘할 수 없음을 시사한다.
- 이 구간에서 풍속비가 1보다 작아진 것은 풍향각도의 증가에 의해서 윈드세퍼레이터에 대한 받음각(angle of attack)이 증가하여 경계층이 표면으로부터 분리되는 경계층 박리현상(boundary layer separation)이 발생하였기 때문이다.
- 또한 윈드 세퍼레이터가 풍력터빈 설치 위치에 대하여 좌우대칭으로 설치되었다면 이 구간이 풍향각도 90도를 기준으로 좌우대칭이었을 것이나, 윈드세퍼레이터가 윈드 가이드의 정면 방향으로만 설치되어 있기 때문에 유동특성이 비대칭적으로 나타났다. 즉 전면방향에서는 65° (90° 와는 25° 차이가 남)부터 박리되어 풍속비가 현저하게 감소한 반면, 후면방향에서는 100° (90° 와는 10° 차이가 남)부터 박리 현상을 벗어나는 것으로 나타났다.

[표 2-5-12] C 구간의 풍속비와 난류강도의 비교

| 풍향 각도 | 측정점 | | | | | | | | 최소 | 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MC1 | | MC2 | | MC3 | | MC4 | | | |
| 65 | 0.27 | 3.9% | 0.63 | 7.5% | 0.46 | 5.1% | 0.87 | 5.6% | 0.27 | 0.87 |
| 70 | 0.30 | 6.6% | 0.42 | 4.6% | 0.45 | 3.2% | 0.54 | 7.8% | 0.30 | 0.54 |
| 75 | 0.36 | 7.3% | 0.42 | 3.8% | 0.55 | 3.1% | 0.46 | 2.7% | 0.36 | 0.55 |
| 80 | 0.40 | 4.4% | 0.45 | 2.7% | 0.52 | 3.3% | 0.48 | 3.4% | 0.40 | 0.52 |
| 85 | 0.41 | 4.6% | 0.44 | 2.3% | 0.46 | 3.4% | 0.50 | 2.6% | 0.41 | 0.50 |
| 90 | 0.41 | 3.9% | 0.43 | 3.0% | 0.38 | 5.6% | 0.47 | 2.4% | 0.38 | 0.47 |
| 95 | 0.70 | 4.7% | 0.62 | 5.0% | 0.29 | 5.9% | 0.48 | 4.8% | 0.29 | 0.70 |
| 100 | 0.89 | 4.3% | 0.84 | 4.8% | 0.31 | 4.4% | 0.67 | 4.6% | 0.31 | 0.89 |

○ D 구간의 유동 특성

- B구간처럼 풍향이 변함에 따라 바람을 먼저 받는 풍상측과 나중에 받는 풍하측의 풍속비가 달라지는 구간이나, B구간과는 반대로 윈드가이드의 후면방향에서 바람이 유입되기 때문에 풍향이 역전되는 되어서 MC1이 풍상측

이 되고 MC2가 풍하측이 되었다. 이에 따라 먼저 받는 풍상측과 나중에 받는 풍하측의 풍속비가 달라지는 구간으로 풍상측의 측정점(MC1)의 풍속비는 1보다 크나, 풍하측 측정점(MC3)의 풍속비는 1보다 작아졌다. 이는 풍상측에 위치한 풍력터빈의 출력은 증가하고 풍하측 풍력터빈의 출력은 감소할 것으로 예측되며, B구간과 마찬가지로 윈드가이드에 의한 출력증가가 부분적일 것임을 의미한다.

- 그러나, 풍하측 최말단 위치(MC4)에서는 풍속비가 1보다 크게 나타났으며, D구간의 크기도 B구간보다 작았다. 이는 B구간과 달리 윈드세퍼레이터가 없어서 풍상측과 풍하측의 풍속비 증가가 규칙적이지 않고 유동이 구분되지 않았기 때문인 것으로 보인다.

[표 2-5-13] D 구간의 풍속비와 난류강도의 비교

| 풍향 각도 | 측정점 | | | | | | | | 최소 | 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MC1 | | MC2 | | MC3 | | MC4 | | | |
| 105 | 1.03 | 1.8% | 1.03 | 2.2% | 0.51 | 11.7% | 1.01 | 5.1% | 0.51 | 1.03 |
| 110 | 1.04 | 1.0% | 1.05 | 1.1% | 0.89 | 9.6% | 1.08 | 1.1% | 0.89 | 1.08 |

○ E 구간의 유동 특성

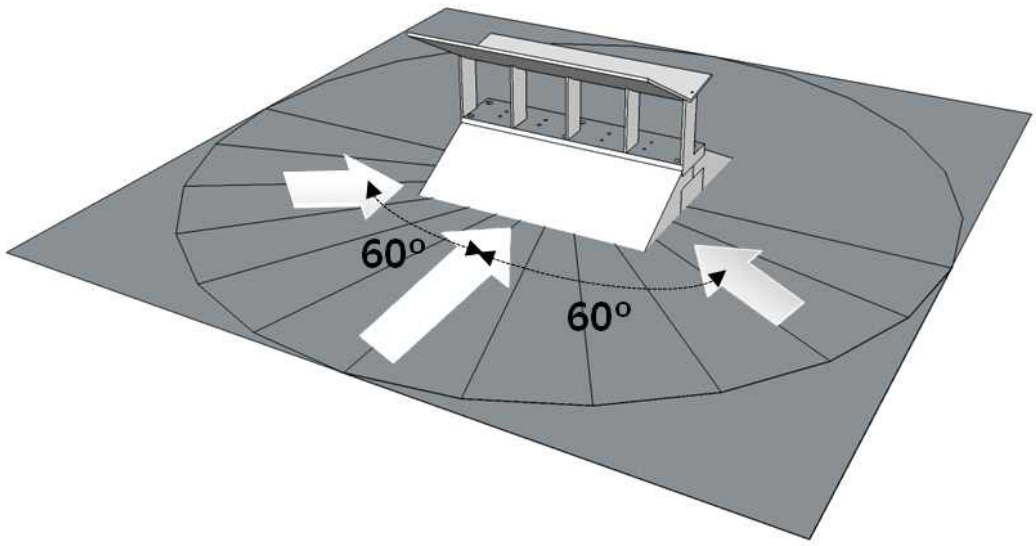
- A구간처럼 후면방향의 바람에 대하여 네 개의 측정점 모두에서 풍속비가 1보다 크게 나타나 풍속 증가가 이루어지는 구간으로 표 7과 같이 최대 풍속비는 1.13로 나타났다.
- A구간의 풍속비와 비교하여 E구간의 풍속비가 상대적으로 작은 이유는 기본적으로 전면방향 윈드가이드의 길이보다 후면방향 윈드가이드의 길이가 절반(1/2)이며 윈드가이드의 앙각이 각각 30° 와 10° 로 다르기 때문이다. 이 차이는 수풍면적의 변화를 작게 만들어 풍속의 증가 정도를 감소시킨 것이다.
- 또한 A구간과 E구간의 크기가 각각 45° 와 65° 로 차이가 발생한 것으로 나타났으며, 이는 윈드 세퍼레이터가 측정점을 기준으로 비대칭적으로 설치되었기 때문이다.
  즉 A구간에서는 윈드 세퍼레이터를 통과한 바람에 대해서 측정한 것이고 E구간에서는 윈드 세퍼레이터를 통과하기 직전의 바람에 대하여 측정한 것이다. 따라서 윈드 세퍼레이터에 의해 풍속비가 증가하는 범위가 영향을 받음을 알 수 있다.

[표 2-5-14] E 구간의 풍속비와 난류강도의 비교

| 풍향 각도 | 측정점 | | | | | | | | 최소 | 최대 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MC1 | | MC2 | | MC3 | | MC4 | | | |
| 115 | 1.02 | 0.7% | 1.02 | 0.8% | 1.13 | 1.6% | 1.05 | 0.6% | 1.02 | 1.13 |
| 120 | 1.01 | 0.8% | 1.01 | 0.7% | 1.13 | 0.7% | 1.03 | 0.8% | 1.01 | 1.13 |
| 125 | 1.00 | 1.2% | 1.00 | 1.0% | 1.09 | 0.7% | 1.02 | 0.6% | 1.00 | 1.09 |
| 130 | 1.02 | 0.5% | 1.03 | 0.7% | 1.07 | 0.6% | 1.03 | 0.5% | 1.02 | 1.07 |
| 135 | 1.02 | 1.3% | 1.04 | 1.1% | 1.07 | 0.9% | 1.03 | 1.1% | 1.02 | 1.07 |
| 140 | 1.01 | 1.1% | 1.05 | 1.2% | 1.09 | 1.0% | 1.05 | 0.9% | 1.01 | 1.09 |
| 145 | 1.00 | 1.2% | 1.09 | 0.9% | 1.08 | 1.3% | 1.06 | 1.0% | 1.00 | 1.09 |
| 150 | 1.04 | 1.0% | 1.11 | 0.7% | 1.12 | 0.8% | 1.12 | 1.0% | 1.04 | 1.12 |
| 155 | 1.06 | 0.9% | 1.11 | 0.8% | 1.11 | 1.0% | 1.13 | 0.9% | 1.06 | 1.13 |
| 160 | 1.09 | 1.1% | 1.13 | 1.0% | 1.09 | 0.4% | 1.13 | 0.5% | 1.09 | 1.13 |
| 165 | 1.10 | 0.7% | 1.12 | 0.7% | 1.09 | 0.7% | 1.13 | 0.6% | 1.09 | 1.13 |
| 170 | 1.11 | 1.0% | 1.13 | 1.0% | 1.06 | 0.6% | 1.11 | 0.7% | 1.06 | 1.13 |
| 175 | 1.10 | 0.7% | 1.10 | 0.8% | 1.03 | 1.0% | 1.07 | 0.7% | 1.03 | 1.10 |
| 180 | 1.10 | 0.8% | 1.10 | 0.6% | 1.02 | 0.7% | 1.06 | 0.6% | 1.02 | 1.10 |

○ 이상의 풍동실험 결과에 의하면, 주풍향에 대하여 건물일체형 풍력터빈을 설치하고 제시한 윈드가이드를 설치하게 되면, [그림 2-5-45]와 같이 풍향이 -60도부터 60도까지 변하여도 풍속증가효과를 얻을 수 있으며, 이로 인해 풍력 터빈의 출력이 증가될 것으로 예상할 수 있음

○ 또한 풍향이 완전이 반대방향으로 바뀌었어도 -60도부터 +60도까지의 범위에서 풍속증가효과을 얻을 수 있음




[그림 2-5-45] 풍력시스템의 출력 향상에 영향을 주는 풍향의 범위

○ 양방향 윈드가이드에 의해 풍속이 약 30%까지 증가하여 풍력터빈의 출력이 2.1배까지 증가할 수 있는 것으로 나타났음

○ 양방향 윈드가이드에 의해 풍향이 정면기준 0° ~ 45° 의 구간에서는 풍상측과 풍하측 구분 없이 풍속이 증가하였으며, 45° ~ 60° 구간에서는 풍상측에만 풍속 증가가 있었음

○ 이는 윈드가이드 설치시 건물 대지의 주풍향에 대하여 0° ~ 60° 범위 안에 설치해야 풍속증가와 출력증가 효과를 거둘 수 있음을 의미함

○ 풍력터빈의 일렬 배치시 터빈과 터빈 사이에 유동을 구분할 수 있는 장치(윈드 세퍼레이터)에 의해서도 풍속이 증가되고 난류강도가 적어짐

○ 윈드 세퍼레이터가 없는 경우는 유동이 섞여 풍상측과 풍하측의 구분이 모호해질 수 있음

○ 풍향이 정면을 기준으로 좌우 60° 에서 105° 이 되면 윈드 세퍼레이터에서 박리현상이 발생하여 난류가 발생하고 풍속이 급격히 감소하게 됨

○ 이는 윈드가이드가 있는 풍력터빈의 출력에 있어서 풍향이 중요한 인자임을 의미하며 설계 시 풍향 분석이 수반되어야 할 것으로 사료됨

○ 윈드가이드의 설계와 제작을 위해서는 향후 윈드가이드의 크기와 각도, 윈드세퍼레이터의 크기와 형상 등 설계요소에 대한 세부적인 연구가 수치해석 시뮬레이션과 병행으로 진행되어야 할 것으로 보임

## 4. 다방향 윈드가이드가 있는 건물일체형 풍력시스템 개발

### 가. 다방향 윈드 가이드 모델링

○ 풍향이 일정하지 않은 곳에서도 적용할 수 있도록 함

○ 계단실 등이 있는 건물 코어의 상부에 설치할 수 있도록 함

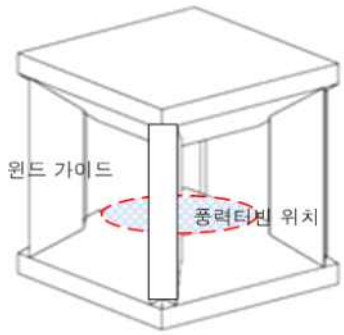
○ 풍속이 증가하도록 윈드 가이드를 설치함 (집풍효과)

○ 이 때 윈드 가이드의 형상에 따라 육각형, 사각형, 익형, 원형 등으로 구분함 [그림 2-5-46]

○ 풍력터빈은 풍향과 관계없이 저속의 풍속에도 운전될 수 있도록 수직형 풍력터빈을 대상으로 함

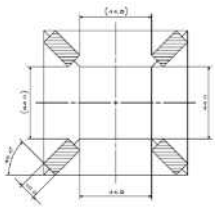
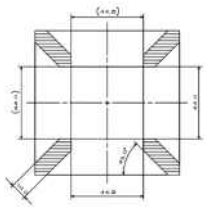
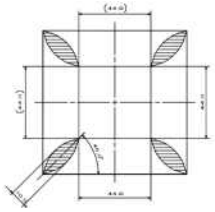
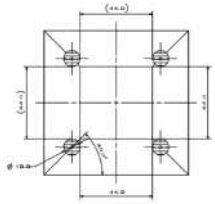
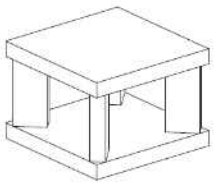
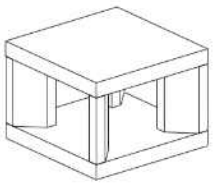
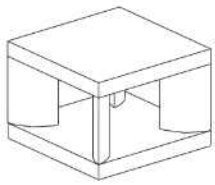
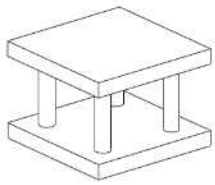
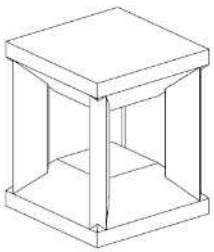
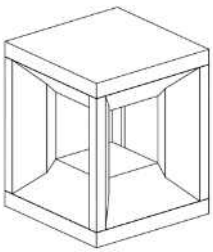
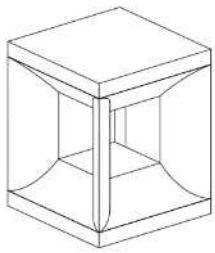
○ 다방향의 풍향 변화에 대응과 집풍효과의 극대화를 위한 모델링

○ 풍력터빈의 상하부를 지지하여 소음과 진동의 최소화를 위한 모델링




[그림 2-5-46] 다방향 윈드 가이드 개념

[표 2-5-15] 건물일체형 풍력시스템을 위한 다방향 윈드가이드

| 구분 | 사각형 윈드가이드 | 육각형 윈드가이드 | 익형 윈드가이드 | 원형 윈드가이드 | 단면적비 |
|---|---|---|---|---|---|
| 단면도 |  |  |  |  | - |
| 수평경사없음 |  |  |  |  | 1/2<br>(원형<br>1/1.25) |
| 수평경사있음 |  |  |  |  | 1/3<br>(원형<br>1/2.25) |

나. 풍력시스템의 출력성능 분석을 위한 풍동 실험

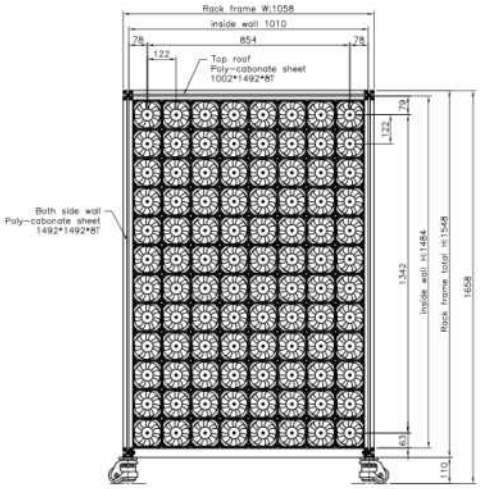
(1) 실험 방법 및 조건

- 실험에 사용한 풍동은 기존 연구[36]에서 터빈의 익형 연구 개발 및 풍력 발전기 성능실험에 사용했던 디지털 풍동으로 [그림2-5-47]와 같이 1.6m×1.55m×1.06m의 크기임
- 풍동은 크기가 가로 0.96m 높이 1.45m의 시험부을 가지고 있음
- 본 연구에서는 실험 풍속에 대한 집풍효과를 통해서 풍력터빈 출력의 향상을

36) 강덕훈 외2(2011), "디지털 풍동을 활용한 풍력발전기 날개 단면 형상 개발에 관한 연구", 유체기계저널, 제15권 제5호, pp.42-47.

증가시키는 것이 목적이므로 풍속이 변하는 경계층 구간을 벗어난 곳에 실험모형을 설치하여 측정하였음

- ○ 유동형태는 재순환을 하지 않고 밖으로 배출되는 개회로 방식의 풍동이며, 풍동의 바람을 생성하는 장치는 풍동 유동 입구면의 96개의 DC FAN으로 각 팬이 5.5 m/s의 유속을 발생시킴
- ○ 평균 풍속은 5.5[m/s]로 나타났고 난류강도는 5%로 나타났음
- ○ 또한 Re 수를 산출한 결과 약 36000로 나타났음






풍동 후면부(각 팬의 위치) 디지털 풍동

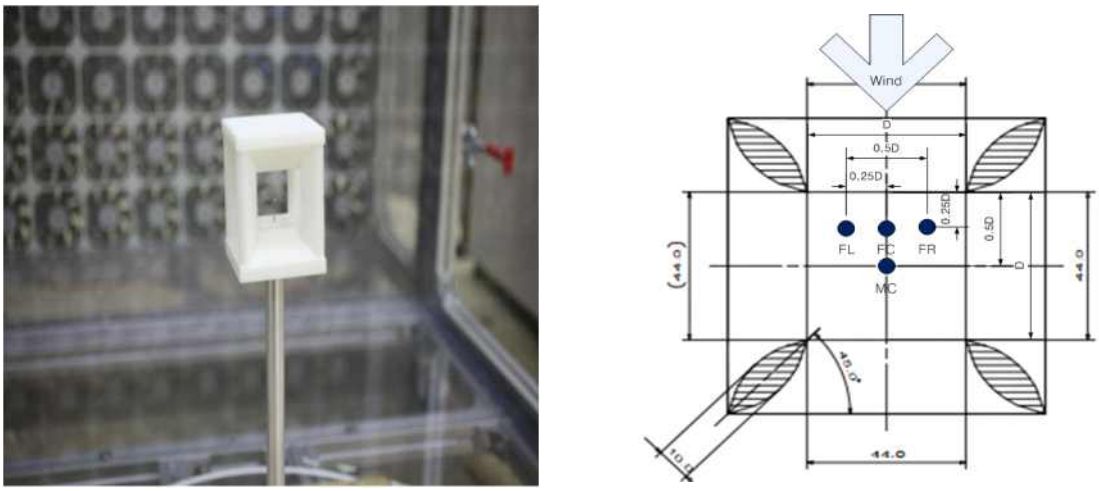
[그림 2-5-47] 디지털 풍동과 실험 모형

[표 2-5-16] 측정 조건

| 변수 | 내용 |
|---|---|
| 모형 축척 | 1/50 |
| 기본풍속 | 5.5m/s |
| 실험풍속 | 5.5m/s |
| 풍속 스케일 | 1 |
| 시간 스케일 | 1/50 (실물시간 :600초) |
| 측정시간 | 12초 |

[표 2-5-17] 측정 장치(풍속계)의 제원

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 계측기명 | | 다점풍속계 |
| 모델명 | | Model 1560 |
| 제조사 | | Kanomax, Japan |
| Probe | 모델명 | 0964-01 |
| | 측정범위 | 0.1~50m/s |
| | 측정오차 | 0.1~4.99m/s ±0.15m/s<br>5.00~9.99m/s ±0.3m/s |

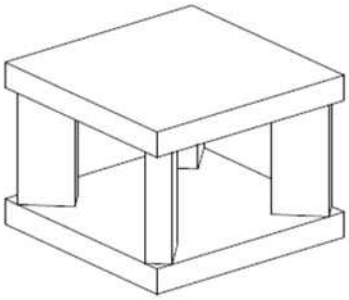



(a) 실험모델과 풍속센서 설치 (b) 측정점의 위치

[그림 2-5-48]실험모형과 측정점

○ 풍향 변화에 따른 유동 특성을 분석할 수 있도록 윈드 가이드 모델을 반시계방향으로 5도씩 회전을 하여 실험을 하였음

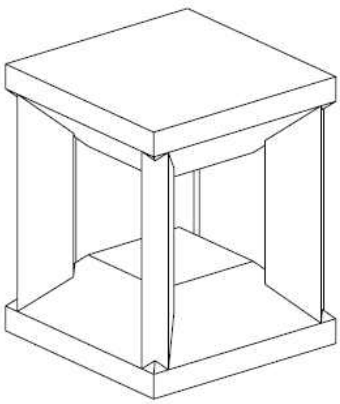
(2) 수평면 경사 유무에 따른 윈드가이드의 출력성능분석 결과



사각형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.22 | 1.06 | 1.18 | 25 | 1.09 | 0.86 | 0.84 |
| | | 1.15 | | | | 0.95 | |
| 5 | 1.18 | 1.03 | 1.01 | 30 | 1.08 | 0.86 | 0.84 |
| | | 1.11 | | | | 0.92 | |
| 10 | 1.17 | 0.97 | 0.98 | 35 | 1.07 | 0.82 | 0.70 |
| | | 1.09 | | | | 0.85 | |
| 15 | 1.13 | 0.94 | 0.96 | 40 | 1.02 | 0.76 | 0.60 |
| | | 1.06 | | | | 0.77 | |
| 20 | 1.11 | 0.89 | 0.92 | 45 | 1.01 | 0.67 | 0.50 |
| | | 0.99 | | | | 0.80 | |

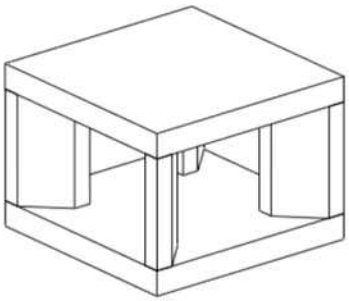
[그림 2-5-49] 수평면 경사가 없는 사각형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포



• 사각형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.20 | 1.22 | 1.14 | 25 | 1.05 | 0.97 | 0.93 |
| | | 1.24 | | | | 1.04 | |
| 5 | 1.14 | 1.15 | 1.12 | 30 | 1.02 | 0.97 | 0.93 |
| | | 1.27 | | | | 1.02 | |
| 10 | 1.13 | 1.09 | 1.08 | 35 | 1.02 | 0.95 | 0.88 |
| | | 1.20 | | | | 1.00 | |
| 15 | 1.08 | 1.08 | 1.06 | 40 | 1.01 | 0.94 | 0.81 |
| | | 1.15 | | | | 0.97 | |
| 20 | 1.07 | 1.02 | 0.99 | 45 | 1.00 | 0.90 | 0.72 |
| | | 1.11 | | | | 0.94 | |

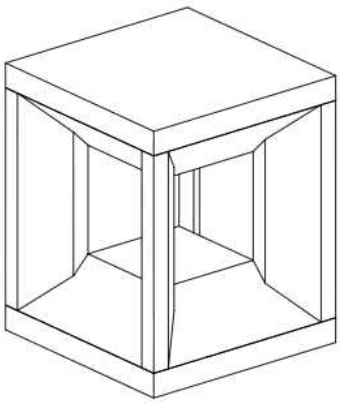
[그림 2-5-50] 수평면 경사가 있는 사각형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포



육각형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.11 | 1.06 | 1.07 | 25 | 0.89 | 0.88 | 0.78 |
| | | 1.10 | | | | 0.89 | |
| 5 | 1.10 | 1.04 | 1.06 | 30 | 0.69 | 0.88 | 0.78 |
| | | 1.08 | | | | 0.86 | |
| 10 | 1.10 | 1.00 | 1.03 | 35 | 0.54 | 0.84 | 0.68 |
| | | 1.02 | | | | 0.83 | |
| 15 | 1.09 | 0.98 | 0.98 | 40 | 0.43 | 0.81 | 0.62 |
| | | 0.96 | | | | 0.74 | |
| 20 | 0.99 | 0.92 | 0.90 | 45 | 0.42 | 0.78 | 0.52 |
| | | 0.92 | | | | 0.72 | |

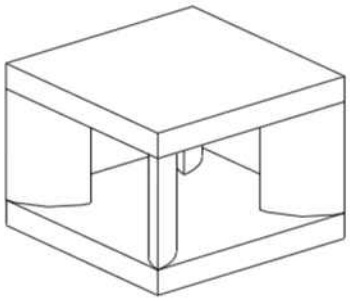
[그림 2-5-51] 수평면 경사가 없는 육각형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포



• 육각형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.17 | 1.13 | 1.14 | 25 | 1.02 | 0.91 | 0.81 |
| | | 1.17 | | | | 0.99 | |
| 5 | 1.16 | 1.10 | 1.08 | 30 | 0.98 | 0.91 | 0.81 |
| | | 1.10 | | | | 0.95 | |
| 10 | 1.11 | 1.06 | 1.07 | 35 | 0.97 | 0.92 | 0.72 |
| | | 1.10 | | | | 0.92 | |
| 15 | 1.09 | 1.03 | 1.00 | 40 | 0.95 | 0.88 | 0.62 |
| | | 1.08 | | | | 0.88 | |
| 20 | 1.04 | 0.95 | 0.96 | 45 | 0.94 | 0.87 | 0.54 |
| | | 1.03 | | | | 0.85 | |

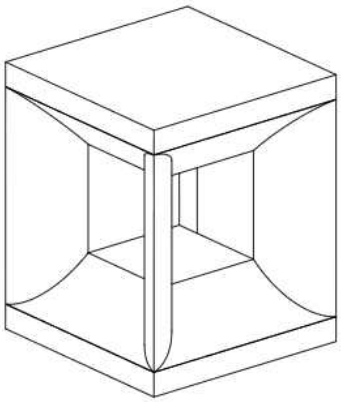
[그림 2-5-52] 수평면 경사가 있는 육각형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포



익 형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.06 | 1.02<br>1.10 | 1.03 | 250 | 0.96 | 0.82<br>0.89 | 0.78 |
| 5 | 1.07 | 1.02<br>1.08 | 1.02 | 300 | 0.92 | 0.82<br>0.87 | 0.78 |
| 10 | 1.04 | 1.02<br>1.05 | 0.98 | 350 | 0.91 | 0.81<br>0.84 | 0.77 |
| 15 | 1.03 | 0.96<br>1.01 | 0.94 | 400 | 0.89 | 0.80<br>0.80 | 0.71 |
| 20 | 0.99 | 0.89<br>0.93 | 0.87 | 450 | 0.88 | 0.78<br>0.82 | 0.60 |

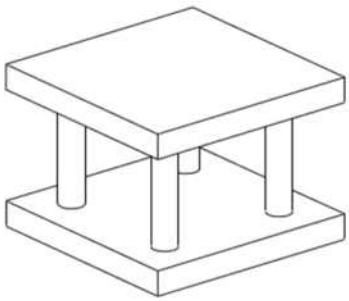
[그림 2-5-53] 수평면 경사가 없는 익형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포



• 익형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.15 | 1.15<br>1.14 | 1.16 | 25 | 1.01 | 0.95<br>0.95 | 0.98 |
| 5 | 1.12 | 1.12<br>1.12 | 1.12 | 30 | 0.98 | 0.95<br>0.93 | 0.98 |
| 10 | 1.10 | 1.10<br>1.11 | 1.09 | 35 | 0.96 | 0.88<br>0.91 | 0.94 |
| 15 | 1.09 | 1.06<br>1.05 | 1.05 | 40 | 0.95 | 0.86<br>0.92 | 0.94 |
| 20 | 1.03 | 1.01<br>1.00 | 1.00 | 45 | 0.96 | 0.83<br>0.89 | 0.95 |

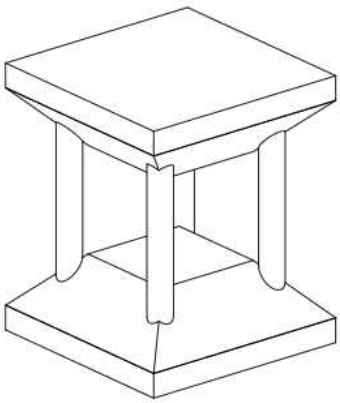
[그림 2-5-54] 수평면 경사가 있는 익형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포



원형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.05 | 0.99 | 1.01 | 25 | 1.03 | 0.97 | 0.92 |
| | | 1.03 | | | | 0.97 | |
| 5 | 1.03 | 0.97 | 0.99 | 30 | 1.03 | 0.97 | 0.92 |
| | | 1.00 | | | | 0.95 | |
| 10 | 1.03 | 0.98 | 1.00 | 35 | 1.04 | 0.95 | 0.85 |
| | | 0.99 | | | | 0.92 | |
| 15 | 1.03 | 0.98 | 1.02 | 40 | 1.03 | 0.95 | 0.80 |
| | | 0.99 | | | | 0.87 | |
| 20 | 1.04 | 0.97 | 1.00 | 45 | 1.03 | 0.96 | 0.82 |
| | | 0.98 | | | | 0.86 | |

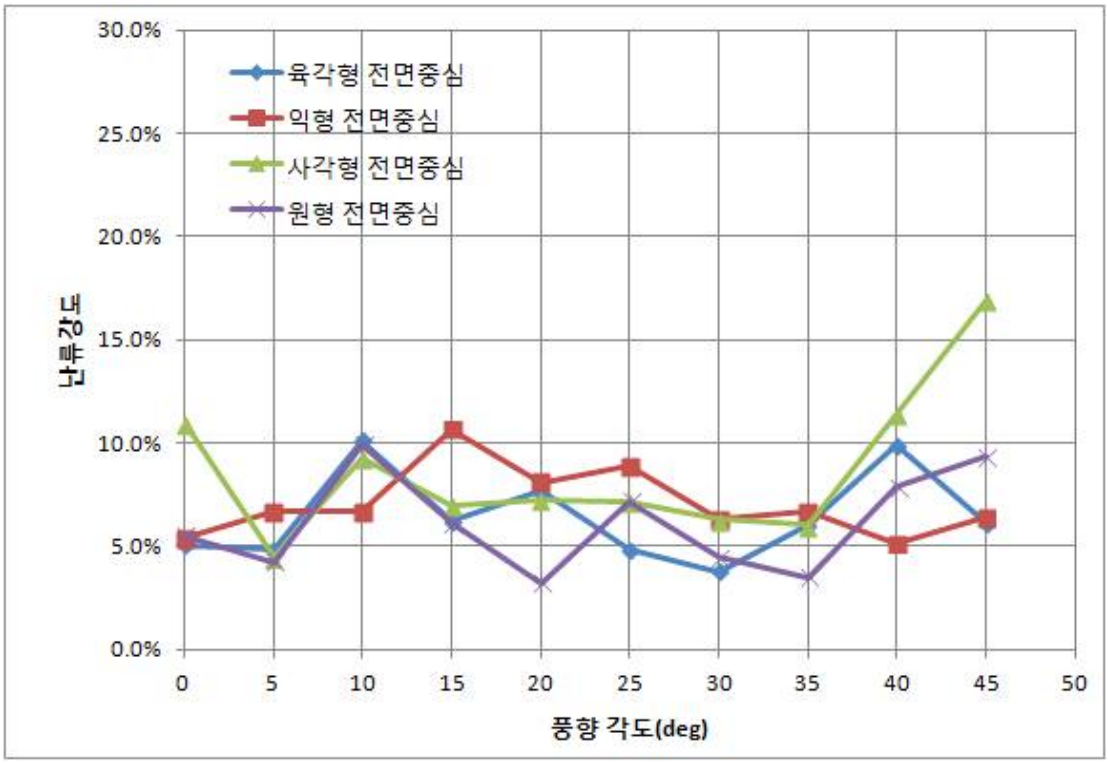
[그림 2-5-55] 수평면 경사가 없는 원형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포



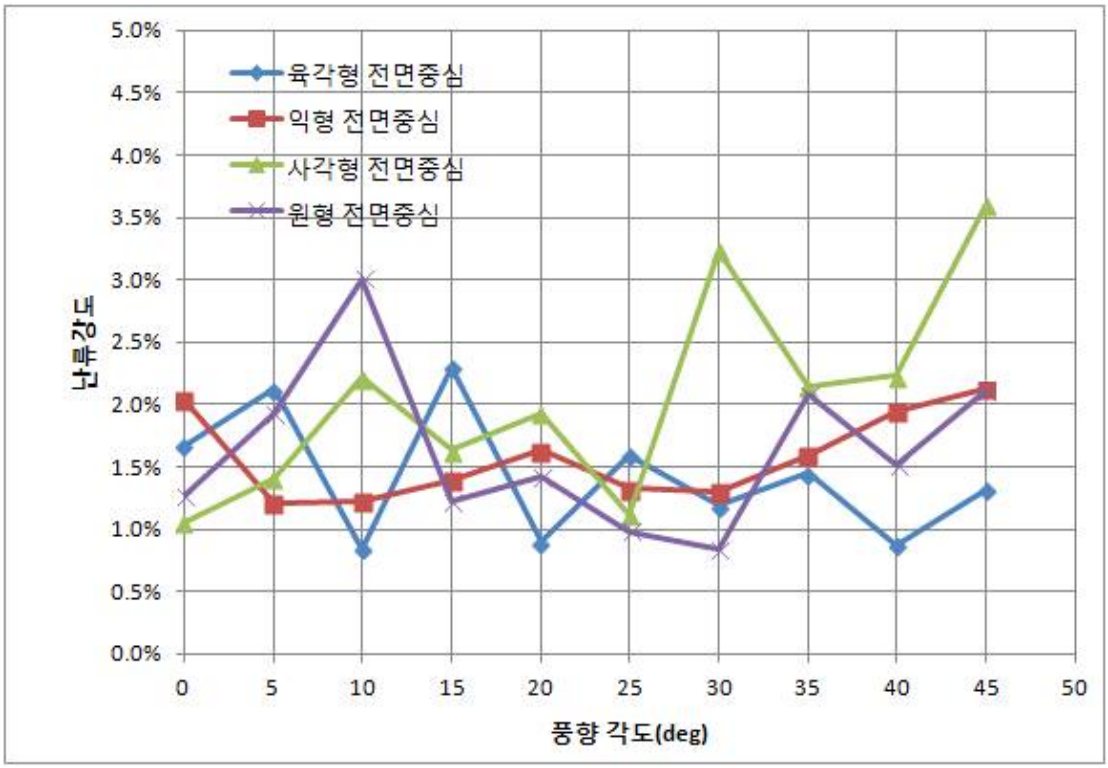
• 원형

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.10 | 1.10 | 1.12 | 25 | 1.08 | 0.99 | 1.00 |
| | | 1.16 | | | | 1.07 | |
| 5 | 1.11 | 1.08 | 1.08 | 30 | 1.05 | 0.99 | 1.00 |
| | | 1.12 | | | | 1.02 | |
| 10 | 1.10 | 1.10 | 1.05 | 35 | 1.02 | 0.98 | 0.78 |
| | | 1.10 | | | | 0.98 | |
| 15 | 1.10 | 1.04 | 1.03 | 40 | 1.04 | 0.99 | 0.71 |
| | | 1.09 | | | | 0.92 | |
| 20 | 1.10 | 1.03 | 1.01 | 45 | 0.98 | 0.94 | 0.64 |
| | | 1.09 | | | | 0.90 | |

[그림 2-5-56] 수평면 경사가 있는 원형 윈드가이드에 의한 풍속비 분포




[그림 2-5-57] 수평면 경사가 없는 윈드가이드에 의한 난류강도 비교




[그림 2-5-58] 수평면 경사가 있는 윈드가이드에 의한 난류강도 비교

○ 풍속비가 1이상인 풍향각도의 범위는 사각형, 익형과 원형, 육각형 순서로 넓음

○ 이는 이 순서대로 풍속증가효과가 얻을 수 있는 풍향 범위가 넓다는 것을 의미함

○ 풍향이 주풍향을 기준으로 -15 ° 부터 15° 까지의 범위에서는 단면형상에 관계없이 풍속증가효과가 있었으며, 이로 인해 최대 1.18배의 풍속 증가와 1.65배의 출력 증가가 예상됨

○ 최대 풍속비는 사각형(1.18), 익형(1.15), 육각형(1.15), 원형(1.11) 순임

○ 풍향이 주풍향을 기준으로 좌우로 20° 이상 벗어나면, 윈드가이드에 의한 집풍효과가 없어지며, 난류강도가 커짐

○ 윈드가이드에 의한 바람의 통과단면적 변화가 풍속증가효과를 가져오나, 이론적 크기보다는 작음

○ 수평면 경사가 있는 윈드가이드가 경사가 없는 윈드가이드보다 난류강도가 작게 나타나, 풍력 활용차원에서 더 유리할 것으로 보임

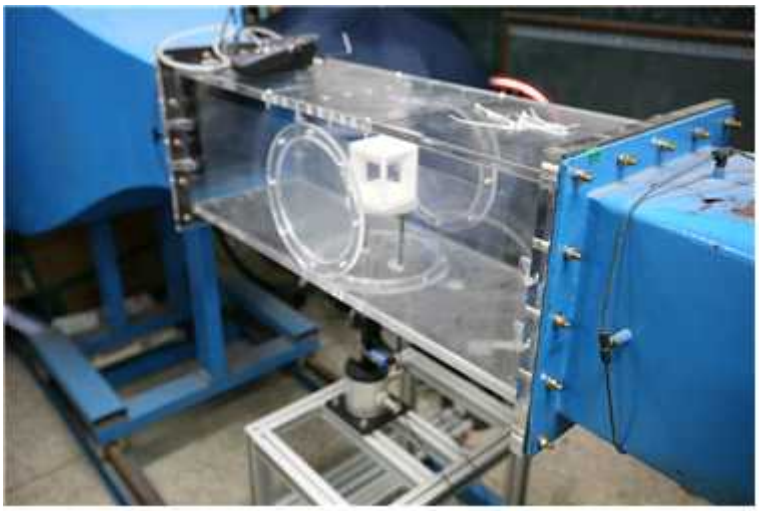
다. 풍력시스템(다방향 윈드가이드)의 항력계수 측정 및 분석

(1) 항력계수 측정을 위한 실험 방법

○ 풍동은 [그림 2-5-59]과 같이 흡입식(suction-type)에 측정부가 아크릴로 격리된 NPL (National Physics Laboratory)방식이며, 최대풍속이 11 m/s, 난류강도는 5% 이내임

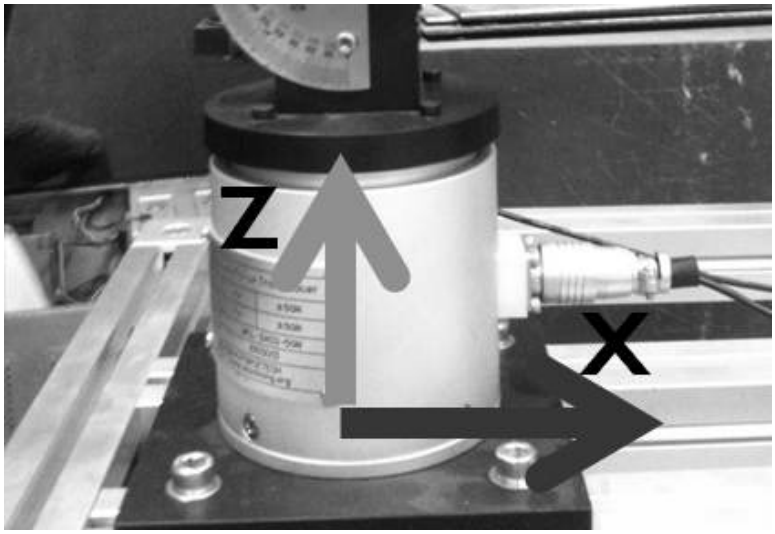
○ 송풍기 팬은 최대 회전수가 50 rev/s이며, 최대 출력 10 kW임

○ 시험부의 크기는 300 mm x 300 mm (가로x세로, 길이: 1200 mm)



[그림 2-5-59] 아음속 풍동의 시험부

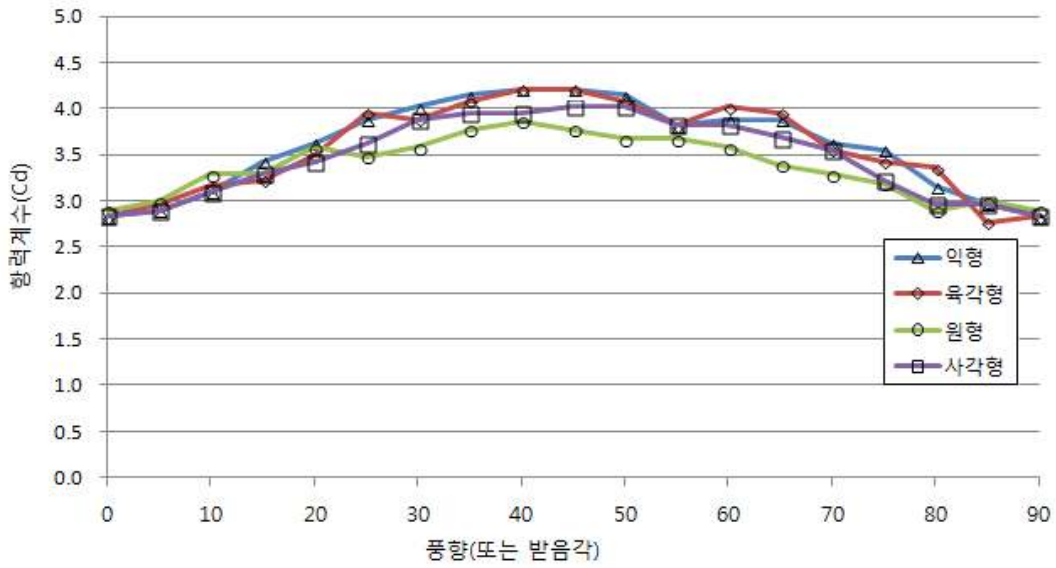
○ 항력 측정을 위해 [그림 2-5-60] 와 같이 2축 로드셀을 이용하였으며, 제원은 [표 2-5-18]과 같음




[그림 2-5-60] 2축 로드셀

[표 2-5-18] 측정 장치(로드셀)의 제원

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 계측기명 | | 2축 로드셀 |
| 모델명 | | MCL-2A02-50N |
| Probe | 측정범위 | 최대: +- 50 N (5 kgf, Lift, Drag; 2채널) |
| | 측정오차 | ±0.005 N |
| | 반응시간 | 0.5s 이내 |



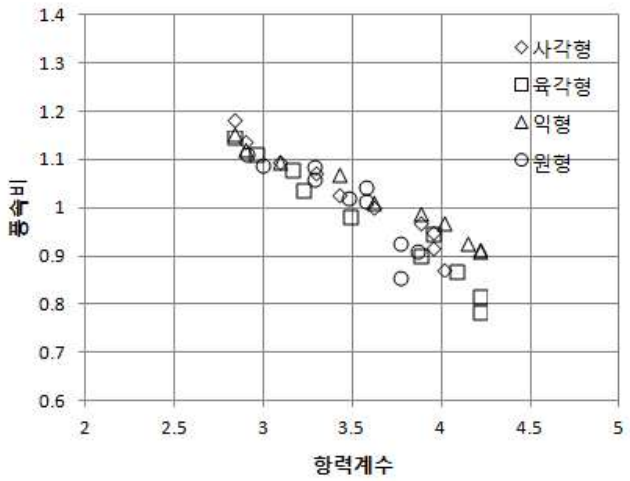

[그림 2-5-61] 풍력시스템의 항력계수 비교

○ 단면적의 변화가 풍속의 변화로 직결되지 않음

○ 단면적의 변화가 클수록 항력이 커져서 풍속 변화에 저항하는 것으로 나타남

○ 항력계수와 풍속비의 결정계수(coefficient of determination)$r^2$는 0.9566 로서 매우 높은 음의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났음

○ 이는 단면적의 변화를 크게 할 경우 항력계수가 커지면서 거기에 비례해서 풍속비가 증가하지 않음을 의미함




[그림 2-5-62] 항력계수와 풍속비의 상관관계

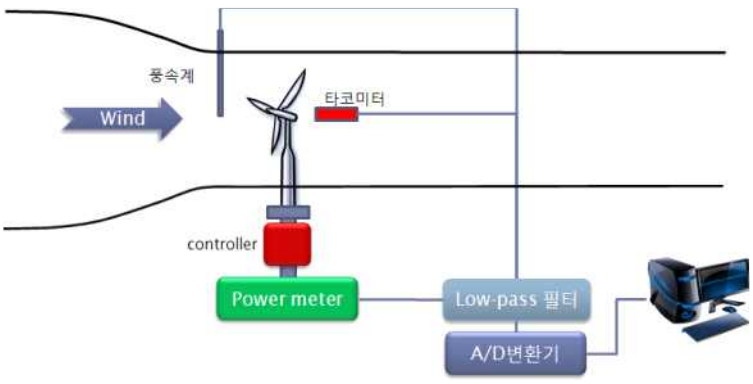
라. 풍력시스템의 출력성능 측정 모델 개발

(1) 풍력시스템의 출력성능 측정 모델 개발의 필요성

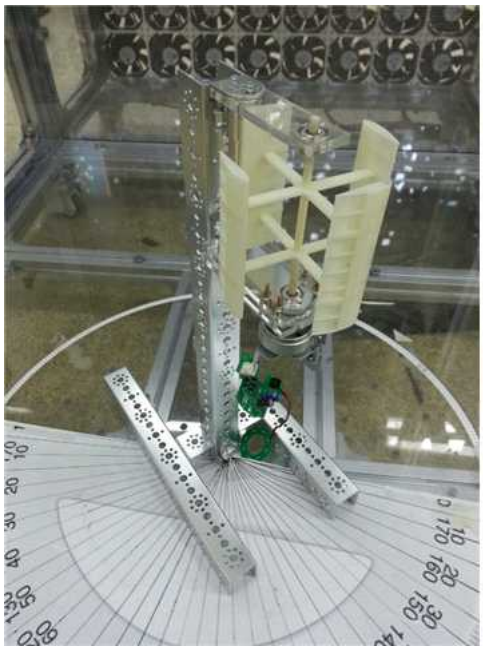
○ 풍속을 비롯한 유동특성 분석을 통한 풍력시스템의 간접적인 출력성능 분석은 실제 운전 상황을 고려하기가 어려움

○ 유동특성보다 출력성능에 대한 평가가 우선이 될 경우, 직접적으로 출력을 측정하여 비교하는 것이 정확도와 정밀도를 높일 수 있음

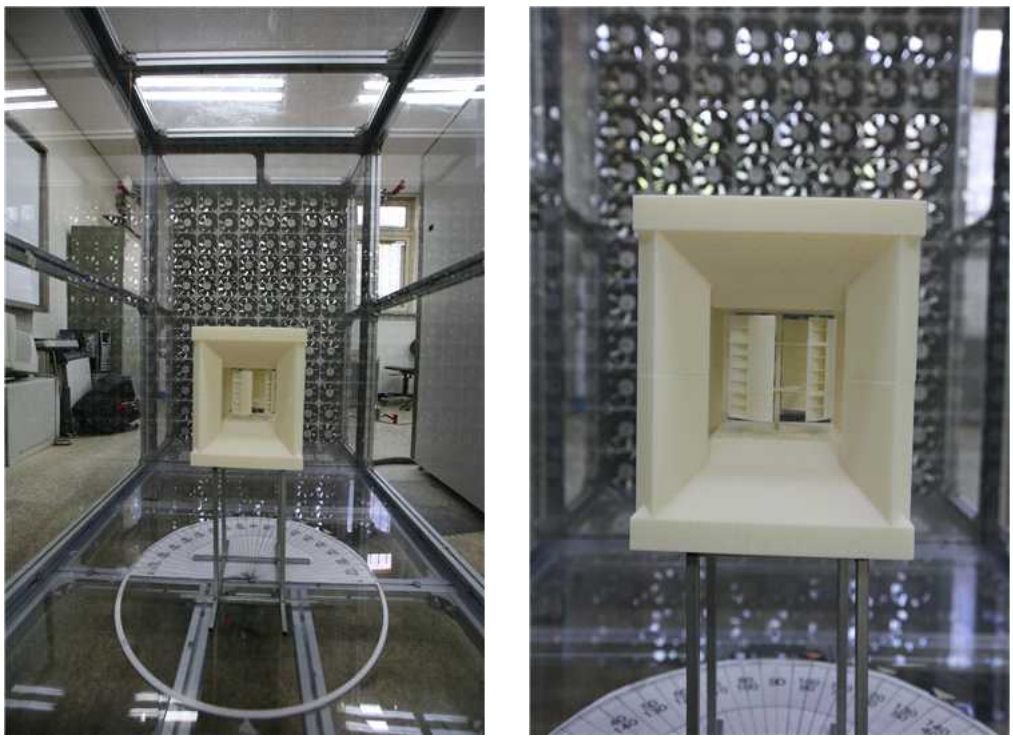
(2) 풍력시스템의 출력성능 측정 모델




[그림 2-5-63] 출력성능 측정모델 개념도



[그림 2-5-64] 윈드가이드가 없는 풍력시스템의 출력성능 측정



(a) 측정 전경 (b) 측정 모형

[그림 2-5-65] 윈드가이드가 있는 풍력시스템의 출력성능 측정

마. 다방향 윈드가이드의 실물실험(Mockup Test/Test bed)

(1) 풍력 터빈의 선정

○ 실물실험을 위하여 수직축형 풍력 터빈을 아래 그림과 같이 선정함

● General Specifications

| | | | |
|---|---|---|---|
| Rated Power | 400W | Rated Wind Speed | 15 m/s |
| Rated Speed | 835 rpm | Cut in Wind Speed | <3 m/s |
| Cut out Wind Speed | 15.5 m/s | Survival Wind Speed | 60 m/s |

● Dimensions/Weight

| | |
|---|---|
| Rotor Diameter | 1.06m |
| Rotor Height | 1m |
| Pole Height(Option) | 2 meter height Minimum recommended |
| Turbine Weight | 30kg |

● Rotor Specifications

| | |
|---|---|
| External Darrieus | 3 Blades |
| Internal Savonius | 2 layers |
| Blades Material | Anodized Aluminum |
| Axis Material | Axis Material Galvanized Steel SS400 |

● Generator Specifications

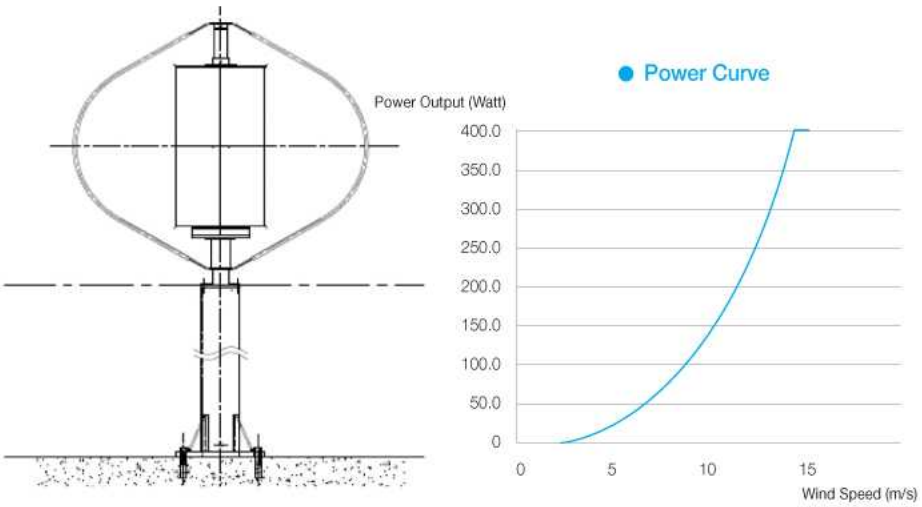
| | |
|---|---|
| Generator Type | AC,3phase, Coreless, Synchronism PMG |
| Rated Output | 400W |

● Braking System

| | |
|---|---|
| Automatic | Over speed short circuit braking system |

● Operation Conditions

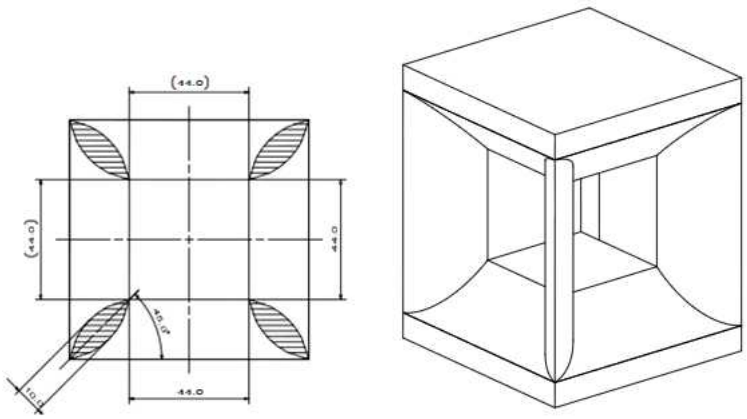
| | |
|---|---|
| Ambient Temperature | -10~40℃ |
| Ambient Humidity | 95% max. |




[그림 2-5-66] 실물 풍력 발전기의 사양

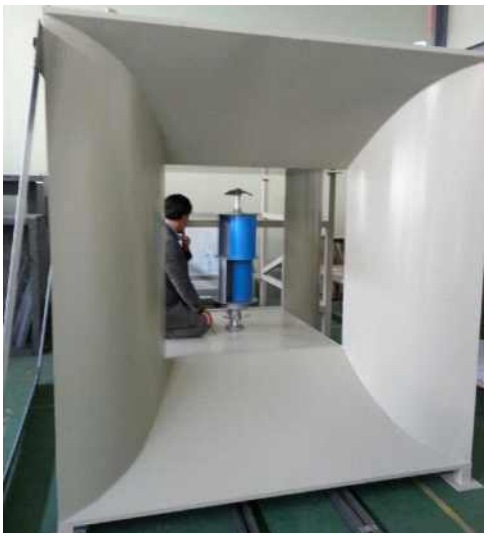
(2) 다방향 윈드가이드 제작

○ 풍동실험을 통하여 풍속증가가 컸던 익형의 윈드가이드에 대해서 실물 크기로 제작함




[그림 2-5-67] 실물 실험을 위한 다방향 윈드가이드





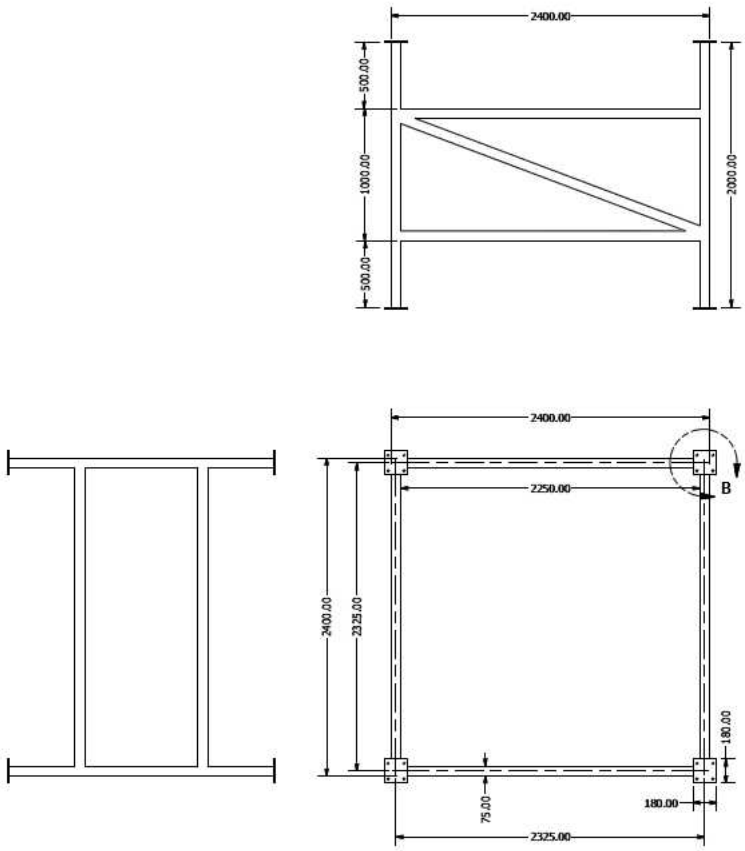
[그림 2-5-68] 윈드가이드 제작

(3) 타워의 설계 및 제작

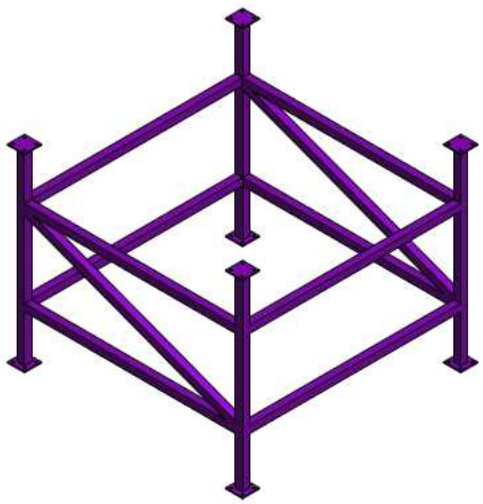
○ 윈드가이드는 개념상 건물의 최상부 또는 지붕에 설치하는 것이나, 실물 실험에서는 부유식 함체(pontoon)만 있기 때문에 윈드가이들을 높게 설치할 수 있도록 타워를 설계하여 제작함

○ 바람과 같은 수평하중에 대해서도 견딜 수 있도록 가새를 추가하여 안정성을 확보함

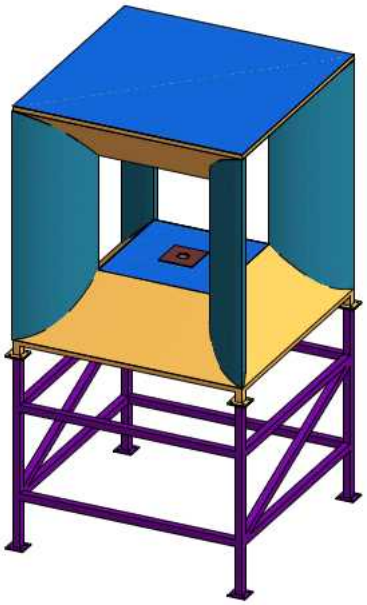
○ 또한 한 쪽면만 가새를 두어 구조 실험에도 사용할 수 있도록 함



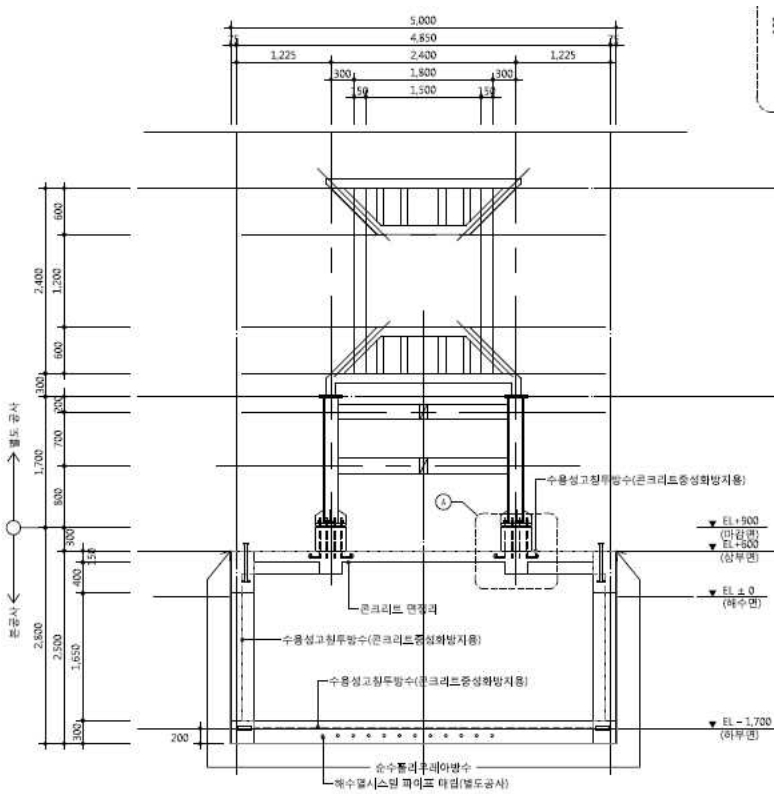

[그림 2-5-69] 풍력시스템을 위한 타워의 평면도와 입면도



[그림 2-5-70] 풍력시스템을 위한 타워의 등각투시도



[그림 2-5-71] 윈드가이드와 타워의 조립도




[그림 2-5-72] 다방향 윈드가이드, 타워, 그리고 함체의 설치도

○ 풍력시스템의 출력성능 측정 모델에 따라 풍향풍속계, 전력량계 등을 실험체 설치하여 실험할 예정임

## 5. 태양광-풍력의 하이브리드 시스템을 위한 일사량 예측 모델 개발

### 가. 태양 위치와 벽면 표시

○ 자전이나 공전이나 태양의 움직임은 지평을 기준으로 반경 1의 구면 위를 움직이는 것으로 환산할 수 있음

○ 이것은 태양위치를 단위벡터(unit vector)로 표현할 수 있다는 것을 의미함

○ [그림 2-5-73]과 같이, 반지름이 1인 구면 위의 태양위치를, 서(西)를 x축의 양의 방향으로, 남(南)을 y축의 양의 방향으로, 천정(天頂, zenith)을 z축의 양의 방향으로 하는 직교좌표계로 표현하는 것으로 함

○ 시간각(時間角, hour angle)은 기존과 같이 남중(南中)을 기준으로 오전(동측)을 음(−)으로, 오후(서측)를 양(+)으로 함

○ 태양의 위치벡터(position vector) A는 진태양시(眞太陽時)로 표현해서 식(1)과 같이 됨(山崎 均 1980, Yamazaki 2002)

$$A = (a_1, a_2, a_3) \tag{1}$$

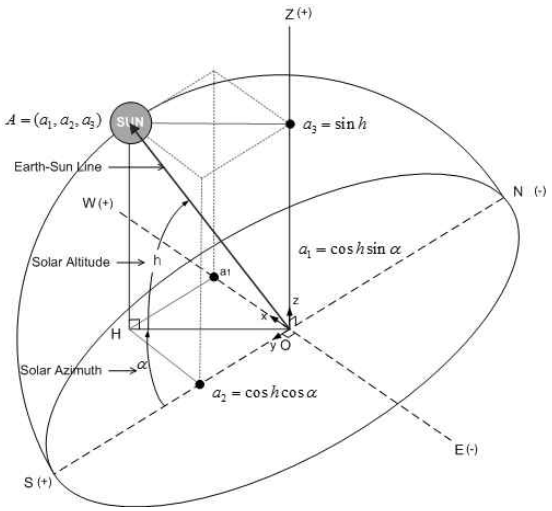
$$a_1 = \cos\delta \cdot \sin t$$

$$a_2 = \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos t - \sin\delta \cdot \cos\phi$$

$$a_3 = \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos t + \sin\delta \cdot \sin\phi$$

○ 여기서 $\delta$는 시적위, $\phi$는 위도, $t$는 진태양시의 시간각으로, 정오는 0° , 오후 1시는 +15° 임

○ 식(1)은 태양의 방위각과 고도를 별도로 계산하지 않고, 시적위, 위도, 진태양시로부터 태양의 위치벡터(또는 방향벡터)를 계산할 수 있음을 의미함




[그림 2-5-73] 반경1인의 구면 위에 표시한 태양위치

○ [그림 2-5-73]은 지평좌표계 상의 방위각$\alpha$와 고도$h$와 벡터표시식인 식(1)

과의 관계는, 식(2)과 같음

$$a_1 = \sin\alpha \cdot \cos h \qquad (2)$$

$$a_2 = \cos\alpha \cdot \cos h$$

$$a_3 = \sin h$$

나. 벽면의 일사량 계산

○ 경사진 벽면의 방위각 $\alpha_b$를, 남쪽을 기준으로 시계방향을 양(+)으로 하고 경사면의 부각[37] $i$을 양(+)으로 하면, 그 경사면의 법선벡터(normal vector) $B$는 식 (3)과 같이 표현됨

$$B = (b_1, b_2, b_3) \qquad (3)$$

$$b_1 = \sin i \cdot \sin\alpha_b$$

$$b_2 = \sin i \cdot \cos\alpha_b$$

$$b_3 = \cos i$$

○ 태양으로부터의 법선면 직달일사량이 1W/㎡인 경우, 주어진 경사면 단위면적당(1㎡)의 일사량 $j_{\alpha,i}$은, 식(4)와 같이 벡터 해석의 내적으로 간단히 계산할 수 있음

$$j_{\alpha,i} = A \cdot B \qquad (4)$$
$$= a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$$

○ 단, 태양으로부터의 일사량이므로 그 값이 양이어야 하며, 태양 위치벡터의 $z$좌표도 양의 값을 가져야 함

○ 그래서 $j_{\alpha,i} \geq 0$의 범위에서 그리고 $a_3 \geq 0$의 범위에서 식 (4)는 의미가 있음

○ 식(4)에 식(1)과 식(3)을 대입정리하면, 임의의 경사면의 일사량은 식(5)와 같이 계산됨(山崎 均 1980, Yamazaki 2002)

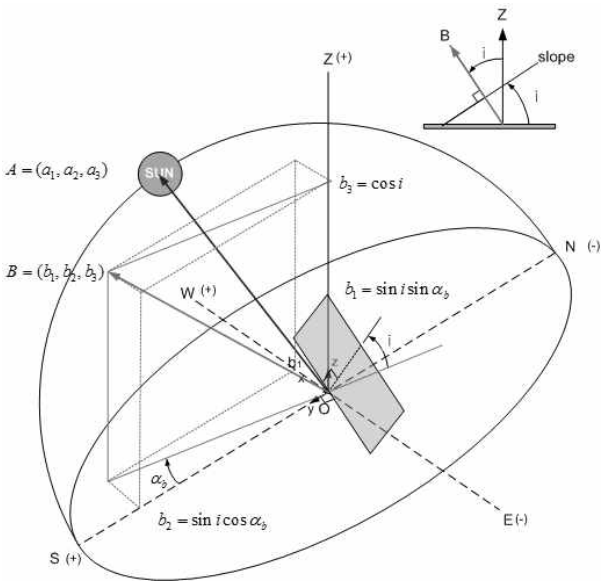
$$j_{\alpha,i} = c_1 \cos t + c_2 \sin t + c_3 \qquad (5)$$

$$c_1 = (\sin\phi \cdot \sin i \cdot \cos\alpha_b + \cos\phi \cdot \cos i)\cos\delta$$

$$c_2 = \sin i \cdot \sin\alpha_b \cdot \cos\delta$$

$$c_3 = (\sin\phi \cdot \cos i - \cos\phi \cdot \sin i \cdot \cos\alpha_b)\sin\delta$$

37) 부각(俯角) : 내려본 각. 바닥면과 경사면 사이의 각(tilt angle)

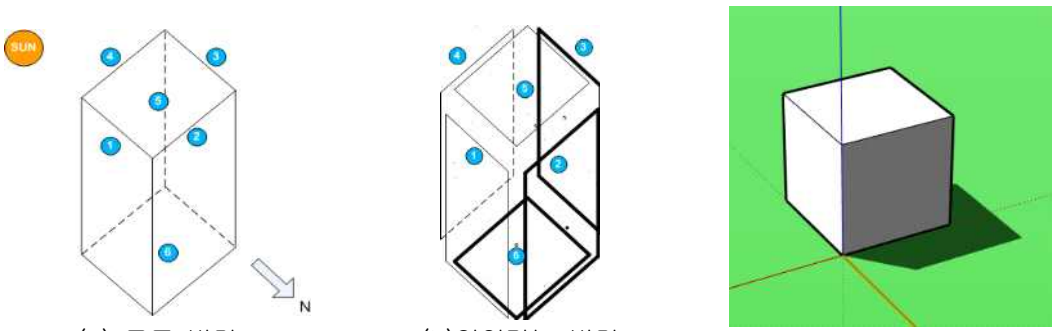



[그림 2-5-74]경사면의 법선벡터

다. 주변 장애물에 의한 일영 계산

(1) 일영을 만드는 장애물

- 그림자(일영)는 광원으로부터 발산되는 광선을 막는 불투명 물체에 의해서 만들어짐
- 대부분의 건물은 불투명하여 태양에 의해서 그림3과 같이 일영을 만들게 됨
- 건물의 모든 벽면을 [그림 2-5-75](a)와 같이 평면으로 나누어 생각할 수 있으며, 각 평면은 법선벡터을 포함하여 평면의 방정식으로 표현할 수 있음
- 벽면의 법선벡터가 태양의 반대방향이면, 이 벽면에 의해서 일영이 발생하게 됨




(a) 모든 벽면 (b)일영가능 벽면 (c) 건물의 일영

[그림 2-5-75] 벡터연산으로 일영가능여부 판단

- 즉, 태양의 위치벡터와 벽면의 법선벡터의 내적 연산 결과가 0보다 작으면, 해당 벽면은 [그림 2-5-75](b)의 ②, ③, ⑥번 벽면과 같이 일영가능 벽면이 되어 [그림 2-5-75](c)와 같은 일영을 만듦. 이 때 일영은 ②, ③, ⑥번 벽면 일영의 합집합임

(2) 임의의 벽면의 일영

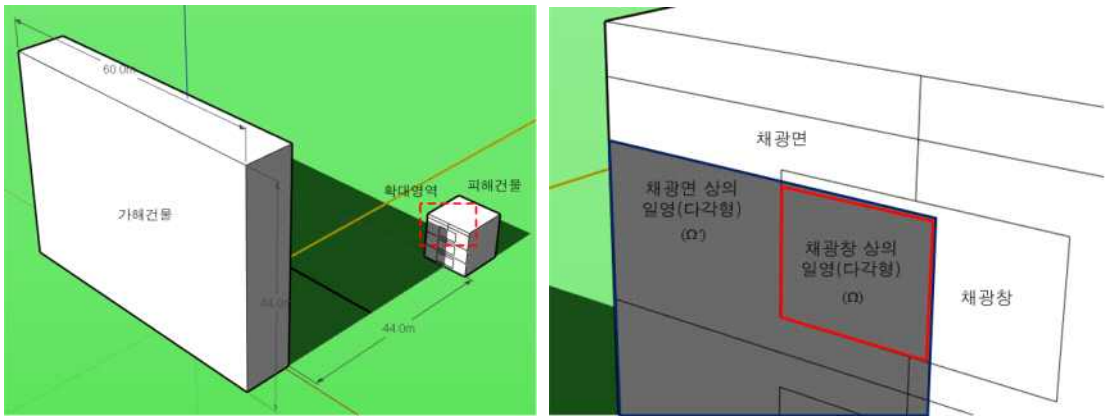
○ 일영가능 벽면이 모두 피해건물에 일영을 투영시키지는 않음

○ [그림 2-5-76](a)와 같이 가해건물의 일영 범위 안에 피해건물이 있을 때, 피해건물의 벽면(이하 채광면. 채광창의 연장면)에 일영이 투영됨

○ 또한 [그림 2-5-76](b)와 같이 채광면 상에 있는 모든 일영이 채광창을 가리는 것도 아님

○ 건물의 여러 벽면들을 빛의 방향을 따라서 건물 투영 평면(채광면)으로 투영시킴

○ 즉, [그림 2-5-77]와 같이 벽면의 각 정점들이 빛의 방향(태양의 방향벡터)으로 채광면에 투영된 새로운 정점으로 변환됨




(a) 피해건물 상의 일영 (b) 채광창 상의 일영(확대영역)

[그림 2-5-76] 건물에 의한 일영 면적 계산

○ [그림 2-5-77]과 같이 광선L이 벡터 A$(a_1, a_2, a_3)$ 방향으로 가해건물 벽면의 한 점P$(p_1, p_2, p_3)$를 통과하여, 벡터N$(n_1, n_2, n_3)$에 수직이며 점R$(r_1, r_2, r_3)$을 지나는 평면(여기서는 채광면이 됨)과 점V$(v_1, v_2, v_3)$와 만나면, 광선L은 식(6)의 매개변수방정식을 만족시키게 됨

$$L = (l_1, l_2, l_3) \qquad (6)$$

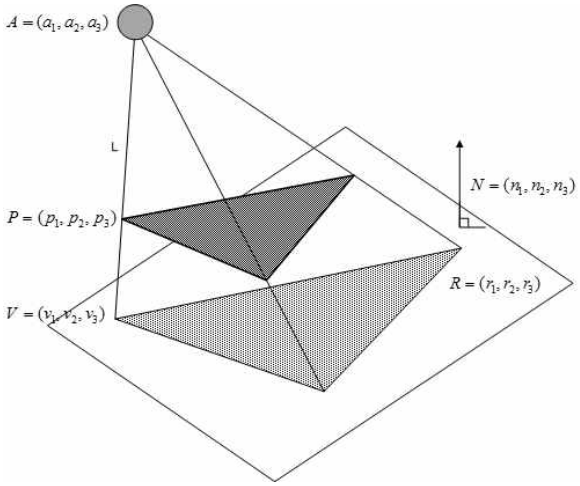
$$l_1 = p_1 + s \cdot a_1$$

$$l_2 = p_2 + s \cdot a_2$$

$$l_3 = p_3 + s \cdot a_3$$

○ 여기서 s는 직선방정식을 위한 매개변수로서 모든 실수로 광원이 태양과 같이 무한 광원이라면 매개변수 s는 점V에서 식(7)과 같이 구할 수 있으며, 식(7)을 식(6)에 대입하여 점V를 구할 수 있음(Blinn 1988)

$$s = \frac{n_1(r_1 - p_1) + n_2(r_2 - p_2) + n_3(r_3 - p_3)}{n_1 \cdot a_1 + n_2 \cdot a_2 + n_3 \cdot a_3} \qquad (7)$$



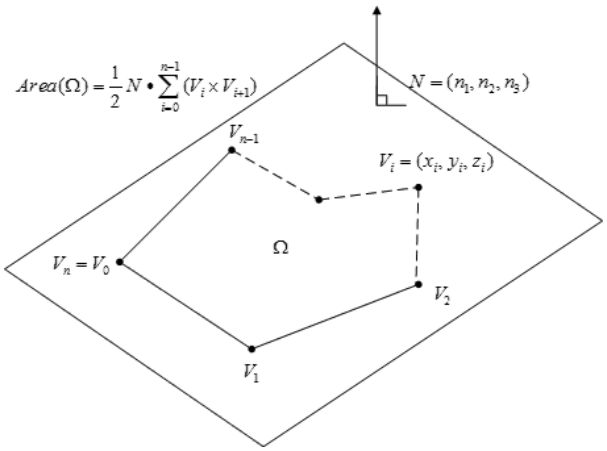

[그림 2-5-77]광원에 의해 임의의 사면에 투영된 그림자

○ 같은 방법으로 일영가능 벽면의 모든 꼭지점의 투영점을 구하여 연결하게 되면, 그림 2-5-76]의(b) 채광면 상의 일영다각형(shadow polygon) $\Omega'$이 만들어지게 됨

○ 이 다각형과 채광창 다각형의 교집합을 구하면 최종적인 채광창 상의 일영다각형$\Omega$를 구할 수 있게 됨

○ 이 다각형$\Omega$의 면적은 식(8)과 그림6과 같이 구할 수 있음(Goldman 1991)

$$Area(\Omega) = \frac{1}{2} N \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (V_i \times V_{i+1}) \qquad (8)$$




[그림 2-5-78] 일영 다각형의 면적 계산

(3) 일영 다각형 연산

○ 장애물의 외형이 단순하다고 하더라도 여러 개의 벽면으로 구성되어 있으며, 장애물의 개수가 많으면, 이에 따른 일영의 형상이 복잡하게 됨

○ 이를 해결하기 위해서는 일영 다각형 간의 연산이 필요함

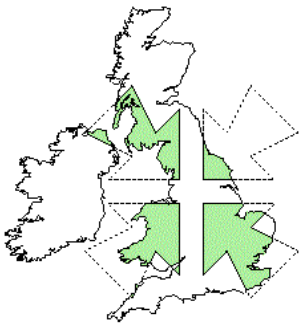
○ 채광면 상의 일영다각형은 가해건물 벽면 일영의 합집합으로 계산되며, 채광창 상의 일영다각형은 채광면 상의 일영다각형과 채광창 다각형의 교집합으로 계산될 수 있음

○ [그림 2-5-79] 즉 임의의 면에 투영된 건물의 일영을 폐곡 다각형으로 환산하여, 이 다각형들 간의 합집합으로 일영다각형을 구하며, 이 일영다각형과 채광창과의 교집합으로 최종 일영면적을 구함

○ 따라서 다각형의 집합 연산을 수행할 수 있는 전산 도구가 필요함

○ 본 연구에서는 다각형간의 집합 연산을 위해서 이미 검증되어 전세계적으로 이용되고 있는 Murta의 GPC(general polygon clipper)를 이용하였음(Murta 1998)

○ [그림 2-5-79]는 GPC를 이용하여 영국 지도와 화살표 모양의 다각형에 대한 교집합 연산을 한 결과를 보여 주는 것임



[그림 2-5-79] GPC의 교집합 연산

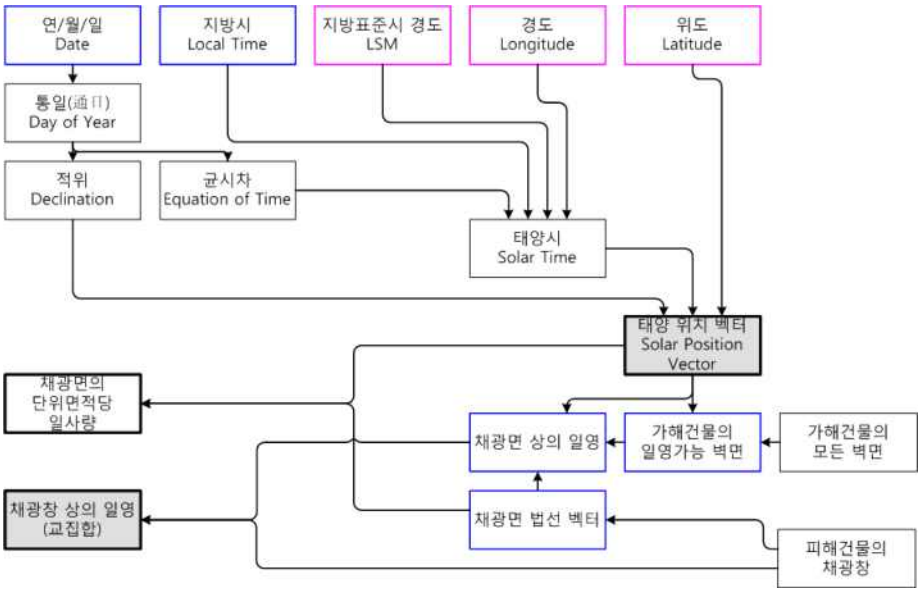
라. 일영 분석 알고리즘의 개발과 적용

(1) 일영분석 알고리즘 개발

○ 앞서 고찰한 태양위치 계산식, 일사량 계산식, 일출/일몰 시각 계산식 등은 Yamazaki의 알고리즘(山崎 均 1980)을 이용하였으며, 일영가능 벽면만 추출하는 것은 벡터의 내적 계산으로 수행했으며, 일영 투영은 Blinn의 projection shadows라고 불리는 알고리즘(Blinn 1988)을 이용하였고, 일영 다각형의 연산은 Murta의 GPC 알고리즘(Murta 1998)을 이용하여 최종적인 일영분석 알고리즘을 개발하였음

○ 이상의 내용을 정리하면 [그림 2-5-80]과 같으며, [그림 2-5-80]의 순서대

로 계산을 수행해야 함




[그림 2-5-80] 일영분석 알고리즘

○ 이 알고리즘을 이용하여 [표 2-5-19]와 같이 일영 연산을 할 수 있게 분석 모델/도구를 개발하였음

(2) 분석 모델/도구의 검증

○ 피해건물의 채광창에 생기는 일영면적의 계산 순서는, [그림 2-5-80]과 같이 태양 위치의 계산으로부터 방해건물의 일영을 채광면에 투영하여 채광면 상의 일영을 계산하고, 최종적으로 채광창과의 교집합 연산을 통해서 일영면적을 계산

[표 2-5-19] 분석도구의 개발 내용

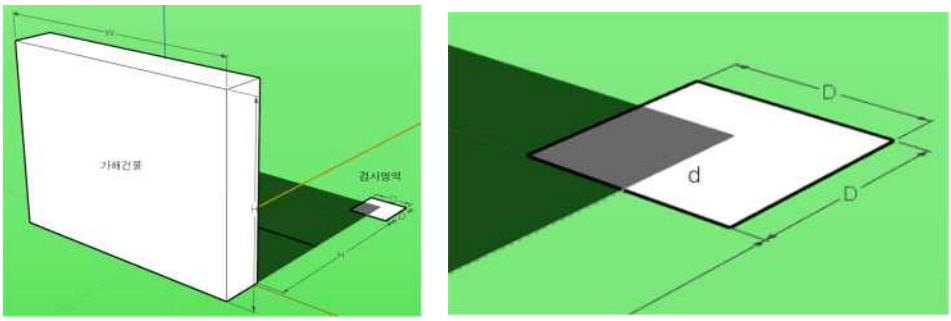
| 항목 | 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 개발 언어 | Visual Basic 2005 | Framework : .NET 2.0 |
| 파일 입력 | 건축정보 : DXF | 호환성이 뛰어난 도면 정보 파일형식 |
| 파일 출력 | 분석도면 : DXF | |
| | 분석이미지 : Tiff | 압축손실 없는 이미지 형식 |
| | 분석결과 : CSV | 표계산 프로그램에서 손쉽게 읽히는 파일형식 |

○ [그림 2-5-81]의 (a)와 같이 직육면체의 가해건물과 정북방향으로 가해건물의 높이($H$)만큼 떨어진 곳에 검사영역(채광창에 해당. 한 변이 $D$인 정사각형)을 둠

○ 여기에 가해건물의 모서리 부분의 일영이 검사영역의 중앙에 생기도록 태양시 12시를 기준으로 계산하게 되면, 검사영역은 [그림 2-5-81]의(b)와 같이 단

순하게 됨

○ 만약 태양위치계산부터 부정확하게 되면 일영은 검사영역의 중앙을 통과하지 않을 것이며, 일영길이가 검사영역을 지나친다고 하여도 검사영역의 음영비가 정확히 50%가 안 될 것임




(a) 검증 대상건물과 검사영역 (b) 검사영역 상세

[그림 2-5-81] 검증을 위한 가해건물과 검사영역

○ 가해건물의 높이$H$와 남중 시 검사영역에 생기는 일영길이$d$ 그리고 태양의 고도$h$ 간의 관계는 식(9)와 같이 됨

$$\tan h = \frac{H}{H+d} \qquad (9)$$

$$d = H\frac{1-\tan h}{\tan h}$$

여기서 $d \geq D$, 음영비 = 0.5

$d \leq 0$, 음영비 = 0.0

$0 < d < D$, 음영비 = $\frac{d}{2D}$

○ 즉 태양이 남중(南中)하는 순간, 가해건물에 의한 검사영역의 일영면적 계산이 식(9)과 같이 수학적으로 엄밀하면서 직관적으로 확인할 수 있는 값이 되는 것임

○ 따라서 개발된 일영분석도구에 의한 값과 식(9)의 수학적 엄밀해(analytical solution)와 비교하여 검증하였음

○ 검증을 위한 대상 건물은 공동주택의 한 동으로 하였으며, 높이(H)는 1층 바닥까지의 높이를 0.9m, 각 층 높이를 2.8m, 옥상 난간의 높이를 1.1m로 하여 15층 규모의 건물로 하였음

○ 건물의 너비(W)는 6개 세대의 폭을 가정하여 60m로 설정하였음

○ 또한 검증을 위한 분석일은 일영이 검사영역을 통과하는 10월 11일부터 10월 30일까지로 정하였음

[표 2-5-20] 검증을 위한 변수 조건

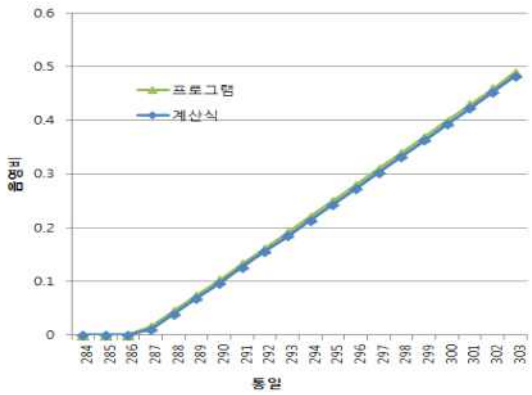
| 변수 | 값 | 비고 |
|---|---|---|
| 건물높이(H) | 44 m | 15층 |
| 건물너비(W) | 60 m | 6열 |
| 수평거리(H) | 44 m | |
| 분석일 | 10월11일~30일 | |
| 위치 | 동경 126.7, 북위 35.9 | |

○ 검사영역의 음영비(=검사영역내의 음영면적/검사영역 면적)에 대한 개발 알고리즘에 의한 값과 식(9)에 의한 계산 값을 비교한 결과, 두 값 간의 오차는 [표 2-5-21]과 [그림 2-5-82]와 같이 평균 0.005122(백분율로는 0.5%)와 표준편차 0.0022로 거의 차이가 없는 것으로 나타났음

[표 2-5-21] 검사영역의 일영비에 대한 오차 분석

| 통일(通日) | 개발 분석도구 | 계산식 | 오차 |
|---|---|---|---|
| 284 | 0 | 0 | 0 |
| 285 | 0 | 0 | 0 |
| 286 | 0 | 0 | 0 |
| 287 | 0.015389 | 0.009983 | 0.005406 |
| 288 | 0.044167 | 0.038689 | 0.005478 |
| 289 | 0.073101 | 0.06755 | 0.00555 |
| 290 | 0.102182 | 0.096558 | 0.005624 |
| 291 | 0.131403 | 0.125704 | 0.005699 |
| 292 | 0.160755 | 0.15498 | 0.005775 |
| 293 | 0.190229 | 0.184376 | 0.005853 |
| 294 | 0.219814 | 0.213883 | 0.005932 |
| 295 | 0.249502 | 0.24349 | 0.006012 |
| 296 | 0.279281 | 0.273188 | 0.006093 |
| 297 | 0.309139 | 0.302964 | 0.006175 |
| 298 | 0.339066 | 0.332807 | 0.006259 |
| 299 | 0.369048 | 0.362704 | 0.006344 |
| 300 | 0.399073 | 0.392643 | 0.00643 |
| 301 | 0.429127 | 0.422609 | 0.006517 |
| 302 | 0.459195 | 0.452589 | 0.006605 |
| 303 | 0.489262 | 0.482568 | 0.006694 |

○ 따라서 본 분석모델/도구를 사용하여 계산한 일영면적은 건물의 실제 일영면적을 잘 설명해준다고 할 수 있음




[그림 2-5-82] 검사영역의 일영비 비교

○ 풍력시스템의 개발이 우선이기에 태양광-풍력 하이브리드 시스템에 대한 연구는 더 이상 진행되지 않았음

## 6. 플로팅건축의 풍력시스템 설계지침 개발

### 가. 건물일체형풍력 설계의 제한 요소 검토

○ 건축물에서 풍력에너지 변환하는 과정에 영향을 주는 제한요소들 먼저 분석해야 함

○ 이는 설계가이드 프로그램에 포함되어야 함

○ 주요 제한요소들에 해당하는 것은 [표 2-5-22]와 같음

[표 2-5-22] 풍력에너지 변환을 위한 주요 제한요소들

| 주변 환경 | 풍력 터빈 | 건물 |
|---|---|---|
| 바람 | 회전날개 크기 | 가속 |
| 소음 | 편류 유동 | 공명 |
| 진동 | 안전성 | |
| 그림자 깜박임 | 레이놀즈 수 효과 | |

### 나. 주변 환경

(1) 바람

○ 주변에 장애물이 많을 경우 풍력 에너지 변환이 쉽지 않음. 수면 및 해수면에 있을 경우 상대적으로 주변의 영향을 적게 받을 수 있음

○ 주변의 평균 높이보다 높은 곳이 가장 좋은 곳임

(2) 소음

○ 양력형 수평축 풍력터빈의 공력학적 소음 발산은 선단속도(tip speed)의 다섯 제곱에 비례하므로 낮은 선단속도일수록 소음에 유리함

○ 또한 유동 내의 속도 차이나 압력 차이가 발생하면 소음을 발산하므로 회전자에 의한 소용돌이가 생기지 않도록 해야 함. 따라서 회전날개의 실속(stall)은 피해야 함

○ 야간 허용 소음레벨은 40dB로 약 9m/s의 바람이 부는 시골 지역의 소음레벨과 비슷하며 소음원이 멀수록 소음레벨은 감소됨

$$L_p = L_W - 10\log_{10}(4\pi r^2)$$

여기서 $L_W$는 소음원의 소음레벨, r은 떨어진 거리

○ 따라서 거리가 10m가 떨어지면 71dB정도까지 허용할 수 있으며, 20m 떨어지면 77dB, 30m 떨어지면 81dB 정도, 40m 떨어지면 83dB정도까지 허용할 수 있음

○ 인간의 청각은 고주파음에 민감하므로 1000Hz 이상의 소리가 발생하지 않도록 해야 하며 고주파음 직진성이 강하므로 직선 경로 상에 소음원이 있지 않도록 해야 함

○ 반복되는 소음이 인간을 괴롭힘으로 이런 종류의 소음은 발생하지 않도록 해야 함

(3) 진동

○ 수평축 풍력터빈(HAWT)이 만드는 진동은 $iBn_H$임

(여기서 i는 정수, B는 회전자의 날개수, $n_H$는 회전자의 회전주파수)

○ 수직축 풍력터빈(VAWT)이 만드는 진동은 $2iBn_V$임

○ 따라서 VAWT는 HAWT에 비하여 주파수가 2배가 될 수 있음

○ 이는 회전날개가 상류과 후류를 두 번 지나야 하기 때문임

(4) 그림자 깜박임

○ 풍력 터빈 날개가 태양광선과 눈 사이의 직선 경로상에 있거나 터빈 날개에 의해 태양 광선이 반사될 때 생기는 것으로 피해야 함

○ 반사를 방지하기 위해서는 탁한 페인트를 사용하기도 함

○ 20Hz 이하로 깜박일 경우 사람의 눈을 거스리는 것으로 알려져 있음

다. 풍력 터빈

(1) 회전날개 크기

○ 주변에 장애물이 많을 경우 공력학적 환경이 달라지게 됨. 달라지는 시간은 다음과 같이 표현될 수 있음

$$\tau_{turb} = \frac{\overline{H}}{u_0}$$

여기서, $\overline{H}$는 평균 장애물(건물)의 높이, $u_0$는 평균풍속

○ Betz의 한계가 적용할 수 있는 준정적 상태의 유관(quasi-stationary stream tube)을 만들기 위한 시간은 다음과 같은 관계를 만족시켜야 함

$$\tau_{turb} > 6\frac{D_t}{u_0} \text{ 즉 } D_t < \frac{1}{6}\overline{H}$$

여기서 $D_t$는 회전날개의 지름

○ 회전날개의 지름은 주변 장애물의 평균 높이의 1/6 이하로 해야 함

(2) 편류 유동(yawed flow)

○ HAWT인 경우, 풍향 변화에 맞추어 편요(yaw)해야 함. 주변에 높은 장애물이 많아지면 지속적으로 편요를 해야 하므로 실질적인 출력을 낼 수 없는 경우가 있음

○ 상대적으로 VAWT는 편요할 필요가 없으므로 풍향이 수시로 바뀌는 곳에서는 유리함

(3) 안전성

○ 사람이 거주하는 곳에 위치한 풍력 터빈은 비거주지역의 풍력 터빈보다 훨씬 안전성이 뛰어나야 함

○ 회전날개의 피로하중은 비거주지역의 그것보다 크게 설정해야 함

(4) 레이놀즈 수 효과(Renolds number effects)

○ 낮은 회전수와 작은 크기는 회전 날개 주변 유동의 레이놀즈 수를 작게 만들 수 있음

○ 작은 레이놀즈 수는 날개의 항력을 증가시키고 양력을 감소시키며 최종적으로는 터빈의 출력을 현저하게 감소시킬 수 있음

○ 레이놀즈 수 $Re \approx 2\times10^5$가 바람직함

○ 이때 소음 발생의 이유로 주속비(tip speed ratio)는 작아야 하며, 그 값은 2와 4 사이의 값이 바람직함

라. 건물

(1) 가속

○ 모든 장애물은 바람을 가속하게 하며, 그 장애물에서 멀어질수록 자유 유동 풍속에 가까워짐

○ 윈드가이드와 같이 바람을 모아주면 많은 가속을 이룰 수 있음

(2) 공명

○ 건물의 eigen-frequency는 다음 식과 같음

$$f_e = \frac{46}{H}$$

여기서 H는 건물의 높이

마. 건물일체형풍력시스템 계획 지침(안)

Guidelines for Planning Building-integrated Wind Turbine

**제1장 목적 (Purpose)**

건물일체형풍력시스템 계획지침(이하 본 지침)은 건축물에서 풍력시스템의 계획과 설계에 필요한 사항을 규정하는 것을 목적으로 한다.

**제2장 적용범위 (Scope)**

본 지침은 건축물 풍력시스템의 건축 계획, 시스템 계획에 적용한다.

2.1 건축 계획에서는 건물일체형풍력시스템의 유형과 계획시 고려사항, 윈드가이드 유형과 계획시 고려사항, 설치장소와 주변환경에 대한 고려사항, 풍력터빈에 대한 고려사항 등을 포함한다.

2.2 시스템 계획에서는 풍력터빈의 구조, 안전조치, 보호장치, 강도계산, 풍력터빈을 지지하는 구조물의 구조 등과 관련된 사항을 포함한다.

**제3장 참고기준 (Normative References)**

본 지침과 관련되어 다음과 같은 국내외 기준을 참고한다.

1) 건축법 (법 제83조,령 제118조,규칙 제41조 )

2) 전기사업법 및 전기사업법 시행규칙

3) 전기설비기술기준의 판단기준(발전용 풍력설비), 2015

4) 항공법(법 제83조,령 제63조, 규칙 제251조)

5) GUIDELINES FOR SMALL WIND TURBINES IN THE BUILT ENVIRONMENT, Floating Home Association.

6) Guidelines for Design of Wind Turbines, Det Norske Veritas, Copenhagen and Wind Energy Department, Denmark

7) Guide to installation of renewable energy systems on roofs of residential buildings, NHBC Foundation, England

## 제4장 용어 및 정의 (Terms and Definitions)

본 지침의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용한다.

1) 풍력터빈(wind turbine) : 바람의 운동에너지를 기계적 에너지로 변환하는 장치(가동부베어링, 나셀, 블레이드 등의 부속물을 포함)

2) 풍력터빈을 지지하는 구조물 : 타워와 기초로 구성된 풍력터빈의 일부분

3) 건물일체형풍력시스템(building-integrated wind system) : 건축물과 같은 인조환경(built environment) 안으로 통합된 풍력 터빈을 가리키는 용어로서 건물에 부착되거나 건물과 하나가 되는 경우를 모두 포함함

4) 윈드가이드(wind guide) : 풍력터빈으로 바람을 유도하는 장치나 시설물

5) 자동정지 : 풍력터빈의 설비보호를 위한 보호 장치의 작동으로 인하여 자동적으로 풍력터빈을 정지시키는 것을 말함.

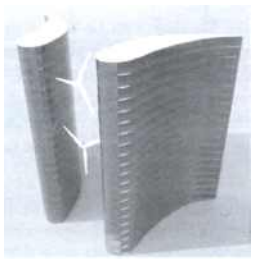
## 제5장 건축 계획 (Architectural Planning)

5.1 건물일체형풍력시스템의 형태는 다음과 같이 계획할 수 있다.

1) Mertens에 의한 분류 : 공역학적인 운전 원리에 따라서 건물일체형 풍력터빈을 건물부착형, 익형건물 사이 설치형, 건물 관통형 등 3가지 유형으로 계획할 수 있다.



(a) 건물부착형


(b) 익형건물사이 설치형



(c) 건물 관통형

2) Stankovic에 의한 분류 : 풍력터빈의 설치 위치와 건물의 형상에 따라 옥상 설치형, 원형 옥상 설치형, 원형 옥상의 집풍장치형, 건물 정면의 각형 집풍장치형, 건물 정면의 원형 집풍장치형, 건물측면 설치형, 건물사이 설치형 등 7가지 유형으로 계획

할 있다.



(a)옥상설치형



(b) 원형 옥상 설치형



(c) 원형옥상의 집풍장치형



(d) 건물정면의 각형 집풍장치형



(e) 건물정면의 원형 집풍장치형



(f) 건물측면 설치형



(g) 건물사이 설치형

① 모서리의 곡면 처리는 공역학적으로 난류의 발생을 억제하며 풍속을 할증시키는 장점이 있으나, 건축적 측면에서는 활용할 수 없는 공간(dead space)이 많아지며, 시공상의 어려움이 증가하여, 공사비가 증가하는 점을 고려하여야 한다. 또한 풍속이 증가한 곳은 강제 대류에 의한 열손실이 증가할 수 있으므로, 건축물의 단열을 고려하여야 한다.

② 건물 관통형 풍력 터빈은 풍속 증가가 가장 많은 측면이 있으나, 건축적으로 활용할 수 없는 공간이 많아지게 되고, 임대면적이 감소하게 됨을 고려하여 한다. 터빈이 있는 공간은 외기에 노출되므로 열손실 면적이 증가하게 됨을 고려하여야 한다.

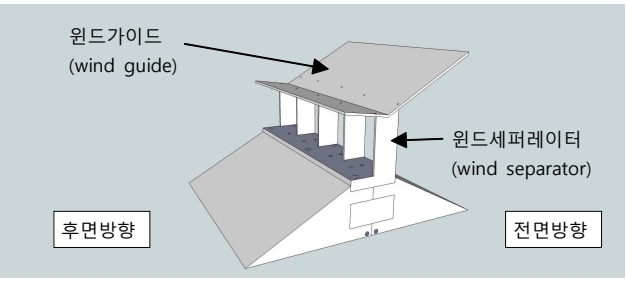
③ 풍황에 적합한 유형은 다음과 같다.

<표 1> 풍향과 건물일체형 풍력시스템

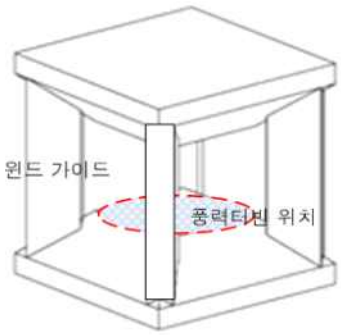
| 풍향의 특성 | 판단기준 | 적합한 유형 |
|---|---|---|
| 약한 일방향성 | 임의의 풍향(150도 이내)에 대해서 연평균 출력 밀도의 60%이상 | A,B,G |
| 일방향성 | 임의의 풍향(150도 이내)에 대해서 연평균 출력 밀도의 75%이상 | 모든 유형 |
| 양방향성 | 임의의 두 반대 풍향(150도 이내)에 대해서 연평균 출력 밀도의 95%이상 | A,B,C,D,F,G |

## 5.2 풍력터빈에 바람을 유도하는 윈드가이드를 다음과 같이 계획할 수 있다.

### 1) 윈드가이드의 개념




[양방향 윈드가이드의 개념]




[다방향 윈드가이드의 개념]

2) 양방향 윈드가이드의 계획 시 고려사항은 다음과 같다.

① 양방향 윈드가이드에 의해 풍향이 정면기준 0°~ 45°의 구간에서는 풍상측과 풍하측 구분없이 풍속이 증가하였으며, 45°~ 60°구간에서는 풍상측에만 풍속 증가가 있으므로, 윈드가이드 설치시 건물 대지의 주풍향에 대하여 0°~ 60°범위 안에 설치해야 한다.

② 풍력터빈의 일렬 배치시 터빈과 터빈 사이에 유동을 구분할 수 있는 장치(윈드 세퍼레이터)를 두어, 풍속이 증가되고 난류강도가 적어지는 고려하여야 한다. 윈드 세퍼레이터가 없는 경우는 유동이 섞여 풍상측과 풍하측의 구분이 모호해지며 출력이 감소되는 것을 고려하여야 한다.

③ 풍향이 정면을 기준으로 좌우 60°에서 105°이 되면 윈드 세퍼레이터에서 박리현상이 발생하여 난류가 발생하고 풍속이 급격히 감소하게 되는 것을 고려하여야 한다.

④ 윈드가이드 전방각도는 높을수록 특히 30도일 때 최대 출력이 나오며, 윈드가이드 후방각도는 오히려 작을수록 출력이 좋은 것을 고려하여야 한다. 그러나, 40도 이상이 되면 터빈 위치에 풍속이 증속이 되는 것이 아니라 더 후류쪽에서 풍속이 증속되어 나타날 수 있으므로 윈드가이드의 전방각도를 40도 이상으로 하지 않아야 한다.

⑤ 평지지붕보다 경사지붕에서 풍속과 풍력터빈의 출력이 증가하므로 경사지붕이 평지붕보다 풍력발전에 유리하다.

3) 다방향 윈드가이드 계획 시 고려사항은 다음과 같다.

① 윈드가이드를 통하여 바람이 통과하는 단면적을 변화시켜 풍속을 증가시킬 수 있으나, 단면적의 비가 풍속비에 미치는 영향이 크지 않다는 것을 고려하여야 한다.

2) 윈드가이드 설계시 수평경사도 함께 고려해야 풍속비가 커지며, 난류강도가 작아지므로, 윈드가이드에 의한 공기 유동 단면적 변화가 수직적인 것뿐만 아니라 수평적인 것도 동시에 이루어지게 하여야 집풍효과를 거둘 수 있다.

3) 윈드가이드의 항력계수와 풍속비는 반비례관계가 있으므로, 항력계수가 증가할수록 풍속비는 감소하기에 윈드가이드 설계 시 단면적비뿐만 아니라 항력계수도 고려해야 한다.

5.3 건물일체형 풍력시스템의 설치 장소 및 주변 환경의 고려사항

1) 풍황

① 주변에 장애물이 많을 경우 풍력 에너지 변환이 쉽지 않으므로, 수면 및 해수면 근처에 있을 경우 상대적으로 주변의 영향을 적게 받을 수 곳에 설치한다.

② 주변의 평균 높이보다 높은 곳에 설치한다.

2) 소음

① 양력형 수평축 풍력터빈의 공력학적 소음 발산은 선단속도(tip speed)의 다섯 제곱에 비례하므로 낮은 선단속도가 되도록 하여야 한다.

② 유동 내의 속도 차이나 압력 차이가 발생하면 소음을 발산하므로 회전자에 의한 소용돌이가 생기지 않도록 해야 하며, 회전날개의 실속(stall)은 피해야 한다.

③ 인간의 청각은 고주파음에 민감하므로 1000Hz 이상의 소리가 발생하지 않도록 해야 함. 또한 고주파음 직진성이 강하므로 직선 경로상에 소음원이 있지 않도록 해야 한다.

④ 반복되는 소음이 인간을 괴롭힘으로 이런 종류의 소음은 발생하지 않도록 해야 한다.

3) 진동

①풍력터빈의 회전에 의한 진동이 건축물에 전달되지 않도록 하여야 한다.

4) 그림자 깜박임

① 풍력 터빈 날개가 태양광선과 눈 사이의 직선 경로상에 있거나 터빈 날개에 의해 태양 광선이 반사될 때 생기는 것으로 피해야 한다. 반사를 방지하기 위해서는 탁한 페인트를 사용하기도 한다.

② 20Hz 이하로 깜박일 경우 사람의 눈을 거스리는 것으로 알려져 있다.

5.4 건물일체형 풍력시스템의 풍력터빈 고려사항

1) 회전날개 크기

① 주변에 장애물이 많을 경우 공력학적 환경이 달라지게 되며 달라지는 시간은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\tau_{turb} = \frac{\overline{H}}{u_0}$$

여기서, $\overline{H}$는 평균 장애물(건물)의 높이, $u_0$는 평균풍속

② 베츠(Betz)의 한계가 적용할 수 있는 준정적 상태의 유관(quasi-stationary stream tube)을 만들기 위한 시간은 다음과 같은 관계를 만족시켜야 한다.

$$\tau_{turb} > 6\frac{D_t}{u_0} \text{ 즉 } D_t < \frac{1}{6}\overline{H}$$

여기서 $D_t$는 회전날개의 지름

③ 회전날개의 지름은 주변 장애물의 평균 높이의 1/6 이하로 해야 한다.

2) 편류 유동(yawed flow)

① 수평축형 풍력터빈(HAWT)인 경우, 풍향 변화에 맞추어 편요(yaw)해야 한다. 주변에 높은 장애물이 많아지면 지속적으로 편요를 해야 하므로 실질적인 출력을 낼 수 없는 경우가 있다.

② 상대적으로 수직축형 풍력터빈(VAWT)은 편요할 필요가 없으므로 풍향이 수시로 바뀌는 곳에서는 유리하다.

3) 안전성

① 사람이 거주하는 곳에 위치한 풍력 터빈은 비거주지역의 풍력 터빈보다 안전성이 뛰어나야 한다.

② 회전날개의 피로하중은 비거주지역의 그것보다 크게 설정해야 한다.

## 제6장 시스템 계획 (System Planning)

### 6.1 건물일체형풍력시스템은 다음 각 호에 따라 시설하여야 한다.

1) 부하를 차단하였을 때에도 최대속도에 대하여 구조상 안전할 것.
2) 풍압에 대하여 구조상 안전할 것.
3) 운전 중 풍력터빈에 손상을 주는 진동이 없도록 할 것.
4) 설계허용 최대풍속에 있어서 취급자의 의도와 다르게 풍력터빈이 기동하지 않도록 할 것.
5) 운전 중에 다른 시설물, 식물 등에 접촉하지 않도록 할 것.
6) 풍력터빈의 점검 또는 수리를 위하여 회전부의 정지 및 고정할 수 있는 구조일 것.
7) 한랭지에 시설하는 경우 눈.비에 의한 착빙을 고려할 것.
8) 분진 등에 의한 손모를 고려할 것.
9) 지진에 대하여 안전할 것.
10) 해상 및 해안가에 시설하는 경우 염분 및 파랑하중에 대한 영향을 고려할 것.
11) 건축물에 설치되는 풍력터빈은 지지물의 붕괴를 조장하거나 또는 유발할 우려가 없도록 시설하여야 한다.

6.2 (풍력터빈의 선정) 풍력터빈의 선정에 있어서는 시설장소의 풍황(風況)과 환경, 적용규모 및 적용형태 등을 고려하여 선정하여야 한다.

6.3 풍력터빈은 다음 각 호의 경우에 자동적으로 정지하거나 위험속도 이하로 유지할 수 있는 장치를 하여야 한다.

1) 회전수가 비정상적으로 상승한 경우
2) 풍력터빈의 제어장치의 기능이 비정상적으로 저하한 경우
3) 풍력터빈을 수동으로 긴급정지하고자 할 경우

6.4 풍력터빈을 지지하는 구조물은 설치환경에 따라 자중, 적재하중, 적설, 풍압, 지진, 진동, 충격 및 염해에 대해 구조상 안전하여야 한다.

1) 풍력터빈을 지지하는 구조물의 구조, 성능 및 시설조건

① 풍력터빈을 지지하는 구조물은 자중, 적재하중, 적설, 풍압, 지진, 진동 및 충격을 고려하여야 한다. 다만, 해상 및 해안가 설치시는 염해 및 파랑하중에 대해서도 고려하여야 한다.

② 동결, 착설 및 분진의 부착 등에 의한 비정상적인 부식 등이 발생하지 않도록 고려하여야 한다.

③ 풍속변동, 회전수변동 등에 의해 비정상적인 진동이 발생하지 않도록 고려하여야 한다.

2) 풍력터빈을 지지하는 구조물의 강도계산

① 풍력터빈 및 지지물에 가해지는 풍하중의 계산방식은 다음 식과 같다.

$P = C q A$

P : 풍압력(N)

C : 풍력계수

q : 속도압(N/m2)

A : 수풍면적(m2)

1. 풍력계수 C는 풍동실험 등에 의해 규정되는 경우를 제외하고, [건축구조설계기준]을 준용한다.

2. 풍속압 q는 다음의 계산식 혹은 풍동실험 등에 의해 구하여야 한다.

가. 풍력터빈 및 지지물의 높이가 16 m 이하인 부분

$$q = 60(\frac{V}{60})^2 \sqrt{h}$$

나. 풍력터빈 및 지지물의 높이가 16 m 초과하는 부분

$$q = 120(\frac{V}{60})^2 \sqrt[4]{h}$$

V는 지표면상의 높이 10 m에서의 재현기간 50년에 상당하는 순간최대풍속(m/s)으로 하고 관측자료에서 산출한다. h는 풍력터빈 및 지지물의 지표에서의 높이(m)로 하고 풍력터빈을 기타 시설물 지표면에서 돌출한 것의 상부에 시설하는 경우에는 주변의 지표면에서의 높이로 한다.

3. 수풍면적 A는 수풍면의 수직투영면적으로 한다.

② 풍력터빈 지지물의 강도계산에 이용하는 지진하중은 지역계수를 고려하여야 한다.

③ 풍력터빈의 적재하중은 컷아웃 시, 공진풍속 시, 폭풍 시 하중을 고려하여야 한다.

6.5 풍력터빈을 시설하는 자는 소음.진동관리법 등에서 규정하는 기준을 준용하여야 한다.

6.6 풍력터빈에는 설비의 정상운전한계를 유지하도록 능동적 또는 수동적 방법으로 풍력터빈을 제어 및 보호하는 장치를 시설하여야 한다.

1) 보호장치는 다음과 같은 조건 등에 보호되어야 한다.

1. 과풍속

2. 발전기의 과부하 또는 고장

3. 과진동

4. 전력계통 손실 및 단절

5. 케이블 꼬임 한계

6.7 풍력터빈은 손상, 감전 또는 화재의 우려가 없도록 피뢰설비를 시설하여야 한다.
1) 전기설비기술기준 제175조와 전기설비기술기준의 판단기준(발전용 풍력설비)의 제8조 의 규정에 준하여 피뢰설비를 시설하여야 한다.

6.8 풍력터빈에 설치하는 전기설비는 전자기적합성을 고려하여 시설하여야 한다.

6.9 발전용 풍력설비의 항공장애등 및 주간장애표지는 항공법 제83조(항공장애 표시등의 설치 등)의 규정을 준용한다.

**참고문헌**


1. Baniotopoulos, Charalambos /Borri, Claudio /Stathopoulos, Theodore, Environmental Wind Engineering and Design of Wind Energy Structures, Springer Wien New York, 2011
2. Cochran, B.C. and Damiani, R. R., 2008, "Harvesting Wind Power from Tall Buildings," WindPower 2008, Houston, June 2-4
3. Duttonm A. G. et al, 2005, "The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines," CCLRC, pp. 22~25
4. Erich Hau, Wind Turbines, 2nd Ed., Springer, 2006
5. Fernando D. Bianchi et al, Wind Turbine Control Systems, Springer, 2007
6. J.F. Manwell et al, Wind Energy Explained, John Wiley & Sons, 2002
7. Lu, L. and Ip, K.Y., 2009, "Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong," Renewable & Sustainable Energy Reiviews, pp.450~461
8. Martin O. L. Hansen, Aerodynamics of Wind Turbines, 2nd Ed., 2008
9. Muller, R. et al, 2009, "Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings," Renewable Energy, v.34, pp.1407~1412
10. Pelken, P. M. et al, "Vertical Axis Wind Turbines integrated in High-Rise Structures", http://soa.syr.edu/index.php?id=3385
11. Pereira, Justin D, Wind Tunnels, Nova Science Publishers, 2011
12. Sander Mertens, Wind Energy in the Built Environment, Multi-Science, 2006
13. Sinisa Stankovic et al, Urban Wind Energy, Earthscan, 2009
14. Tony Burton et al, Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, 2001
15. 牛山 泉, 風力エネルギーの基礎, 株式會社オーム社, 2005
16. 風工學研究所, ビル風の基礎知識, 鹿島出版會, 2005
17. 風洞實驗法ガイドライン研究委員會 / 編集, 實務者のための建築物風洞實驗ガイドブック, 日本建築センター情報事業部, 2008

# 제6절 공간디자인마케팅

## 1. 수해양문화 프로그램 및 플로팅건축 유형화

### 가. 수해양문화 프로그램으로서 플로팅선축의 가능성

○ 세계관광기구(WTO)의 세계관광시장 및 관광객의 지속적인 성장 예측에 따르면 2020년 연간 15억 6,000만 명 이상의 규모로 성장 예상되며, 세계인구의 약 20%가 국제관광에 참여할 것으로 전망, 동아시아태평양 지역이 세계 6대 관광권 중 가장 높은 시장의 성장률을 보이며 관광객을 유치[38)]

○ 현재 세계 각국은 관광 및 문화 사업을 국가 경쟁력 제고를 위한 전략 사업으로 육성

[표 2-6-1] 관광산업 성장 요인

| 구 분 | 주요요인 | 내 용 |
|---|---|---|
| 경제적 측면 | 소득의 증가 | 도시근로자의 월평균 소득 증가 |
| | 관광개발사업의 활성화 | 지자체의 지역 활성화 |
| 사회문화적 측면 | 서비스산업의 발달 | 3차산업의 확대 |
| | 인구구조의 변화 | 노령화, 핵가족화, 소자녀화 |
| | 여가의식의 전환 | 필수적 생활 요소로 인식 |
| | 여가시간의 증대 | 주 40시간 근무제 확산 |
| 환경적 측면 | 여가패턴의 변화 | 대중화 및 다양한 프로그램의 등장 |
| | 지방화 시대의 도래 | 적극적인 민자유치 추진 |
| | 도시환경의 악화 | 쾌적한 자연친화적 공간에 대한 수요 증대 |
| | 교통망의 발달 | 고속철도와 도로망 발달 및 다양한 이동수단 확보 |

○ 국내관광환경도 국제환경의 변화에 함께 외래관광객의 방한 및 내국인의 국내 관광 지속적으로 증가[39)] 주요 요인은 [표 2-6-1]과 같으며, 주목할 만한 변화는 관광 활동 패턴이 레저 및 스포츠 활동의 강화, 가족단위 숙박여행의 지속적인 증가

○ 정부는 21세기 3대 국가전략사업으로 정보산업, 생명산업과 함께 관광산업을 선정하고 문화체육관광부 등 관련 부처의 활발한 정책을 실천 중이며, 국토해양부는 해양스포츠 수요를 고려한 해양레저 산업 육성의 틀을 마련하고 전국 10권

38) 세계관광기구 UNWTO (World Tourism Organization)이 2005년 발간한 보고서 Tourism 2020 Vision에 따르면 2020년 국제관광객 수 약 15억 6,000만 명, 관광수입 약 20,000억 달러, 아·태지역 관광객 약 3억 9,700만 명으로 세계관광시장의 25.4%를 점유할 것으로 예측되고 있다.

39) 한국관광공사 관광통계자료에 따르면 국민국내관광총량은 1999년 이후 지속적 증가추세를 나타내고 있다.2008년 국민 국내관광 총량은 4.1억일, 연간 1인 평균여행일수는 약 10일인데, 이중 숙박여행이 6.59일, 당일여행이 3.48일이며, 관광의 유형도 달라지고 있다. 한류로 인한 아시아권 외래 관광객의 증가의 증가가 두드러지며 이들의 방문 목적은 주로 여가, 위락, 휴가이다.

역 43개소의 마리나항만 기본계획을 2010년 고시

○ 친수공간을 최대한 확보하고, 개발을 위한 토지의 매입 등으로부터 자유로운 장점을 지닌 수해양문화 건축물로서 새로운 해양관광수요에 대응할 수 있는 적절한 방안

○ 이미 남태평양 연안의 최고급 리조트호텔 등에서 플로팅건축을 도입해 새로운 체험 공간 창출로 공간 디자인마케팅을 실천

## 나. 플로팅건축 유형 구분

### (1) 프로그램(program)에 따른 유형 구분

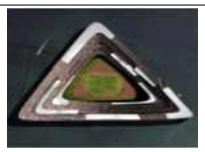
○ 기실현된 건축물과 계획안 중 대다수의 플로팅건축물이 주거용도이며, 주거용도를 세분화해보면 일반 주거와 휴가 시 사용할 수 있는 별장 개념으로 구분이 가능, 리조트와 결합된 숙박시설도 이 범주에 포함

○ 새로운 공간체험을 유도하는 플로팅건축물은 쉽게 랜드마크화 될 수 있으므로, 문화용도의 공공시설이나 상업시설 등의 프로그램 수용에 강점을 지님

[표 2-6-2] 프로그램에 따른 유형

| 프로그램 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 주거시설 |  watervilla Ijburg Amsterdam |  Floating Home B GMBH |  watervilla Kortenhoef Netherland |  Husbåde AquaDomi+C.F.Møller |
| 문화시설 |  플로팅아일랜드 서울 |  Event House I.Moltkeand+ M.Jeppesen |  Floating Pavilion Rotterdam | |
| 상업시설 |  Restaurant Popina Benedetta Casadei |  점보 레스토랑 홍콩 | | |

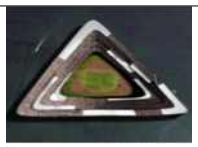
[표 2-6-2] 프로그램에 따른 유형(계속)

| 프로그램 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 운송시설 및 주차장 |  <br>cruise terminal<br>Waterstudio |  <br>floating car park<br>Dutch Docklands | | |
| 운동시설 |  <br>floating stadium<br>Waterstudio |  <br>swimming pool<br>Amsterdam |  <br>floating stadium<br>Singapore | |
| 숙박시설 |  <br>Health Enjoyment & Challenge Center<br>Aruba |  <br>Recreational dwellings<br>Waterstudio |  <br>Archipelago Villas 90<br>Marina Housing |  <br>floating hotel<br>Waterstudio |
| 종교시설 |  <br>mosque<br>Waterstudio | | | |

(2) 형태(form)에 따른 유형 구분

○ 구조적인 요인에 의해 크게 영향을 받고, 하중의 균등 배분이 가능한 기하학적인 원형을 지향하는 경향

[표 2-6-3] 형태에 따른 유형

| 형 태 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 사각형 |  watervilla Vinkeveen Plassen |  Floating Home D GMBH |  MANGROVE Batiflo |  watervilla Ijburg2 Amsterdam |
| 원형 및 타원형 |  플로팅아일랜드 서울 |  Event House I.Moltkeand+ M.Jeppesen | | |
| 삼각형 |  floating stadium Waterstudio |  cruise terminal Waterstudio | | |
| 이형 |  The Citadel Waterstudio |  Restaurant Popina Benedetta Casadei |  Star Hotel AquaDomi |  MODULAIR DeltaSync |

(3) 건축규모(scale)에 따른 유형 구분

○ 독립적 프로그램을 수용하는 단일규모의 건축물과 여러 개의 프로그램으로 구성되어 있는 복합용도나 단일규모 건축물의 집합체로 구성되는 단지규모로 구분

[표 2-6-4] 건축 규모에 따른 유형

| 건축규모 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 단일규모 |  Lake Union FloatingHome Vandeventer + Carlander |  Floating Homes D GMBH |  watervilla Kortenhoef Netherland |  Husbåde AquaDomi+C.F.Møller |
| 단지규모 |  Archipelago Villas 90 Marina Housing |  Floating Boulevard Dutch Docklands |  Boathouse Woubrugge |  The Citadel Waterstudio |

(4) 층수(level)에 따른 유형 구분

○ 층수를 기준으로 플로팅건축물은 수평성이 강조되는 3층 이하의 저층과 수직성이 강조되는 고층으로 유형 구분 가능

[표 2-6-5] 층수에 따른 유형

| 층 수 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 저 층 |  watervilla Ijburg Amsterdam |  Floating Home B GMBH |  watervilla Kortenhoef Netherland |  Husbåde AquaDomi+C.F.Møller |
| 고 층 |  floating hotel Waterstudio |  The LM Project C.F.Møller | | |

(5) 위치(location)에 따른 유형 구분

○ 대부분의 플로팅건축물은 전기·통신 및 설비를 육지의 기존 인프라에 연결하는 방안을 채택하고 있으므로 수변에서 떨어질 수 있는 거리의 제한을 지님

○ 함체의 구조체 높이가 해결되면 가능한 한 육지에 가깝게 배치하는 것이 경제적 측면에서 유리

[표 2-6-6] 위치에 따른 유형

| 위 치 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 육지 인접형 |  플로팅아일랜드 서울 |  ACORUS batiflo |  watervillas Sneekermeer Waterstudio |  watervilla Den Bosch |
| 섬형 |  Dubai White A256 AquaDomi |  mosque Waterstudio |  Lilypad City V. Callebaut |  Recreational dwellings Waterstudio |

(6) 접근방법(access)에 따른 유형

○ 접근방법은 플로팅건축의 위치에 따라 결정되며, 육지에 일부 면을 접하거나 근거리에 배치된 경우 브리지나 데크로 연결되어 접근이 가능하며, 섬형의 경우 해상 이동수단인 배를 타고 접근

[표 2-6-7] 접근방법에 따른 유형

| 접근방법 | 사 례 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 데 크<br>및<br>브리지 |  <br>플로팅아일랜드<br>서울 |  <br>ACORUS<br>batiflo |  <br>watervillas<br>Sneekermeer<br>Waterstudio |  <br>watervilla<br>Den Bosch |
| 배 |  <br>Restaurant Popina<br>Benedetta Casadei |  <br>mosque<br>Waterstudio |  <br>Lilypad City<br>V. Callebaut |  <br>Recreational<br>dwellings<br>Waterstudio |

(7) 이동성(mobility)에 따른 유형

○ 고정형과 이동형으로 구분하며, 이동 시 사용자의 요구에 따라 장소를 이동하며 적극적인 수해양문화 체험을 가능케 한다는 장점이 있음

[표 2-6-8] 이동성에 따른 유형

| 이동성 | 사 례 | |
|---|---|---|
| 이동형 |  <br>Floating Homes D<br>GMBH |  <br>햇살이든<br>성산포 |

(8) 에너지(energy)에 따른 유형

○ 에너지 의존형과 독립형으로 구분할 수 있으며, 섬형 플로팅건축물의 실현은 에너지 문제와 결부되어 있으므로, 강이나 호수, 바다와 같은 수환경을 이용한 태양광이나 수온, 풍력 등을 활용한 신재생에너지의 적용에 대한 모색이 건축계획과 병행 필요

○ 유럽에서도 대체에너지의 적용은 최근 중요한 문제로 인식하고 도입을 시도

[표 2-6-9] 에너지에 따른 유형

| 프로그램 | 사 례 | | |
|---|---|---|---|
| 독립형 |  <br>MODULAIR<br>DeltaSync |  <br>Solar powered<br>Houseboat<br>N. McLaughlin |  <br>Bolig+<br>C.F. Møller |

## 2. 플로팅건축의 디자인 특성

- ○ 규모에 있어서 플로팅건축물의 층수는 대부분 2층으로 구성
- ○ 평면 구성 시 데크 및 발코니 등의 설치가 두드러지며, 이는 일반건축물과 플로팅건축물을 대별할 수 있는 요소로도 작용
- ○ 대상 사례 개별 건축물의 면적은 연면적 약 250㎡ 내외이며, 이 중 데크의 면적은 평균적으로 전체 연면적의 34.5% 차지
- ○ 플로팅건축물의 평면 형태는 10x25 m 정도의 장방형 평면의 출현이 빈번하며, 내부 공간 배치 시 하중의 분포를 고려한 평면 구성과 균형 있는 매스 구성도 중요
- ○ 플로팅건축물은 조망을 극대화하는 방향으로 디자인하는데, 건축물이 위치하는 특성 상 주변 컨텍스트에 대한 해석이 그대로 공간 디자인에 투영된 특성으로, 수해양문화를 체험할 수 있는 공간 출현 배경에서 기인한 결과
- ○ 조망과 함께 직접 해양 레포츠를 즐길 수 있는 데크나 옥상공간 등 친수공간의 확보
- ○ 공간 구성을 살펴보면 주택 내 공용공간인 거실, 식당, 주방이 별도 실로 구분되지 않고 통합적으로 계획되는 양상, 다른 실의 경우에도 면적을 최소한으로 확보하거나, 실의 세분화가 이루어지지 않고 다목적으로 공간을 활용하는 사례가 빈번
- ○ 단면계획에서 층고는 대개 3m 내외이며, 수면에 의한 빛의 반사를 고려한 디자인, 건축 구조체를 활용한 캐노피나 차양의 설치
- ○ 건축물을 물에 띄우는 특별한 과정이 수반됨에 따라 모듈화 및 유닛화 개념 적용

## 3. 국내 마리나클럽 현황조사 및 최적지대상 설문조사

### 가. 국내마리나 유형 구분

○ 제도적인 제한으로 국내 마리나 개발은 공공이 주도하고 있으며, 해양레포츠는 아직 특정 계층의 전유물로 인식되고 있는 상황

○ 요트 수용 대수에 따른 규모 산정의 틀을 유지하고, 프로그램 성격에 따라 구분 기준을 추가한 새로운 유형 구분 기준 제시 가능

○ 해양레포츠 전용시설인 레포츠형과 일반인을 대상으로 한 식음공간 위주의 상업공간을 내포하고 있는 복합형으로 양분하여 [표 5-1]과 같이 총 6개의 유형 추출

○ 현재는 상업시설의 비율이 상대적으로 큰 복합형 마리나가 주를 이루고 있으나, 장기적으로는 제도적인 개선과 요트 인구의 증가에 따른 요트의 대중화로 해양레포츠 전용 레포츠형 마리나의 출현을 기대

[표 2-6-9] 마리나 유형 구분

| 규모 | 성격 | 유형 |
|---|---|---|
| 소형 (100척 이내) | 레포츠형 | ① 레포츠소형 |
| | 복 합 형 | ② 복합소형 |
| 중형 (200척 이내) | 레포츠형 | ③ 레포츠중형 |
| | 복 합 형 | ④ 복합중형 |
| 대형 (300척 이내) | 레포츠형 | ⑤ 레포츠대형 |
| | 복 합 형 | ⑥ 복합대형 |

나. 국내 마리나클럽 공간구성

○ 일반적으로 해양레포츠 참여자를 위한 교육공간, 샤워 및 탈의공간, 편의공간으로 구성된 마리나전용시설과 일반에게도 개방 가능한 식음공간과 집회 및 문화공간을 포함한 상업시설로 구분

○ 현재 국내 마리나클럽에서 상업시설의 강화가 두드러짐

○ 국내 마리나 공간 구성 분석

○ 국내 마리나클럽의 경우 마리나전용시설과 식상업시설의 비율은 평균 21% : 79% 로 나타남




[그림 2-6-1] 마리나클럽 공간 구성

다. 국내 마리나클럽 현황

[표 2-6-10] 국내 마리나클럽

| 이름 | 위치 | 규모 | 발주/운영 | 설계/시공 |
|---|---|---|---|---|
|  서울마리나 (2010) | 서울시 여의도동 | 복합소형<br>육상계류 32척<br>수상계류 53척 | 서울시 한강사업본부<br>승화명품건설 | IM기술단 이가건축<br>승화이엔씨 |
|  아라마리나 (2011) | 김포시 고촌읍 | 복합중형<br>육상계류 60척<br>수상계류 136척 | 한국 수자원공사<br>워터웨이플러스 | CK마리나 dmp건축<br>SK건설 |
|  전곡마리나 (설계중) | 화성시 전곡항 | 복합중형<br>육상계류 53척<br>수상계류 60척 | 화성시<br>화성시 도시공사 | 건일엔지니어링 행림건축 |
|  수영마리나 (설계중) | 부산시 수영만 | 복합대형<br>육상계류 400척<br>수상계류 364척 | 부산시<br>현대산업개발 | 다니엘 리베스킨트<br>현대산업개발 |

라. 최적지 대상 공간수요 설문조사

○ 조사기간 : 2012년 3월29일 - 4월8일 (2주)

○ 조사방법 : 군산근대역사박물관, 새만금홍보관, 새만금 관광안내소, 터미널 등 군산 관광명소 일원, 요트이용자를 대상으로 한 전곡항의 대면 설문과 수도권 이메일 설문 병행

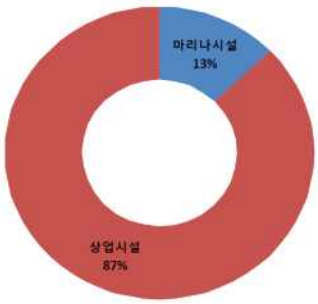
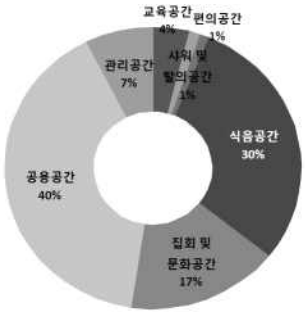
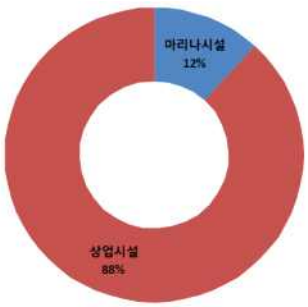
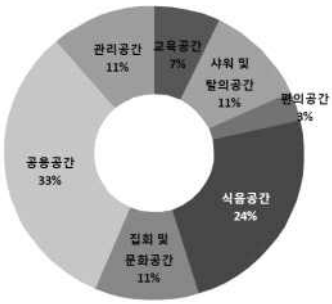
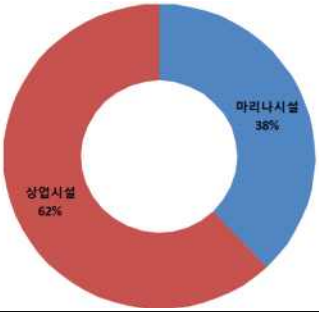
○ 조사대상 : 총 413명 (전북지역 212명, 전북외 지역 201명)

○ 사회변인 : 성별, 연령, 직업, 월평균 소득, 교육수준, 거주지 등 인구통계학적 일반사항 및 건축 관련 전공 여부

○ 통계분석 : 군산대학교 정보통계학과 연구실에서 진행, SPSS for Windows v12.01을 이용한 빈도분석, 교차분석, 분산분석

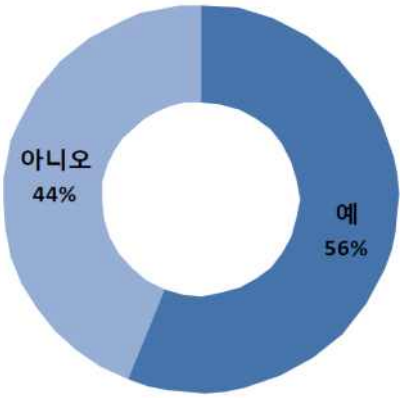
○ 설문결과

[표 2-6-11] 국내 마리나 공간구성 현황 설문 결과

| 구분 | 공간 구성현황 | |
|---|---|---|
| 서울마리나 |  |  |
| 아라마리나 |  |  |
| 전곡마리나 |  |  |

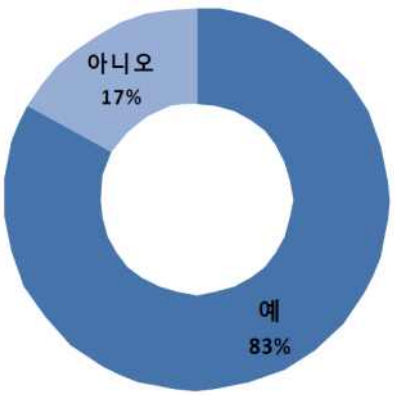
마. 플로팅건축에 대한 일반인 인식정도 설문조사 및 분석

1) **플로팅건축물에 대해 신문이나 텔레비전 등의 매체를 통해 이야기를 들어보셨거나 알고 계십니까?** (  )
① 예  ② 아니오




- 설문 응답자의 과반수 이상인 56%가 플로팅건축물을 인식하고 있는 상태
- 학생집단과 월평균소득 500만원이상인 고소득집단의 인지도가 높게 나타남
- 전북이외의 지역 수도권 거주자 및 건축전공자가 상대적으로 인식 비율이 높음

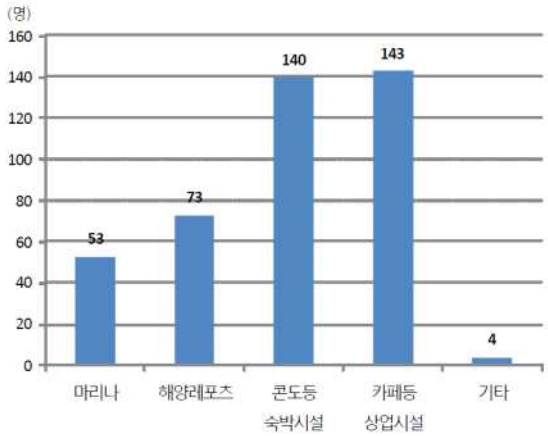
2) **플로팅건축물은 특수한 건축 디자인으로 일반 건축물과 차별되는 이미지와 공간을 제공한다고 생각하십니까?** (  )
① 예  ② 아니오




- 설문 응답자의 83.1%가 플로팅건축을 일반건축물과 차별화된다고 응답
- 이는 일상과 다른 공간 체험을 기대하는 관광 수요에 대응하는 공간 디자인 시 매우 긍정적 요인으로 작용할 것으로 기대

**3) 플로팅으로 지어진 건축물 중 구체적으로 방문하고 싶은 장소에 v표 해주십시오.**

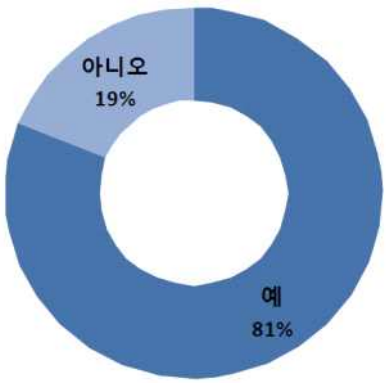
① (  ) 마리나시설 (요트 등)
② (  ) 마리나 외 해양레포츠 관련시설 (수상스키 등)
③ (  ) 물위의 콘도, 리조트 등 숙박시설
④ (  ) 물위의 카페, 레스토랑 등 상업시설
⑤ 기타 _____




- 가장 선호하는 공간 프로그램은 일반인이 접근하기에 용이한 상업시설>숙박시설>해양레포츠시설 순으로 응답
- 현재 공공이 개발 주체가 되는 플로팅건축물 및 마리나클럽 계획 시 반영

**6) 향후 마리나 시설이 생기면 이용 하시겠습니까?** (  )

① 네  ② 아니오




- 전체 응답자의 81.1%가 향후 마리나 시설을 이용할 의향이 있는 것으로 분석되며, 특히 대학교 졸업 이상의 집단은 평균 비율을 상회하는 것으로 조사
- 현재 상황을 추가 질문에서 마리나클럽을 일반인 입장에서 이용하기를 희망하는 분포가 높았으며, 이는 공공성격의 마리나클럽 선호로 자연스럽게 연계됨
- 월평균소득 500만원 이상의 고소득집단의 경우 55.8%의 비율로 요트 등 해양 레포츠를 이용하겠다고 응답한데 주목할 필요 있음

**7) 다음은 마리나클럽의 공간 구성을 구분한 것입니다. 마리나클럽을 건축할 때 공간별로 필요한 정도를 이용자 입장에서 표기하시오. (5점 척도로 표기)**

7-1. 요트 등 해양레포츠 교육을 위한 **교육공간**

7-2. 해양레포츠 준비 및 휴식을 위한 **샤워 및 탈의공간**

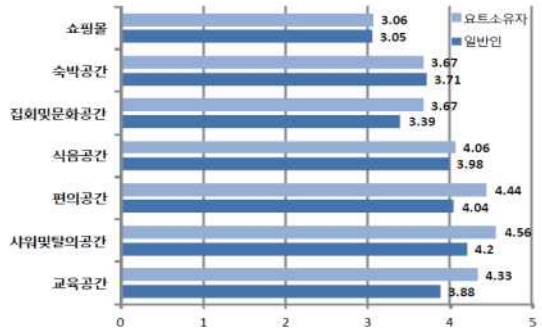
7-3. 상점, 물품보관실, 장비보관실 등 **편의공간**

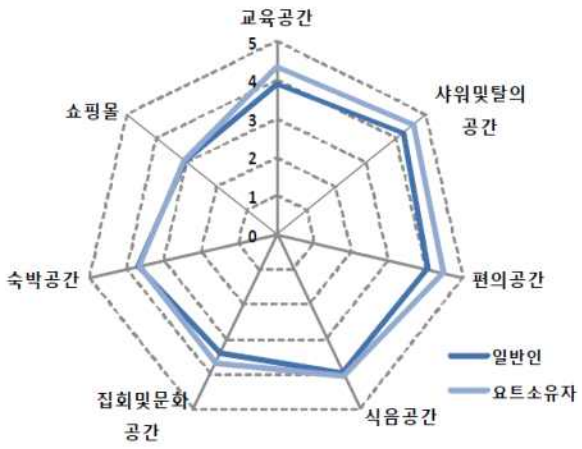
7-4. 레스토랑, 카페 등 **식음공간**

7-5. 다목적실과 같은 **집회 및 문화공간**

7-6. 콘도, 호텔 등 **숙박공간**

7-7. 클럽하우스와 결합된 복합시설인 **쇼핑몰**




- 마리나클럽 스페이스 프로그램에 직접적인 영향을 줄 수 있는 응답
- 대부분의 시설이 필요 정도가 3.6척도 이상으로 나타났으며, 요트소유자의 경우 공간별 필요 정도가 크게 나타남
- 마리나클럽을 대규모 복합개발로 확대할 수 있는 숙박공간이나 쇼핑몰등과의 결합에 요트소유자는 다소 미온적인 응답
- 해양레포츠 활동을 하는 응답자는 샤워 및 탈의공간 > 편의공간 > 교육공간에 우선순위를 두는 것으로 나타남
- 일반인의 경우 샤워 및 탈의공간 > 편의공간 > 식음공간 순으로 중요시 함
- 30대 응답자가 숙박공간이 '매우 필요하다' 라는 답변이 높으며, 공무원 및 주부 집단의 경우 쇼핑몰 필요하다는 의견이 비교적 높음

**12) 새만금에 플로팅 마리나클럽이 생긴다면 기대되는 점은 무엇인가요? 2개의 복수응답 및 자유로운 의견의 기술도 가능합니다.** (  ,  )

① 적극적으로 수해양문화를 즐길 수 있다.

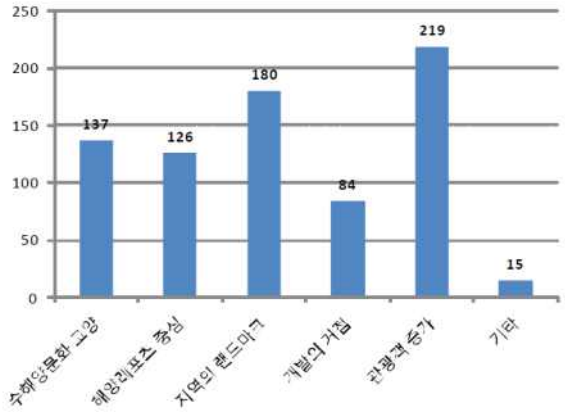
② 요트 등 해양 레포츠의 중심이 될 것이다.

③ 지역을 대표하는 랜드마크가 될 것이다.

④ 새만금 개발의 거점 역할을 할 수 있을 것이다.

⑤ 관광객의 증가에 기여할 것이다.

⑥ 기타 _____




- 관광객 증가에 기여 > 랜드마크 > 수해양 문화 고양 등을 기대하는 것으로 응답
- 새만금 마리나클럽을 주말이나 휴가철, 가족단위로 방문하겠다는 응답이 다수
- 향후 새만금 개발을 위한 마스터플랜 작성 시 방향 제시 가능

## 4. 한국형 플로팅 마리나클럽의 스페이스 프로그램

### 가. 면적산정 기준

**클럽 하우스의 연면적 Fc**

**Fc = [(배의 종류별 보관척수) × (피크일 집중률) + (방문객 배의 척수)] × 3 × (1인당 면적 2~3㎡/명)**

**1인당 면적은 보통 2~3㎡/명**

**건축면적 M**

**M = (총바닥 면적) ÷ (층수) ÷ (건폐율)**

○ 피크일 집중률 = (계획일 가동 척수) / (전체 보관 척수) 0.3~0.5를 사용

0.3 : 대형 위주의 마리나

0.4 : 대형 소형 혼재형의 마리나

0.5 : 소형 위주의 마리나

○ 방문하는 배의 비율은 계류척수의 0.1~0.15 정도 적용

○ 배의 종류나 배의 크기에 따른 1척 당 이용자수로 평균 3인 적용 적정

딩기요트 : 2인/척

소형 모터보트 : 3인/척

중형 모터보트 : 5인/척

대형 모터보트 : 7인/척

크루저 요트 : 5인/척

○ 사례분석에 따른 한국형 마리나클럽의 공간구성 비율 적용에 따른 평균 공간 비율 추출, 설문조사에서 공간의 필요성이 크다고 판단되는 마리나시설에 1.2 계수 적용

○ 기준 면적 산정 후 이를 기준으로 공간 비율에 따라 클럽하우스 연면적 산정

○ 마리나클럽 연면적을 기준으로 층별 면적 산정

○ 1층 바닥면적과 외부 데크에 65~70% : 30~35% 비율을 적용

나. 면적산정 예시: 새만금 플로팅 마리나클럽의 스페이스프로그램

○ 전제조건

・계류척수 : 200척

・성격 : 복합중형

・위치 : 새만금 비응항 일원 또는 메가리조트 개발지

○ 스페이스프로그램 산정

・피크집중률 : 0.4 적용

・방문배 척수 : 0.1 적용

・배 1척당 평균 이용자 수 : 3 적용

・1인당 면적 : 2㎡/명

・공간분포 비율 적용

마리나전용시설 : 상업시설 : 공용공간 : 관리공간 = 16.25 : 48.75 : 30 : 5

・마리나시설 면적 [200 × 0.4 + 200 x 0.1] × 3 × 2 = 600㎡

・상업시설 : 1,800㎡

・공용공간 : 1,100㎡

・관리공간 : 200㎡

・마리나클럽 연면적 : 3,700㎡

・층별면적 : 1층면적 2,200㎡, 2층면적 1,500㎡

・외부데크면적

1층바닥면적 : 데크면적 = 65 : 35

데크면적 1,200㎡

함체면적 3,300~3,400㎡

○ 스페이스프로그램

[표 2-6-12] 스페이스 프로그램 산정 예시

| 구분 | | 주요실 | 면적 (㎡) |
|---|---|---|---|
| 마리나 | 교육공간 | 교육실 | 600 |
| | 샤워및탈의공간 | 샤워실(남/여), 탈의실(남/여), 락카룸(남/여) | |
| | 편의공간 | 상점, 물품보관실, 장비보관실 | |
| 상업 | 식음공간 | 카페, 식당 | 1,800 |
| | 집회및문화공간 | 다목적실 | |
| 공용공간 | | 로비, 라운지, 복도, 계단 등 | 1,100 |
| 관리공간 | | 사무실, 운영사무실, 기계실, 전기실 | 200 |
| 마리나클럽 연면적 합계 | | | 3,700 |
| 데크 면적 | | | 1,200 |
| 함체 면적 | | | 3,400 |

## 5. 사회적 이슈를 반영한 플로팅건축 디자인

### 가. 다기능 플로팅데크 디자인 개발

○ 전 해양수산부는 전국 국가어항을 대상으로 한 ‘10항10색 국가어항 만들기 프로젝트’ 실시계획과의 연계 가능성 모색

- 어촌의 지속가능한 발전을 도모하고 어항을 지역경제의 중심으로 육성, 연안지역의 성장모델을 만들기 위해 추진하는 사업
- 각 어항의 고유한 자원을 활용하여 어항의 가치를 높이는 목적
- 해수부 어촌어항과 담당으로 2014년 7월 공모를 통해 10개 어항 선정
- 2016년부터 5개년 계획으로 사업 시행 후 2021년 오픈 예정

○ 플로팅건축물 실현을 위한 마켓 발굴 마켓 발굴

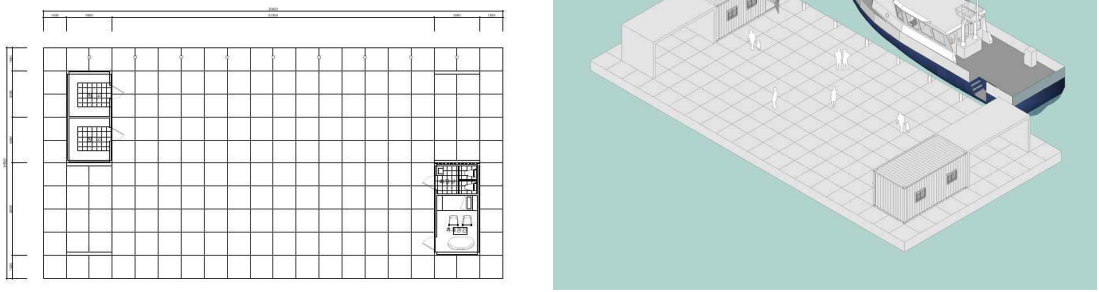
○ 다기능 플로팅데크의  설계 기초 마련

- 어항의 복합화에 대비하고, 해상 안전 등을 고려하여 다양한 기능을 수행
- 어항 이용자의 시간주기에 따른 full-time cycle 대응



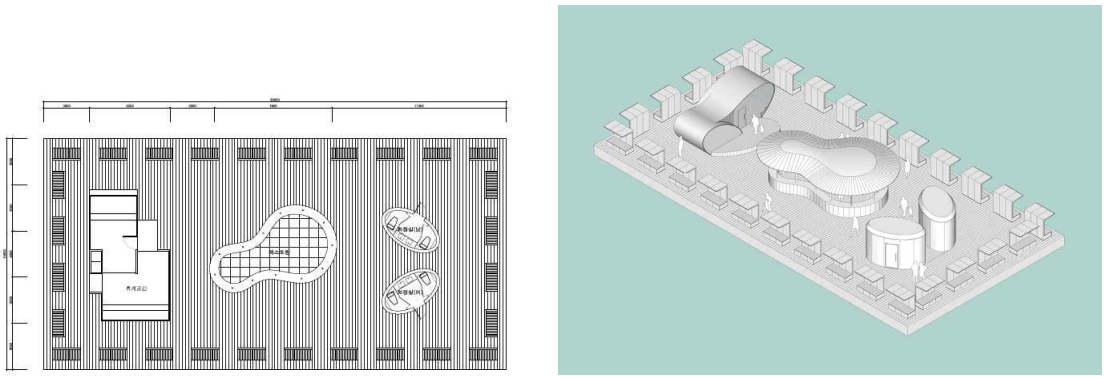

[그림 2-6-2] 다기능 플로링데크

· 작업용 데크: 일반적으로 어항 주변은 어획한 수산물의 양륙 및 적재, 어망분리 및 부착물 제거, 반출 등 다양한 어업관련 작업 영역으로 쓰임. 다기능 플로팅데크를 통해 어항의 위생관리 및 작업자들의 환경 개선을 위한 방법으로 플로팅데크의 역할 기대



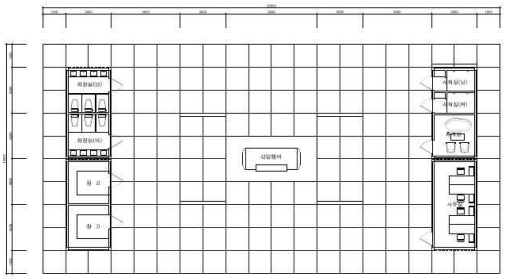
[그림 2-6-3] 작업용 플로링데크

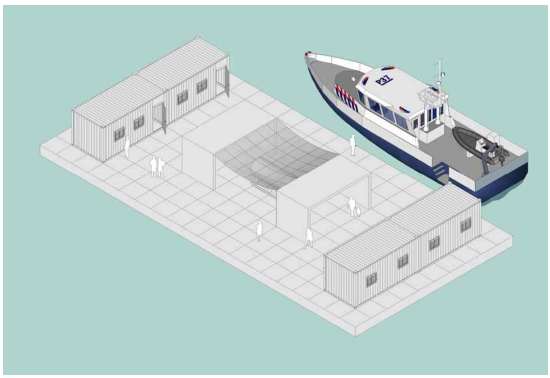
· 레저용 데크: 관광과 접목된 어항의 개발 필요성 증대에 따라 증가하는 낚시 수요 증대와 해양 레저활동을 지원하기 위해서 친수공간을 확대한다는 관점에서 접근



[그림 2-6-4] 레저용 플로링데크

· 구조용 데크: 해상안전 사고나 재해재난 시 구조활동을 지원하는 스테이션 기능, 예인선에 의해 사고 지점으로 이동 후 구조 활동. 구조 관련 다양한 설비 정착 및 각종 설비라인의 공급 등 고려





[그림 2-6-5] 구조용 플로링데크

나. 플로팅건축물 실현을 위한 향후 공간수요 조사

○ 국내 플로팅건축물 중 인지도가 가장 큰 플로팅아일랜드를 대상으로 공간수요 측정을 위한 설문조사를 2015년 4월 진행, 238부의 유효설문 분석

○ 세빛섬 현황

· 2006년 시민공모 아이디어에서 출발, 공공기관인 서울시 한강사업본부 발주한 BOT(Build-Operate-Transfer)[40] 방식의 수익형 민자사업으로 진행

· 해안건축 설계, 대우건설 시공으로 2009년 3월부터 2011년 9월까지 2년 6개월의 시공기간을 거쳐 준공

· 준공 후 운영사업자를 선정하지 못해 3년 동안 표류하다 2014년 5월 ㈜효성이 서울시와 향후 20년 동안 투자사업자 및 운영주체로 선정, 세빛섬사업단을 조직하고 그 해 10월15일 '섬 세빛(Some Sevit)'으로 개명과 함께 공식 개장

· 현재 세빛섬은 사업자가 직접 운영하는 식음료 공간과 임대사업자를 통해 운영되는 공간으로 구분해서 운영[41] 중이며, 개장이후 4월까지 일평균 2,000명이 방문하는 매력적인 장소이자 서울의 랜드마크로 변모

40) 개발 프로젝트를 수주한 시행사가 사업에 필요한 자금을 조달하고 건설을 마친 후 자본설비 등을 일정 기간 동안 운영하는 방식이다. 공간의 운영수익으로 건설자금을 충당하고 부채를 상환하는 한편 지분 투자자에 대해 배당을 하며, 운영기간이 종료되면 발주처에 양도하는 과정으로 진행된다. 이러한 방식은 주로 자금조달이 어려운 개발도상국이나 국가사업의 민영화를 추진하는 국가들의 인프라 개발에 도입되고 있다. 플로팅아일랜드의 경우 초기 BOT 참여사 중 주 사업투자자의 부도로 인해 난항을 겪었다.

41) 세빛섬은 가빛(식음공간과 컨벤션), 채빛(뷔페 레스토랑), 솔빛(전시 및 행사공간)의 3개 플로팅건축물과 예빛의 플로팅무대로 구성되어 있다. 효성은 가빛섬의 이탈리안 식당과 채빛섬의 뷔페 레스토랑을 직영하고 있다.

[표 2-6-13] 세빛섬 프로그램 현황

| | program | operation |
|---|---|---|
| gavit | 1F_ CNN cafe, Ola Italian Restaurant * <br> 2F_ Convention Hall <br> 3F_ Vista Pup | * directly managed by Hyosung |
| chavit | 2F_ chavit cuisine * | |
| solvit | 1F_ exhibition hall * | |
| yevit | outdoor stage * | |




○ 설문응답자의 인구통계학적 특성

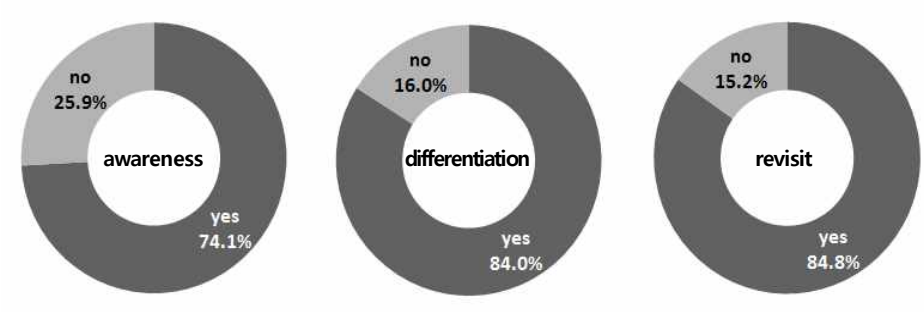
[표 2-6-14] 설문응답자의 인구통계학적 분포특성

| | | percent(%) |
|---|---|---|
| sex | female | 56.1 |
| | male | 43.9 |
| age | 20s | 64.1 |
| | 30s | 20.3 |
| | 40s | 5.2 |
| | 50s | 8.5 |
| | more than 60s | 1.9 |
| profession | self-employed | 1.9 |
| | public service personnel | 3.3 |
| | employee | 21.4 |
| | student | 47.5 |
| | household | 2.5 |
| | Agriculture, Forestry and Fisheries | 0.5 |
| | service industry | 2.5 |
| | professionals | 13.3 |
| | etc. | 7.1 |
| average revenue per month (unit: 10000won) | less than 100 | 19.5 |
| | 100 ~ 200 | 18.0 |
| | 200 ~ 300 | 22.5 |
| | 300 ~ 400 | 12.0 |
| | 400 ~ 500 | 7.0 |
| | more than 500 | 21.0 |

| | | |
|---|---|---|
| education level | middle school graduates | 0.0 |
| | high school graduates | 26.3 |
| | university graduates | 53.9 |
| | advanced degree holders | 18.2 |
| | etc. | 1.9 |
| residential address | Seoul | 51.0 |
| | Busan | 1.5 |
| | Daegu | 5.3 |
| | Daejeon | 1.0 |
| | Incheon | 0.5 |
| | Ulsan | 1.0 |
| | Gwangju | 1.0 |
| | Chungcheong-do | 2.9 |
| | Gyeonggi-do | 24.3 |
| | Gyeongsang-do | 2.9 |
| | Jeju-do | 1.9 |
| | Jeolla-do | 6.7 |
| major | architecture major | 34.9 |
| | none architectural major | 65.1 |
| total | | 100.0 |

○ 플로팅건축물에 대한 인지현황, 차별화된 이미지 여부, 재방문 의사

- 74.1%에 해당하는 157명의 설문응답자 대부분이 플로팅건축물에 대해 이미 인지하고 있었으며, 교육수준이 높을수록, 서울과 수도권 지역 거주자의 경우 인지도가 높게 나타남
- 84.0%의 설문응답자가 플로팅건축물이 일반건축물과 다른 차별화된 이미지를 가지고 있다고 답했고, 건축전공자는 이 보다 높은 91.0%의 답변
- 세빛섬의 방문 이유는 지인과의 약속(29.3%) > 플로팅건축물 공간체험을 위해 의도적으로(23.2%) > 집 근처이므로(20.2%) > 행사나 모임 참여(15.2%) > 기타(12.1%) 순으로 집계

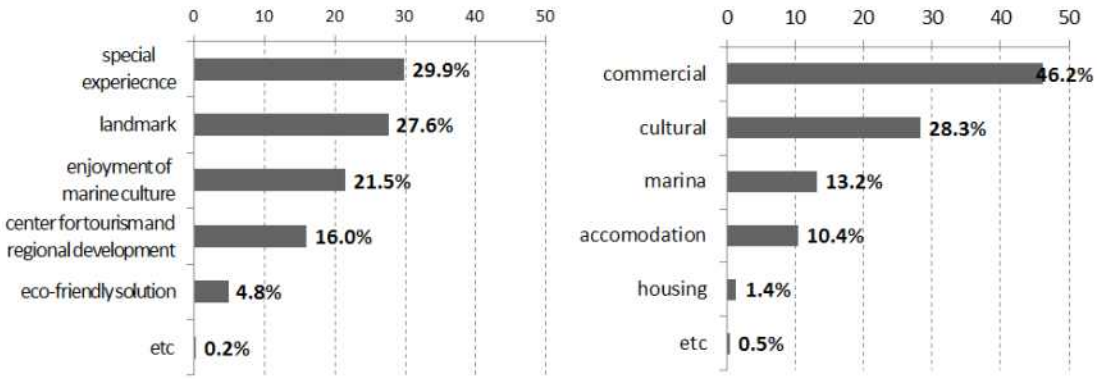



[그림 2-6-6] 주요 설문 내용

○ 플로팅건축물에 대한 이미지 설명할 수 있는 형용사 추출

○ 플로팅건축물의 특장점: 특별한 공간체험(29.9%) > 랜드마크(27.6%) > 수해양문화 향유(21.5%) > 관광 및 개발의 거점(16.0%) > 지구온난화에 대비하는 친환경성(4.8%)

○ 플로팅건축물에 대한 기대 프로그램: 상업시설(46.2%) > 문화시설(28.3%) > 마리나시설(13.2%) > 숙박시설(10.4%) > 주거시설(1.4%)




[그림 2-6-7] 특장점 및 기대 프로그램 그래프

다. 플로팅건축물 시장 예측

[표 2-6-15] 형용사 추출

| [-] | | [+] |
|---|---|---|
| 배 같은<br>like a ship | 1 -0.20 | 일반 건물 같은<br>like a general building |
| 물위에 떠있어 불안한<br>apprehensive | 2 1.71 | 물위에 떠있는 특별한<br>unique |
| 내부 용도가 다양한<br>having the various programs | 3 1.81 | 한강 전망이 뛰어난<br>having a distinguished view |
| 주간 조망이 뛰어난<br>with a daily splendid view | 4 1.53 | 야간 경관이 아름다운<br>with a beautiful scenary at night |
| 산책하다 들릴 수 있는<br>easy to visit | 5 0.14 | 사진 촬영하기 좋은<br>photogenic |
| 일상적인<br>daily | 6 1.53 | 분위기 있는<br>having a special mood |
| 주변과 어울리는<br>well-balanced with context | 7 1.42 | 랜드마크로 눈에 띄는<br>remarkable as a landmark |
| 모임이나 행사에 적절한<br>proper to meeting & event | 8 -0.49 | 편안하게 쉴 수 있는<br>able to rest |
| 관광객들이 자주 찾는<br>popular with tourists | 9 0.23 | 시민들이 즐길 수 있는<br>enjoyable for citizen |
| 계절, 날씨에 따라 제한적인<br>restricted by weather | 10 -0.56 | 계절, 날씨의 영향이 없는<br>not associated with weather |
| 접근하기 어려운<br>hard to access | 11 0.24 | 접근하기 쉬운<br>easy to access |
| 다양한 상업시설이 위치한<br>commercialized | 12 0.27 | 공공성을 지닌<br>pursue the public interest |
| 과다한 세금으로 건설된<br>built with tex | 13 0.23 | 서울의 명소로 추천할만한<br>recommendable attraction place |

○ 일반 플로팅건축 시장으로 한정해서 예측

○ 기간은 향후 2016~2025년 10년 전망

○ 시장의 구성: ①지자체 주도사업 형태, ②해수부 주관 다기능어항 프로젝트, ③민간시장 등 총3개 유형으로 구분

○ 유형별 시장 전망

① 지자체 주도사업

- 세종시 포함 17개 시도 단위  대상
- 서울(세빛섬, 서울마리나), 포항(해상공원) 기 추진
- 50%에 해당하는 8개정도의 지자체 수요 예상
- 400억원 규모 예상

② 해수부 주관 다기능어항 프로젝트

- 1단계로 2016년까지 10항10색 사업 진행
- 후속사업 진행 예정
- 단위사업 400억 중 10%~15% 정도의 플로팅건축이나 구조물 신축 가능한 것으로 전망

- 500억원 예상

③ 민간시장

- 개인수요로 인해 발생하는 시장
- 100억원 규모 예상

○ 총 시장 전망

- 직접 프로젝트 수요 향후 10년간 **1000억원** 규모 시장
- 설계, 시공 등에 걸쳐 일자리 창출, 지역경제 활성화 등 간접 효과 추가 가능

# 제7절 플로팅 건축 BIM 설계 기술

## 1. 플로팅건축 설계시스템 국내외 사례조사

### 가. BIM을 이용한 건축설계에 관한 국내외 사례 조사

(1) BIM 활용의 필요성

○ 정보화에 기반을 둔 BIM(Building Information Modeling)이 건축설계의 새로운 패러다임으로 대두되어 급속히 보급되면서 건축설계프로세스의 변화를 초래함[42)]

○ BIM기반의 설계시스템의 도입 필요성은 다음 다섯 가지 정도로 요약 할 수 있음

- 비정형 대응 ; 규격화 건물에서 독창적이며 비정형화 하려는 시도 증대
- 공공발주대응 ; 정부주도하에 연구 및 보급이 진행 중
- 친환경 대응 ; 친환경 요소를 반영하는 그린빌딩의 요구가 증대-첨단설계기술 적용 요구 증대
- 경제성 확보 ; 공기 단축 및 설계 및 공사오류 감소 등으로 평균 총공사비의 2.9%가 절감[43)]
- 협업 및 통합설계 ; 대형화, 복잡화에 따른 협업의 증가로 인한 통합설계프로세스의 요구 증대

(2) 국내 사례별 BIM의 적용 범위

○ 국내 사례를 조사하여 본 결과, 각 프로젝트에서 BIM은 비정형 대응 및 발주처 주도, 또는 Design Develope단계에서의 필요에 의해서 적용되었음을 알 수 있었으며 적용 솔루션은 다음의 [표 2-7-1]과 같음

○ 이에 따른 국내 BIM 도입현황의 특징을 살펴보면 국내에서는 BIM은 건설 산업 선진화를 위한 정책으로 BIM 발주를 확대하고 있으나 여전히 BIM적용을 위해 개선하고 지원해야할 요소들이 많으며,[44)] 조사한 사례에서의 특징은 아래와 같음

- BIM 데이터 구축의 부재 즉 ,Family Library의 부재
- 단계별  활용목적에 따른 BIM 솔루션 부분적 적용 통합설계의 역할이 필요

42) 서창석, 함남현, 김재준, 설계단계에서의 BIM기반 통합설계 프로세스 적용 방안에 대한 연구, 한국건축시공학회, 2010

43) 미국 AIA(American Institute of Architects) 발표

44) 이상헌, 배경진, 양혜미, 전한종, 중소규모 건축설계사무소의 BIM인식과 실용적인 적용을 위한 BIM템플릿 개발에 관한연구

[표 2-7-1] 국내 사례별 BIM적용 범위 및 특징

| 구분 | 포로젝트 명 | 사진 | 설계단계별 BIM 적용 | | | | BIM 솔루션 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 계획 | 기본 | 실시설계 | 시공 | |
| 1 | 한국 전력거래소 (KPX) |  | 현상공모에서부터 BIM기반 설계 적용(진행중) | | | | Revit |
| 2 | 노들섬 오페라 하우스 |  | 비정형건축의 효율적 표현과 시공을 위한 BIM 적용 | | | | Rhino 3D + Digital project |
| 3 | 한강 프로팅 아일랜드 |  | 자유곡선의 디자인 및 시공을 위한 부분적 BIM 적용 | | | | Rhino 3D |
| 4 | 동대문 디지인 프라자 (D에) |  | 비정형건축의 효율적 표현과 시공을 위한 BIM 적용 | | | | Rhino 3D + Digital project |
| 5 | 여수 세계박람회 주제관 |  | 비정형건축의 효율적 표현을 위해 Design Part만 적용 | | | | Rhino 3D + Digital project |
| 6 | 용인 시민체육 공원 |  | 설계 프로세스 전체에 BIM을 적용한 턴키방식 발주 | | | | Rhino 3D + Revit |
| 7 | 인천 세계도시 건축 기념관 |  | 비정형건축의 효율적 표현과 시공을 위한 BIM 적용 | | | | Rhino 3D + Digital project |
| 8 | 성균관대 학술정보관 |  | 실시설계의 효율성을 위한 BIM 적용 | | | | Revit |
| 9 | 서울대학 병원 지하 복합 진료 공간(BTL) |  | 공사비 절감을 위해 계획설계부터 BIM설계 적용 | | | | Rhino 3D + Digital project |
| 10 | 양주회천 지구 A-1BL 공동주택 |  | BIM기반 설계를 바탕으로 통합적 설계 구현 | | | | Revit |

- 발주자 및 건설업계전반의 BIM의 개념의 미정립과 함께 보편화 필요
- 협업을 위한 BIM 코디네이터의 부재
- 건축 설계 뿐만 아니라 관련 협업사들의 BIM이해도 및 활용능력의 부재

- 개별 솔루션들 간의 호환성 문제

나. 플로팅 건축 기획단계에서 BIM 적용방안 연구

(1) 국내외 플로팅건축 사례

[표 2-7-2] 국내외 플로팅건축 사례

| 구분 | 사진 | 명칭 | 위치 | 면적(㎡) | 주요 구조체 | 용도 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 |  | Water Purifying Floating + Pool Cleans New York's Rivers | 미국/뉴욕 | - | 강재(철골) | 수영장 |
| 2 |  | Marina bay Floating Stadium | 싱가폴 | 12,000㎡ | 강재(철골) | 스타디움 |
| 3 |  | Floating Island | 한국/서울 | 9,208㎡ | 강재(철골) | 문화집회 |
| 4 |  | Sakaigahama Marine Park Aquarium | 일본/ 오모모치 | 12,000㎡ | 강재(철골) | 문화집회 |

(2) 플로팅 건축 설계 시스템의 특성과 기존 건축 설계 시스템의 차별성

○ 수해양공간이라는 환경의 차이로 인한 외부 해상 환경인자들의 증가로 인해 일반육상건축물과 달리 플로팅건축에서 요구되어지는 건축성능역시 구조, 설비, 시공 등 플로팅건축 전분야에서 비약적으로 상승

○ 플로팅건축의 설계과정에서 건축주 및 사용자의 요구와 관련분야에 대한 기술적인 문제들의 증가로 인해 과거보다 더 많은 분야 전문가간의 정보소통(Communication)과정을 통한 지식의 습득과 의사결정과정을 필요

(3) 플로팅건축에서의 BIM(Building Information Modeling)의 활용 및 역할

○ 프로젝트의 효율성 증대 ; 플로팅 건축물 각 공정별(상·하부구조)로 정보를 손쉽게 이해하고 서로의 의사를 원활하고 신속하게 소통하여 공기 단축과 중복업무를 상쇄

○ 상호 운용성 증대 ; 플로팅 건축물에서 각 공종별 시스템간의 정보교환-특히 플로팅건축에서 가장 중요한 항목인 무게중심(하중)관리를 통한 엔지니어링 분석과 이종 산업과의 통합, 유지관리 정보로 활용

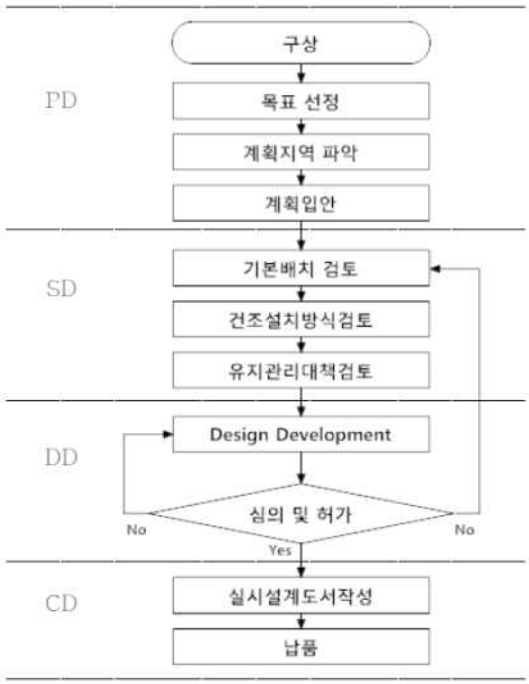
○ 설계와 시공 DATA Base 구축 ; 플로팅 건축에서의 축적된 정보는 향후 관련분야에 적용하여 끊임없는 변화의 근간이 되며 나아가 플로팅 건축의 비용절

감, 공기단축, 독창적인 디자인과 효율적인 건물운영이 가능한 핵심기술의 역할 수행

(4) 플로팅 건축의 설계단계에서 BIM의 적용을 위한 설계 프로세스 제안

○ 플로팅건축설계 Flow Chart

- 설계프로세스의 구축을 위해 구분된 설계단계와 각 단계별 플로팅건축의 기본계획의 알고리즘 구축
- PD (Planning Design)단계에서는 프로젝트의 구상과 건물의 규모나 사업성 등을 고려한 목표 수립
- SD(Schematic Design)단계에서는 기본배치를 검토 및 건조설치방식과 향후 유지관리대책 검토
- DD (Design Development)단계에서는 SD단계에서 발전되어온 계획안을 결정하고 심의 및 허가를 취득
- CD(Construction Documents)단계에서는 시공을 위한 실시설계도서와 시방서등을 작성



[그림 2-7-1] 플로팅건축의 기본 Flow Chart

○ 플로팅건축의 기능적 요구사항

- 해상환경에서의 부유식 건축물의 구현이라는 기존의 건축과 상이한 환경조건을 고려하여 플로팅건축 설계에서 각 단계별 알고리즘에서의 항목별 액티비티(Activity)를 구체화하기 위해 새로운 기능적 요구사항 고려

[표 2-7-3] 플로팅건축의 기능적 요구사항

| 구분 | 기능적 요구사항 |
|---|---|
| 계획 | ·동요에 따른 거주성 확보 ·상부건축물과 플로팅구조물 배치고려<br>·육상과 구조물 연결방안 검토 · 상징성 및 주변 경관을 고려한 디자인<br>·강풍및 파도를 고려한 설계 ·동선검토 ·최적 재료설계 |
| 구조 | ·재료 내구설계 · 초기중량 및 중심위치 검토 ·상부구조물 구조에 따른 형상<br>·중량 및 수심 고려 · 충분한 복원성 확보 ·고박설비 검토 ·최적의 건현 검토 ·육상과 구조물 연결 접합 검토 ·상하부 접합검토 |
| 시공 | ·해양현장에서의 시공성 확보 ·건조장소 및 방식검토 ·운송방식 검토<br>·하부구조 유지관리계획 |
| 환경 | ·사회지리적 환경 및 기후해상환경 검토 · 오수처리개념 고려 ·친환경 에너지설계<br>·물리적 및 생태학적 환경영향평가 계획 |
| 설비 | ·밸러스트 탱크 배치 및 설비 검토 ·해양환경에서의 방오기술<br>·신재생에너지활용을 통한 친환경설계기술 |
| 기타 | ·방재 및 방파제, 계류시스템 검토 |

○ 플로팅건축 요구사항에 따른 협업의 범위 및 내용

- 플로팅 건축의 새로운 기능적 요구사항의 증가는 기존 건축설계 프로세스에서 보다 다목적 최적화된 설계를 필요로 하며, 새로운 협업사(하부 함체 설계자)의 참여에 따른 다양한 정보가 상부구조 설계사(건축설계 및 엔지니어링)와 상호 교환되어 의사결정이 이루어지게 됨

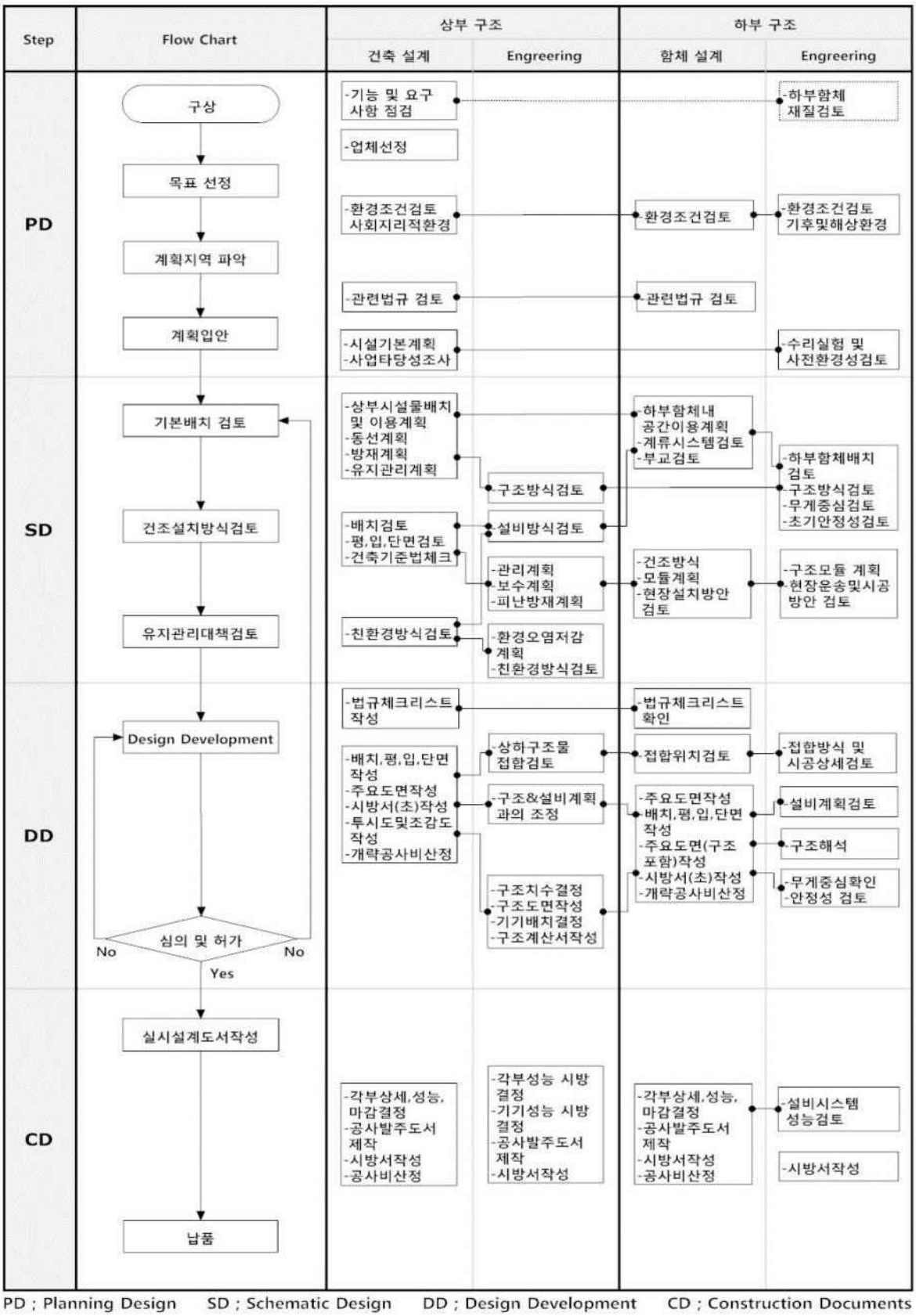



[그림 2-7-2] 플로팅건축 요구사항에 따른 협업의 범위 및 내용 45)

○ 협업 및 의사결정흐름에서의 플로팅건축의 설계프로세스

- 설계프로세스의 작성 시, 단계별 Step과 그와 관련한 Flow Chart 상에 협업의 주체를 크게 상부구조와 하부구조로 구분하고, 각각 설계와 엔지니어링으로 구분하여 기능적 요구사항 및 각 단계별, 항목별 액티비티(Activity)를 설계진행에 관련한 흐름에 따라 연계함
- 상부구조의 경우 설계사와 엔지니어링 파트와의 업체의 역할과 책임구분이 명확하였으나, 하부구조의 경우 현재 전문 업체나 조선엔지니어링 등 한 업체 내에서 파트로만 구분되어 있는 경우가 많으나 본 연구에서는 업무의 형태적 구분을 위해 분리함
- 이에 따른 플로팅건축의 설계 프로세스와 정보 교환 체계를 <그림 03>과 같이 작성하였으며 설계프로세스는 협업에 따른 업무주체 간의 정보 연계를 시각화하는데 중점을 두었고 특히 플로팅건축에서는 SD설계 단계부터 상부하중의 정보 값에 대한 관리가 최우선적으로 검토되어야 하며 또한 설계 시에는 해상이라는 특수한 환경을 고려하여 기준점의 확보가 선행되어야함

45) 홍사영, 초대형 부유식 해상구조물 설계매뉴얼, 한국해양연구원 2007.




[그림 2-7-3] 플로팅건축설계단계별 정보교환체계

나. 플로팅 건축의 소요 기술 정보 DB 구축

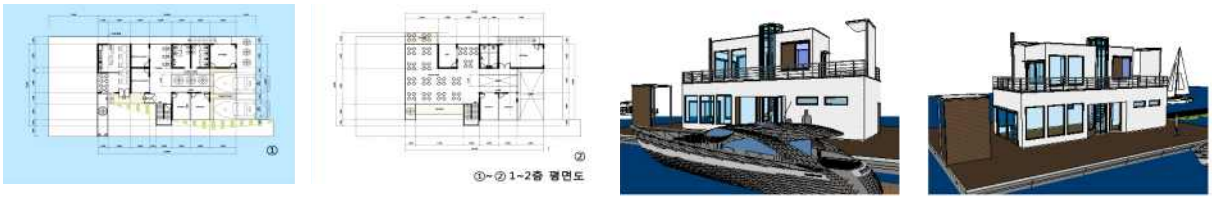
(1) 플로팅건축 상하부구조 BIM기반 DB 구축

○ BIM기반의 플로팅건축에서 요구되는 상하부구조의 DB를 작성하고 그와 함께 플로팅건축설계단계에서의 소요정보를 담을 ‘틀’로써의 템플릿을 작성하였음

(가) 플로팅건축물 BIM 템플릿

○ 정온수역 내 플로팅건축 설계기획안의 작성을 위한 BIM기반 템플릿 개발

○ ‘M’ 사의 House Pontoon 및 계류 장비를 사용한 플로팅건축계획 구현



[그림 2-7-4] 플로팅건축계획안

○ BIM기반 플로팅건축설계 템플릿의 대상요소 및 입력사항

– 일반적으로 BIM의 템플릿 대상요소는 [표 2-7-4]의 내용과 같이 분류할 수 있음

– 플로팅건축설계 템플릿은 상지건축 BIM 표준 템플릿[46]과 ‘J'건축사무소가 빌딩스마트협회를 통해 배포중인 'JID BIM Template Guide' 그리고 'KABIM User Guide v1.0'을 바탕으로 커스터마이즈하여 작성하였으며 플로팅건축 설계와 관련하여 입력되어야할 소요정보를 나타냄

46) 당사인 (주)상지건축엔지니어링건축사사무소에서 자체 개발 중인 BIM템플릿

[표 2-7-4] 플로팅건축설계 Template의 대상요소 및 입력사항[47)]

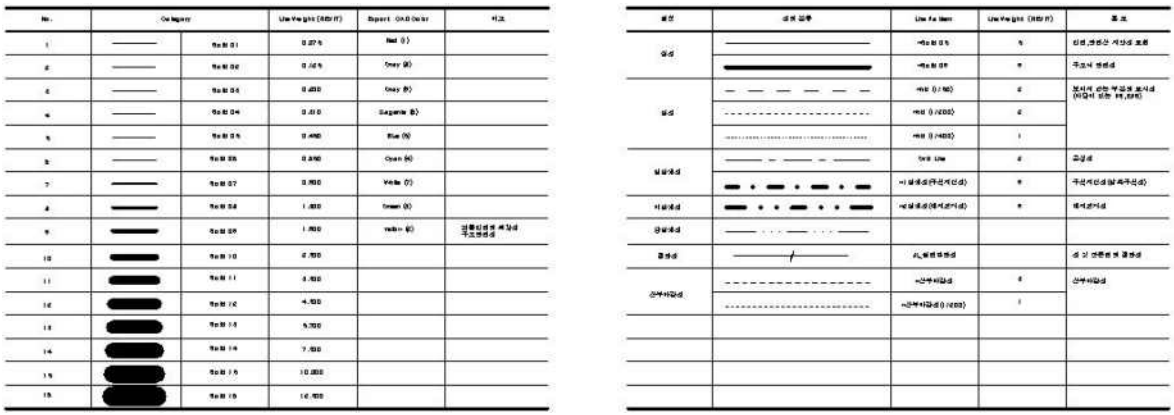
| 구분 | 내용 | 요 소 | 입 력 사 항 |
|---|---|---|---|
| Graphic Standard | 도면작업에 필요한 모든 2차원적인 요소를 통틀어 관리 | - 선 Pattern 및 굵기 | - |
| | | - 주석 및 도면 기호 | - |
| | | - 재료표기 및 Color Setting | - 바다 및 강을 구분하여 입력 |
| BIM Contents | 모든 건축요소의 전달을 위한 Preloading | - Parametric 요소들의 사전작업 | - 상부건축 DB(Family) 입력<br>- 하부구조 DB(Family) 입력 |
| | | - 유사프로젝트를 위한 기본요소전달 | - GL이아닌 수면레벨(WL) 개념 |
| | | - 상세도를 위한 요소 사전관리 | - |
| 도면 및 일람표 | 필수적인 도면 사전 작성 및 일람표 작업 | - 도면 사전 작업 및 Setting | - 폰튠 등 플로팅건축 가이드라인의 해당 작업VIEW에 배치 |
| | | - Parametric Schedule 관리 | - |

(나) 플로팅건축설계 Template의 소요입력정보

① Graphic Standard

○ 선 Pattern 및 굵기

- 상하부 재료 모두 기존의 재료범위 안에 있어 변경사항 없음



[그림 2-7-5] 선 Pattern 및 굵기[48)]

○ 주석 및 도면 기호

- 도면 작성에 필요한 주석 및 도면 기호역시 육상 건축의 표현범위 안에 있어 변경사항 없음

47) 서준석 김윤희, 이종환. BIM 설계 최적화를 위한 프로젝트 관리방안, 한국 BIM학회 정기학술대회 논문집, 2011
48) 이종환, JID BIM Template Guide, 정림건축, 2011

○ 재료 표기 및 Color Setting

– 플로팅건축에서 표현 되어야 할 해수 및 담수를 구분하여 재질 및 색상을 작성




[그림 2-7-6] 재료 표기 및 칼라 세팅

② BIM Contents

○ Parametric 요소

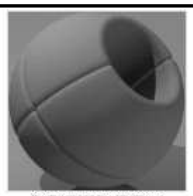
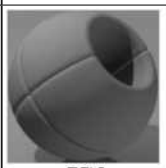
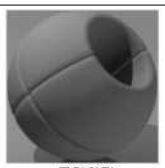
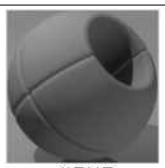
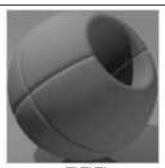
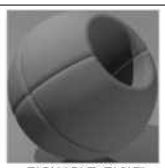
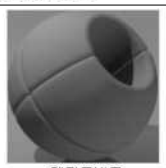
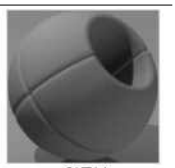
– 상부건축물 DB Library (Family)

– 기존 육상건축에 사용되는 DB와 함께 중·소규모 플로팅건축의 구현을 위한 상부 재료에 중점을 맞추어 DB 작성

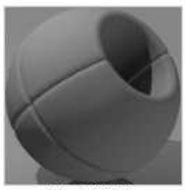
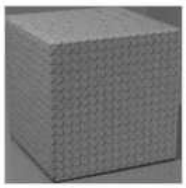
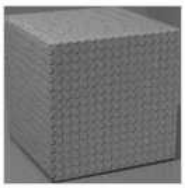
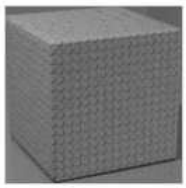
○ Parametric 요소 – 하부건축물 DB Library (Family)

– 연구단의 콘크리트를 이용한 하부 함체와 폰튠을 객체모델링 DB화에 중점을 두고 작성

[표 2-7-5] 상부건축물 DB Library

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SJ 경량재 |  -샌드위치판넬 |  -석고보드 |  C,R,C BOARD |  경량콘크리트판넬 |  발포폴리스텔렌혼합 기포콘크리트 |  플라스터 보드 | |
| SJ 기타 |  -공기층 |  -문양처리 |  -석고본드 |  -장판지 |  -타일붙임용 접착제 |  -테라조바름 |  -하드너 |
| SJ 목재 |  Gus - 왼쪽 |  LB 난간 목재 |  목재 - MDF, 중간 밀도 섬유 보드 |  목재 - 떡갈나무, 폭 |  목재 - 붉나무, 빨간색, 길이 |  목재 - 베니아 |  목재 - 베니아 2 |  목재 - 베니아 3 |
| SJ 몰탈 /방수 /단열재 |  -단열재접착모르타르 |  -석고플라스터 |  -섬유손 |  -시멘트모르타르 |  -타일붙임모르타르 |  -시멘트 액체방수 |  -발포폴리스티렌 | |

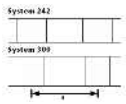
[표 2-7-5] 상부건축물 DB Library (계속)

| | |
|---|---|
| SJ 벽돌 /벽지 |  -0.5B 시멘트벽돌  -1.0B 시멘트벽돌  -벽돌 190x90x5711  -벽돌 210x100x60  -벽지  -천장지 |
| SJ 석재 |  -대리석  -대리석 300x300  -대리석 400x400  -석재판  -석재판 900x600  -테라조  -테라조 400x400  -화강석  -화강석 300x300  -화강석 400x400  루핑 - 슬레이트  석조 - 석재 |
| SJ 수목 /유리 |  대지 - 잔디  -유리블록 115x115  -유리블록 145x300  -유리블록 240x240 |
| SJ 페인트 |  -무늬코트  -바닥재용 도료  -수성페인트  -아크릴페인트  -에폭시페인트 |
| SJ 타일 |  -모자이크타일  -모자이크타일 25x25  -비닐타일  -비닐타일 150x1000  -비닐타일 450x450  -자기질타일  -자기질타일 200x200  -자기질타일 300x200  -자기질타일 300x300  -크링커타일  -크링커타일 150x150  -크링커타일 230x60 |

[표 2-7-6] 하부건축물 DB Library

| TYPE | FLOATS | M200 | M300 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| Concrete Pontoons | Size | 2000*2380*700 | 3000*2380*700 | Ice-resistant |
| | Weight(t) | 1,180㎏ | 1,600㎏ | |
| | 부력 | 2,150㎏ | 3,400㎏ | |

| TYPE | FLOATS | H2012ST | H2012STH | H2410ST | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| Steel Pontoons 2000, 2400 | Deck length(m) | 11.98 | 11.98 | 9.98 | |
| | Deck Width(m) | 2.0 | 2.0 | 2.4 | |
| | Floats | 2*M200 | 3*M200 | 2*M200 | |
| | Deck Weight(t) | 1.4 | 1.4 | 1.4 | |

| TYPE | FLOATS | S200 | S241 | S242 | S300 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| System Pontoons 242, 300 | Pontoon Width(m) | 2.0 | 2.4 | 2.4 | 3.0 |  |
| | Floats | M200 | M200 | M300 | M300 | |

| TYPE | FLOATS | P606 | P608 | P912 | N606 | N608 | N912 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| System Pontoons 1800, 2400 | Length(m) | 6.0 | 6.0 | 9.0 | 6.0 | 6.0 | 9.0 | |
| | Width(m) | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | |
| | Floats m30(n0.) | 6 | 8 | 12 | 6 | 8 | 12 | |

| TYPE | FLOATS | F6000 | F7500 | F9000 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| Mooring Fingers Pontoons | Length (m) | 6.0 | 7.5 | 9.0 | |
| | Width (m) | 0.7 | 0.7 | 0.7 | |
| | Total capacity(㎏) | 600 | 600 | 900 | |

| TYPE | FLOATS | M3015HP | M3015HPH | M3016HPH | M3516HPH | M3520HPH | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| House Pontoons | Length (m) | 14.92 | 14.92 | 15.92 | 15.92 | 19.92 | |
| | Width (m) | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.5 | 3.5 | |
| | Height (m) | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | |
| | Weight (t) | 17.6 | 20.3 | 21.6 | 25.2 | 31.7 | |

| TYPE | FLOATS | Bollard Type 1 | Bollard Type 2 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| Accessories | Base | 180*180mm | 240*240mm | |
| | Height | 185mm | 220mm | |
| | 재질 | 스텐인레스 스틸 | 스텐인레스 스틸 | |

○ 유사프로젝트를 위한 기본요소전달

- GL(Ground Level)이 아닌 WL(Water Level) 개념의 적용 등

○ 상세도를 위한 요소 사전관리

- 상하부 재료 모두 기존의 재료범위 안에 있어 변경사항 없음

- 시공을 위한 상세디테일까지는 자료 부족으로 인해 입력 못함

③ 도면 및 일람표

○ 도면 사전 작업 및 Setting

- 중, 소규모 플로팅건축물 설계 작업의 편리성을 위해 최소의 도서 목록을 입력
- 해당 View에 플로팅건축물 설계를 위한 부분적인 가이드라인 등을 제공하여, 실무자들의 수해양건축에 대한 이해도를 높임

○ Parametric Schedule

- Model과 관계된 각종 List들로 모델링을 진행하면서 실시간 업데이트 됨[49)]

(2) BIM을 고려한 플로팅건축 설계프로세스 개발

(가) BIM을 고려한 플로팅건축의 정보교환체계 시각화 모델링

○ 플로팅건축 설계에서 각 단계별 새로운 기능적 요구사항 정리하여 1차년도 연구내용에서 제시하였던 플로팅건축설계단계별 정보교환체계와 플로팅건축 설계단계에서의 기본계획을 바탕으로 시각화모델 작성을 위해 설계단계 구분

○ 각각 PD(Planning Design)단계는 A0로 구분하였고, SD(Schematic Design)단계는 A*2셀로, 그리고 설계도서가 작성되는 DD(Design Development)단계와 CD(Construction Documents)단계는 함께 묶어서 A*3셀로 나누어 정리하였음

① A0 단계 (기획입안단계)

○ 프로젝트의 구상과 건물의 규모나 사업성 등을 고려한 목표를 세우는 단계

- A0 : '구상 및 목표선정' 단계는 건축주(발주자)가 개발목표 및 추진요구 등의 사항을 기준으로 경제성 예측, 기능, 요구사항을 점검하고 환경조건 및 유사사례를 조사하여 하부함체의 재료선정과 그에 따른 설계업체가 선정되는 단계
- A*2 : 앞서 선정된 업체에 의해서 관련법규 및 설계기준을 바탕으로 '계획지역파악'을 통해 규모 및 구조기준, 현장분석 자료들이 도출되는 단계
- A*3 : '기초계획입안' 단계로써, 건축주(발주자), 상하부설계자에 의해서 관련법규 및 설계기준과 함께 이전단계에서 도출된 정보들로 시설기본계획, 규모정보, 타당성분석정보, 사업추진계획서 등이 도출되는 단계

49) 이종환, JID BIM Template Guide, 빌딩스마트협회, 2011

② A*2 단계 (기본설계단계)

○ 앞선 A0단계에서의 목표와 검토된 계획지역에서의 기본배치를 검토하는 단계

- A0 : 건축주(발주자), 상하부설계자가 참여하여 법규와 방재계획 등의 기준을 바탕으로 '기본시설을 배치'하는 단계로 무게중심 정보 및 동선계획, 계류시스템 및 부교정보, 규모에 따른 하부함체 이용계획 등의 정보가 도출되는 단계
- A*2 : '건조설치방식 검토단계'로 건축주와 함께 상하부설계자, 상하부엔지니어가 앞선 단계의 정보를 가지고 건조설치방식에 대한 계획, 현장운송계획, 시공계획 등의 정보가 도출되는 단계
- A*3 : 건축주(발주자), 상하부설계자, 상하부엔지니어가 참여하여 친환경 관련 기준 및 관련 법규에 의거 환경오염저감계획과 그에 따른 설비방식을 입력하여 ‘유지관리정보 와 관리 및 방재대책’ 이 도출되는 단계
- A*4 : '기본계획 도서작성'단계로 모든 협업의 주체가 참여하여 관련법규, 기준 및 방식을 바탕으로 기본계획에 따른 도서가 작성되는 단계

③ A*3 단계 (도서작성단계)

○ 계획안 결정, 심의 및 허가를 받고 시공을 위한 실시설계도서와 시방서를 작성

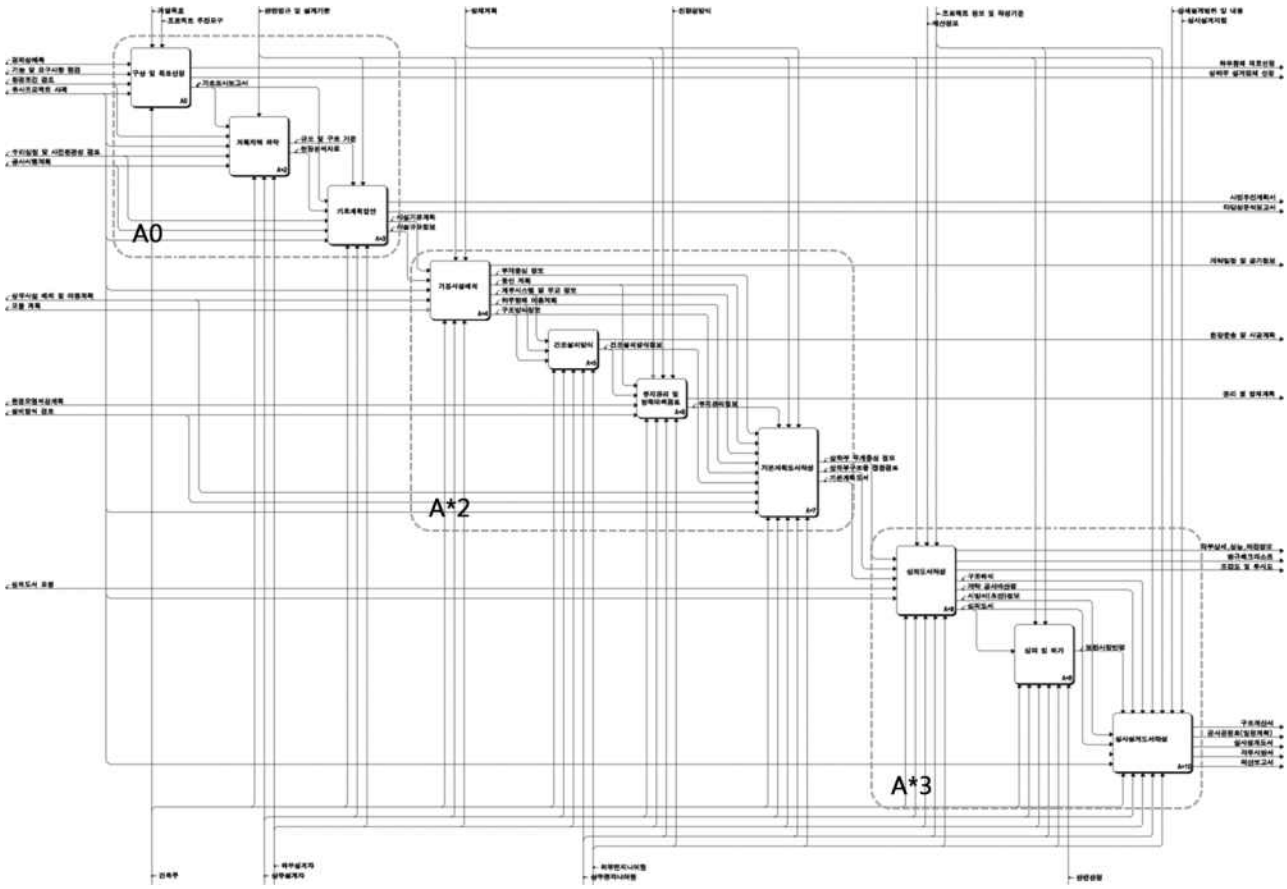
- A0 : 협업주체들이 참여하여 예산 및 법규, 작성기준을 바탕으로 '심의도서'를 작성하는 단계이며 각부상세, 성능, 법규체크리스트, 조감도 등이 도출되며 작성된 심의도서가 다음 단계의 정보값으로 입력되게 되는 단계
- A*2 : 심의 및 허가단계이며 관련법에 의해 관련된 관청이 참여하여 관련법규 및 기준 등을 바탕으로 설계단계에서 보완해야할 사항들이 도출되는 단계
- A*3 : 플로팅건축 설계의 마지막 단계로 앞선 단계에서의 설계도서와 관련법규, 보완사항과 상세설계의 범위 및 내용, 실시설계지침을 바탕으로 시공을 위한 ‘실시설계도서가 작성’ 되는 단계로 예상 공사비 등의 정보가 도출

④ BIM을 고려한 플로팅건축의 정보교환체계 시각화 모델

○ 작성된 플로팅건축설계 시각화 모델은 기존의 2D방식의 프로젝트 수행방식을 시각적 모델로 대체하여 프로젝트의 효율적 관리와 함께 플로팅건축에서의 기본적인 설계단계의 협업과 정보전달의 주체와 내용에 대하여 시각적인 분석이 가능

○ 각 세부 셀들은 다시 수치화 하여 세부화 될 수 있으나 현재 레벨에서의 모델만을 작성하였음

○ 이를 통하여 최종연구목표인 BIM 기반 플로팅건축설계프로세스 구성을 위한 기본적 토대를 작성하였음




[그림 2-7-7] 플로팅건축의 정보교환체계 시각화 모델

다. BIM기반 플로팅 건축 설계안 작성

(1) Test-bed 설계를 위한 BIM적용 플로팅건축 기획안 작성

(가) 플로팅 새만금 개발청사의 기획안

○ 새만금 개발 특별법 개정으로 인하여 새만금이 플로팅건축의 중심이 되고 새만금개발청사가 새만금의 랜드마크적인 역할을 수행하도록 플로팅 건축물로 계획함

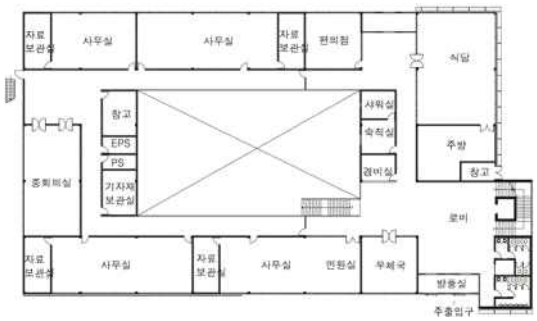
○ 새만금개발청의 조직 구성도가 완성되지 않아 새만금 군산경제자유구역청의 조직도를 참조하여 상시근무인원을 약 160명으로 예상하여 새만금개발청사의 스페이스 프로그램을 구성함

○ 사무실의 규모는 정부청사관리규정시행규칙 제2조 2항에 따른 청사취득 및 배정면적기준을 참조하였으며 청사에 중정을 계획하여 쾌적한 사무실 환경 조성함

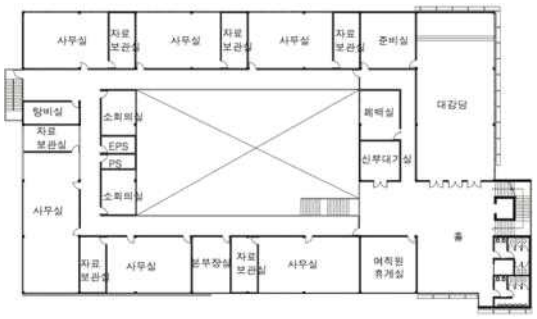
[표 2-7-7] 새만금개발청사의 스페이스 프로그램

| 구분 | | 실명 | 수량 | 계획(㎡) |
|---|---|---|---|---|
| 사무시설 | 청장실 | 사무실 | 1 | 66 |
| | | 비서실 | 1 | 33 |
| | | 접견실 | 1 | (50) |
| | 본부장실 | 사무실 | 2 | 33 |
| | 일반사무실 | 사무실 | 16 | 70 |
| | 자료보관실 | 자료보관실 | 6 | 25 |
| | | 문서고 | 1 | 100 |
| 소계 | | | | 1535(+50) |
| 회의시설 | | 소회의실 | 6 | 25 |
| | | 중회의실 | 2 | 136 |
| | | 대회의실 | 1 | 210(+100) |
| 소계 | | | | 632(+100) |
| 보안시설 | | 경비실 | 1 | 15 |
| | | 숙직실 | 1 | 20 |
| | | 샤워실 | 1 | 16 |
| 소계 | | | | 51 |
| 직원복지시설 | | 구내식당 | 1 | 225 |
| | | 휴게실 | 1 | 80 |
| | | 연금매점 | 1 | 50 |
| 소계 | | | | 355 |

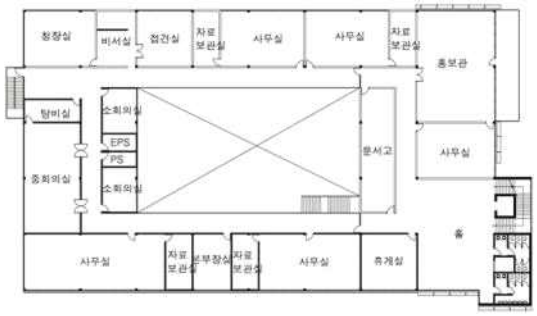
| 구분 | | 실명 | 수량 | 계획(㎡) |
|---|---|---|---|---|
| 대민업무시설 | 종합민원시설 | 종합민원실 | 1 | 50 |
| | 홍보시설 | 홍보관 | 1 | 100 |
| | 편의시설 | 우체국 | 1 | 35 |
| | | 은행(ATM) | 1 | 15 |
| 소계 | | | | 200 |
| 공용시설 | | 로비 | | |
| | | 홀 | | |
| | | 계단 | | |
| | | 화장실 | 2 | 64 |
| 소계 | | | | 840 |
| 관리시설 | | 기계실 | 1 | 95 |
| | | 전기실 | 1 | 80 |
| | | 정화조 | 1 | 75 |
| | | 물탱크 | 1 | 65 |
| | | 창고 | 2 | 60 |
| 소계 | | | | 235 |
| 총계 | | | | 3,848(+150) |



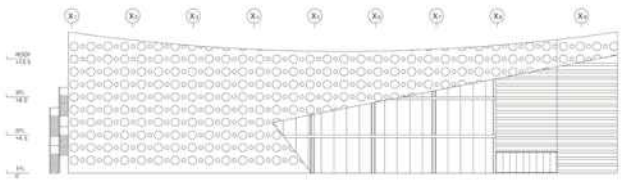

[그림 2-7-8] 새만금개발청사 1층평면도




[그림 2-7-9] 새만금개발청사 2층평면도




[그림 2-7-10] 새만금개발청사 3층평면도



[그림 2-7-11] 새만금개발청사 정면도

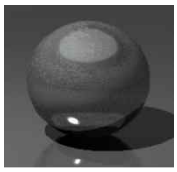
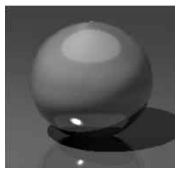
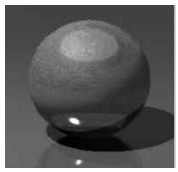
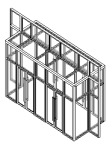
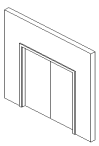
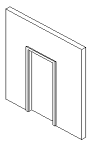
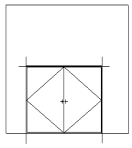
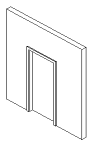
(나) 연구관련 DB 구축

○ 2차 년도의 연구결과물의 Revit DB에서 3차 년도의 기획안 모델을 구축 시 필요한 DB를 추가하였음

○ 향후에 플로팅건축 설계 시 필요한 인적네트워크 DB를 구축하였음

○ 건축사사무소와 푼툰 및 연결브릿지 외에도 기계설비, 가스설비, 전기설비, 알루미늄커튼월, 발전기, 수배분전반/부스덕트, 조명기구, 부유체 공사·부유체 제작장공사, 하부시설 (윈치류, 체인, 앵커바), 태양광발전 등에 관련된 업체의 DB도 구축되어 있음

[표 2-7-8] Revit DB 추가 항목

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SJ 바닥재 |  두시에 |  월넛 |  이로코 |  티크 |  오크 |  멀바우 |
| SJ 외장재 메탈 |  칼라강판 |  아연도 강판 |  알루미늄 복합판넬 |  스텐레스 |  코르텐 스틸 | |
| SJ 문 |  방풍문-A |  방풍문-B |  목재 양여닫 이문 |  목재 외여닫 이문 |  계단실 방화문 |  알루미늄 외여닫이 |

[표 2-7-9] 플로팅건축 인적 DB

| 구분 | 업체명 | 주소 | 전화번호 |
|---|---|---|---|
| 건축사사무소 | 상지엔지니어링건축사사무소 | 부산광역시 중구 남포동5가 92 신동아빌딩 5층 | Tel: 051)247-0208<br>Fax: 051)242-7687 |
| | 삼우종합건축사사무소 | 서울특별시 송파구 신천동 7-22 | Tel: 02)2184-5114<br>Fax: 02)2184-5901 |
| | 해안종합건축사사무소 | 서울특별시 강남구 봉은사로 208 해안빌딩 | Tel: 02)3438-8000<br>Fax: 02)3438-8100 |
| | 경암건축사사무소 | 서울특별시 강남구 논현동 234-27 명진빌딩5F | Tel: 02)545-4472<br>Fax: 02)508-6313 |
| | 희림종합건축사사무소 | 서울특별시 강남구 광평로 56길 희림빌딩 | Tel: 02)3410-9000<br>Fax: 02)3410-9090 |
| | 간삼건축종합건축사사무소 | 서울특별시 중구 신당동 407-27 간삼건축 사옥 | Tel: 02)2250-6000<br>Fax: 02)2232-0849 |
| | 정림건축종합건축사사무소 | 서울특별시 종로구 연건동 187-1 | Tel: 02)708-8600<br>Fax: 02)2039-6430 |
| | 종합건축사사무소 건원 | 서울특별시 강남구 역삼동 727-5 대일테크빌딩 | Tel: 02)3467-3111<br>Fax: 02)3467-3221 |
| | 창조종합건축사사무소 | 충남 서산시 동문동 707-1(부춘공원 1로 10) | Tel: 041)681-6333<br>Fax: 041)681-6336 |
| | 현대종합설계 | 서울특별시 종로구 계동 140-2 현대빌딩 | Tel: 02)746-6500<br>Fax: 02)746-6600 |
| | 한길종합건축사사무소 | 서울특별시 강남구 개포동 1230번지 유덕빌딩 3층 | Tel: 02)578-0311<br>Fax: 02)578-0312 |
| | 시아플랜건축사사무소 | 서울특별시 강남구 도곡동 467-6 대림아크로텔 16층 | Tel: 02)570-1004<br>Fax: 02)570-1003 |
| 구분 | 업체명 | 주소 | 전화번호 |
| 푼툰 및 연결 브릿지 | ㈜리노에스티 | 서울특별시 서초구 양재동 313-7 2층 | Tel: 02)3463-8175<br>Fax: 02)3463-8178 |
| | ㈜플로텍 | 충청남도 천안시 동남구 봉명동 212-5 2층 | Tel: 041)546-4416<br>Fax: 041)576-4417 |
| | ㈜씨포트 | 서울특별시 강남구 역삼동 837-16 동일빌딩 9층 | Tel: 02)6207-9100<br>Fax: 02)6207-0660 |
| | 멀티플로트 | 경기도 안양시 망안구 안양7동 219번지 | Tel: 031)447-7977<br>Fax: 031)443-7119 |
| | 얼라이언스마린 | 서울특별시 서초구 반포4동 107-8 대국빌딩 2층 | Tel: 02)3445-8566<br>Fax: 02)3445-8567 |
| | 에이스마린 | 서울특별시 금천구 가산동 60-73 벽산디지털밸리 5차 1307 | Tel: 02)866-7741<br>Fax: 02)866-7743 |
| | 신화마린 | 서울특별시 송파구 잠실동 1-2 | Tel: 02)7443-5120<br>Fax: 02)2202-5120 |
| | 씨플렉스 | 서울특별시 송파구 가락동 79-5 밀리아나2 804호 | Tel: 02)401-0758<br>Fax: 02)401-0759 |
| | 이음나루 | 경기도 안양시 만안구 안양7동 219-2 1층 | Tel: 031)345-7119<br>Fax: 031)624-2110 |

(2) BIM기반 플로팅건축물 정보교환모델

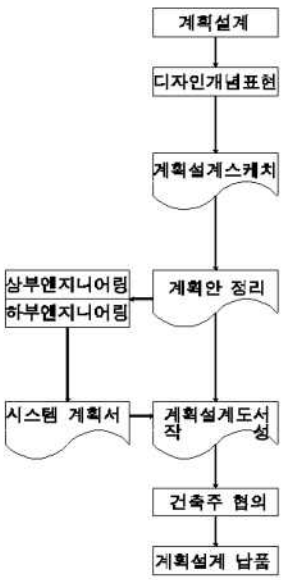
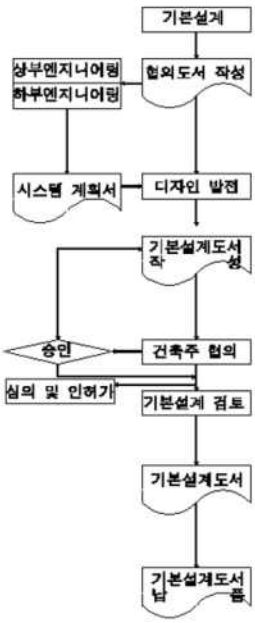
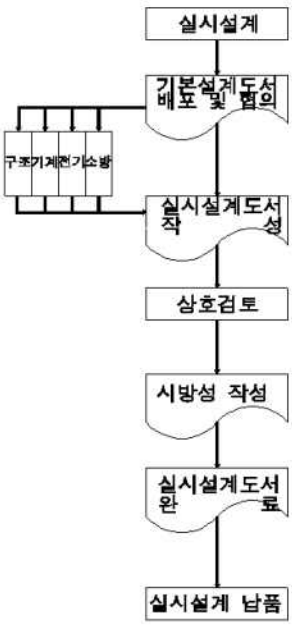
(가) 플로팅건축물 설계단계별 프로세스

○ BIM기반 정보교환모델 작성을 위해 플로팅건축물의 Flow-Chart 작성함

○ Flow-Chart를 통하여 각 단계별 업무의 주체를 구분함

○ BIM적용 가능요소를 Flow-Chart 도출하였음

[표 2-7-10] 플로팅 건축물 Flow-Chart

| PD (Pre-Design) | SD (Schematic Design) | DD (Design Development) | CD (Construction Documents) |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |

○ PD단계는 사업성 검토와 타당성 검토를 실시하며, 대지분석, 규모검토, 법규 검토 등을 실시함

○ SD단계에서는 기획설계단계(PD)의 내용을 토대로 건물의 규모와 예산, 기능, 각종 입면, 단면, 평면 등의 개략적인 도면을 생산함

○ DD단계는 계획 설계를 구체화하여 발전된 안을 정함

○ CD단계는 공사에 필요한 설계 도서를 작성함

(나) BIM기반 정보교환 모델

○ BIM기반 정보교환모델을 작성하기 IDEF0 모델을 활용하였음

○ Flow-Chart를 기반으로 IDEF0 모델의 Activity를 구분하였음

① A1 : 개념화단계

○ 건물의 규모와 공기, 지속가능성이나 친환경성을 고려하여 목표를 세우는

단계

- A11 : ‘구상 및 목표선정’ 단계는 건축주가 개발목표 및 추진요구 등의 사항을 기준으로 경제성 예측, 기능 및 요구사항을 점검하고 환경조건 및 유사사례를 조사하여 그에 따른 상하부설계업체가 선정되는 단계
- A12 : A11에서 선정된 업체에 의해서 기후, 해상, 또는 하상 수리환경 검토와 공사시행계획 등의 정보를 기반으로 ‘계획지역파악’이 이루어져 규모 및 구조기준과 함께 현장분석 자료들이 도출되는 단계
- A13 : ‘기획설계’ 단계로써, 건축주, 건축가와 함체설계자 의해서 관련 법규 및 설계기준과 함께 이전단계에서 도출된 정보들을 가지고 시설기본계획, 규모정보, 타당성분석정보, 사업추진계획서, 개략상부하중 등이 도출되는 단계

② A2 : 기준 디자인 단계

○ BIM을 도입하는 단계이며, 건축분야에서는 디자인 개념 표현, 건축디자인 등을 BIM모델을 구축하며, 엔지니어부문에서는 BIM모델을 시뮬레이션하여 평가하고 테스트하며, 계획안 작성 등의 기본적인 설계 도면을 작성하는 단계

- A21 : 모든 협업의 주체가 참여하여 이전 PD단계의 결과물로 상부시설 배치 및 이용계획, 모듈계획, 유사사례 등의 정보를 가지고 ‘기본시설을 배치’하는 단계로 플로팅건축설계에서 최우선적으로 검토되어야하는 상부하중정보 및 동선계획, 계류시스템 및 부교정보와 함께 규모에 따른 하부함체 이용계획 등의 정보가 도출되는 단계
- A22 : 건축주, 건축가, 함체설계자, 상하부엔지니어가 참여하여 친환경 관련 기준 및 관련 법규에 의거 환경오염저감계획과 그에 따른 설비방식을 입력하여 ‘유지관리정보 와 관리 및 방재대책’이 도출되는 단계
- A23 : ‘계획 설계’ 단계로써 이전단계와 마찬가지로 모든 협업의 주체가 참여하여 법규, 기준 및 방식을 바탕으로 앞서 도출된 정보 등을 이용하여 초기BIM모델, 시뮬레이션을 통한 데이터, 방화, 안전계획, 상부구조체의 MEP등의 정보가 추출되는 단계

③ A3 : 상세설계단계

○ 모든 분야의 주체가 참여하여 모든 디자인을 결정하는 단계로 전 단계에서 사용했던 BIM모델에 속성정보를 넣어 완성된 모델 구축, 장비들과 비용, 시스템, 재질 등을 결정함

- A31 : 모든 의사결정을 위한 협업의 주체들이 참여하여 예산정보와 관련 법규 및 기준, 프로젝트 정보 및 작성기준을 바탕으로 ‘심의도서를 작성’하는 단계이며 이를 통하여 각부상세, 성능, 마감정보와 법규체크리스트, 조감도 및 투시도 등이 도출되며 구조해석 정보 값들과 개략 산정 공

사비, 시방서(초안)등과 함께 작성된 심의도서가 다음 단계의 정보값으로 입력되게 되는 단계

- A32 : 심의 및 허가단계이며 관련법에 의해 관련된 관청이 참여하여 관련법규 및 기준 등을 바탕으로 설계단계에서 보완해야할 사항들이 도출되는 단계

④ A4 : 실행단계

○ 전 단계까지 구축하였던 BIM모델에서 도면 및 도서를 추출하는 단계

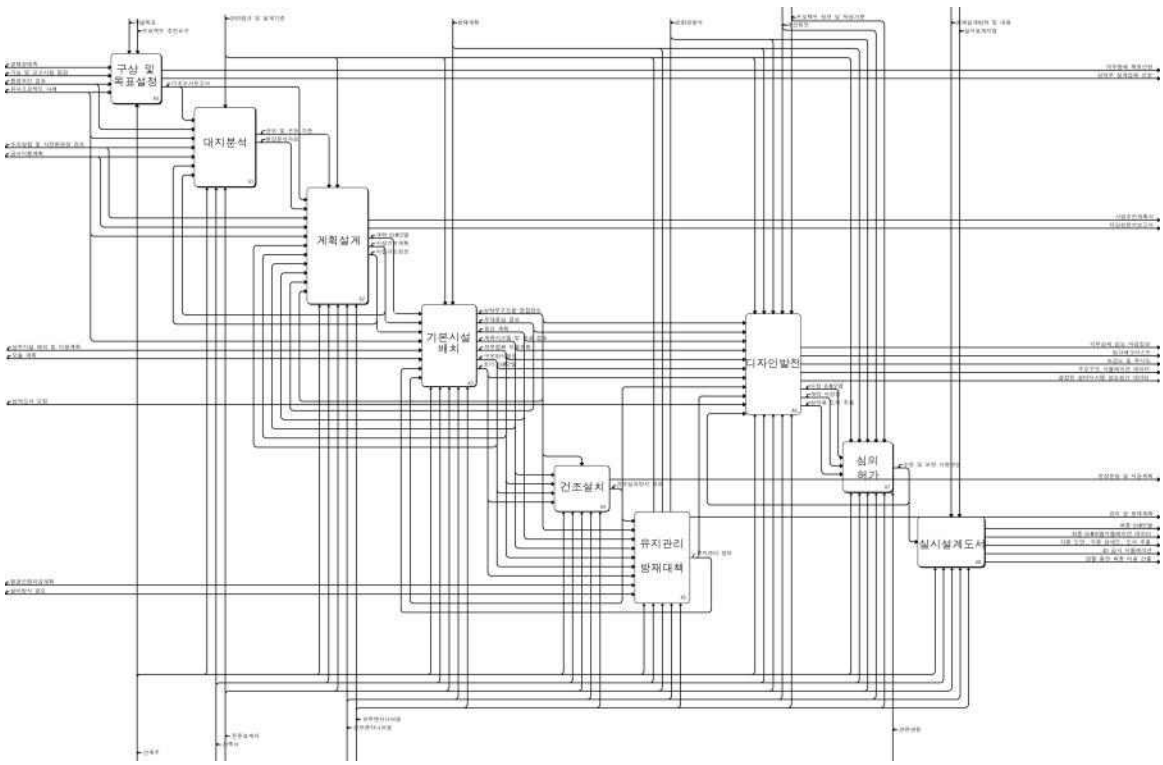
- A41 : 플로팅건축 설계의 마지막 단계로 구축된 최종BIM모델에서 최종 BIM시뮬레이션 데이터, 각종 도면, 각종 상세도, 시방서, 공사비견적서, 면적표 및 스케줄표, 실내재료 마감표, 구조계산서, 상하부 엔지니어링 관련도면 등의 공사를 위한 도서 등이 추출되는 단계

⑤ BIM기반 플로팅건축의 정보교환모델

○ 각 Activity별 모델링을 통합한 정보교환모델을 과 같이 작성

○ 작성된 플로팅건축설계 정보교환모델은 기존의 2D방식의 프로젝트 수행방식을 시각적 모델로 대체하여 프로젝트의 효율적 관리와 함께 플로팅건축에서의 기본적인 설계단계의 협업과 정보전달의 주체와 내용에 대하여 시각적인 분석이 가능

○ 이를 통하여 최종연구목표인 BIM 기반 플로팅건축설계프로세스 구성을 위한 IDEF0을 활용한 정보교환모델을 작성하였음



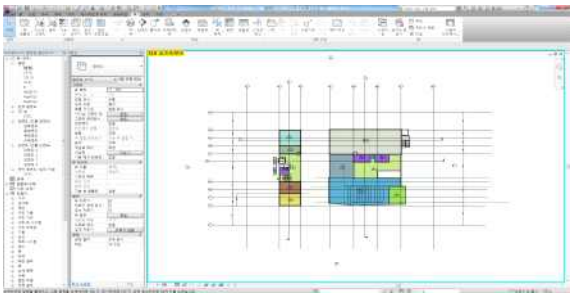

[그림 2-7-12] BIM기반 플로팅건축 정보교환모델

라. Test-bed 설계안 BIM기반 모델링

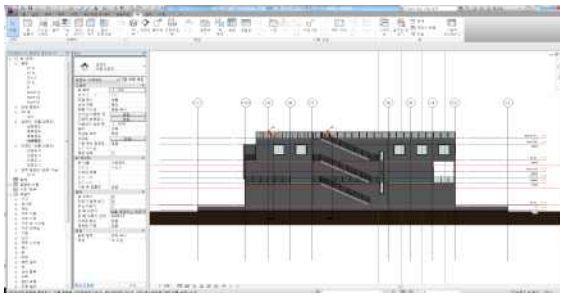
(1) 플로팅건축의 엔지니어링 테스트베드 BIM 모델 디자인

(가) 플로팅건축 엔지니어링 테스트베드 BIM 모델 구축

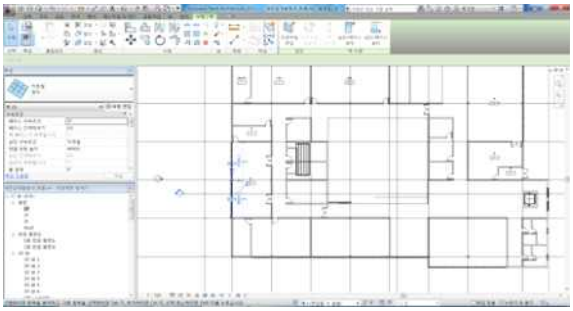
- Revit Architecture 프로그램을 이용한 플로팅건축 BIM 모델 구축
- 에코델타시티 플로팅 홍보관을 BIM 모델로 구축하여 기존 계획안 수정하였고 향후 설계변경 시 기존 2D 방식보다 업무의 효율성이 높아질 것으로 전망함
- 구축된 BIM모델의 3D를 검토하여 설계 오류를 발견하여 수정하였고 램프 경사도를 명확하게 계산하여 설계품질이 향상되었음
- 플로팅건축 BIM 모델에 각 세부과제별 연구결과 반영이 용이해졌으며 향후 발생할 계획안 수정 · 변경 시 업무량이 감소할 것으로 전망함
- 개산견적을 위한 창호, 문 물량산출이 정확하게 되었음



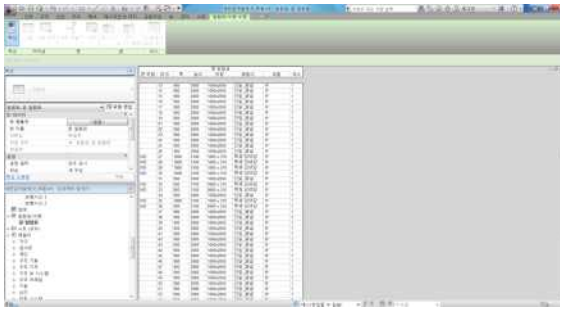
[그림 2-7-13] Revit Architecture 도면 작성



[그림 2-7-14] BIM 모델 구축



[그림 2-7-15] 구조 벽체의 디테일 검토



[그림 2-7-16] 창호 물량 산출



[그림 2-7-17] 3D 투시도 01

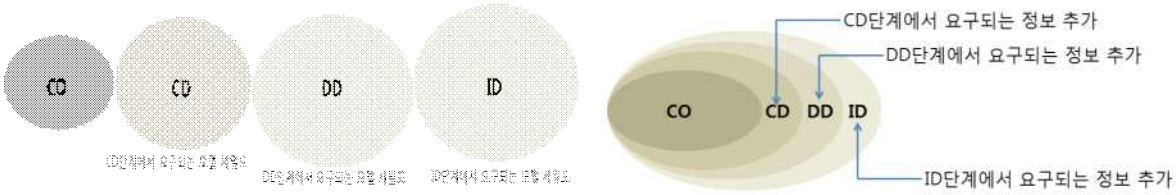


[그림 2-7-18] 3D 투시도 02

(나) BIM기반 플로팅건축 프로젝트 LOI(Level Of Information) 설정

○ BIM기반 플로팅건축 계획 시 기존 BIM 지침에서 규정하고 있는 LOD방식을 적용하면 각 설계 단계별 생성된 정보를 원활하게 반영시키지 못하는 한계가 있음

○ 특히 플로팅건축은 각 정보간 연계가 중요하나 기존 LOD방식의 경우 각 정보간의 연계성이 떨어지며 추가로 발생하는 정보를 새롭게 입력하거나 관리하기가 어려움

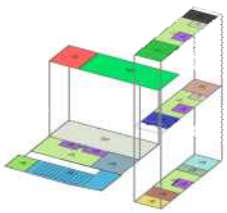
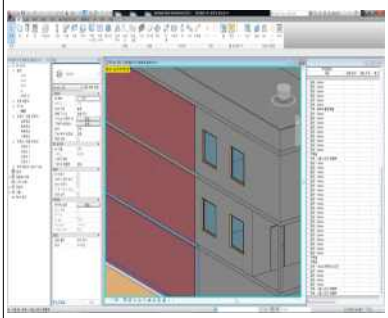
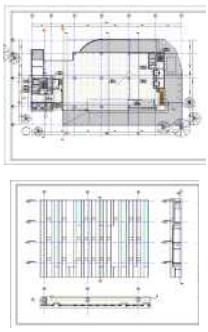



설계단계별 LOD 방식　　설계단계별 LOI 방식

[그림 2-7-19] BIM기반 LOD와 LOI의 개념

○ 따라서 4차년도 과제를 수행하면서 기존 LOD방식에서 탈피하여 설계 단계별 발생하는 설계정보 반영이 용이하도록 LOI방식을 새롭게 도입하여 적용타당성 여부를 검증하였음. 검증결과 설계 단계별 디테일 및 생성된 정보의 반영 및 수정이 가능한 것을 확인할 수 있었음

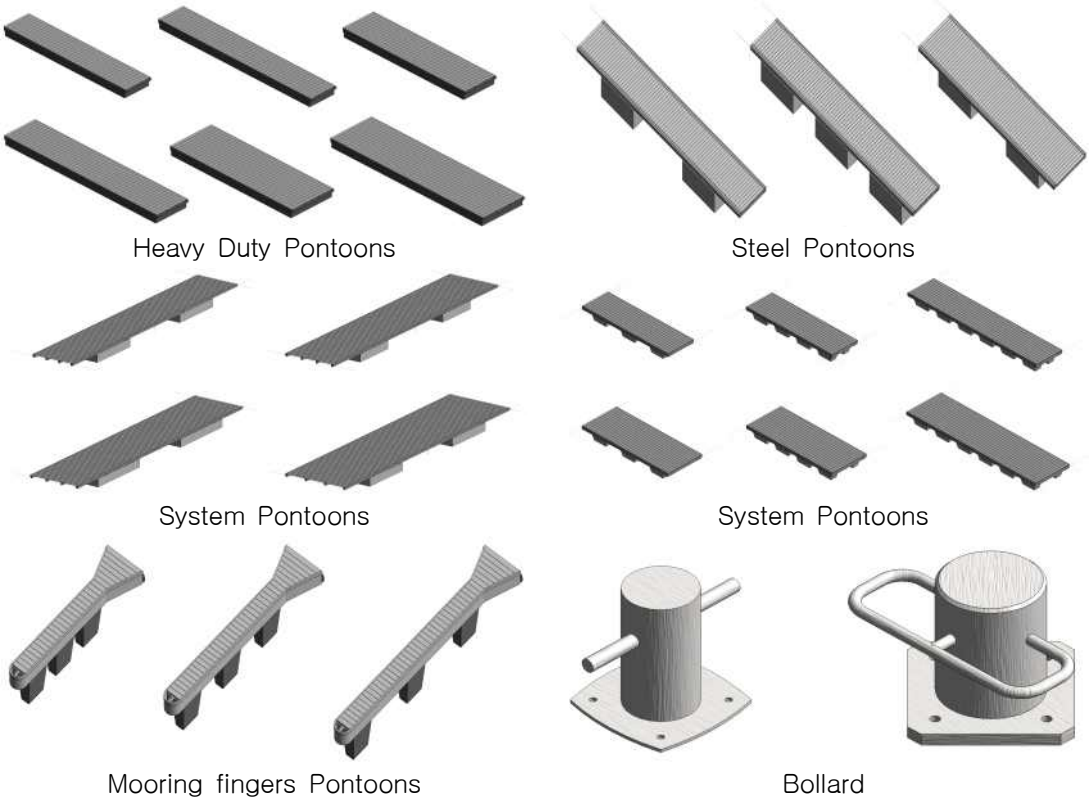
[표 2-7-11] LOI방식의 단계별 설계 프로세스

| 기획설계(LOI1) | 계획설계(LOI2) | 중간설계(LOI3) | 실시설계(LOI4) |
|---|---|---|---|
| Conceptualization | Criteria Design | Detailed Design | Implement Documents |
|  |  |  |  |
| 법규 검토 및 매스모델 스터디 | 플로팅건축물의 조닝, 실 구성, 동선 및 피닌계획 입력 | 각 분야별 정보를 입력하여 BIM 모델 구축 및 엔지니어링 시뮬레이션 평가 | 실시도면 및 상세도면 추출 |

(2) 플로팅건축 설계 BIM기반 DB구축

○ 에코델타시티 플로팅 홍보관 BIM 모델 구축 시 필요한 하부 함체(폰툰)을 패밀리로 작성하여 BIM 데이터베이스(DB)를 추가하였음

○ BIM 파라메트릭 모델링을 활용하여 매개변수에 따른 변경이 가능하도록 제작하였음




[그림 2-7-20] BIM기반 하부함체(폰툰)DB 추가

(3) BIM기반 플로팅건축의 설계 프로세스 수정 및 보완

[표 2-7-12] 설계단계별 Activity구분

| 관 리 업 무 | 내 용 |
|---|---|
| Co (Conceptualization) | A1 ; 기획설계 단계 |
| Cd (Criteria Design) | A2 ; 계획설계 단계 |
| Dd (Detailed Design) | A3 ; 중간설계 단계 |
| Id (Implement Documents) | A4 ; 실시설계 단계 |

○ 3차년도의 후속 연구로 플로팅건축의 체계적인 설계정보 관리를 위한 통합설계 프로세스를 개발하였음

○ 설계 단계별 정보 흐름과 업무 연관성을 표현할 수 있는 IDEF0 모델을 구축하였음

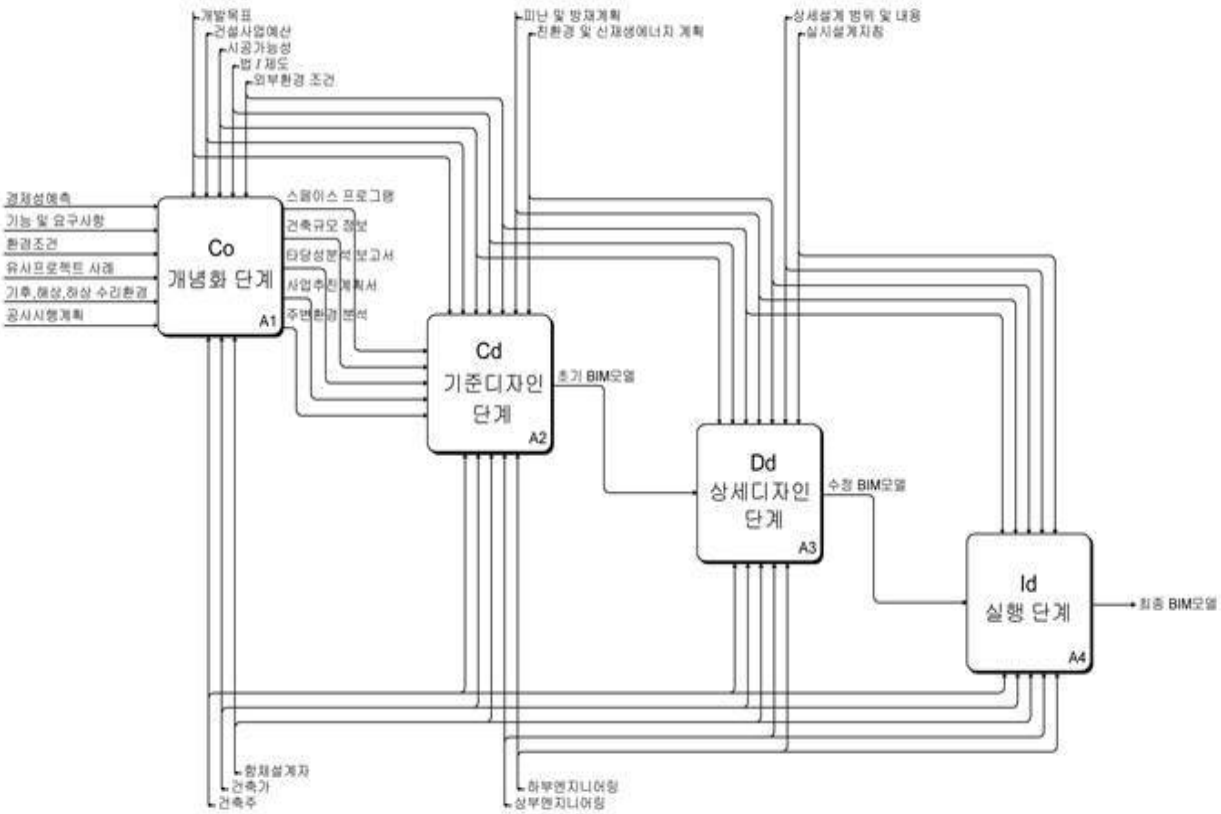
○ 이를 통하여 플로팅건축 프로젝트의 신속한 의사결정 및 분야별 정보공유가 가능할 것으로 전망함

○ 플로팅건축 엔지니어링 테스트베드인 에코델타시티 홍보관을 BIM기반 설계프로세스를 작성하였음

○ 4차년도 엔지니어링 테스트베드 연구를 진행하면서 3차년도 이론적 활동영역인 Activity 및 정보 생성·흐름의 차이가 발생하는 것을 확인하였고 이를 수

정하였음

- 개념화단계(Co)에서 플로팅 홍보관 규모 변경에 따른 정보가 변경되어 연구과제 참여하고 있는 협업체 모든 세부과제 엔지니어들이 참가하였음
- 기준디자인단계(Cd)에서 상부시설의 무게가 산정되지 않아 무게중심의 정보가 발생하지 않았으며 친환경 계획 관련 정보 또한 Cd 단계의 Activity3에서 발생하였음
- 전체적인 정보 흐름과 협업 주체는 큰 변화가 없었으나, 설계 단계별 세부사항의 변경은 발생하였음
- 4차년도에서는 3차년도의 설계 프로세스를 수정 및 보완하여 실질적으로 활용가능한 IDEF0 모델을 구축하였음

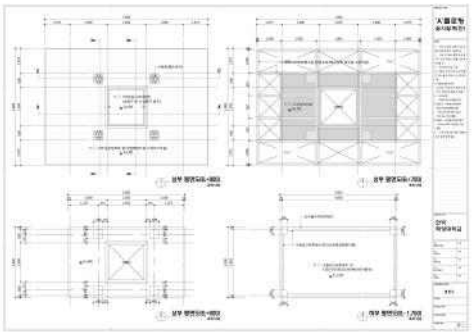



[그림 2-7-21] BIM기반 정보교환모델

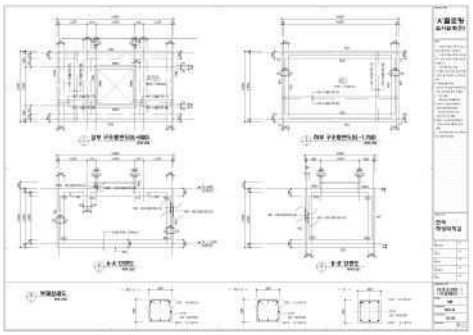
마. BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성

(1) 플로팅 건축 BIM 설계를 위한 DB 구축

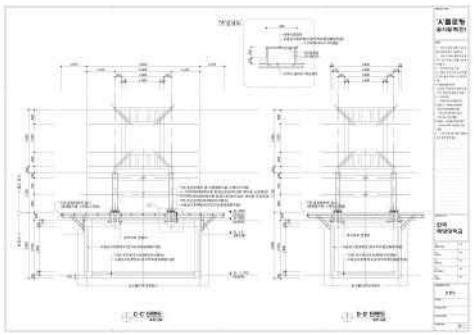
(가) TEST 결과 피드백 통한 함체 디자인 및 실시설계 작성



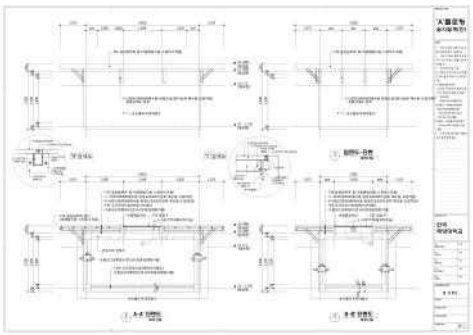
[그림 2-7-22] 'A'플로팅 실시설계(안)-평면도



[그림 2-7-23] 'A'플로팅 실시설계(안)-구조도



[그림 2-7-24] 'A'플로팅 실시설계(안)-단면도

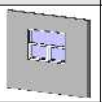


[그림 2-7-25] 'A'플로팅 실시설계(안)-입단면도

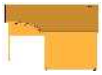
(나) 플로팅건축 BIM 설계를 위한 DB 수정 및 보완

- BIM DB 구축을 위하여 BIM SW에 프로그램으로 내재된 벽체, 바닥, 지붕과 같은 시스템 패밀리와 부품 라이브러리 추가
- 2~3차 년도에 구축하고 수정·보완된 재료 DB을 바탕으로 추가적인 상부시설물의 기둥, 창호, 문 등을 비롯하여 커튼월, 조명 및 가구 등의 패밀리 LIST작성
- BIM 패밀리는 2차원의 CAD 파일을 토대로 3차원적인 입체적인 형상을 만드는데 많은 시간이 소요되고, 많은 정보가 포함되어 있기 때문에 이를 만드는 시간도 많이 걸리고, 작성하는 기술적 수준 필요
- 상부시설물의 구조부에 대한 카테고리별 LIST를 더욱 세분화하여 분류 후 BIM 라이브러리에 포함되는 속성 정보인 자재 일람표와 제조정보, 비용 등의 필요한 설계 속성 정보 추가하여 DB구축 필요

[표 2-7-13] Revit DB(패밀리) 추가 항목

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기둥 | 명칭 | 금속 기둥 | 모따기 기둥 | 목재 판재 기둥 | 원형 기둥 | 직사각형 기둥 | 집성재 둥 | 집성재 기둥 | 치수 재목-기둥 | 판재-기둥 | 평행 나선 재목-기둥 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 콘크리트-둥근기둥 | 콘크리트-정사각형 기둥 | 콘크리트-직사각형 기둥 | 프리캐스트-직사각형 기둥 | | | | | | |
| | 객체 |  |  |  |  | | | | | | |
| 창호 | 명칭 | ACW1-12 | ACW1-22 | ACW1-3(3,4,5) 2 | ACW1-42 | ACW2-11 | ACW2-21 | ACW2-3(3,4,5) | ACW2-4 | ACW2A-31 | ACW3-1-1 1 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | ACW3-11 | ACW3-2-2 1 | ACW3-21 | AW2 1 | AW8 | AW9 2 | AW9 3 | AW9 4 | AW11 | AW11 3 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | AW14 1 | AW14 2 | AW14 3 | AW16 1 | AW16 2 | AW16 3 | AW18-12 | AW18 1 | AW20-12 | AW19-12 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | AW18 2 | 베이스 프레임 | FSH- 6 | AW21 3 | AW23 1 | AW23 2 | SSW1 1 | SSW2 1 | SSW3 3 | SSW4 2 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | AW27 2 | AW27 3 | AW28 1 | AW28 2 | AW26 1 | AW26 2 | AW26 3 | AW27 1 | AW19 2 | AW19 3 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 계단실창 | 경사창 수평 정면 | 경사창 | 상영관용 | 양여닫이 창 | 채광 | 개구부 | 고정 | 실례 - 개구부 | 실례 - 고정 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 고정 및 양쪽미서기창 | 고정 및 프로젝트 창 | 고정 및 한쪽미서기창 | 두짝미서기창 | 외여닫이 문 | 자르기가 있는 조합 | 자르기가 있는 차양 | 자르기가 있는 타원 | 자르기가 있는 호퍼 | 중간 홈대 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 이중 헝 | 자르기가 있는 개구부 | 자르기가 있는 고정 | 자르기가 있는 미늘창 | 자르기가 있는 미닫이 | 자르기가 있는 아치 상단 | 자르기가 있는 여닫이창 | 자르기가 있는 여닫이창 3x3 | 자르기가 있는 원형 | 자르기가 있는 양여닫이 창 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 문 | 명칭 | SD4 3 | SD5 3 | SD6 | SD6 4 | SSD1 | SSD1 3 | SSD2 3 | SSD2 4 | SSD4 3 | SSD5 3 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | SSD5 3 | SSD6-13 | SSD6 2 | SSD7-12 | SSD7 2 | SSD8-13 | SSD8 3 | SSD10 3 | SSD11 3 | SSD12 1 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | SSD67 1 | EPS1 | EPS-1 | 계단실 방화문-1 | 계단실 방화문-2 | 양 여닫이 방음문 | 양여닫이 갑종방화문 | 양여닫이 | 타원 호 | 틀 지워진 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 강화유리 문 | 강화유리 문 외부 | 이중-유리 1 | 이중-유리 2 | 이중-패널 1 | 이중-패널 2 | 이중-플러시 | 이중-플러시-양방향 | 사이드 라이트 1 | 사이드 라이트 2 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 플러시 | 이중 | 냉장실 | 미늘창 | 유리 1 | 유리 2 | 유리 3 | 장식 1 | 장식 2 | 패널 1 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 패널 2 | 패널 3 | 패널 4 | 플러시 시각 | 플러시-양방향 | 미닫이-2 패널 | 반접이-2 패널 | 반접이-4 패널 | 오버헤드-단면 | 오버헤드-롤링 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 커튼월 | 명칭 | 빈 패널 | 솔리드 | 유리 패널 | 커튼월 단일 유리 | 커튼월 이중 유리 | 커튼월-점두-이중 | 차양 | | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  | | | |
| 조명 (외부) | 명칭 | 가로등 | 가로등 2 | 신호등 3 | 신호등 4 | 기둥 조명 | 벽 팩 | 부분 조명 | | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  | | | |
| 조명 (스탠드) | 명칭 | 1 | 2 | 3 | 반구 | TS-990 | AS-333 | 테이블 램프 1 | 테이블 램프 2 | 테이블 램프 3 | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 조명 (천장용) | 명칭 | 원추형 | CH-0883 | CH-0901 | RO-0206 | RO-0380 | 선형 1 | 선형 2 | 둥근 평면 | 직선 상자 | 천장용 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 조명 (하향식) | 명칭 | 벽 세척기 | 부분 | 스트라이프 | 오목 캔 | 캐비닛 아래 | DH-2046 | DH-2049 | 펜던트 - 디스크 | 펜던트 - 반구 | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 조명 (기타) | 명칭 | 트로퍼-렌즈 | 트로퍼-정사각형 | 트로퍼-직사각형 | 비상등 | 브래킷 | 보루 | 보루- 구 | 보루-원형 | BR-0455 | BR-0477 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 가구 (의자) | 명칭 | 사무실 1 | 사무실 2 | 의자 1 | 의자 2 | 브로이어 | 작업용 | 작업용(팔걸이) | 적층식 | 중역용 | 책상용 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 명칭 | 코부 | 타블렛 팔걸이 | 강당 | 소파 | 소파 2인용 | 소파 3인용 | 소파-Pensi | | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  | | | |
| 가구 (책상) | 명칭 | 책상 | 사무실 1 | 사무실 2 | 사무실 3 | | | | | | |
| | 객체 |  |  |  |  | | | | | | |
| 가구 (캐비닛) | 명칭 | 사무실 | 책상 캐비닛 | BO2151C | LC-3232 | LC-32361 | 파일 2 서랍 | 파일 3 서랍 | 파일 4 서랍 | 파일 5 서랍 | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 가구 (침대) | 명칭 | 표준 | 흔들장치 | 병원 | 상자 | 침낭 | | | | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  | | | | | |
| 가구 (테이블) | 명칭 | 사이드 테이블 | 테이블 사무실 | 테이블 1 | 테이블 2 | 테이블-끝 | 식탁 | 식탁 원형 | 식탁 타원형 | 야간 스탠드 | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 가구 (침실) | 명칭 | 이중 문 | 이중 문 및 4개 서랍 | 단일 문 이중서랍 | 거울 | 벤치-라커룸 | 진열장 | 선반 | 엔터테인먼트 센터 | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  | | |
| 화장실 (변기) | 명칭 | 변기 | 변기 | 소변기 | 소변기 | 벽 장착 | WC | 노제 | 안포바 | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  | | |
| 화장실 (욕조 & 큐비클) | 명칭 | 입식 | 직사각형 | 욕조 | 코너 끝 | 조합 | 끝 인접 벽 | 끝 인접 벽 | 확장 패널 | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  | | |
| 화장실 (세면대) | 명칭 | 싱크대 | 선반 싱크대 | 세면대 | 세면대1 | 휴지걸이 | 비누걸이 | | | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  | | | | |
| 부엌 가구 (싱크대) | 명칭 | 단일 | 삼중 | 아일랜드 | 이중 | 원형 | | | | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  | | | | | |
| 부엌 가구 (작업대) | 명칭 | 개구부가 있는 아일랜드 | 아일랜드 | 개구부가 있는 작업대 | 싱크대가 있는 작업대 | 작업대 상단 | 개구부가 있는 L자형 | 개구부가 있는 L자형 2 | L자형 | L자형 2 | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 부엌 가구 (캐비닛) | 명칭 | 후드 | 충전제 | 코너 단위 높이 | 코너 단위 | 단일 문 | 서랍, 단일 문 | 단일 문 | 문 2개 | 이중 문 | 단일 문 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 명칭 | 이중 문 & 2 서랍 | 이중 문 싱크대 | 코너 유닛 | 필러 | 기본 캐비닛 | 4 서랍 | 기본 캐비닛 | 단일 문-벽 | 유리 단일 문-벽 | 유리 이중 문 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 부엌 가구 (조리 기구) | 명칭 | 간이 부엌 - 소형 | 간이 부엌 - 중간 | 냉장고 | 레인지 | 쿡탑-유닛 2개 | 쿡탑-유닛 4개 | 마이크로 웨이브 | 식기 세척기 | 건조기 | 쓰레기 압축기 |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | 명칭 | 배기 후드 - 코너 | 배기 후드 | 레인지 후드 | 캐비닛 상단-이중 문-벽 | 스토브 | | | | | |
| | 객체 |  |  |  |  |  | | | | | |
| 부엌 가구 (기타) | 명칭 | 보조장치 플레이트 지원 | 싱크대 기준 메이크업 | 싱크대 높이 메이크업 | 싱크대 높이 유로 | 싱크대 상단 메이크업 | 의자 1 | 의자 2 | 테이블 | 테이블 | |
| | 객체 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |

(2) BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성

○ 플로팅건축 설계지침의 필요성

- 최근 건축설계 산업에서는 BIM(Building Information System)을 활용한 프로젝트가 증가하고 있으며 이와 관련하여 다양한 전용 프로그램과 소프트웨어가 발전하고 있음
- 특히 시설물의 종류와 기능에 따라 각기 최적화된 BIM 툴이 사용되고 있으며 이러한 최적화된 툴의 사용은 설계의 유연성 확보, 도면오류의 감소, 리스크의 감소 그리고 생산성 향상 등 다양한 이점을 설계과정에서 얻을 수 있음
- 플로팅 건축물은 수상에 위치하는 입지적 특성과 부력에 의해 지지되는 함체 위에 설치되는 구조적 특성으로 인하여 설계시 고려해야 하는 환경요소와 요구성능이 일반 건축물과 상이하며, 이로 인해 설계 프로세스 역시 많은 차이가 있음
- 또한 일반 건축물의 설계는 오랜 기간 축적된 경험과 노하우, 제도적 시스템의 구축으로 설계를 원활하게 진행할 수 있는 반면, 플로팅 건축물 설계의 경우 경험부족과 제도적 시스템의 부재로 인하여 설계과정에서 다양한 오류와 반복설계로 인한 설계의 효율성 및 생산성 저하를 야기함
- 무엇보다도 상부시설물과 하부함체의 설계 방법이 상이하며 일반 건축물의 설계보다 많은 협업주체들의 참여로 인하여 설계과정에서 협업주체간 효율적인 의사소통을 위한 단일화된 설계 시스템의 도입이 요구됨
- 따라서 설계오류를 최소화 하고, 빈번한 설계 변경과 분야별 상이한 설계방법에 대하여 보다 효율적으로 대처하고 다양한 협업주체간의 의사소통을 원활하게하기 위한 플로팅 건축물 설계에 최적화 된 BIM시스템의 도입이 필

요함

- BIM을 활용한 플로팅 건축물 설계의 효율성을 확보하고 플로팅 건축물의 요구사항과 디자인성에 부합할 수 있는 종합설계프로세스로 BIM시스템을 활용하기 위하여 BIM기반 플로팅건축 설계지침을 작성함

○ 플로팅건축 설계지침의 목적

- 본 설계지침은 계획설계단계, 중간설계단계, 실시설계단계의 BIM데이터 작성기준을 수립하여, BIM을 기반으로 플로팅건축 설계를 진행함에 있어서 필요, 충족 요건을 정의함
- BIM 데이터를 활용하여 시공 및 유지관리단계에도 사용할 수 있도록 BIM 업무에 대한 기준을 제공함
- 플로팅건축의 BIM적용 설계 시스템 구축을 통하여 건물의 전 생명주기동안 생성되는 정보의 통합관리와 함께 정보의 재활용을 통한 경제성 확보
- 플로팅건축 설계프로세스의 작성으로 협업주체간의 적극적 협업의 명확하고 신속하며 효율적인 설계 표준을 제시함




[그림 2-7-26] BIM기반 플로팅건축 설계지침 작성 구상도

○ 참고기준 및 작성범위

- 일반건축 분야에 있어서 대표적 BIM지침인 “조달청 시설사업 BIM적용 기본지침 v1.3” 을 인용하여 본 지침을 구성함
- 본 설계지침을 작성함에 있어서 일반건축물과 플로팅건축물과의 생태환경에 대한 영향에서 상이한 충족사항을 적용한 설계지침 마련을 위해 “조달청 시설사업 BIM적용 기본지침 v1.3” 에서 플로팅건축의 특성을 반영할 필요가 있는 “BIM DATA 작성 기준” 을 수정·보완하여 작성함

※ 이 외의 기준은 “조달청 시설사업 BIM적용 기본지침 v1.3” 을 따름

[표 2-7-14] 적용 대상별 BIM 설계지침 작성범위

| 대 상 | 기획·설계 단계 | BIM 활용 단계 |
|---|---|---|
| 일반건축물<br>BIM 설계지침 | ▪ BIM DATA 작성<br>- 공통데이터 작성<br>- 공간데이터 작성<br>- 건물데이터 작성 | ▪ 디자인 검토<br>▪ 계획 품질 확보<br>▪ 개략 에너지 및 친환경적 효율 검토<br>▪ BIM 설계도서 산출 |
| 플로팅건출물<br>BIM 설계지침 | ▪ 각 데이터별<br>- 플로팅 건축물 요구사항 반영 | ▪ 일반건축물 지침과 동일 |

- 단계별 데이터 작성기준은 공통데이터, 공간데이터, 건물데이터로 구성하여 작성함

[표 2-7-15] BIM DATA 작성기준

| 데이터 | 내용 | 용도 |
|---|---|---|
| 공통 BIM데이터 | - 작성 대상 및 기준을 정의한 데이터 | - 작업 범위 설정 및 검토 |
| 공간 BIM데이터 | - 공간객체로 구성된 BIM 데이터<br>- 건축물의 스페이스프로그램 구성 | - 공간요구조건 충족성 평가 |
| 건물 BIM데이터 | - 건축물을 이루는 공간, 건축, 구조 요소 전체가 포함된 BIM 데이터 | - BIM 기본품질요건 의 충족성 평가<br>- 시각적 검토 |

○ 용어 및 정의 (Terms and Definitions)

본 지침의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용함

- BIM(Building Information Modeling)[50]

  건축, 토목, 플랜트를 포함한 건설 전 분야에서 시설물 객체의 물리적 혹은 기능적 특성에 의하여 시설물 수명주기 동안의사결정을 하는데 신뢰할 수 있는 근거를 제공하는 디지털 모델과 그의 작성을 위한 업무절차를 포함하여 지칭함

- 공간객체

50) 국토해양부, 건축분야 BIM적용가이드, 2010

시설물의 층, 구역 및 실 등 공간의 범위를 정의하는데 사용하는 BIM 객체를 말함

- 부위객체

  건물을 구성하는 물리적인 요소를 표현하는데 사용하는 BIM 객체를 말함

- 임시수준점

  건설현장 또는 설계구획 내에 임시로 설치한 수준점을 말하며 TBM으로 표기됨

- 벽중심 공간객체

  벽 중심선을 기준으로 외곽을 생성한 공간객체를 말함

- 벽내부 공간객체

  벽 내부선을 기준으로 외곽을 생성한 공간객체를 말함

- Floating Base

  수위의 변화 또는 유속의 변동 가능성을 감안한 기존 하부 구조물의 구성 및 상하수 급배수 등 유지관리 기능을 포함한 floating base의 기본객체를 말함

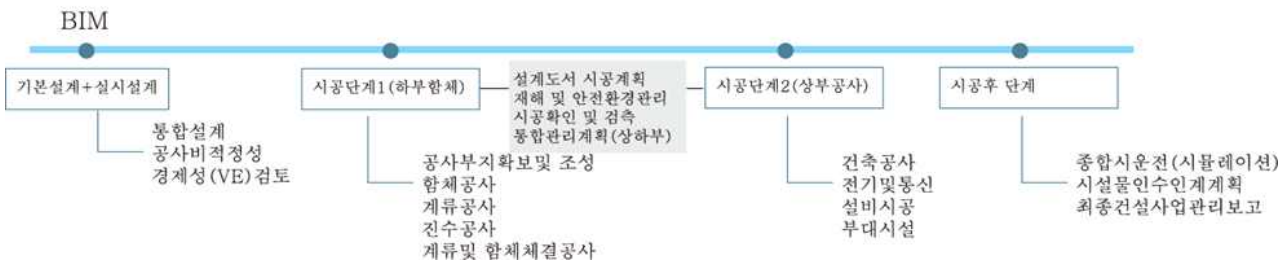
○ 플로팅건축의 특성

- 플로팅건축 건설사업

① 플로팅건축 건설사업 특수성

- 플로팅 건축물은 작업 흐름에 따라 작업하는 위치가 변동되며 (육상작업 → 해상작업) 이에 따라 설계매뉴얼에서는 주변 환경 및 작업위치 변동에 관한 사항을 고려해야 함

- 착공에서 함체공사, 계류공사, 진수공사, 상부공사, 준공에 대한 단계별 필요한 중점사항 및 안전사항 등 [그림 2-7-26]과 같이 수행되는 플로팅 건축 건설 프로세스를 고려하여 설계 시 반영하여야 함



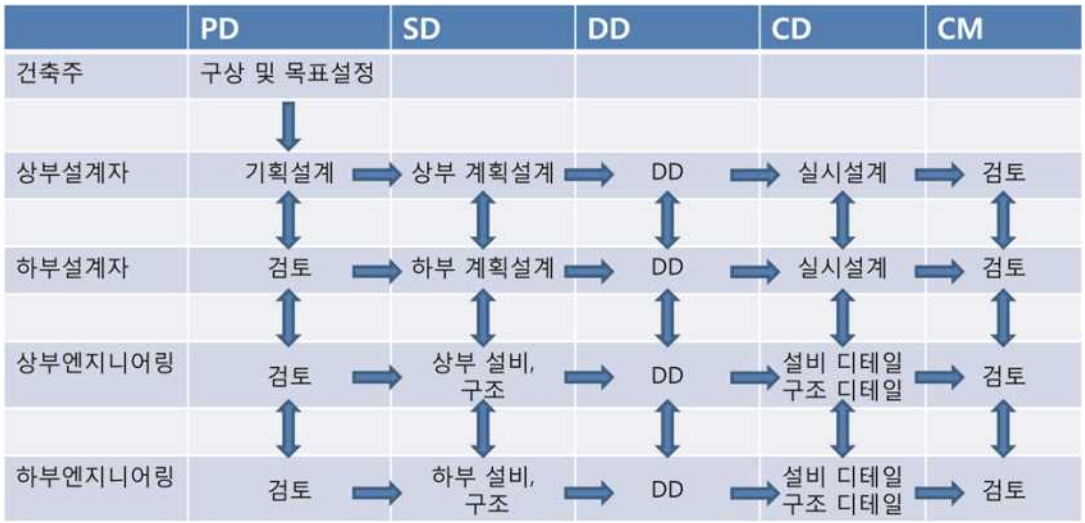

<출처:홍순연 외3명,플로팅건축물 건설사업관리 방법에 관한 연구,한국항해항만학회 추계학술대회,2014>

[그림 2-7-27] 플로팅건축 건설 프로세스

② 복잡한 협업시스템

– 플로팅건축은 크게 하부함체(부체)와 상부시설로 나누어지며, 설계 시 상·하부간의 다양한 정보교환이 이루어져야하며, 다양한 법규 및 설계기준 적용됨에 따라서 기존 육상건축물에 비해 협업 주체 증가됨

– 따라서 플로팅건축의 건축설계는 일반 육상 건축설계와 상이한 건설 프로세스에 따라 수행됨에 따라 [그림 2-7-27]과 같이 복잡한 건설 단계와 다양한 협업주체들 간의 긴밀한 의사소통 체계를 유지하여야 함에 따라 개방형 BIM을 적용하여 BIM 데이터를 표준화된 환경에서 검토, 관리 및 재활용할 수 있도록 함[51]




<출처:홍순연 외3명,플로팅건축물 건설사업관리 방법에 관한 연구,한국항해항만학회 추계학술대회,2014>

[그림 2-7-28] 플로팅건축 건설사업 협업 분석 다이어그램

○ 플로팅건축의 계획

① 외적환경

– 풍하중 : 압력항력, 마찰항력, 변동 풍하중

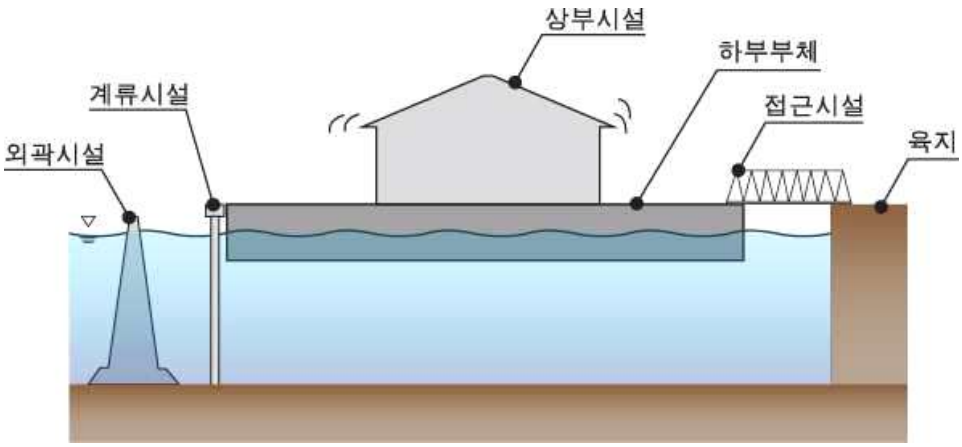
– 조류하중 : 파향, 파고

– 흐름하중 : 쓰나미, 폭풍외력

– 비래염분

→ 무게(하중)에 대한 변화가 심하므로 지속적 수정·보완 필요

51) 개방형BIM이란 공인된 국제표준(ISO/PAS 16739)을 지원하는 다양한 소프트웨어들이 공개적으로 BIM데이터를 공유 또는 교환을 통하여 구현하는 BIM을 말한다. (조달청, 시설사업 BIM적용 기본지침서 v1.3, 2015, p.1)




[그림 2-7-29] 플로팅건축물의 구성

② 플로팅건축 계획 항목

플로팅건축물은 기능, 용도, 목적에서 일반건축물과 유사하나 입지 및 구조적 측면에서 일반건축물과 다르므로 플로팅건축물계획에서는 입지, 배치, 상부시설물, 하부구조물, 계류시설, 방재 등의 분야에서 고려해야할 주요 계획 항목들을 정리하면 [그림 2-7-30]과 같음




<출처 : 이한석 · 강영훈 공저, 해양건축계획, p.69>

[그림 2-7-30] 플로팅건축물 계획 항목

○ 플로팅건축 설계 시 주요 검토사항

① 플로팅건축 설계 단계별 요구사항

플로팅건축을 설계를 수행하기 위하여 각 단계를 구분하면 다음과 같음

- PD (Planning Design)단계에서는 프로젝트의 구상과 건물의 규모 등을 고려한 목표 수립
- SD(Schematic Design)단계에서는 앞선 단계에서의 목표와 검토된 계획

지역에서의 기본배치를 검토하는 단계로써, 이때는 설계계획과 함께 이후 공정을 포함한 건조설치방식과 향후 유지관리대책까지도 검토

- DD (Design Development)단계에서는 SD단계에서 발전되어온 계획안을 결정하고 심의 및 허가를 득하는 단계
- CD(Construction Documents)단계에서는 시공을 위한 실시설계도서와 시방서 등을 작성
- 플로팅건축물 계획에서 고려해야할 항목들을 바탕으로 설계 단계별 요구사항들을 정리하면 다음 [표 2-7-16]과 같음

[표 2-7-16] 플로팅건축 설계 단계별 요구사항

| 구분 | 설계 단계별 요구사항 |
|---|---|
| 기획설계(PD) | - 지침분석, 사전조사(법규, 환경, 지질), 계획안 작성, 사업수지 분석, 하부함체재질 및 구조검토 |
| 계획설계(SD) | - 기본계획안 발전(상부시설 배치, 평,입,단면), 계류조건 분석 및 하부함체재질 및 구조, MEP검토 |
| 중간설계(DD) | - 기본설계안 확정(상부시설 배치, 평면, 입면, 단면 주요 형상 확정), 주요자재검토, 개략공사비, 구조계산서, 하부함체설계안작성, 계류장시스템기본도면작성, 위치제어시스템 검토, 도교 시스템 검토 |
| 실시설계(CD) | - 실시설계안 작성, 시방서 작성, 최종공사비 산출, 구조계산서, 설계설명서, 최종 이미지, 하부함체는상부시설 구조 계산 후 설계안작성, 계류시스템, 위치제어 시스템, 도교 도면 작성, 시방서, 각종계산서 |

<출처 : 여동엽 외3명, 플로팅건축의 정보교환체계에 따른 협업시스템 분석에 관한 연구, (사)한국생태환경건축학회 춘계학술대회, 2012>

② 플로팅건축의 기능적 요구사항

- 플로팅건축물은 수상환경이라는 특수한 환경에서 건축물을 구현하기 위해서 기존의 건축과는 상이한 환경 조건이 발생할 수밖에 없으며 이를 수행하기 위해 새로운 기능적 요구 사항을 충족하여야함
- 따라서 플로팅건축 건설 사업에 있어서 플로팅건축에 요구되는 기능적 항목들을 정리하면 다음 [표 2-7-17]과 같음

[표 2-7-17] 플로팅건축 건설사업 단계별 요구사항

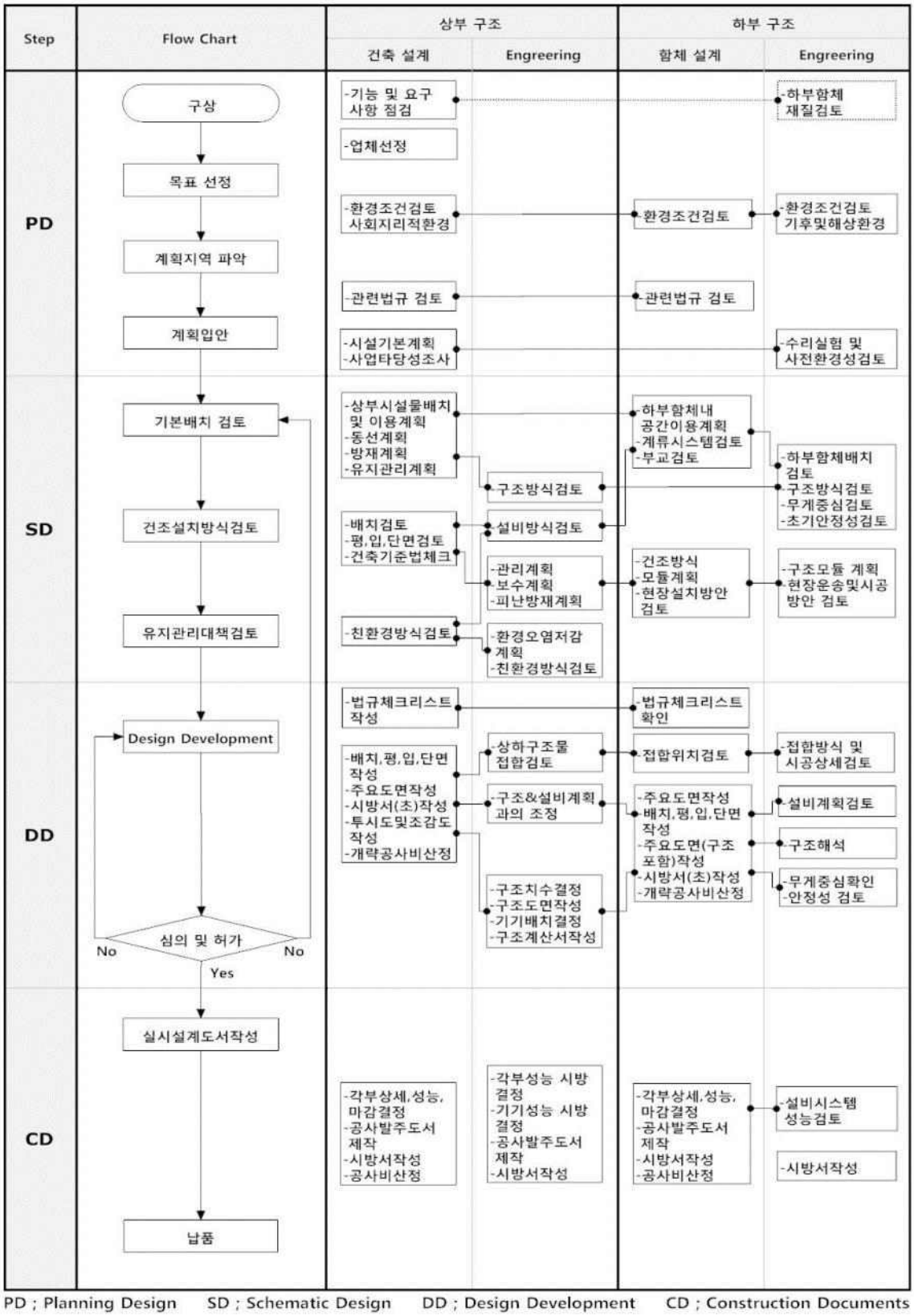
| 구분 | 기능적 요구사항 |
|---|---|
| 계획 | ·동요에 따른 거주성 확보 ·상부건축물과 플로팅구조물 배치고려 ·육상과 구조물 연결방안 검토 ·상징성 및 주변 경관을 고려한 디자인 ·강풍 및 파도를 고려한 설계 ·동선검토 ·최적 재료설계 |
| 구조 | ·재료 내구설계 ·초기중량 및 중심위치 검토 ·상부구조물 구조에 따른 형상·중량 및 수심 고려 ·충분한 복원성 확보 ·고박설비 검토 ·최적의 건현 검토 ·육상과 구조물 연결 접합 검토 ·상하부 접합검토 |
| 시공 | ·수해양 현장에서의 시공성 확보 ·건조장소 및 방식검토 ·운송방식 검토·하부구조 유지관리계획 |
| 환경 | ·사회지리적 환경 및 기후해상환경 검토 ·오수처리개념 고려 ·친환경 에너지설계 ·물리적 및 생태학적 환경영향평가 계획 |
| 설비 | ·밸러스트 탱크 배치 및 설비 검토 ·수해양 환경에서의 방오기술 ·신재생에너지활용을 통한 친환경설계기술 |
| 기타 | ·방재 및 방파제, 계류시스템 검토 |

<출처 : 여동엽 외3명, 플로팅건축의 정보교환체계에 따른 협업시스템 분석에 관한 연구, (사)한국생태환경건축학회 춘계학술대회, 2012>

○ 플로팅건축 설계 시

– 각 설계단계에서의 정보 및 의사결정사항과 플로팅건축의 기능적 요구사항, 그리고 각 단계에서 요구되어지는 설계도서 및 법규적 검토사항을 상, 하부 구조로 나누어 종합적으로 시각화하여 다음 [표 2-7-18]과 같음

[표 2-7-18] 플로팅건축의 각 설계단계별 요구사항




<출처 : 여동엽 외3명, 플로팅건축의 정보교환체계에 따른 협업시스템 분석에 관한 연구, (사)한국생태환경건축학회 춘계학술대회, 2012>

– 본 설계지침은 단계별 BIM데이터 작성기준을 수립하여 BIM을 기반으로

플로팅건축 설계를 진행함에 있어서 최소의 요건을 정의하고, BIM 데이터를 활용하여 시공 및 유지관리단계에도 사용할 수 있도록 BIM업무에 대한 기준을 제공하기 위한 목적임

- 본 'BIM기반 플로팅 건축 설계지침' 은 1~4차 년도 세부과제의 수행을 통해 연구된 플로팅건축 설계시 기능적 요구사항 및 단계별 정보교환체계, 플로팅설계 프로세스 등을 토대로 대표적 BIM지침인 '조달청 시설사업 BIM적용 기본지침 v1.2' 를 바탕으로 플로팅 건축의 건축 설계지침을 작성함
- 단계별 데이터 작성기준은 공통데이터, 공간데이터, 건물데이터로 구성하여 작성함

[표 2-7-19] 단계별 데이터 작성기준

| 데이터 | 내용 | 용도 |
|---|---|---|
| 공통 BIM데이터 | - 작성 대상 및 기준을 정의한 데이터 | - 작업 범위 설정 및 검토 |
| 공간 BIM데이터 | - 공간객체로 구성된 BIM 데이터 | - 공간요구조건 충족성 평가 |
| 건물 BIM데이터 | - 공간, 건축, 구조 요소 전체가 포함된 BIM 데이터 | - BIM 기본품질요건의 충족성 평가<br>- 시각적 검토 |

(가) 공통 BIM데이터 작성 기준

○ 작성 대상

- BIM에 의한 각 설계단계별 객체의 작성 분야는 구조, 상하부시설물, 토목, 대지, 기계, 전기, 조경으로 구체적인 대상은 설계관리(감독)자와 협의에 의함
- Floating 건축의 특성인 유틸리티 공급구조, 득 급배수, 전력, 통신 등 기초 필수품의 육지와 연계 또는 자력조달 또는 양쪽 모두 증 선택사안 별 해법에 따른 기준
- BIM 데이터의 각 건축물 부위는 사전 계획에 의해 작성하며 최소 작성요소는 [표 2-7-20]과 같음

○ 건물 부위 구분 및 부위객체[52]의 작성

- BIM데이터 작성 시 모든 객체는 건물의 부위 단위로 구분하여 작성함 (예: 기둥과 보를 합쳐서 하나의 객체로 작성하지 않으며 따로 구분하여 작성함)
- 건물 부위객체는 해당 객체의 작성기능을 사용하여 작성함 (예: 기둥은 반드시 기둥 작성기능으로 작성)
- 부품메이커별 상호조립 연결 방법 등의 표준화

○ 상세 수준 및 단위

52) "부위객체"라 함은 건물을 구성하는 물리적인 요소를 표현하는데 사용하는 BIM 객체를 칭함

- 도면표현 기준은 계획설계는 1/200 내외, 중간설계는 1/100 내외, 실시설계는 1/50~1/100을 기준으로 작성함
- BIM 데이터는 밀리미터(mm)단위를 사용함을 원칙으로 함

[표 2-7-20] 객체의 작성 범위

| 분야 | 설계단계 | 최소 부재작성 대상 |
|---|---|---|
| 구조 | 계획설계 | - 상부 철골 : 보, 기둥, 트러스, 데크플레이트, 지붕, 계단, 경사로<br>- 하부 부체 : 상부슬래브, 하부슬래브, 외벽 |
| | 중간설계 | - 상부 철골 : 보, 기둥, 트러스, 데크플레이트, 지붕, 계단, 경사로<br>- 하부 부체 : 상부슬래브, 하부슬래브, 외벽, 격벽 |
| | 실시설계 | - 상부 철골 : 보, 기둥, 트러스, 데크플레이트, 지붕, 계단, 경사로<br>- 하부 함체 : 상부슬래브, 하부슬래브, 외벽, 격벽 |
| 상하부 시설물 | 계획설계 | - 벽체(비내력벽), 문, 창문, 커튼월 |
| | 중간설계 | - 벽체(비내력벽), 이차벽체(칸막이 등), 문, 창문, 셔터, 커튼월, 계단경사로의 개구부, 난간 등, 천정, 지붕 이차구조 |
| | 실시설계 | - 벽체(비내력벽), 이차벽체(칸막이등), 문, 창문, 셔터, 커튼월, 계단경사로의 개구부, 난간, 천정, 지붕 이차구조<br>- 두께50밀리미터 이상의 마감재<br>- 옥외 오수·우수·급수 관로, 중요 가시설 |
| 토목 | 계획설계 | - 방파제, 계류시설, 육상접근시설 |
| | 중간설계 | - 방파제, 계류시설, 육상접근시설 |
| | 실시설계 | - 방파제, 계류시설, 육상접근시설<br>- 옥외 오수·우수·급수 관로, 중요 가시설<br>- 대지, 도로, 옹벽 등 주요 시설물(선택) |
| 대지 | 계획설계 | - WL(Water Level) 및 인접 대지의 고저 표현<br>- 건물 진입 동선(주차선, 인접 도로선) |
| | 중간설계 | - WL(Water Level) 및 인접 대지의 고저 표현<br>- 건물 진입 동선(주차선, 인접 도로선) |
| | 실시설계 | X |
| 기계 | 계획설계 | X |
| | 중간설계 | - 위생기구<br>- 기계실내 공간검도를 위한 주요장비<br>- 각종배관, 덕트, 기계소방 등 기타 기계설비는 제외 |
| | 실시설계 | - 배관, 주요장비 (기계실 주요장비, 소화전, 분전반, 물탱크) |
| 전기 | 계획설계 | X |
| | 중간설계 (선택) | - 전기실내 공간검도를 위한 수변전 설비 등 주요장비<br>- 주요 실에 대한 조명설비<br>- 각종 전력간선, 배선, 트레이, 전기소방 등 기타 전기설비는 제외 |
| | 실시설계 | - 배선을 위한 설비(트레이 등), 주요장비 (변전실 주요장비, 조명기구) |
| 조경 | 계획설계 | X |
| | 중간설계 | X |
| | 실시설계 | - 조경시설물, 바닥포장 등 주요 시설물(선택) |

○ 층 구분 기준 및 건물 파일의 구성

- 모든 건물 부위객체는 층 단위로 작성하며 층의 구분은 해당 층의 바닥 위에서 위층의 바닥까지로 구분하고 건물 파일의 구성은 건물별로 공종 단위로 구분하여 구성함

○ 대지 및 기준점

- 위치의 임시수준점 : 임시수준점(TBM)을 기준으로 하며 임시수준점의 GIS좌표계는 위도경도 및 TM좌표계에 의함
- BIM데이터의 기준점 : BIM데이터는 하부부체의 기준점을 정하여 수변의 임시수준점으로부터 상대적 평면직각좌표(X,Y)와 레벨의 정보를 갖도록 관리함

(나) 공간 BIM데이터 작성 기준

○ 작성 대상

- 공간객체는 시설물의 층, 구역 및 실 등 공간의 범위를 정의하는데 사용하며 스페이스프로그램 코드목록(공고시 미제공할 경우)을 작성하여 실명별로 공간객체를 작성함
- 공간객체에는 실명과 Number를 속성으로 입력하며 Number는 AA(시설-구역코드).BBB(실명코드).CC(실명코드 중복시 일련번호 부여) 형식으로 작성함

[표 2-7-21] 공간객체 속성 예시

| 시설 | 구역 | 실명 | Number | 계획면적 |
|---|---|---|---|---|
| 상부 시설 | 사무구역 | 본부장실 | 01.001.01 | 70 |
| | | 일반사무실 | 01.002.01 | 400 |
| | 행정구역 | 행정실 | 02.001.01 | 300 |
| | 회의구역 | 대회의실 | 11.001.01 | 330 |
| | | 일반회의실-1 | 11.002.01 | 100 |
| | | 일반회의실-2 | 11.002.02 | 35 |

○ 작성방법

- 공간 BIM데이터는 건물 BIM데이터 작성시 함께 작성함
- 공간객체의 외곽 기준은 계획 설계시 벽 중심선을 기준으로 작성하고 중간· 실시 설계시 벽 중신선 및 벽 내부선 등 두 가지 기준으로 생성함
- 모든 공간객체는 시설-구역 코드별로 다른 색상을 구분하여 사용함

[표 2-7-22] 시설-구역별 색상의 구분

| 시설 | 코드 | 색상 | RGB값 |
|---|---|---|---|
| 00시설-구역 | 01 | 살구색 | 255/155/155 |
| 00시설-구역 | 02 | 주황색 | 255/175/100 |
| 00시설-구역 | 03 | 노랑색 | 250/255/100 |
| 00시설-구역 | 04 | 연녹색 | 150/255/110 |
| 00시설-구역 | 05 | 녹색 | 75/175/100 |
| 공용시설 | 98 | 파란색 | 100/125/255 |
| 층 전체의 시설 | 99 | 보라색 | 225/100/225 |

(다) 건물 BIM데이터 작성 기준

○ 지상 건축과의 근본적인 차이점은 현장 시공을 최소화 할 수 있는 건축 부위 표준화 및 공장 생산 후 현장 조립의 시공을 원칙으로 해야하므로 표준화, 경량화, 내화성능 등에서 육상건축보다 더욱 엄격한 기준을 세워야 함

○ 건물 BIM데이터는 공통 BIM데이터 작성기준에서 설정한 최소작성 대상객체를 작성대상으로 하고 건축부재 및 구조부재, 공간객체 속성을 포함함

○ 작성대상은 최소작성 대상객체로 구조부재로만 구성함을 원칙으로 하되 편의상 필요 한 경우 건축부재와 통합하여 구성할 수 있음

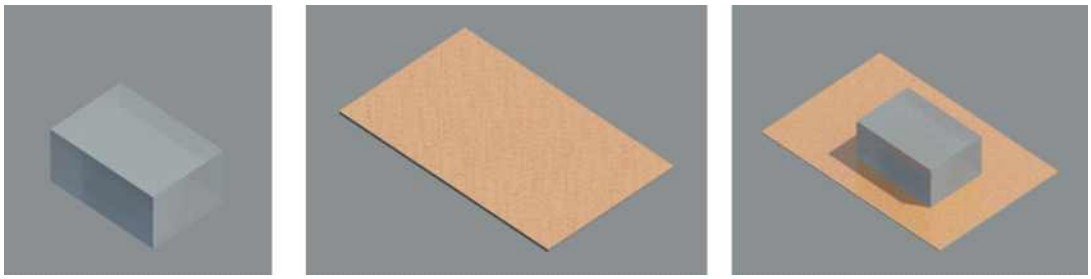
[표 2-7-22] 건물 BIM데이터의 분야별 작성 기준

| 분야 | 설계단계 | 최소 부재작성 대상 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 구조 | 계획설계<br>중간설계<br>실시설계 | - 기둥, 보 등 해당 부위 작성기능을 이용하여 작성함<br>- 철골 부재형상은 형강의 표준단면치수를 사용함<br>- 데크플레이트는 슬래브 객체로 작성함<br>- 하부부체가 RC부재일 경우 해당 객체 작성기능을 이용하여 작성하며 RC부재 형상은 치수를 정확히 반영함<br>- 철골과 RC부재를 별도로 (2개의 독립된 객체로) 작성하거나 또는 하나의 단일 객체로 작성할 수 있음 | - 필요시 건축부재와 통합하여 구성할 수 있음 |
| 상하부 시설물 | 계획설계<br>중간설계<br>실시설계 | - 창호는 벽에 소속하도록 작성함<br>- 상하부시설물의 내부와 외부에 공기가 통하는 뚫린 공간이 없도록 모델링 되어야 함<br>- 슬래브, 벽, 기둥, 문, 창 및 하부시설 6종에 대하여 외기에 면한 부재는 반드시 속성을 부여(IsExternal 값이 True가 되도록)하여야 함 | - 필요시 구조부재와 통합하여 구성할 수 있음<br>-벽, 문, 창, 커튼월은 해당 객체 작성기능을 사용함 |
| 대지 | 계획설계<br>중간설계<br>실시설계 | - 조수간만에 의한 WL(Water Level)과 해저지형 및 인접 대지의 고저 작성<br>- 플로팅건물의 진입에 필요한 동선(주차선, 인접 도로선)을 작성<br>- 대지, 토목, 조경 등 분야별로 독립적으로 작성함<br>- 육상의 데이터 (도로, 보도, 주변 등)는 설계과정에서 반영이 필요한 내용을 작성함 | |
| 기계·전기 | 계획설계<br>중간설계<br>실시설계 | - 구체적으로 정해지지 않은 장비나 배관 등에 필요한 공간의 확보가 필요시 이를 예약공간객체로 작성함<br>- 주요장비 및 예약공간은 건축 및 구조 BIM데이터와 간섭충돌이 발생하지 않도록 작성함 | - 기계 및 전기 BIM데이터는 각기 독립적으로 구성한다 |

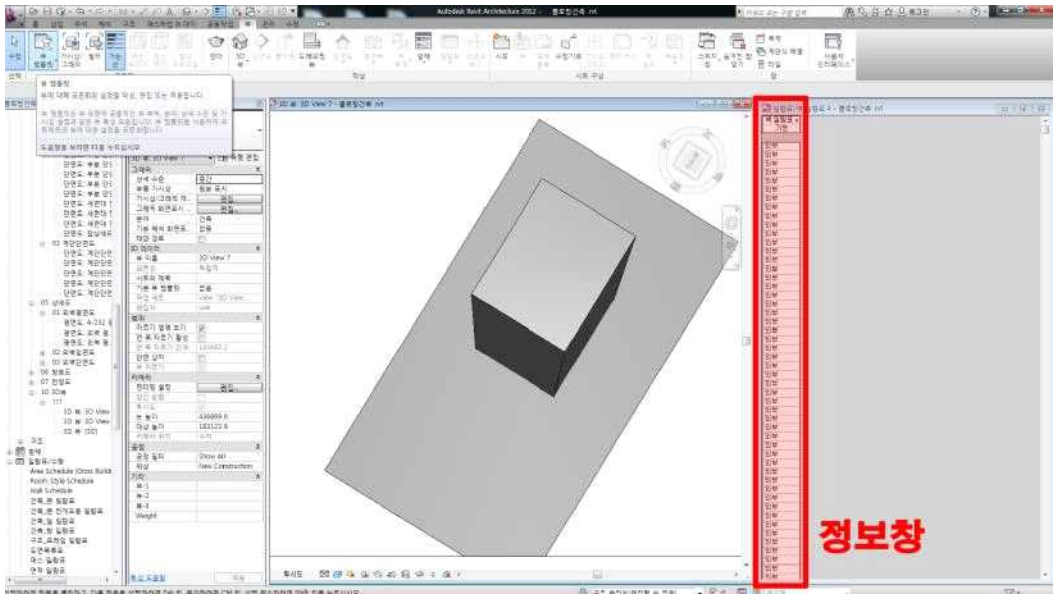
(라) 플로팅건축 설계 프로세스별 모델제시[53)]

○ 기획설계 : 하부체 매스모델 및 상부시설 매스모델

- 플로팅건축 기획설계 단계에서는 대상 유역의 환경영향분석, 법규 분석, 외부환경 검토가 필요하며 건축주의 의도 및 요구사항을 반영한 배치계획, 스페이스 프로그램 작성 등이 이루어져야함
- 이를 바탕으로 [그림 2-7-31]과 같이 하부함체 매스모델 및 상부시설 매스모델을 작성해야함



상부시설매스모델 하부체 매스모델 플로팅건축물 매스모델




데이터 정보값 입력

[그림 2-7-31] 기획설계 모델링

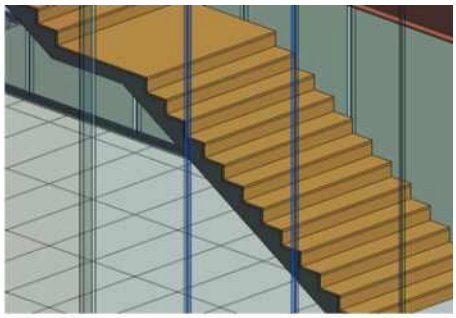
○ 계획설계 : 상하부시설모델 및 상부시설 공간모델

- 플로팅건축 계획설계 단계에서는 초기 BIM 모델을 작성하는 단계로 외부디자인계획, 방화/안전 계획, 하부함체 재료 및 구조, 계류방법 검토 등이 이루어짐
- 또한 건축주를 포함한 하부함체전문가-설비전문가-구조전문가간의 협업을 통한 주요설비시스템 및 공법, 주요 구조재료 등을 결정하게 됨

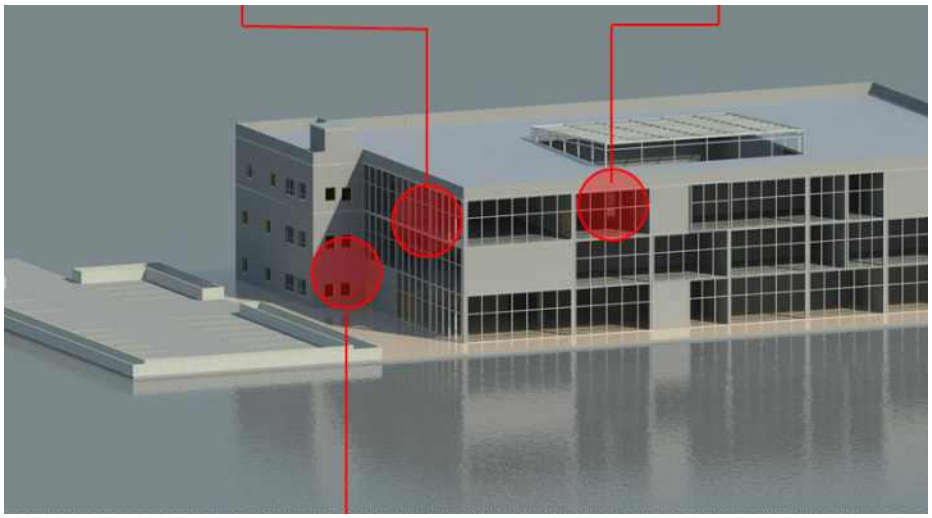
53) 홍순연 외3명, 플로팅건축물의 BIM 적용 가능성에 관한 연구, 대한건축학회 연합논문집, 2014, 재정리

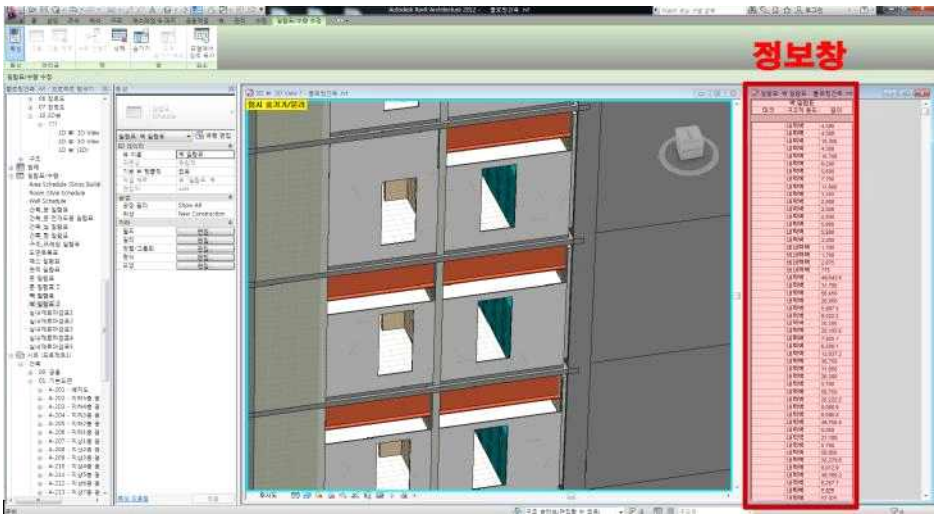


커튼월



계단



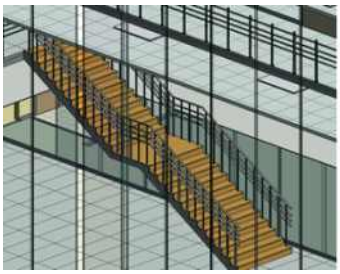



데이터 정보값 입력

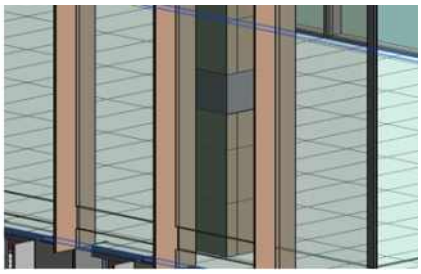
[그림 2-7-32] 계획설계 모델링

- [그림 2-7-32]는 실제 건축주의 의견을 반영하여 외벽 디자인을 실시한 것이며 우측 정보창은 외벽 재료에 대한 정보값을 표현함
- 플로팅건축 특성상 외부환경에 따른 계획안 변경이 자주 발생하는데 이 정보창에서 정보값을 지속적으로 변경할 수 있음
- 정보값 변경 시 원활한 업무진행을 위해서는 관련 주체간 협업 및 의사결정을 위한 주체를 명확하게 하는 것이 필요하며 이를 통해 문제에 대한 담당 주체에 의해 수정·보완이 빠르게 이루어 질 수 있음

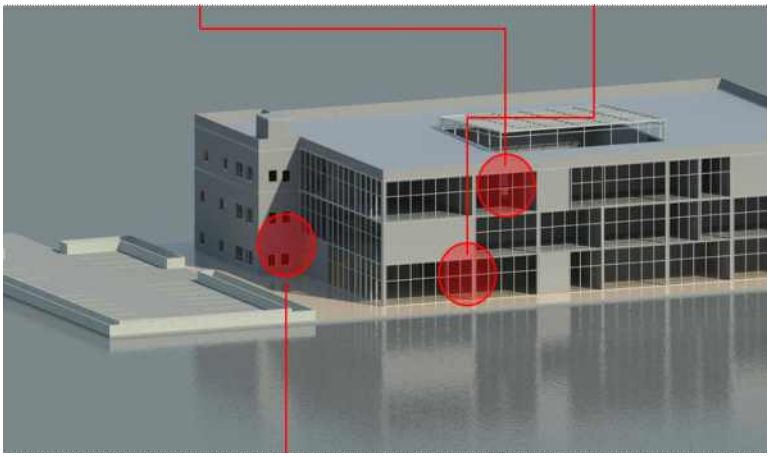
○ 기본설계(LOI3) : 상세모델, 세부정보모델

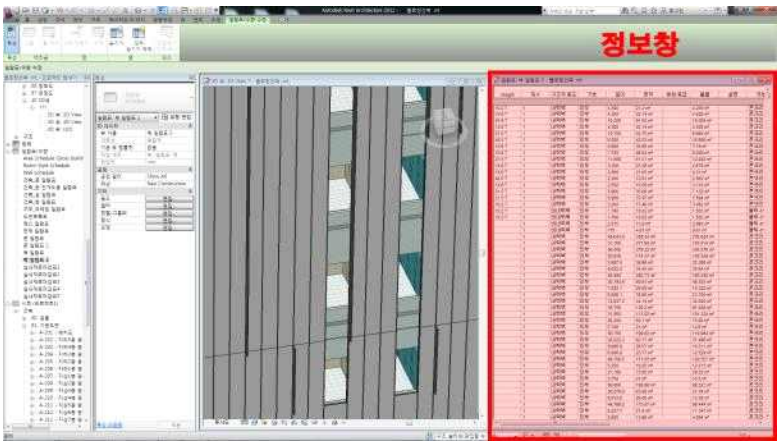


계단+마감+난간



기둥마감재





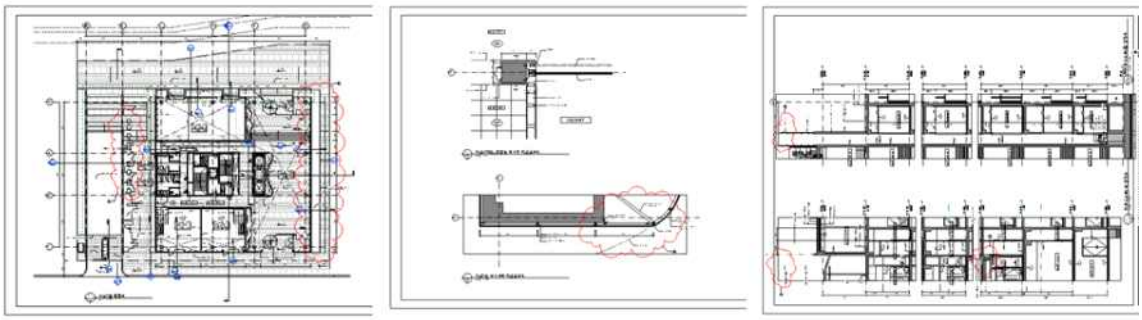

데이터 정보값 수정

[그림 2-7-33] 기본설계 모델링

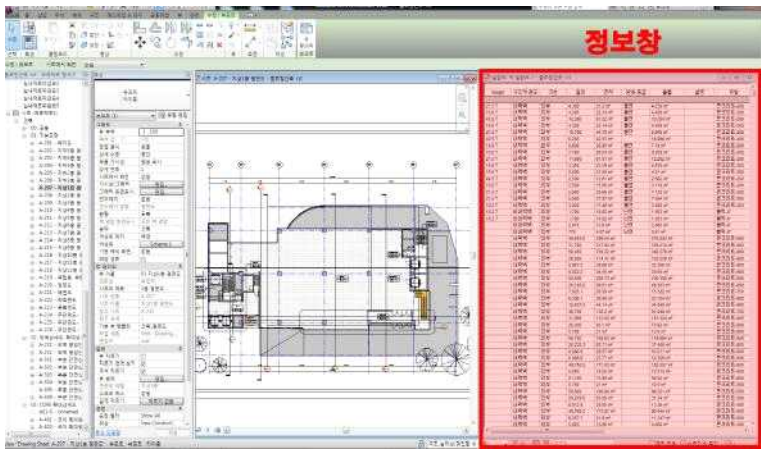
- 플로팅건축 기본설계 단계에서는 수정 BIM 모델을 작성 하는 단계로 상세설계범위와 내용을 결정하고 주요 구조부재 시뮬레이션 데이터, 결정된 시스템 성능평가 데이터, 주요재료 마감표, 공사비 산출 데이터, 엔지니어링 협의용 최종도서 작성 등이 이루어짐. 또한 실시설계 전 인허가 업무 및 일정을 협의하고 주요자재를 확정해야 함
- [그림 2-7-33]는 주요자재 확정안을 기초로 작성된 모델링과 LOI를 적용한 정보값을 표현한 그림이며 설계단계가 진행됨에 따라 우측 정보창의 데이터량이 전 단계 [그림 2-7-32]에 비해 상당히 증가한 것을 알 수 있음

○ 실시설계(LOI4) : 상세도면 추출

- 플로팅건축 실시설계 단계에서는 최종 BIM 모델을 작성 하는 단계로 최종 BIM 시물레이션 데이터, 각종 도면 및 상세도, 엔지니어링 도면, 실내재료 마감표, 시방서 등의 작성이 이루어지게 된다. 또한 건축주와 협의를 통하여 최종 결정된 설계안으로 공사 견적서를 작성해야함
- [그림 2-7-34]는 건축주와 협의를 통해 최종 결정된 상세도면을 표현한 그림으로 마지막 단계이지만 공사비 절감 등 이유로 재료의 변경이 필요하다면 정보창을 통해 수정이 가능함



실시설계도면 창호상세도면 에코샤프트 상세도면




데이터 정보값 수정

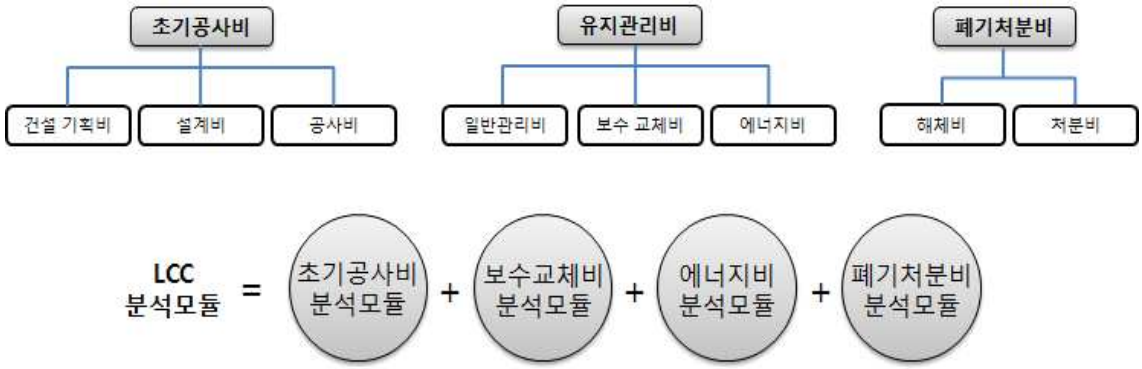
[그림 2-7-34] 실시설계 모델링

(3) LCC측면 플로팅 건축 경제성 분석

(가) 일반 건축물의 LCC 비용 항목

○ 생애주기 비용(LCC)란 초기투자비용, 유지관리비용, 이용자 비용, 사회·경제적 손실비용, 해체·폐기비용, 잔존가치 등 시설물의 생애주기 동안 발생하는 모든 비용을 말함

○ 일반적인 건축물의 LCC 비용항목 및 기본 분석모듈은 다음 [그림 2-7-35]과 같음




[그림 2-7-35] 일반건축물의 비용항목 및 기본 분석모듈

○ [그림 2-7-35]과 같이 일반 건축물의 LCC 기본 분석모듈은 초기공사비, 보수교체비, 에너지비, 폐기처분비로 구분되어짐

- 초기공사비는 건설기획비, 설계비, 공사비 등으로 크게 비용항목을 설정할 수 있으며, 유지관리비는 일반관리비, 보수교체비, 에너지비 등의 비용항목을 포함하고, 에너지비용은 건축물의 특성에 따라 냉·난방, 급탕, 전력 등의 비용항목이 있으며, 폐기처분비는 해체비, 처분비 등이 있음

○ 따라서 플로팅 건축물의 LCC 비용 항목을 선정하기 위해서는 일반 건축물과 플로팅 건축물과의 차이점을 바탕으로 초기공사비, 유지관리비, 폐기처분비를 비교·분석하여야 함

(나) 플로팅 건축물의 LCC 분석 세부 검토항목 선정

○ 플로팅 건축의 특성을 고려하여 플로팅 건축물의 LCC분석을 위하여 추정 가능한 비용항목에 대한 세부 검토 대상의 구분은 초기공사비에 해당하는 시공비와 유지보수비를 주요 공종별로 세부분류 항목으로 선정하였고, 에너지 비용은 수열, 풍력, 태양열 등의 적용 가능성이 높은 신재생에너지 항목을 포함하여 선정하였으며, 그 결과는 [표 2-7-23]과 같음

[표 2-7-23] LCC분석 세부 검토항목

| 구 분 | 대상항목 | 세부 분류 |
|---|---|---|
| 건 축 | 구조체 | 철골, 철근콘크리트, 경량콘크리트 등 |
| | 지 붕 | AL Sheet 판넬, 루프드레인, 복합방수 등 |
| | 외 부 | 익스펜디드 메탈, 빗물받이 블록, 스테인레스선홈통 등 |
| | 외부창·문 | 알루미늄창호, 커튼월, 접합복층유리, 로이삼중유리, 전동문 등 |
| | 천 장 | 반자틀, 흡음판넬, 알루미늄 천정재, 조명박스, 커텐박스 등 |
| | 내 벽 | DRY WALL, 건식벽, 코너비드, 걸레받이, 탕성도막방수 등 |
| | 바 닥 | 침투성 방수, 배수판 설치, OA플로어, 자기질 타일 등 |
| | 내부창·문 | AL 폴딩도아, 방화셔터, 방화문, 철재도어, 스틸매립문 등 |
| | 계 단 | 스틸핸드레일, 계단 논슬립 등 |
| | 기 타 | 태양센서, 수밀코킹, 페인트 칠, 방화셔터 기둥 등 |
| 기 계 | 급수설비 | 급수펌프, 스테인레스 강관, 플로우트밸브, 무용접스텐캡 등 |
| | 가스설비 | 가스미터박스, 감지판넬, 탄소강관, 경질염화비닐관 등 |
| | 배수설비 | 배수펌프, 체크밸브, 관이음쇠, 스윙체크 밸브 등 |
| | 위생기구설비 | 대변기, 소변기, 세면기, 수도꼭지, 수건걸이 등 |
| | 환기설비 | 배기팬, 전열교환기, 공조조화기, 외기조화기, 탈취기 등 |
| | 난방설비 | 전자변장치, 수격방지기, 복합밸브장치, 파이브슈 등 |
| | 급탕설비 | 열매체, 집열기, 수격방지기, 알루미늄 보온카바 등 |
| | 승강기 | 엘리베이터, CRT감시반 등 |
| | 소화설비 | 완강기, 소방밸브, 수동복구함, 소화충압펌프 등 |
| | 기타설비 | 압력계, 제진 클램프, 마감캡, 디스턴스 앵글 등 |
| 전 기/<br>통 신 | 전원설비 | UPS, 전력용 변환기, 프로토콜 변환기, DDC반 등 |
| | 변전설비 | FLEX-BUS, 태양광 발전설비, 압착터미널, 난연케이블 등 |
| | 배전설비 | MCC반, 분전반, 프로그램스위치, 콘센트, 시스템박스 등 |
| | 화재감지설비 | 경질비닐전선관, 파이프크램프, 화재감지기, 분배기 등 |
| | 피뢰설비 | 쌍극자 피뢰침, 피뢰침 지지대, 접지봉 등 |
| | 옥외전등 | 가로등, 정원등, 옥외 보안등, 태양광보안등 등 |
| | 통신설비 | 스위치허브, 시스템테이블, 카메라, 카메라브라켓, 케이블 등 |
| | 방송설비 | A/V, 모튤라아울렛, 스피커, UTP 케이블, 풀박스, 단자함 등 |
| | 보일러실 | 노말밴드, 금속제가요전선관, 압착터미널, 화재경보기 등 |
| | 기계실 | 강제전선관, 인공철개, 조립식분전반, 동관단자 등 |
| | 김시반시설 | 주자관리 BOOTH, UTP케이블, 인터폰, PAD 등 |
| | 기타설비 | 압력계, 관속 부품, 전선관지지행가, 집광기 SET, 광케이블 등 |
| 토 목 | 부대시설 | 우수맨홀, 집수정, 측구, 아스콘포장, 경계석 등 |
| 조 경 | 조경시설물 | 인조화강석 블록, 조명열주, 유아놀이대 등 |
| | 수 목 | 소나무, 느티나무, 잔디 등 |
| 에너지비 | 냉 방 | 수열 히트펌프 |
| | 난 방 | 수열 히트펌프 |
| | 급 탕 | 태양열 |
| | 전력(조명) | 풍력, LED |
| | 전력(환기) | AHU |

○ [표 2-7-23]의 세부분류 항목은 조달철, 교육청 등의 LCC검토 대상항목을 참조하였고, 실제 LCC 검토 시에는 해당시설의 설계에 적용된 세부 ITEM을 선별하여 구분 및 대상항목에 따라 분류하여 분석하여야 함

(다) 플로팅 건축물의 LCC 분석 대상항목

○ 플로팅 건축물의 LCC 분석을 위한 대상 항목을 선정하기 위하여 일반건축물에서 사용되는 LCC 비용 구성 항목과 LCC 분석 세부 검토 항목을 토대로 플로팅 건축물의 공사비 증감을 분석하여 LCC 분석 대상항목을 도출하였으며 그 결과는 [표 2-7-24]와 같음

[표 2-7-24] LCC 분석 대상항목 구분 및 도출

| Level 1<br>생애주기단계별 | Level 2<br>비용항목별 | Level 3<br>비용항목별 | 비용 증감 | LCC 분석<br>대상항목 |
|---|---|---|---|---|
| 초기공사비 | 기획·설계비 | 기본설계비 | - | X |
| | | 실시설계비 | - | |
| | 시 공 비 | 직접공사비 | ⬆ | ○ |
| | | 간접공사비 | ⬆ | |
| | | 일반관리비 및 이윤 | ⬆ | |
| | 감리·감독비 | 공사감리비 | - | X |
| | | 감 독 비 | - | |
| 유지관리비 | 운 영 비 | 일반관리비 | ⬇ | ○ |
| | 유지보수비 | 보수·보강비 | - | X |
| | | 교체비 | - | |
| 에너지비 | 기획·설계비 | 기본설계비 | ⬆ | ○ |
| | | 실시설계비 | ⬆ | |
| | 설치비 | 직접설치비 | ⬆ | |
| | | 간접설치비 | ⬆ | |
| | 운용관리비 | 보전비용 | - | X |
| | | 수선비용 | - | |
| | | 운용비용 | ⬇ | ○ |
| 해체·폐기비 | 해체·폐기처분비 | 시간지연비 | - | X |
| | | 해 체 비 | - | |
| | 잔존가치 | 폐기처분비 | - | |
| | | 폐기물 재활용비(수익) | - | |

○ LCC 비용 항목은 생애주기단계별로 초기공사비, 유지관리비, 에너지비, 해체 · 폐기비로 크게 구분하고 각 세부 항목을 구성함

○ 일반적으로 수행되고 있는 LCC분석은 검토 대상항목에 대한 복수의 대안을 분석하여 최적의 대안을 선택하는 방식으로 진행되고 있으므로, 본 연구에

서는 설계, 감독비와 같은 공통되는 항목은 LCC분석 항목에서 제외하였음. 그리고 플로팅 건축은 낮은 철거율, 높은 자재 재활용률 등 친환경적 특성을 가지고 있으므로, 플로팅 건축물간의 LCC분석은 효용성이 낮고, 플로팅 건축과 간척사업, 일반 대지공사 등을 대상으로 비용편익분석을 하는 것이 타당할 것으로 판단되어 LCC분석 대상항목에서 제외함

○ 구성 항목별로 일반건축과 플로팅 건축의 비용 증감을 비교해 보면 플로팅 건축은 함체공사를 포함하기 때문에 일반 건축물에 비해 시공비가 증가하고, 수상 자연환경을 최대한 활용하기 위해 설계되어지는 각종 신재생 에너지 관련 설치비가 증가할 것으로 예측됨. 또한 함체 축조에 사용되는 강재의 부식정도를 예측하여 유지관리 되어야 되기 때문에 유지관리비의 상승의 우려가 있음.

○ 반면에 플로팅 건축물의 함체는 반영구적으로 사용할 수 있으며, 지대의 상승의 우려가 없고, 유지관리비가 일반건축물과 크게 다르지 않고 신재생 에너지를 이용하기 때문에 운영 유지비가 크게 절감될 수 있음

○ 따라서 플로팅 건축물의 LCC를 분석하기 위해서는 시공비, 유지보수비, 에너지 비용이 주요 분석 항목으로 설정할 수 있음

(라) 플로팅 건축물의 특성에 따른 비용 항목 분석

○ LCC 분석을 위한 비용 항목 크게 초기 공사비, 유지관리비, 폐기처분비로 구분되며, 플로팅 건축물 LCC 비용 항목은 플로팅 건축의 특성을 바탕으로 일반건축물과 비교 · 분석하여 도출함

○ 초기공사비 분석

- 초기공사비는 플로팅 건축물과 일반건축물의 공사비를 공종별로 비교하였음
- 문화 및 집회시설을 대상으로 대지면적 700㎡, 연면적 1,000㎡, 지상 2층 규모로 플로팅 건축물과 일반 건축물의 공사비 차이를 분석하였으며, 그 결과는 다음 [표 2-7-25]와 같음
- [표 2-7-25]를 살펴보면, 플로팅 건축물은 매립, 토목 공사비가 발생하지 않지만 하부 함체 공사비가 전체 공사비 47.28%를 차지하며 일반건축물은 매립 · 토목 공사비의 구성이 전체 공사비의 49.63%를 차지하고 있어 각각 전체 공사비의 약 50%로 매우 높은 비중을 차지함
- 그러나 플로팅 건축물의 경우 중량 최소화를 위해 상부가 경량철골 구조로 이루어지기 때문에 건축공사비는 단위면적당 830,900원으로 일반건축물의 건축공사비 보다 적은 것을 알 수 있으며, 전체 공사비를 비교해 보았을 때 단위 면적당 플로팅 건축물은 2,483,860원으로 일반건축물은 2,548,750원 보다 다소 낮은 것으로 분석되어 플로팅 건축물의 초기공사비는 일반건축물과 큰 차이가 나지 않는 것을 알 수 있음

- 그러므로 플로팅 건축물의 초기 공사비는 하부함체 공사가 추가되지만 일반 건축물의 매립·토목 공사비와 크게 차이가 발생하지 않았으며, 상부 구조물이 경량 철골 구조이기 때문에 일반 건축물 보다 다소 절감될 수 있음

[표 2-7-25] 플로팅 건축물과 일반 건축물의 공사비 비교

| 구분 | 플로팅 건축 | | | 일반건축+매립 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 공사비 | 단위면적당 공사비(원/㎡) | 구성비 (%) | 공사비 | 단위면적당 공사비(원/㎡) | 구성비 (100%) |
| 건축 | 830,900,000 | 830,900 | 32.74 | 776,850,000 | 776,850 | 30.48 |
| 기계 | 159,000,000 | 159,000 | 6.27 | 159,000,000 | 159,000 | 6.24 |
| 전기 | 211,800,000 | 211,800 | 8.35 | 211,800,000 | 211,800 | 8.31 |
| 통신 | 136,200,000 | 136,200 | 5.37 | 136,200,000 | 136,200 | 5.34 |
| 매립 | - | - | - | 1,200,000,000 | 1,200,000 | 47.08 |
| 토목 | - | - | - | 64,900,000 | 64,900 | 2.55 |
| 하부함체 | 1,200,000,000 | 1,200,000 | 47.28 | - | - | - |
| 합계 | 2,483,850,000 | 2,483,850 | 100 | 2,548,750,000 | 2,548,750 | 100 |

○ 신재생에너지 사용에 따른 비용 분석

- 플로팅 건축물은 수변 환경을 활용할 수 있기 때문에 신재생에너지 사용이 가능하며, 그 중 대표적으로 설치 가능한 해수열 히트펌프를 대상으로 초기비용과 유지관리비용을 분석하였음
- 에코델타시티 홍보관을 대상으로 열원장비 세 가지 대안을 비교 분석 하였으며, 그 결과는 다음 [표 2-7-26]과 같음

[표 2-7-26] 에코델타시티 홍보관 총 생애주기비용 분석

| 분 석 | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|---|---|---|---|
| 적용 시스템 | 해수열 히트펌프, 팬코일유니트 | EHP | 가스직화식 냉온수기, 냉각탑, 공기조화기 |
| 초기투자비용 | 119,600,000 원 | 114,400,000 원 | 108,000,000 원 |
| | | CASE 1 대비 4%▼(감) | CASE 1 대비 10%▼(감) |
| 유지관리비용 | 640,298,856 원 | 919,531,535 원 | 2,414,104,555 원 |
| | | CASE 1 대비 44%▲(증) | CASE 1 대비 277%▲(증) |
| 총 생애주기비용 | 759,898,856 원 | 1,033,931,536 원 | 2,522,104,554 원 |
| | | CASE 1 대비 36%▲(증) | CASE 1 대비 232%▲(증) |

- CASE 1의 해수열 히트펌프는 초기투자비용은 높지만 유지관리비용 측면에서 CASE 2 대비 44%, CASE 3 대비 277% 정도 낮으므로 총 생애주기비용을 고려할 때 CASE 1(해수열 히트펌프 열원)을 사용할 경우 초기투자비용은 4%~10% 정도 높지만 유지관리비용은 44%~277%를 절감할 수 있음. 따라서 신재생에너지를 활용한 설비시설은 설치·시공비

는 다소 증가할 수 있으나 유지관리비는 크게 감소할 것으로 예측됨

○ 이상의 결과를 바탕으로 플로팅 건축물의 비용 항목별 특성을 종합해 보면, 초기 공사비는 하부 함체 공사비가 추가로 발생하지만 일반건축물의 토목·매립공사비와 유사한 수준이며 상부구조물을 경량철골 구조로 축조하기 때문에 초기 공사비가 절감됨

○ 또한 수변 환경 이용을 위한 신재생에너지 관련 설치비가 다소 증가 할 수 있으나 신재생에너지 활용으로 인한 유지관리비는 대폭 절감될 수 있으며, 플로팅 건축물은 지속적으로 재사용이 가능하며 해체·철거가 거의 발생하지 않기 때문에 폐기처분비에 해당되는 해체비와 처분비는 일반 건축물과 비슷한 수준임을 알 수 있음

# 제8절 플로팅건축공사 시공기술

## 1. 정수역의 함체 진수공법 개발

### 가. 정수역의 함체진수공법 개발의 필요성

○ 플로팅 건축의 시공 사례가 적으며 시공 기술이 정립되지 않음

- 국내 플로팅 건축 시공 기술 중 함체 진수공법의 경우 연구 중이거나 조선 진수공법 기술을 가져옴
- 플로팅 건축 시공의 육·수상 작업의 시공 및 안전 기준이 정립되지 않음
- 국내 플로팅 건축의 사례로 세빛둥둥섬, 마리나 리조트 등이 있으나 해외에 비해 사례가 적고 기술 수준이 미흡
- 함체 진수도중 파손에 대한 우려

○ 함체 진수공법이 플로팅 공사 건체의 경제성 및 공사기간 등을 좌우함

- 콘크리트 함체의 경우 함체 전체의 크기가 크며 중량이 무거워 진수에 어려움이 있음
- 해외 진수공법의 경우 함체 크기가 작고 경량이며 기상환경에 대한 영향이 적어 함체 재료적 측면도 차이가 발생되어 적용이 힘듦
- 조선 진수공법의 경우 반영구적·고정형·초대형이므로 적용이 힘듦

○ 관광용 정수역에서 지속적으로 함체 진수가 이루어지지 않으며 해역과 다른 제약 때문에 조선 진수공법이 아닌 설치, 해체가 가능한 플로팅 건축만의 진수공법이 필요함

### 나. 플로팅 건축의 함체 진수공법 요구특성 도출

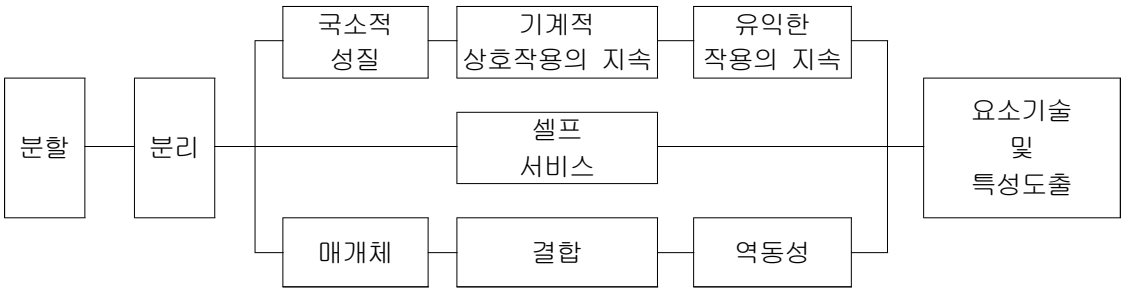
(1) 국내외 진수공법의 개요 및 주요 기술 비교

○ 국내 플로팅 사례(플로팅 아일랜드)에 적용된 진수공법과 조선 진수공법을 비교분석하고 이에 따른 특성을 도출하고 우선순위를 제시

○ [그림 2-8-1]와 같이 기존 기술 및 공법을 특성 및 요소기술 등으로 분해하고 재결합시켜 새로운 공법을 도출하는 트리즈 40가지 기법을 이용하여 플로팅 진수공법과 조선 진수공법을 분석함

- 진수공법 특성 도출을 위해 트리즈기법을 이용하여 요소기술 분해 및 결합, 성질분석
- 기능별 특성에 따른 정수역 플로팅 함체 진수에 적합한 특성의 우선순위 도출

- 특성의 우선순위에 적합한 기술의 조합을 통한 새로운 공법의 개발 기초자료로 활용




[그림 2-8-1] 트리즈기법을 이용한 요소기술 및 특성 분석 순서

[표 2-8-1] 진수 공법별 개요 및 사진

| 공법명 | 개요 | 사진 |
|---|---|---|
| 1. 드라이독 | 수심이 충분한 바다에 접한 육안에 인공적으로 연못을 파고 주위 벽과 바닥을 돌, 시멘트콘크리트 등으로 단단하게 축조한 다음, 입구에는 철재의 독 게이트(Dock gate)를 설치한 것 |  |
| 2. 플로팅 독 | 횡단면이 유자형(∪)이며, 밑부분에는 여러 구획으로 나누어진 이중저 탱크와 측면 양쪽 벽면에도 탱크가 여러 개 설치되어 있어서, 이들 탱크에 물을 넣거나 빼내면 뜨거나 가라앉게 되어 있는 강재구조물 |  |
| 3. 에어백 | 선박 또는 함체, 케이슨 등의 하부에 에어백을 설치하여 완만한 경사면을 통해 에어백을 회전시켜 진수시키는 공법 |  |
| 4. 슬립-웨이 | 소형선의 건조나 수리에 사용되는 것으로 완만한 경사면에 수중 깊은 곳까지 레일을 설치하여, 그 위에 바퀴가 달린 진수대를 여러 대 갖추어 놓은 시설 |  |
| 5. 크레인 | 보통의 선체(船體), 상자 모양의 배에 기중기를 장비하고 수상을 이동하는 배로서 지상 위의 중량물을 해상 또는 선박 위로 운반하는 크레인 |  |

(2) 플로팅 건축을 위한 함체 진수공법의 요구조건 분석

○ 진수공법 요구조건 분석을 위하여 플로팅 건축의 예정지인 정수역의 대지조건과 함체조건에 대한 조사 후 주요 제약의 도출이 필요함

- 대지조건은 관광용 정수역을 기준으로 하며 진수설비 설치에 제약을 줄 수 있는 조건을 도출함

- 주요 조건은 수목, 전신주, 보행등, 도로, 옹벽, 지내력 등으로 도출되며 이 중에서 수목, 전신주, 보행등이 포함되는 장물과 지내력을 주요 제약으로 선정
- 함체조건은 크기 및 중량을 주요 제약으로 선정

○ 정수역의 대지조건과 함체조건에 대응 가능한 진수공법의 요구조건을 도출하기 위한 플로팅 진수설비 설치 조건 도출이 필요함

- 플로팅 건축은 단일형 건축물이 많아 한 대지에서 지속적인 진수가 필요없어 고정형 진수공법 설치는 비효율적임
- 진수설비가 설치되는 대지는 함체의 중량과 진수설비의 중량을 버틸 수 있는 지내력이 확보되어야 하며, 진수로 주변에 수목이나 전신주, 옹벽 등의 장애물이 없어야 함

(가) 대지 제약에 따른 진수공법 요구조건 도출

○ 대지조건은 관광용 정수역을 기준으로 하며 진수설비 설치에 제약을 줄 수 있는 조건을 도출함 진수설비의 안정성은 지내력이 확보되지 않은 대지에 진수설비가 설치되어 중량이 큰 함체의 진수 중 처짐, 휨, 파손 등으로 인해 진수설비가 파손될 수 있으므로 지내력과 함께 확보되어야함

○ 진수설비 및 함체의 높이 조절 성능은 대지의 장애물로 인해 진수설비의 설치와 함체의 진수가 힘든 경우 함체와 함께 진수설비 등을 상하로 움직여 장애물을 선회하여 진수하는 기능으로 장애물로 인한 제약을 해결할 수 있음

(나) 함체 조건에 따른 진수공법 요구조건 도출

○ 함체 조건에 따른 요구조건은 진수설비의 폭과 길이 조절 성능으로 정리됨

○ 진수설비의 폭과 길이 조절 성능은 함체의 크기가 확정되지 않았거나 크기가 늘어날 수 있을 때 필요한 것으로 함체를 유닛형태로 진수할 경우 문제가 되지 않지만 2~4개 혹은 그 이상의 개수를 접합하여 진수할 경우 그 크기에 대응할 수 있는 기능임

(다) 정수역 플로팅 건축의 함체 진수를 위한 진수공법 조건 및 특성 도출

○ 플로팅 건축은 단일형 건축물이 많아 한 대지에서 지속적인 진수가 필요 없어 고정형 진수공법 설치는 비효율적임

○ 진수설비가 설치되는 대지는 함체의 중량과 진수설비의 중량을 버틸 수 있는 지내력이 확보되어야 하며, 진수로 주변에 수목이나 전신주, 옹벽 등의 장애물이 없어야함

다. 정수역 플로팅 건축의 함체 진수를 위한 진수공법 개발

○ 강관을 끼울 수 있는 베어링이 설치된 버팀대에 유압식 작키를 이용하여 함체의 고정 및 진수 준비

○ 함체의 진수 준비(윈치 연결 및 함체 접합)가 마무리되면 작키의 유압을 제거하여 함체를 강관 위에 배치시켜 진수

[표 2-8-2] 진수공법 사용 장비 및 적용조건

| 사용장비 | 장비 및 대지, 자재 조건 |
|---|---|
| -유압식 작키(버팀대의 양쪽으로 설치, 허용하중 1.5 ~ 2톤)<br>-베어링이 설치 가능한 버팀대(타 파일 그림 참조)<br>-강관(직경 100~150), 베어링, 강관버팀대 지지용 강판(두께 30~50)<br>-함체 운반용 크레인(50~100톤급), 윈치<br>-윈치는 3개 사용(전면 2개, 후면 1개), Pulley Block(2개) | -함체의 크기 및 중량(2.4m*7.5m*2.5m)<br>-지내력이 확보되며 평탄화 작업이 마무리 된 대지에 적용, 진수로의 장애물 제거<br>-작키의 유압 조절은 기계로 연결하여 조절(유압을 제거하는 것만 가능해도 됨)<br>-지지용 강판의 경사부분의 접합은 핀 접합방식 사용<br>-진수설비 지지용 강판의 움직임을 방지하기 위한 고정용 소형말뚝 사용<br>-수면 하부에 설치되는 진수설비의 처짐을 방지하기 위해 소형 기초 사용 |

(1) 공법 특징

○ 길이 7.5m에 약 20개의 작키가 설치되어 버틸 수 있는 최대 하중은 약 40톤

○ 진수설비 설치시간 약 4~5시간(윈치 제외)

○ 함체의 크기 증가 시 버팀대의 추가 설치로 대응 가능

○ 진수설비 완료 후 진수 1회 완료 시간은 약 1시간(1일 7~8회 진수 가능)

○ 함체 진수 형태는 에어백 진수와 비슷하지만 근로자의 접근이 필요 없는 형태

○ 함체와 연결된 윈치의 접합 및 분리, 작키의 유압 충전 및 제거만으로 반복진수 가능

(2) 진수 순서

○ 진수순서는 [그림 2-8-2]에 나타냈으며 각각의 작업 내용은 다음과 같음

① 대지 평탄화 작업 - 수목 등 대지의 장애물 제거

② 대지에 함체의 하중을 버틸 수 있는 자재(중소형 말뚝, 지지용 강판 등) 설치

③ 지지용 강판 위에 작키가 설치된 버팀대 설치

④ 윈치와 Pulley block 설치(윈치 설치 시 하부를 땅에 매입하여 고정)

⑤ 작키에 유압을 충전시켜 위로 올림

⑥ 함체의 운반 및 작키 위에 배치(크레인 이용)

⑦ 함체의 진수준비(윈치연결 및 함체 접합)

⑧ 작키의 유압을 제거하여 강관 위에 함체 배치(유압 제거는 기계식으로 함)

⑨ 버팀대의 유압을 조절하여 함체의 경사 조절

⑩ 전·후면의 윈치를 이용하여 진수 속도 조절 및 진수

⑪ 진수 완료 후 함체의 윈치 연결부 제거 및 다음 함체의 진수를 위한 준비(5번부터)

(3) 기존 공법과 차이점

○ 기계식 작키를 이용하여 동바리 등을 이용하지 않아 근로자의 안전성 확보(에어백)

○ 진수 완료 후 반복적인 진수를 위해 진수설비의 재배치가 필요 없음(에어백, 슬립)

○ 진수설비에 진수대의 설치가 필요 없어 설비의 유지관리에 유리, 경제성 확보(슬립)

○ 진수설비의 추가적인 배치가 가능하여 함체의 길이, 넓이에 따른 제약이 적음(크레인)

○ 대지의 훼손이 적음(드라이독)

○ 반복 진수 시 진수설비의 운반, 설치, 배치 등의 작업이 없는 단시간 진수공법(에어백, 슬립)

[표 8-2-3] 기존 진수공법 대비 차이점 및 개선점

| 분류 | 차이점 | 개선점 |
|---|---|---|
| 에어백 | - 동바리 사용<br>- 진수설비 재배치<br>- 진수시간 | - 유압식 작키 사용<br>- 진수설비의 재배치 필요 없음<br>- 단시간 진수 가능 |
| 슬립웨이 | - 진수설비 재배치<br>- 진수대 유무 | - 진수설비의 재배치 필요 없음<br>- 강관을 이용하여 진수대 필요 없음 |
| 크레인 | - 진수설비의 추가적인 배치 | - 함체의 크기에 따라 종방향, 횡방향으로 추가설치 가능 |
| 드라이독 | - 도크 설치 유무 | - 도크 설치 필요 없음 |

(4) 기존 공법 대비 추가된 기술 및 장비 기능

○ 함체 파손방지 기능 : 유압식 버팀대의 사용으로 버팀대의 위치별 강관 높이 조절을 통하여 함체의 파손을 방지하며 진수를 원활하게 함

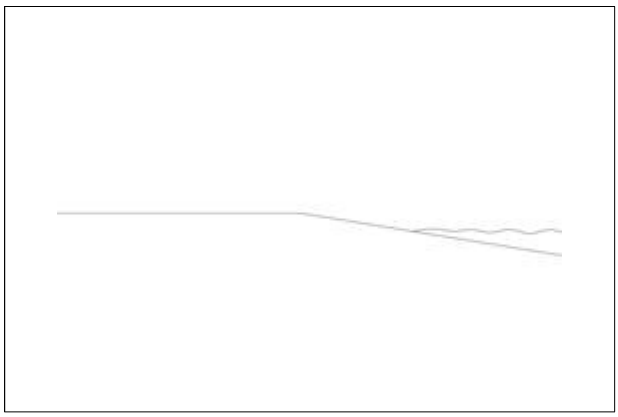
○ 반복 진수 기능 : 크레인을 통해 운반된 함체를 버팀대와 작키의 유압조절을 통하여 반복 진수가 가능

○ 지지용 강판의 각도 조절 : 대지 경사에 따른 지지용 강판의 각도 조절을 위하여 길이별 분리 및 힌지접합(핀접합)을 통해 원화한 각도 조절이 가능

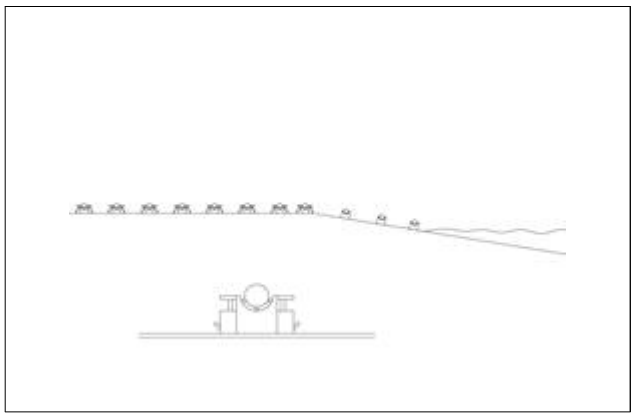
○ 진수설비 설치·해체 기능 : 탈부착식 강관 버팀대와 작키를 이용하여 원활한 설치와 해체가 가능(진수설비의 유닛은 유압식 버팀대, 유압식 작키, 지지용 강판, 강관으로 분류)

○ 진수설비 추가 설치 기능 : 함체의 폭이 넓어지거나 함체의 자중이 증가될 시 진수설비를 추가 설치하여 대응 가능

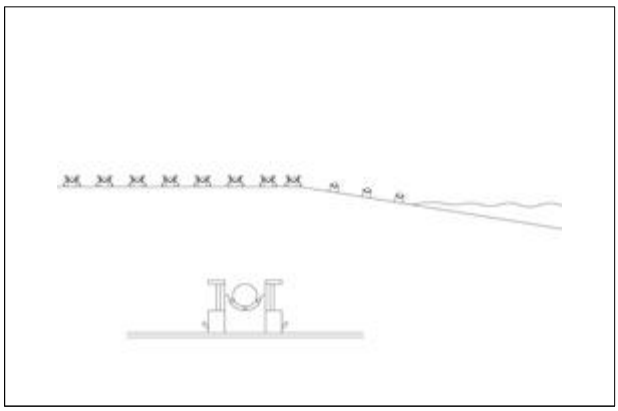
○ 강관 회전 기능 : 버팀대에 설치된 베어링을 이용하여 강관의 이동 없이 제자리 회전이 가능하여 진수를 위한 설비의 준비 반복이 필요 없음



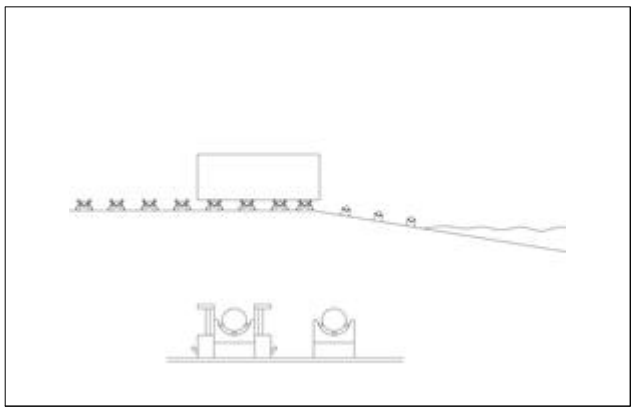
1. 대지정리



2. 지지용 강판 및 버팀대 설치

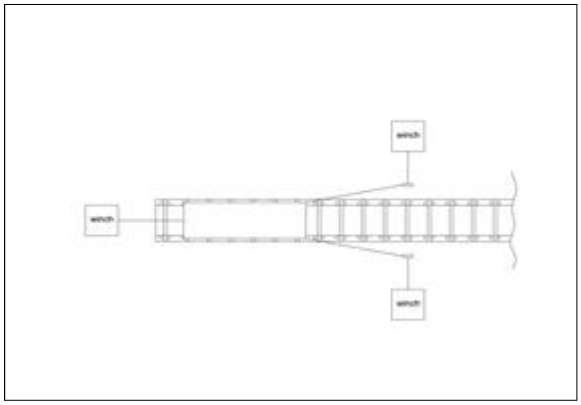


3. 버팀대의 유압 충전

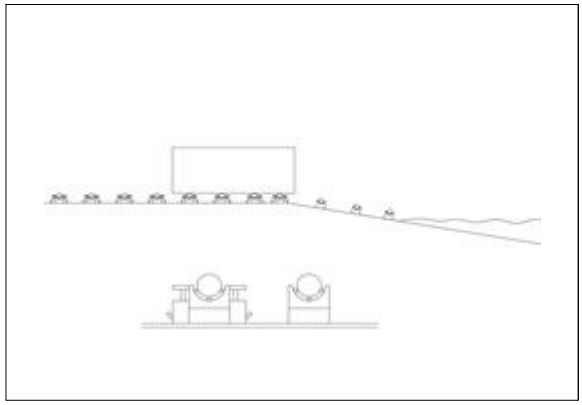


4. 함체 운반

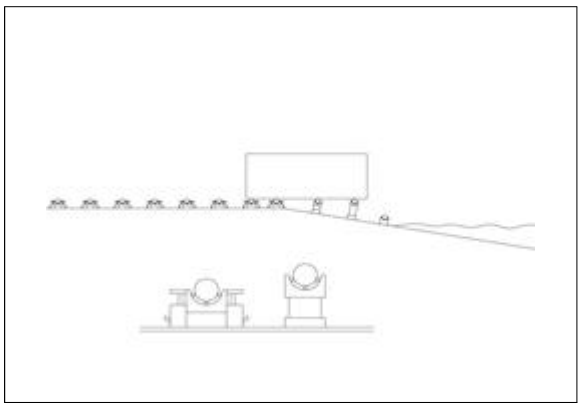
[그림 2-8-2] 유압식 강관 진수공법의 진수 순서도



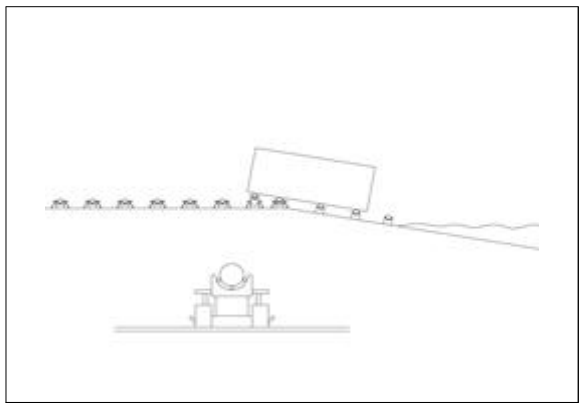
5. 진수준비 및 윈치 체결



6. 버팀대의 유압 제거



7. 경사지 버팀대의 유압 충전



8. 진수로 후미부분 유압충전 및 경사로 유압 제거

[그림 2-8-2] 유압식 강관 진수공법의 진수 순서도 (계속)

(5) 유압식 강관 진수공법의 진수설비 해체율 및 대지손상률

- 진수공법의 질적 목표치는 진수설비 해체율 90%이상과 대지손상률 40%미만이며 대지손상률은 진수설비의 설치를 위해 대지에 손상이 가해지는 면적에 대한 것으로 설정
- 진수설비의 해체율은 진수설비 설치면적인 10m×30m에서 윈치 고정용 박스의 콘크리트 타설 면적인 6㎡를 제외한 294㎡가 완전히 해체가 가능하여 약 98%의 해체가 가능
- 대지손상률은 진수설비 설치대지 600㎥에서 진수설비 설치를 위해 정리하는 대지(60㎥)와 윈치 고정용 콘크리트박스의 설치(5㎥), 진수설비 고정용 소형 말뚝(5㎥) 등으로 인한 손상률이 11.66%로 목표치인 40%미만을 만족

(6) 유압식 강관 진수공법의 추가 개선사항

- 강관을 이용해 콘크리트 함체를 진수할 시 강관과 콘크리트가 만나는 부분에서 함체의 파손이 발생할 수 있기 때문에 강관을 특수고무재질로 코팅하여 사용
- 진수설비의 지지용 강판의 두께와 설치 면적에 대해 기존에 설계한 면적보다

넓은 면적으로 설치하는 것이 안정적이므로 개선이 필요함.

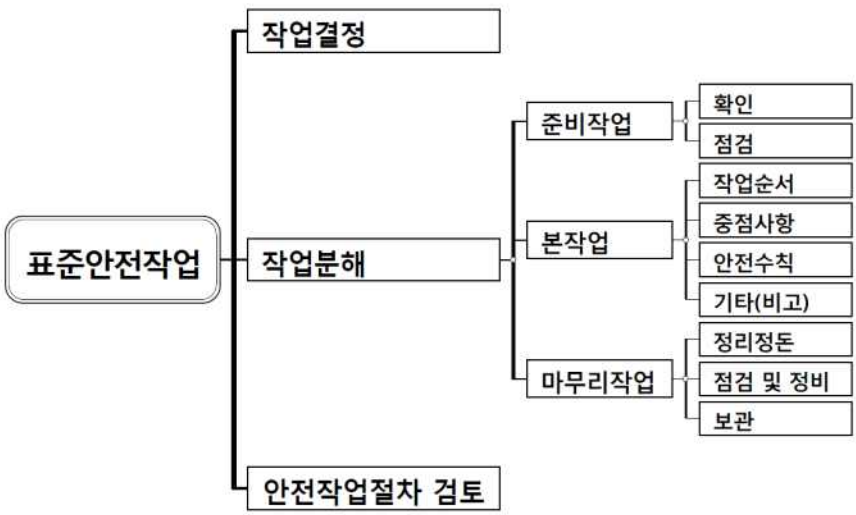
- ○ 강관을 이용시 함체의 중량을 버티지 못하고 휨이 발생할 수 있으므로 강관의 내부에 콘크리트를 채워 강도를 확보하거나 강봉을 이용하는 것이 안정적이므로 개선이 필요함
- ○ 함체의 방수가 외피에 실시되는 경우 방수가 파손되지 않도록 보양 혹은 기타 방식이 필요함

## 2. 플로팅 건축공사 표준안전작업절차서 개발

### 가. 표준안전작업절차서 일반사항

#### (1) 표준안전작업절차서 개발 목적

- ○ 플로팅 건축공사의 안전관리도구로서 보급하여 위험관리 및 안전관리활동을 개선하고 사업주의 안전참여 촉진 및 관리층의 안전관리 수준향상을 촉진시키고 건설안전 전문기관/단체의 기술지원사원의 효과적 수행을 위한 지원도구로 제공함으로써 건설재해로 인한 근로자의 인명보호 및 이로 인한 손실을 예방하는데 있음
- ○ 플로팅 건축공사에서 표준안전작업절차서 활용을 위해 플로팅 건축공사의 특수성을 안전작업절차서에 반영해야 함
- ○ 불안전한 상태는 안전시설 미비로 인한 작업행동의 실수 유발과 불안전한 행동은 안전기준, 안전수칙 등의 무시, 작업행동의 불량, 작업방법의 결함 등이 있음




[그림 2-8-3] 표준안전 작업 절차 분해도

(2) 표준안전작업절차서 작성 방법

○ 위험성 평가와 표준안전작업절차의 통합방법은 하나의 단위작업에서 인적, 물적, 작업방법, 기계・장비, 환경・위치 위험요인으로 분류하여 교육적, 관리적, 기술적 개선대책을 도출하여 위험성 평가를 함

○위험성 평가의 개선대책 내용을 안전작업절차서의 준비작업, 본작업, 마무리작업에 적용하고 플로팅 건축공사의 특수성을 고려하여 통합된 표준안전작업절차서를 작성

(3) 표준안전작업절차서 내용

○ 표준안전작업절차는 서론으로 일반사항, 일반수칙, 공통사항 등으로 구성하고 준비작업에서는 작업에 필요한 일반내용인 작업구분, 단위작업, 작업장소, 작업장소 이동성, 사용기계, 사용공구, 사용재료, 보호구, 자격면허, 작업인원 등의 내용

○ 단위작업에서 확인해야 될 작업자, 도면, 설비, 기상조건 등을 확인하고 사용기계, 사용공구, 사용재료, 보호구, 가설시설 등의 점검

○ 본 작업에서는 단위작업순서와 각 단위작업의 위험성을 표시하고 각 단위작업별 중점사항과 안전사항을 중심으로 작성

○ 마무리 작업에서는 단위작업 마무리에 필요한 정리정돈 및 해체 등의 내용으로 작성

(4)표준안전작업절차서의 용도 및 활용법

○ 관리감독자 및 작업자에게 안전관리 수단을 제시하고 이 수단으로 위험요인 제거 및 안전작업절차로 활용하고 플로팅 건축공사의 안전보건상 법적요건의 준수를 위한 안전관리 지침제공

(5) 기존의 안전작업절차서와의 차이점

○ 플로팅 건축공사에서 작업위치의 경우 작업의 흐름에 따라 위치가 변할 수 있기 때문에 이 점을 유의해야함

○ 또한 위치가 육지와 수상으로 변하기 때문에 기존 4가지 위험요인 외에 환경・작업 위치적 요인을 추가적으로 도출 개선

○ 국내의 세빛둥둥섬에서 사용했던 해상 안전관리 부분을 참고하고 해양・항만시설 공사, 해양 토목, 해외 사례 등에서 기술 및 관리적 개선사항을 고려하여 국내 건설업에 맞게 개선

○ 플로팅 건축공사에서 고려돼야 될 사항은 단위작업의 작업장소의 이동유무에 따른 작업자 안전, 기계, 공구, 보호구 등의 가설설비의 추가적으로 발생하는 고려사항

을 개선

○ 표준안전작업절차 작성 시 일반사항과 기계 공구 등의 내용이 누락 없이 포함돼야 하고 작업절차를 제시하여 각 단계별 필요한 중점사항이나 안전사항을 작성하고 글로 부족한 부분은 기타(비고)란에 그림, 표, 사진 등을 첨부할 수 있도록 개선

나. 플로팅 건축공사의 수상작업 일반

○ 재료 및 용접 / 재료 / 콘크리트 구조용 재료

– 일반사항

· 적용 : 모든 재료는 사용조건에 적합하고 품질이 양호하며 공인된 사양의 것으로 유해한 결함이 없어야 하며, 콘크리트 구조물의 건조에 사용하는 재료는 해양환경에 대한 강도와 내구성을 가진 것이어야 한다.

• 구역 : 다음 각 구역에는 특별히 주의를 하여야 한다.

① 서브머지드 구역콘크리트의 화학적인 약화, 철근부의 부식, 콘크리트의 마모

② 스플래쉬 구역결빙-해빙에 의한 내구성, 철근부의 부식, 콘크리트의 화학적 약화, 화재

③ 결빙구역결빙-해빙에 대한 내구성, 철근부의 부식, 콘크리트의 화학적 약화, 화재, 콘크리트의 마모

④ 대기구역결빙-해빙에 대한 내구성, 철근부의 부식, 화재

– 시멘트

– 물

– 염화물 또는 유화물 함유량

– 골재

– 혼합물

– 기타 내구성 요건

○ 특수 환경조건 고려

– 파랑

– 바람

– 해류

– 온도

- 착빙과 적설
- 해양생물
- 지진활동도와 지진에 관련한 현상
- 유빙

○ 전체 설계에 대한 고려
- 수면과 구조물과의 거리(air gap)
- 장기(long-term) 및 2차 영향(secondary effects)
- 참고표시(분별표시)
- 노출구역

○ 특수한 형태의 구조물에 대한 고려
- 파일지지 강철 플랫폼
- 콘크리트 또는 강재중력형 플랫폼
- 콘크리트-철근 혼합구조물
- 인장 각식 플랫폼(tension leg platform)
- 최소형 구조물(minimum structure)
- 특정위치에 설치될 갑판승강형 이동식 해양구조물

○ 콘크리트 구조물 공사 시 고려사항
- 콘크리트의 배합, 타설(placing)과 양생
- 배합

콘크리트의 배합은 우리 선급이 인정하는 규정(예 : ACI 318, ASTM C 94 등)을 따라야 한다.

- 추운 날씨

기온이 낮을 때, 즉 대기온도가 2° C 이하에서는 결빙으로 인한 생콘크리트(fresh concrete)의 손상을 방지할 수 있는 특별한 예방책을 하는 경우에만 콘크리트 작업을 하여야 한다. 콘크리트를 칠 때의 온도는 최저 4° C 이상이어야 하고 콘크리트의 강도가 최저 5N $mm^{2}$가 될 때까지 이 온도 이상으로 유지되어야 한다. 필요한 곳에는 콘크리트의 보호재 또는 방열재를 시공하여야 한다. 배합에 사용되는 골재(aggreg- ates)와 물에는 눈, 얼음, 서리 등이 없어야 한다. 생콘크리트(fresh concrete)의 온도는 배합에 사용되는 물 또는 혼합재, 또는 양자를 가열하여 상승시킬 수 있다. 시멘트를 가열하거나 또는 60° C 이상의 기온에서 물과 접촉되어서

는 아니 된다.

– 더운 날씨(hot weather)

기온이 높을 때는 요구되는 강도, 구조부재 혹은 구조물의 사용성 또는 요구되는 강도에 손상을 줄 수 있는 과도한 콘크리트의 온도 또는 물의 증발 현상을 방지하기 위하여 혼합재료, 시공방법, 취급, 타설, 보호재, 양생 등에 적절한 주의를 하여야 한다. 타설된 콘크리트의 온도는 30° C를 초과하지 않아야 하고 수화작용의 열로 인한 최대온도는 65° C를 초과하지 않아야 한다.

– 양생(curing)

콘크리트의 양생에는 최대의 내구성을 확보하고 균열을 최소화하기 위해 특별한 주의를 하여야 한다. 콘크리트는 경화하는 동안 가능한 한 콘크리트 표면을 습한 상태로 유지하기 위해 담수로 양생시켜야 한다. 콘크리트 온도의 급강하 현상을 피하기 위하여 뜨거운 콘크리트 표면에 냉수를 뿌릴 때는 주의를 하여야 한다.

– 해수

강화 또는 압축 콘크리트의 양생에는 건조계획의 수행상 요구되더라도 해수를 사용하여서는 아니 되며 “young” 콘크리트는 물리적인 손상에도 불구하고 충분한 강도를 얻을 수 있는 경우에는 해수 속으로 부어 넣을 수 있다. 전 양생기간을 통하여 콘크리트 표면을 영구적으로 습한 상태를 유지하는 능력에 의문이 있는 경우는 복합 후막 양생법(heavy duty membrane curing compound)을 사용하여야 한다.

– 온도 상승

시멘트 수화현상의 열로 인한 콘크리트의 온도상승은 콘크리트의 균열의 원인이 될 수 있는 급격한 온도-응력 기울기를 방지하기 위하여 조절되어야 한다. 수화 현상의 열은 중대한 팽창의 원인이 되기 때문에 구조부재는 과도한 균열이 발행하지 않게 하기 위하여 수축을 구속하지 않아야 된다. 일반적으로 콘크리트의 두께가 610mm를 초과할 때는 콘크리트의 내부와 외부의 온도차는 20° C 이하로 하여야 한다.

– 접 합(joints)

구조물의 접합은 구조물의 강도를 손상시키지 않고 균열을 방지할 수 있도록 만들어져야 하고 또한 그러한 위치에 설치하여야 한다. 콘크리트 표면의 접합 부분은 완전하게 깨끗하여야 하며 또한 고여 있는 물이 제거되어져야 한다. 수직 접합부는 새로운 콘크리트를 타설하기 전에 완전하게 습한 상태를 유지해야 하고 순수한 시멘트 그라우트 또는 동등의 강화 시멘트 반죽 또는 에폭시 코팅(epoxy coating)을 하여야 한다.

– 수밀접합

수밀성 구조접합이 요구되는 때에는 상기의 설비 외에 현재의 콘크리트의 굵은 골재가 노출되어야 되고 콘크리트 작업 전에 에폭시 수지 접착 화합물(epoxide-resin bonding compound)을 뿌려야 한다. 이 경우에는 순수한 시멘트

그라우트를 생략할 수 있다.

- 철근(reinforcements)
- 프리스트레싱 텐돈, 덕트 및 그라우팅

○ 기초 공사 시 고려사항

- 해저조사
- 지질조사
- 지표 밑 조사와 시험

○ 파일기초 시 고려사항

- 횡방향 하중을 받는 파일
- 앵커(anchor) 파일
- 파일군(pile groups)
- 파일과 구조물의 연결

○ 일반적인 해상작업과정

- 리프팅(lifting) 및 계류 작업
- 견인, 진수 또는 초기 부양
- 해상건조 작업
- 예인
- 진수 및 직립 작업
- 침수
- 파일설치
- 설치장소에서 최종적인 건립

○ 수상안전관리

- 함체위의 모든 대상물은 항상 정리, 정돈되어 있어야 하며 불안전한 요소를 최대로 제거
- 함체는 미끄러움으로 수상에 추락하는 일이 없도록 항상 뻘, 모래, 먼지 등을 깨끗이 씻음
- 상륙용 발판은 견고하고 미끄럽지 않게 판자를 대고 발판은 선박 및 육지에 결박

- 함체에는 높은 중량물이 동요에 의하여 추락하거나 이동하지 않게 결박
- 높은 곳의 작업시는 안전벨트를 사용하거나 발판을 설치하여야 하고 난간을 설치
- 중량물 운전시 파랑에 의한 동요로 선체의 중심을 잃어 실족하는 예가 많으므로 안전 대책을 강구하여 작업에 임함
- 중량물 등은 소수의 인원으로 무리하여 들지 말 것이며 반드시 허리를 수직으로 세우고 무릎의 힘으로 들어야 함
- 수상 파이프상의 통행은 가급적 피해야 하며 부득이한 경우에는 위험한 곳에 난간을 설치하고 파이프 위가 미끄럽지 않도록 함
- 함마 작업 중 전후방에 사람을 멀리하고 지지보조원은 직접 손으로 지지하지 말고 집게, 지지대 등을 사용하여야 하며, 자루가 탈락되는 일이 없도록 수시로 검사
- 함체위에는 비상앙카, 비상용 도끼, 지렛대, 함마 등을 정 위치에 비치해 두어 유사시에 즉시 사용이 가능하도록 함
- 선박 예인 및 부두 정박을 위한 계류 작업은 2인 이상이 하여야하며, 파랑에 의한 충격, 인장 등 비정상적인 작업여건에 유의
- 부두 정박 시 계류 와이어는 파랑에 의한 신장도가 크므로 작업 과정에서 주의하며 계류 와이어를 밟거나 넘어 다니지 않도록 함
- 야간작업이나 거리가 떨어진 외딴 곳에서 작업시는 반드시 2인 이상이어야 하며 책임자가 인지할 수 있는 대책(조명, 무전기, 확성기 등)을 강구
- 함체 위나 난간 또는 선체 외부 양 현측의 수리 및 도장 작업 시에는 반드시 구명동의를 착용
- 모든 선체의 선실 출입구, 현문, 현장 등은 항상 완전한 수밀장치를 갖춤
- 선체 보호를 위한 방충제는 충분히 충격을 방지할 수 있는 것으로 설치

다. 플로팅 건축공사의 표준안전자업절차서

(1) 공사개요 포함내용

○ 설계명, 용도, 대지 위치, 공상 종별, 도로현황, 함체 면적, 건축 면적, 지상 연면적, 전체 연면적, 건폐율, 용적률, 층수, 구조, 외부마감, 최고높이

(2) 가설공사 포함내용

○ 개요, 비계, 가설기계, 안전난간, 경사로

(3) 표준안전작업절차서 일반사항

○ 표준안전작업절차서는 [그림 2-8-4]와 같음

(4) 플로팅 건축공사 표준안전작업절차 시 추가 고려사항

○ 하부 연안 구조물들은 토목의 시방서 및 설계기준을 바탕으로 검토

○ 상부 건축구조물의 염해 및 외력에 대하여 충분한 대책 필요

○ 수중작업에 대한 안전사항 내용 고려

- 자격요건
- 잠수사 건강사항
- 장비 점검사항
- 잠수 시 점검사항
- 잠수점검 표

○ 해상•항만 공사 시공별 안전대책 내용 추가

○ 해상•항만시설의 설계시 고려사항 추가

| 표준안전작업절차 일반사항 | | | |
|---|---|---|---|
| 작업구분 | | 단위작업 | |
| 작업장소 | | 작업장소 이동성 | |
| 사용기계 | | 사용공구 | |
| 사용재료 | | 보호구 | |
| 자격면허 | | 작업인원 | |

| 표준안전작업절차 확인 및 점검사항 | | | |
|---|---|---|---|
| 확인사항 | 내용 | 점검사항 | 내용 |
| 작업자 | | 사용기계 | |
| 도면 | | 사용공구 | |
| 안전설비 | | 사용재료 | |
| 기상조건 | | 보호구 | |
| | | 가설시설 | |

| 설치 순서 및 안전사항 | | |
|---|---|---|
| 작업순서 및 위험성 | 중점사항·안전사항 | 기타(비고) |
| 1. | | |
| 2. | | |
| 3. | | |
| 4. | | |

[그림 2-8-4] 표준안전작업절차서

## 3. 플로팅 건축공사 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전메뉴얼

### 가. 플로팅 건축공사 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전메뉴얼 개발 필요성

- ○ 국내 플로팅 건축 시공 사례가 적으며 시공 기술이 정립되지 않았기에 그에 따른 위험요인 및 위험요인에 대한 대책에 대한 사항이 정립되지 않음
- ○ 플로팅 건축 시공 시 육, 수상 작업의 시공 및 안전 기준이 정립되지 않음
- ○ 국내 플로팅 건축물의 사례도 있으나 개발된 함체 진수공법에 대한 위험방지계획서 및 안전 기술 수준이 미흡
- ○ 플로팅 건축공사 시공 시 위험관리 및 체계적인 체계가 잡혀있지 않음
- ○ 근로자의 인명보호 및 이로 인한 손실을 예방을 하기 위해 대응 프로세스 및 관련 필요 절차서를 정립함

### 나. 플로팅 건축 유해위험방지계획서 요구특성 도출

#### (1) 플로팅 건축공사 작업공종별 분해 및 위험요인 도출

- ○ 플로팅 건축공사의 전체의 공정을 각 작업공정별로 분류
- ○ 작업공정을 세부작업으로 분류하고 작업 중 발생할 수 있는 모든 위험 요인을 도출
- ○ 작업 내용을 세세히 조사하고 위험요인이 누락되지 않도록 하여 정확하고 자세한 위험요인을 도출해야 함

#### (2) 플로팅 건축공사 시 작업 진행에 따른 대응 프로세스 수립

- ○ 플로팅 건축공사 과정에 필요한 프로세스를 수립 및 분류
- ○ 작업 내용을 세세히 조사하고 위험요인이 누락되지 않도록 하며, 각 프로세스에 필요한 범위, 책임과 권한, 절차, 절차서를 수립

#### (3) 위험성 평가 및 중점위험요인에 대한 안전대책 수립

- ○ 공사 중의 잠재 위험요인을 발굴하고 발생 가능한 사고의 재해특성 및 발생 빈도와 강도를 고려하여 평가
- ○ 위험성평가는 플로팅건축 예정지로 선정된 대지의 환경과 현장 수준을 고려하여 설정
- ○ 위험성 평가결과 위험성이 커서 재해를 예방하기 위해 별도의 안전대책의 수립과 관리가 필요한 위험요인에 대하여 안전대책을 수립

○ 위험성 평가결과 분류된 중점위험요인에 대해 위험요인을 제거, 격리, 차단, 방호할 수 있는 안전대책을 수립

(3) 보완 및 심사

○ 유해위험방지계획서는 공사개요, 안전보건관리계획, 작업공종별 유해위험방지계획, 작업환경 조성계획 항목으로 작성

○ 작업공종별 유해위험방지계획은 공사단계별로 작성

○ 공사 진행중 필요 절차서 및 추가 표준에 대해서는 각 현장 상황에 맞추어서 제정한다.

○ 자문을 통하여 유해위험방지계획서와 플로팅 건축공사 안전메뉴얼에 대한 심사를 하고, 추가 보완이 필요한 부분에 대하여 보완 및 재심사

# 건설공사 유해·위험방지계획서

| 접수번호 | 접수일자 | 처리일자 | 처리기간 16일 |
|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 계획서 내용 등 | 공사종류 | 플로팅건축물 건설공사 | | | | |
| | 대상공사 | | | | | |
| | 발주처 | | 공사도급 금액 | | | |
| | 공사착공 예정일 | | 공사준공 예정일 | | | |
| | 공사개요 | 구조 : 철근콘크리트조(함체 및 상부구조)<br>용도 : 문화 및 집회시설 | | | | |
| | 본사소재지 | | | | | |
| | 예정 총들원 근로자수 | | 참여 예정 협력업체 수 | | 참여 예정 협력업체 근로자 수 | |

| | | |
|---|---|---|
| 계획서 작성자 | 성명 | |
| | 작성자 주요경력 | |

| | | |
|---|---|---|
| 계획서 검토자 | 성명 | (서명 또는 인) |
| | 검토자 주요경력 | |

「산업안전보건법」 제48조 및 같은 법 시행규칙 제121조 제2항에 따라 건설공사 유해·위험방지계획서를 제출합니다.

년 월 일

제출자(사업주 또는 대표자) (서명 또는 인)

한국산업안전보건공단 이사장 귀하

| | | |
|---|---|---|
| 첨부서류 | 「산업안전보건법 시행규칙」 별표 15에 따른 서류 | 수수료<br>고용노동부장관이 정하는 수수료 참조 |

## 공지사항

본 민원의 처리결과에 대한 만족도 조사 및 관련 제도 개선에 필요한 의견 조사를 위해 귀하의 전화번호(휴대전화)로 전화조사를 실시할 수 있습니다.

## 처리절차 [한국산업안전보건공단(지역본부, 지도원)]

| 계획서 제출 | → | 접 수 | → | 검토 · 확인 | → | 결 재 | → | 결과 통지 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제출자 | | 문서접수 담당부서 | | 유해·위험방지계획서 검토 담당부서 | | 지역본부·지도원장 | | 문서발송 담당부서 |

210mm×297mm [일반용지 60g/㎡(재활용품)]

○ 일반사항

| 일반사항 | | | |
|---|---|---|---|
| 작업구분 | | 단위작업 | |
| 작업장소 | | 작업장소 이동성 | |
| 사용기계 | | 사용공구 | |
| 사용재료 | | 보호구 | |
| 자격면허 | | 작업인원 | 00명 |
| 협력업체명 | | 현장소장 | |
| 작업기간 | | 일 작업인원 | |
| 안전설비 | | | |
| 특별사항 | | | |

PR-AIK-S-001-2015

# 플로팅 건축공사 안전 메뉴얼

Safety Manual for Floating Building Construction

OOO위원회

2015. 5.

삼표 대한건축학회
ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA

# 제9절 플로팅 건축 설비 설계

## 1. 플로팅 건축 설비 시설계

○ 4차년도 연구는 국내 · 외 관련 사례조사와 설비시스템의 적용여부를 확인하여 법적 기준을 적용하여 시설계로 진행하였음

### 가. 플로팅 건축 설비 설계 적용기준

#### (1) 설계기준

##### (가) 설계용 외기온·습도 조건

○ “국토교통부고시 제2014-520호, 건축물의 에너지절약설계기준, 별표7 냉난방장치의 용량계산을 위한 외기온 · 습도조건” 의 부산지역 기준을 적용하였음

○ 다음 [표 2-9-1]은 부산지역 설계용 외기온 · 습도 조건을 나타낸 것임

[표 2-9-1] 부산지역 설계용 외기온·습도 조건

| 구 분 | 하 절 기 | | TAC(%) | 동 절 기 | | TAC(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 건구온도(℃) | 상대습도(%) | | 건구온도(℃) | 상대습도(%) | |
| 일 반 | 30.7 | 70.3 | 2.5 | -5.3 | 46.0 | 97.5 |

##### (나) 실내 설계온·습도 조건

○ “국토교통부고시 제2014-520호, 건축물의 에너지절약설계기준, 별표8 냉난방장치의 용량 계산을 위한 실내 온습도 기준” 의 냉난방 설정온도로 적용하였음

○ 다음 [표 2-9-2]는 에코델타시티 홍보관 실내 설계온 · 습도 조건을 나타낸 것임

[표 2-9-2] 에코델타시티 홍보관 실내 설계온·습도 조건

| 구분 / 용도 | 난 방 시 | 냉 방 시 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| | 건구온도(℃) | 건구온도(℃) | 상대습도(%) | |
| 전 시 관 | 20 | 26 | 50~60 | |
| 홍 보 관 | 20 | 26 | 50~60 | |
| 관 리 실 | 20 | 26 | 50~60 | |
| 학예사실 | 20 | 26 | 50~60 | |
| 회 의 실 | 20 | 26 | 50~60 | |
| 관 장 실 | 20 | 26 | 50~60 | |
| 사 무 실 | 20 | 26 | 50~60 | |

(다) 실내 부하 조건

○ 인원당 도입외기량은 “국토교통부령 제54호, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 별표1의6 기계 환기를 설치해야 하는 다중이용시설 및 각 시설의 필요 환기량” 에서 참조하였으며, 인체발열량 설계기준은 “2009 ASHRAE HANDBOOK Fundamentals, ch. 18"에서 참조하였음

○ 다음 [표 2-9-3]은 실내부하조건을 나타낸 것임

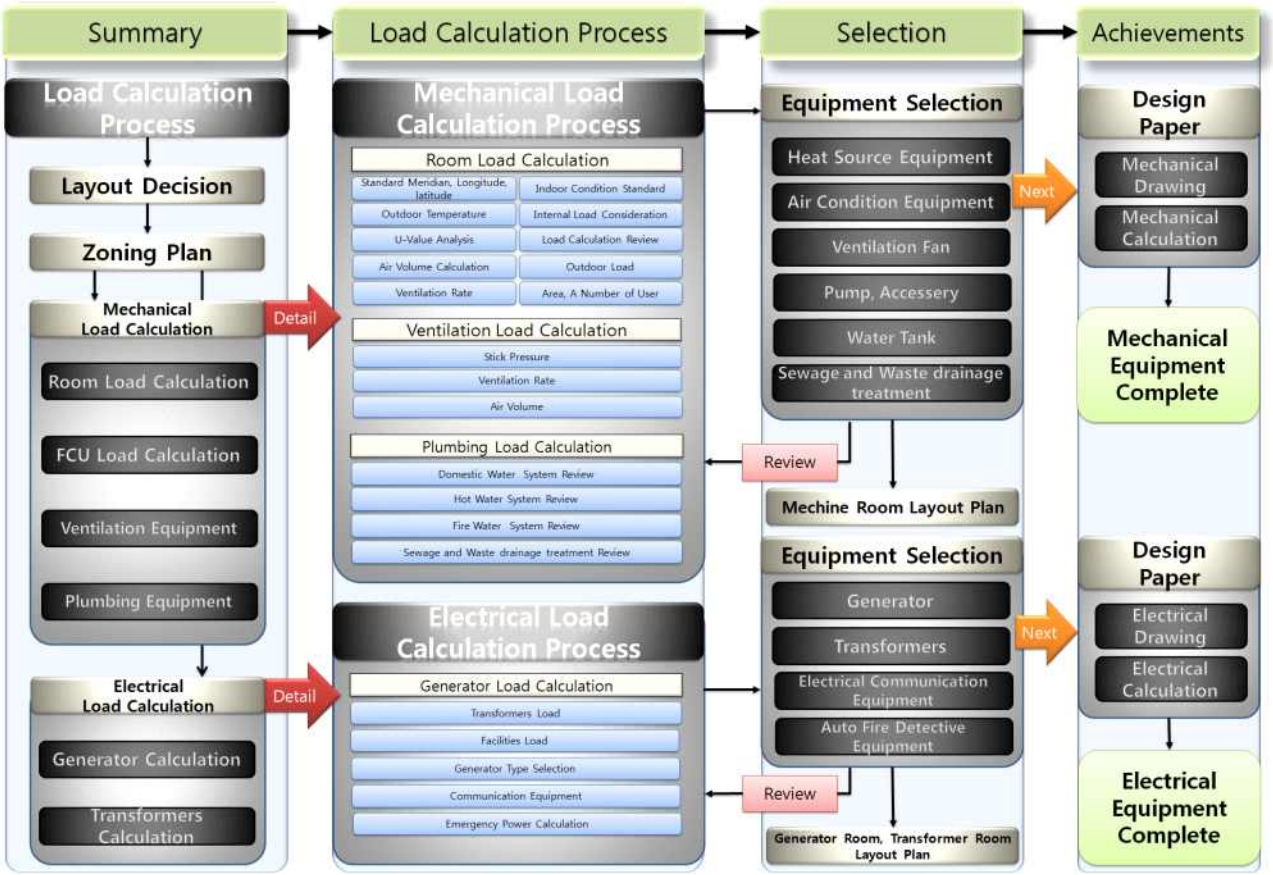
[표 2-9-3] 실내부하조건

| 구 분 | 조명부하 | 기기부하 | 인원수 | 인체(W/인) | | | 도입 외기량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | W/㎡ | W/㎡ | 인/㎡ | 현열 | 잠열 | 기준온도 | ㎥/h · 인 | |
| 다목적 전시관 | 30 | 10 | 0.07 | 61 | 54 | 26 | 29 | |
| 영상 홍보관 | 30 | 10 | 0.04 | 61 | 54 | 26 | 29 | |
| 관리실 | 20 | - | 0.08 | 61 | 54 | 26 | 29 | |
| 학예사실 | 20 | 10 | 0.05 | 61 | 54 | 26 | 29 | |
| 회의실 | 20 | 10 | 0.3 | 61 | 54 | 26 | 29 | |
| 관장실 | 20 | - | 0.08 | 61 | 54 | 26 | 29 | |
| 에코델타시티 홍보관 | 30 | 10 | 0.08 | 61 | 54 | 26 | 29 | |

나. 플로팅 건축 설비 설계 계획

(1) 에코델타시티 홍보관 설비설계 과정

○ 에코델타시티 홍보관 설비설계를 위한 과정은 다음 [그림 2-9-1]과 같이 기계/전기/소방 설비로 진행됨




[그림 2-9-1] 에코델타시티 홍보관 설비 설계 Flow Chart

○ 먼저 Lay out을 바탕으로 건축물의 위치, 대지면적, 외기온도, 습도 등 1차적인 특성을 파악하고 실별 용도에 따른 조닝으로 냉난방, 위생, 환기, 소방기기 등을 나누어 고려함

○ 부하계산 후 각 용량에 맞는 장비를 선정 후 장비 소비전력에 따른 발전기를 선정함

○ 또한, 배관, 전선, 케이블 등 플로팅 건축물의 특성을 고려하여 장비선정의 적정성을 판단함

○ 재검토를 통한 문제보완 후 설계를 위한 도면, 계산서를 작성하여 설비 설계를 진행함

(2) 에코델타시티 홍보관 건축 특성 및 기반시설 조사

○ 에코델타시티 홍보관 시설계를 위한 건축개요는 다음 [표 2-9-4]와 같고 대지위치는 부산시 강서구 대저 2동 일대로 평강천 하부에 계획이 됨

[표 2-9-4] 에코델타시티 홍보관 건축개요

| 구 분 | 내 용 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 사 업 명 | 에코델타시티 홍보관 | | |
| 대지위치 | 부산시 강서구 대저2동 일대 | | |
| 연 면 적 | 951 ㎡ | 288.18 평 | |
| 건축면적 | 1,537 ㎡ | 465.75 평 | |
| 주요용도 | 홍보관 및 사무실 | | |
| 시설규모 | 지상 3층 | | |
| 최고높이 | 10.7 m | | |

○ 기반시설 조사는 [표 2-9-5]와 같이 진행하였으며 집단에너지 공급불가, 도시가스와 상수도는 푼튠까지 공급이 불가하나 강변 근처까지는 공급이 가능하였음

○ 상수도의 경우 강변근처에 저수조실을 두어 에코델타시티 홍보관의 사용처에 공급하는 것으로 계획

○ 오배수의 경우 강변근처에 오배수처리실을 두어 에코델타시티 홍보관에서 나오는 오배수를 처리하여 공공수역으로 방류하는 것으로 계획함

[표 2-9-5] 에코델타시티 홍보관 기반시설 조사

| 구 분 | 적용여부 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| | 푼 튠 | 강변근처 | |
| 집단에너지 | × | × | 산업통상부 |
| 도시가스 | × | ○ | 부산도시가스 |
| 상수도 | × | ○ | 부산시청 |
| 하수도 | × | ○ | 부산시청 |

(3) 열원설비 계획

(가) 해수온도차 열원 적용 가능성 검토

○ 연안 및 강변 등, 수해양에 신축되는 플로팅 건축물의 설비 설계 시 선행적으로 고려되어야하는 사항으로 지리적 특성을 고려한 열원설비 적용가능성를 판단하는 것임

○ 플로팅 건축물은 에너지 부존량이 거의 무한한 수공간에 위치하였으며, 공기보다 계절에 따른 온도변화가 적고 여름에는 차갑고 겨울에는 대기보다 따뜻한 성질을 이용하여 언제나 이용이 가능한 해수 온도차 열원의 적용이 가능함

○ 다음 [표 2-9-6]은 해수온도차 열원의 열특성을 나타낸 표임

[표 2-9-6] 해수온도차 열원의 열특성

| 열 원 | 매 체 | 이용방법 | 용 도 | 특 징 |
|---|---|---|---|---|
| 해수온도차 열원 | 저온수 30℃ 이하 | 히트펌프 열원, 냉각수 등을 이용한 냉온열 제조 | 냉방<br>난방<br>급탕 | · 계절에 따른 온도변화 적음<br>· 열원으로서 언제나 이용가능<br>· 여름은 대기보다 차갑고 겨울은 대기보다 따뜻함<br>· 에너지 부존량이 거의 무한함 |

○ 해수온도차 에너지 열원을 이용하기 위한 방법은 직접시스템과 간접시스템으로 나뉠 수 있으며, [그림 2-9-2]는 해수온도차 에너지 열원의 직접시스템과 간접시스템의 도식화 한 것임




(a) 해수온도차 에너지 직접 시스템 [개방형]




(b) 해수온도차 에너지 간접 시스템 [밀폐형]

[그림 2-9-2] 해수온도차 에너지 열원 이용 시스템

○ 해수온도차 에너지 직접 시스템[개방형]을 사용할 경우 취수온도가 7℃이하의 낮은 온도에서는 개방형 사이클로는 난방효율[COP]를 기대하기 어려워[54], 지

역적으로 평균 해수 온도를 파악하여 적용하여야 함

○ 다음 [표 2-9-7]은 해수온도차 에너지 직접 시스템을 사용하기 위한 냉난방기간 월 평균 해수온도[55]를 나타낸 것임

[표 2-9-7] 해수 온도차 에너지의 열특성

| 지역 \ 기간 | 냉방기간 월평균해수온도(℃) | | | | 난방기간 월평균해수온도(℃) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 12월 | 1월 | 2월 | 3월 |
| 인 천 | 19.4 | 23.2 | 25.4 | 23.4 | 7.6 | 4.0 | 2.8 | 5.0 |
| 부 산 | 17.9 | 20.7 | 23.9 | 22.9 | 13.0 | 11.3 | 11.2 | 12.0 |
| 울 산 | 16.7 | 17.6 | 21.0 | 22.3 | 14.7 | 12.9 | 12.2 | 12.3 |
| 강 릉 | 16.8 | 20.4 | 22.8 | 21.7 | 10.6 | 8.4 | 7.1 | 7.5 |
| 군 산 | 22.2 | 25.1 | 25.6 | 26.2 | 6.0 | 2.8 | 3.5 | 6.8 |
| 목 포 | 20.1 | 23.4 | 25.3 | 23.5 | 9.4 | 6.2 | 5.2 | 6.9 |
| 서 귀 포 | 18.9 | 22.8 | 25.7 | 24.6 | 17.7 | 15.9 | 15.1 | 5.7 |

(나) 부하계산

○ 각 실의 인체, 기기, 조명, 일사부하 및 창호와 벽체의 열관류율을 적용하여 냉·난방부하를 계산하였음

○ 에코델타시티 홍보관의 부위별 열관류율은 “국토교통부고시 제2014-520호, 건축물의 에너지절약설계기준, 별표2 지역별 건축물 부위의 열관류율표”의 남부지역을 참조함

○ [그림 2-9-3]은 에코델타시티 홍보관의 최대 냉·난방부하를 나타낸 값임

54) 설비공학편람 제3권, 제1장 p1.1-18, 2011
55) 박준택 외 1인, 해수이용 냉난방시스템의 현황과 과제, 한국지열에너지학회, 제3권 제1호 2007년 6월

건물 PEAK LOAD — Peak Time : 7 Mon. 21st, 18:00

| 구 분 | | 냉방부하 (W) | | | | | 난방부하 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | m³/h | 현열 | 잠열 | 전열 | % | W | % | m³/h |
| 외부부하 | 유 리 | 148 m² | 21,505 | | 21,505 | 25.9 | 10,276 | 33.7 | 148 m² |
| | 지 붕 | 332 m² | 1,163 | | 1,163 | 1.4 | 2,016 | 6.6 | 332 m² |
| | 외 벽 | 866 m² | 3,411 | | 3,411 | 4.1 | 8,428 | 27.7 | 866 m² |
| | 간 벽 | | 0 | | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | |
| 침입 외기 부하 | | 387 | 448 | 2,968 | 3,416 | 4.1 | 9,732 | 32.0 | 1,148 |
| 내부부하 | 인 체 | 96 p | 5,379 | 5,184 | 10,563 | 12.7 | | | |
| | 전 등 | 37.6 kW | 34,451 | | 34,451 | 41.5 | | | |
| | 기 기 | 8.9 kW | 8,481 | | 8,481 | 10.2 | | | |
| | RA L. | 0.0 kW | 0 | | 0 | 0.0 | | | |
| 외기부하 | AHU | | | | | 0.0 | 0 | 0.0 | |
| 기타부하 | SF/RF | | | | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 가습 부하 |
| 소 계 | | | | | 82,990 | 100 | 30,452 | 100 | |
| 중복사용실 부하 | | | 0 | 0 | 0 | | 0 | | |
| 합 계 | | | | | 82,990 (23.7 USRT) | | 30,452 | | |

[그림 2-9-3] 에코델타시티 홍보관 Room Load

(다) 열원 용량

○ 계산된 최대 냉·난방부하와 실내로 유입되는 외기부하의 합으로 해수열 히트펌프의 용량을 산정함

○ 외기도입부하 계산 산정식

$OASH$(현열) = 풍량$(m^3/h) \times 0.288 \times$(실외건구온도 − 실내건구온도)$^\circ C \times 1.163$(단위환산계수 : $W/kcal/h$)

$OALH$(잠열) = 풍량$(m^3/h) \times 720 \times$(실외절대습도 − 실내절대습도)$kg/kg \times 1.163$(단위환산계수 : $W/kcal/h$)

외기도입부하$(W)$ = $(OASH + OALH) \times (1 -$ 장비효율$)$

○ 해수열 히트펌프 2대 (1대 예비)로 선정

○ 해수열 히트펌프 용량 : 113,887W (32.38 USRt)

(4) 공조설비 계획

(가) 공조장비 선정

○ 해수열 히트펌프 냉·난방 방식 : 물대물 방식

○ 물대물 방식을 감안하여 천정매립형 팬코일유니트를 적용함

○ 냉방입·출구 온도 : 7℃/12℃

○ 난방입·출구 온도 : 50℃/45℃

(나) 배열회수 환기유니트 선정

○ 사용자의 쾌적한 공기질을 위하여 냉·난방시스템이 설치되는 실에 적용함

○ 실내 오염물질을 실외로 배기하고, 실외의 청정 공기를 급기하는 시스템으로 환기로 인한 실내의 에너지 손실을 열교환하여 에너지 절감효과가 탁월함

○ 배열회수 환기유니트를 선정하기 위한 환기량 계산은 다음 식과 같음

$$Q = P_a \times m$$

$Q$ : 환기량($m^3/h$)
$P_a$ : $P_a$ = 유효인원(인)
$m$ : 1인당필요환기량($m^3$/인 • $h$)

$$P_a = A \times A_p$$

$A$ : 실의바닥면적($m^2$)
$A_p$ : 면적당유효인원(인/$m^2$)

○ 배열회수 환기유니트 환기량을 계산시 업체별 제품설명서의 냉·난방 효율을 적용하였으나, 설치환경에 따라 측정값과 효율치가 상이함으로 냉·난방 효율은 상대적으로 열악한 조건인 50%로 감안하여 계산하였음

○ [표 2-9-8]은 에코델타시티 홍보관의 배열회수 환기유니트의 풍량을 계산한 값이며, 인원수는 실의 인원을 적용한 것이며, 인원당 최소외기는 문화 및 집회시설의 기준을 적용하여 산정하였음

[표 2-9-8] 에코델타시티 홍보관 환기량

| 층 | 실명 | 면적 | 면적당 인원수 | 인원수 | 인원당 최소 외기량 | 계산 풍량 | 결정 풍량 | 장비선정 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ㎡ | 인/㎡ | 인 | ㎥/h·인 | ㎥/h | ㎥/h | 대수 | 장비 번호 |
| 1 | 다목적 전시관 | 224 | 0.07 | 15 | 26 | 435 | 500 | 1 | HRU-02 |
| 1 | 로비 1 | 70 | 0.10 | 7 | 29 | 203 | 300 | 1 | HRU-02 |
| 1 | CAFE | 87 | 0.02 | 2 | 29 | 58 | 100 | 1 | HRU-01 |
| 1 | 영상홍보관 | 221 | 0.04 | 8 | 29 | 232 | 300 | 1 | HRU-02 |
| 1 | 관리실 | 24 | 0.08 | 2 | 29 | 58 | 100 | 1 | HRU-01 |
| 1 | 로비 2 | 38 | 0.10 | 4 | 29 | 110 | 200 | 1 | HRU-01 |
| 1 | 영상실 | 24 | 0.20 | 5 | 29 | 139 | 200 | 1 | HRU-01 |
| 2 | 에코델타시티 홍보관 | 189 | 0.08 | 15 | 29 | 435 | 500 | 1 | HRU-02 |
| 2 | 학예사실 | 40 | 0.05 | 2 | 29 | 58 | 100 | 1 | HRU-01 |
| 2 | 자료실 | 13 | 0.10 | 1 | 29 | 38 | 100 | 1 | HRU-01 |
| 2 | 홀 1 | 40 | 0.10 | 4 | 29 | 116 | 200 | 1 | HRU-01 |
| 2 | 회의실 | 40 | 0.30 | 12 | 29 | 348 | 400 | 1 | HRU-02 |
| 2 | 연결통로 | 29 | 0.10 | 3 | 29 | 84 | 100 | 1 | HRU-01 |
| 3 | 관장실 | 30 | 0.03 | 1 | 29 | 29 | 100 | 1 | HRU-01 |
| 3 | 자료실 | 13 | 0.10 | 1 | 29 | 38 | 100 | 1 | HRU-01 |
| 3 | 홀 1 | 40 | 0.10 | 4 | 29 | 116 | 200 | 1 | HRU-01 |
| 3 | 사무실 | 61 | 0.08 | 5 | 29 | 145 | 200 | 1 | HRU-01 |
| | 소 계 | 1,122 | | 86 | | 2,497 | 3,500 | 16 | |

(다) 팬코일유니트 선정

○ 실의 특성을 고려하여 냉·난방 장비인 팬코일유니트의 수량, 형식, 유량을 적용하였으며, [표 2-9-9]는 팬코일유니트 장비부하를 계산한 값임

[표 2-9-9] 에코델타시티 홍보관 냉난방기기 선정

| 층 | 실명 | 냉 방 | | | 난 방 | | | 장비선정 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부 하 | 결 정 | 유 량 | 부 하 | 결 정 | 유 량 | 대수 | 장비 번호 |
| | | W | W(10%) | ℓ/min | W | W(10%) | ℓ/min | | |
| 1 | 다목적 전시관 | 23,035 | 25,338 | 73 | 6,118 | 6,730 | 20 | 4 | FCU-03 |
| 1 | 로비 1 | 4,245 | 4,670 | 14 | 1,496 | 1,645 | 5 | 2 | FCU-01 |
| 1 | CAFE | 4,315 | 4,747 | 14 | 1,189 | 1,308 | 4 | 2 | FCU-01 |
| 1 | 영상홍보관 | 17,365 | 19,102 | 55 | 7,518 | 8,270 | 24 | 4 | FCU-02 |
| 1 | 관리실 | 2,043 | 2,247 | 7 | 1,351 | 1,486 | 5 | 1 | FCU-01 |
| 1 | 로비 2 | 2,418 | 2,660 | 8 | 1,006 | 1,107 | 4 | 1 | FCU-01 |
| 1 | 영상실 | 2,479 | 2,727 | 8 | 993 | 1,092 | 4 | 1 | FCU-01 |
| 2 | 에코델타시티 홍보관 | 23,681 | 26,049 | 75 | 8,834 | 9,718 | 28 | 4 | FCU-03 |
| 2 | 학예사실 | 6,536 | 7,189 | 21 | 2,403 | 2,644 | 8 | 1 | FCU-03 |
| 2 | 자료실 | 916 | 1,007 | 3 | 328 | 361 | 2 | 1 | FCU-01 |
| 2 | 홀 1 | 3,551 | 3,906 | 12 | 2,274 | 2,501 | 8 | 1 | FCU-02 |
| 2 | 회의실 | 6,395 | 7,035 | 21 | 2,924 | 3,217 | 10 | 1 | FCU-03 |
| 2 | 연결통로 | 2,053 | 2,258 | 7 | 1,059 | 1,164 | 4 | 1 | FCU-01 |
| 3 | 관장실 | 3,755 | 4,130 | 12 | 1,945 | 2,140 | 7 | 1 | FCU-02 |
| 3 | 자료실 | 971 | 1,069 | 4 | 432 | 476 | 2 | 1 | FCU-01 |
| 3 | 홀 1 | 3,720 | 4,093 | 12 | 2,594 | 2,854 | 9 | 1 | FCU-02 |
| 3 | 사무실 | 6,409 | 7,050 | 21 | 3,926 | 4,319 | 13 | 1 | FCU-03 |
| | 소 계 | 113,887 | 125,277 | 367 | 46,390 | 51,032 | 157 | 28 | |

(5) 환기설비 계획

○ 환기설비는 열, 수증기, 냄새, 분진, 유해물질에 의한 실내공기의 오염과 실내 산소농도 등의 감소에 의한 재실자의 불쾌감이나 보건, 위생에 대한 위험성을 방지하고 산업생산 공정이나 제품의 품질관리에 있어서 주변공기 환경의 악화로부터 제품과 주변기기의 손상을 방지함에 목적이 있음

(가) 실별 환기 풍량 산출

○ [표 2-9-10]과 같이 에코델타시티 홍보관의 실별 환기 풍량을 산출하였으며, 발전기실 급기풍량은 발전기의 필요공기량은 [표 2-9-11]과 같이 포함하여 계산함

[표 2-9-10] 에코델타시티 홍보관 환기량

| 층 | 실 명 | 면 적 | 층 고 | 체 적 | 환기 횟수 | 계산 급기량 | 결정 급기량 | 장비번호 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ㎡ | m | ㎥ | 회/h | ㎥/h | ㎥/h | SF | EF |
| 1 | 기계실 | 40.6 | 3.1 | 125.86 | 10 | 1,258.6 | 1,300 | 01 | - |
| 1 | 기계실 | 40.6 | 3.1 | 125.86 | 10 | 1,258.6 | 1,300 | - | 01 |
| 1 | 발전기실 | 30.1 | 3.1 | 93.31 | 5 | 33,860 | 33,900 | 02 | - |
| 1 | 발전기실 | 30.1 | 3.1 | 93.31 | 5 | 466.55 | 500 | - | 02 |
| 1 | 좌측화장실 | 6.9 | 3.1 | 21.39 | 5 | 106.95 | 300 | - | 03 |
| 1 | 남자화장실 | 11.8 | 3.1 | 36.58 | 5 | 182.9 | 500 | - | 04 |
| 1 | 여자화장실 | 14.2 | 2.7 | 38.34 | 15 | 575.1 | 600 | - | 05 |
| 2 | 좌측화장실 | 6.9 | 2.7 | 18.63 | 15 | 279.45 | 300 | - | 06 |
| 3 | 좌측화장실 | 6.9 | 2.7 | 18.63 | 15 | 279.45 | 300 | - | 07 |

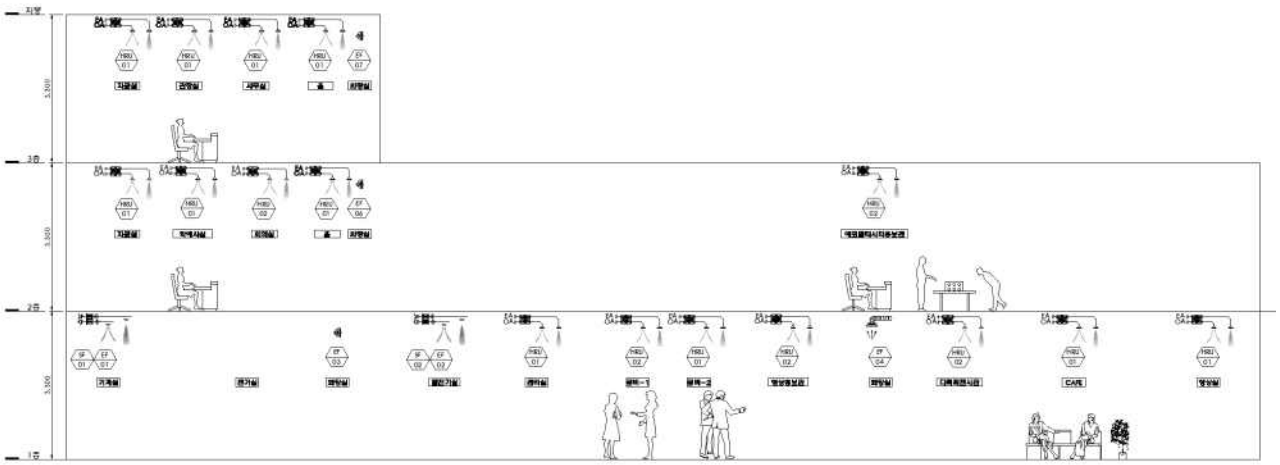
[표 2-9-11] 발전기실 필요공기량

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 발전기실<br>연소공기량 | 발전기실의 실내온도를 외기온도보다 10℃ 높게 유지하고(V1), 엔진 냉각 공기량(V2), 발전기 운전을 위한 연소 공기량(V3)를 고려함 |
| V1 | $V1 = Q_c/(Cpa \times \rho \times \triangle t \times 60)$ = 181 $[m^3/\min]$<br>$Cpa$ : 건조공기의 정압비열 $[kcal/kg^\circ C]$ 0.241<br>$\rho$ : 공기의 밀도 $[kg/m^3]$ 1.165<br>$\triangle t$ : 온도차 $[^\circ C]$ 10 |
| V2 | $V2 = Q_c/(Cpa \times \rho \times \triangle t \times 60)$ = 346 $[m^3/\min]$<br>$Cpa$ : 건조공기의 정압비열 $[kcal/kg^\circ C]$ 0.241<br>$\rho$ : 공기의 밀도 $[kg/m^3]$ 1.165<br>$\triangle t$ : 온도차 $[^\circ C]$ 30 |
| V3 | $V3 = (14 \times B \times P \times \epsilon)/(60 \times \rho)$ = 28 $[m^3/\min]$<br>$B$ : 연료소비율 $[kg/ps\,hr]$ 0.158<br>$P$ : 기관출력 $[PS]$ 356<br>$\rho$ : 공기의 밀도 $[kg/m^3]$ 1.165<br>$\epsilon$ : 공기과잉율 2.5 |
| 합계풍량 | V1 + V2 + V3 = 33,360 $[m^3/h]$ |

(나) 송배풍기 장비 선정

○ 에코델타시티 홍보관에 사용되는 기계 환기장치는 [표 2-9-12]와 같으며, 급기의 경우 염해방지를 위해 송풍기팬에 염해방지필터를 적용함

○ 송배풍기 장비 계통도는 [그림 2-9-4]와 같음



[그림 2-9-4] 송배풍기 장비 계통도

○ 환기 횟수는 다음식으로 계산하였음

$$Q = V \times n$$

$V$ : 실의 용적($m^3$)
$n$ : 환기횟수(회/$h$)

[표 2-9-12] 에코델타시티 홍보관 송배풍기 장비 선정

| 층 | 실 명 | 수 량 | 형 식 | 환기 풍량 | 기외 정압 | 규 격 | 동 력 | 장비번호 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 대수 | m | ㎥/h | Pa | | kW | SF | EF |
| 1 | 기계실 | 40.6 | 3.1 | 1,300 | 200 | Φ457 | 0.4 | 01 | - |
| 1 | 발전기실 | 30.1 | 3.1 | 16,950 ×2 | 200 | Φ611 | 3.7 | 02 | - |
| 1 | 기계실 | 40.6 | 3.1 | 1,300 | 190 | Φ381 | 0.4 | - | 01 |
| 1 | 발전기실 | 30.1 | 3.1 | 500 | 190 | Φ609 | 0.2 | - | 02 |
| 1 | 좌측화장실 | 6.9 | 3.1 | 300 | 30 | □ 250 | 0.037 | - | 03 |
| 1 | 남자화장실 | 11.8 | 3.1 | 500 | 30 | □ 300 | 0.030 | - | 04 |
| 1 | 여자화장실 | 14.2 | 2.7 | 600 | 30 | □ 300 | 0.030 | - | 05 |
| 2 | 좌측화장실 | 6.9 | 2.7 | 300 | 30 | □ 250 | 0.037 | - | 06 |
| 3 | 좌측화장실 | 6.9 | 2.7 | 300 | 30 | □ 250 | 0.037 | - | 07 |

○ 송배풍기 정압 산출은 [표 2-9-13] 정압 산출근거와 같음

[표 2-9-13] 에코델타시티 홍보관 송배풍기 정압 산출근거

| 장비 번호 | 직관 | 덕트 | 부속 | 그릴 | 디퓨져 | 외기 루버 | 필터 | 가열 코일 | V.D. | F.D. | B.D.D | M.D | 계 | 안전율 | 결정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m | Pa | 30% | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | % | Pa |
| SF 01 | 10 x 1.0 =10.0 | | 3.0 | 10 x 1 = 10.0 | 30 x = | 50 x 1 = 50 | 400x = | 100x = | 50 x 1 = 50 | 10 x = | 50 x 1 = 50 | 50 x = | 173.0 | 17.3 | 200 |
| SF 02 | 10 x 1.0 =10.0 | | 3.0 | 10 x 1 = 10.0 | 30 x = | 50 x 1 = 50 | 400x = | 100x = | 50 x 1 = 50 | 10 x = | 50 x 1 = 50 | 50 x = | 173.0 | 17.3 | 200 |
| EF 01 | 10 x 0.8 =8.0 | | 2.4 | 10 x 1 = 10.0 | 30 x = | 50 x 1 = 50 | 400x = | 100x = | 50 x 1 = 50 | 10 x = | 50 x 1 = 50 | 50 x = | 170.4 | 17.0 | 190 |
| EF 02 | 10 x 0.8 =8.0 | | 2.4 | 10 x 1 = 10.0 | 30 x = | 50 x 1 = 50 | 400x = | 100x = | 50 x 1 = 50 | 10 x = | 50 x 1 = 50 | 50 x = | 170.4 | 17.0 | 190 |
| EF 03~07 | x 0.8 = | | | 10 x = | 30 x = | 50 x = | 400x = | 100x = | 50 x = | 10 x = | 50 x = | 50 x = | | | 30 |

(6) 위생설비 계획

○ 위생설비는 사용자가 원하는 시수량 및 위생적인 급수가 공급하는데 목적이 있으며, 그에 따라 저수조실 설치 계획이 선행되어야 함

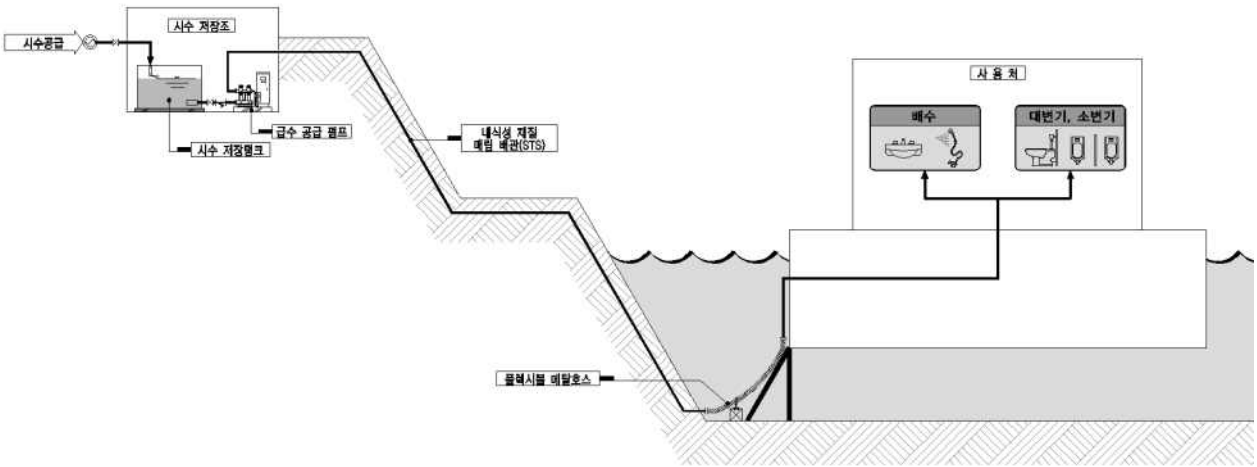
(가) 저수조실 설치 계획

○ 저수조가 설치되는 경우는 플로팅 건축물 내 설치되는 경우와 저수조실을 외부에 설치하는 방법이 있음

○ 본 연구과제의 에코델타시티 홍보관의 경우 “수도법 시행규칙, 별표3의2 저수조의 설치기준”에 의거하여 외부에 설치되어야 함

○ 저수조실 내 저수조 설치기준은 기초 0.6m, 저수조 최소 높이 1.8m, 유지 및 관리를 위한 1m의 공간이 최소로 요구됨

○ 에코델타시티 홍보관 원활한 급수를 위한 계통도는 [그림 2-9-5]와 같음




[그림 2-9-5] 저수조실 급수 계통도

① 에코델타시티 홍보관 급수설비 계획

○ 유지 및 관리가 용이한 강변주위에 저수조실을 설치하고 급수가압펌프를 이용하여 사용처에 공급하는 형식을 적용하였으며, 그에 따른 주의사항은 다음과 같음

㉮ 저수조 재질

○ 저수조의 재질은 내부식, 내염해를 위한 재질을 사용하여 사용연한 및 유지관리가 용이하게 설계하여야 함

㉯ 배관 재질

○ 에코델타시티 홍보관과 급수펌프를 연결하는 배관은 홍수로 인한 만수, 거친 파랑을 견딜 수 있는 플렉시블 재질을 사용하며, 비상시 유동적인 연결과 절체가 쉬운 퀵 커플러를 적용하여 유지관리성을 높이도록 설계하여야 함

○ 내부식, 내염해를 위한 재질을 사용하여야 하고 표면에 방청도료를 사용하여야 함

(나) 급수설비 계획

○ 급수량 산정은 기구수의 의한 산정법을 이용하였으며, 다음 식과 같음

$$\text{하루 평균 사용량} = \text{시간당 평균 사용량}(l/h) \times \text{사용시간}(h)$$

$$\text{시간당 평균 사용량}(l/h) = \text{시간당 최대사용수량}(l/h) \div 2$$

$$\text{시간당 평균 사용량}(l/h) = (\text{기구수량(개)} \times 1\text{회 사용량}(l/\text{회}) \times \text{시간당 사용횟수}) \div 2$$

○ 급수계획은 전시실 및 홍보관을 기준으로 사용시간을 8시간으로 계산하였으며, 절수형 위생기구는 “수도법 시행규칙, 별표2 절수설비와 절수기기의 종류와 기준”을 참조하여 적용하였고 “설비공학편람 제4권 위생·소방·환경 P1.3-10, 표3.8 개별기구 기준 기구급수부하단위”의 1회 사용량을 기준으로 시수량을 산정하였고 [표 2-9-14]과 같음

[표 2-9-14] 에코델타시티 홍보관 기구 수에 의한 급수사용량 산출

| 기 구 명 | 수량 | 1회 사용량 | 1시간당 사용횟수 | 시간당 최대사용수량 | 시간당 평균사용량 | 사용 시간 | 하루 평균 사용량 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ℓ/회 | 회/h | ℓ/h | ℓ/h | h | ℓ/day |
| 대 변 기 | 7 | 6 | 9 | 378 | 189 | 8 | 1,512 |
| 소 변 기 | 5 | 2 | 16 | 160 | 160 | 8 | 1,280 |
| 세 면 기 | 5 | 10 | 9 | 450 | 225 | 8 | 1,800 |
| 주방수전 | 1 | 15 | 9 | 135 | 68 | 8 | 540 |
| 탕비싱크 | 1 | 3 | 16 | 48 | 24 | 8 | 192 |
| 계 | | | | | | | 5,324 |

(다) 소방설비 계획

○ 소방법규 검토를 통하여 소화기구, 스프링클러설비, 피난기구를 [표 2-9-15]과 같이 적용하였음

[표 2-9-15] 에코델타시티 홍보관 소방법규 검토

| 적용 범위 | 구 분 | 주요법규내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전층 | 소화기구 | 연면적 33㎡ 이상인 것 | 적용 |
| 전층 | 스프링클러설비 | 근린생활시설로서 연면적 1,000㎡ 이상인 것 | 적용 |
| 전층 | 옥내소화전설비 | 연면적 3,000㎡ 이상인 건축물 | - |
| 소방차 진입 용이한 장소 | 상수도소화용수 설비 | 연면적 5,000㎡ 이상인 것 | - |
| 3층 | 피난기구 | 피난층, 2층을 제외한 전층에 설치 | 적용 |

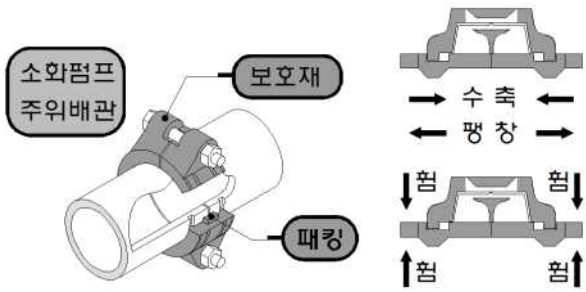
○ 법적기준을 적용한 소화용수량은 다음 [표 2-9-16]과 같이 적용하였음

[표 2-9-16] 에코델타시티 홍보관 소화용수량 산출

| 구 분 | 수 량 | 방수량(ℓ/min) | 방수시간(min) | 용 량(㎥) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 스프링클러 | 5 | 80 | 20 | 13 | |
| 소 계 | | | | 13 | |

○ 소화펌프 주위배관은 [그림 2-9-6]와 같이 무용접 접합 이음매를 사용함

○ 수축과 팽창, 휨에 강성이 강하며, 비상시 유지관리성을 고려하여 적용함




[그림 2-9-6] 무용접 접합 이음매

(라) 급탕설비 계획

○ 급탕을 사용할 개소가 적으며, 하중을 고려하여야하는 플로팅 건축을 감안하여 최소의 장비, 무게의 경량화을 고려하여 순간식 전기온수기를 적용함

○ 급탕량을 산정하여 용량에 맞게 순간식 전기온수기를 [표 2-9-17]와 같은 근거로 적용함

[표 2-9-17] 에코델타시티 홍보관 급탕량 산정

| 구 분 | 수 량 | 기구당 1시간 급탕량 ℓ/개·h | 동시사용율 | 1시간 급탕량 ℓ/h |
|---|---|---|---|---|
| 세면기 | 1 | 23 | 1 | 23 |
| 소 계 | 1 | | | 23 |

(7) 오배수설비 계획

○ 오수처리설비의 경우 저수조실과 같이 플로팅 건축물 내·외 설치를 고려하여야 하며, 오수처리 용량에 따라 처리방법이 달라지고 공공수역으로 방류 시 문제가 없어야 함

(가) 오수처리실 설치 계획

① 에코델타시티 홍보관 개인하수처리시설 기준

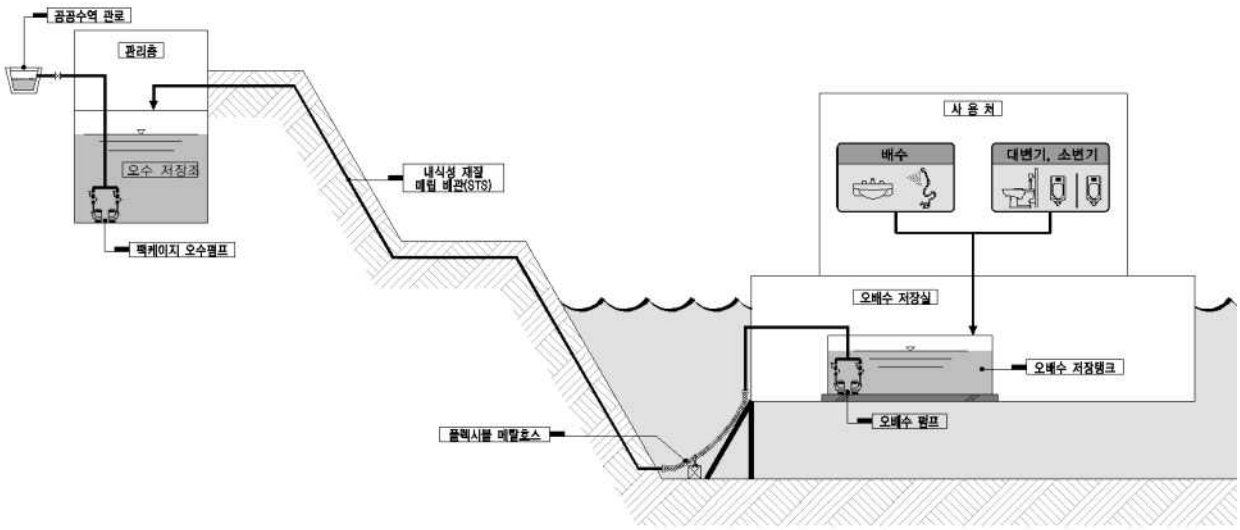
○ 오수처리 용량에 따른 오수처리시설과 정화조를 설치해야 하는 기준이 달라지므로 용량산정 후 “개인하수처리시설의 방류수수질기준, 시행규칙 제3조 제1항 제3호”를 따르며 [표 2-9-18]에서 나타낸 것과 같음

[표 2-9-18] 개인하수처리시설의 방류수수질기준

| 구분 | 1일 처리용량 | 지 역 | 항 목 | 방류수수질기준 |
|---|---|---|---|---|
| 오수처리시설 | 50㎥ 미만 | 수변구역 | 생물화학적 산소요구량(㎎/L) | 10 이하 |
| | | | 부유물질(㎎/L) | 10 이하 |
| | | 특정지역 및 기타지역 | 생물화학적 산소요구량(㎎/L) | 20 이하 |
| | | | 부유물질(㎎/L) | 20 이하 |
| | 50㎥ 이상 | 모든지역 | 생물화학적 산소요구량(㎎/L) | 10 이하 |
| | | | 부유물질(㎎/L) | 10 이하 |
| | | | 총질소(㎎/L) | 20 이하 |
| | | | 총인(㎎/L) | 2 이하 |
| | | | 총대장균군수(개/mL) | 3,000 이하 |
| 정화조 | 11인용 이상 | 수변구역 및 특정지역 | 생물화학적 산소요구량 제거율(%) | 65 이상 |
| | | | 생물화학적 산소요구량(mg/L) | 100 이하 |
| | | 기타지역 | 생물화학적 산소요구량 제거율(%) | 50 이상 |

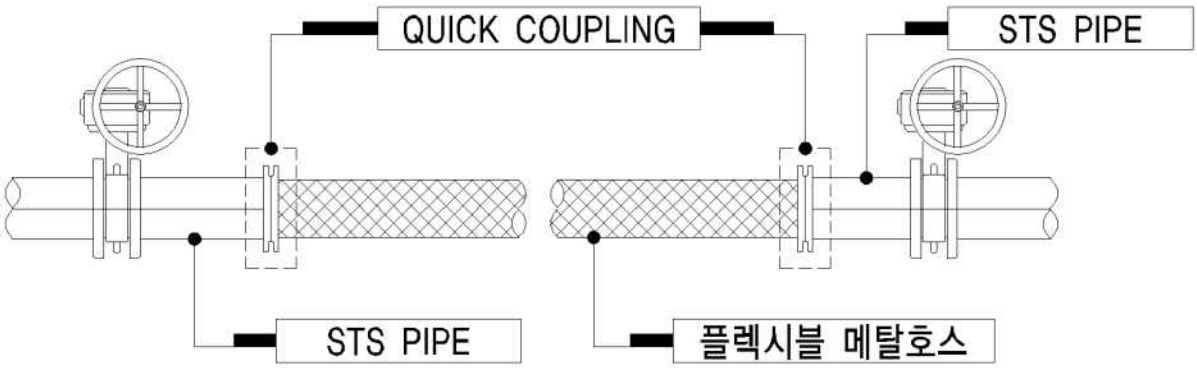
○ 폰튠의 높이로 인하여 오수처리시설을 강변근처에 설치하여 유지관리가 용이하게 계획하였음

○ 사용처에서 배수된 오배수는 저장고에서 오수처리시설까지 배출하고 정화 후 공공수역으로 방류하도록 [그림 2-9-7]과 같이 설계함




[그림 2-9-7] 오수처리시설 계통도

○ 에코델타시티 홍보관에 연결하는 배관은 유동적이며, 부식 및 염해에 내구성이 있고 홍수로 인한 만수, 강한 파랑이 의심될 시 빠르게 점검 및 절체할 수 있게 퀵커플러로 적용하며 [그림 2-9-8]과 같이 설계 되어야 함




[그림 2-9-8] 에코델타시티 홍보관과 연결되는 배관 구성

② 에코델타시티 홍보관 오수처리시설 용량 산정

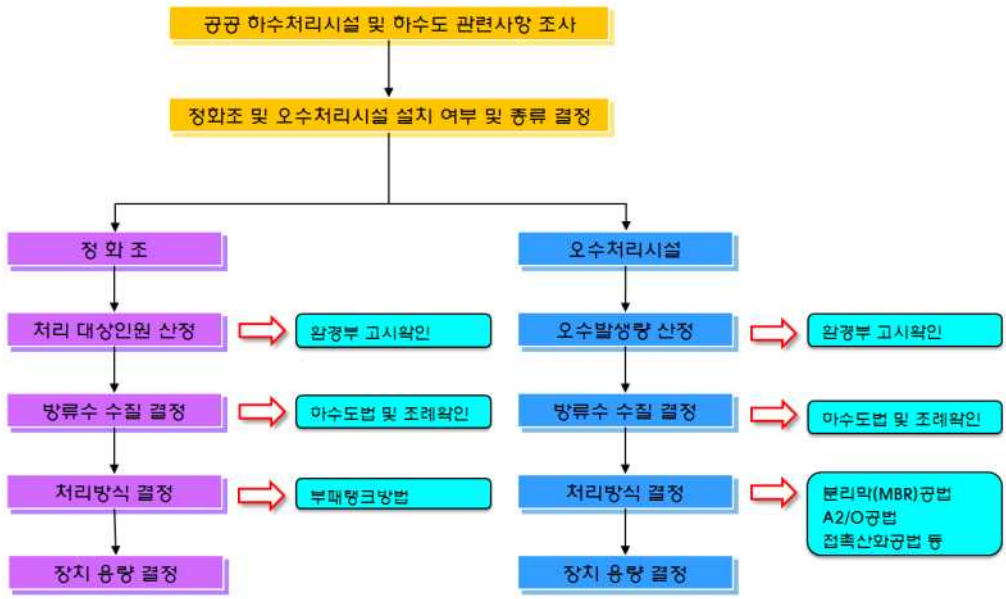
○ 오수발생량은 건축 연면적 × 면적당 오수발생량 = 1,186㎡ × 16L/㎡ = 18.976L ≒ 19Ton/day로 계산됨

○ 면적당 오수발생량은 “건축물 용도별 오수발생량 및 정화조 처리대상인원 산정”을 적용함

○ 에코델타시티 홍보관의 경우 수변지역에 위치하며, 1일 처리용량은 50㎥ 미만으로 오수처리시설 설치 대상임

③ 에코델타시티 홍보관 오수처리시설 설계 순서

○ 다음 [그림 2-9-9]은 오수처리설비 설계 순서를 나열한 것임




[그림 2-9-9] 오수처리설비 설계 Flow Chart

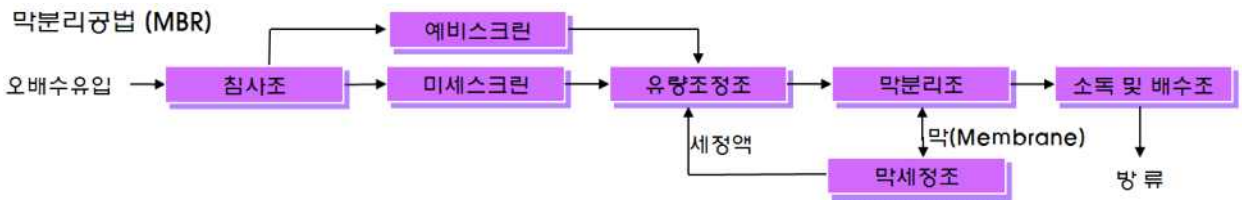
○ 에코델타시티 홍보관의 경우 최근 가장 많이 설계 · 시공되어 지는 막분리공법을 적용함

○ 오수처리시설의 종류는 다음 [표 2-9-19]과 같음

[표 2-9-19] 오수처리시설 종류

| 오수처리시설 종류 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **막분리공법 (MBR)** | 협기/무산소/ 호기공법 | 접촉산화법 | 현수미생물 접촉법 | 회전원판법 | 활성슬러지법 | 장시간폭기법 |

○ 막분리공법의 처리계통도는 다음 [그림 2-9-10]과 같음




[그림 2-9-10] 막분리공법 처리계통도

(8) 재료선정

○ 수해양 공간에 설치되는 플로팅 건축물의 자재선정에 있어서 부식 및 염해방지는 필수적인 사항이며, 다음 [표 2-9-20]의 물질에 따른 재질표를 나타낸 것임

○ 바다의 성분은 염화나트륨 약 27%, 염화마그네슘 약 4%, 황산마그네슘 약 2% 등 황산칼슘, 황산칼륨 등으로 나타나며, 이와 같은 물질에 적합한 재질을 선정하여야 함

○ 바닷물에 적합한 것은 스테인레스 스틸이 적합하다 사료됨

[표 2-9-20] 재료 선정표

| 재 질 | 선 정 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 염화나트륨 (NaCl) | 염화마그네슘 (MgCl2) | 황산마그네슘 (MgSO4) | 염화칼슘 (CaCl2) | 바닷물 | 염화유황 |
| 주철 | ○ | ▲ | ○ | ▲ | ▲ | - |
| 강철 | ○ | ○ | - | ▲ | ▲ | - |
| 청동 | ▲ | ○ | - | ▲ | ▲ | - |
| 스테인레스 스틸 (SS304) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - |
| 스테인레스 스틸 (SS316) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - |
| 모넬 (니켈 구리합금) | ▲ | - | - | - | - | - |
| 티타늄 | - | - | - | - | - | - |
| 폴리트로틸렌 (PP) | - | - | - | - | ○ | - |
| 폴리에틸렌 | - | - | - | - | ○ | - |
| 아크릴 수지 | - | - | - | - | - | - |
| PVC | - | - | - | - | ○ | - |
| ABS | - | - | ▲ | - | - | - |
| 세라믹 | - | - | - | - | - | - |
| 카본 그라파이트 | - | - | - | - | - | ○ |

(9) 전력설비 계획

○ 기본 전력 계획은 한전에서 인입하여 사용하며, 비상시 비상전원 공급부하를 발전기에서 공급하는 것을 계획함

○ 수변전설비는 부하설비 용량 추정 → 수변전설비 용량 추정 → 계약전력 추정 →수전전압과 수전방식 결정 → 주회로 구성 →배전방식 결정 후 주회로 결선도 작성 →변전설비 형식 선정 → 제어방식 결정 → 변전실의 위치 설정 → 기기 배치 및 도면 작성 순으로 이루어짐

(가) 비상전원 공급부하

○ 비상전원 공급부하는 에코델타시티 홍보관에서 사용되는 모든 수요전력을 계산하여 발전기 투입부하로 산정한 값이며, 비상전원 공급부하 계산은 다음 [표 2-9-21]과 같음

○ 총 수요전력은 223.2 kVA로 계산되었음

[표 2-9-21] 비상전원 공급부하

| 부하내용 | 시설부하 | 수용률 | 수요전력 | 발전기투입부하 | | 최대전동기 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kVA | % | kVA | 정전시 | 절전 및 화재시 | Pm(Kw) |
| | | | | kVA | kVA | |
| 비상전등, 전열 | 49.2 | 80 | 39.4 | 39.4 | 39.4 | 정전시 |
| 전시실 및 홍보관 | 60.0 | 80 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 11 kW |
| 동 력 | 10.0 | 83 | 8.3 | 8.3 | 8.3 | 화재시 |
| 냉난방용 | 153.7 | 83 | 127.6 | 127.6 | 127.6 | 11 kW |
| 합 계 | 272.9 | | 223.3 | 223.3 | 223.3 | |

(나) 발전기 선정

○ 파도 및 파랑으로 인한 진동, 선박법을 적용하여 선박용 발전기를 계획하였음

○ 비상전원 공급부하를 토대로 비상시 사용될 발전기 용량을 [표 2-9-22]와 같이 선정함

[표 2-9-22] 발전기 용량 산정

| 구 분 | | 출력 값 |
|---|---|---|
| 정전시 출력값 (kW) | PG1 | $223.2 + \frac{0}{0.85 \times 0.9} = 223.2\,(kVA)$ |
| | PG2 | $11 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.2 \times \frac{1-025}{0.25} = 31.8(kVA)$ |
| | PG3 | $223.2 + \frac{0-11}{0.85} + (11 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.4) \times \frac{1}{0.8} = 234(kVA)$ |
| | PG1, PG2, PG3 중 최대값은 234kVA 임<br>발전기 역할을 100% 담당한다고 가정 시 약 240 kW | |
| 정전 및 화재시 출력값 (kW) | PG1 | $223.2 + \frac{0}{0.85 \times 0.9} = 223.2\,(kVA)$ |
| | PG2 | $11 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.2 \times \frac{1-025}{0.25} = 31.8(kVA)$ |
| | PG3 | $223.2 + \frac{0-11}{0.85} + (11 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.4) \times \frac{1}{0.8} = 234(kVA)$ |
| | PG1, PG2, PG3 중 최대값은 234kVA 임<br>발전기 역할을 100% 담당한다고 가정 시 약 240 kW | |
| 발전기 선정 | 선정기준 | 정전시 > 화재시 이므로 정전시 결정 |
| | 용 량 | 250 [kW] |
| | 타 입 | 디젤형 (선박용) |

(다) 일반사항

○ 한전 저압 수전을 공급하기 위한 케이블은 방수성, 내마모성, 항장력, 중성부력, 내약품성을 고려한 수중케이블로 적용하여야 함

○ 케이블 길이는 파도 및 파랑의 영향으로 전력공급에 문제가 생기지 않을 정도의 여유를 고려하여야 함

○ 대지와 연결되지 않아 발전기, 분전반 등에 접지계획이 필요하며, 메인분전반에 누전경보를 설치하여 지락, 누전을 감시하여야 함

○ 전기설비 상의 주의사항은 [표 2-9-23]과 같음

[표 2-9-23] 전기설비 주의사항

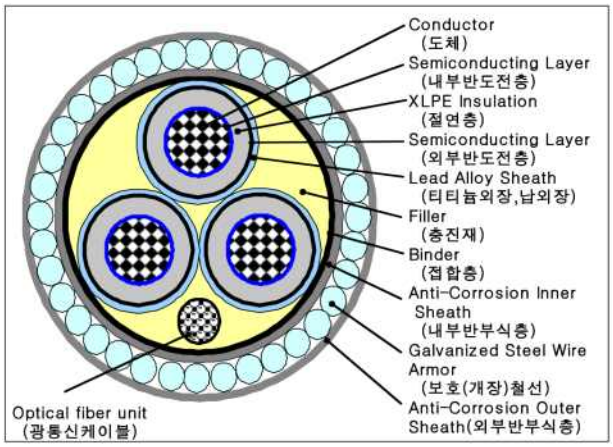
| 실 명 | 고 려 사 항 |
|---|---|
| 변압기실 | 1. 유입변압기의 경우는 타실과 격절한다.(화재방지)<br>2. 벽, 문, 창 등은 방음, 방화구조로 한다.<br>3. 자냉식 변압기에 대해서는 충분한 배기공을 설치한다.<br>4. 소화장비를 고려한다<br>5. 기기반입구, 배열 등에 충분한 넓이와 높이를 확보한다.<br>6. 견고한 기초의 내진장치를 시공한다. |
| 모선 및 차단기실 | 1. 가능하며, 다른 것과 격절한 방으로 한다.<br>2. 적당한 격벽, 컴파트먼트를 모선 또는 기기간에 설치한다.<br>3. 분출유의 배기구를 설치한다.<br>4. 기기반출 및 조업에 충분한 공간을 설치한다. |
| 배전반실 또는<br>감시제어실 | 1. 공기조절, 조명, 음향 등의 쾌적한 환경을 만든다.<br>2. 운전조작, 감시제어에 지장이 없는 충분한 공간을 갖는다. |
| 축전지실 | 1. 가능하면 변압기 등의 한 구석으로 배전반실에 가까운 곳에 설치한다.<br>2. 일관의 직사를 피한다.<br>3. 실내마감은 어느 정도 내산성으로 한다.<br>4. 배수, 환기에 주의한다. |

○ 전선이나 케이블의 종류에는 전열전선, 코드, 캡타이어 케이블 등이 있으며, 설계 및 사용관정에 적합한 목적으로 선정하여야 한다. 다음 [표 2-9-24]는 종류와 용도를 나타낸 것이며, [표 2-9-25]는 수정케이블에 관한 설명임

[표 2-9-24] 전선의 종류

| 종류 | 약칭 | 명칭 | 주요용도 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 절연전선 | OW | 옥외용 비닐 절연전선 | 저압 가공 배전선로에 사용 | KSC 3313 |
| | DV | 인입용 비닐 절연전선 | 저압 가공 인입선에 사용 | KSC 3315 |
| | IV | 600V 비닐 절연전선 | 600V 이하의 옥내 배선에 사용 | KSC 3302 |
| | HIV | 600V 2종 비닐 절연전선 | 600V 이하의 옥내 배선용으로 소방 및 비상전력에 사용 | KSC 3328 |
| | KIV | 600V 전기기기용 절연전선 | 600V 이하의 주로 일반전기공작물, 전기기기의 배선에 사용 | KSC 3325 |
| | GV | 접지용 비닐절연전선 | 전기 건축물 규정에 준하는 제1급 및 제2급 접지용 | KSC 3323 |
| 전력 케이블 | EV | 폴리에틸렌 절연 비닐 시스 케이블 | 전기 특성이 우수 내약품성이 우수 | 600V, 3.3KV, 6.6KV, 22KV,33KV |
| | VV PVC/PVC(영,미) | 비닐 절연 비닐시스 케이블 | 600V 이하인 저압 회로에 사용 | 600V 이하 |
| | BN | 부틸고무절연 클로로프렌 시스 케이블 | 내열성이 우수 안정된 성능 광범위한 사용 | 600V, 3.3KV, 6.6KV, 22KV,33KV |
| | RN | 고무절연 클로로프렌 시스 케이블 | 내후성 및 기계적 특성이 우수 사용조건이 가혹한 곳도 견딤 | 600V 이하 3.3KV |
| | CV XLPE/PVC(영,미) | 가교 폴리에틸렌 케이블 | 전력 케이블의 대표격 가장 널리 사용 | 600V, 3.3KV, 6.6KV, 22KV,33KV |
| | 600V CV, 600V EV | 폴리에틸렌 절연비닐 시스케이블 | 600V이하의 일상업용 또는 주거용으로사용되는 배전용전선 또는 조명용으로 사용 | KSC3611 |
| | 3300V CV | 가교 폴리 에틸렌 전선 | 3300V 이하의 상업용 또는 산업용배전회로용 전선으로 사용되며 관로 또는 직매등을 포설 | KSC3131 |
| | 6600V CV | 가교 폴리 에틸렌 전선 | 6,600V 이하의 상업용 또는 산업용 배전회로용 전선으로 사용되며 관로 또는 직매등으로 포설 | KSC3131 |
| 제어용 케이블 | CVS | 제어신호용 비닐절연 비닐시스 케이블 | 충실형, 600V 이하의 제어용 회로에 사용되는 케이블로 PVC로 절연 및 시스를 하고 시스사이를 PVC로 메움 | |
| | CVV | 제어용 비닐 절연 시스 케이블 | 일반용, 600V 이하의 제어용 회로에 사용되는 케이블로 관로 또는 기중 포설되며 최대 도체사용온도는 60℃ | |
| | CVV-S | 정전 차폐부 제어용 비닐시스 케이블 | 차폐용, 600V 이하의 정전차폐가 요구되는제어용 회로에 사용되는 케이블로 관로 또는 기중 포설되며 최대 도체사용온도는 60℃ | |
| | CVV-SB | 편조형 제어용 비닐절연 비닐 시스케이블 | 일반용, 난연용 | |
| | CEV | 제어용 폴리에틸렌 절연 비닐시스 케이블 | 내구성,내열용 | |
| | CCV | 제어용큐프렌절연비닐 시스케이블 | 일반용, 가요성, 저온 특수성 | |
| | CRN | 제어용 고무절연플로로프린 시스 케이블 | 내구성, 내열성, 난연성 | |
| | CBN | 제어용 부틸고무 절연 클로로프린 시스 케이블 | 내열성 가소제를 사용한 PVC로 절연 및 시스한 케이블 | |
| | HCVV | 제어용 내열 PVC절연 내열비닐 시스케이블 | 난연 PVC로 절연하고 난연성 PVC로 시스한 케이블 | |

[표 2-9-25] 수중케이블

| 구 분 | 내 용 | 케이블의 구조 |
|---|---|---|
| 용 도 | 바다 또는 하천의 물밑에 시설할 필요가 있는 경우에 침수 및 손상을 방지할 수 있도록 사용함 |  |
| 종 류 및 시설장소 | 일반분기선 배전선로<br>- 최대부하 5,000kVA 이하 | |
| | 일반 간선 배전선로<br>최대부하 10,000kVA 이하 | |
| | 대용량 배전선로<br>최대부하 15,000kVA 이하 | |



(10) 전기소방 설비 계획

○ P형 수신기를 이용하여 경보설비 및 피난설비, 연계설비에 대한 설계가 고려되어야하며, 난년 및 내화케이블로 안전성을 확보하여야 함

○ 화재확산을 방지하기 위한 트레이 방화격벽을 설치하여야 함

○ 원활한 피난을 위한 유도등 및 사각 경보를 계획하여 청각 장애인들의 신속하고 안전한 대피를 유도함

## 2. 플로팅 건축 설비 시설계 보완

○ 5차년도 연구는 에코델타시티 홍보관에 기계·전기설비의 상용화 가능한 건축물로 설계하는 것이며, 이를 위해 국내·외 관련 건축물의 설비사례 조사·분석, 법적기준 등을 조사하였고, 지형적 특성을 고려한 해수온도차에너지 열원과 염해, 부식방지 대책 등을 조사하여 시설계 보완을 하였음

○ 또한 해수열 히트펌프, 전기 히트펌프, 공기조화기의 경제성 검토 및 1차 에너지소요량을 비교·분석을 통해 기본적 고찰을 수행하였음

### 가. 에코델타시티 홍보관 열원설비 에너지사용량 분석

#### (1) 열원설비별 생애주기비용 분석

○ 에코델타시티 홍보관 열원장비의 40년 생애주기비용을 분석하여 최적의 설비안을 도출하고자 함

○ 본 LCC 분석에서는 시공에 필요한 부속장비 비용, 공사감리비용, 기본설계 및 실시설계비용, 해체 및 폐기의 비용에 대한 사항들은 제외하여 계산하였음

○ 염해 및 부식에 의한 장비수명 단축은 수선 및 교체주기에 포함이 되지 않았음

##### (가) 생애주기비용 분석

○ 열원 및 공조장비별 총 생애주기비용분석을 진행하였으며, 장비비는 2014년 물가정보지를 적용하였고 LCC분석 적용모델 및 적용은 “국토교통부 주택법”, 수선주기 및 수선율, 교체주기 기준은 “주택법 시행규칙 별표5”, “조달청 고시 제2011-18호, 내용연수”, "ASHRAE GUIDE, TC1.8"을 적용하였음

○ 할인율은 한국은행의 10년간 평균이자율 및 물가상승율을 고려하였음

○ 전기요금은 한국전력공사 전기요금표(2013년 12월)기준을 적용하였음

○ 에너지 열량환산기준은 “에너지법 시행규칙, 제5조 에너지열량 환산기준”을 적용하였음

○ 해수열 히트펌프, EHP, 가스직화식 냉온수기의 총 생애주기비용은 분석 근거는 다음 [표2-9-26], [표 2-9-27], [표 2-9-28]과 같음

[표 2-9-26] 해수열 히트펌프 총 생애주기비용 분석

| 구 분 | | 단위 | 수량 | 단가 (천원) | 금액 (천원) | 교체주기 | 비율 (%) | LCC40 (천원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 초기투자비 | | 식 | 1 | 119,600 | 119,600 | - | - | 119,600 | |
| 해수열 히트펌프 | 수선비 | ASHRAE 15년 | 1 | 100,000 | 100,000 | 15 | 100 | 158,253 | |
| | 교체비 | 식 | | | | | | | |
| 팬코일 유니트 | 수선비 | ASHRAE 10년 | 28 | 700 | 19,600 | 10 | 100 | 60,652 | |
| | 교체비 | 식 | | | | | | | |
| 에너지 비용 | 전기 | kWh | 1 | 12,980 | 12,980 | - | 100 | 421,393 | |
| 총 생애주기비용 = 현재가치(할인율 1.06% 적용) | | | | | | | | 759,898 | |

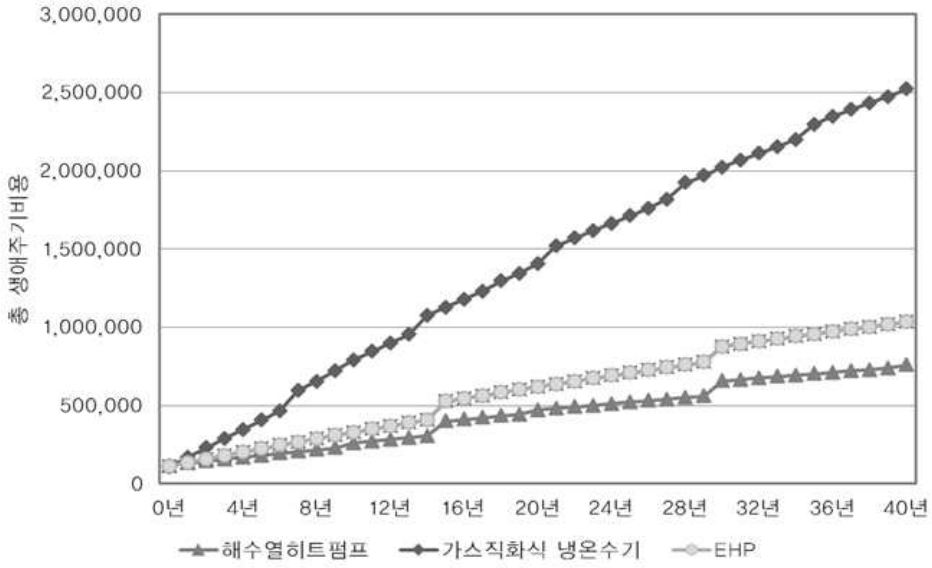
[표 2-9-27] EHP 총 생애주기비용 분석

| 구 분 | | 단위 | 수량 | 단가 (천원) | 금액 (천원) | 주기 | 비율 (%) | LCC40 (천원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 초기투자비 | | 식 | 1 | 114,400 | 114,400 | - | - | 114,400 | |
| 실외기 | 수선비 | ASHRAE 15년 | 1 | 100,000 | 100,000 | 15 | 100 | 158,253 | |
| | 교체비 | 식 | | | | | | | |
| 실내기 | 수선비 | ASHRAE 15년 | 20 | 720 | 14,400 | 15 | 100 | 22,788 | |
| | 교체비 | 식 | | | | | | | |
| 에너지 비용 | 전기 | kWh | 1 | 22,748 | 22,748 | - | 100 | 738,489 | |
| 총 생애주기비용 = 현재가치(할인율 1.06% 적용) | | | | | | | | 1,033,930 | |

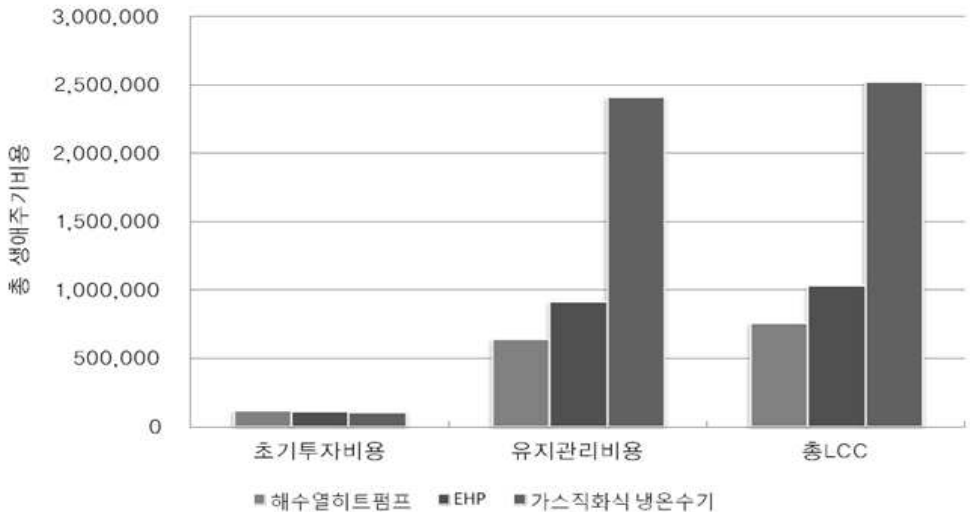
[표 2-9-28] 가스직화식 냉온수기 총 생애주기비용 분석

| 구 분 | | 단위 | 수량 | 단가 (천원) | 금액 (천원) | 주기 | 비율 (%) | LCC40 (천원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 초기투자비 | | 식 | 1 | 108,000 | 108,000 | - | - | 108,000 | |
| 가스 직화식 냉온수기 | 수선비 | 조달청 7년 | 1 | 80,000 | 80,000 | 7 | 100 | 322,298 | |
| | 교체비 | 식 | | | | | | | |
| 공기 조화기 | 수선비 | 조달청 9년 | 1 | 15,000 | 15,000 | 9 | 100 | 47,594 | |
| | 교체비 | 식 | | | | | | | |
| 냉각탑 | 수선비 | 조달청 10년 | 1 | 13,000 | 13,000 | 10 | 100 | 40,228 | |
| | 교체비 | 식 | | | | | | | |
| 에너지 비용 | 전기 | kWh | 1 | 1,425 | 1,425 | - | 100 | 46,260 | |
| | 가스 | MJ | 1 | 60,305 | 60,305 | - | 100 | 1,957,722 | |
| 총 생애주기비용 = 현재가치(할인율 1.06% 적용) | | | | | | | | 2,522,102 | |

○ 총 생애주기비용을 분포표와 비용별 분석표로 다음 [그림 2-9-11]과 같이 나타냄




(단위 : 천원)




[그림 2-9-11] 열원설비별 총 생애주기비용 분포표 및 분석표

○ 해수열 히트펌프가 초기투자비용이 높지만 유지관리비용 측면에서는 CASE 2 대비 44%, CASE 3 대비 277% 정도 낮은 것을 확인 할 수 있음

○ 총 생애주기비용을 고려할 때 CASE 1(해수열 히트펌프 열원)이 적합하다고 판단됨

[표 2-9-29] 에코델타시티 홍보관 총 생애주기비용 분석

| 분 석 | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|---|---|---|---|
| 적용 시스템 | 해수열 히트펌프, 팬코일유니트 | EHP | 가스직화식 냉온수기, 냉각탑, 공기조화기 |
| 초기투자비용 | 119,600,000 원 | 114,400,000 원 | 108,000,000 원 |
| | | CASE 1 대비 4%▼(감) | CASE 1 대비 10%▼(감) |
| 유지관리비용 | 640,298,856 원 | 919,531,535 원 | 2,414,104,555 원 |
| | | CASE 1 대비 44%▲(증) | CASE 1 대비 277%▲(증) |
| 총 생애주기비용 | 759,898,856 원 | 1,033,931,536 원 | 2,522,104,554 원 |
| | | CASE 1 대비 36%▲(증) | CASE 1 대비 232%▲(증) |

(2) 1차 에너지 소요량 산출

○ 에너지 소요량이란 해당 건축물에 설치된 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기시스템에서 소요되는 에너지량을 말함

○ 1차에너지 소요량이란 에너지 소요량에 연료의 채취, 가공, 운송, 변환, 공급과정 등의 손실을 포함한 에너지량을 말하며, 에코델타시티 홍보관의 에너지 사용량을 산출하기 위하여 ECO2 시뮬레이션을 적용하였음

○ ECO2 시뮬레이션은 ISO 13790 규격에 따른 총량적 에너지 소요량과 1차에너지 소요량을 산출할 수 있으며, 국토교통부 공인 프로그램임

○ 1차에너지 소요량 산출을 위하여 에코델타시티 홍보관의 열원 및 공조장비는 부하계산을 토대로 용량을 선정하였고 급탕기기, 조명밀도, 건축면적, 벽체/창호 열관류율은 같은 기준으로 적용하였음

○ 따라서 같은 기준을 적용한 급탕에너지, 조명에너지의 요구량, 소요량, 1차에너지 소요량은 분석에서 제외하였음

○ 설비대안별 장비선정은 다음 [표 2-9-30]과 같음

[표 2-9-30] 설비대안별 장비 선정

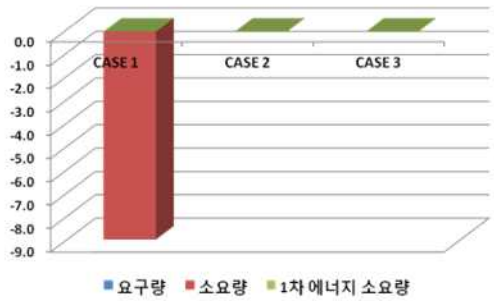
| 구 분 | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|---|---|---|---|
| 열 원 | 해수열 히트펌프<br>(234 kW) | 전기열 히트펌프<br>(234 kW) | 가수직화식 냉온수기<br>(234 kW) |
| 냉난방 COP | 냉방 COP : 3.5<br>난방 COP : 5.5 | 냉방 COP : 3.5<br>난방 COP : 4.2 | 냉방 COP : 1.2<br>난방 COP : 1.2 |
| 냉난방기기 | 팬코일 유니트 | 실내기 | 공기조화기<br>(CAV) |
| 공조기기 | 환기유니트 | 환기유니트 | |
| 사용에너지 | 전기 | 전기 | 도시가스 |
| 급탕기기 | 가스보일러 (50kW, 효율 85%) | | |
| 주 거실 조명밀도 | 12W/㎡ | | |
| 건축면적 | 951.03㎡ | | |
| 외벽/지붕 열관류율 | 건축물의 에너지절약 설계기준, [별표1] 지역별 건축물 부위의 열관류율 참조<br>(남부지역) | | |
| 창호 열관류율 | 2.4W/㎡k (차폐계수 0.8) | | |

(가) 에너지 소요량 비교

○ 설비대안별 에너지 소요량을 비교한 결과는 [그림 2-9-12]과 같이 나타났음

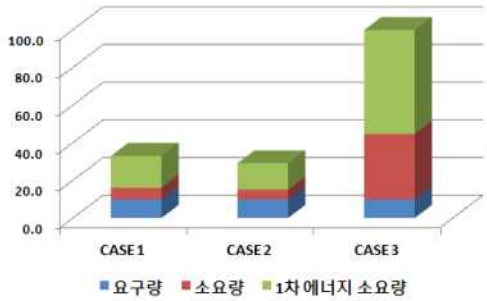
단위 : kWh/㎡·yr

신재생에너지



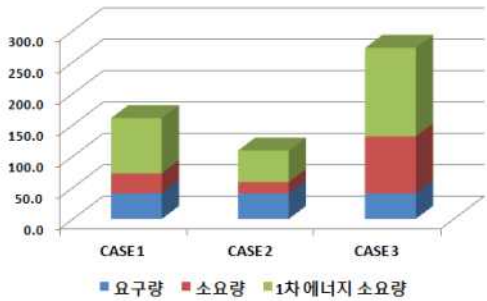

| | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|---|---|---|---|
| 요구량 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 소요량 | -8.9 | 0.0 | 0.0 |
| 1차 에너지 소요량 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

난방에너지



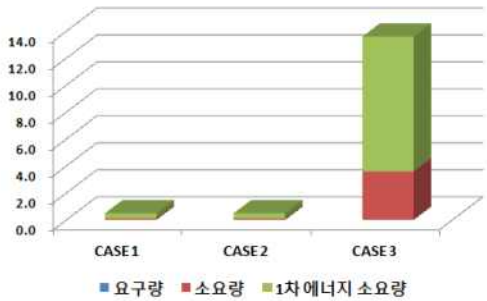

| | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|---|---|---|---|
| 요구량 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| 소요량 | 6.1 | 5.1 | 34.7 |
| 1차 에너지 소요량 | 16.9 | 14.0 | 55.2 |

냉방에너지




| | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|---|---|---|---|
| 요구량 | 40.9 | 40.9 | 40.9 |
| 소요량 | 32.0 | 18.2 | 90.7 |
| 1차 에너지 소요량 | 88.0 | 50.1 | 141.1 |

환기에너지



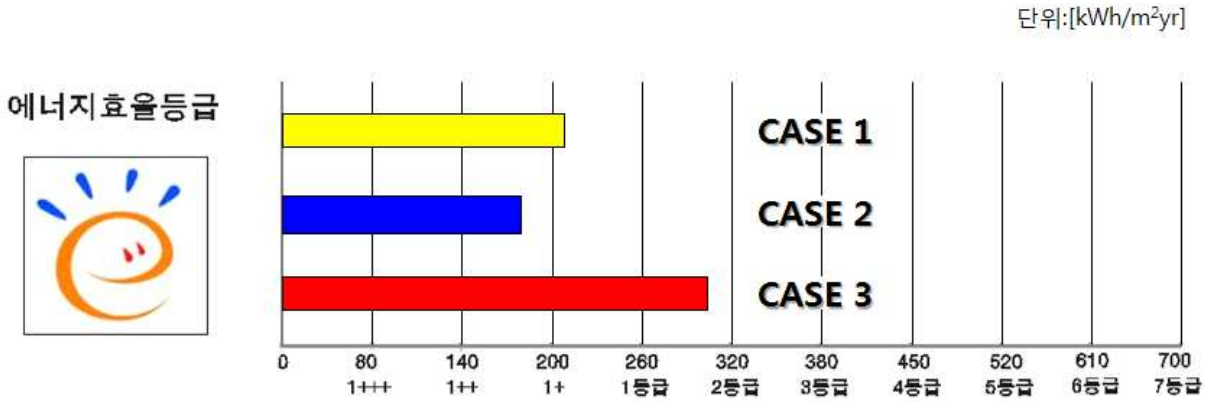

| | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
|---|---|---|---|
| 요구량 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 소요량 | 0.1 | 0.1 | 3.6 |
| 1차 에너지 소요량 | 0.4 | 0.4 | 10.0 |

[그림 2-9-12] 설비대안별 소요량 비교

(나) 에코델타시티 홍보관 에너지효율등급 예측

○ 건축물의 에너지 성능이나 주거환경의 질 등과 같은 객관적인 정보를 제공받고 건축물의 가치를 인정받는 제도로써 에너지효율등급을 1+++등급부터 7등급까지의 10개 등급을 건축물의 1차 에너지 소요량에 따라 달라짐

○ [그림 2-9-13]와 같이 CASE 1의 경우 206.6 Kwh/m2 yr "에너지효율등급 1등급", CASE 2의 경우 165.8 Kwh/m2 yr "에너지효율등급 1+등급", CASE 3의 경우 307.7 Kwh/m2 yr "에너지효율등급 2등급"임




[그림 2-9-13] 에너지효율등급 예측

○ 에너지 효율화 측면에서는 CASE 2[EHP] > CASE 1[해수열 히트펌프] > CASE 3[가스직화식 냉온수기] 순으로 나타남

○ 하지만 화석연료의 고갈과 화석연료의 정제 및 연소로 인한 환경오염, 무한한 부존에너지를 가지고 있는 수해양을 고려할 경우 해수열 히트펌프의 적용이 최선임

# 제3장 연구성과 및 적용 실적

## 제1절 최종연구성과 및 적용 실적

○ 연구단 총괄

### 1. 자문회의

| | | 날짜 | 회의명 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1차 년도 | 1 | 2011.02.09 | 자문회의 | 홍사영 박사(한국해양연구원) | 군산대학교 |
| | 2 | 2011.03.04 | 자문회의 | 홍사영 박사(한국해양연구원) | 군산대학교 |
| | 3 | 2011.03.11 | 자문회의 | 나동수 차장<br>(대우건설 한강플로팅아일랜드) | 군산대학교 |
| | 4 | 2011.04.18 | 자문회의 | 정한구 교수(군산대학교 조선공학과) | 군산대학교 |
| | 5 | 2011.04.19 | 자문회의 | 김치경 교수(선문대학교) | 군산대학교 |
| | 6 | 2011.05.13 | 자문회의 | 장상락 소장(하나기연) | 군산대학교 |
| | 7 | 2011.05.18 | 자문회의 | 김영문 교수(전북대학교) | 군산대학교 |
| 2차 년도 | 1 | 2011.07.14 | 자문회의 | 채장원 원장(한국해양연구원),<br>곽문수 교수(명지전문대학교) | 군산대 |
| | 2 | 2011.07.15 | 자문회의 | 조용훈, 김대익 교수(한경대학교) | 군산대 |
| | 3 | 2011.07.18 | 자문회의 | 강석표 교수(우석대학교) | 군산대 |
| | 4 | 2011.07.21 | 자문회의 | 이희영 과장외 5인(군산시청) | 군산대 |
| | 5 | 2011.08.11 | 자문회의 | 강희성 사장, 김원영 본부장(공간건축) | 군산대 |
| | 6 | 2011.08.18 | 자문회의 | 김태승 차장(대림산업) | 군산대 |
| | 7 | 2011.08.24 | 자문회의 | 선민영 전북지부장외 3인(조선기자재연구원) | 군산대 |
| | 8 | 2011.09.01 | 자문회의 | 안치호 사업단장(농어촌공사) | 군산대 |
| | 9 | 2011.09.06 | 자문회의 | 안익균 과장(대림산업) | 군산대 |
| | 10 | 2011.09.16 | 자문회의 | 이명교 교수(전주대학교) | 군산대 |
| | 11 | 2011.09.21 | 자문회의 | 김태승 차장(대림산업) | 군산대 |
| | 12 | 2011.09.22 | 자문회의 | 강석표 교수(우석대학교) | 군산대 |
| | 13 | 2011.10.07 | 자문회의 | 안익균 과장(대림산업) | 군산대 |
| | 14 | 2011.10.12 | 자문회의 | 유성원 교수(우석대학교) | 군산대 |
| | 15 | 2011.10.14 | 자문회의 | 맹용주 대표((주)플로텍), 윤창기 소장(경암건축), 서용민 팀장(해안건축) | 군산대/한국해양대 |
| | 16 | 2011.11.7 | 자문회의 | 황병오 부장(동부건설) | 군산대 |
| | 17 | 2011.11.10 | 자문회의 | 최재필 교수(서울대학교),<br>김우영 교수(성규관대학교) | 군산대 |
| | 18 | 2011.11.17 | 자문회의 | 채장원 원장(한국해양연구원),<br>곽문수 교수(명지전문대학교) | 군산대 |
| | 19 | 2011.11.24 | 자문회의 | 권순정 교수(아주대학교),<br>안정웅 대표((주)현신건축), | 군산대 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 김상길 대표((주)에이텍건축사사무소) | |
| | 20 | 2011.11.30 | 자문회의 | 안치호 사업단장(농어촌공사) | 군산대 |
| | 21 | 2011.12.05 | 자문회의 | 황병오 부장(동부건설) | 군산대 |
| | 22 | 2011.12.08 | 자문회의 | 유성원 교수(우석대학교) | 군산대 |
| | 23 | 2011.12.14 | 자문회의 | 안치호 단장(한국농업촌공사) | 군산대 |
| | 24 | 2012.01.10 | 자문회의 | 남보우 선임연구원(한국해양연구원) | 군산대 |
| | 25 | 2012.01.18 | 자문회의 | 이인영 대표(OPUS) | 군산대 |
| | 26 | 2012.01.19 | 자문회의 | 김성수 대표((주)미래종합건축사),<br>이두필 건축사(두산건축사),<br>추원호 건축사(신세대건축사),<br>이길환 대표((주)길건축사),<br>김선희 건축사(SM건축사),<br>이성엽 건축사(아림건축사),<br>안영문 건축사(건축사사무소·대지) | 군산대 |
| | 27 | 2012.02.16 | 자문회의 | 류종우 명예교수(부경대학교),<br>이학기 교수(동아대학교),<br>조용수 교수 (동아대학교),<br>하기주 교수(경일대학교) | |
| | 28 | 2012.02.08 | 자문회의 | 송동주 주무관(사천시청),<br>박중근 대표(실안선상까페) | 한국해양대 |
| | 29 | 2012.02.13 | 자문회의 | 강상천 문준호 주무관(한강사업본부) | 군산대 |
| | 30 | 2012.02.21 | 자문회의 | 김환용, 고승근, 이영은 교수(원광대학교), 임재규, 신형식 교수(전북대학교),<br>오경철 교수(호원대학교),<br>이철규 교수(예원예술대),<br>김애순, 박기홍 교수(군산대) | 군산대 |
| | 31 | 2012.02.27 | 자문회의 | 천영수 수석연구원(LHI), 이기학 교수(세종대학교), 이현호 교수(동양대학교) | 군산대 |
| | 32 | 2012.03.09 | 자문회의 | 맹용주 대표((주)플로텍),<br>정성영 이사(아이엠기술단),<br>서용밀 실장(해안건축) | 한국해양대 |
| | 33 | 2012.03.14 | 자문회의 | 김종욱 소장(건축사사무소 AT) | 군산대 |
| | 34 | 2012.04.03 | 자문회의 | 기성태 교수(서울과학대학교) | 군산대 |
| | 35 | 2012.04.16 | 자문회의 | 오종철 교수(군산대학교) | 군산대 |
| | 36 | 2012.04.20 | 자문회의 | 기성태 교수(서울과학대학교),<br>홍사영 책임연구원(한국해양연구원),<br>김연준 교수(목원대학교),<br>문진우 교수(한밭대학교),<br>정성진 교수(한남대학교),<br>조형장 대표(메종건축사사무소),<br>김호수 교수(청주대학교),<br>윤정배 교수(경상대학교) | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 37 | 2012.04.27 | 자문회의 | 황종국 교수(전통문화대학교),<br>이지현 교수(군산대학교),<br>이고운 대표(goncreative) | 군산대 |
| | 38 | 2012.05.09 | 산학관교류협력회의 | 장성화 연구원(전북발전연구원), | 군산대 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 박해영 사장(한국해양개발공사),<br>이광태 과장(군산시청) | |
| | 40 | 2012.05.15 | 지역협의체 회의 | 이광태 과장(군산시청),<br>고재찬 과장(전북도청), 권태연(경제자유구역청),<br>김종현 팀장(농어촌공사),<br>류택규 대표(해일건설) | 군산대 |
| | 41 | 2012.05.18 | 자문회의 | 김제형 본부장(이가건축),<br>손재홍 이사(행림건축),<br>배기두 부사장(DMP건축)<br>임상진 소장(오즈건축) | 군산대 |
| | 42 | 2012.05.25 | 지역협의체 회의 | 이광태 과장(군산시청),<br>고재찬 과장(전북도청), 권태연(경제자유구역청),<br>김종현 팀장(농어촌공사),<br>류택규 대표(해일건설) | 군산대 |
| 3차 년도 | 1 | 2012.07.06 | 자문회의 | 이장홍 소장(이공구조연구소) | 군산대 |
| | 2 | 2012.07.10 | 자문회의 | 오양기 교수(목포대학교),<br>권순정 교수(아주대학교),<br>배병선 실장(국립문화재연구소) | 군산대 |
| | 3 | 2012.07.19 | 자문회의 | 김한수 교수(세종대학교), 정현 대표((주)오션스페이스),<br>이인영 대표(OPUS),<br>이세환 대표((주)환구조기술사사무소) | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 4 | 2012.08.16 | 자문회의 | 김승진 실장, 최영우(한국시설안전공단) | 군산대 |
| | 5 | 2012.08.20 | 자문회의 | 최완철 교수(숭실대학교),<br>홍기섭 교수(홍익대학교),<br>윤정배 교수(경상대학교) | 군산대 |
| | 6 | 2012.08.20 | 자문회의 | 정명철대표<br>((주)에이엠지그룹건축사사무소) | 한국해양대 |
| | 7 | 2012.09.12 | 자문회의 | 김홍진 교수(경북대학교) | 전남대 |
| | 8 | 2012.09.18 | 자문회의 | 김재구 박사(전북발전연구원) | 군산대 |
| | 9 | 2012.09.18 | 자문회의 | 최재혁 교수(조선대학교) | 전남대 |
| | 10 | 2012.09.20 | 자문회의 | 소광호, 이용수 교수, 오숙경 박사(원광대학교) | 군산대 |
| | 11 | 2012.09.25 | 자문회의 | 최기호, 이영권 기술원(한국수산자원관리공단) | 군산대 |
| | 12 | 2012.09.26 | 자문회의 | 문진우 교수(한밭대학교) | 한국해양대 |
| | 13 | 2012.09.27 | 자문회의 | 김도삼 교수(한국해양대학교) | 군산대 |
| | 14 | 2012.10.10 | 자문회의 | 임준범 대표 ((유)아이엠아키텍츠) | 군산대 |
| | 15 | 2012.10.11 | 부유식 구조물 회의 | 박정현 소장((주)오푸스펄),<br>정현 사장((주)오션스페이스) | 군산대 |
| | 16 | 2012.10.30 | 자문회의 | 홍사영 책임연구원(한국해양개발연구원) | 군산대 |
| | 17 | 2012.11.06 | 자문회의 | 하태훈 책임연구원(대우건설기술연구소) | 군산대 |
| | 18 | 2012.11.08 | 자문회의 | 윤정배 교수(경상대학교),<br>최완철 교수(숭실대학교),<br>홍건호 교수(호서대학교) | 군산대 |
| | 19 | 2012.11.14 | 자문회의 | 왕첸밍 교수(싱가포르대학교) | 군산대 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 2012.12.13 | 자문회의 | 김도삼 교수(한국해양대학교),<br>홍사영, 김병완 책임연구원<br>(한국해양개발연구원) | 군산대 |
| | 21 | 2013.01.29 | 자문회의 | 김영화, 김성묵, 우진규, 노해미 기상연구원<br>(기상청) | 군산대 |
| | 22 | 2013.02.26 | 부유식 건축물 조례 및 지역협의회 회의 | 이광태과장, 이기만계장,<br>나광장(군산시청),<br>고재찬 지역개발과장, 권태연 도로공항과장<br>(전북도청),<br>김종현 사업계획팀장(한국농어촌공사)<br>류택규사장((유)해일건설),<br>최문규 소장((주)길건축사사무소), 박해영<br>((유)한국해양개발공사),<br>김영랑 대표((주)우미건설),<br>이명노 중점교수(링크사업단),<br>고희성 산업유치부장(새만금경제청) | 군산대 |
| | 23 | 2013.03.07 | 자문회의 | 정상화, 김용길, 민기훈 선임연구원<br>(한국건설환경시험연구원) | 군산대 |
| | 24 | 2013.03.16 | 자문회의 | 소인철 소장((주)건축사사무소 혜창당) | 군산대 |
| | 25 | 2013.03.22 | 자문회의 | 이효원 교수(순천대학교) | 전남대 |
| | 26 | 2013.03.26 | 군산시 민관학 건축행정 발전 연찬회 | 군산시, 전라북도 건축사 | 군산대 |
| | 27 | 2013.04.01 | 자문회의 | 김성호 차장(대림산업) | 군산대 |
| | 28 | 2013.04.01 | 자문회의 | 방효영 상무((주)정림건축),<br>김용구 부장(삼성건설), 전호민교수(초당대학교),<br>이장홍 소장(이공구조연구소) | 군산대 |
| | 29 | 2013.04.09 | 자문회의 | 하헌재 선임연구원<br>(한국건설생활환경시험연구원) | 군산대 |
| | 30 | 2013.04.18 | 자문회의 | 홍근 부사장, 김진호 전무, 강신중차장((주)서영엔지니어링) | 군산대 |
| | 31 | 2013.04.19 | 자문회의 | 이기학 교수(세종대학교),<br>홍건호 교수(호서대학교) | 군산대 |
| | 32 | 2013.04.22 | 자문회의 | 김동진 (한국해양과학기술원),<br>이기표 명예교수(서울대학교) | 군산대 |
| | 33 | 2013.04.23 | 자문회의 | 홍사영 책임연구원(한국해양과학기술원), 김도삼 교수(한국해양대학교) | 군산대 |
| | 34 | 2013.04.23 | 자문회의 | 조성민 책임연구원(한국도로공사) | 군산대 |
| | 35 | 2013.04.25 | 자문회의 | 윤기병 교수(원광대학교) | 군산대 |
| | 36 | 2013.04.25 | 자문회의 | 전호민 교수(초당대학교),<br>이정수 대표 (제이에스디자인(주)) | 군산대 |
| | 37 | 2013.05.03 | 부유식 건축물 조례 회의 | 이광태 건축과장, 이기만 건축계장, 주병선 주거환경개선계장, 최윤태 주무관, 나광장 주무관(군산시),<br>정태화 건축기획과장, 김철중 시설사무관(국토해양부) | 군산대 |
| | 38 | 2013.05.14 | 부유식 건축물 조례 | 이광태과장(군산시청), 류택규사장((유)해일 | 군산대 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 및 지역협의회 회의 | 건설),<br>박해영((유)한국해양개발공사)<br>이명노 중점교수(링크사업단) | |
| 4차 년도 | 1 | 2013.07.05 | 전남도청 플로팅 건축 적용방안 회의 | 임윤섭, 김원중 (전라남도 해양항만과) | 군산대 |
| | 2 | 2013.07.24 | 플로팅건축물 에너지절약 회의 | 김영돈 소장(하나기연) | 군산대 |
| | 3 | 2013.07.30 | 콘크리트 폰툰 해양수조 활용회의 | 문재성 박사과정, 김시준 연구교수(경기대학교) | 군산대 |
| | 4 | 2013.07.30 | NI 데이터 계측시연 및 Labview Program 회의 | 이행재(한국내쇼날인스트루먼트) | 군산대 |
| | 5 | 2013.07.31 | 부유식 콘크리트 부재의 휨성능 평가실험 사전 회의 | 강석표 교수(우석대학교) | 군산대 |
| | 6 | 2013.08.14 | 플로팅 콘크리트 부재성능 실험의 측정 항목 회의 | 이상준 실장(삼학콘크리트) | 군산대 |
| | 7 | 2013.08.27 | 한강공원 플로팅건축 적용방안 회의 | 정진일 부장, 강상천,홍찬희, 곽병찬 주무관(서울시 한강사업본부) | 군산대 |
| | 8 | 2013.08.29 | 플로팅 콘크리트 부재의 적용성 평가를 위한 성능평가항목 회의 | 하헌재 선임연구원(한국건설환경시험연구원) | 군산대 |
| | 9 | 2013.08.30 | 플로팅 콘크리트 부재의 성능평가 회의 | 최명수 부장(대우건설) | 군산대 |
| | 10 | 2013.09.12 | 플로팅건축 테스트베드 회의 | 양정원 차장, 이재욱, 김문영 과장, 양도식, 곽용규 팀장(한국수자원공사) | 군산대 |
| | 11 | 2013.09.23 | 플로팅 구조시스템 풍하중 회의 | 김용균 교수(한양대) | 군산대 |
| | 12 | 2013.09.25 | 새만금 사업개발후 재현기간별 흐름분포 회의 | 이도훈 교수(경희대) | 군산대 |
| | 13 | 2013.10.02 | 부유체 거동에 대한 안정성 검토 회의 | 강신중 차장 ((주)서영엔지니어링) | 군산대 |
| | 14 | 2013.10.10 | 플로팅건축에서 모듈러 적용방안 회의 | 최준용 상무 (포스코A&C) | 군산대 |
| | 15 | 2013.11.15 | 플로팅 구조물 폰푼 구조설계절차 회의 | 홍기증 교수 (서경대학교), 이용기 부장 (현대엔지니어링) | 군산대 |
| | 16 | 2013.11.15 | 플로팅 폰툰 모형실험 회의 | 이효원 교수 (전남대학교) | 군산대 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 17 | 2013.11.21 | 부소파제의 파랑변회 회의 | 배기성 교수 (경상대학교) | 군산대 |
| | 18 | 2013.12.04 | 불규칙 파장의 입사파와 반사파 분리기법 회의 | 오병철 대표 ((주)에스앤알컨설턴트) | 군산대 |
| | 19 | 2013.12.10 | 해안/항만부근에서의 파랑유동 회의 | 신영섭 교수 (한대라대학교) | 군산대 |
| | 20 | 2013.12.13 | 새만금 내측 플로팅 건축물 적지에 대한 회의 | 박상현 부사장 (이산엔지니어링) | 군산대 |
| | 21 | 2013.12.19 | 새만금 내측 기후변화에 따른 해수면 상승과 강수량증가 회의 | 이도훈 교수 (경희대학교) | 군산대 |
| | 22 | 2014.02.05 | 풍력발전디자인 모듈화 회의 | 김영돈 소장 ((주)하나기연) | 군산대 |
| | 23 | 2014.02.19 | 플로팅건축 공학교육 특성화 회의 | 김광우 교수(서울대), 오양기 교수(목포대), 김용식 교수(인천대), 송승영 교수 (이화여대) | 군산대 |
| | 24 | 2014.02.19 | 에코델타시티 홍보관 회의 | 김영철과장 (부산도시개발본부), 송용석 책임연구원(국토교통과학기술진흥원), 허윤수 연구위원(부산발전연구원) | 군산대 |
| | 25 | 2014.02.28 | 플로팅 건축 풍하중에 대한 회의 | 정형일 차장 (삼성건설) | 군산대 |
| | 26 | 2014.03.12 | 계류 실험 및 해석에 대한 자문 | 홍사영, 김병완 책임연구원 (한국해양연구원) | 군산대 |
| | 27 | 2014.03.18 | 평택호 플로팅 건축물 회의 | 김덕용팀장, 이경애팀원(경기관광공사) | 군산대 |
| | 28 | 2014.05.07 | 플로팅 진수공법 적정성 평가회의 | 김규식부사장(삼원중공업) | 군산대 |
| | 29 | 2014.05.08 | 플로팅 표준안전작업절차서 및 진수공법 적정성 평가 회의 | 정효석, 반상구차장, 송효근부장(한국산업안전보건공단), 양동국대리(현대중공업),고영욱이사(SK건설), 임병천대표(PS&E경영컨설팅) | 군산대 |
| | 30 | 2014.05.12 | 연구단 운영위원회 회의 | 류택규 사장(해일건설), 박형권소장(대들보구조안전기술단), 이광태건축과장, 이건표건축계장(군산시), 이길환대표, 최문규소장(길건축사사무소), 최인정(호원대) | 군산대 |
| | 31 | 2014.05.14 | 플로팅 총괄과제 자문회의 | 김남중회장(전북건축사협회), 남해경회장(건축학회전북지회), 박형배건설국장(전라북도), 유남구회장(전북건축가회) | 군산대 |
| | 32 | 2014.05.23 | 플로팅 1세부과제 자문회의 | 김병완 박사(한국해양연구원), 이철호 교수(서울대), 정란 교수(단국대), 정현 대표이사(오션스페이스) | 군산대 |
| 5차 년도 | 1 | 2014.07.01 | 플로팅건축 총괄과제 자문회의 | 김관영(국회의원) | 군산대 |
| | 2 | 2014.07.24 | 플로팅건축 총괄과제 | 김지민교수(목포대),김광우교수(서울대), | 군산대 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 자문회의 | 김승제교수(광운대),전재열교수(단국대) | |
| | 3 | 2014.09.19 | 플로팅건축 총괄과제 자문회의 | 김남중 대표이사(라인종합건축사사무소), 김희순 대표이사(율그룹건축사사무소), 김길수 소장(현대엔지니어링), 배영선 소장(현대산업개발) | 군산대 |
| | 4 | 2014.09.23 | 부방파제 제안 및 형태 자문회의 | 어대수 연구위원(한국농어촌공사) | 군산대 |
| | 5 | 2014.11.20 | 윈드가이드 측정 장비 설치 및 사용방법 회의 | 정성권 박사(미시건대학교) | 군산대 |
| | 6 | 2014.11.24 | 목업 해수열 시스템 설계 자문회의 | 박용헌대표(지에프텍), 서정호 대표(다산기술) | 군산대 |
| | 7 | 2014.12.19 | 플로팅 건축 설계기술 및 기술실용화 회의 | 김용구 부장, 유영기 차장, 이정하 과정(삼성물산건설) | 군산대 |
| | 8 | 2014.12.23 | 목업 해수열 시스템 설계 자문회의 | 박용헌대표(지에프텍), 서정호 대표(다산기술) | 군산대 |
| | 9 | 2015.02.23 | 새만금 내측의 부유사 퇴적가능지역 예측 자문회의 | 박상덕 교수(강릉 원주대) | 군산대 |
| | 10 | 2015.02.23 | 플로팅 건축물에 대한 파랑변형율의 산정에 대한 자문회의 | 신영섭 교수(한라대) | 군산대 |
| | 11 | 2015.02.24 | 목업 및 KBC 2015 구조기준안 자문회의 | 박홍근 교수(서울대) | 군산대 |
| | 12 | 2015.03.04 | 플로팅 연구단 홍보 회의 | 신효균 사장(JTV) | 군산대 |
| | 13 | 2015.03.06 | 플로팅 건축물 공간수요 자문회의 | 유승희 연구원(인천대 인천학연구원), 신경미 부연구위원(건축도시공간연구소), 최성운 팀장, 권종득 직원(군산시청), 김주야연구원(대구시 도시재생), 이창배 소장, 이예슬 대리(군산디오건축사사무소), 정철모 교수, 권원석 연구원(전주대), 유희종 교수(호원대) | 군산대 |
| | 14 | 2015.03.17 | 군산시 부유식 건축물 조례 관련 회의 | 이광태 과장, 이건표, 나광장 계장 (군산시), 장맹식 소장(동인건축사사무소) | 군산대 |
| | 15 | 2015.04.29 | 목업 해수열 시스템 설치 및 실험관련 자문회의 | 박용헌대표(지에프텍), 서정호 대표(다산기술) | 군산대 |
| | 16 | 2015.04.24 | 플로팅건축 사례 세빛섬 운영관련 회의 | 이윤석 대리((주)효성) | 군산대 |
| | 17 | 2015.04.24 | 새만금호 유입 유사 특성분석 회의 | 이도훈 교수(경희대) | 군산대 |
| | 18 | 2015.04.25 | 플로팅건축 사례 세빛섬 내 CNN카페 활용현황 회의, | 이진욱 팀장(CNN카페) | 군산대 |
| | 19 | 2015.04.30 | 풀로팅 건축 책 | 황용구 대표(이음스토리) | 군산대 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 아이디어 회의 | | |
| | 20 | 2015.05.17 | 플로팅 활성화 및 기술력 회의 | 이경섭 교수(가천대), 안상태부장((주)대우건설) | 군산대 |
| | 21 | 2015.06.18 | 플로팅 총괄과제 운영위원회 회의 | 유택규 부사장((주)이너텍), 이길환 대표, 최문규 소장((주)길건축사사무소, 박형권 소장((주)대들보안전기술단, 이광태 과장, 이건표 계장, 박상열 사무원(군산시청), 최인정 교육위 부위원장(전북도의회), | 군산대 |

## 2. 세미나 및 워크숍 개최

| | | 날짜 | 세미나명 | 참여기관 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1차년도 | 1 | 2011.18~19 | 연구단 제1차 공동워크숍 개최 | | 군산대학교 |
| | 2 | 2011.03.11 | 1세부과제 세미나 | 힐엔지니어링, 한국철도대학 | 한국해양대학교 |
| | 3 | 2011.03.17 | 2세부과제 공동워크숍 | | 한국해양대학교 |
| | 4 | 2011.03.23 | 1세부과제 공동워크숍 | | 군산대학교 |
| | 5 | 2011.03.26 | 기업체 초청 세미나 | 삼성중공업 부유체팀 | 군산대학교 |
| | 6 | 2011.04.13 | 기업체 초청 세미나 | 윤창기 소장(경암건축) | 군산대학교 |
| | 7 | 2011.04.18 | 상호기술교류 및 전문가초청 세미나 | 김병표 전무 ((주)한국해사기술) | 상지엔지니어링 |
| | 8 | 2011.04.21 ~22 | 연구단 제2차 공동워크숍 | | 군산대학교 |
| | 9 | 2011.04.29 | 연구과제 홍보 발표회 (대한건축학회학술대회) | | 군산대학교 |
| 2차년도 | 1 | 2011.07.12 ~13 | 연구단 제 1차 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 2 | 2011.09.23 | 2세부과제 공동워크숍 | | 한국해양대/군산대 |
| | 3 | 2011.11.04 | 초청 세미나 | 정군식 (경기도 소방재난본부) | 상지엔지니어링 |
| | 4 | 2011.11.18 | 1세부과제 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 5 | 2011.12.06 | 연구비집행관리 초청 세미나 | 이강준,주경미 선임연구원 (한국건설교통기술평가원) | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 6 | 2011.12.14 | 초청 세미나 | 김학원 처장, 한광석 팀장 (한국농어촌공사) | 군산대 |
| | 7 | 2012.02.16 ~17 | 연구단 제 2차 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 8 | 2012.04.20 ~21 | 연구단 제 3차 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대 |
| 3차년 | 1 | 2012.07.19 ~20 | 연구단 3차년도 전략세미나 | 김한수 교수(세종대학교), 정현 대표(주)오션스페이스, | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/씨포트 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 도 | | | | 이인영 대표(OPUS),<br>이세환 대표<br>((주)환구조기술사사무소) | |
| | 2 | 2012.08.07 | 연구단 국제 세미나 | 일본대학교, 강원대학교 | 군산대/한국해양대/<br>전남대/상지 |
| | 3 | 2012.08.06<br>~11 | 2012 제5회 한-일 해양건축디자인 워크숍 | 일본대학교,강원대학교 | 군산대/한국해양대/<br>전남대/상지 |
| | 4 | 2012.12.13 | 1세부과제 제 1차 공동워크숍 | 홍사영, 김병완 책임연구원<br>(한국해양개발연구원) | 군산대/한국해양대/<br>전남대 |
| | 5 | 2012.12.13<br>~14 | 2세부과제 제 1차 공동워크숍 | 신지웅 대표, 김신 차장<br>((주)이에이엔트크놀리지<br>대표) | 한국해양대/군산대/<br>상지 |
| | 6 | 2013.02.21<br>~22 | 연구단 제 1차 공동워크숍 | 김문석 본부장(에이스마린) | 군산대/한국해양대/<br>전남대/상지/티섹 |
| | 7 | 2013.03.22 | 2세부과제 제 2차 공동워크숍 | | 한국해양대/군산대/<br>상지 |
| | 8 | 2013.04.26 | 연구단 제 2차 공동워크숍 | | 한국해양대/군산대/<br>상지/티섹 |
| | 9 | 2013.05.27<br>~27 | 연구단 제 3차 공동워크숍 | | 한국해양대/군산대/<br>상지/티섹/씨포트 |
| 4<br>차<br>년<br>도 | 1 | 2013.07.23 | 연구단 보안, 윤리교육 및 4차년도 제 1<br>전략워크숍 | | 군산대/한국해양대/<br>전남대/상지/티섹/<br>쓰리디/씨포트/우원 |
| | 2 | 2013.08.29 | 2세부과제 제 1차 공동워크숍 | | 한국해양대/군산대/<br>상지/우원 |
| | 3 | 2013.09.24 | 군산시 부유식 건축물<br>조례제정 공청회 개최 | 이승복 과장<br>(전라북도 토지주택과장),<br>최인정(군산시 의원),<br>이광태(군산시 건축과장),<br>이강수(군산시건축사회<br>법제위원회 위원장),<br>정현(오션스페이스 대표) | 군산대/군산시 |
| | 4 | 2013.12.12 | BIM세미나 | 홍정길<br>(시상현건축사사무소<br>부사장),<br>김정헌<br>(대림산업 건축PM팀 차장) | 상지 |
| | 5 | 2013.12.20 | 연구단 에코델타시티 홍보관 시설계 워<br>크숍 | | 군산대/한국해양대/<br>전남대/상지/티섹/<br>쓰리디/씨포트/우원 |
| | 6 | 2014.01.28 | 플로팅 건축 조례 간담회 개최 | 이광태 과장, 이건표 계장<br>(군산시청), 장맹식<br>소장(동인건축사사무소) | 군산대 |
| | 7 | 2014.02.27 | 연구단 제 2차 전략워크숍 | | 군산대/한국해양대/<br>전남대/상지/티섹/<br>쓰리디/씨포트/우원 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 8 | 2014.05.15 ~17 | 1세부과제 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/쓰리디/씨포트/우원 |
| | 9 | 2014.05.21 ~23 | 2014 국토교통기술대전 개최 | | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/쓰리디/씨포트/우원 |
| 5차년도 | 1 | 2014.08.12 | 플로팅건축 연구단 제 1차 공동워크숍 개최 | | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/씨포트/대들보/우원 |
| | 2 | 2014.08.18 ~23 | 2014 제6회 국제 해양건축 Design Workshop | | 군산대/한국해양대 |
| | 3 | 2014.09.24 | 플로팅건축연구단 성과보고회 | | 군산대/군산시 |
| | 4 | 2014.10.24 | 플로팅건축 연구단 제 2차 공동워크숍 개최 | | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/씨포트/대들보/우원 |
| | 5 | 2015.02.24. ~25 | 플로팅건축 연구단 제 3차 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/씨포트/대들보/우원 |
| | 6 | 2015.04.24 | 플로팅건축 연구단 제 4차 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/씨포트/대들보/우원 |
| | 7 | 2015.06.04. ~05 | 플로팅건축 연구단 제 5차 공동워크숍 | | 군산대/한국해양대/전남대/상지/티섹/씨포트/대들보/우원 |

## 3. 홍보

| | | 홍보명 | | 날짜 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1차년도 | 1 | 연구과제 홍보방송 (새만금 우뚝서다) | | 2011.04.29 | 전주 JTV방송 (11시 5분) | 군산대학교 |
| | 2 | 연구과제 홍보방송 (새만금에 인공섬 건설) | | 2011.05.23 | 연구과제 홍보방송<br>(새만금에 인공섬 건설)<br>전주 KBS방송 (7시 30분) | 군산대학교 |
| 2차년도 | 1 | 신문 | 부울경 건축사 신문 (2012년 상반기 기획기사) | 2012.01.16 | - 새로운 건축문화로서 해양건축 (이한석)<br>- 플로팅 건축물이란? (문창호) | 한국해양대/군산대 |
| | 2 | | | 2012.02.17 | - 기후변화와 해양건축 (송화철)<br>- 플로팅 건축물의 공간계획 (송석기) | 한국해양대/군산대 |
| | 3 | | | 2012.03.16 | - 해양건축: 친수공간과 해양건축 (이명권)<br>- 플로팅 건축물의 입지조건 (이한석) | 한국해양대 |
| | 4 | | | 2012.04.16 | - 플로팅 건축물의 유형 (박성신) | 군산대 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | | | 2012.05.16 | - 플로팅 건축물의 신재생에너지시스템 (김용이) | 한국해양대/ 군산대 |
| | | | | 2012.06.16 | - 플로팅 건축물 에너지절약시스템(황광일) | |
| | 6 | 뉴스레터 | | 2011.9.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 1호 | 군산대 |
| | 7 | | | 2012.1.31 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 2호 | 군산대 |
| | 8 | | | 2012.05.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 3호 | 군산대 |
| | 9 | 대한건축학회 학회지 특집 | | 2011.09.26 | 하나의 새로운 패러다임으로서의 플로팅 건축<br><br>- 플로팅 건축 연구단의 출범 (문창호)<br>- 왜 플로팅건축인가? 출현배경과 다양한 가능성 (박성신)<br>- 플로팅 건축 상부시설의 건축계획 측면에서의 고려사항 (송석기)<br>- 레저용 플로팅 건축물 입지조건 (이한석)<br>- 새만금 간척지 내부개발과 플로팅건축 사업(신문섭)<br>- 콘크리트를 이용한 플로팅 함체의 설계 기술 (이영욱)<br>- 플로팅 구조물의 건전성 평가 (박수용)<br>- 플로팅건축 상부구조시스템 설계기술<br>(송화철)<br>- 함체 적용을 위한 친환경 콘크리트 배합 기술 (송진규)<br>- RC조 플로팅 건축물의 열화와 유지관리 (박동천)<br>- 플로팅건축에서 풍력 활용 (김용이)<br>- 플로팅 건축물의 부하계산 (도근영) | 군산대/한국해양대/전남대 |
| 3차년도 | 1 | 부울경 건축사신문 (159호) | | 2012.08.20 | 낙동강, 플로팅 건축을 만나다 | 한국해양대 |
| | 2 | sbs 모닝투데이 | | 2012.08.15 | 한·일 해양건축디자인 워크숍 홍보 | 한국해양대 |
| | 3 | yachting 매거진 | | 2012.10.25 | 부유식 구조물(부잔교) 적용사례 홍보 | 씨포트 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 10월호 | | | |
| | | yachting 매거진 10월호 | 2012.11.25 | 부유식 구조물(부잔교) 적용사례 홍보 | 씨포트 |
| | | yachting 매거진 10월호 | 2012.12.25 | 부유식 구조물(부잔교) 설계시 주의점 홍보 | 씨포트 |
| | | yachting 매거진 1월호 | 2013.01 | 마리나 설계·시공사례 홍보 | 씨포트 |
| | 4 | 뉴스레터 | 2012.06.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 4호 | 군산대 |
| | | | 2012.09.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 5호 | 군산대 |
| | | | 2012.12.31 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 6호 | 군산대 |
| | | | 2013.03.31 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 7호 | 군산대 |
| 4차년도 | 1 | 건축문화사랑신문 | 203.07.10 | 플로팅 건축의 배경 | 군산대 |
| | | | 2013.08.10 | 플로팅 건축의 국내외 현황 | 군산대 |
| | | | 2013.09.10 | 플로팅 건축의 전망 | 군산대 |
| | 2 | yachting 매거진 11월호 | 2014.03.31 | 마리나 설계 시공 사례 홍보 | 씨포트 |
| | 3 | Economy Chosun | 2013.11.01 | 플로팅 건축물 기술과 시장 현황 | 한국해양대 |
| | 4 | 건축사신문 | 2013.12.19 | 플로팅 건축 연구단, BIM활용방안 모색 | 상지 |
| | 5 | 뉴스레터 | 2013.06.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 8호 | 군산대 |
| | | | 2013.09.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 9호 | 군산대 |
| | | | 2013.12.31 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 10호 | 군산대 |
| | | | 2014.03.31 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 11호 | 군산대 |
| 5차년도 | 1 | 현대해양 | 2014.08.01 | 플로팅건축, 새로운 건축유형으로 부상<br>-물에 뜨는 부유식 함체 상부에 지은 건물- | 군산대 |
| | 2 | 현대해양 | 2014.09.01 | 무한 가능성 지닌 플로팅건축, 신건축 트렌드로 주목<br>-미국,캐나다 보급화 가속-자연재해 대비와 친환경 요소 활용 등 과제- | 군산대 |
| | 3 | KCN뉴스 | 2014.09.24 | 새만금에 플로팅 건축 활성화 되나? 제도적 뒷받침 필요 | 군산대 |
| | 4 | 현대해양 | 2014.10.01 | 경제적, 제도적 문제 해결로 지속가능한 실현 방향 찾아야<br>-묘지, 풀, 스타디움, 모스크 등 다양한 방식으로 활용 가능- | 군산대 |
| | 5 | 대한건축학회 학회지 | 2014.12.26 | 플로팅 건축물의 법적 지위 | 군산대 |
| | 6 | 뉴스레터 | 2014.06.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 12호 | 군산대 |
| | 7 | 뉴스레터 | 2014.09.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 13호 | 군산대 |
| | 8 | 뉴스레터 | 2014.12.31 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 14호 | 군산대 |
| | 9 | 뉴스러테 | 2015.03.31 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 15호 | 군산대 |
| | 10 | 뉴스러테 | 2015.06.30 | 플로팅 건축 연구단 뉴스레터 16호 | 군산대 |

## 4. 음성회의

| | | 날짜 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 2차년도 | 1 | 2011.11.28 | 연구단 연구진행 현황 논의 | 군산대/한국해양대/전남대/참여기업 |
| | 2 | 2012.01.10 | 연구단 2차년도 양적질적성과 현황 논의 | 군산대/한국해양대/전남대/참여기업 |
| | 3 | 2012.05.07 | 연구단 3차년도 연차실적보고서 작성 논의 | 군산대/한국해양대/전남대/참여기업 |
| 3차년도 | 1 | 2013.10.29 | 연구단 3차년도 연구진행 현황 논의 | 군산대/한국해양대/<br>전남대/상지/티씩/씨포트 |
| 4차년도 | 1 | 2013.08.26 | 4차년도 성과점검기준표 회의 | 군산대/한국해양대/우원<br>전남대/상지/티씩/씨포트 |
| | 2 | 2013.09.23 | 군산시 부유식 조례제정 회의 | 군산대/한국해양대/우원<br>전남대/상지/티씩/씨포트 |
| | 3 | 2014.04.22 | 연구단 4차년도 전략워크숍 개최 | 군산대/한국해양대/우원/<br>전남대/상지/티씩/씨포트/쓰리디 |
| 5차년도 | 1 | 2015.04.01 | 연구단 5차년도 연구진행 현황 논의 | 군산대/한국해양대/우원<br>전남대/상지/티씩/씨포트/대들보 |

## 5. 외부행사 참여

| | | 날짜 | 행사명 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 2차년도 | 1 | 2011.07.16~20 | 테크노마트 진동 계측 | 전남대 |
| | 2 | 2011.07.12 | 2011 국토해양 Technology Fair 참석 | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 3 | 2011.08.25~26 | 초고층 빌딩 설계기술 연구단 워크숍 참석 | 전남대 |
| | 4 | 2011.09.01 | 2011년 KOREA ANSYS ANSYS USER'S CONFERENCE 참석 | 군산대 |
| | 5 | 2011.09.02 | 공공 건축물 용도별 신재생에너지 적용 세미나 | 한국해양대 |
| | 6 | 2011.09.30 | 지진공학회 참석 | 전남대 |
| | 7 | 2012.01.16~17 | 하우바우징 연구사업단 워크숍 참석 | 군산대/전남대 |
| | 8 | 2012.04.12~13 | 전산구조공학회 참석 | 군산대 |
| | 9 | 2012.04.19 | Construction IT & BIM FORUM 2012 | 상지엔지니어링 |
| | 10 | 2012.04.28 | 대한건축학회 춘계학술발표대회 참석 | 전남대/한국해양대 |
| 3차년도 | 1 | 2012.09.21 | 한국항만협회 기후변화대응 항만설계기준 개선방안 연구 성과발표 | 씨포트 |
| | 2 | 2012.10.24 | 대한건축학회 2012 ISAIA 학술대회 참석 | 군산대 |
| | 3 | 2012.10.26 | 대한토목학회 정기 학술대회 참석 | 군산대 |
| | 4 | 2012.10.25～27 | 한국항해항만학회 2012 추계학술대회 | 군산대/해양대/전남대/상지 |
| | 5 | 2012.10.23～27 | 2012 제 5회 ACF 국제 학술대회 | 군산대 |
| | 6 | 2012.10.30 | 해양산업 비젼 세미나 | 군산대 |
| | 7 | 2012.11.13～16 | CODE 2012 국제학술대회 | 군산대 |
| | 8 | 2012.11.07～09 | 한국콘크리트학회 가을 학술대회 | 군산대 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 9 | 2012.11.15～16 | 한국해안,해양공학회 정기학술대회 | 군산대 |
| | 10 | 2013.02.01 | 한국지반공학회 신뢰성연구회 세미나 | 전남대 |
| | 11 | 2013.02.19 | 항만 및 해양기술사 CPDd 교육 및 정기총회 | 씨포트 |
| | 12 | 2013.04.11～12 | 한국구조물진단유지관리공학회 봄 학술발표회 | 한국해양대 |
| | 13 | 2013.04.27 | 대한건축학회 2013 춘계학술발표대회 | 군산대 |
| | 14 | 2013.05.14～16 | 한국콘크리트학회 학술대회 | 군산대 |
| | 15 | 2013.05 | 한국 BTM학회 | 군산대 |
| 4차년도 | 1 | 2013.07.10 | 2013 친환경건축국제회 참석 (서울) | 군산대 |
| | 2 | 2013.07.03~04 | 안전보건세미나 참석 (서울) | 군산대 |
| | 3 | 2013.07.11~12 | 2012년도 개정 콘크리트구조기준 기술강좌 (광주) | 군산대 |
| | 4 | 2013.08.29~30 | 한국풍력에너지학회 국제워크숍 참석 (서울) | 군산대 |
| | 5 | 2013.09.18~11 | ASEM13 학회 참석 (제주도) | 군산대/전남대 |
| | 6 | 2013.09.10~14 | EASEC-13 국제학술대회 참석 (일본) | 군산대 |
| | 7 | 2013.10.16~18 | 한국콘크리트학회 가을학술대회 참석 (속초) | 군산대/전남대 |
| | 8 | 2013.10.17~18 | 한국해양공학회 추계학술대회참석 (서울) | 군산대 |
| | 9 | 2013.10.23~24 | 한국항해항만학회 추계학술대회 참석 (부산) | 군산대/한국해양대/상지/씨포트/우원 |
| | 10 | 2013.10.25 | 대한건축학회 추계학술대회 참석 (천안) | 군산대 |
| | 11 | 2013.11.02 | 한국건축친환경설비학회 2013 추계학술발표대회 참석 (서울) | 군산대 |
| | 12 | 2013.11.08~09 | 한국건설관리학회 2013 정기학술발표대회 참석 (용인) | 군산대 |
| | 13 | 2013.11.21~22 | 2013 한국해안·해양공학회 추계학술발표대회 참석(통영) | 군산대 |
| | 14 | 2014.04.12~12 | 2014 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회 참석 (대구) | 군산대/전남대 |
| | 15 | 2014.04.26 | 2014 대한건축학회 춘계학술대회 참석(서울) | 군산대 |
| | 16 | 2014.05.14~16 | 2014 한국콘크리트학회 봄 학술대회 참석(제주도) | 군산대/한국해양대/상지/전남대/티섹/쓰리디 |
| 5차년도 | 1 | 2014.07.17~19 | AMDP 2014 국제학술대회 (부산) | 군산대 |
| | 2 | 2015.10.15.~17 | 한국콘크리트학회 2014 추계학술발표대회 | 군산대 |
| | 3 | 2015.10.24.~24 | 한국항해항만학회 2014 추계학술발표대회 | 군산대 |
| | 4 | 2015.10.23.~25 | 대한건축학회 2014 추계학술발표대회 | 군산대 |
| | 5 | 2014.11.07 | 한국건설순환자원학회 2014 가을학술발표대회 | 군산대 |
| | 6 | 2014.11.07 | 해수부 어촌어항과 10항10색 담당자 미팅회의 | 군산대 |
| | 7 | 2014.11.18 | 10항10색 기본계획 착수보고회 | 군산대 |
| | 8 | 2014.11.29 | 국가건축정책포럼 | 군산대 |
| | 9 | 2015.04.10 | 2015 APNHR 국제학술대회 | 군산대 |
| | 10 | 2015.04.24.~25 | 대한건축학회 춘계학술대회 | 군산대 |
| | 11 | 2015.05.13.~15 | 한국콘크리트학회 봄 학술대회 | 군산대 |
| | 12 | 2015.05.28.~29 | 한국수자원학회 2015 춘계학술발표대회 | 군산대 |
| | 13 | 2015.306.10~12 | 한국강구조학회 2015 춘계학술발표대회 | 군산대 |

## 6. 현장조사

| | | 지역명 | 날짜 | 현장조사명 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1차년도 | 1 | 싱가폴 | 2011.08.21~25 | 국외플로팅 구조물 현장조사 (이영욱, 황재승, 양인환) | 군산대/전남대 |
| | 2 | 네덜란드, 독일, 스웨덴 | 2011.08.2~13 | 국외플로팅 구조물 현장조사 (문창호, 송석기) | 군산대 |
| | 3 | 고군산군도 | 2011.09.29 | 고군산군도 플로팅 현장조사 | 군산대 |
| | 4 | 함평 | 2011.10.13 | 함평 마리나 공사현장 답사 | 군산대/한국해양대/전남대 |
| | 5 | 네덜란드 | 2011.10.17~22 | 국외 플로팅 구조물 현장조사 (이한석, 강영훈) | 한국해양대 |
| | 6 | 충주 | 2012.05.23 | 플로팅 건축 구조물 현장답사 | 군산대 |
| 3차년도 | 1 | 충북 제천시 | 2012.08.22 | 청풍호수 수상아트홀 현장답사 | 한국해양대 |
| | 2 | 미국, 캐나다 | 2012.08.12~22 | 국외플로팅 구조물 현장답사 (문창호, 송석기) | 군산대 |
| | 3 | 호주 | 2012.09.17~23 | 국외플로팅 구조물 현장답사 (이한석, 강영훈) | 한국해양대 |
| | 4 | 경기도 남한강 | 2012.11.29~12.01 | 남한강 일원 플로팅 건축 현장조사 | 한국해양대 |
| | 5 | 충주 | 2012.12 | 탄금호 중계로도 현장답사 | 씨포트 |
| | 6 | 미국 | 2012.12.16~01.07 | 국외플로팅 구조물 연구 및 현장답사 | 전남대 |
| 4차년도 | 1 | 미국 | 2013.08.12~21 | 국외플로팅 구조물 현장답사 (문창호, 송석기) | 군산대 |
| | 2 | 일본 | 2014.05.09~12 | 국외플로팅 구조물 현장답사 (이한석, 강영훈, 임덕민) | 한국해양대 |
| 5차년도 | 1 | 스페인 바르셀로나 | 2014.10.27~11.01 | 국외플로팅 구조물 현장조사 및 국제학술대회 논문발표 (문창호) | |
| | 2 | 인도 아메다바드 | 2014.12.14.~12.19 | 국외플로팅 구조물 현장조사 및 국제학술대회 논문발표 (문창호) | |
| | 3 | 경상북도 포항 | 2015.02.25 | 플로팅 공원 현장 답사 | |

## 7. 실험

| | | 날짜 | 실험명 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 3차년도 | 1 | 2013.02.18~20 | 플로팅 구조 모듈 실험 | 군산대 |
| | 2 | 2013.02.25~27 | 탑앤시트 반강접 전이보 2축 가력 실험 | 한국해양대 |
| | 3 | 2013.03.27~29 | 토털스테이션 및 DSLR 활용 변위 측정 실험 | 전남대 |
| | 4 | 2013.03.27~29 | 플로팅 구조 모듈 실험 | 군산대 |
| | 5 | 2013.04.03~5 | 플로팅 건축물 현장조사 | 해양대 |
| | 6 | 2013.04.15~16 | 플로팅 건축 방자현장조사 및 피난실험 | 군산대/한국해양대 |
| | 7 | 2013.04.17~19 | 플로팅 구조 모듈 실험 | 군산대 |
| 4차년도 | 1 | 2013.09.21~26 | 플로팅 콘크리트 보 휨 성능 실험 | 군산대 |
| | 2 | 2013.10.03~05 | 플로팅 콘크리트 압축 공시체 실험 | 군산대 |
| | 3 | 2013.09.27~10.08 | 플로팅 구조 모듈 및 3차원 수조 실험 | 군산대 |
| | 4 | 2013.10.06~09 | 플로팅 콘크리트 인장 공시체 및 쪼갬 실험 | 군산대 |
| | 5 | 2013.11.15~12.20 | 플로팅 구조물 일체형/반강접 함채 수조실험 | 군산대 |
| | 6 | 2014.03.07 | GPS/Total Station/고해상카메라를 이용한 부유체 운동 측정 실험 | 전남대 |
| | 7 | 2014.04.04~18 | 플로팅 구조 모델실험<br>- 스프링을 이용한 강성조절<br>- 상부구조물 고유주기를 통한 하부함체 응답확인 | 군산대 |
| 5차년도 | 1 | 2015.03.01.~03.31 | 아연코팅 철근 부착실험 | 군산대 |
| | 2 | 2015.03.01.~04.30 | 플로팅 모형 수조 실험 | 군산대 |
| | 3 | 2015.03.01.~04.30 | 플로팅 목업 실험 | 군산대/전남대/한국해양대 |

## 8. 기타사항

- 플로팅 건축 연구단 로고




- 플로팅건축 연구단 홈페이지 개설
  : http://architecture.kunsan.ac.kr/far/

○ 1세부과제

# 1. 콘크리트 함체 구조물의 구조설계기준

## 가. 최종 연구성과

(1) 플로팅 구조물의 함체와 상부구조물과의 상호작용해석기법 개발

- 항시 환경하중의 영향을 받는 플로팅 구조물의 함체와 상부구조물간의 상호작용해석 기법을 확인

(2) 콘크리트함체구조물의 구조설계기준개발

- 플로팅 구조물의 설계를 위한 전반적인 내용을 기술한 기준

## 나. 학술적성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2012.04. | 시공단계를 교수한 플로팅 폰툰의 상부구조물 해석기법 | 이영욱, 채지용 | 한국항해항만학회지 |
| 2012.04. | 플로팅 함체의 강성변화에 따른 철골모멘트연성골조의 응답 특성 | 이영욱, 박정아, 채지용, 최지훈 | 한국항해항만학회지 |
| 2013.02 | 파랑 입사각이 장방형 플로팅 함체와 상부 골조에 미치는 효과 | 이영욱, 김보람 | 한국항해항만학회지 |
| 2013.02 | 파력모델링에 따른 부유식 폰툰의 상부 골조 응답 비교 | 이영욱, 채지용 | 대한건축학회연합논문집 |
| 2013.06 | 신형식부방파제의 개발과 정온도에 관한 연구 | 신문섭, 이현진 | 한국해안-해양공학회논문집 |
| 2014.04 | 규칙파랑에 대한 돌핀 계류된 플로팅 빌딩의 모형실험 | 이영욱, 채지용 | 대한건축학회연합논문집 |
| 2014.04 | 풍하중이 플로팅 건물의 횡동요와 좌우동요에 미치는 영향 | 이영욱, 박태준 | 대한건축학회연합논문집 |
| 2014.10 | 새만금 매립토 확보에 따른 토사확산 예측과 Mitigation에 관한 연구 | 신문섭, 김진호, 유병로 | 한국환경기술학회지 |

다. 기술적 성과

| 출원/<br>등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/<br>등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.05 | 강성 조절이 가능한 계류 돌핀 | 이영욱, 채지용 | 10-1262619 | 등록 |
| 2013.10 | 부유식 함체 모듈 및 이를 이용한 시공방법 | 이영욱 | 10-2013-0120054 | 출원 |
| 2015.03 | 패널조립형 폰툰 및 그 제작 방법 | 이영욱, 채지용, 박태준 | 10-2015-0030532 | 출원 |
| 2015.03. | 일체형 건식 경량 바닥판 | 이우호, 이성수 | 10-2015-0037390 | 출원 |

## 2. 플로팅구조물의 확률론적 안전성평가 기술개발

가. 최종 연구성과

○ 플로팅건축 구조물의 확률론적 안전성평가를 위한 종합적인 신뢰성해석기술 개발

○ 연구성과물

- 플로팅구조물의 위험도평가 기술 및 수치해석 프로그램
- 확률변수의 통계특성치 결정 프로그램

나. 학술적성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2012 | Effect of Uncertainty in the Frequency Content and Strong Motion Duration on the Structural Seismic Risks | J. Huh, A. Haldar and S. Yim | International Journal of Ocean System Engineering |
| 2012 | A Novel Concept for the Reliability Evaluation of Large Systems | A. Haldar, R. Farag and J. Huh | Advances in Structural Engineering |

다. 기술적 성과

| 출원/<br>등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/<br>등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2012.06 | 확률변수의 확률분포/매개변수 결정 프로그램(HDIST) | 전남대학교 산학협력단 | 제 C-2012-01 1085호 | 등록 |
| 2014.05 | 구조물 위험도평가를 위한 복합신뢰성해석 프로그램(RSHRM) | 전남대학교 산학협력단 | 제 C-2014-01 1628호 | 등록 |

## 3. 플로팅 구조물 동요진동 저감

가. 최종 연구성과

(1) 플로팅 구조물의 동요진동저감 시스템 설계기술

○ 함체-파랑하중에 의하여 형성되는 플로팅 구조물의 해석모델을 진동계측만을 이용한 모드를 추정하는 ICA기법을 이용하여 도출하였으며, 이를 대상으로 최적의 제어효과를 가지는 능동형제어시스템의 설계 및 제어알고리듬을 정립하였음.

나. 학술적성과

(1) 논문게재

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2011.5 | 독립성분분석(ICA)법을 이용한 모드특성추정에 관한 연구 | 황재승 외 1인 | 대한 건축학회 논문집 구조계, v. 27, n05 |
| 2012.8 | 독립성분분석(ICA)법을 이용한 모드응답분리의 실험적 검증 | 황재승 외 1인 | 대한 건축학회 논문집 구조계, v. 28, n08 |
| 2014.2 | 가속도응답과 ICA법을 이용한 구조물의 모드특성 및 하중 동시추정기법 | 황재승 | 대한 건축학회 논문집구조계,v.30 n.02 |
| 2014.5 | 플로팅구조물의 진동모드 특성 및 동요진동제어 | 황재승 외 2인 | 한국풍공학회 학술발표대회 논문집, pp 91-96 |
| 2015.1 | 비고전 감쇠를 가지는 구조물의 가속도응답을 이용한 새로운 모드분리기법 | 황재승 | 대한 건축학회 논문집구조계,v.31 n.01 |

다. 기술 실시 및 적용사례(시험, 시제품, 기술실시, 현장적용 등)

○ 1/10 스케일의 함체와 진동제어 시스템을 설계, 제작하고 이를 대상으로 자유진동실험과 수조실험을 통하여 플로팅 구조물 동요진동 저감효과를 검증

## 4. 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발

가. 최종 연구성과

(1) 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발

○ 가속도 응답 데이터 분석을 통하여 대상 구조물의 동특성을 추출할 수 있는 기술 개발

○ 손상탐지기법을 통한 손상 확인, 손상부의 위치 및 손상도를 추정할 수 있는 기술 개발

○ 구조계 추정기법을 통한 대상 구조물의 유효물성치를 산정할 수 있는 기술 개발

○ 플로팅 건축물 건전성평가지침 개발

나. 학술적성과

(1) 논문게재

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2012.01. | Experimental Modal Test on a Scale Model of Floating Structure | 박수용, 송화철, 박동천 | Journal of Navigation and Port Research International Edition |
| 2012.03. | 정적 변형률을 이용한 플로팅 구조물의 손상탐지 | 박수용, 전용환 | 한국항해항만학회지 |
| 2012.09. | Finite Element Model Updating with Experimental Natural Frequency and Zero Frequency | 민천홍, 박수용, 박한일 | International Journal of Offshore and Polar Engineering |
| 2013.09. | 콘크리트 부유식 구조물 함체의 건전성 평가 | 박수용, 김민진, 서영교 | 한국항해항만학회지 |

다. 기술 실시 및 적용사례(시험, 시제품, 기술실시, 현장적용 등)

○ 3차례의 플로팅 구조물 현장실험을 통해 구조물의 동적 특성을 추출하였으며, 수치해석모델을 작성하여 모달 해석을 실시였음

○ 추출된 동적특성을 이용한 손상위치 검출 및 유효물성치 추정을 하였으며 각각의 결과치 분석을 통한 플로팅 구조물의 건전도 평가를 실시함

## 5. 영상기반 동적 거동 모니터링 기술

가. 최종 연구성과 개요

○ 최종 연구성과

– 플로팅 건축 구조물의 영상기반 거동 모니터링 기술 개발

○ 연구성과물

– 부유체 변위 원격측정 체계

나. 학술적성과

(1) 논문게재

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2013.04. | 동영상을 이용한 부유구조물 모형의 변위 관측 | 한동엽, 김현우, 김재민 | 한국측량학회지 |
| 2014.12. | 6DOF Simulation of a Floating Structure Model Using a Single Video | Trieu, Hang Thi, Han, Dongyeob | 한국측량학회지 |

다. 기술적 성과

| 출원/ 등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/ 등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2015.01 | 동영상을 이용한 부유 구조물의 변위 측정 시스템 및 방법 | 한동엽 | 10-1480955-0000 | 등록 |

## 6. 플로팅 상부 구조물 접합부 해석 및 설계기술

### 가. 최종 연구성과

(1) 플로팅 상부구조물 접합부 해석 및 설계 기술

- ○ 플로팅 구조물의 상부구조시스템 모듈화 기술 개발
- ○ 플로팅구조물의 상 · 하부 접합부 상세해석 기술 개발
- ○ 상부구조 안전성평가지침 개발

### 나. 학술적성과

(1) 논문게재

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2012 | 3차원 플로팅 구조물의 반강접 접합부 해석 | 박종서,송화철 | 한국항해항만학회 |
| 2013 | 플로팅 구조물의 반강접 접합부 신뢰성해석 | 한민배,송화철 | 대한건축학회연합논문집 |
| 2014 | 광섬유센서를 이용한 플로팅 구조물의 모니터링에 관한 연구 | 정근후,송화철 | 대한건축학회 지회연합회 |

### 다. 기술적성과

- ○ 특허출원/등록, 소프트웨어 등

| 출원/<br>등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/<br>등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2014.12 | 전이보가 보강된 플로팅 상부구조물과 콘크리트 함체 간 접합구조 및 접합방법 | 송화철 박수용<br>박종서 한민배<br>김세철 | 10-1470587 | 등록 |

## 7. 모듈러 함체 프리패브 설계 기술

### 가. 최종 연구성과

(1) 플로팅 건축 구조물의 토대를 형성하는 모듈러 함체 구조의 설계기술 개발

- ○ 콘크리트 함체 모듈 접합부 구조시스템 설계 기술

○ 콘크리트 함체 모듈 접합부 구조시스템 설계지침 제시

나. 학술적성과

(1) 논문게재

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2012.04 | 프리캐스트 콘크리트 부유식 구조물의 모듈 접합부 강도 | 양인환, 김경철 | 한국항해항만학회 |
| 2013.04 | 전단을 받는 부유식 콘크리트 구조물 접합부의 강도 평가 | 양인환, 김경철 | 한국항해항만학회 |
| 2014.06 | 아연코팅 철근콘크리트 보의 휨 거동 실험 연구 | 양인환, 김경철 | 한국콘크리트학회 |

다. 기술적성과

○ 특허출원/등록, 소프트웨어 등

| 출원/등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.07 | 콘크리트 플로팅 구조물 및 그 시공방법 | 양인환 | 10-1283121 | 등록 |

## 8. 함체용 친환경 콘크리트 적용기술

가. 최종 연구성과(개별 연구성과)

(1) 국내논문 4건

○ 무시멘트 결합재 28일 강도모델 제시, 무시멘트 콘크리트 내구특성 평가, 함체 적용을 위한 자기충전 콘크리트의 기초 연구에 관한 국내학술논문 4건 게재

(2) 특허 출원 1건 등록 2건

○ 알칼리 활성 결합재, 모르타르, 콘크리트 및 친환경 고유동 콘크리트 신기술에 대한 국내 · 외 특허 출원/등록

나. 학술적성과

(1) 논문게재

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2012.04 | 혼합된 나트륨계열 활성화제에 의한 고로슬래그 기반 모르타르의 강도발현 특성 | 김건우, 송진규, 김병조, 양근혁 | 한국콘크리트학회 논문집 |
| 2012.06 | 알칼리 활성 고로슬래그 모르타르의 탄산화 특성 | 송금일, 송진규, 양근혁, 이방연 | 한국콘크리트학회 논문집 |
| 2012.10 | 염기도가 알칼리 활성고로슬래그 모르타르의 탄산화에 미치는 영향 | 송금일, 송진규, 이방연, 홍건호, 공민호 | 한국콘크리트학회 논문집 |
| 2013.12 | 알칼리 활성 슬래그 결합재를 이용한 자기충전 콘크리트의 기초연구 | 송금일, 송진규, 신경식, 공민호 | 한국콘크리트학회 논문집 |

다. 기술적성과

| 출원/ 등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/ 등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.03.13 | 고유동 콘크리트용 무시멘트 결합재 및 상기 결합재를 포함하는 친환경 고유동 콘크리트 | 송진규, 양근혁, 송금일 | 10-2013-0026583 | 출원 |
| 2013.12.31 | ALKALI - ACTIVATED BINDER, ALKALI - ACTIVATED MORTAR, CONCRETE PRODUCTS AND WET RED CLAY PAVING MATERIAL USING BINDER | 송진규, 양근혁 | US 8.617.307 B2 | 등록 |
| 2014.05.23 | ALKALI - ACTIVATED BINDER, ALKALI - ACTIVATED MORTAR, CONCRETE PRODUCTS AND WET RED CLAY PAVING MATERIAL USING BINDER | 송진규, 양근혁 | 5544628 | 등록 |
| 2014.10.01 | 고유동 콘크리트용 무시멘트 결합재 및 상기 결합재를 포함하는 친환경 고유동 콘크리트 | 송진규, 양근혁, 송금일 | 10-1448837 | 등록 |

## 9. 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발

가. 최종 연구성과(개별 연구성과)

(1) 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축

○ 콘크리트 내부 수분분포 상태를 예측가능하게 되어 염소이온 및 이산화탄소 확산예측 및 반응 추측에 기여

(2) 그린 콘크리트 배합설계 프로그램 개발 및 함체 구조재료의 열화저항성/열화환경 DB구축

○ 과학적 분석기법을 이용한 해양환경 부하 평가 기법 개발

(3) 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가

나. 학술적성과

(1) 논문게재

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2014.10 | 염해환경에서 외부전원법에 의한 지오폴리머 시험체 보강철근의 방식특성 평가 | 이해승, 조규환, 박동천 | 한국건축시공학회 |
| 2014.6 | 폴리머 시멘트 모르타르의 철근 부착력 평가를 위한 인발시험과 모델링 | 박동천, 노부토시 요네다,. 조봉석 | 한국건축시공학회지 |
| 2013.2 | 해수 및 해사 사용 시 철미분말 혼입에 의한 콘크리트 치밀성 향상에 관한 연구 | 박동천, 박근석, 조규환, 안재철 | 대한건축학회지회연합회 |
| 2011.8 | 콘크리트 흡수 수분확산계수 산정을 위한 실험 및 수치해석 모델개발 | 박동천, 안재철 | 국건축시공학회 |
| 2011.12 | 후풍의 영향을 배제한 다방향 비래염분 포집기 개발과 비래염분 포집에 관한 연구 | 박동천, 안재철, 김우재 | 한국건축시공학회 |

라. 기술적성과

| 출원/등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2011 | 다방향 비래염분 포집기 | 박동천 | 10-2011-0085386 | 등록 |

○ 2세부과제

# 1. 상부시설 공간 계획 기술

## 가. 최종 연구성과

○ 정주형 플로팅 건축물 배치 및 건축 계획 지침(2011.06.23.) : 플로팅 건축물의 배치 및 건축 계획 기술 정립에 기여, 향후 플로팅 건축물 기획 단계에서 요구되는 신속한 의사결정 지원, 플로팅 건축물의 확산 및 설계 기술 보편화 기여

○ 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 건축 시스템 적용 지침(2012.06.23.) : 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 시스템 계획 기술 적용, 향후 플로팅 건축물 기획 단계에서 요구되는 신속한 의사결정 지원, 플로팅 건축물의 확산 및 설계 기술 보편화 기여

○ 부유식 건축물 상부시설 계획 지침(2013.06.23.) : 플로팅 건축물 상부시설에서 요구되는 각 분야별 계획 지침 제공, 향후 플로팅 건축물 기획 단계에서 요구되는 신속한 의사결정 지원, 플로팅 건축물의 확산 및 설계 기술 보편화 기여

○ 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 개정(2014.06.23.) : 플로팅 건축물 상부시설에서 요구되는 각 분야별 계획 지침에 대한 보완, 각 분야별로 새롭게 요구될 수 있는 지침 내용에 대한 검토 및 반영

○ 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 해설서(2015.06.23.) : 플로팅 건축물의 광범위한 확산과 상부시설 계획기술의 상용화를 위하여 플로팅 건축물 상부시설 계획 지침에 대한 해설서를 작성

### (1) 부유식 건축물 상부시설 계획 지침

○ 부유식 건축물 상부시설 계획 지침의 구성 체계는 다음과 같음

<표 3.1.1> 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 구성 체계

| 계획 분야 | 분야별 구성 체계 | 세부 내용 구성 |
|---|---|---|
| 01.00<br>일반사항 | 01.10 목적 | |
| | 01.20 용어 정의 | |
| | 01.30 구성 체계 | |
| 02.00<br>관련 기준 | 02.10 구조설계기준 | |
| | 02.20 방재 및 피난 기준 | |
| | 02.30 참조 기준 | |
| 03.00<br>배치 계획 | 03.10 입지 및 위치 | 03.11 자연 환경 조건<br>03.12 사회 환경 조건<br>03.13 관련 법규 및 개발 계획 |
| | 03.20 조망 및 경관 | 03.21 조망 계획<br>03.22 경관 계획<br>03.23 사생활 보호 |
| | 03.30 단지 계획 | 03.31 주차, 조경 및 공용 공간<br>03.32 단위 건축물 배치 및 동선<br>03.33 지원 및 공동 시설 |
| 04.00<br>건축 계획 | 04.10 형태, 규모 및 용도 | 04.11 안정성<br>04.12 상부시설 규모<br>04.13 용도 및 공간 구성 |
| | 04.20 구조 및 재료 | 04.21 상부구조의 경량화<br>04.22 재료의 요구 성능<br>04.23 폰툰의 구조 및 재료 |
| | 04.30 친환경 계획 | 04.31 수질 관리<br>04.32 신재생에너지 활용<br>04.33 유지 관리 |
| | 04.40 거주 후 평가 | 04.41 거주 후 평가 요소의 구성<br>04.42 거주 후 평가 주요 요소<br>04.43 평가 결과의 반영 |
| 05.00<br>시스템 계획 | 05.10 모듈 정합 설계 | 05.11 계획 모듈<br>05.12 기준면 설정<br>05.13 모듈과 모듈러 규모 |
| | 05.20 모듈러 시스템 계획 | 05.21 공업화 건축 시스템<br>05.22 모듈러 시스템 적용 조건<br>05.23 재료 및 구법<br>05.24 모듈러 시스템 시공 계획 |
| | 05.30 상하부 시스템 연계 | 05.31 함체의 종류 및 거주성<br>05.32 상하부 구조 연계<br>05.33 설비 시스템 계획 |

(2) 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 해설서

○ 부유식 건축물 상부시설 계획 지침을 구성하고 있는 세부 지침을 항목별로 해설하여 플로팅 건축물 상부시설 공간 계획 기술을 대중화하고 확산 및 보급하기 위한 목적으로 제작됨

○ 국내외 사례를 포함한 광범위한 연구 결과를 포괄하여 해설서에 수록함으로써 플로팅 건축물에 대한 입문서와 같은 역할을 수행할 수 있도록 함

나. 학술적 성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2011.08 | 플로팅 호텔의 건축계획에 대한 사례 연구 | 문창호 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2012.03 | A Study on the Sustainable Features of Realized and Planned Floating Buildings | 문창호 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2012.04 | 플로팅 건축 상부시설의 계획 지침에 관한 연구 | 고민철, 송석기 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2012.12 | 플로팅 건축 상부시설에서 모듈러 시스템 적용 유럽 사례 연구 | 송석기 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2013.04 | 미주지역 플로팅주거단지의 건축적 특징 | 문창호 | 대한건축학회 연합논문집 |
| 2013.06 | A Study on the Floating Building as a New Paradigm of Architecture | 문창호 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2013.10 | 플로팅 주거건축의 주요 건축계획 항목에 관한 연구 | 송석기 | 한국산학기술협회 논문집 |
| 2014.08 | 플로팅건축에서 지속가능 요소 및 적용 방안에 대한 연구 | 문창호 | 대한건축학회 연합논문집 |

다. 기술적 성과

| 출원/등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2014.05 | 플로팅 낚시터 | 문창호, 이종화 | 30-2014-0024955 | 디자인출원 |
| 2015.02 | 낚시용 부교 | 문창호, 이종화 | 30-0786483 | 디자인등록 |

## 2. 법제도 연구

### 가. 최종 연구성과

#### (1) 플로팅 건축물 조성 최적지 선정을 위한 입지평가기준

<표 3.1.2> 플로팅 건축물 입지평가요인

| 평가 항목 | | 평가 요인 | 평가 내용 |
|---|---|---|---|
| 자연 조건 | | 지형/ 지질 | - 플로팅 건축물 설치를 위해 해저 지형이 평탄할 것<br>- 토사의 퇴적, 침식 등이 일어나지 않을 것 |
| | | 환경 | - 소음, 대기오염 등이 없고 수질이 깨끗할 것 |
| | | 기상 | - 쾌청일수, 바람, 안개, 강수량 등 기상조건이 좋을 것 |
| | | 경관 | - 주변 경관이 수려할 것<br>- 주변 조망에 지장이 없을 것 |
| | | 수역 | - 수심이 확보될 것<br>- 조위차가 적을 것<br>- 파고는 적정하게 유지될 것<br>- 수역의 크기가 충분할 것 |
| 사회조건 | 이용적합성 | 집객성 | - 해양관광문화 활동 집객력이 충분한 곳 |
| | | 친수성 | - 다양한 친수공간이 위치한 곳 |
| | | 접근성 | - 대상지 및 수역으로 접근이 용이한 곳 |
| | | 편리성 | - 정주생활을 위한 인프라시설이 갖추어진 곳 |
| | | 이미지 | - 해양관광문화 관련 인지도와 선호도가 높은 곳 |
| | 설치적합성 | 법규제 | - 대상지 수역이용에 대한 규제가 없는 곳<br>- 대상지 개발제한이나 경관규제가 없는 곳 |
| | | 기반여건 | - 지자체의 적극적인 의지가 있는 곳<br>- 기존 어업권 등과 마찰이 없는 곳 |
| | | 부지 가용성 | - 해양관광문화 복합시설 조성이 가능한 곳<br>- 대상지 토지 취득 및 보상이 용이한 곳<br>- 충분한 크기 개발공간을 확보할 수 있는 곳 |
| | | 필요성 | - 지역발전을 위해 설치 필요성이 높은 곳 |
| 관광 문화 조건 | | 다양성 | - 인근에 다양한 해양관광문화자원이 있는 곳 |
| | | 효율성 | - 플로팅 건축물로 시너지효과를 얻을 수 있는 곳 |
| | | 보편성 | - 플로팅 건축물로 기본 관광문화여건을 충족시킬 수 있는 곳 |
| | | 차별성 | - 플로팅 건축물로 지속적 차별성 유지가 가능한 곳 |
| 경제성 | | 건설비용 | - 초기 건설비용 관련 경제성 |
| | | 운영비용 | - 생애주기동안 관리운영비용 관련 경제성 |

#### (2) 법제도 개선안

○ 플로팅 건축물을 건축물로서 적절하게 취급하기 위해서 「건축법」 및 관련 법체계 개선을 위한 개선(안)을 제시

○ 「건축법」 및 동법 시행령 등 관련 법률 36개 조항 개선

<표 3.1.3> 플로팅 건축물 법제도 개선(안)의 구성

| 구분 | 건축법 일부개정(안) | 건축법 시행령 임부개정(안) | 건축조례 일부개정(안) |
|---|---|---|---|
| 제안명 | · 건축물의 정의에 플로팅 건축물 추가<br>· 수상대지의 개념을 도입<br>· 특별건축구역 내 적용 대상물 추가<br>· 특별건축구역의 지정 | · 수상대지의 개념 도입<br>· 기존 부유식 건축물에 대한 특례 추가<br>· 건축사에 의한 설계<br>· 건축사 및 선박관련 기술자를 공사감리 주체로 선정 | · 건축심의위원의 구성에 선박 관련 기술자 참여<br>· 건축심의 대상에 플로팅 건축물 추가<br>· 기술소위원회의 심의에 하부 부체 대한 기술심의 추가<br>· 수상대지 개념 도입 |
| 주요내용 | · 건축물의 정의에 수역에 설치되는 플로팅 건축물을 추가하고 관련 규정 개선<br>· 수상대지의 개념을 도입하여 일반 건축물의 대지와 동일하게 취급하도록 하고 관련 조항에 따라 완화규정 적용<br>· 플로팅 건축물을 특별건축구역의 건축물로 추가<br>· 플로팅 건축물을 건축하기 위한 사업구역(수역+육역)을 특별건축구역으로 지정 | · 대지의 범위에 수면 위에 건축하는 건축물의 대지를 추가하고 관련 조항에 따라 완화규정 적용<br>· 기존 건축물 등에 관한 특례 조항에 수면 위에 건축물 가운데 부유식 건축물 추가<br>· 건축사가 「엔지니어링산업 진흥법」에서 정한 선박 부문 엔지니어링사업자의 참여하에 설계할 수 있도록 규정<br>· 건축사와 「선박안전법」에서 정한 선박부분 전문기관에서 공사감리를 수행할 수 있도록 규정 | · 지방건축위원회 위원에 플로팅 건축물 하부부체에 관련된 선박관련 전문가를 추가<br>· 건축심의 대상에 수면 위에 건축하는 건축물 중 부유식 건축물 추가<br>· 하부부체에 대하여 선박안전 공단 또는 선급의 전문가가 심의한 후 그 결과를 건축위원회에 제출<br>· 대지의 정의에 수상대지를 추가하고 관련 완화규정을 적용 |

(3) 새로운 법제도

○ 플로팅 건축물을 법적으로 제대로 관리하기 위하여 「건축법」에 위임근거를 마련하고 지자체에서 ‘건축조례’와는 별도 플로팅 건축물 관련 조례를 새롭게 제정

○ 부유식 건축물에 관한 조례(안)의 구성은 다음과 같음

<표 3.1.4> 플로팅 건축물을 위한 새로운 법제도 구성

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 새로운 법안 | ·「건축법」의 위임으로 새로운 조례 제정 :<br>「부유식 건축물에 관한 조례(안)」 |
| 조례의 대상 | · 수역 : 해양시설물과 내수면시설물<br>· 구조 : 부유식 구조물<br>· 소유 : 국유시설물, 민간소유시설물<br>· 위치 : 내수면과 해수면의 공유수면<br>· 용도 : 건축물 및 이에 부속된 시설물<br>· 상태 : 이미 설치된 건축물, 설치할 건축물 |
| 조례의 구성 | · 제1장 총 칙<br>· 제2장 부유식 건축물의 설치<br>· 제3장 부유식 건축물의 대지<br>· 제4장 부유식 건축물의 유지·관리<br>· 제5장 보 칙 |
| 재산권 공시 | · 건축물로서 부동산 등기 |
| 인허가 사항 | ·「건축법」에 따른 인허가 |
| 안전기준 | · 국토해양부령으로 「부유식 건축물 기술기준」 마련 |

○ 부유식 건축물에 관한 조례(안)과 관련하여 건축물 및 이용자의 안전성 확보를 위하여 플로팅 건축물의 특성을 고려한 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준을 제시

○ 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)의 구성은 다음과 같음

<표 3.1.5> 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안) 구성

| 제1편 총칙 | 제2편 피난 | 제3편 방재 |
|---|---|---|
| 제1조(목적)<br>제2조(정의)<br>제3조(적용범위)<br>제4조(적용의 특례) | 제5조(대지 안의 피난통로 설치)<br>제6조(내부 피난통로의 설치)<br>제7조(직통계단의 설치)<br>제8조(피난계단의 설치)<br>제9조(옥외 피난계단의 설치)<br>제10조(승정데크의 설치)<br>제11조(구명설비의 비치)<br>제12조(관람석 등으로부터의 출구 설치)<br>제13조(상부건축물 바깥쪽으로의 출구 설치)<br>제14조(계단 및 복도의 설치)<br>제15조(거실반자의 설치)<br>제16조(채광 및 환기를 위한 창문 등)<br>제17조(안내판의 설치)<br>제18조(피난모의실험 결과의 반영)<br>제19조(피난계획서의 제출) | 제20조(재해방지계획의 제출)<br>제21조(내화구조)<br>제22조(방화구조)<br>제23조(난연재료)<br>제24조(불연재료)<br>제25조(준불연재료)<br>제26조(방화구획의 설치)<br>제27조(방화문의 구조)<br>제28조(소방시설의 설치)<br>제29조(침수방지)<br>제30조(수밀격벽의 구조)<br>제31조(충돌방지)<br>제32조(안정성의 확보)<br>제33조(하부함체의 구조)<br>제34조(하부함체의 설비)<br>제35조(계류시설의 설치)<br>제36조(해양오염방지) |

○ 부유식 건축물 관련 법제도 및 정책 제안으로 군산시 고시 제2015-82호 「수면위에 건축하는 건축물 적용의 완화운영 기준」이 고시되었으며, 2015년 7월 9일 국토교통부에서 발표한 ‘건축투자활성화 대책’에 부유식 건축물 제도화 반영 됨

나. 학술적 성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2012.02 | 해양레저용 플로팅 건축물 입지선정에 관한 연구 | 이한석, 조형장, 강영훈 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2012.08 | 플로팅 건축물 관련 국내외 법제도 사례 연구 | 이한석, 이명권, 강영훈 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2014.06 | 플로팅 건축물의 방재계획에 관한 연구 | 강영훈, 이한석 | 대한건축학회 연합논문집 |
| 2014.05 | 국내 여객선 승객의 선박안전 으식조사 | 황광일, 구재혁 | 한국마린엔지니어링학회 |
| 2014.02 | (저서)해양건축계획 | 이한석, 강영훈 | 문운당 |

다. 기술적 성과

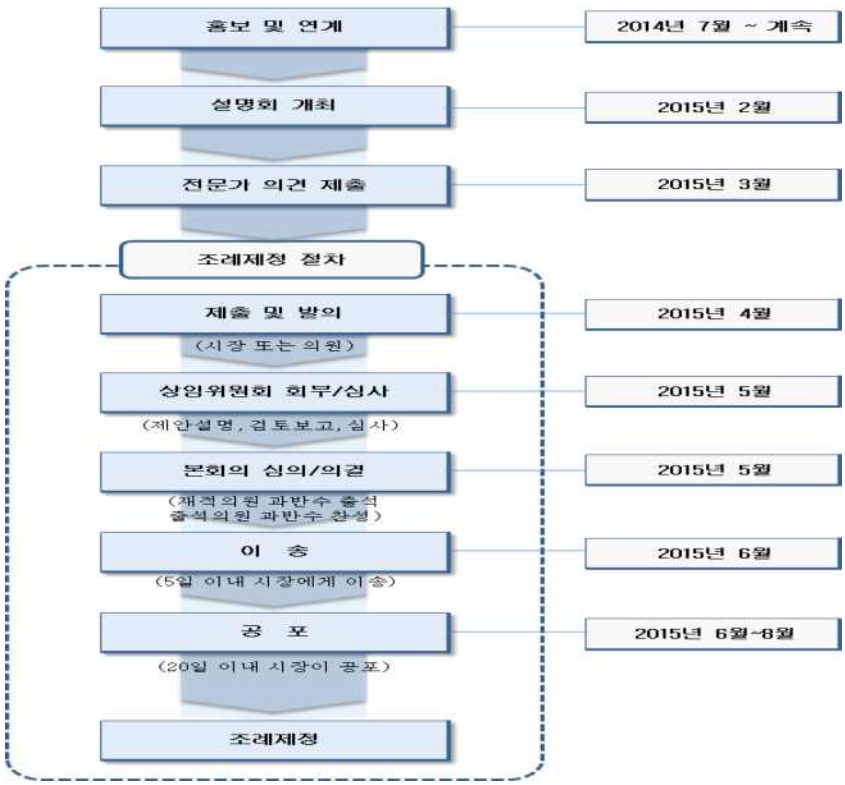
| 기술실시명 | 기술실시내용 | 이전기관 | 보유기관 | 지급일 | 계약금액<br>(지급방식) |
|---|---|---|---|---|---|
| 기술이전<br>(노하우) | 플로팅 건축물 최적지 평가 및 선정을 위한 기술지도 | 한국해양대학교 산학협력단 | 건축사사무소 메종 | 2014.06 | 500,000<br>(현금) |
| 기술이전<br>(노하우) | 부유식 구조물 거주 안전성 확보를 위한 기술지도 | 한국해양대학교 산학협력단 | ㈜상지이엔이 건축사사무소 | 2015.06 | 900,000<br>(현금) |
| 기술이전<br>(노하우) | 도시 정온수역을 활용한 부유식 주택단지 계획 관련 법제도 검토 | 한국해양대학교 산학협력단 | ㈜상지이엔이 건축사사무소 | 2015.06 | 900,000<br>(현금) |

라. 적용실적

○ 2013년 2월 「부유식 건축물 조례」 군산시 제안

○ 2013년 9월 「부유식 건축물 조례」 관련 전문가, 공무원, 시민 대상 공청회 개최

○ 관련기관 협의, 홍보 등 조례 제정을 위한 실용화 작업 진행 중

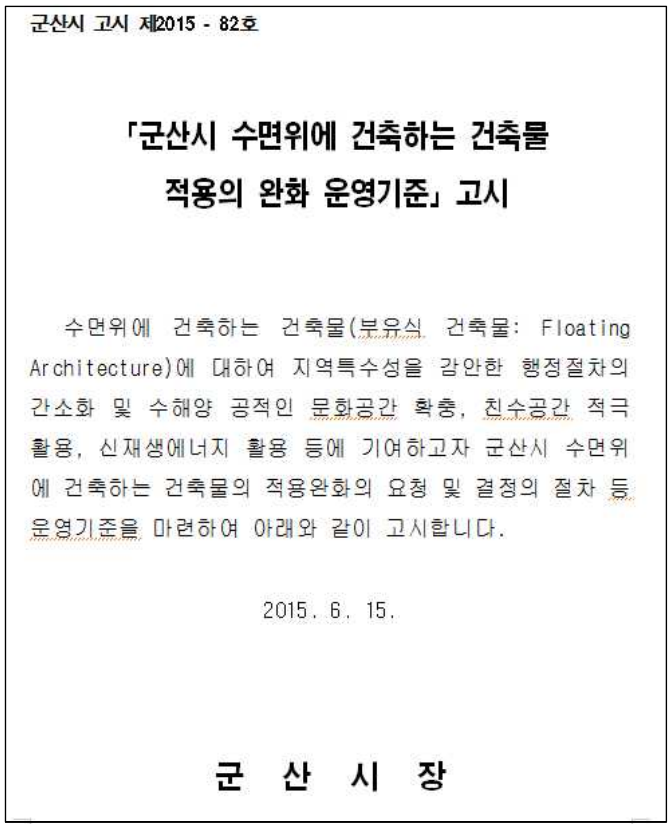



[그림 3.1.1]「부유식 건축물 조례」 제정 추진 계획

○ 관련기관 협의, 홍보 등 조례 제정을 위한 실용화 작업 진행 중

○ 「수면위에 건축하는 건축물 적용의 완화운영 기준」군산시 고시 제2015-82호로 고시됨

○ 2015년 7월 9일 국토교통부에서 발표한 ‘건축투자활성화 대책’에 부유식 건축물 제도화 반영 됨



군산시 고시 제2015 - 82호

**「군산시 수면위에 건축하는 건축물 적용의 완화 운영기준」 고시**

수면위에 건축하는 건축물(부유식 건축물: Floating Architecture)에 대하여 지역특수성을 감안한 행정절차의 간소화 및 수해양 공적인 문화공간 확충, 친수공간 적극 활용, 신재생에너지 활용 등에 기여하고자 군산시 수면위에 건축하는 건축물의 적용완화의 요청 및 결정의 절차 등 운영기준을 마련하여 아래와 같이 고시합니다.

2015. 6. 15.

**군 산 시 장**

[그림 3-1-2] 산시 고시 제2015-82호



프린트

SNS공유 페이스북 트위터

제목 노후건축물 정비 촉진 등 건축투자 활성화 대책 발표

- 제8차 무역투자진흥회의 "건축투자활성화 대책" 발표

부서: 건축정책과 등록일: 2015-07-09 10:00 조회: 904

1. 결합건축제도 도입, 건축협정 활성화 등 소규모 정비방식 다양화
2. 용적률 완화, 지방세 감면 등 방치건축물 사업 재개 지원
3. 민간투자를 활용한 공공건축물 리뉴얼 활성화
4. 노후건축물 등 안전진단 강화 및 건축관련 안전산업 육성
5. 부유식 건축물 제도화, 복수용도 허용 등 건축관련 법·제도 정비

[그림 3-1-3] ‘건축투자활성화대책’ 중 부유식 건축물 제도화 부분

## 3. 쾌적환경 설계 기술

### 가. 최종 연구성과

○ 플로팅 건축물은 육상의 건축물과 선박의 중간적인 성격을 갖고 있어 실내 및 외기조건, 상당외기온도 및 인접실 온도, 환기량 등 육상의 건축물과 선박의 냉난방 부하산정 요소를 조사 분석하여 플로팅 건축물의 부하계산 기법을 개발

○ 플로팅건축물의 부유특성, 유동특성을 고려하여 함체 해수부에 작동유체를 매개체로 한 해수열교환방식의 이용시스템을 제안

○ 이 시스템은 봄, 가을의 중간기에는 단순 열교환에 의한 냉난방부하저감 방식으로 운전하고 여름, 겨울에는 해수열을 열원으로 하는 히트펌프를 활용하여 냉방 혹은 난방을 수행하는 방식임

○ 이 연구의 성과를 요약하면 다음과 같음

- 해수열교환기의 성능에 대한 CFD 해석결과와 실험결과가 매우 유사함에 따라 설계예측기술을 확보한 것으로 판단
- 실험용 모델을 제작하고 해상 실험을 수행한 결과, 해수열교환기로의 유입수온도가 50~35℃일 때 해수온도에 근접한 18~19℃로 유출됨에 따라 해수열교환기의 성능은 매우 우수한 것으로 평가됨
- 열교환 성능은 해수열교환기로의 유입되는 작동유체의 관내 유속에 비례하고, 유입온도와 유량에 가장 큰 영향을 받음
- 열교환 성능은 해수온도에 영향을 많이 받고 상대적으로 외기온도에 영향이 미비함

○ 쾌적성과 부하에 영향을 미치는 개구부의 적정크기와 재료의 환경성능 검토를 바탕으로 개구부 설계 알고리즘을 도출함으로써 플로팅건축물의 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼을 개발함

나. 학술적 성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2011.06 | 플로팅 해상호텔의 부하계산에 관한 연구 | 도근영, 송화철, 원종민, 김구상, 김주연 | 한국항해항만학회 논문집 |
| 2014.06 | 해안지역 건축물의 창면적비에 의한 개방감 변화에 관한 연구 | 김익현, 강영훈, 화나현, 도근영 | 대한건축학회 연합논문집 |
| 2015.03 | Performance Evaluation of Sea water heat exchanger installed in concrete structure of pontoon | 황광일 | Modern Physics Letters B |
| 2015.04 | 해양건축물에 작용하는 해수면 반사일사량에 관한 연구 | 화나현, 김익현, 도근영 | 대한건축학회 연합논문집 |

다. 기술적 성과

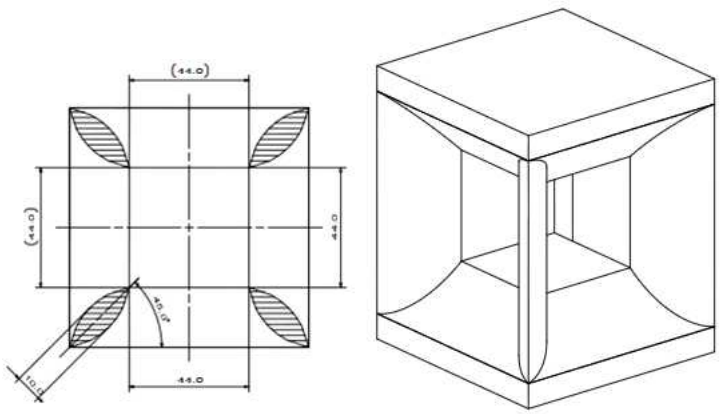
| 출원/ 등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/ 등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.05 | 열교환 구조를 가진 부유체 | 황광일 | 10-2013 -0055613 | 출원 |

## 4. 신재생에너지 적용 기술(2-4 최종연구결과, 세세부별 최종연구성과)

가. 최종 연구성과 개요

(1) 윈드 가드

○ 풍력터빈의 출력을 향상시킬 수 있는 윈드 가이드 개발 및 설계




[그림 3.1.2]윈드 가드 설계

(2) 플로팅 건축물 풍력시스템설계 지침

○ 풍향 변동에 상대적으로 취약한 건물일체형 풍력발전기의 성능을 개선하고, 플로팅 건축물이 입지하는 해안에서 풍력발전의 효율을 지속적으로 높일 수 있는 풍력시스템 설계를 위한 지침

나. 학술적 성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2013.04 | 일사 및 일조 분석을 위한 일영면적 계산 알고리즘의 개발과 적용 | 김용이 | 대한건축학회 연합논문집 |
| 2013.06 | 물일체형 풍력시스템을 위한 전방향 윈드가이드의 유동 특성 | 김용이 | 대한건축학회 연합논문집 |
| 2014.06 | 전방향 윈드가이드의 형상에 따른 유동 특성 비교 | 김용이 | 대한건축학회 연합논문집 |

다. 기술적 성과

| 출원/등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.05 | 다방향 바람가이드 및 이를 구비하는 건물 풍력발전기 | 김용이 | 10-2012-0055957 | 출원 |
| 2013.05 | 세이드젠(소프트웨어) | 김용이 | C-2013-010597-2 | 소프트웨어 등록 |
| 2014.05 | 윈드파워젠(소프트웨어) | 김용이 | C-2014-012069 | 소프트웨어 등록 |
| 2015.07 | 씨피엠젠(소프트웨어) | 김용이 | c-2015-016009 | 소프트웨어 등록 |

라. 연구성과 적용

○ Mock-Up 실험에 실물 크기의 윈드 가드를 이용한 풍력시스템 설계 및 설치



[그림 3.1.3]실물 크기 윈드 가드 설계 및 제작

## 5. 공간디자인마케팅

가. 최종 연구성과

○ 플로팅건축의 공간디자인마케팅 전략 개발

○ 학술논문과 발표 등 플로팅건축에 대한 학문적 성과

○ 플로팅 마리나클럽을 예로 한 스페이스프로그램과 설계안 개발

○ 현실적 여건을 반영한 공간 수요조사 및 분석

나. 학술적 성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2011.06 | 플로팅건축의 유형 및 디자인 특성에 관한 연구 | 박성신 | 한국항해항만학회지 |
| 2012.04 | 레저용 플로팅건축물 설계를 위한 국내 마리나클럽 현황 및 공간구성에 관한 연구 | 박성신 | 한국항해항만학회지 |
| 2012.09 | A Study on Space Program of Korean Floating Marina Clubhouse | 박성신 | 한국항해항만학회지 |

다. 기술적 성과

| 출원/<br>등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/<br>등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2012.12 | 부유식 마리나클럽 설계방법 및 그 프로그램이 저장된 기록매체 | 박성신 | 10-2012<br>-0145171 | 출원 |
| 2013.07 | 부유식 마리나클럽 설계방법 및 그 프로그램이 저장된 기록매체 | 박성신 | 10-1293417 | 등록 |

## 6. 플로팅 건축 BIM 설계 기술 개발

가. 최종 연구성과 개요

- ○ BIM 및 플로팅건축물의 국내외 관련 사례 조사 및 분석을 통하여 플로팅 건축의 BIM 적용 방안 개발을 위한 플로팅 건축 프로세스 작성
- ○ 새만금 개발청사, 에코텔타시티 홍보관, Mock-up 테스트 함체 설계를 통하여 플로팅 건축물의 BIM설계 작성에 활용 가능한 DB 구축
- ○ 플로팅건축 설계시 기능적 요구사항 분석, 설계 단계별 정보교환체계 구축, 플로팅설계 프로세스 수립을 토대로 단계별 BIM데이터 작성기준을 수립하여 BIM을 기반으로 플로팅건축 설계를 진행함에 있어서 최소의 요건을 정의한 BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성
- ○ 플로팅건축물의 건설사업관리 방안 분석을 통하여 플로팅 건축물의 경제성 검토를 위한 LCC분석 세부 검토항목 산정

나. 학술적 성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2014.06 | 플로팅건축물의 BIM 적용 가능성에 관한 연구 | 정원조, 홍순연,<br>전기형, 신지원 | 대한건축학회연합논문집 |

다. 기술적 성과

| 출원/<br>등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/<br>등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.04 | 플로팅 수영장 | 상지엔지니어링<br>건축사사무소 | 30-2013<br>-0017851 | 디자인출원 |
| 2014.04 | 조립식 수영장 | 상지엔지니어링<br>건축사사무소 | 30-073958 | 디자인등록 |
| 2014.04 | 다목적 난간 | 상지엔지니어링<br>건축사사무소 | 30-2014<br>-0019761 | 디자인출원 |

## 7. 플로팅건축공사 시공기술

가. 최종 연구성과

(1) 플로팅건축공사 표준안전작업절차서

○ 하나의 단위작업에서 인적, 물적, 작업방법, 기계・장비, 환경・위치 위험요인으로 분류하여 교육적, 관리적, 기술적 개선대책을 도출하여 위험성 평가를 함

○ 위험성 평가의 개선대책 내용을 안전작업절차서의 준비작업, 본작업, 마무리작업에 적용하고 플로팅 건축공사의 특수성을 고려하여 통합된 표준안전작업절차서를 작성

(2) 정수역 함체 진수공법

○ 관광용 정수역에서 지속적으로 함체 진수가 이루어지지 않으며 해역과 다른 제약 때문에 조선 진수공법이 아닌 설치, 해체가 가능하도록 강관을 끼울 수 있는 베어링이 설치된 버팀대에 유압식 작키를 이용하여 함체의 고정 및 진수 준비를 하고 함체의 진수 준비(윈치 연결 및 함체 접합)가 마무리되면 작키의 유압을 제거하여 함체를 강관 위에 배치하는 진수공법을 개발

(3) 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전 메뉴얼

○ 플로팅 건축공사에 관한 시공 기술이 완전히 정립되지 않았기에 그에 따른 위험요인에 대한 대책 및 그에 대한 프로세스가 정립되지 않았기에 플로팅 건축공사 시 발생할 수 있는 위험 및 체계적인 체계를 잡기위해 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전 메뉴얼을 정립함과 동시에 플로팅 건축공사 시 각 현장에 맞게 관련 표준 및 절차서를 수립할 수 있도록 공사 별 필요한 표준 및 절차서에 대해서 정립하였음

나. 학술적 성과

| 게재일 | 논문제목 | 저자 | 학술지명 |
|---|---|---|---|
| 2014.04 | 플로팅 건축을 위한 함체 진수공법의 요구조건 분석 | 노태민, 안홍섭 | 대한건축학회연합논문집 |
| 2014.04 | 플로팅 건축공사를 위한 표준안전작업절차 작성 방법에 관한 연구 | 김영중, 안홍섭 | 대한건축학회연합논문집 |

다. 기술적 성과

| 출원/ 등록일 | 발명의 명칭 | 출원자/ 등록자명 | 특허증번호 | 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2013.04 | 유압식 강관 진수공법 | 안홍섭, 노태민 | 10-2014 -0059631 | 출원 |
| 2015.05 | 진수장치 및 이를 이용한 진수방법 | 안홍섭, 노태민 | - | 등록 |

## 8. 플로팅 건축 설비 설계

가. 최종 연구성과

(1) 플로팅 건축 설비 설계

○ 국내외 플로팅 건축물의 사례 조사 및 분석 후 에코델타시티 홍보관의 인프라 조사를 시행하여 최적의 설비 시스템을 적용한 설비 설계를 진행

(2) 에코델타시티 홍보관 에너지 비용 산출

○ 플로팅 건축물에 사용되는 설비시스템별 총 생애주기비용(LCC)를 분석하여 최적의 시스템 적용

○ 해수열에너지 열원, EHP 등 각 열원의 에너지요구량, 에너지소요량, 1차에너지소요량을 분석하여 설계에 적용된 시스템의 적절성 판단

(3) 플로팅 건축 설비 기본 매뉴얼

○ 에코델타시티 홍보관 설비 설계시 고려사항과 적용사항을 나열하여 기계설비, 전기설비, 소방설비, 피난설비의 내용을 기입하여 추후 연구 및 플로팅 건축물 설계시 이용할 수 있는 매뉴얼 작성

나. 연구성과 적용

○ 설비 계통도 (부록 참조)

○ 설비 계산서 (부록 참조)

○ 플로팅 건축 설비 기본 참고 매뉴얼 (부록 참조)

# 제2절 핵심성과

○ 1세부과제

## 1. 성과 리스트

| 연번 | 핵심 성과명 | 핵심성과 설명 | 성과유형※ | 성과달성 책임 | 해당연차 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 반강접 함체 최적화 설계 기법 | 프리스트레싱으로 연결되는 반강접 함체의 설계의 효율성 및 최적화하는 설계기법 | 공법, 기법 | 군산대 | '12.06 ~'15.06 (3년0개월) |
| 2 | 플로팅 건축 구조설계 지침개발 | 구조설계(상부골조) 지침개발<br>개발된 지침에 의한 에코델타시티(4차년도 실시설계)의 재설계 및 기존설계와 비교검토 | 정책.제도 | 티섹구조 | '14.06 ~'15.06 (1년) |
| 3 | 부유식 구조물의 건전성 평가 기법 | 부유식 해양플랜트 구조물로부터 추출한 동적 특성을 이용하여 구조물의 건전성을 평가하는 기술 | 기타 | 한국해양대 | '14.06 ~'15.06 (1년) |
| 4 | 부유체 변위 원격측정 시스템 | 부유체에 대한 저비용의 효과적인 비접촉식 6자유도 변위 측정 시스템의 구성 | 시스템 | 전남대 | '14.06 ~'15.06 (1년0개월) |
| 5 | 상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술 | - 상부구조 안전성평가지침 개발<br>- 상하부 접합부 준정적 재하 실험 | 공법·기법 | 한국해양대 | '14.06 ~'15.06 (1년) |
| 6 | 콘크리트 폰툰 모듈접합부 설계 지침 | 콘크리트 폰툰 모듈접합부 설계 지침 | 정책·제도 | 군산대학교 | '14.06 ~'15.06 (1년) |
| 7 | 함체 적용을 위한 친수환경용 무시멘트 프리캐스트 콘크리트 | 시멘트 콘크리트와 달리 수중에서 알칼리성분 및 중금속 등의 용출이 없으며, 기존의 시멘트 콘크리트와 동등 그 이상의 성능을 발현하는 친수환경용 콘크리트 | 재료/자재 | 전남대 | '14.06~'15.06 (1년0개월) |
| 8 | 보수 후 성능평가 모델 및 보수 가이드라인 | 보수 후 수명예측 내구성 평가 수치해석 모델 작성 및 보수 가이드라인 제시 | 정책제도 | 한국해양대 | '14.06 ~'15.06 (1년0개월) |

## 2. 핵심성과별 세부 설명

### 가. 반강접 함체 최적화 설계 기법(공법,기법)

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">프리스트레싱으로 연결되는 반강접 함체의 설계의 효율성 및 최적화하는 설계기법</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">정주형 플로팅 구조물은 파랑에 의한 함체의 운동을 제어가 필요함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">모듈로 제작된 함체를 일체화 시공하기 위하여 이질 재료를 사용하여 일체화 하고 파랑에 의해 발생하는 힘을 흡수하도록 유도하여 에너지를 발산시키고, 함체의 운동을 저감시키고자 함</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 해석에만 의존한 이론적인 해석<br>(개발기술 수준) 실증 실험을 통한 반강접 시스템의 설계법 보완<br>(개발기술 수준 설정근거) 실험을 통한 해석과의 차이를 보완</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">이영욱(군산대학교)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">’12.06 ~’15.06 (3년 2개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>특허 출원1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">반강접 시스템의 설계기법 정립</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">특허 출원</td></tr>
</table>

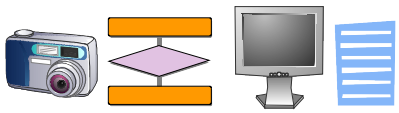
나. 플로팅 건축 구조설계 지침개발

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">제10장 부유식 구조<br><br>1001 일반사항<br>1001.1 적용범위<br>이 절은 정온수역의 위치에 설치되는 부유식 건물을 대상으로 한다. 이 절은 부유식 건물의 상부 구조와 하부 함체의 해석과 설계 절차에 대한 사항을 기술하며 철근콘크리트와 강구조, 목구조 등과 같은 설계에 관련된 상세 내용은 본 기준의 해당 장들을 적용한다.</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="7">- 구조설계(상부골조) 지침개발<br>- 개발된 지침에 의한 에코델타시티(4차년도 실시설계)의 재설계 및<br>기존설계와 비교 검토</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="7">- 플로팅 구조물(부유식 구조물)의 상부골조 구조물에 대한 설계지침개발의<br>필요성증대</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="7">- 플로팅 구조물의 구조설계(상부골조) 지침을 개발하여<br>전년도에 실시설계하였던, 에코델타시티를 재설계 하고, 설계결과를 비교함.<br>- 플로팅 구조물을 설계하려는 엔지니어에게 지침을 제시</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준) 플로팅 건축물 구조설계 지원분야 없음<br>(개발기술 수준) 플로팅 구조설계 지침을 제시할 수 있음<br>(개발기술 수준 설정근거) 에코델타시티의 재설계를 통한 비교 및 검토</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자<br>(소속기관)</td><td colspan="7">이우호 (티섹구조엔지니어링)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="7">’14.07 ~’15.06 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="6">해석 및 설계 기준 정립</td></tr>
<tr><td>달성<br>확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="6">기준 채택</td></tr>
</table>

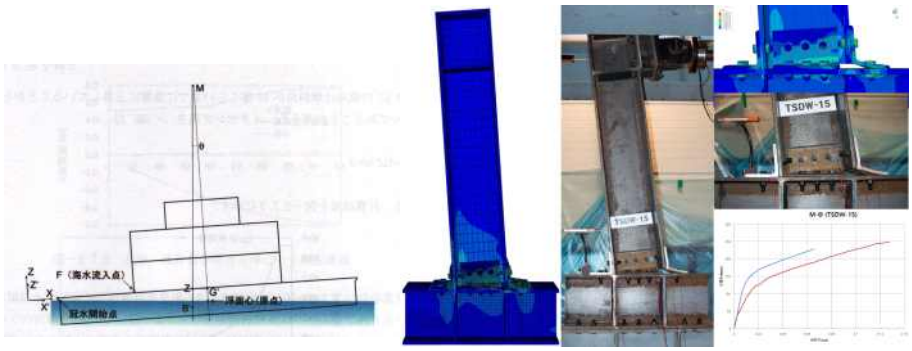
다. 부유식 구조물의 건전성 평가 기법

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">* 실제 플로팅 구조물의 진동 실험을 통해 얻은 가속도 응답값을 이용하여 대상 구조물의 사용성 평가를 실시하고, 동적 특성을 추출하여 유효 물성치를 산정하여 건전성 평가를 실시함</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">* 플로팅 구조물의 건전성 및 사용성 확보를 위해 필요함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">* 플로팅 구조물의 동적 특성을 이용하여 유효물성치를 산정함으로써 구조물의 건전성 평가에 필요한 기초자료 확보<br>* 실제 플로팅 구조물의 진동 실험을 통해 얻은 데이터를 이용하여 대상 구조물의 사용성 평가 실시</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 구조물의 동적 데이터를 이용한 육상 구조물의 건전성 평가에 대한 연구나 적용 사례는 있지만 해양 플랜트 구조물의 건전성 평가는 연구나 적용 사례가 미비함<br>(개발기술 수준) 부유식 해양플랜트 구조물에 적용 가능한 건전성 평가기법<br>(개발기술 수준 설정근거) 구조물의 동특성을 이용한 구조계 추정기법 및 손상탐지 기법 적용을 통해 건전도 평가기법 검증 및 가속도 계측을 통한 사용성 평가 기법 검증</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박수용(한국해양대학교)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">'14.06 ~'15.06 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국내 1</td><td></td><td>학술발표대회 1건<br>수치해석 1건<br>현장실험 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">플로팅 구조물의 건전도 평가기술 실용성 검토 및 검증</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">현장 실험 및 수치해석 결과<br>결과 보고서</td></tr>
</table>

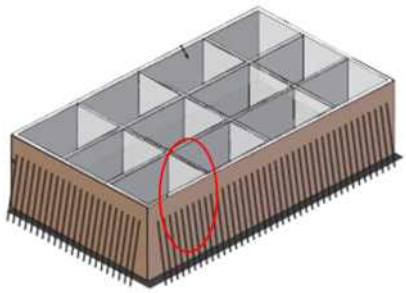
라. 부유체 변위 원격측정 시스템

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">부유체의 변위 관측을 위한 시스템 구성체계</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">영상기반 측위 결과를 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">부유체 모형의 위치 변위를 측정하기 위한 간편한 시스템 구성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 개별 기능 및 기기들이 따로따로 존재<br>(개발기술 수준) 다차원 실내외 적용가능한 간편 부유체 변위 측정<br>(개발기술 수준 설정근거) 작성된 매뉴얼</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">한동엽(전남대)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’14.06 ~’15.06 (1년0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">실내외 측정 가능</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">보고서 및 특허 출원</td></tr>
</table>

마. 상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술(공법 · 기술)

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술을 확보하여 실제 플로팅 구조물 건설시 기술 자료로 활용하기 위함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술을 통한 접합부 안전성 확보를 통하여 기술력 향상과 경제적 편익을 도모</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 플로팅 건축물 상하부 접합부 해석기술은 초기단계<br>(개발기술 수준) 상하부 접합부의 안전성을 확보한 실용화 단계<br>(개발기술 수준 설정근거) 상세해석과 실험 결과에 대한 전문가 평가</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">송화철(한국해양대)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">’14.06 ~’15.06 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>국내 1</td><td></td><td>학술발표 2</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">상세해석과 실험결과 비교분석 후 전문가 평가 90점 이상</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">상세해석과 실험 결과에 대한 전문가의 평가</td></tr>
</table>

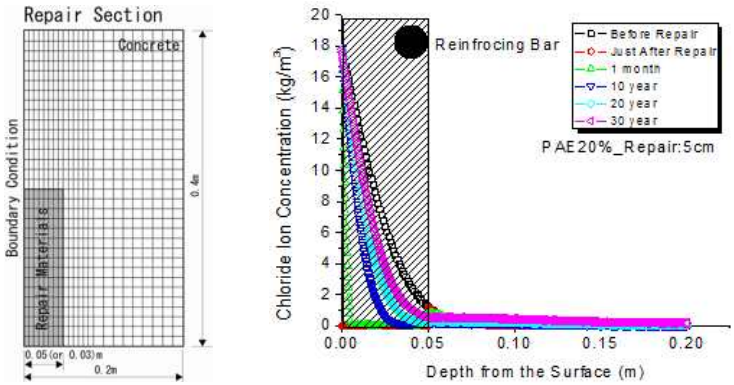
바. 콘크리트 폰툰 모듈접합부 설계 지침

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">   </td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="7">해양환경에서의 내부식성능 보강철근을 적용한 폰툰 설계</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="7">해양환경하에서의 내구성능향상을 통한 경제적인 폰툰 설계</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="7">1) 내부식 철근 적용 부유체 구조물의 구조성능평가<br>2) 내부식성 철근을 적용한 생애주기비용 절감<br>3) 내부식성 확보를 통해 유지관리 수명 증대</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준) 피복두께= 100 mm<br>(개발기술 수준) 피복두께= 50 mm 이내<br>(개발기술 수준 설정근거) 구조성능실험 및 평가를 통한 성능 확인</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7">양인환 (군산대학교)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="7">’14.06 ~’15.06 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국내 1</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="6">콘크리트 부유체 성능평가 기술 수준 10% 증가</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

사. 함체 적용을 위한 친수환경용 무시멘트 프리캐스트 콘크리트

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">수환경 교란이 없는 친환경 무시멘트 프리캐스트 콘크리트</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">기존 시멘트 콘크리트는 알칼리성분 및 중금속 등의 용출로 수중환경을 교란시키는 문제점이 있기 때문에 시멘트를 대체할만한 수중 환경용 콘크리트가 필요함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">시멘트와 달리 중금속 및 강알칼리성분이 용출되지 않는 알칼리 활성 슬래그 결합재는 수중구조물에 적합한 콘크리트 재료로 여겨졌지만, 내구성의 문제점으로 인해 사용이 제한되어져 왔음.<br>본 최종성과물인 해양환경 또는 수중에서 내구성을 확보한 친환경 콘크리트는 하천정비사업이나 친수환경용 구조물에 적극적으로 이용되어질 수 있음</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">압축강도 : 40 MPa 이상<br>Slump : 150 mm 이상<br>흡수율 : 8% 미만<br>이온투과성능(RCPT) : 1200 (coulomb) 이하<br>염소이온 확산계수 : 2($10^{-12}m^2/s$) 이하</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">전남대학교 건축학부 송진규 교수</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">2014.07.01. ~ 2015.05.30</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>출원 1</td><td></td><td>국내 1</td><td></td><td>국내학술회의 1</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="5">무시멘트 결합재(알칼리활성 슬래그 결합재)를 이용한 프리캐스트 콘크리트 성능 확보<br>- 압축강도 : 40 MPa 이상<br>- 염소이온 확산계수 2($10^{-12}m^2/s$) 이하<br>- 동결융해에 의한 내구성 지수 80 이상</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="5">- 염소이온 확산계수 : 촉진염소이온투과 시험(RCPT) 시험 실시<br>- 동결융해 내구성지수 : 급속동결융해시험법(A법)을 통한 내구성 지수 도출</td></tr>
</table>

아. 보수 후 내구설계 예측 수치해석 모델 구축 및 보수시스템 가이드라인 제시

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">보수 후 철근 콘크리트 구조물의 내구성능 예측 수치해석 모델구축 및 가이드라인제시</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">보수 후 성능회복의 정량화 및 가이드 지침을 작성하여 유지관리 시스템의 완성도를 높힘</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">범용성 있는 수치해석 모델을 구축하고 정확도 높은 해석을 실시하여 최적의 재료 공법을 적재적소에 적용 가능토록 함</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)<br>보수 후 재료열화를 고려한 성능예측 모델 부재<br>(개발기술 수준)<br>수치해석 모델에 재료 열화특성 및 수분 열화인자 연성모델 구축<br>(개발기술 수준 설정근거)<br>1차년도 성과인 수분확산 특성에 5차년도 실험계획인 열화인자 확산특성을 연성시켜 실제 환경에 부합하는 수치예측 시뮬레이션 모델을 구축하고 가이드라인으로 제시</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">박동천(한국해양대학교)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">’14.06 ~’15.06 (1년0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국내 1</td><td></td><td>학술발표 3</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>차년도</td><td colspan="4">수치해석 정밀도 향상 _ 실험결과 대비 90% 이상</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>차년도</td><td colspan="4">수치해석 결과와 실험결과 비교<br>학술논문으로 전문가 검증</td></tr>
</table>

○ 2세부과제

## 1. 성과 리스트

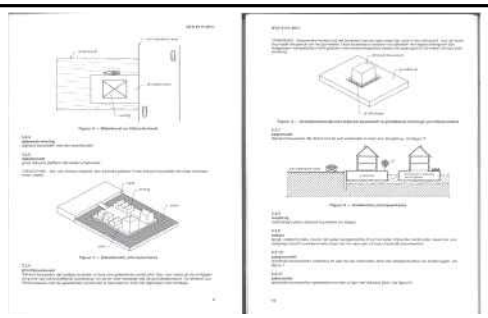
| 연번 | 핵심성과명 | 핵심성과 설명 | 성과유형 | 성과달성 책임 | 해당연차 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 플로팅 건축 상부시설 통합 설계 지침 및 해설서 | • 플로팅 건축물 상부공간 배치 및 계획지침, 공간 모듈러시스템 설계 지침, 방재 및 피난기준 등 플로팅 건축물 상부시설 계획에 요구되는 지침들을 통합하여 플로팅 건축물의 상부시설 설계를 보다 유용하게 수행할 수 있는 통합설계 지침<br>• 상부시설 계획 지침의 실무 적용을 지원하기 위한 해설서 개발 | 공 법 · 기 법 | 군산대학교 (2-1세세부) | 2010.12~2013.06, 2014.07~2015.06 (3년6개월) |
| 2 | 법제도 제안 | • 기존 관련 법제도를 검토하고 플로팅 건축물에 적용할 수 있는 개선안을 제시,<br>• 플로팅 건축물에 적합한 새로운 법안을 제안<br>• 플로팅 건축물 설계에 적용할 수 있는 방재 및 피난기준 제안 | 정 책 · 제 도 | 한국해양대학교 | 2011.07~2015.06 (4년 0개월) |
| 3 | 플로팅 건축 부하계산기법 및 해수열 이용 시스템 적용 매뉴얼 | • 플로팅 건축물의 입지적 특성을 고려한 부하계산기법 및 해수열 시스템 성능평가를 통한 효율적인 해수열 이용시스템을 개발하고 적용을 위한 매뉴얼 작성 | 공 법 · 기 법 | 한국해양대학교 | 2010.12~2015.06 (4년 6개월)<br>- 부하계산기법 '10.12 ~ '11.06 (0년6개월)<br>- 해수열 이용시스템 적용 매뉴얼 '12.06 ~ '15.06 (3년 0개월) |
| 4 | 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼 | • 재실자의 심리적 특성 및 실내 에너지소비를 고려하여 최적의 환경과 기능을 가질 수 있는 최적개구부 설계 매뉴얼 | 공 법 · 기 법 | 한국해양대학교 | 2013.07~2014.06 (1년0개월) |
| 5 | 다방향 윈드 가이드 및 플로팅 건축물 풍력시스템 설계 지침 | • 수직형 풍력터빈 주위에 다방향 윈드 가이드를 도입하여 풍속 증가를 통한 출력 향상 기법<br>• 플로팅 건축물 특성에 적합한 풍력시스템 설계 지침 | 공 법 · 기 법 | 군산대학교 | 2013.07~2015.06 (2년 0개월) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 한국형 플로팅 마리나클럽 설계 및 방법 | • 플로팅 구조를 이용한 한국형 마리나클럽 설계안 제안과 그 설계 방법 | 공 법 · 기 법 | 군산대학교 | 2012.07~2013.06 (1년0개월) |
| 7 | 플로팅 건축 BIM기반 설계 프로세스 및 설계지침 | • 다양한 협업 주체 및 연구결과를 고려한 BIM기반 플로팅 건축물 설계 프로세스 및 설계 방법<br>• 플로팅 건축물 BIM 설계용 템플릿 및 BIM기반 플로팅 건축물 설계지침 개발 | 공 법 · 기 법 | 상지엔지니어링 | 2010.12~2015.06 (4년 6개월) |
| 8 | 정수역 함체 진수공법 | • 제약(옹벽, 산책로 등)이 있는 작업장에 적용 가능한 진수공법 | 공 법 · 기 법 | 군산대학교 | 2013.07~2014.06 (1년0개월) |
| 9 | 표준안전작업 절차서 | • 플로팅건축공사의 고위험작업(플로팅 건축공사의 주요공정인 함체공사, 진수공사, 계류공사 등)에 대한 표준안전작업절차서 | 정 책 · 제 도 | 군산대학교 | 2013.07~2014.06 (1년0개월) |
| 10 | 플로팅 건축 설비 설계 | • 플로팅 건축 특성을 고려한 기계 및 전기설비 설계도서 등에 대한 시설계를 통해 플로팅 건축물 설비 설계의 레퍼런스 모델 제시 | 기타 | 우원엠엔이 | 2013.07~2015.06 (2년0개월) |

## 2. 핵심성과별 세부 설명

### 가. 상부시설 통합설계 지침 및 해설서

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 

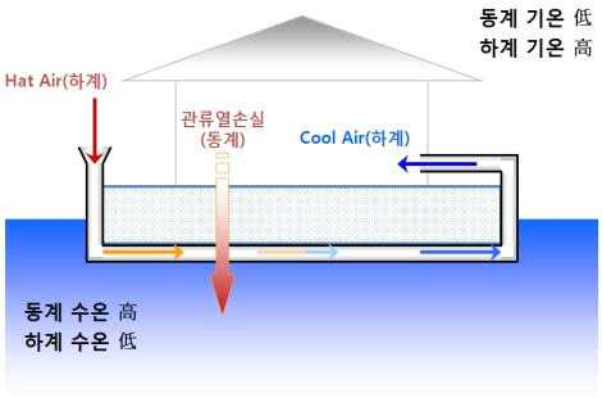

< 지침 구성 체계 도출> <네델란드 플로팅 건축 기술 문서의 예></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">• 본 지침은 거주 용도로 사용되는 플로팅 건축물 상부시설에서의 시스템 계획(모듈러 시스템, 상하부 시스템 연계 등), 배치 계획(입지 및 위치, 조망 및 경관, 단지 계획), 건축 계획(형태, 규모, 용도, 구조, 재료, 친환경 계획), 거주후 평가 등에 대한 통합적인 지침<br>• 부유식 건축물 상부시설 계획 지침을 구성하고 있는 세부 지침을 항목별로 해설하여 플로팅 건축물 상부시설 공간 계획 기술을 대중화하고 확산 및 보급하기 위한 목적으로 제작됨</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">• 플로팅 건축물 상부시설의 계획은 일반적인 건축물의 건축 계획과 많은 부분 유사하나 명확히 구별되는 부분이 있어 이에 대한 정의와 관련 계획 기술에 대한 지침의 작성이 필요함<br>• 통합설계지침에 대한 활용성을 높이기 위하여 세부지침에 대한 해설서 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">• 국내에서 최초로 시도되는 플로팅 건축물 상부시설 계획 지침의 실무 적용 지원을 위한 해설서의 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) : 비체계적이며 불충분한 국내 플로팅 건축 계획 관련 지침<br>(개발기술 수준) : 플로팅 건축물 상부시설에 대한 계획 지침 및 실무 적용을 위한 해설서 개발<br>(개발기술 수준 설정근거) : 관련 지침의 체계화 및 통합화와 실무 적용 지원을 위한 해설서 개발</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">송석기(군산대학교)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">2010.12~2013.06, 2014.07~2015.06 (3년6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>국내 4 편</td><td></td><td colspan="2">지침제안 1건</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 플로팅 건축물 상부시설 계획 지침의 적용 가능성</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 논문 및 전문가 자문회의를 통한 질적 평가</td></tr>
</table>

나. 법제도 제안(부유식 건축물 조례(안)/ 부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안))

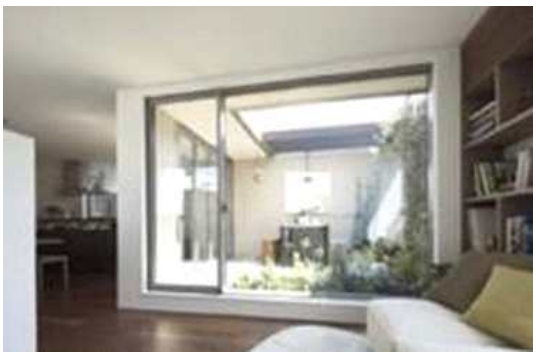
<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 

<부유식 건축물 조례(안)> <피난 및 방재계획 기준(안)></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">• 기존 플로팅 건축물 관련 법제도를 검토하고 플로팅 건축물의 특성을 고려하여 플로팅 건축물의 법적지위를 명확히 하고, 설계 및 조성 과정에서 적용할 수 있는 법제도</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">• 플로팅 건축물에 대한 법적지위가 불명확하고 관련 법제도가 미비하여 플로팅 건축물 설계, 조성 등 관련산업 활성에 많은 어려움이 있어 플로팅 건축물 특성을 고려한 법제도 정비가 필요<br>• 수상에 설치되는 플로팅 건축물은 재해에 쉽게 노출되어 있으며 재해시 피난에 어려움이 예상되나 기존 건축물에 적용되는 방재 및 피난 기준은 플로팅 건축물의 특성을 반영하지 못하고 있어 플로팅 건축물에 적용하기에 다소 무리가 있어 플로팅 건축물 특성을 고려한 새로운 방재 및 피난 기준 제안</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">• 플로팅 건축물의 법적지위를 명확히 하고, 관련 법제도 정비를 통해 플로팅 건축물 활성화를 위한 사회적 기반 마련<br>방재 및 피난 성능 향상을 통한 플로팅 건축물 및 이용자의 안전성 확보</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준): 국외의 경우 일반 건축물로 법적지위를 인정하고 있으며 관련 기술 기준을 두어 플로팅 건축물을 관리하고 있으나, 국내의 경우 관련 법제도가 미비함<br>(개발기술 수준): 플로팅 건축물에 일반적으로 적용할 수 있는 법제도로 건축법에 위임 근거를 두고 지방자치단체 조례와 기술기준으로 제안<br>(개발기술 수준 설정근거): 일반 건축물 대상 건축 기술의 특수 목적 건축물로의 확산 및 특성화</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">이한석(한국해양대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="5">2011. 07 ~ 2015.06 (4년 0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td>특허(디자인)</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>국내 3편</td><td>-</td><td colspan="2">정책 및 법제도 제안: 2건<br>-부유식 건축물 조례(안)<br>-피난 및 방재계획 기준(안)<br>기술이전-노하우: 3건<br>1건: 50만원 달성<br>2건: 각 100만원 진행 중</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 제안된 법제도의 적용 가능성</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 논문 및 전문가 설문을 통한 질적 평가<br>• 제안된 법제도의 제정 여부</td></tr>
</table>

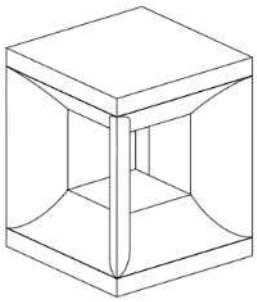
다. 부하계산 기법 및 해수열이용시스템 적용 매뉴얼

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="5">• 수상에 입지하는 플로팅 건축물의 환경적 특성을 고려한 부하계산 기법<br>• 해수열 시스템 성능평가를 통한 효율적인 해수열 이용시스템 및 적용을 위한 매뉴얼</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="5">• 플로팅 건축물에서 냉난방시스템의 효율성에 대한 검증을 위하여 부하계산을 통해 검증을 할 필요가 있으나 일반적인 건축물에 사용되는 부하계획 기법은 수상에 입지하는 플로팅 건축물의 입지적 특성을 제대로 적용하지 못함<br>• 육상과 떨어져 입지하는 플로팅 건축물의 특성상 소요되는 에너지에 대한 최소한의 에너지 자립이 중요한 요소가 되며, 에너지 자립을 위하여 수상에 입지하는 특성을 고려하여 Passive적 기법을 적용한 해수열을 이용한 시스템을 이용하는 것이 효율적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="5">• 해수열 이용시스템의 성능 평가를 위하여 플로팅 건축물의 특성을 고려한 부하계산 기법 개발<br>• 플로팅 건축물 특성에 적합한 Passive 시스템을 이용한 해수열 이용시스템 도입을 통해 해수열 이용 효율을 극대화하여 플로팅 건축물에서의 에너지 자립도 향상</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준): 수상 환경을 고려한 부하계산 기법 개발은 전무함,<br>선박 등에서는 일부 해수온도 등 해상 환경을 고려하여 선내 쾌적성을 검토 일반적인 해수열 시스템은 Active 적인 방법을 적용하고 있어 Passive적 방법을 적용한 사례는 없음<br>(개발기술 수준): 플로팅 건축물에 실제 적용할 수 있는 부하계산기법 및 해수열 이용 시스템과 적용 매뉴얼<br>(개발기술 수준 설정근거): 정립되지 않은 기술의 적용 및 일반화</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">도근영(한국해양대)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="5">2010. 12 ~ 2015. 06(4년 6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>출원 1</td><td>국외<br>1편(예정)</td><td>국내 2편</td><td>-</td><td>매뉴얼(지침):1</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 저탄소 개구부 설계 매뉴얼의 활용가능서 (5단계 활용가능성 수준 L3획득)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 보고서/논문/매뉴얼 및 전문가 자문을 통한 활용가능성 평가</td></tr>
</table>

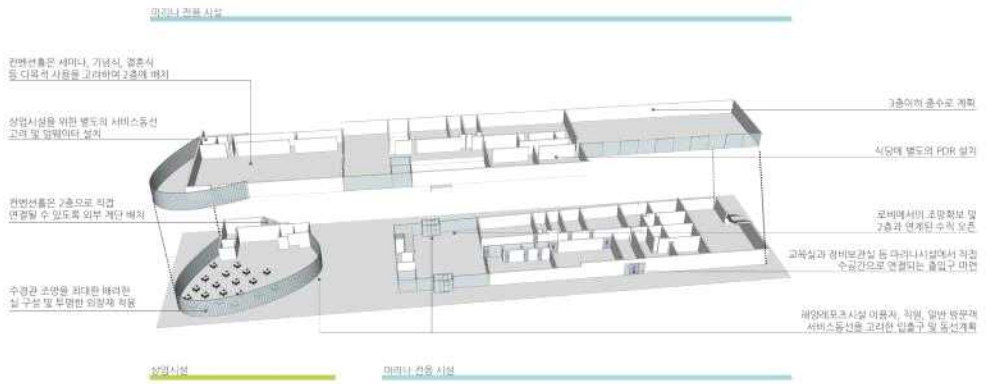
라. 저탄소 개구부 설계 매뉴얼

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="5">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="5">• 재실자의 심리적 특성 및 실내 에너지소비를 고려하여 최적의 환경과 기능을 가질 수 있는 최적개구부 설계 매뉴얼</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="5">• 수상에 위치하는 플로팅 건축물은 주변 자연경관에 따라서 재실자의 거주만족도가 달라지며 개구부를 통해 유입되는 외부 환경인자에 따라 실내의 냉방 및 난방부하에 많은 영향을 미침<br>따라서 재실자에게 최상의 심리적 만족도를 주면서 동시에 실내 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 저탄소 개구부 설계기술 개발이 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="5">• 플로팅 건축물의 입지적 특성을 고려한 재실자의 심리적 만족도와 실내 에너지소비를 최소화 할 수 있는 최적의 환경을 유지하며 최상의 기능을 가잘 수 있는 개구부 설계 방법 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준): 저탄소 개구부에 대한 국내 연구는 전무한 실정임<br>국내의 경우 환기 및 채광을 위해 바닥면적에 대한 최소 개구부 비율에 대한 기준 적용<br>(개발기술 수준): 실제 플로팅 건축물 설계 과정에서 검토할 수 있는 수준의 저탄소 개구부 설계 기술 및 매뉴얼<br>(개발기술 수준 설정근거): 정립되지 않은 기술의 적용 및 일반화</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">도근영(한국해양대)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="5">2013. 07 ~ 2014. 06 (1년0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>국내 1</td><td>-</td><td>매뉴얼(지침):1</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 저탄소 개구부 설계 매뉴얼의 활용가능성 (5단계 활용가능성 수준 L3획득)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 보고서/논문/매뉴얼 및 전문가 자문을 통한 활용가능성 평가</td></tr>
</table>

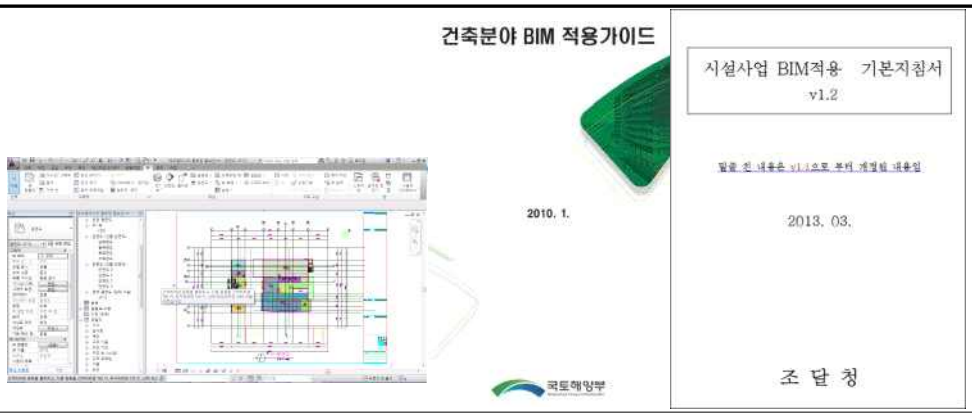
마. 다방향 윈드 가드 및 플로팅 건축물 풍력시스템 설계 지침

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="5">    <br><다방향 윈드 가드> <건물일체형 풍력시스템></td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="5">• 풍력터빈의 출력을 향상시킬 수 있는 윈드 가이드 설계(윈드 가이드의 단면 형상, 각도 등)<br>• 플로팅 건축물 특성에 적합한 풍력시스템 설계 지침</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="5">• 풍향 변동에 대해서는 풍력터빈의 출력을 유지시킬 수 있는 윈드 가이드 설계<br>• 풍력터빈의 이용률을 높이는 윈드 가이드 설계<br>• 플로팅 건축물 특성을 고려한 최적화 된 풍력시스템 설계 지침 필요</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="5">• 풍속이 낮은 곳에서도 풍력발전을 하기 위해서는 풍속을 증가시키는 것이 필수적임<br>• 건물일체형 풍력발전기는 풍향 변동에 상대적으로 취약함<br>• 풍향이 자주 바뀌는 곳(해안 포함)에서도 지속적으로 풍력발전이 가능하게 하고자 함<br>• 플로팅 건축물의 입지 및 구조적 특성을 고려한 최적화된 풍력시스템 설계를 위한 범용 설계 지침 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준): 관련 기준 전문<br>(개발기술 수준): 윈드 가드 내 풍속 10% 증가<br>플로팅 건축물 설계에 범용으로 적용가능한 풍력시스템 설계 지침<br>(개발기술 수준 설정근거): 풍속의 10%는 증가는 이론적으로 발전출력의 약 30% 증가를 의미함<br>일반 건축물 대상 건축 기술의 특수 목적 건축물로의 확산 및 특성화</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">김용이(군산대학교)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="5">2013. 07 ~ 2015. 06 (2년 0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>출원 1건<br>등록 1건</td><td>-</td><td>국내 2편</td><td>등록 3</td><td>지침 1</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 윈드가이드 내 풍속의 증가(10% 이상)<br>• 지침의 적정성 및 활용가능성 확보(5단계 활용가능성 수준 L3획득)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 전문가 자문을 통한 활용가능성 평가<br>• 보고서, 논문, 특허 등</td></tr>
</table>

바. 한국형 플로팅 마리나클럽 설계 및 방법

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="5">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="5">• 플로팅 구조를 이용한 한국형 마리나클럽 설계안 제안과 그 설계 방법</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="5">• 해양레저 활성화에 따른 마리나시설에 대한 수요가 점차 증가하고 있으나, 수역과 육역의 일정 공간이 필요한 마리나시설은 충분한 공간 확보에 어려움이 있어, 육역의 시설을 수역에 설치할 경우 공간 활용도가 높일 수 있어 플로팅 건축물을 이용한 한국형 마리나클럽 설계 방법 개발이 필요함<br>• 또한 마리나를 이용하는 이용자의 공간수요에 대응하는 적정 공간, 규모의 마리나 클럽하우스 설계를 위한 공간수요에 대응하는 마리나클럽 스페이스프로그램 개발 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="5">• 마리나항의 공간 활용도를 높이고 한국의 지형, 이용자 등 특성에 적합한 한국형 마리나클럽의 설계방법 개발을 통한 설계 효율성 향상</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준): 플로팅 마리나클럽 사례 전무<br>한국형 마리나클럽 설계 방법 전무<br>(개발기술 수준): 범용적으로 활용할 수 있는 한국형 플로팅 마리나클럽 설계 방법<br>(개발기술 수준 설정근거): 현업에서 쉽게 적용할 수 있는 한국형 플로팅 마리나클럽 설계 방법이 전무</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">박성신(군산대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="5">2012. 07 ~ 2013. 06 (4년6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허(디자인)</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>출원 1건<br>등록 1건</td><td>-</td><td>국내 1편</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 설계안 및 설계 방법의 적정성</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 보고서, 논문 및 특허출원여부</td></tr>
</table>

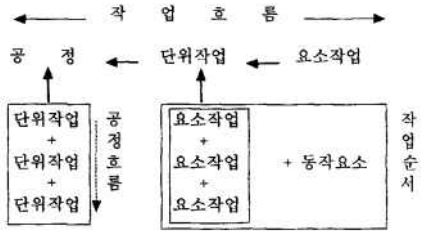
사. 플로팅 건축 BIM기반 설계프로세스 및 설계지침

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="5">• 다양한 협업 주체 및 연구결과를 고려한 BIM기반 플로팅 건축물 설계 프로세스 및 설계 방법<br>• 개발된 설계 프로세스 및 설계 방법을 적용한 플로팅 건축물 BIM 설계용 템플릿 및 BIM기반 플로팅 건축물 설계지침 개발</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="5">• BIM을 기반으로 한 플로팅 건축물 설계에 대한 정보 부족하여 BIM을 활용한 설계에 어려움이 있어 플로팅 건축물 특성을 고려한 BIM기반 설계 프로세스를 개발하고 이를 적용한 BIM 템플릿 r개발 필요<br>• 기존의 BIM 지침 및 가이드라인은 일반 육상 건축물에 한정되어 있어, 플로팅건축 설계 시 BIM 지침 및 가이드라인의 지침이 미비함</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="5">• BIM기반 플로팅건축 계획 시 업무의 효율성 향상</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준): BIM을 활용한 플로팅 건축물 설계 프로세스 전무<br>플로팅건축에 특화되어 있는 템플릿이 없음<br>(개발기술 수준): BIM을 기반으로 한 플로팅건축 계획 시 범용적으로 활용 가능<br>(개발기술 수준 설정근거): 플로팅 건축물에 대한 BIM기반 설계 프로세스에 대한 정보가 부족하며, 현 BIM 템플릿이 각 회사마다 개발하여 사용하고 있으나, 범용 BIM 템플릿의 활용도가 플로팅건축에서는 빈약함</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">김정길(상지엔지니어링 건축사사무소)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="5">2010. 12 ~ 2015. 06 (4년6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허(디자인)</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>등록 1건<br>출원 2건</td><td>-</td><td>국내 1편</td><td>-</td><td>- BIM템플릿<br>- BIM기반 플로팅 건축물 설계 지침</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• BIM기반 템플릿의 활용성</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 전문가 설문을 통한 활용성 및 적합성 평가</td></tr>
</table>

아. 정수역 함체 진수공법

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="5">   </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="5">• 정수역의 대지를 손상시키지 않도록 이동이 가능하며 옹벽 및 산책로, 도로 등의 위로 설치가 가능한 공법의 개발<br>• 진수설비에 경사를 주어 옹벽 및 산책로 등에 손상이 가지 않도록 위로 지나갈 수 있으며 기계적 설비로 함체를 경사 상부로 올린 후 자연적으로 수면으로 미끄러지도록 하는 공법</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="5">• 최근 국내 함체 및 케이슨 진수 시 사용하는 공법은 넓은 대지를 필요로 하며 이동성이 결여된 반영구적인 공법이 1회성 작업인 정수역 플로팅 건축물에 적용하기 힘듬<br>• 관광지로 이용되는 정수역에 함체를 진수시키기 위해서 진수 설비가 간소화되며 이동 및 설치, 철거가 가능한 공법이 필요하기 때문에 정수역에 적용 가능한 함체 진수공법 개발이 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="5">• 관광지 정수역의 경우 설치되어있는 옹벽 및 산책로 등을 해체 후 진수 설비를 설치해야 하는 기존 공법보다 대지를 최대한 손상시키지 않으며 진수 설비의 이동 및 설치, 철거가 가능한 공법의 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준): 조선의 기존 선박진수공법을 이용<br>(개발기술 수준): 플로팅 건축물 현장/공장 작업환경에 적합한 진수공법<br>대지 손상률 30~40% 내에 진수가 가능한 공법 개발<br>진수 완료 후 진수 설비의 이동 및 해체율 90%<br>(개발기술 수준 설정근거): 기존 진수공법은 진수에 넓은 면적의 대지가 필요함 따라서 기존 진수공법에서 필요로 하는 대지면적(100%)을 기준으로 최소 면적을 사용하는 진수공법 개발<br>기존 진수공법에서 사용된 설비의 이동 및 해체율이 매우 낮아 재사용에 어려움이 있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">안홍섭 (군산대학교 건축공학과)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="5">2013. 07 ~ 2014.06 (1년0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>-</td><td>국내 1편</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 진수공법의 적정성(대지 손상률 기존대비 30~40%, 설비 이동 및 해체율 90%)</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 보고서 및 특허, 전문가 평가 및 시뮬레이션 평가</td></tr>
</table>

자. 표준안전작업절차서

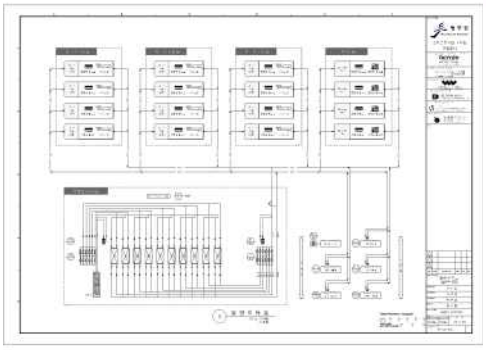
<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="5">• 고위험작업 플로팅건축공사 표준안전작업절차서</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="5">• 플로팅 건축공사의 안전시공을 위한 작업 기준</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="5">• 플로팅건축공사의 고위험작업을 위험성평가로 대책수립 후 안전한 시공을 위한 표준작업<br>절차서를 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준):기존 작업절차서는 플로팅건축의 고위험작업에 적용하기 어려움<br>(개발기술 수준): 함체시공, 진수, 계류시설 등 플로팅건축공사에서만 하는 고위험작업에 대한 개선 및 표준작업절차 적용가능<br>(개발기술 수준 설정근거): 플로팅건축공사의 고위험작업도출<br>고위험작업에 대한 위험성평가<br>고위험작업 개선 후 작업가능위험으로 적용(위험도: 상→중)</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">안홍섭(군산대학교 건축공학과)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="5">2013. 07 ~ 2014.06 (1년0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>국내 1편</td><td>-</td><td>절차서(지침) 1</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 표준안전작업절차서의 활용가능성 L3이상 획득</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 보고서 및 논문, 전문가 평가</td></tr>
</table>

차. 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전 매뉴얼

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> 

</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="6">• 플로팅 건축공사 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전 메뉴얼</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="6">• 플로팅 건축공사의 안전시공을 위한 위험요인에 대한 대책 및 대응 프로세스 제공</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="6">• 플로팅건축공사의 고 위험작업을 위험성평가로 대책수립 후 안전한 시공을 위한 유해위험방지계획서 및 안전메뉴얼 작성 및 각 현장별 필요한 관련 표준 및 절차서에 대한 기준 제공</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준):기존 작업절차서는 플로팅건축의 고위험작업에 적용하기 어려움<br>(개발기술 수준): 함체시공, 진수, 계류시설 등 플로팅건축공사에서만 하는 고위험작업에 대한 개선 위험요인에 대한 대책 및 대응 프로세스 및 관련 기준 제공<br>(개발기술 수준 설정근거): 플로팅건축공사의 고위험작업도출<br>고위험작업에 대한 위험성평가<br>위험작업에 대한 대응 프로세스 및 필요 관련 기준 제공</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">이상학(군산대학교 건축공학과)</td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="6">2014. 06 ~ 2015.06 (1년0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td colspan="2">절차서(지침) 2</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="6">• 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전메뉴얼 활용가능성 L3이상 획득</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="6">• 보고서 및 지침서 및 매뉴얼 전문가 평가</td></tr>
</table>

카. 플로팅 건축 설비 설계 및 지침

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="5">   </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="5">• 열원·공조·환기·위생·소방설비 관련 계산서 및 도면(흐름도 및 계통도 등)</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="5">• 플로팅건축의 시범설계를 통해 향후 유사한 프로젝트 진행시 레퍼런스 모델 제시</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="5">• 수상건물의 시범설계를 통해 다양한 건축의 설계방안을 정립하여 향후 유사한 프로젝트 진행시 레퍼런스 모델로 참고, 효율적인 건축설비 설계방안 제안<br>• 향후 유사한 프로젝트 진행시 레퍼런스 모델과의 비교를 통해 부하계산의 적정성 파악, 열원·공조설비 등의 적정 설비용량 산정에 기여</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="5">(기존기술 수준): 플로팅 건축물에 대한 설비 설계 미흡<br>(개발기술 수준): 플로팅 건축물에 대한 시범설계를 통한 최적 설계방안 제안<br>(개발기술 수준 설정근거): 일반 건축물 대상 건축 기술의 특수 목적 건축물로의 확산 및 특성화</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="5">황동곤 ((주)우원엠앤이 부설연구소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="5">2013. 07 ~ 2015.06 (2년0개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적성과</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>국내학술회의 1<br>설계도서 및 계산서<br>설비 설계 지침</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td colspan="5">• 플로팅 건축물 설비 설계 레퍼런스 모델 제시(최종 설계 수준의 90% 이상)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td colspan="5">• 시범설계 계산서 및 관련 설비 도면 (흐름도 및 계통도 등)<br>• 설비 설계 지침</td></tr>
</table>

# 제3절 Engineering Test Bed

## 1. 개요

### 가. 건물개요

- ○ 위치 : 부산광역시 강서구 낙동강 하류(평강천)
- ○ 건물용도 : 전시시설
- ○ 건물규모 : 업무동 2층, 전시동 3층
- ○ 구조종별 : 철골조




### 나. 구조설계기준

| | |
|---|---|
| 적용기준 | ▪ 건축물 하중기준 및 해석(대한건축학회, 2000)<br>▪ 건축구조설계기준(대한건축학회, 2009)<br>▪ 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙(국토해양부, 2009)<br>▪ 건축 기조 구조 설계 기준(대한건축학회, 2009)<br>▪ 콘크리트구조설계기준(한국콘크리트학회, 2012) |
| 참고기준 | ▪ ACI 318-05(2005) |

### 다. 재료의 규격 및 설계 기준 강도

- ○ 콘크리트 : fck = 24MPa
- ○ 철근 : fy = 400MPa (SD 400 D13이하)
  fy = 500MPa (SD 400 D16이상)
- ○ 철골 : KS D 3503 t≤40 : fy = 235MPa (SS 400 일반형강보)
  KS D 3503 t>40 : fy = 215MPa(SS 400 일반형강보)
  KS D 3515 t≤40 : fy = 325MPa (SM 490)
  KS D 3503 t>40 : fy = 295MPa (SM 490)

### 라. 하중

- ○ 고정하중 및 활하중(흘수 계산시 활하중은 50%만 적용)

(단위 : kN/㎡)

| 용도 | | 고정하중 | 활하중 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 지붕층 | DECK SALB+마감 | 3.88 | 1.0 | |
| 전시관 | | | 5.0 | |
| 로비/레스토랑 | | | 3.0 | |
| 주방 | | | 7.0 | |
| 창고 | | | 5.0 | |
| 기계실 | | | 7.0 | |

○ 풍하중 : 평균풍속 35m/sec (KBC 2009기준)

○ 조류력 : 평균 조류 1.0m/sec

○ 파랑하중

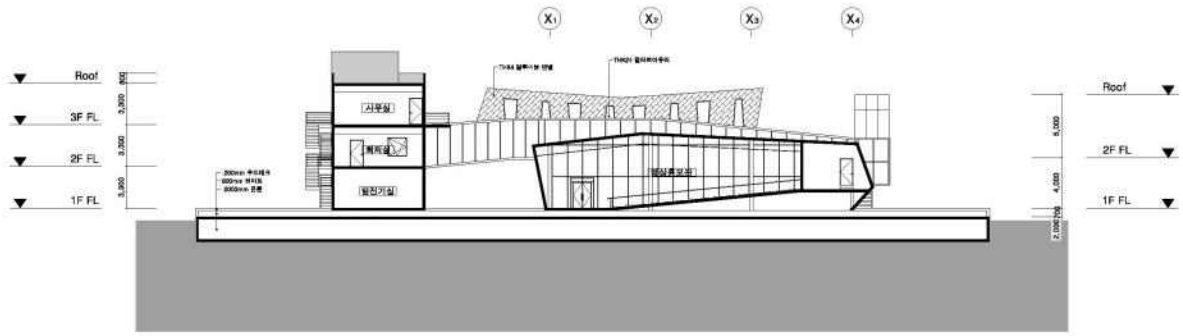
최대 취송거리 : 1.5km

평균 수심 : 3m

유의 파고 Hs : 0.9m

유의 주기 Ts : 3.0 sec (T2 : 2.254 sec, Tm : 3.17 sec)

## 2. 시설계 건축도면



## 3. 상부구조 설계 결과 및 대안평가

| 구분 | ALT 1<br>Modular System | ALT 2<br>Modular System+ALC Panel SLAB | 비고 |
|---|---|---|---|
| 설계하중 | Dead Load : 4.44kN/m2<br>Live Load : 각실별 별도고려 | Dead Load : 3.15kN/m2<br>Live Load : 각실별 별도고려 | 대안들은 종합적으로 분석해 본 결과 가장 합리적인 방법은 ATL2. Modular System + ALC Panel SLAB 인 것으로 판단 됨 |
| Material | SM490,SS400<br>Fck : 21MPa | SM490,SS400<br>ALC Panel 비중 : 0.7kN/㎥ | |
| 부재사이즈 | SG1 - 446x199x8/12 (SM490)<br>SG2 - 496x199x9/14 (SM490)<br>SG3 - 500x200x10/16 (SM490)<br>SB1 - 396x199x7/11 (SM490)<br>SB2 - 298x149x5.5/8 (SM490)<br>SB3 - 346x174x6/9 (SM490) | SG1 - 396x199x7/11 (SM490)<br>SG2 - 446x199x8/12 (SM490)<br>SG3 - 496x199x9/14 (SM490)<br>SB1 - 350x175x7/11 (SM490)<br>SB2 - 298x149x5.5/8 (SM490)<br>SB3 - 300x150x6.5/9 (SM490) | |
| 특징 | 최적 기본모듈<br>: 3000X7200X3300<br>(B x D x H)<br>· 공기단축 (Short Build Times)<br>· 품질의 안전성 (Superior Quality)<br>· 경량화 (Low Weight)<br>· 내진특성 (Seismic Properties)<br>· 이동의 용이성 (Relocation)<br>· 디자인의 융통성 (Design Flexibility)<br>· 건설공사의 안전성 (Safer Construction) | · 기본 Span : 8m(보간격 2M이내)<br>· 층수 : 상부구조물 3층<br>· 바닥 : ALC Panel SLAB 사용<br>· Type 1. 의 고정하중에 비해 감소된 고정하중 (약 70%감소)<br>상부구조물 바닥판의 일체성확보<br>· ALC Panel의 철근보강 필요 | |
| 고정하중 최대 반력값 비교 | ALT1(667kN)>ALT2(504kN) | | |
| 강재량&비용 ↓ | ALT2>ALT1 | | |
| 시공성 ↑(공사기간 ↓) | ALT1>ALT2 | | |
| 공간활용성 ↑(사용성 ↑) | ALT2>ALT1 | | |

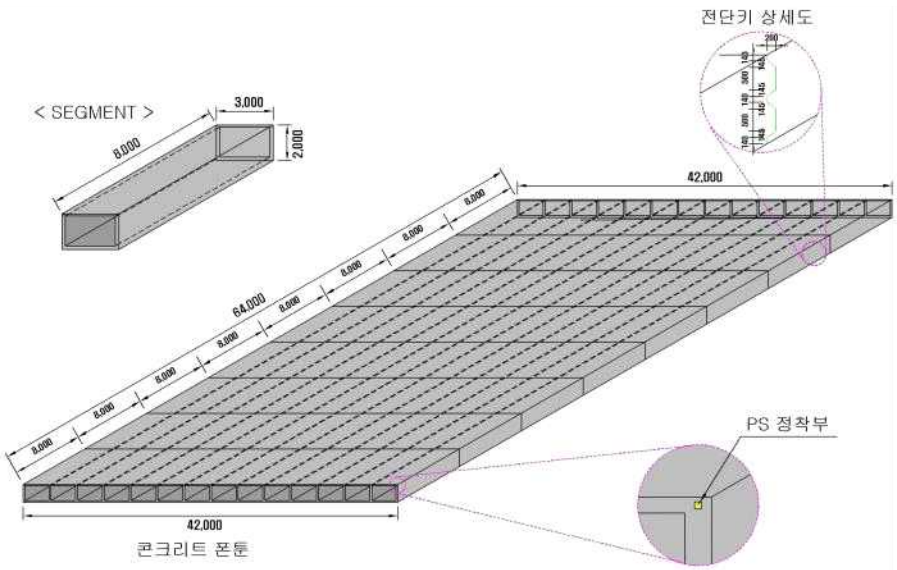
## 4. 함체 설계

○ 함체 설계에 대한 대안은 함체를 현장에서 일체형으로 제작하는 방법(대안 1), 전체 함체를 84개의 PC(precast)셀(3m×10m×2m)로 제작해서 접합하는 방법(대안 2), 42m의 세그먼트로 제작하여 프리스트레싱 강연선으로 보강하는 방법(대안 3)으로 고려하고, 대안에 대한 검토 항목은 아래 표와 같음

(평가점수 : ○ 3점, △ 2점, × 1점)

| | 대안 1<br>현장 | 대안 2<br>PC | 대안 3<br>프리스프레싱 |
|---|---|---|---|
| **시공성** | | | |
| - 제작이 용이한가? | × | ○ | △ |
| - 제작 기간이 적정한가? | × | ○ | △ |
| - 진수가 편리한가? | × | × | ○ |
| - 접합은 편리한가? | × | × | ○ |
| **경제성** | | | |
| - 제작 소요비용은 적절한가? | △ | ○ | × |
| - 진수에 따른 비용은 적절한가? | × | △ | ○ |
| **홀수** | | | |
| - 수심이 확보되는가? | ○ | × | △ |
| **구조성능** | | | |
| - 접합부의 결합성은 우수한가? | △ | × | ○ |
| - 결합 후 균열의 문제는 없는가? | × | △ | ○ |
| **사용성** | | | |
| - 유지관리가 용이한가? | × | △ | ○ |
| **총 점** | 14 | 19 | 25 |

○ 대안평가 결과로 세 가지의 대안 중에서 42m의 세그먼트로 제작하여 프리스트레싱 강연선으로 보강하는 방법(대안 3)으로 함체 설계 방법을 결정 함(하부 도면 참조)



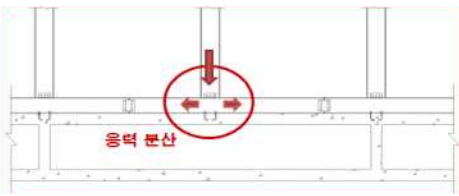
## 5. 접합부 설계

### 가. 전이보 시스템

○ 기둥과 격벽이 일직선으로 내려온다면 하중전달에 문제가 없지만, 기둥이 내려온 곳에 함체의 격벽이 없거나 어긋나게 된다면 하중 전달이 원활히 되지 못하고 응력이 집중되는 현상을 초래하며, 응력집중 현상이 심화되면 구조적인 문제가 발생하여 파단이나 파괴에 이르게 됨

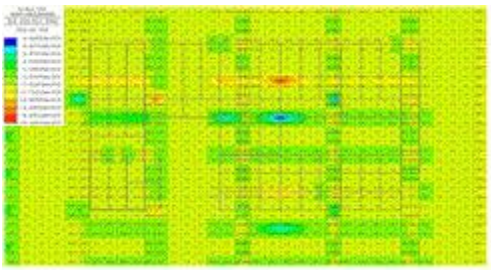



[그림 3.3.1] 베이스 플레이트

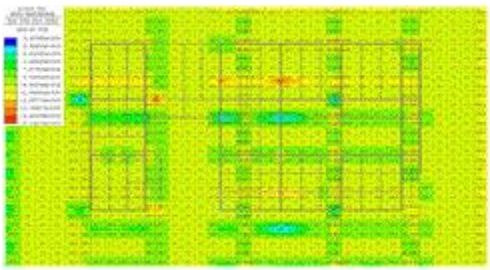



[그림 3.3.2] 전이보 시스템

### 나. 하부 구조물 상부 슬래브 응력분포



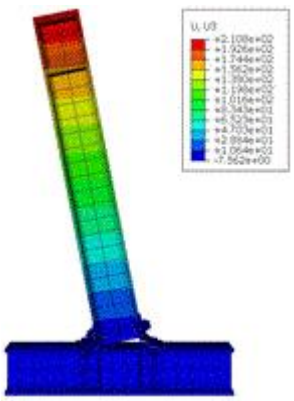
[그림 3.3.3] 전이보 없는 경우



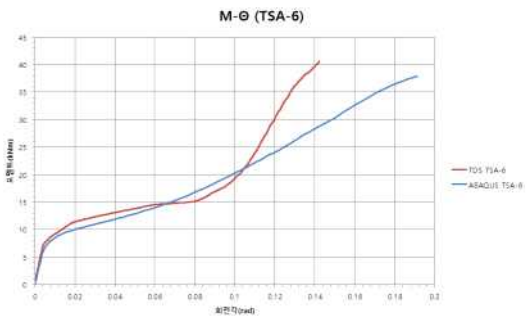
[그림 3.3.4] 전이보 있는 경우

○ 전이보가 있는 경우 슬래브에 집중된 최대 압축 응력이 5,469kN/㎡에서 4,192kN/㎡으로 감소함

(다) 실험과의 비교

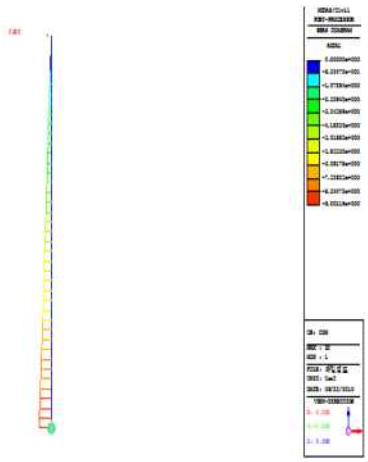




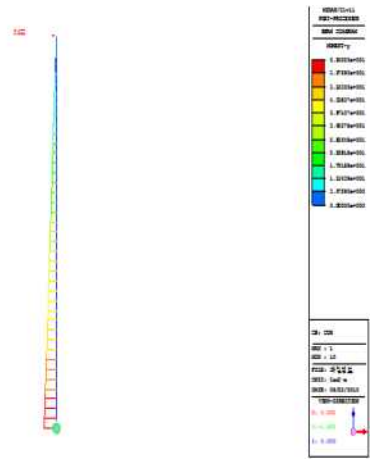



## 6. 계류 설계

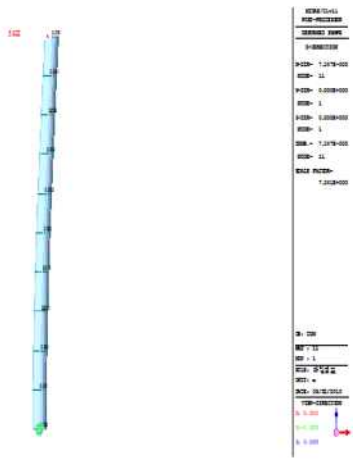
○ 파일을 수중 암반층까지 항타하는 강관파일 고정방식을 고려함



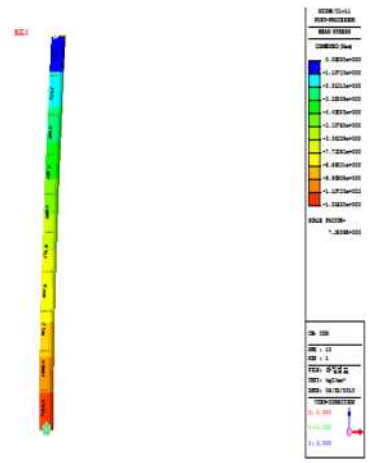
축력(max = 9.201tonf)



휨 모멘트(max = 62.402tonf-m)



변위(max = 0.075m)



응력(max = 1262.35kgf/㎠)

○ 제원 및 결과

| 구 분 | 609.6 × 12t, | |
|---|---|---|
| | Δt = 0 ㎜ | Δt = 2 ㎜ |
| 단면적 A (c㎡) | 560.0 | 527.6 |
| 단면계수 Z ($cm^3$) | 5,654 | 5,196 |
| 회전반경 r (cm) | 17.5 | 17.3 |
| 단면2차모멘트 Ix ($cm^4$) | 172,341 | 158,386 |
| 단면2차모멘트 Iy ($cm^4$) | 172,341 | 158,386 |

# 제4절 Mock up Test

## 1. 실험목표

○ 연구의 요소기술을 Mock-up에 적용하여 제품의 시공, 성능기술을 실현하고 평가 및 검증하고자함

## 2. 세부실험내용

○ 압축강도 및 동결융해저항성 평가

- 콘크리트 공시체를 이용하여 실제 해수 환경, 실험실 해수 환경 및 실험실 항온항습 환경 등의 환경 변수를 둔 실험으로 압축강도를 평가

○ 동요 측정 또는 영상변위측정

- 설계파랑하중에 따른 동요 진동 저감 효과 계측 분석, 영상 변위 시스템 안정적 측정상태 확인 및 활용가능성 평가

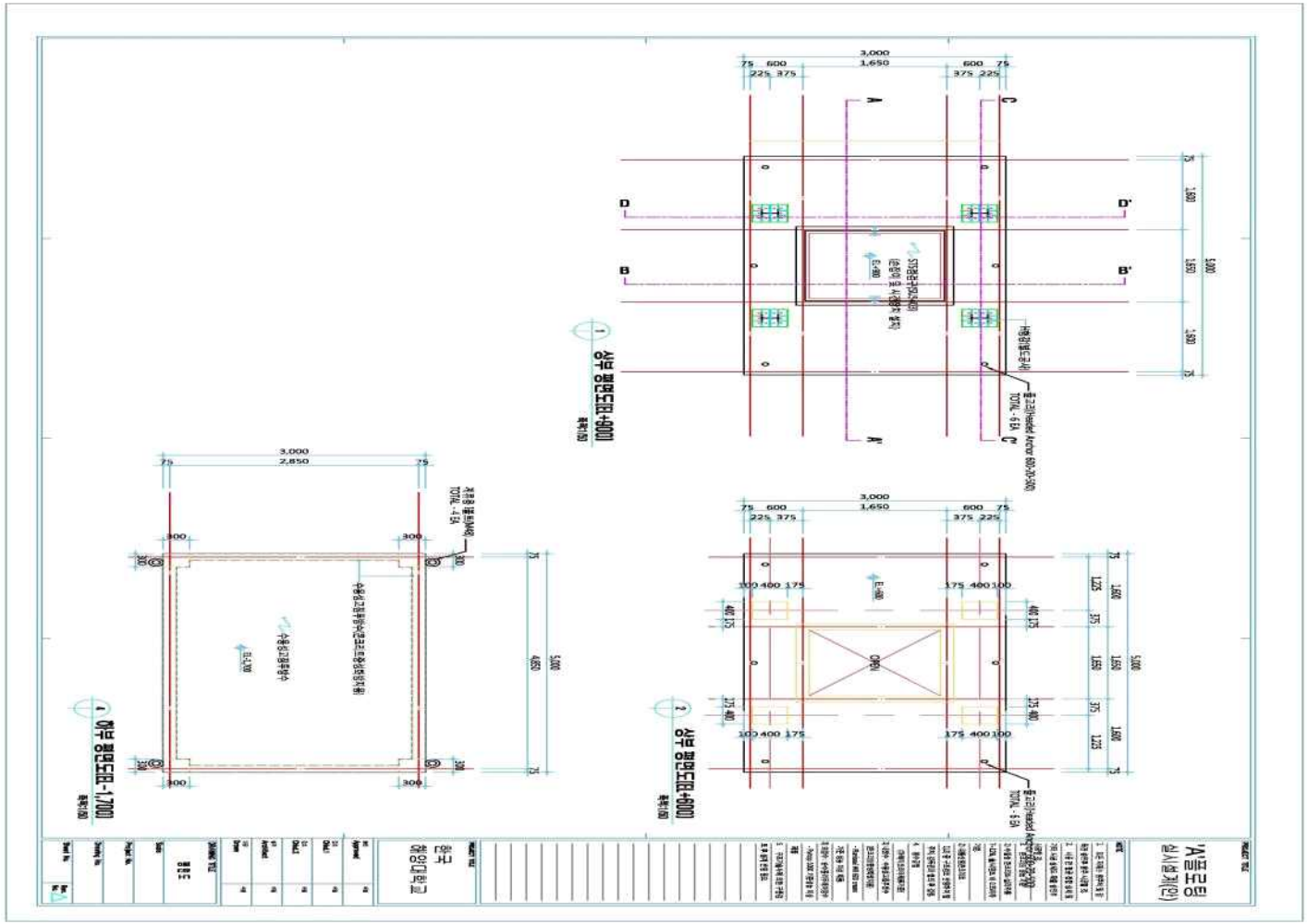
○ 염해저항성

- 코어 및 드릴을 이용하여 채취 및 절단된 시료를 KS F 2714, KS F 2714, KS F 2715, KS F 2717 기준에 따라서 전염화물, 가용성 염화물 값을 도출

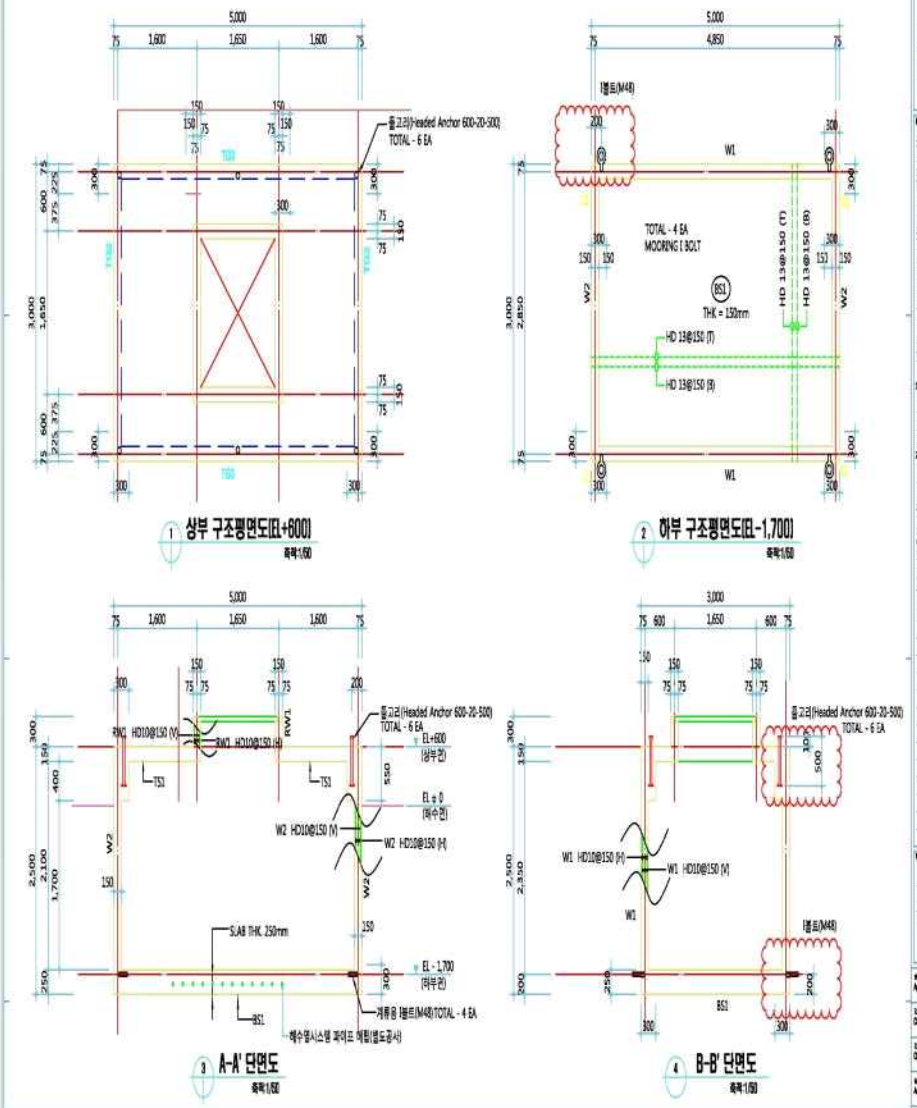
○ 콘크리트 플로팅 구조물의 건전성 평가

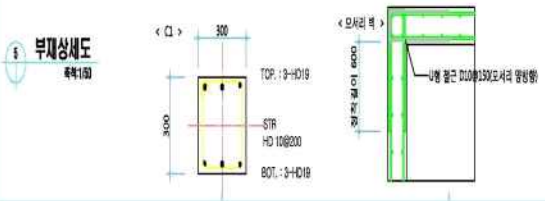
- 강제 진동 시험으로 시간영역에서의 입력하중과 출렬 응답을 계측한후 FFT로 치환하여 주파수 영역에서의 주파수 응답함수를 생성한 후 구조물의 동적특성을 추출하여 구조계 추정기법을 적용하여 유효물성치를 추정함

○ Mock-up 도면



골조 수정(2015.03.03)




'A'플로팅
실시설계(안)

한국
해양대학교

구조 개요 및 단면도 - 1
구조 철근배근도 - 1

KOE

P303-05

A01-202

○ 실험 전경

– 실험체 타설을 위한 철근 및 거푸집 조립





– 속이 비어있는 직육면체이며, 바닥면까지 한 번에 타설이 불가능하기 때문에 바닥 슬래브를 1차 타설 후 벽면 및 상부 슬래브를 동시에 타설함





– 상부 구조물을 설치한 후 크레인으로 이용해 바다에 진수시킴

– 파랑에 의해 옆 항만구조물과 부딪혀서 파손되는 것을 방지하기 위하여 펜더를 설치함

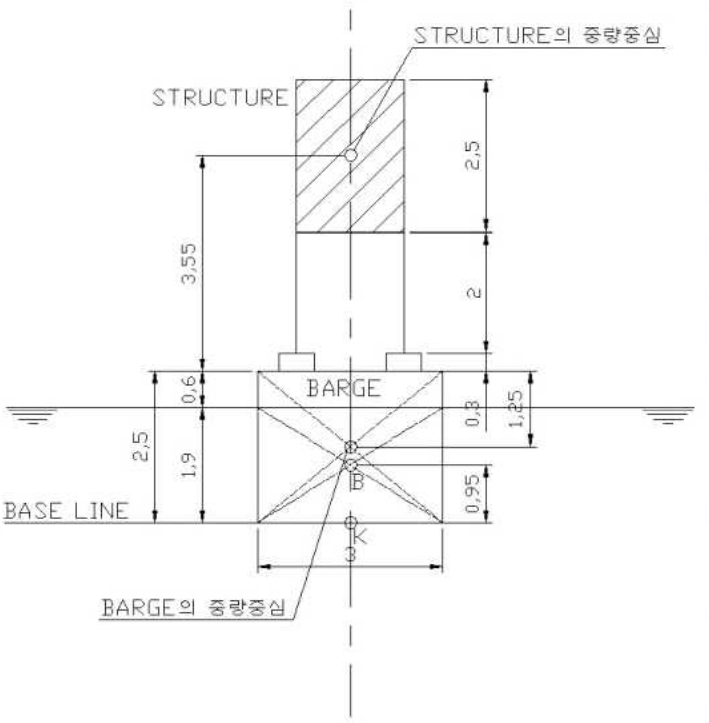




- 1차 진수 후 함체의 안정성에 대한 문제로 인해 다시 항만으로 옮김
- 상부 구조물의 영향으로 무게 중심이 위로 이동하였으며, 메타센터를 계산하여 안정성을 다시 확인 (이후 2차 진수에서는 상부구조물을 제거한 후 진수)








## 한국선급 - 부선예항검사 규칙

**202. 부선의 복원성**

1. 부선의 복원성 기준은 특별히 인정하는 경우를 제외하고는 경사시험을 시행한 결과의 값이 다음 표의 것 이상이어야 한다.

| 정하상태 | 만재상태 |
|---|---|
| GM ≥ 0.16B | GM ≥ 0.09B |
| (비고) B : 부선의 나비 | |

**[가정]**

1. 각 치수(DIMENSION)는 몰드선(MOULDED LINE)이 기준(계산의 기준에 대한 가정)
2. 그림은 단면의 형상을 나타내고 있음(좌표계에 대한 가정)
3. 바지(BARGE)의 형상은 길이에 따라 변하지 않음. 직육면체로 가정(부심위치와 BM계산에 대한 가정)
4. 바지(BARGE)는 균일한 재질로 만들어 졌음.(바지의 중량중심에 대한 가정)

**[GIVEN]**

1. BARGE 중량 = 29.000 TON
2. STRUCTURE 중량 = 0.400 TON
3. BREADTH = 3.000 M
4. DEPTH = 2.500 M
5. DRAFT = 1.900 M
6. 기선에서 STRUCTURE 무게중심까지의 거리 = 6.050 M

**[SOLUTION]**

GM = KMT - KG
GM = KB + BM - KG

1. KB

DRAFT/2 = 1.9/2 = **0.950** M

2. BM

BM = BREADTH$^2$ / (12 * DRAFT) = $3^2$ / (12 * 1.9) = **0.395** M

3. KG

| 중량물 | 중량 | VCG | V-MOMENT |
|---|---|---|---|
| BARGE | 29.000 | 1.250 | 36.3 |
| STRUCTURE | 0.400 | 6.050 | 2.4 |
| RESULT | 29.400 | **1.315** | 38.7 |

4. GM

GM = KB + BM - KG = 0.950 + 0.395 - 1.315 = **0.029** M (불만족)

## 2. 실험결과

○ Mock-up 구조물 구조계 추정결과( p 171 참조)

- 전체 부재 요소를 1개의 유효물성치를 가지는 그룹으로 지정하여 만든 수치해석 모델의 결과 값과 강제진동 실험의 결과 값을 이용하여 구조계 추정기법을 적용한 결과는 다음 표와 같이 나타남

구조계 추정결과

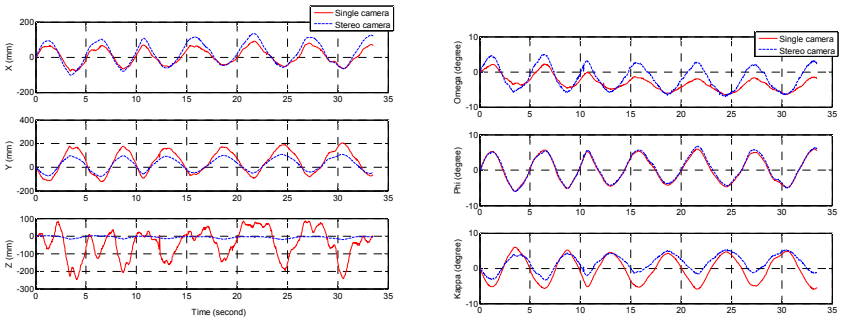
| Mode | Frequency of Initial FE model | Updated Frequencies (Hz) | | Frequency of Target Structure | Error (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Iter. 1 | Iter. 3 | | Initial | Final |
| 1 | 45.58 | 45.58 | 48.686 | 48.8 | -5.13 | -0.23 |
| 2 | 79.08 | 79.08 | 84.467 | 84.2 | -4.61 | 0.32 |
| 3 | 160.9 | 160.9 | 171.86 | 172 | -4.99 | -0.08 |

| Elasticity Modulus ($N/m^2$) | Initial Value | Updated Value | |
|---|---|---|---|
| | | Iter. 1 | Iter. 3 |
| | 2.5791E+10 | 2.5791E+10 | 2.8522E+10 |

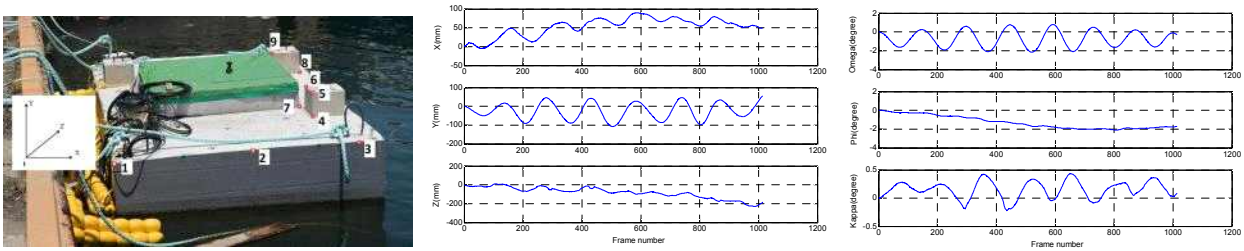
- 추정된 탄성계수 값은 2.8522E+10$N/m^2$이며 콘크리트 강도 C30 이상의 강도로 설계 강도보다 높게 추정됨

○ 영상기반거동( p 187참조)

- 입체 동영상을 이용한 관측과 그 중 한 개의 동영상을 이용한 관측의 정확도 비교



- Mock-up을 대상으로 거동 측정

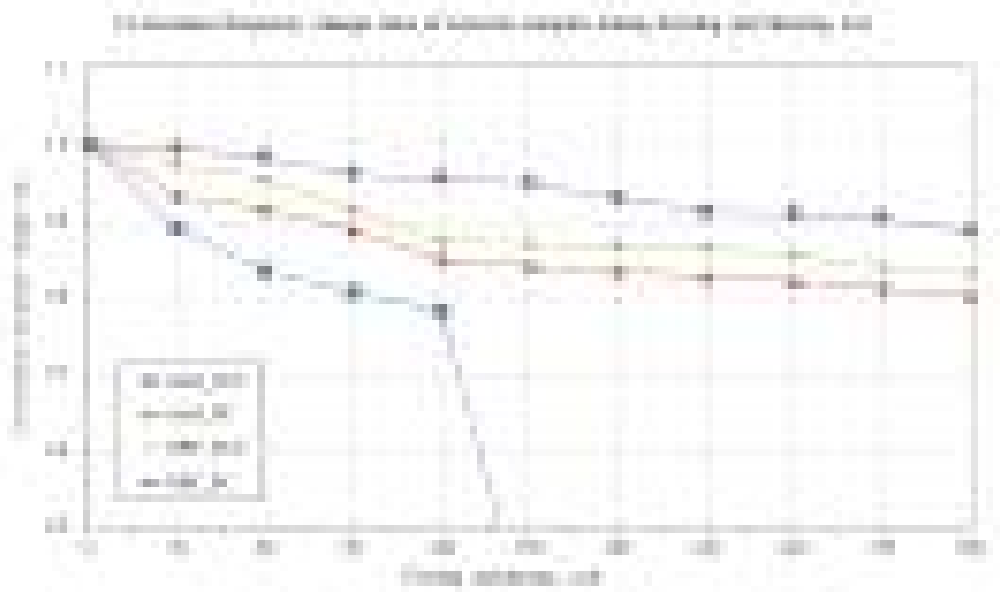



Mock-up 모델과 기준점, 6DOF의 이동량과 회전량

○ 동결융해 저항성능 평가 ( p 234 참조)

○ 동결융해 저항성능시험 결과

- 알칼리 활성 슬래그 콘크리트는 OPC 콘크리트에 비해 동결융해저항성능이 떨어짐
- 알칼리 활성 슬래그 자기충전 콘크리트는 동결융해 150 사이클을 넘지 못하고 부서짐
- 일반시멘트를 이용한 자기충전 콘크리트와 프리캐스트 콘크리트는 모두 동결융해 300 사이클을 넘김
- OPC 시멘트 및 알칼리 활성 슬래그 콘크리트 모두 증기양생을 한 프리캐스트 콘크리트가 더 우수한 동결융해저항성능을 보임
- 프리캐스트용 알칼리 활성 슬래그 콘크리트는 300사이클을 넘김



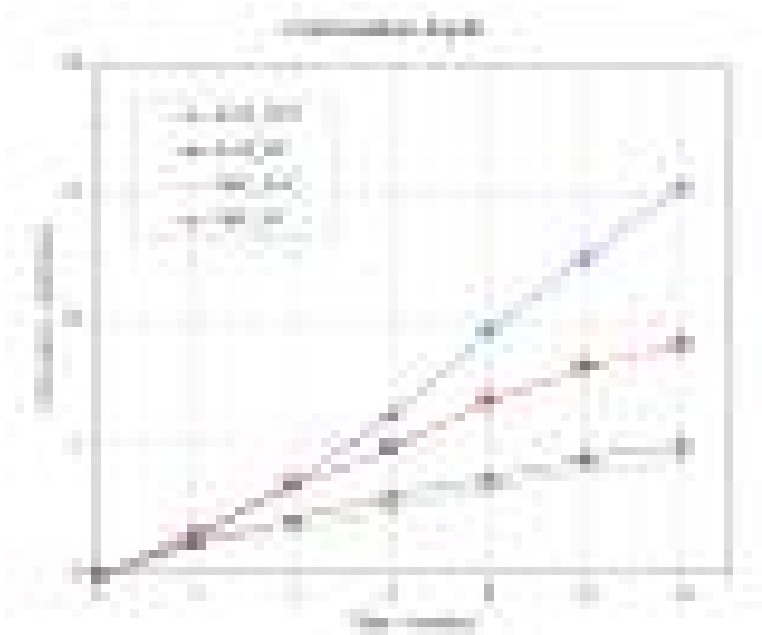
[그림2-13-11] 동결융해 저항성 평가

○ 염소이온 침투 저항성능 평가

- 변수 : 물/결합재비, 양생조건, 혼화제 첨가량
- 양생조건은 실험실(해수), 실험실(대기) 2가지로 설정
- AAS 와 OPC 콘크리트의 자기충전(SCC) 타입과 PC 타입을 적용하여 평가
- AE제 첨가량과 W/B가 증가함에 따라 압축강도는 감소하고 공극률은 증가
- 시멘트와는 다른 재료 특성 상 시료 전처리 방법에 대한 보완이 필요

○ 촉진 중성화 시험 결과 ( p 236 참조)

- AAS 자기충전 콘크리트는 강도가 가장 높지만 중성화 속도가 가장 빠르게 나타남
- 중성화 진행부분에서 약 50% 정도의 강도 손실이 발생함(OPC는 강도 증가)
- OPC 대기양생과 증기양생 모두 비슷한 중성화 속도를 나타냄
- AAS 콘크리트는 초기 증기양생이 중성화 저항성능 향상에 기여함
- OPC 수준의 중성화 저항성능 확보가 필요



AAS 결합재의 촉진중성화 시험 결과

## 제5절 지침제안

○ 연구의 요소기술을 대한건축학회 기술표준(지침)으로 제정하기 위하여 제안함

| | 기준명 | 분류코드 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 플로팅 건축물 구조안전성 평가 지침 | PR-AIK-G-002-2015 | p. 225 참조 |
| 2 | 플로팅 구조해석 및 사용성 평가 지침 | PR-AIK-G-003-2015 | p. 99 참조 |
| 3 | 부유식구조물 건전성 평가 지침 | PR-AIK-G-004-2015 | p. 193 참조 |
| 4 | 플로팅 건축물 콘크리트 폰툰 모듈 연결부 설계지침 | PR-AIK-G-005-2015 | p. 241 참조 |
| 5 | 플로팅 건축물 상부시설 계획 지침 | PR-AIK-G-006-2015 | p. 379-399 참조 |
| 6 | 플로팅 건축물 피난 및 방재 계획 기준 | PR-AIK-C-001-2015 | p. 587-605 참조 |
| 7 | 플로팅건축 BIM적용 설계 매뉴얼 | PR-AIK-M-001-2015 | p. 799 참조 |
| 8 | 플로팅건축 설비설계 기초 매뉴얼 | PR-AIK-M-002-2015 | p. 844 참조 |
| 9 | 플로팅 건축공사 안전 매뉴얼 | PR-AIK-M-003-2015 | p. 838-841 참조 |

# 제6절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

○ 1세부과제

## 1. 국내 시장 전망

- 해안을 끼고 있는 자치단체들에서 마리나 시설 설치계획을 발표함에 따라 수요에 대응하는 해양레저 및 문화시설 목적의 건축물을 설계하기 위한 기초자료로 활용 가능성이 높음
- 기존의 플로팅 구조물의 설계를 위한 지침서가 미비하였으나, 콘크리트 합체구조설계기준으로 인한 구조설계 실무자에게 효율적인 설계를 도모함
- 조선 산업 기술에 근간을 두고 해양구조물의 기술개발을 하던 기존의 방식에서 문화, 레저, 복합기능 등을 갖는 부유식 건축구조물의 기술개발을 도모함
- 진동환경에 대한 거주자의 요구가 증가하면서 풍하중, 교통, 보행하중등에  의해 유발되는 진동을 저감하기 위하여 시스템 적용일 활발히 이루어지고 있음. 이미 국내에서도, 고층구조물, 장대교량뿐만아니라, 보도교나 슬래브의 진동을 저감하기 위한 진동저감시스템이 적용되고 있고 향후 더욱 많은 저감시스템이 활용될 예정임
- 특히 국내 건축기준에 지진에 대한 진동저감에 국한되어 있기 하지만, 진동제어 장치에 대한 법제화과정이 이루어지고 있어며, 이를 통해 안전적이며, 신뢰성이 높은 진동제어장치의 적용이 장려될 예정이며, 그에 따라 국내 시장 또한 성장할 가능성이 큼
- 영상을 이용한 산업 응용은 제한적으로 이루어지고 있지만, 영상을 활용한 자세, 진동, 측정 등의 산업 응용 연구는 꾸준히 지속될 것으로 보임
- 플로팅 구조물의 접합부 설계 시 접합부의 성능 예측 및 설계에 활용 가능
- 전이보 시스템의 응력집중현상 완화효과를 플로팅 구조물에서 하부 폰툰의 합리적 설계에 활용 가능
- 플로팅 구조설계 시스템 및 플로팅건축 시스템 설계기술은 다양한 마리나 건설시 요소기술 활용
- 해양부유식 구조물 사업 영역은 건설사와 조선사의 사업영역이 중첩되는 부분이 있음. 국내의 전통적인 건설사 (시공 및 설계사)의 해양 부유식 구조물에 시공에 대한 관심은 커지고 있으나, 아직까지 활발한 국내 시장은 형성되고 있지 않음.
- 반면에, 국내 조선사의 에너지 시추 장비와 연관된 해양구조물 수주량은 유가(WTI 기준)가 50달러대에 진입한 2005년 이후 증가 추세임
- 유가 상승으로 인해 E&P (exploration & production)사업의 손익 분기점이 크게 낮아짐에 따라 오일업체가 공격적으로 해양구조물을 발주할 수 있는 여건이 조성되었음

○ 삼성중공업은 해양구조물 시장의 수요증가에 대비하기 위해 미국과 인도에 해양구조물 설계회사를 설립하였음.

○ 최근 경제·사회 패러다임의 변화로 환경·경제 효율성과 순환자원의 활용을 추구하는 자원 순환형 경제·사회로 전환됨에 따라 다양한 폐기물 재활용 정책 및 설계기준(그린 시방서)들이 수립되고 있음

○ 콘크리트 산업분야에서는 시멘트의 부정적인 환경영향(높은 CO2 배출 및 천연자원 소비)을 최소화하기 위하여 시멘트 최소화 또는 대체 콘크리트에 대한 투자가 증가하고 있음

○ 건설 분야의 환경부하 저감 및 로우테그(Low-Tech) 이미지 개선과 급변하는 친환경 시장에서의 새로운 기회 창출을 위해 친환경 콘크리트의 내열화 기술 개발 등 건설 신기술 개발에 대한 요구가 증가

○ RC조 구조물이 유해이온에 의하여 철근이 부식된 경우에는 폐기물 발생 및 단면복구 등으로 환경문제 유발, 유한자원의 고갈 및 막대한 유지관리비용이 들기 때문에 침투하는 열화인자를 능동적으로 제어하는 선대응적 신개념 기술 개발이 필요

○ 해양이 3면으로 둘러 쌓인 국내에서 해양 콘크리트 구조물의 최적 유지관리 시스템의 구축은 건축뿐만 아니라 토목구조물, 사회간접자본의 효율적 유지관리를 위해서도 반드시 필요하며 향후 사회적 소요비용의 절감에 기여할 것으로 사료됨

## 2. 국외 시장 전망

○ 해상 플로팅 구조물의 건설은 증가 추세에 있으며, 연구결과를 통하여 신흥개발도상국 등의 해외시장 개척에 기여가 가능함

○ 우리나라와 같이 넓은 해수면을 끼고 있는 국가의 새로운 패러다임의 건축기술을 활용할 수 있음

○ 국외에서도 플로팅 건축구조물의 설계에서 신뢰성기반 설계나 위험도평가를 고려한 설계에 대한 수요가 생겨나는 시점으로 국외시장 확보에 활용될 수 있음

○ 국외에서는 1970년대에서부터 구조물이 진동을 저감하기 위한 장치가 적용되고 있음. 특히 능동형 제진장치는 일본을 중심으로 이미 1990년대 급격한 발전을 이루었는데 이러한 효과가 전세계적으로 확대되고 있음

○ 구조물을 구성하는 질량, 강성등만으로 진동을 줄이는 것이 한계점이 있음이 설계자에게 보편적으로 인식되면서 진동제어장치에 대한 관심이 커지고 있으며, 이를 이용하여 구조물의 성능을 개선하기 위한 노력이 계속되고 있음

○ 특히 다국적 설계회사들은 구조물 설계에 제진장치를 적극적으로 도입함으로서, 진동에 대한 구조물의 성능개선을 유도하고 있어 이에 대한 국제적인 시장은 더욱 커질 것으로

전망하고 있음

○ 광학 기술, 사진측량, 영상을 이용한 산업용 측정 기술은 독일, 미국, 일본 등 주요 선진국에서 국내보다 우위에 있음.

○ 중국의 급격한 기술 발전과 산업 발달로 영상기반 센서 제조 부분에서도 빠른 발전이 예상됨.

○ 거동 측정관련 하드웨어 기술이 선진국에 근접하고 있지만, 소프트웨어 기술이 아직 선진국에 미치지 못하고 있으며, 본 연구를 지속하여 수입 대체 및 기술 주도가 필요함.

○ 플로팅건축 요소기술에서 특화된 전문기술력으로 발전시켜 국제화를 달성과 동시에 시장 확보

○ 플로팅 상부구조물 접합부 해석 및 설계기술은 해외 플로팅건축 사업 참가에 발판이 될 것

○ 국외의 레저·관광 용도의 부유식 해상구조물의 활용사례는 베트남 호치민시에 건설되어 있는 해상호텔, 홍콩의 해상 레스토랑, 일본 히로시마 현의 플로팅 아일랜드, 오끼나와의 아쿠아폴리스 등을 들 수 있음.

○ 교통·물류관련 시설로는 알라스카 발데스 항의 부유식 에이프런, 카나다 밴쿠버의 부유식 헬리포트, 부유식 해상 곡물터미널 등이 있음.

○ 해상 플로팅 구조물의 건설은 증가 추세에 있으며, 본 연구결과는 이러한 해외시장 개척에 적용하여 해외시장 개척에 큰 기여를 할 수 있음.

○ 전 세계적으로 그린기술(Green Technology) 시장이 기하급수적으로 늘어남에 따라 친환경 건설자재 분야의 성장 또한 향후 10-20년간 크게 늘어날 것으로 예상됨

○ 2010년 이후 플랜트 건설 수출은 국가 3대 수출 산업의 하나로서 전략적으로 민·관에서 투자하고 있지만 경쟁력 잇는 요소기술들이 아직 미흡하며, 특히 수출가능 지역의 지역적 재료조달 특성을 고려한 친환경 기술의 정립이 요구

○ 선진국의 콘크리트 구조물은 축조 후 50년 이상 경과된 것이 매우 많아 이를 효율적으로 보수·보강하기 위해서는 막대한 유지관리비용이 들기 때문에 열화피해를 입은 구조물의 내구성 향상, 성능평가 및 보수·보강을 위한 연구가 국가적으로 진행되고 있음 (유럽:Duracrete, 일본:내구성향상 기술 개발, 미국:Life-365 등)

○ 전 세계는 지구환경부하 저감을 위하여 주요 온실가스인 CO2를 건설분야에서 획기적으로 줄이기 위하여 CO2를 포집하고 저장하는 CCS 기술뿐만 아니라 CO2를 적극적으로 활용하는 연구가 진행되고 있음(미국:DOE, 일본:RITE, 영국:TBD)

○ 해양 콘크리트 구조물의 유리관리 요소기술을 기반으로 첨단 ICT융합 기술로 발전시킨다면 국외 수출이 가능할 것으로 기대됨

○ 외부전원 방식공법 적용에 있어 최적 경계값 설정 및 복합열화 수명산정 기법 등은 국제

적으로 탁월한 기술이며 이를 기반으로 기술상품화가 가능할 것으로 기대됨

◯ 2세부과제

## 1. 국내시장 전망

○ 해양관광, 해양레저 등 수상공간을 활용한 다양한 활동들이 증가하면서 수상공간 활용에 대한 요구가 증가하고 있으며, 전국적으로 다양한 개발계획이 진행 중에 있음

○ 이러한 수상공간에 대한 수요로 인하여 연안, 호수 및 강에 유람선 선착장 및 수상레스토랑 등의 목적으로 백여개의 플로팅 건축물이 설치되어 운영 중에 있음

○ 한강에 13개 업체의 23개 유선장이 설치되어 운영 중에 있으며, 세빛둥둥섬과 서울마리나 센터가 플로팅 건축물로 설치되어 사용되고 있음

○ 남해안에는 바다낚시를 위한 해상콘도 형식의 플로팅 건축물이 60여개 설치되어 운영 중임 (수상호텔, 리조트 등 대규모 플로팅건축물은 현재 없음)

○ 최근에 우리나라에서도 항만시설이나 항만친수시설을 비롯하여 부산의 동백섬 서안과 인천 용유도 인근 공유수면 등에 수상 관광호텔을 비롯한 다양한 플로팅건축물이 계획

○ 또한, 국토해양부에서는 2012년 여수세계엑스포의 시설 일부를 플로팅 건축물로 설치하고, 지금까지 초대형 부유식 해상구조물을 이용한 해상산업기지 기술개발을 계속해 오고 있음[56)]

○ 이와 같이 향후 사회적·경제적·문화적인 생활패턴의 변화로 인해 국내에 많은 플로팅 건축물이 설치될 것으로 예상됨

○ 현재의 각 지자체별 개발계획에 비추어 볼 때 매년 5개 플로팅 건축물이 조성된다면 연간 약 3,000억~5,000억원 정도의 직·간접적인 경제 효과가 발생할 것으로 예상되며, 이에 따른 성능기반의 전문화된 설계 서비스에 대한 수요의 증가로 요소기술에 대한 요구가 급증할 것으로 예상됨

○ 본 연구를 통해 개발된 상부시설 통합설계 지침, 쾌적환경 설계기술, 신재생에너지 적용기술, BIM기반 설계기술 등의 최종 성과물들은 향후 증가가 예상되는 플로팅 건축물의 수요에 대응하여 필요한 요소기술을 제공하고 관련 산업을 활성화 시키는데 기초가 될 것임

○ 플로팅 건축물 상부시설 통합설계 지침과 해설서는 플로팅 건축물을 설계하는데 가이드라인 역할을 하여 건축주 및 설계자가 보다 쉽게 플로팅 건축물을 계획하고 설계할 수 있도록 할 것이며, 지금까지 플로팅 건축물 설계 과정에서 관련 기술의 부족으로 인해 발생한 사회적, 기술적 비용을 많은 부분 절감 시켜 줄 것으로 기대함

56) 해양수산부, 2006년 주요업무계획: 2006년도 중점추진계획 참조

○ 무엇보다도 플로팅 건축물을 위한 새로운 법제도는 보다 쉽게 플로팅 건축물을 활용할 수 있도록 해 줄 것이며, 관련 산업 활성화를 위한 사회적 기반이 될 것임

○ 플로팅 건축물 피난 및 방재계획 기준은 플로팅 건축물의 안전성뿐만 아니라 이용자의 안전성을 확보할 수 있는 최소한의 방안을 제시하여 플로팅 건축물이 재해로부터 안전한 시설물이란 인식을 사람들에게 심어 주어 보다 많은 수요를 창출해 낼 수 있을 것으로 사료됨

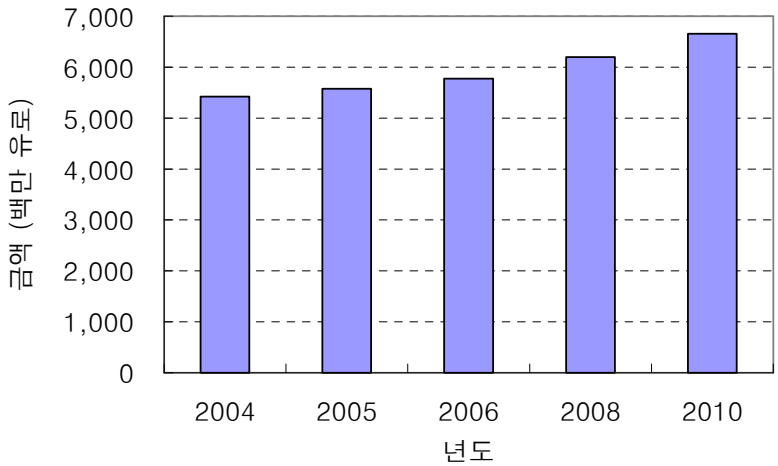
○ 요소기술의 적용으로 인허가절차 단축, 설계기간 단축 등의 전체적인 공기단축과 이에 따른 시간과 비용의 절감에 따른 사회적, 경제적 파급효과가 클 것으로 예상됨

## 2. 국외시장 전망

○ 영국의 비즈니스 컨설팅 회사인 더글라스 웨스트우드사[57]의 세계 해양시장(2005) 분석 자료를 보면 해상스포츠 및 요트를 정박하기 위한 마리나 시설산업을 포괄한 해양관광산업은 20개 해양산업 분야에서 2위를 나타내고 있음

○ 2005년 대비 2010년 성장률은 18%로 예상되며, 2010년 기준 예상 산업비중은 204,614백만 유로임

○ 해양관광산업 관련 플로팅 건축물의 세계시장규모 추정은 다음과 같음




[그림 3.5.1] 세계 플로팅 건축물 시장규모 추정[58]

○ 최근에는 세계적으로 이상기후에 의한 해안지역 침수에 대비하여 플로팅 건축물의 시장이 확대되고 있으며, 특히 유럽에서 저지대에 위치하여 침수에 따른 피해를 가장 염려하는 네덜란드, 덴마크, 독일 등 연안 국가에서 플로팅 건축물의 시장을 선도하고 있음

57) 더글라스 웨스트우드사, 세계해양시장분석(2005) / www.dw-1.com
58) 국토해양부, 플로팅건축 설계기술개발 연구기획, 2009, p27에서 인용

○ 네덜란드 암스테르담의 내수면에는 2400채의 플로팅 주거시설이 있으며, 이중에서 750채가 암스테르담 중심부에 정박하고 있으며 지면이 해수면보다 낮은 네덜란드에서는 지구온난화에 의한 해수면 상승으로 인해 저지대의 주거지가 침수되는 것을 방지하기 위해 플로팅건축물 특히 플로팅 주택 및 주거단지의 기술개발을 정책적으로 지원하고 있음

○ 영국에서는 15,000명 이상이 강, 운하, 바다 등 수상에 위치한 플로팅 주택에서 생활하고 있으며 The Houseboat Center에서 플로팅 주택 및 수상주거생활에 관한 다양한 정보를 제공하고 있음

○ 최근에는 두바이, 아부다비 등의 중동지역과 동남아 지역에서 지구온난화에 따른 해수면 상승에 대비하고 증가하고 있은 해양관광과 같은 수상이용 수요에 대응하기 위하여 플로팅 호텔 및 리조트, 플로팅 크루즈터미널 등 다양한 용도, 형태의 플로팅 건축물 계획 및 건설이 활발해지고 추진중에 있음

○ 이러한 세계적인 수요에도 불구하고 플로팅건축 선진국이라 할 수 있는 네덜란드, 덴마크 등의 유럽 국가의 전문 기업들이 기술력을 기반으로 중동과 동남아시아의 플로팅 건축물 시장을 선점하고 있음

○ 본 연구를 통해 개발된 상부시설 통합설계 지침, 쾌적환경 설계기술, 신재생에너지 적용기술, BIM기반 설계기술 등의 최종 성과물들은 플로팅건축 선진국과의 기술력 차이를 좁혀주며 중동 및 동남아시아 지역의 플로팅 건축물 수요에 효율적으로 대응할 수 있는 기술력의 기초가 될 것임

○ 향후 본 연구에서 개발된 요소기술들을 국내외 산업 현장에서 직접 시현해봄으로써 기술력을 향상시키고 특화된 전문기술력으로 발전시킨다면 유럽 국가들이 선점하고 있는 해외시장에서 충분한 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단됨

# 제4장 연구목표 달성 및 효과

## 제1절 연구개발 목표의 달성도

○ 연구단 총괄

| 목 표 | | 달성도 (%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 총괄 | ▪ 연구지원 행정업무 | 100% | ▪ 협동연구기관에 연구비 배분 및 조속한 전달<br>▪ 평가원 공지사항 등 연구단 구성원에 전달<br>▪ 연차보고서 취합, 조정, 편집, 인쇄 및 제출 |
| | ▪ 연구단 운영안 정립 | 100% | ▪ 연구단 홈페이지 운영<br>▪ 연구단 운영방안 점검 및 개선<br>▪ 연구단 자문위원 교섭 |
| | ▪ 효율적 연구단 운영 | 100% | ▪ 연구단 정기 워크숍 주관<br>▪ 연구단 원격 통신 시스템 구축<br>▪ 연구단 과제 평가 진행<br>▪ Mock-up 실험 계획 추진<br>▪ 지자체-기업과의 협력을 통한 실용화 계획 추진 |

○ 1세부과제

# 1. 플로팅 구조물 상호작용해석

## 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-1-1 | ▪ 플로팅 구조물의 상호작용해석기법 | 100% | ▪ 함체와 상부구조물의 상호작용해석기법 정립<br>▪ 콘크리트 함체 구조설계기준 제안 |

## 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 구조물 상호작용해석 모형 및 초기 설계식 제안 | ▪ 플로팅 구조시스템의 해석자료 수집<br>▪ 단계별 해석 모형 정립 및 설계 프로세스 개발 |
| ▪ 상호작용해석/설계 및 하중의 산정 | ▪ 일체형 함체의 유탄성 해석<br>▪ 환경하중의 조사/ 분석<br>▪ 예제구조물의 콘크리트 함체/계류시스템 설계 |
| ▪ 상호작용 상세해석에 의한 실구조물 설계 기술 | ▪ 상세해석을 통한 일체형/반강접 함체의 해석 및 실험<br>▪ 플로팅 건축구조설계 기준안 작성<br>▪ 하중산정에 따른 유탄성 Response Spectrum해석 |
| ▪ 플로팅 구조물의 최적화 설계기법 | ▪ 시설계의 환경하중 조사/시뮬레이션<br>▪ 계류장치를 포함한 플로팅구조물의 해석/실험<br>▪ 콘크리트 함체 설계기준안 작성 |
| ▪ 플로팅 구조물의 설계기법 제시 | ▪ 플로팅 구조물의 설계 지침 작성 |

## 2. 계류시스템 계획 대안 설계

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-1-2 | ▪ 계류시스템의 적정 설계 | 100% | ▪ 계류시스템의 대안설계<br>▪ 대안 계류시스템의 경제성 비교 분석 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 계류시스템의 종류에 따른 경제성 분석 | ▪ 계류시설형식(강관파일식, 시플렉스식, 체인식)별 특성 및 부유체 설치 계획지점에서의 경제성 비교 |
| ▪ 계류시스템 상세 설계 | ▪ 시설계 계류시스템 상세 설계 |
| ▪ 플로팅 계류시스템 대안제시 | ▪ 대안 계류 시스템의 안정성 분석<br>▪ 계류시스템 지침 작성 |

## 3. 플로팅 건축 구조계획 대안 설계

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-1-3 | ▪ 플로팅 건축 구조계획 대안 설계 | 100% | ▪ 플로팅 건축(상부골조)의 구조계획 및 설계에 관한 지침개발<br>▪ 플로팅 건축(상부골조)의 설계를 위한 특허 출원 및 이를 이용한 재설계 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 건축 구조해석 설계와 대안분석 | ▪ 플로팅 건축 설계시안에 대한 구조해석 및 설계<br>▪ 구조계획의 대안설계와 VE분석 |
| ▪ 플로팅 건축 구조해석 설계와 대안분석 | ▪ 시설계 기획안의 상세실시설계와 VE대안설계 |
| ▪ 플로팅경축 상부구조설계 지침개발 | ▪ 플로팅 건축(상부골조)의 구조계획 및 설계에 관한 지침개발 |

## 4. 플로팅구조물의 확률론적 안전성평가 기술 개발

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-1-4 | ▪ 플로팅구조물의 확률론적 안전성 평가기술 개발 | 100% | ▪ 플로팅건축 맞춤형 확률설계변수의 선정 및 결정<br>▪ 확률변수의 통계특성치 결정기법 및 프로그램 개발<br>▪ 플로팅건축물의 위험도 평가기법 및 수치해석 프로그램 개발 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 확률론적 안전성평가 기술개발에 대한 기반확립 | ▪ 확률론적 안전성평가 관련 국내외 선행연구 조사와 분석<br>▪ 플로팅구조물의 신뢰성평가에서 고려해야 할 특성 파악 |
| ▪ 주요 확률변수 선정 및 통계특성치 결정기법과 프로그램개발 | ▪ 플로팅건축물 설계 및 환경특성 검토, 분석 및 주요 확률설계변수 선정<br>▪ 확률변수 통계특성치(평균, 표준편차, 확률분포형태) 결정기법 정립 및 컴퓨터 프로그램 개발 |
| ▪ 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석 기법개발 | ▪ Latin Hypercube sampling, Response surface method와 MCS, FORM의 조합을 통한 효율적 신뢰성분석 기법 개발<br>▪ 예제분석을 통한 개발 알고리즘 정확성 및 경제성 검증 |
| ▪ 플로팅건축 맞춤형 신뢰성분석 수치해석 도구개발 및 검증 | ▪ 플로팅구조물 확률론적 안전성평가 수치해석도구(컴퓨터 프로그램) 개발<br>▪ 사례분석 통한 개발 수치해석도구 사용성 및 정확성 검증 |
| ▪ 플로팅건축 확률론적 안전성평가기법 통합 및 실증연구 적용 | ▪ 개발 알고리즘과 프로그램을 이용하여 플로팅건축물 확률론적 안전성평가기법의 통합<br>▪ 시설계에 적용을 통한 실증연구 |

## 5. 플로팅 함체 대안 설계

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-1-5 | ▪ 플로팅 함체의 대안 설계 | 100% | ▪ 플로팅 함체 설계 및 구조도면 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 하부 구조시스템 시설계 | ▪ 플로팅 함체 구조시스템 계획 및 해석<br>▪ 플로팅 건축을 위한 확장폰툰 개발 |

## 6. 플로팅 건물의 사용성 평가

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-1-6 | ▪ 플로팅 구조물의 사용성 평가 | 100% | ▪ 플로팅 함체의 시간이력 해석에 따른 거동특성<br>▪ 풍◦파랑하중의 동시작용에 따른 사용성 평가 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 구조물의 사용성 평가 | ▪ 풍◦파랑하중의 작용에 대한 사용성 평가<br>▪ 가상 수치 시뮬레이션 |

## 7. 동요진동 저감기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-2-1 | ▪ 동요진동 저감 설계 기술 개발 | 100% | ▪ 플로팅 구조물 제진장치 연계해석모델구축<br>▪ 제진장치에 의한 플로팅 구조물 진동저감시스템 구축 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 동요진동 및 제진장치 성능분석 | ▪ ICA 기법을 이용한 플로팅 구조물의 동적특성 추정 |
| ▪ 제진장치 해석모델 개발 | ▪ 유체-구조물 상호작용을 고려한 플로팅 구조물 해석모델 구축 |
| ▪ 플로팅 구조물 동요진동을 위한 제진장치 성능평가 및 최적화 기술 개발 | ▪ 함체 -제진장치 통합 해석모델에 의한 동요진동 저감효과 평가 |
| ▪ 제진장치 실용화 및 시작품 제작 | ▪ 축소플로팅 시제품 제작 및 자유진동실험에 의한 진동제어효과 검증 |
| ▪ 동요진동 저감 기술 이전 보급 | ▪ 3차원 수조실험에 의한 진동제어 효과 검증 |

## 8. 플로팅 구조물 동요진동 평가

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-2-2 | ▪ 플로팅 구조물 동요 진동 평가 | 100% | ▪ 강체 규모산정<br>▪ 저진동 경량 폰툰 개발 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅함체의 강체 규모 산정 및 동요 진동 평가 | ▪ 플로팅 함체 강체규모 및 거동해석<br>▪ 저진동 초경량 함체 구조시스템 개발<br>▪ 플로팅 함체 2D, 3D 수조실험 진동 계측 |
| ▪ 저진동 경량폰툰 개발 | ▪ 경량 단위폰툰 개발<br>▪ 플로팅 건축을 위한 확장폰툰 개발 |

## 9. 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-2-3 | ▪ 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발 | 100% | ▪ 가속도 응답 데이터 분석을 통한 플로팅 구조물의 동특성 추출 기술 개발<br>▪ 송상탐지기법을 이용한 손상부의 위치 및 손상도 추정 기술 개발<br>▪ 구조계 추정기법을 통한 플로팅 구조물의 유효물성치 산정 기술 개발 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 구조물의 건전도 평가기술의 이론 정립 | ▪ 모달 변형에너지를 이용한 손상탐지 기법 개발<br>▪ 고유진동수를 이용한 구조계 추정기법 개발 |
| ▪ 플로팅 구조물의 축소모형을 통한 건전도 평가기술 검증 | ▪ 축소모형 건전성 평가를 위한 수조실험 수행<br>▪ 모의손상의 손상위치 및 손상도 추정<br>▪ 구조계 추정기법을 통한 축소모형 유효물성치 산정 |
| ▪ 실측을 통한 건전도 평가기술 검토 및 검증 | ▪ 연구수행을 위한 대상 구조물 조사 및 선정<br>▪ 플로팅 구조물 동적 응답 계측 및 분석<br>▪ 구조계 추정기법을 통한 대상 구조물 유효물성치 산정 |
| ▪ 주기적 실험을 통한 실제 구조물의 건전성 평가 | ▪ 플로팅 구조물 유효물성치 산정<br>▪ 유효물성치 변화 비교를 통한 건전성 평가 |
| ▪ 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 실용성 검토 및 검증 | ▪ 플로팅 구조물의 손상탐지 및 유효물성치 추정을 통한 건전도 평가<br>▪ 플로팅 구조물 가속도 응답을 이용한 사용성 평가 |

## 10. 영상기반 동적 거동모니터링 기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-2-4 | ▪ 플로팅 건축물의 거동 모니터링을 위한 원격 계측 기술 개발 | 100% | ▪ 영상기반 거동 측정 시스템 개발 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 수리모형실험을 위한 기초연구 및 실험 | ▪ 함체 수리모형 모델 및 축소모형 디자인<br>▪ 계류시스템의 장력 측정 센서 개발 및 실험 |
| ▪ 영상기반 모니터링 | ▪ 동적 거동 인자 결정<br>▪ 입체 영상 측정 실험<br>▪ 영상기반 3차원 위치 결정 |
| ▪ 점기반 변위관측 방법을 평가하고, 영상기반 측정 지원 | ▪ RFID, 레이저 변위계, Total station, GPS 등 다양한 방안을 조사하고 실험<br>▪ 부유체 모형의 변위 관측을 위한 지원 |
| ▪ 영상기반 동적 거동 모니터링 기술의 수리모형 실험 | ▪ 영상기반 변위 측정 프로그램의 작성<br>▪ 구조체의 실내외 변위 측정 실험 |
| ▪ 플로팅 구조물의 위치 변동 측정 적용 | ▪ 프로그램 매뉴얼 작성<br>▪ 프로그램 개선 |

## 11. 플로팅 상부 구조물 접합부 해석 및 설계기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-3-1 | ▪ 플로팅 구조물의 상부구조시스템 모듈화 기술 | 100% | ▪ 모듈러 구조시스템 적용방안 검토<br>▪ 모듈러구조와 함체 접합부 개발 및 실험<br>▪ 파랑하중을 고려한 모듈러 구조시스템의 안전성 평가 |
| | ▪ 플로팅구조물의 상하부 접합부 상세해석 기술 | | ▪ 플로팅 상하부 접합부 상세해석 기술<br>▪ 접합부 해석과 비교분석 및 성능평가<br>▪ 테스트베드 실험을 통한 상부구조 응답분석 및 접합부 내력분석 |
| | ▪ 상부구조 안전성 평가 | | ▪ 상부구조 안전성평가지침 개발 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 함체 구조물의 접합부 설계 기술 현황의 상세 분석 | ▪ 플로팅구조물 함체 연결부 현황사례조사 및 분석<br>▪ 모듈러 구조시스템 적용방안 검토<br>▪ 연결부 전단키의 성능평가 실험 |
| ▪ 상부구조와 함체 접합부 기술 | ▪ 상부구조와 함체의 하중전이 분석<br>▪ 플로팅 상하부 접합부 상세해석 및 수직 접합부 설계<br>▪ 모듈러구조와 함체 접합부 개발 |
| ▪ 상부구조와 함체 접합부 기술 | ▪ 전이보 시스템 접합부 실험<br>▪ 접합부 해석과 비교분석 및 성능평가 |
| ▪ 시설계의 설계 및 실험 | ▪ 시설계 상부구조물 구조 개념 설계(Schematic Design)<br>▪ 시설계 상하부 접합부 상세해석<br>▪ 상하부 접합부 Mock-up 실험 |
| ▪ 상부구조 안전성 평가 기술 및 상하부 접합부 기술 | ▪ 상하부 접합부 준정적 재하실험<br>▪ 상부구조 안전성평가지침 개발 |

## 12. 모듈러 함체 접합부 설계 기술 개발

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-3-2 | ▪ 함체 모듈 접합부 설계기법 | 100% | ▪ 콘크리트 함체 모듈 접합부 설계 및 성능평가 기술 개발<br>▪ 함체 구조시스템 접합부 설계가이드라인 제시 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 콘크리트 모듈 함체 연결기법 분석<br>▪ 함체 연결부 성능평가 | ▪ 프리캐스트 함체연결 기법 현황분석<br>▪ 콘크리트 전단키의 구조 성능평가 실험 수행 |
| ▪ 콘크리트 함체 구조물 접합부의 성능평가 | ▪ 프리캐스트 모듈 접합부의 구조 성능평가 실험 수행<br>▪ 모듈 연결부의 형상 및 재료특성에 따른 구조성능 예측 |
| ▪ 구조성능 실험을 통한 접합부의 실제적 성능평가 및 검증 | ▪ 함체 모듈러 접합부 구조성능 평가<br>▪ 수치해석을 통한 접합부 강도 평가식 제안<br>▪ 모듈 상·하부의 슬래브 거동 특성 파악 |
| ▪ 함체 슬래브 구조시스템의 성능평가 및 검증<br>▪ 시설계 콘크리트 함체 모듈부 구조안전성 검토 | ▪ 아연코팅철근 적용 함체 슬래브 구조성능평가<br>▪ 아연코팅철근의 적용성 파악<br>▪ 함체 접합부 시설계를 통한 접합부 설계 기법 적용 |
| ▪ 콘크리트 함체 구조물 접합 설계기술 확립 | ▪ 함체구조시스템 접합부 설계 가이드라인 제시<br>▪ 용융아연도금철근의 콘크리트 함체 시스템 적용성 평가 |

## 13. 함체용 친환경 콘크리트 적용기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-3-3 | • 해양환경 조건에서 콘크리트 함체의 내구성 평가<br>• 함체용 친환경 콘크리트 재료시방 | 100% | • 축소 Mock-up test 실시<br>• 실제 해양환경 조건에서 염화물(염소이온)의 확산깊이 평가<br>• 표면처리(마감)에 따른 염화물 확산속도 평가 및 적정 피복두께 도출<br>• 함체용 콘크리트의 재료시공방법 및 재료설계 가이드라인 보고서 작성 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 활성화제 종류 및 첨가량에 따른 함체용 AAS 결합재의 유동성 및 압축강도 특성 평가<br>▪ 함체 적용을 위한 AAS 모르타르의 강도 모델 제시 | ▪ 변수에 따른 유동성 및 압축강도 DB 구축<br>▪ 함체용 AAS 모르타르의 압축강도 모델 제시 |
| ▪ 함체용 콘크리트 강도모델 개발을 위한 역학적 특성 평가<br>▪ 함체용 친환경 콘크리트의 내구성 평가 | ▪ 활성화제 종류 및 조합, 잔골재율, 물결합재비 등에 따른 강도 특성을 분서하여 콘크리트 강도모델 구축<br>▪ 결합재의 종류에 따른 내화학성 평가<br>▪ 화학적 침식 후 조성 변화 및 미시구조 변화 평가 |
| ▪ 고내구성 확보를 위한 함체용 콘크리트 배합 기술(자기충전 콘크리트)<br>▪ 함체용 콘크리트의 역학적 성능 평가 | ▪ 단위결합재 400, 500, 600kg 에 대한 자기충전 콘크리트 배합표 개발<br>▪ 유동성, 충진성, 간극통과성 확보<br>▪ 압축강도, 쪼갬인장강도 상관관계 확인<br>▪ Stress-strain curve |
| ▪ 현장타설용 자기충전 친환경 콘크리트 배합비 개발<br>▪ 공장생산용 프리캐스트 콘크리트 배합비 개발<br>▪ 내구성능 검증(탄산화, 동결융해저항성능)<br>▪ 내구성능 개선연구 | ▪ 압축강도 50-60 MPa, 슬럼프 플로우 650-700mm 고유동 친환경 콘크리트 배합비 개발<br>▪ 1일 탈형강도 50-60 MPa, 슬럼프 150mm 친환경 프리캐스트 콘크리트 배합비 개발<br>▪ 친환경 자기충전/프리캐스트 콘크리트의 탄산화 저항성능 평가<br>▪ 친환경 자기충전/프리캐스트 콘크리트의 동결융해 저항성능 평가 |
| ▪ 해양환경 조건에서 콘크리트 함체의 내구성 평가<br>▪ 함체용 친환경 콘크리트 시방 작성 | ▪ 축소 Mock-up test 실시<br>▪ 실제 해양환경 조건에서 염화물(염소이온)의 확산깊이 평가<br>▪ 표면처리(마감)에 따른 염화물 확산속도 평가 및 적정 피복두께 도출<br>▪ 함체용 콘크리트의 재료 시방 작성 |

## 14. 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 1-3-4 | ▪ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발 | 100% | ▪ 해양플로팅 구조재료인 콘크리트의 내구성 및 해양환경의 과학적 평가와 데이터 베이스, 방식기법 구축 및 재료개발 등을 통하여 복합환경하에서의 내구성 유지관리 평가가 가능해짐 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 구조물 구성재료의 물성 DB 구축 | ▪ 콘크리트 재료를 이용하여 수분이동에 대한 실험 및 모델 구축<br>▪ 국내 학술대회 및 저널에 논문게재 |
| ▪ 그린 콘크리트 배합설계 프로그램 개발 및 함체 구조재료의 열화저항성/열화환경 DB구축 | ▪ 해양환경의 열화부하인 비래염분을 대상으로 포집기 개발 및 부산 인천 등에서의 실측을 통하여 데이터 베이스 구축<br>▪ 국내 학술대회 및 저널에 논문게재<br>▪ 비래염분 포집기 특허 등록 |
| ▪ 열화한 플로팅 구조물 보수보강기법 적합성 평가 | ▪ 외부전원법에 의한 전기화학적 전기방식 기법적용에 있어 최적 경계조건 설정에 대한 연구를 실험과 모델구축, FEM 해석을 통하여 모델 신뢰도를 검증하였음<br>▪ 국내 학술대회 및 저널에 논문게재 |
| ▪ 구조물 보수기술 개발<br>- 열화한 수중구조물 보수 기술<br>- 보수 보강에 따른 성능 변화 시뮬레이션 | ▪ 철근과 보수보강재료의 부착에 대한 규명을 위하여 인발시험을 실시하고 부착계면 모델화 및 비선형 유한요소 해석을 실시하여 범용성 있는 정보로 활용 가능하도록 하였음<br>▪ 국내 학술대회 및 저널에 논문게재 |
| ▪ 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발 | ▪ 1차년도 구축된 콘크리트 수분확산 모델에 2차년도 비래염분 데이터 및 탄산화 모델을 복합적으로 산정할 수 있는 모델을 구축 |

○ 2세부과제

# 1. 상부공간 계획 기술

## 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-1 | 부유식 건축물 상부시설 계획 지침 | 100% | 거주 용도로 사용되는 플로팅 건축물 상부시설에서의 시스템 계획(모듈러 시스템, 상하부 시스템 연계 등), 배치 계획(입지 및 위치, 조망 및 경관, 단지 계획), 건축 계획(형태, 규모, 용도, 구조, 재료, 친환경 계획), 거주후 평가 등에 대한 통합적인 지침 |

## 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 배치 및 건축계획 지침 개발 | - 배치계획 지침 개발<br>- 건축계획 지침 개발 |
| ▪ 모듈러 설계 기술 개발 | - 공간 모듈러 시스템 모델 개발<br>- 공간 모듈러 시스템 적용 지침 개발 |
| ▪ 상부시설 통합화 모델 개발 | - 상부시설 통합 계획 지침 개발<br>- 상부시설 통합 설계 모델 개발<br>- 테스트베드 상부시설 계획 설계 |
| ▪ 모듈러 프로토타입 설계 | - 모듈러 프로토타입 설계안 작성<br>- 상부시설 계획 지침 개정안 작성 |
| ▪ 상부시설 계획 지침 보완 및 해설서 개발 | - 상부시설 계획 지침 보완<br>- 상부시설 계획 지침 해설서 개발 |

## 2. 법제도 연구

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-1 | 법제도 개선안<br>및 새로운 법안 제안 | 100% | 현행 법 체계에서 플로팅 건축물의 효율적 관리를 위한 「건축법」 개선 방안을 제시<br>플로팅 건축물 특성을 고려한 새로운 법안을 제안<br>「부유식 건축물 조례(안)」<br>「부유식 건축물 피난 및 방재계획 기준(안)」 제안 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 최적지 선정 및 평가지침 개발 | ▪ 최적지 선정기준 개발<br>▪ 최적지 평가지침 개발 |
| ▪ 법제도 개선안 제안 | ▪ 기존 법제도 개선안(법제도 현황 분석, 문제점 도출)<br>▪ 새로운 법제도 제안(국외 법제도 적용 사례 분석) |
| ▪ 방재계획 및 피난기준 개발 | ▪ 상부시설 화재 및 침수 방지계획<br>▪ 상부시설 재해 시 피난 기준 |
| ▪ 엔지니어링 테스트베드 법제도 검토 | ▪ 새로운 법 적용 검토<br>▪ 현행 법제도 적용 검토 |
| ▪ 방재 및 피난기준 개선 | ▪ 법제도 개선안 및 새로운 법안 보완<br>▪ 피난 및 방재계획 기준 개선 |

## 3. 쾌적환경 설계 기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-3 | 패시브 기술을 활용한 플로팅 건축 공간의 쾌적환경 설계 기술 개발 | 100% | ▪ 플로팅건축 부하계산 기법 개발 |
| | | 100% | ▪ 플로팅건축의 유동특성을 고려한 함체 해수열교환기 제안<br>▪ 해수열교환기 설계를 위한 수치해석기술 확보와 목업 실험에 의한 DB구축<br>▪ 해수열교환기 설계와 시공을 위한 매뉴얼 개발 |
| | | 100% | ▪ 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼 개발 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅건축 부하계산기법 개발 | ▪ 해수열 이용사례 조사 분석<br>▪ 지열 이용사례 조사 분석<br>▪ 플로팅건축의 부하계산 기법 개발 |
| ▪ 해수열 이용 시스템 제안<br>▪ 수심에 따른 해수열 이용 방안 도출<br>▪ 해수열 이용 시스템 실험모델 제작<br>▪ 해수열 이용 시스템의 하절기 성능실험 | ▪ CFD에 의한 해수열 이용시스템 성능예측<br>▪ 부유형 해수열 이용 구조체 개발 및 제작<br>▪ 5℃ 이상의 해수열 이용 가능성 확인 |
| ▪ 해수열 이용 시스템 성능실험<br>▪ 해수열 이용 시스템 성능예측 기법 개발<br>▪ 해수열 이용 시스템 적용 매뉴얼 개발 | ▪ 수조를 이용한 하절기, 동절기 성능실험<br>▪ 기존 냉난방시스템과의 비교예측평가에서 10% 이상의 에너지절감 효과 도출<br>▪ 해수열 이용시스템 시공 매뉴얼(초안) 개발 |
| ▪ 저탄소형 개구부 설계기술 개발 | ▪ 저탄소형 개구부 설계 기술 개발<br>▪ 저탄소형 개구부 재료 선정기술 개발<br>▪ 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼 개발 |
| ▪ 쾌적 빛환경 디자인 기술 개발 | ▪ 태양고도에 따른 빛환경 관련 물리량 분석<br>▪ 쾌적 빛환경 디자인 매뉴얼 개발 |

## 4. 신재생에너지 적용 기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-4 | 플로팅 건물 일체형 풍력시스템 프로토타입 | 100% | 풍동실험을 통하여 양방향/다방향 윈드가이드 내의 10%이상의 풍속 증가를 실현함<br>실물 크기의 다방향 윈드가이드를 설계, 제작, 실험 |
| | 플로팅 건물 일체형 풍력시스템 설계지침 | 100% | 건물일체형 풍력시스템 설계에 대한 설계변수를 검토함<br>윈드가이드 설계 변수에 대하여 수치해석과 풍동실험을 통하여 변수들 간의 관계를 규명함 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 건물일체형풍력시스템 해석 모델 개발<br>- 수역별 풍자원 분석<br>- 건물일체형 풍력시스템 개발 | ▪ 기상청 자료를 통한 수역별 풍력자원 분석을 함. 또한 전남북지역에 대해서는 풍력발전기 내에 기록된 풍황자료 분석<br>▪ 풍속 빈도와 에너지 밀도를 분석<br>▪ 집풍효과에 의한 풍속증가를 고려한 건축모델링<br>▪ 풍력 이론 고찰을 통한 에너지 해석 모델링 |
| ▪ 건물일체형풍력시스템 개발<br>- 건물일체형 풍력시스템 개발<br>- 건물일체형풍력 설계지침분석 | ▪ 풍속증가를 고려한 윈드가이드 모델링(양방향)<br>▪ 양방향 윈드가이드의 설계변수(각도, 형상, 지붕, 윈드세퍼 데이터 등)에 따른 수치 해석<br>▪ 디지털 풍동 제작 및 실험<br>▪ 건물일체형 풍력 설계 제한 요소(바람, 건물, 터빈 등) 검토<br>▪ 설계 제한 요소에 따른 지침 검토 |
| ▪ 하이브리드 에너지 시스템 모델 개발<br>- 다방향 윈드가이드가 있는 풍력 시스템 성능 분석<br>- 일사량 분석 모델 개발 | ▪ 풍속증가를 고려한 윈드가이드 모델링(다방향 또는 전방향 윈드가이드)<br>▪ 다방향 윈드가이드의 설계변수에 따른 풍동실험 수행<br>▪ 태양광 활용을 위하여 태양기하학에 의한 벽면 일사량 계산 알고리즘 작성함<br>▪ 주변 장애물에 의한 일영 계산(일영 다각형에 대한 집합 연산 알고리즘) 작성함 |
| ▪ 엔지니어링 테스트베드를 위한 풍력 시스템 모델 설계 및 성능 분석<br>- 풍력시스템의 출력 성능 분석<br>- 엔지니어링 테스트베드를 위한 풍력 시스템 모델 설계 | ▪ 다방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템의 설계변수 및 풍향에 따른 성능 실험 및 분석<br>▪ 풍력시스템(윈드가이드) 출력성능과 항력계수와 관계 분석<br>▪ 풍력시스템(윈드가이드)의 출력성능 측정 모델 개발<br>▪ 엔지니어링 테스트베드를 위한 풍력시스템 모델링함<br>▪ 전년도 연구 결과(풍력시스템 모델)의 활용함 |
| ▪ 플로팅 건축의 풍력시스템 설계 지침 작성<br>- 테스트베드를 통한 풍력시스템의 성능 분석<br>- 플로팅건축의 풍력 설계지침 작성 | ▪ 실물 크기의 실험체 설계 및 제작<br>▪ 플로팅건축물에 설치하여 출력성능 측정 실험<br>▪ 건물풍력시스템을 위한 설계 지침 |

## 5. 공간디자인마케팅 기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-5 | ▪ 수해양프로그램 유형화 | 100% | ▪ 수해양 문화프로그램 분석<br>▪ 수해양 문화프로그램 유형화 |
| | ▪ 플로팅건축의 공간디자인마케팅 개념 설정 | 100% | ▪ 공간 수요에 따른 프로그램 개발 |
| | ▪ 공간디자인마케팅 효과 예측 및 디자인 전략 개발 | 100% | ▪ 공간디자인마케팅 관점에서 플로팅건축 마케팅 효과 예측<br>▪ 공간디자인마케팅 관점에서 플로팅건축 디자인 전략 개발 |
| | ▪ 한국형 플로팅마리나클럽 디자인 | 100% | ▪ 새만금을 대상지로 한국형 플로팅마리나클럽 계획<br>▪ 실무 적용 가능한 플로팅건축의 공간 디자인 마케팅 전략 개발 |
| | ▪ 플로팅건축 공간디자인마케팅 사업화 방안 | 100% | ▪ 플로팅건축 사업화 방안 구상 |
| | ▪ 사회적 이슈를 반영한 플로팅건축 개발 | 100% | ▪ 다기능 플로팅데크 디자인 개발<br>▪ 플로팅건축물 실현을 위한 향후 공간수요 조사 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 수해양프로그램 유형화 | ▪ 유형화 주제 논문 발표<br>박성신(2011), “플로팅건축의 유형 및 디자인 특성에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제35권 5호, pp.407-414 |
| ▪ 플로팅건축의 공간디자인마케팅 개념 설정 | ▪ 스페이스프로그램 개발 및 논문 발표<br>박성신(2012), “레저용 플로팅건축물 설계를 위한 국내 마리나클럽 현황 및 공간구성에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제36권 3호, pp.253-259 |
| ▪ 공간디자인마케팅 효과 예측 및 디자인 전략 개발 | ▪ 설문조사 및 분석 |
| ▪ 한국형 플로팅마리나클럽 디자인 | ▪ 논문 게재<br>Pak Sungsine(2012), “A Study on Space Program of Korean Floating Marina Clubhouse”, Journal of Navigation and Port Research, Vol.36 No.7, pp.545-552<br>▪ 특허 출원<br>10-20120145171, 부유식 마리나클럽 설계방법 및 프로그램이 저장된 기록매체 |

## 6. 플로팅 건축 BIM 설계 기술

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-6 | 플로팅 건축 BIM 설계 기술 개발 | 100% | BIM설계 및 플로팅건축 사례 조사 통한 설계프로세스를 분석하여 BIM기반 플로팅건축 설계프로세스 개발 및 플로팅건축의 엔지니어링 테스베드를 BIM 모델로 구축, 플로팅건축의 표준 모델용 BIM기반 설계지침 작성 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 건축 설계시스템 국내외 사례 조사 | ▪ BIM을 이용한 건축설계에 관한 국내외 사례 조사<br>▪ 플로팅건축설계 Flow Chart 작성<br>▪ 플로팅건축의 기능적 요구사항, 협업의 범위 및 내용 분석<br>▪ 플로팅건축설계단계별 정보교환체계 작성 |
| ▪ 플로팅 건축의 소요 기술 정보 DB 구축 | ▪ 플로팅건축물 BIM 템플릿 작성<br>▪ 플로팅건축물 BIM 템플릿 소요입력사항 분석<br>▪ 플로팅건축의 정보교환체계 시각화 모델 작성<br>▪ 플로팅건축 상하부 BIM DB 구축 |
| ▪ BIM기반 플로팅 건축 설계안 작성 | ▪ Test-bed 설계를 위한 BIM적용 플로팅 새만금 개발청사의 기획안 작성<br>▪ 플로팅건축 BIM DB 수정 및 보완<br>▪ BIM기반 플로팅건축물 정보교환모델 수정 및 보완 |
| ▪ Test-bed 설계안 BIM기반 모델링 | ▪ 에코델타시티 플로팅 홍보관을 BIM 모델로 구축<br>▪ BIM기반 플로팅건축 프로젝트 LOI(Level Of Information) 설정<br>▪ BIM기반 플로팅건축의 설계 프로세스 수정 및 보완 |
| ▪ BIM기반 플로팅 건축 설계 지침 작성 | ▪ Mock-up 테스트 함체 실시 설계 도면 작성<br>▪ 플로팅 건축 BIM 설계를 위한 DB 보완 구축<br>▪ BIM기반 플로팅 건축 설계지침 작성<br>▪ LCC측면 플로팅 건축 경제성 분석 위한 항목 추출 |

## 7. 플로팅 건축물 시공기술 (2-7세세부)

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-7 | 플로팅 건축공사의 표준 안전작업절차서 개발 | 100% | - 각 공종별 고려되어야 할 외부환경 및 내부 위험요소 도출<br>- 표준안전작업절차서 개발 |
| | 플로팅 함체 진수공법 개발 | 100% | - 정수역의 대지조건과 함체조건에 대응 가능한 진수설비 공법 개발 |
| | 플로팅 건축시공 유해위험방지계획서 작성 | 100% | - 각 공종별 세분화 및 위험요인 도출 및 위험성 평가<br>- 위험등급에 따른 안전대책 제안 |
| | 플로팅 건축공사 안전 메뉴얼 작성 | 100% | - 플로팅 건축공사 진행 시 각 작업에 대한 매뉴얼 작성<br>- 각 현장에 맞추어서 관련 표준 및 절차서를 수립할 수 있도록 절차서에 대하여 정립 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 플로팅 건축공사의 개선대책 수립 및 표준안전작업절차서 개발 | ▪ 플로팅 건축공사의 표준안전작업절차 결정<br>▪ 플로팅 건축공사의 표준안전작업절차 분해<br>▪ 각 공종작업별 안전작업절차 검토 |
| ▪ 플로팅 건축 함체 진수공법 개발 및 적용성 평가 | ▪ 국내 진수공법의 개요 및 주요기술 비교<br>▪ 플로팅 건축공사를 위한 진수공법이 요구조건 비교<br>▪ 플로팅 공사 와 조선공법의 비교 분석 |
| ▪ 플로팅 건축공사의 함체 진수공법 개발 | ▪ 정수역의 대지조건과 함체조건에 대응 가능한 함치 진수설비 설치조건 도출<br>▪ 대지 제약에 따른 진수공법 요구조건 도출<br>▪ 함체 조건에 따른 진수공법 요구조건 도출<br>▪ 정수역 플로팅 건축의 함체 진수를 위한 진수공법 개발 |
| ▪ 플로팅 건축공사의 표준안전작업절차서 개발 | ▪ 각 공종별 고려되어야 할 외부환경 도출<br>▪ 표준안전작업절차서 개발 |
| ▪ 플로팅 건축공사 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전 메뉴얼 제정 | ▪ 각 작업공종별 세분화 및 위험요인 도출<br>▪ 각 공종별 위험성 평가 (빈도*강도=등급)<br>▪ 위험성평가에 대한 안전대책 제안<br>▪ 각 현장에 맞추어서 매뉴얼을 활용할 수 있도록 관련 표준 및 절차서 정립 |

## 8. 플로팅 건축물 설비 설계

### 가. 목표달성도

| 세세부 | 최종 목표 | 달성도(%) | 내 용 |
|---|---|---|---|
| 2-8 | 에코델타시티 홍보관 시설계 보완 | 100% | -국내외 플로팅 건축 설비 사례 조사를 분석 후 에코델타시티 홍보관의 열원의 적정성을 분석 후 기계/전기/소방 설비에 적용하여 관련 설비 도면 및 계산서를 보완하였음 |
| | 열원 설비별 비용편익 분석 | 100% | -열원설비별 총 생애주기비용 산출<br>-설비대안별 1차 에너지 소요량 산출<br>-에코델타시티 홍보관 에너지효율등급 예측 |
| | 플로팅 건축 설비 기본 참고 매뉴얼 | 100% | -유사 플로팅 건축 설비 설계 시 참고 가능한 기본 참고 매뉴얼을 작성하였음 |

### 나. 추진실적

| 연차별 연구목표 | 추 진 실 적 |
|---|---|
| ▪ 열원·공조·환기·위생·소방 설비 시범설계 | ▪ 국내외 플로팅 건축물 설비 사례조사를 통하여 에코델타시티 홍보관의 설비 적용여부 검토<br>▪ 플로팅 건축물 설비 설계 문제점 분석 |
| ▪ 관련 계산서 및 도면 작성 | ▪ 기계/전기/소방 설비 도면 작성<br>▪ 관련 계산서 작성 |
| ▪ 에코델타시티 홍보관 시설계 보완 | ▪ 플로팅 건축물 특성을 고려한 해수온도차 에너지 열원 고려사항 분석<br>▪ 수공간의 특성을 고려한 설비 고려사항 분석 |
| ▪ 열원 설비별 비용편익 분석 | ▪ 열원설비별의 에너지사용에 따른 총 생애주기비용 산출<br>▪ 설비대안별 에너지 소요량 산출<br>▪ 에코델타시티 홍보관 에너지효율등급 예측 |
| ▪ 플로팅 건축 설비 기본 참고 메뉴얼 | ▪ 플로팅 건축 설비 설계 시 유의사항 작성<br>▪ 유사 플로팅 건축 설비 설계 시 기본적인 참고 매뉴얼 작성 |

## 제2절 연구개발 성과의 효과

◯ 1세부과제

### 1. 기술적 측면

○ 본 과제를 통해 획득한 요소기술 능력, 즉 플로팅 건축 구조설계 시스템 및 시공 기술 및 재료시공 기술 등은 국내외 사회에서 플로팅건축물의 통합설계능력의 경쟁력을 향상시킴

○ 플로팅건축물 건설사업에 적용할 수 있는 실용화 기술 확보

○ 개발된 구조설계 시스템 기술은 국제 사회에서 플로팅건축의 통합설계능력의 경쟁력을 향상할 것임

○ 개발된 플로팅건축의 상부구조설계 지침은 최근 해양 레저와 관광산업을 육성하려는 지자체에 대한 플로팅 건물에 대한 설계·시공의 가이드라인으로 활용될 수 있으며, 건물의 안정성평가에 활용이 가능함

○ 향후 인공섬, 해상공항 등 대규모 부유식 구조물 건설사업에도 본 연구의 해석기술과 설계기술 등이 확대 적용가능

○ 친환경 콘크리트에 대한 지침안은 해양 레저와 관광산업을 육성하려는 지자체에 대한 플로팅 건물에 대해 재료분야의 가이드라인으로 활용될 수 있음

○ 개발된 친환경 콘크리트를 플로팅 건축의 함체에 적용할 뿐만 아니라 해수에 접하는 세굴방지블록이나 어초 등의 2차 제품으로 활용가능

### 2. 경제적 측면

○ 국내 플로팅건축의 기술력은 아직 선진기술의 약 40% 정도의 초기단계이고, 기술수요 및 시장규모가 확대되고 있어 선도적 기술개발을 통하여 해외시장, 특히 중동 및 동남아의 플로팅건축 시장에서 고급형 플로팅건축물의 수주경쟁력 증대

○ 국내 플로팅건축의 기술 개발을 통하여 국내 건설업체가 육성됨으로 추후 플로팅건축 시장에 대한 기술 및 자재 수입에 대한 수입대체 효과 발생

○ 플로팅 구조물 안전성 평가 기술 개발을 통해 국내·외 시장 선점

○ 본 연구의 플로팅 건축물에 대한 체계적인 유지관리 기술과 관련하여 신뢰성 평가기법을 도입하여 실용화되면 동 분야에 미치는 영향이 클 것으로 기대됨

○ 기존의 부가적임 함체에 의한 본함체의 수동적인 제어기법에 비하여 진동저감효과가 크며, 유사한 비용으로 제어가 가능함

○ 국가기간시설물의 안전성의 확보로 경제적 손실 감소

○ 수면에 뜨는 함체와 그 상부 구조물에 대한 안전성평가 및 방재모니터링 기술은 모든 플로팅 구조물에 대한 안전성과 사용성을 확보하는 기술로서 수해양 건축구조물, 토목구조물의 건설 산업에 파급효과가 클 것임

○ 친환경 콘크리트 생산비용 중 높은 비중을 차지하는 활성화제 첨가량을 감소시켜 생산단가를 절감

○ 친환경 재료 기술을 활용하여 친수공간 확보를 위한 산업체에 기술이전 가능

○ 해양과 조선 및 건설의 복합적인 분야로 구성되는 플로팅건축은 관련 산업의 새로운 활성화 요소로 등장할 것임

○ 플로팅건축기술 홍보 및 내외수면, 담수호 등에서의 플로팅건축 수요증대로 관련 산업수요 확대

| | 5년이내 예상 물량 | 단가(억) | 금액(억) |
|---|---|---|---|
| 플로팅 주택 | 2,000 | 10 | 20,000 |
| 플로팅 문화용 건물 | 10 | 200 | 2,000 |
| 플로팅 공공시설물 | 5 | 400 | 2,000 |
| 합계 | | | 24,000 |

## 3. 정책적 측면

○ 플로팅구조물의 위험도평가에 적용되는 각종 인증기준 및 성능기준 마련으로 사회 안전도에 기여

○ 체계적이고 표준화된 통합 플로팅 구조물 관리로 구조물 안전성의 저해요인 사전대처

○ 함체용 친환경 재료 개발을 통해 ‘저탄소 녹색성장’의 정책에 신기술로 활용 가능함.

○ 최근 다양하게 수립되는 폐기물 재활용 정책 및 설계기준에 부합하는 재료 생산을 통해 부정적인 환경영향을 최소화

◯ 2세부과제

## 1. 기술적 측면

○ 수해양 건축물 주위의 신재생에너지 포텐셜(potential) 예측기술로서 활용 가능하며, 건축물의 다양한 에너지원(해수열, 풍력, 태양광 에너지)에 대한 통합 설계 및 제어 가능

○ 플로팅 건축공간과 같이 제한된 공간에 대한 설비시스템의 최적화 설계 기술을 향상하고,

여러 설비시스템에 대한 통합 설계 기술 축적에 활용

- 건물일체형 풍력시스템, 해수열 이용시스템 설계 기술의 확보로 플로팅 건축물의 에너지 자립도를 향상시킴으로 건축물에 의한 환경부하를 저감함
- 플로팅 건축물 설계를 위한 상부공간 통합설계 지침과 같은 요소기술 확보
- 플로팅 건축물의 배치 및 건축 계획 기술 정립
- 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 시스템 계획 기술 적용
- 플로팅 건축물 상부시설에서 요구되는 각 분야별 계획 지침 제공
- 플로팅 건축물 기획 단계에서 요구되는 신속한 의사결정 지원
- 플로팅 건축물의 확산 및 설계 기술 보편화 기여
- 열교환성능을 높인 새로운 타입의 해수열 이용 시스템 제안으로 건축물에서의 적용성을 높이고 에너지 효율을 극대화 시킴
- 이 연구에서 개발한 해수열교환기는 선박, 해상구조물 등에 적용가능하기 때문에 향후 관련 기술의 보급과 성능향상 기술개발이 추진될 것으로 예상됨
- 기존의 해저 지반 매립형 열교환기와 달리 구조체 시공 중 설치가 가능하기 때문에 시공성이 향상되어 시간 및 비요 절감
- BIM 설계 기술을 특수 설계기술 분야인 플로팅건축에 적용하여 디자인+기술의 통합적인 플로팅건축의 선도 기술 개발
- 플로팅 건축 BIM 설계 기술 개발을 통한 각 단계의 완벽한 협업 및 고도의 통합화 실현
- BIM 데이터를 활용하여 플로팅 건축물의 효율적인 시공 및 유지관리 가능

## 2. 경제·산업적 측면

- 해양건축물의 건설이 활성화되어 육역과 조화된 수역의 활용이 촉진되므로 해양공간의 효율적인 이용이 가능해짐
- 수역에 해상호텔을 비롯하여 해양레저스포츠시설의 건설이 촉진되어 해양관광산업이 활성화될 것임
- 건축 산업 분야의 신규 영역 개척 및 관련 산업 간 시너지 효과 기대
- 해양건축물의 건설 및 안전관리에 대한 기술기준이 마련되어 경제적이고 안전하며 쾌적한 해양공간의 조성이 가능해짐
- 해양건축물에 관한 체계적인 법제도의 마련으로 해양건축물 관련 건설 산업이 확대되고 새로운 일자리 창출과 경제 활성화에 기여함
- 국내 플로팅건축의 기술 개발을 통하여 국내 건설업체가 육성됨으로 추후 플로팅건축 시

장에 대한 기술 및 자재 수입에 대한 수입대체 효과 발생

- ○ 플로팅건축의 해외기술력은 아직 선진기술의 약 40% 정도의 초기단계이고, 기술수요 및 시장규모가 확대되고 있어 선도적 기술개발을 통하여 해외시장, 특히 중동 및 동남아의 플로팅건축 시장에서 고급형 플로팅건축물의 수주경쟁력 증대
- ○ 해양과 조선 및 건설의 복합적인 분야로 구성되는 플로팅건축은 관련 산업의 새로운 활성화 요소로 등장할 것임
- ○ 플로팅건축물 관련 건설 산업을 확대하여 지역의 중소건설 업체를 신규 사업에 참여하게 함으로써 장기적인 건설경기침체에서 빨리 벗어날 수 있도록 하고 신규 고용인력 창출에 기여
- ○ 플로팅건축물은 지리적으로 해상에 위치하며, 해수열은 무한 부존량을 갖는 청정에너지이기 때문에 연안지역에 건립되는 건축물에 해수열 이용 시 효과적인 에너지 저감이 예상됨
- ○ 건물일체형 풍력시스템 및 해수열이용시스템 설계 기술의 확보로 건축물의 에너지 자립도를 향상시킴으로 건축물에 의한 환경부하를 저감함
- ○ 쾌적환경 설계 및 수면반사광 제어기술 확보를 통하여 달성한 친환경 플로팅 건축으로 $CO_2$배출량 및 에너지 소비량 저감(연간 약 1만t의 $CO_2$감축효과, 1kWh =424g)
- ○ 플로팅 건축공사의 특수성을 안전작업절차서에 반영하여 안전상의 효과를 높이고 작업능률과 품질향상에 기여
- ○ 플로팅 건축공사의 안전관리도구로서 안전관리활동을 개선하고 사업주 등 전 근로자의 참여로 촉진 및 관리 층의 안전관리 수준향상을 촉진
- ○ 건설재해로 인한 근로자의 인명보호 및 이로 인한 손실 예방
- ○ 진수에 대한 대지의 제한이 줄어들어 관광형 정수역에 중소규모 플로팅 건축물 증가
- ○ 플로팅 건축 시공의 공사금액 절감효과
- ○ 진수를 위한 설비시설 제작에 대한 공사기간 절감효과

## 3. 정책적 측면

- ○ 플로팅구조물의 위험도평가에 적용되는 각종 인증기준 및 성능기준 마련
- ○ 체계적이고 표준화된 통합 플로팅 구조물 관리로 구조물 안전성의 저해요인 사전대처
- ○ 지역의 연구 환경 개선 및 신뢰성/방재기술 전문인력 양성
- ○ 주거용 플로팅 구조물의 진동을 효율적으로 저감함으로써 주거환경을 개선할 수 있으며, 플로팅 구조물에 거주가능성을 크게 하여 인간의 거주 환경을 확대할 수 있음
- ○ 호남권의 서·남해안 연안개발 사업, 새만금 개발사업, 해양엑스포, 남해안선벨트 사업 등의 수해양 개발공사에 본 연구결과가 활용되어 지속가능한 미래가치 창출에 기여할 것으

로 생각됨

○ 본 연구의 결과로서 상부구조 안정성 평가 및 구조설계지침 개발은 플로팅구조물의 상부구조의 안정성에 대한 법규 정비 및 구조적 설계지침을 제정 또는 정비할 때 근거 자료로 활용이 가능함

○ 친환경적 모듈러, 모바일 건축물 등 새로운 개념의 플로팅건축을 도입하여 건축문화의 변화를 시도하고 최적화된 설비시스템 및 유지관리 시스템의 확보로 쾌적한 공간 창출과 삶의 질 향상에 기여

○ 플로팅 구조시스템의 안전관리 체계 구축으로 대국민 신뢰도 확보 및 플로팅건축물의 대중화 기여

○ 연안 수변지역 개발과 병행하여 플로팅건축물을 문화, 관광자원으로 개발하고 상품화하여 지역이미지 제고

○ 함체용 친환경 재료 개발을 통해 ‘저탄소 녹색성장’의 정책에 신기술로 활용 가능함

○ 최근 다양하게 수립되는 폐기물 재활용 정책 및 설계기준에 부합하는 재료 생산을 통해 부정적인 환경영향을 최소화

# 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

## 제1절 연구성과의 활용방안

### 1. 분야별 활용방안

#### 가. 정책 및 제도 분야

(1) 국가 개발 정책

○ 호남권의 서·남해안 연안개발 사업, 새만금 개발사업, 해양엑스포, 남해안선벨트 사업 등의 수해양 개발공사에 본 연구결과가 활용되어 지속가능한 미래가치 창출에 기여할 것으로 생각됨

○ 기본 법제도 개선안 및 플로팅 건축을 위한 새로운 법제도 제안을 통해 관련 개발사업 및 관련 산업 활성화를 위한 제도적 근거를 마련

(2) 국가 에너지 정책

○ 재생에너지 활용에 따른 $CO_2$감축으로 저탄소 녹색성장의 국가정책에 부응

○ 시스템의 통합 설계 및 관리를 통해서 20%의 에너지 절약 및 $CO_2$감축으로 지속가능한 발전에 기여

○ 최적 유지관리 기술적용으로 신 · 개축에 소요되는 경비절감과 $CO_2$감축으로 저탄소 녹색성장의 국가정책에 기여할 것으로 사료됨

(3) 국가 제도

○ 본 연구의 결과로서 국내외 제도와 국내의 사례분석 그리고 새로운 법규의 제안은 연안 개발의 법규 정비 및 플로팅건축의 관련법규를 제정 또는 정비할 때 근거 자료로 활용이 가능함

○ 개발된 플로팅건축의 설계 지침은 최근 해양 레저와 관광산업을 육성하려는 지자체에 대한 플로팅 건물에 대한 설계·시공의 가이드라인으로 활용될 수 있음

#### 나. 기술 분야

○ 개발된 플로팅건축의 설계 지침은 최근 해양 레저와 관광산업을 육성하려는 지자체에 대한 플로팅 건물에 대한 설계·시공의 가이드라인으로 활용될 수 있음

(1) 플로팅건축의 쾌적환경 설계기술

○ 해수면 특성을 활용한 쾌적환경 설계기술 및 수면반사광 제어기술의 수변 및 연안역 건축물 계획에 응용

○ 최적 유지관리 기술적용으로 신·개축에 소요되는 경비절감과 $CO_2$감축으로 저탄소 녹색성장의 국가정책에 기여할 것으로 사료됨

○ 워터프런트(waterfront) 지역 계획에 환경부하저감형 건축공간 설계기술을 응용하여 플로팅건축의 쾌적환경 설계기술 개발 가능

(2) 플로팅건축의 신재생에너지 적용 기술

○ 수해양 건축물 주위의 신재생에너지 포텐셜(potential) 예측기술로서 활용 가능하며, 건축물의 다양한 에너지원(해수열, 풍력, 태양광 에너지)에 대한 통합 설계 및 제어 가능

○ 플로팅 건축공간과 같이 제한된 공간에 대한 설비시스템의 최적화 설계 기술을 향상하고, 여러 설비시스템에 대한 통합 설계 기술 축적에 활용

(3) 플로팅 건축물의 표준 통합설계 시스템의 기술력 확보

○ 플로팅 건축물의 BIM기반 소요기술 DB 즉, Family Library의 구축으로 정보(Information)의 재가공 및 재활용을 통한 경제성 확보

○ 체계적이고 표준화된 플로팅건축의 설계프로세스작성으로 투입인력 및 비용의 절감, 품질관리들의 효과의 극대화

다. 경제/산업적 분야

○ 플로팅 건축의 통합설계 체계 및 설계프로세스구축으로 신뢰도 확보 및 플로팅 건축물의 대중화 기여

○ 플로팅 건축 + 해양건축의 통합적 설계기술을 통한 국내·외 시장 선점

○ 해양건축 설계 전문가 양성 및 관련 산업 활성화

○ 플로팅건축을 비롯한 해양건축의 주요기술 습득으로 인한 관련 산업선도

(1) 건설 산업

○ 플로팅건축 요소기술에서 특화된 전문기술력으로 발전시켜 국제화를 달성과 동시에 시장 확보

○ 플로팅 신기술 확보로 국내 엔지니어링 기술력을 향상시키며, 기후변화에 대응하는

지속가능한 건설 이미지 제고

○ 플로팅건축기술 홍보 및 내외수면, 담수호 등에서의 플로팅건축 수요증대로 관련 산업수요 확대

○ 플로팅 건축의 생애주기(기획, 설계, 시공, 운영 및 관리)통한 건설분야의 세분화에 따라 도면의 부정확성 및 불일치로 인해 발생하는 비용의 감소및 디자인된 설계안의 구조, 설비, 견적 등의 엔지니어링 업무의 정확성 확보 가능

○ 공간 모듈러 시스템 설계 지침의 플로팅 건축 상부시설 설계 적용

○ 상부시설을 구성하는 구조 및 설비시스템과 공간의 통합 설계 기반 제공

○ 상부시설 구성의 효율성 향상 및 시공의 용이성 향상에 기여

○ 플로팅 건축 설계 기술 DB 구축의 기반으로 활용

○ 국내외 플로팅 건축 설계 기술의 통합 관리 체계 기반 제공

○ 국내 플로팅 건축 설계 기술의 통합화 및 집적화

(2) 신재생에너지 산업

○ 신개념 해양산업 활성화를 위한 플로팅 건축물 엔지니어링 기술 홍보

○ 해수면 특성을 활용한 쾌적환경 설계기술 및 수면반사광 제어기술, 환경부하저감형 친수공간 설계기술의 산업체 기술이전

○ 신재생에너지 예측기술의 활용으로 개발 예정지의 경제성 평가에 활용하며, 수해양 건축물 ESCO 사업 분야의 확대 가능

○ 에너지 시스템 및 설비시스템 통합 설계 및 제어에 관한 기술의 상업화

라. 사회/문화적 분야

○ 수해양 문화/레저를 위한 정주형 플로팅건축기술에 의하여 플로팅건축물에서의 문화공연 개최 및 성과 홍보 가능

(1) 건축 문화 이미지 제고

○ 플로팅 신기술 확보로 국내 엔지니어링 기술력을 향상시키며, 기후변화에 대응하는 지속가능한 건설 이미지 제고

○ 친환경적 수상·해양공간 활용에 대한 홍보에 활용

○ 플로팅건축물 기술 일반인 홍보를 통한 신개념 해양건축물 공감대를 형성

○ 건물일체형(building-integrated) 에너지 시스템 설계 기술 개발로 건축설계와 설비설계의 조화로 기능적이면서 심미적인 건축 문화에 기여

(2) 교육

○ 쾌적환경 설계기술 및 수면반사광 제어기술을 환경교육에 활용

마. 실용화/사업화 전략

○ 플로팅 구조설계 시스템 및 플로팅건축 시스템 설계기술, 플로팅건축 재료 및 시공기술은 다양한 마리나 건설시 요소기술 활용

○ 모듈러·모바일 건축시스템 설계기술을 통하여 구조물 종류별 분석 모델 개발 및 표준화를 통한 새로운 비즈니스 모델 창출

○ 해양레저·관광산업을 육성하는 지자체에 플로팅건축 홍보 및 건설

○ 미래에너지 활용산업 및 고부가가치 산업으로 국가적, 전략적 투자산업 유도

○ 건물일체형 에너지 시스템을 패키지화하여, 관련 시장의 확대

○ 워터프런트 개발 또는 재개발과 관련된 지자체에 기술홍보

○ 플로팅건축 요소기술에서 특화된 전문기술력으로 발전시켜 국제화를 달성과 동시에 시장 확보

○ 미래에너지 활용산업 및 고부가가치 산업으로 국가적, 전략적 투자산업 유도

2. 연구성과별 활용 방안

◯ 1세부과제

○ 국내외 논문을 통하여 연구성과를 공개하였으며 연구자, 사회간접자본 시설관리자 등 관련 업계 종사자들에게 정보를 제공함으로써 학술분야와 실용적으로 활용될 것으로 기대됨

가. 함체 및 상부구조의 해석과 설계

○ 해안을 끼고 있는 자치단체들에서 마리나 시설 설치계획을 발표함에 따라 수요에 대응하는 해양레저 및 문화시설 목적의 건축물을 설계하기 위한 기초 판단자료로 활용함

○ 기존의 플로팅 구조물의 설계를 위한 지침서가 미비하였으나, 플로팅건축구조설계기준으로 활용함

○ 개발된 플로팅건축의 설계 지침은 최근 해양 레저와 관광산업을 육성하려는 지자체에 대한 플로팅건물에 대한 설계·시공의 가이드라인으로 활용될 수 있음

○ 플로팅건축물의 신뢰성해석, 설계 및 시공 시 직접 적용 가능

○ 구미 선진국에서 이용하는 성능기반 설계에 활용

○ 플로팅건축 설계 시 활용하며, 추후 해상도시, 해상공원, 해상공항, 인공섬 등 대규모 사업에도 기술적 활용이 가능

○ 수중에 적용할 수 있는 친환경 콘크리트 기술의 안정화를 통해 해수 및 수중에 적용하는 어초 및 세굴 방지 블록 또는 호안블록 등의 2차 제품에 적용가능하고 염해 및 계절변화에 따른 내구성 증진 방안 수립으로 해양 콘크리트 설계에 활용 가능

나. 동요저감 기술개발과 모형실험

○ 거주용 플로팅 구조물의 진동을 효율적으로 저감함으로서 주거환경을 개선할수 있어 앞으로 확대될 플로팅 주거, 레저시설에 활용 가능함

○ 플로팅 하부 폰툰 구조설계 시 가이드라인으로 활용될 수 있으며, 추후 국내에 설계·시공되는 플로팅 구조물의 적용 가능 할 수 있음.

○ 연구에 적용된 함체 및 계류시스템은 플로팅건축 사업에 적용됨으로써 예산절감, 공기단축 등 활발한 플로팅건축 사업에 기여할 것으로 판단됨

다. 플로팅 건물 유지관리 기술

○ 플로팅 구조물의 손상탐지 및 유효물성치 산정을 위한 기초자료

○ 플로팅 구조물의 안전감시 및 유지관리를 위한 건전도 평가 시스템의 기초자료

○ 플로팅 구조물의 건전성 상태 평가자료(구조물의 유효물성치)로 활용

○ 개발된 화장 측정시스템은 해양항만실험센터의 실험을 위한 관측시스템 개발 및 내 연안 구조물의 방재관리 시스템 구축에 필요한 기초자료로 활용

○ 지역적 특성을 반영한 해양·항만구조물의 위험도평가에 기초자료로 활용

◯ 2세부과제

가. 상부시설 공간 계획 기술

○ 플로팅 건축물 개발 사업의 기획 및 초기 검토

○ 플로팅 건축물 상부시설의 계획 및 설계

○ 플로팅 건축물 상부시설 거주 후 평가 및 설계 평가

○ 플로팅 건축물 관련 각종 법제도 정비

나. 법제도 연구

○ 플로팅 건축물 관련 법제도 개선안 및 새로운 법안의 제안은 연안 개발 및 플로팅 건축물 관련 법규 제정 및 제도 정비 시 근거 자료로 활용

○ 새만금개발 및 전남·북 연안개발사업에 있어 플로팅 건축물 도입을 위한 관련 지자체의 조례 등의 법제도 정비를 위한 정책제안에 활용

다. 쾌적환경 설계 기술

○ 이 과제에서 개발된 해수열 이용 시스템은 플로팅건축물에 특화된 기술로써, 플로팅건축 수요의 증가와 함께 연구성과의 활용성은 증가할 것으로 예상됨

○ 개발된 저탄소형 개구부 설계 매뉴얼은 플로팅 건축물의 건축 계획적 단계에서 Passive적 대안으로서 재실자에게 최상의 심리적 만족감을 주는 동시에 에너지 효율을 높일 수 있는 저탄소 개구부 설계 가이드라인으로 활용

○ 해수면 반사일사와 반사광의 활용 및 제어 기법 개발을 통해 실내 조명부하 저감 또는 불필요한 일사제어를 통해 냉방부하 저감이 가능할 것으로 예상됨

라. 신재생에너지 적용기술

○ 풍자원 분석 자료

– 분석지역의 풍력터빈의 설계자료로 활용 (터빈의 설계 풍속)

– 건물일체형 풍력시스템을 위한 풍속 변환 자료로 활용

○ 건물일체형 풍력시스템 모델링

– 풍동 실험을 위한 설계 자료로 활용

– 건물에너지 소비 및 생산 자료로 활용

– 지붕과 날개 등과 같은 설계 요소의 변화에 따른 출력(power) 변화에 대한 연구가 추가적으로 필요함

○ 설비 모듈화 사례 조사

– 향후 테스트베드 설계시 모듈화 방향 제시

○ 윈드가이드(wind guide) 개발

– 플로팅 건축물의 지붕 설계에 활용

– 일반 건축물의 지붕 설계에 활용

○ 디지털 풍동 제작

– 건물일체형 풍력시스템에 대한 풍동 실험에 활용

– 지붕과 날개 등과 같은 설계 요소의 변화에 따른 출력(power) 변화에 대한 연구가 추가적으로 필요함

○ 건물일체형풍력 설계가이드 프로그램

– 건물일체형 풍력시스템 설계시 활용

○ 양방향 윈드가이드가 있는 풍력시스템

– 주풍향이 양방향인 건물에 적용하여 풍력에너지를 더 많이 생산할 수 있음

– 풍향 변화에 따른 유동 특성을 제시되어 설계 시, 주풍의 풍향이 변화에 대응하는 설계로 활용

○ 다방향 윈드가이드가 있는 건물일체형 풍력시스템 모델링

– 풍향 변화에 따른 유동 특성을 제시되어 설계 시, 주풍의 풍향이 변화에 대응하는 설계로 활용

– 윈드 가이드의 형상과 풍향에 따른 출력(power) 변화에 대응하여 풍력시스템을 설계할 수 있음

○ 풍력시스템의 출력성능 측정 모델

- 향후 다양한 건물일체형 풍력시스템에 대한 출력성능을 측정할 수 있음

마. 플로팅 건축 BIM 설계 기술 개발

○ BIM 데이터 활용 통한 플로팅 건축물의 전생애주기에 걸친 경제성 분석

○ BIM을 기반으로 한 설계 기술 개발을 통하여 플로팅 건축 설계의 표준화

○ BIM 데이터를 활용한 통합 플로팅 건축물 유지·관리 시스템 개발

바. 플로팅건축공사 시공기술

○ 플로팅 건축공사의 함체 진수공법

- 대지에 대한 제한성이 줄어들기 때문에 중소규모 플로팅 건축물 시공 시 함체 진수 시 공법의 적용
- 정수역을 관광 및 레저용 관광지로 개발 시 소형 선박 및 플로팅 함체 진수 가능
- 물이 흐르는 강의 상류부분 및 건축기계가 접근하기 어려운 위치에 선박 진수 가능

○ 플로팅 건축공사의 표준안전작업절차서

- 관리감독자 및 작업자에게 안전관리 수단 제시
- 플로팅 건축공사의 안전보건상 법적요건의 준수를 위한 지침 제공

○ 플로팅 건축공사의 유해위험방지계획서 및 플로팅 건축공사 안전메뉴얼

- 플로팅 건축물 시공 시 작업공종별 세분화 및 위험요인에 대한 정보 제공
- 위험요소에 대한 안전대책 및 보호 장비에 대한 정보 및 기준 제공
- 각 현장에 맞추어서 플로팅 건축공사 안전메뉴얼을 활용할 수 있도록 각 프로세스에 필요한 관련 표준 및 필요 절차서에 관한 정보 및 기준 제공

사. 플로팅건축 설비 설계

○ 유사 플로팅 건축 설비 설계 시 기본적인 가이드라인으로 활용함으로써 설계 오류를 최소화 할 수 있음

## 제2절 추가연구의 필요성

◯ 1세부과제

○ 본 연구는 ‘저층형 플로팅 건축물’에 파랑하중이 주로 작용하는 경우를 고려하여 연구가 수행 되었으나, 고층으로 올라가게 되면 파랑하중의 영향도 있지만 풍하중에 대한 영향이 크게 발생하게 되기 때문에 ‘고층형 플로팅 구조물’의 연구도 필요함

○ 본 연구는 다양한 설계변수와 관련된 불확실성을 명확히 고려할 수 있는 플로팅구조물의 신뢰성기반 설계에 적용을 위한 기초연구(fundamental study)의 일환이므로, 한계상태설계법의 개발을 위해서는 설계기준 정립을 위한 종합적이고 광범위한 연구진행이 요구됨

○ 본 향후 국내에서 설치된 플로팅 구조물에 본 연구를 통해서 개발된 요소기술들을 적용하여 각 요소기술등을 평가해보고 이를 바탕으로 개선사항을 도출하여 실구조물에 적용가능할 기술로 업그레이드 할 것이 요구됨

- 플로팅 구조물에 건전도 평가기술을 도입한 사례가 미비하여 다양한 사례에 적용하는 연구가 필요
- 장기 계측에 따른 유효물성치 산정 및 손상 추정에 따른 잔존수명 평가 연구가 필요
- 함체가 해수에 노출된 경우, 동결융해 와 염소이온 침투 외에 다른 인자들이 내구성에 영향을 미칠 것으로 판단됨. 함체에 적용되는 콘크리트에 대해 추가적인 내구성 평가가 필요함
- 재료 적용에 제한이 있어 축소 Mock-up 실험을 실시하였으므로, 실물규모의 함체에 적용한 경우의 성능평가에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단됨

◯ 2세부과제

○ 본 연구는 1) 상부시설 공간계획 기술 개발, 2) 플로팅 건축물 법제도 연구, 3) 플로팅 건축의 쾌적환경 설계기술 개발, 4) 플로팅 건축의 건물일체형 풍력시스템 개발, 5) 플로팅 건축 공간디자인 마케팅기술 개발 6) 플로팅 건축 BIM설계기술 개발 7) 플로팅 건축 시공기술, 8) 플로팅 건축 설비 설계 등 8가지 세부연구를 통하여 각각 요소기술을 개발함

○ 본 연구를 진행하면서 엔지니어링 테스트베드, Mock-Up 실험 등을 통해 연구결과를 실증하기위한 노력을 기울였으나 연구결과의 실증에는 다소 부족함이 있었음

○ 따라서 본 연구를 통해 개발된 기술들을 실제 적용할 수 있는 실제 프로젝트를 통해 연구결과를 실증할 수 있는 추가적인 연구가 필요함

[참고문헌]

○ 1세부과제

## 1. 플로팅 구조물 상호작용해석


[1] 홍사영, 2007, 초대형 부유식 해상구조물 설계메뉴얼, 한국해양연구원

[2] C.M.Wang, E.Watanabe & T.Utsunomiya, Very Large Floating Structures

[3] 염덕준, 2010, 해양구조물 운동론, 울산대학교 출판부

[4] O.M.Faltinsen, 1995, Sea Loads on Ships and Offshore Structures, Cambridge University Press

[5] 김지용, 2010, ANSYS AQWA, 태성에스엔이

[6] 김지용, 2011, FLUENT Basic, 태성에스엔이

[7] Shin,M.S.,1997, A study of sedimentation processes in Saemangeum coastal area, International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.966-972.

[8] Shin,M.S.,1999, Mitigation for the anti-function in caused by Saemangeum reclamation, Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers, pp.169-174.

[9] Shin,M.S.,1988, Reclamation engineering, pp.55-100.

[10] Park S.W.,1988, Pre-estimate of seawater surface and change of accumulation layer on subaqueous in Saemangeum coastal area, Rural Research Corporation of Korea, pp.373-523.

[11] Shin,M.S.,2000, A study of seasonal variation of the residual flow before and after Saemangeum reclamation, Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers, pp.47-53.

[12] Rural Research Corporation of Korea, 1994, Survey of wave and hydraulic experimental in Saemangeum coastal area, pp. 331-340.

[13] Shin,M.S., J.N.Lee, S.K.Hong,1994, Development of Model by Soil Diffusion within Dam, Hydro-Port^94, Yokosuka, Japan, pp.941-952.

[14] Yanagi T., H.Tsukamoto, H.Inoue. and T. Okaichi.,1983, Numerical Simulation of Drift Cards Dispersion, La mer, Vol 21, pp.218-224.

[15] Lee,S.W.,1994, Korea Harbor Hydarulic, Zib-moon-dang, pp.53-92.

[16] Kim,G.R.,1994, Fishery damage compensation report of Saemangeum

development work, Coastal Research Center, Kunsan National University, pp.5-192.

## 2. 플로팅구조물의 확률론적 안전성평가 기술 개발

[1] 김지용 (2010), "ANSYS AQWA Training manual", 도서출판 대림

[2] 국토해양부(2010), 풍환경모델 및 내풍기술 개발

[3] 한국해양연구원, (2007), 초대형 부유식 해상구조물 설계매뉴얼

[4] 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(2008) “초대형 부유식 해상구조물 기술개발”, 해양수산부 연구보고서.

[5] Bernt, J. L., Tore, H., Kjell, H. "Application of responese surfaces for reliability analysis of marine structures" Reliability Engineering & System safety Vol: 90 lssue: 2-3 lssn: 0951-8320 Date: 2005 Pages: 131-139.

[6] Elchahal, G., Younes, R., Lafon, P., (2009) "Parametrical and Motion Analysis of a Moored Rectangular Floating Breakwater", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 131, pp 1-10.

[7] Garbatov Y. & Soares C.G. (2002) "Bayesian Updating in the Reliability Assessment of Maintained Floating Structures" - fatigue reliability of a ship type floating structure

[8] Sun, H-H & Soares, C.G. (2003) "Reliability-based Structural Design of Ship-Type FPSO Units" - Hull girder, stiffened panel or web frames, unstiffened plates between stiffeners

[9] Winterstein et al. (2000) "Reliability of Floating Structures: Extreme Response and Load Factor Design" - Spar Buoy

[10] Wirshing, P. H. and Wu, Y.-T. (1987) Advanced Reliability Methods for Structural Evaluation. Journal of Engineering for Industry, Vol. 109, pp. 19-23.

## 3. 플로팅 구조물의 건전도 평가기술 개발

[1] Allemang, R. J. and Brown, D. L., A correlation coefficient for modal vector analysis. 1st International Modal Analysis Conference, 1982. pp. 110-116

[2] ANSYS (2010) "ANSYS AQWA User's Manual" ANSYS Inc. PA.

[3] ABAQUS Version 6.2 User's Manual (2001). Hibbitt, Karlsson & Sorensen Inc., Pawtucket, RI.

[4] Cawlwy, P.; Adams, R. D. The location of defects in structures from measurements of natural frequencies. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 1979, 14.2: 49-57.

[5] Chance, J.; Tomlinson, G. R.; Worden, K. A simplified approach to the numerical and experimental modelling of the dynamics of a cracked beam. In: Proceedings-SPIE the International Society for Optical Engineering. SPIE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL, 1994. p. 778-778.

[6] Choi, Sanghyun; Stubbs, Norris. Nondestructive damage detection algorithms for 2D plates. In: Smart Structures and Materials' 97. International Society for Optics and Photonics, 1997, pp. 193-204

[7] Duggan, D. M., Wallace, E. R., and Caldwell, S. R.; Measured and Predicted Vibration Behavior of Gulf of Mexico Platforms, OTC Paper 3864, presented at the Twelfth Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1980

[8] FRISWELL, M.I.; PENNY, J. E. T. Is damage location using vibration measurements practical. In: Proceedings of EUROMECH 365 International Workshop: DAMAS. 1997.

[9] Gibson, Jerry D.; Melsa, James L. Introduction to nonparametric detection with applications. New York: Academic press, 1975.

[10] ISO 2631-2, Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz), 2003

[11] ISO 6954, Mechanical Vibration - Guidelines for the Measurement, Reporting and Evaluation of Vibration with Regard to Habitability on Passenger and Merchant Ships, 2000

[12] Kato, Masafumi; Shimada, Shizuo. Vibration of PC bridge during failure process. Journal of Structural Engineering, 1986, 112.7: 1692-1703.

[13] Gudmundson, Peter. Eigenfrequency changes of structures due to cracks, notches or other geometrical changes. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1982, 30.5: 339-353.

[14] ME' scope TM (2009). "Version 5.0 Operating Manual." Vibrant Technology, Inc., Jamestown, California.

[15] Pandey, A. K.; Biswas, M.; Samman, M. M. Damage detection from changes in

curvature mode shapes. Journal of sound and vibration, 1991, 145.2: 321-332.

[16] Schwarz, Brian J.; Richardson, Mark H. Experimental modal analysis. CSI Reliability week, 1999, 35.1: 1-12.

[17] Stubbs, Norris; Osegueda, Robert. Global non-destructive damage evaluation in solids. International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis, 1990, 5: pp.67-79

[18] Stubbs, N., and Kim, J. T., and Topole, K; An Efficient and Robust Algorithm for Damage Localization in Offshore Platforms, Proceedings of the ASCE Tenth Structures Congress, 1992, pp.543-546

[19] Vandiver, Kim, J.T., et al. Detection of structural failure on fixed platforms by measurement of dynamic response. Journal of Petroleum Technology, 1977, 29.03: 305-310.

[20] Yao, J. T. P.; Natke, H. G. Damage detection and reliability evaluation of existing structures. Structural Safety, 1994, 15.1: 3-16.

[21] 고한석, 이우식, 구조물의 건전성 모니터링을 위한 유도초음파 응용 구조손상 탐지기법, 한국철도학회논문집, 제 12권, 제3호, 2009, pp.412~419

[22] 김민진, 콘크리트 부유식 구조물 함체의 건전성평가, 한국해양대학교 대학원 해양건축공학과, 석사학위논문, 2013.

[23] 김민진, 박수용, 부유식 구조물 바닥판의 진동 사용성 평가, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집, 제8권 1호,2012, 12월, pp.369-370

[24] 박노식, 이주성, 반잠수식 해양구조물의 손상상태에서의 안전성에 간한 연구, 한국연구재단, 1988

[25] 박수용, 손상평가와 구조물 신뢰성과의 연계, 한국강구조학회 논문집, 제15권, 제1호, 2003, pp.41~50

[26] 박수용, 손상평가 및 구조계 추정기법의 적용사례, 한국전산구조공학회 논문집, 제16권, 제1호, 2003, pp. 24~38

[27] 박수용, 최상현, 빔 구조물의 모달 변형에너지를 이용한 손상탐지, 한국전산구조공학회 논문집, 제16권, 제3호, 2003, pp.333~342

[28] 박수용, 최상현, 윤성원, 정광량, 모드유연성의 변화를 이용한 바닥구조의 손상탐지, 대한건축학회 논문집, 제20권, 제5호, 2004, pp.35-42

[29] 전용환, 동적특성을 이용한 부유식 구조물의 손상탐지, 한국해양대학교 대학원 해양건축공학과, 석사학위논문, 2012.

[30] 홍사영, 부유식 구조물을 이용한 해양공간 이용기술, 대한토목학회지, 제 55권, 제3호,

2007, pp.80~86

## 4. 영상기반 동적 거동모니터링 기술

[1] 최항순, 박노식, 조철희 (2001) “초대형부유식구조물”, 도서출판 대선.

[2] 한국기계연구원 선박·해양공학연구센터 (1995) “해양장비 핵심기술 개발; 대형 해양구조물 거동해석 기법 개발”, 연차보고서.

[3] 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(2008) “초대형 부유식 해상구조물 기술개발”, 해양수산부 연구보고서.

[4] 손수봉, 무인항공기에 부착된 카메라를 사용한 지상 목표물 추적과 위치계산, 공학석사 학위논문, 서울대 대학원, 2006.

[5] 김성삼, 무인헬기기반 영상정보취득체계에 의한 홍수재해 분석, 2007, 경상대학교 대학원, 박사학위논문.

[6] 이진학, 김진하, 정원무, 채장원 (2012) “다중 표적을 이용한 부유식 구조물의 영상기반 동적 응답 계측”, 대한토목학회논문집, 32권 1A호, pp. 19-30.

[7] 윤근항, 박병재, 여동진 (2014) “KCS선형의 천수영역에서의 자세 변화에 대한 실험적 연구”, 대한조선학회논문집, Vol. 51, No. 1, pp. 34-41.

[8] Lowe, D. (2004), Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal on Computer Vision, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.

[9] Fousert, M.W., Vrijling, J.K., Molenaar, W.F., van Kessel, J.L.F., (2007) "Floating Breakwater: A Theoretical study of a dynamic wave attenuating system", Faculty of Civil Engineering and Geosciences, section Hydraulic Engineering.

[10] Ohkusu, M., Namba, Y., (2004) "Hydroelastic analysis of a large floating structure", Journal of Fluids and Structures, 19, pp 543-555.

[11] Vugts, J.H. (1970) "The hydrodynamic forces and ship motions in waves", Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.

[12] Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., and Harley, I. (2006), Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Application, Wiley, Scotland, UK.

## 5. 플로팅 상부 구조물 접합부 해석 및 설계기술

[1] 이길영, “더블 앵글 접합부의 초기강성 및 극한강도 산정을 위한 해석 모델”, 인하대학

교 석사학위 논문 (2007)

[2] 전성삼, “3차원 비선형 유한요소 해석을 통한 무보강 탑-시트 앵글 접합부의 초기강성 및 소성모멘트 저항능력 예측”, 인하대학교 석사학위 논문(2010)

[3] 양재근 외 2명, “더블앵글 접합부의 초기강성 산정을 위한 해석모델”, 공간구조학회 : 제 4권 4호 (2004)

[4] 이은숙, “파랑하중을 고려한 반강접 접합부의 비선형해석”, 한국해양대학교 석사학위 논문(2002)

[5] 박종서, “파랑하중을 고려한 3차원 플로팅 구조물의 반강접 접합부 해석”, 한국해양대학교 석사학위 논문(2012)

[6] 정성림 외 2명, “경량형강을 사용한 모듈러 시스템 개발에 관한연구”, 한국구조공학회 : 제 5권 1호 (2008)

[7] 한국건설기술연구원 동향자료, “박스형 철골조 조립식주택(유니트하우스)의 개발에 관한 연구” (2000)

[8] 정성림 외 2명, “해체•조립식 모듈러 철골조 건물의 시공성에 관한 연구”, 한국공간구조학회지:Col. 8, No. 4, 통권 32호, pp.65~71, (2008-8)

[9] 김정학, “철골조 모듈러 공법을 적용한 Guam Workforce Housing Project 시공 사례”, 전산구조공학:제 23권 제4호, (2010-7)

[10] ABAQUS/Standard user's manual Vol 1~3

[11] Kishi, N. and Chen, W. F. and Goto, Y. and Hasan, R., “Behavior of Tall Buildings with Mixed Use of Rigid and Semi-Rigid Connections", Computer & Structures Vol. 61, No. 6. pp 1193~1206, (1996)

[12] 송화철, 이은숙. “반강접 접합부를 적용한 초대형 부유식 구조물 상부구조체의 2차 탄성해석”, 한국항해항만학회지:제 27권 1호, pp. 63~70, (2003)

[13] Chan, S. L. and Chui, P. P. T., “Non-linear static and cyclic analysis of steel frames with semi-rigid connections", Amsterdam; New York: Elsevier, (2000)

[14] Faella, C. and Piluso, V. and Rizzano, G., “Structural Steel Semirigid Connections", CRC Press LLC, (2000)

[15] Koichi Maruyoshi, Osamu Saijo, 송화철, “Case Study on Habitability of Superstructure Bulit on Floating structure” International Journal of Navigation and Port Research, Vo1.30, No.2 pp. 131-136, (2006)

[16] 해양수산부, “초대형 부유식 구조물 기술개발 연구보고서”,(2001)

[17] 오상목, 이주경, 오세규, “독일의 지속가능한 수변주거단지 계획기법 연구”, 대한건축학회지회연합회 논문집: v.0.9n.0.2.통권30호, (2007-6)

[18] 정성림, 김재훈, 박성무, “모듈러 빌딩 시스템을 위한 접합부의 거동에 관한 연구”, 대한건축학회지회연합회 논문집:n2007c.01, (2007-12)

[19] 조봉호, 김홍진, 이승준, 차희성, “식스-시그마를 이용한 모듈러 건축물용 보부재 개발 방법론” 대한건축학회 논문집(구조계) 제 26권 제11호, 통권265호, (2010-11)

[20] 조봉호, 김홍진, 고광호, “모듈러 건축 시스템의 기술개발 동향 및 적용 사례” 한국강구조학회지 : 제19권 제1호 통권 제 70호, (2007-3)

[21] 이철호, 김정재, 홍성걸, 조봉호, 김홍진, 한규홍, “실대형 구조실험에 의한 신형상보 모듈러 건축물의 내진/내풍성능 평가” 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제 27권 제1호 통권 제 51집, (2007-10)

[22] R.M. Lawson, R.G. Ogden "'Hybrid' light steel panel and modular systems" Thin-walled structures 46, 720-730, (2008)

[23] Manual of SteelL Construction, Allowalbe stress Design, ninth edition

[24] 홍갑표 외 2인, 2008, 압축력과 휨모멘트를 받는 메탈 터치된 기둥 이음부의 구조성능에 대한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 제20권 제5호, pp.633-644

[25]양철민, 김영문, 2006, 축 하중을 받는 내부 철골 보-기둥 접합부의 이력거동에 대한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 제22권 제5호, pp.97-104

[26] 김정현, 2005, 축력과 모멘트를 받는 철골주각의 거동에 관한 해석적 연구, 아주대학교, 석사학위논문

[27] 한상윤, 2006, 밀착접합(Metal Touch)을 이용한 철골주각부의 응력전달과 성능개선에 관한 연구, 연세대학교, 석사학위논문

[28] 이대현, 김호수, 2003, 전이보 시스템의 수직응력분포 및 트러스 거동에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제19권 제9호, pp.43~50

[29] 양재근 외 2인, 2005, 단력을 받는 더블앵글 접합부의 회전강성 산정을 위한 3차원 유한요소 해석, 대한건축학회 논문집, 제21권 제5호, pp.59~66

[30] 김호근, 2005, 수평.수직하중을 동시에 받는 더블앵글로 접합된 골조의 거동에 관한 연구, 인하대학교, 석사학위논문

[31] 양재근, 천지원, 2007, 무보강 탑-시트 앵글 접합부의 초기강성 예측을 위한 이론적 연구, 대한건축학회 논문집, 제23권 제9호, pp.81~88

[32] 양재근, 천지원, 2007, 무보강 탑-시트 앵글 접합부의 초기강성 예측, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권 제1호, pp.37~40

[33] 전성삼, 2010, 3차원 비선형 유한요소 해석을 통한 무보강 탑-시트 앵글 접합부의 초기강성 및 소성모멘트 저항능력 예측, 인하대학교, 석사학위논문

[34] 윤성기 외 2인, 2010, 강구조 보-기둥 접합부의 비선형 유한요소 모델링 기법, 대한

건축학회논문집, 제26권 제3호, pp.27~34

[35] 천지원, 무보강 탑-시트 앵글 접합부의 초기강성 및 극한모멘트 예측모델, 인하대학교, 석사학위논문

[36] 김세철, 2013, 전이보시스템을 적용한 플로팅 상부 구조물 접합부의 유한요소 해석, 한국해양대학교, 석사학위논문

## 6. 모듈러 함체 접합부 설계 기술 개발

[1] AASHTO, ""Guide Specifications for the Design and Construction of Segmental Concrete Bridges," Second Edition, 1999, pp.3-118.

[2] ACI 357.2R-10, Report on Floating and Float-In Concrete Structures, American Concrete Institute, 2010.

[3] Annamalai, G., and Robert C. Brown, Jr.(1990) "Shear-Transfer Behavior of Post-Tensioned Grouted Shear-key Connections in Precast Concrete-Framed Structures", ACI Structural Jounal, Vol. 87, No. 1, pp.53-59.

[4] Hamad, B. S. and Mike, J. A. "Bond Strength of Hot-Dip Galvanized Reinforcement in Normal Strength Concrete Structures," Construction and Building Materials, Vol. 19, 2005, pp. 275-283.

[5] Kayali, O. and Yeomans, S. R. "Bond of Ribbed Galvanized Reinforcing Steel in Concrete," Cement & Concrete Composites, Vol. 22, 2000, pp. 459-467.

[6] Kwon,. S. J., Lee, S. M., Lee, M. H. and Park, S. S. "Study on Corrosion and Structural Performance in Hot-Dip Galvanizing Steel," Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 24, No. 5, 2012, pp. 613-621.

[7] Lanier MW, Wernul M, Easley R and Springston PS (2005) New Technologies Proven in Precast Concrete Modular Floating Pier for U.S. Navy, PCI Journal, Jul.-Aug., pp.76-99

[8] Maahn, E. and Sorensen, B., ""Influence of Microstructure on the Corrosion Properties of Hot-Dip Galvanized Reinforcement in Concrete," Corrosion-NACE, Vol. 42, No. 4, 1986, pp. 187-196.

[9] Manna, M, Bandyopadhyay, N. and Bhattacharjee, D. "Effect of Plating Time for Electroless Nickel Coating on Rebar Surface: An Option for Application in Concrete Structure," Surface & Coating Technology, Vol. 202, 2008, pp. 3227-3232.

## 7. 함체용 친환경 콘크리트 적용기술

[1] KS F 2584, 콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법, 한국표준협회, 2010.

[2] KS F 2456, 급속 동결 융해에 대한 콘크릳의 저항 시험방법, 한국표준협회, 2013

[3] KS F 2711, 전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험방법, 한국표준협회, 2002

[4] KS F 2526, 콘크리트용 골재, 한국표준협회, 2007

[5] KS F 2527, 콘크리트용 부순 골재, 한국표준협회, 2007

[6] 콘크리트 표준시방서, 8장 고유동 콘크리트, 국토해양부, 2005

[7] G, De Schutter, Guideline for testing fresh self-compacting concrete, European Research Project, measurement of properties of fresh self-compacting concrete, 2005

[8] ASTM C 1621/C 1621M-09b, Standard Test Method for Passing Ability of Self - Consolidating Concrete by J-ring, 2009

[9] JSCE, Standard Test Methods for Self-compacting Concrete, JSCE Concrete Engineering Series 31

## 8. 해양 환경에서 플로팅 구조물의 최적 유지관리 시스템 개발

[1] Harvey H., Robert O., P. Kumar M. Concrete Deterioration from Physical Attack by Salts, Concrete International 1996; 63-8

[2] S. Chatterji Transportation of Ions Through Cement Based Materials. PART 1 Fundamental equations and basic measurement techniques, Cement and Concrete Research 1994; 24(5): 907-12

[3] Oh SG., Park DC. Papid Chloride Penetration Test for Concrete Based on the Electrochemical Method, Korea Institute of Navigation and Port Research 2010; 34(10):787-92

[4] Kim JJ., Park DC. Protective Effect on the Chloride Ion Permeation of Cement Mortar by Steel Powder, Journal of the Architectural institute of Korea Structure & Construction 2007; 23(11): 101-8

[5] Kim WJ., Park DC., Oh SG., Kim HY., Ahn JC. An Experimental Study on the Field monitoring for Airbone Sea Salt, Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction 2010; 30(1): 245-6

[6] Lee JS., Choi WS., Moon HY. A Study on the Distribution of Airbone Sea Salt to the Distance from Seashore, Proceeding of the Korea Concrete Institute 2004; 16(1): 842-5

[7] Lee JS., Choi WS., Ahn KH., Lee JH. Area index of airborne chlorides at the seashore in Korea, Proceeding of the Korea Concrete Institute 2006; 18(2): 609-12

[8] http://www.tokai-techno.co.jp/service/salt.htm

[9] Kasahi H. A Study on Salt Percolation in Reinforced Concrete Structures [in Japanese], Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan. Materials and construction, fire safety, off-shore engineering and architecture, computer application 1985; 60: 97-8

[10] Lee JS. Estimation of the Surface Chlorides for Concrete Structures in the Seashore Considering Airborne Chlorides, [Ph.D. Dissertation], Seoul: Hanyang University; 2006

[11 Kakegawa M. Investigation of Salinity in Atmosphere and Chloride Ion Penetration into Concrete, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan. A, Materials and construction, fire safety, off-shore engineering and architecture, information systems technology 1994; 147-8

○ 2세부과제

## 1. 상부시설 공간 계획 기술

[1] 홍사영, 2007, 초대형 부유식 해상구조물 설계메뉴얼, 한국해양연구원

[1] KS F 1503 건축 모듈 정합 원칙 및 기준, 2010. 10.

[2] KS F 1508 건축 모듈 정합 관련 용어, 2010. 10.

[3] KS F 1510 건축 구성재의 모듈 정합을 위한 우선치수, 2012. 5.

[4] KS F 1525 건축 모듈 정합 설계기준, 2002. 9.

[5] 주택건설기준 등에 관한 규정, 2012. 4.

[6] 주택건설기준 등에 관한 규칙, 2012. 4.

[7] 주택의 설계도서 작성기준, 2009. 8.

[8] 도로법 시행령, 2012. 4.

[9] 도로의 구조•시설 기준에 관한 규칙, 2012. 4.

[10] 자동차 안전 기준에 관한 규칙, 2012. 3.

[11] 임석호, 한국형 공업화 주택의 오픈 시스템을 위한 모듈정합 설계기준설정 연구, 2004.

[12] 임석호, 유닛 모듈라 주택의 설계자동화를 위한 기초 연구, 2005.

[13] 임석호, 부품 및 유닛 DB를 이용한 유닛 모듈라 주택의 설계자동화 연구, 2006.

[14] 송영학 외, 박스 유닛공법을 이용한 남극 내륙기지의 가설 캠프 설계, 제작에 관한 연구, 2011.

[15] 김지현, 주거시설로서 모듈러건축 활용화 방안, 2013.

[16] 이가경 외, 도시형 생활주택의 유닛 모듈라 공법 설계에 관한 연구, 2011.

[17] 이광복, 유닛 모듈러 공법의 효율성 확보를 위한 공장제작, 운반, 현장설치의 최적 공정 제안, 2011.

[18] 미국 포틀랜드시 조례 28장 'Floating Structures'

[19] 캐나다 브리티시 콜럼비아주 'Float Home Standards'

[20] 네델란드 기술 규약 NTA 8111 'Floating Constructions'

[21] G. Staib, Components and Systems : Modular Construction, Design, Structure, New Technologies, 2008.

[22] Ryan Smith, Prefab Architecture : A Guide to Modular Design and Construction, 2010.

[23] Koen Olthuis & David Keuning, Float! : Building on Water to Combat Urban Congestion and Climate Change, Frame Publishers, 2010.

[24] Anne Loes Nillesen & Jeroen Singelenberg, Amphibious Housing in the Netherlands, NAi Publishers, 2011.

[25] Builder's Guide to Modular Home Set-Up & Completion, National Modular Housing Council

[26] A Community Guide to Factory-Built Housing, PATH(Partnership for Advancing Technology in Housing)

[27] Insiders' Guide To Modular Homes, Modular Today

[28] From Factory to Finish : A Guide to Residential Modular Construction, Modular Building System Association

## 2. 법 제도 연구


[1] 황은경, 김수암, 김대희, 전명화(2007), “건축물 피난 기준 설정 및 설계기술 개발 연구”, 한국건설 기술 연구원

[2] IMO(International Maritime Organization 2012), “1974 SOLAS – CONSOLIDATED EDITION 2008 –”

[3] ABS(American Bureau of Shipping 2005), “Guidance Note on Fire-Fighting System”

[4] DNV(Det Norske Veritas 2010), “Accident statistics for Floating Offshore Units on the UK Continental Shelf 1980-2005”, Health and Safety Executive

[5] 한국방재협회(2007), “방재법규 및 제도”, 한국방재협회 부설 방재연수원

[6] 소방방재청(2012), “법률 제11037호 소방기본법 “

[7] 국토해양부(2008), “부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준”

[8] 국토해양부(2010), “국토해양부령 제306호 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”

[9] 국토교통부(2013), “건축법”

[10] 국토교통부(2013), “건축법 시행규칙”

[11] 국토교통부(2013), “건축법 시행령”

[12] 국토교통부(2013), “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”

[13] 서울특별시(2009), “서울특별시 초고층 건축물 가이드라인”

[14] 박경부(2007), “방재법규 및 제도”, 한국방재협회부설방재연수원

[15] 室崎益輝 저, 강병희, 현철, 오상균 역(2004), "현대건축학 건축방재·안전", 도서출판 서우

[16] 김동진, 곽수용(2011), “국내 해양선박사고의 인적 오류의 요인 평가”, 대한인간공학회지, 30(1), pp.87-98.

[17] 이한석, 이명권, 강영훈, 2012. 플로팅 건축물 관련 국내외 법제도 사례 연구. 한국항해항만학회지, 36(6), pp.449-458.

[18] 천우영 외(2008), “국내 방화규정에 따른 건축물 방화구획 성능 및 개선방안에 관한 연구”, 한국화재소방학회 2008년도춘계학술논문발표회, 한국화재소방학회

[19] E. WATANABE, C.M., WANG, T., UTSUNOMIYA and T. MOAN(2004), “VERY LARGE FLOATING STRUCTURES:APPLICATIONS”, ANALYSIS AND DESIGN, CORE Report No. 2004-02, Centre for Offshore Research and Engineering National University of Singapore

[20] National Fire Protection Association(2000), “NFPA303 Standard for the Construction and Fire Protection of Marine Terminals, Piers, and Wharves”

[21] SALVATORE CIRIACONO(2006), “Building on Water”, Berghahn Books

[22] Jochen Schanze, Evzen Zeman, Jiri Marsalek(2006), “Flood Risk Management:Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures”, Springer

[23] Han Meyer, Inge Bobbink, Steffen Nijhuis(2010), “DELTA URBANISM THE NETHERLANDS”, American Planning Association

[24] EDWARD A. KELLER · ROBERT H. BLODGETT 저, 이동우 외 옮김(2008), “자연재해와 방재”, 시그마 프레스

[25] 오병철, 방극호, 윤충국, 이영재(2011), “소방방재 관련자를 위한 2011 소방관련 법령집”, 기문당

[26] DONALD WATSON, MICHELE ADAMS(2010), “DESIGN for FLOODING”, Jon Wiley & Sons, Inc.

[27] 財団法人 日本建築防災学会(2002), “20世紀の災害と建築防災の技術”, 技報堂出版

[28] 박재성, 윤명오, 이용재(2002), “건축물의 피난안전에 관한 국가간 기준 비교 연구”, 한국화재 · 소방학회지, 16(2)

[29] 황은경, 윤호주(2012), “국내 초고층 건축물 피난관련 기준 비교분석 연구”, 한국방재학회논문집, 12(6)

## 3. 쾌적환경 설계 기술

[1] 건설교통부(2003), 고시 제2003-314호, 건축물의 에너지절약 설계기준

[2] 국토해양부령(2010), 제306호, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙

[3] 김정태 외 4명 공저(2002), 건축설비시스템, 기문당

[4] 대한조선학회 편(2000), 선박의장, 동명사

[5] 이영삼, 김영모(2002), 여객선, 해인출판사

[6] 임만택 저(1999), 개정 건축설비, 기문당

[7] 전병직 A.I.A(1998), 호텔건축계획, 세진사

[8] 한국해양자료센터 홈페이지(http://kodc. nfrda.re.kr)

[9] 해양공간건축정보 홈페이지(http://ocean.cric.or.kr)

[10] 환경부령(2008). 제302호, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙

[11] 神田寬(1964), 船舶の居住性能ー人間工学的研究, 成山堂書店

[12] 建築のテキスト編集委員会 編(1996), 初めての建築環境, 學藝出版社

[13] 空氣調和·衛生工學會 編(1995), 空氣調和·衛生工學便覽 第12版 第3卷 空氣調和設備設計篇, 空氣調和·衛生工學會

[14] 畔柳昭雄, 渡辺冨雄(1991), 海洋建築の構圖, Process 第96호, p. 87

[15] (社)建築設備技術者協會 編著(2002), 建築設備設計マニュアル 第3版 I 空氣調和編, 技術書院

[16] (社)日本造船學會造船設計委員會第2分科會 編(1970), JSDS-I·6 造船艤裝設計基準 舶用空氣調和裝置設計基準 船舶の通風裝置設計基準, 해문당

[17] (社)日本造船工業會(1988), 明日を拓く浮体構造物 A-既往事例集, p.43

[18] 造船テキスト研究会(1995), 新訂 商船設計の概要, 成山堂書店

[19] 造船テキスト研究会(1979), 商船設計の基礎(下卷), 成山堂書店

[20] International Ground Source Heat Pump Association, "Geothermal Heat Pump - Introductory Guide", Oklahoma State University, 1997

[21] http://blog.daum.net/phpkr/137

[22] http://blog.daum.net/53071126/109

[23] DOE, Ground-Source heat pump applied to federal facilities - second edition, Federal Energy Management Program DOE/EE-0245(PNNL-13534), US Department of Energy, 2001

[24] 황광일, 김중헌, 신승호, "연구·사무용 건물에 적용된 수직형 지열냉난방시스템의 계절별 성능평가", 대한건축학회논문집 계획계, 제25권 제7호, 2009

[25] 국립수산과학원 한국해양자료센터(http://kodc.nfrdi.re.kr)

[26] 고동환, 2010. 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조도 분석에 관한 연구. 대한건축학회 논문집, 26(6), pp.321-331.

[27] 국토교통부(2012), "건축물 에너지 절약을 위한 창호 설계 가이드라인"

[28] 국토교통부(2013), "건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙"

[29] 김혜영, 2004. 주택 창에서 조망의 시각적 효과에 관한 연구. 한국주거학회 논문집, 15(4), pp.17-23.

[30] 노은아, 2012. 공동주택 외피 단열 수준별 창면적비에 따른 에너지성능에 관한 연구, 석사학위논문. 이화여자대학교.

[31] 류호창, 창의 환경심리적 요소와 거주자 의식 특성에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집, 13호, 1997, pp.11~17.

[32] 박상고, 해양건축물 냉방부하에 미치는 해수반사 일사의 영향, 한국해양대학교 석사학위논문, 2013.

[33] 송수빈, 2008. 창호의 단열특성에 따른 공동주택의 에너지 절감효과 및 경제성 분석, 석사학위논문. 부산대학교.

[34] 신주영, 윤근영, 김정태, 2010. 창의 조망에 따른 분위기 및 시각적 쾌적성 평가에 대한 예비실험. 대한건축학회연합논문집, 10(2), pp.25-30.

[35] 유종호 외 3인 2007. 열 관류율 민감도 분석에 따른 고단열 삼중창호 시스템의 단열성능평가 연구, 대한건축학회 논문집, 23(10) pp.159-166.

[36] 이명준 외 5인, 2007. 공동주택의 창호 결로 방지 평가 방법을 통한 창호별 Low-E 유리 적용 효과 분석, 대한건축학회논문집, 23(7), pp.253-260.

[37] 이정민, 2002. 초고층 아파트의 결로와 환기에 관한 연구, 석사학위논문. 연세대학교.

[38] 이정배 외 1인, 2012. 고성능 창호설계를 위한 시스템적 성능평가 연구, 대한건축학회논문집, 28(2), pp.3-12.

[39] 이진성 외 4인, 2002. 유리조합에 따른 창호시스템의 열성능에 관한 연구, 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp.635-640.

[40] 장철용, 2007. 단열성을 향상시킨 고효율 첨단창호, 설비저널, 36(8) pp.19-25.

[41] 조우진, 2010, 이중개폐부위를 갖는 창호시스템의 연간 에너지 소비특성 평가, 박사학위논문. 한양대학교.

[42] 乾正雄, 建築設計講座(照明と視環境), 理工図書株式会社, 1978.

[43] E. Ne’man & R.G. Hopkinson., Critical minimum acceptable window size : a study of window design and provision of a view. Lighting Research and Technology, 1970, pp.17~27.

[44] Kieghley, E. C., Building Science, Visual requirements and reduced fenestration in office builidngs, Building Science, 1973, pp.311~320.

[45] Masao Inui. Toshimoto Miyata & Keiko Watanabe, Evaluation of Spaciousness · 1. Architectural Institute of Japan, 1972, pp.49~53.

[46] Nabil, A & Mardaljevic, J. 2000. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. Energy and Buildings, 38(7).

[47]. 윤종호 외, 서울지역 실측일사량을 이용한 일사량 직산분리 모델의 정밀성 검증, 태양에너지학회논문집, 제 20권 1호, 2000. 3, pp.45~54.

[48] 조덕기 외, 일사량의 성분 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집, 제 21권 1호, 2001. 3, pp.43~49.

[49] 화나현, 해양건축물에 작용하는 해수면 반사일사량의 영향도에 관한 연구, 한국해양대학교 석사학위논문, 2014. 2, pp.5~40.

[50] Takuo Endo et al, Seasonal variation of solar radiation and underwater irradiance in the Seto Inland Sea. 1983. 6.

[51] Singelenberg, Amphibious Housing in the Netherlands, NAi Publishers, 2011.

## 4. 플로팅건축의 신재생에너지 적용 기술 개발

[1] 기상청 국립기상연구소, 풍력-기상자원지도, 2009

[2] 김경상, 김지현, 송규동(2008), “일조시간 분석의 객관화를 위한 점분석 방식 개선방안 연구”, 한국건축친환경설비학회 학술대회 논문집, pp.98-103

[3] 김광우(1987), 컴퓨터를 이용한 자연채광 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 3(3)

[4] 김용이(2008), “공동주택단지의 일조, 일사 및 조망분석 도구의 개발과 적용”, 대한건축학회지회연합회논문집 제10권 제1호 통권 33호 pp.141~148.

[5] 김용이, 김광우(2003), “주거용 건물에서의 투영법에 의한 조망의 정량적 분석에 관한 연구”, 한국주거학회논문집 제14권 5호, pp.37-46.

[6] 서승직, 최원기, 트랜시스 컴포넌트 설명, 일진사, 2009

[7] 안영섭, 이정환, 윤종호, “인접건물에 의한 파사드일체형 BIPV모듈의 음영영향 평가연구”, 한국건축친환경설비학회 논문집 1권 2호, pp.28-33.

[8] 이덕형 외(2004), “건물 일조시간 계산방법(점,면)에 관한 비교연구”,한국태양에너지학회 논문집, 24(3), pp.9-17.

[9] 일본건축학회 저, 연제진 역(1992), 건축설계자료집성, 태림문화사, pp. 53-55.

[10] 최정민, 조성우(2011), “Ray-Tracing Method를 이용한 일영면적 산정방식 고찰”, 한국태양에너지학회논문집, 31권 3호, pp.36-41.

[11] 최홍규 외 (2009), “출력을 고려한 태양전지 어레이 최적 배치에 관한 연구”, 조명전기설비학회논문지 제23권 제12호, pp.96-105

[12] Anand, Vera B.(1996), 이현찬, 채수원, 최영 공역, 컴퓨터 그래픽스 및 형상 모델링(Computer Graphics & Geometric Modeling for Engineers), 시그마 프레스.

[13] Baniotopoulos, Charalambos /Borri, Claudio /Stathopoulos, Theodore, Environmental Wind Engineering and Design of Wind Energy Structures, Springer Wien New York, 2011

[14] Blinn, J.(1988), Me and my (fake) shadow, IEEE Computer Graphics and

Applications Vol. 8 No. 1, pp.82-86.

[15] Cochran, B.C. and Damiani, R. R., 2008, "Harvesting Wind Power from Tall Buildings," WindPower 2008, Houston, June 2-4

[16] Duttonm A. G. et al, 2005, "The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines," CCLRC, pp. 22~25

[17] Erich Hau, Wind Turbines, 2nd Ed., Springer, 2006

[18] Fernando D. Bianchi et al, Wind Turbine Control Systems, Springer, 2007

[19] Goldman, Ronald(1991), "Area of planar polygons and volume of polyhedra", Graphic Gems II, pp.170~171.

[20] Hamilton, D.C. and Morgan, W.R., (1952), "Radiant-interchange configuration factors," NASA TN 2836.

[21] Hitoshi Yamazaki(2002), "Solar Shadow Caluculation Metod and It's Application", Bulletin of Institute of Architectural Environmental Engineering 25, pp.7-14

[22] J.F. Manwell et al, Wind Energy Explained, John Wiley & Sons, 2002

[23] Lu, L. and Ip, K.Y., 2009, "Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong," Renewable & Sustainable Energy Reiviews, pp.450~461

[24] Martin O. L. Hansen, Aerodynamics of Wind Turbines, 2nd Ed., 2008

[25] Muller, R. et al, 2009, "Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings," Renewable Energy, v.34, pp.1407~1412

[26] Murta, A.(1998), A Generic Polygon Clipping Library, http://www.cs.man.ac.uk/~toby/alan/software/gpc.html

[27] Pelken, P. M. et al, "Vertical Axis Wind Turbines integrated in High-Rise Structures", http://soa.syr.edu/index.php?id=3385

[28] Pereira, Justin D, Wind Tunnels, Nova Science Publishers, 2011

[29] Sander Mertens, Wind Energy in the Built Environment, Multi-Science, 2006

[30] Schneider, P. J. and D. H. Eberly (2003). Geometric Tools for Computer Graphics. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers.

[31] Seong et al. (2010), "Automatic computation for optimum height planning of apartment buildings to improve solar access", Solar Energy 84(1), pp.154-173.

[32] Shenk, W. E., H. Powell, et al. (1970). Meteorological Uses of the

Stereographic Horizon Map Projection. NASA Technical Note.

[32] Sinisa Stankovic et al, Urban Wind Energy, Earthscan, 2009

[34] Teller, J. and S. Azar (2001). "TOWNSCOPE II − A Computer System to Support Solar Access Decision−Making." Solar Energy 70(3): pp.187−200.

[35] Tony Burton et al, Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, 2001

[36] Woo A, Poulin P, Fournier A.(1990), “A survey of shadow algorithms”, IEEE Computer Graphics and Applications, 10(6), pp.13−32.

[37] 東京都環境影響平價審議會, 東京都環境影響平價技術指針, 2002

[38] 蓮香文絵, 大澤義明, et al. (2006). "天空率と天空比との関係に関する考察." 日本建築学会計画系論文集 600: pp.121−127.

[39] 栗山立慎, 野口太郎(1998)."CGによる天空射影図を用いた日照環境評価法." 日本建築学会計画系論文集 510: pp.17−21.

[40] 山崎 均(1980), “日照環境のための基礎計算式”, 日本建築学会論文報告集 288, pp.139−147

[41] 牛山 泉, 風力エネルギーの基礎, 株式會社オーム社, 2005

[42] 牛山 泉, 風車工學入門, 森北出版株式會社, 2002

[43] 伊藤 克三, 日照関係図表の見方･使い方, オーム社, 1976

[44] 日照計画研究会, 日影図作成の演習と実務,彰国社, 1979

[45] 日照計画研究会, 真太陽時による日照計画の進めかた,彰国社, 1976

[46] 風工學研究所, ビル風の基礎知識, 鹿島出版會, 2005

[47] 風洞實驗法ガイドライン研究委員會 / 編集, 實務者のための建築物風洞實驗ガイドブック, 日本建築センター情報事業部, 2008

## 5. 플로팅건축의 공간디자인마케팅

[1] 국토해양부(2010), 마리나항만 기본계획

[2] 김홍섭(2010), “우리나라의 새로운 해양문화의 도입과 확장 전략에 관한 연구”, 한국항만경제학회지 제27집4호, pp. 269～288

[3] 김흥식, 이수진(2009), 서해안 관광권역 활성화 방안

[4] 문창호(2009), “유럽 플로팅 건축의 계획 및 활용에 관한 연구”, 대한건축학회연합논문집 제11권3호, pp. 1～58

[5] 박성신(2011), “플로팅건축의 유형 및 디자인 특성에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제35권 5호, pp.407-414

[6] 박성현(2005), “국내 요트산업의 현황과 문제점”, 해양환경안전학회, 제11권 1호, pp.47-52

[7] 박성현 외 3인(2006), “호남지역 해양레저산업 발전을 위한 친환경 해양레저 기반시설 구축”, 해양환경안전학회 추계학술발표대회

[8] 이한석(2007), “해양건축문화의 현황과 발전방향”, 해양문화학 제4호, pp. 69~88

[9] 조광우, 맹준호(2007), “우리나라 해수면 상승 대응방향에 관한 소고”, 한국해양환경공학회지 제10권4호, pp. 227~234

[10] 지삼업(2008), 마리나 조성계획과 실제, 대경북스

[11] 전북발전연구원(2007), 전라북도 요트산업 유치방안

[12] 전북발전연구원(2008), 전라북도 해양관광진흥 기본계획

[13] 사단법인 한국항만협회(2005), 항만 및 어항설계기준, 해양수산부

[14] 해양수산연구원(2006), 해양관광 기반시설 조성 연구, 해양수산부

[15] Feenstra, J.F., Burton, I., Smith, J. B. and Tol, Richard S.J. (1998), Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies

[16] IPCC(1990), Strategies for Adaptation to Sea Level Rise

[17] Nicholls, R. J., Hoozemans, Frank M. J. and Marchand, M.(1999), "Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses", Global Environmental Change Vol. 9, pp. 69~87

[18] Nicholls, R. J. and Mimura, N.(1998), "Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications", Climate Research Vol. 11:5, pp. 5~18

[19] Olthuis, K. and Keuning, D.(2010), Float!: Building on Water to Combat Urban Congestion and Climate Change, Frame Publishers

[20] Palca, J.(2008), "Dutch Architects Plan for a Floating Future", NPR

[21] Palca, J.(2008), "Spurred by Rising Seas, Dubai's Floating Ambition", NPR

## 6. 플로팅 건축 BIM 설계 기술 개발

[1] 장원준(2010), "BIM 기반 친환경 건축설계 프로세스 구축에관한 연구", 한양대학교 석사논문

[2] 김성근외 2인(2008), "BIM 기술 기반 PMIS 개발에 관한 실험적 연구", 한국건설관리

학회

[3] 신규청외 1인(2010), "BIM 도구 활용을 통한 건축공학설계의 프로세스", 한국건축시공학회

[4] 전한종외 2인(2008), "BIM 기반의 협업프로세스를 적용한 교육시설 설계에 관한 사례연구", 교육시설학회

[5] 이명식외 1인(2007), "BIM 사례분석에 의한 건설 업무 통합모델 개발에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회 논문집

[6] 백준홍외 2인(2008), "BIM 기반 건축시공 시뮬레이션 시스템 프로토 타입 개발에 관한 연구", 대한건축학회 논문집

[7] 김길채외 1인(2008), "BIM 기반 설계프로세스의 전제조건에 관한 연구", 한국디지털건축인테리어학회

[8] 이진희외 1인(2008), "BIM 기반 통합설계프로세스의 국내 적용 가능성에 관한 연구", 한국실내디자인학회논문집

[9] 이상범외 1인(2010), "BIM을 활용한 건축 기획단계 업무 지원에 관한 연구", 대한건축학회 학회지

[10] 김재준외 3인(2009), "BIM활용을 통한 건축기획단계의 예산수립 프로세스 구축방안에 대한 연구", 한국건설관리학회

[11] 정준호외 3인(2008), "건설 생애주기를 고려한 BIM 기반의 PMIS 활용", 한국건설관리학회

[12] 옥종호외 3인(2008), "건설산업의 BIM 적용능력 제고를 위한 BIM 프로세스 개발에 관한 연구", 한국건설관리학회

[13] 전재열외 2인(2008), "건축 프로젝트의 협업설계를 위한 Proto Type 정보관리시스템", 대한건축학회

[14] 김재준외 2인(2010), "국내 BIM 기반 건설 프로젝트에서의 설계단계 성과물 작성 효율화 방안에 관한 연구", 한국건축시공학회

[15] 이상헌, 김미경, 최현아, 전한종, BIM템플릿 개발을 위한 템플릿 구성요소 분석에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2011

[16] 서준석 김윤희, 이종환. BIM 설계 최적화를 위한 프로젝트 관리방안, 한국 BIM학회 정기학술대회 논문집, 2011

[17] 이종환, JID BIM Template Guide, 정림건축, 2011

[18] 신재원, 김태완, 배정익, 설계협업과정에서의 효과적인 설계관리를 위한 정보 중심의 설계업무 프로세스 모델링기법 제안, 대한건축학회 논문집, 2006

[19] 강병주 외 5인, 공동주택 개발사업의 타당성분석을 위한 IDEF0 모델링기반의 프로세스개발, 한국건설관리학회 학술대회, 2009. 11

[20] 최정열, BIM기반 건축 설계 프로세스 현황 및 개선방안에 관한 연구, 학위논문, 2010

[21] 서창석 외, “설계단계에서의 BIM기반 통합설계 프로세스 적용 방안에 대한 연구”, 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, 제10권1호, pp. 195~199, 2010

[22] 홍사영, 초대형 부유식 해상구조물 설계 매뉴얼, 한국해양연구원 ,2007. 02

## 7. 플로팅 건축공사의 시공기술

[1] 국토해양부, 부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준, 2009

[2] 국토해양부, 마리나항만 기본계획, 2010

[3] 김영중, 노태민, 안홍섭, 플로팅 건축공사의 환경요인, 한국건설관리학회, 2013 정기학술발표대회

[4] 노태민, 김영중, 안홍섭, 플로팅 건축의 함체 진수공법 요구특성 도출, 한국 건설관리학회 정기학술발표대회, 2013

[5] 노민기, 건설업 공종별 위험성 평가 모델, 한국산업안전보건공단, 2012

[6] 대우건설, FLOATING ISLAND – New Communnity on the River, 2012, pp

[7] 대우건설 기술연구원, www.daewooenc.re.kr

[8] 렐타렉코리아, 진수공법, 함체재료 특허논문 분석, 2013

[9] 문창호, 유럽 플로팅 건축의 계획 및 활용에 대한 연구, 대한건축학회지회연합회, 제 11권 제3호 통권 39호, 2009. 9

[10] 박무일, 작업안전표준, 건설안전기술, 1997

[11] 삼성중공업, 부유식 구조물의 해상 시공 및 진수방법, 2010

[12] 삼성중공업, 부유식 구조물 연속 진수 장치, 2009

[13] 손기상, 조병현, 김병곤, 이신재, 작업자가 체감하는 건설 직종의 위험성 평가, 한국안전학회 학술발표대회자료 2005

[14] 송석기, 플로팅 건축 상부시설에서 모듈러 시스템적용 유럽 사례 연구, 한국항해항만학회지, 제 36권 10호, 2012

[15] 신문섭, 새만금 간척지 내부개발과 플로팅건축 사업, 대한건축학회, 제 55권 9호, 2011

[16] 양광모, 양현후, 강윤진, 강경식 안전활동 개선을 위한 표준 안전작업 평가기법 설계, 대안안전경영과학학회지, 제 9권 제 4호 2007

[17] 오공규 고정식 해양구조물 규칙, 한국선급, 2012

[18] 한국산업안전공단, 건설업 공종별 위험성 평가 모델, 한국산업안전공단, 2011. 6

[19] 한국산업안전공단 안전작업절차서 작성기법 및 표준모델 개발에 관한연구, 성진문예사, 1999

[20] 허효수, 장성록, 이종빈, 중대재해사례와 작업강도를 고려한 건축공사 위험성 평가, 한국안전학회 학술발표대회자료

[21] 현대중공업, 육상건조된 선박의 횡방향 진수공법과 그 장치, 2004

[22] ABCArkenbouw, www.arkenbouw.nl

[23] Maarten koekoek, Connectiong Modular Floating Structures, TUDelft, 2010. pp.98~100

[24] http://blog.naver.com/ys1132/ (안전블로그)

[25] ROODENBURG, HOISTING CRANE AND VESSEL WITH SUCH A CRANE, 2008

[26] SF마리나, www.sfmarina.co.kr

## 8. 설비 설계

[1] 건축물의 에너지절약 설계기준, 2014. 09

[2] 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2014. 01

[3] 부유식 해상구조물의 구조 및 설비 등에 관한 기준, 2009. 08

[4] 선박소방 설비기준, 2004. 09

[5] 주택법, 2015. 01

[6] 주택법 시행규칙, 2015. 01

[7] 주택의 설계도서 작성기준, 2009. 8.

[8] 내용연수(조달청), 2011. 12

[9] 에너지법 시행규칙, 2011. 12

[10] 설비공학편람 제3권, 2011

[11] 대우건설, FLOATING ISLAND, 2012. 11

[12] 박준택 외, 해수이용 냉난방시스템의 현황과 과제, 2007

[13] ASHRAE HANDBOOK Fundamentals, 2009