R&D/
11기술
혁신
F03

저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 제조 기술 개발 연구보고서

2013

Land Infrastructure and Transpot
R&D Report

2011 건설기술혁신사업 최종보고서(안)

저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 제조 기술 개발 연구보고서

2013. 9.

주관연구기관 / (주)승화프리텍
공동연구기관 / 건국대학교

R&D/11기술혁신F03

저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 제조 기술 개발 연구보고서

2013. 09.

주관연구기관 / (주)승화프리텍
공동연구기관 / 건국대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 제조 기술 개발”의 최종보고서(안)으로 제출합니다.

[redacted]2013. 9.

주관연구기관명 : (주)승화프리텍

주관연구책임자 : 박 성 기
선 임 연 구 원 : 김 준 환
선 임 연 구 원 : 박 창 우
연 구 원 : 성 상 경
연 구 원 : 김 상 욱
연 구 원 : 한 승 우

공동연구기관명 : 건국대학교

공동연구책임자 : 원 종 필
연 구 원 : 이 수 진
보 조 연 구 원 : 김 형 호
보 조 연 구 원 : 김 수 환
보 조 연 구 원 : 이 재 완
보 조 연 구 원 : 최 보 라
보 조 연 구 원 : 최 태 준
보 조 연 구 원 : 홍 병 탁
보 조 연 구 원 : 황 언 종
보 조 연 구 원 : 김 철 근

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11기술혁신
F03</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2011.09.29.~
2013.09.28</td><td>단 계 구 분</td><td>2차년도/
총2년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설기술혁신사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 제조 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">박 성 기</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 13명
내부 : 9명
외부 : 4명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부:180,000천원
기업:88,200천원
계: 268,200천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 17명
내부 : 9명
외부 : 8명</td><td>총연구비</td><td>정부:280,000천원
기업:133,300천원
계: 413,300천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">주관: (주)승화프리텍
공동: 건국대학교</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)신화마린</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 : -</td><td colspan="3">상대국연구기관명 : -</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : -</td><td colspan="3">연구책임자 : -</td></tr>
<tr><td colspan="4">요 약</td><td>보고서면수</td><td>221</td></tr>
</table>

1. 수중 구조물용 저탄소 콘크리트 개발

1) 설계강도 24MPa, 50MPa의 수중 구조물용 저탄소 콘크리트 배합설계
2) 각종 내구성 평가항목 만족 (염소이온투과저항성, 마모저항성, 동결융해저항성, 중성화저항성, 미끄럼저항성 등)
3) 우수한 이산화탄소 저감효과 달성 (보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 CO_2 발생량 대비 약 50% 저감효과)
4) 디자인 향상을 위한 요소기술 개발 (콘크리트 표면 착색기법안 등)

2. 고내구성 콘크리트 폰툰 설계/제작 기술 개발

1) 내구성 향상을 위한 요소기술 개발 (고내구성 연결장치, 고내구성 파일가이드 및 수중구조물용 저탄소 콘크리트 적용)
2) 기능성 향상을 위한 요소기술 개발 (유틸리티 채널, 솔리드 밸러스트)
4) 기본설계, 상세해석을 통한 구조안전성 검토
5) 부분모형시험을 통한 구조성능 검증

3. 경제성 분석을 통한 경제적 타당성 검토

4. 폰툰 표준도 및 시방서 작성

5. 콘크리트 폰툰 시제품 제작

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	마리나, 계류시설, 폰툰(부잔교), 독, 저탄소 콘크리트
	영 어	marina, mooring facility, pontoon, dock, low carbon concrete

요 약 문

Ⅰ. 제 목

저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 제조 기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 국민소득 향상과 주5일 근무제 정착으로 인한 여가시간 확대로 고급 해양스포츠에 대한 관심이 증대되고 있으며, 정부의 해양레저 활성화 방안 등의 관련 산업정책에 힘입어 마리나 관련 산업에 대한 관심이 급격히 증가하고 있다. 마리나의 가장 기본적인 기능은 요트를 비롯한 선박의 계류 및 정박이며 이를 위해 계류시설(契留施設, mooring facilities)의 설치가 필수적이다. 마리나의 계류시설로는 조수간만의 차에 대응하기 위하여 대부분 부유식 구조물인 폰툰(pontoon)이 사용되며 높은 안정성을 요하는 해안가에서는 주로 중량이 무거운 콘크리트 폰툰이 적용되고 있다.

국토교통부에서는 2010년 '제1차 마리나항만 개발계획'을 수립함으로써 10년간 전국 10권역 43개소의 마리나항만 개발 계획을 공표하였다. 그러나 이를 실행에 옮기기 위한 국내 기술수준은 매우 미비하며, 특히 마리나 폰툰 관련 기술은 이미 기술선도국에서 수십년 동안 사용되어온 기술임에도 불구하고 수입과 기술제휴에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 국내 마리나 환경에 적합한 폰툰 기술을 개발하여 고부가가치 산업의 기술자립화를 이루고자 하며 특히 폰툰 제작에 저탄소 콘크리트를 적용함으로써 국내 탄소발생량 저감 목표에 기여함은 물론 향후 해외수출시 유리한 입지를 선점하고자 한다. 또한 조속한 실용화 및 사업화를 목표로 시제품, 표준도, 시방서 등 실용화 단계의 콘크리트 폰툰 제조 기술을 개발한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 목표는 저탄소 콘크리트 폰툰의 실용화 기술 개발로서, 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발과 폰툰의 설계/제작기술 개발이 주요 연구목표이다.

마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발은 강도 24MPa, 50MPa의 수밀, 고내구성 콘크리트 개발을 목표로 하였으며, 이를 위한 연구내용은 배합설계 및 기본 재료실험과 내구성 평가를 위한 염소이온투과저항성, 마모저항성, 동결융해저항성, 중성화저항성, 미끄럼저항성 실험 등을 포함한다.

콘크리트 폰툰 설계/제작기술 개발은 기능성, 내구성, 시공/유지관리성, 심미성 등이 향상된 콘크리트 폰툰의 개발을 목표로 하였으며, 이를 위한 연구내용은 실시설계, 부분모형 시험, 주요상세 구조검토, 경제성 분석 등을 포함한다.

Ⅳ. 연구개발 결과

본 연구의 목표는 '마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발'과 '콘크리트 폰툰 설계/제작기술 개발'로서 대부분의 연구목표를 성공적으로 완수하였다. 개발된 저탄소 콘크리트는 폰툰 뿐 아니라 다양한 수중구조물에 범용으로 적용할 수 있는 50MPa의 우수한 강도와 다양한 내구성 평가지표를 만족시키는 것으로 나타났으며 포틀랜드 시멘트의 70%를 고로슬래그로 치환하여 동일한 강도의 일반 콘크리트 대비 약 70%의 CO_2 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 실험 결과 콘크리트 강도, 마모저항성, 동결융해특성, 염소이온투과저항성, 중성화저항, 미끄럼저항성 등은 모두 목표치를 상회하는 것으로 나타나 매우 성공적인 기술개발이 이루어진 것으로 평가된다.

콘크리트 폰툰의 실시설계 역시 다양한 요소기술의 개발 및 접목으로 기존 콘크리트 폰툰의 성능을 대폭적으로 개선하였다고 판단된다. 기존 폰툰의 내구성을 저하시키는 원인인 폰툰 연결부와 파일가이드 연결부의 구조개선을 통해 내구성 향상방안을 마련하였다. 또한 기존의 유틸리티관을 유틸리티 채널 형태로 변경하여 시공과 유지관리 편의성을 향상시켰으며, 연결부 체결과 솔리드 발라스트 투입, 파일가이드 고정, LED 조명 및 페데스탈 설치 등의 기능을 부여하여 구조적/기능적 효율성을 개선하였다. 특히 유틸리티 채널의 덮개는 회색 일색이었던 콘크리트 표면에 착색 기술과 더불어 디자인적인 요소를 부여할 수 있어 심미성이 중요한 마리나 구조물의 특징에 잘 부합하는 것으로 판단된다. 콘크리트 폰툰 단부에 설치하는 솔리드 발라스트 역시 효과적으로 폰툰의 내구성 향상과 이용자의 안전성을 향상시킬 수 있는 기술로 개발되었다.

상기와 같이 개발된 다양한 기술의 구조적 타당성을 검증하기 위하여 주요 부위에 대한 상세 유한요소해석을 실시한 결과 모두 충분한 성능을 확보하고 있는 것으로 나타났으며, 경제성 분석 결과 기존 제품에 비해 우수한 가격경쟁력을 갖는 것으로 분석되었다. 또한 주요 상세 개발, 실시설계, 실물 제작 등 역시 무난하게 성과목표를 달성하여 실용화 및 사업화 기술에 한발 더 다가섰다고 평가된다.

Ⅴ. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구의 최종성과물은 실용화 단계의 콘크리트 폰툰 제품으로 폰툰 시제품, 표준 도면, 시방서, 관련 특허를 포함한다. 개발되는 마리나 폰툰은 조기 사업화를 통해 제1차(2010~2019) 마리나항만 기본계획에 따라 추진되는 국내 43개 마리나항만 개발에 적용될 수 있을 것이다. 이로부터 축적된 경험과 실적, 그리고 탄소저감형 기술로서의 강점을 내세워 아시아권의 신흥시장에 진출할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 제안된 기술은 마리나항만 뿐만 아니라 어항의 계류시설과 부유형 방파제, 부유식 건축물의 기초 등으로도 전용이 가능하여 다양한 방면으로 활용이 가능할 것이다.

S U M M A R Y

Ⅰ. Subject

Development of Low Carbon High Performance Concrete Pontoons

Ⅱ. Purpose and Need of R&D

Interest toward marine sports is growing rapidly due to increase in national income, successful introduction of five-day workweek and the government's recent marina related policies. Marina's fundamental function is mooring of pleasure boats, such as yachts, and thus installation of mooring facilities is essential. As a countermeasure against change of tides, floating docks or pontoons are generally used for these mooring facilities and monocoque concrete pontoons are favored for their high stability in the marine environment and higher capacity to accommodate larger boats.

In 2010, the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs has established the 'Marina Harbor Development Plan(1st)' which includes the development plans of 43 marinas spreaded across 10 development zones for the next 10 years. Despite the enthusiastic drive of the government however, domestic marina related technology standard is very low, since it is only in its embryonic stage. Especially, pontoon related technologies rely heavily on that of foreign leading companies although the technology has been practiced for decades.

Thus, this R&D sets its goal on developing concrete monocoque pontoons to secure technology independence in the high value-added marina industry. The developed pontoon will have enhanced functions, durability and aesthetic exterior and will be manufactured with low-carbon concrete to give it and extra competitive edge. The research also targets on early commercialization and will produce practical results including standard drawings of pontoons, specifications and pilot test products.

Ⅲ. Research Scope

The purpose of this research is to develop practical technologies for design and manufacturing of the low-carbon concrete pontoons. The research is divided into two

categories; development of low-carbon concrete for floating structures and development of design/manufacturing technologies for the pontoon structure.

The research scope for development of low-carbon concrete for floating structures include mix design of 24MPa/50MPa low-carbon concrete, general material tests and durability tests, such as chloride ion penetration test, abrasion resistance test, freeze-thaw test, skid resistance and carbonation test.

Research scope of the monocoque pontoon design and manufacturing technologies include enhancement of functionality, durability, constructability, maintainability, and aesthetic exterior. General design, detailed finite element analysis, model tests and economic analysis is carried out to fulfill the goal.

Ⅳ. Research Results

The goal of this research, which is to develop practical technologies for the low-carbon concrete pontoons, has been successfully achieved. The developed low-carbon concrete mix design for floating structures having design strength of 24MPa and 50MPa has been proven to have outstanding material characteristics, in both strength and durability aspect, while meeting the predetermined low-carbon criteria. The developed low-carbon concrete, in which 70% of the ordinary Portland cement(OPC) is substituted with blast furnace slag, has shown approximately 70% of CO_2 gas reduction compared to that of the OPC concrete of same design strength.

The results of durability related tests, including chloride ion penetration test, abrasion resistance test, freeze-thaw test and carbonation test, also showed excellent material characteristics and thus it is concluded that very successful development of low-carbon concrete for floating structures has been achieved.

Developed design of the monocoque concrete pontoons, showed significant enhancement due to application of a wide range of newly developed technologies. The structural detail of the pile guide connection and pontoon-to-pontoon connection, which was vulnerable to deterioration and damage, was newly designed to increase durability of the structure. A concept of utility channel was adopted to increase the constructability and maintainability of utility lines compared to that of existing pontoon products. The developed utility channel also serves as a common access chamber for installing connection parts, solid ballasts, pile

guide frames and the upper side of the utility channel cover can be covered with wooden planks to give the pontoon an aesthetic touch. Furthermore, LED lightings and pedestals can be attached to the utility channel covers making it much easier to install and maintain. Design of solid ballasts located in the four corners of the pontoon is also a structural detail developed to increase the durability by eliminating excessive stress in the connections due to imbalance between the pontoons. By perfectly balancing the pontoons, safety of the users can also be enhanced.

For verification of the structural validity of the newly developed technologies, detailed finite element analyses have been conducted and the results showed sufficient structural capacity. Economic analysis also showed favorable results since cost reduction is expected due to eliminating the licensing fee and lower cost of blast furnace slag compared to OPC. Finally, the key technologies were integrated at a practical level and was verified by fabrication and installation of the prototype pontoons making it possible to achieve early commercialization.

Ⅴ. Application Plans of R&D Results

Final result of this R&D is a commercialization level product, including standard drawings of pontoons, specifications, pilot test products and patents. The developed pontoon will be introduced in the market for implementation to the 43 marina harbor development projects as outlined in the government's 'Marina Harbor Development Plan(1st)'. Accumulated experience and sales results in the domestic market, superior technology and low-carbon characteristics are expected to provide sufficient strong points to compete in the global market. The developed technologies can also be easily tuned to be used for fishery harbors, floating breakwaters, supporting structures for floating structures and many other marine structures.

< CONTENTS >

Chapter 1 Overview: Low-Carbon Concrete Pontoon ····· 1

1. Necessities of Current Research ····· 1

가. Overview of Current Research ····· 1

나. Importance of Current Research ····· 5

2. Objective of Current Research ····· 8

가. Main Objective ····· 8

나. Yearly Objectives and Scope ····· 10

Chapter 2 Technology Development Status ····· 11

1. Research and Development Trends ····· 11

가. Domestic R&D Trends ····· 11

나. Overseas R&D Trends ····· 11

2. Related Technology and Industry Trends ····· 11

가. Domestic Technology and Industry Trends ····· 11

나. Overseas Technology and Industry Trends ····· 13

다. Patent Trends ····· 16

라. Related Government Policy Trends ····· 19

마. Conclusion ····· 23

Chapter 3 Development of Key Technologies ····· 24

1. Development of Low-Carbon Concrete Pontoons for Marina ····· 24

가. Analysis of Preliminary Research ····· 24

나. Production of Low-Carbon Concrete Pontoons for Marina ····· 40

다. Promote the Curing of the Concrete Pontonns for Marina ····· 45
라. Durability Evaluation of Low-Carbon Concrete Pontonns for Marina ····· 56
마. Functional Surface Treatment Methods ····· 71
바. Environmental Impact Evaluation of Low-Carbon Concrete Pontonns for Marina ····· 75
사. Conclusion ····· 82
2. Design Development of Concrete Pontoon ····· 85
가. Optimal Design Development ····· 85
나. Connection of Main/Finger Pontoons ····· 117
다. Full Scale Load Tests of Partial Specimens ····· 119
라. Structural Analysis of Key Details ····· 152
마. Fabrication of Prototype Concrete Pontoons ····· 171
바. Standard Design Drawings ····· 184
사. Fabrication Manual and Specifications ····· 189
아. Economic Feasibility Analysis ····· 212

Chapter 4 Attainment of Objectives and Contributions ····· 215

Chapter 5 Implementation Strategy of Results ····· 216
가. Implementation Strategy ····· 216
나. Expected Outcome and Effects ····· 216

Chapter 6 Accumulated Knowledge of Foreign Technologies ··· 218

Chapter 7 References ····· 219

< 목 차 >

제 1 장 저탄소 콘크리트 폰툰 개요 ····· 1

1. 연구개발의 필요성 ····· 1

가. 연구개발 개요 ····· 1

나. 연구개발의 중요성 ····· 5

(1) 사회문화적 중요성 ····· 5

(2) 기술적 중요성 ····· 6

(3) 경제・산업적 중요성 ····· 7

2. 연구개발 목표 및 내용 ····· 8

가. 연구개발 최종목표 ····· 8

(1) 최종목표 ····· 8

(2) 최종목표의 성격 및 설정근거 ····· 9

나. 연차별 연구목표 및 내용 ····· 10

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 11

1. 국내외 연구개발 현황 ····· 11

가. 국내 연구개발 현황 ····· 11

나. 국외 연구개발 현황 ····· 11

2. 국내외 관련 기술 및 산업 동향 ····· 11

가. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 11

나. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 13

다. 특허 동향 ····· 16

(1) 국내 특허 동향 ····· 16

(2) 국외 특허 동향 ····· 18

라. 정부지원정책 현황 ····· 19

(1) 관련법령, 정부 정책 및 담당기관 ····· 19

(2) 정부지원 정책사업 종류와 현황 ····· 20

마. 종합 결론 ····· 23

제 3 장 저탄소 콘크리트 폰툰 요소기술 개발 ····· 24

1. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발 ····· 24

가. 사전조사분석 ····· 24

(1) 고로슬래그 ····· 24

(2) 고로슬래그 미분말의 성질 ····· 26

(가) 화학적 특성 ····· 26

(나) 물리적 특성 ····· 27

(3) 고로슬래그 미분말 사용에 따른 성능 ····· 28

(가) 워커빌리티 개선 ····· 28

(나) 발열특성 ····· 28

(다) 콘크리트의 강도 ····· 29

(라) 투수성 ····· 29

(4) 고로슬래그의 조기강도 향상 ····· 30

(5) 중기양생 ····· 31

(6) 온도이력 조건에 따른 강도 특성 ····· 33

(가) 전치시간 ····· 33

(나) 양생최고온도 ····· 33

(다) 최고온도 유지시간 ····· 34

(라) 온도상승 및 하강구배 ····· 34

(7) Life Cycle Assessment(LCA) 개요 ····· 35

(가) 국내 LCA기법 ····· 36

(나) 국외 LCA기법 ····· 37

(8) Life Cycle Assessment(LCA) 종류 ····· 38

(가) 직접조사법 ····· 38

(나) 간접추계법 ····· 39

(다) 혼합법 ····· 39

나. 마리나용 저탄소 폰툰 콘크리트의 제작 ····· 40

(1) 개요 ····· 40

(2) 사용재료 ····· 40

(가) 시멘트 및 골재 ····· 40

(나) 고로슬래그 ····· 41
(3) 배합설계 ····· 41
(4) 실험 방법 ····· 42
(가) 굳지 않은 콘크리트의 특성 ····· 43
(나) 압축강도 실험 ····· 43
(5) 실험 결과 ····· 43
(가) 굳지 않은 콘크리트의 특성 ····· 43
(나) 압축강도 ····· 44
다. 마리나용 폰툰 콘크리트의 촉진양생 ····· 45
(1) 개요 ····· 45
(2) 실험방법 ····· 45
(3) 사용재료 ····· 47
(가) 시멘트 및 골재 ····· 47
(나) 고로슬래그 ····· 47
(4) 배합설계 ····· 48
(5) 실험방법 ····· 49
(6) 실험결과 ····· 49
(7) 결론 및 요약 ····· 55
라. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트의 내구성 평가 ····· 56
(1) 개요 ····· 56
(2) 실험방법 ····· 56
(가) 마모저항 실험 ····· 56
(나) 동결융해반복실험 ····· 57
(다) 염소이온투과저항성 ····· 57
(라) 중성화저항성 ····· 59
(3) 실험결과 ····· 59
(가) 마모저항성 ····· 59
(나) 동결 융해 ····· 61
(다) 염소이온투과저항성 ····· 63
(라) 중성화저항성 ····· 65
마. 기능성 표면처리 방안 ····· 71
(1) 미끄럼 저항성 평가 ····· 71

(가) 미끄럼 저항성 ····· 72
(나) 기능성 표면처리 방안 ····· 74
바. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트의 환경 영향성 평가 ····· 75
(1) 개요 ····· 75
(2) 시멘트 제조시 CO_2 배출량 산정 ····· 75
(3) 콘크리트의 CO_2 배출량 산정 ····· 77
(4) 증기양생 CO_2 발생량 평가 ····· 79
(5) 결론 및 요약 ····· 81
사. 결론 ····· 82
2. 콘크리트 폰툰 기본설계 ····· 85
가. 최적 단면형상 도출 ····· 85
(1) 유틸리티 채널 설치안 ····· 86
(가) 기존 유틸리티 관 설치기술 ····· 86
(나) 유틸리티 채널 설치안의 장점 ····· 87
(다) 유틸리티 통로 설치안 및 제원 ····· 91
(2) 솔리드 밸러스트 설치안 ····· 92
(가) 기존 액체 밸러스트 기술 ····· 92
(나) 솔리드 밸러스트의 장점 ····· 93
(다) 솔리드 밸러스트 설치안 제원 ····· 94
(3) 고내구성 연결부 설치안 ····· 95
(가) 기존 폰툰 연결부 기술 ····· 95
(나) 고내구성 연결부의 장점 ····· 96
(다) 고내구성 연결부 설치안 제원 ····· 98
(4) 고내구성 파일가이드 설치안 ····· 98
(가) 기존 파일가이드 기술 ····· 98
(나) 고내구성 파일가이드의 장점 ····· 100
(다) 고내구성 파일가이드 설치안 제원 ····· 105
(5) 고내구성 콘크리트 폰툰 기본설계 ····· 106
(가) 구조계산서 ····· 106
(나) 도면 ····· 114
(다) 조감도 ····· 116

나. 주/핑거 폰툰 조합 방안 ····· 117
(1) 폰툰의 형상과 배치 ····· 117
(가) 단잔교 ····· 117
(나) 빗살형 잔교 ····· 117
(2) 폰툰의 배치와 특징 ····· 118
다. 부분모형 재하시험 ····· 119
(1) 부분모형 시험계획 ····· 119
(가) 연결부 모형시험 ····· 119
(나) 파일가이드 모형시험 ····· 125
(2) 상세구조해석 ····· 131
(가) 연결부 모형 유한요소해석 ····· 131
(나) 파일가이드 모형 유한요소해석 ····· 137
(다) 상세해석 결과 ····· 142
(3) 부분모형 재하시험 ····· 142
(가) 연결부 모형 시험체 ····· 142
(나) 파일가이드부 모형 시험체 ····· 147
라. 주요 상세 구조검토 ····· 152
(1) 주잔교-주잔교 연결부 ····· 153
(가) 고내구성 설계 ····· 153
(나) 구조상세 검토 ····· 154
(2) 주잔교-보조잔교 연결부 ····· 157
(가) 고내구성 설계 ····· 157
(나) 구조상세검토 ····· 158
(3) 파일가이드 연결부 (주잔교) ····· 161
(가) 고내구성 설계 ····· 161
(나) 구조상세 검토 ····· 163
(4) 파일가이드 연결부 (보조잔교) ····· 167
(가) 고내구성 설계 ····· 167
(나) 구조상세검토 ····· 168
마. 콘크리트 폰툰 시제품 제작 ····· 171
(1) 강재 거푸집 제작 ····· 171
(2) 시제품 제작 ····· 175

(가) 콘크리트 폰툰 설계 ····· 175
(나) 콘크리트 폰툰 제작 ····· 179
(다) 콘크리트 폰툰 설치 ····· 182
바. 실시설계 표준도 ····· 184
(1) 실시설계 개요 ····· 184
(2) 실시설계 표준도 ····· 186
(가) 주폰툰 L=15m ····· 187
(나) 주폰툰 L=12.5m ····· 187
(다) 주폰툰 L=10m ····· 188
(라) 보조폰툰 L=10m ····· 188
(마) 보조폰툰 L=7m ····· 189
사. 제작 매뉴얼 / 시방서 ····· 189
아. 경제성 분석 ····· 212
(1) 콘크리트 재료비 분석 ····· 212
(2) 대상구조물 분석 ····· 213

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도 ····· 215

제 5 장 연구개발 결과 활용방안 ····· 216

가. 연구개발결과의 활용방안 ····· 216
나. 기대성과 및 파급효과 ····· 216

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 218

제 7 장 참고문헌 ····· 219

제 1 장 저탄소 콘크리트 폰툰 개요

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발 개요

마리나(Marina)란 라틴어로 “해변의 산책길”에서 유래된 단어로 다양한 종류의 오락용 선박을 위한 계류시설, 수역시설 및 이와 관련된 다양한 서비스 시설(클럽하우스, 주차장, 보트선착장, 호텔, 맨션, 쇼핑센터 등)을 갖춘 종합적인 해양레저시설의 총칭이다. 최근 국민소득 향상과 주5일 근무제 정착으로 인한 여가시간 확대로 고급 해양스포츠에 대한 관심이 증대되고 있으며, 정부의 해양레저 활성화 방안 등의 관련 산업정책에 힘입어 마리나 관련 산업이 많은 관심을 받고 있다.



그림 1. 소득수준에 따른 레저문화 변화

마리나의 가장 기본적인 기능은 요트를 비롯한 선박의 계류 및 정박이며 이를 위해 계류시설(契留施設, mooring facilities)의 설치가 필수적이다. 마리나의 계류시설로는 조수간만의 차에 대응하기 위하여 대부분 부유식 구조물인 폰툰(pontoon)이 사용되며 주로 콘크리트, 플라스틱, 유리섬유, 알루미늄과 철로 제작된다. 일반적인 폰툰의 종류는 구성요소에 따라 그림 2와 같이 크게 플로트+알루미늄 폰툰, 플로트+콘크리트 폰툰, 콘크리트 폰툰 등의 형식으로 구분할 수 있다.

폰툰의 플로트(부력재)로는 물이 스며들어도 중량 증가가 최소화될 수 있도록 공극률이 적은 스티로폼이 주로 이용되고 있다. 그림 2 (a)와 (b)에 사용되는 플로트는 대

부분 스티로폼 플로트를 폴리에틸렌 등의 수지로 감싼 구조가 적용되고 있다. 알루미늄데크 형식의 폰툰은 플로트 위에 알루미늄 프레임과 원목 등의 패널을 이용한 데크가 놓여 구성된다. 다양한 크기와 형태로 제작이 가능하고 압출 단면의 알루미늄 프레임을 이용하여 다양한 부속시설을 탈부착하기 편리하게 제작할 수 있으므로 폭넓게 이용되고 있다. 콘크리트데크 형식의 폰툰은 플로트 위에 콘크리트 바닥판을 합성시킨 형식으로 알루미늄데크 보다 무거운 콘크리트 데크가 적용되어 파랑이나 이용자에 의한 진동이 양호한 특징이 있다. 중공 콘크리트 폰툰은 콘크리트 쉘과 스티로폼 코어로 이루어져 있다. 세 형식 중 중량이 가장 크므로 안전성 또한 가장 높아 대형 요트의 접안시설이나 태풍 등에 취약한 환경에 적합하다.



(a) 플로트+알루미늄데크　　(b) 플로트+콘크리트데크　　(c) 중공 콘크리트

그림 2. 구성요소에 따른 폰툰의 종류

폰툰 구조물은 인명과 고가의 선박이 이용하는 구조물이고 염분을 포함한 해수나 빙압이 작용하는 담수 환경과 태풍, 홍수, 파도 등의 환경에 상시 노출되므로 구조적 안전성과 내구성이 매우 중요하다(그림 3). 또한 기능적인 측면에 있어서는 주폰툰/핑거폰툰 등의 다양한 크기와 형태로 조합이 가능하여야 하며(그림 4), 급전선, 송유관, 수도관 등의 utility line을 안전하게 보호하고 손쉬운 유지관리를 가능케 하여야 하고(그림 5), 선박의 정박 및 승·하선을 위한 시설 등의 부착물의 설치가 가능하여야 한다(그림 6). 본 연구에서는 이러한 요구성능을 만족할 수 있도록 표 1의 연구내용을 중심으로 마리나 콘크리트 폰툰의 개발을 추진한다.

마리나 폰툰은 관련 기술은 이미 기술선도국에서 수십년 동안 사용되어온 기술이나 국내의 경우 마리나 관련 사업의 태동기로 대부분의 제품과 기술을 수입에 의존하는 현실이다. 본 연구에서는 국내 마리나 환경에 적합한 폰툰 기술을 개발하여 고부가가치 산업의 기술자립화를 이루고자 하며 특히 폰툰 제작에 저탄소 콘크리트를 적용함으로써 국내 탄소발생량 저감 목표에 기여함은 물론 향후 해외수출시 유리한 입지를 선점하고자 한다.



(a) 높은 안정성 (b) 대형 선박 수용 가능

그림 3. 콘크리트 폰툰의 특징

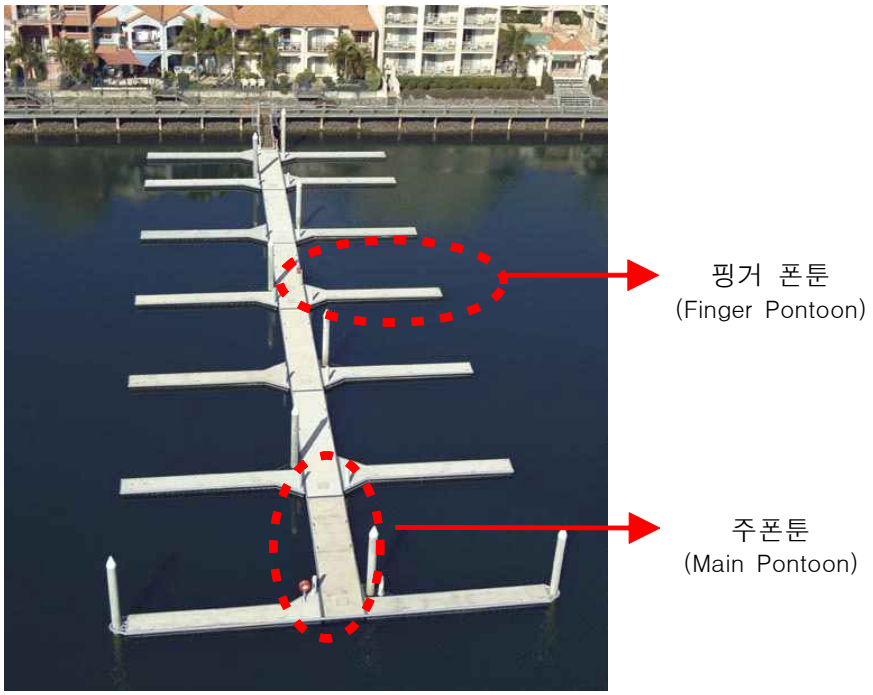
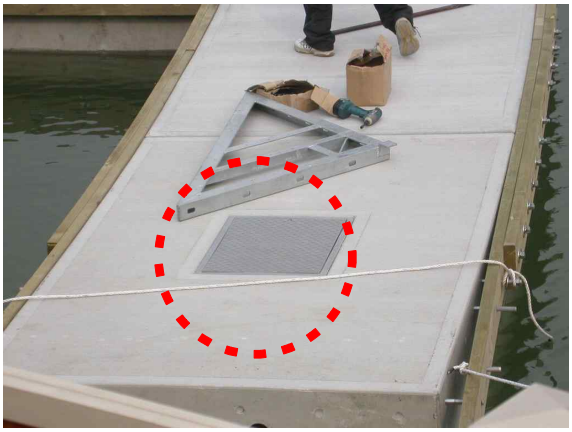
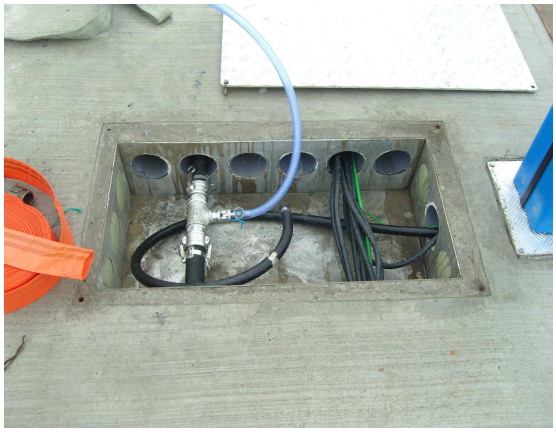


그림 4. 콘크리트 폰툰 설치 사례



(a) Utility hole

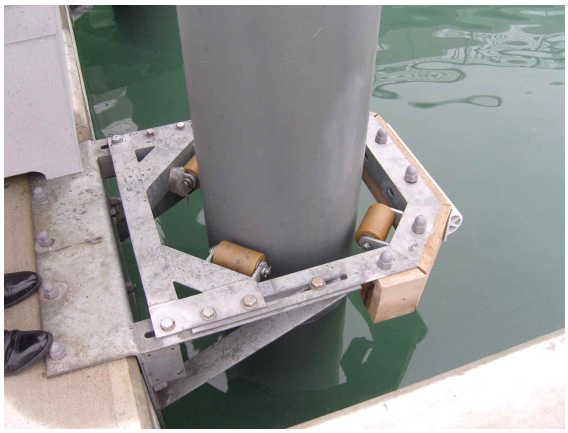


(b) 각종 Utility line

그림 5. 콘크리트 폰툰의 Utility line 설치 사례



(a) 계류 장치(크리트)



(b) 폰툰 고정용 파일가이드

그림 6. 콘크리트 폰툰의 부착물 설치 사례

표 1. 콘크리트 마리나 폰툰 개발을 위한 주요 연구내용

항 목	주요 연구내용
재료	방수성, 강도, 내구성 등 폰툰 요구성능에 최적화된 저탄소 콘크리트 개발
구조	- 국내 해상/하상 환경과 운송 및 양중을 고려한 단면 및 중량 최적화 - Main/Finger 폰툰 등 다양한 요구와 환경에 대처 가능한 모듈 조합 설계 - 모듈 연결 기술 개발 (성능, 내구성, 시공 편의성, 마찰 소음 등 고려) - Utility line(전력선, 수도관, 급유관 등)의 설치 및 점검이 용이한 단면 설계 - 경제성 분석
부가기능	- Added Value (신재생 에너지, 재활용 재료, IT 기술 등) 적용 검토 - 표면 처리기술 개발 (콘크리트 표면 디자인, 소재 등) - 계류 장치, 사다리, 난간, 설비 등 각종 폰툰 부속물의 탈부착 및 유지관리가 편리한 장착 시스템 개발

나. 연구개발의 중요성

(1) 사회문화적 중요성

국토의 3면이 해양이 접해있어 마리나 관련 관광자원이 매우 풍부한 우리나라는 주 5일 근무제 정착으로 인한 여가시간 확대와 국민소득 향상, 광역 교통망의 확충으로 인한 해양 접근성 향상 등으로 고급 해양스포츠에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 최근 2002 월드컵, 2011 대구세계육상선수권대회, 2012 여수세계박람회, 2018 평창 동계올림픽 등 세계적인 주요 행사를 유치하고 '한류'로 대변되는 문화 수출로 인해 국가인지도가 비약적으로 상승함으로써 관광자원 개발을 통한 관광산업 활성화가 필요한 시점이다.

표 2. 해외 마리나 현황 (국토해양부 마리나항만 기본계획, 2006 현재)

국가별	인구 (만명)	마리나항만 (개소)	레저기구 보유(천척)	레저기구 보유비중	국민총생산 (GDP기준)
미국	30,100	12,100	16,510	척/18명	1위
일본	12,778	570	283	척/452명	2위
독일	8,240	2,650	442	척/183명	3위
영국	6,021	545	542	척/111명	5위
프랑스	6,154	404	483	척/127명	6위
호주	1,925	2,250	750	척/ 25명	15위
스웨덴	911	1500	753	척/ 12명	19위
한국	4,850	7	4	척/11,700명	13위

이와 같은 배경에서 국토해양부는 2009년 6월 「마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률」을 제정함으로써 국민의 삶의 질 향상에 기여하고 미래 성장동력으로서의 역할을 하게 될 종합 해양레저시설의 개발 및 이와 관련된 산업을 육성·지원할 수 있는 토대를 마련하였다. 2010년 1월에는 이를 바탕으로 해양레저산업을 육성하고 마리나항만 개발에 관한 중장기적 정책방향을 설정함으로써 마리나항만 개발사업의 발전과 효율을 도모하여 국가경쟁력 제고 및 경제발전에 기여하기 위한 마리나항만 기본계획이 수립되었다. 마리나항만 기본계획은 향후 10년간 전국 10권역 43개소의 마리나항만 개발 대상항만을 선정하고 효율적으로 진흥하기 위한 계획을 포함하고 있어 향후 관련 산업의 비약적인 성장이 기대되고 있다.

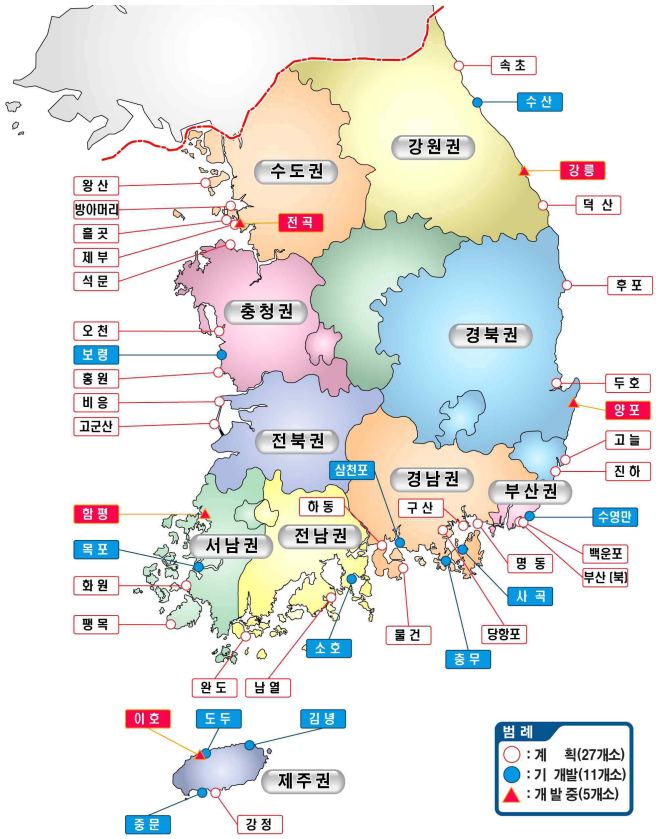


그림 7. 전국 마리나항만 위치도 (국토해양부: 제1차 마리나항만 기본계획)

(2) 기술적 중요성

이와 같은 마리나 산업에 대한 적극적인 지원정책에도 불구하고 국내 관련 산업은 해양레저산업의 선도국에 비해 아직 걸음마 단계이며 마리나 건설을 위한 기술의 상당 부분을 외국에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 모처럼 만의 해양레저산업에 대한 정부의 적극적 지원이 관련 산업의 진흥에 장기적 실효를 거두기 위해서는 관련 기술 개발이 우선적으로 이루어져야할 것이다.

기술선도국에서는 마리나가 이미 오래전부터 건설되어왔으며 폰툰 관련 기술은 오랜 기간 동안 축적되어온 관련 기술이 이미 성숙기에 접어든 상태이다. 관련 특허도 상당부분 소멸되어 시장진입을 위한 기술장벽은 최신 기술에 비해 상대적으로 낮은 편이다. 그러나 태풍, 파도, 선박으로부터의 충격, 빙압, 염해, 조수간만의 차 등 각종 자연재해를 포함한 극한환경으로부터 구조물의 안전성은 물론 연결부와 부속물 등의 내구성을 확보해야 하는 구조물인 폰툰 관련 기술을 확보하기 위해서는 다양한 연구와 실험이 필요하다.

아울러 부유식 콘크리트 폰툰 기술은 약간의 단면변경을 통하여 부유식 방파제로도

활용 가능하여 해양 마리나는 물론 어항 등의 소규모 항만에 고루 적용될 수 있어 그 활용가치가 높다.

(3) 경제·산업적 중요성

세계 해양레저 장비 보유척수는 매년 100만여척의 신규시장이 형성되고 있으나, 마리나 관련 산업은 미국 및 유럽시장이 주도하고 있다. 조사자료에 따르면 레저보트 산업만의 세계 시장규모는 2004년 124억 유로에서 2010년 173억 유로로 2005년 대비 43% 성장할 것으로 전망되어 마리나 건설 등 관련 사업 전체의 세계규모 또한 지속적으로 성장할 것으로 기대된다(표 3).

표 3. 세계 레저보트 산업 성장 전망 (더글라스웨스트우드사, 세계해양시장분석, 2005)

(단위 : 100만 유로, %)

구분	2004년	2005년	2006년	2008년	2010년	성장률 (2005~2010)
레저보트산업	12,486	12,109	13,017	15,043	17,303	43

이와 같이 해양레포츠 산업은 전 세계적으로도 큰 성장세에 있는 고부가가치 산업 분야임에도 불구하고 국내 기술이 차지하고 있는 비중은 극히 미미하다. 세계 최고의 건설기술과 조선, 자동차엔진, IT 기술 등 연관 산업의 우수한 경쟁력을 갖춘 우리나라가 마리나 관련 기술 개발을 적극 지원할 경우, 가까운 미래에 고부가가치 산업의 글로벌 플레이어로서의 도약과 국가경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구개발 목표 및 내용

가. 연구개발 최종목표

(1) 최종목표

최종연구목표	마리나용 저탄소 콘크리트 폰툰 설계 및 제조 기술 개발
연구성과물	실용화 단계의 콘크리트 폰툰 제조 기술 - 저탄소 콘크리트 개발 ▪ 설계강도 24MPa, 50MPa의 수중 구조물용 저탄소 콘크리트 배합설계 ▪ 내구성 평가 만족 (염소이온투과저항성, 마모저항성, 동결융해저항성, 중성화저항성, 미끄럼저항성 등) ▪ 이산화탄소(CO_2) 저감효과 (보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트 대비 50% 저감효과) ▪ 디자인 표면처리 요소기술개발 (콘크리트 표면 착색기법안 등) - 폰툰 설계/제조기술 개발 ▪ 내구성 요소기술 개발 (폰툰 연결부, 파일가이드 등) ▪ 기능성 요소기술 개발 (유틸리티 채널, 솔리드 밸러스트 등) - 폰툰 표준도 작성 (주폰툰 3종, 핑거폰툰 2종) (주폰툰: B=3~4m, L=10m,15m,20m, 핑거폰툰: B=1~2m, L=10,15m) - 폰툰 시제품 (폰툰 2본, B=3~4m, L=10~15m) - 시방서 - 관련 특허 등
완료시 기술수준	실용화 제품 개발 완료 및 양산화 준비 단계 (제1차 마리나항만 개발계획에 따른 지원을 받는 마리나항만 조성에 개발 기술을 적용함으로써 조속한 사업화 달성 목표)

실용화/사업화

최종연구목표

요소기술 개발

그림 8. 최종 연구목표

(2) 최종목표의 성격 및 설정근거

본 연구는 실용화 연구로서 양산화 직전의 제품 개발을 최종 성과물로 정의한다. 콘크리트 폰툰 구조물 관련 기술은 해외에서는 이미 오래전 실용화되었으며 핵심기술 특허 소멸로 인해 기술진입 장벽이 높지 않으므로 수준 높은 국내 콘크리트 재료 및 구조 관련 기술력으로 단시간 내에 세계 수준의 제품 개발이 가능할 것으로 판단된다. 해외 기술선도 기업에 비해 경험적으로 부족한 측면은 실물 실험 등을 통해 최대한 격차를 좁힐 계획이다.

최종 성과물 성격		실용화 기술 개발 (시작품 개발, 공정 개발 포함)
최종 목표 설정 근거	기술 수준	- 국내 콘크리트 재료 관련 기술은 우수하므로 콘크리트 폰툰 제품화 관련 기술이 지원될 경우 부가가치 창출 가능 - 공장생산 제품의 경우 현 기술수준으로도 저탄소 콘크리트는 충분히 실용화 가능한 기술수준임
	연구 기간	- 연구기간은 요소기술 개발, 각종 상세부 최적화, 동절기의 실물모형 검증실험을 포함하여 2년으로 설정 - 제1차 마리나항만 개발계획에 따른 현장 반영을 목표로 단시간에 요소기술을 확보하고 조기 실용화를 목표로 설정
	연구비	- 정부출연금 규모를 반영하여 본 연구에서 주요 요소기술 개발 및 시작품 제작을 최종목표로 하며, 최종 제품화는 주관 및 참여기업의 추가 비용 투입을 통해 이루어질 예정임
	연구자 역량	- 다수의 신기술 실용화 실적이 있는 콘크리트 전문가, 구조 전문가 등 석/박사급 연구원 등 다수 참여하여 성공적 개발 가능함 - 마리나 시공 실적을 보유한 주관연구기관과 마리나 전문기업이 참여하여 실용화 제품 개발 목표
	자료 수집	- 콘크리트 폰툰은 교량, 도로 등과 같이 공공부문의 시설이 아니며 각 회사별로 특화된 제품이므로 정확한 재료구성이나 도면 등 구체적인 자료수집에 한계가 있음 - 따라서 경험적 산물인 구조적 형상은 기존 제품을 벤치마킹하여 발전시키고 재료 부분의 요소기술은 자체적으로 원천기술을 확보하는 전략을 수립함
	현단계 기술수준한계	- 국내 기술수준은 마리나 관련 기술이 활성화된 기술선도국에 비해 초보적 단계이므로 요소기술 개발부터 실용화를 위한 성능검증 절차가 필요함

나. 연차별 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발	▪ 사전조사분석 ▪ 배합설계 및 기본 재료실험 ▪ 수밀성, 내화학성, 내염해성 등 재료실험
	콘크리트 폰툰 기본 설계	▪ 사전조사분석 ▪ 구조성능 및 기능성을 고려한 최적 단면형상 도출 ▪ 다양한 조합이 가능한 주폰툰, 핑거폰툰 개발 ▪ 부분모형 재하실험
2차년도	주요 상세 개발	▪ 내구성 확보를 위한 연결부, 파일가이드, 유틸리티관, 부착물 등 주요 상세 처리방안 개발 ▪ 내구성, 디자인 및 미끄럼 안전성 확보를 고려한 표면처리 방안 개발
	콘크리트 폰툰 실시 설계	▪ 연결부, 파일가이드, 유틸리티관, 부착물 등을 고려한 실시설계 도면 작성 ▪ 시방서 작성
	실물 실험	▪ 시제품 제작 및 실물 실험

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 연구개발 현황

가. 국내 연구개발 현황

현재 마리나 폰툰 구조물과 관련한 국내 연구개발 현황은 조사된 바 없으며 해외 주요업체의 기술에 의존하고 있는 현실이다. 대부분의 국내 관련 업체는 외국 업체로부터 라이센스를 취득하여 제품수입 또는 기술제휴를 진행하고 있는 영세한 형태가 많아 민간부문에서의 자체적인 기술개발은 쉽지 않은 실정이다.

나. 국외 연구개발 현황

마리나 관련 산업의 역사가 오래된 미국, 유럽 등과 같은 경우 콘크리트 폰툰과 관련 기술은 이미 성숙기에 접어들어 핵심기술 개발보다는 기술개량 또는 기능보완과 관련된 연구개발이 대규모 기업을 중심으로 일부 수행되고 있다. 관련 특허도 대부분 그 보호기간을 넘겨 소멸된 상태이며 스티로폼 코어를 부유체로 활용하는 콘크리트 폰툰 기술 등 주요 핵심기술은 이미 공개되어있다. 콘크리트 폰툰 외에 소형 플라스틱 플로트로 구성된 레저용 폰툰 관련 기술은 재료의 발달에 따라 비교적 활발히 개발되고 있으나 전반적으로의 마리나 항만 관련 기술은 성숙기에 접어든 기술분야로서, 선도기술의 벤치마킹과 친환경 기술 등 국내 기술이 갖는 강점의 결합을 통해 충분히 세계 시장에서 경쟁할 수 있는 기술의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

2. 국내외 관련 기술 및 산업 동향

가. 국내 기술 및 산업 동향

국내 해양관광은 전체 관광의 약 35% 정도를 점유하고 있으며 연평균 7%의 증가추세를 보이고 있다. 이 중 해양레저스포츠 관련 수요는 점차 증가하고 있으나 아직 전체 해양관광 중 2~4% 정도의 규모에 그치고 있다. 한편 유럽 및 미국의 해양관광 참여율은 전체 관광시장의 40~50% 수준에 달하며, 그 중 해양레저스포츠가 높은 비중

을 차지하고 있다. 또한 세계 해양관광의 규모는 약 2,000억 유로(더글라스웨스트우드사 '10년 전망치 인용)가 넘는 규모로 앞으로도 꾸준한 성장이 예상되고 있다. 국민소득 2~3만달러 수준부터 해양레저 활동인구가 급증하는 해외 사례를 비추어볼 때 국내 해양레저스포츠 또한 경제성장과 더불어 그 활동인구가 꾸준히 늘어날 것으로 예상되며 관련 산업도 이와 더불어 성장할 것으로 전망된다.

표 4. 국내 해양관광 수요 전망

(단위 : 천명·일)

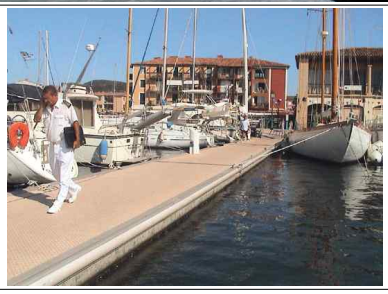
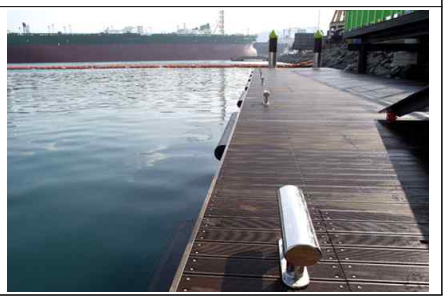
구 분		1997년	1999년	2001년	2004년	2005년	2008년	2011년	2013년	증가율 (01~13)
국민관광	관광총량	344.176	272,607	327,929	404,648	507,436	536,876	605,968	642,893	5.8%
해양관광	해양관광 참여율(%)	평균 35% 수준		35	35	37	37	39	40	-
	해양관광 총량	-	95,412 (추정치)	114,775	141,627	187,751	198,644	236,327	257,157	7.0%

자료: 해양수산부, 해양관광 기반시설 조성연구 (2006)

폰툰을 제작하는 국내 업체는 대부분 소규모 중소기업으로 해외 유명 업체의 총판으로 시작한 경우가 많으며 주로 폴리에틸렌(PE) 제품을 이용한 양식장, 보트 접안시설 등의 소규모 계류시설을 설치·시공하였다(표 5). 최근에는 해외 유명 업체와 기술라이센스를 맺는 방법으로 콘크리트 폰툰을 자체적으로 설계·시공할 수 있는 기술력을 보유한 업체가 일부 생겨나고 있으나 원천 기술을 기술선도국에 의존하고 있어 독자 기술의 자체 개발능력이나 세계 시장에서의 경쟁력을 갖추기는 여전히 쉽지 않은 실정이다.

표 5. 국내 콘크리트 폰툰 제조사 현황

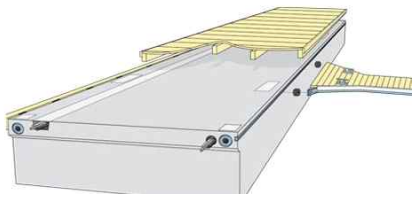
업 체 명	제품 종류 특 징	적용 사례
(주)아이랜드	선형 폴리에틸렌으로 회전성형방식을 채택한 PE폰툰, EPS를 활용한 EPS폰툰, 내부케이블로 연결한 콘크리트 폰툰 등 다수의 폰툰 보유	
	- 한강상 플로팅아일랜드 콘크리트폰툰 제작	

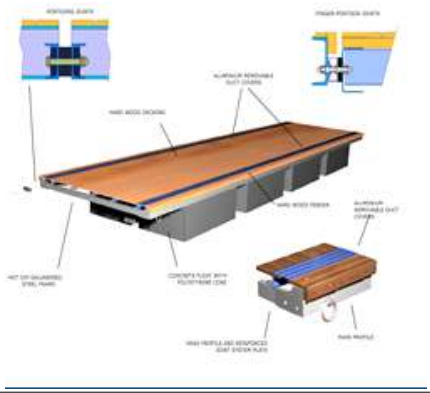
업 체 명	제품 종류 특 징	적용 사례
(주)CK마린그룹 CK MARINE GROUP	강화콘크리트 데크로 마감한 콘크리트폰툰, 목재데크로 마감한 경량 알루미늄폰툰 - 한국·호주 합작 투자 법인	
(주)한스마린 HANS MARINE	- 알루미늄 폰툰이 주력이나 콘크리트 폰툰 제품군도 보유 - 2001년 창사한 마리나 설계 및 시공업체로 25년 전통, 3만 버스 이상의 폰툰 설치한 프랑스 포알루 마린사(Poralu Marine)와 에이전트 계약	
(주)씨포트 SEAPORT (주)더블류에스코리아 (주)베스탑	-고강도 콘크리트와 강화 스티로폼, 고장력 철근을 결합한 콘크리트 폰툰 - 2002년 미국의 ez dock사와 총판 계약 - 2006년 스위덴 SF MARINA사와 콘크리트 폰툰 기술협력 - 2007년 다수의 폰툰 디자인 등록 - 2008년 콘크리트 폰툰 국산화 성공	
(주)플로텍 FLOATEC	- 수상에서 직접 제작하는 CW(Cast on the Water)공법으로 폰툰 공급 -2008년 외국 기술도입으로 폰툰 공급 (CONNECT-A-DOCK社와 MARINETEK社)	

나. 국외 기술 및 산업 동향

마리나 폰툰 관련 기술은 미국과 유럽을 중심으로 발전되었으며 주요 기술 선도 업체들의 경우 상당한 역사와 전통을 갖고 있다. 오랜 설계, 제조, 시공, 유지관리 경험으로부터 축적된 기술력과 노하우가 강점이다. 고강도 콘크리트, 섬유보강 콘크리트, 포스트텐션 등 다양한 기술이 적용되고 있으나 현재까지 저탄소 콘크리트의 적용사례는 없는 것으로 조사되었다.

표 6. 국외 주요 콘크리트 폰툰 제조사 현황

업 체 명	국 가	제품 종류 특 징	적용 사례
Bellingham Marine	미국	콘크리트 폰툰 Unifloat 등 마리나 관련 제품군 보유 세계최대 마리나 시공사. 1958년도부터 마리나사업 진출	
Poralu Marine	프랑스	알루미늄 폰툰이 주력이나 콘크리트 폰툰 제품군도 보유 25년 전통, 3만 버스 이상의 폰툰 설치 경험	
SF Marina	스웨덴	콘크리트 폰툰 전문, 스티로폼 코어 특허 1983년부터 마리나 사업	
Marinetek	핀란드	콘크리트, 알루미늄, 플라스틱 등 다양한 폰툰 제품군 보유 15년간 35개국에서 2000건 이상의 마리나 건설	
Ronautica	스페인	스텐 섬유보강 콘크리트, 폴리에틸렌 플로트 등 다양한 폰툰, 마리나 시공 -	

업 체 명	국 가	제품 종류 특 징	적용 사례
Sistema Walcon	이탈리아	다양한 형태의 콘크리트 플로트, 폰툰 제조 (폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트) -	
Superior Jetties	호주	콘크리트, 알루미늄 등 다양한 폰툰 제품군 보유 -	
InterMarine	영국	콘크리트, 알루미늄 등 다양한 폰툰 제품군 보유 (5종) 1992년 설립(Mackley 그룹 자회사)	
Clement	독일	콘크리트 폰툰, 방파제 등 제작 -	
FDN Engineering	네덜란드	콘크리트 폰툰, 부유 구조물 종합건설사, 부유구조물, 해상구조물 특화	

업 체 명	국 가	제품 종류 특 징	적용 사례
LiteCrete Industries	미국	콘크리트 폰툰	
		스티로폼 코어+강재 케이싱+경량 콘크리트 쉘	

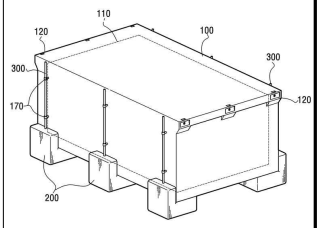
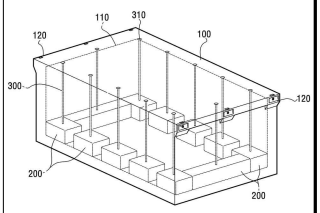
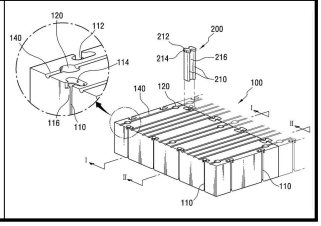
다. 특허 동향

(1) 국내 특허 동향

국내 폰툰 관련 특허는 2006년부터 출원이 소수 이루어지기 시작하였고 2010년 전후로는 특허 출원•등록이 비교적 활발히 이루이고 있는 실정이나 타 산업분야에 비해 상대적으로 저조하다. 특허 내용은 대부분 핵심기술이 아닌 부속장치나 디자인에 대한 고안이므로 선행기술이 제안하는 기술개발을 저해할 가능성은 없을 것으로 판단되며, 특히 저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 제조기술에 대한 개발에 관한 특허는 조사되지 않았다. 다음은 국내 주요 마리나 폰툰 관련 업체의 보유특허와 간략한 기술의 특징을 요약한 것으로 본 연구를 통해 개발하고자 하는 기술이 충분한 차별성을 갖는 것으로 판단된다.

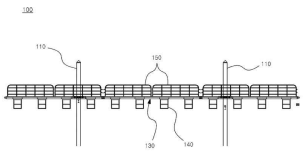
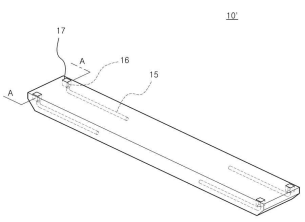
○ (주)아이랜드

- 2007년 '부력기능을 갖는 시설물'의 특허 출원으로 한강 부양식건물 특화사업 추진
-'폰툰형 구조물', '수상구조물용 부유조립체' 특허 출원으로 한강상 플로팅 아일랜드 사업에 참여

발명의 명칭	출원번호/일자 등록번호/일자	발명의 내용	그림
폰툰형 구조물	10-0048872 / 2010.5.25 10-1000965 / 2010.12.7	불균형적 부력에 대비하여 보정이이 가능한 폰툰형 구조물 및 그 시공방법에 관한 발명 - 유체 공급이 가능한 밸러스트 탱크가 외부에 있음	
폰툰형 구조물	10-0048872 / 2010.5.25 10-1000965 / 2010.12.7	불균형적 부력에 대비하여 보정이 가능한 폰툰형 구조물 및 그 시공방법에 관한 발명 - 유체공급이 가능한 밸러스트 탱크가 내부에 있음	
수상구조물용 부유조립체	10-0115299 / 2008.11.19 10-0056229 2011.1.12	연결 홈이 다수 형성된 부유체에 블록으로 연결한 수상구조물용 부유조립체	

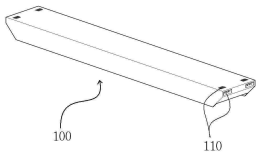
○ 에이스마린

- 2009년 ‘수상 계류시설’, 2010년 ‘콘크리트 부잔교’에 대한 특허 출원으로 사업 진행중

발명의 명칭	출원번호/일자 등록번호/일자	발명의 내용	그림
수상 계류시설	10-0123721 2009.12.14 출원중	수직방향으로는 자유로우며 수평방향으로는 구속되는 수상 계류시설에 관한 것으로, 데크부 저면에 골고루 분포되어 결합하는 다수의 폰툰을 포함하는 것이 특징	
콘크리트 부잔교	10-0027209 2010.3.26 10-0983798 2010.9.16	소정의 두께로 타설된 장방형 콘크리트 데크에 수용공간부에 스티로폼으로 충진되어 있고 내부에 복수의 저장탱크가 매설되어 수평을 잡을 수 있도록 고안	

○ (주)씨포트

- 2002년 미국의 EZ DOCK사, 2006년 스웨덴 SF MARINA사와 기술협력으로 폰툰을 제공하였으나 2008년 '경량 고강도 콘크리트'에 폰툰 소재에 대한 특허와 '콘크리트 폰툰', '강화PE 폰툰'등의 디자인 등록

발명의 명칭	출원번호/일자 등록번호/일자	발명의 내용	그림
경량 고강도 콘크리트	10-0090989 2008.9.17 10-0954144 2010.4.14	폰툰 제작을 위한 경량 고강도 콘크리트의 조성물에 관한 특허로서 디자인 뿐만 아니라 소재에 대한 부분까지 발명	

(2) 국외 특허 동향

마리나 콘크리트 폰툰과 관련한 국외 특허 동향은 국가과학기술정보센터(NDSL)의 특허검색엔진을 사용하였으며 검색조건은 표 7과 같다. 1970년도부터 콘크리트 폰툰 관련 특허는 총 77건인 것으로 조사되어 타 기술분야에 비해 특허 출원이 상대적으로 상당히 저조한 편인 것으로 나타났다. 최근 10년간의 특허 출원 동향은 그림 14와 같이 미국이 16건(53%)으로 강세를 보이고 있다.

표 7. 마리나 콘크리트 폰툰 관련 국외특허 검색조건

검색어	"concrete dock" or "concrete pontoon"
검색기간	1970.1.1.~2012.3.24.
검색DB	미국, 유럽, 국제, 일본 특허 (공개, 공고/등록)
검색식	((TI:(concrete dock) OR (concrete pontoon)) AND AD:1930101~20110724) AND (CY:(us OR ep OR wo OR ja))

마리나 관련 산업의 역사가 오래된 미국, 유럽 등과 같은 경우 콘크리트 폰툰과 관련 특허도 대부분 그 보호기간을 넘겨 소멸된 상태이며 스티로폼 코어를 플로트로 활용하는 콘크리트 폰툰 기술 등 주요 핵심기술은 이미 공개되어있다. 따라서 제안하는 연구를 통해 개발될 기술이 선행 특허로 인해 실용화나 사업화에 지장을 받을 여지는 극히 드물 것으로 판단된다.

<표> 국가별/연도별 출원 동향(2001년 ~ 현재까지)

구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	합계
유럽	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
일본	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
한국	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
미국	0	1	2	0	1	3	4	2	2	1	16
국제	0	0	0	1	0	1	3	2	3	0	10
총합계	0	1	2	1	1	4	10	5	5	1	30



그림 9. 국가별/연도별 특허 출원 동향

라. 정부지원정책 현황

(1) 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

국토해양부는 2010년 1월 18일 중앙부처 및 시·도 국장급 공무원, 관계 민간 전문가로 구성된 중앙항만 정책심의회 마리나분과심의회를 개최하여 '제1차 마리나항만 기본계획'을 확정하고 해양레저스포츠 활성화 관련 사업 육성 기반을 마련하였다. '제1차 마리나항만 기본계획'은 2010년부터 2019년까지 10년동안의 중장기 마리나항만 개발방향을 제시한 것으로서 중장기 개발수요, 마리나항만 예정구역 선정기준, 마리나항만 예정구역 위치와 개발유형 등의 내용을 담고 있다.

이처럼 국토해양부는 해양레저스포츠 수요에 적기 대응하여 마리나항만 개발의 활성화를 도모하고 관련 산업을 육성하기 위한 「마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률」 및 그 하위법령의 제정·시행('09.12.14)에 따른 후속조치로 「마리나항만개발 업무처리요령」을 제정하여 2010년 6월 25일부터 시행하였다. 이에 따라 마리나법 및 그 하위법령의 제정·시행과 제1차 마리나항만 기본계획 수립·고시에 이어 마리나항만 개발 업무처리요령까지 제정·시행함으로써 마리나 항만개발에 대한 제도적 장치를 완비하게 되었으며 앞으로 마리나항만개발의 효율적인 사업추진과 활성화가 기대된다. 그 밖에 동서남해안 및 내륙발전 특별법(개정·공포 '10.4.15)과 2011년 7월25일 확정·고시된 제3차 항만기본계획(2011~2020)은 마리나항만 개발에 더욱 효과적이고 개발의 극대화를 이룰 수 있을 것으로 보여진다.

<관련법률 및 계획>

- 마리나항만의 조성 및 관리 등에 관한 법률 (‘09.12.14 시행)
- 제1차(2010～2019) 마리나항만 기본계획 (’10.1.18 고시)
- 동서남해안 및 내륙권발전 특별법 (’10.4.15 개정・공포)
- 마리나항만 개발 업무처리요령 (’10.6.25 시행)
- 제3차 항만기본계획 (’11.7.25 확정・고시)
- 마리나산업 육성대책 의결 (’11.12.7 의결)
- 민간 교육기관에서 교육을 이수할 경우 면허발금(’11.12.16 수상레저안전법 시행)
- 등록・검사 적용법률 간소화(’11.12.16 수상레저안전법 시행)
- ‘관광요트・보트업’신설, 관광진흥기금 등 투자・융자 등 재정지원근거 마련 (관광진흥법 시행령,’12.5)
- 마리나항만 내 주택 분양이 가능하도록 마리나시설에 주거시설 추가 및 사업시행자에 부동산 투자회사 포함(’12.7.22 시행예정)
- 요트차터업·정비업의 근거・육성에 관한 규정을 신설(’12.7.22 시행예정)
- 전문교육기관 지정・지원 근거 마련(마리나법, ’12.10)
- 개발투자 수익성 제고를 위해 선석 선분양제 및 회원권제도 도입(’12. 마리나법 개정)
- 입지(강・바다), 개발주체(민간・공공), 개발절차(마리나법・기다법)와 관계없이 공유수면 점・사용료 감면 (’12 예정, 마리나법, 하천법 개정)
- 대형요트 검사기준 마련 및 검사절차 완화(’12 예정, 국토부)
- 마리나 종합 포털사이트 구축(’12 예정, 국토부, 문화부)

(2) 정부지원 정책사업 종류와 현황

국내 마리나항만 개발은 앞으로 다가올 해양레저스포츠 수요에 대응하기 위하여 정부주도하의 개발계획(‘제1차 마리나항만 기본계획’, 국토해양부 고시 제2010-41호)이 발표되어 마리나항만 개발 대상 항만이 선정되고 관련 산업의 육성방안이 마련되었다.

제1차 마라나항만 기본계획은 입지지표에 의한 평가기준을 마련하여 최종 10권역 43개소에 마리나항만 대상항만을 선정(기 개발항만 포함)하고 권역별 수요를 추정하여 마리나항만 개발유형 및 시설규모를 결정하고 있다. 선정된 마리나항만, 개발유형 및 시설규모는 표 9와 같다. 기 개발 마리나항만과 확정된 마리나 계획의 개발규모는

모두 반영함을 원칙으로 하였으며, 이외 나머지 마리나항만은 유형별 개발규모(거점형 300척, 레포츠형 100척, 리조트형 200척)의 적용을 원칙으로 하였다. 전국 43개소 마리나항만의 총 개발규모는 5,601척으로 전국 마리나항만 예상 수요의 54% 정도이다.

표 8. 마리나항만별 개발계획

마리나항만명		개발 유형	개발 현황	개발규모(척)			권역별 개발규모 (권역별 수요대비)
				계	해상	육상	
수도권 (5개소)	완산	거점형	계획	300	150	150	1,500척 (49%)
	방아머리	거점형	계획	300	150	150	
	제부	거점형	계획	300	150	150	
	흘곳	거점형	계획	300	150	150	
	전곡	거점형	개발 중	300 (113)	150 (60)	150 (53)	
충청권 (4개소)	석문	리조트형	계획	300	150	150	600척 (50%)
	오천	레포츠형	계획	400	400	-	
	홍원	레포츠형	계획	100	50	50	
	보령	레포츠형	기 개발	-	-	-	
전북권 (2개소)	고군산	리조트형	계획	200	100	100	300척 (62%)
	비응	레포츠형	계획	100	50	50	
서남권(4 개소)	화원	레포츠형	계획	100	50	50	277척 (62%)
	팽목	레포츠형	계획	100	50	50	
	목포	레포츠형	기 개발	57	32	25	
	함평	레포츠형	개발 중	20	20	-	
전남권 (3개소)	완도	레포츠형	계획	100	50	50	300척 (55%)
	남열	레포츠형	계획	100	50	50	
	소호	거점형	기 개발	100	-	100	
경남권 (8개소)	구산	레포츠형	계획	100	50	50	552척 (57%)
	당항포	레포츠형	계획	100	50	50	
	물건	레포츠형	계획	100	50	50	
	하동	레포츠형	계획	100	50	50	
	명동	레포츠형	계획	50	40	10	
	삼천포	레포츠형	기 개발	42	22	20	
	사곡	레포츠형	기 개발	-	-	-	
	충무	리조트형	기 개발	60	45	15	
부산권 (3개소)	부산북항	레포츠형	계획	100	50	50	648척 (61%)
	수영만	거점형	기 개발	448	293	155	
	백운포	레포츠형	계획	100	50	50	
경북권 (5개소)	두호	리조트형	계획	200	100	100	800척 (49%)
	후포	거점형	계획	300	150	150	
	고늘	레포츠형	계획	100	50	50	
	진하	레포츠형	계획	100	50	50	
	양포	레포츠형	개발 중	100 (36)	50 (36)	50 (-)	
강원권 (4개소)	속초	레포츠형	계획	100	50	50	296척 (47%)
	덕산	레포츠형	계획	100	50	50	
	강릉	레포츠형	계획	36 (20)	36 (20)	50 (-)	
	수산	레포츠형	기 개발	60	60	-	
제주권 (5개소)	강정	레포츠형	계획	100	50	50	328척 (78%)
	김녕	레포츠형	기 개발	10	10	-	
	도두	레포츠형	기 개발	4	4	-	
	중문	레포츠형	기 개발	134	50	84	
	이호	리조트형	개발 중	80	60	20	
43개소 (기 개발 및 개발 중 포함)				5,601 (169)	3,122 (116)	2,479 (53)	5,601 (54%)

또한 국토해양부는 2011년 12월 7일 [마리나산업 육성대책]을 의결하며 2015년 까지 동북아시아를 리드하는 요트·마리나 허브국가로 도약하는 목표를 설정하였다. 이에 따라 요트 등 해양 레저스포츠의 저변을 확대하고 이를 기초로 마리나 산업을 우리나라의 미래 성장동력으로 육성하기로 하고 해양레저스포츠 무료체험 프로그램을 2011년 18만명에서 2012년 50만명 규모로 확대하고, 요트 조종면허, 기상특보 시 운항 제한 등 요트이용 관련 규제를 개선하며 요트정비업, 요트차터업 등 마리나 관련 서비스업을 육성하며 국내 마리나 및 입출항 절차 등 정보를 해외에 적극 홍보하고 국제 요트대회를 활성화하는 등 해외 요트의 국내 방문을 촉진 방안을 계획 진행 중이다. 아울러 현재 독특한 아시아문화, 한류문화 등에 관심을 가지고 있는 슈퍼요트 소유자들을 기존 존재하는 일본 오사카를 중심으로 하는 동북아 루트를 활용하여 유치(유치효과 : 1회 정박 시 계류·주유·기본 정비에만 평균 2.2억원 지출)함으로써 국내의 마리나 시설을 단기적으로는 외국 마리나허브와의 연결통로로, 장기적으로는 동북아 마리나 허브로의 실현을 도모하고 있으며 이를 위해 관련 법률 개정 및 계획 등이 이루어지고 있다.

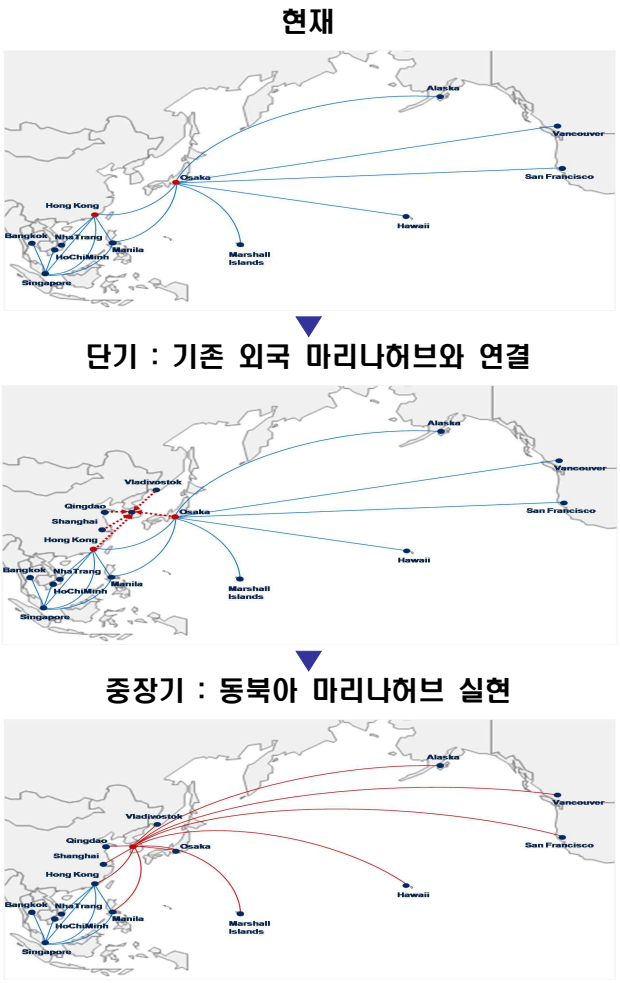


그림 10. 해외 슈퍼요트 유치를 통한 마리나 허브계획

마. 종합 결론

국내 마리나 관련 산업은 천혜의 자연조건, 국민소득 증가, 정부의 적극적 지원정책에 힘입어 급속한 발전을 앞두고 있다. 제1차 마리나항만 기본계획의 시행으로 전국 43개의 마리나항만이 2019년까지 개발될 예정이나 기술적인 토대는 매우 빈약한 실정으로 상당부분 해외 기술에 의존해야 하는 상황이다. 국내 관련 산업 육성이라는 본래 취지에 걸맞은 성과를 거두기 위해서는 주요 핵심기술의 국산화가 시급한 실정이다.

마리나 폰툰은 관련 기술은 이미 기술선도국에서 수십년 동안 사용되어온 기술이나 국내의 경우 아직 경험이나 실적 부족으로 본격적으로 적용되지 못하고 있다. 본 연구에서는 저탄소 콘크리트 기술을 마리나 폰툰에 적용함으로써 관련 기술의 자립화 달성은 물론 국내 탄소발생량 저감 목표에 기여하고 향후 해외수출시 유리한 입지를 선점할 수 있는 고부가가치 친환경 기술의 개발을 수행한다.

표 9. 본 과제의 SWOT 분석

구분		강점(S)	약점(W)
		- 콘크리트 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발 기술력 보유 - 프리캐스트 부재 설계/시공 기술력 보유	- 기술 적용 및 운용 경험 미흡 - 국제 시장 후발주자로 지명도 낮음
기회(O)	- 정책적 지원 - 기술선도국 특허 소멸 - 내수시장 활성화 - 관련 산업 세계시장 호황 - 국제적 탄소저감 노력	- 저탄소 콘크리트 폰툰의 성공적 기술개발을 통해 제1차 마리나항만 기본계획 대상항만에 기술 적용 - 국제적 탄소저감 노력에 편승하여 해외시장 개척	- 관련 산업에 대한 정책적 지원을 통해 핵심 기술력 확보 - 정형적인 해외기술을 탈피하여 독자적 기술 개발
위협(T)	- 기술개발 늦어질 경우 정부지원 어려움 (제1차 마리나항만 기본계획) - 도입 초기 해외 유수업체의 저가 공세	- 개발 기술의 조기실용화 추진(연구기간 내 시험시공 등 검증절차 포함) - 저/무탄소 콘크리트 기술을 강점으로 내수시장 방어 및 세계시장 진출	- 제1차 마리나항만 시행시 순수 국내기술이 우선적으로 적용될 수 있도록 국내 산업의 제도적 보호장치 필요 - 각종 마리나 관련 박람회에서 기술 홍보

제 3 장 저탄소 콘크리트 폰툰 요소기술 개발

1. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발

가. 사전조사분석

(1) 고로슬래그

고로슬래그는 고로(용광로)에서 선철을 제조하는 과정에서 얻어지는 부산물이며, 철광석중의 점토성분과 석회석이 합성되면서 형성된다. 철광석은 산화철,실리카, 알루미나의 혼합물이다. 고로에서의 화학반응은 실리카와 알루미나 성분이 용융석,즉 석회석중의 칼슘과 결합하여 슬래그를 형성하는 동안 산화철을 철로 환원시킨다. 화학반응은 1300～1600°C 사이의 온도에서 발생되는데, 철광석, 석회석과 함께 고로속으로 투입되는 코크스(Coke)가 연소되면서 일어난다. 미리 가열된 공기가 고로속으로 불어넣어질때 산소는 코크스중의 탄소와 화합하여 열과 일산화탄소를 발생시킨다.

철광석은 주로 산화철과의 반응을 통하여 철로 환원되는데 이때 이산화탄소와 속성분의 철이 생산된다. 석회석은 열에 의해 태워져 칼슘 및 마그네슘 산화물과 이산화탄소로 분리된다. 칼슘과 마그네슘산화물은 철광석중의 실리카와 알루미나와 결합되어 슬래그를 형성한다. 따라서, 석회-실리카-알루미나와 산화마그네슘 성분이 형성되는데 이는 고로에서 융해철상부의 융해층에서 얻어진다.

고로슬래그의 물리적 특성과 광물학적 구조는 주로 냉각방법에 따라 달라진다. 약 70%는 공기중에서 서서히 냉각 및 분쇄되는데, 분쇄될 때 결정구조를 갖는 암과 같은 재료가 생성되며, 자연산 골재의 훌륭한 대체재로 사용된다. 약 25%는 물에 의하여 냉각 처리되는데, 이때는 급격한 응결로 인하여 알갱이 모양의 유리질 재료가 생성된다. 이렇게 생성되는 재료는 두 가지 형태가 있으며, 그 하나는 바닥과 측면에 설치된 water jet 설비를 이용하여 용융슬래그 내에서 증기를 발생시킴으로써 생성되는 foamedslag로서 다공질이다. 또 다른 하나는 pelletized slag로서 알갱이 모양의 슬래그와 유사하다. 이러한 용융상태의 고온의 슬래그를 물,공기 등에 의해 입상화 급냉하여 유리화되는 것을 수쇄슬래그라 한다. 그림 11은 고로슬래그 미분말의 제조과정을 나타낸다.[(1)]

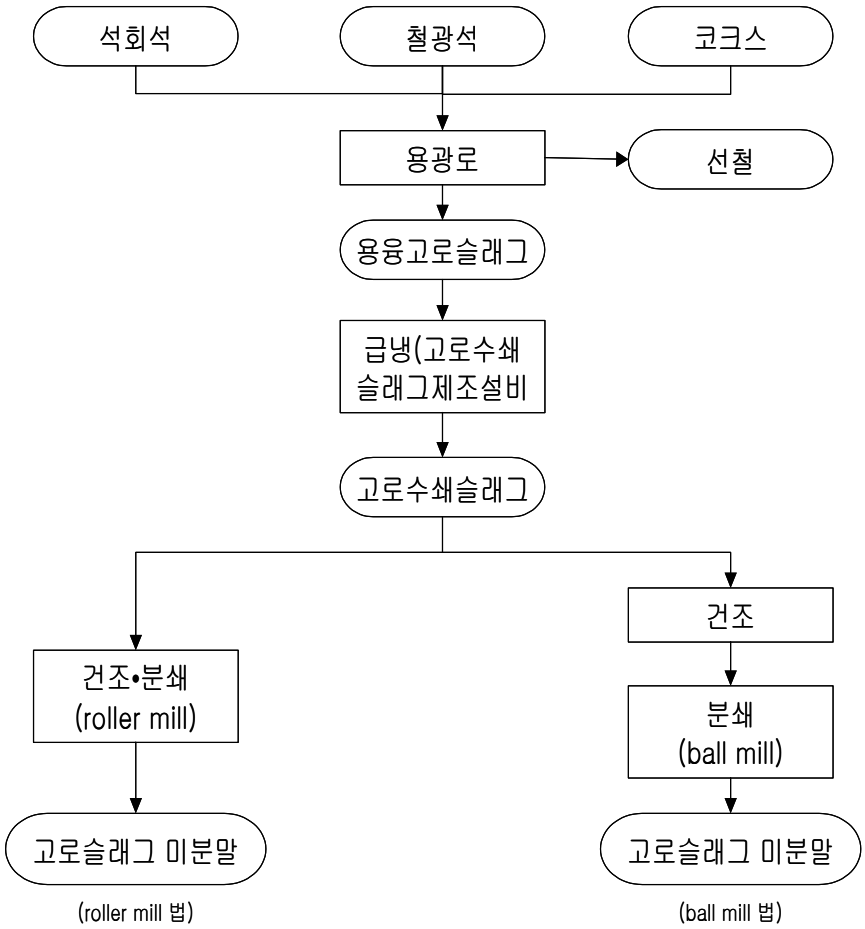


그림 11. 고로슬래그 미분말 생산과정[13]

표 10 고로슬래그의 주요사용 현황[2]

분류	급냉 슬래그 (수쇄슬래그,입상화슬래그)	서냉 슬래그 (괴상슬래그)
주된용도	시멘트첨가용, 콘크리트혼화제	자연골재 대체용
기타용도	잔골재 노상, 기층 안정처리재 지반개량재 경량기포콘크리트 원료(ALC) 규산질 비료	도로기초재, 철도포설용 암면(절연재, 결로방지재, 취부재) 항만재료 규산실 재료 유리, 타일, 기와 등

생산된 급냉 유리질의 고로슬래그는 표 10에서 나타낸 것처럼 주로 고로슬래그 시멘트를 만들기 위한 원료와 콘크리트용 혼화재로 사용된다. 고로슬래그를 포틀랜드 클링커와 적당량의 석고를 첨가하여 분쇄하거나, 이러한 혼합물들을 혼합분쇄라 하지 않고 각각의 성분들을 분쇄하여 혼합한 것을 고로슬래그 시멘트라 한다.

(2) 고로슬래그 미분말의 성질

(가) 화학적 특성

슬래그의 화학조성은 제철공정에서 사용되는 원재료의 성분, 고로의 종류 및 그 공정에 따라 차이가 있어 그 성분은 상당한 범위에서 변화하나, 철저한 품질관리 체제하에서의 산물이므로 산지별로는 그 품질이 균일하다고 할 수 있다.

고로슬래그의 주성분은 CaO, SiO2, AlO3, MgO 등 4성분이 93~98%를차지하고 그 외에 소량의 SO3, Fe2O3, MnO 및 alkali를 함유하고 있고, 표 11에 나타낸 것처럼 화학적 성분이 포틀랜드시멘트와 유사함을 알 수 있다.

용융상태의 고로슬래그를 물로 급냉하여 제조한 유리구조의 고로수쇄슬래그는, 높은 에너지상태로 되어 반응성은 커지나 그 분말을 그대로 물과접촉시켜도 수화반응은 거의 진행되지 않는다. 그러나 어떤 조건하에 놓으면 아주 현저한 수경성을 가진다. 이 특성을 잠재 수경성이라 한다.

표 11 화학 조성표[3]

구분		CaO	SiO_2	AlO_3	MgO	SO_3	Fe_2O_3
고로슬래그 미분말	평균	42.4	33.1	13.8	6.1	-	0.29
	최소	40.5	30.7	12.6	4.2	-	0.02
	최대	43.9	34.9	15.2	9.2	-	0.64
	A	44.1	32.3	14.8	5.5	1.0	0.4
	B	44.0	32.2	14.6	5.6	1.1	0.4
	C	44.2	32.3	14.6	5.5	1.0	0.4
고로슬래그 시멘트	D	56.5	24.2	9.0	3.1	3.1	3.1
	E	51.8	26.9	10.8	4.2	3.05	4.2
	F	47.2	29.7	12.6	5.3	3.0	5.3
보통포틀랜드 시멘트	평균	64.0	21.5	5.2	1.6	2.0	0.12
	최소	62.7	20.5	4.7	0.8	1.7	0.03
	최대	65.0	22.2	5.9	3.0	2.3	0.34

A:분말도 4500(광양산), B:분말도 6000(광양산), C:분말도 8000(광양산)
D:슬래그 30%치환, E:슬래그 50%치환, F:슬래그 70%치환

즉, 고로슬래그 미분말을 물과 반죽 혼합해 경화작용을 하는 데는, 알칼리성 또는 황산염의 자극물을 첨가하여, OH-이온이나, SO42-이온이 충분한 양이 존재하는 조건에서 수화시킬 필요가 있다. 이러한 이온의 존재하에서는 고로슬래그 미분말은 포틀랜드 시멘트와 마찬가지로 수경성을 발휘한다. 이점이 플라이애쉬 등의 포졸란 물질과 다르다. 고로슬래그 미분말은 포졸란 반응도 아울러 가지는 물질로 해석되고 있다. 고로 시멘트는 확실히 이 고로슬래그의 잠재 수경성을 이용해 만들어진 것이며, 고로슬래그의 잠재 수경성은 주로 유리량과 염기도에 의해 지배된다. 유리량이 많은 슬래그는 내부가 구조상불안정한 상태에 있고, 반응성이 풍부한 결정화의 에너지가 보관 유지하고 있기 때문에 잠재 수경성은 크게 된다.

(나) 물리적 특성

막 제조된 수제슬래그의 비중은 1.89~2.77로 편차가 크나, 74㎜이하로 분쇄시킨 고로슬래그분말의 비중은 2.85~2.94의 범위에 있으며 평균 2.9정도이다. 이 값은 포틀랜드 시멘트의 비중 3.15보다도 8%정도 작으나 플라이애쉬나 실리카 흄에 비해 포틀랜드 시멘트와의 비중차는 작고, 혼화재로서 사용할 때의 혼합특성과 반죽상 콘크리트에 있어서 결합재의 분산성은 우수하다. 고로슬래그분말에 석고가 첨가되는 경우는 석고의 비중이 2.3정도 이므로 다소 작아진다.

고로슬래그미분말의 단위용적 중량은 1.1kg/ℓ ~1.25kg/ℓ 정도이고, 색조는 회백색이다. 분체 입자의 형상은 매끄러운 조개껍질상의 파면을 한입방 형상이다. 입경 10㎛이하의 것은 재령 28일까지의 초기 강도에 관계하고, 10~40㎛의 것은 장기 강도에 관계한다고 되어 있지만, 고로시멘트용으로 생산되고 있던 3500~4000cm^2/g의 범위의 고로슬래그 미분말을 레이져 입도분석계로 조사한 결과에 의하면, 최대 입경은 48~150㎛, 평균 입경은 10~16㎛, 10㎛이하의량은 33~50%의 범위에 있고, 44㎛잔분은 0.8~15.3%,평균 8.9%였다. 또한 8000~10000m^2/g급의 고로슬래그초미분말의 평균 입경은 2~3㎛이었다. 슬래그의 분말도는 물과의 반응속도 및 강도에 영향을 끼치므로 중요하다. 즉 분말도가 높을수록 그 표면적이 크며, 슬래그의 잠재수경성이 충분히 발휘되므로 반응속도는 빨라지고 강도발현도 빨라진다.

혼화재를 사용한 콘크리트의 응결촉진과 조기강도 저하 문제를 개선하기 위한 방안으로는 물리적인 방법과 화학적인 방법을 통해 해결할 수 있으며 물리적인 방법으로는 고로슬래그의 분말도를 높이는 방법으로 수화활성도를 증가시켜 조기강도를 개선하는 것이며,화학적인 방법으로는 ca^+, k^+, na^+와 같은 알칼리 자극제를 첨가하는 방법 등이 있다.

(3) 고로슬래그 미분말 사용에 따른 성능

(가) 워커빌리티 개선

Wood(1981)의 연구에 의하면 슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 워커빌리티가 향상되는데, 이것은 시멘트 페이스트 내에서 고로슬래그 미분말이 매끄러운 평면을 형성하기 때문이다. 슬래그 미분말의 표면이 매끄럽고 촘촘하기 때문에 배합초기에 슬래그 미분말이 수분을 함유하더라도 포틀랜드 시멘트와 같이 점성을 발휘하지 않는다. 따라서 같은 슬럼프일 경우에는 고로슬래그 미분말을 혼화재로 사용하는 것이 다짐작업이 쉬워진다.[3]

일반적으로 슬래그 미분말을 사용하면 콘크리트가 경화하는데 걸리는 시간이 증가한다. 응결시간은 초기 양생온도, 슬래그 치환율, 물-결합재비 그리고 포틀랜드 시멘트의 특성 등의 영향을 받는다. 보통 응결시간은 상온(23°C)에서 30분에서 1시간 정도이다. 낮은 온도에서는 응결시간이 지연되는 경향이 있지만 염화칼슘과 같은 급결제를 첨가하면 이러한 현상을 없앨 수 있다. 콘크리트의 블리딩은 단위수량에 대한 고체의 표면적의 비에 주로 영향을 받는데, 고체의 표면적이 클수록 블리딩은 감소한다. 따라서, 슬래그미분말을 사용한 경우 슬래그의 분말도가 시멘트의 분말도보다 크면 블리딩은 감소하고, 시멘트의 분말도보다 작으면 블리딩은 증가한다. Cesareni[4]와 Frigione[5]의 연구에 의하면 총 블리딩량과 블리딩 속도는 슬래그를 혼입한 경우 증가하는 경향이 있다. 이것은 슬래그 미분말과 시멘트의 분말도가 거의 같은 수준이기 때문이다.

(나) 발열특성

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 발열특성은 고로슬래그 미분말의 품질이나 치환율의 영향을 받는다. 또 고로슬래그 미분말의 반응속도는 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 타설시 콘크리트 온도 및 외기온도에 영향을 보다 민감하게 받는다. 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 단열온도 상승량은 고로슬래그 미분말의 치환율이 작을수록 또 반죽된 콘크리트의 온도가 클수록 커지고 경우에 따라서는 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용한 경우보다 커질 때도 있다. 그러나 이 경우에도 발열속도는 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용한 것과 비교할 때 고로슬래그 미분말의 분말도가 작을수록 또 치환율이 클수록 늦어진다. 이 때문에 고로슬래그 미분말의 분말도 및 치환율을 적절하게 선정하면 보통 구조물의 콘크리트의 최고 온도 도달시간을 늦추고 또한 최고

온도도 작게 할 수 있으므로 온도 균열 억제에 유효하다.

(다) 콘크리트의 강도

분말도가 높은 고로슬래그 미분말을 30~50% 정도 치환하면 콘크리트의 고강도화도 가능한 것으로 보고되고 있다. 이러한 물성과 장기강도 증진효과가 크다는 점으로부터 초고층 RC건축물이나 RC조 타워의 저층부 콘크리트 또는 지하구조물이나 강도관리재령을 길게 할 수 있는 구조물에서 특히 유효하게 적용될 수 있다.

(라) 투수성

슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트는 양생이 충분히 이루어지면 투수성이 크게 감소하는데, 슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 투수성은 감소한다. 슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 경우 시멘트의 수화과정에서 발생하는 칼슘 수산화물 등의 알칼리와 슬래그가 반응 하면서 콘크리트의 공극구조가 바뀌게 되는데, 공극이 칼슘 수산화물 이외에 일부는 칼슘 실리케이트 수화물로 채워지게 된다. 슬래그 시멘트의 경우 공극의 크기가 감소하므로 투수성도 감소하게 된다.

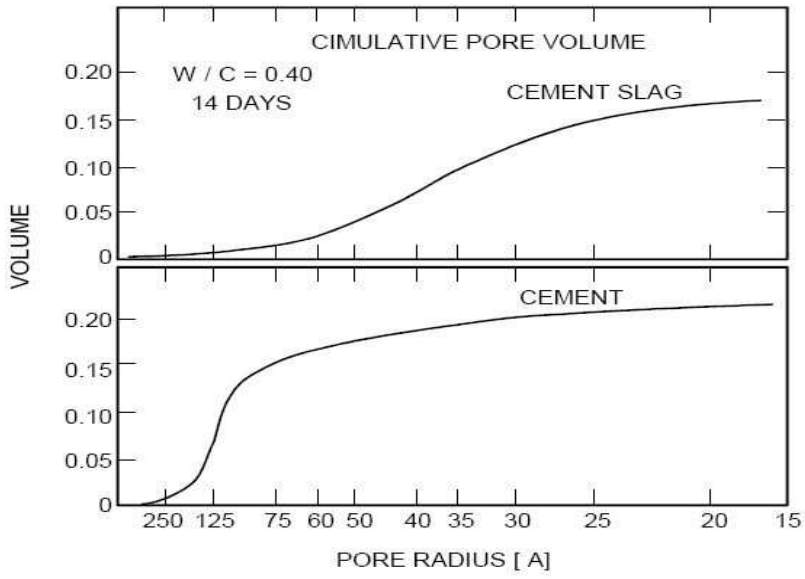


그림 12 공극 크기 분포도

(4) 고로슬래그의 조기강도 향상

플라이애쉬나 고로슬래그 같은 알루미노 규산염광물을 함유하는 물질에 알칼리 활성제로 NaOH, Na_2CO_3, Na_2SiO_3등을 첨가하면 화학적 반응에 의해 소성과정을 거치지 않아도 건설재료로 사용이 가능한 강한 기계적인 강도를 갖는 경화체가 만들어진다. 1934년 sus Olsen이 보고한 Kaolinite(고령토)와 알칼리의 반응이 그 시초이다.(6)

최초로 실용화 된 것은 1972년 Davidovits등 연구팀이 150°C에서 점토와 Kaolinite를 부식성 소다와 반응시켜 제조한 탈수성 타일이다. 이것으로 알루미노 규산염계 광물들이 100~150°C 범위의 저온에서 소결과정 없이 NaOH와 같은 알칼리와 반응하면 Si-O-Al결합을 한 반응생성물이 나타나는 것을 확인하고 이 반응생성물을 토대로 한 지오폴리머의 연구가 시작되었다. 지오폴리머 콘크리트는 알칼리 활성 슬래그 콘크리트와 달리 수화생성물로서 칼슘-실리카-수화물 겔(C-S-H gel)을 형성하지 않지만 높은 pH를 지닌 알칼리 활성화제에 의하여 알루미늄과 실리카 성분이 용해, 합성되는 경화 기구를 기본으로 하고 있다.(7)

지구온난화의 주요 원인 중 하나인 이산화탄소 배출을 최소화하기 위하여 콘크리트 관련 업계는 플라이애쉬와 메타카올린 혹은 고로슬래그와 실리카 흄 같은 산업부산물들로 시멘트의 일부 대체되는 지오폴리머 콘크리트를 개발하기 위하여 상당한 비용과 노력을 투자해왔다. 많은 연구결과 보통 포틀랜드 시멘트의 30%~50%를 플라이애쉬 또는 고로슬래그로 대체한 콘크리트가 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 물리적 성질들을 강화시켜줄 수 있는 것을 보여줬다.

이에 한발 더 진보한 연구는 플라이 애쉬나 고로슬래그의 원재료와 알칼리성 무기물의 활성화제를 합성한 무시멘트 콘크리트의 개발이다. 알칼리활성화 과정에서의 매커니즘이 명확하지 않음에도 풍부한 실리카 산화물과 알루미늄 산화물을 지닌 생석화된 재료들이 원재료로 훨씬 적합하고 알칼리 수산화물, 약산성의 비규산염이나 R20(n)SiO2 형태의 규산염은 가장 효율적인 활성제가 될 수 있다.여기서 R은 Na, K, Li과 같은 알칼리금속을 가르킨다.

송진규, 양근혁 등은 나트륨계열의 알칼리 활성화제(가성알칼리, 비규산계 약산염, 규산계, 비규산계, 강산염)를 13가지 활성화제를 사용하여 고로슬래그의 자극을 주는 연구를 통해 가성알칼리계열에서 수산화 이온(OH-)을 함유하고 있을 때 높은 pH값을 유지하여 반응을 일으킨다고 말하고 있다.(9),(10)

13가지의 알칼리 활성화제를 각각 투입하여 강도발현 특성을 검토한 결과 상온양생 조건에서 OH-이온을 보유하고 있거나 수화 반응에 의해 OH-이온이 생성되는 알칼

리 활성화제가 공통적으로 강도발현을 보였다. 수산화나트륨과 규산나트륨 각각의 첨가량 변화에 따른 무시멘트 모르타르의 특성에서는 수산화나트륨은 첨가량 4wt%에서 최고 강도를 나타내고 추가 첨가 시에는 오히려 강도가 감소되는 현상을 나타내었다. 그리고 응결시간은 첨가량이 증가함에 따라 단축됨을 알 수 있다고 하였다.[7]

일반적으로 슬래그 미분말을 사용하면 콘크리트가 경화하는데 걸리는 시간이 증가한다. 또한 낮은 온도에서 응결시간이 지연되는데 염화칼슘과 같은 급결제를 사용 할 때에 이런 현상을 없앨 수 있다.

(5) 증기양생

현재 기능 인력의 부족 등으로 인해 PC공법에 대한 구조적이고 품질적인 측면의 연구가 활발히 진행되고 있다. PC의 공장제작시 문제점으로써, 고온의 증기양생으로 인해 시멘트의 품질적인 측면이 대두되고 있으며 경제성을 고려하여 한정된 범위내의 시간에서 가장 우수한 품질을 갖추기 위해 온도이력과 시멘트의 강도발현성에 관한 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 우선, 지금까지 온도요인에 따른 시멘트의 강도발현에 관한 기존의 선행 연구를 정리해보면 다음과 같다.

W/C 40%, 60% 범위의 모르타르를 사용해 온도 및 시간에 따른 압축강도를 실험한 결과, 전치시간 4시간에서 가장 우수하였으며, 양생온도 80℃에선 4시간이, 60℃에선 6시간이 가장 우수한 강도를 나타내었다.[10] 온도의 범위는20~90℃ 에서 혼입직전의 재료온도, 비빔온도 및 양생온도를 변화시킨 경우 시멘트의 수화반응, 응결경화, 강도, 경시변화 실험을 실시한 결과 초기강도 발현성에 영향을 미치는 온도요인 중 양생온도가 지배적이며 고온이 될수록 장기강도 발현속도는 완만해졌다. 비빔, 타설, 양생온도를 -3.7~49.1℃의 범위에서 설정하여 압축강도를 조사하였다.[11] 그 결과 재령 1, 3, 7일에서는 타설 온도와 양생온도가 높을수록 강도가 크고 재령 91일 및 365일에서는 온도가 높을수록 강도가 낮아진다고 보고하고 있다. 고강도 콘크리트에서 수화발열에 의한 온도상승이 강도발현에 미치는 영향에 대한 연구를 위하여 대형 콘크리트 시험체 실험과 동일한 물시멘트비의 모르타르를 사용하여 대형 콘크리트 시험체의 온도이력과 동일하게 초기가열양생을 실시한 실험을 실시하였다. 콘크리트 시험체는 600×400×950㎜로 제작되었으며, 모르타르 시험체는 Ø50×120㎜로 제작되었다. 이 실험에서 대형 시험체 내부의 시멘트 수화반응에 기인한 자기발열 양생과 동일한 양의 열을 외부에서 가한 모르타르 시험체의 초기가열양생에서 동일한 결과를 얻는 것으로 나타났으며 모르타르의 강도는 시멘트의 수화반응과 일정관계를 보여서 수화반응의

진행이 커지면 강도도 커지는 관계를 나타냈다. 초기온도가 고온일 경우 장기강도는 표준양생에 비해 저하되며 조골재의 종류, 물시멘트비, 양생온도를 달리한 실험에서도 양생온도가 높을수록 초기재령에서 높은 강도발현을 일으키지만, 장기재령에서는 반대되는 현상이 일어나며 물시멘트비가 높을수록 강도의 차이가 확실하게 나타났다.[11][12]

C3S페이스트의 수화진행 상태를 X선으로 검토하였다. 이결과에 의하면, 양생온도 20℃의 경우 4시간까지는 수화반응이 전혀 없다가 이후에 급속히 수화반응이 진행되었다. 또한 C3S의 수화는 초기양생 1일정도 까지는 양생온도의 영향을 많이 받는다. 초기에 가열촉진 양생한 시멘트 경화체의 장기강도 저하현상에 대하여 종래 생각하여 왔던 것과는 달리, 수화생성물의 조잡화와 불 균질한 것이 원인이 아니고 오히려 내부 수화열이 훨씬 치밀하고 수화 반응속도를 저하시킨 것 때문이라고 견해를 피력하고 있다.[10]

증기양생에 관련하여 국외의 연구동향을 살펴볼 때, 일본 건축시방서 JASS에 의하면 20~150℃의 범위 내에서 물은 시멘트 경화체의 약10배, 공기는 200배의 열팽창계수를 가지고 있으므로 콘크리트가 굳지 않은상태에서 급속히 열을 가하면 콘크리트의 초기재령 강도는 내부공기포의 팽창력을 견디지 못하고 내부공기 주위에 미세균열을 발생시켜, 강도에 영향을 미친다고 보고하고 있다. ACI의 고온 증기양생 규준에 따르면 일반강도에서는 66℃의 온도로 양생할 것을 권고하고 있고, 최고온도는 82℃를 초과하지 않도록 규정하고 있다.[17]

증기양생 방법으로는 증기를 콘크리트 주변에 보내 습윤 상태로 가열하여 콘크리트의 경화를 촉진시키는 양생방법으로 대기압에서, 즉 온도가 100℃ 이하인 경우의 상압증기양생과 대기압을 초과하는 압력을 이용하는 압력용기 형식의 오토클레이브(Autoclave) 양생이 있다.

증기양생은 각종 포틀랜드시멘트에 이용하면 좋은 결과를 얻을 수도 있지만, 알루미나시멘트에서는 고온습윤조건이 시멘트 강도에 불리한 영향을준다. W/B비가 낮은 콘크리트는 빈배합의 것보다 증기양생에 대한 효과가 크다.

콘크리트의 증기양생 시 높은 온도를 가하여 촉진양생을 일으켜 빠른 시간 내에 강도발현을 일으키기 때문에 제작한 후, 바로 제품을 취급할 수 있도록 충분히 높은 강도를 조기에 얻을 수 있다. 즉 거푸집의 탈형이나 프리스트레스용 제작대로부터의 철거 등이 보통의 습윤양생보다 빠르고 양생과 보관 공간을 작게 할 수 있는 등 여러 면에서 경제적으로 유리하다.

실제 양생 사이클은 조기와 장기의 소요강도를 고려하여 선정해야 하지만 실효시간에 의하여 좌우된다. 경제적으로는 소정의 콘크리트 배합에 양생 사이클을 맞추는 편이 좋은가 그 반대로 증기양생에 알맞은 배합을 택하는 편이 좋은가에 따라 결정된다.[16]

(6) 온도이력 조건에 따른 강도 특성

콘크리트의 양생은 콘크리트를 믹싱하고 나서 경화하기까지 적당한 온도와 습기를 유지하여 충분히 경화력을 발휘할 수 있도록 하는 것을 말한다. 이때 콘크리트의 강도가 충분히 발현되기까지 과도한 충격이나 하중을 주지 않도록 하여야 하며 풍우, 서리, 햇빛 등에 대해서도 콘크리트의 노출면을 보호하여야 한다. 콘크리트 2차 제품은 주로 촉진양생방법에 의해 생산되고 있으며 이러한 촉진양생방법에는 일반적으로 상압에서의 증기양생과 오토클레이브를 이용한 고온고압 증기양생, 전기양생 등이 있다. 이들 중 상압증기양생은 가장 일반적으로 사용되는 촉진양생방법으로 콘크리트 제품의 생산에 매우 널리 이용되고 있다.

(가) 전치시간

전치시간은 콘크리트 타설 직후부터 증기양생에 의해 온도상승이 이루어지기 직전까지의 기간으로 콘크리트 강도 및 내구적인 품질에 미치는 영향은 크다. 증기양생 콘크리트는 제조 시에 충분한 전치시간을 취하지 않으면 응결 또는 열 변형으로 인해 콘크리트의 조직이 치밀해지지 못해 강도발현에 불리한 영향을 준다. 그러나 반드시 전치시간과 강도 및 내구성능이 비례한다고는 볼 수 없으며, 전치시간이 짧을 경우, 온도상승비는 작게 해야 하며 전치시간을 충분히 주었을 때는 강도발현에 불리함을 받지 않고, 온도 상승비를 상대적으로 크게 조절이 가능하다. 시멘트의 종류, 물시멘트비, 컨디션, 최대양생온도 등에 따라 최적의 전치시간이 달라질 수 있다.

증기양생에서 전치시간의 인자는 초기강도 및 장기강도의 발현에 반드시 필요한 요소이며 후에 따라 이어지는 온도상승 및 하강구배, 양생 최고온도, 최고온도 유지시간과도 밀접한 관계에 있다. 국내에서는 일반적으로 전치시간을 3시간 이하로 규정하고 있는 PC제작 공장이 많은 실정이다.

(나) 양생최고온도

양생최고온도는 전치시간을 지나 증기양생으로부터 고온을 가하여 온도상승이 이루어지는 최고점으로써 양생이 유지되는 최고온도점을 말한다. 증기양생시 온도이력 단계 중에 강도발현에 있어서 가장 큰 영향을 주는 인자라고 보고되고 있다. 또한 일반적으로 초기 고온으로 인한 촉진양생시 초기강도는 촉진양생하지 않은 경우보다 빠른 강도발현을 일으키나, 장기강도에 있어서는 증가가 둔화된다.

초기의 고온이 후기 재령에서의 강도에 불리한 영향을 주는가에 대한 설명에서, 초기의 높은 온도로 급속히 수화시키면 그 후의 수화반응이 지연되어 페이스트내의 수화생성물의 분포가 불균일하게 되며, 그 이유는 초기의 급속한 수화반응에서는 시멘트 입자로부터의 수화생성물이 확산되고 또 조직의 간격을 균등하게 채워나가는데 필요한 충분한 시간이 없기 때문이다. 그 결과로 수화생성물이 수화반응 중의 시멘트입자의 둘레에 집중적으로 만들어져 그 후의 수화반응을 지연시키므로 장기강도에 불리하게 작용하게 된다

(다) 최고온도 유지시간

최고온도 유지시간은 증기양생 시 온도가 최고점에 도달했을 때, 그 최고온도가 지속되는 양생시간을 말한다. 유지시간중의 양생온도가 어느 정도 증가되면 수화반응을 촉진시켜 장기강도에 나쁜 영향을 주지 않으면서 콘크리트의 조기강도 발현에 우수한 장점을 가지게 된다. 그러나 응결기간 동안 높은 온도로 공급이 되면 수화반응이 급격하게 진행하여 좋지 않은 내부의 물리적 구조를 생성하여 보다 다공성이 되고 공극이 빈 상태로 경화하게 된다. 증기양생의 사이클에 있어서 가장 중요한 요소이자, 강도발현에 결정적인 역할을 하는 주기는 최고온도에서의 양생기간이다. 다시 말하면 양생시 최고점을 기점으로 최고온도의 수준과 그 지속시간에 따라 콘크리트가 반응을 하고 수화물이 생성되는데 주요 역할을 하는 것이다. 이 주기 또한 시멘트의 종류, 물시멘트비, 각종 혼화재의 혼입유무 등에 따라 다르게 적용되며 아직까지 강도수준에 따른 양생최고온도와 지속시간의체계가 확립되지 않은 상태이다.[18]

(라) 온도상승 및 하강구배

온도구배는 증기양생과정에서 상온의 온도에서 증기양생 최고온도까지 도달시의 상승속도 및 최고온도 점에서 다시 상온으로 하강하는 속도를 뜻한다. 온도구배가 높으면 최고점 혹은 최저점으로의 도달시간이 단축될 수 있으나 급격한 온도의 구배는 자칫 콘크리트 내부와 외부의 온도차를 발생시켜 균열을 일으킬 수 있게 된다. 온도상승

은 앞선 주기인 전치시간과 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 전치시간이 짧을 경우에는 온도상승비를 작게 해야 하며 전치시간을 충분히 주었을 때는 강도발현에 불리함을 받지 않고, 온도 상승비를 상대적으로 크게 조절이 가능하다. 기존의 연구에서는 온도상승구배가 낮을수록 높은 강도를 얻는다고 보고하고 있으며, 20℃/h 정도의 온도상승구배를 선호하고 있다.[18]

증기양생 사이클이 순환된 후에 온도하강의 경우, 고온에서의 양생 후 상온으로 온도를 강재적으로 냉각시키는 과정에 있어서 급격한 온도하강을 실시할 경우에는 부재 내·외부의 온도차가 생겨 균열을 발생시킬 수 있으며 이는 바로 강도발현에 직접적인 영향을 끼치게 된다.

(7) Life Cycle Assessment(LCA) 개요

LCA란 어떤 제품이나 공정의 전 과정에 걸쳐서 소모되고 배출되는 에너지 및 물질, 오염물질 배출 등을 계량화하여 이들이 환경에 미치는 영향을 규명하고 환경개선의 방안을 모색하고자 하는 정량적인 환경 영향평가 기법 이다. 여기서 전 과정은 원료의 채취에서부터 제조, 운송, 사용 및 폐기단계에 이르기까지의 모든 과정을 말한다. 또한 '환경에 미치는 영향'은 일반적으로 자원고갈, 환경오염, 환경변형 등으로 분류하여 평가하며 국지적인 환경오염물의 배출 뿐만 아니라 자원 및 에너지의 소비 또는 인간의 건강, 생태학적영향까지 포함한다.

이 기법의 목적은 인간 활동의 다양한 국면에서 환경부하를 저감하는 방향으로 의사결정을 하기 위한 판단자료를 제고하는데 있으며 이러한 측면에서 지역 환경문제 및 지구 환경문제를 억제하는데 있어 유효한 방법이다. LCA는 개념적으로 환경부하 혹은 배출에 관한 질적, 양적 자료목록을 작성, 평가하여 환경성과를 개선시키기 위한 대안을 검토하는 과정이라고 할 수 있다. 환경영향 평가(EIA), 위해성 평가(Risk Assessment) 등과 같이 환경관리기법 중의 하나로 정립되어 가고 있고, ISO 14000 Series의 기술적 근간을 이루고 있어 다른 기법에 비해 국제적으로 보다 중요시되는 기법이라 할 수 있다. 결국 전 과정 평가의 궁극적 목표는 자원, 에너지 소비 및 환경오염 부하를 최소화할 수 있는 개선점을 찾아 지속가능한 개발과 생태계의 균형을 도모하는데 있으며 전 과정 평가를'콘크리트'라는 제품에 대입할 경우 그 범위는 콘크리트 원자재 생산, 원자재 운송, 콘크리트 제조, 현장 시공, 해체/폐기, 폐기물 순환 재사용에 이르는 6단계에 걸쳐 이루어진다고 볼 수 있다.[19]

(가) 국내 LCA기법

국가전과정 목록(Life-Cycle Inventory datebase)를 구축하기 위한 방법으로 쓰인 개별적상법은 제품과 시스템을 설계도서와 견적서 등으로부터 제조공정, 소재 등으로 구분하여 원료의 추출에서부터 제조 및 가공, 수송 및 유통, 사용, 최종 폐기에 이르는 한 제품이나 공정의 전 과정 동안의 에너지 및 원료 소요량과 환경배출물질을 정량화하여 구체적으로 조사하고, 목록을 작성하는 방법이다.[20]

건설제품 및 건축물의 지속가능성 실현을 위해서는 전 과정목록 전 과정평가 환경제품선언이 단계별로 진행되어야 한다. 전 과정목록(LCI) DB모듈은 국가별로 구축되거나 지역별로 구축되고 있으며 국내에는 현재 400여개의 국가 모듈이 구축되어 있다. 현재 국내건축물과 건설재료를 대상으로 LCA기법 적용에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며 향후 표준적인 DataBase로 구축될 것으로 예상된다.

① 국내 LCA 프로그램

- TOTAL 프로그램[21]

본 프로그램은 환경부에서 개발하였으며 일반적인 전 과정 평가를 수행할 수 있도록 하였다. 특히 국내의 환경성적표지 제도에서 요구하는 데이터 양식을 지원하므로 환경성적표지 제도에 최적화된 전 과정 평가 등을 수행할 수 있다. 여기에는 환경성적표지 인증을 받기 위한 전 과정평가 수행과 국가데이터베이스를 내장하고 있다. 또한, 전 산업에 대한 LCA 프로그램이며 별도의 프로그램 관련 교육을 받은 후에 사용할 수 있는 전문가 중심의 프로그램이다.

- PASS 프로그램[21]

산업자원부(현, 지식경제부)에서 개발하였으며, 현재 4.0 버전까지 개발되었다. TOTAL 프로그램과 마찬가지로 전 과정 평가를 수행할 수 있도록 하였으며, 특히 여기에는 에너지 부문으로 디젤, 가솔린, 석탄 등의LCI DB가 포함되어 있으며, 건설 관련 자재로는 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트, 레미콘, 유리 등의 LCI DB를 내장하고 있다.

- APESS 프로그램[22]

본 프로그램은 건축분야 종사자, 건축주를 비롯하여 자재 및 건물의 환경친화성에

관심 있는 사용자를 대상으로 하고 있으며, 친환경적 건물을위해 환경부하가 적은 건축자재 및 시공공정을 선택할 수 있도록 도와주는 것에 주목적을 두고 있다. 이에 APESS의 구성은 단순하면서도 쉽게이해할 수 있는 프로그램 구조를 갖추고 있으며, 사용자가 손쉽게 자재의 친환경성을 판단하고 선택하는데 중점을 두었다.

- COOL 프로그램[22]

탄소성적표지 인증 신청기업'에게 편의를 제공하고자 한국환경산업기술원에서 개발한 탄소성적표지 전용 프로그램으로서 탄소성적표지 배출계수가 내장되어 있어 물질에 따른 탄소배출계수가 자동적으로 표기되며 대상제품의 탄소배출량과 각 단계별(원자재생산단계, 제조단계, 수송단계, 사용단계, 폐기단계 등) 탄소배출량까지도 산정할 수 있다. 또한 보고서 출력 기능을 통한 탄소성적표지 인증신청 보고서 작성이 가능하도록 구축되어 있다.

(나) 국외 LCA기법

국외에서도 산업연관분석법과 동일한 방식으로 원단위 DB를 구축하고 있다. 국외에서는 산업연관분석법에 의한 연구가 국내보다 먼저 도입되었고 연구가 지속적으로 진행되었기 때문에 현재는 산업연관표에 의한 원단위 데이터베이스가 비교적 세부적으로 구축이 되어있으며 그 실용성에서도 자리를 잡아가고 있다.

① 국외 LCA 프로그램

- BEES[23]

현재 미국의 대표적인 LCA tool로서 미국정보가 친환경적인 건축자재의 선택을 지원하기 위해 1994년 미국 NIST에 의뢰하여 개발한 프로그램이다. 건축산업에 대해서 산업연관분석을 이용하여 에너지량 산출을 행하였으며, 적산방식에 의해서도 종이, 선철, 동, 합판 등 건축부분의 자재에 대한 조사를 통해 DB를 구축하였다. 환경성 뿐만 아니라 경제성을 동시에 고려할 수 있도록 고안된 기법으로 건축주 및 정부의 투자 우선순위의사결정을 위한 지원도구 개발을 목적으로 하고 있으며, 온실효과/산성화/화석연료감소/자연자원고갈/공기오염기준 등을 평가항목으로 한다.

- ATHENA[23]

캐나다에서 개발한 프로그램으로서 평가 초점은 LCI DB가 세부적으로 제시되어 양적인 데이터로 사용되도록 상업적, 공공적, 주거건물 등 5계으로 구성 되었다. 상세한 LCI 산출결과는 그래픽이나 표 형식으로 요약되어 보여주고 있으며, 생태적 자원 획득과 타입별 내재에너지의 입력,잠재된 온실효과, 수자원과 공기의 독성정도 측정, 고형폐기물을 평가한다. 현재까지 자재범위는 스틸, 나무, 콘크리트로 한정되어 있지만 피복금속, 점토벽돌, 석고보드 등 다른 제품들에 관한 연구가 진행되어 다양한DB가 구축될 예정이다.

- Gabi[23]

유럽에서 개발된 프로그램으로 조직, 공장, 공정 혹은 제품의 전과정평가를 통해 지속가능성을 관리하기 위한 프로그램이다. 전과정 평가 외에 Life Cycle Engineering, Design for Environment, Energy Efficiency 등도 가능하며, 평가에 사용되는 DB는 "Gabi DB manager"에서 관리되며 물질과 생산공정을 자세하게 구분한 특성이 있다. 전과정영향평가는 DB manager에서 정규화와 가중치부여에 대한 값은 선정한수 수행할 수 있으며 여러 변수에 대한 민감도 분석을 수행할 수 있다.

- ecoMA[23]

ecoMA는 일본의 도쿄대학교에서 개발된 프로그램으로서 건축자재 중 콘크리트만을 대상으로 건설현장 조달 시 CO_2 배출량 또는 경제성을 고려하여 콘크리트 생산업체와 원자재업체를 선정하고, 이전의 통계DB를 이용하여 향후 건설산업 동향을 예측 및 콘크리트 사용량에 대한 CO_2 배출량과 경제성을 예측 할 수 있는 프로그램 이다.

(8) Life Cycle Assessment(LCA) 종류

(가) 직접조사법

직접조사방식은 한 제품이 만들어지기 위해 투입되는 모든 물질의 종류와 양, 그리고 투입되는 물질에 따라 배출되는 환경부하와 부산물 등을 일련의 공정도를 추정하여 목록분석을 행하는 방법이다. 이것은 구조물 라이프사이클에서 사용되는 건축자재, 재료, 에너지 등에 요구되는 천연자원의 채취, 수송, 가공 등 각각의 단계에서 배출하는 에너지 소비량과 CO_2 배출량을 직접적으로 조사하여 누적하는 형태이다.

분석과정은 분석하고자 하는 프로세스를 분해하고 분해된 각 프로세스 대해 조사하고 최종적으로는 이 결과를 종합적으로 평가하는 과정으로 이루어진다. 분석범위는 분석대상 프로세스에 투입되고 있는 원료, 소재, 에너지, 재료 그리고 환경부하 인자가 포함된다. 그리고 구조물의 건설, 유지관리, 철거/해체 각 단계에서 요구되는 재료부문의 자원과 에너지 채굴로부터 정련, 제조, 가공, 조립하고 이것을 이용하여 건축물에 조립·구성하는 등의 과정까지 직접적인 현장조사가 요구된다. 이것은 각 프로세스와 대상 프로세스 목록을 가능한 상세하게 조사하는 것이 바람직하며 작성된 목록을 이용함으로써 구체적인 프로세스를 검토하는데 효과적이다.

필요에 따라 상세한 부문 구분이 가능하므로 환경부하의 실체와 원인의 검토가 명확하고 생산, 시공, 사용 및 폐기에 따른 환경부하 대책의 정량적 검토와 평가가 가능하다.(24)

(나) 간접추계법

간접추계법인 산업연관분석법은 재료, 에너지 등에 내재된 에너지와 환경부하에 대하여 직·간접적인 영향을 상세하게 분석할 수 있다. 이것은 산업연관표를 이용하는 것으로 건축물의 라이프사이클 과정에서 사용되는 건축자재 및 재료, 에너지 등의 산업부문이 직·간접적인 연관관계를 지니고 있는 것을 이용하여 분석하는 것이다.

한국은행에서 제시하고 있는 산업연관표는 우리나라 전체의 산업구조를 나타내고 있는 것으로 건축산업의 산업간 연관관계를 통해 에너지소비량 및 CO_2 배출량을 파악하기 위해서는 한국은행에서 제시한 산업연관표상의 산업을 재분류하거나 통합하는 작업이 필요하다. 산업연관분석법에 의한 건축물의 LCE(Life Cycle Energy)와 CO_2의 추정방법은 직접조사에 의한 개별적상법이 가지고 있는 단점을 극복할 수 있다. 그리고 분석하고자 하는 건축자재, 재료, 에너지 관련 산업부문의 직·간접적 영향을 분석하는 것이 용이하다.(25)

(다) 혼합법

혼합법은 적상법과 산업연관분석법을 적절히 혼용하여 분석하는 방법이다. 즉, 건축물의 라이프사이클에서 사용되는 건축자재, 재료를 생산하는 산업부문간의 관계를 현장조사를 통해 작성하게 된다.

현장조사에서 이루어진 건축자재 및 재료, 에너지 부문 등의 상호투입·산출관계를 이용하여 산업연관분석을 하는 것이다. 따라서 기존의 산업연관표를 이용하여 산업연

관분석으로 해석을 하는 동시에 환경부하가 큰 재료 산업부문, 에너지 산업부문 등에서 투입·산출을 상세하게 조사하여 복합적으로 이용하는 것이 일반적이다.

일반적으로 사용되는 재료를 생산하는 가공, 조립부문도 제품 각각으로 상세하게 나누면 분석정도가 향상되는 장점을 지니고 있다.[25]

나. 마리나용 저탄소 폰툰 콘크리트의 제작

(1) 개요

마리나용 저탄소 폰툰 콘크리트의 적정 배합비를 도출하고자 사전연구에서 검토된 고로슬래그의 치환율에 따른 콘크리트의 물리·역학적 성능실험을 통해 적정 배합비를 도출하고자 하였다.

(2) 사용재료

(가) 시멘트 및 골재

본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5201 기준에 적합한 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물리·화학적 특성은 표 12와 같다.

표 12시멘트의 물리·화학적 특성

물리적 특성	분말도 (cm2/g)	비중	안정도 (르샤틀리에 팽창) (mm)	응결시간(길모어 시험)		압축강도(MPa)		
				초결(분)	종결(시간:분)	3일	7일	28일
	3,329	3.15	0.07	260	6:05	31.2	43.4	48.6
화학적 특성	강열감량(%)			MgO(%)		SO3(%)		
	0.92			2.25		1.89		

굵은골재는 최대치수 25mm, 비중 2.63인 쇄석을 사용하였고 잔골재는 비중이 2.65이고 조립률이 2.49인 강사를 사용하였다. 사용된 잔골재의 입도곡선은 그림 13과 같다.

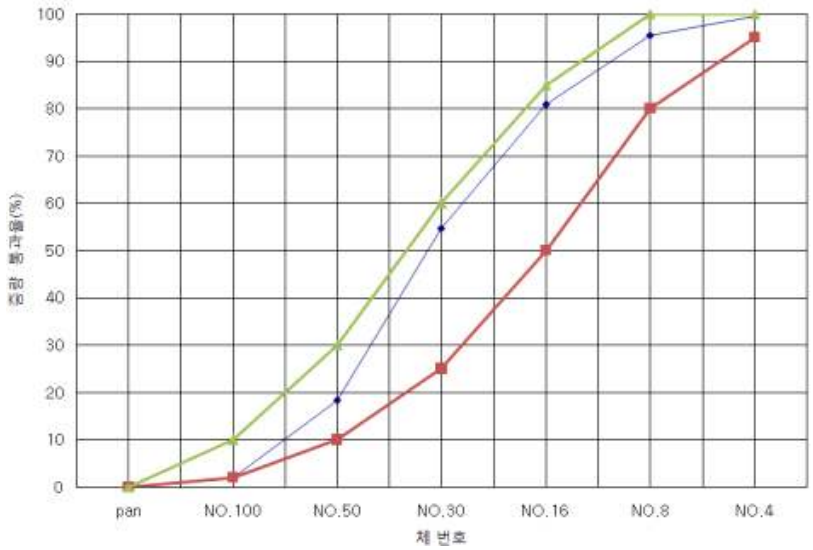


그림 13. 잔골재 입도곡선

(나) 고로슬래그

본 연구에서 사용된 고로슬래그는 S사의 슬래그 미분말을 사용하였으며 물리·화학적 특성은 표 13과 같다.

표 13. 고로슬래그의 물리·화학적 특성

비중	강열감량 (%)	분말도 (cm2/g)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	K_2O (%)	Na_2O (%)
2.9	0.48	4,530	34.4	12.7	0.5	41.3	5.93	0.5	0.4

(3) 배합설계

본 배합에 앞서 최대 고로슬래그 치환율을 파악하기 위해 예비실험을 실시하였는데 실험의 변수는 고로슬래그 치환율로 각각 70%와 90%를 고려하였다. 선행연구 및 문헌에 따르면 고로슬래그 치환율이 90% 이상일 경우 알칼리 활성제를 사용하여야 강도를 발휘할 수 있다고 하여 알칼리 활성제로 물유리를 사용하였다.[29] 그러나 고로슬래그 치환율 90%의 경우 알칼리 활성제를 사용하였음에도 불구하고 성능면에서 폰툰 콘크리트를 제작하기에 만족스럽지 못하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 마리나 폰툰에 적용할 저탄소 친환경 고내구성 콘크리트의 적정배합비를 도출하기 위하여 설계 강도를 일반강도 24MPa와 내구성을 고려한 설계강도

50MPa로 결정하였고 배합표는 표 5 및 표 6과 같다. 각 배합별 고로슬래그 치환율은 50%, 60% 및 70%로 하였다.

설계강도를 두 가지로 잡은것은 마리나 시설의 적용위치에 따라 나누었는데 일반강도는 일반적인 환경에 적용하기 위한 것이고 고강도는 해안가에 위치할 경우를 고려하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 일반강도에서 120±20mm, 4.5±1.5%, 고강도 170±20mm, 4.0±1.5%를 목표로 하였으며 목표 슬럼프를 맞추기 위하여 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였다.

표 14. 일반강도 24MPa 배합설계

BF 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위질량(kg/㎥)					AD** (%)
			W	C	BF*	S	G	
0	50.9	48.2	159	332	0	859	930	0.5
50			159	161	161	859	930	0.6
60			159	128.8	193.2	859	930	0.7
70			159	96.6	225.4	859	930	0.8

*BF : Blast furnace slag
**AD: Flow mix 3000s D사 제품

표 15. 고강도 50MPa 배합설계

BF 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위질량(kg/㎥)					AD** (%)
			W	C	BF*	S	G	
0	36.26	39.8	165	455	0	686	1038	0.6
50			165	227.5	227.5	686	1038	0.7
60			165	182	273	686	1038	0.8
70			165	136.5	138.5	686	1038	0.8

*BF : Blast furnace slag
**AD: Flow mix 3000s D사 제품

(4) 실험 방법

(가) 굳지 않은 콘크리트의 특성

콘크리트의 작업성을 알아보기 위해서 KS F 2402 「콘크리트의 슬럼프 시험 방법」[26]에 의하여 실험을 실시하였다. 또한 소요의 공기량 확보여부와 그 변화를 알아보기 위해 KS F 2421 「압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법」[27]에 의하여 공기량을 측정하였다.

(나) 압축강도 실험

고로슬래그를 사용한 콘크리트의 압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS F 2405 「콘크리트 압축강도 실험방법」[28]에 의하여 실시하였다. Φ 100×200mm의 실린더형 공시체를 재령 7일, 14일, 28일에 각각 3개씩 제작하여 압축강도를 측정하였다. 공시체는 온도 23±2℃, 상대습도 50%의 양생실에서 1일 초기양생 후 23±20℃의 항온조건으로 수중양생을 실시하였으며 그림 14는 압축강도 실험 모습이다.



그림 14. 압축강도 실험 모습

(5) 실험 결과

(가) 굳지 않은 콘크리트의 특성

일반강도 및 고강도 저탄소 친환경 콘크리트 배합의 슬럼프 실험을 실시한 결과 두 배합 모두 목표로 하는 슬럼프 값(120±20mm, 150±20mm)을 만족하였다. 또한 공기

량 시험을 실시한 결과 두 가지 배합 모두 목표 공기량(4.5±1.5%, 4.0±1.5%) 기준을 만족하였다.

고로슬래그의 혼입에 따른 콘크리트의 슬럼프 실험은 대부분 목표 슬럼프 값을 만족하였으나 고로 슬래그의 혼입량이 증가할수록 유동화제 양의 증가를 가져왔다. 표 16에 배합별 슬럼프 시험과 공기량 시험의 결과를 나타내었다.

표 16. 배합별 슬럼프 값 및 공기량

목표 강도(MPa)	배합명	고로 슬래그 치환율(%)	슬럼프(mm)	공기량(%)
24	Plain	-	110	4.4
	No.1	50	110	3.7
	No.2	60	107	4.6
	No.3	70	113	4.8
50	Plain	-	148	4.4
	No.1	50	140	4.0
	No.2	60	135	3.5
	No.3	70	135	3.5

(나) 압축강도

일반강도 및 고강도 저탄소 폰툰 콘크리트의 압축강도 실험결과 두 배합의 Plain을 포함한 모든 배합에서 목표강도를 만족하는 것으로 나타났다. 재령 7, 14일 압축강도 결과에서는 Plain에 비해 다소 낮은 결과를 나타냈지만 재령 28일 이후에는 큰 차이를 보이진 않았다. 이 같은 결과는 고로슬래그의 잠재수경성으로 인해 물과 접할 때 자기 촉발적인 수화반응을 개시하지는 않은 것으로 사료된다. 압축강도 실험 결과는 그림 5 및 그림 6과 같다.

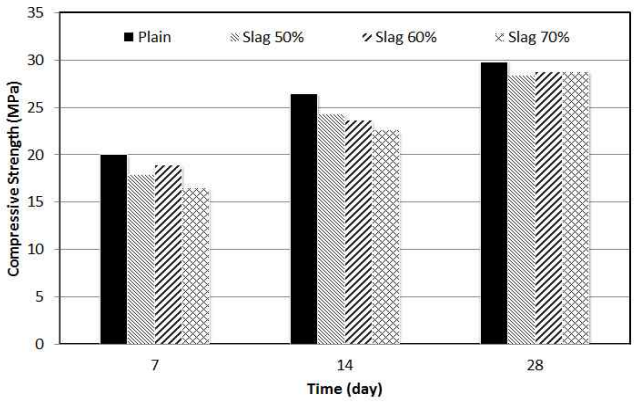


그림 15. 일반강도 저탄소 폰툰 콘크리트 압축강도

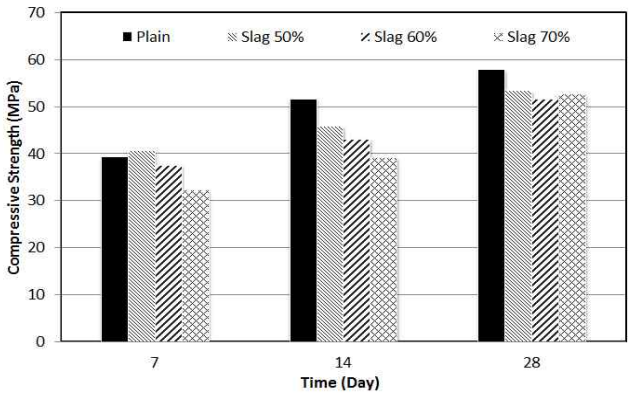


그림 16. 고강도 저탄소 폰툰 콘크리트 압축강도

다. 마리나용 폰툰 콘크리트의 촉진양생

(1) 개요

본 연구는 고로슬래그 미분말의 혼입률 변화에 따른 촉진양생 후의 역학적 성능을 평가하였다. 변수로는 고로슬래그 혼입률 및 촉진양생 등온양생을 변수로 하여 실시하였다.

(2) 실험방법

본 연구에서 사용한 촉진양생 주기는 시험체를 성형한 후 3시간동안 상온에서 양생한 후 증기양생 챔버에 넣고 양생실내의 온도를 시간당 20℃이하의 상승속도로 60℃~65℃까지 상승시켜 Control 8시간과 4, 5, 6, 7시간 촉진양생을 실시하였다. 촉진양생이 끝난 후 다시 촉진양생 챔버 내의 온도를 시간당 20℃이하의 하강속도로 상온까지 하강시킨다. 그 후 공시체를 탈형하여 수중양생을 실시하였다. 등온양생 조건은 표 17과 그림 17에 나타내었으며 촉진양생에 사용된 챔버는 그림 18과 같다.

표 17. 증기양생 실험 조건

구분	전치		승온		등온		하강		탈형시간 (hr)
	온도(℃)	시간(hr)	속도 (℃/hr)	시간(hr)	온도(℃)	시간(hr)	속도 (℃/hr)	시간(hr)	
Case1	20	3	20	2.5	65	4	20	2.5	13
Case2						5			14
Case3						6			15
Case4						7			16
Case5						8			17



그림 17. 촉진양생 온도 이력곡선



그림 18. 촉진양생 챔버

(3) 사용재료

(가) 시멘트 및 골재

본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5201 기준에 적합한 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물리·화학적 특성은 표 18과 같다.

표 18. 시멘트의 물리·화학적 특성

물리적 특성	분말도 (cm2/g)	비중	안정도 (르샤틀리에 팽창) (mm)	응결시간(길모어 시험)		압축강도(MPa)		
				초결(분)	종결(시간:분)	3일	7일	28일
	3,329	3.15	0.07	260	6:05	31.2	43.4	48.6
화학적 특성	강열감량(%)			MgO(%)		SO3(%)		
	0.92			2.25		1.89		

굵은골재는 최대치수 25mm, 비중 2.63인 쇄석을 사용하였고 잔골재는 비중이 2.65이고 조립률이 2.49인 강사를 사용하였다. 사용된 잔골재의 입도곡선은 그림 19와 같다.

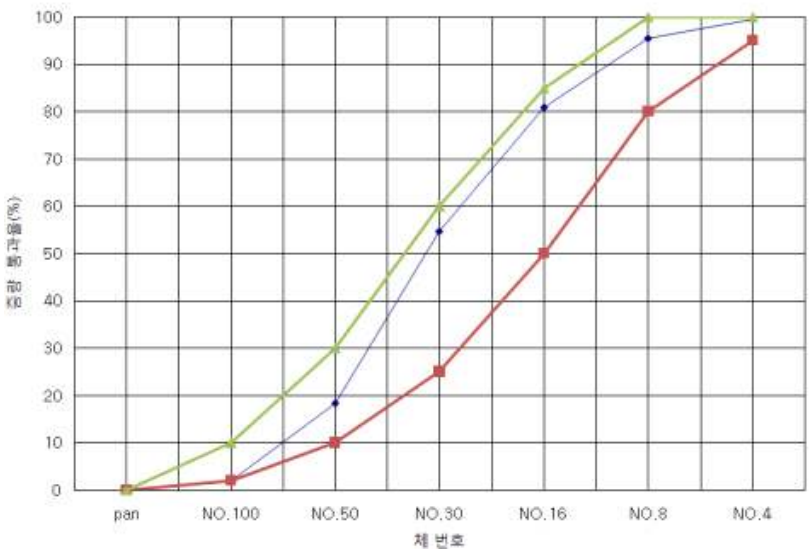


그림 19. 잔골재 입도곡선

(나) 고로슬래그

본 연구에서 사용된 고로슬래그는 S사의 고로슬래그 미분말을 사용하였으며 물리·화학적 특성은 표 10과 같다.

표 19. 고로슬래그 미분말의 물리·화학적 특성

비중	강열감량 (%)	분말도 (cm2/g)	Sio_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	K_2O (%)	Na_2O (%)
2.9	0.48	4,530	34.4	12.7	0.5	41.3	5.93	0.5	0.4

(4) 배합설계

마리나 폰툰에 적용할 저탄소 콘크리트의 설계 강도는 일반강도 24MPa와 내구성을 고려한 설계강도 50MPa로 결정하였고 배합표는 표 20 및 표 21과 같다. 각 배합별 고로슬래그 치환율은 50%, 60% 및 70%로 하였다.

설계강도를 두 가지로 결정한 것은 마리나 시설의 적용위치에 따라 나누었는데 일반강도는 일반적인 환경에 적용하기 위한 것이고 고강도는 해안가에 위치할 경우를 고려하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 일반강도에서 120±20mm, 4.5±1.5%, 고강도 150±20mm, 4.0±1.5%를 목표로 하였으며 목표 슬럼프를 맞추기 위하여 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였다.

표 20. 24MPa 배합표

BF 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위질량(kg/㎥)					AD** (%)
			W	C	BF*	S	G	
0	50.9	48.2	159	332	0	859	930	0.5
50			159	161	161	859	930	0.6
60			159	128.8	193.2	859	930	0.7
70			159	96.6	225.4	859	930	0.8

*BF : Blast furnace slag

**AD: Flow mix 3000s D사 제품

표 21. 50MPa 배합표

BF 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위질량(kg/m³)					AD** (%)
			W	C	BF*	S	G	
0	36.26	39.8	165	455	0	686	1038	0.6
50			165	227.5	227.5	686	1038	0.7
60			165	182	273	686	1038	0.8
70			165	136.5	138.5	686	1038	0.8

*BF : Blast furnace slag

**AD: Flow mix 3000s D사 제품

(5) 실험방법

촉진양생을 통한 콘크리트의 역학적 특성을 알아보기 위하여 KS F 2405「콘크리트 압축강도 실험방법」에 의하여 실시하였다.[28] ∅ 100×200mm의 실린더형 공시체를 탈형강도 및 7일, 14일, 28일에 각각 3개씩 제작하여 압축강도를 측정하였다. 공시체는 증기양생 종료 후 23±2℃의 항온조건으로 수중양생을 실시하였다.

(6) 실험결과

그림 20 ~ 25는 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 등온양생 시간에 따른 압축강도 결과를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 혼입율이 증가할수록 초기강도에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 초기 탈형강도를 24MPa 일반강도의 경우 7MPa 이상을 목표로 하였으며 50MPa 고강도 배합은 17MPa이상을 목표로 하였지만 모든 배합에서 목표강도를 충족하지 못하여 초기강도를 확보하기 위해 급결제는 첨가하여 초기강도 확보를 하고자 하였으며 급결제 첨가율은 3%, 4%로 하였다. 급결제를 혼입하여 촉진양생을 실시한 결과 등온양생 시간이 증가할수록 목표강도에 충족하였으나 급결제 4% 첨가한 경우에는 빠른 경화로 인해 작업성 저하를 가져왔다.

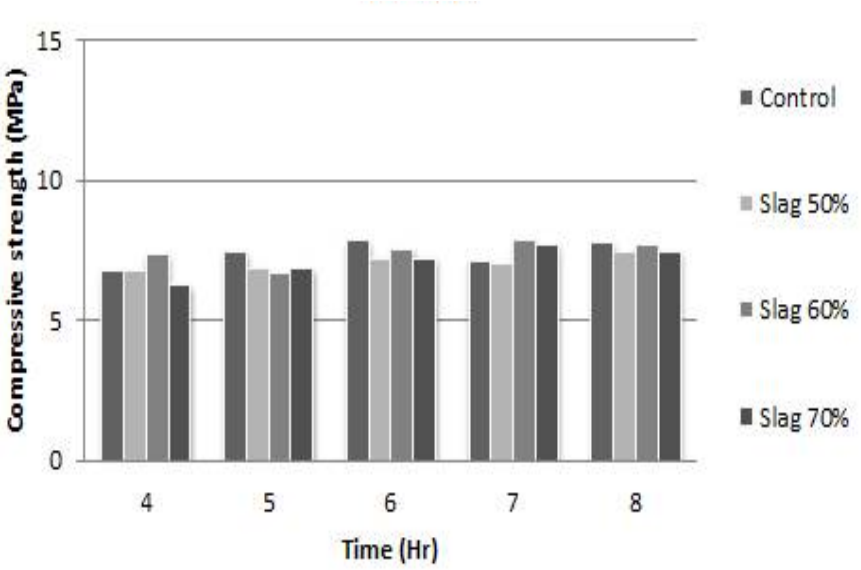


그림 20. 일반강도 탈형강도 결과

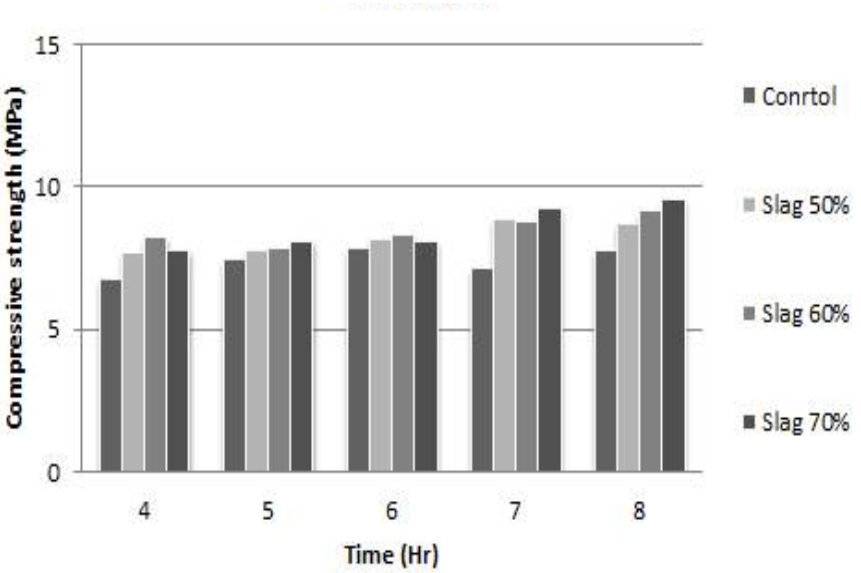


그림 21. 일반강도 탈형강도 결과 (급결제 3%첨가)

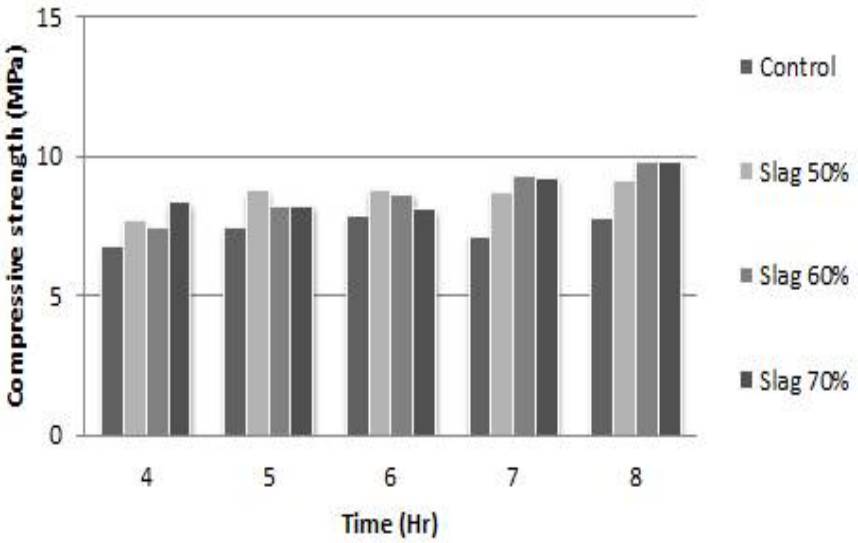


그림 22. 일반강도 탈형강도 결과 (급결제 4% 첨가)

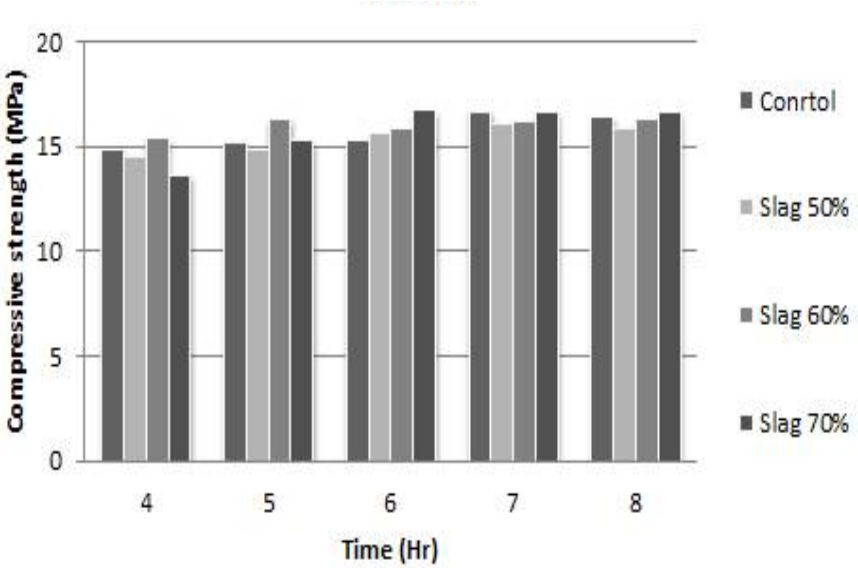


그림 23. 고강도 탈형강도 결과

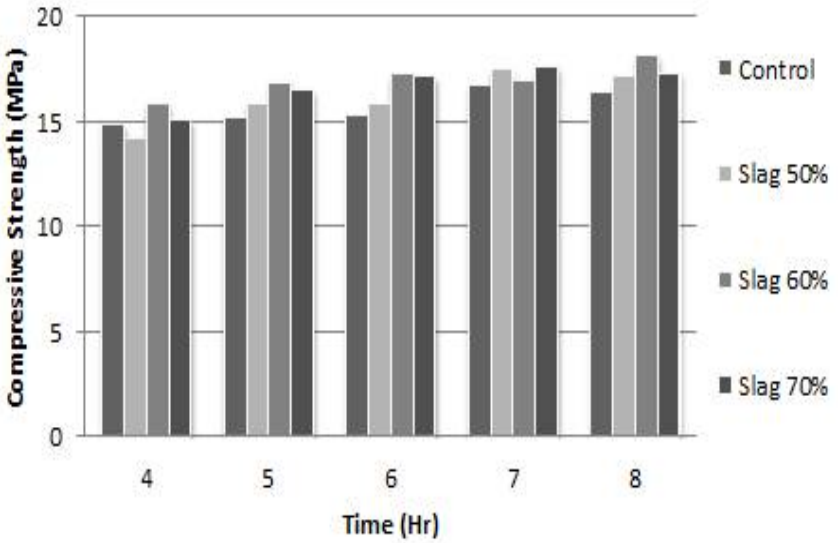


그림 24. 고강도 탈형강도 결과 (급결제 3% 첨가)

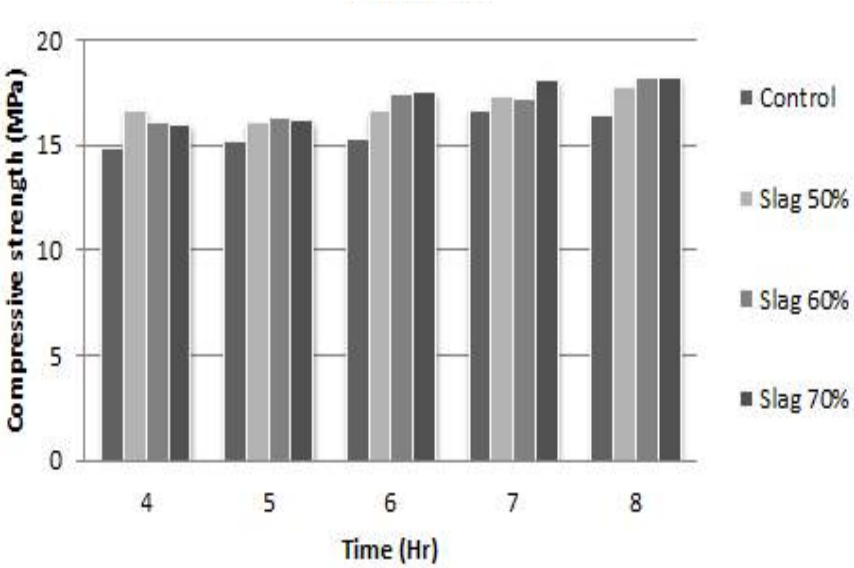


그림 25. 고강도 탈형강도 결과 (급결제 4% 첨가)

또한, 고로슬래그 미분말의 치환율 및 등온양생 지속시간에 따른 압축강도 평가 결과 일반강도 배합에서는 모든 배합이 목표강도를 충족하였으며 고로슬래그 미분말 60%를 치환하여 등온양생시간 6시간을 지속하였을 때 만족할만한 결과를 나타내었다. 50MPa 고강도 배합의 경우 고로슬래그를 70% 치환한 배합에서 목표강도를 충족

하지 못하였으나 고로슬래그 미분말 60% 치환하여 등온양생 6시간을 지속한 배합이 일반강도와 같이 만족할만한 결과가 나타났다. 실험결과는 그림 26 ~ 31에 나타내었다.

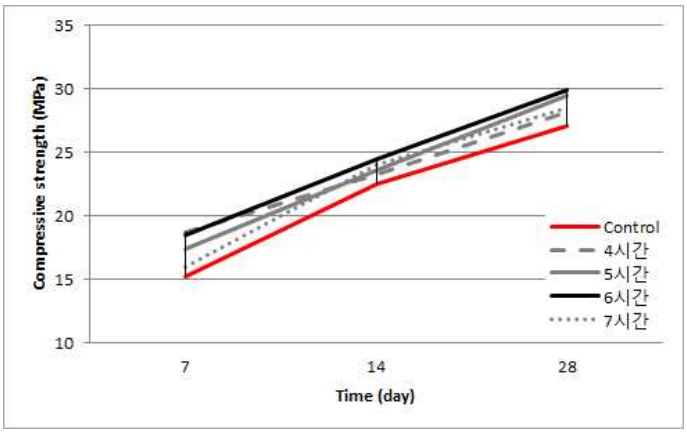


그림 26. 일반강도 증기양생 결과 (Slag 50%)

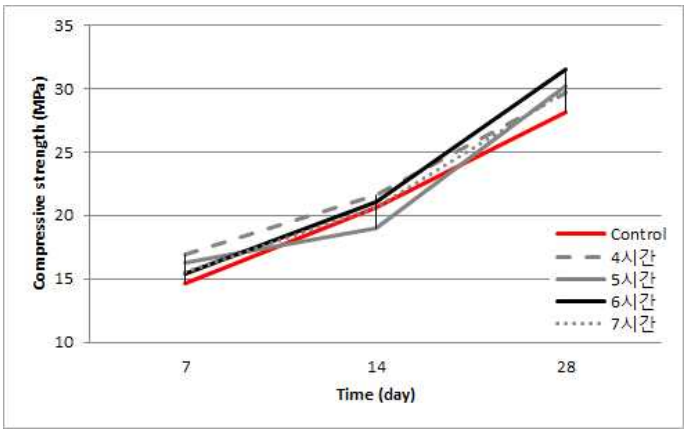


그림 27. 일반강도 증기양생 결과 (Slag 60%)

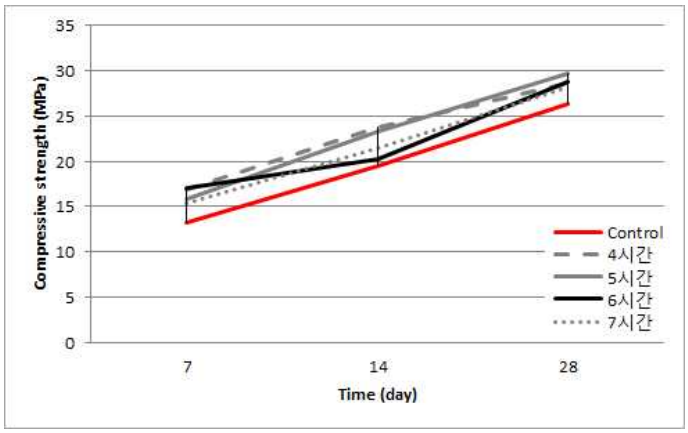


그림 28. 일반강도 증기양생 결과 (Slag 70%)

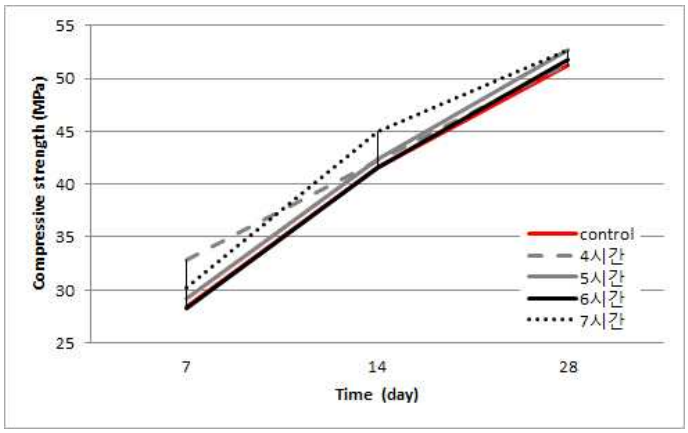


그림 29. 고강도 증기양생 결과 (Slag 50%)

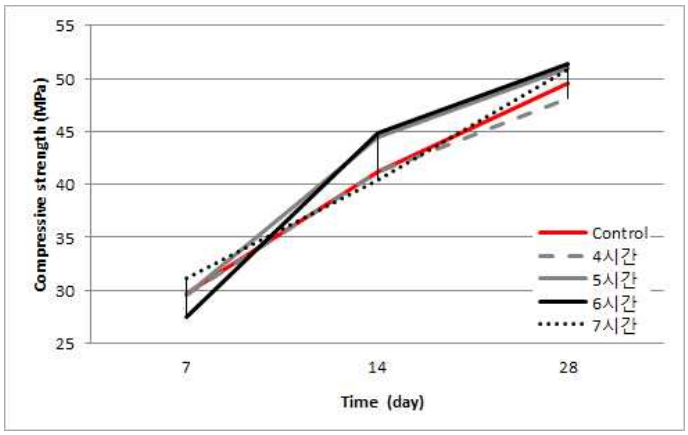


그림 30. 고강도 증기양생 결과 (Slag 60%)

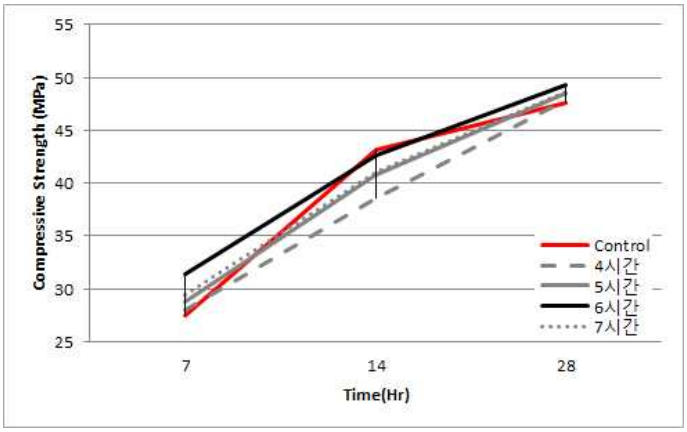


그림 31. 고강도 증기양생 결과 (Slag 70%)

(7) 결론 및 요약

마리나용 저탄소 폰툰 콘크리트를 제작하기 위하여 고로슬래그의 혼입량에 따른 물리·역학적 특성을 평가하였다. 실험 결과는 다음과 같다.

1. 일반강도 및 고강도 저탄소 친환경 콘크리트 배합의 슬럼프 실험을 실시한 결과 두 배합 모두 목표로 하는 슬럼프 값(120±20mm, 150±20mm)을 만족하였다. 또한 공기량 시험을 실시한 결과 두 가지 배합 모두 목표 공기량 4.5±1.5%, 4.0±1.5%) 기준을 만족하였고 초결, 종결 기준인 60분 이상 10 시간 이하를 충족하여 일반 포틀랜드 시멘트 배합과 비슷한 결과를 나타내었다.

2. 일반강도 및 고강도 저탄소 콘크리트의 압축강도 실험결과 두 배합의 Plain과 고로슬래그 50%, 60%, 70%를 포함한 배합에서 목표강도를 만족하는 결과를 나타냈다. 재령 7, 14일 압축강도 결과에서는 Plain에 비해 다소 낮은 결과를 나타냈지만 재령 28일 이후에는 큰 차이를 보이진 않았다.

3. 고로슬래그 미분말의 혼입율이 증가할수록 초기강도에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 초기 탈형강도를 24MPa 일반강도의 경우 7MPa 이상을 목표로 하였으며 50MPa 고강도 배합은 17MPa이상을 목표로 하였지만 모든 배합에서 목표강도를 충족하지 못하여 초기강도를 확보하기 위해 급결제는 첨가하여 초기강도 확보를 하고자 하였으며 급결제 첨가율은 3%, 4%로 하였다. 급결제를 혼입하여 촉진양생을 실시한 결과 등온양생 시간이 증가할수록 목표강도에 충족하였으나 급결제 4% 첨가한 경우에는 빠른 경화로 인해 작업성 저하를 가져왔다.

4. 고로슬래그 미분말의 치환율 및 등온양생 지속시간에 따른 압축강도 평가 결과 일반강도 배합에서는 모든 배합이 목표강도를 충족하였으며 고로슬래그 미분말 60%를 치환하여 등온양생시간 6시간을 지속하였을 때 만족할만한 결과를 나타내었다. 50MPa 고강도 배합의 경우 고로슬래그를 70% 치환한 배합에서 목표강도를 충족하지 못하였으나 고로슬래그 미분말 60% 치환하여 등온양생 6시간을 지속한 배합이 일반강도와 같이 만족할만한 결과가 나타났다.

라. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트의 내구성 평가

(1) 개요

실내 실험에서 도출된 저탄소 친환경 콘크리트의 배합을 사용하여 내구성능을 평가하였다. 내구성 평가는 마모저항성, 동결융해반복, 염소이온투과저항성, 중성화저항성 실험을 실시하였다.

(2) 실험방법

(가) 마모저항 실험

마모 저항성을 측정하기 위해서 ASTM C 944(Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method)의 실험방법에 준해 실험을 실시하였다.[29] Φ120 × 60mm의 실린더형 공시체를 각 배합별로 2개씩를 제작하여 23±2℃, 상대습도 50%의 양생실에서 1일 동안 양생한 후 탈형하고, 23±2℃의 항온조건에서 7일, 14일, 28일, 수중양생한 후 마모실험을 시행하였다. 20kg의 추를 중심축에 재하하여 콘크리트 시편에 지속적으로 20kg의 하중을 전달시킨 상태에서 200rpm의 rotating cutters를 회전시켰다. 2분간 회전시킨 결과를 1회로 하여 총 3회 (6분) 실시하여 손실무게를 측정하였고 실험 결과치는 면적당 손실무게로 나타내었다. 손실량의 무게 측정은 0.01g의 정밀도를 갖는 저울을 사용하였다. 실험은 재령별로 2개씩 제작하여 실시하였다. 그림 32는 마모실험을 하는 모습이다.



그림 32 마모시험기

(나) 동결융해반복실험

콘크리트는 동절기 기온의 변화와 함께 동결·융해의 반복 작용을 받는다. 동결·융해의 반복작용은 콘크리트 중의 자유수가 동결되어 체적이 팽창하고 이로 인해 콘크리트 내부에 큰 팽창압력으로 인한 인장응력이 발생되어 콘크리트를 파괴시킨다. 본 연구는 KS F 2456「급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법」중 기중 급속 동결 후 수중 융해 시험방법 (방법B)으로 시험을 실시하였다.[23] 콘크리트 공시체의 중심온도를 측정하기 위해 온도센서를 매립한 기준 공시체를 제작하였다. 공시체 중심부의 온도를 기준으로 4℃에서 -18℃로 떨어지고, -18℃에서 4℃로 상승되는 것을 1사이클로 하였다. 1사이클 소요시간은 2시간 이상 4시간 이하로 하였다. 재령 14일의 양생 후 공시체를 6±3℃의 상태로 옮겨 변형 진동의 1차 공명 진동수와 무게를 측정하였다. 동결상태 초기에 융해수 내에 공시체를 넣고 36사이클을 초과하지 않는 범위의 간격으로 공시체를 꺼낸다. 6±3℃에서 1차 공명진동수와 무게를 측정한 후 다시 챔버 내로 옮긴다. 이 때 양 끝이 반대가 되도록 돌려놓는다. 시험의 종료는 300사이클로 하며 그 때까지 상대 동 탄성계수가 60%이하가 되는 사이클이 있으면 그 사이클에서 종료한다.

(다) 염소이온투과저항성

본 연구에서는 친환경 고강도 콘크리트의 투수성을 실험하기 위해서 ASTM C 1202-94 와 AASHTO T 259에 준하여 실험을 실시하였다.[22] Φ100×200mm의 실린더

형 공시체를 제작하여 28일, 91일의 재령에서 가운데 부분을 Φ100×50mm로 절단해서 실험을 실시하였다. 각 재령에서 2개의 공시체를 제작하였다. 절단 후 공시체 내부의 갇힌 공기를 제거하기위해 데시게이터 안에 넣고 진동펌프를 3시간동안 작동시킨후 다시 공시체를 물로 포화시키기 위하여 데시게이터에 물을 넣어 1시간 동안 펌프를 작동시켰다. 그 후에 진공펌프의 작동을 중지시키고 공시체를 물 속에서 완전히 포화시킨 상태로 18±1시간 동안 유지하였다. 그림 33은 투수실험전의 공시체 준비장치를 도식화한 것이다.

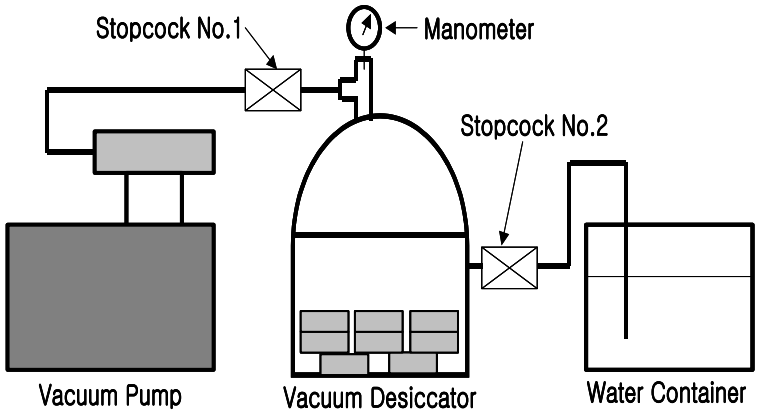


그림 33. 투수시험전의 공시체 준비장치

위와 같이 투수실험을 위한 공시체 준비단계가 끝난 후 투수성을 실험하기 위하여 공시체를 그림 34와 같이 A.V.Cell에 고정시킨다. A.V Cell(Applied Voltage Cell, (+) 전극에는 0.3N의 NaOH 용액을 채우고, (-)전극에는 3%의 NaCl 용액을 채운 후 공시체에 직류 60V를 공급하여 6시간 동안 전류값을 측정하였다.

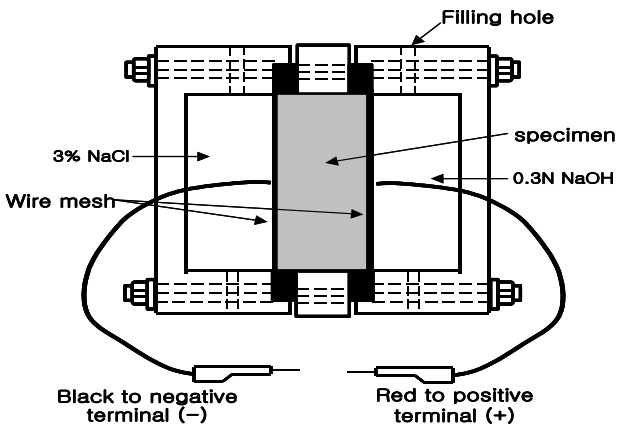


그림 34. A.V.Cell (Applied Voltage Cell)

(라) 중성화저항성

콘크리트의 중성화란 콘크리트가 공기중의 탄산가스, 수중에 존재하는 탄산, 그 외의 산성가스 혹은 염류의 작용에 의하여 알칼리성을 상실해가는 현상으로 콘크리트의 내구성을 저하시키는 중요한 원인중의 하나이다. 중성화 실험은 온도 20℃, 상대습도 60%, 이산화탄소 농도 5%의 중성화 촉진 챔버내에 대기환경 보다 매우 높은 농도의 CO_2 촉진환경을 조성하여 마리나 폰툰용 저탄서 친환경 콘크리트의 중성화 저항 특성을 평가하였다. 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여 나타난 상하단면의 변색 유무의 판별로서 중성화 깊이를 측정하여 중성화 정도를 평가하였다. 그림 35는 중성화저항성 실험 사진이다.



그림 35. 중성화저항성 실험

(3) 실험결과

(가) 마모저항성

콘크리트의 마모저항성은 콘크리트의 구조와 직결되며 일종의 수밀성, 강도와도 관계된다고 볼 수 있으며 조직이 치밀하면 마모에 대한 저항성도 증가된다. 일반강도 및 고강도 저탄소 친환경 콘크리트의 배합에 대한 마모저항성 실험결과는 그림 36 ~ 37과 표 22 ~ 23에 각각 나타내었다. 재령 7일의 마모저항성 실험결과 Plain 배합과 고로슬래그를 치환한 배합과 비교하였을 때 고로슬래그의 초기강도가 발현되지 않아 중량손실이 높게 나타났다. 하지만 재령이 경과함에 따라 고로슬래그가 치환된 배합의 중량손실이 감소하였다. 이는 고로슬래그의 우수한 내구성으로 인해 마모저항성이 증

진된 것으로 판단된다.

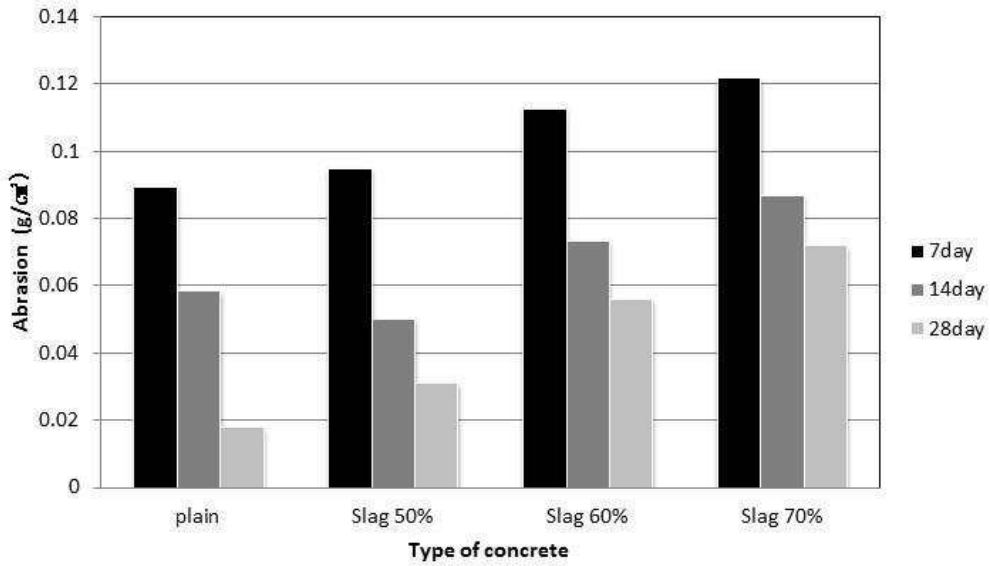


그림 36. 일반강도 마모저항성

표 22. 일반강도 마모저항성

Type of Concrete	Curing Time	Abrasion (g/㎠)		Mean
Plain	7days	0.0897	0.0887	0.0892
	14days	0.0477	0.0687	0.0582
	28days	0.0173	0.0185	0.0179
Slag 50%	7days	0.0925	0.0965	0.0945
	14days	0.0482	0.0513	0.0498
	28days	0.0245	0.0375	0.0310
Slag 60%	7days	0.1247	0.1002	0.1125
	14days	0.0731	0.0735	0.0733
	28days	0.0566	0.0545	0.0556
Slag 70%	7days	0.1107	0.1325	0.1216
	14days	0.0894	0.0836	0.0865
	28days	0.0662	0.0772	0.0717

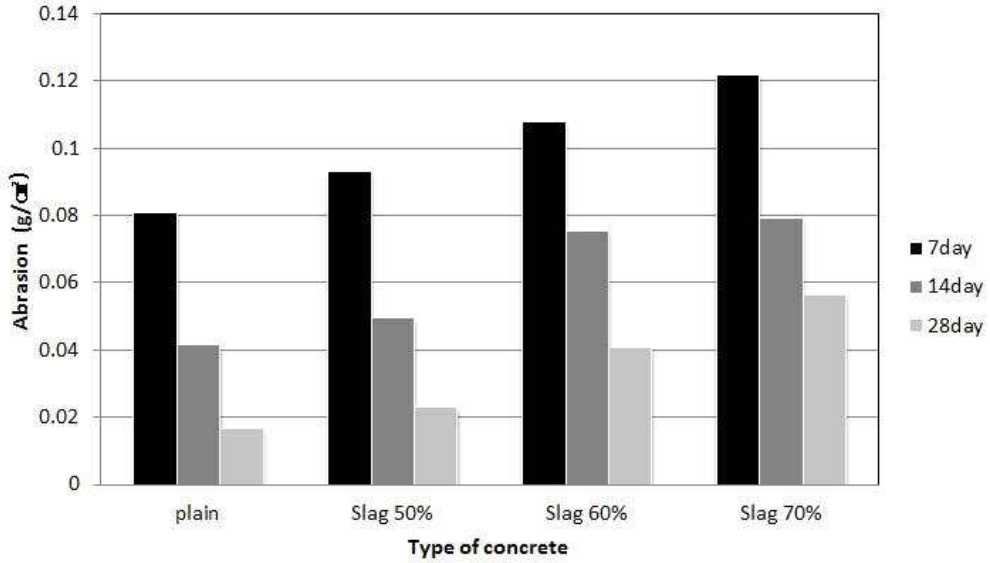


그림 37. 고강도 마모저항성

표 23. 고강도 마모저항성

Type of Concrete	Curing Time	Abrasion (g/㎠)		Mean
Plain	7days	0.0786	0.0827	0.0807
	14days	0.0367	0.0459	0.0413
	28days	0.0174	0.0159	0.0167
Slag 50%	7days	0.0942	0.0917	0.0930
	14days	0.0457	0.0531	0.0494
	28days	0.0294	0.0162	0.0228
Slag 60%	7days	0.1006	0.1147	0.1077
	14days	0.0731	0.0771	0.0751
	28days	0.0354	0.0462	0.0408
Slag 70%	7days	0.1211	0.1225	0.1218
	14days	0.0794	0.0786	0.0790
	28days	0.0552	0.0572	0.0562

(나) 동결 융해

마리나 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트의 일반강도 및 고강도 배합 동결·융해 반복 실험결과는 표 24~25와 그림 44~45와 같다. 실험결과를 살펴보면 모든 배합에서 동결융해반복 300 Cycle까지 상대동탄성계수가 88%이상으로 우수한 동결융해 저항성을 보였다. 자세히 살펴보면 재령이 증가함에 따라 고로슬래그를 치환한 배합이 Plain

배합보다 상대동탄성계수가 높게 나타났다. 이것은 고로슬래그를 사용함으로서 시멘트 입자사이의 미세한 공극을 감소시켜 시멘트 수화체의 공극을 치밀하게 하여 동해의 원인이 되는 수분의 침투를 억제하였기 때문인 것으로 판단된다.

표 24. 일반강도에서의 상대동탄성계수(%)

배합 \ Cycle	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Plain	100	98.07	96.21	93.97	91.87	90.85	89.94	88.97	87.93	87.00	86.71
Slag 50%	100	99.35	98.57	97.38	35.27	93.95	91.91	90.67	90.21	89.63	89.24
Slag 60%	100	99.21	97.80	96.79	95.74	94.40	93.46	92.87	92.14	91.12	90.59
Slag 70%	100	99.30	98.60	97.95	96.97	95.88	94.62	94.16	92.95	92.07	91.50

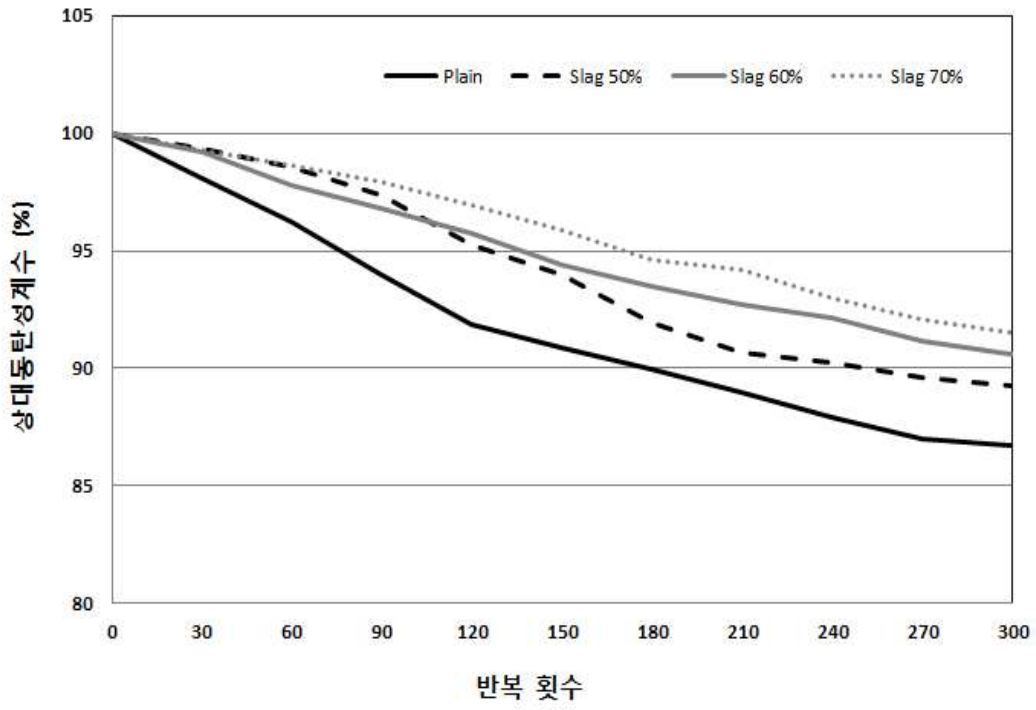


그림 38. 일반강도 상대동탄성계수(%)

표 25. 고강도에서의 상대동탄성계수(%)

배합 \ Cycle	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Plain	100	99.67	99.23	98.94	98.46	97.9	97.52	97.01	96.69	96.15	95.90
Slag 50%	100	99.78	99.59	99.27	98.9	98.43	98.0	97.82	97.53	97.28	97.06
Slag 60%	100	99.85	99.58	99.32	99.06	98.65	98.39	98.09	97.83	97.65	97.27
Slag 70%	100	99.37	99.07	98.82	98.56	98.41	98.23	97.94	97.68	97.57	97.46

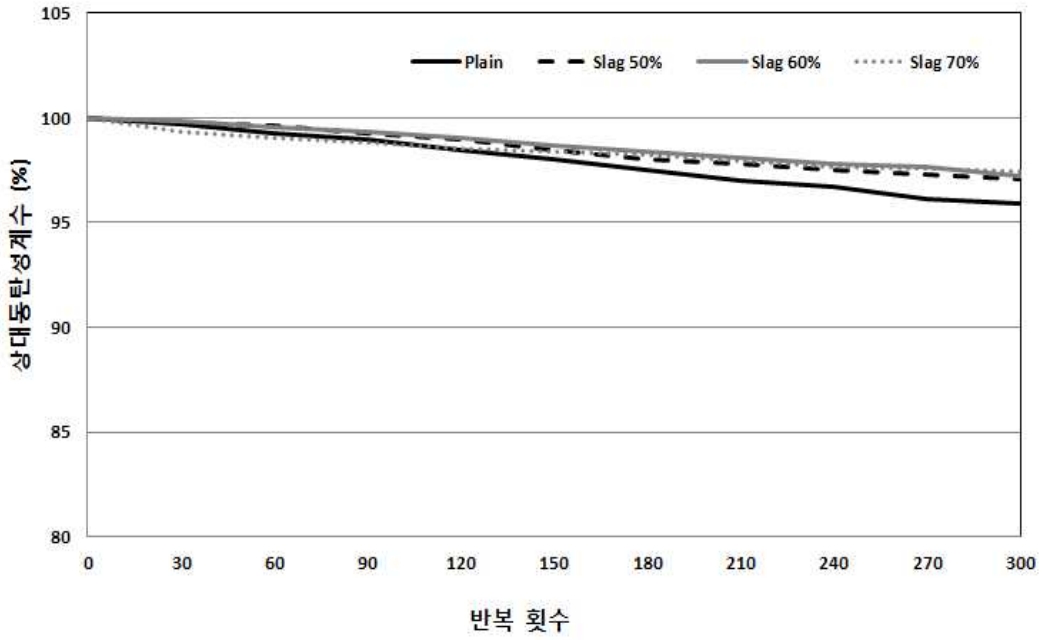


그림 39. 고강도에서의 상대동탄성계수(%)

(다) 염소이온투과저항성

마리나 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트 배합의 염소이온투과량에 따른 ASTM의 평가기준은 표 26과 같고 결과는 표 27및 그림 30, 31에 각각 나타내었다. 실험결과 재령 28일에서 일반강도 및 고강도 Plain 배합을 제외한 모든 배합에서 낮은 투과성을 보여주었다. ASTM에서 제시된 평가기준과 비교해서 일반강도 plain 배합과 고로슬래그

50%치환한 배합의 재령 28일에서 'High' 투수성을 나타내었다. 고로슬래그 70%일때는 'Low'의 투과성을 보여주었다. 자세히 살펴보면 고로슬래그 70% ≫ 고로슬래그 60% ≫ 고로슬래그 50% ≫ plain 배합의 순으로 투과저항성이 좋았다. 고강도 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트 배합의 경우도 일반강도 와 같은 경향을 보이며 고로슬래그 50%일 때 'Moderate'의 투과성을 보여주고 있다. 경향을 살펴보면 고로슬래그를 혼입한 배합들이 보다 낮은 수치의 투과저항성을 보였는데 이는 고로슬래그의 높은 분말도로 인해 형성된 수밀한 내부조직이 시멘트페이스트와 골재사이의 부착력을 향상시켜 침투성 감소를 가져온 것으로 판단된다.

Plain 배합과 고로슬래그를 혼입한 배합을 ASTM에서 제시된 평가기준과 비교하면 28일 재령에서 투과저항성 약 5배 이상의 향상되어 좋은 성능을 발휘하는 것으로 나타났다.

표 26. 염소이온 투과시험 평가기준[30]

Coulombs	Chloride ion permeablility
> 4000	High
4000 - 2000	Moderate
2000 - 1000	Low
1000 - 100	Very low
< 100	Negligible

표 27. 마리나 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트 염소이온투과저항성 실험 결과

강도 (MPa)	Type of concrete	Specimen (coulomb)		Mean	Evaluation
		1	2		
24	Plain	8061	8832	8447	High
	Slag 50%	4126	4758	4442	High
	Slag 60%	3923	3961	3943	Moderate
	Slag 70%	1972	2027	1975	Low
50	Plain	5764	5241	5506	High
	Slag 50%	2104	2758	2431	Moderate
	Slag 60%	1596	1702	1649	Low
	Slag 70%	974	811	893	Very Low

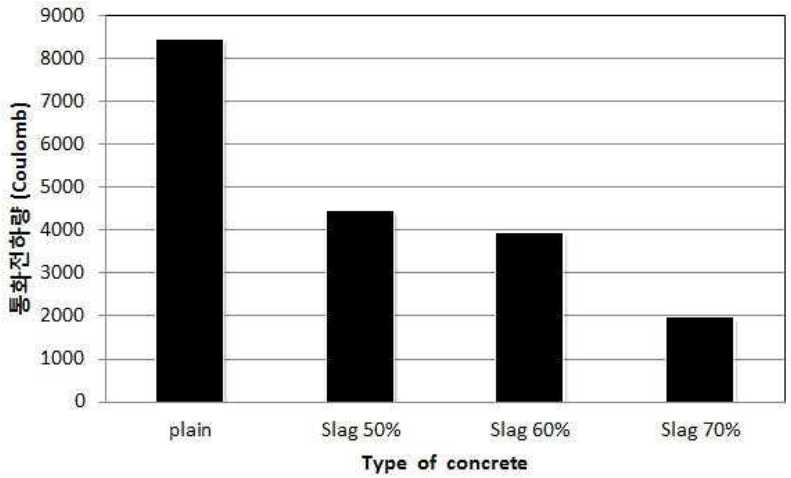


그림 40. 일반강도 24MPa 염소이온투과저항성 실험 결과

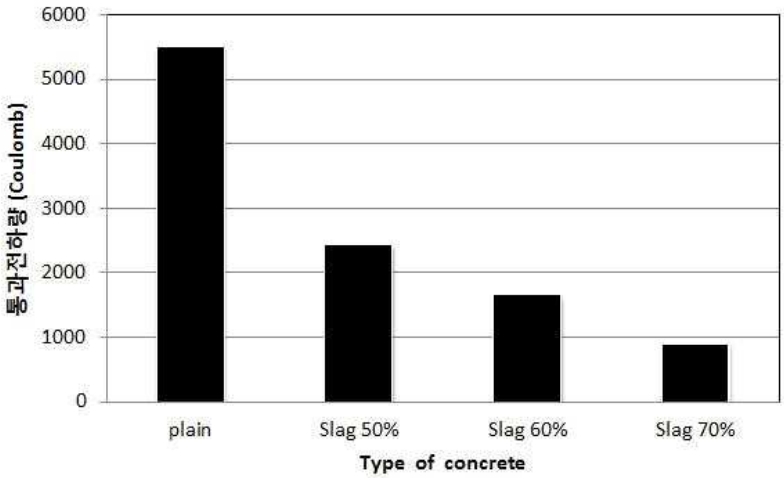


그림 41. 고강도 50MPa 염소이온투과저항성 실험 결과

(라) 중성화저항성

마리나 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트의 26주 동안의 이산화탄소 노출 환경에 따른 시험결과는 그림 42부터 그림 51과 같다. 탄산화 실험결과를 보면 8주동안은 탄산화에 대한 영향이 크게 나타나지 않았다. 하지만 13주와 26주에서는 고로슬래그 70% 치환한 배합에서 탄산화 깊이가 깊에 나타났다.

이러한 경향은 고로슬래그 미분말의 치환율에 의해 단위수량이 감소하여 알칼리성분(Na_2O 및 K_2O)의 감소와 시멘트 수화에 의해 생성되는 알칼리함량인 $Ca(OH)_2$ 량이 감소하였기 때문으로 판단된다.



Plain



Slag 50%

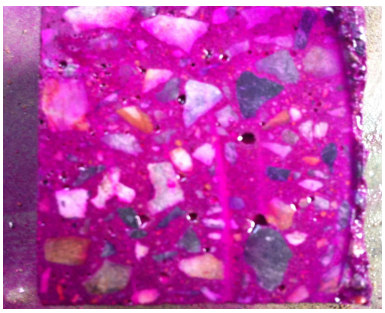


Slag 60%



Slag 70%

그림 42. 일반강도 24MPa 중성화저항성 1주차



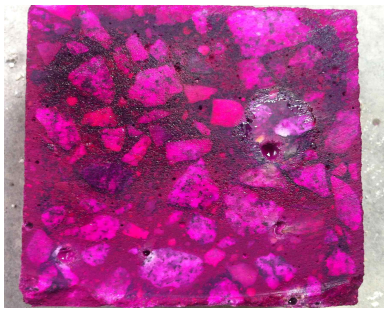
Plain



Slag 50%

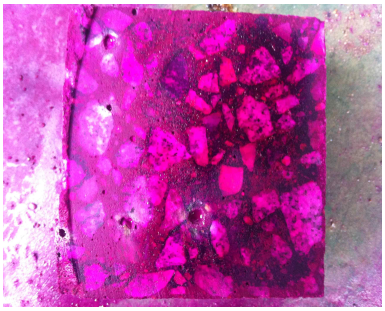


Slag 60%



Slag 70%

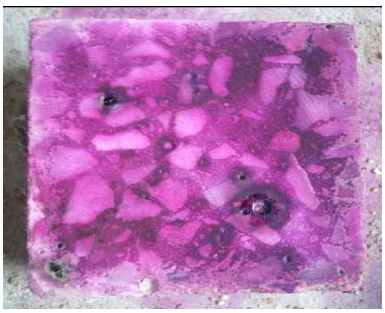
그림 43. 고강도 50MPa 중성화저항성 1주차



Plain



Slag 50%

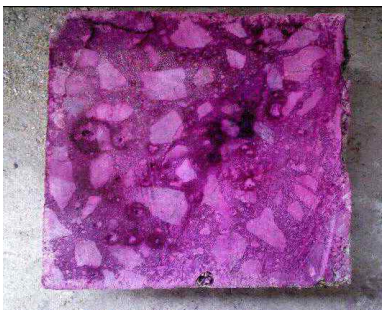


Slag 60%



Slag 70%

그림 44. 일반강도 24MPa 중성화저항성 4주차



Plain



Slag 50%

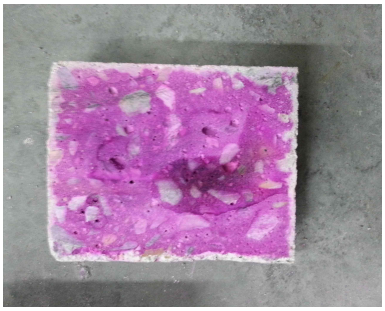


Slag 60%



Slag 70%

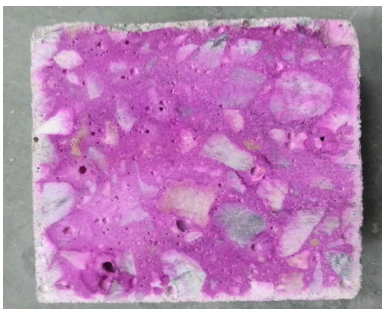
그림 45. 고강도 50MPa 중성화저항성 4주차



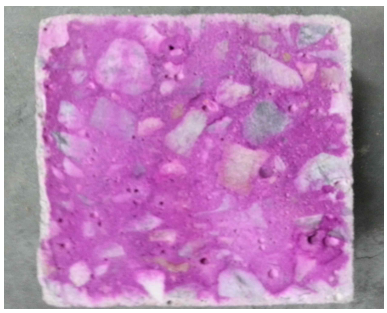
Plain



Slag 50%



Slag 60%



Slag 70%

그림 46. 일반강도 24MPa 중성화저항성 8주차



Plain



Slag 50%



Slag 60%



Slag 70%

그림 47. 고강도 50MPa 중성화저항성 8주차



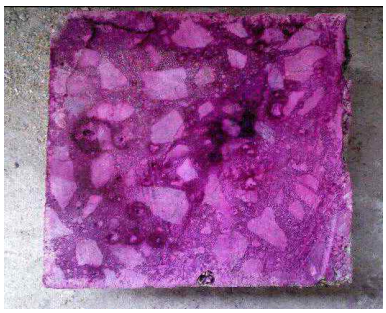
Plain



Slag 50%



Slag 60%

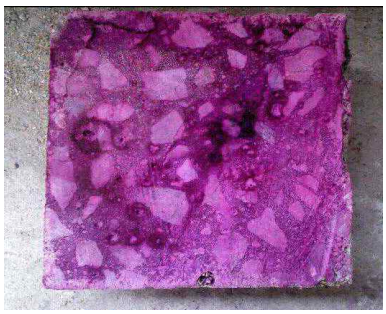


Slag 70%

그림 48. 일반강도 24MPa 중성화저항성 13주차



Plain



Slag 50%



Slag 60%

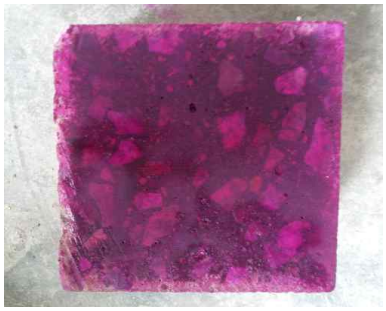


Slag 70%

그림 49. 고강도 50MPa 중성화저항성 13주차



Plain



Slag 50%



Slag 60%



Slag 70%

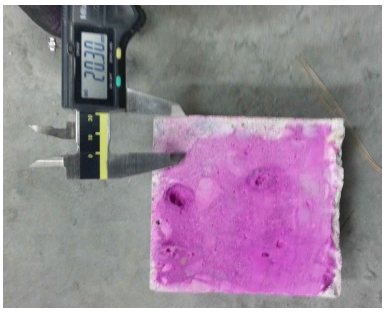
그림 50. 일반강도 24MPa 중성화저항성 26주차



Plain



Slag 50%



Slag 60%



Slag 70%

그림 51. 고강도 50MPa 중성화저항성 26주차

마. 기능성 표면처리 방안

(1) 미끄럼 저항성 평가

폰툰 표면의 미끄럼 저항성은 안전에 가장 중요한 요소 중 하나이다. 특히 톤푼의 표면이 물기가 있을 경우 미끄러움 문제로 인한 사고위험은 크게 잠재하고 있다.

폰툰의 표면의 적정한 미끄럼 마찰력을 확보하여야 안정성이 유지되나, 시간이 경과에 따라 표면의 마찰계수가 저하되며, 어느 한계이하에서는 미끄럼에 의한 사고에 노출될수 있다. 따라서 이러한 폰툰 표면에 대해서 마찰계수를 조사하여 적정한 조치를 취하여야 한다. 하지만, 국내에서는 기준이 없어 미끄럼 저항성 평가는 도로에서 사용되는 기준에 의하여 평가하였다.

도로 노면이 제공해야 할 최소한의 마찰력은 도로의 기하구조 및 교통조건에 따라 다르므로 최소 마찰계수 기준표에서 도로 및 교통조건에 따라 도로를 S1~S4의 4개 등급(S 등급)으로 표 6.1과 같이 분류하였다.[43]

이 기준표에서 위험도를 3등급으로 분류한 것은 구간에 따른 사고 위험도를 고려하기 위함이며, 등급이 높을수록 미끄럼에 의한 사고가 빈번한 경우이다. 여기서, BPN(Britishi Pendulum Number)은 미끄럼 마찰저항을 BPT(British Pendulum Tester)를 이용하여 정량화한 값으로 이 값이 클수록 마찰력이 큰 것이다. SN(Skid Number)은 ASTM E 274[31] [Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surface Using a Full-scale Tire] 시험법에 따라 K.J.Law사에서 제작한 모델 M1290의 자동식 미끄럼저항 측정기를 통해 얻어지는 미끄럼 저항값으로 이 값이 클수록 마찰력이 크다.

표 28. 최소 마찰계수 기준표

구 분	정 의	최소 요구 마찰계수			비고
		위험도 1	위험도 2	위험도 3	
S1 (마찰력 확보가 매우 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/h 이상인 도로의 교통신호 또는 횡단보도 접근부 2) 도시 지역도로의 교통신호, 횡단보도 또는 비슷한 위험개소의 접근부 3) 5% 이상의 내리막 경사에서 곡선 반경이 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규정”에서 정한 값보다 작게 설계된 곳 4) 고속도로로서 S2의 1), 2)항에 해당하는 구간	57	67	77	BPN

S2 (마찰력확보가 중요한구간)	1) 설계 속도 60km/h 이상이 되는 도로로서 곡선 반경이 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규정”에서 정한 값보다 작게 설계된 곳 2) 5% 이상의 내리막 경사가 100m 이상인 곳 3) 고속도로 일반구간 4) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차로 접근부	47	57	67	BPN
S3 (평균조건)	직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 다음에 해당되는 도로 1) 주요 간선도로 또는 자동차 전용도로 2) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 일반도로	32	47	57	BPN
S4 (마찰력이 중요하지 않은 구간)	교통량이 적은 도로의 일반 직선 구간	32	42	47	BPN

현재 국내에서는 차량의 제동거리를 확보하기 위한 포장 표면마찰 특성을 측정하기 위하여 미끄럼저항성 시험을 실시하고 있으며, 본 연구에서는 마니나용 저탄소 폰툰 콘크리트의 시편을 제작하여 KS F 2375(32) [노면의 미끄럼 저항성 시험방법(BPT)]에 준하여 BPT(Britishi Pendulum Tester)로 마찰지수(BPN)를 측정하였다.

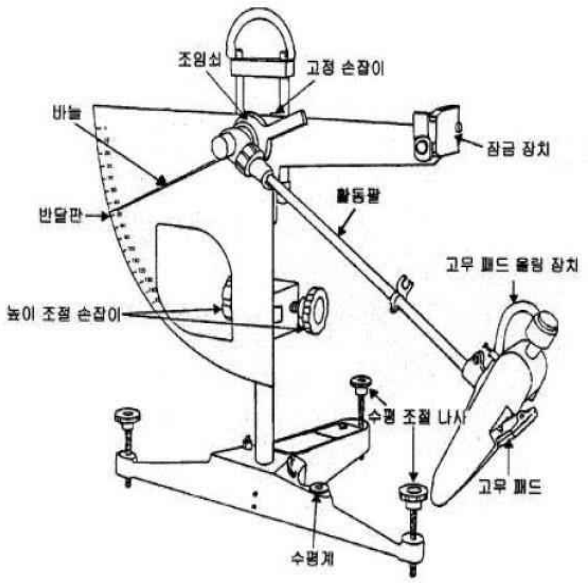


그림 52. 미끄럼저항 측정장치

(가) 미끄럼 저항성

그림 6.21 및 그림 6.22는 폰툰의 디자인 및 미끄럼 저항성을 확보하기 위해 Stamp를 적용한 시험체 및 미적용 된 시험체의 모습과 BPT(Britishi Pendulum Tester)의

측정모습을 나타내었으며 표 6.8은 BPN 측정한 결과를 나타내었다. 결과를 살펴보면 Stamp를 적용한 시험체의 경우 미적용한 시험체에 비해 약 8.86% BPN 지수가 다소 낮은 결과를 나타내었다. 이는 표면에 Stamp 및 색상을 적용 후 표면에 침투식 강화 실러를 도포하면서 거칠기가 다소 낮아지는 것으로 판단되어진다. 하지만 본 연구에서 목표로 하였던 BPN 계수값에는 충분히 만족하는 결과를 나타내어 폰툰의 심미성 및 미끄럼 저항성 두 가지 효과를 확보하였다.



(a) Stamp 적용 시험체　　(b) Stamp 미적용 시험체

그림 53. BPN 측정 시험체 모습



그림 54. BPT(Britishi Pendulum Tester)의 측정모습

표 29. BPN 측정결과

구분	Britishi Pendulum Number(BPN)			
	1	2	3	Mean
Stamp	76	80	69	75
Plain	88	84	75	82.3

(나) 기능성 표면처리 방안

기능적이면서 심미성을 갖춘 마리나 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트의 표면 처리 방안으로는 STAMP CONCRETE가 있다. STAMP CONCRETE는 티타늄 옥사이드를 이용한 칼라무늬 아트콘크리트 공법으로 콘크리트의 표면의 미끄러움 방지를 위한 기능적인 목적이외에 심미적인 측면에서 효과적이라고 판단된다. STAMP CONCRETE는 콘크리트 타설후 수분이 흡수된 시점에서 시공하는 방식으로 칼라 하드너를 도포하여 스템핑하는 공법으로 마리나 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트에 적용시 기능성과 심미성을 확보하였다. 그림 55은 STAMP CONCRETE 의 시공사례를 나타내었다.



(a) 나무 무늬



(b) 타일무늬①



(c) 타일무늬 ②



(d) 타일무늬 ③

그림 55. STAMP CONCRETE 시공사례

바. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트의 환경 영향성 평가

(1) 개요

1824년 영국의 Joseph Aspdin이 포틀랜드 시멘트 제조에 관한 재료로 특허를 받은 이래 180년이 넘는 시간동안 건설 재료에서 시멘트 및 콘크리트는 90%에 이를 정도로 건설 생산에 있어서 필수 불가결한 재료이다. 이러한 시멘트는 1,450℃의 고온에서 석회석($CaCo_3$)을 소성하여 제조되며 이때 석회석 환원반응으로 다량의 CO_2를 발생시켜 CO_2발생을 줄이려는 노력이 경주되고 있다. 특히 2005년 2월 14일 교토 의정서가 발효되어 OECD 31개 협약 국가들은 환경 부하 저감을 위해 온실가스 감축 의무를 준수해야 하는 입장이며 우리나라는 2013년부터 온실가스를 감축해야 하는 2차 의무이행 대상국에 편입될 것이 확실시 되는 만큼 모든 산업 분야에 걸쳐 반드시 온실가스를 감축해야 한다. 특히 시멘트 산업은 전체 산업에서 CO_2 배출량의 4.4%를 차지하는 등 온실가스를 줄여야 하는 주요 대상으로 초점이 되고 있다. 이러한 방안으로 보통 포틀랜드 시멘트 대신에 고로슬래그를 대체하여 사용함으로써 톤당 288kg의 이산화탄소배출량 저감에 공헌할 수 있다.[32]

본 연구에서는 이러한 배경 하에 이산화탄소 저감을 위한 측면에서 개발된 마리나용 저탄소 폰툰 콘크리트의 환경 영향성을 평가하였다.

(2) 시멘트 제조시 CO_2 배출량 산정

시멘트 제조시 CO_2발생량은 원료기원과 에너지기원으로 분류할 수 있으며 원료기원의 CO_2는 석회석의 탈탄산량으로부터 계산할 수 있다. 또한 에너지기원의 CO_2는 화석연료와 폐기물계로 구분하여 구할 수 있다. 한편 폐기물계의 CO_2는 폐기물을 시멘트제조 에너지 대체로서 이용하는 것으로 발생하는 것이고 다른 시설에서 소각에 의해 처분된 경우에도 CO_2는 발생하기 때문에 소각불요에 따른 삭감으로서 같은 값을 부여했다. 또한 소각불요에 의한 삭감에는 다른 시설에서의 소각 시 배기가스 처리나 잔분의 매립처분 등에 따른 환경부하도 생각할 수 있지만 구체적인 값은 명확하지 않으므로 이들 계산은 하지 않았다. 표 30은 시멘트 종류별 CO_2 배출 원단위를 나타내고 있다.

표 30. CO_2 배출 원단위 (단위 : g/kg)[31]

구분	포틀랜드시멘트	고로슬래그시멘트 B종
석회석 탈탄산 기원	454.6	273.5
화석연료 연소기원	303.4	196.5
폐기물 등 연소기원	36.2	21.6
소각불요에 의한 삭감	-36.2	-21.6
합 계	758	470

포틀랜드시멘트에 비해 고로슬래그는 소성이 필요가 없고 시멘트 제조에 있어 에너지(석탄, 전력)의 소비량이 적어 에너지 절약을 할 수 있는 것과 동시에 석회석의 열분해 및 원료의 소성에서 기인한 이산화탄소의 배출량을 저감시킬 수 있다.

$$\underset{(100)}{CaCO_3} \rightarrow \underset{(56)}{CaO} + \underset{(44)}{CO_2} \uparrow \quad (\text{분자량})$$

콘크리트의 생산단계의 에너지량 및 CO_2 배출량 평가를 위한 재료는 시멘트, 물, 굵은골재, 잔골재, 고로슬래그로 구성된다. 콘크리트 생산에 따른 CO_2 배출량은 콘크리트 배합에 사용되는 각 구성 재료의 생산 시 배출되는 CO_2 원단위를 이용하여 콘크리트 1m3생산에 발생하는 CO_2 발생량을 평가하였다. 표 31은 생산단계에서의 각 재료별 CO_2 발생량을 국가 LCI, 산업연관분석. 일본토목학회 DB를 이용하여 분석하였으며 본 연구에서는 발생량이 차이가 있지만 국가 LCI DB로 비교 분석하였다.

표 31. 콘크리트 구성 재료별 CO_2 배출량[31]

분 류	CO_2 배출량 (kg- CO_2/ Kg)		
	국가 LCI	산업연관표	일본 토목학회
1종 보통시멘트	0.931	0.332	0.7466
굵은골재	0.004	0.003	0.0028
잔골재	0.0013	0.003	0.0037
고로슬래그	0.204	0.456	-
AE 감수제	-	-	0.25

(3) 콘크리트의 CO_2 배출량 산정

콘크리트는 시멘트, 굵은골재, 잔골재, 단위수량 등 여러 가지 재료들이 혼합되어 만들어진다. 포틀랜드시멘트가 혼입된 콘크리트 배합과 본 연구에서 개발된 친환경 고강도 콘크리트 배합의 CO_2 배출량을 계산하기 위하여 각 재료들의 CO_2 배출량을 계산하여 비교·검토하였다. 표 32와 33은 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트의 배합설계이고 이에 따른 CO_2 배출량은 표 34및 35에 나타내었다.

표 32. 24MPa 배합설계

BF 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위질량(kg/m³)					AD** (%)
			W	C	BF*	S	G	
0	50.9	48.2	159	332	0	859	930	0.5
50			159	161	161	859	930	0.6
60			159	128.8	193.2	859	930	0.7
70			159	96.6	225.4	859	930	0.8

*BF : Blast furnace slag
**AD: Flow mix 3000s D사 제품

표 33. 50MPa 배합설계

BF 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위질량(kg/m³)					AD** (%)
			W	C	BF*	S	G	
0	36.26	39.8	165	455	0	686	1038	0.6
50			165	227.5	227.5	686	1038	0.7
60			165	182	273	686	1038	0.8
70			165	136.5	138.5	686	1038	0.8

*BF : Blast furnace slag
**AD: Flow mix 3000s D사 제품

표 34. 24MPa 배합설계의 CO_2 배출량 계산

배합명	CO_2 배출량 계산
Plain	C=332kg/㎥, S=859kg/㎥, G=930kg/㎥
	332kg×0.931(kg-CO_2/kg)+859kg×0.0013(kg-CO_2/kg) +930kg×0.004(kg-CO_2/kg) **=313.93 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**
Slag50%	C=161kg/㎥, BF=161kg/㎥, S=871kg/㎥, G=936kg/㎥
	161kg×0.0.931(kg-CO_2/kg)+161kg×0.204(kg-CO_2/kg) +859kg×0.0013(kg-CO_2/kg)+930kg×0.004(kg-CO_2/kg) **=187.57 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**
Slag60%	C=128.8kg/㎥, BF=193.2kg/㎥, S=871kg/㎥, G=936kg/㎥
	128.8kg×0.931(kg-CO_2/kg)+193.2kg×0.204(kg-CO_2/kg) +859kg×0.0013(kg-CO_2/kg)+930kg×0.004(kg-CO_2/kg) **=164.16 kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**
Slag70%	C=96.6kg/㎥, BF=225.4kg/㎥, S=871kg/㎥, G=936kg/㎥
	96.6kg×0.931(kg-CO_2/kg)+225.4kg×0.204(kg-CO_2/kg) +859kg×0.0013(kg-CO_2/kg)+930kg×0.004(kg-CO_2/kg) **=140.75 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**

표 35. 50MPa 배합설계의 CO_2 배출량 계산

배합명	CO_2 배출량 계.산
Plain	C=455kg/㎥, S=686kg/㎥, G=1038kg/㎥
	455kg×0.931(kg-CO_2/kg) + 686kg×0.0013(kg-CO_2/kg) +1038kg×0.004(kg-CO_2/kg) **= 428.65 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**
Slag50%	C=227.5kg/㎥, BF=227.5kg/㎥, S=686kg/㎥, G=1038kg/㎥
	227.5kg×0.931(kg-CO_2/kg)+227.5kg×0.204(kg-CO_2/kg) +686kg×0.0013(kg-CO_2/kg)+1038kg×0.004(kg-CO_2/kg) **= 263.26 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**
Slag60%	C=182kg/㎥, BF=273kg/㎥, S=686kg/㎥, G=1038kg/㎥
	182kg×0.931(kg-CO_2/kg) + 273kg×0.204(kg-CO_2/kg) +686kg×0.0013(kg-CO_2/kg)+1038kg×0.004(kg-CO_2/kg) **= 230.18 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**
Slag70%	C=136.5kg/㎥, BF=318.5kg/㎥, S=686kg/㎥, G=1038kg/㎥
	136.5kg×0.931(kg-CO_2/kg) + 318.5kg×0.204(kg-CO_2/kg) + 767kg×0.0013(kg-CO_2/kg) + 955kg×0.004(kg-CO_2/kg) **= 197.10 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)**

일반강도 Plain배합의 경우 이산화탄소 배출량은 313.93 (kg-CO_2/콘크리트1㎥)이 계산되었고 이에 비해 가장 적은 이산화탄소량을 기록한 배합은 Slag 70%를 치환한 배합으로 140.75(kg-CO_2/콘크리트 1㎥)을 나타내었다. 고로슬래그를 치환하여 사용함으로서 1㎥당 173.18kg의 이산화탄소를 저감시킬 수 있었다.

고로슬래그의 경우 별도의 생산공정이 필요한 재료가 아닌 철광석, 석회석 등 철을 제조함에 따라 얻어지는 부산물로서 생산과정을 통해 발생하는 CO_2 발생량은 제로라고 볼 수 있다. 이에 시멘트를 사용한 Plain 콘크리트의 CO_2 배출량을 100%로 가정할 때 콘크리트에 사용되는 단위시멘트량의 일부인 50%를 고로슬래그로 치환하여 배합하면 CO_2 발생량이 약 50% 저감되는 효과를 나타낸다고 판단된다. 따라서 단위시멘트량 대비 고로슬래그의 치환율이 증가할수록 그만큼 CO_2 발생량을 저감시킬 수 있다.

(4) 증기양생 CO_2 발생량 평가

재료별 CO_2 발생량과 증기양생시 발생하는 CO_2 발생량을 산정하였으며 그 결과는 표 36 및 표 37에 나타내었다. 고로슬래그 치환율이 증가할수록 CO_2 발생량은 감소하고 또한 등온양생 시간이 감소할수록 CO_2 발생량은 감소하는 것으로 나타났다. 결과를 살펴보면 CO_2 발생량의 주된 원인이 되는 등온양생 시간을 최대한 단축시킴으로서 CO_2 발생량이 감소하는 것을 알 수 있었다. 이에 본 연구에서 최적의 등온양생 시간을 도출하기 위하여 각 등온양생 시간대별 증기양생을 실시하여 역학적 성능을 평가하였고 콘크리트의 생산과정에 발생하는 각 재료의 CO_2 발생량과 증기양생 과정에서의 에너지 소비로 인해 발생하는 CO_2 배출량을 산출하여 평가한 결과 저탄소 폰툰 콘크리트의 요구 성능에 충족할 뿐만 아니라 CO_2 발생량을 줄일 수 있는 최적의 등온양생시간이 6시간임을 확인할 수 있었다.

표 36. 24MPa 일반강도 CO_2 발생량

치환율 / 공 정	Plain		Slag 50%	Slag 60%	Slag 70%
콘크리트 생산단계 CO_2 발생량	313.93 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)		187.57	164.16	140.75
사전양생 구간 CO_2 발생량 없음	-		-	-	-
증기양생 온도상승구간 2.5시간	2.50 kg- CO_2/ ℓ X 10ℓ= 25(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 2.5시간 =62.5(kg- CO_2/ℓ)		옆동	옆동	옆동
등온양생구간 (4, 5, 6, 7 ,8시간)	25(kg- CO_2/ℓ) X 4시간 = 100(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 5시간 = 125(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 6시간 = 150(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 7시간 = 175(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 8시간 = 200(kg- CO_2/ℓ)		옆동	옆동	옆동
온도하강 구간 보일러 OFF	-		-	-	-
표준양생	-		-	-	-
총 CO_2발생량	4시간	350.1(kg-CO_2/콘크리트 1㎥)	350.1	326.7	303.3
	5시간	375.1(kg-CO_2/콘크리트 1㎥)	375.1	351.7	328.3
	6시간	400.1(kg-CO_2/콘크리트 1㎥)	400.1	376.7	353.3
	7시간	425.1(kg-CO_2/콘크리트 1㎥)	425.1	401.7	387.3
	8시간	450.1(kg-CO_2/콘크리트 1㎥)	450.1	426.7	403.3

표 37. 50MPa 고강도 CO_2 발생량

치환율 / 공 정	Plain		Slag 50%	Slag 60%	Slag 70%
콘크리트 생산단계 CO_2 발생량	428.65 (kg- CO_2/콘크리트 1㎥)		263.26	230.18	197.10
사전양생 구간 CO_2 발생량 없음	-		-	-	-
증기양생 온도상승구간 2.5시간	2.50 kg- CO_2/ ℓ X 10ℓ= 25(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 2.5시간 =62.5(kg- CO_2/ℓ)		옆동	옆동	옆동
등온양생구간 (4, 5, 6, 7 ,8시간)	25(kg- CO_2/ℓ) X 4시간 = 100(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 5시간 = 125(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 6시간 = 150(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 7시간 = 175(kg- CO_2/ℓ) 25(kg- CO_2/ℓ) X 8시간 = 200(kg- CO_2/ℓ)		옆동	옆동	옆동
온도하강 구간 보일러 OFF	-		-	-	-
표준양생	-		-	-	-
총 CO_2발생량	4시간	591.15(kg- CO_2/콘크리트 1㎥)	425.76	392.68	359.6
	5시간	616.15(kg- CO_2/콘크리트 1㎥)	450.76	417.68	384.6
	6시간	641.15(kg- CO_2/콘크리트 1㎥)	475.76	442.68	409.6
	7시간	666.15(kg- CO_2/콘크리트 1㎥)	500.76	467.68	434.6
	8시간	691.15(kg- CO_2/콘크리트 1㎥)	525.76	492.68	459.6

(5) 결론 및 요약

본 연구에서는 시멘트 제조 시 많은 양의 이산화탄소가 발생하기 때문에 이에 대한 많은 해결책이 요구되고 있어 이산화탄소를 저감하기 위해서 개발된 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트의 환경 영향성 평가를 실시하였다. 이를 위해 시멘트 제조시 CO_2 발생량과 콘크리트의 CO_2 발생량을 계산하였고 결과는 다음과 같다.

1. 시멘트 제조시 758kg/t의 이산화탄소량이 배출되었고 고로슬래그는 470kg/t이 배출되었다. 이 같은 수치는 고로슬래그가 포틀랜드시멘트에 비해 CO_2 저감율이 50%의 높은 수치를 나타내므로 친환경적인 재료로 사료된다.

2. 일반강도 및 고강도 Plain 콘크리트 배합의 이산화탄소 배출량은 각 249.85 (kg-CO_2/콘크리트1㎥), 350.33 (kg-CO_2/콘크리트1㎥)이 계산되었고 이에 비해 가장 적은 이산화 탄소량을 기록한 배합은 일반강도 및 고강도 콘크리트 Slag를 70% 치환한 배합으로 각각 86.20(kg-CO_2/콘크리트 1㎥), 119.34 (kg-CO_2/콘크리트1㎥)을 나타내었다. 일반강도 및 고강도 콘크리트에 있어 고로슬래그를 치환하여 사용함으로써 1㎥당 일반강도 163.85kg, 고강도 230.99kg의 이산화탄소를 저감시킬 수 있었다. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 일반강도 및 고강도 콘크리트에 있어 고로슬래그를 치환한 배합이 마리나 폰툰에 적용된다면 저감되는 이산화탄소의 양이 상당하여 매우 친환경적으로 판단된다.

3. 단위시멘트량 대비 고로슬래그의 치환율이 증가할수록 그만큼 CO_2 발생량을 저감시킬 수 있다.. 본 연구결과에서는 고로슬래그 치환율이 최고 70%이고 이때 목표로 하는 콘크리트의 성능을 충분히 확보하였으므로 최대 약70%의 CO_2 발생량을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 고로슬래그 치환율이 증가할수록 CO_2 발생량은 감소하고 또한 등온양생 시간이 감소할수록 CO_2 발생량은 감소하는 것으로 나타났다. 결과를 살펴보면 CO_2 발생량의 주된 원인이 되는 등온양생 시간을 최대한 단축시킴으로서 CO_2 발생량을 최소화 할 수 있음을 알 수 있었다. 이에 본 연구에서 최적의 등온양생 시간을 도출하기 위하여 각 등온양생 시간대별 증기양생을 실시하여 역학적 성능을 평가하였고 콘크리트의 생산과정에 발생하는 각 재료의 CO_2 발생량과 증기양생 과정에서의 에너지 소비로 인해 발생하는 CO_2 배출량을 산출하여 평가한 결과 저탄소 폰툰 콘크리트의 요구 성능을 충분히 발현함과 동시에 CO_2 발생량을 줄일 수 있는 최적의 등온양생시간을 6시간을 도출하였다.

사. 결론

본 연구에서는 마리나용 저탄소 폰툰 콘크리트의 개발을 위해 고로슬래그 미분말을 활용하여 적용성을 알아보기 위해 역학적 및 내구성능과 제작과정에서 발생하는 CO_2 량을 평가하였다. 평가 결과를 정리 요약하면 다음과 같다.

1. 일반강도 및 고강도 저탄소 친환경 콘크리트 배합의 슬럼프 실험을 실시한 결과 두 배합 모두 목표로 하는 슬럼프 값(120±20mm, 150±20mm)을 만족하였다. 또한 공기량 시험을 실시한 결과 두 가지 배합 모두 목표 공기량 4.5±1.5%, 4.0±1.5%) 기준을 만족하였고 초결, 종결 기준인 60분 이상 10 시간 이하를 충족하여 일반 포틀랜드 시멘트 배합과 유사한 결과를 나타내었다.

2. 일반강도 및 고강도 저탄소 콘크리트의 압축강도 실험결과 두 배합의 Plain과 고로슬래그 50%, 60% 70%를 포함한 배합에서 목표강도를 만족하는 결과를 나타냈다. 재령 7, 14일 압축강도 결과에서는 Plain에 비해 다소 낮은 결과를 나타냈지만 재령 28일 이후에는 큰 차이를 보이진 않았다.

3. 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 등온양생 시간에 따른 압축강도 결과를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 혼입율이 증가할수록 초기강도에 큰 영향이 없는 경향을 보였다. 하지만 초기 탈형강도 17MPa이상을 목표로 하였지만 모든 배합에서 충족하지 못하여 초기강도를 확보하기 위해 급결제는 첨가하여 초기강도 확보를 하고자 하였으며 급결제 첨가율은 3%, 4%로 하였다. 급결제를 혼입하여 촉진양생을 실시한 결과 등온양생 시간이 증가할수록 목표강도에 충족하였으나 급결제 4% 첨가한 경우에는 빠른 경화로 인해 작업성 저하를 가져왔다.

4. Plain 배합과 고로슬래그를 치환한 배합과 비교하였을 때 고로슬래그의 초기강도가 발현되지 않아 중량손실이 높게 나타났다. 하지만 재령이 경과함에 따라 고로슬래그가 치환된 배합의 중량손실이 감소하였다. 이는 고로슬래그의 우수한 내구성으로 인해 마모저항성이 증진된 것으로 판단된다.

5. 동결융해반복 300 Cycle까지 상대동탄성계수가 88%이상으로 우수한 동결융해 저항성을 보였다. 자세히 살펴보면 재령이 증가함에 따라 고로슬래그를 치환한 배합이 Plain 배합보다 상대동탄성계수가 높게 나타났다. 이것은 고로슬래그를 사용함으로서 시멘트 입자사이의 미세한 공극을 감소시켜 시멘트 수화체의 공극을 치밀하게 하여 동해의 원인이 되는 수분의 침투를 억제하였기 때문인 것으로 판단된다.

6. 일반강도 plain 배합은 재령 28일에서 'High' 투수성을, 고로슬래그 50%일때의 배합은 'High'의 투과성을 보이지만 투과성은 2배 차이가 났다. 고로슬래그 70%일때는 'Low'의 투과성을 보여주었다. 자세히 살펴보면 고로슬래그 70% ≫ 고로슬래그 60% ≫ 고로슬래그 50% ≫ plain 배합의 순으로 투과저항성이 좋았다. 고강도 폰툰용 저탄소 친환경 콘크리트 배합의 경우도 일반강도 와 같은 경향을 보이며 고로슬래그 50%일 때 'Moderate'의 투과성을 보여주고 있다. 경향을 살펴보면 고로슬래그를 혼입한 배합들이 보다 낮은 수치의 투과저항성을 보였는데 이는 고로슬래그의 높은 분말도로 인해 형성된 수밀한 내부조직이 시멘트페이스트와 골재사이의 부착력을 향상시켜 침투성 감소를 가져온 것으로 판단된다.

Plain 배합과 고로슬래그를 혼입한 배합을 ASTM에서 제시된 평가기준과 비교하면 28일 재령에서 투과저항성 약 5배 이상의 향상되어 좋은 성능을 발휘하는 것으로 나타났다.

7. 탄산화 실험결과를 보면 8주동안은 탄산화에 대한 영향이 크게 나타나지 않았다. 하지만 13주와 26주에서는 고로슬래그 70% 치환한 배합에서 탄산화 깊이가 깊게 나타났다.

이러한 경향은 고로슬래그 미분말의 치환율에 의해 단위수량이 감소하여 알칼리성분(Na_2O 및 K_2O)의 감소와 시멘트 수화에 의해 생성되는 알칼리함량인 $Ca(OH)_2$ 량이 감소하였기 때문으로 판단된다.

8. 일반강도 및 고강도 Plain 콘크리트 배합의 이산화탄소 배출량은 각 249.85 (kg-CO_2/콘크리트1㎥), 350.33 (kg-CO_2/콘크리트1㎥)이 계산되었고 이에 비해 가장 적은 이산화 탄소량을 기록한 배합은 일반강도 및 고강도 콘크리트 Slag를 70% 치환한 배합으로 각각 86.20(kg-CO_2/콘크리트 1㎥), 119.34 (kg-CO_2/콘크리트1㎥)을 나타내었다. 일반강도 및 고강도 콘크리트에 있어 고로슬래그를 치환하여 사용함으로써 1

㎥당 일반강도 163.85kg, 고강도 231.55kg의 이산화탄소를 저감시킬 수 있었다. 마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 일반강도 및 고강도 콘크리트에 있어 고로슬래그를 치환한 배합이 마리나 폰툰에 적용된다면 저감되는 이산화탄소의 양이 상당할 것으로 예상되어 매우 친환경적으로 판단된다.

9. 고로슬래그 치환율이 증가할수록 CO_2 발생량은 감소하고 또한 등온양생 시간이 감소할수록 CO_2 발생량은 감소하는 것으로 나타났다. 결과를 살펴보면 CO_2 발생량의 주된 원인이 되는 등온양생 시간을 최대한 단축시킴으로서 CO_2 발생량이 감소하는 것을 알 수 있었다. 이에 본 연구에서 최적의 등온양생 시간을 도출하기 위하여 각 등온양생 시간대별 증기양생을 실시하여 역학적 성능을 평가하였고 콘크리트의 생산과정에 발생하는 각 재료의 CO_2 발생량과 증기양생 과정에서의 에너지 소비로 인해 발생하는 CO_2 배출량을 산출하여 평가한 결과 저탄소 폰툰 콘크리트의 요구 성능을 충분히 발현함과 동시에 CO_2 발생량을 줄일 수 있는 최적의 등온양생시간을 6시간을 도출하였다.

2. 콘크리트 폰툰 기본설계

가. 최적 단면형상 도출

본 절에서는 본 연구를 통해 개발하는 콘크리트 폰툰(그림 56)에 적용된 각종 기술에 대한 내용을 기술한다. 전체적 형태는 부력체인 EPS(발포폴리스타이렌, 스타이로폼)를 콘크리트 쉘이 감싸고 있다는 점에서 기존의 콘크리트 폰툰과 동일하다(그림 57). 개발 기술이 기존 기술과 차별화 되는 점은 표38과 같으며 각종 신기술의 적용을 통해 기존 콘크리트 폰툰의 단점을 개선하였다.



그림 56. 개발된 콘크리트 폰툰의 조감도

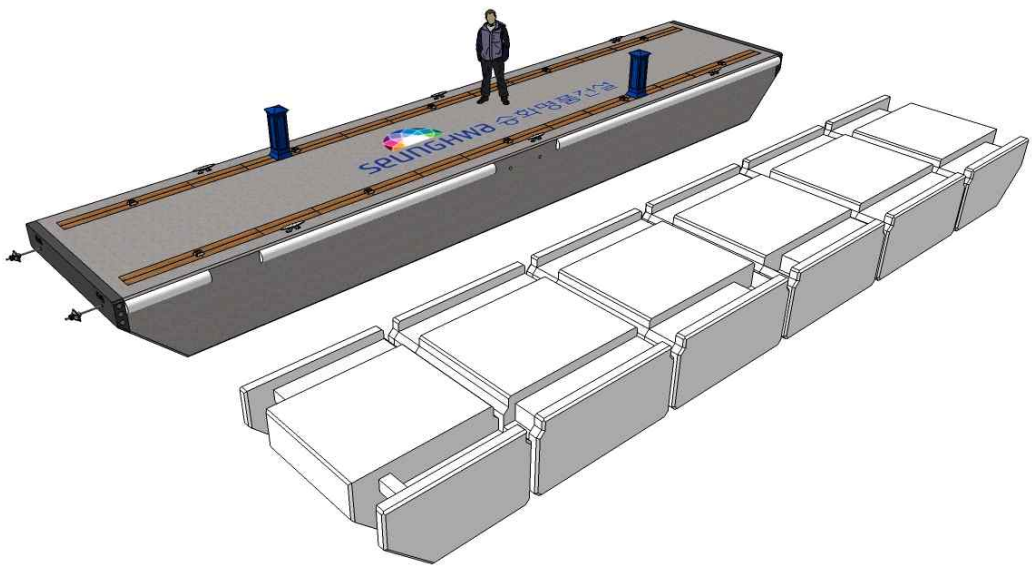


그림 57. 콘크리트 폰툰의 EPS 부력체

표 38. 개발된 콘크리트 폰툰의 적용 기술

분 류	적용 기술	내 용
친환경성	저탄소 콘크리트	기존 콘크리트 대비 탄소발생량 50% 이상 저감
기능성	유틸리티 채널	시공성, 유지관리성 향상 솔리드 밸러스트 투입구, 연결장치 체결구, 파일가이드 고정부로 겸용 페데스탈, LED 조명 등 설치 용이
	솔리드 밸러스트	구조안전성과 균형 보정의 효율 향상
내구성	고내구성 연결장치	콘크리트 폰툰간 연결장치 구조 개선
	고내구성 파일가이드	콘크리트와 파일가이드 연결부 내구성 향상
미 관	디자인 요소	유틸리티 채널 상단부 목재 소재 적용 콘크리트 표면 착색기법 도입으로 다양한 디자인 표현

(1) 유틸리티 채널 설치안

(가) 기존 유틸리티 관 설치기술

일반적으로 콘크리트 폰툰에는 전선, 수도관, 조명시설, 페데스탈 등과 같은 유틸리티(utility) 설비가 구비되고, 또한 유틸리티 설비를 삽입하기 위한 PVC 파이프 등의 유틸리티관이 콘크리트 타설시 폰툰 내부에 매설된다. 기존 콘크리트 폰툰에 설치되는 유틸리티관은 유지관리 및 보수를 위한 목적으로 폰툰의 중간 중간에 유지보수용 덮개(그림 58)가 설치되고 있다.

이러한 기존 유틸리티관은 추후 확장이 어렵고, 유지관리가 어려운 기능상의 단점과 더불어 백화현상 등으로 인한 유지보수용 덮개 주변 콘크리트의 얼룩과 폰툰 표면과 부조화스러운 강재 재질의 덮개로 인해 미관이 상당히 조악하다는 단점이 있다. 특히 마리나는 플레저보트(pleasure boat, 오락・휴식용 보트와 요트)를 위한 계류시설로서 미적인 요소가 중요하므로 이러한 단점은 시급한 개선이 필요한 부분이다.



(a) 유틸리티관 매립 (b) 유지보수 공동구

(c) 유지보수용 덮개 (d) 유지보수용 덮개 주변의 얼룩

그림 58. 기존 유틸리티관 설치 사례

(나) 유틸리티 채널 설치안의 장점

본 연구에서 제안하는 유틸리티 채널(utility channel)은 폰툰 상면에 그림 59과 같이 연속적으로 개구된 형태의 유틸리티 선 수용공간을 확보하고 있어 초기의 설치와 향후 확장이 용이할 뿐만 아니라, 유틸리티 선의 유지관리가 용이하여 사용편의성을 향상시킬 수 있다. 또한 유틸리티 채널을 위한 채널덮개 상단에는 디자인적인 요소를 가미하여 목재나, 이와 유사한 소재를 사용함으로써 기존 콘크리트 폰툰의 단점이었던 회색빛의 단조로운 색깔과 단순한 질감을 극복한 우수한 미관으로 사용자의 만족도를 높일 수 있다.

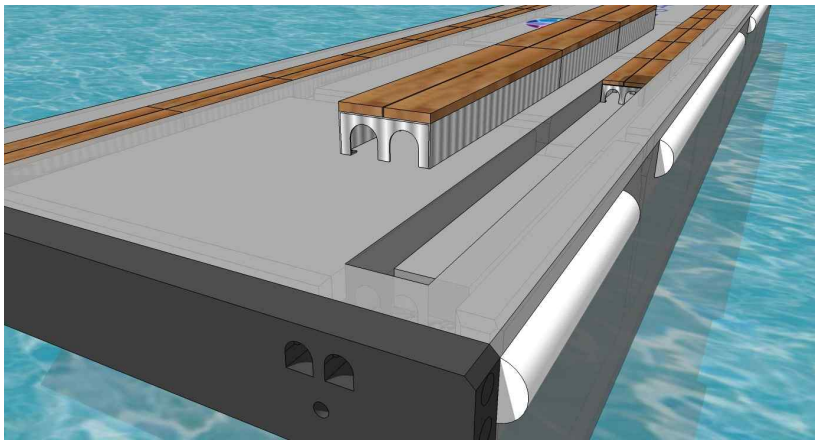


그림 59. 유틸리티 통로 설치안

유틸리티 채널의 채널덮개는 채널을 덮을 수 있도록 구비되어 유틸리티선을 보호하는 역할을 하게 되며 전체 채널의 길이를 고려하여 일정한 개수를 가지도록 구성된다. 각 채널커버는 일정한 높이를 갖는 야연도금 강판 또는 알루미늄 소재인 내부식성 금속소재의 지지프레임과 지지프레임의 상단에 부착되는 목재나 인조목재 상판으로 구성되며, 지지프레임의 하부는 채널에 배치되는 유틸리티 선이 통과할 수 있도록 중공형태를 취하게 된다. 이와 같은 구성으로 유틸리티 채널은 표39과 같은 장점을 갖는다.

표 39. 유틸리티 채널의 장점

분 류	항 목	내 용
기 능	유틸리티 선 설치 용이	긴 중공관을 통해 설치하는 기존 방식에 비해 간단히 상부로 투입하여 설치
	유지관리 및 보수 용이	탈착식 채널덮개 적용으로 유지관리 및 보수 용이
	각종 부속 장착 용이	페디스털, LED 조명 등 설치 용이
	연결장치 체결	폰툰간 연결장치 체결용 공동으로 활용
	파일가이드 고정	파일가이드 고정프레임 삽입 및 고정
	솔리드 발라스트 투입구	솔리트 발라스트 투입용 공동으로 활용
미 관	디자인 요소 추가	목재 등 미관이 우수한 소재 적용으로 전체적 미관 향상
	콘크리트 얼룩 최소화	기존 유틸리티관 덮개 주위의 부분적 백화현상 없어 얼룩 최소화



그림 60. 연결장치 체결 및 솔리드 발라스트 투입용 공동
(폰툰 단부 유틸리티 채널 활용)

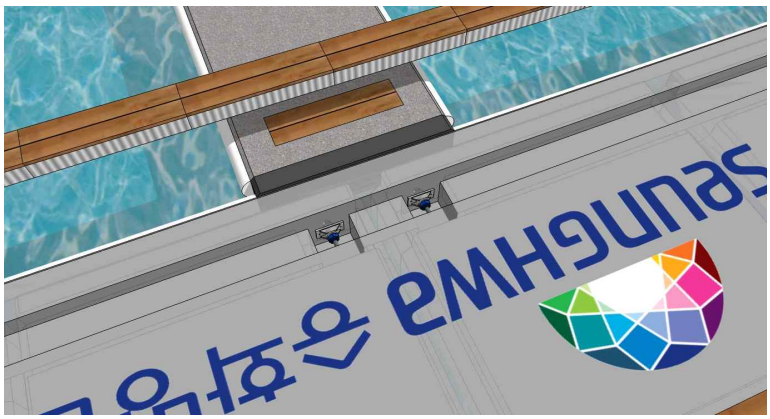


그림 61. 주폰툰-보조폰툰간 연결장치 체결용 공동

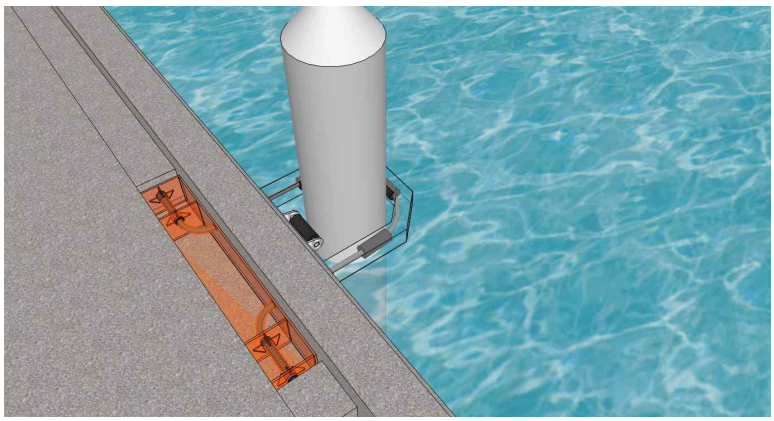
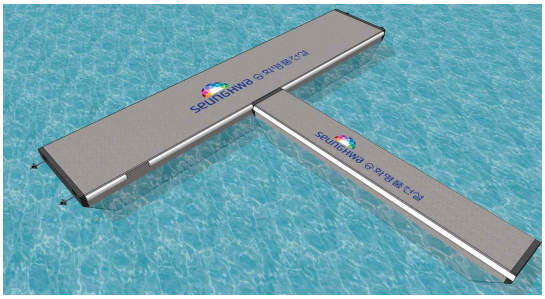


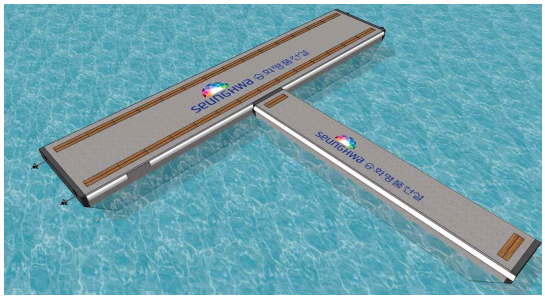
그림 62. 파일가이드 고정프레임 삽입 및 고정



그림 63. 페데스탈, LED 조명 설치예



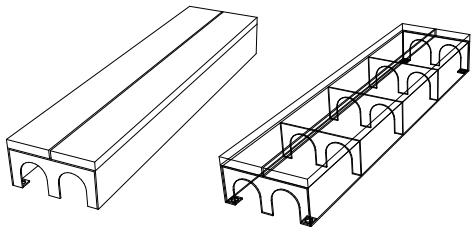
(a) 유틸리티 채널 미적용



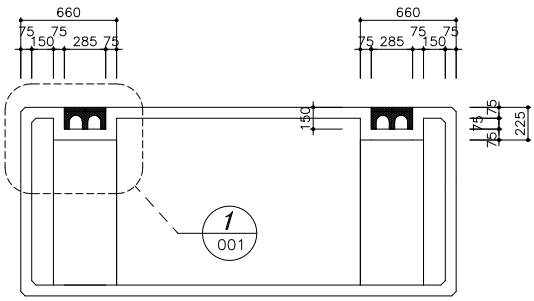
(b) 유틸리티 채널 적용

그림 64. 유틸리티 채널 적용에 따른 미관 향상

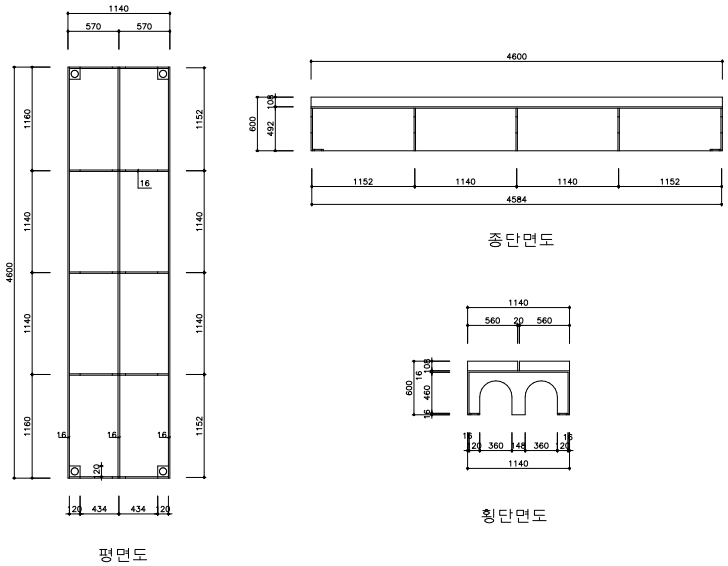
(다) 유틸리티 통로 설치안 및 제원



(a) 유틸리티 통로 설치안



(b) 유틸리티 통로 설치 위치



(c) 유틸리티 통로 제원

그림 65. 유틸리티 통로 설치안 제원

(2) 솔리드 밸러스트 설치안

(가) 기존 액체 밸러스트 기술

일반적으로 콘크리트 폰툰은 균형을 고려하여 설계/제작이 이루어지나, 각 개체별로 설치되는 전선, 수도관, 조명시설, 페데스탈 등 부속장치의 배치에 따라 평형이 틀어질 수 있다. 콘크리트 폰툰간의 균형이 맞지 않을 경우, 연결부의 응력집중에 의한 손상 가능성이 높아지며 이용자의 안전도 저해하게 된다.

이를 보완하기 위해 그림 66과 같이 워터 밸러스트 탱크를 적용한 기술이 적용된 사례도 있으나, 중량이 큰 콘크리트 폰툰의 균형을 맞추기 위해서는 대용량의 밸러스트 탱크를 콘크리트 구조물 내에 설치해야 하므로 구조적으로 취약해지는 단점이 있다. 그리고 이러한 밸러스트 탱크는 큰 용량을 갖추기 위해 폰툰의 길이 방향으로 배치가 되는데 중량이 단부에만 배치되지 않고 중앙부에도 분포가 되므로 밸러스트의 효율이 낮다.

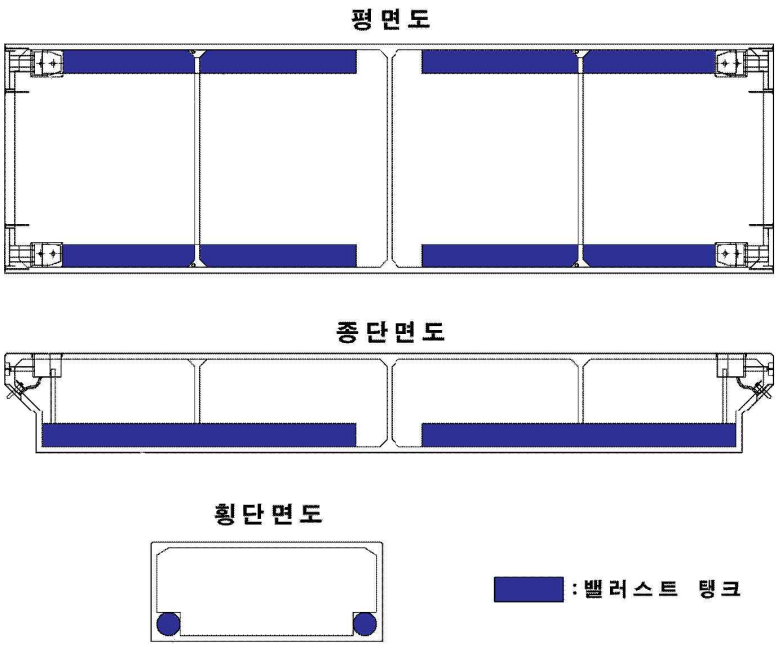


그림 66. 밸러스트 탱크 적용 콘크리트 폰툰 사례

또한 상기 기술은 밸러스트 탱크 내부 액체가 동절기에 동결될 위험이 있으며, 동결될 경우 부피 팽창에 의하여 콘크리트 폰툰 전체가 손상될 위험이 크다. 이러한 현상을 방지하고자 액체의 빙점을 낮추기 위한 첨가물을 추가할 경우 폰툰의 손상시 환경피해가 우려되나 수중구조물인 특성상 피해 발생 전에 육안으로 이러한 손상을 진단하는 것이 불가능한 상황이다.

(나) 솔리드 밸러스트의 장점

본 연구에서는 상기한 바와 같은 종래의 문제들을 해결하기 위해 중량의 고체를 적용한 솔리드 밸러스트(solid ballast)를 고안하여 콘크리트 폰툰에 적용하였다(그림 67). 폰툰의 네 모퉁이에 수납공간을 마련하여 자갈과 같은 석재나 모래주머니, 고로슬래그 등을 채워 콘크리트 폰툰의 균형을 맞추는 개념으로, 중량이 많이 나가는 재료를 이용하여 수납공간을 최소화 할 수 있고 동결에 따른 손상우려가 없는 장점이 있다. 또한 중량이 폰툰 단부에 집중되어있어 적은 중량으로도 효율적으로 균형을 맞출 수 있어 콘크리트 폰툰의 밸러스트로 최적의 형식이라고 판단된다.

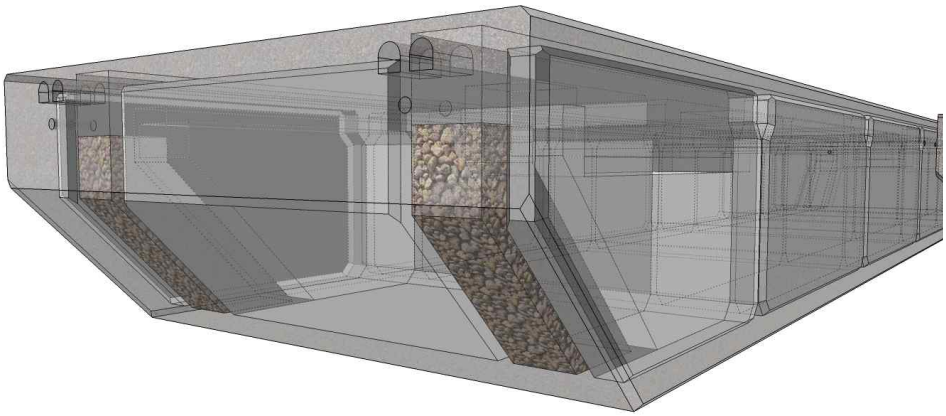
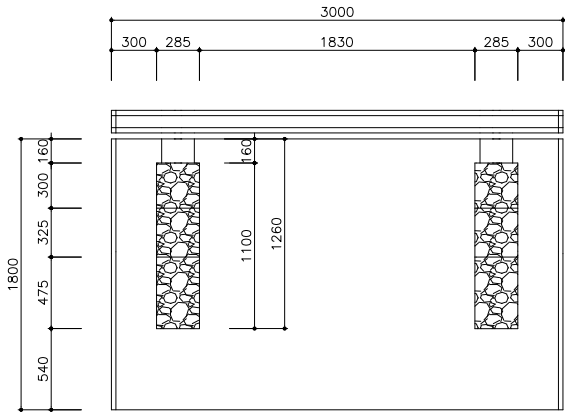


그림 67. 솔리드 밸러스트 형상

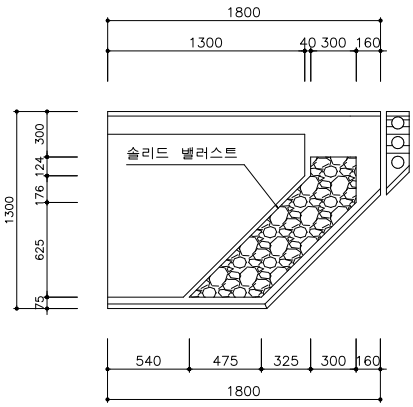


그림 68. 솔리드 밸러스트 투입구(유틸리티 채널 활용)

(다) 솔리드 밸러스트 설치안 제원



(a) 솔리드 밸러스트 평면도



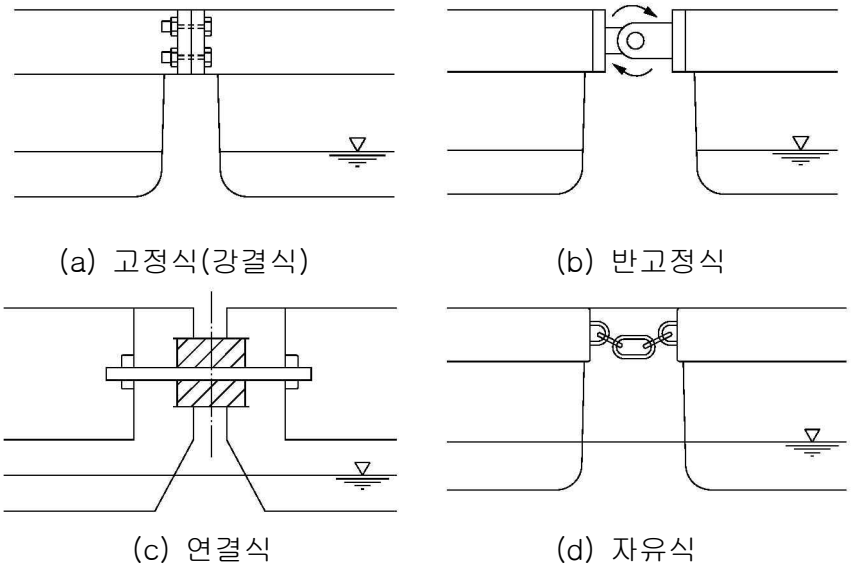
(b) 솔리드 밸러스트 종단면도

그림 69. 솔리드 밸러스트

(3) 고내구성 연결부 설치안

(가) 기존 폰툰 연결부 기술

기존 폰툰의 연결에는 그림 70와 같이 고정식, 반고정식, 연결식, 자유식 등이 사용되고 있으나, 모노코크(Monocoque)형 콘크리트 폰툰의 경우에는 탄성체를 사이에 끼워 볼트 등으로 연결되고, 탄성체의 변형에 의해 상하좌우로 자유도를 주는 연결식 방법(그림 70(a))이 주로 적용된다. 이러한 기존의 탄성체 형태는 대부분 원통형의 형태로 상하의 회전변위는 용이한 장점이 있으나, 횡방향의 변위는 수용이 어려워 콘크리트 쉘의 국부적 손상을 유발할 수 있으며, 구조상 부잔교 사이에 틈이 벌어질 수밖에 없기 때문에 별도의 덮개가 필요하다는 단점이 있다.



(a) 고정식(강결식) (b) 반고정식

(c) 연결식 (d) 자유식

그림 70. 폰툰의 연결 방식 (항만설계기준 핸드북)

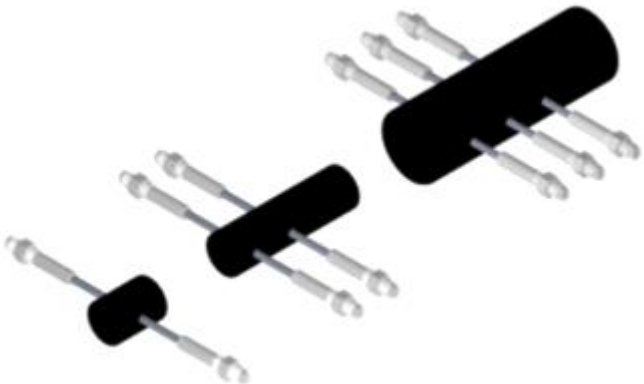


그림 71. 일반적 연결식 연결장치 형상



그림 72. 연결장치 설치 부위

(나) 고내구성 연결부의 장점

본 과제에서 제안하는 고내구성 연결부는 파력, 풍력, 조류력, 파랑표류력 등의 외력에 대해 폰툰간 연결부 콘크리트 쉘의 손상을 최소화할 수 있도록 고안되었다. 기존 연결식 연결장치가 작은 탄성체를 폰툰 사이에 구비하는데 반해, 개발된 고내구성 연결부는 그림 73~74과 같이 탄성이 우수한 유공 경질고무판 소재를 폰툰 사이 전체 구간에 배치하여 상호 연접한 콘크리트 쉘을 탄성 지지하는 형태를 취한다. 교량 받침 등에 사용되는 고내구성 경질고무판에 타공을 하여 탄성력을 높임으로써 상하 방향 회전과 수평 방향 회전을 모두 수용할 수 있으므로 콘크리트 폰툰에 작용하는 하중을 최소화 시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 기존 폰툰의 연결부와는 달리 틈새가 없어 발빠짐 방지를 위한 연결부 덮개와 같은 안전장치 없이도 이용자의 안전성을 보장할 수 있 된다. 연결부재로는 기존 연결장치와 동일한 강연선을 적용하여 폰툰간의 상대거동을 수용할 수 있도록 하였다.

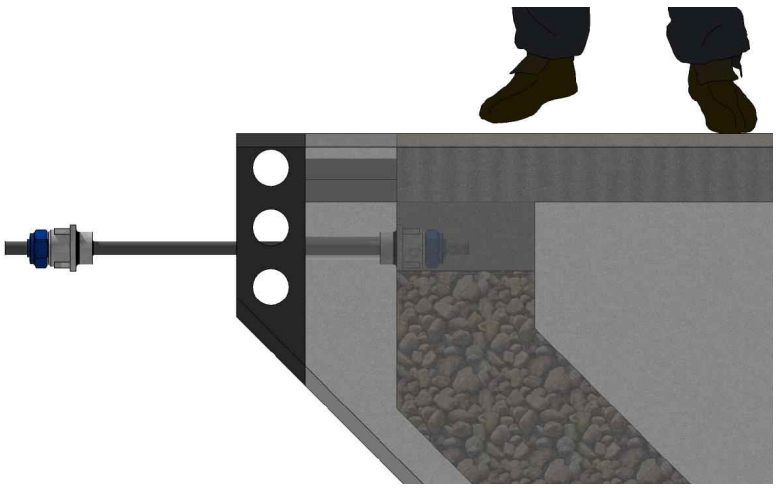


그림 73. 고내구성 연결부 개념도(1)

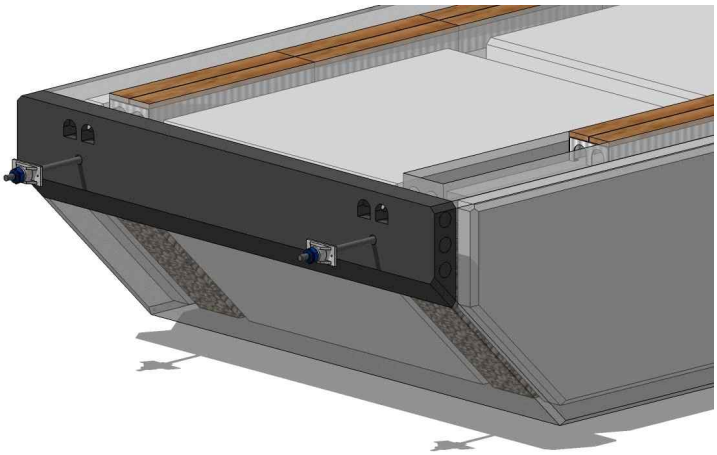


그림 74. 고내구성 연결부 개념도(2)

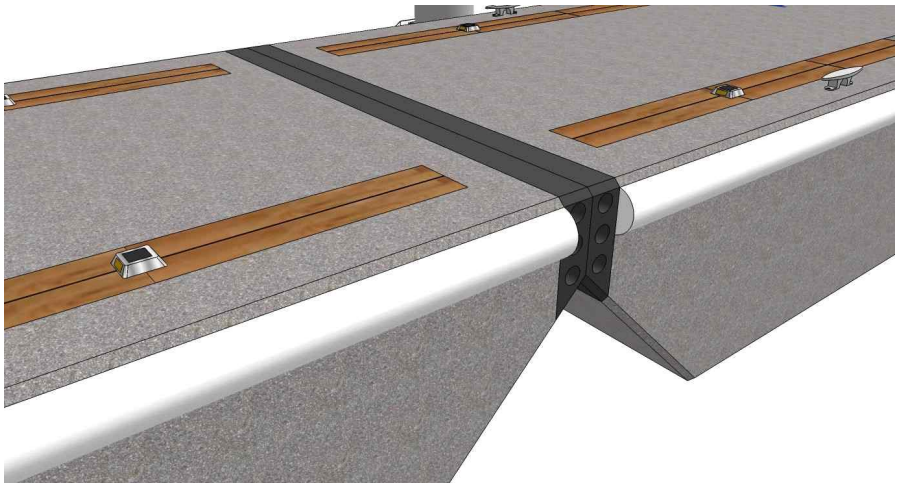


그림 75. 연결부 이음



그림 76. 연결장치 체결 공동구(유틸리티 채널 활용)

(다) 고내구성 연결부 설치안 제원

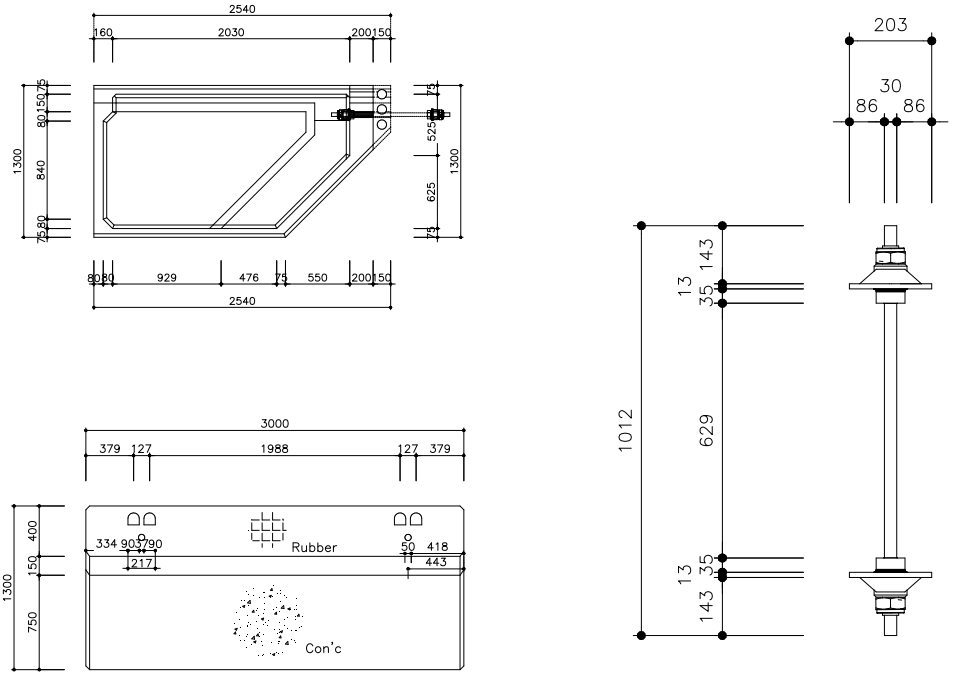


그림 77. 고내구성 연결장치

(4) 고내구성 파일가이드 설치안

(가) 기존 파일가이드 기술

폰툰의 계류방신은 폰툰을 수면사에 안전하게 외력에 대해 고정하는 기능을 갖고 내구성을 지녀야 한다. 계류방식에는 계류체인식과 파일식이 있다. 계류체인식은 체인을 해저에 설치한 계류앵커에 고정시키는 방식이고, 파일식은 해저지반에 강관파일이나 PSC파일을 박은 다음 파일가이드(pile guide) 등으로 폰툰을 지지하는 방식이다. 파일식은 계류체인식보다 폰툰의 수평이동량이 적고 안정하나 상대적으로 고가이며 파일은 주폰툰의 측부와 선단부, 보조폰툰의 선단부와 근본부 등에 적절히 배치한다.

파일식에 적용되는 파일가이드는 폰툰과 그에 접안되는 선박을 지반에 근입된 고정파일에 계류시키는 매우 중요한 역할을 수행하게 된다. 즉 파랑, 선박의 충돌 등 부유구조물과 고정파일의 상대적 거동에 따른 모든 응력은 파일가이드를 통해 전달되므로 부유구조물에 있어서 가장 취약한 부위이며 손상이 가장 잦은 부위이고, 일반적인 콘크리트 폰툰에 설치되는 파일가이드는 그림78와 같이 가이드롤러(guide roller)가 부착된 금속 재질의 프레임이 콘크리트 구조체에 볼트 등으로 강결되는 형태를 취한다.

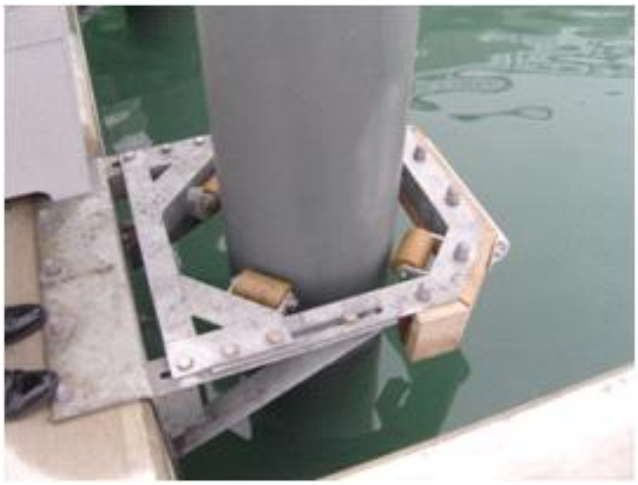


그림 78. 콘크리트 폰툰용 파일가이드 설치 사례

취성(brittle)인 콘크리트의 재료적 특성과 얇은 중공박스 형태의 특성상 콘크리트 폰툰은 선박충돌, 태풍, 파랑 등의 충격에 의해 응력이 집중되는 파일가이드 연결부에 균열 등의 손상이 발생할 가능성이 높으며, 금속 프레임 재질의 프레임에 파일가이드가 연결되는 분리형 폰툰에 비해 부분적인 보수가 매우 어렵다는 문제가 있다.

또한 담수에 설치되는 부유구조물의 경우 결빙에 의해 연결부에 큰 하중이 발생하여 손상되는 사례가 빈번하고, 최근 이상기후로 인한 한파로 해안이 결빙되는 경우도 발생하고 있어 해안의 마리나도 결빙 피해로부터 안전하다고 할 수 없으며, 결빙은 주로 육지쪽에서 진행되면서 부유구조물을 외측으로 밀어내는 힘과 위로 밀어 올리는 힘이 복합적으로 작용하여 파일가이드와 부유구조물의 연결부에 손상을 발생시키게 되므로 종래의 파일가이드로는 이러한 손상을 방지하는 데에 한계가 있다.



(a) 파일가이드에 의한 폰툰 손상



(b) 파일가이드에 의한 폰툰 손상



(c) 결빙에 의한 파일가이드 손상



(d) 결빙에 의한 파일가이드 손상

그림 79. 파일가이드 부위의 폰툰 손상 사례

(나) 고내구성 파일가이드의 장점

본 연구에서는 손상위험이 높은 기존 파일가이드의 내구성을 향상시키기 위해 두 가지 형태의 고내구성 파일가이드를 개발하였다. 기존 기술과의 차별점은 유틸리티 채널의 내부 공간을 활용하여 폰툰간 연결장치와 동일한 강연선으로 고정한다는 점으로, 연결부재가 폰툰의 외벽을 관통하여 설치됨으로써 기존 볼트를 이용한 연결방식보다 견고하며 내구성이 대폭 향상된다.

제 1 안은 그림 80 및 그림 81과 같이 파일가이드의 연결장치의 연결부재가 폰툰 유틸리티 채널 내부 벽체에 고정되는 형태로 일반적 파일가이드에 적용할 수 있다. 기존의 강재 프레임 대신 강연선에 롤러를 설치함으로써 유연한 거동이 가능하여 연결부에 발생하는 응력을 최소화 할 수 있으며 폰툰의 외벽을 관통하여 설치되는 정착구는 앵커볼트를 이용한 연결방식보다 훨씬 큰 내하력을 제공한다. 그림 82은 폰툰 단부의 고내구성 파일가이드 설치안으로 파일가이드를 유선형 프레임 구조로 감싸 요트 추돌시 요트의 손상을 최소화 할 수 있도록 하였다.

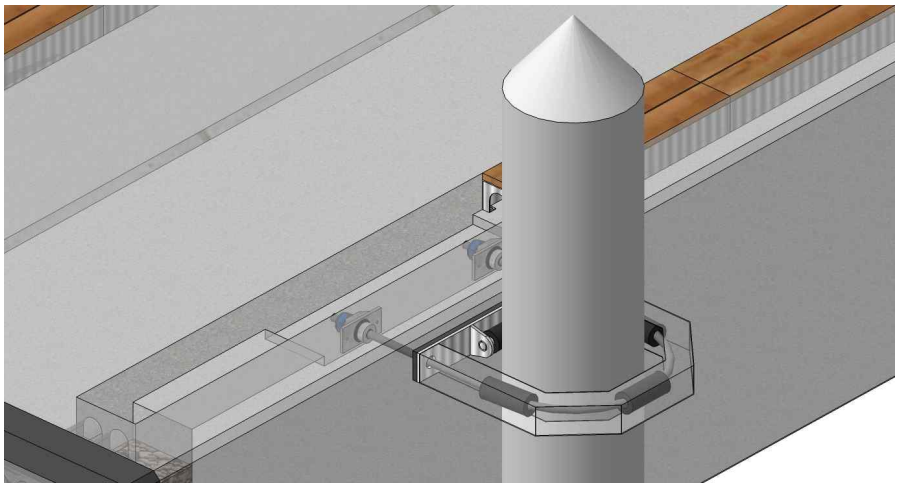


그림 80. 고내구성 파일가이드

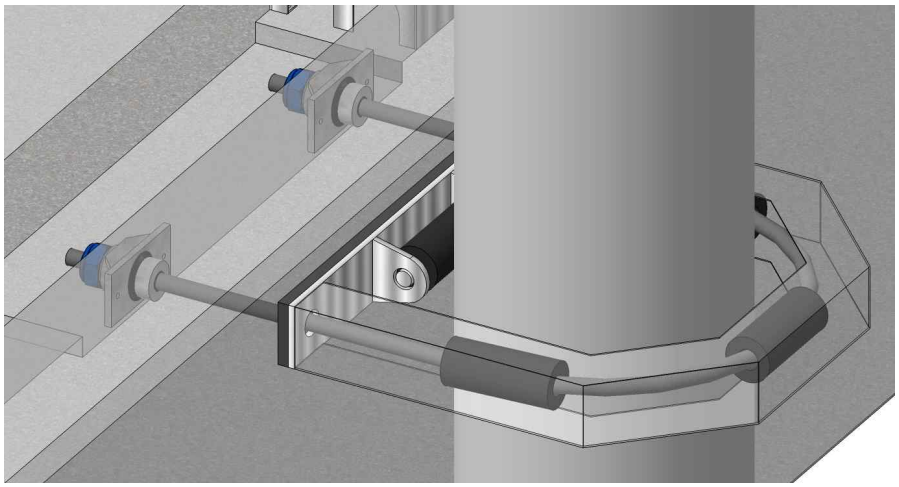


그림 81. 고내구성 파일가이드 상세도

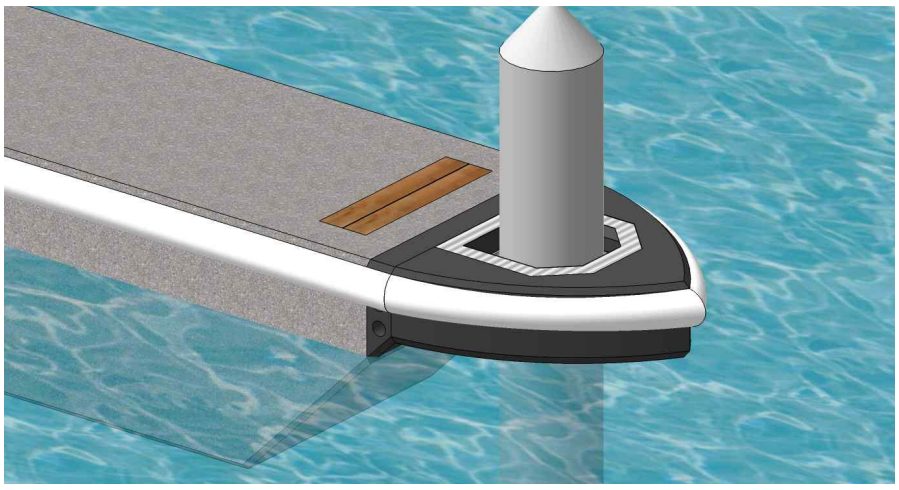


그림 82. 폰툰 단부의 고내구성 파일가이드 설치안

제 2 안은 신축형 파일가이드로서 대형 요트의 정박시 큰 충격이 예상되는 경우나 담수에 설치되어 결빙으로 인한 큰 변위가 예상되는 경우에 적용하기 위한 것으로, 높은 수준의 내하력이 확보되며 대변위 수용이 가능한 것이 특징이다. 신축형 파일가이드는 유틸리티 채널 내부에 설치되는 고정블록이 추가되며, 고정블록 내부에는 스프링 또는 스프링과 댐퍼가 결합된 완충수단이 구비되어 연결부재가 완충수단에 고정되게 된다(그림 83 및 그림 84).

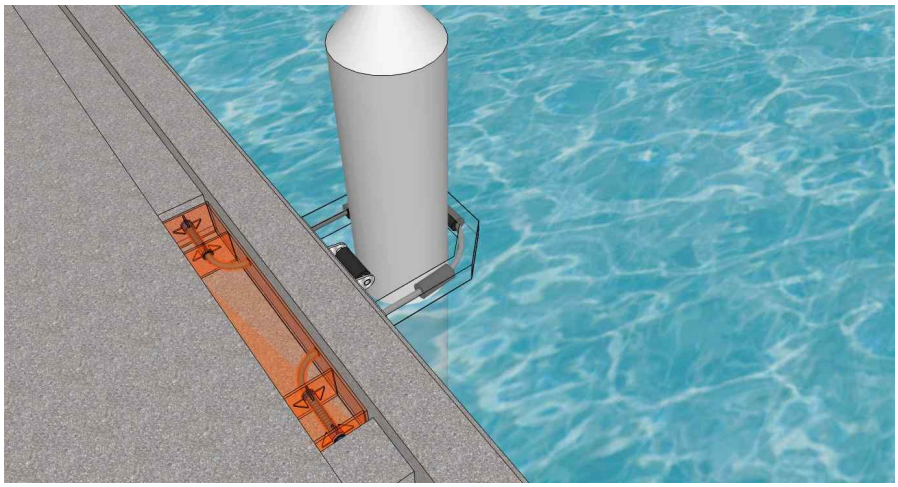


그림 83. 신축형 파일가이드 설치예

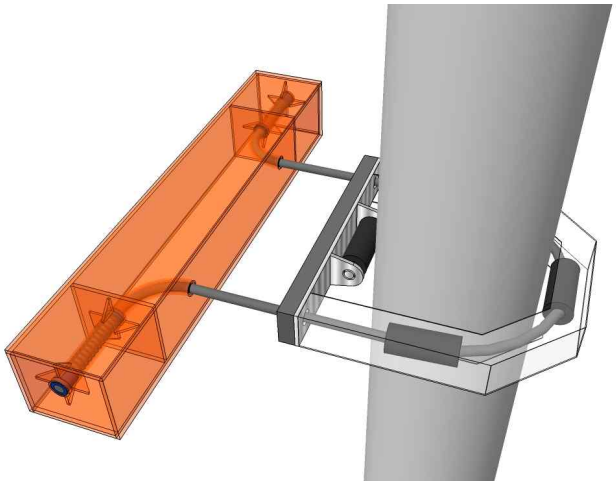
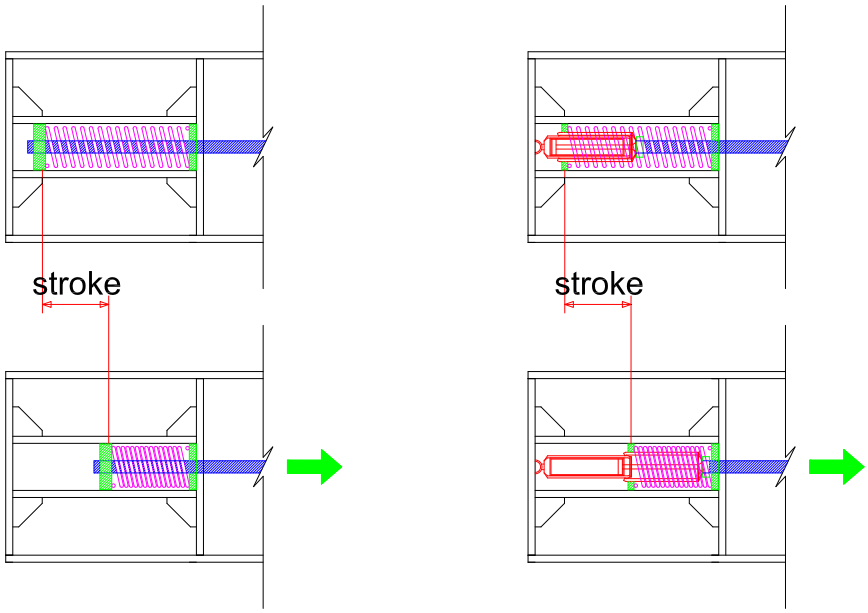


그림 84. 신축형 파일가이드 개념도



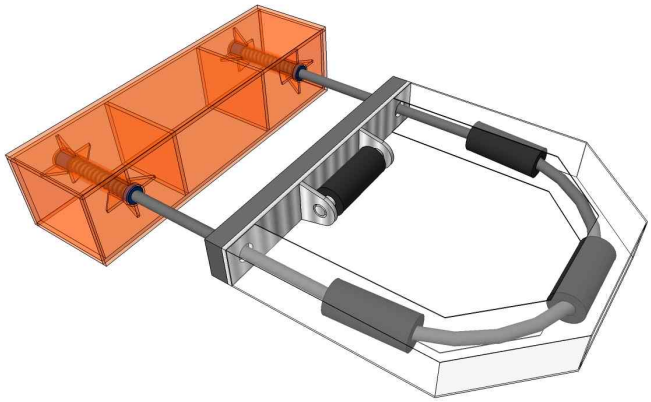
(a) 스프링 완충장치 (b) 스프링+댐퍼 완충장치

그림 85. 완충장치 개념도

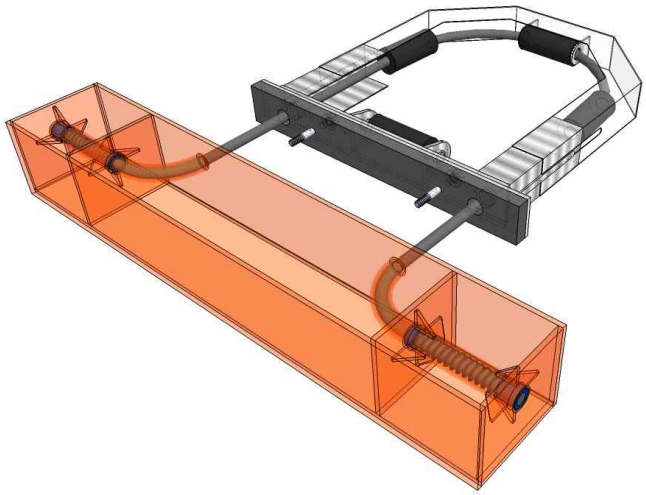
그림 85는 완충장치의 개념도로서 스프링 완충장치를 기본으로 필요에 따라 댐퍼를 설치할 수 있는 완충장치의 작동 개념을 나타내고 있다. 고정블록 내부에 설치되는 완충장치에 강연선으로 제작된 연결부재가 고정되어 각종 외력에 의해 계류파일과 폰툰 사이에 발생하는 변위를 스프링의 탄성변위로 수용한다. 또한 댐퍼를 추가적으로 설치할 경우 파랑 등의 작은 충격에는 제한적으로 거동하고 빙압으로 인한 대변위에만 신축이 반응하도록 구성할 수 있다.

또한 신축형 파일가이드의 고정블록은 폰툰의 유틸리티 채널 내면에 접하여 고정되는데 정착부와 폰툰 외벽과의 접촉면적을 증대시켜, 연결부재로부터 전달되는 하중을 고정블록을 통하여 폰툰의 벽체로 골고루 분산시켜 전달한다. 이에 따라 폰툰과 파일가이드와의 연결부위에 응력이 집중되는 것을 방지하여 폰툰의 부분적인 균열이나, 손상이 발생하는 것을 예방할 수 있어 내구성 향상의 효과가 클 것으로 기대된다.

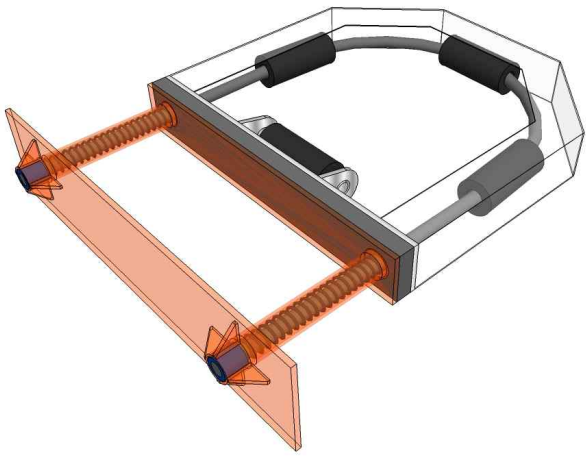
신축형 파일가이드는 그림 86과 같이 예상되는 설계조건과 발생변위에 따라 다양한 형태로 고안되었으며, 이에 대한 상세 연구는 차년도 연구에서 수행할 예정이다.



(a) 종배치식 신축형 파일가이드



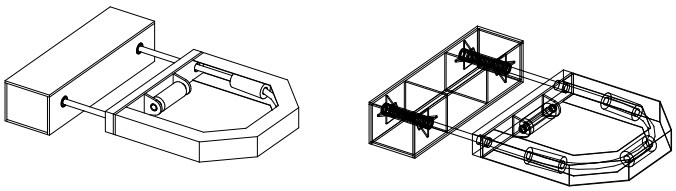
(b) 횡배치식 신축형 파일가이드



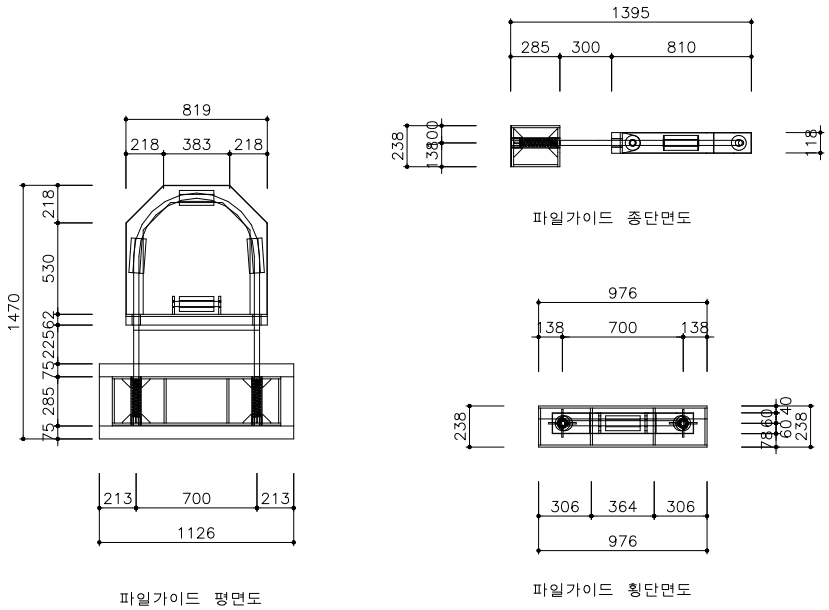
(c) 매립식 신축형 파일가이드

그림 86. 신축형 파일가이드의 실시 예

(다) 고내구성 파일가이드 설치안 제원



(a) 고내구성 파일가이드 개념도



(b) 고내구성 파일가이드 제원

그림 87. 고내구성 파일가이드

(5) 고내구성 콘크리트 폰툰 기본설계

(가) 구조계산서

1. 설계조건

1.1 구조형식

가. 부체형식 : Concrete Pontoon

- L=15m, B=2.5m, H=1.5m

나. 계류형식 : 말뚝계류 방식

1.2 환경조건

1.2.1 파고조건

- 파고는 "항만 및 어항설계기준"을 참조하여 50년 재현주기에서 계류장의 높이 0.3m를 적용.

1.2.2 풍속조건

- 풍속은 "항만 및 어항설계기준" 및 "도로교설계기준"를 참조하여 홍수시 30m/s를 적용.

1.2.3 유속조건

- 유속은 "항만 및 어항설계기준"을 참조하여 1m/s를 적용.

1.3 재료조건

1.3.1 재료의 단위체적 중량

구 분	수 상(tonf/m3)	수 중(tonf/m3)
콘크리트	2.35	1.30
강 재	7.85	6.85

1.3.2 강관말뚝

가. 재료 물성치

탄 성 계 수	$E_s = 2.0\times10^6 kgf/cm^2$
전 단 탄 성 계 수	$G_s = 7.9\times10^5 kgf/cm^2$
포 아 슨 비	$\nu = 0.30$
선 평 창 계 수	$\alpha = 12\times10^{-6}/℃$

나. 강관말뚝의 허용응력도

강 종 / 응력도의 종류	SY30	SY40
휨인장응력도(순단면적에 대하여)	180MPa	2,35MPa
휨압축응력도(총단면적에 대하여)	180MPa	2,35MPa
전단응력도(총단면적에 대하여)	100MPa	1,25MPa

2. 푼툰의 안정 검토

2.1 하중조건

- 고정하중
  - 콘크리트 부피 : 55.615m^3, EPS부피 : 41.42m^3, 밸러스트 부피 : 0.512m^3, 기타부피 : 1.236m^3

  ∴ 최종 고정하중 = {55.615-(41.42+0.512+1.236)} × 23.5kN/m^3 = 292.5kN

2.2 부력 안정 검토

2.2.1 흘수심(d_f) 계산

$$d_f = \frac{W}{\gamma_w \cdot A} = \frac{292.5}{10.3 \times (14.7 \times 3)} = 0.644m$$

d_f : 흘수심 (m)

W: 폰툰 중량 (kN)

γ_w : 해수단위중량 (kN/m^3)

A : 폰툰 수평단면적 (m^2)

2.2.2 무게중심(G) 계산

$$G = (293 \times \frac{1.5}{2}) / 293 = 0.75m$$

$$\overline{CG} = G - \frac{d_f}{2} = 0.435m$$

G : 무게중심 (m)

$\overline{CG}$: 무게중심과 흘수심과의 거리 (m)

2.2.3 폰툰의 안정검토

$$\frac{I \times \gamma_w}{W} - \overline{CG} > 0$$

$$\frac{(15 \times 3.0^3 \times 12) \times 10.3}{292.5} - 0.44 = 1.19 > 0 \quad \therefore O.K$$

I : 흘수면 장축에 대한 단면2차 모멘트 (m^4)

γ_w : 물 또는 해수의 단위체적중량 (kN/m^3)

W : 폰툰과 등분포하중의 중량 (kN)

C : 부심

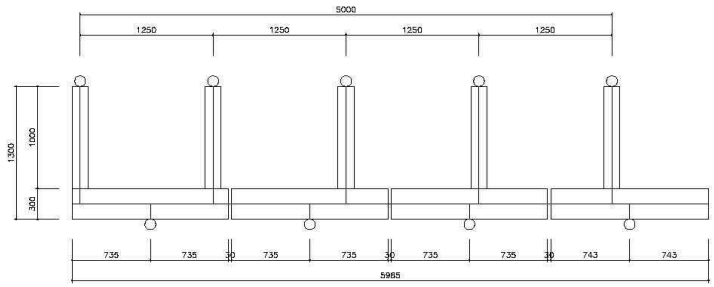
G : 중심

3. 계류시설 적절성 검토

3.1.1 폰툰배치 평면도

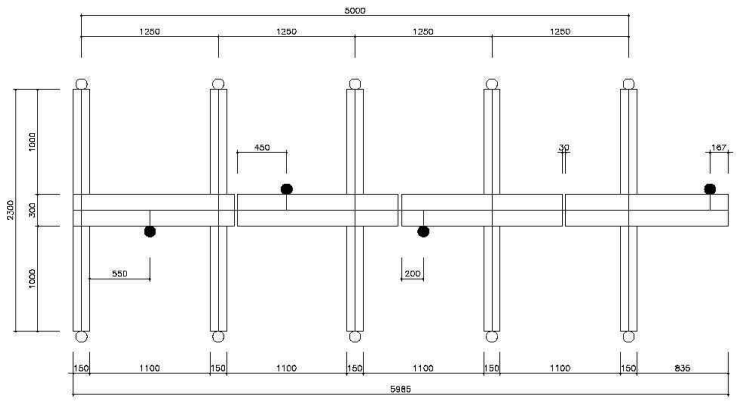
A - Type

(단위:cm)



B - Type

(단위:cm)



3.1.2 파력(P)

- 부잔교는 "항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2005)"을 따라 파고가 0.3m, 이하인 곳에 설치하는 것이 바람직하다.

$$P = \rho_0 \cdot H \cdot L \cdot d$$

$$= 10.3 \times 0.3 \times 15 \times 0.644$$

$$= 29.85\ kN$$

P : 파력 (kN)

ρ_0 : 해수의 단위체적중량 (kN/m^3)

H : 파고(m)

L : 폰툰길이(m)

d : 부체의 흘수(m)

3.1.3 풍항력(F_W)

$$F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_{DW} \cdot A_W \cdot U_w^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.25 \times 2.0 \times 8.96 \times 30^2$$

$$= 10.08\ kN$$

F_W : 풍항력 (N)

ρ_a : 공기의 밀도 $(1.25 kg/m^3)$

C_{DW} : 풍항력계수$(1.5 \sim 2.0)$

A_W : 바람부는 방향에서 폰툰의 투영면적 (m^2)

U_W : 풍속(m/sec)

3.1.4 조류력(F_D)

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot C_D \cdot A \cdot U^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.03 \times 1.12 \times 9.58 \times 1^2$$

$$= 5.53\ kN$$

F_D : 조류력(N)

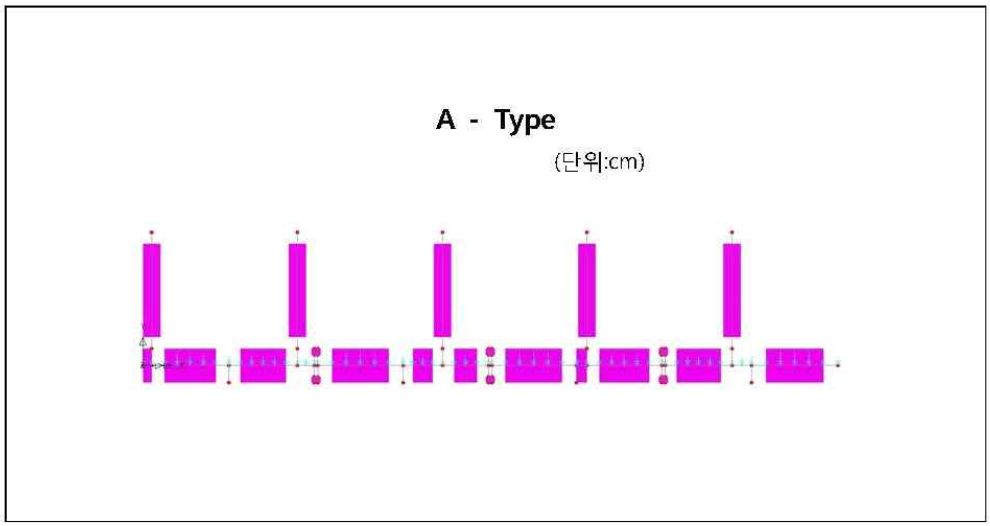
ρ_0 : 해수의 밀도($1.03\ t/m^3$)

C_D : 항력계수(1.12)

A_W : 물체 흐름방향 투영면적(m^2)

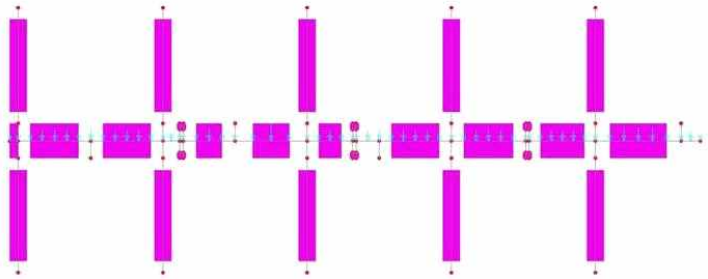
U : 유속(m/sec)

3.1.5 모델링



B - Type

(단위:cm)



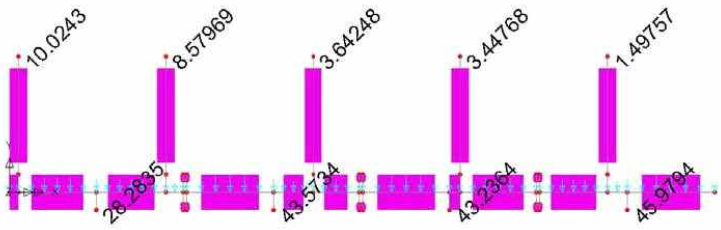
3.1.6 하중조합

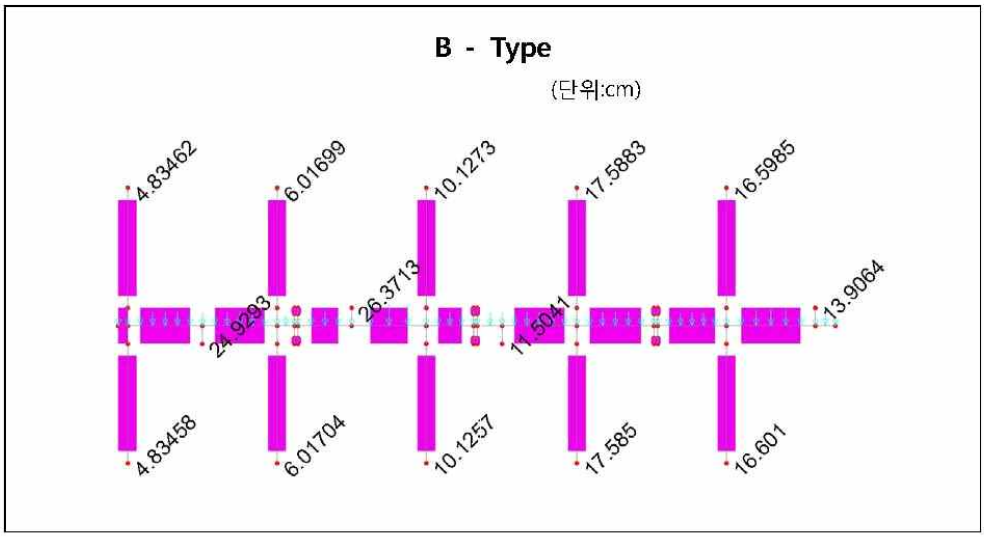
구분	파력	풍항력	유항력	합계
하중조합	2.13kN/m	0.672kN/m	0.369kN/m	3.171kN/m

3.1.7 해석결과

A - Type

(단위:cm)





- 지점반력 (단위 : kN)

구분	A-type	B-type
파일부 1	10.02	4.83
파일부 2	8.58	6.02
파일부 3	3.64	10.13
파일부 4	3.45	17.59
파일부 5	1.50	16.60
파일부 6	28.28	24.93
파일부 7	43.57	26.37
파일부 8	43.24	11.50
파일부 9	45.98	13.91
파일부 10	-	4.83
파일부 11	-	6.02
파일부 12	-	10.13
파일부 13	-	17.59
파일부 14	-	16.60
MAX	45.98	

(나) 도면

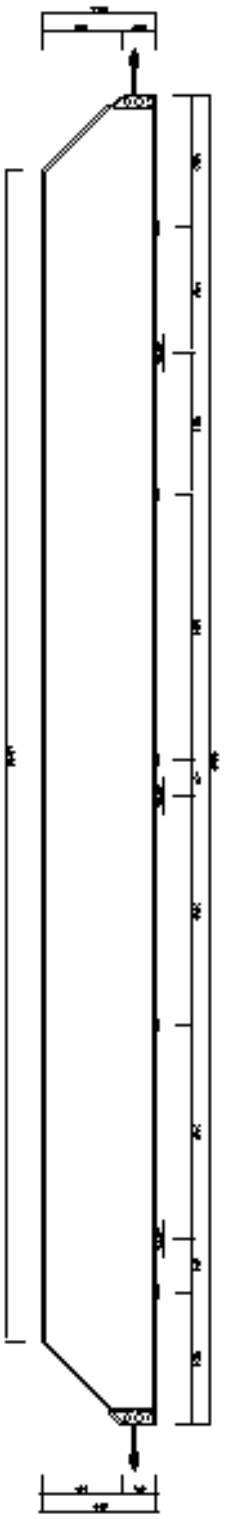


그림 88. 콘크리트 폰툰 종단면도

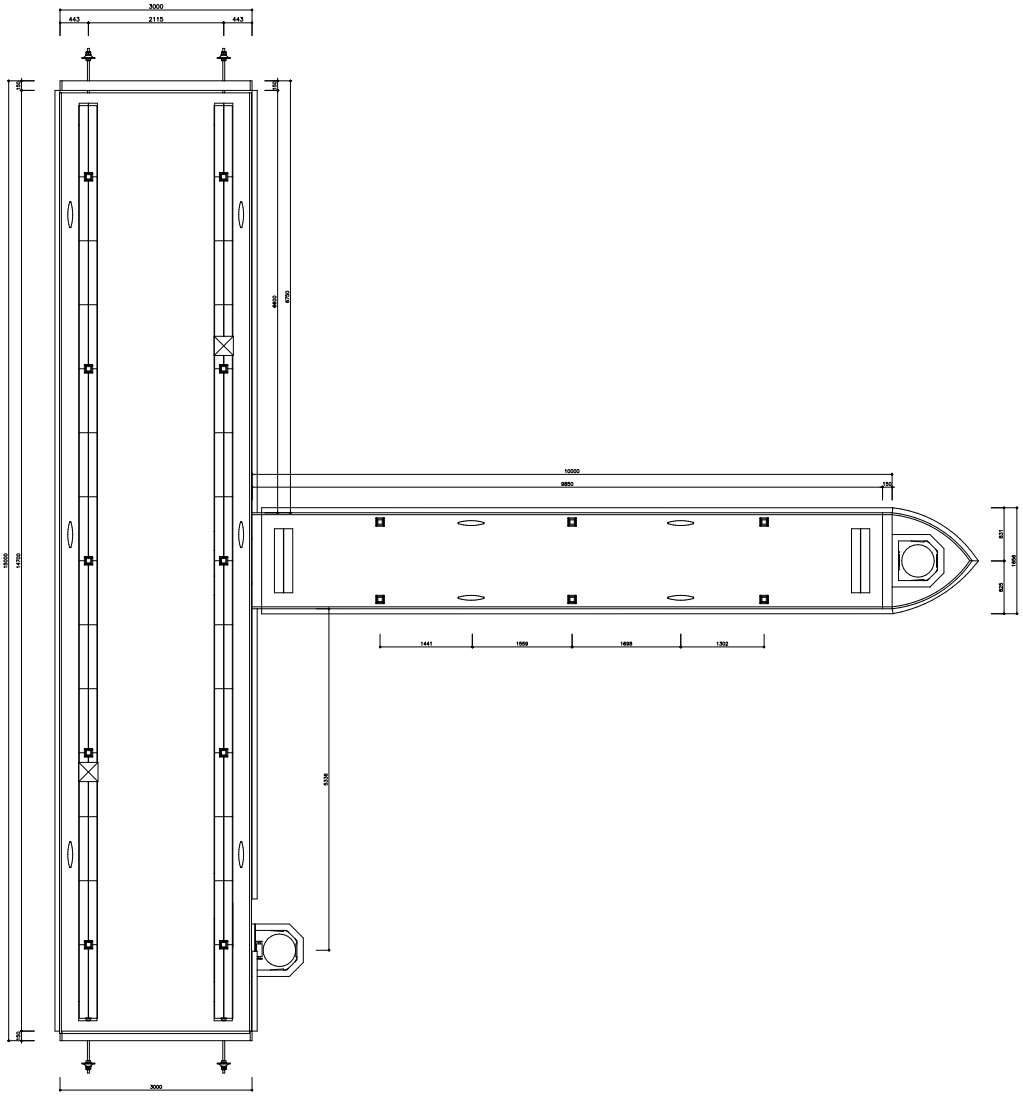


그림 89. 콘크리트 폰툰 평면도

(다) 조감도

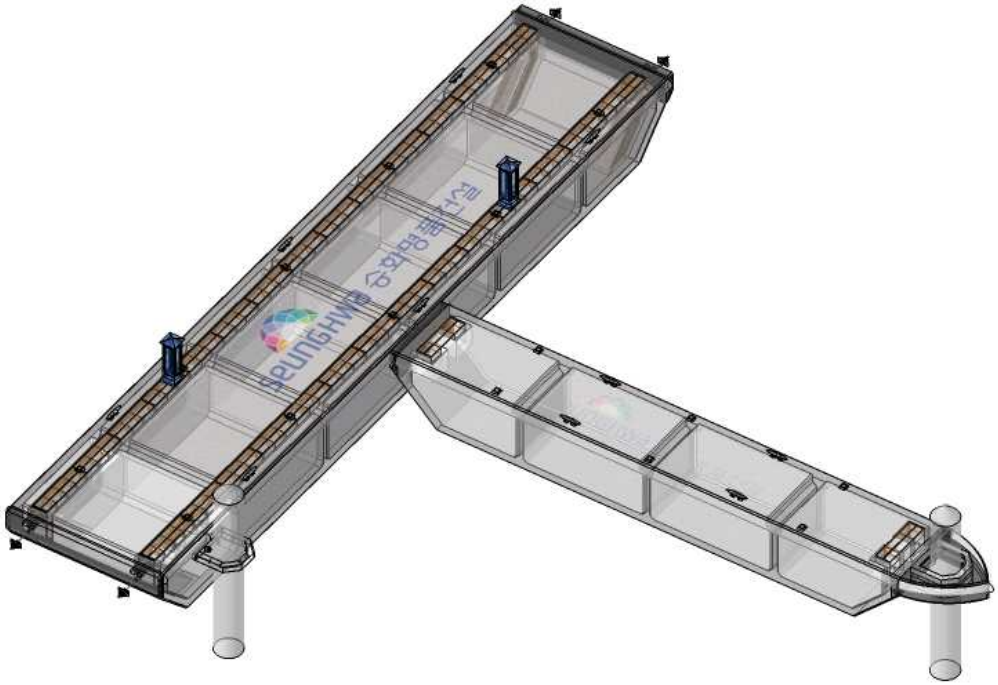


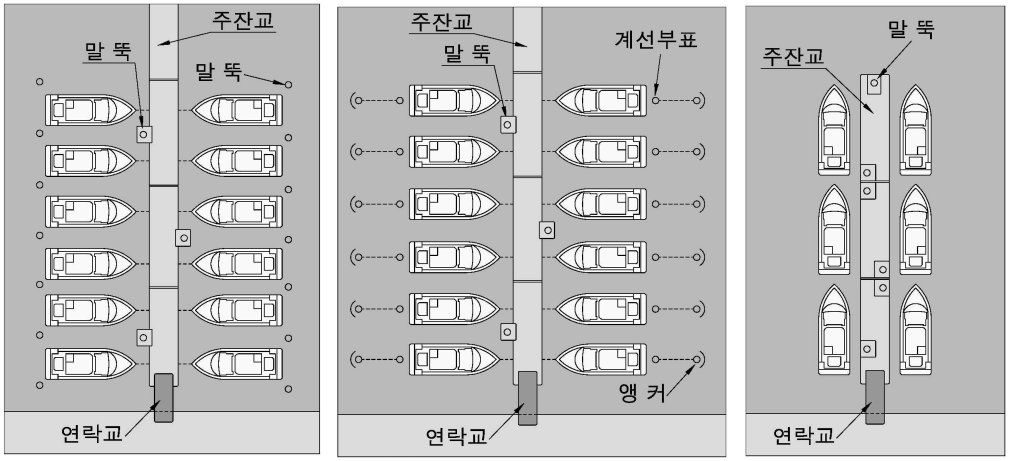
그림 90. 콘크리트 폰툰 조감도

나. 주/핑거 폰툰 조합 방안

(1) 폰툰의 형상과 배치

(가) 단잔교

단일 폰툰 또는 여러 개의 폰툰을 연결해 구성하며, 플레저보트를 계선말뚝이나 계선부표를 이용하여 종접안시키거나, 폰툰에 횡접안시키는 방식이 있다.

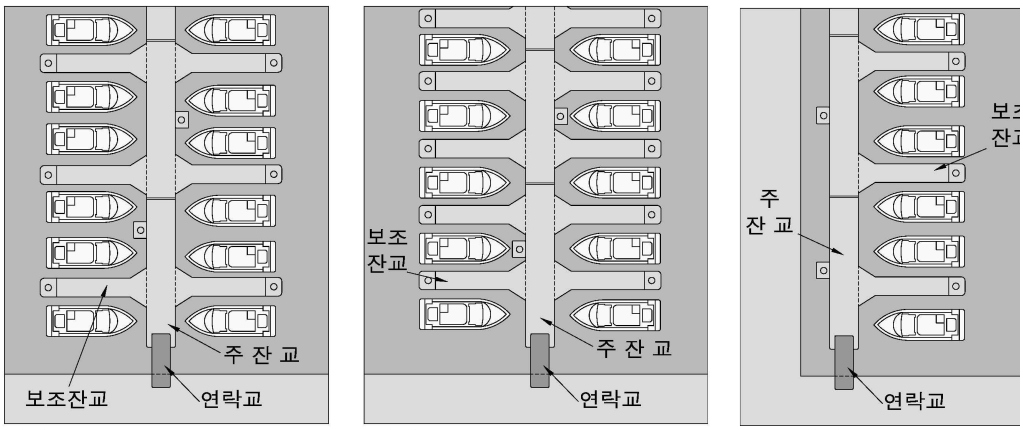


(a) 계선말뚝식 종접안 (b) 계선부표식 종접안 (c) 횡접안

그림 91. 단잔교의 배치 (항만설계기준 핸드북)

(나) 빗살형 잔교

주폰툰의 양측 또는 한쪽에 직각방향으로 보조폰툰을 연결한 것으로 보조폰툰 양측에 플레저보트를 계류시킨다. 보조폰툰 간격에 따라 single berth와 double berth가 있다.

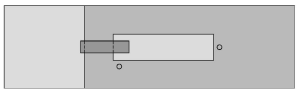
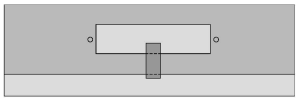
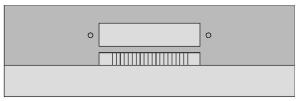
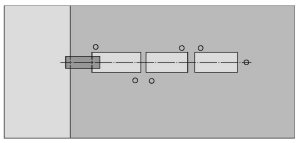
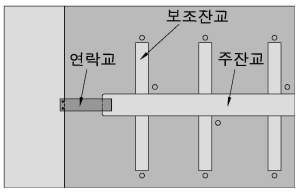
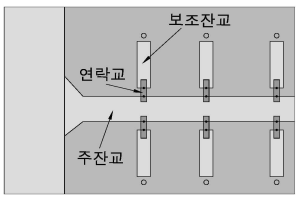


(a) 계선말뚝식 종접안 (b) 계선부표식 종접안 (c) 횡접안

그림 92. 빗살형 잔교의 배치 (항만설계기준 핸드북)

(2) 폰툰의 배치와 특징

표 40. 폰툰의 배치와 특징 (항만설계기준 핸드북)

폰툰의 형상별 배치 방법		배치도	특징
단잔교	종배치		- 폰툰의 양측이 사용되고 효과적으로 이용할 수 있다.
	횡배치		- 수위차가 작은 경우 적합하다.
	계단에 횡배치		- 수위차의 대소에 관계없이 적합하다.
	단잔교의 종열연결		- 방문, 수리, 급유 등 service berth에 적합하다.
빗살형 잔교	주폰툰 보조폰툰		- 플레저보트에 타고 내리기가 용이하고 안전하다. - 플레저보트의 계류가 확실히 된다. - 수위차의 대소에 관계없이 적합하다. - 주/보조 폰툰의 동요에 의한 상호연성 작용이 있다.
	주폰툰 보조폰툰		- 플레저보트에 타고 내리기가 용이하고 안전하다. - 플레저보트의 계류가 확실히 된다. - 수위차가 작은 경우에 적합하다.

다. 부분모형 재하시험

(1) 부분모형 시험계획

연결부와 파일가이드는 폰툰 구조물에 있어서 가장 손상위험이 높은 부위이며 폰툰의 내구성을 결정짓는 주요인자이다. 본 연구에서는 실스케일의 부분모형을 제작하여 이에 대한 가력시험을 실시함으로써 주요 상세에 대한 구조성능을 평가하고 향후 구조상세 개선에 이용할 상세 유한요소해석모형을 검증한다.

(가) 연결부 모형시험

연결부 모형시험체 제작을 위해 그림 93과 같이 연결부와 폰툰의 격벽 1개소를 포함한 폰툰 단부 3m 구간을 대상으로 선정하였다. 연결부의 내하성능을 평가하기 위해 폰툰 단부는 내력벽에 고정하고 파력 등에 의한 횡방향력을 모사하도록 시험체 측면에서의 가력을 계획하였다. 시험체의 설계 제원은 그림 94~그림 98과 같다.

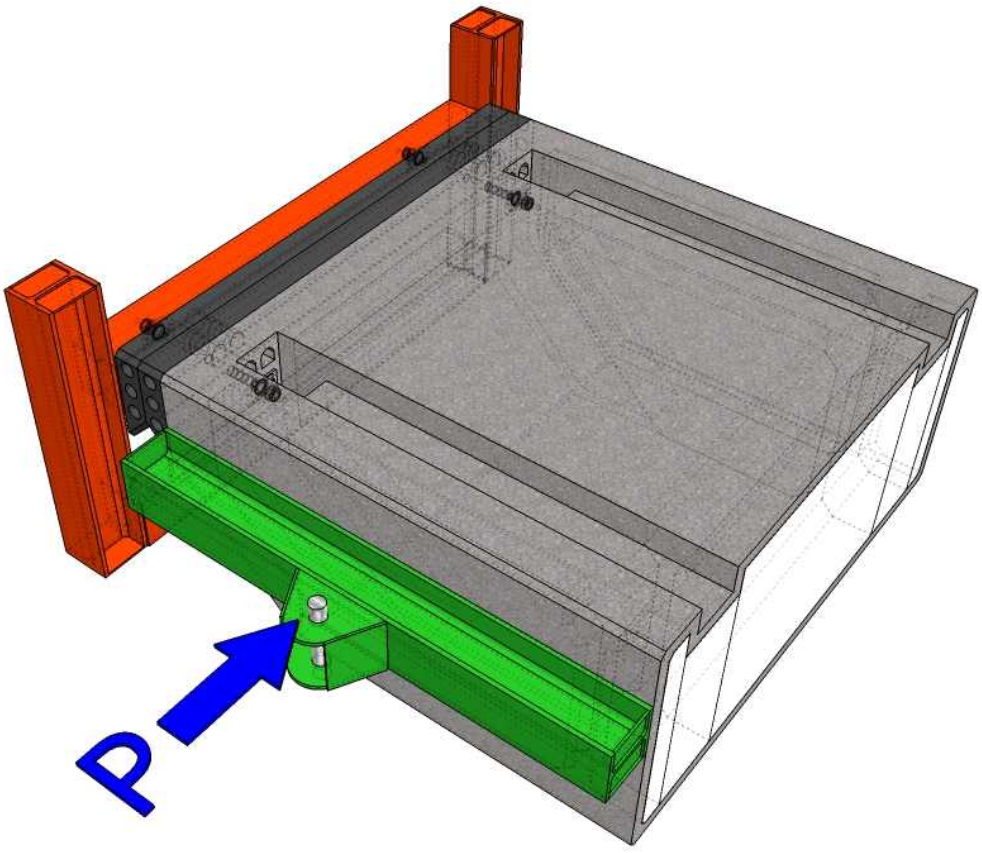


그림 93. 연결부 모형시험 계획도

그림 94. 연결부 모형시험체 설계 제원(1)

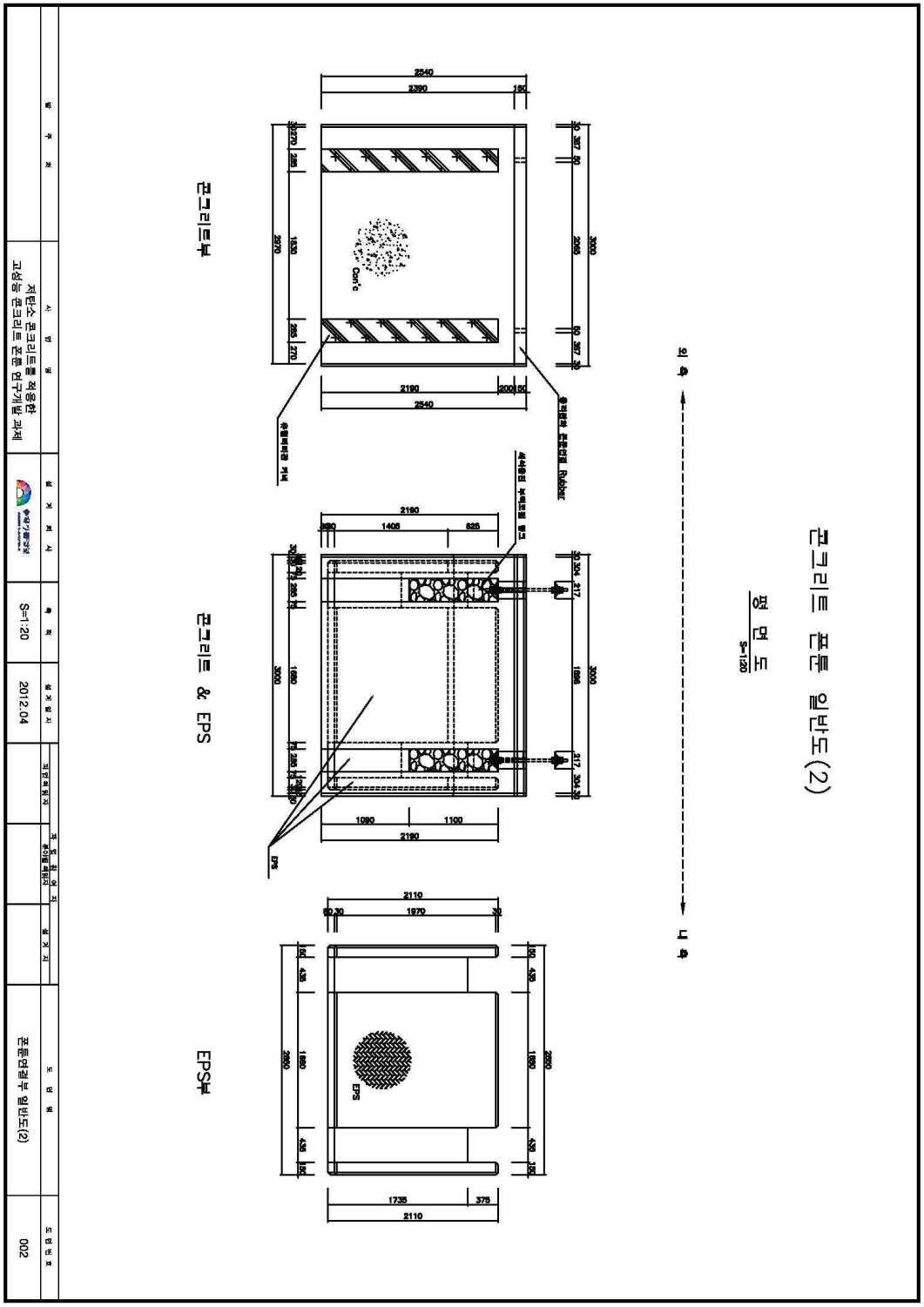
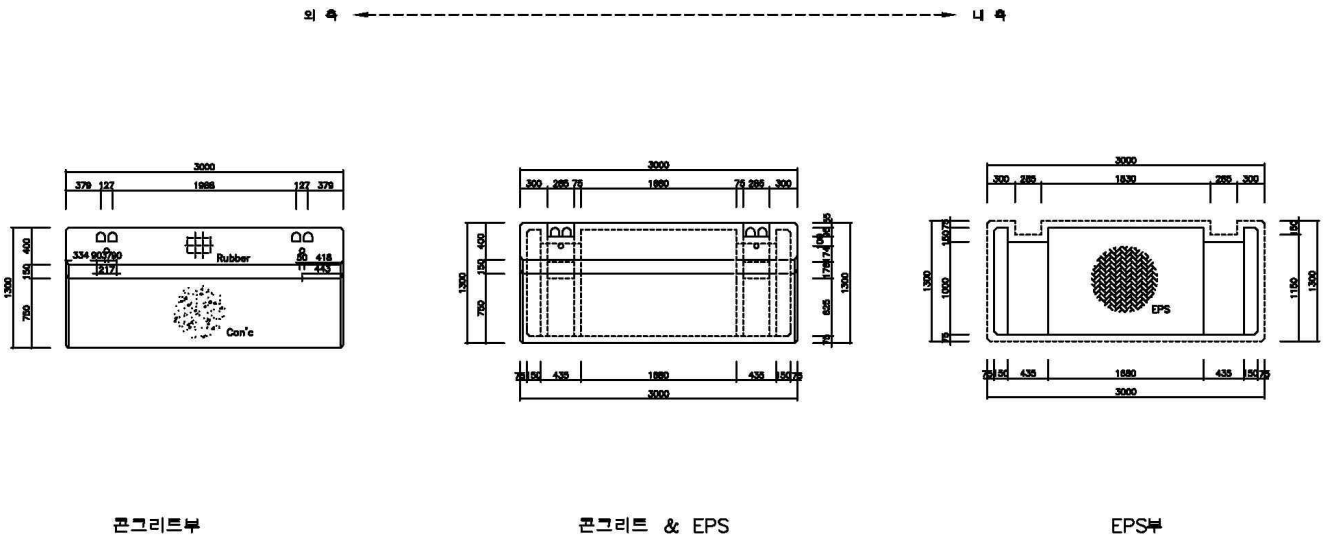

콘크리트 폼룸 일반도(2)
평 면 도
S=1:20
콘크리트부
콘크리트 & EPS
EPS부
EPS
Con'c
2540
2390
2190
1405
825
1090
1100
2110
1970
1735
375
1630
1680
2660
2670
3000
1995
1995
1680
1680
2660
2660
1630
2670
2190
2540
2110
2110
2190
3000
3000
2660
2660
2670
3000
2540
2190

그림 96. 연결부 모형시험체 설계 제원(3)

콘크리트 폰툰 일반도(4)

횡 단 면 도
S=1:20



콘크리트부 콘크리트 & EPS EPS부

발주처	사업명	설계회사	축척	설계일자	작업원어지			도면명	도면번호
					과업책임자	분야별책임자	설계자		
	저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰툰 연구개발 과제	수원기술공사	S=1:20	2012.04				폰툰연결부 일반도(4)	004

그림 97. 연결부 모형시험체 설계 제원(4)

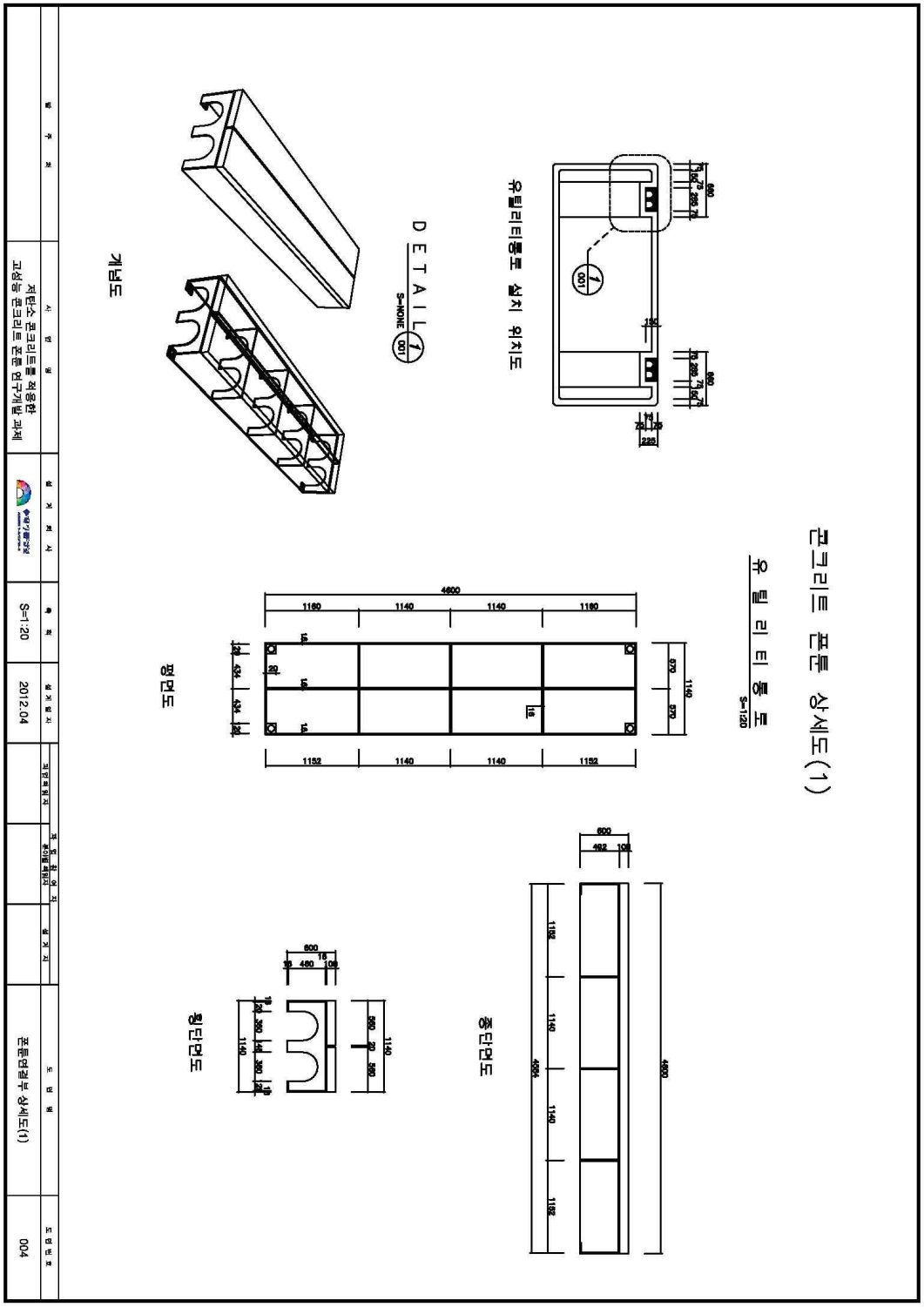


그림 98. 연결부 모형시험체 설계 제원(5)

(나) 파일가이드 모형시험

파일가이드부 모형시험체 제작을 위해 그림 99과 같이 파일가이드부와 폰툰의 격벽 2개소를 포함한 폰툰 중앙부 3m 구간을 대상으로 선정하였다. 파일가이드부의 내하성능을 평가하기 위해 폰툰 격벽부는 내력벽에 고정하고 파력 등에 의해 파일가이드부에 가해지는 횡방향력을 모사하도록 파일가이드에서의 가력을 계획하였다. 시험체의 설계 제원은 그림 100~그림 104과 같다.

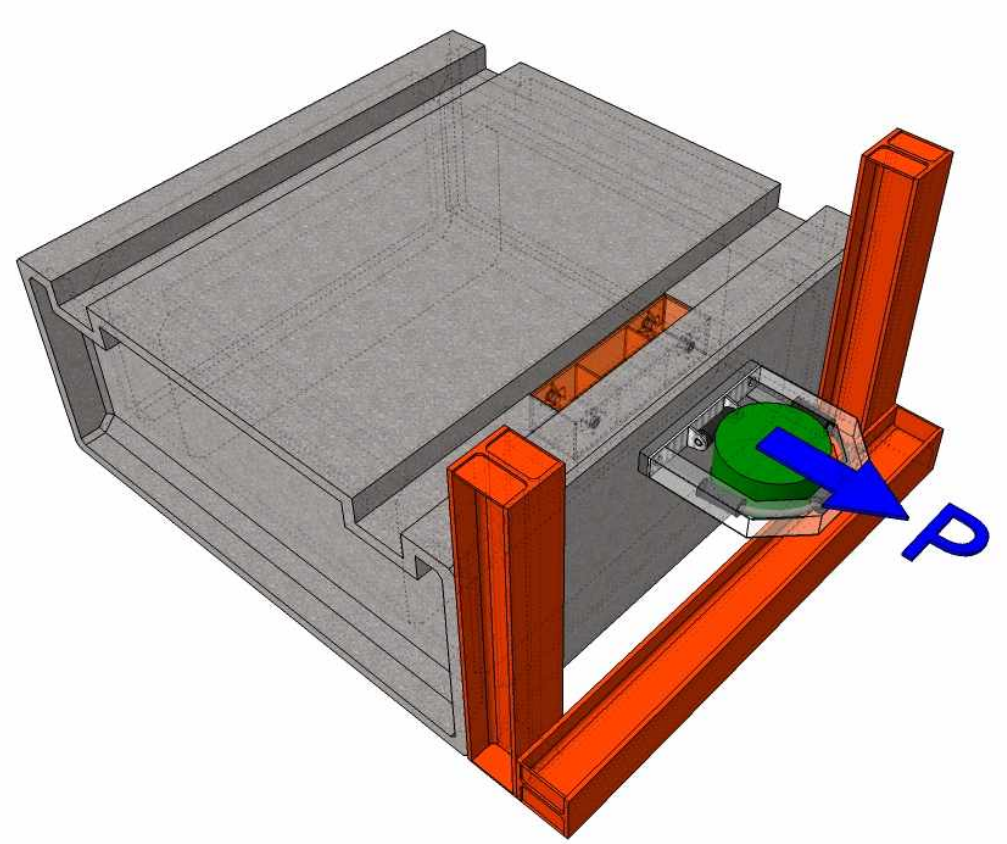


그림 99. 파일가이드부 모형시험 계획도

그림 100. 파일가이드연결부 모형시험체 설계 제원(1)

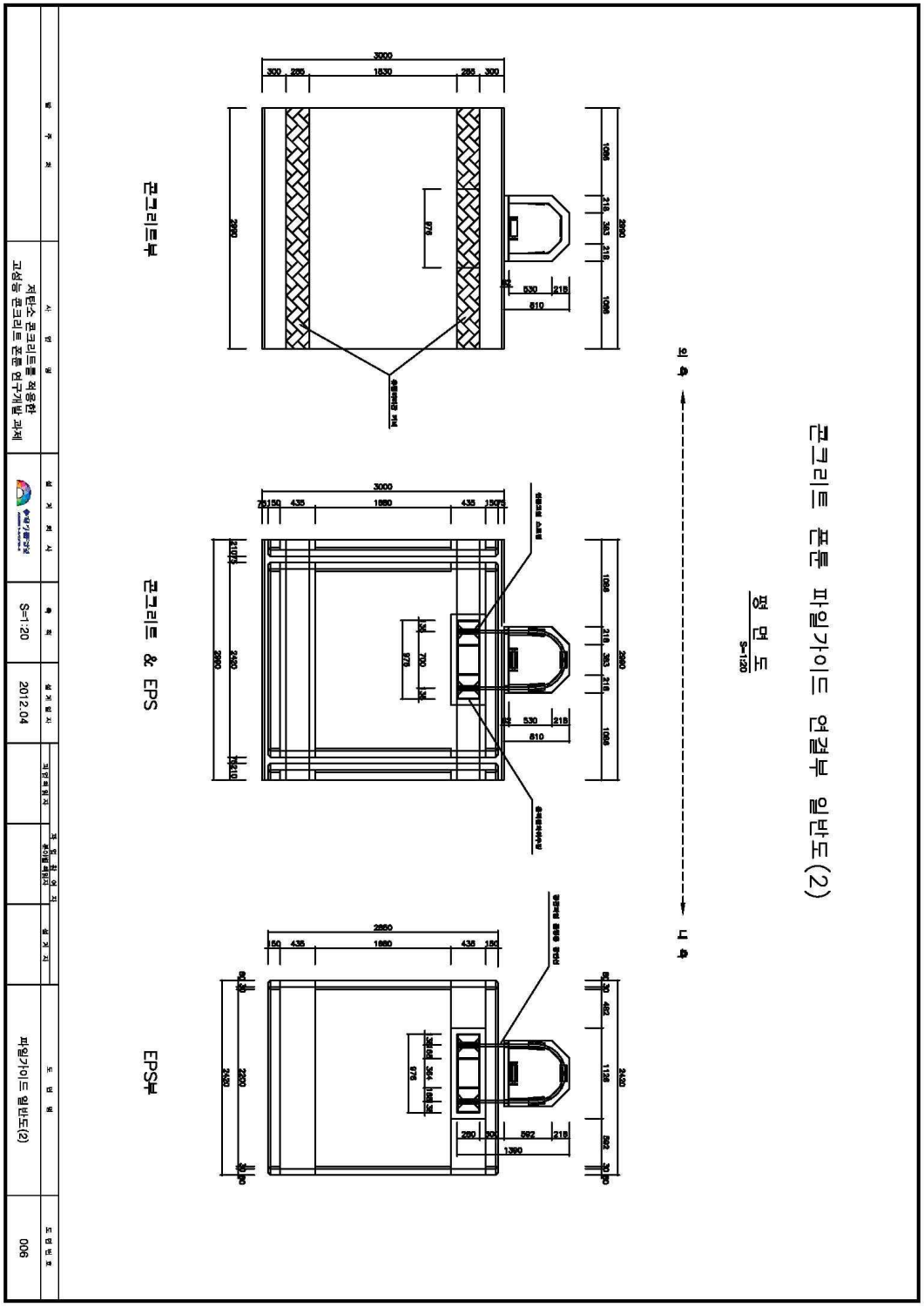


그림 101. 파일가이드연결부 모형시험체 설계 제원(2)

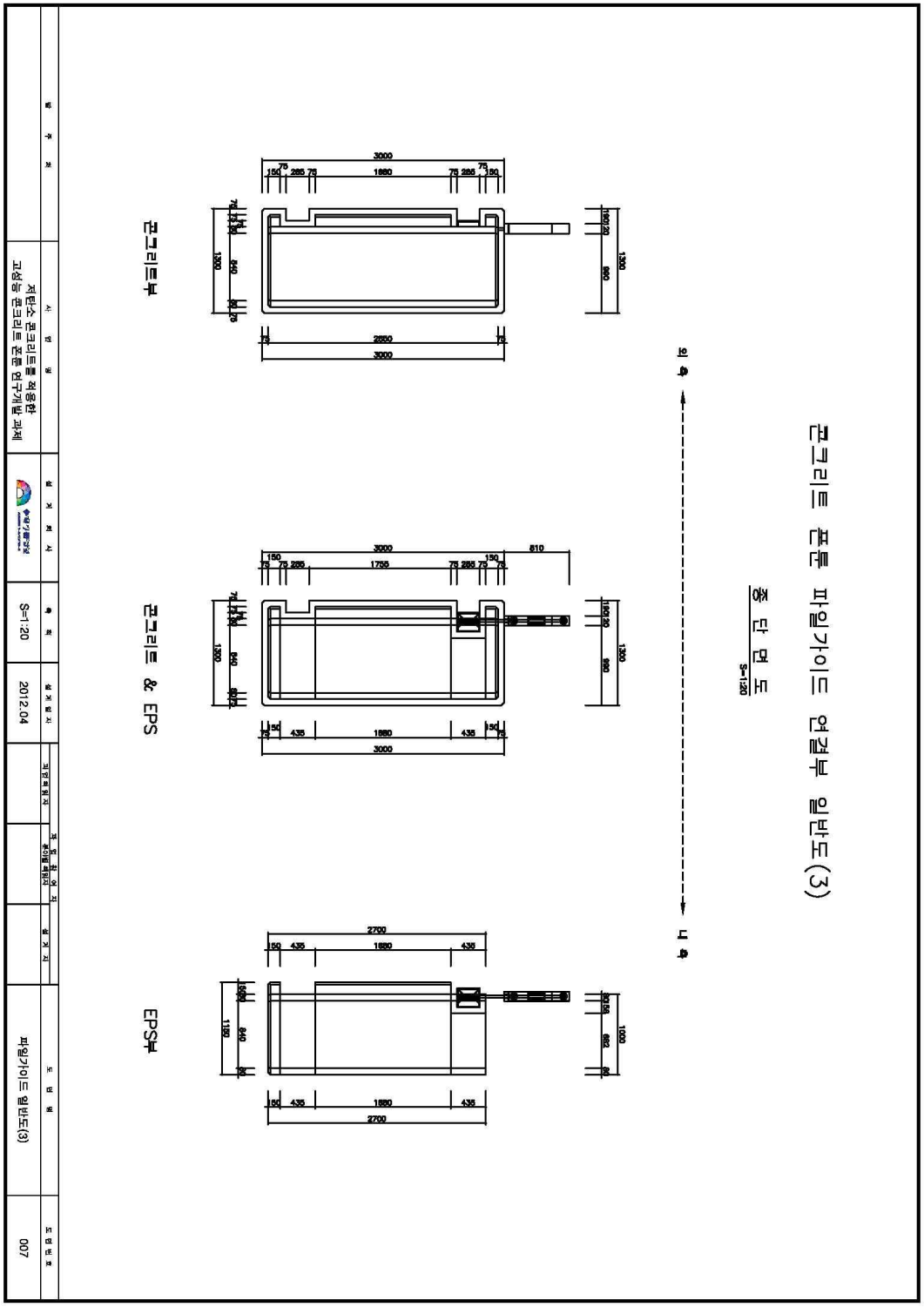


그림 102. 파일가이드연결부 모형시험체 설계 제원(3)

그림 103. 파일가이드연결부 모형시험체 설계 제원(4)

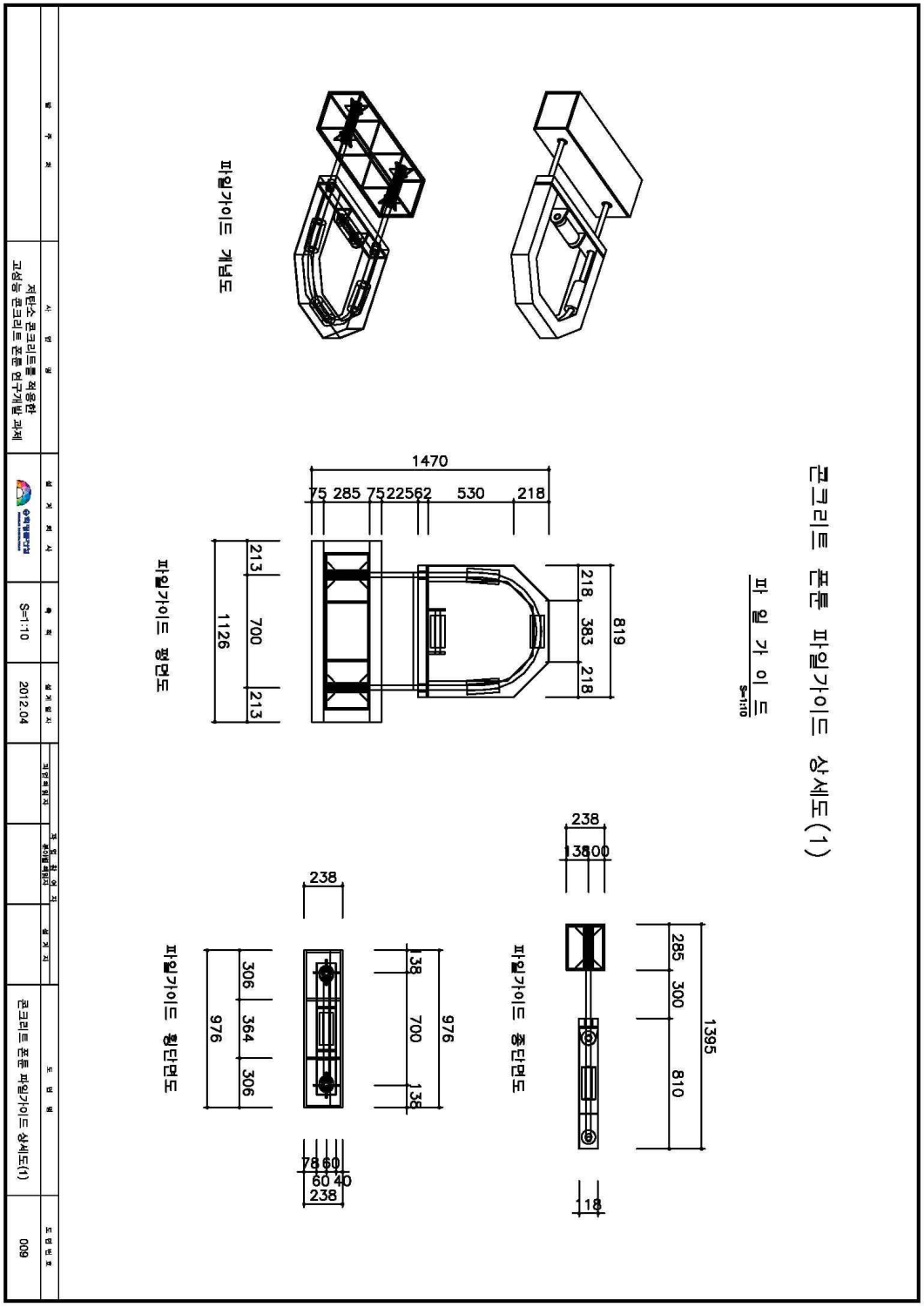


그림 104. 파일가이드연결부 모형시험체 설계 제원(5)

(2) 상세구조해석

본 연구에서는 부분모형 재하시험에 앞서 폰툰 주요상세의 구조성능 검토와 시험결과와의 비교검토를 위하여 상세 구조해석을 실시하였다. 유한요소해석 모형은 범용유한요소해석 프로그램인 LUSAS v14를 이용하였으며 부분모형 재하시험용 시험체 2본을 각각 모형화하여 해석하였다.

(가) 연결부 모형 유한요소해석

연결부 시험체의 모형화에는 총 40,262개의 솔리드 요소(HX8M)이 사용되었으며 그림 105와 같이 시험체의 형상을 그대로 모사하였다. 지점 조건은 그림 106과 같이 재하시험 계획과 동일하게 적용하였으며, 가력 시험시 시험체 하부에 강봉을 사용하여 마찰력을 최소화하게 되므로 아랫면에서 발생하는 마찰력은 무시하였다. 하중 크기는 실험을 통해 파괴모드를 확인할 수 있도록 30톤을 최대 하중으로 가정하였으며 이는 실제 연결부가 경험하는 하중의 6배 이상에 해당한다. 하중 위치는 파력이 작용하는 면적을 가정한 가력 지그면에 등분포로 작용하는 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 엄격한 균열 관리가 필요한 폰툰 구조물의 특성과 설계하중이 비교적 작은 수준임을 고려하여 선형해석만을 고려하였으며 부분모형 시험의 계획시 최대 가력 수준 설정과 결과분석 참고용으로 실시하였다.

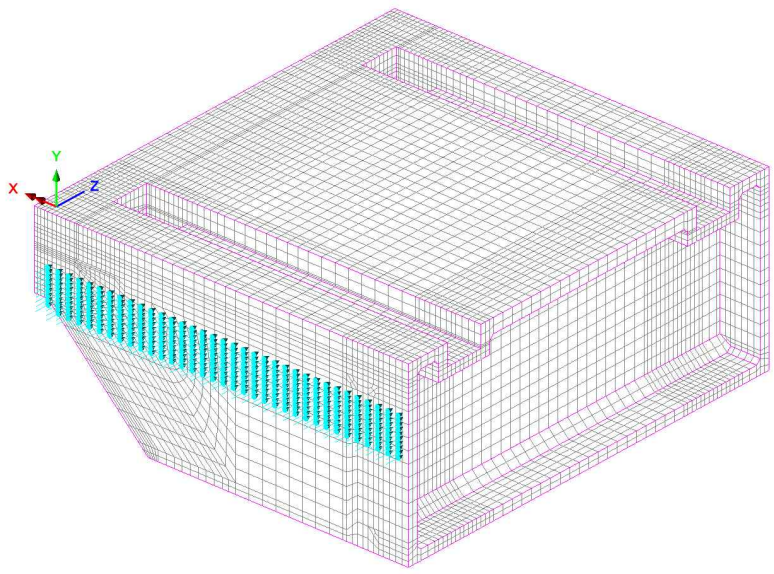


그림 105. 연결부 시험체 유한요소 해석모형

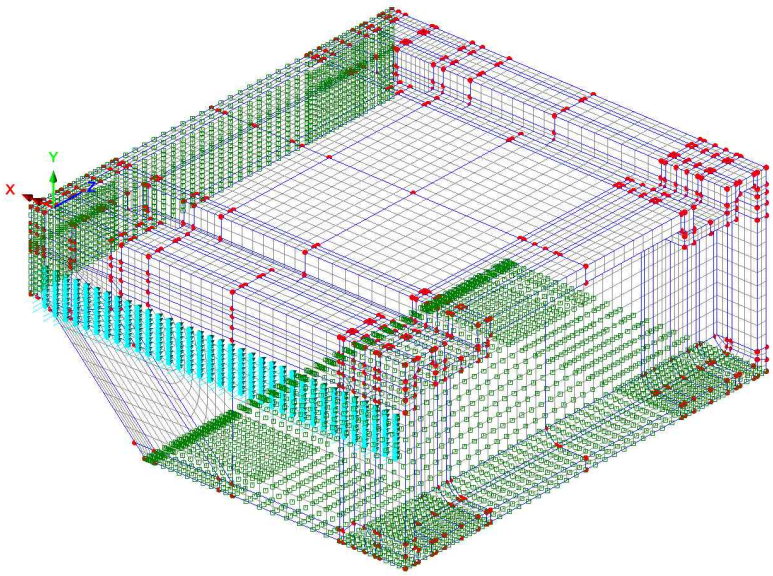


그림 106. 연결부 시험체 모형의 지점 및 하중 조건

그림 107은 연결장치의 앵커가 설치공 주변의 모형화를 나타낸 것으로 그림 108과 같이 인장만 받을 수 있는 bar 요소를 설치공 주변 요소와 앵커 정착구가 고정되는 베어링 플레이트(bearing plate)에 rigid connection 기능을 사용하여 강결시키는 방법으로 모사하였다. 압축력을 받게 되는 가력면 반대쪽의 앵커는 압축에 저항하지 못하므로 모형화에서 생략하였다.

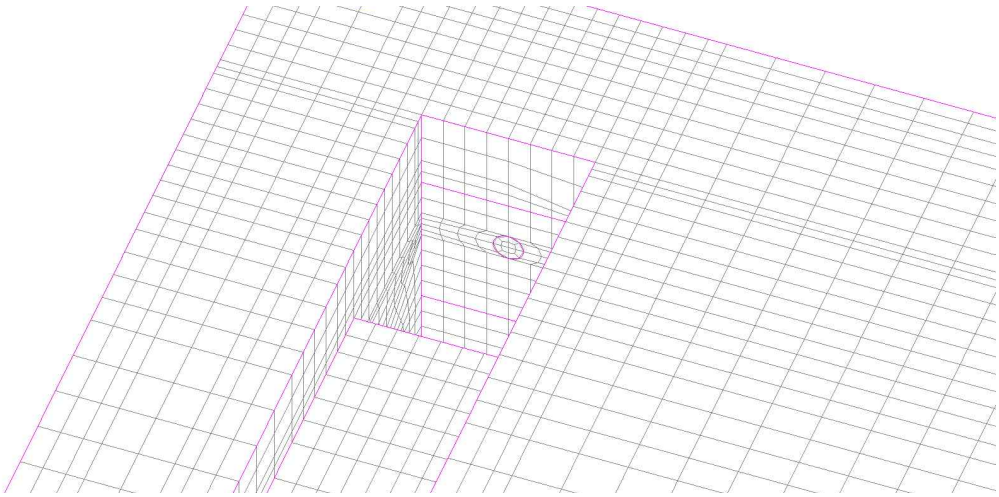


그림 107. 유틸리티 채널 내 연결부 모형화

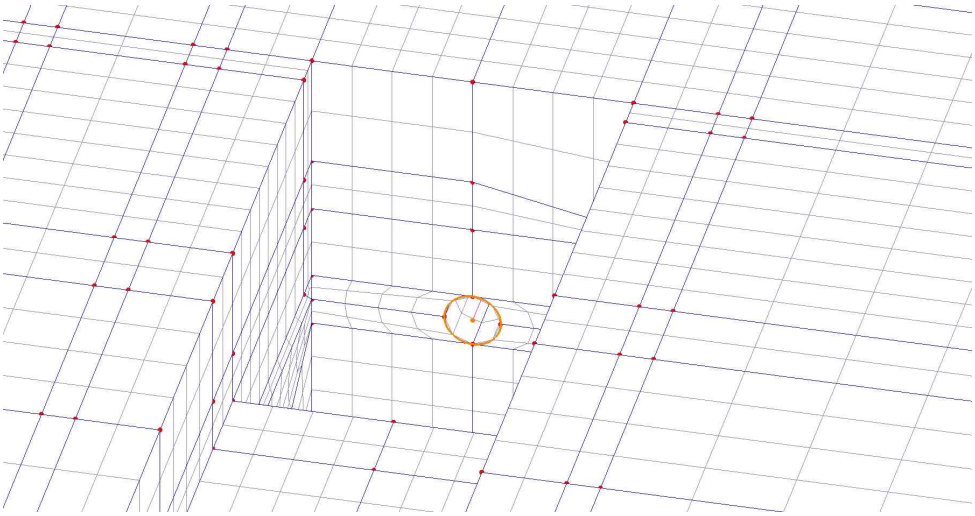


그림 108. Rigid Connecttion 기능을 이용한 연결부 모형화 상세

그림 109는 발생 변위에 대한 해석 결과로 최대 약 30.6mm의 변위가 발생하는 것으로 나타났으며, 경질 유공 고무판과 강연선의 연성으로 인하여 그림 110이 대부분 수평 이동하는 형태로 발생하였다. 연결부가 실제 경험하는 하중보다 6배 이상 가혹한 조건임을 감안하면 사용하중에 의한 인접 폰툰간 상대변위가 구조안전성에 미치는 영향은 없을 것으로 판단된다.

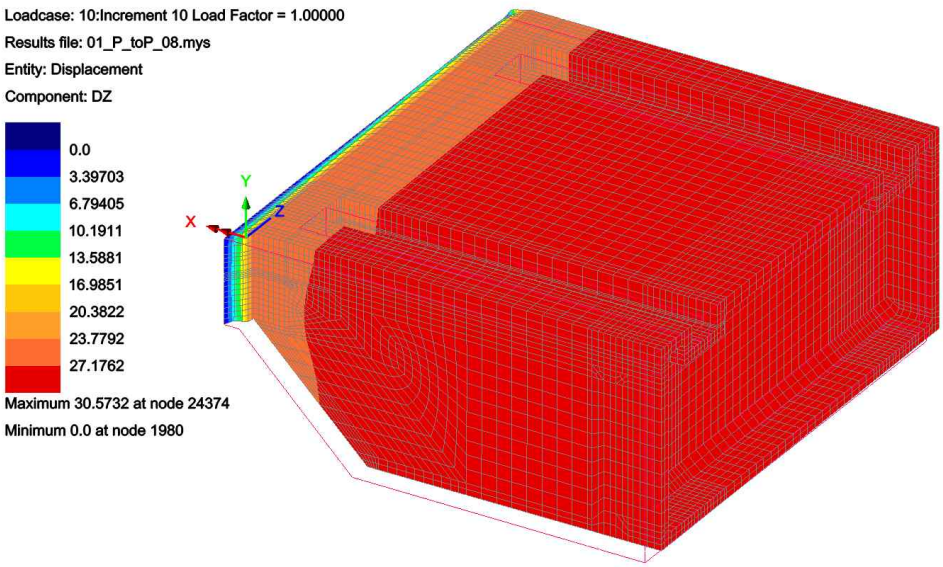


그림 109. 해석결과 (변위, mm)

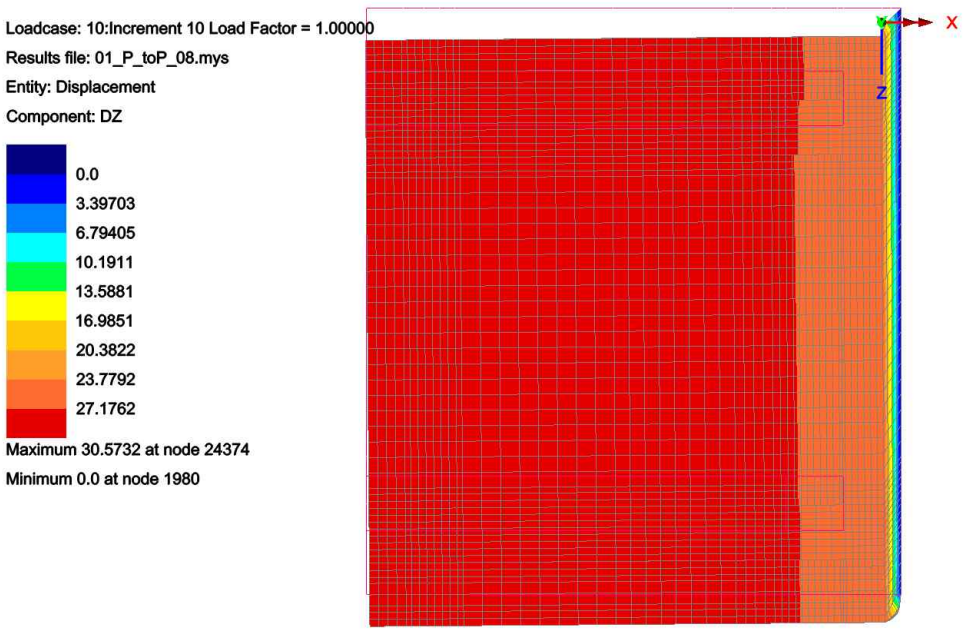


그림 110. 해석결과 (변위, mm)

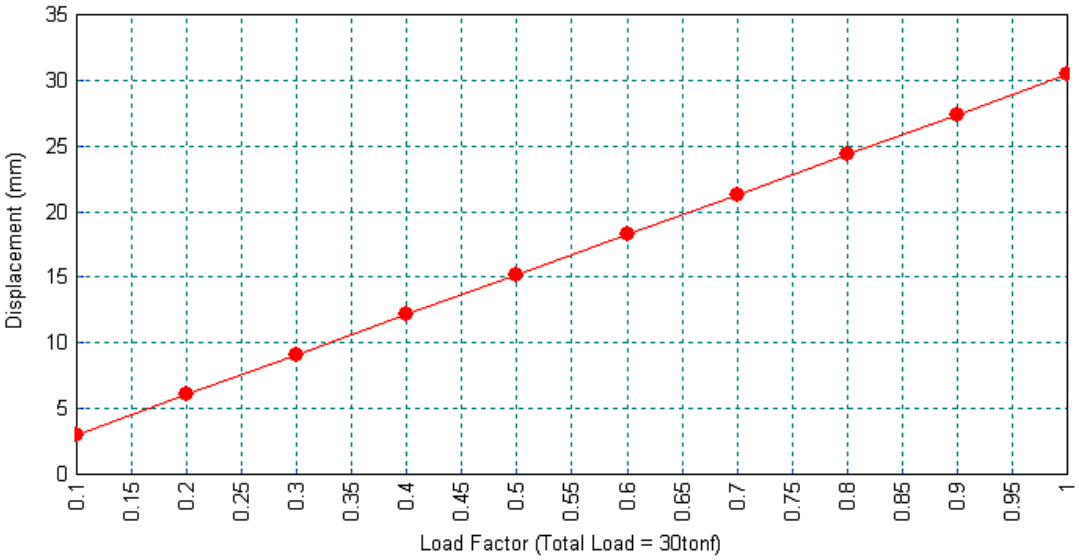


그림 111. 하중계수에 따른 발생변위 (mm)

그림 111은 총 하중이 30tonf인 상태에서 0.1~1.0 사이의 하중계수별 발생변위를 나타낸 것으로 선형해석의 한계상 하중계수와 비례하여 변위가 발생하였으나 대부분의 변위는 고무 완충재의 변형으로 발생하는 것으로 실험시에도 이와 유사한 수준의 변위가 예상되었다. 단, 재료구성에 따라 탄성계수의 차이가 큰 고무의 특성상 이로 인한 실험 결과상의 편차는 다소 발생할 것으로 판단된다.

그림 112는 하중재하에 의한 폰툰의 손상을 예측하기 위해 최대주응력을 나타낸 것

이다. 하중이 측면 중단을 중심으로 분포함에 따라 횡방향으로 지지되는 부분을 중심으로 최대응력이 발생하였다. 그림 113과 같이 최대 응력은 가력면의 측벽 중앙부의 내측과 상단에서 발생하는 것으로 나타났으며 이는 횡방향 지지가 상대적으로 부족한 부분이 구조적으로 취약하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 콘크리트 폰툰 제작에 일반적으로 사용되는 설계압축강도 50MPa 급의 콘크리트를 적용할 경우, 압축강도의 10% 수준인 5MPa의 인장강도를 초과하는 하중계수는 약 0.42로 나타났으며(그림 114) 이는 총 12.6tonf의 하중이 가력되는 상황으로 설계하중 대비 약 2.5배 이상의 안전율을 갖는 수준이다. 더욱이 최소한의 철근배근을 감안한다면 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

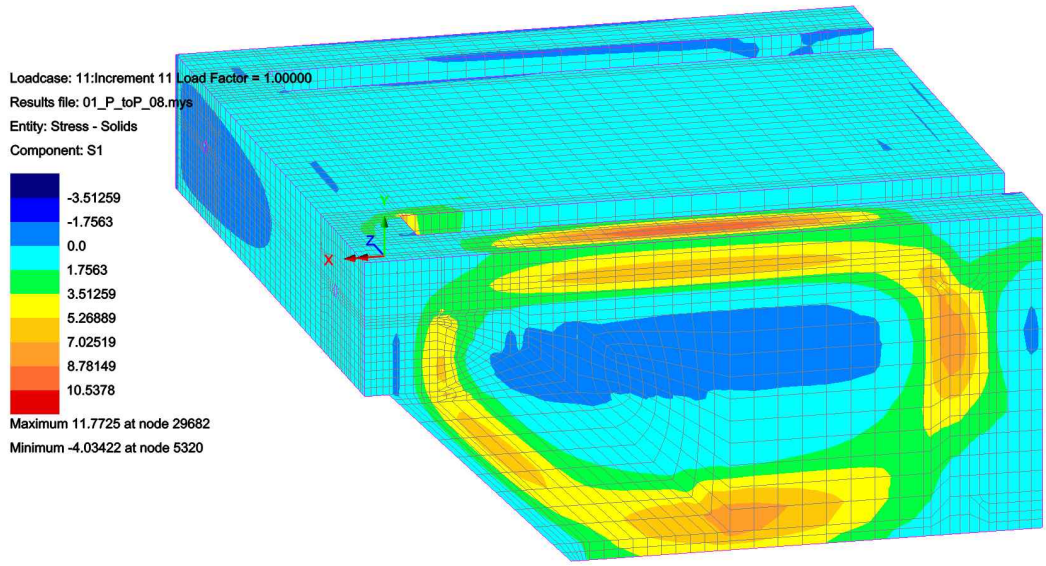


그림 112. 해석결과 (최대주응력, MPa)

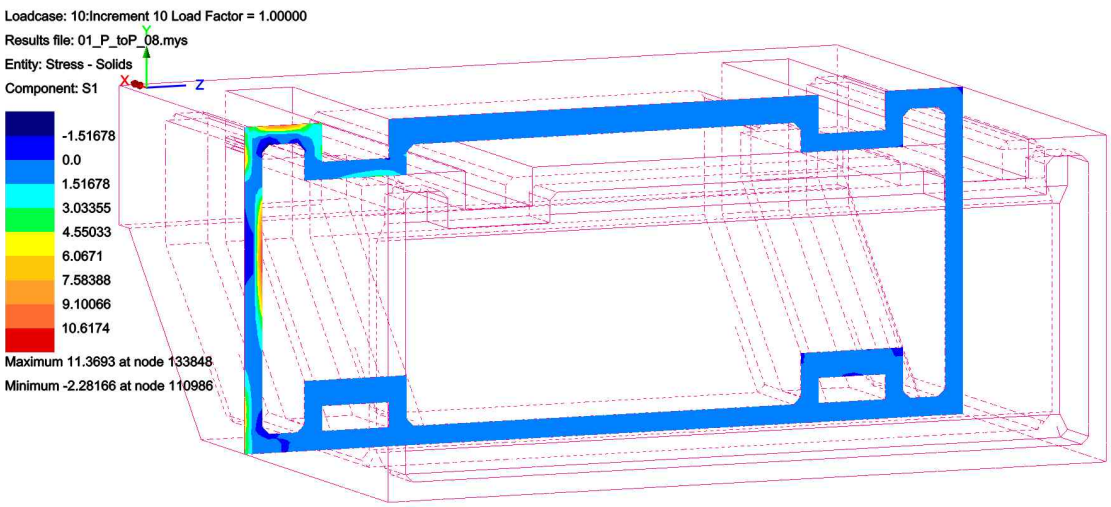


그림 113. 최대주응력 발생 단면 (최대주응력, MPa)

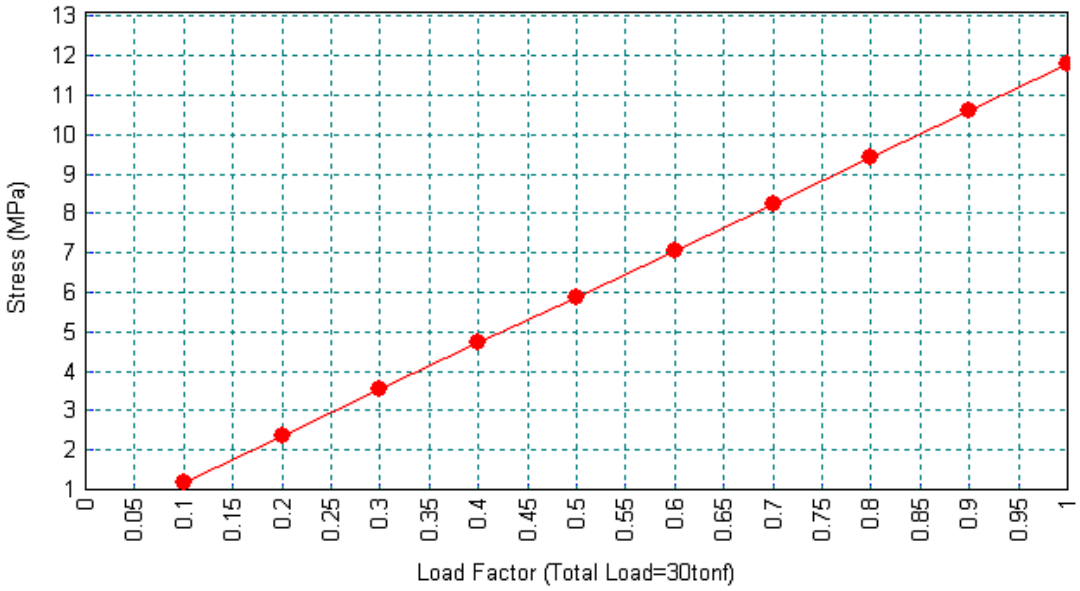


그림 114. 하중계수에 따른 발생 최대주응력 (MPa)

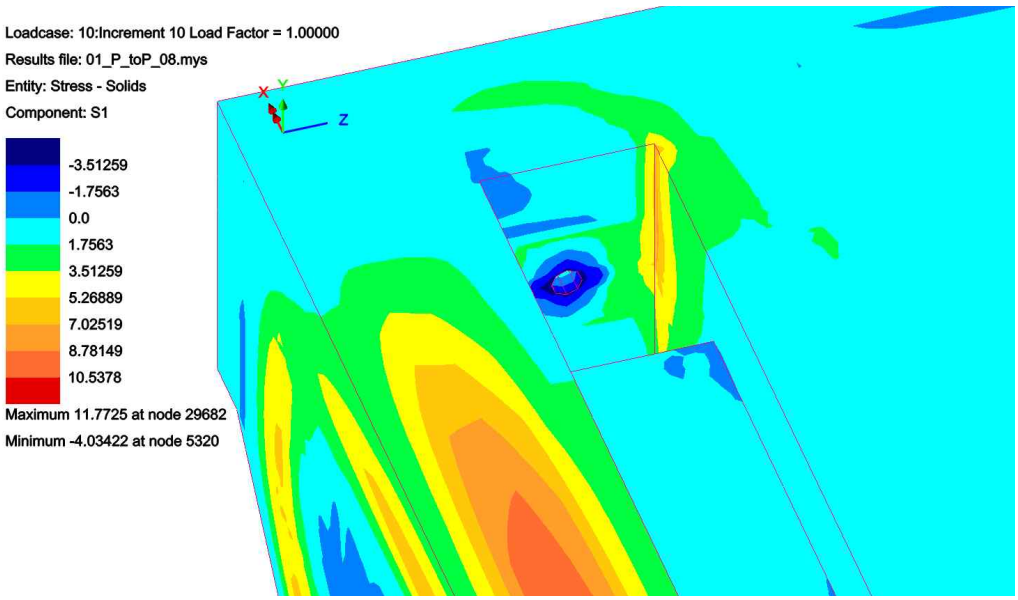


그림 115. 앵커부 해석결과 (최대주응력, MPa)

하중이 집중되는 앵커부의 최대주응력은 그림 115와 같다. 앵커 정착구 부근의 응력 집중을 최소화하기 위하여 20mm 두께의 지압판(bearing plate)를 적용하게끔 설계되어 있어 앵커공 주변의 응력 상태는 양호한 것으로 나타났다. 그러나 앵커가 큰 인장력을 받음에 따라 솔리드 밸러스트 챔버의 모서리를 따라 상당한 크기의 인장응력이 발생하는 것을 확인하였다. 최대주응력 발생 부위와 마찬가지로 이 역시 충분한 안전율이 확보되는 상황이나 거푸집 제작시 모깍기 처리를 통하여 응력집중을 최소화 하

고 적당한 철근 보강이 필요한 것으로 판단된다.

(나) 파일가이드 모형 유한요소해석

파일가이드 시험체의 모형화에는 총 15,820개의 솔리드 요소(HX8M), 114개의 쉘 요소(QSI4) 및 5개의 바 요소(BS4)가 사용되었으며 그림 116과 같이 시험체의 형상을 그대로 모사하였다. 단, 하중과 지점조건 및 시험체 형상의 대칭성과 해석효율성을 고려하여 대칭모형으로(half modeling) 구성하였다. 지점 조건은 그림 117와 같이 재하시험 계획과 동일하게 적용하였으며, 가력 시험시 시험체 하부에 강봉을 사용하여 마찰력을 최소화하게 되므로 아랫면에서 발생하는 마찰력은 무시하였다. 하중은 실제 파일가이드부의 설계하중인 1.25톤부터 최대 15톤까지 적용하여 해석하였으며 가이드부재에 인장력으로 적용하였다. 연결부 모형의 유한요소해석과 마찬가지로 선형해석만을 고려하였으며 부분모형 시험의 계획시 최대 가력 수준 설정과 결과분석 참고용으로 실시하였다.

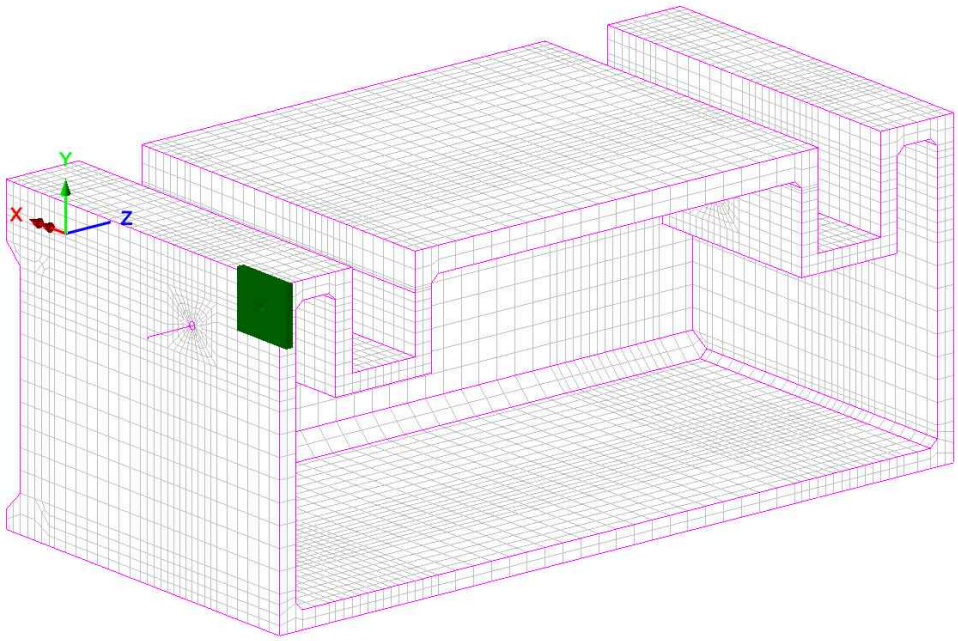


그림 116. 파일가이드 시험체 유한요소 해석모형

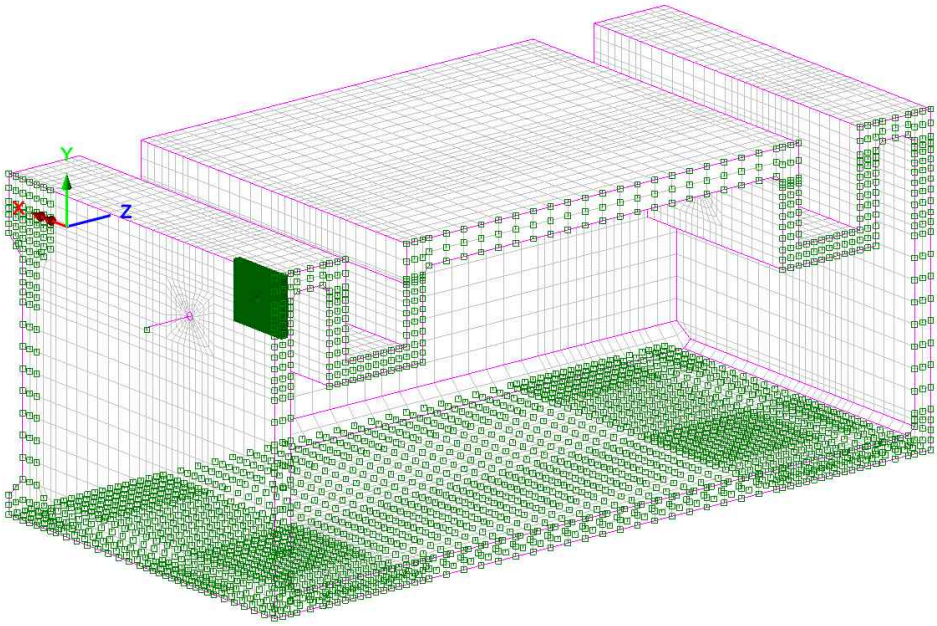


그림 117. 파일가이드부 시험체 모형의 지점 및 하중 조건

그림 118은 고정블록 주변의 모형화를 나타낸 것이다. 원 설계는 유틸리티 채널에 마련된 수용공간의 외측면에 고정블록이 맞닿아 지압으로 파일가이드로부터 전달되는 외력에 저항하는 형태이나, 본 실험에서는 단순화를 위해 고정블록을 두께 20mm의 지압판으로 대체하였다. 이는 인장만 받을 수 있는 bar 요소를 지압판 앵커공 주변 요소와 rigid connection 기능을 사용하여 강결시키는 방법으로 모형화하였다.

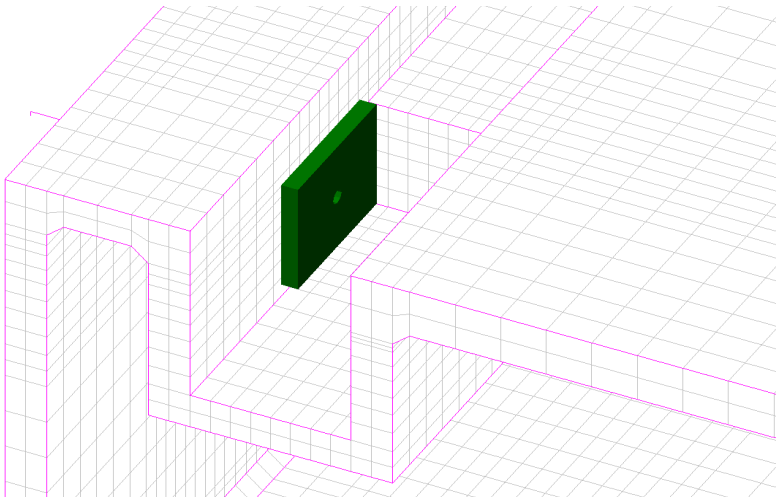


그림 118. 고정블록 주변의 모형화

그림 119과 그림 120은 발생 변위에 대한 해석 결과로 설계하중인 1.25톤 재하시 최대 약 0.04mm의 변위가 발생하는 것으로 나타났다. 변형은 고정블록이 삽입되는 부위

가 가력 방향으로 휨변형을 일으키는 형태로 나타났다.

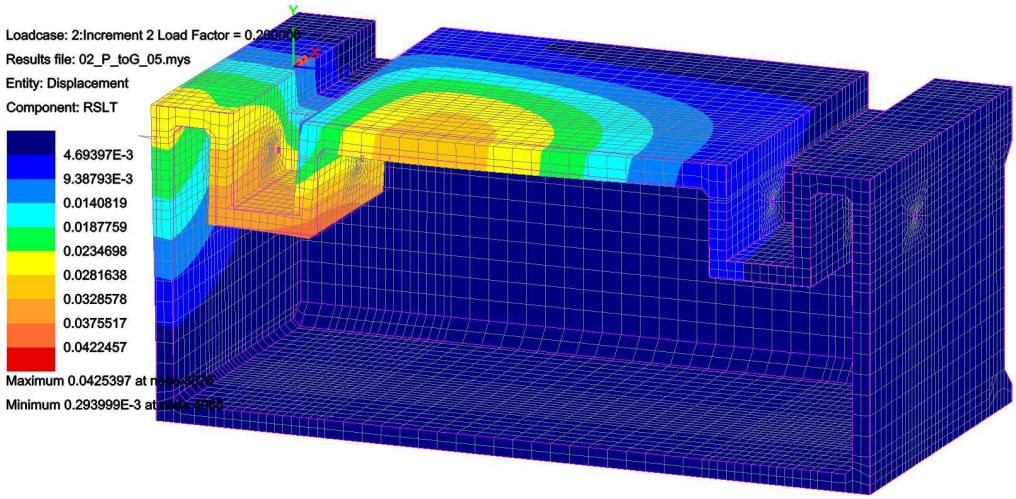


그림 119. 해석결과 (변위, mm)

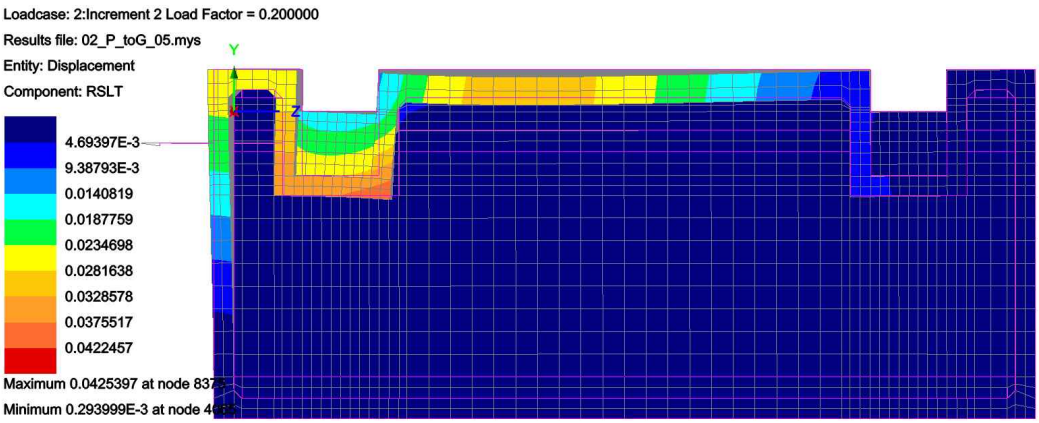


그림 120. 해석결과 (변위, mm)

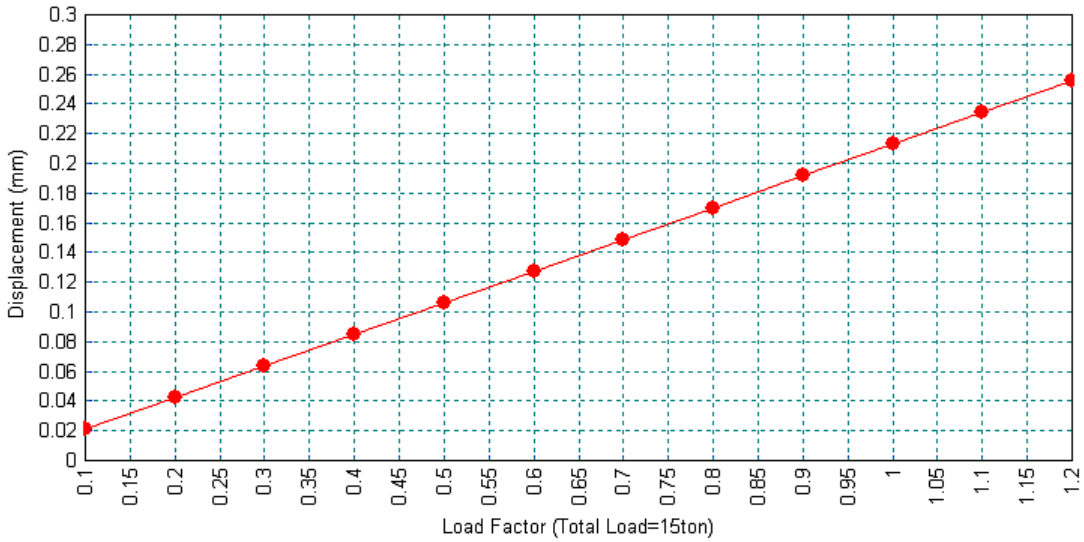


그림 121. 하중계수에 따른 발생변위 (mm)

그림 121는 최대하중(하중계수 1.2)을 15tonf로 설정하여 0.1~1.2 사이의 하중계수별 발생변위를 나타낸 것이다. 선형해석의 한계상 하중계수와 비례하여 변위가 발생하였으나 하중계수가 약 0.5를 초과하면서 콘크리트에 인장응력에 의한 손상이 발생하여 이후의 구간에서의 실험결과는 해석결과를 초과하는 변위가 발생할 것으로 예상되었다.

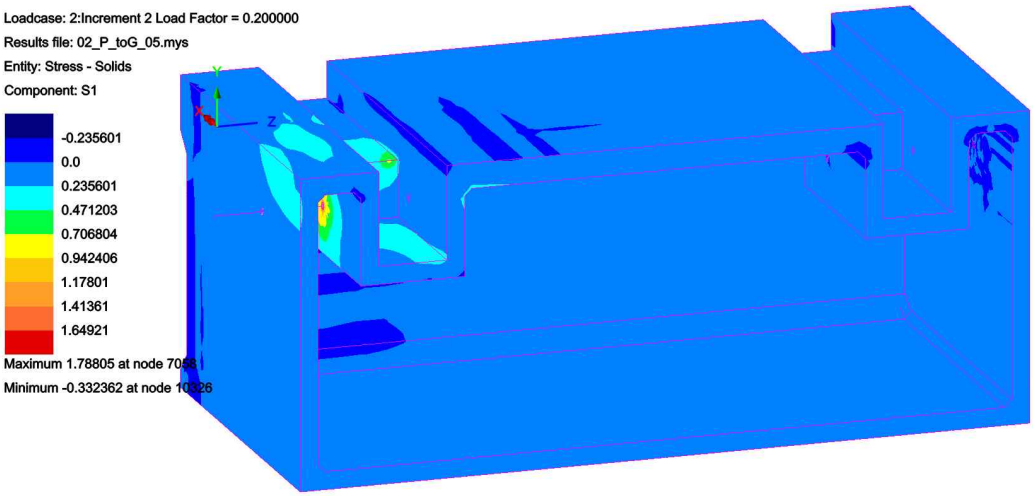


그림 122. 해석결과 (최대주응력, MPa)

그림 122~124는 하중재하에 의한 폰툰의 손상을 예측하기 위해 최대주응력을 나타낸 것이다. 파일가이드와의 연결부재가 지압판을 통해 고정블록 삽입부를 가압함에 따라 앵커공의 외측면 주변에 최대주응력이 발생하였다. 설계하중에 해당하는 1.25ton

가력시에 발생하는 최대주응력은 1.8MPa 수준으로 설계압축강도 50MPa인 콘크리트 적용시 허용인장력인 5MPa의 36% 수준으로 충분한 내하력을 확보하고 있는 수준인 것으로 나타났다. 그러나 국부적으로 반복되는 인장응력이라는 점에서 장기공용시 콘크리트의 피로손상의 위험이 존재하며 부재 두께가 얇아 효율적인 철근배근이 어렵고 내측부터의 손상이 야기되어 사전에 손상을 발견하기 어렵다는 점을 고려하였을 때 최종 설계에 있어서는 내구성 증진을 위한 구조개선이 필요할 것으로 판단된다. 외벽과 고정블록 삽입부위 사이에 격벽을 설치하는 방법으로 응력수준을 효과적으로 저감시킬 수 있을 것으로 판단되며 이는 추후 최종 설계에 반영할 계획이다.

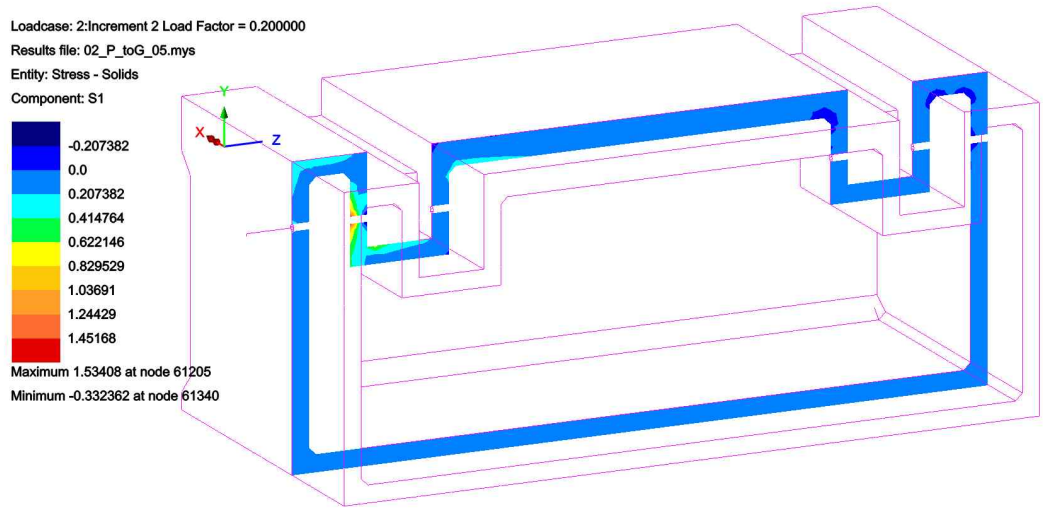


그림 123. 최대주응력 발생 단면 (최대주응력, MPa)

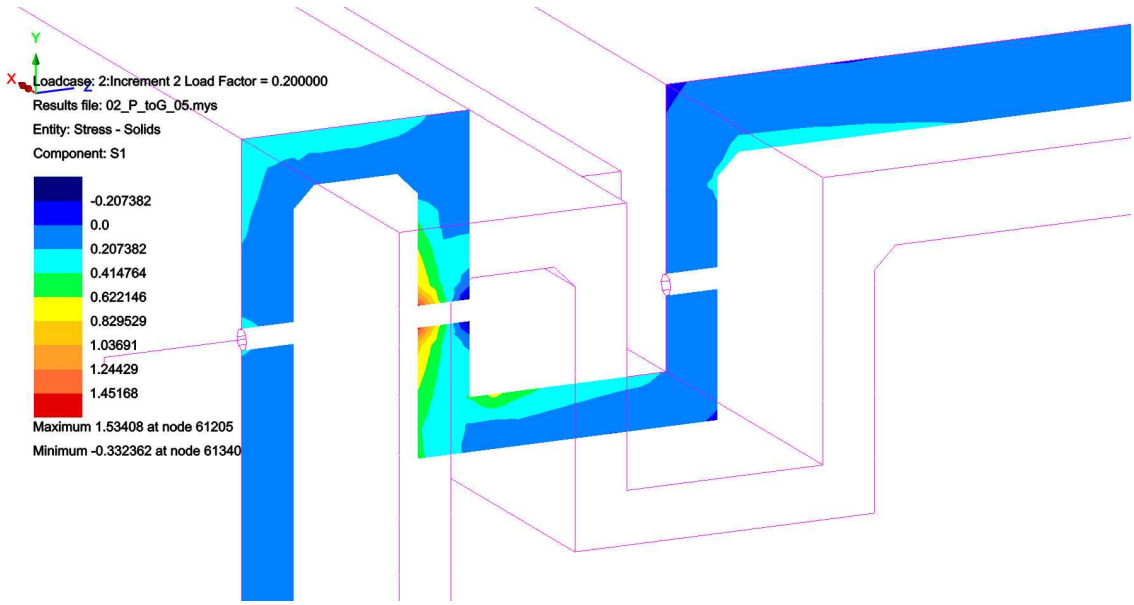


그림 124. 최대주응력 발생 부위 (최대주응력, MPa)

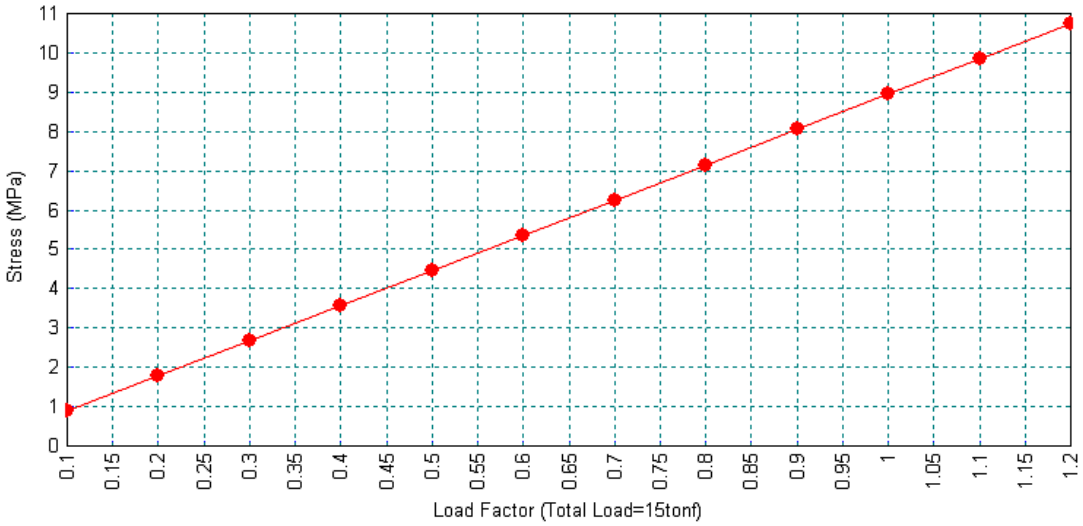


그림 125. 하중계수에 따른 발생 최대주응력 (MPa)

그림 125은 최대주응력이 발생하는 부위의 하중계수별 응력을 나타낸 것으로 설계 압축강도 50MPa인 콘크리트의 허용인장응력을 초과하는 하중계수는 0.56으로 약 7.5tonf의 하중이 재하되었을 경우이며 이는 6배의 안전율을 확보할 수 있는 수준이다. 그러나 전술한 바와 같이 구조개선을 통해 정적하중에 대한 추가 안전율 확보는 물론 장기공용성능을 위한 내구성 증진이 가능할 것으로 판단된다.

(다) 상세해석 결과

본 절에서는 부분모형 재하시험을 통해 구조성능을 검증할 폰툰간 연결부와 파일가이드 연결부에 대한 상세해석을 실시하였다. 설계 하중을 상회하는 재하조건을 가정한 해석결과, 주요 부위에 대한 변위와 응력은 충분한 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타나 본 연구에서 개발한 폰툰 단면과 주요 상세의 구조적 타당성을 입증하였다.

(3) 부분모형 재하시험

(가) 연결부 모형 시험체

그림 126은 연결부 모형 시험체의 가력시험 계획을 나타낸 것으로 연결부 모형 시험체, 반력지그, 액츄에이터, 가력지그 및 고정지그로 구성되어 있다. 액츄에이터는

1,000kN 급으로 최대 스트로크는 500m이고 가력속도는 분당 10mm로 설정하였다. 실제 배치된 시험체는 그림 127~128과 같다.

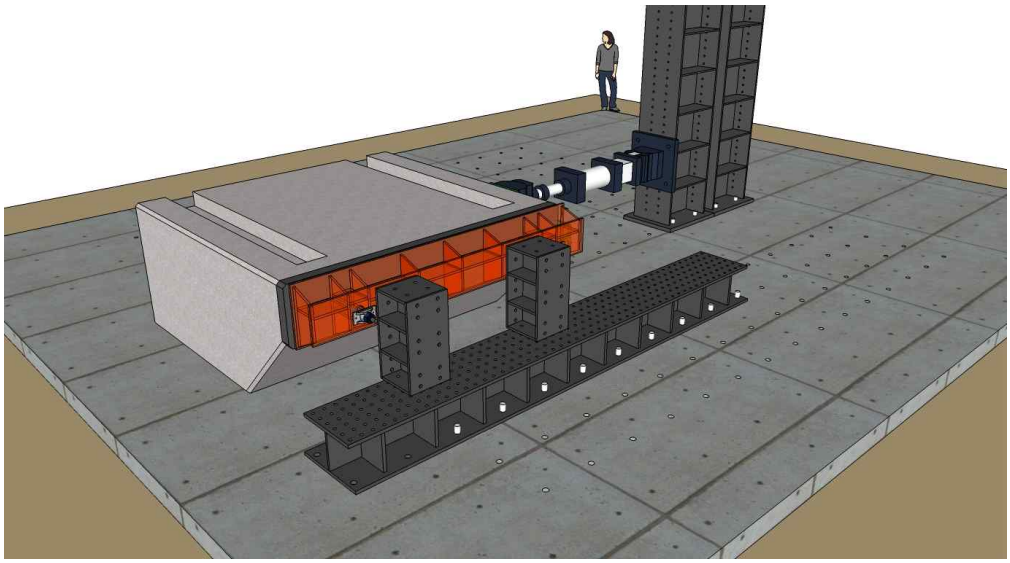


그림 126. 연결부 모형 시험체 가력시험 계획

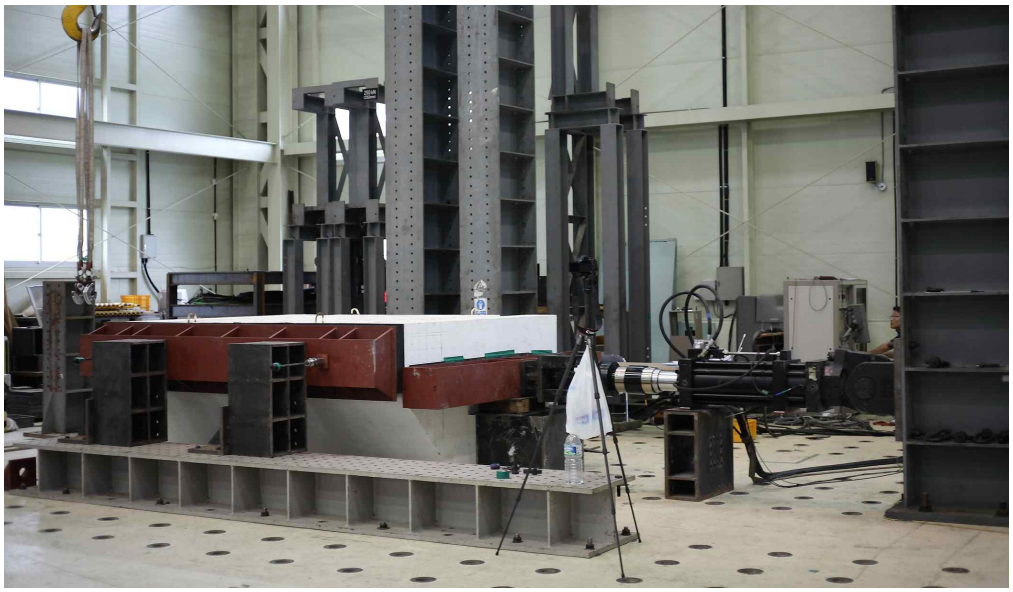


그림 127. 연결부 모형 시험체 시험 전경

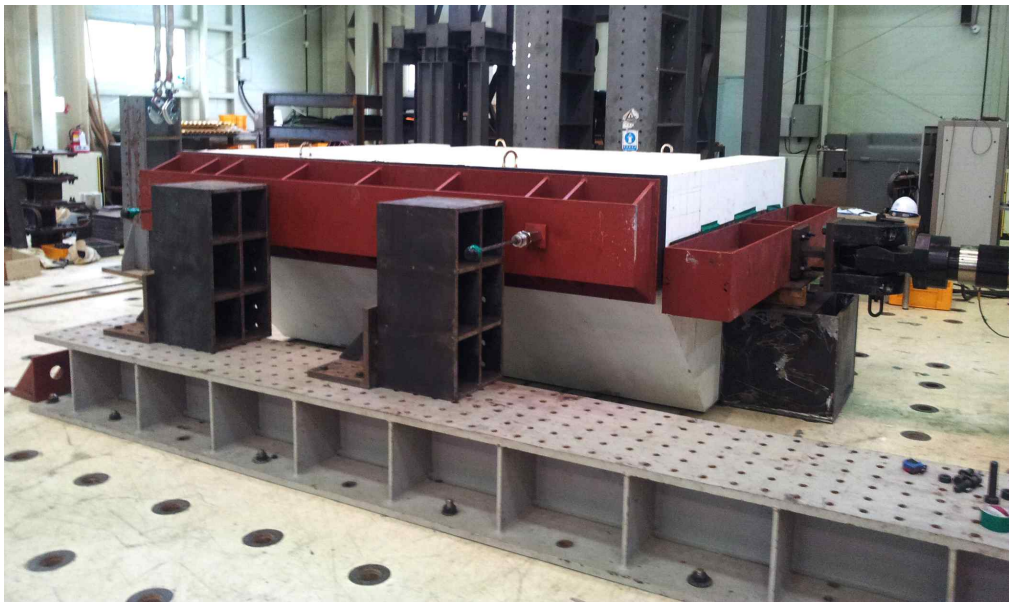


그림 128. 가력 지그 및 고정 지그

해석결과와 마찬가지로 대부분의 변위는 그림 130과 같이 고무판과 강연선의 연성으로 인하여 시험체가 전체적으로 수평 이동하는 형태로 발생하였다. 그림 130은 가력시험시 하중-변위 관계를 나타낸 것으로 대부분 고무판과 강연선의 탄성거동으로 저항하다가 약 20tonf 재하시부터 재하면의 벽체를 따라 상면에 균열이 발생하기 시작하였고(그림 131a) 이후 균열이 약 23tonf 재하시부터 인장력이 작용한 재하면 측 연결장치 체결부의 응력집중부(그림 131b)와 재하면의 벽체(그림 131c) 등에 균열이 발생하면서 파괴에 도달하였다. 균열양상은 유한요소해석 결과와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며 균열하중은 다소 차이가 발생하였는데, 이는 무근상태의 콘크리트를 가정한 유한요소해석 모형에 비해 실제 시험체는 철근 및 와이어매쉬로 일부 보강이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

연결부 모형 시험체의 가력시험 결과, 유한요소해석에 의한 시험체의 내하성능 예측은 성공적으로 이루어진 것으로 확인되었으며 철근 및 와이어매쉬의 적용으로 실제 구조물은 2.5배 이상의 충분한 안전율을 확보한 것으로 판단된다. 또한 본 시험에서는 모든 횡하중을 측벽 일부분에 집중하여 가력하였으나 실제 폰툰은 횡력이 전 길이에 분포되어 작용하므로 연결부 부근을 제외한 다른 부분은 훨씬 양호한 응력상태를 보일 것으로 판단된다.



그림 129. 연결부 시험체 가력시험 결과: 시험체의 수평 이동

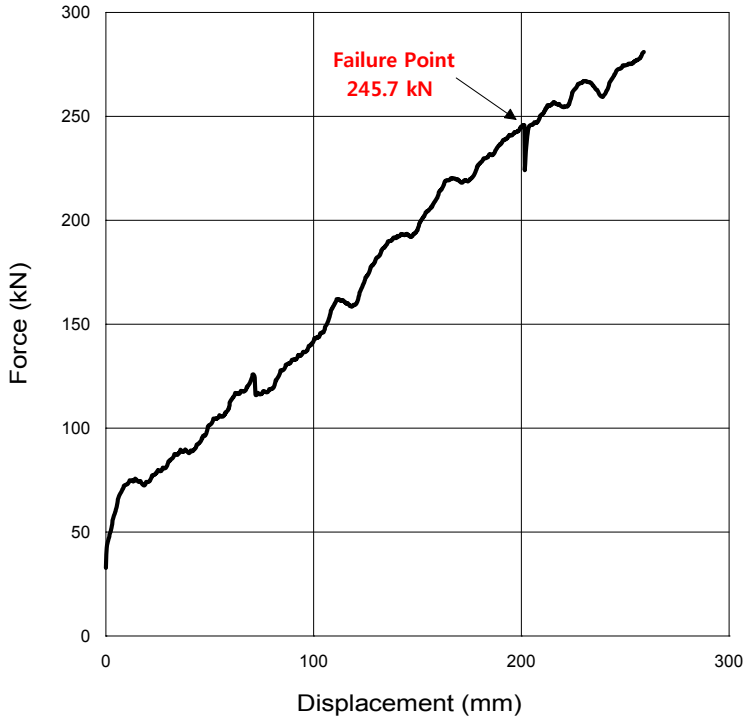
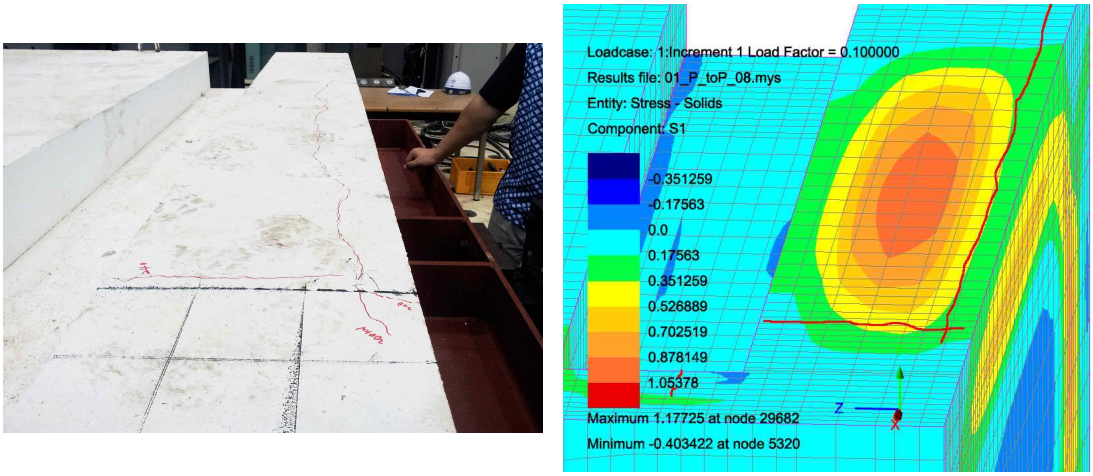
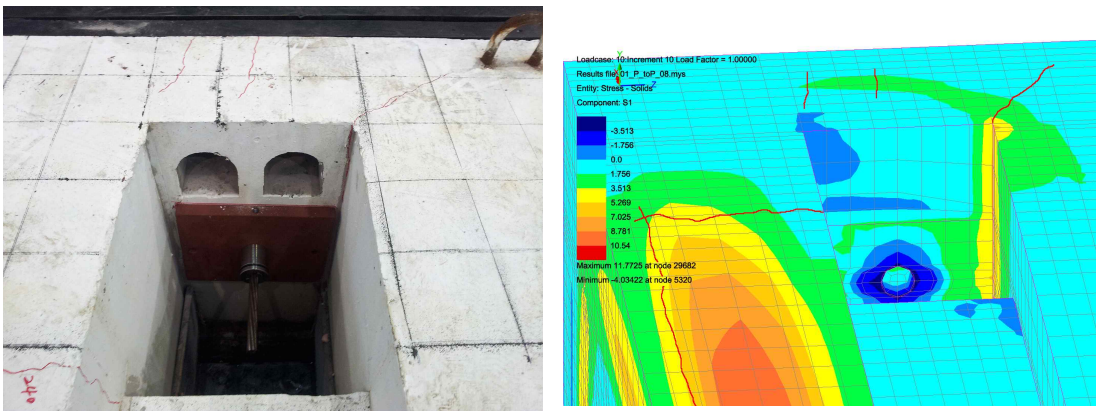


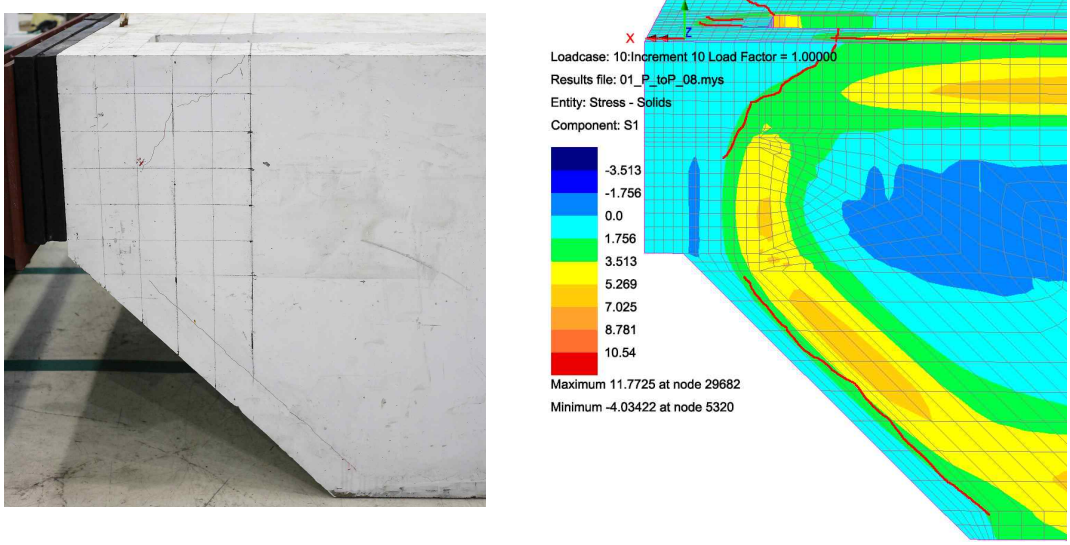
그림 130. 하중-변위 관계도



(a) 재하면 벽체 상면



(b) 연결장치 체결부 주변



(c) 재하면 단부 주변

그림 131. 시험체 균열도

(나) 파일가이드부 모형 시험체

그림 132은 파일가이드부 모형 시험체의 가력시험 계획을 나타낸 것으로 파일가이드부 모형 시험체, 반력지그, 액츄에이터, 가력지그 및 고정지그로 구성되어 있다. 액츄에이터는 1,000kN 급으로 최대 스트로크는 500m이고 가력속도는 분당 10mm로 설정하였다. 실제 배치된 시험체는 그림 133 ~ 135와 같다.

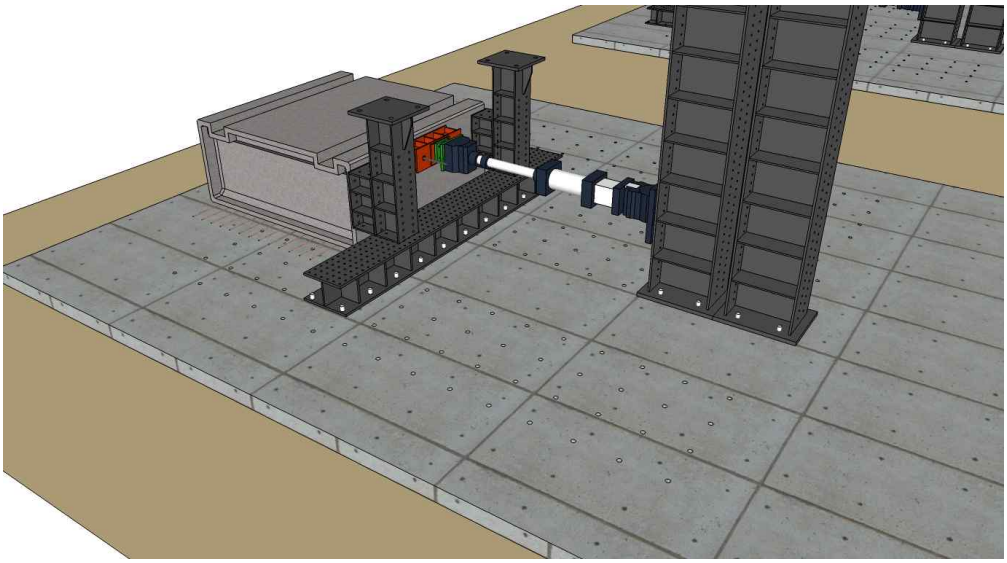


그림 132. 파일가이드부 모형 시험체 가력시험 계획

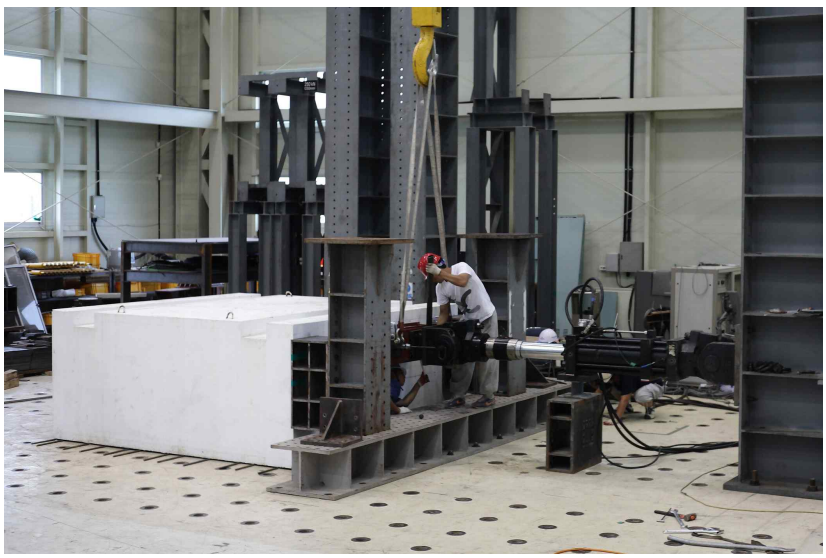


그림 133. 파일가이드부 모형 시험체 시험 전경



그림 134. 고정 지그



그림 135. 가력 지그

그림 136은 가력 시험시 하중-변위 관계를 나타낸 것이다. 약 15tonf 재하시부터 양측 고정블록 삽입부의 모서리를 따라 균열이 발생하기 시작하며(그림 137) 강성저하가 발생하였으며 균열은 하중 증가에 따라 유틸리티 채널 하부 모서리와 벽체로 진전되었다. 약 18tonf 재하시 좌측 지압판 재하면에서 펀칭파괴가 발생하였으나 철근망과 우측 고정장치로 계속 하중에 저항하다가 약 22tonf 재하시 우측 지압판 재하면도 펀칭파괴를 일으키며 실험이 종료되었다.

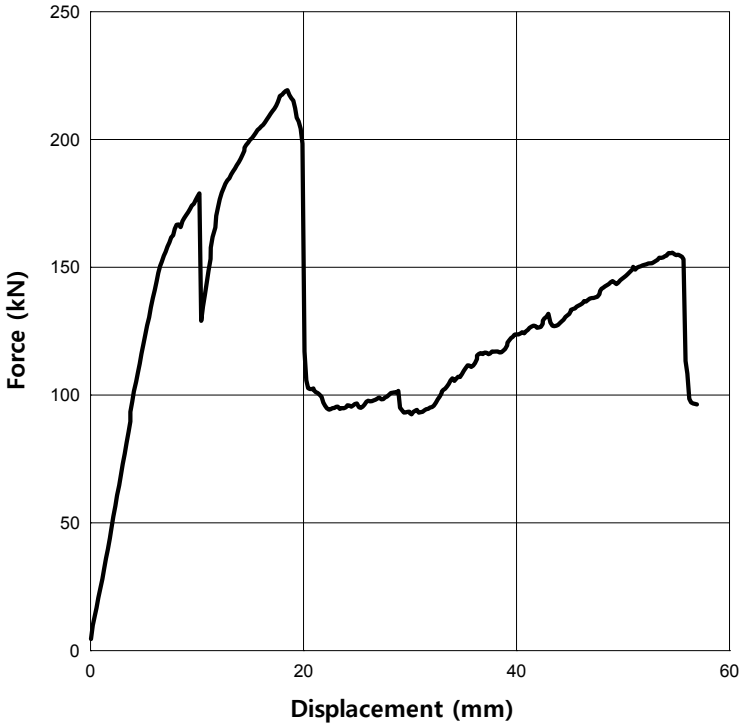
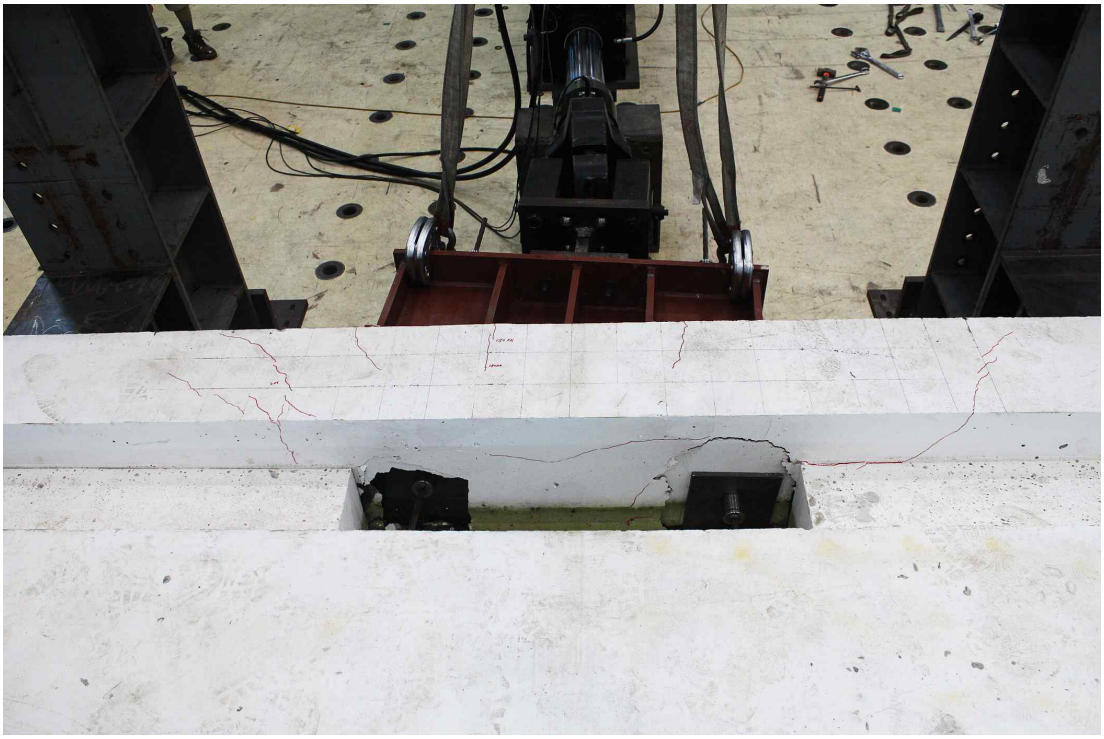


그림 136. 하중-변위 관계도

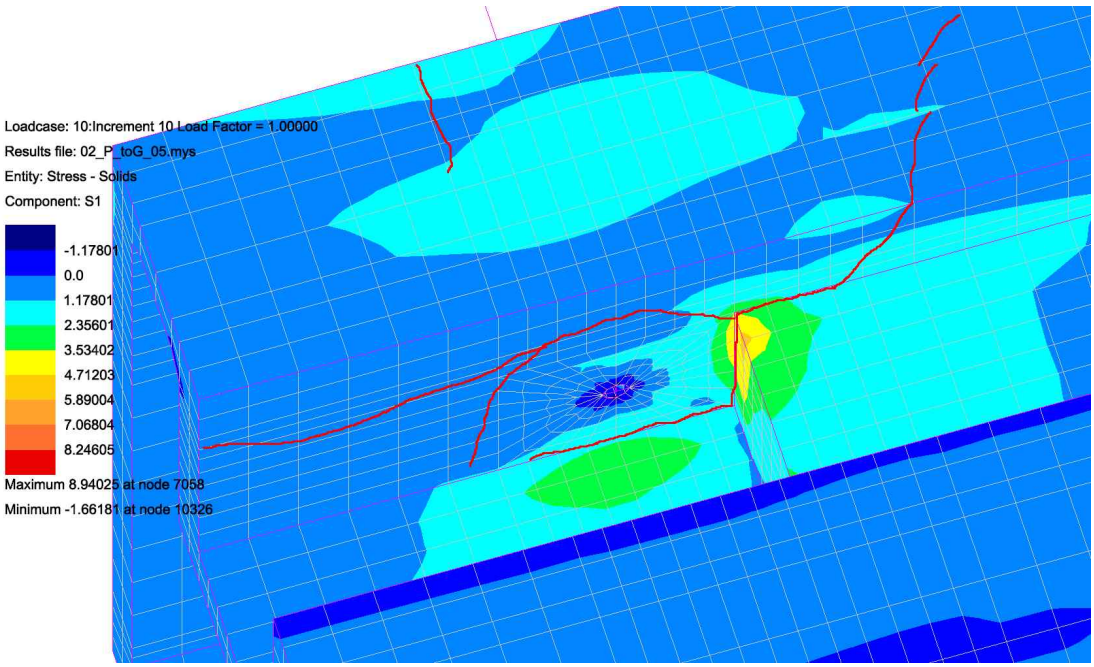
펀칭파괴 하중은 해석결과로부터도 유추 가능하다. 재하시험에 의한 최대주응력을 나타낸 그림 137을 살펴보면 하중계수 0.2인 2.5톤 가력시 지압판에 의한 지압면의 내측 벽에 발생하는 인장력은 0.415~0.622MPa 수준이다. 평균적인 인장력을 0.55MPa로 가정한다면 설계강도 50MPa콘크리트의 허용인장력인 5MPa을 초과하는 하중계수는 1.82로 이때의 가력하중은 22.5톤 수준이 되며 그림 136에서 보이는 최종 펀칭파괴 시점과 유사한 결과를 보인다.

실험시 좌측 지압판 재하면이 해석값에 못미치는 하중(약 18톤)에서 펀칭파괴를 일으킨 원인은 시험체 제작오차로 벽체가 얇게 제작되었기 때문인 것으로 나타났으며, 파괴된 시험체의 실측결과 4~5cm에 불과하여 설계값인 8cm에 50% 수준이었다. 제작오차의 주된 원인은 콘크리트 타설시의 압력으로 인한 EPS 블록의 밀림 현상인 것으로 파악되었으며 이와 같은 현상을 방지하기 위해서는 설계 및 시공 방법에 있어 개선이 필요한 것으로 판단된다.

파일가이드부 모형 시험체의 가력시험 결과, 유한요소해석에 의한 시험체의 내하성능 예측은 성공적으로 이루어진 것으로 확인되었으며 철근 및 와이어매쉬의 적용으로 실제 구조물은 6배 이상의 충분한 안전율을 확보한 것으로 판단된다. 그러나 펀칭파괴에 취약하고 시공오차에 의한 내하력 저하 우려를 감안한다면 최종 설계에는 구조상세에 수정이 필요한 것으로 판단된다.



(a) 파일가이드 고정블록 삽입부 주변



(b) 유한요소해석 결과

그림 137. 시험체 균열 양상 및 유한요소해석 결과



(a) 좌측 지압판 재하면 최종 파괴형상



(b) 우측 지압판 재하면 최종 파괴형상

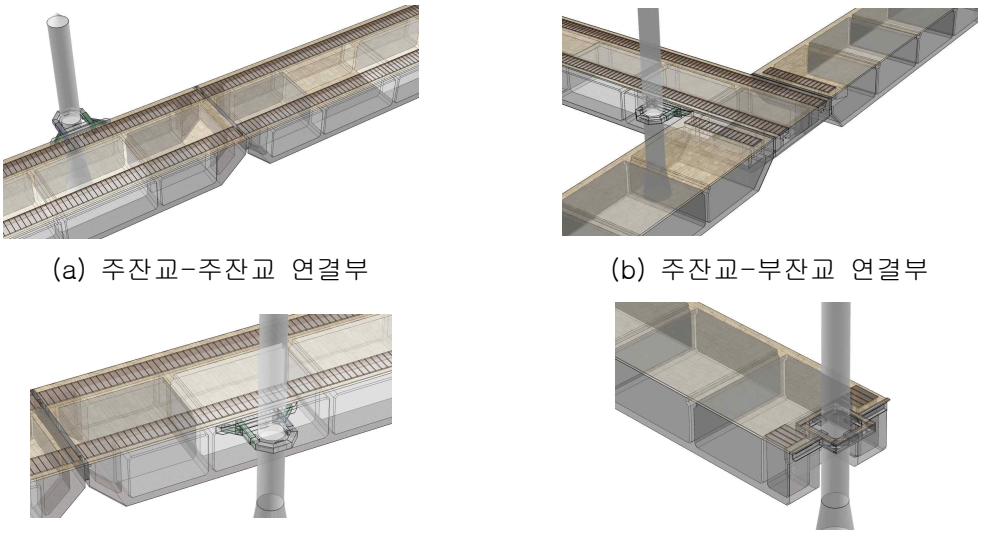
그림 138. 시험체 최종 파괴형상

라. 주요 상세 구조검토

부분모형 재하시험 결과 제안된 최적 단면형상은 설계하중에 대해 6배 이상의 충분한 안전률을 확보하고 있는 것으로 나타났으며, 균열 및 파괴양상도 해석결과와 잘 일치하는 것으로 나타나 본 연구에서 적용한 해석기법도 타당한 것으로 분석되었다.

마리나 설계시 설계파고는 50년 재현주기 파랑을 사용하며 허용 최대 파고는 0.3m이며 이상시 0.5m를 기준으로 한다(항만 및 어항 설계기준, 2005). 그러나 국내 계획중인 마리나의 경우 이와 같은 설계파고를 만족시킬 수 있도록 방파제가 설치된 경우는 드문 현실이며, 실제로 규정된 최대 파고의 두 배에 이르는 1m 이상의 설계파고로 마리나를 설계하는 경우가 빈번한 실정이다. 따라서 정온도가 충분히 확보된 환경에서 적용하도록 설계된 외국의 폰툰을 그대로 적용하거나 구조성능에 대한 검증이 이루어지지 않은 폰툰을 적용할 경우 계류시설의 심각한 손상이 예상되며 실제로 매년 많은 계류시설에서 폰툰의 손상사례가 보고되고 있다. 특히 잦은 태풍에 노출되는 국내 항만 환경의 특성상, 20년 이상의 설계수명을 기대하기 위해서는 충분한 내구성에 대한 검토가 필요함에도 불구하고 국내 적용 중인 폰툰에 대한 상세 구조해석이나 구조실험 사례는 찾아볼 수 없는 실정이다.

계류시설 폰툰에서 손상에 취약한 부위는 주잔교-주잔교 연결부, 주반교-보조잔교 연결부, 파일가이드 연결부 등 설계하중 작용시 응력이 집중되는 부위이다. 본 연구에서는 1m 이상의 설계파고에서도 충분한 내구성 확보가 가능한 콘크리트 폰툰을 개발하기 위하여 주요 상세를 설계하였으며 본 장에서는 이에 대한 구조검토를 수행한다.



(a) 주잔교-주잔교 연결부 (b) 주잔교-부잔교 연결부

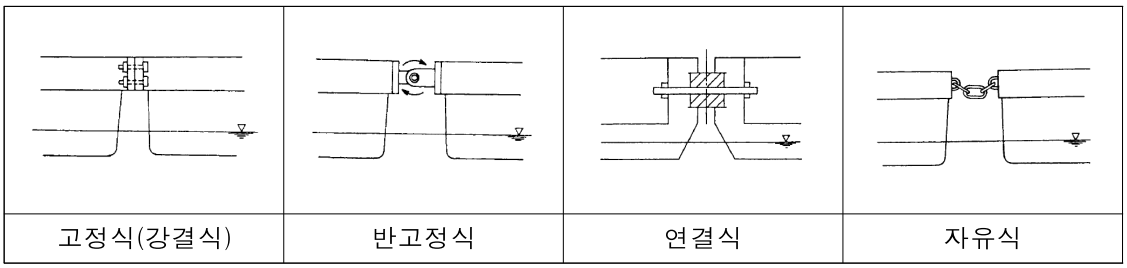
(c) 파일가이드 연결부(주잔교) (d) 파일가이드 연결부(보조잔교)

그림 141. 콘크리트 부잔교의 손상 취약 부위

(1) 주잔교-주잔교 연결부

(가) 고내구성 설계

부잔교의 연결방법은 고정식, 반고정식, 연결식, 자유식 등 다양한 방법이 있으나 콘크리트 모노코크 부잔교의 경우에는 부잔교 사이에 탄성체를 끼워 볼트 등으로 연결하고 탄성체의 변형에 의해 상하좌우로 자유도를 주는 연결식 방법이 가장 일반적으로 활용되고 있다. 고정식이나 반고정식 연결방법은 자유도가 부족하여 고정장치와 콘크리트의 연결부위에서 콘크리트의 취성으로 인한 파괴에 취약한 단점이 있으며 자유식 연결방법은 자유도는 더 높으나 안정성이 떨어지는 단점이 있다.



고정식(강결식)	반고정식	연결식	자유식

그림 142. 부잔교의 연결 방식 [32) 33)]

본 연구에서도 주잔교와 주잔교의 연결부에 자유도와 안정성이 절충된 연결식 연결방법을 채택하였다. 연구개발 초기단계에서는 유공경질고무판을 탄성체로 활용하여 주잔교 전 폭에 걸쳐 적용하는 안을 검토하였다. 위 안은 별도의 발판 설치가 필요 없고 안정성은 유지하면서도 보다 높은 자유도를 확보하여 부잔교의 내구성을 향상시킬 수 있는 장점은 있으나 해상환경에 적용할 수 있는 고무가 고가임에 따라 경제성이 낮은 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 연결식 연결방법의 장점은 유지하면서 시공성과 내구성을 향상시킬 수 있는 연결장치를 고안하였으며 부잔교의 연결부 부위 콘크리트에 다량의 보강철근을 효과적으로 배치하여 높은 내하력을 확보하였다(그림 147 ~ 그림 148).

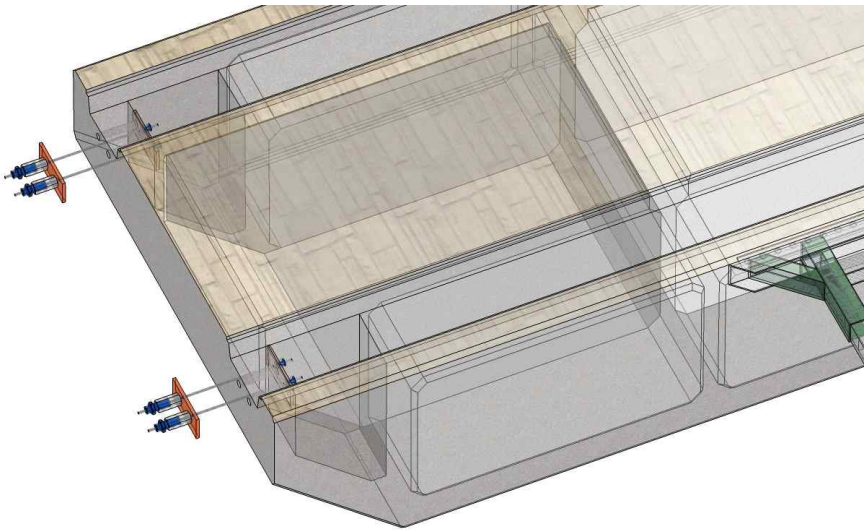


그림 147. 주잔교-주잔교 연결부

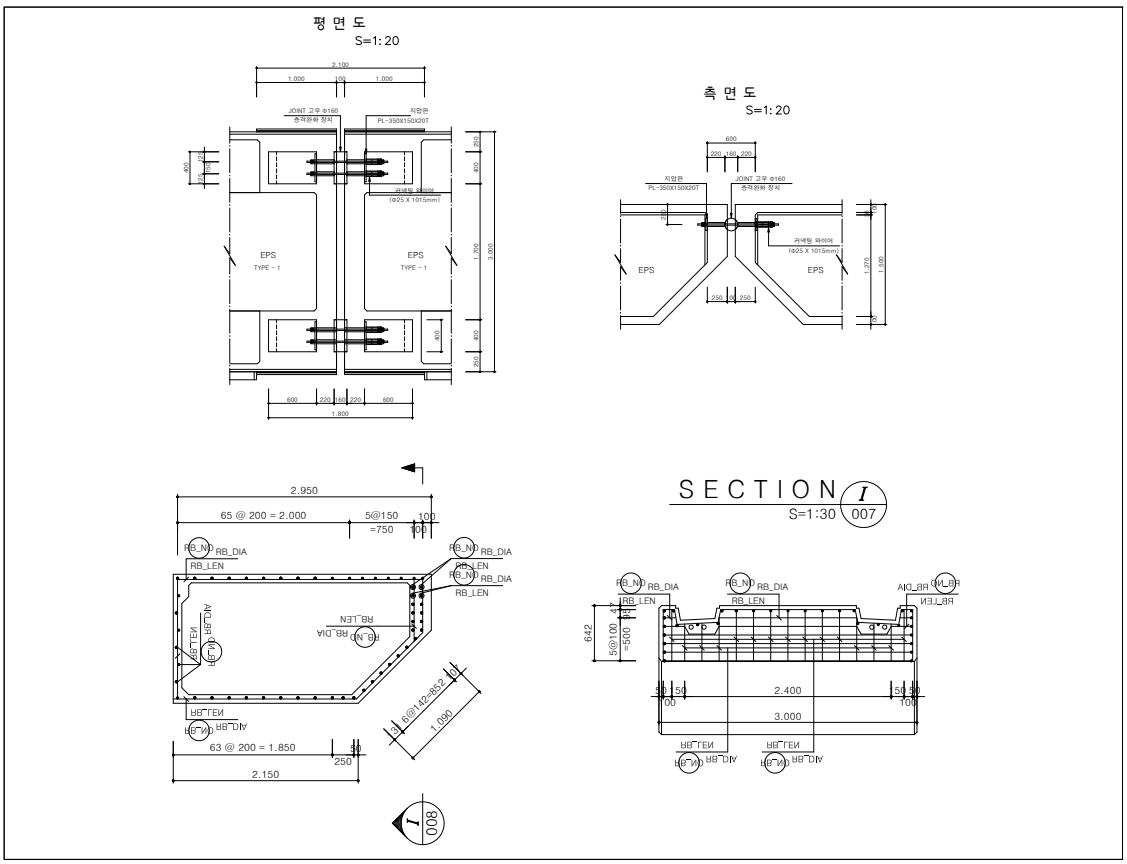


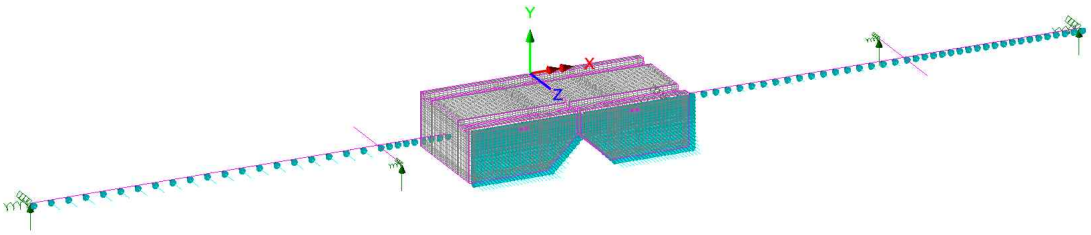
그림 148. 주잔교-주잔교 연결부 설계도면

(나) 구조상세 검토

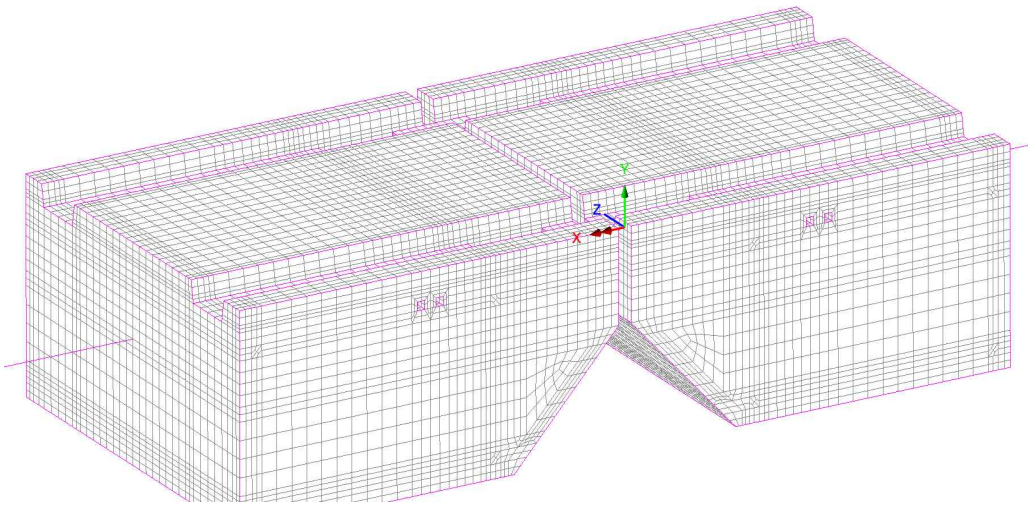
① 주잔교-주잔교 연결부 유한요소해석 모형

주잔교-주잔교 연결부의 구조상세 검토를 위하여 상세 구조해석을 실시하였다. 유

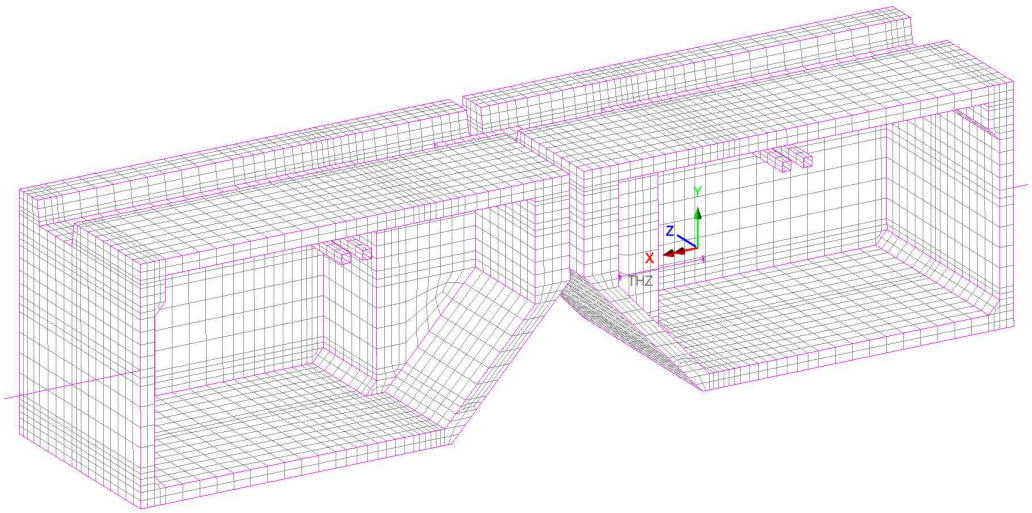
한요소해석 모형은 범용유한요소해석 프로그램인 LUSAS v14를 이용하였다. 그림 5와 같이 국부적인 응력검토를 위하여 두 개의 주잔교 선단을 솔리드 요소(HX8M)로 상세해석부를 모형화하였으며 하중조건과 경계조건을 부여하기 위해 상세해석부를 제외한 나머지 부분은 보요소로 모형화하였다.



(a) 주잔교-주잔교 연결부 전체 해석모형



(b) 주잔교-주잔교 연결부 상세해석부 모형



(c) 주잔교-주잔교 연결부 상세해석부 모형 내부 형상

그림 150. 주잔교-주잔교 연결부 해석모형

연결장치는 부분모형시험으로부터 검증된 연결부 유한요소 모형과 동일하게 bar요소와 rigid connection 기능을 사용하여 강결시키는 방법으로 모형화하였다. 지점조건은 계류말뚝의 휨강성을 스프링계수로 치환하여 적용하였으며 설치 위치는 실제 설계된 계류시설을 기준으로 하였다. 하중조건은 설계파고 1m, 순간최대풍속 35m/sec, 조류속 0.5m/sec을 가정하여 총 11.3kN/m의 하중을 주잔교의 전체 길이에 걸쳐 측면에 적용하였다.

② 주잔교-주잔교 연결부 구조검토 결과

그림 151은 설계하중에 의해 주잔교-주잔교 연결부에 발생하는 주응력을 나타낸 것으로 연결장치가 인장력을 받게 되는 재하면 반대 편에서 최대값인 3.5MPa이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 설계압축강도 50MPa급 콘크리트의 허용인장강도(5MPa) 대비 약 70%에 해당되는 값이며 그림 147 및 그림 148와 같이 연결부 주변에는 다량의 보강철근이 배근되므로 1m의 설계파고 조건에서도 충분한 안전율를 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 설계하중에 의한 변위는 그림 152과 같이 최대 6cm가 발생하는 것으로 나타났으며 이는 스프링으로 모형화한 파일의 수평변위에 의한 것으로 부잔교간 충돌은 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

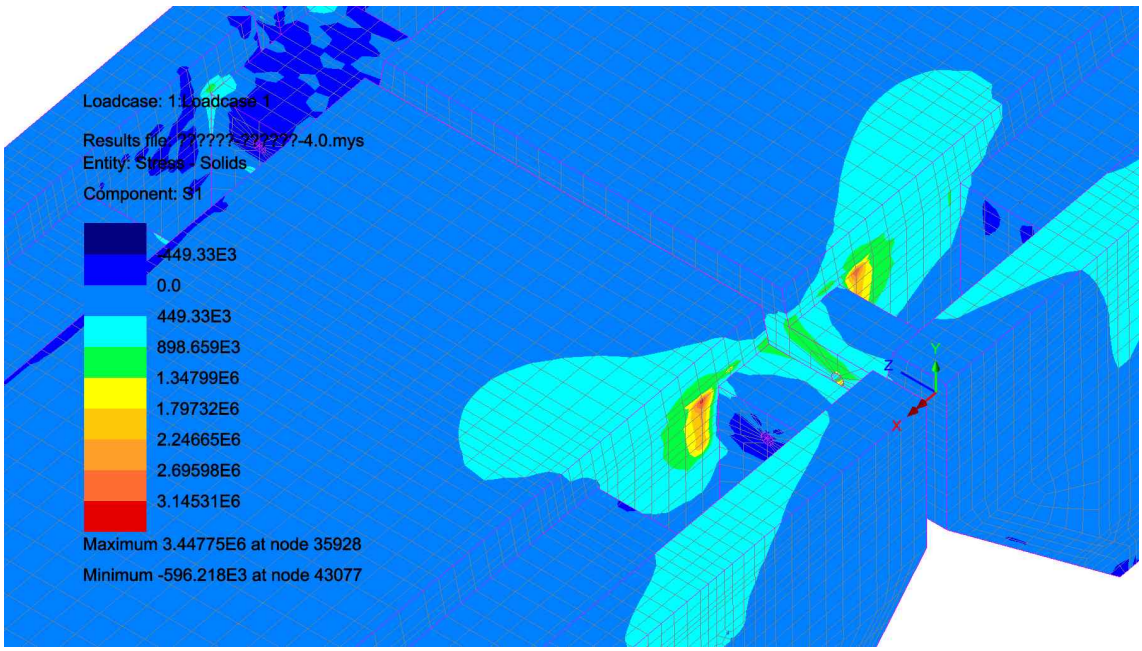


그림 151. 주잔교-주잔교 연결부 해석결과 (주응력)

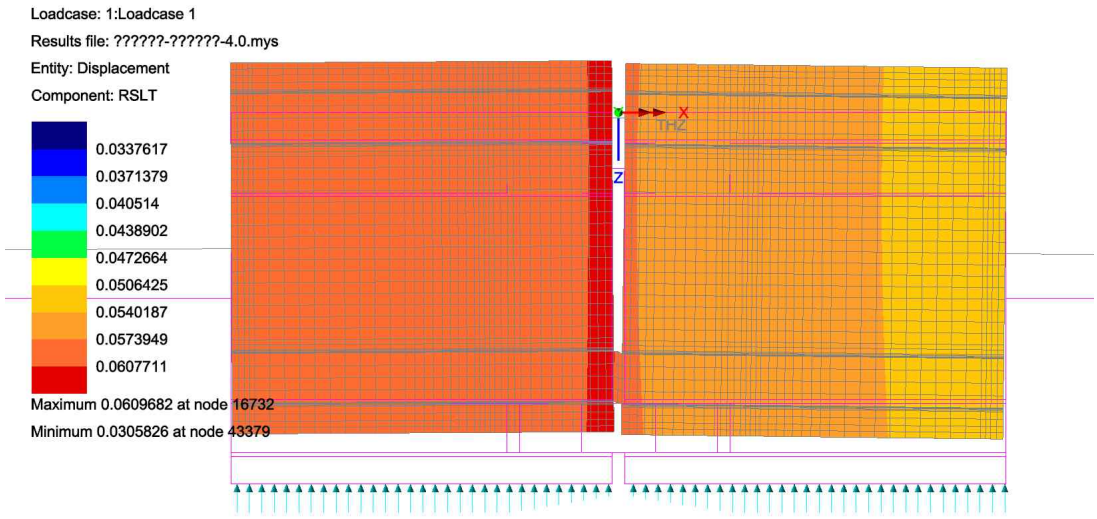


그림 152. 주잔교-주잔교 연결부 해석결과 (변위)

(2) 주잔교-보조잔교 연결부

(가) 고내구성 설계

주잔교와 보조잔교의 연결부 역시 기본적으로 주잔교-주잔교 연결방법과 동일한 연결식을 적용하였다. 보조잔교는 주잔교의 어느 부위에라도 연결 가능하도록 설계하여야 효율적인 계류시설의 설계가 이루어질 수 있다. 즉, 주잔교의 격벽부가 위치하는 부위에 보조잔교 연결부를 설치할 경우 격벽부가 버팀부재 역할을 하여 효율적인 하중저항구조가 확보될 수 있으나 대부분의 경우에는 두께 10cm인 측벽부에 직접 보조잔교의 단부가 접하게 된다. 이 경우 보조간교 단부의 회전거동에 의해 연결부 중 한쪽에는 강한 축력이 작용하게 되며 10cm 두께인 측벽부로는 내하성능이 부족하게 된다. 따라서 최종 설계에서는 그림 153과 같이 강재로 제작된 버팀보를 주잔교 내부에 설치하여 측벽의 두께는 그대로 유지하면서도 축력을 효과적으로 견딜 수 있도록 고안하였다.

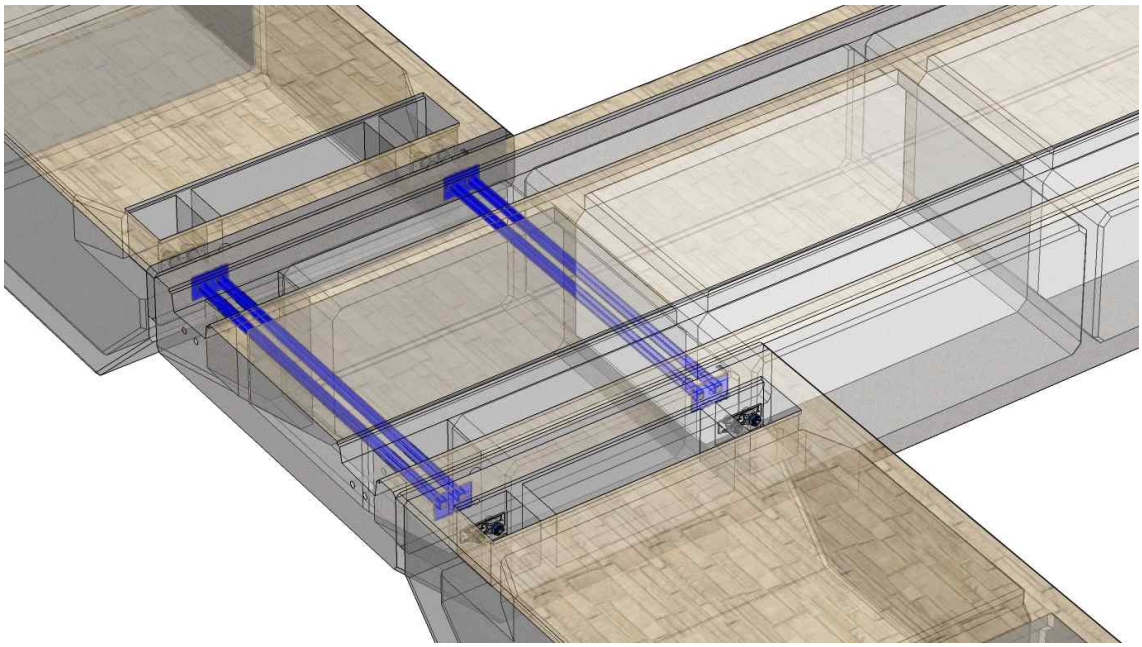


그림 153. 주잔교-보조잔교 연결부 상세

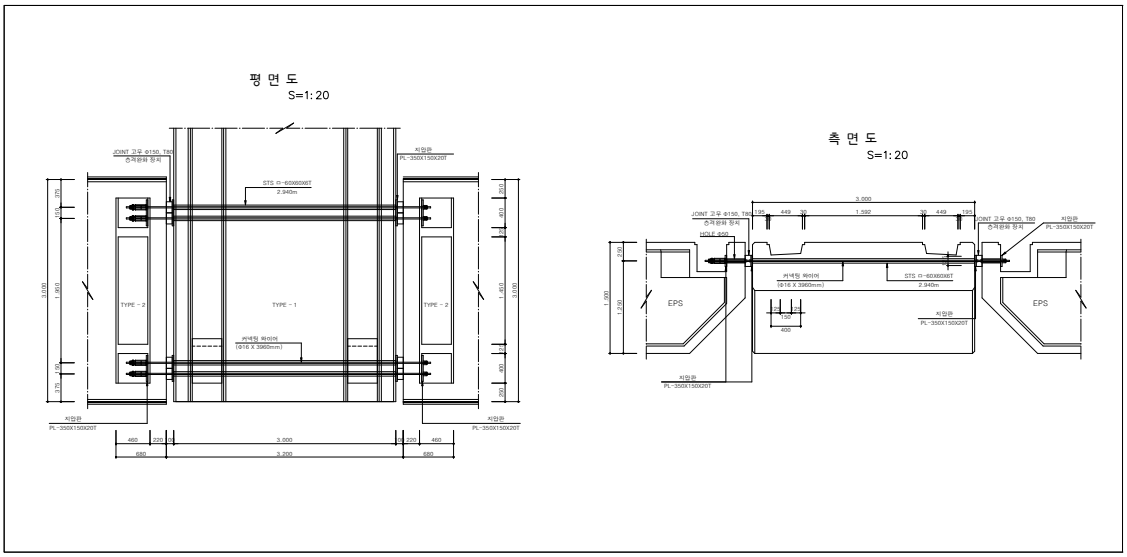


그림 154. 주잔교-보조잔교 연결부 설계도면

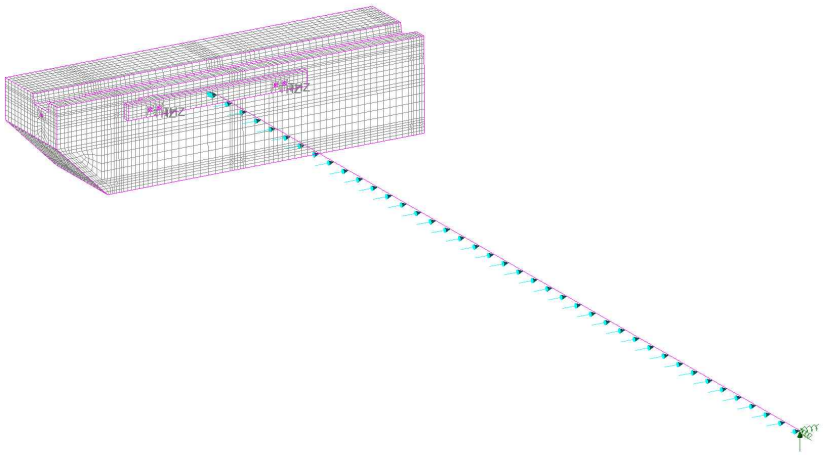
(나) 구조상세검토

① 주잔교-보조잔교 연결부 유한요소해석 모형

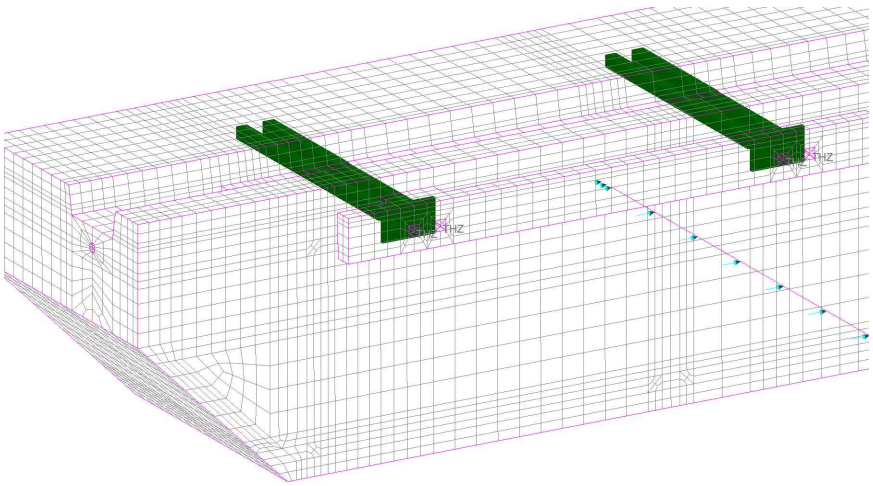
주잔교-보조잔교 연결부의 구조상세 검토를 위하여 상세 구조해석을 실시하였다. 유한요소해석 모형은 범용유한요소해석 프로그램인 LUSAS v14를 이용하였다. 그림

155(a)와 같이 국부적인 응력검토를 위하여 주잔교 일부(half modelling)를 솔리드 요소(HX8M)로 모형화하였으며 하중조건과 경계조건을 부여하기 위한 보조잔교의 경우 단부를 제외한 나머지 부분은 보요소로 모형화하였다.

연결장치는 앞의 유한요소 모형과 동일하게 bar요소와 rigid connection 기능을 사용하여 강결시키는 방법으로 모형화하였다. 지점조건은 계류말뚝의 휨강성을 스프링계수로 치환하여 적용하였으며 설치 위치는 실제 설계된 계류시설을 기준으로 하였다. 주잔교 하중조건은 설계파고 1m, 순간최대풍속 35m/sec, 조류속 0.5m/sec을 가정하여 총 11.3kN/m의 하중을 보조잔교의 전체 길이에 걸쳐 측면에 적용하였다.



(a) 주잔교-보조잔교 연결부 전체 해석모형



(b) 주잔교-보조잔교 연결부 상세해석부 모형

그림 155. 주잔교-보조잔교 연결부 해석모형

② 주잔교-보조잔교 연결부 구조검토 결과

그림 156은 설계하중에 의해 주잔교-보조잔교 연결부에 발생하는 주응력을 나타낸 것으로 연결부 중 압축단에서 최대값인 2.3MPa이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 설계압축강도 50MPa급 콘크리트의 허용인장강도(5MPa) 대비 약 46%에 해당되는 값이며 그림 153 및 그림 154와 같이 연결부 주변에는 다량의 보강철근이 배근되므로 1m의 설계파고 조건에서도 충분한 안전률을 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 강재 버팀보에 발생하는 응력은 그림 157과 같이 6.7MPa 수준으로 양호한 것으로 나타났다.

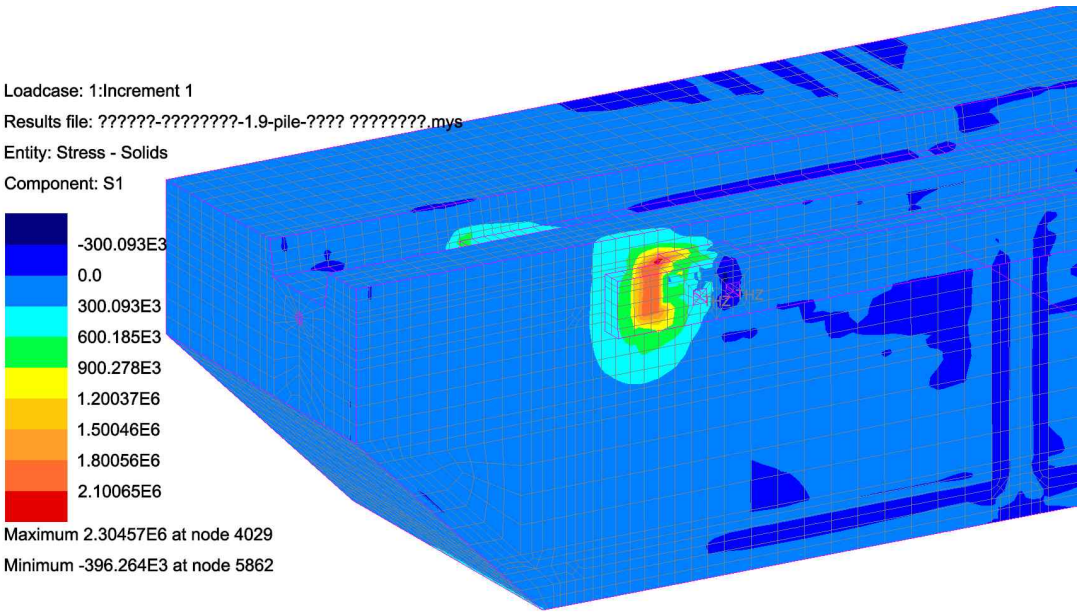


그림 156. 주잔교-보조잔교 연결부 해석결과 (주응력)

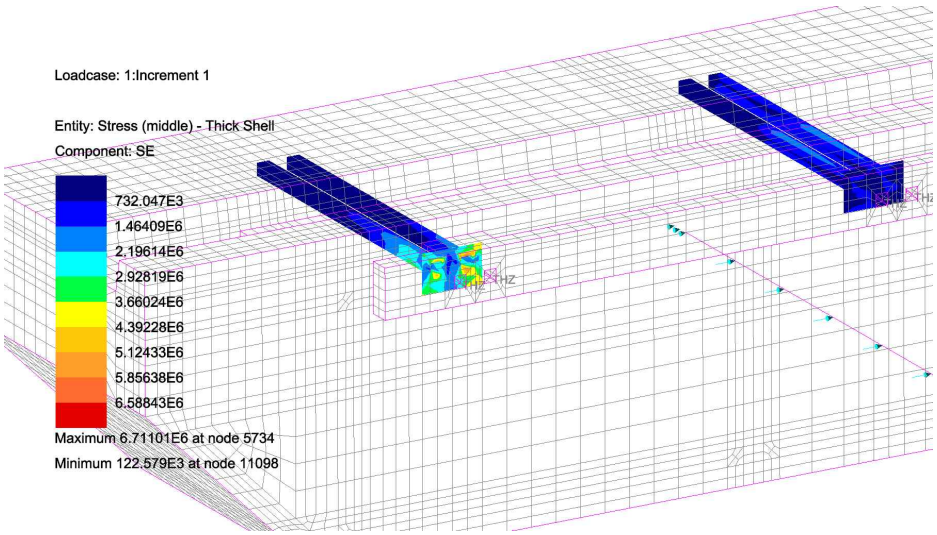


그림 157. 주잔교-보조잔교 연결부 해석결과 (버팀보 응력)

(3) 파일가이드 연결부 (주잔교)

(가) 고내구성 설계

파일가이드 연결부는 기존 부잔교 구조물에서 가장 손상이 빈번한 부위이다. 기존 파일가이드의 고정방법으로는 콘크리트 부잔교에 앵커볼트를 이용하여 고정하는 형태 또는 레일구조물을 매립시공한 후 볼트로 고정하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 지압으로 저항하는 앵커볼트 연결의 특성상 하중이 작용할 경우 일부 볼트에 응력이 집중되는 현상이 발생할 수 밖에 없으며 파일가이드 연결부가 손상되는 가장 큰 이유로 판단된다.

본 연구에서는 다양한 형태의 고내구성 파일가이드를 고안하였으며 본 절에서는 가장 경제적인 형태인 퍼포본드(perfobond) 전단연결재를 이용한 고내구성 파일가이드에 대한 구조검토를 수행하였다. 퍼포본드 전단연결재는 1980년대부터 합성구조물에 적용되어온 형식으로 규칙적으로 원형공이 타공된 유공강판을 전단연결재로 활용하되 철근을 구멍으로 관통시켜 콘크리트 구조물과 일체화 시키는 원리이다. 스터드볼트 전단연결재에 비하여 피로성능이 월등히 뛰어나고 시공성이 좋으며, 특히 연속교의 부모멘트 구간에서 성능이 입증될 정도로 인발에 대한 저항성능이 우수하여 부잔교의 파일가이드 연결부에 매우 적합한 구조형식이다. 1m의 퍼포본드 전단연결재가 갖는 내하력은 22mm 직경의 스터드볼트 전단연결재를 2열로 18개 배치하거나 19mm 직경의 스터드볼트 전단연결재를 3열로 24개 배치하였을 경우와 유사한 것으로 알려져 있을 만큼 효율적이다(Zeller, 1987).

최종 설계안의 고내구성 파일가이드는 그림 158과 같이 ㄷ형강의 복부에 퍼포본드 전단연결재를 용접하고 부잔교에 매립하여 연결장치를 시공한 후 마찰볼트이음을 이용하여 파일가이드를 조립하는 형태이다. 그림 159는 파일가이드 연결부의 설계도면으로 유공강판을 통과하는 철근배치를 통하여 높은 내하력을 확보하였다.

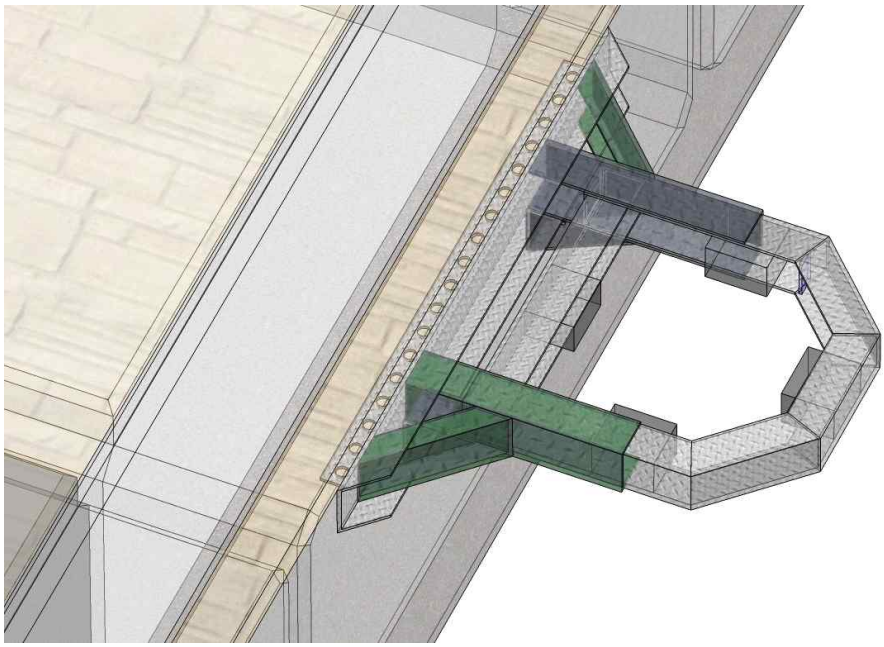


그림 158. 고내구성 파일가이드 (주잔교)

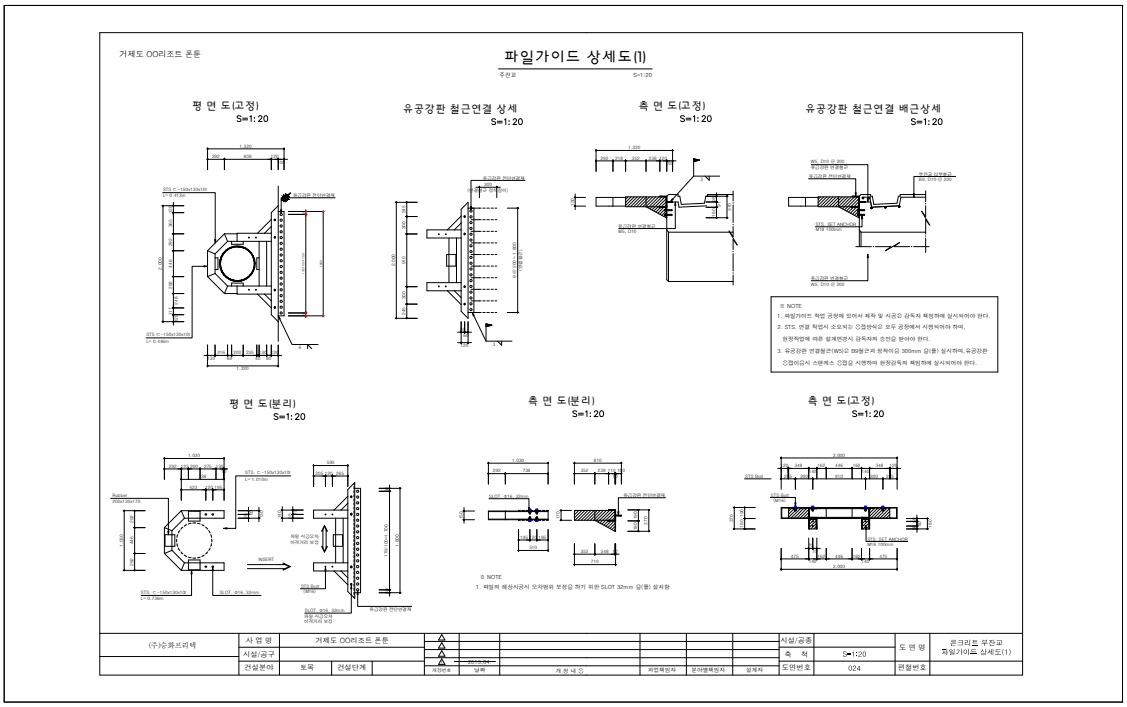


그림 159. 파일가이드 연결부 설계도면 (주잔교)

(나) 구조상세 검토

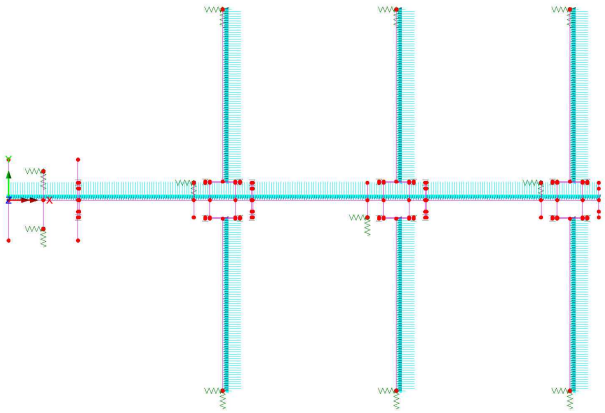
① 파일가이드 연결부(주잔교) 유한요소해석 모형

주잔교의 파일가이드 연결부 해석을 위해 먼저 전체 계류시설에 대한 구조해석을 실시하였다. 이는 파일가이드에 작용하는 외력을 산정하기 위한 절차로서 그림 160(a)와 같이 해석모형을 구성한 후, 표 41과 같은 파랑, 풍력, 조류력 등의 작용방향에 따른 하중조합을 적용하여 파일가이드 작용력을 산정하였다. 해석결과 LC 1과 LC 9에서 각각 최대 전단력(Fx)과 축력(Fy)이 발생하였으며, 이를 파일가이드 연결부 상세해석을 위한 유한요소해석 모형에 하중으로 적용하였다.

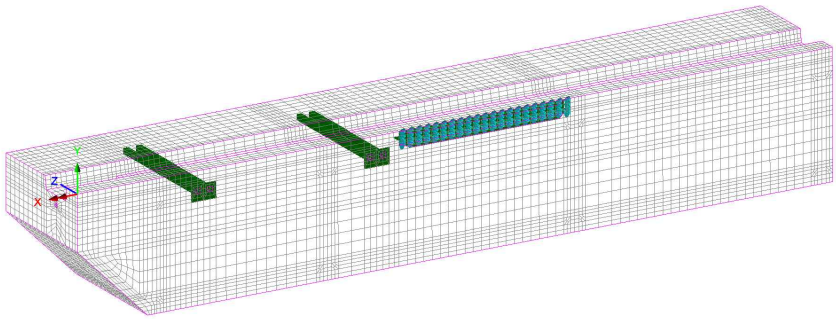
그림 160(b)~(c)는 파일가이드 연결부 상세해석모형으로 설계하중에 의한 연결부 주변의 콘크리트 내하력 검토를 목표로 하였다. 또한 퍼포본드 전단연결재의 자체 성능에 대한 검토는 해석적으로는 한계가 있으므로 많은 실험결과로부터 검증된 Oguejiofor(1997)의 식과 Eurocode-4(1994)의 설계강도 기준에 따른 검토를 병행하였다.

표 41. 설계하중 조합 및 최대 파일가이드 작용력 (주잔교)

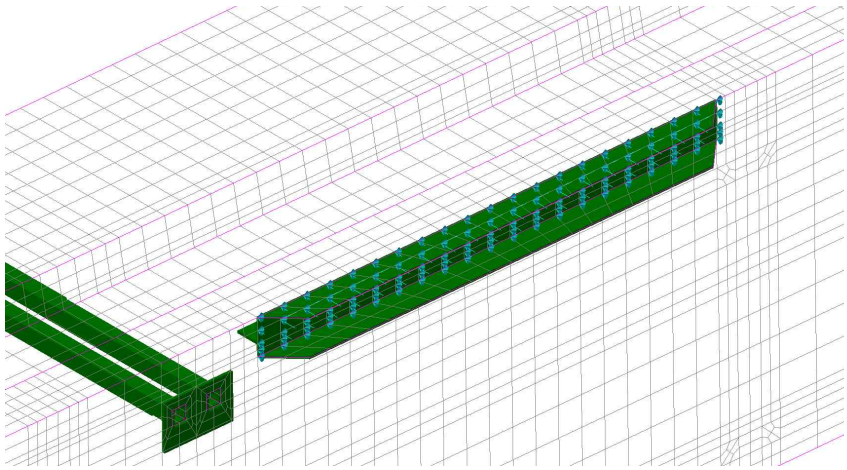
하중 조합	파력	조류력	풍력	최대 파일가이드 작용력(kN)		
				Fx	Fy	합력
LC 1	0	0	0	31.9	-0.1	31.9
LC 2			45	31.6	0.9	31.6
LC 3			90	30.9	1.3	31.0
LC 4	45	0	0	26.0	39.3	47.1
LC 5			45	25.9	40.4	48.0
LC 6			90	25.3	40.8	48.1
LC 7	90	0	0	-5.4	56.1	56.4
LC 8			45	-5.8	57.2	57.5
LC 9			90	-6.5	57.7	58.0



(a) 전체 계류시설 해석모형



(b) 주잔교 파일가이드 연결부 해석모형



(c) 주잔교 파일가이드 연결부 해석모형 상세

그림 160. 파일가이드 연결부(주잔교) 해석모형

② 파일가이드 연결부(주잔교) 구조검토 결과

그림 161과 그림 162은 각각 최대 전단력이 작용하는 LC 1과 최대 인발력이 작용하는 LC 9의 최대 주응력을 나타낸 것이다. 최대 전단력이 작용하는 하중조합인 LC 1의 경우 최대 주응력은 0.5MPa이며 최대 인발력이 작용하는 하중조합인 LC 9의 경우

1.1MPa이 발생하였다. 이는 설계압축강도 50MPa급 콘크리트의 허용인장강도(5MPa) 대비 약 22%에 해당되는 값이며 보강철근을 감안하면 1m의 설계파고 조건에서도 충분한 안전률을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

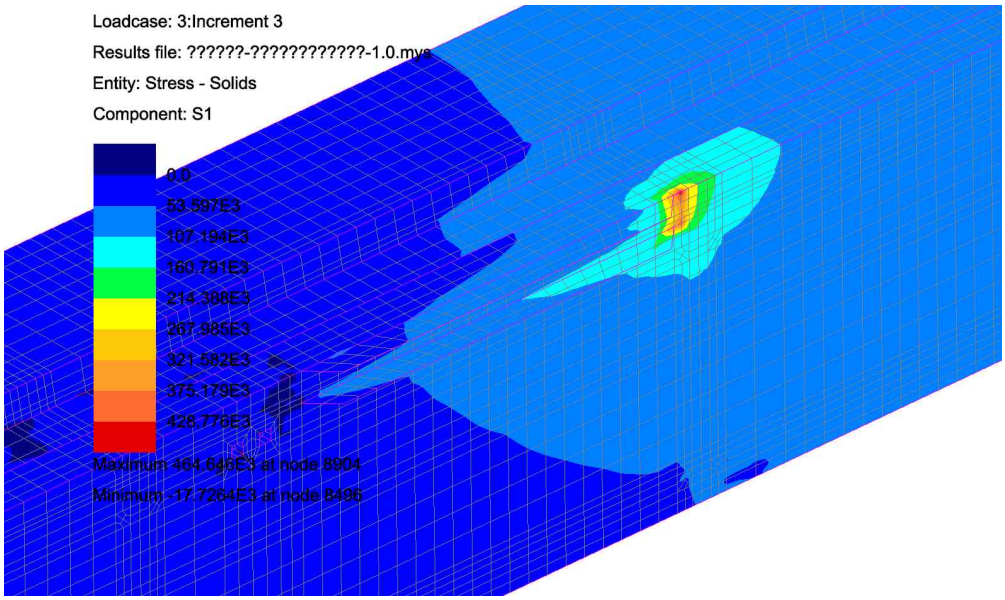


그림 161. 주잔교 파일가이드 연결부 해석결과 (LC 1, 주응력)

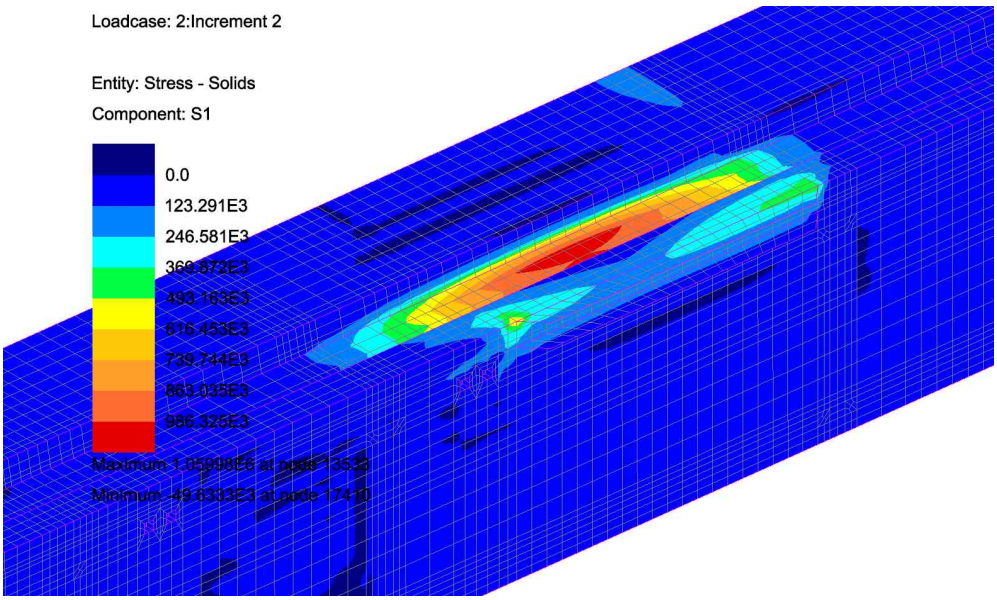


그림 162. 주잔교 파일가이드 연결부 해석결과 (LC 9, 주응력)

퍼포본드 전단연결재 자체의 설계강도 평가는 Oguejiofor 식(식 (1))과 Eurocode-4를 사용하여 검토하였다. 설계에 적용한 파일가이드의 전단연결재 제원은 그림 163(b)와 같으며 이로부터 계산된 강도는 Eurocode-4의 설계강도 산정식(식 (2))을 적용하

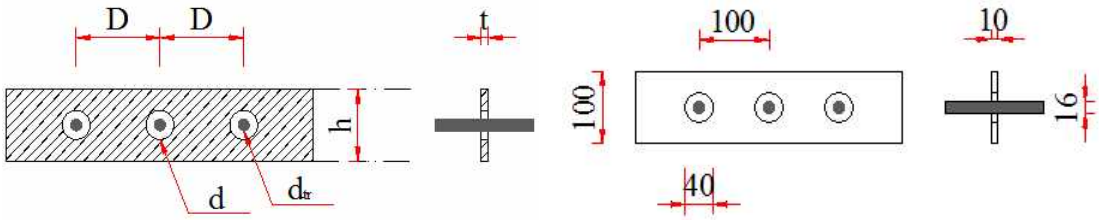
여 평가하였다. 표 42는 LC 1과 LC 2에 대한 퍼포본드 연결재의 설계강도 산정 결과로 충분한 내하력을 갖고 있는 것으로 평가되었다.

$$Q = 4.5 \cdot h \cdot t \cdot f_{ck} + 0.91 \cdot n_{tr} \cdot A_{tr} \cdot f_y + 3.31 \cdot n_{dh} \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$
$$= Q_1 + Q_2 + Q_3$$

여기서, $Q_1 = 4.5 \cdot h \cdot t \cdot f_{ck}$: 콘크리트의 지압저항효과

$Q_2 = 0.91 \cdot n_{tr} \cdot A_{tr} \cdot f_y$: 횡방향 관통철근의 효과

$Q_3 = 3.31 \cdot n_{dh} \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck}}$: 홀에 형성된 콘크리트의 다웰효과



(a) 퍼포본드 형상 (b) 설계 제원

그림 163. 퍼포본드 전단연결재 제원

$$P_{Rd} = f_u / f_{ut} \cdot P_{Rk} / \gamma_\nu \leqq P_{Rk} / \gamma_\nu \quad (2)$$

여기서, P_{Rk} : characteristic resistance (0.9Q)

f_u : minimum specified ultimate strength of the connector material

f_{ut} : actual ultimate strength of the connector material in the test specimen

γ_ν : partial safety factor (recommended value=1.25)

표 42. 퍼포본드 전단연결재 설계강도 평가

항 목		LC 1(kN)	LC 9(kN)
콘크리트의 지압저항효과	Q1	225.0	0
횡방향 관통철근의 효과	Q2	584.2	584.2
홀에 형성된 콘크리트의 다웰효과	Q3	674.1	674.1
퍼포본드 강도	Q	1,483.3	1,258.3
설계강도	PRd	970.9	823.6
작용하중	Fx or Fy	32.0	57.7
비 고		O.K.	O.K.

(4) 파일가이드 연결부 (보조잔교)

(가) 고내구성 설계

기존 보조잔교의 파일가이드는 주잔교의 파일가이드와 마찬가지 형태로 설계·시공되는 것이 일반적이다. 보조잔교의 측면 방향으로 파랑하중이 작용할 경우 파일가이드 연결부는 큰 전단하중을 받으며 앵커볼트 정착부위가 손상될 확률이 높다. 본 연구에서는 설계파고 1m에서도 충분한 내구성을 확보하기 위하여 보조잔교의 단부를 ㄷ형태로 제작하고 내부에 파일가이드를 위치시킴으로써 파일가이드와 연결부에 응력을 효과적으로 저감시킬 수 있는 설계를 적용하였다(그림 164~165).

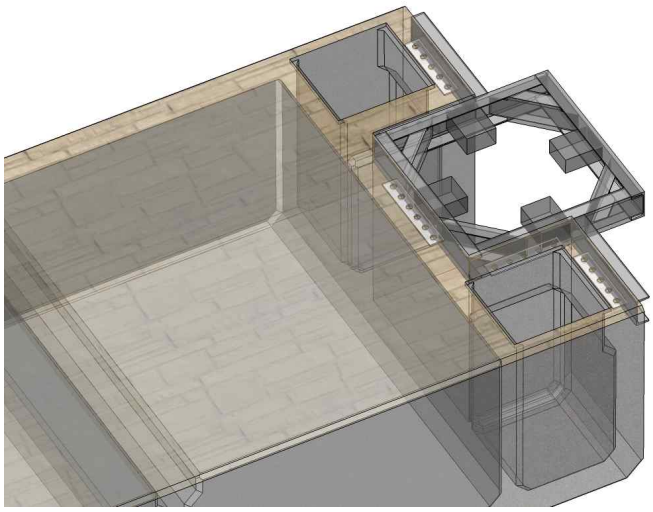


그림 164. 고내구성 파일가이드 (보조잔교)

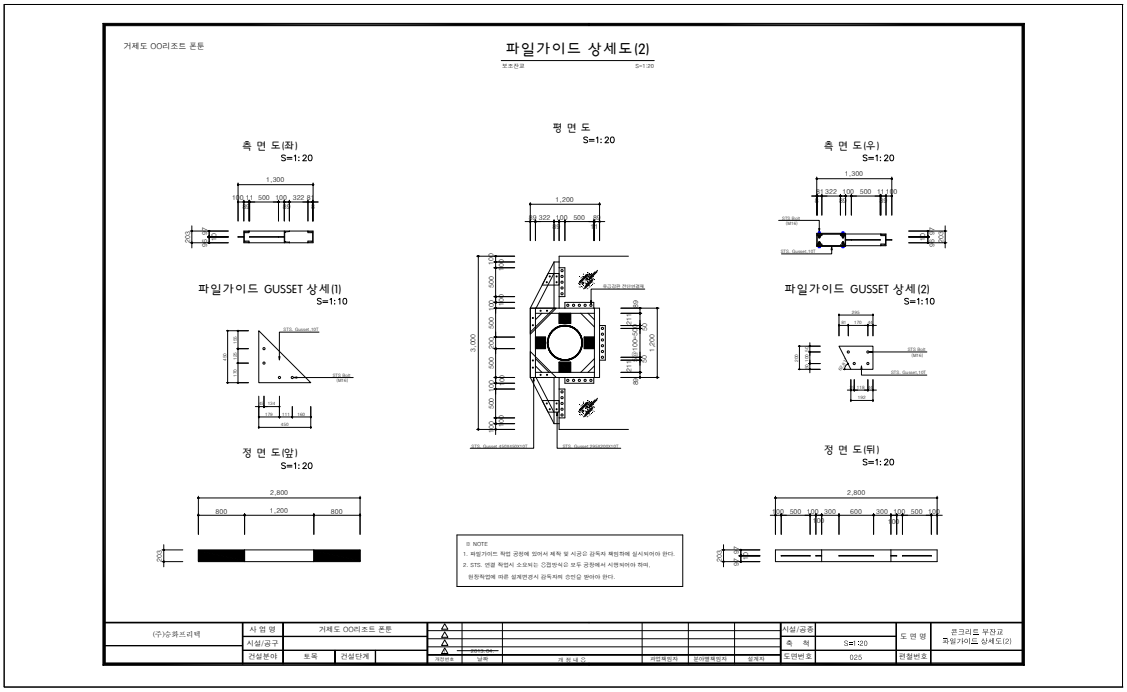


그림 165. 파일가이드 연결부 설계도면 (보조잔교)

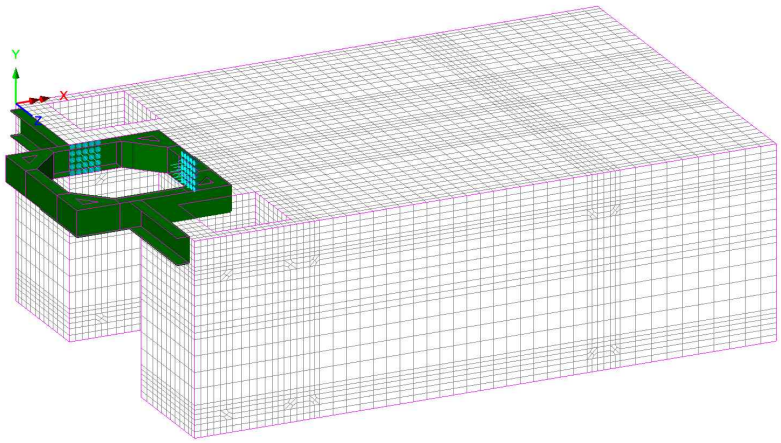
(나) 구조상세검토

① 파일가이드 연결부(보조잔교) 유한요소해석 모형

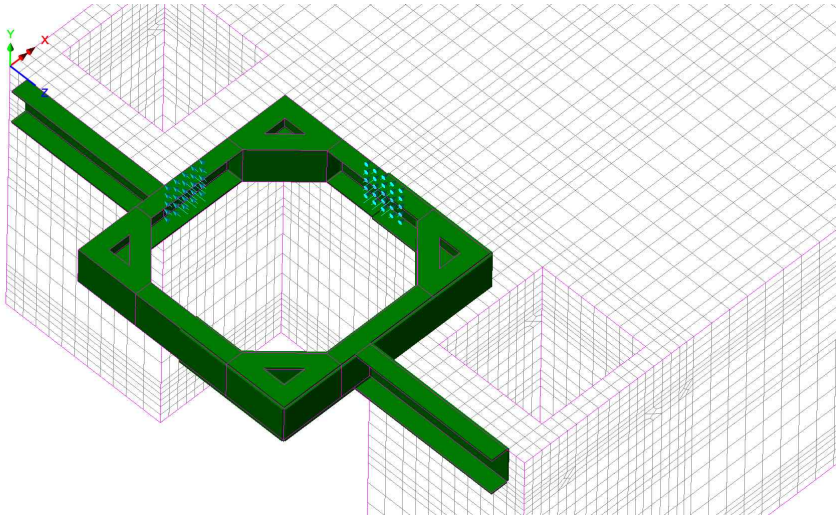
부잔교의 파일가이드 연결부 해석 역시 주잔교의 경우와 마찬가지로 전체 계류시설에 대한 구조해석을 먼저 실시하였다. 표 43은 파랑, 풍력, 조류력 등의 작용방향에 따른 하중조합을 적용하여 파일가이드 작용력을 산정한 결과로 LC 1과 LC 9에서 각각 최대 측방향력(Fx)과 축력(Fy)이 발생하였다. 그림 166은 파일가이드 연결부 상세해석모형으로 표 43의 최대 파일가이드 작용력을 하중으로 적용하였다.

표 43. 설계하중 조합 및 최대 파일가이드 작용력 (보조잔교)

하중 조합	파력	조류력	풍력	최대 파일가이드 작용력(kN)		
				Fx	Fy	합력
LC 1	0	0	0	129.6	0.5	129.6
LC 2			45	128.4	1.4	128.4
LC 3			90	125.9	0.9	125.9
LC 4	45	0	0	100.2	32.7	105.4
LC 5			45	99.4	33.6	105.0
LC 6			90	97.1	34.0	102.9
LC 7	90	0	0	15.2	46.5	49.0
LC 8			45	14.4	47.4	49.6
LC 9			90	12.1	47.8	49.3



(a) 파일가이드 연결부 해석모형



(a) 파일가이드 연결부 해석모형 상세

그림 166. 파일가이드 연결부(보조잔교) 해석모형

② 파일가이드 연결부(보조잔교) 구조검토 결과

그림 167와 그림 168은 각각 최대 전단력이 작용하는 LC 1과 최대 인발력이 작용하는 LC 9의 최대 주응력을 나타낸 것이다. 최대 측방향력이 작용하는 하중조합인 LC 1의 경우 최대 주응력은 3.8MPa이며 최대 측력이 작용하는 하중조합인 LC 9의 경우 0.2MPa이 발생하였다. 이는 설계압축강도 50MPa급 콘크리트의 허용인장강도(5MPa) 대비 약 76%에 해당되는 값이며 보강철근을 감안하면 1m의 설계파고 조건에서도 충분한 안전률을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

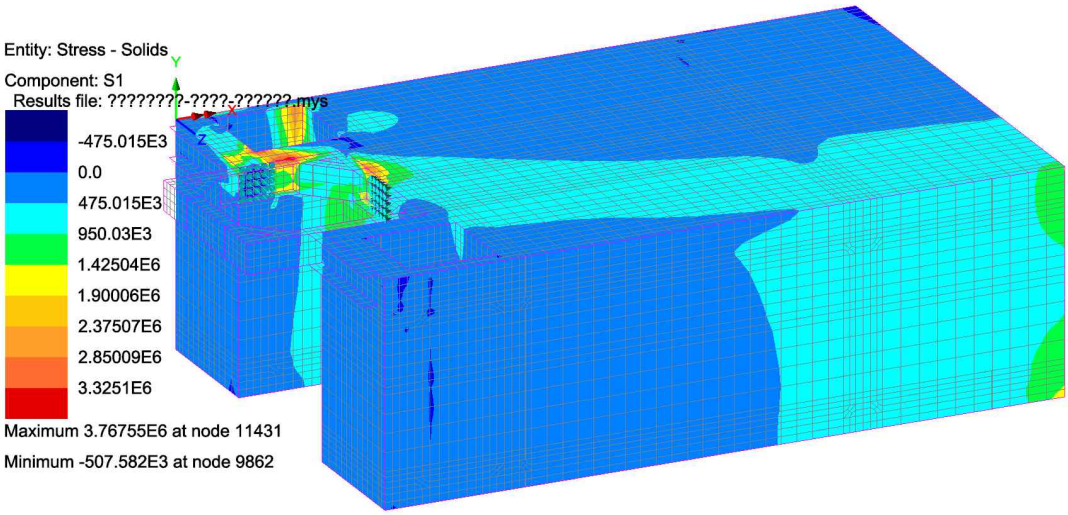


그림 167. 보조잔교 파일가이드 연결부 해석결과 (LC 1, 주응력)

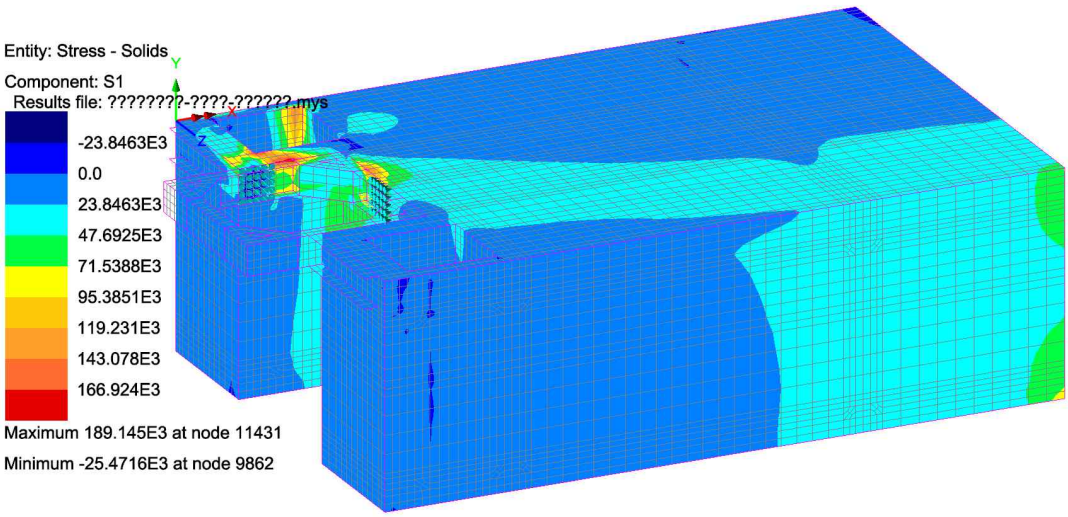


그림 168. 보조잔교 파일가이드 연결부 해석결과 (LC 9, 주응력)

마. 콘크리트 폰툰 시제품 제작

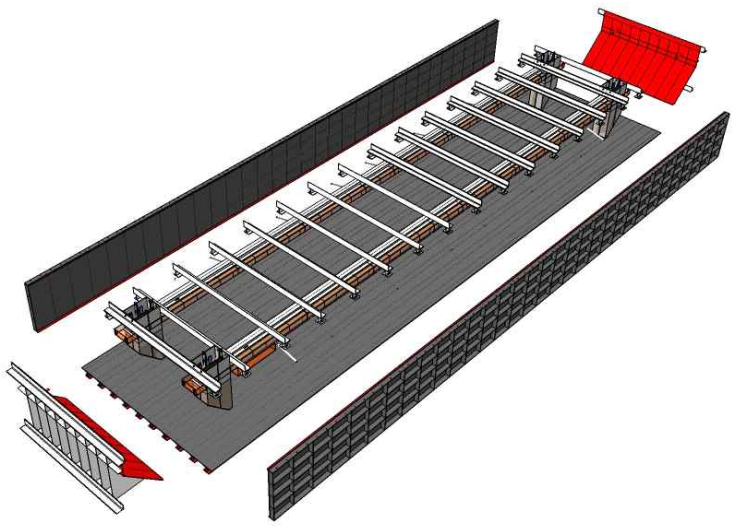
(1) 강재 거푸집 제작

본 절에서는 고성능 콘크리트 폰툰의 실물 제작을 위해 강재 거푸집을 제작하였다. 강재 거푸집의 경우 제작비용이 고가임을 감안하여 폭과 넓이를 가변형으로 제작하여 향후 다양한 크기의 폰툰 제작에 대비하였다.

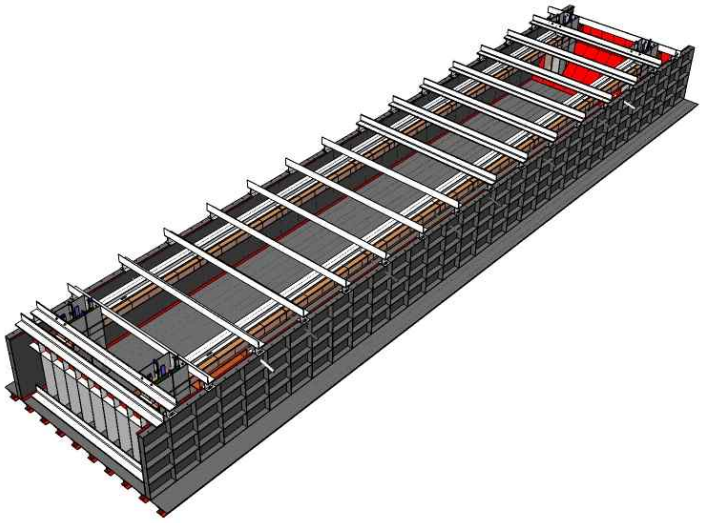
【 강재거푸집 제작 제원】

- 길이방향 : 10m ~ 15m (가변형)
- 폭 방 향 : 2m ~ 3m (가변형)
- 높이방향 : 1.3m ~ 1.5m (가변형)

제작하고자 하는 강재 거푸집은 모든 길이를 가변형으로 제작하여 사용성을 높일 수 있어야 하며 폰툰 상면의 유틸리티 통로를 표현해 낼 수 있어야 한다. 따라서 그림 169와 같이 탑 타이(TOP TIE)를 폭 방향으로 가로 지른 후 유틸리티 통로를 매다는 형식으로 설계하였다.



① 강재 거푸집 조립 전 조감도



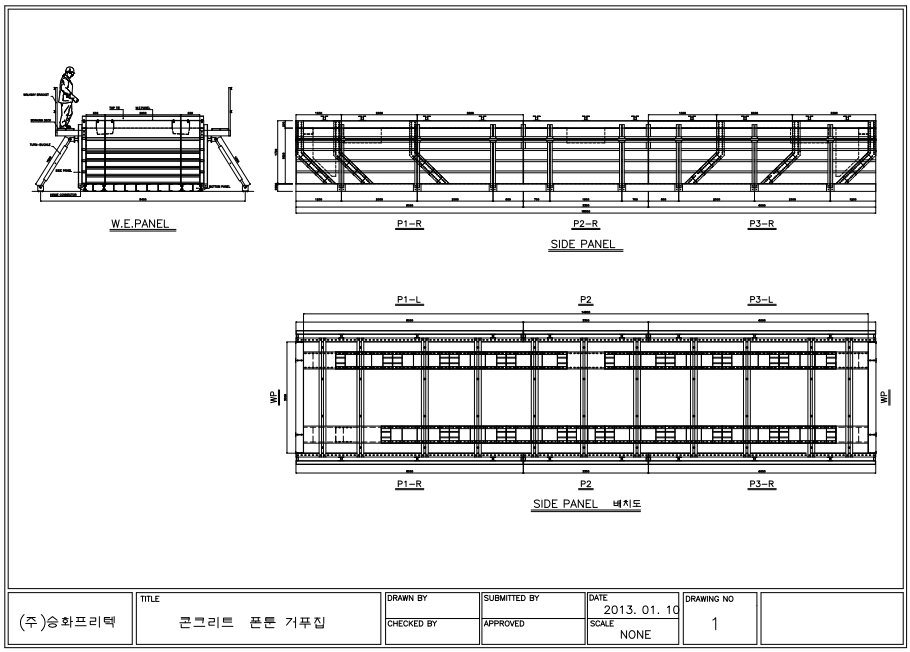
② 강재 거푸집 조립 후 조감도

그림 169. 고성능 콘크리트 폰툰 강재 거푸집 조감도

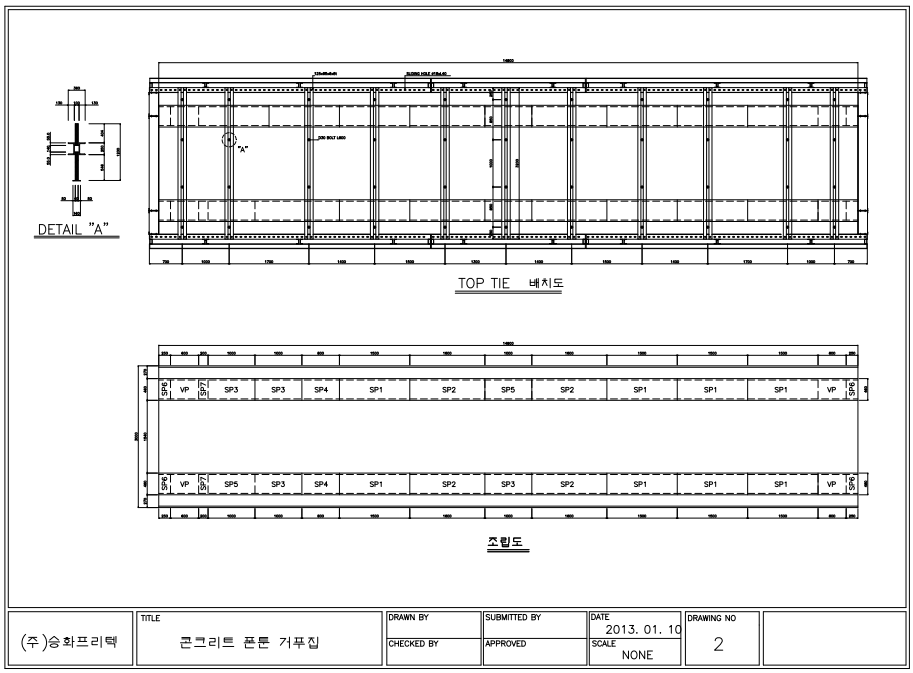
제작된 강재 거푸집은 폭과 길이가 가변형으로 탑 타이(TOP TIE)에 매달린 유틸티 통로 거푸집은 그에 맞게 조립이 가능해야 한다. 따라서 기본 세그먼트를 1.5m와 1.6m로하고 폰툰 제작 길이와 보조폰툰 연결부위에 따라 0.8m, 0.6m, 0.25m 세그먼트를 추가하는 형태로 설계하였다.

내부가 EPS(Expanded PolyStyrene)로 충진되어 있는 폰툰의 경우 콘크리트 타설 시 EPS가 부력으로 인해 인상될 수 있으므로 이를 제어할 수 있는 부력방지 지압판이 추가로 고려되었다..

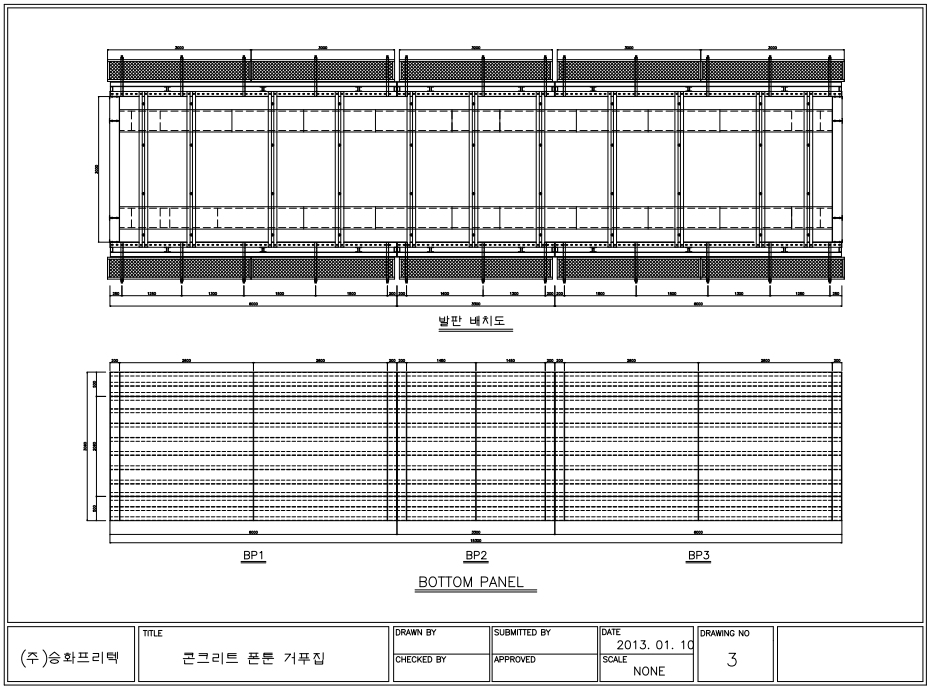
그림 170와 그림 171은 길이 조절이 가능할 뿐만 아니라 지압판이 있어 EPS 부력방지가 가능하고 안전작업을 위한 발판까지 적용된 강재 거푸집의 설계도면과 제작사진이다.



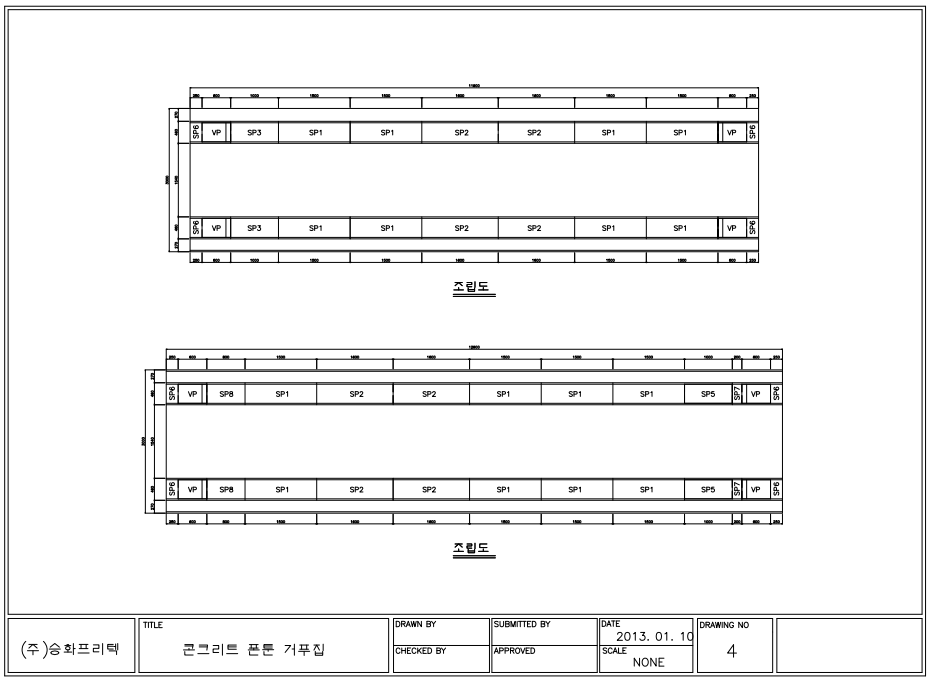
① 강재 거푸집 설계도면-1



② 강재 거푸집 설계도면-2



③ 강재 거푸집 설계도면-3



④ 강재 거푸집 설계도면-3

그림 170. 콘크리트 폰툰 강재 거푸집 설계도면



그림 171. 콘크리트 폰툰 강재 거푸집 제작품

(2) 시제품 제작

(가) 콘크리트 폰툰 설계

본 연구에서 개발한 콘크리트 폰툰은 내부가 EPS(Expanded Polystyrene)로 충진되고 최소두께 10mm의 저탄소 콘크리트가 둘러쌓는 형식으로 설계된다. 길이방향으로는 콘크리트 격벽을 두어 강성을 보강하였고 상면은 개방형 유틸리티 통로를 두어 사용성과 유지관리가 편리하고 미관이 향상되도록 하였다. 또한 모서리 네 곳에 밸러스트 공간을 두어 외부 시설물 등에 의해 기울어진 평형을 바로잡을 수 있도록 하였다.

사용 재료로는 시멘트 50%를 고로슬래그로 치환한 강도 50MPa 저탄소 콘크리트를 사용하였고 철근은 강도 SD400 직경 10mm를 사용하였다. 콘크리트 폰툰 길이방향 외벽은 D4.8mm 와이어메쉬를 배치하여 작업성을 향상시켰다.

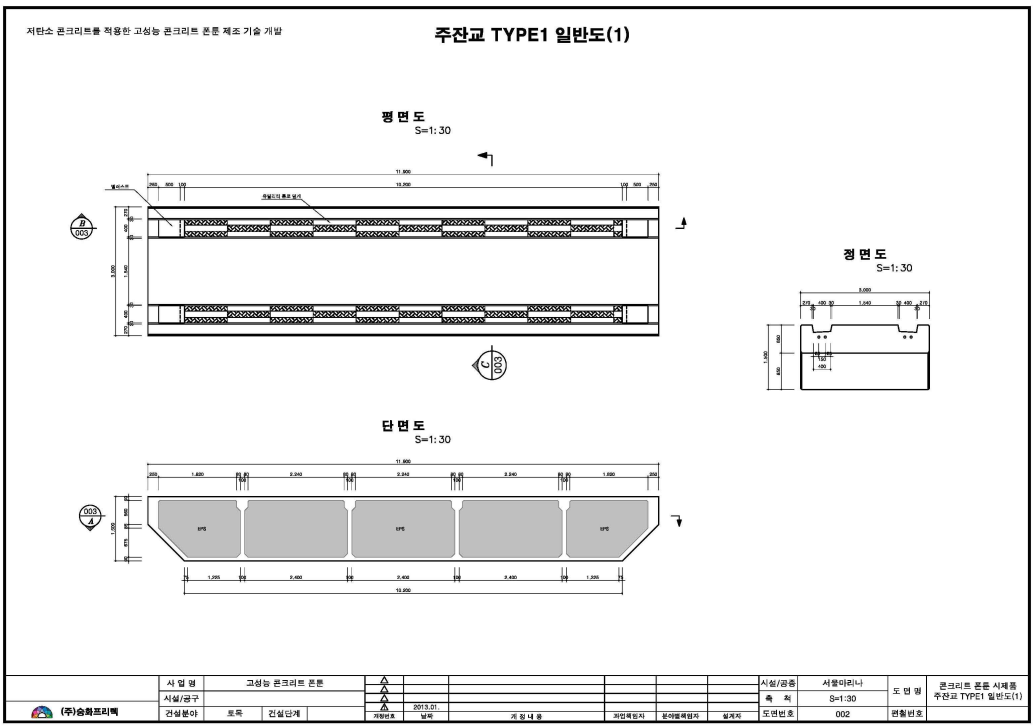
사용자들과 접하는 본 시제품의 상면은 콘크리트에 무늬 및 색상을 도입할 수 있는

스탬프콘크리트 적용하였고 유틸리티 통로 커버로 방부목을 사용하여 미관을 수려하게 하였다.

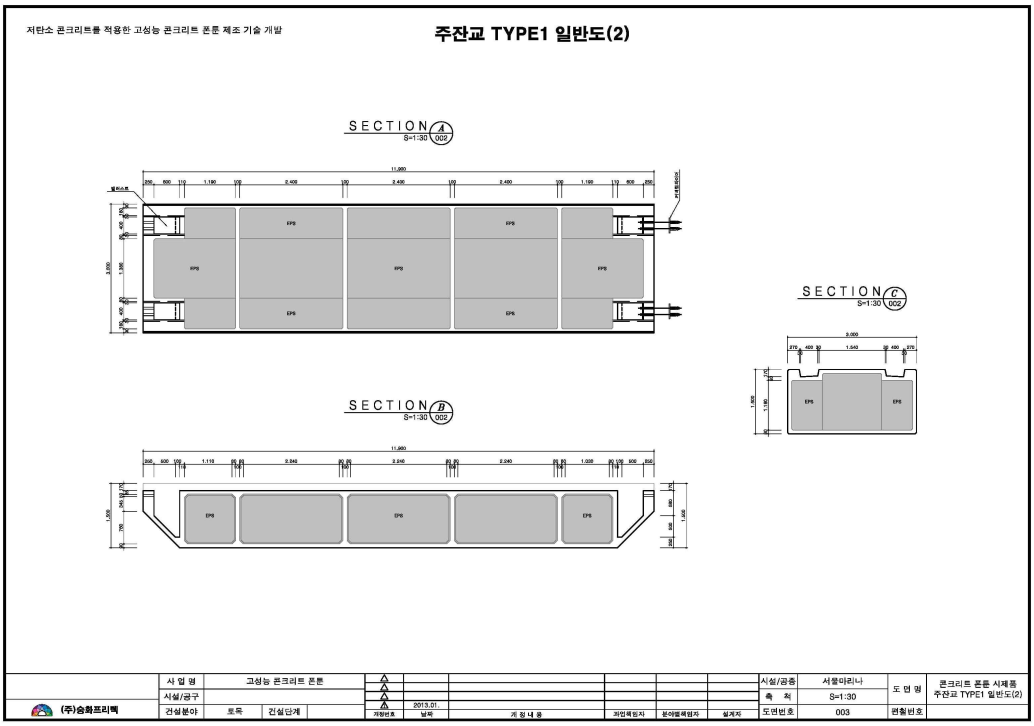
표 44. 콘크리트 폰툰 시제품 재료 및 제원

품 목	내 용	비 고
콘크리트 폰툰 제원	폭 : 3m, 길이 : 11.9m, 높이 : 1.5m	2EA
콘크리트 종류	고로슬래그 50%~70% 치환 콘크리트	압축강도 50MPa
철근 종류 및 강도	D10 / SD400	철근 직경 10mm / 인장강도 400MPa
와이어메쉬	D4.8 (100×100)	중량 9.47Kg/3.3m2
EPS	1종 3호	밀도 20Kg/m3
유틸리티 통로 덮개	방부목	t=25mm
상면마감	스탬프 콘크리트 적용	2톤 칼라

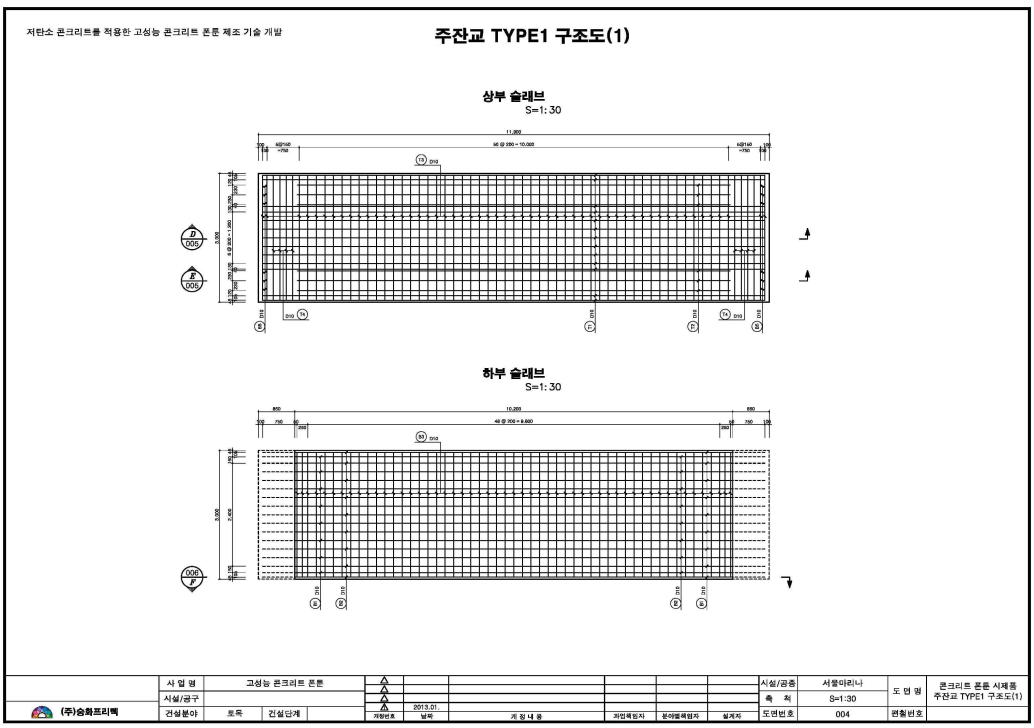
위 내용을 모두 적용한 설계도면은 다음 그림과 같다(시제품 설계도면 별첨).



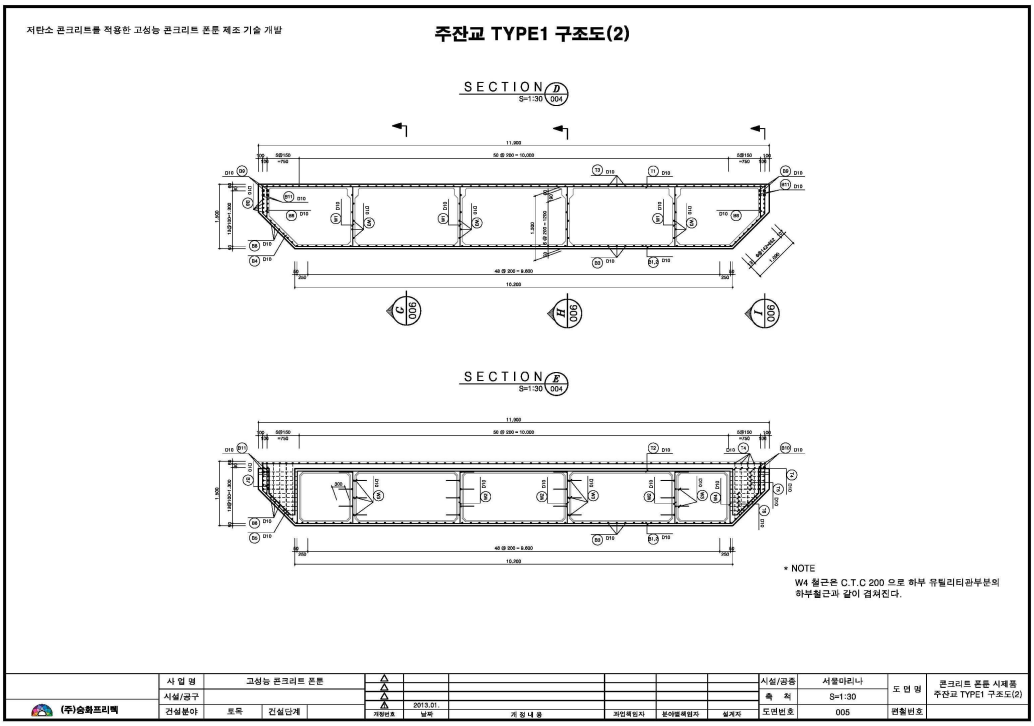
① 콘크리트 폰툰 시제품 설계도면-1



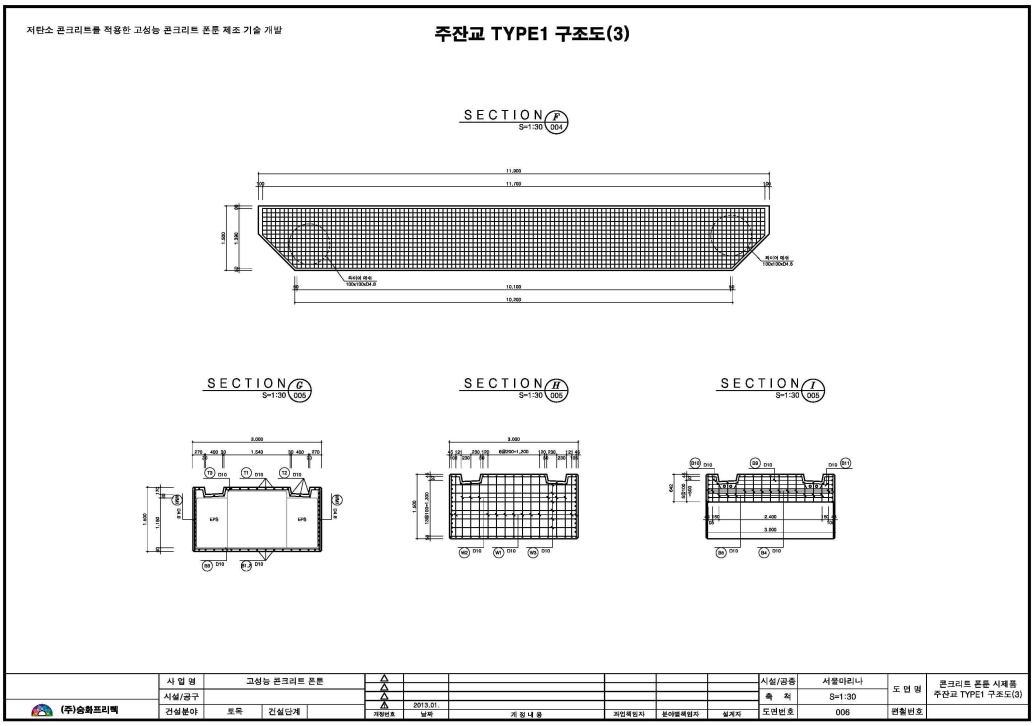
② 콘크리트 폰툰 시제품 설계도면-2



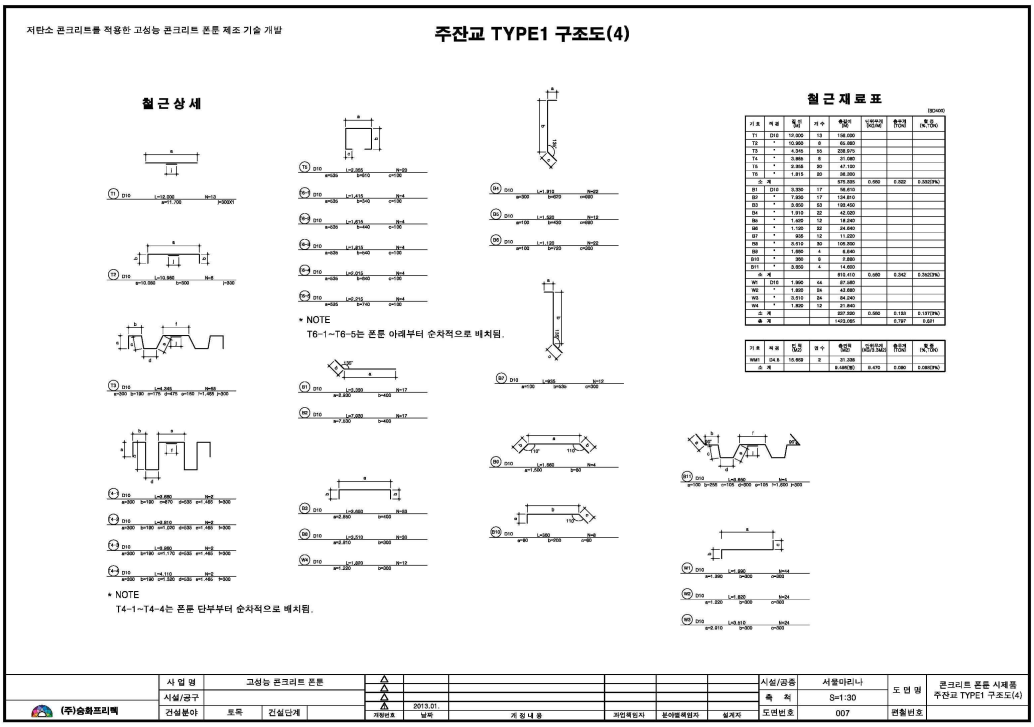
③ 콘크리트 폰툰 시제품 설계도면-3



④ 콘크리트 폰툰 시제품 설계도면-4



⑤ 콘크리트 폰툰 시제품 설계도면-5



⑥ 콘크리트 폰툰 시제품 설계도면-6

그림 172. 콘크리트 폰툰 시제품 설계도면

(나) 콘크리트 폰툰 제작

고성능 콘크리트 폰툰 시제품은 향후 현장조건과 동일한 조건으로 제작하기 위하여 충주 목행동 일원 야외에서 제작하였다. 폰툰 제작은 폭 3m, 높이 1.5m, 길이 11.9m 2본이며 1본의 경우 보조폰툰 연결부가 설치되고 다른 1본은 없는 것을 특징으로 한다.

마리나 항만에 계류시설을 조성할 경우 콘크리트 폰툰은 최소 10본에서 최대 300까지 필요하게 된다. 이처럼 실제 공사현장에서는 많은 수의 폰툰이 필요할 뿐만 아니라 그 모양도 다양하다. 따라서 빠른시간 내에 많은 폰툰을 생산 해야 한다. 그러므로 콘크리트 폰툰 생산은 타설 후 일정시간 양생이 필요한 특징과 철근 등의 가공, 조립시간을 감안하여 여러 개소의 기초를 설치 후 제작한다. 그러나 본 시제품은 시행착오 등을 점검하는 경우로 기초 한 개소에서 차례로 1본씩 제작하였다. 이에 대한 공정표와 제작순서는 표 45와 그림 168같다.

표 45. 콘크리트 폰툰 시제품 제작 공정표

공 종	1개월							
	1/4		2/4		3/4		4/4	
현장준비								
거푸집조립								
철근 및 와이어메쉬 가공								
EPS블록 가공					폰툰1 제작완료			
철근 및 와이어메쉬 조립			기초조립	상부조립	기초조립		상부조립	
EPS블록 조립								
콘크리트 타설 및 양생			기초타설	상부타설		기초타설	상부타설	폰툰2 제작완료
스탬프 콘크리트 문양 도입								
거푸집 탈형								
바탕면처리 및 방수								
스탬프 콘크리트 코팅								
제작 완료(2본)								



① 기초작업등 현장준비



② 거푸집 조립



③ 철근 가공



④ EPS블록 가공

	
⑤ 기초 철근조립	⑥ 기초 콘크리트 타설
	
⑦ EPS블록 조립	⑧ 상부, 벽체 철근 조립
	
⑨ 상부 콘크리트 타설	⑩ 스탬프 콘크리트 문양 도입
	
⑪ 콘크리트 증기 양생	⑫ 거푸집 탈형



⑬ 바탕면처리 및 방수



⑭ 스탬프 콘크리트 코팅



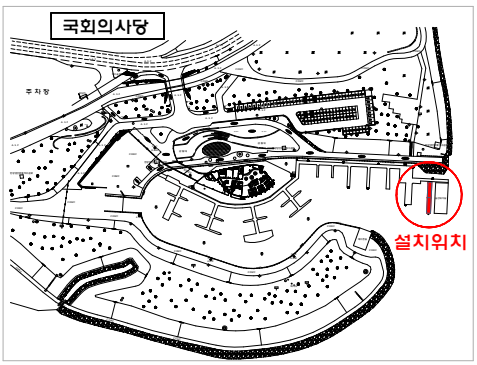


⑮ 제작 완료

그림 173. 콘크리트 폰툰 제작순서

(다) 콘크리트 폰툰 설치

본 연구에서 개발한 고성능 콘크리트 폰툰 시제품을 여의도 서울마리나 클럽&요트 계류시설내에 설치하였다. 설치위치는 그림 174와 같다.



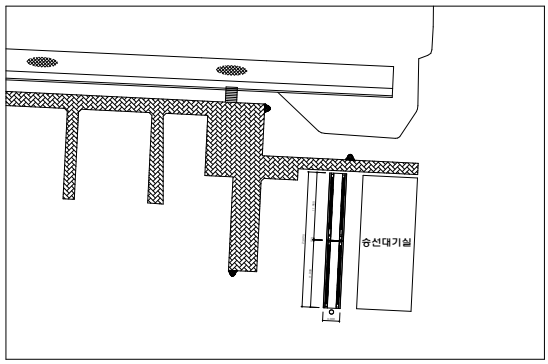


그림 174. 콘크리트 폰툰 설치위치

설치한 시제품은 폰툰 폭과 길이가 동일한 콘크리트 폰툰 2본으로 길이방향으로 연결하였다. 각 폰툰 제원은 폭 3m, 길이 11.9m, 건현 0.45m로 설치되는 전체 최종 길이

는 폰툰간 연결 완충장치 0.1m를 포함한 23.9m이다.

설치작업을 위해 충주 목행동 일원에서 제작된 폰툰을 여의도 서울마리나 클럽&요트 계류시설내로 이동한 후 진수하였다. 콘크리트 폰툰의 진수는 그림 175과 같이 폰툰자중을 고려하여 300ton 크레인을 사용하였다.



그림 175. 콘크리트 폰툰 시제품 진수 장면

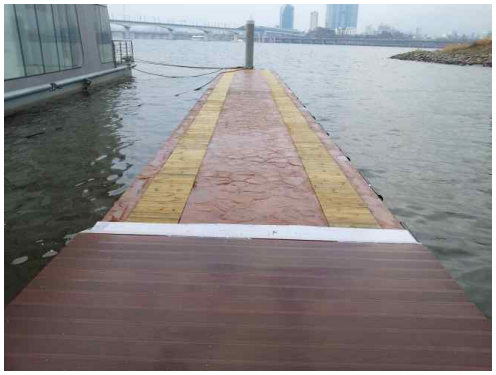
진수된 콘크리트 폰툰을 설치할 위치에 정지시킨 후 파일가이드와 커넥팅와이어를 연결하여 최종 설치한다. 최종 설치된 폰툰은 다음 그림과 같다.



(a) 커넥팅와이어 설치



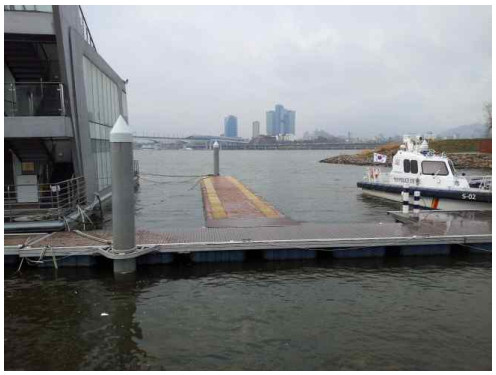
(b) 파일가이드 설치



(c) 설치완료-1



(d) 설치완료-2



(e) 설치완료-3



(f) 설치완료-4

그림 176. 최종 설치완료된 콘크리트 폰툰

바. 실시설계 표준도

(1) 실시설계 개요

본 절에서는 시제품 제작을 통해 개발된 고성능 콘크리트 폰툰을 실제 계류시설 실시설계에 반영하여 설계 표준도를 작성하였다.

본 실시설계는 “거제도 ○○리조트 요트계류시설 설치공사”로 다음 표와 같이 2013년 하반기 설치공사가 착공 예정이다.

표 46. 고성능 콘크리트 폰툰 실시설계 개요

사 업 명	거제도 OO리조트 요트계류시설 설치공사 실시설계
발주기관	OO리조트 개발사업부
과업기간	2013. 5. 1. ~ 5. 31.
설계기관	(주)OO이엔씨 / (주)승화프리텍



그림 177. 거제도 ○○리조트 요트계류시설 조감도

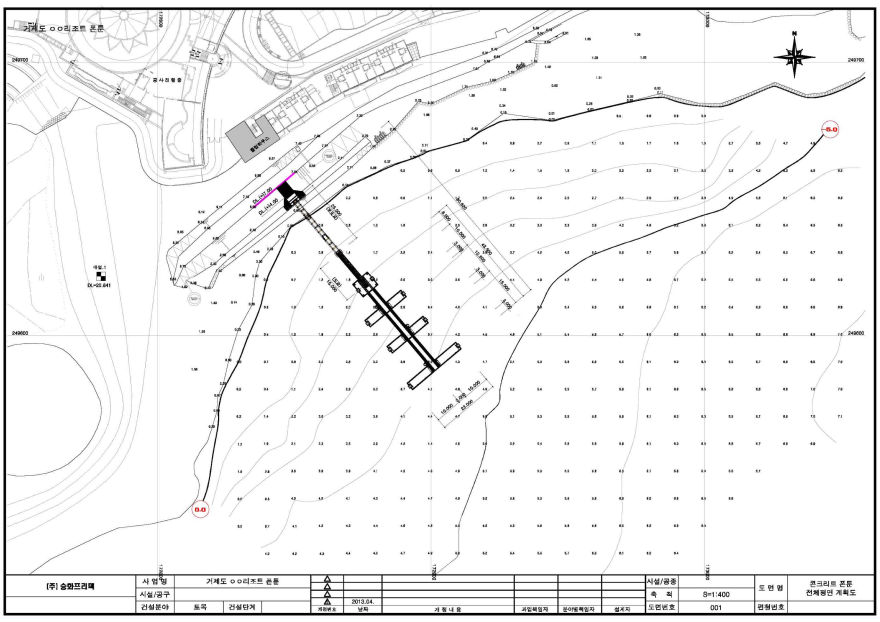


그림 178. 거제도 ○○리조트 요트계류시설 계획평면도

(2) 실시설계 표준도

본 실시설계는 15m, 12.5m, 10m 주폰툰 3종류와 10m, 7m 보조폰툰 2종류 외 연락교 연결용 폰툰이 배치되어 최대 12선석 요트 계류가 가능하도록 설계 되었다. 수면에서부터 폰툰 상면까지 높이인 건현은 사람이 물속에서 올라오기 용이한 0.5m로 설계되었으며 폰툰 고정은 조수간만의 차와 파고의 영향을 고려하여 파일말뚝 고정방식을 사용하였다.

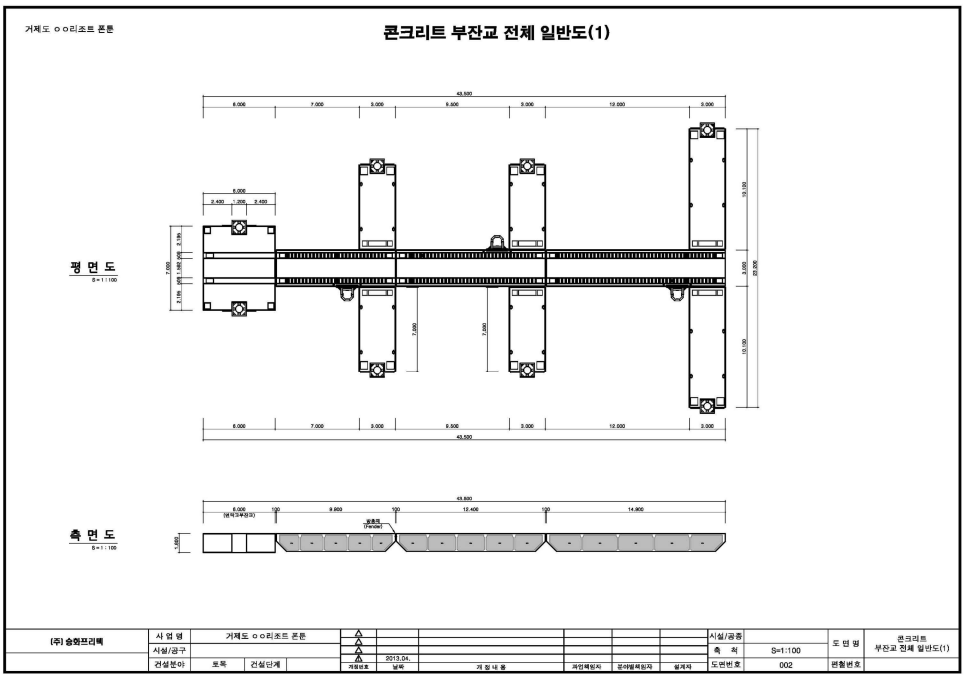
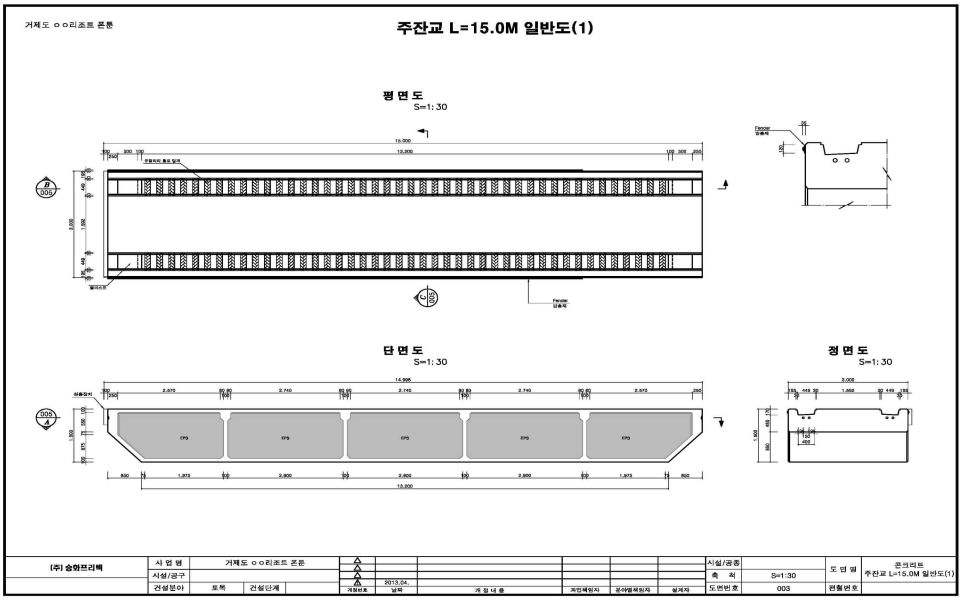


그림 179. 거제도 ○○리조트 요트계류시설 종평면도

본 실시설계에서 사용된 주폰툰 3본과 보조폰툰 2본에 대한 설계제원 및 일반도는 다음 그림과 같으며 그 외 전체 설계도면은 별도 첨부하였다.

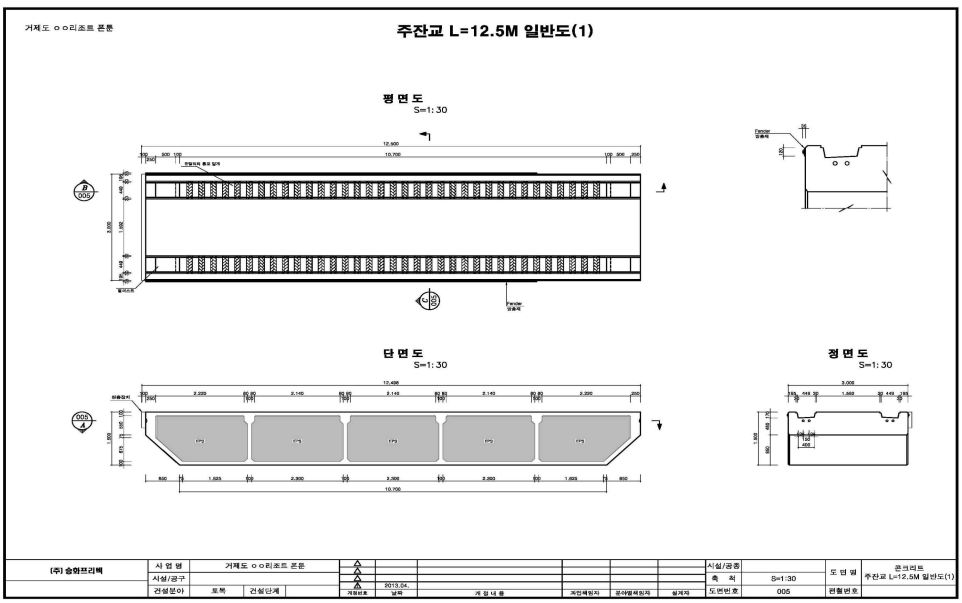
(가) 주폰툰 L=15m

제 원	L=15m, B=3m, H=1.5m - 주폰툰
건 현	0.5m



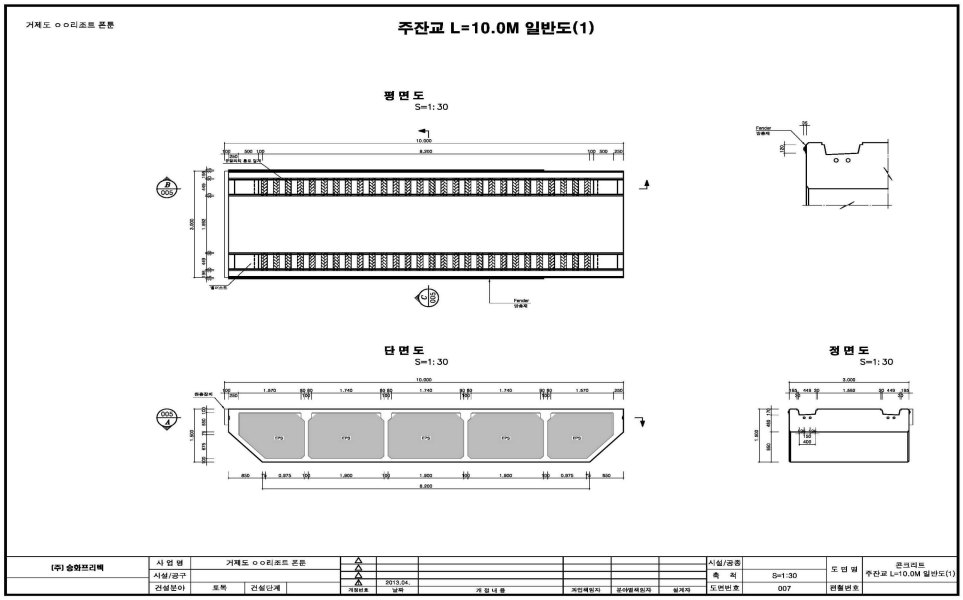
(나) 주폰툰 L=12.5m

제 원	L=12.5m, B=3m, H=1.5m - 주폰툰
건 현	0.5m



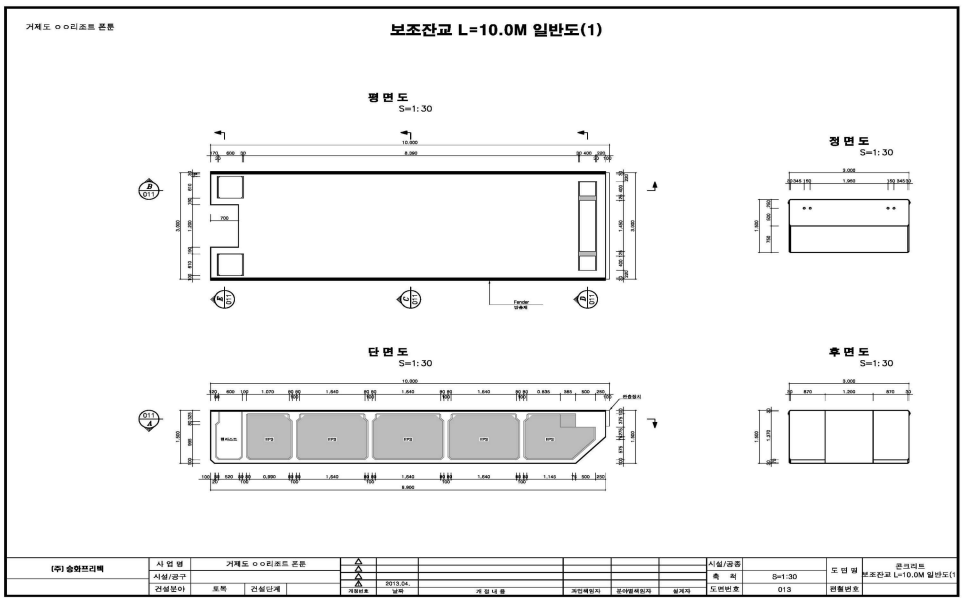
(다) 주폰툰 L=10m

제 원	L=10m, B=3m, H=1.5m - 주폰툰
건 현	0.5m



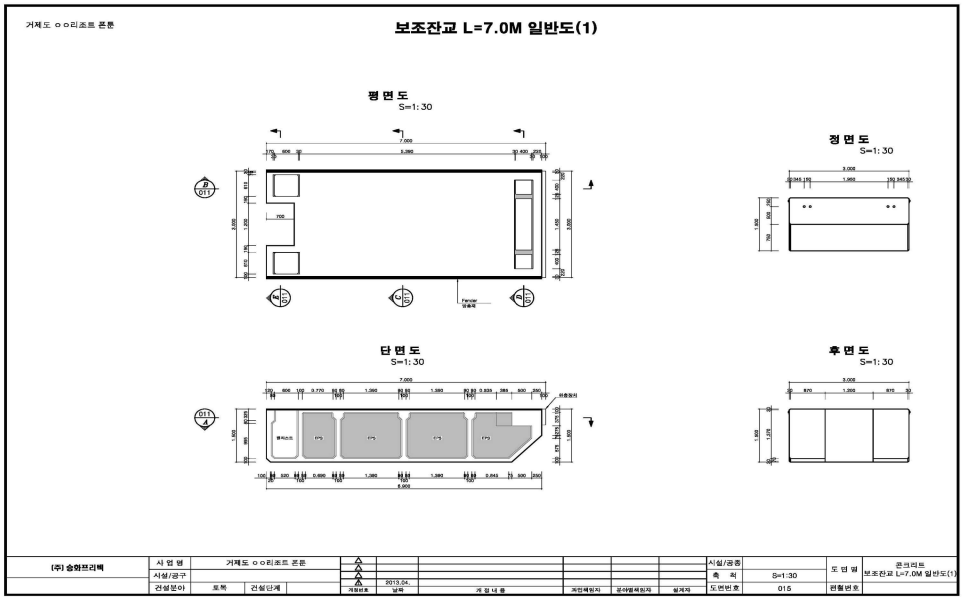
(라) 보조폰툰 L=10m

제 원	L=10m, B=3m, H=1.5m - 보조폰툰
건 현	0.5m



(마) 보조폰툰 L=7m

제 원	L=7m, B=3m, H=1.5m - 보조폰툰
건 현	0.5m



사. 제작 매뉴얼 / 시방서

본 절에서는 고성능 콘크리트 폰툰 제작을 위한 특별 시방서를 작성하였다. 고성능 콘크리트 폰툰 특별 시방서는 필요한 재료의 종류와 품질, 적용범위, 시공방법, 제품의 운송 등 설계 도면에 나타내기 어려운 사항들을 명확하게 기록하였다.

다음은 실시설계 과업에 사용한 고성능 콘크리트 폰툰 특별 시방서를 수록하였다.

부잔교(폰툰) 설계, 제작 및 설치공사 특별 시방서

2013. 09.

(주)승화프리텍

목 차

1. 총 칙 ····· 1

1.1 적용범위 ····· 1

1.2 일반사항 ····· 1

1.3 관련시방 및 기준 ····· 1

1.4 제출자료 ····· 1

2. 재 료 ····· 2

2.1 시멘트 ····· 2

2.2 혼화재료 ····· 2

2.3 잔골재 ····· 3

2.4 굵은골재 ····· 4

2.5 EPS(Expanded PolyStyrene) ····· 6

2.6 철근 및 용접철망 ····· 6

2.7 고성능 콘크리트 ····· 6

3. 제 조 ····· 7

3.1 거푸집 ····· 7

3.1.1 일반사항 ····· 7

3.1.2 거푸집 재료 ····· 7
3.1.3 거푸집 설치 ····· 7
3.2 철근 가공 및 조립 ····· 8
3.3 콘크리트 ····· 9
3.3.1 일반사항 ····· 9
3.3.2 배합설계 ····· 9
3.3.3 비비기 ····· 9
3.3.4 타설 및 다지기 ····· 10
3.3.5 바탕면 무늬넣기 ····· 10
3.3.6 양생 ····· 11
3.3.7 거푸집 떼어내기 ····· 11
3.4 제품검사 ····· 12
3.4.1 검사 및 시험 ····· 12
3.4.2 품질관리 ····· 12
3.5 제품저장 ····· 13
3.6 운송 ····· 13

4. 시 공 ····· 14
4.1 시공일반 ····· 14
4.2 시공장비 ····· 14

4.2.1 폰툰인양장비 ····· 14
4.2.2 해상운반 ····· 14
4.3 조립 ····· 15
4.4 서비스 시설 설치 ····· 16

5. 폰툰 규격 및 중량, 건현 ····· 17
5.1 콘크리트 폰툰 규격 ····· 17
5.2 유틸리티 채널 ····· 17

6. 고성능 콘크리트 폰툰 ····· 18
6.1 설계도면 ····· 18

1. 총 칙

1.1 적용범위

가. 본 특별시방서는 고성능 콘크리트 폰툰의 품질 또는 성능을 실현하기 위해 필요한 사항 및 설계, 제작, 그리고 설치에 대한 사항에 대한 표준을 제시한다.

1.2 일반사항

가. 고성능 콘크리트의 제조시에는 소요의 품질 및 성능을 갖는 제품을 얻을 수 있도록 사용할 재료, 배합, 비비기, 보강재의 배치, 성형 및 양생 등에 대하여 주의하여야 한다.

나. 제품의 취급, 운반, 조립 및 설치 등에 있어서는 제품의 품질과 성능이 손상되지 않도록 시공하여야 한다.

1.3 관련시방 및 기준

가. 콘크리트 표준시방서

나. 콘크리트 구조설계기준

다. 도로교설계기준

라. 항만 및 어항 설계기준

마. 구조물기초 설계기준

1.4 제출자료

가. 고성능콘크리트 폰툰 설계도

나. 폰툰의 제작 및 운반계획서

다. 각종 악세사리 제품 사양

라. 공사 시행에 필요한 조치 및 기타 공익상 필요한 조치

2. 재 료

2.1 시멘트

가. 고성능 콘크리트 폰툰의 제조에 사용하는 시멘트는 소요 품질의 콘크리트를 경제적이고 안정하게 얻을 수 있는 시멘트를 선정하여야 하며 「KS L 5401」에 적합한 것이어야 한다.

나. 고성능 콘크리트 폰툰 제조에 고로슬래그시멘트를 사용할 경우 고로슬래그 시멘트는 KS L 5210에 적합한 것이어야 한다.

2.2 혼화재료

가. 혼화재

① 혼화재로 사용할 고로슬래그 미분말은 KS F 2562에 적합한 것이어야 한다.

③ 고성능 콘크리트 폰툰 제작에는 고로슬래그 미분말을 전체 결합재량의 40% 이상 치환하여 사용하여야 한다.

② 고성능 콘크리트 폰툰 제작에 사용되는 혼화재에 대해서는 그 품질을 확인하고, 그 사용방법을 충분히 검토하여야 한다.

나. 혼화제

① 혼화제로 사용할 AE제, AE감수제, 및 고성능 AE감수제는 KS F 2560에 적합한 것이어야 한다.

② 혼화제로 사용할 유동화제는 콘크리트 학회 기준 KCI-AD 101에 적합한 것이어야 한다.

③ 혼화재에 대해서는 그 품질을 확인하고, 그 사용방법을 충분히 검토하여야 한다.

2.3 잔골재

가. 고성능 콘크리트 폰툰의 제작에 사용되는 잔골재는 KS F 2526의 규정에 적합한 것이어야 한다.

나. 잔골재는 깨끗하고, 강하고, 내구적이고, 알맞은 입도를 가지며, 먼지, 흙, 유기불순물, 염화물 등의 유해량을 허용한도 이상을 함유하지 않아야 한다.

다. 잔골재의 입도 기준 및 품질은 <표 2.1>, <표 2.2>에 따른다.

【해 설】

(1) 입 도

- 잔골재는 10mm체를 전부 통과하고 5mm체를 질량비로 85%이상 통과하며, 최대입자로부터 미립자까지 대소의 알이 적당히 혼합되어 있어야 하며 <표 2.1>의 규정에 적합하여야 한다. 좋은 품질의 고성능 콘크리트 폰툰을 만들기 위해서는 <표 2.1>의 입도의 범위내에 있고 조립률이 2.3~3.1의 잔골재를 쓰는 것이 좋다.

<표 2.1> 잔골재의 입도

체의 호칭치수 (㎜)	체를 통과한 것의 질량백분율(%)
10	100
5	90~100
2.5	80~100
1.2	50~90
0.6	25~65
0.3	10~35
0.15	2~10

(2) 품 질

- 고성능 콘크리트 폰툰 제조에 사용하는 잔골재는 <표 2.2>의 품질규정을 만족하여야 한다. 단, 현장 경험이나 실내 시험 등으로 소요품질의 포장이 얻어질 수 있을 경우에는 규정에 적합하지 않은 골재도 감독자의 판단에 의해 사용할 수 있으며, 사용 목적에 따라 경제성을 고려하여 선정한다.

<표 2.2> 잔골재의 품질

구 분	시 험 방 법	규 정
밀도(절대건조)	KS F 2504	2.50 이상
흡수율 (%)	KS F 2504	3.0 이하
안정성 (%)	KS F 2512	10 이하
No.200체(0.08mm) 통과량	KS F 2511	3.0 이하
점토덩어리 함유량	KS F 2512	1.0 이하
비중 2.0의 액체에 뜨는 것	KS F 2513	0.5 이하

(3) 저 장

- 잔골재가 다른 골재와 서로 혼합되지 않도록 분리 저장하여야 하며, 먼지, 진흙 등 불순물이 혼입되지 않도록 하여야 한다.
- 잔골재는 빗물이 침투할 경우 입도의 변동이 발생할 수 있기 때문에 빗물 등에 직접 노출되지 않도록 천막이나 덮개를 씌워서 보관하여야 한다.

2.4 굵은골재

가. 고성능 콘크리트 폰툰의 제작에 사용하는 굵은 골재는 부순 골재(쇄석), 부순 자갈 등으로서 깨끗하고 강하고 내구적이어야 하며, 점토, 실트, 유기물 등의 유해물질을 함유해서는 안되며 골재의 최대치수는 13mm이어야 한다.

나. 골재 입도 기준 및 품질은 <표 2.3>, <표 2.4>에 따른다.

【해 설】

(1) 입 도

- 굵은 골재의 입도는 잔골재와 마찬가지로 소요 품질의 콘크리트를 경제적으로 만들기 위해서 대소의 알이 적당히 혼입되어 있어야 하며 <표 2.3>의 기준에 적합하여야 한다.

<표 2.3> 굵은 골재의 입도

체의 호칭치수 (㎜)	체를 통과한 것의 질량백분율(%)
20	100
13	90~100
10	40~70
5	0~15
2.5	0~5

(2) 품 질

- 굵은 골재는 <표 2.4>의 품질규정을 만족해야 한다. 단, 현장 경험이나 실내 시험 등으로 소요품질의 포장이 얻어질 수 있을 경우에는 규정에 적합하지 않은 골재도 감독자의 판단에 의해 사용할 수 있으며, 사용 목적에 따라 경제성을 고려하여 선정한다.

<표 2.4> 굵은골재의 품질

구 분	시험 방법	규 정
밀도(절대건조)	KS F 2503	2.5이상
흡수율 (%)	KS F 2503	3.0 이하
다져진 상태의 단위중량(kg/m^3)	KS F 2505	1,100 이상
안정성 (%)-황산나트륨 사용	KS F 2507	12.0 이하
마모율 (%)	KS F 2508	35 이하
점토덩어리 함유량(%)	KS F 2512	0.25 이하
연한석편(%)	KS F 2516	5.0 이하
골재씻기시험 손실율(%) (No.200번체 통과량)	KS F 2511	1.0 이하
비중 2.0의 액체에 뜨는 것(%)	KS F 2513	0.5 이하

(3) 저장

- 굵은골재는 종류별, 크기별로 분리 저장하여 서로 혼합되지 않도록 하여야 하며, 먼지, 진흙 등 불순물이 혼입되지 않고, 재료분리가 일어나지 않도록 하여야 한다.
- 빗물 등에 의해 직접 노출되지 않도록 덮개를 씌우거나 상설 지붕이 있는 시설에 보관하여야 한다.

2.5 EPS(Expanded PolyStyrene)

가. 고성능 콘크리트 폰툰 내부에 사용되는 EPS는 1종 3호 이상이어야 한다.

나. EPS의 물성기준은 KS M-3808의 기준에 따른다.

2.6 철근 및 용접철망(매쉬)

가. 철근은 깨끗해야 하며 들뜬 녹 등의 유해한 부식, 더러움, 흠, 변형 등이 없는 것이어야 한다.

나. 철근은 KS D 3504에 적합한 것이어야 하며, 그렇지 않은 경우에는 시험을 통해 설계강도 및 사용여부를 결정해야 한다.

다. 용접철망은 KS D 7017에 적합한 것이어야 한다.

라. 고성능 콘크리트 폰툰에 사용되는 철근의 허용인장강도는 400MPa이상이어야 한다.

마. 고성능 콘크리트 폰툰제조에 사용되는 철근은 녹방지를 위한 적절한 조치를 해야하며, 기타 일반사항에 대해서는 관련시방서를 따른다.

2.7 고성능 콘크리트

가. 고성능 콘크리트 폰툰 제작용 콘크리트는 소요의 강도, 내구성, 수밀성, 강재를 보호하는 성능 등을 가져야 하며, 품질의 변동이 적은 것이어야 한다.

나. 고성능 콘크리트 폰툰용 콘크리트의 강도는 다음 중 어느 하나의 방법에 의해 구한 압축강도로 나타내는 것을 원칙으로 한다.

① 촉진양생을 실시하는 경우에는 재령 14일에서의 압축강도 시험값

② 오토크레이브양생 등의 특수한 촉진양생을 하는 공장제품의 경우 14일 이전의 적절한 재령에서의 압축강도 시험값

③ 촉진양생을 하지 않은 경우에는 28일에서의 압축강도 시험값

다. 고성능 콘크리트 폰툰용 콘크리트의 허용 압축강도는 50MPa 이상이어야 한다.

라. 압축강도 시험은 KS F 2405에 따른다.

3. 제 조

3.1 거푸집

3.1.1 일반사항

가. 거푸집은 시공 중에 작용하는 하중으로 일어나는 가장 불리한 조합에 대해 충분한 강도와 안전성을 갖는 것이어야 한다.

나. 거푸집은 견고한 구조로서 형상 및 치수가 정확하며, 조립 및 해체가 용이한 것이어야 한다.

다. 거푸집은 콘크리트를 타설하기 전에 감독자의 검사를 받아야 하고, 콘크리트를 타설하는 동안 그 상태를 검사해야 한다.

3.1.2 거푸집 재료

가. 거푸집에 사용하는 재료는 강도, 강성, 내구성, 작업성, 타설해야 할 콘크리트에 대한 영향 및 경제성 등을 고려해서 산정해야 하며, KS에 규정된 규격재 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 한다.

3.1.3 거푸집 설치

가. 거푸집은 형상 및 위치를 정확하게 유지하도록 적당한 조임재 등을 사용하여 고정시켜야 한다.

나. 거푸집은 모르타르가 새지 않는 구조로 해야 하며, 거푸집의 이음을 부재축에 직각 또는 나란하게 되도록 해야 한다.

다. 거푸집판 내면에는 박리제를 도포해야 한다.

라. 부재의 모서리는 모따기를 해야 한다.

마. 거푸집의 조임재는 거푸집을 제거한 다음 콘크리트 표면에 남아 있지 않아야 한다.

3.2 철근 가공 및 조립

가. 철근은 설계도면에 표시된 형상과 치수에 일치하도록 재질을 해치지 않는 방법으로 가공해야 한다.

나. 철근의 구부리는 내면 반지름은 철근지름의 5배이상으로 하여야 한다.

다. 라멘구조의 모서리 부분의 외측에 연결하는 철근의 구부리는 내면 반지름은 철근 지름의 10배 이상으로 하여야 한다.

라. 철근은 재질을 손상하지 않도록 상온에서 가공해야 하며, 한번 구부린 철근은 다시 가공해서 사용해서는 안된다.

마. 철근을 조립함에 있어서는 미리 들뜬 녹 등 콘크리트와의 부착을 해칠 염려가 있는 것은 제거해야 한다.

바. 철근은 <표 3.1>에 규정하는 시공오차를 만족하도록 배치해야 한다.

사. 철근은 콘크리트를 타설하는 동안 움직이지 않도록 필요에 따라 조립용 강재, 풀림철선 또는 클립 등을 써서 견고하게 조립해야 한다.

아. 철근의 피복두께를 정확하게 확보하기 위해 적절한 간격으로 간격재를 배치해야 한다.

자. 철근은 조립이 끝난 후 철근가공 조립도에 의하여 조립되어 있는지를 반드시 검사하여야 한다.

【해 설】

(1) 철근 배치의 시공 허용오차

• 철근 배치에 관한 시공 허용오차는 <표 3.1>의 값으로 해야 한다.

<표 3.1> 굵은골재의 품질

항 목	시공 허용오차
유 효 높 이	- 설계치수의 ±3% 또는 ±30mm 중에서 작은 값, 다만, 최,소 피복두께는 확보해야 한다. - 바닥판의 경우 설계치수의 ±10mm로 하고 소요 피복두께를 확보해야 한다.

3.3 콘크리트

3.3.1 일반사항

가. 콘크리트의 배합은 소요의 강도, 내구성, 수밀성, 균열저항성, 철근 또는 강재를 보호하는 성능을 갖도록 해야 하며, 또한 작업에 적합한 워커빌리티를 갖는 범위 내에서 단위수량을 될 수 있는 대로 적게 하여 양질의 콘크리트를 만들 수 있도록 해야 한다.

나. 특히 염해의 영향을 받는 해안지역이나 심한 동결융해 작용을 받는 한랭지에 가설되는 콘크리트의 경우 배합에 대하여 충분히 검토해야 한다.

3.3.2 배합설계

가. 고성능 콘크리트 폰툰용 콘크리트의 배합강도는 50MPa이상으로 한다.

나. 주어진 성능을 만족하기 위해 전체 결합재량의 50% 이상을 고로슬래그 미분말로 치환할 수 있다.

다. 전체 결합재량은 455kg/㎥로 한다.

라. 잔골재율은 표면마감성을 고려하여 40%로 한다.

마. 고성능 콘크리트 폰툰 제작용 콘크리트는 작업성 및 성형성을 고려하여 슬럼프는 150±20mm를 만족해야 한다.

3.3.3 비비기

가. 고성능 콘크리트 폰툰에 사용하는 콘크리트의 비비기는 적합한 배치믹서를 사용하여야 한다.

나. 콘크리트의 성형은 거푸집에 채워 넣은 후 소요 품질의 제품이 얻어지도록 적절한 기계 다지기에 의해 실시하여야 한다.

다. 콘크리트의 계량 및 비비기는 “콘크리트 표준시방서 제2장 일반콘크리트 2.5 계량 및 비비기”에 따른다.

3.3.4 타설 및 다지기

가. 콘크리트의 타설은 주어진 시공계획서에 따라 쳐야 한다.

나. 콘크리트 타설 작업을 할 때에는 철근 및 매설물의 배치나 거푸집의 변형 및 손상이 발생하지 않도록 주의해야 한다.

다. 타설한 콘크리트는 거푸집 안에서 횡방향으로 이동시키지 않아야 하며 한 구획내의 콘크리트는 타설이 완료될 때까지 연속해서 타설해야 한다.

라. 콘크리트는 그 표면이 한 구획내에서는 거의 수평이 되도록 타설하는 것을 원칙으로 한다. 콘크리트의 1층 타설 높이는 다짐 능력을 고려하여 결정해야 한다.

마. 거푸집의 높이가 높을 경우, 재료분리를 방지하고 상부의 철근 또는 거푸집에 콘크리트가 부착하여 경화하는 것을 방지하기 위하여 거푸집에 투입구를 설치하거나, 연직슈트, 펌프배관의 배출구르 ㄹ타설명 가까운 곳까지 내려서 콘크리트를 타설해야 한다. 이 경우 슈트, 펌프배관, 버킷, 호퍼 등의 배출구와 타설면까지의 높이는 1.5m이하로 해야 한다.

바. 콘크리트의 다지기는 내부 진동기를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 내부 진동기의 사용이 곤란한 곳에서는 거푸집 진동기를 병용하는 것을 원칙으로 한다.

사. 층상으로 쳐진 콘크리트의 다지기에 있어서는 진동기를 하층의 콘크리트 속에 10cm정도 들어가도록 해야 한다. 또 진동기는 콘크리트에서 천천히 빼고, 뒤에 구멍이 남아 있지 않도록 해야 한다.

3.3.5 바탕면 무늬넣기

가. 콘크리트 타설이 완료된 후 1시간 이내에 바탕면 무늬 넣기를 실시해야한다.

나. 바탕면 무늬넣기를 위해서는 컬러 안료를 적당량 혼합하여 표면에 살포한후 미리제작된 고무무늬판을 깔고 일정시간 정치시켜 무늬가 도입될 수 있도록 실시한다.

다. 일정시간 동안 정치 후 고무무늬판을 떼어낸 후 코팅제로 무늬를 보호할 수 있는 조치를 실시한다.

라. 증기양생 시 표면 무늬 위로 물방울이 떨어지지 않도록 조치한 후 양생을 실시한다.

3.3.6 양생

가. 고성능 콘크리트 폰툰에 사용하는 콘크리트는 타설 한 후 소요기간까지 경화에 필요한 온도, 습도조건을 유지하며 유해한 작용의 영향을 받지 않도록 충분히 양생을 실시해야 한다.

나. 양생은 증기양생을 원칙으로 하며, 콘크리트 타설 후 3시간 이상 경과한 후에 가열을 시작해야 한다.

다. 온도상승은 시간당 온도차를 15℃ 이하로 하며, 최고온도 65℃를 넘지 않아야 한다.

3.3.7 거푸집 떼어내기

가. 거푸집은 콘크리트가 경화하여 제품을 다루기에 지장이 없는 강도에 도달한 후에 실시하여야 한다.

나. 즉시 탈형을 하더라도 해로운 영향을 받지 않는 부분에 대해서는 콘크리트가 소요의 강도에 도달하기 전에 거푸집의 일부 또는 전부를 해체해도 좋다.

3.4 제품검사

3.4.1 검사 및 시험

가. 검사항목은 제품의 모양, 치수, 정밀도, 철근가공 및 조립상태, 형틀조립상태를 포함한다.

나. 검사는 200EA를 1LOT로 하고, 1LOT에서 랜덤하게 1개의 시료를 샘플링하여 검사하고 합격판정을 내린다.

3.4.2 품질관리

가. 고성능 콘크리트 폰툰용 콘크리트의 강도는 다음 중 어느 하나의 방법에 의해 구한 압축강도로 나타내는 것을 원칙으로 한다.

① 촉진양생을 실시하는 경우에는 재령 14일에서의 압축강도 시험값

② 오토크레이브양생 등의 특수한 촉진양생을 하는 공장제품의 경우 14일 이전의 적절한 재령에서의 압축강도 시험값

③ 촉진양생을 하지 않은 경우에는 28일에서의 압축강도 시험값

나.. 고성능 콘크리트 폰툰용 콘크리트의 허용 압축강도는 50MPa 이상이어야 한다.

다. 압축강도 시험은 KS F 2405에 따른다.

3.5 제품저장

가. 저장방법은 종류에 따라 적치 보관한다.

나. 적치시 받침목의 위치는 상, 하 동일선상에 두어야 하며 제품에 손상이 없도록 해야 한다.

3.6 운송

가. 제품의 출하는 설치순서에 준하여 출하시켜야 하며 1일 설치량, 현장의 적치량, 진입로 등을 고려하여 출하량을 결정해야 한다.

나. 제품 상차시 제품이 파손될 경우를 대비하여 적절한 조치를 취하여야 하고 운송중 제품이 확실하게 고정될 수 있도록 조치하여야 한다.

4. 시 공

4.1 시공일반

가. 고성능 콘크리트 폰툰의 시공시에는 작업순서를 파악하고, 기타 관련공사 일정을 고려하여, 안전하고 원활한 시공이 이루어질 수 있도록 시공계획을 수립하여야 한다.

나. 시공자는 공사 착공과 동시에 설계도서와 현장과의 일치여부를 확인하는 공사측량을 실시한 후 설계도서와 일치여부를 확인하고, 상이할 경우 설계변경 등의 조치를 취하여 시공작업에 지장이 없도록 해야 한다.

4.2 시공장비

4.2.1 폰툰 인양장비

가. 고성능 콘크리트 폰툰의 운반을 위한 인양 작업을 위한 크레인은 운반해야할 폰툰의 크기, 중량, 회전반경 등을 고려하여 결정해야 한다.

나. 폰툰의 인양에는 제작된 폰툰의 무게와 인양중 안전을 고려하여 적정한 크기의 크레인을 사용하여야 한다.

4.2.2 해상운반

가. 고성능 콘크리트를 설치위치까지 운반하기 위해서는 예인선이나 바지선을 이용하여 설치위치까지 운송하며, 현장여건에 따라 육상에서 크레인을 이용하여 설치위치로 인양할 수도 있다.

4.3 조립

가. 폰툰을 설치위치로 이동한 후 파일에 파일가이드를 이용하여 폰툰을 가조립한다.

나. 파일에 파일가이드를 이용하여 폰툰을 가조립한 후 폰툰과 폰툰사이에 완충고무 및 연결재를 이용하여 1차 조립을 실시한다.

다. 폰툰과 폰툰의 연결, 그리고 폰툰과 파일과의 연결 작업을 반복하여 모든 폰툰을 연결한 후 파일가이드를 이용하여 파일과의 조립을 완료 한다.

라. 폰툰과 파일과의 연결이 완료된 후에는 폰툰과 요트 등의 접합부에 손상방지를 위한 방충재를 설치하여야 한다.

마. 연속 수평 펜더를 적용할 경우에는 고무 방충재를 주로 사용한다.

바. 파일 고정 방식이 아닌 씨플렉스 방식으로 폰툰을 고정하는 경우에는 미리 설치된 씨플렉스와 폰툰이 연결될 수 있는 체결장치가 있어야 한다.

사. 설계시 푼툰의 형상, 설치 조건 등에 따라 체결방법을 결정해야 하며, 연결재 방식이나 웨일러(Waler) 방식 중 폰툰의 안전성을 고려하여 적용해야 한다.

아. Waler 방식으로 접합되는 경우 폰툰 제작시 웨일러 설치용 앵커를 미리 삽입해야 하며, 인양된 폰툰과 폰툰의 연결부에 먼저 가조립하여 폰툰의 위치를 조정하고, 모든 폰툰위치가 조정되면 나머지 부분을 체결하여 시공 완료한다.

자. 웨일러 방식에 의해 체결된 폰툰에서는 웨일러를 방충재로 동시에 사용할 수도 있으며, 추가로 고무 방충재를 웨일러에 접합시켜 사용할 수도 있다.

차. 폰툰간 체결이 완료된 후에는 발라스트에 자갈 등의 고체물질을 채워 폰툰의 균형을 조절하여 마무리한다.

4.4 서비스 시설 설치

가. 요트나 위그선등에 공급되는 전원, 수도관, 소화전 등의 설치를 위해서는 제작시 유틸리티 채널을 설치하여 원하는 위치에 서비스 시설이 설치될 수 있도록 해야 한다.

나. 클리트는 정박되는 선박의 크기를 고려하여 용량을 결정하여야 하며, 선박의 크기에 따라 제작시 앵커를 삽입하여 설치하거나 폰툰 제작완료 후 별도의 작업을 통해 설치할 수 있다.

다. 클리트의 용량을 선정할 시에는 계류된 선박에 직각으로 작용하는 풍압과 파력, 조류력 등을 고려하여야 하며, 동적인 충격력을 감안하여 적정한 안전율을 갖도록 하여야 한다.

라. 급전이나 급수, 그리고 오수설비는 적절한 용량의 것을 유틸리티 채널을 통해 연결하고, 모든 설비 설치가 완료된 유틸리티 채널을 별도로 제작된 덮개를 덮어 마무리 한다.

5. 폰툰 규격 및 중량, 건현

5.1 콘크리트 부잔교 규격

가. 고성능 콘크리트 부잔교의 표준 사이즈는 다음과 같다.

- MP1 : L×B×H=14.9×3.0×1.5m, 건현 0.5m
- MP2 : L×B×H=12.4×3.0×1.5m, 건현 0.5m
- MP3 : L×B×H=9.9×3.0×1.5m, 건현 0.5m
- SP1 : L×B×H=7.0×3.0×1.5m, 건현 0.5m
- SP2 : L×B×H=10.0×6.0×1.6m, 건현 0.5m

5.2 유틸리티채널

가. 전선관, 급수관 등의 다양한 유틸리티 시설이 설치될 수 있는 채널을 확보해야 하며, 설계도면에 표시된 규격을 준수하여 제작전 공사감독자에게 확인을 받아야 한다.

나. 고성능 콘크리트 폰툰에서는 오픈된 유틸리티 채널을 확보하며, 해당 유틸리티 채널을 설치한 후 알루미늄으로 제작된 뚜껑으로 유틸리티 채널을 보호한다.

다. 유틸리티 채널 뚜껑은 우수의 침입을 방지할 수 있도록 하부에 고무매트를 설치하여 제작된 것을 사용하며, 이용자의 하중에 견딜 수 있도록 견고하게 제작하여야 한다.

6. 폰툰제작 특기사항

6.1 고성능 콘크리트 폰툰

가. 고성능 콘크리트 폰툰 제작은 설계도면에 의해 이루어져야 하며, 제품검사의 부합여부를 판단할 수 있도록 각종 시험 성적서를 첨부하여 공사감독자에게 제출해야 한다.

나. 각종 유틸리티관의 설치를 위해 오픈된 유틸리티 채널이 설치될 수 있도록 설계된 제품이어야 한다.

다. 파일가이드가 설치될 경우 파일 가이드 설치를 위하여 파일가이드 장착부가 폰툰 제작시 매립하여 제작된 제품이어야 한다.

라. 길이 방향으로 설치되는 폰툰간 체결은 2개소에 미리 연결재가 연결될 수 있는 홈과 고무보호막이 설치될 수 있도록 제작시 고려하여야 한다.

라. 웨일러 방식에 의해 폰툰을 체결 할 경우 제작시 웨일러 고정 앵커를 삽입하여 제작되어져야 한다.

라. 폰툰의 조립완료 후 균형 조절을 위하한 발라스트 챔버가 설치된 제품이어야 한다.

마. 고성능 폰툰 제작 형상은 첨부된 설계도면*을 기준으로 제작되어져야 한다.

* 설계도면 별도 첨부

아. 경제성 분석

(1) 콘크리트 재료비 분석

본 절에서는 최종 연구개발 결과를 토대로 경제성 분석을 실시하였다. 우선, 본 연구에서 개발한 저탄소 콘크리트의 배합설계표 상의 소요 재료량을 기준으로 일반 콘크리트와 저탄소 콘크리트의 재료비 단가를 표 47 ~ 표 49와 같이 산정하였다.

표 47. 압축강도 50MPa 콘크리트의 배합설계

구분	슬럼프 (㎝)	공기량 (%)	물-시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위재료량(kg/㎥)					감수제 (%)
					물	시멘트	고로슬래그	잔골재	굵은골재	
일반 콘크리트	15±2	4.0 ±1.5	36.26	39.8	165	455	0	686	1,038	0.6
저탄소 콘크리트	15±2	4.0 ±1.5	36.26	39.8	165	136.5	318.5	686	1,038	0.8

표 48. 콘크리트 재료비 산출을 위한 재료 단가

품명	시멘트	고로슬래그	잔골재 (강모래)	굵은골재 (자연자갈)	감수제
단가(원/kg)	80.96	54.5	13.33	13.88	1,500

표 49. 단위체적(1m^3)당 콘크리트 재료비

구분	재료비(원)					
	합계	시멘트	고로슬래그	잔골재	굵은골재	감수제
일반 콘크리트	64,472	36,840	-	9,144	14,407	4,080
저탄소 콘크리트	57,485	11,056	17,357	9,144	14,407	5,520

폰툰의 전체적 형상과 소요 재료량을 일반 콘크리트 폰툰과 동일한 것으로 가정하면, 표 49와 같이 저탄소 콘크리트의 경제성으로 인해 일반 폰툰에 비해 본 연구에서 개발한 폰툰의 제작 단가가 낮을 것으로 예상된다.

(2) 대상구조물 분석

대상 구조물은 15m(L)×3m(B)×1.3m(h)의 제원을 갖는 주폰툰으로 사단법인 한국물가정보(http://www.kpi.or.kr/) 상에 등록되어 있는 A사의 동일 제원 폰툰 단가와 본 연구에서 개발한 폰툰의 제작단가가 비교 대상이다. 한국물가정보 상의 해당 단가는 제작단가와 제조사의 이윤을 포함하고 있어 직접적인 비교는 어려우나 상대적인 비교는 가능할 것으로 판단된다.

표 50은 본 연구에서 개발한 폰툰의 실시설계를 토대로 산정한 대상 폰툰 제작비용에 대한 내역서이다. 콘크리트 폰툰 1본 제작에 대한 일위대가로 하위 호표에 대한 일위대가는 생략하였다. 내역서 상의 각 항목에 대한 단가는 (사)한국물가정보, 대한건설협회 거래가격 및 견적단가를 토대로 산정하였다.

표 50.폰툰 제작비용 내역서

품 명	규 격	수 량	단위	합 계		노무비		재료비		경 비		비고
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
레미콘	25-35-15	17.25	㎥	78,140	1,347,915			78,140	1,347,915			
레미콘펌프차타설	철근(50㎥미만)	17.079	㎥	14,119	241,136	9,012	153,915	2,073	35,404	3,034	51,817	
강재거푸집	장비조합거치 및 해체	100.5	㎡	30,081	3,023,140	25,352	2,547,876	1,238	124,419	3,491	350,845	
강재거푸집 제작	14.9×3.0×1.5	0.033	EA	20,085,980	669,533	7,895,695	263,190	11,936,382	397,879	253,903	8,463	
증기양생	48hr	1	식	3,626,623	3,626,623	1,146,107	1,146,107	2,262,932	2,262,932	217,584	217,584	
이형철근(SD500)	D=10 광주	0.932	Ton	740,000	689,680			740,000	689,680			
와이어메쉬	D4.8 100×100mm	41.661	㎡	2,790	116,234			2,790	116,234			
멀바우	(DECK)-CME02 T30×120	15.65	㎡	165,000	2,582,250			165,000	2,582,250			
펜더	W450×L1,000×H100	23.8	m	125,000	2,975,000					125,000	2,975,000	
완충장치	Φ160×400	2	EA	285,000	570,000					285,000	570,000	
철근가공및조립	보통가공	0.905	Ton	30,235	27,361	29,643	26,826			592	535	
강관비계		53.7	㎡	13,967	750,027	11,322	607,991	2,645	142,036			
스탬프 콘크리트		29.8	㎡	19,720	587,656	16,295	485,591	3,425	102,065			
내부충진공(EPS)	주폰툰(14.9×3.0×1.5)	1	EA	4,021,805	4,021,805	101,409	101,409	3,910,581	3,910,581	9,815	9,815	
표면처리공(EPS)	주폰툰(14.9×3.0×1.5)	1	EA	2,121,298	2,121,298	1,186,679	1,186,679	907,789	907,789	26,830	26,830	
운반비		1	식	1,300,000	1,300,000			1,300,000	1,300,000			
공과잡비 및 기타비용		1	식	3,000,000	3,000,000					3,000,000	3,000,000	
이윤	제작비 15%	1	식	4,000,000	4,000,000					4,000,000	4,000,000	
주폰툰 제작	**14.9×3.0×1.5**		**EA**		**31,649,658**		**6,519,584**		**13,919,184**		**11,210,889**	

위 표의 내역서에서 레미콘은 본 연구에서 개발한 저탄소 콘크리트를 표 49에서와 같이 산출한 단가에 운반비 등이 추가된 금액을 적용하였으며 강재거푸집은 제작 후 30회 사용을 기준으로 하여 1회 사용금액으로 환산하여 적용하였다. 다른 내역 또한 적산기준에 따라 적절하게 산정하였으며 운반비, 공과잡비 및 기타비용을 별도로 책정하였다.

한국물가정보에 등록되어 있는 A사의 콘크리트 폰툰의 경우 해외 경상기술료와 이윤이 포함되어 있음을 감안하여 본 연구에서 개발한 콘크리트 폰툰의 제작단가에 이윤 15%를 추가하여 비교하였다. 또한 대상구조물 1본당 5,600만원으로 책정된 A사 폰툰의 경우 설계를 위한 가격으로 시공에 적절한 실행가격을 추정한다면 설계가격에 85% 수준으로 비교하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 따라서 추정된 A사 폰툰 제조

단가와 본 연구 콘크리트 폰툰의 제조단가를 기타 성능을 포함하여 표 51과 같이 비교하였다.

표 51. 기존 폰툰과의 단가/성능 비교

구 분	제조단가	이윤	기술료	내구성	기능성	심미성	CO2 감소효과
A사	4,760 만원*	보통	높음	보통	낮음	낮음	없음
본 연구	3,165 만원	보통	없음	높음	높음	높음	높음

* A사 콘크리트 폰툰의 추정가

표 51과 같이 물가정보에 등록되어 있는 콘크리트 폰툰에 비해 본 연구에서 개발한 콘크리트 폰툰이 무려 30%이상 저렴한 것으로 비교되어 경제성이 우수한 것으로 평가되었다.

이처럼 개발된 폰툰이 경제성 뿐만 아니라 내구성, 기능성, 심미성, 탄소저감효과 등 월등히 높은 성능이 포함된 점이 부각된다면 향후 충분히 시장경쟁력 확보가 가능할 것으로 기대된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

당해년도 연구의 목표는 '마리나 폰툰용 저탄소 콘크리트 개발'과 '콘크리트 폰툰 기본 설계'로서 대부분의 연구목표를 성공적으로 완수하였다. 개발된 저탄소 콘크리트는 폰툰 뿐 아니라 다양한 수중구조물에 범용으로 적용할 수 있는 50MPa의 우수한 강도와 다양한 내구성 평가지표를 만족시키는 것으로 나타났으며 포틀랜드 시멘트의 70%를 고로슬래그로 치환하여 동일한 강도의 일반 콘크리트 대비 약 24%의 CO_2 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 실험 결과 콘크리트 강도, 마모저항성, 동결융해 저항성, 염소이온투과저항성, 중성화저항성, 미끄럼 저항성 등은 모두 목표치를 상회하는 것으로 나타나 매우 성공적인 기술개발이 이루어진 것으로 평가된다.

콘크리트 폰툰의 기본설계 역시 다양한 요소기술의 개발 및 접목으로 기존 콘크리트 폰툰의 성능을 대폭적으로 개선하였다고 판단된다. 기존 폰툰의 내구성을 저하시키는 원인인 폰툰 연결부와 파일가이드 연결부의 구조개선을 통해 내구성 향상방안을 마련하였다. 또한 기존의 유틸리티관을 유틸리티 채널 형태로 변경하여 시공과 유지관리 편의성을 향상시켰으며, 연결부 체결과 솔리드 발라스트 투입, 파일가이드 고정, LED 조명 및 페데스탈 설치 등의 기능을 부여하여 구조적/기능적 효율성을 개선하였다. 특히 유틸리티 채널의 덮개는 회색 일색이었던 콘크리트 표면에 착색 기술과 더불어 디자인적인 요소를 부여할 수 있어 심미성이 중요한 마리나 구조물의 특징에 잘 부합하는 것으로 판단된다. 콘크리트 폰툰 단부에 설치하는 솔리드 발라스트 역시 효과적으로 폰툰의 내구성 향상과 이용자의 안전성을 향상시킬 수 있는 기술로 개발되었다.

상기와 같이 개발된 다양한 기술의 구조적 타당성을 검증하기 위하여 주요 부위에 대한 상세 유한요소해석 실시하였으며, 주요 상세 개발, 실시설계, 시제품 제작 등의 목표도 무난히 달성하였다. 또한 경제성 분석 결과 기존 제품에 비해 우수한 가격경쟁력을 갖는 것으로 분석되었다.

이에 따라 해안, 항만분야에 탄소 저감기술과 사용자의 편리성, 구조적 안전성, 미적 감각이 접목된 콘크리트 폰툰 제조 기술의 발전을 가져올 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발결과 활용방안

가. 연구개발결과의 활용방안

제안하는 연구로부터 얻어지는 최종성과물은 실용화 단계의 콘크리트 폰툰 제품으로 폰툰 시제품, 표준 도면, 시방서, 관련 특허를 포함한다. 개발되는 마리나 폰툰은 조기 사업화를 통해 제1차(2010~2019) 마리나항만 기본계획에 따라 추진되는 국내 43개 마리나항만 개발에 적용될 수 있을 것이다. 이로부터 축적된 경험과 실적, 그리고 탄소저감형 기술로서의 강점을 내세워 아시아권의 신흥시장에 진출할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 제안된 기술은 마리나항만 뿐만 아니라 어항의 계류시설과 부유형 방파제, 부유식 건축물의 기초 등으로도 전용이 가능하여 다양한 방면으로 활용이 가능할 것이다.

나. 기대성과 및 파급효과

<기술적 파급 효과>

폰툰 형식 중에서 가장 높은 수준의 기술력을 요하는 콘크리트 폰툰의 개발에 성공할 경우 알루미늄, 콘크리트데크 형식 등 다양한 형태의 폰툰 개발이 가능하여 마리나 폰툰 관련 기술의 완전한 자립화가 가능하다. 또한 국내 수요 부족으로 미국, 유럽 등의 기술선도국과 많은 격차가 있었던 마리나 건설 산업에서 단기간 내에 기술격차를 좁힐 수 있을 것으로 기대된다.

또한 콘크리트 폰툰은 어항의 계류시설이나 다양한 부유식 구조물, 방파제 등에 활용될 수 있는 원천기술로서 다양한 산업분야로 파급될 수 있다. 특히 수상구조물용으로 개발될 저탄소 콘크리트는 정부의 탄소저감 노력에 힘입어 여러 분야에서 각광받을 것으로 예상된다.

<경제적 파급 효과>

2019년까지 43개 마리나항만 건설 계획에 따라 향후 예상되는 계류시설 수요를 총 5,600척 규모로 가정하고 전량 국산 폰툰 기술로 대체하여 계류시설을 설치할 경우 수입대체 효과는 약 3,200억원에 이를 것으로 예상되며 저탄소 콘크리트 적용에 따라 약 10만톤의 CO_2를 저감할 수 있을 것으로 기대된다. 제1차 마리나항만 기본계획이 예상 수요의 54% 수준을 목표로 하였음을 감안하면 향후 경제적 파급효과는 예상값을 훨

씬 상회할 것으로 판단된다.

세계시장에서 볼 경우 우리나라는 마리나 산업에 있어 상당한 후발주자로서 사업화 초기에는 지명도와 실적 부족으로 수출에 다소 어려움이 예상되는 것이 사실이다. 그러나 세계 주요 국가들은 국가 차원에서 온실가스 감축 목표를 설정하고 달성을 위해 다양한 노력을 하고 있는 추세이므로, 저탄소 콘크리트 폰툰 기술을 적극적으로 홍보한다면 충분히 세계시장 진출이 가능할 것으로 판단되며 레저용 선박 등 관련산업 해외진출의 첨병 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- '제 2 장 국내외 기술개발 현황' 수록 내용으로 대체함 -

제 7 장 참고문헌

1. D.M. Roy and G.M. Idorn, "Development of Structure and Properties of Blast Furnace Slag Cements," J. Am. Concr.Inst., 97 444-57 (1982)
2. G. Frigione and R. Sesale, "Gypsum in Blast Furnace Slag Cements," Am. Ceram. Soc. Bull., 62 1275-79 (1983).
3. M. Daimon, "Mechanism and Kinetics of Slag Cement Hydration," Proc. 7th Intern. Cong. Chem. Cem., 1 2/1-2/9 (1980).
4. D. M. Roy, "Alkali Activated Cements Opportunities and Challenges," Cem. Concr. Res., 29 [2] 249-54 (1999)
5. P. S. Parameswaram and A. K. Chatterjee, "Alkali Activation of Indian Blast Furnace Slag," Proc. 8th Int. Congr. Chem. Cem., Brazil, Vol. 104-07 (1986)
6. K. Isozaki, "some Properties of Alkali Activated Slag Cements," CAJ Rev., 120-23 (1986)
7. A. Bezjak, "on the Determination of Rat Constants for Hydration Processes in cement Pastes," Cem. Concr. Res., 10 [4] 553-63 (1980)
8. A. Fernandez-Jimenez, F. Puertas, and A. Arteaga, "Determination of Kinetic Equation of Alkaline Activation of Blast Furnace Slag by Means of Calorimetric Data,"J.Ther.Analysis, 52 945-55(1998).
9. C.T. Song, M. Daimon, and R. Kondo, "Hydration of Granulated Blast Furnace Slag in the Presence of NaOH," J.Kor. Ceram. Soc., 17 [3] 158-62
10. F. Collins and J. G. Sanjayan, "Early Age Stength and Workability of Slag Pastes Activated by NaOH and Na_2CO_3" Cem. Concr. Res., 28 [5] 655-64 (1988)
11. E. Douglas and J. Brandstetr, "A Preliminary Study on the Alkali Activation of Granulated Blast Furnace Slag," Cem. Concr. Res., 20 [5] 746-56 (1990).
12. 문영범, “알칼리 자극제에 의한 고로수쇄슬래그의 수화반응 기구”, 군산대학교 대학원, 2006년
13. 한국콘크리트학회(2001), “콘크리트 혼화재료”, 기문당
14. P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro(1992), "CONCRETE Structure, Properties, and Materials Second Edition"
15. Roy, A. Eaton, H. C. Malone, P. G. "Microstructure, strength, and reaction products of ground granulated blast-funace slag activated by highly concentrated NaOH solution", 『Journal of materials research』, Vol.9 No.1 , 1994

16. 안지환, 조진상, 김형석, 한기석, 김 환, “알칼리 자극제에 의한 고로수쇄 슬래그의 활성화 특성”, Journal of the Korean ceramic Society Vol. 40, No. 10, pp. 1005-1014, 2003
17. R. Kondo and S. Ohsawa, "Studies on a Method to Determine the Amount of Granulated Blast Furnace Slag and the Rate of Hydration of Slag in Cement," Proc. 5th Int. Congr. Chem. Cem., Vol. 255-62 (1968)
18. 이재승, 정경수, “고강도 콘크리트의 폭렬발생 원인조사에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조부 제24권 제 5호(통권235호) 2008년 5월
19. S. D. Wang and K. L. Scrivener, "15)Hydration Products of Alkali Activated Slag Cement," Cem. Concr. Res., 25[3] 561-71 (1995).
20. 김규용, 김영선, 이태규, 김무한, “고온특성 평가 방법에 따른 콘크리트의 역학적 특성”, 구조물진단학회지 제13권 제6호(2009.11), pp.14～25
21. KS F 2405, “Method of test for compressive strength of concrete”, 2010
22. J.R. Mackechnie and M.G. Alexander(1997), “Exposure of concrete on different marine environment”, Jpurnal of Materials in civil engineering, Vol. 9, No. 1, February
23. KS F 2456, “Method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing” 2008
24. J.R. Mackechnie and M.G. Alexander(1997), “Exposure of concrete on different marine environment”, Jpurnal of Materials in civil engineering, Vol. 9, No. 1, February
25. 권연성(2002), “고반응성 메타카올린을 사용한 고성능 콘크리트의 특성”, 건국대학교 석사학위 논문
26. SONG, etc, "Hydration of alkali-activated ground granulated blast furnace slag", 『Journal of materials research』, Vol.35 No.1 , 2000
27 이한승, 최진영, “이산화탄소 수지(흡수·배출) 측면에서 시멘트 콘크리트의 친환경 성능 평가”
28. "건축재료 제22장 방화 및 내화재료" , pp. 447-458 , 대한건축학회 , 기문당 , 1998
29. Zellner W (1987). Recent designs of composite bridges and a new type of shear connectors. In, 1987. ASCE, pp. 240-252.
30. Oguejiofor. E.C. and Hosain, M.U., “Numerical Analysis of Push-out Specimens with Perfobond Rib Connectors”, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 62, No. 4, 1997, pp.617-624.
31. Eurocode 4. ENV 1994. Design of composite steel and concrete structures. European Committee for Standardisation (CEN), 1997; 1994.
32. “항만 및 어항설계기준”, 해양수산부, 2005
33. 항국항만협회, “항만설계기준 핸드북”, 국토해양부, 2011
34. 차영기 외, “항만공학”, 새론출판, 2003

35. 김남형, 박제선 역, “해양·항만구조물/PC구조물”, 도서출판 과학기술, 1993
36. 해양수산부 항만국, “항만편람”, 해양수산부, 2004
37. 우봉구 외 역, “선체와 해양구조물의 운동학”, 연경문화사, 1987
38. 이익효, 김현주, “해양·항만 구조물의 설계공학”, 신기술, 2004
39. 미야타 히데아키 외, “요트의 과착”, 지성사, 2006
40. 한국시설안전공단, “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(항만)”, 구미서관, 2009
41. 한국건설기술연구원, “콘크리트 부유구조체의 특성을 고려한 실용화 기술개발”, 건설정보사, 2010
42. 이상현, 이성복, 이상승, 콘크리트의 탄산화 관점에서 CO2 배출량 흡수량 평가에 관한 연구, 콘크리트학회 2009년 2월

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.