보안과제( ), 일반과제( ) / 공개( ), 비공개( ), 발간등록번호( )
국토교통과학기술촉진연구사업 제3차 연도 최종 보고서

발 간 등 록 번 호
11 - B552989-000383-01

R&D / 16150-11352

모듈러 실증단지 POE를 통한 성능 경제성 향상방안 연구 최종보고서

2021. 03. 05.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 동양구조이앤알
공동연구기관 / 한국건설생활환경시험연구원
공동연구기관 / ㈜동양

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

'모듈러 실증사업 POE를 통한 성능 경제성 향상 방안연구'
(연구개발 기간 : 2018. 04. ~ 2020. 12.) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2021 . 03. 05.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한승헌 (인)



주관연구기관책임자: 임석호
공동연구기관책임자: 현창국
공동연구기관책임자: 이원학
공동연구기관책임자: 천상훈

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16150 11352	해당 단계 연구 기간	2018.04.17.~ 2020.12.31	단계구분	3차년/3차년
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명	모듈러 실증사업 POE를 통한 성능 경제성 향상 방안 연구			
	세부과제명	모듈러 실증사업 POE를 통한 성능 경제성 향상 방안 연구			
연구책임자	임석호	해당단계 참여연구원 수	총: 18명 내부: 18명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:600,000천원 민간:470,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 1,070,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 18명 내부: 18명 외부: 명	총 연구비	정부:600,000천원 민간:470,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 1,070,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국건설기술연구원 국민생활연구본부			참여기업명 동양구조이앤알 외	
국제공동연구	해당없음			해당없음	
위탁연구	해당없음			해당없음	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	해당 없음

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허 출원	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	8	1	11								

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	최근 준공된 모듈러 공동주택의 성능/경제성/시공성의 객관적인 평가와 검증을 통하여 국민들이 안심하고 선택할 수 있고, 발주처는 적극적인 공급계획을 수립할 수 있도록 대량 생산 및 ***보급형 모듈러 프로토 타입 개발을 최종 목표***로 함. 1) 3대 실증(기술성, 경제성, 시공성) 모니터링을 통한 문제 해결 솔루션 개발 2) 천안두정 실증단지의 POE 및 모니터링을 통한 성능의 객관적 평가 및 검증 3) 최종 개선 요소기술 시작품 제작 및 모듈러 보급 Proto-Type 개발
연구개발성과	- 실증 기술성 및 경제성/ 시공성 등 3대결과 솔류션 개발 보고서 - 천안두정 실증단지 성능 지표 검증 - POE 평가 및 해결 방안 제안/ 최종 검증 - 3대 난제(화재안전성/내진안전성/생활쾌적성)해결을 위한 12대 실증 요소 개선 기술 및 시작품 제작 - 모듈러 상용화 최종 프로토 타입 모델 개발
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	(활용계획) - 현 정부 주거복지 로드맵에 의한 향후 5년간 100만호 공공주택의 공급모델로서 활용 - 도시재생 뉴딜사업의 주거지 지원사업 유형 등의 공급모델로서 활용 - LH 및 SH 등 공공임대 발주처의 경우 객관적인 성능평가 및 안전성에 대한 실제사례의 성적서 등으로 활용 - 공급가 설정을 위한 원가내역서와 공정관리를 위한 기준으로 활용 (기대효과) - 모듈러주택의 12대 실증기술에 대한 객관적 성능평가 지표 산출 - 도시재생 사업에서의 현장 소음 및 분진의 최소화를 통한 민원감소와 이를 통한 도심주택 건축의 활성화 - 주택의 신축 및 철거, 이전 등 일련의 건축 및 주택 라이프 싸이클 순환시스템 구현 - 저출산 고령화 시대에 대응하여 컴팩트 주택 및 1-2인 가구형 공동주택의 모델 - 실 구성 조합설계의 구현을 통한 BIM설계기술의 최적화 주택생산 공법을 상용화 - 향후 스마트 도시의 주택모델로서 적시적소에 공급할 수 있는 주거모델로서 역할

국문핵심어 (5개 이내)	모듈러	거주후 평가	표준화	공공임대주택	도시재생
영문핵심어 (5개 이내)	Modular	POE	Standardization	Public Housing	urban regeneration

〈 목 차 〉

1. 연구개발 과제의 개요 ····· 1
가. 최종목표 ····· 3
나. 연차별 연구개발 목표 및 결과 ····· 5
(1) 1차년도 ····· 5
(2) 2차년도 ····· 6
(3) 3차년도 ····· 10

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 13
가. 1차년도 수행내용 ····· 15
(1) 3대 실증(기술성, 경제성, 시공성)모니터링을 통한 문제 해결 솔루션 개발(KICT) 18

나. 2차년도 수행내용 ····· 219
(1) 천안두정 실증단지 입주자 대상 거주 후 평가(KICT) ····· 222
(2) 가양 실증단지 내진성능평가 / 천안두정 실증단지 진동 성능평가(동양구조이앤알) ·250
(3) 외장마감 일체형 패널 상용화 검토 및 시작품 제작(동양) ····· 275
(4) 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가(KCL) ····· 291

다. 3차년도 수행내용 ····· 331
(1) 동절기 천안두정 실증단지 입주자 대상 거주 후 평가(KICT) ····· 334
(2) POE 및 모니터링을 통한 종합 해결 설계 Proto-Type 개발(KICT) ····· 388
(3) 천안 실증단지 내진성능 평가(동양구조이앤알) ····· 454
(4) 주거용 모듈러 건축물 내진보강 및 진동 저감 기술 개발(동양구조이앤알) ····· 498
(5) 세대 내 간막이 벽체 상용화 검토 및 시작품 제작(동양) ····· 509

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 525
가. 연구기관별 최종 연구목표 ····· 527
나. 목표 달성여부 ····· 528
(1) 최종 연구목표 달성여부 ····· 528
다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구 필요성 등) ····· 529

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 531
5. 붙임. 참고문헌 ····· 541
6. 부록 ····· 543
가. 거주 후 평가 설문지 ····· 547
나. 주요 분석 결과(설문지 결과) ····· 553
다. 설문조사 코딩 내역 ····· 567

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

〈 그림목차 〉

[그림 1.1.1] 거주 후 평가 결과 예시 ····6

[그림 2.1.1] 가양 모듈러 주택 적용 공법(적층공법) ····18
[그림 2.1.2] 가양 모듈러 주택 대지활용 ····19
[그림 2.1.3] 가양 모듈러 주택 배치도 ····19
[그림 2.1.5] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면 유형 ····19
[그림 2.1.4] 가양 모듈러 주택 단면 및 평면구성 ····19
[그림 2.1.6] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면계획 ····20
[그림 2.1.7] 가양동 라이품주택 입지 여건 ····21
[그림 2.1.8] 가양 라이품주택 조감도 ····22
[그림 2.1.9] 가양 라이품주택 내부 평면도 ····22
[그림 2.1.10] 거주 후 평가 분석 모형 ····22
[그림 2.1.11] 성별 분포 ····23
[그림 2.1.12] 연령 분포 ····23
[그림 2.1.13] 이전 주거유형 분포 ····23
[그림 2.1.14] 요소별 만족도 평균 ····25
[그림 2.1.15] 주거 성능요소 만족도 평균 ····26
[그림 2.1.16] 대상 건축물 위치 ····29
[그림 2.1.17] 대상 건축물 전경 ····30
[그림 2.1.18] 대상 건축물 평면도 ····30
[그림 2.1.19] 대상 건축물 진동에 대한 설문조사 결과 ····31
[그림 2.1.20] 대상 건축물 전경 ····31
[그림 2.1.21] 도로 표기 규칙 ····32
[그림 2.1.22] 주변 도로 및 주차장 현황사진 ····34
[그림 2.1.23] 101동 엘리베이터 현황 ····41
[그림 2.1.24] 마감재 현황 ····43
[그림 2.1.25] 장비 설치 현황 ····44
[그림 2.1.26] 3축 가속도 센서 설치 ····44
[그림 2.1.27] 진동 측정위치 및 측정 장비 설치상황 ····45
[그림 2.1.28] ISO 2631-2 주거지역 진동평가기준(지속 또는 단속진동) ····47
[그림 2.1.29] 101동 304호 세탁기조건 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축) ····49
[그림 2.1.30] 101동 304호 세탁기조건 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축) ····50
[그림 2.1.31] 101동 501호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축) ····50
[그림 2.1.32] 101동 501호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축) ····51
[그림 2.1.33] 102동 202호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축) ····52
[그림 2.1.34] 102동 202호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축) ····53
[그림 2.1.35] 102동 304호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축) ····54
[그림 2.1.36] 102동 304호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축) ····54
[그림 2.1.37] 102동 2층 복도 중앙 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축) ····56

[그림 2.1.38] 102동 2층 복도 중앙 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축) ·····56
[그림 2.1.39] 101동 304호 일상조건 진동측정데이터 ·····57
[그림 2.1.40] 101동 304호 일상조건 진동측정데이터 ·····57
[그림 2.1.41] 101동 501호 일상조건 진동측정데이터 ·····58
[그림 2.1.42] 101동 501호 일상조건 진동측정데이터 ·····58
[그림 2.1.43] 101동 501호 일상조건 진동측정데이터 ·····59
[그림 2.1.44] 101동 5층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····59
[그림 2.1.45] 101동 5층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····60
[그림 2.1.46] 101동 5층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····60
[그림 2.1.47] 102동 202호 일상조건 진동측정데이터 ·····61
[그림 2.1.48] 102동 202호 일상조건 진동측정데이터 ·····61
[그림 2.1.49] 102동 304호 일상조건 진동측정데이터 ·····62
[그림 2.1.50] 102동 304호 일상조건 진동측정데이터 ·····62
[그림 2.1.51] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····63
[그림 2.1.52] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····63
[그림 2.1.53] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····64
[그림 2.1.54] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····64
[그림 2.1.55] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····65
[그림 2.1.56] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····65
[그림 2.1.57] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····66
[그림 2.1.58] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····66
[그림 2.1.59] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····66
[그림 2.1.60] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터 ·····66
[그림 2.1.61] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터 ·····67
[그림 2.1.62] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터 ·····67
[그림 2.1.63] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터 ·····68
[그림 2.1.64] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터 ·····68
[그림 2.1.65] 101동 404호 세탁기 현황 ·····69
[그림 2.1.66] 세탁기 조건 진동측정 데이터 ·····69
[그림 2.1.67] 세탁기 조건 진동측정 데이터 ·····70
[그림 2.1.68] 세탁기 조건 진동측정 데이터 ·····70
[그림 2.1.69] 세탁기 진동 측정데이터 ·····70
[그림 2.1.70] 세탁기 진동 측정데이터 ·····71
[그림 2.1.71] 세탁기 진동 측정데이터 ·····71
[그림 2.1.72] 101동 엘리베이터 ·····72
[그림 2.1.73] 엘리베이터 조건 진동측정 데이터 ·····73
[그림 2.1.74] 엘리베이터 조건 진동측정 데이터 ·····73
[그림 2.1.75] 교통진동의 전파경로 ·····74
[그림 2.1.76] 전파경로 상의 대책(방진구) ·····76
[그림 2.1.77] 방진구(벽)의 효과 ·····77
[그림 2.1.78] 방진벽의 깊이와 진폭비 ·····78
[그림 2.1.79] 풍하중 ·····85
[그림 2.1.80] 지진하중 ·····86

[그림 2.1.81] 지상 5층 구조평면도 ····87
[그림 2.1.82] 지상 4층 구조평면도 ····88
[그림 2.1.83] 지상 3층 구조평면도 ····89
[그림 2.1.84] 지상 2층 구조평면도 ····90
[그림 2.1.85] 지상 6층 및 지붕 구조평면도 ····91
[그림 2.1.86] Filler Plate 상세도면 ····102
[그림 2.1.87] MASS 2와 MASS 1의 영역 ····103
[그림 2.1.88] Filler Plate의 3D Modeling + 3층 Story Shear Force ····104
[그림 2.1.89] Filler Plate 의 단순화 ····105
[그림 2.1.90] B.M.D ····105
[그림 2.1.91] S.F.D ····105
[그림 2.1.92] B.M.D ····105
[그림 2.1.93] 내력평가 ····106
[그림 2.1.94] Filler Plate의 개선안 ····107
[그림 2.1.95] Filler Plate의 개선안 해석 모델 ····107
[그림 2.1.96] 개선된 Filler Plate의 모형화 ····108
[그림 2.1.97] B.M.D ····108
[그림 2.1.98] S.F.D ····108
[그림 2.1.99] Reaction ····108
[그림 2.1.100] Filler Plate 검토 ····109
[그림 2.1.101] AMSC1 + AMTSG1 접합 용접상세 ····113
[그림 2.1.102] WEB 용접333 ····113
[그림 2.1.103] 상부 Flange 용접 ····113
[그림 2.1.104] AMSC1 + AMTSG1 접합 용접상세 ····114
[그림 2.1.105] 가양 모듈러 주택 적용 공법(적층공법) ····125
[그림 2.1.107] 가양 모듈러 주택 배치도 ····126
[그림 2.1.106] 가양 모듈러 주택 대지활용 ····126
[그림 2.1.108] 가양 모듈러 주택 단면 및 평면구성 ····126
[그림 2.1.109] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면 유형 ····127
[그림 2.1.110] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면계획 ····127
[그림 2.1.111] Display of modular interior space and assembly reference plane ····128
[그림 2.1.112] 모듈러 주택 내부공간 적용 치수(가양사례) ····128
[그림 2.1.113] 조립기준면과 기둥 중심선 ····129
[그림 2.1.114] 모듈과 모듈간의 접합부(가양사례) ····130
[그림 2.1.115] 가양 모듈러 주택 조립기준면과 기둥중심 간의 치수적용(가양사례) ····131
[그림 2.1.116] 모듈경계선과 도킹라인 ····132
[그림 2.1.117] 평면계획이 적용된 설계사례(설계기준 적용사례) ····133
[그림 2.1.118] 가양동 모듈러 주택 평면계획(가양사례) ····133
[그림 2.1.119] 구조대의 치수 설정 예 (구조대가 400㎜인 경우, 설계기준) ····133
[그림 2.1.120] 구조대의 치수 (설계기준) ····133
[그림 2.1.121] 구조대 내의 세대내 간막이벽의 설치 (기준설계사례) ····134
[그림 2.1.122] 구조대 내의 세대내 간막이벽체 설치(설계 기준) ····134
[그림 2.1.123] 수직계획모듈(설계기준) ····135

[그림 2.1.124] 층고 및 반자높이, 층간대의 설계(가양실증사례) ·····135
[그림 2.1.125] 36A㎡ 2Bay 단위세대 평면도(중간형) 설계 프로토 타입 ·····136
[그림 2.1.126] 36AS㎡ 2Bay 단위세대 평면도(중간형/장애인용) 설계 프로토 타입 ·····137
[그림 2.1.127] 36B㎡ 2Bay 단위세대 평면도(외곽형) 설계 프로토 타입 ·····137
[그림 2.1.128] 44A㎡ 2Bay 단위세대 평면도 설계 프로토 타입 ·····138
[그림 2.1.129] 44B㎡ 2Bay 단위세대 평면도(신혼부부용) 설계 프로토 타입 ·····138
[그림 2.1.130] 17㎡ 1Bay 단위세대 평면도(1인가구용) 설계 프로토 타입 ·····139
[그림 2.1.131] 17S㎡ 1Bay 단위세대 평면도(1인 가구장애인용) 설계 프로토 타입 ·····139
[그림 2.1.132] 55B㎡ 2Bay 단위세대 평면도(가족형) 설계 프로토 타입 ·····140
[그림 2.1.133] 가양동 제작 및 시공프로세스총괄 ·····144
[그림 2.1.134] 모듈 제작 프로세스 ·····145
[그림 2.1.135] 모듈러 현장 시공 프로세스 ·····145
[그림 2.1.136] 가양동 모듈러 주택 시공공정표(당초 공정계획에 의한 공정표) ·····147
[그림 2.1.137] 가양동 모듈러 주택 모듈러 제작 및 설치 공정(실제 진행된 공정표) ·····148
[그림 2.1.138] 가양동 모듈러 주택 RC 지상층(모듈러 부분) 공정표 ·····148
[그림 2.1.139] 가양동 모듈러 주택을 RC로 건축할 경우 시공공정계획 ·····149
[그림 2.1.140] 전 공정 모듈로 시공시 공정표 ·····151
[그림 2.1.141] 가양실증단지 34타입 기준 ·····206
[그림 2.1.142] 공공건설공사 발주방식 요약 ·····208
[그림 2.1.143] 가양 라이품 조감도 ·····209
[그림 2.1.144] 가양 단면도 ·····210
[그림 2.1.145] 가양 지상1층 평면도 ·····210
[그림 2.1.146] 음영처리부(R&D시공) 및 나머지 부분(별도시공) ·····211
[그림 2.1.147] 시공오차로 인해 수직레벨 상이 ·····211
[그림 2.1.148] 추가 구조검토를 통한 보강(비용상승) ·····211
[그림 2.1.149] 모듈 상층부 앰배디드 절단(비용상승) ·····212
[그림 2.1.150] 모듈 하부층 앰배디드 덧댐용접(비용상승) ·····212
[그림 2.1.151] 모듈러 실증단지 공정 프로세스 ·····213
[그림 2.1.152] 모듈러 반입을 위한 되메우기 공사 ·····214

[그림 2.2.1] 천안두정 행복주택 입지 여건 ·····222
[그림 2.2.2] 천안두정 행복주택 내부 평면도 ·····223
[그림 2.2.3] 천안두정 행복주택 조감도 ·····223
[그림 2.2.4] 성별 분포 ·····225
[그림 2.2.5] 연령 분포 ·····225
[그림 2.2.6] 이전 주거유형 분포 ·····225
[그림 2.2.7] 정주시간[주중] ·····226
[그림 2.2.8] 정주시간[주말] ·····226
[그림 2.2.9] 정주활동[주중] ·····226
[그림 2.2.10] 정주활동[주말] ·····226
[그림 2.2.11] 모듈러주택 인지도 ·····227
[그림 2.2.12] 현 주택의 모듈러주택 인지 ·····227
[그림 2.2.13] 사전 정보 충족도 ·····227

[그림 2.2.14] 모듈러주택 공급 확대를 위한 보완사항 ····231
[그림 2.2.15] 전반적 주거만족도 ····232
[그림 2.2.16] 주거성능 요소별 만족도 ····233
[그림 2.2.17] 주택계획 요소별 만족도 ····235
[그림 2.2.18] 요소별 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····238
[그림 2.2.19] 주거성능 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····239
[그림 2.2.20] 주택계획 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····239
[그림 2.2.21] 주변환경 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····240
[그림 2.2.22] 성별 주거성능 만족도 비교 ····242
[그림 2.2.23] 공법별 주거성능 만족도 비교 ····243
[그림 2.2.24] 층별 진동 성능 만족도 ····244
[그림 2.2.25] 세대별 소음 성능 만족도 ····245
[그림 2.2.26] 거주 후 평가 진행 ····246
[그림 2.2.27] 구조안전성 연구 흐름도 ····250
[그림 2.2.28] 가양 실증단지 위치 ····251
[그림 2.2.29] 모듈러 A동 RC 보 성능평가 검토 ····256
[그림 2.2.30] 모듈러 A동 RC 기둥 성능평가 검토 ····256
[그림 2.2.31] 모듈러 A동 RC 벽체 성능평가 검토 ····257
[그림 2.2.32] 모듈러 A동 보 철골 성능평가 검토 ····257
[그림 2.2.33] 모듈러 A동 철골 기둥 성능평가 검토 ····258
[그림 2.2.34] 천안 실증단지 주변 현황 ····260
[그림 2.2.35] 측정위치 ····261
[그림 2.2.36] 측정위치 평면도 ····262
[그림 2.2.37] 측정위치 사진 ····263
[그림 2.2.38] ISO 2631-2 진동평가기준(지속 또는 단속진동) ····264
[그림 2.2.39]인필식 방 층별 진동값 비교(Z축) ····265
[그림 2.2.40] 적층식 방 층별 진동값 비교(Z축) ····265
[그림 2.2.41] 인필식 복도 층별 진동값 비교(Z축) ····266
[그림 2.2.42] 적층식 복도 층별 진동값 비교(Z축) ····266
[그림 2.2.43] 201호 방 일상조건 진동측정값 ····267
[그림 2.2.44] 201호 방 승용차 통과 시 진동측정값 ····268
[그림 2.2.45] 201호 방 문닫기 시 진동측정값 ····269
[그림 2.2.46] 201호 방 발꿈치 충격하중 진동측정값 ····269
[그림 2.2.47] 608호 방 일상조건 진동측정값 ····270
[그림 2.2.48] 608호 방 걷기 시 진동측정값 ····270
[그림 2.2.49] 608호 방 승용차 통과 시 진동측정값 ····271
[그림 2.2.50] 608호 방 엘리베이터 가동 시 진동측정값 ····271
[그림 2.2.51] 608호 방 옆집 문닫기 시 진동측정값 ····272
[그림 2.2.52] 608호 방 발꿈치 충격 진동 시 진동측정값 ····272
[그림 2.2.53] 기존 외장 구성 공정 도식화 ····276
[그림 2.2.54] 개선 외장 구성 공정 도식화 ····276
[그림 2.2.55] 외장 마감재의 종류 ····277
[그림 2.2.56] 북측면 외벽 단면 상세도(이하 추후 번호 수정) ····278

[그림 2.2.57] 설치대상 건축면 ····279
[그림 2.2.58] 설치대상 건축면 기존외장 철거 ····279
[그림 2.2.59] 설치대상 건축면 기존외장 철거 후 ····279
[그림 2.2.60] 금속 프레임 구조틀안에 단열재 삽입 ····280
[그림 2.2.61] 세라믹 사이딩 타일 패널 취부 방법 ····280
[그림 2.2.62] 외부 GRP-SKIN과 스틸메쉬 삽입 ····281
[그림 2.2.63] 후면 GRP-SKIN 과 스틸메쉬(중지)를 삽입 ····281
[그림 2.2.64] 외벽체 패널 크레인 양중 ····282
[그림 2.2.65] 세라믹 사이딩 패널의 이탈 ····282
[그림 2.2.66] 외벽체 패널 후면 부분 ····283
[그림 2.2.67] 외벽체 패널 크레인 양중 이동 ····283
[그림 2.2.68] 하지틀 고정 위해 위치 교정 ····284
[그림 2.2.69] 외벽체 패널 설치, 고정 ····284
[그림 2.2.70] 외벽체 패널 고정위해 하지틀 위치 잡는 모습 ····285
[그림 2.2.71] 기존 프레임 하지틀에 금속 철물 용접 ····285
[그림 2.2.72] 고정 철물중지와 패널 하지틀이 연결된 모습 ····286
[그림 2.2.73] 외장 마감재 피스 고정 ····286
[그림 2.2.74] 북측면 상부 마감 사진 ····287
[그림 2.2.75] 북측면 하부 마감 사진 ····287
[그림 2.2.76] 주요 구성재 주거환경 성능 확보를 위한 설계 현황 ····291
[그림 2.2.77] 바닥충격음 및 세대간 경계벽 음환경 측정 위치 ····294
[그림 2.2.78] 인필형 타입 측정세대 바닥구성 및 측정 위치 ····295
[그림 2.2.79] 적층형 타입 측정세대 바닥구성 및 측정 위치 ····302
[그림 2.2.80] 인필형, 적층형 화장실 도면 및 화장실 시험사진 ····313
[그림 2.2.81] 실내외소음 측정사진 ····314
[그림 2.2.82] 바닥충격음 녹음 ····316
[그림 2.2.83] 층간소음 성가심 주관적 평가 ····317
[그림 2.2.84] 층간소음 소리크기 주관적 평가 ····318
[그림 2.2.85] 층간소음 만족도 주관적 평가 ····318
[그림 2.2.86] 층간소음 주관적 평가 사진 ····318
[그림 2.2.87] 천안두정 실증단지 기밀성능 측정 위치 ····319

[그림 2.3.1] 천안두정 행복주택 입지 여건 ····336
[그림 2.3.2] 천안두정 행복주택 내부 평면도 ····337
[그림 2.3.3] 천안두정 행복주택 조감도 ····337
[그림 2.3.4] 성별 분포 ····342
[그림 2.3.5] 연령 분포 ····342
[그림 2.3.6] 이전 주거유형 분포 ····342
[그림 2.3.7] 정주시간[주중] ····343
[그림 2.3.8] 정주시간[주말] ····343
[그림 2.3.9] 정주활동[주중] ····343
[그림 2.3.10] 정주활동[주중] ····343
[그림 2.3.11] 모듈러주택 인지도 ····344

[그림 2.3.12] 현 주택의 모듈러주택 인지 ····344
[그림 2.3.13] 사전정보 충족도 ····345
[그림 2.3.14] 모듈러주택 장점 인식[천안 두정동 모듈러주택] ····346
[그림 2.3.15] 모듈러주택 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ····347
[그림 2.3.16] 모듈러주택 인지도 ····348
[그림 2.3.17] 현 주택의 모듈러주택 인지 ····348
[그림 2.3.18] 사전 정보 충족도 ····348
[그림 2.3.19] 모듈러주택의 장점 ····348
[그림 2.3.20] 모듈러주택의 단점 ····348
[그림 2.3.21] 현 주택 거주의향 ····349
[그림 2.3.22] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성 ····350
[그림 2.3.23] 모듈러주택 공급 확대를 위한 개선사항 ····351
[그림 2.3.24] 현 주택 거주의향 ····352
[그림 2.3.25] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성 ····352
[그림 2.3.26] 모듈러주택의 개선될 사항 ····352
[그림 2.3.27] 전반적 주거만족도 비교(천안 두정동 모듈러주택) ····354
[그림 2.3.28] 주거성능 요소별 만족도 ····355
[그림 2.3.29] 주택계획 요소별 만족도 ····357
[그림 2.3.30] 주변환경 요소별 만족도 ····359
[그림 2.3.31] 중요도-만족도 분석 매트릭스 ····360
[그림 2.3.32] 중요도-만족도 분석 결과 ····366
[그림 2.3.33] 모듈러주택 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ····370
[그림 2.3.34] 모듈러주택 장점 인식(가양동 모듈러주택) ····370
[그림 2.3.35] 모듈러주택 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ····371
[그림 2.3.36] 모듈러주택 단점 인식(가양동 모듈러주택) ····371
[그림 2.3.37] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성 비교 ····373
[그림 2.3.38] 모듈러주택 공급 확대을 위한 개선사항(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·374
[그림 2.3.39] 요소별 만족도 비교(두정동(인필,적층), 가양동 모듈러주택) ····375
[그림 2.3.40] 주거성능 만족도 비교(두정동(인필, 적층), 가양동 모듈러주택) ····376
[그림 2.3.41] 주택계획 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····377
[그림 2.3.42] 주변환경 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····378
[그림 2.3.43] 성별 주거성능 만족도 비교 ····380
[그림 2.3.44] 연령별 주거성능 만족도 비교 ····381
[그림 2.3.45] 공법별 주거성능 만족도 비교 ····382
[그림 2.3.46] 층별 진동 성능 만족도 비교(층별 비교) ····383
[그림 2.3.47] 층별 진동 성능 만족도 비교(인필식 vs 적층식) ····383
[그림 2.3.48] 세대별 소음 성능 만족도 비교(세대 라인별 비교) ····384
[그림 2.3.49] 구조방식에 따른 모듈러 공법의 분류 ····446
[그림 2.3.50] 인필캐빈 구조체 삽입 프로세스 ····446
[그림 2.3.51] 인필캐빈 설치시 데드스페이스 발생 구역 ····447
[그림 2.3.52] 경첩을 활용한 단면 폴딩 ····448
[그림 2.3.53] ㄷ형태의 단면(벽체) ····449
[그림 2.3.54] 인필캐빈 확장 개념 ····449

[그림 2.3.55] 단면확장이 가능한 모듈러 인필박스-폴딩 ·····450
[그림 2.3.56] 단면확장이 가능한 모듈러 인필박스-확장 ·····451
[그림 2.3.57] 경첩을 활용한 전개형 단면 ·····452
[그림 2.3.58] 모듈러 천안 실증단지 모드형상 ·····459
[그림 2.3.58] 보 성능평가 검토 ·····460
[그림 2.3.59] 기둥 성능평가 검토 ·····460
[그림 2.3.60] 벽체 성능평가 검토 ·····461
[그림 2.3.60] 철골 보 성능평가 검토 ·····461
[그림 2.3.61] 철골 기둥 성능평가 검토 ·····462
[그림 2.3.62] 최소강도기준 검토 ·····471
[그림 2.3.63] 구조물의 진동과 강성 ·····498
[그림 2.3.64] 교통진동의 전파경로 ·····499
[그림 2.3.65] 전파경로 상의 대책(방진구) ·····500
[그림 2.3.66] 내진성능 향상방법 : 강도향상 ·····501
[그림 2.3.67] 내진성능 향상방법 : 연성능력 향상 ·····502
[그림 2.3.68] 내진성능 향상방법 : 강도와 연성능력 향상 ·····502
[그림 2.3.69] 전단벽 신설 ·····503
[그림 2.3.70] 철골가새보강 ·····504
[그림 2.3.71] 철골끼움골조(외부부착형) ·····504
[그림 2.3.72] 철골끼움골조(벽체매입형) ·····505
[그림 2.3.73] 감쇠장치 보강 ·····505
[그림 2.3.74] 세대 내 간막이 벽체 설계 주안점 ·····509
[그림 2.3.75] 시험벽체의 개요 ·····517
[그림 2.3.76] 시험벽체의 설치 전경 ·····518
[그림 2.3.77] 연질 충격체에 의한 내충격성 시험의 개요1 ·····519
[그림 2.3.78] 연질 충격체에 의한 내충격성 시험의 개요2 ·····520
[그림 2.3.79] 낙하높이별 줄 길이에 따른 적재 하중(Pmax)의 크기 ·····521
[그림 2.3.80] 낙하높이 0.4 m 경우의 줄 길이에 따른 적재 하중(Pmax)의 크기 ·····522
[그림 2.3.81] 시험벽체의 손상 전경 ·····523

〈 표목차 〉

[표 2.1.1] 가양 라이품 행복주택 세대구성 ····18
[표 2.1.2] 가양 모듈러 주택 설계 개요 ····19
[표 2.1.3] 조사 대상자 일반 특성 ····23
[표 2.1.4] 조사대상자 이전 주거유형 세부 분포 ····23
[표 2.1.5] 신뢰도 분석 ····24
[표 2.1.6] 요소별 주거만족도 평균 비교 ····25
[표 2.1.7] 주거 성능요소 전반적 만족도 ····26
[표 2.1.8] 인접도로 및 주차장 차량 조사 결과 ····35
[표 2.1.9] 지하 공영주차장 진출입현황(서울시설공단 제공) ····36
[표 2.1.10] 진동 측정장비 ····44
[표 2.1.11] 인체 응답에 대한 건물 진동한계를 규정하기 위한 가중 계수(ISO) ····47
[표 2.1.12] 측정결과 요약 ····48
[표 2.1.13] 101동 304호 세탁기조건의 진동값 ····49
[표 2.1.14] 101동 501호의 진동값 ····50
[표 2.1.15] 102동 202호의 진동값 ····52
[표 2.1.16] 102동 304호의 진동값 ····53
[표 2.1.17] 102동 2층 복도 중앙에서의 진동값 ····55
[표 2.1.18] 재질별 폭에 따른 진동저감량(dB) ····77
[표 2.1.19] 사용재료 및 설계기준강도 ····83
[표 2.1.20] A동 모듈러 - 침실 (단위:kPa) ····83
[표 2.1.21] A동 모듈러 - 복도 (단위:kPa) ····83
[표 2.1.22] B동 모듈러 - 침실 (단위:kPa) ····84
[표 2.1.23] B동 모듈러 - 복도 (단위:kPa) ····84
[표 2.1.24] 계단실(공통) (단위:kPa) ····84
[표 2.1.25] 개선이 요구되는 항목과 접근방법 ····92
[표 2.1.26] 개선 내용과 접근 방법 ····92
[표 2.1.27] 102동 층수 ····104
[표 2.1.28] PC WALL공법 제안 ····118
[표 2.1.29] 향후 연구 내용 ····122
[표 2.1.30] 가양동 모듈러 실증단지의 건축개요 ····125
[표 2.1.31] 가양 라이품 행복주택 세대구성 ····125
[표 2.1.32] 가양 모듈러 주택 설계개요 ····126
[표 2.1.33] 가양 모듈러 주택의 건축허가 프로세스 ····127
[표 2.1.34] 계획공정과 실시공정의 차이 ····142
[표 2.1.35] 시공상 문제점과 개선방안 ····143
[표 2.1.36] 전체를 RC공법으로 건축하는 경우 주요 공정 및 공기 ····150
[표 2.1.37] 전체를 모듈로만 건축하는 경우 주요 공정 및 공기 ····150
[표 2.1.38] 3개 공법의 총공사 기간 비교 ····152
[표 2.1.39] 직접공사비 공정별 구성비 ····195

[표 2.1.40] 직접공사비 대 간접비 ····195
[표 2.1.41] 목표공사비 및 R&D 도급현황 ····196
[표 2.1.42] 직접공사비의 항목별 비율과 당초 설계 내역서와 NEGO율 검토 ····197
[표 2.1.43] 견적실행금액 ····197
[표 2.1.44] 견적 실행 대비 목표공사비 차이 ····198
[표 2.1.45] 가양 주택 연면적 산출 ····198
[표 2.1.46] 모듈러 주택 평당 공사비 ····199
[표 2.1.47] 일반아파트 평당 공사비 ····199
[표 2.1.48] 고급빌라 평당 공사비 ····199
[표 2.1.49] 기존 계약내역서상 내화 구조부 ····201
[표 2.1.50] 기둥 및 보 뿜칠 해당 철골부위 면적(2,615M2) ····201
[표 2.1.51] 내화피복뿜칠 ····201
[표 2.1.52] 내화피복뿜칠로 인한 비용절감 ····201
[표 2.1.53] 파이어스탑 재설치 ····202
[표 2.1.54] 파이어스탑 재설치로 인한 비용절감 ····202
[표 2.1.55] 승강기공사 직발주 관리 ····202
[표 2.1.56] 승강기공사 직발주 관리로 인한 비용절감 ····202
[표 2.1.57] 칼라강판설치 ····202
[표 2.1.58] 칼라강판과 AL복합판넬 비교 ····202
[표 2.1.59] 철골공사 직발주 관리로 인한 비용절감 ····202
[표 2.1.60] 절감사항 ····203
[표 2.1.61] 절감사항 반영시 최종 공사비 현황(직접비/간접비 현황) ····203
[표 2.1.62] 생산량 기준에 따른 원가 절감비율 ····206
[표 2.1.63] 발주방법에 따른 공공건설공사 발주방식 비교 ····207
[표 2.1.64] 발주방식 및 입·낙찰 방식 ····208
[표 2.1.65] 책임구분 ····217

[표 2.2.1] 설문지 문항 구성 ····224
[표 2.2.2] 조사 대상자 일반 특성-1 ····225
[표 2.2.3] 조사 대상자 일반 특성-2 ····226
[표 2.2.4] 모듈러주택 인지 여부 비교 ····227
[표 2.2.5] 모듈러주택 인지 여부 비교 ····227
[표 2.2.6] 모듈러주택 인지 여부 비교 ····228
[표 2.2.7] 모듈러주택의 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ····228
[표 2.2.8] 모듈러주택의 장점 인식(가양동 모듈러주택) ····228
[표 2.2.9] 모듈러주택의 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ····229
[표 2.2.10] 모듈러주택의 단점 인식(가양동 모듈러주택) ····229
[표 2.2.11] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교 ····230
[표 2.2.12] 모듈러주택의 3~4인 가족 생활 적합성 ····231
[표 2.2.13] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교 ····231
[표 2.2.14] 모듈러주택의 단점 인식 ····231
[표 2.2.15] 요소별 주거만족도 ····232
[표 2.2.16] 주거성능의 전반적인 만족도 ····232

[표 2.2.17] 주거성능의 전반적인 만족도 ····234
[표 2.2.18] 주택계획의 전반적인 만족도 ····236
[표 2.2.19] 조사 대상자 일반 특성 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····237
[표 2.2.20] 주택 규모 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····237
[표 2.2.21] 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····238
[표 2.2.22] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····239
[표 2.2.23] 주택계획 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····239
[표 2.2.24] 주변환경 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ····240
[표 2.2.25] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(성별) ····242
[표 2.2.26] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(공법별) ····243
[표 2.2.27] 비틀림 비정형 평가 ····252
[표 2.2.28] 강성 비정형 평가 ····253
[표 2.2.29] 중량 비정형 평가 ····253
[표 2.2.30] 강도 비정형 평가 ····254
[표 2.2.31] KISTEC 2013(한국시설안전공단 2013) 관련조항 ····254
[표 2.2.32] 성능수준평가 ····254
[표 2.2.33] 모듈러 A동 고유치 해석 ····255
[표 2.2.34] 모듈러 A동 모드형상 ····255
[표 2.2.35] 수직하중 분담비율 평가 ····258
[표 2.2.36] 구조시스템 및 성능수준별 허용층간 변위각 ····259
[표 2.2.37] X/Y방향 층간 변형각에 따른 성능수준 ····259
[표 2.2.38] 진동 측정 세대 ····261
[표 2.2.39] 인체 응답에 대한 건물 진동한계를 규정하기 위한 가중 계수(ISO) ····264
[표 2.2.40] 외벽체 주요 사양 ····288
[표 2.2.41] 외벽체 주요 사양 ····288
[표 2.2.42] 일체형 외벽체 패널의 장단점 ····289
[표 2.2.43] 경량충격음 ····294
[표 2.2.44] 중량충격음 ····294
[표 2.2.45] 501호 경량충격음 측정값 ····296
[표 2.2.46] 501호 중량충격음(뱅머신) 측정값 ····296
[표 2.2.47] 501호 중량충격음(고무공) 측정값 ····297
[표 2.2.48] 301호 경량충격음 측정값 ····298
[표 2.2.49] 301호 중량충격음(뱅머신) 측정값 ····298
[표 2.2.50] 301호 중량충격음(고무공) 측정값 ····299
[표 2.2.51] 303호 경량충격음 측정값 ····300
[표 2.2.52] 303호 중량충격음(뱅머신) 측정값 ····300
[표 2.2.53] 303호 중량충격음(고무공) 측정값 ····301
[표 2.2.54] 608호 경량충격음 측정값 ····303
[표 2.2.55] 608호 중량충격음(뱅머신) 측정값 ····303
[표 2.2.56] 608호 중량충격음(고무공) 측정값 ····304
[표 2.2.57] 408호 경량충격음 측정값 ····305
[표 2.2.58] 408호 중량충격음(뱅머신) 측정값 ····305
[표 2.2.59] 408호 중량충격음(고무공) 측정값 ····306

[표 2.2.60] 406호 경량충격음 측정값 ·····307
[표 2.2.61] 406호 중량충격음(뱅머신) 측정값 ·····307
[표 2.2.62] 406호 중량충격음(고무공) 측정값 ·····308
[표 2.2.63] 202호, 203호 세대간 경계벽 차음성능 측정값 ·····310
[표 2.2.64] 305호, 306호 세대간 경계벽 차음성능 측정값 ·····311
[표 2.2.65] 화장실 배수 소음 시험결과 ·····312
[표 2.2.66] 측정기준 ·····314
[표 2.2.67] 실 · 내외 소음도 시험결과 ·····314
[표 2.2.68] 층간소음 청감실험 설문항목 ·····316
[표 2.2.69] 기밀성능 측정값 ·····320
[표 2.2.70] 기밀성능 개선 관련 체크리스트 ·····326
[표 2.2.71] 기밀성능 측정 값 ·····328
[표 2.2.72] 기밀성능 개선 관련 체크리스트 ·····330

[표 2.3.1] 조사 내용 문항구성 ·····338
[표 2.3.2] 신뢰도 분석 ·····340
[표 2.3.3] 조사 대상자 일반 특성-1 ·····342
[표 2.3.4] 조사 대상자 일반 특성-2 ·····343
[표 2.3.5] 입주 전 모듈러주택 인지 여부 ·····344
[표 2.3.6] 현 입주주택의 모듈러주택 인지 여부 ·····344
[표 2.3.7] 현 입주주택의 모듈러주택 정보 제공성 ·····345
[표 2.3.8] 모듈러주택의 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ·····346
[표 2.3.9] 모듈러주택의 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ·····347
[표 2.3.10] 현 주택 거주의향 ·····349
[표 2.3.11] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교 ·····349
[표 2.3.12] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성(천안 두정동 모듈러주택) ·····350
[표 2.3.13] 모듈러주택의 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택) ·····351
[표 2.3.14] 입주 전 모듈러주택 인지 여부 ·····352
[표 2.3.15] 입주 전 모듈러주택 인지 여부 ·····352
[표 2.3.16] 천안두정 모듈러주택의 전체 만족도 ·····353
[표 2.3.17] 요소별 주거만족도 비교(천안 두정동 모듈러주택) ·····353
[표 2.3.18] 주거성능의 전반적인 만족도 ·····354
[표 2.3.19] 주택계획의 전반적인 만족도 ·····356
[표 2.3.20] 주변환경의 전반적인 만족도 ·····358
[표 2.3.21] 주거성능 요소 중요도 분석 결과 ·····361
[표 2.3.22] 주거성능 요소 다중공선성 및 Durbin-Watson 검증 ·····362
[표 2.3.23] 주택 계획 요소 중요도 분석 결과 ·····363
[표 2.3.24] 주택 계획 요소 다중공선성 및 Durbin-Watson 검증 ·····363
[표 2.3.25] 주변환경 요소 중요도 분석 결과 ·····364
[표 2.3.26] 주변환경 요소 다중공선성 및 Durbin-Watson 검증 ·····364
[표 2.3.27] 중요도 분석 결과 종합 ·····365
[표 2.3.28] 중요도-만족도 분석 결과 ·····366
[표 2.3.29] 조사 대상자 일반 특성 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ·····367

[표 2.3.30] 주택 규모 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ·····367
[표 2.3.31] 입주 전 모듈러주택 인지 여부(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·····368
[표 2.3.32] 현 입주주택의 모듈러주택 인지 여부(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·····368
[표 2.3.33] 현 입주주택의 모듈러주택 정보 제공성(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ····369
[표 2.3.34] 모듈러주택의 장점 인식(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·····369
[표 2.3.35] 모듈러주택의 단점 인식(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·····370
[표 2.3.36] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·····372
[표 2.3.37] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성 비교(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·372
[표 2.3.38] 모듈러주택의 개선될 사항(가양동과 두정동 모듈러주택 비교) ·····373
[표 2.3.39] 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ·····375
[표 2.3.40] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ·····376
[표 2.3.41] 주택계획 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ·····377
[표 2.3.42] 주변환경 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택) ·····378
[표 2.3.43] 성별 주거성능 만족도 비교 ·····380
[표 2.3.44] 연령별 주거성능 만족도 비교 ·····381
[표 2.3.45] 공법별 주거성능 만족도 비교 ·····382
[표 2.3.46] 타입별 소음성능 평가 ·····384
[표 2.3.47] 기밀 성능 개선(안) ·····388
[표 2.3.48] 기밀성능 개선 관련 이미지 ·····389
[표 2.3.49] 차음성능 개선(안) ·····390
[표 2.3.50] 차음성능 개선 관련 이미지 ·····390
[표 2.3.51] 방수성능 개선(안) ·····391
[표 2.3.52] 방수성능 개선 관련 이미지 ·····391
[표 2.3.53] 단열성능 개선(안)-1 ·····392
[표 2.3.54] 단열성능 개선 관련 이미지-1 ·····392
[표 2.3.55] 단열성능 개선(안)-2 ·····393
[표 2.3.56] 단열성능 개선 관련 이미지-2 ·····394
[표 2.3.57] 마감 간섭 개선(안) ·····394
[표 2.3.58] 마감 간섭 개선 관련 이미지 ·····395
[표 2.3.59] 캔틸레버 구조 진동 개선(안) ·····396
[표 2.3.60] 캔틸레버 구조 진동 개선 관련 이미지 ·····397
[표 2.3.61] 설비배관 개선(안) ·····398
[표 2.3.62] 설비배관 개선 관련 이미지 ·····399
[표 2.3.63] 현장/공장 제작 분류(안) ·····399
[표 2.3.64] 현장/공장 제작 분류 관련 이미지 ·····400
[표 2.3.65] 건식공법 층상배관 개선(안) ·····401
[표 2.3.66] 건식공법 층상배관 관련 이미지 ·····402
[표 2.3.67] 표준 바닥구조 개선(안) ·····403
[표 2.3.68] 표준 바닥구조 개선 관련 이미지 ·····404
[표 2.3.69] 발코니 방수/시멘트 액체방수 공법 적용(안) ·····404
[표 2.3.70] 발코니 방수 공법 개선 이미지 ·····405
[표 2.3.71] 발코니 방수 턱 상세 개선 ·····406
[표 2.3.72] 발코니 RC 구조 개선 관련 이미지 ·····407

[표 2.3.73] 현관문/RC 구조 상세 적용(안) ····408
[표 2.3.74] 건식공법 적용, 현관문 개선시공 관련 이미지 ····409
[표 2.3.75] 커튼박스 구조 상세 적용(안) ····409
[표 2.3.76] 커튼박스 구조 상세 개선 관련 이미지 ····410
[표 2.3.77] 실외기 난간 구조상세 적용(안) ····411
[표 2.3.78] 실외기 난간 구조상세 관련 이미지 ····412
[표 2.3.79] 가구 보강/가구 보강 도면(안) ····413
[표 2.3.80] 가구 구조상세 관련 이미지 ····414
[표 2.3.81] 고소작업 최소화 ····414
[표 2.3.82] 지붕 트러스/고소작업 최소화 관련 이미지 ····415
[표 2.3.83] RC코어/모듈 간 시공 오차 개선 ····416
[표 2.3.84] RC코어/모듈 간 시공 오차 관련 이미지 ····417
[표 2.3.85] 기밀관련 자재 개선 ····418
[표 2.3.86] 기밀관련 자재 관련 이미지 ····419
[표 2.3.87] 위생배관 개선(안) ····424
[표 2.3.88] 위생배관 개선 관련 이미지 ····424
[표 2.3.89] 보일러 배관 개선(안) ····425
[표 2.3.90] 보일러 배관 개선 관련 이미지 ····425
[표 2.3.91] 3연동 슬라이딩 도어 개선(안) ····426
[표 2.3.92] 3연동 슬라이딩 도어 개선 관련 이미지 ····426
[표 2.3.93] 바닥 난방 배관 개선(안) ····427
[표 2.3.94] 바닥 난방 배관 개선 관련 이미지 ····427
[표 2.3.95] 발코니 샷시 프레임 외부 도장 개선(안) ····428
[표 2.3.96] 발코니 샷시 프레임 외부 도장 개선 관련 이미지 ····428
[표 2.3.97] 바닥 레벨의 평준화 개선(안) ····429
[표 2.3.98] 바닥 레벨의 평준화 개선 관련 이미지 ····429
[표 2.3.99] 기둥의 위치 개선(안) ····430
[표 2.3.100] 기둥의 위치 개선 관련 이미지 ····430
[표 2.3.101] 보의 방향 개선(안) ····431
[표 2.3.102] 보의 방향 개선 관련 이미지 ····431
[표 2.3.103] 에어컨 실외기실 도어 개선(안) ····432
[표 2.3.104] 에어컨 실외기실 도어 개선 관련 이미지 ····432
[표 2.3.105] 에어컨 실외기실 개선(안) ····433
[표 2.3.106] 에어컨 실외기실 개선 관련 이미지 ····433
[표 2.3.107] 발목등 개선(안) ····434
[표 2.3.108] 발목등 개선 관련 이미지 ····434
[표 2.3.109] 화장실 천정 점검구 개선(안) ····435
[표 2.3.110] 화장실 천정 점검구 개선 관련 이미지 ····435
[표 2.3.111] 주거약자세대 욕실물 개선(안) ····436
[표 2.3.112] 주거약자세대 욕실물 개선 관련 이미지 ····436
[표 2.3.113] 액자걸이 개선(안) ····437
[표 2.3.114] 액자걸이 개선 관련 이미지 ····437
[표 2.3.115] 발코니 기둥 개선(안) ····438

[표 2.3.116] 발코니 기둥 개선 관련 이미지 ·····438
[표 2.3.117] 복도 판넬 공사 개선(안) ·····439
[표 2.3.118] 복도 판넬 공사 개선 관련 이미지 ·····439
[표 2.3.119] 설비배관 개선(안) 및 개선 관련이미지 ·····440
[표 2.3.120] 모듈러 인필 관련 이미지 ·····441
[표 2.3.121] 모듈러 인필 관련 이미지 ·····442
[표 2.3.122] 비틀림 비정형 평가 ·····454
[표 2.3.123] 강성 비정형 평가 ·····455
[표 2.3.124] 중량 비정형 평가 ·····456
[표 2.3.125] 강도 비정형 평가 ·····456
[표 2.3.126] KISTEC 2013 관련조항, 철근 콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준 ·457
[표 2.3.127] 성능수준 평가 결과 ·····457
[표 2.3.128] 모듈러 천안 실증단지 고유치 해석 ·····458
[표 2.3.129] 수직하중 분담비율 ·····462
[표 2.3.130] 구조시스템 및 성능수준별 허용층간 변형각 ·····463
[표 2.3.131] X/Y방향 층간 변형각에 따른 성능수준 ·····463
[표 2.3.132] 각 모드에 따른 모델별 주기 및 질량참여율 ·····465
[표 2.3.133] 적용 응답스펙트럼 (비선형프로그램) ·····466
[표 2.3.134] 질량참여율 ·····466
[표 2.3.135] 재질별 폭에 따른 진동저감량(dB) ·····500
[표 2.3.136] 가력하는 충격에너지 및 낙하높이 ·····520
[표 2.3.137] 연질 충격체에 의한 내충격성 시험결과 ·····523

1.
연구개발 과제의 개요

가. 최종목표

나. 연차별 연구개발 목표 및 결과

1. 연구개발 과제의 개요

가. 최종목표

❍ 본 연구의 목표는 가양 및 천안모듈러 주택의 실증과정상에서의 문제점을 개선하고, POE와 성능평가 및 모니터링을 통한 평가와 검증단계를 거쳐 구조 안전성과 지진 안전성 그리고 생활쾌적성이 객관적으로 공인되는 보급형 모듈러 Proto-type을 개발하는 것임

❍ 3대 실증(기술성, 경제성, 시공성) 모니터링을 통한 문제 해결 솔루션 개발
- [기술성] 실증단지 적용 기술의 문제점 분석 및 해결방안 도출
- [경제성] 건축공사비 분석을 통하여 저감 및 경제성 확보방안 마련
- [시공성] 실증관련 제작공장 및 현장시공상의 공기단축과 개선방안 마련

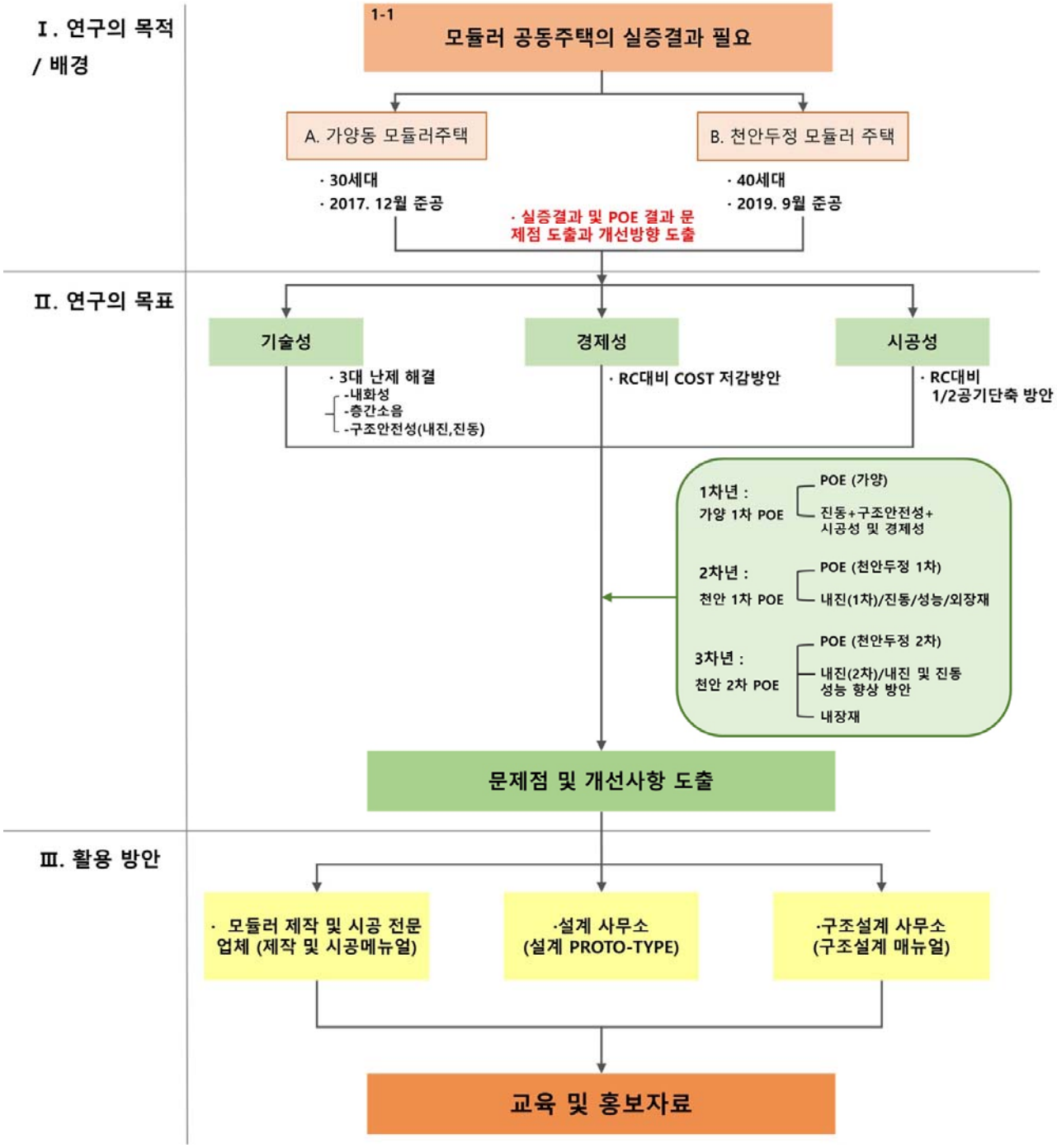
❍ 가양 및 천안두정 실증단지의 POE 및 모니터링을 통한 성능평가 및 검증
- 가양 및 천안두정 실증단지 거주후 평가(POE)
- 가양 및 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가
- 가양 및 천안두정 실중단지의 진동 및 내진성능 평가

❍ 성능검증 및 POE 결과 기반 문제 해결형 요소기술 및 최종 프로토타입 개발
- POE 및 모니터링을 통한 종합 해결 Mock-Up 및 설계 Proto-Type 개발
- 모듈러 건축 진동 저감방안 및 내진성능 향상 방안
- 모듈러 건축 음환경 및 기밀성능 향상 방안

상기 주요 연구개발내용으로 모듈러 실증단지의 거주후 평가 및 성능평가를 통하여 도출된 문제점을 해결함으로써 향후 모듈러공법을 활용한 공동주택에 대해서 재래공법 이상의 안전성과 쾌적성을 확보

---

* 연구의 배경 / 목적 / 목표


Ⅰ. 연구의 목적 / 배경
1-1
모듈러 공동주택의 실증결과 필요
A. 가양동 모듈러주택
· 30세대
· 2017. 12월 준공
B. 천안두정 모듈러 주택
· 40세대
· 2019. 9월 준공
· 실증결과 및 POE 결과 문제점 도출과 개선방향 도출
Ⅱ. 연구의 목표
기술성
· 3대 난제 해결
-내화성
-층간소음
-구조안전성(내진,진동)
경제성
· RC대비 COST 저감방안
시공성
· RC대비 1/2공기단축 방안
1차년 : 가양 1차 POE
POE (가양)
진동+구조안전성+시공성 및 경제성
2차년 : 천안 1차 POE
POE (천안두정 1차)
내진(1차)/진동/성능/외장재
3차년 : 천안 2차 POE
POE (천안두정 2차)
내진(2차)/내진 및 진동 성능 향상 방안
내장재
문제점 및 개선사항 도출
Ⅲ. 활용 방안
· 모듈러 제작 및 시공 전문 업체 (제작 및 시공메뉴얼)
·설계 사무소 (설계 PROTO-TYPE)
·구조설계 사무소 (구조설계 매뉴얼)
교육 및 홍보자료

나. 연차별 연구개발 목표 및 결과

1) 1차년도

가) 개발목표

❍ 주관연구기관(한국건설기술연구원) : 3대 실증(기술성, 경제성, 시공성) 모니터링을 통한 문제 해결 솔루션 개발

나) 개발 내용 및 범위

1	연구기관

주관연구기관 : 한국건설기술연구원

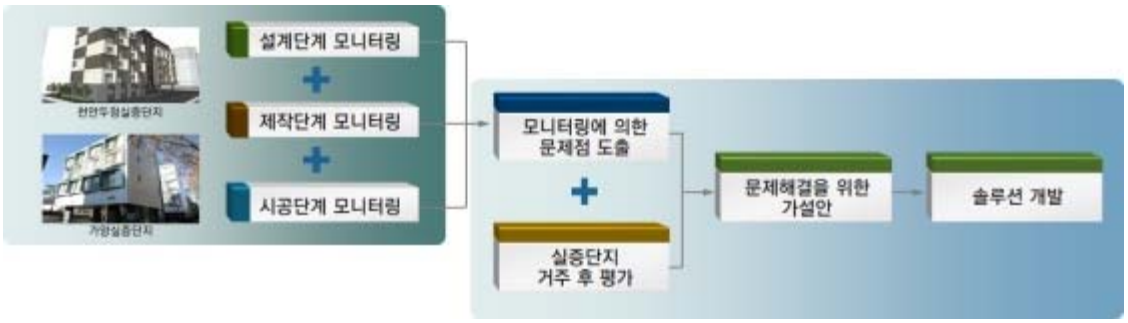
개발 내용 및 범위

■ [기술성] 실증단지 적용 기술의 문제점 분석 및 해결방안 도출
- 12대 실증기술의 설계/제작/시공단계 적용상의 문제점(각각 20선)
- 가양동 실증단지의 진동성능 평가 및 기술적 해결방안 제안
- 최적 구조설계안 제안 및 설계표준화 기준의 적용실태 분석

■ [경제성] 건축공사비 저감 및 경제성 확보방안 마련
- 공사비 분석 및 경제성 비교 기준 프로토 타입 제안
- 기본형 건축비 대비 동일 공사비용 구현을 위한 적정 공급 및 생산량 예측
- 경제성 확보를 위한 방안 마련

■ [시공성] 실증 사업 공기분석 및 공기단축을 위한 개선방안 마련
- 실증 사업의 제작기간 90일 및 시공기간 50일 공정관리 비교 (기존 RC 공동주택 대비)
- 공기지연의 문제점 및 해결방안

■ [POE] 가양동 실증사업 수행을 통한 발주 관련 문제점 및 개선방안 제시
- 가양동 거주민의 모듈러 주거의식
- 주거만족도 조사 및 불만족 지표의 도출



연구 결과

■ 가양 실증단지의 발주-설계-제작-시공 상의 문제점에 대한 체크 리스트 및 구체화 작업을 통하여 문제점 간 상호 연결고리를 정리하고 문제해결 방향 및 솔루션 제안
■ 모듈러 공동주택의 개선을 위한 설계 및 구조, 시공메뉴얼 개발을 위한 기본적인 컨텍츠 구성제안

2) 2차년도

가) 개발목표

- ❍ 주관연구기관 (한국건설기술연구원) : 천안두정 실증단지 입주자 대상 거주 후 평가
- ❍ 공동연구기관 (동양구조이앤알) : 가양 및 천안두정 실증단지 내진/진동 성능평가
- ❍ 공동연구기관 (듀칸) : 외장마감 일체형 패널 시공성 분석(충북 진천 Mock-Up적용)
- ❍ 공동연구기관 (동양) : 외장마감 일체형 패널 설계 및 시제품 제작
- ❍ 공동연구기관 (한국건설생활환경시험연구원) : 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가

나) 개발 내용 및 범위

1	연구기관

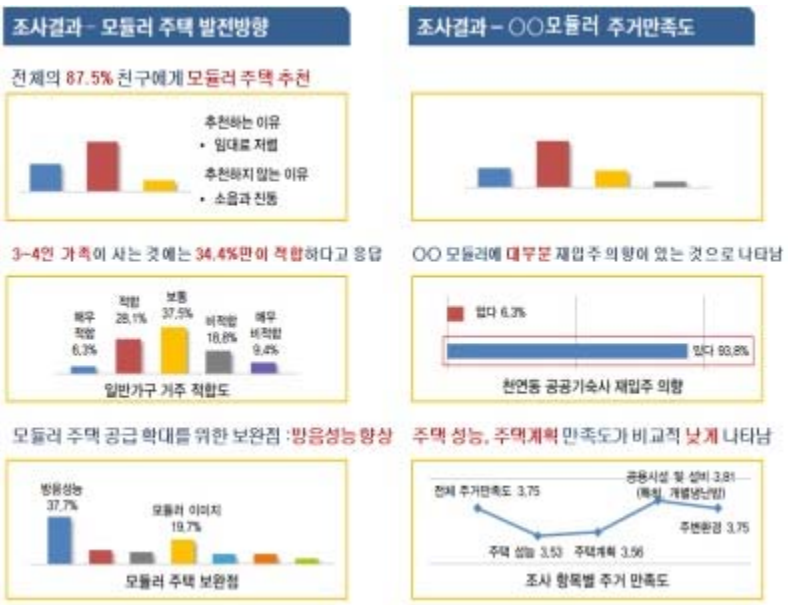
주관연구기관 : 한국건설기술연구원

개발 내용 및 범위

■ 천안두정 실증단지 거주 후 평가(POE)
- 평가 대상: 천안두정 실증단지
- 평가방법: 심층 인터뷰(거주민, 관리운영주체) 및 거주민 설문조사
- 주요 내용: 모듈러 공동주택에 대한 인식 및 발전방향, 거주자 만족도 분석(거주 만족, 주거성능, 주택계획요소, 공용시설 및 설비요소, 주변환경 만족도)
- POE결과에 대한 전문가 자문 및 관련 학회 세미나 검증 예정

■ POE 결과 기반 개선방안 도출
- 주거 만족도 향상을 위한 우선순위 도출
- POE 기반 성능개선위한 계획요소 도출

■ 외장마감 일체형 패널 개발



[그림 1.1.1] 거주 후 평가 결과 예시

연구 결과

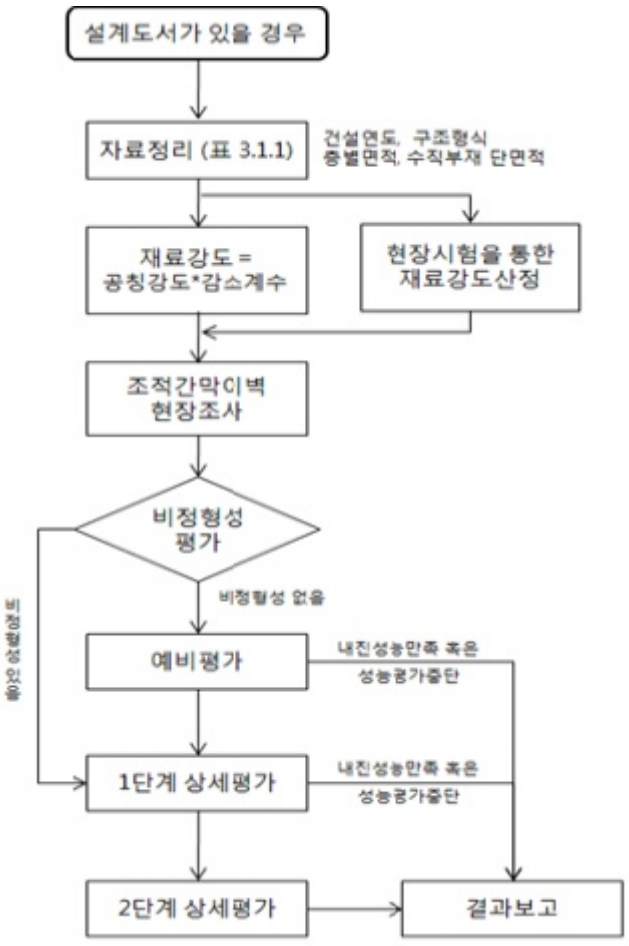
■ POE 내진 및 진동평가 결과를 통한 모듈러 공동주택 성능개선 위한 계획요소 도출

2 연구기관

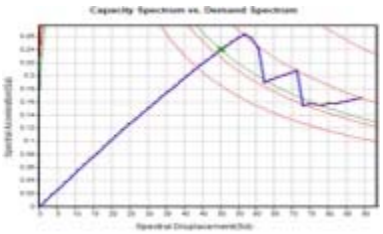
공동연구기관 : 동양구조이앤알

개발 내용 및 범위

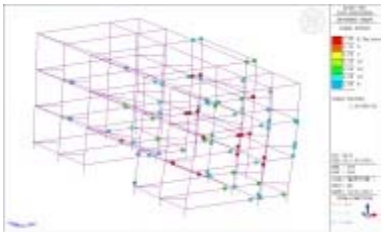
- 가양 실증단지 내진성능 평가
  - 한국시설안전공단 기준에 의거한 주거용 모듈러 건축물 내진성능 평가
- 천안두정 실증단지 바닥진동성능 평가
  - AISC기준에 의거한 주거용 모듈러 건축물 사용자 입장에서의 진동평가
- 필로티형 모듈러 주거용 건축물의 진동저감 방안 제시
  - 진동성능평가에 의한 원인분석 및 진동에 따른 대책 마련



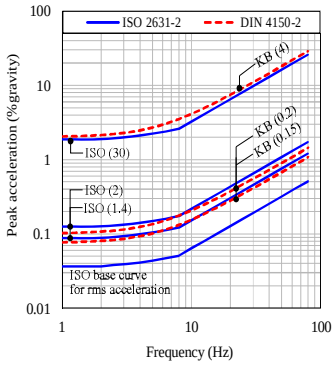
〈내진성능평가 절차〉



〈성능점형성〉



〈소성힌지현황〉



〈진동성능평가기준(ISO2631)〉

연구 결과

- 주거용 모듈러 건축물의 내진 및 진동에 대한 객관적 성능평가 실시 및 개선기술 제시

3	연구기관

공동연구기관 : 듀칸

개발 내용 및 범위

■ 외장마감 일체형 패널 시공성 분석
– 외장마감 일체형 패널 시공 방법 분석



〈패널 시공 방법〉

연구 결과

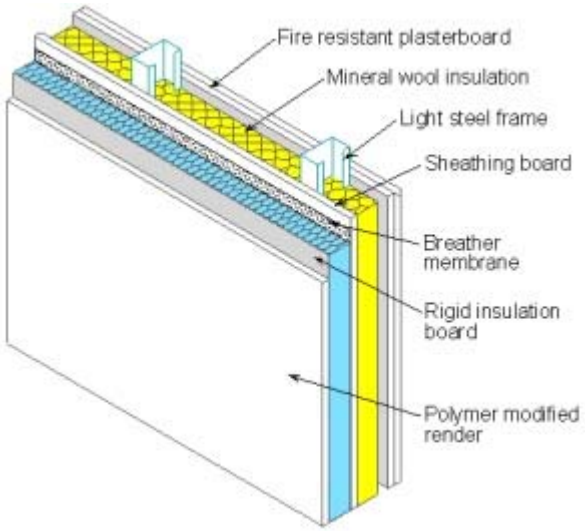
■ 외장마감 일체형 패널 시공프로세스 분석

4	연구기관

공동연구기관 : 동양

개발 내용 및 범위

■ 외장마감 일체형 패널 설계, 제작 및 설치프로세스 정립
– 2시간 내화 확보 공장제작 외장, 일체형 패널 시공방안 정립



〈내화 외벽패널 예시〉

연구 결과

■ 외장마감 일체형 패널 시작품의 설계 및 제작

5 연구기관

공동연구기관 : 한국건설생활환경시험연구원

개발 내용 및 범위

■ 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가
- 바닥충격음, 세대간 경계벽, 화장실 급배수 소음 평가, 공동주택 실·내외 소음도 분석
- 천안두정 실증단지 음환경에 대한 주관적 청감평가를 통한 만족도 분석
- 기밀성능 테스트 및 분석
- 열화상카메라를 통한 벽면, 우각부 등 취약부위 결로 또는 열교현상 진단

■ 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 개선기술 도출
- 천안두정 실증단지 음환경 개선기술 도출
- 기밀성능 취약부분 및 개선기술 도출



〈음환경 성능분석〉





〈기밀성능 분석〉

연구 결과

■ 주거용 모듈러 건축물의 음환경 및 기밀성능 평가를 통하여 객관적 성능평가 실시 및 개선기술 제시

3) 3차년도

가) 개발목표

- ❍ 주관연구기관 (한국건설기술연구원) : POE 및 모니터링을 통한 문제해결 및 설계 Proto Type 개발
- ❍ 공동연구기관 (동양구조이앤알) : 주거용 모듈러 건축물 내진보강 및 진동 저감 기술 개발
- ❍ 공동연구기관 (동양) : 세대 내 간막이 벽체의 상용화를 위한 시작품 제작 및 성능평가

나) 개발 내용 및 범위

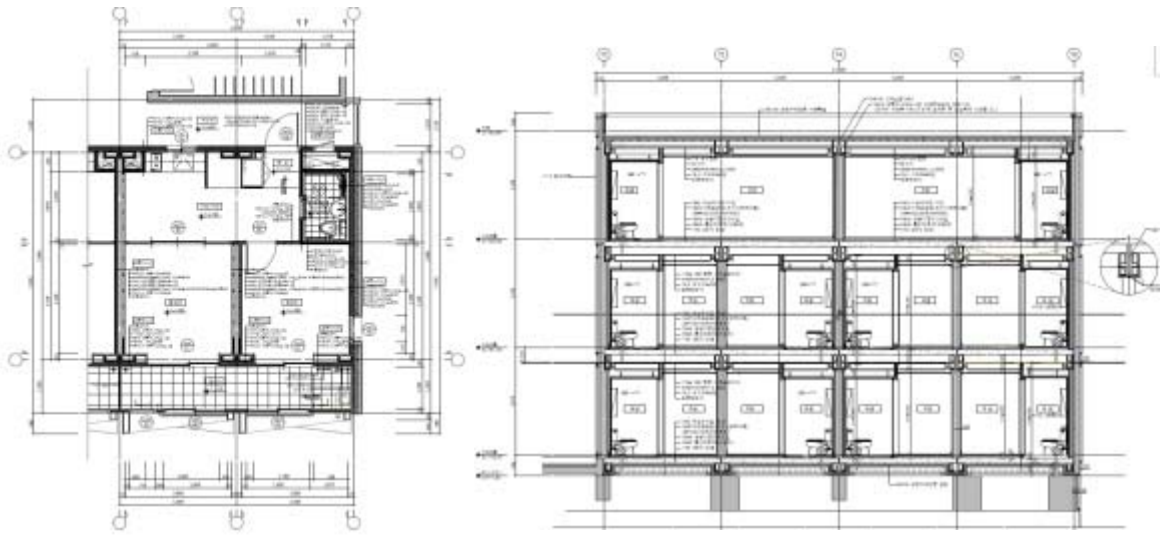
1	연구기관

주관연구기관 : 한국건설기술연구원

개발 내용 및 범위

■ 실증단지 추가 POE조사를 통한 보완사항 도출
- 동절기 거주성능 파악을 위한 2차 설문조사(차음 성능, 기밀 보완 사항 도출)

■ 종합 문제 해결 설계 Proto Type 개발
- 1차, 2차 POE 조사 결과(시공성, 성능개선안) 분석 및 해결방안 적용 모듈러 설계프로토타입
- 시작품검증(동양) 결과 반영, 시공 및 제작 문제점 도출 및 해결안 적용 모듈러 설계프로토타입



〈모듈러 공동주택 실시설계도서 예시〉

연구 결과

■ 천안두정 실증단지의 개선을 위한 내진성능, 제작 및 시공성, 거주성능이 개선된 모듈러 설계프로토타입(설계도서) 제안

2 연구기관

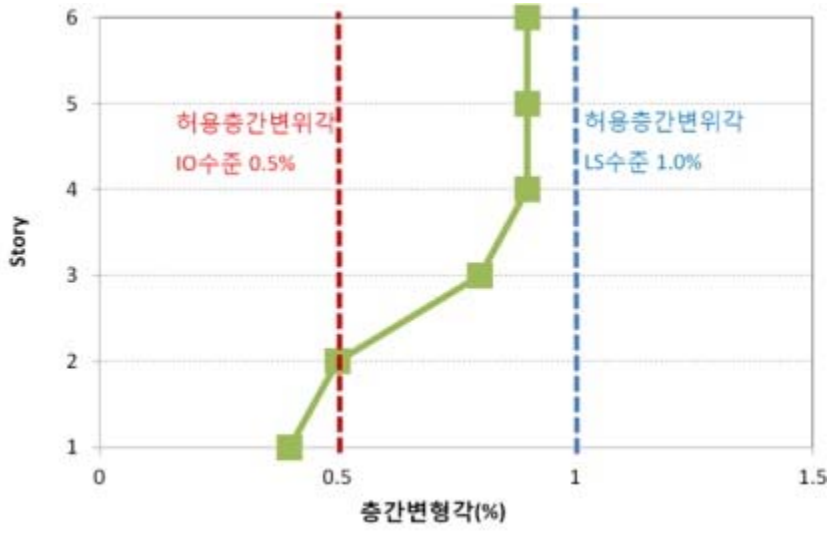
공동연구기관 : 동양구조이앤알

개발 내용 및 범위

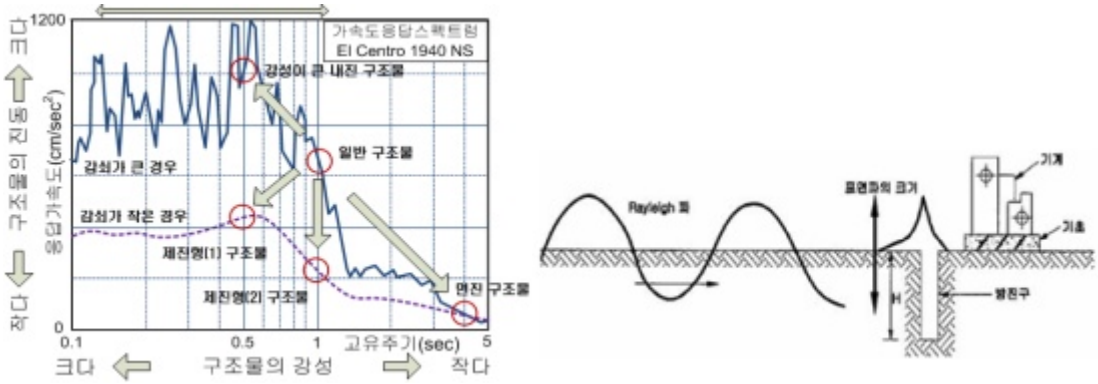
- 천안 실증단지 모듈러 건축물 내진성능 평가
  - 복합형 주거용 모듈러 건축물의 내진성능 평가(한국시설안전공단기준)

- 주거용 모듈러 건축물의 내진보강 방안 제시
  - 필로티형인 주거용 모듈러 건축물의 내진성능 향상을 위한 보강방안 제시
  - 복합형인 천안 실증단지의 내진성능 향상을 위한 보강설계

- 주거용 모듈러 건축물의 진동 저감을 위한 개선안 도출
  - 가진원에 따른 결과분석
  - 모듈러 건축물의 진동 성능 개선기술 제시



〈내진성능평가 결과〉



〈소음진동저감방안〉

연구 결과

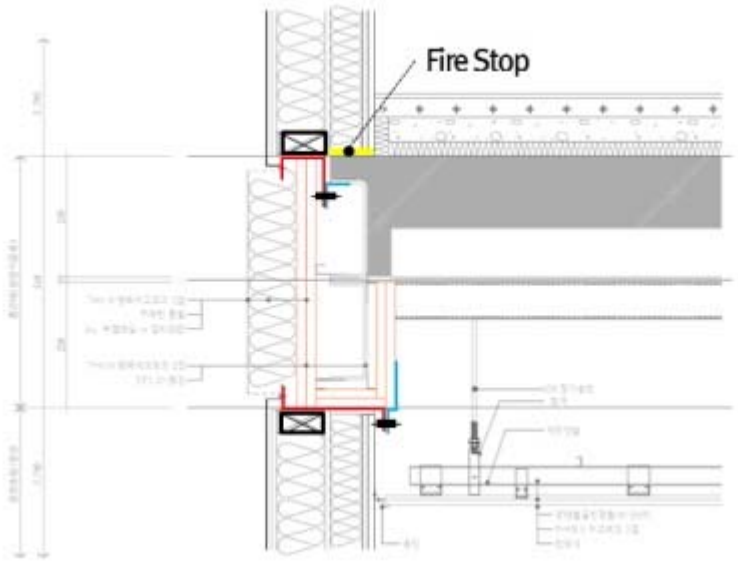
- 천안두정동 모듈러 건축물의 내진 및 진동 평가 보고서

3	연구기관

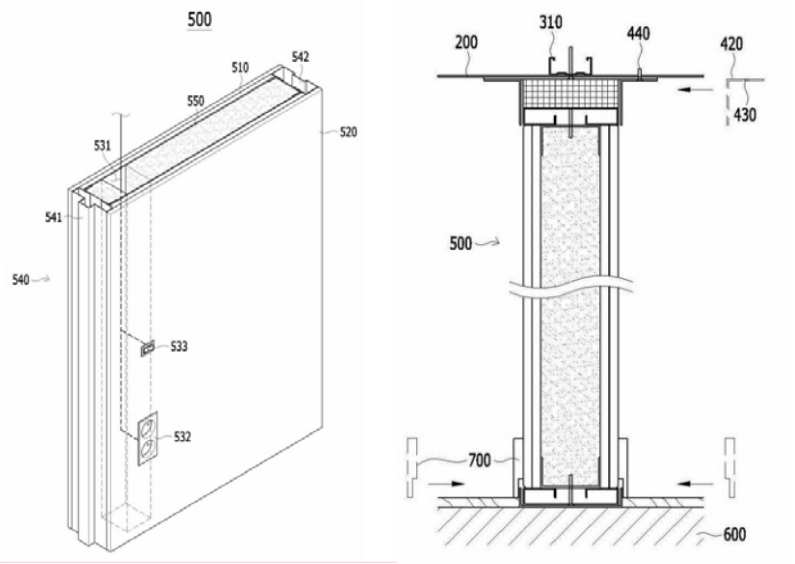
공동연구기관 : 동양

개발 내용 및 범위

- 외장마감 일체형패널 Mock-up 제작 (충북진천 Mock-Up 적용)
- 세대내 간막이벽 Mock-up 제작(충북진천 Mock-Up 적용)
  - 경량바닥재 및 천장재 연계 시스템 개발
  - 경량바닥재/천장재/간막이 벽체 일체형 모듈러 인필시스템 개발



〈외장마감 일체형패널 Mock-up 제작〉



〈세대내 간막이벽 개발 개념〉

연구 결과

- 경량바닥재/천장재/간막이 벽체 일체형 모듈러 인필 시작품 (충북진천 Mock-Up 적용)

2.
연구수행내용 및 성과

가. 1차년도 수행내용

나. 2차년도 수행내용

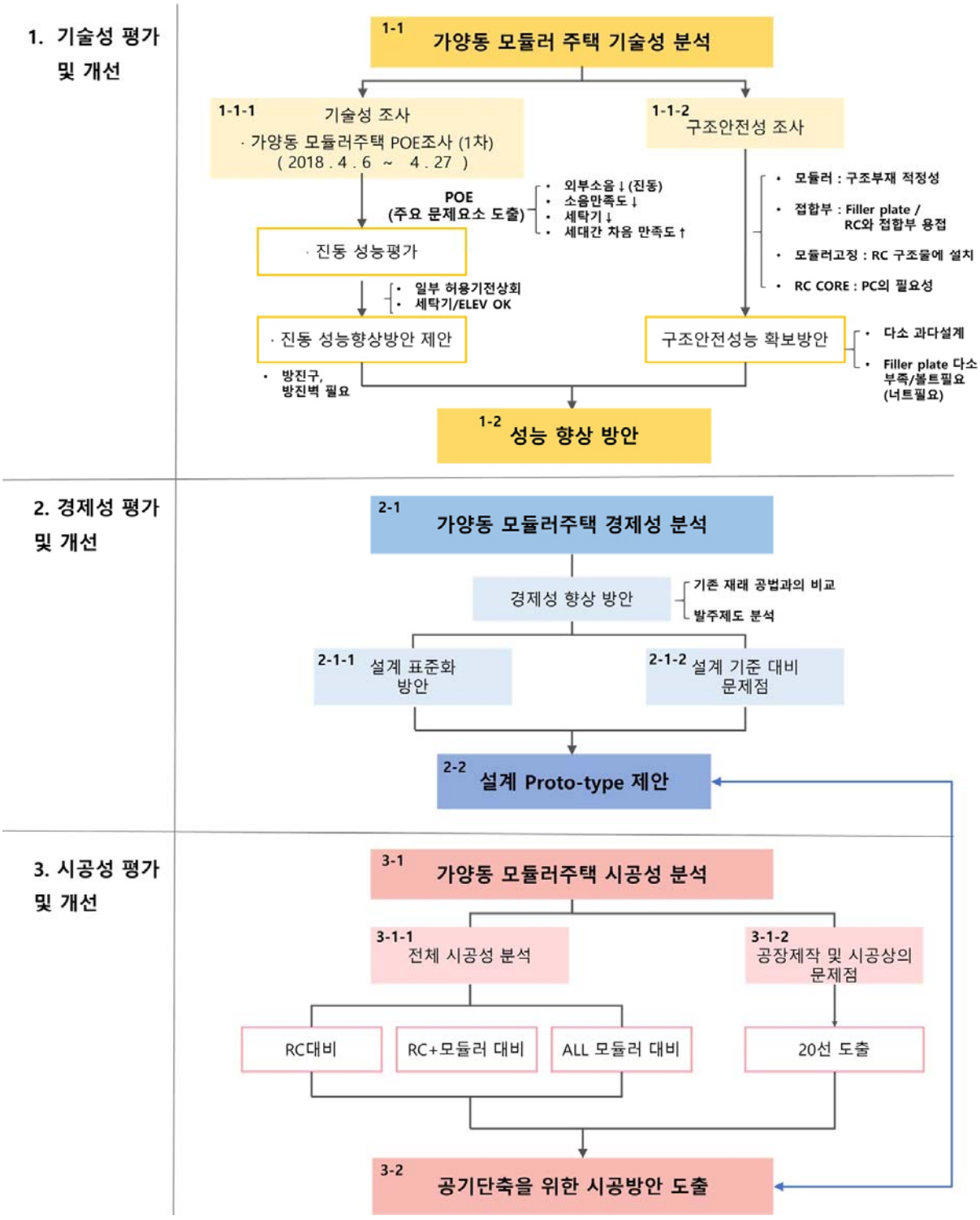
다. 3차년도 수행내용

1차년도 수행내용

2. 연구수행내용 및 성과

가. 1차년도 수행내용

* 1차년도 연구의 내용 및 결과 (가양동 POE)



1) 3대 실증(기술성, 경제성, 시공성)모니터링을 통한 문제 해결 솔루션 개발(KICT)

가) 기술성 보고서

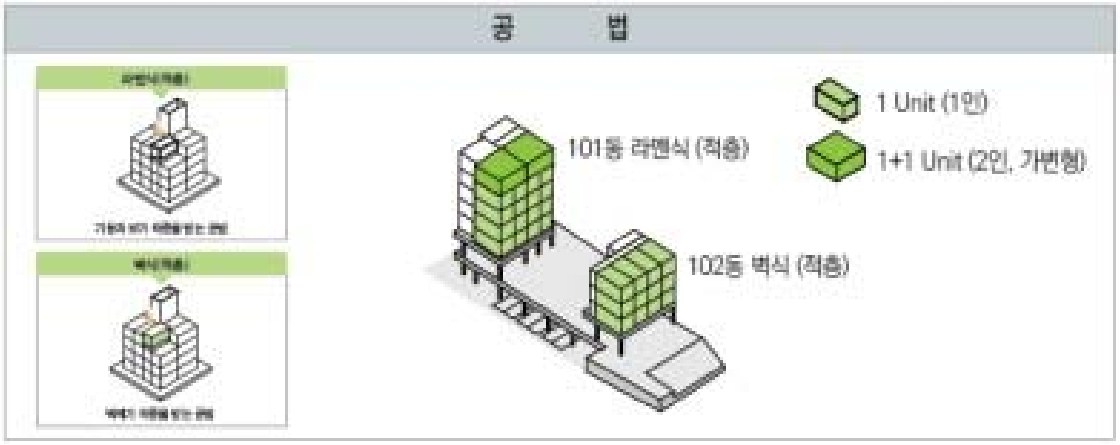
(1) 가양 실증단지 POE 조사

① POE 결과를 통한 문제점 도출

- 가양동 실증단지는 국내 최초로 주택법의 성능을 만족하는 모듈러 공동주택임. 실증단지의 개략적인 설명은 [표 2.1.1]와 같음

[표 2.1.1] 가양 라이품 행복주택 세대구성

구분	가양 라이품 행복주택	
	101동 라멘식(적층)	102동 벽식(적층)
1인실(16m2)	주차장(2층), 주동(6층)	주차장(2층), 주동(4층)
2인실(34m2)	16세대	12세대
세대수 (합계:30세대)	2세대	-
Unit (합계:32개)	20개(3mX5.7m)	12개(3mX5.7m)
입주대상자	사회초년생	
실구성	통합분리 가변형	One Room 형



[그림 2.1.1] 가양 모듈러 주택 적용 공법(적층공법)

- 가양동 모듈러 주택에 적용된 모듈러 공법은 적층식 공법으로서 [그림 2.1.1]과 같이 라멘조와 벽식으로 각각 18세대와 12세대씩 2개동으로 건축됨. 기존 공영주차장을 대지에 1층 필로티 구조로 각각 4층과 6층의 모듈러 주택이 건축되었으며, 지하에는 기존의 공영주차장이 계획됨. 차량은 세대 주민을 위한 입구와 공영주차장의 입구가 분리되었으며, 각각 1층과 지하층에 계획됨([표 2.1.2] 및 [그림 2.1.2, 2.1.3]참조)



[그림 2.1.2] 가양 모듈러 주택 대지활용



[그림 2.1.3] 가양 모듈러 주택 배치도

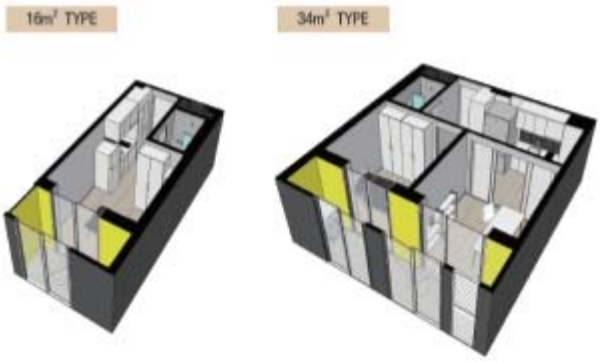
[표 2.1.2] 가양 모듈러 주택 설계 개요

대지면적	1,436.00m²
건축면적	371.65m² / 2,068.12m²
건폐율/용적률	25.88% / 75.96% (법정 60% / 230% 이하)
세대수	101동 6층(18세대), 102동 4층(12세대)
주차대수	총53대 : 공영 39대,세대14대
용도	공영주차장(지하1층), 근린생활시설(1층), 공동주택(2~6층)
시공사	하부공사(신우건설산업(주)), 모듈러주택(포스코 A&C)
발주처	서울주택도시공사

- 가양동 모듈러 주택은 1세대 1 유닛모듈(16㎡)로서 원룸주택으로 기본계획이 수립되었고 층별로 4호의 주택으로 구성되었으나 101동의 6층 최상층에는 신혼부부용으로 특별히 설계되어 2개의 모듈이 1세대(34㎡)를 이루고 있음([그림 2.1.6] 참조)

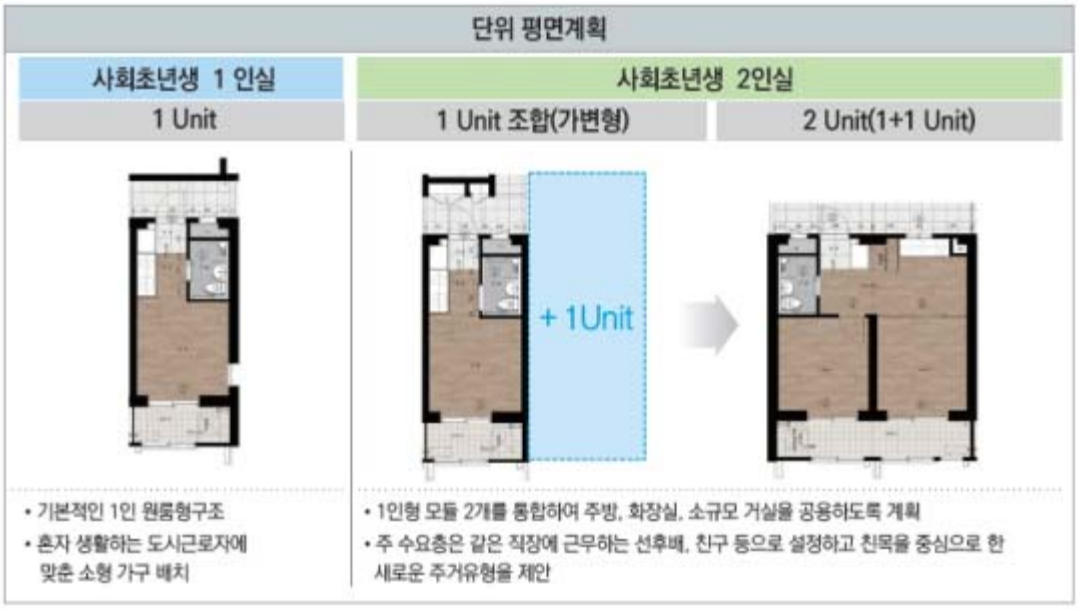


[그림 2.1.4] 가양 모듈러 주택 단면 및 평면구성



[그림 2.1.5] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면 유형

- 한편 가양 모듈러 주택은 [그림 2.1.5, 2.1.6]에서와 같이 사회초년생 2인실이 101동 6층에 신혼부부용으로 2세대 계획되어 공급됨



[그림 2.1.6] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면계획

- 가양 모듈러 주택이 갖고 있는 가장 중요한 의미는 국내 최초의 건축법이 아닌 주택법 주택건설기준 등에 관한 규정에 의거 건축된 최초의 공동주택이며, 일반 공동주택과 동일한 프로세스에 의해 건축된 것임

㉠ 대상지 개요 및 특성

❍ 가양동 라이품주택 입지 여건

- 가양동 가양모듈러실증단지 Lipoom 라이품 행복주택(이하 라이품주택)은 북측으로 올림픽대로와 인접, 동측으로 6차선대로인 강서로에 면하여 위치함. 강서로 맞은편에 아파트 단지가 위치하며 초·중·고등학교 등 학교시설이 있음. 공공시설로는 남측으로 150m 떨어진 곳에 우편취급국이, 400m 떨어진 곳에 가양1동 주민센터가 위치하며 대상지 주변으로는 자동차 공업사와 택시회사, 교회가 위치함. 근린생활시설 현황을 살펴보면 100m 이내에 편의점이 위치하며, 남측으로 400m 떨어진 곳에 농협 하나로마트가 입지. 영화관 등의 문화시설은 적은 것으로 나타남. 공원 등 녹지공간은 북서쪽 300m에 궁산근린공원 산책로 및 양천향교지가 조성되어 있으며, 서측 마곡지구도시개발지구 내 서울식물원 입지 예정(2018년 10월). 주변 교통 현황을 살펴보면 대지 남측으로 400m 거리에 9호선 양천향교역 지하철이 위치하여, 대중교통 이용이 편리한 것으로 보임



[그림 2.1.7] 가양동 라이품주택 입지 여건

❍ 대상지 특징

- 서울시 강서구 가양동 1457-1에 위치한 가양동 라이품주택은 국토부 R&D 사업으로 한국건설기술연구원, 서울주택도시공사, 포스코A&C가 합작한 실증단지 조성사업으로, 모듈러 공법으로 설계한 국내 첫 번째 '조립식 공동주택'임(주택법 의거). 입주 대상자는 사회초년생 및 사회초년생 계층 중 주거약자로, 2017년 12월 입주가 시작됨. 기존 공영주차장 부지를 활용하여 현재는 101동과 연결된 지하 1층 주차장은 공영주차장으로 사용하며, 1층 주차장은 입주자 세대를 위한 주차장으로 사용하고 있음. 현재 홍보관으로 사용 중인 101동 1층은 추후 주민편익시설로 예정되어 있음. 101동(지하 1층, 지상 6층), 102동(지상 4층) 2개 동으로, 16㎡ 원룸형 28실, 34㎡ 신혼부부형 2실로 구성되어 총 30세대로 구성. (조사 당시에는, 2인실에도 모두 1인이 거주) 101동 2층에는 입주자가 공용으로 사용할 수 있는 주민공동시설이 마련되어 있고, 3층에는 야외 휴게실이 설치되어 있음. 101동 1층에 경비실이 위치하나, 현재 상주하는 관리인은 없으며, 서울주택도시공사 강서센터에서 주차장과 함께 건물을 관리하고 있음



[그림 2.1.8] 가양 라이품주택 조감도



[그림 2.1.9] 가양 라이품주택 내부 평면도

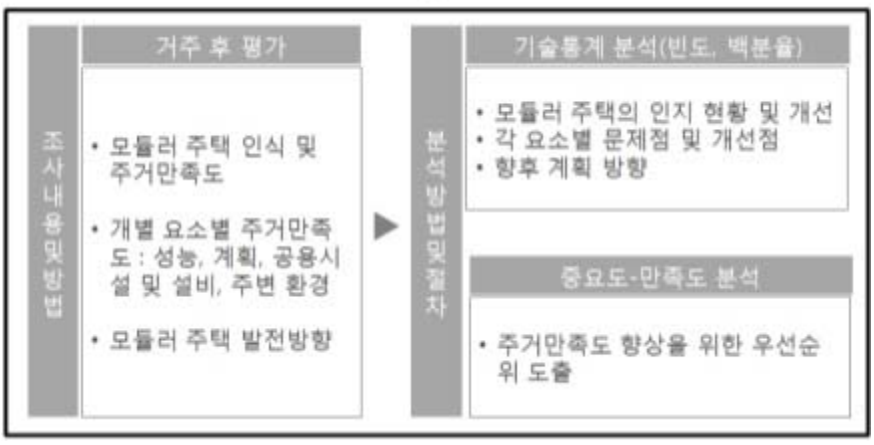
㉡ 조사 및 분석방법

❍ 조사 기간 및 방법

- 조사는 2018년 4월 6일부터 4월 27일까지 3주간 진행되었으며 설문 당시 거주인원 총 28명(세대) 중 25명(세대)을 대상으로 설문을 진행하였음. 조사 방법으로는 오프라인(10명) 및 온라인(15명) 매체를 병행하여 설문을 진행하였고, 설문 분석결과 이후 5월 30일 6세대와 추가 간담회를 진행하였음

❍ 분석방법

- 1~2차년도 분석방법을 기반으로 평가 분석을 시행하였으며 설문 문항에 대한 신뢰도 분석을 통하여 요인별 신뢰도를 측정. 빈도 및 백분율 분석을 통해 각 요소에 대한 만족(1~5점) 정도를 분석하고 단계적 다중회귀분석을 통해 주거만족도에 영향을 미치는 요인에 대한 중요도를 산출. 주거만족도 분석에서 거주자들이 중요하게 느끼는 요소가 어떤 것들이 있는지, 시급하게 개선해야 하는 점은 무엇인지에 대한 주거만족도 향상을 위한 정량적 분석을 통한 우선순위를 도출. 남녀별, 동별, 세대 간 만족도 평균 차이에 대한 유의성을 검증하기 위해 t-검정을 시행하여 비교 분석



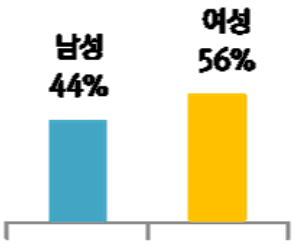
[그림 2.1.10] 거주 후 평가 분석 모형

② 가양동 조립식 주택 거주 후 평가 분석

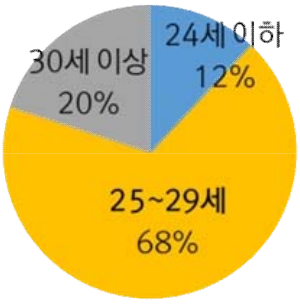
㉠ 조사 대상자 특성

- 성별은 남성이 11명, 44.0%, 여성이 14명, 56.0%로 여성이 조금 더 높음. 모든 응답자의 연령은 20대~30대로 대부분 사회초년생인 것으로 나타남. 24세 이하 3명, 12.0%, 25~29세가 17명, 68.0%, 30세 이상이 5명, 20.0%로 25~29세 이하 비율이 가장 높음. 이전 주거유형을 살펴보면 단독 및 다세대 주택(빌라)가 7명, 28.0%, 아파트 등의 공동주택이 6명, 24.0%, 오피스텔이 9명, 36.0%, 기숙사 및 원룸 등이 3명, 12.0%로 오피스텔에 거주한 비율이 가장 높은 것으로 나타남

- 세부 유형으로 살펴보면 오피스텔 9명, 36.0%, 다음으로 아파트 6명, 24.0%, 빌라/다세대 5명 20.0% 순으로 높게 나타남



[그림 2.1.11] 성별 분포



[그림 2.1.12] 연령 분포



[그림 2.1.13] 이전 주거유형 분포

[표 2.1.3] 조사 대상자 일반 특성

구분		빈도	%
성별	남	11	44.0
	여	14	56.0
연령	24세 이하	3	12.0
	25세 이상 29세 이하	17	68.0
	30세 이상	5	20.0
이전 주거유형	단독 및 다세대	7	28.0
	공동주택	6	24.0
	오피스텔	9	36.0
	기타 : 기숙사, 원룸	3	12.0

[표 2.1.4] 조사대상자 이전 주거유형 세부 분포

구분	단독 및 다세대			공동주택		원룸, 기숙사 등	
	빌라/다세대	다가구	단독주택	아파트	오피스텔	원룸	기타
빈도	5	1	1	6	9	2	1
%	20.0	4.0	4.0	24.0	36.0	8.0	4.0

㉡ 조사 내용의 신뢰도 분석

- 확정된 조사 내용을 대상으로 문항의 내적 일관성을 검증하기 위하여 신뢰도 분석을 시행.신뢰도 분석은 설문 문항 중 리커트 5점 척도(Likert scale)로 이루어진 문항들을 대상으로 실시. 분석결과 주택 성능요소의 크론바흐 알파(Cronbach's α)값은 0.894, 주택 계획요소는 0.872, 공용시설 및 설비요소는 0.631, 주변 환경요소는 0.800으로, 모든 값이 0.6 이상으로 나와 내적 일관성에는 문제가 없는 것으로 나타나 모든 문항을 설문분석에 활용하였음

[표 2.1.5] 신뢰도 분석

구분	항목		Alpha if item Deleted	Cronbach's α
주거 성능	성능요소 전반		0.891	0.894
	환기	조리 환기	0.895	
		욕실 환기	0.889	
	기밀성	기밀 정도	0.885	
	결로	결로	0.887	
		누수	0.887	
	단열	단열 성능	0.897	
		난방비	0.895	
	채광	채광 정도	0.899	
	방음	위층 발자국	0.880	
		위층 음악	0.880	
		화장실 소음	0.884	
		옆 세대 TV 소리	0.881	
		복도 소음	0.888	
		방문 소음	0.888	
		외부소음	0.896	
	진동	세탁기(본인)	0.885	
		세탁기(타 세대)	0.888	
		주방 후드 사용	0.883	
주택 계획	주택 계획요소 전반		0.840	0.872
	내부 평면		0.833	
	내부 실 규모		0.854	
	내부 취사 시설		0.863	
	내부 수납공간		0.858	
	냉난방 시스템		0.869	
	외관 디자인		0.856	
공용시설 및 설비	공용시설 및 설비요소 전반		0.527	0.631
	휴게실 등 공용시설		0.582	

	주차장, 근린생활시설 등 지역사회 공용시설	0.610	
	관리비의 적정성	0.594	
	쓰레기 처리방식	0.551	
	경비 등 안전시스템	0.670	
	무인택배함 방식	0.600	
주변 환경	주변 환경요소 전반	0.737	0.800
	근린생활시설	0.726	
	대중교통 편리성	0.698	
	여가활동시설	0.822	

㉡ 조립식 주택 주거만족도

❍ 주거만족도

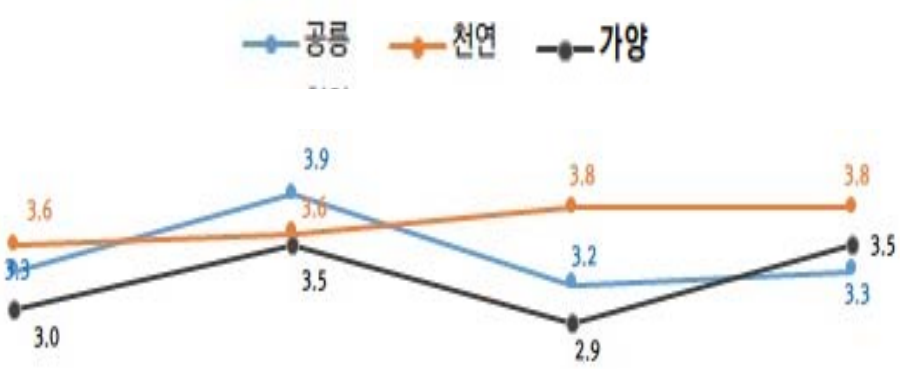
- 주거 성능요소, 공용시설 및 설비요소가 다른 요소에 비해 만족도가 낮게 나타남

- 요소별 만족도의 평균을 살펴본 결과 주거 성능요소 평균 3.00, 주택 계획요소 평균 3.48, 공용시설 및 설비요소 평균 2.88, 주변 환경요소 평균 3.48로 공용시설 및 설비가 가장 낮았고, 주택 계획요소와 주변 환경요소가 동일하게 높은 것으로 나타남

- 1~2차년도와 비교 시 전반적인 만족도가 낮은 것으로 나타남. 이는 응답자 연령층이 1~2차년도에 비해 높아, 기대치 기준 차이가 있을 것으로 판단

[표 2.1.6] 요소별 주거만족도 평균 비교

구분	주거 성능	주택 계획	공용시설 및 설비	주변 환경
공릉동	3.3	3.9	3.2	3.3
천연동	3.5	3.6	3.8	3.8
가양동	3.0	3.5	2.9	3.5



[그림 2.1.14] 요소별 만족도 평균

❍ 주거 성능요소 만족도

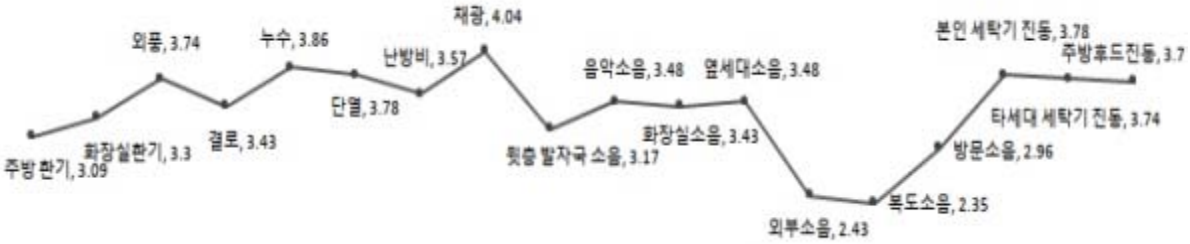
- 외부 도로에서의 차량 경적 등 외부소음과 복도, 계단실에서 나는 발걸음 소리 등의 소음 심각

- 주거 성능 만족도는 매우 만족 2명, 8.0%, 만족 5명, 20.0%, 보통 10명, 40.0%, 만족하지 못함 7명, 28.0%로 전체적으로 28.0%만이 만족하며, 공용시설 요소가 2월달 관리비로 인해 만족도가 낮게 나온 점을 참작할 때, 주거 성능 만족도가 평균 3.0으로 설문 요소 중 가장 낮다고 볼 수 있음

[표 2.1.7] 주거 성능요소 전반적 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	만족하지 못함	전혀 만족하지 못함
빈도	2	5	10	7	1
%	8.0	20.0	40.0	28.0	4.0

- 항목별 만족도 평균을 살펴보면 주방 환기 3.09, 화장실 환기 3.30 외풍 정도 3.74, 결로(겨울철) 3.43 누수 3.86, 단열 성능 3.78, 난방비용(겨울철) 3.57, 채광 4.04, 위층 발자국 소음 3.17, 위층 음악 소음 3.48, 화장실 소음 3.43, 옆 세대 생활 소음(TV) 3.48, 외부소음 2.43, 복도 소음 2.35, 옆 세대 방문소음(친구) 2.96, 세탁기 진동(본인) 3.78, 세탁기 진동(타 세대) 3.74, 주방 후드 진동 3.70



[그림 2.1.15] 주거 성능요소 만족도 평균

- 복도 소음 2.35, 외부소음 2.43은 다른 요소에 비해 만족도가 현저하게 낮은 것을 알 수 있음. 기타 서술 의견으로도 복도 소음, 도로 소음의 문제의식이 높았고, 상대적으로 위층, 세대 간 소음에 대한 만족도는 높은 것으로 나타남

- 세탁기와 주방 후드 사용으로 인한 진동에 대한 만족도는 대체로 높았으나, 기타 서술 의견으로 11명, 44.0%의 응답자가 진동과 관련된 문제의 심각성을 제기하였고 특히, 외부 차량으로 인한 진동이 가장 크게 작동하는 것으로 나타남

- 주방, 화장실 환기에 대해서는 부엌, 욕실 사용으로 인한 연기를 센서가 쉽게 감지하기 때문에 몇 차례 소방 차량 출동으로 인한 문제로, 입주민들의 기본 매뉴얼 숙지 등이 요구

- 자연채광, 단열, 누수 대체로 만족

- 항목별 만족도 중 자연채광 만족도 평균이 4.04로 가장 높게 나타났고, 이어서 누수 3.86, 단열 성능 3.78 순으로 높은 만족도가 나타남. 2월 초 소화전 밸브 동파로 인한 누수로 인한 문제가 발생하였으나, 설문 결과에는 큰 영향을 끼치지 않은 것으로 나타남

〈기타 의견, 간담회 내용〉

- 올림픽대로에서 연결된 곳이다 보니 차량 통행량이 많아 외부 차량 소음이 심함
- 현관 밖, 복도 소리가 선명하게 들릴 정도로 방음이 취약함
- 엘리베이터 운행, 멘트 소음이 너무 큼
- 채광이 부분적으로 안 되는 부분도 있으나, 길쭉한 평면 구조상의 문제
- 화장실 환기가 잘 안 되고, 세탁기 물 빠지는 곳에서 냄새가 올라옴
- 하루에 수십 번 땅이 흔들리는 진동이 반복된다. 외부 차량에 의한 것으로 생각됨
- 도로 옆 차가 지나가거나 특정 상황에 집이 흔들리는 것을 느낌
- 진동이 느껴질 때마다 불안하다. 방 전체적으로 느껴지는데, 원인은 아직 잘 모르겠음

POE 소결

■ 외부 소음에 대한 만족도가 낮음

- 주거 성능요소 만족도를 살펴본 결과 복도 소음 및 외부소음, 그로 인한 진동이 심각한 것으로 나타남. 외부소음에 대해서는 올림픽대로와 인접하고 6차선 도로에 면한 입지로 인한 것으로 파악. 입지 조건이 비슷한 공릉동(8차선 도로, 사거리)과 같은 결과가 나타남

■ 엘리베이터 등 공용공간으로 부터의 소음 만족도가 낮음

- 복도 소음은 공릉동과 천연동에서 전부 만족도가 낮았던 것으로 보아 조립식 주택 차원의 벽체 점검 및 보완 필요

- 세대 간 소음에 대해서는 라이품주택에서 일반 RC보다도 두꺼운 벽체를 사용하여 상대적으로 만족도가 높은 것으로 보임. 또한, 101동과 102동에 바닥 두께 차이가 있으나, 사실상 성능 차이가 없음을 사전 확인하였고, 설문 결과에서도 차이가 드러나지 않음

■ 세탁기 등의 진동에 대한 우려

- 진동에 대해서는 천연동의 경우 세탁기 진동이 심각했던 점과 비교해서, 내부 설비 사용(세탁기, 주방 후드 등)으로 인한 진동의 우려가 있었으나, 라이품주택의 경우 입주 전 모듈 접합부에 진동 패드를 보완 설치하고, 입주 시 전 세대에 세탁기 밑 진동 패치를 배분하여 생활 진동에 대한 불만은 줄어든 것으로 파악되나, 외부 차량에 의한 진동은 추후 진동 테스트를 통한 안전성 점검이 필요할 것으로 보임

- 소음 및 진동 문제 다음으로 환기 문제가 심각한 것으로 나타났는데, 이는 간담회를 통해서도 민감한 센서로 인한 소방서 출동이 여러 차례 있었던 것으로 확인. 환기 성능의 점검과 함께 입주자들 간의 매뉴얼 숙지 및 실천 등이 요구

- 채광 및 누수, 단열 성능은 다른 요소에 비해 만족하는 것으로 나타났는데, 1~2차년도와 마찬가지로, 남향 입지, 큰 창호 사용 등으로 자연채광이 우수한 것으로 나타났고, 조립식 주택의 단열 성능 부분도 대체로 만족도가 높은 편으로 나타남

이상의 내용은 거주자의 의견을 최종 정리한 것으로 이에 대한 최종 성능평가를 실시하여 이를 객관적으로 판단할 계획임. 특히 진동에 대한 문제는 모듈러가 경량으로 건축되어 충분히 예상되는 결과로 예상했던 바이며, 도로에 인접하여 건축한 까닭에 이에 대한 세심한 계획적 배려가 필요한 것으로 예상되었던 항목임

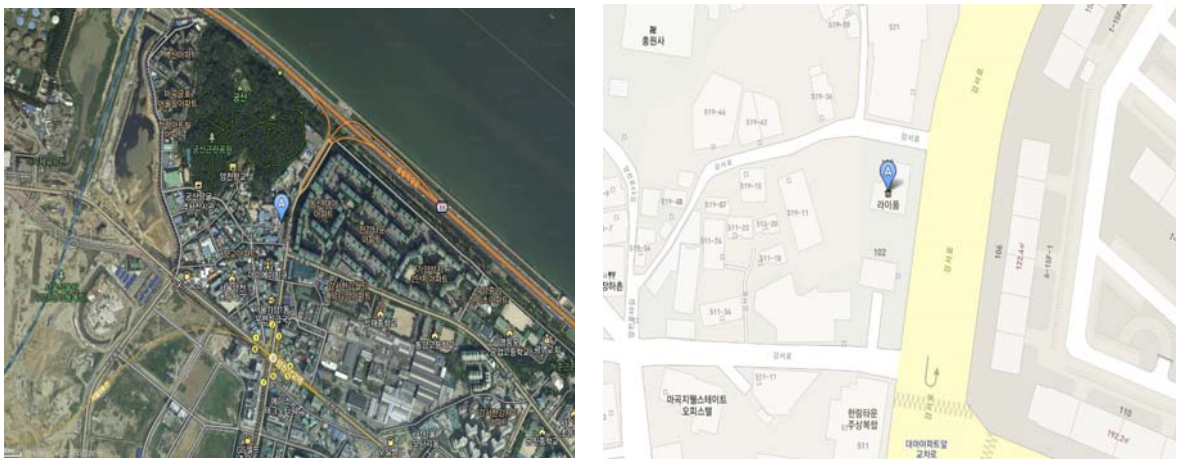
(2) 가양 실증단지 진동성능평가

① 연구의 필요성 및 목적

- 본 연구는 '모듈러 실증사업 POE를 통한 성능향상 방안연구' 중 진동성능평가의 일환으로 수행함
- 가양 모듈러주택 거주자 평가 수행 중 내외부 진동에 대한 불편함을 호소하며 민원을 제기하는 사례가 발생함
- 따라서 본 연구의 주관기관인 건설기술연구원의 위탁으로 가양 모듈러 주택에 대한 진동측정을 수행하고자 함
- 가양 모듈러 주택 거주자를 대상으로 한 POE(거주 후 평가 시스템) 결과를 반영하여 POE 대상이 되는 가양 모듈러 주택의 바닥판에 대한 외부진동 실측평가를 수행하고자 함

② 조사대상 개요

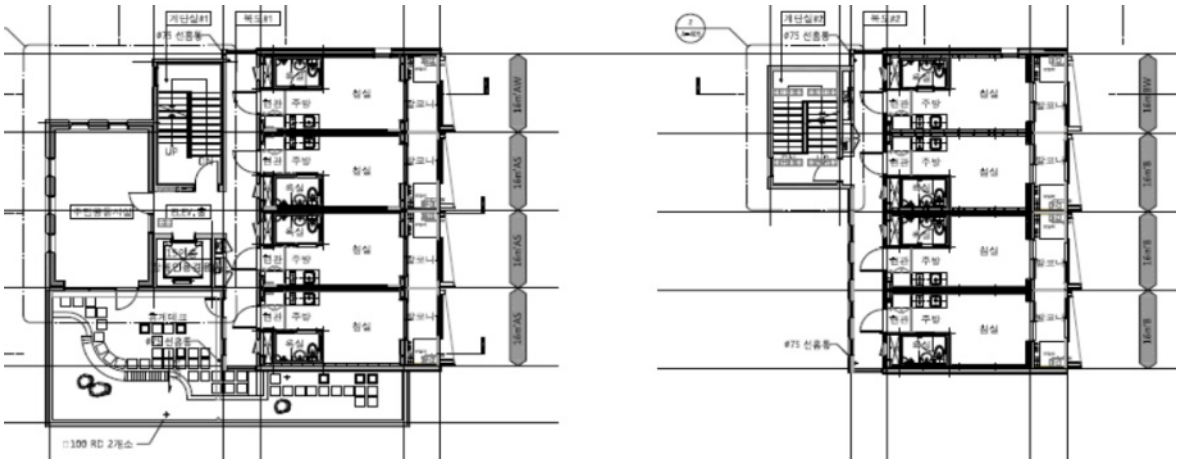
- 위치 : 서울시 강서구 강서로 515(가양동)
- 구조형식 : 모듈러 주택
- 준공일 : 2017.11.10.
- 용도 : 공공임대주택
- 대지면적 : 1,436 ㎡
- 건축면적 : 371.65 ㎡
- 연면적 : 2,068.12 ㎡
- 동/층수/호 : 101동 6층 18세대
  102동 4층 12세대
  2개동 총 30세대



[그림 2.1.16] 대상 건축물 위치



[그림 2.1.17] 대상 건축물 전경



[그림 2.1.18] 대상 건축물 평면도

③ POE조사결과

- 대상 건축물의 입주자들에 대해 진동에 대한 설문조사를 실시한 결과 다음과 같은 결과가 나타남
- 101동 저층에서 세탁기로 인한 진동이 느껴지는 세대가 있고, 최상층은 원인미상의 진동을 느낌
- 101동은 엘리베이터로 인한 진동을 느끼는 세대가 1세대 있음
- 102동은 원인미상의 진동을 느끼는 세대가 4세대이고, 외부차량이 지나갈 때 느끼는 진동이 3세대로 나타남
- 101동보다 102동에서 진동을 느끼는 세대가 더 많음
- 입주민들이 느끼는 진동은 소음과 구분이 불명확함
- POE결과를 반영하여 진동측정 대상을 협의함
- 세대 협조가 안 될 경우 측정 불가함



[그림 2.1.19] 대상 건축물 진동에 대한 설문조사 결과

④ 사전 조사

- 현장 조건을 파악하여 본 조사 시 바닥진동 측정을 위한 시간, 조사항목, 분석방향을 결정하기 위해 사전조사를 실시함



[그림 2.1.20] 대상 건축물 전경

㉠ 조사개요

- 인접도로 및 주차장 현황 파악, E/V 시험운행, 세대 내부 마감재 현황
- 도로현황은 출근시간대, 오전, 오후, 퇴근시간대로 구분하여 각 15분 이상씩 현황을 기록함
- E/V시험운행은 101동을 대상으로 약 30분간 여러 가지 가진원을 유추하여 시험함
- 진동측정 센서를 설치할 바닥 마감재 현황을 파악함

㉡ 각 도로별 조사시간

❍ 6차선 도로 현황 파악

출근시간대 : 08:30~09:00사이 15분
오전시간대 : 10시~11시 사이 15분
오후시간대 : 3시 ~ 4시 사이 15분
퇴근시간대 : 6시~6:30 사이 15분

❍ 좌측도로(카센터쪽) 현황 파악

오전시간대 : 10~11시 사이 15분
오후시간대 : 3시 ~ 4시 사이 15분
퇴근시간대 : 6시~6:30 사이 15분

❍ 우측도로(주차장 입구쪽) 및 주차장 현황 파악

출근시간대 : 08:30~09:00사이 15분
오후시간대 : 2시~3시 사이 15분
퇴근시간대 : 6시~6:30 사이 15분



[그림 2.1.21] 도로 표기 규칙














[그림 2.1.22] 주변 도로 및 주차장 현황사진

㉮ 도로조사현황 및 결과

- 좌측도로변에는 시민자동차서비스 외 여러개의 카센타가 양쪽 도로변에 위치하고, 차량수리 중 발생하는 소음 및 진동이 상당히 발생함(오전, 오후시간대)

- 우측도로는 막다른 도로라서 주로 중소형차가 일부 통행하고, 공영주차장 입차 차량과 교회, 택시회사, 안쪽의 차량덴트(썬팅)업체 등의 출입차량 등이 주로 통행함

- 택시회사는 오전, 오후시간대에 차량이 거의 없고, 내부에서 진동발생 작업이 거의 없음. 자동세차기가 있으나 낮시간대에 작동하지 않음

- 주차장은 주로 정기권 차량이 많으며, 모듈러 주택 외의 주변 주택 거주자들이 정기권을 사용하고 있는 실정임

- 주차장은 출퇴근 시간대에 입출차 차량이 많고, 낮시간대에는 주변 회사원이 정기권을 사용하는 경우도 있고, 임시 방문자들이 사용함(주변에 주차할 곳이 마땅히 없음)

- 주차장 입차 후 우회전하여 101동 쪽으로 주차를 많이 하고, 102동 쪽은 비어 있음(낮시간 기준)

- 주차장 벽면은 택시회사와 접한 쪽은 난간이 1m정도의 높이로 있고, 반대면은 벽체로 막혀 있음

- 주차장 위쪽은 입출구 바로 위에 102동 홍보관이 위치하고, 그 위에 102동 2층 세대,101동은 지상주차장이 있음(지상주차장은 거의 비어있고, 1~2대의 차량, 세대원 중에는 차량보유 4가구임

[표 2.1.8] 인접도로 및 주차장 차량 조사 결과

구 분	시간대	측정시간	대형차량	소형차량
6차선도로	출근시간대(08~09)	08:35~8:50	113	552
	오전시간대(10~12)	10:25~10:40	77	485
	오후시간대(14~16)	15:00~15:15	19	597
	퇴근시간대(18~19)	18:00~18:15	17	695
좌측도로 (카센타쪽)	출근시간대(08~09)	-		
	오전시간대(10~12)	10:43~10:58	8	43
	오후시간대(14~16)	15:20~15:35	1	63
	퇴근시간대(18~19)	18:18~18:33	0	52
우측도로 (주차장 입구쪽)	출근시간대(08~09)	08:48~09:20	0	5
	오전시간대(10~12)	-	-	-
	오후시간대(14~16)	14:00~14:15	0	3
	퇴근시간대(18~19)	18:10~18:38	0	8
주차장	출근시간대(08~09)	08:48~09:20	-	입 7 (9:00이전) 출 1 (9:20)
	오전시간대(10~12)	-	-	-
	오후시간대(14~16)	14:00~14:15	-	입 1 출 0
	퇴근시간대(18~19)	18:10~18:38		입 0 출 6

[표 2.1.9] 지하 공영주차장 진출입현황(서울시설공단 제공)

시간대	진입				진출			
	정기권	일반	면제	계	정기권	일반	면제	계
5월 1일								
0:00 ~ 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 ~ 2:00	0	0	0	0	1	0	0	1
2:00 ~ 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00 ~ 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00 ~ 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00 ~ 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 ~ 7:00	0	1	0	1	1	0	0	1
7:00 ~ 8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 ~ 9:00	1	1	0	2	0	1	0	1
9:00 ~ 10:00	1	0	0	1	0	0	0	0
10:00 ~ 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00 ~ 12:00	0	1	0	1	0	0	0	0
12:00 ~ 13:00	1	2	0	3	1	0	0	1
13:00 ~ 14:00	0	0	0	0	0	2	0	2
14:00 ~ 15:00	0	0	0	0	1	1	0	2
15:00 ~ 16:00	1	1	0	2	1	1	0	2
16:00 ~ 17:00	1	0	0	1	0	0	0	0
17:00 ~ 18:00	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00 ~ 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00 ~ 20:00	0	0	0	0	2	1	0	3
20:00 ~ 21:00	1	0	0	1	0	0	0	0
21:00 ~ 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 ~ 23:00	0	0	0	0	1	0	0	1
23:00 ~ 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	6	6	0	12	8	6	0	14
5월 2일								
0:00 ~ 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 ~ 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00 ~ 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00 ~ 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00 ~ 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00 ~ 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 ~ 7:00	0	0	0	0	1	0	0	1
7:00 ~ 8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 ~ 9:00	13	0	0	13	0	0	0	0
9:00 ~ 10:00	4	1	0	5	0	0	0	0
10:00 ~ 11:00	1	5	0	6	0	0	0	0
11:00 ~ 12:00	1	2	0	3	0	2	0	2
12:00 ~ 13:00	1	2	0	3	0	0	0	0
13:00 ~ 14:00	2	0	0	2	1	0	0	1
14:00 ~ 15:00	0	1	0	1	1	0	0	1
15:00 ~ 16:00	1	0	0	1	0	0	0	0
16:00 ~ 17:00	0	0	0	0	0	1	0	1
17:00 ~ 18:00	0	1	0	1	0	3	0	3
18:00 ~ 19:00	0	0	0	0	8	2	0	10
19:00 ~ 20:00	0	1	0	1	1	2	0	3
20:00 ~ 21:00	0	0	0	0	3	1	0	4
21:00 ~ 22:00	0	0	0	0	1	0	0	1

22:00 ~ 23:00	0	0	0	0	3	0	0	3
23:00 ~ 24:00	0	0	0	0	1	0	0	1
합계	23	13	0	36	20	11	0	31

5월 3일

0:00 ~ 1:00	0	0	0	0	0	1	0	1
1:00 ~ 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00 ~ 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00 ~ 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00 ~ 5:00	0	1	0	1	0	1	0	1
5:00 ~ 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 ~ 7:00	1	0	0	1	1	0	0	1
7:00 ~ 8:00	1	0	0	1	0	0	0	0
8:00 ~ 9:00	13	0	0	13	0	0	0	0
9:00 ~ 10:00	4	1	0	5	0	0	0	0
10:00 ~ 11:00	0	2	1	3	0	0	0	0
11:00 ~ 12:00	1	0	0	1	1	1	1	3
12:00 ~ 13:00	1	1	0	2	0	0	0	0
13:00 ~ 14:00	1	0	0	1	1	0	0	1
14:00 ~ 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00 ~ 16:00	0	1	0	1	1	1	0	2
16:00 ~ 17:00	0	1	0	1	0	1	0	1
17:00 ~ 18:00	0	0	0	0	1	0	0	1
18:00 ~ 19:00	1	0	0	1	12	1	0	13
19:00 ~ 20:00	0	0	0	0	1	0	0	1
20:00 ~ 21:00	0	0	0	0	3	0	0	3
21:00 ~ 22:00	0	0	0	0	2	0	0	2
22:00 ~ 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 ~ 24:00	0	0	0	0	2	3	0	5
합계	23	7	1	31	25	9	1	35

5월 4일

0:00 ~ 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 ~ 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00 ~ 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00 ~ 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00 ~ 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00 ~ 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 ~ 7:00	1	1	0	2	1	0	0	1
7:00 ~ 8:00	2	1	0	3	0	1	0	1
8:00 ~ 9:00	16	4	0	20	0	0	0	0
9:00 ~ 10:00	2	4	0	6	0	0	0	0
10:00 ~ 11:00	1	2	0	3	0	1	0	1
11:00 ~ 12:00	0	1	0	1	0	0	0	0
12:00 ~ 13:00	0	1	0	1	1	2	0	3
13:00 ~ 14:00	1	0	0	1	0	1	0	1
14:00 ~ 15:00	1	1	0	2	1	0	0	1
15:00 ~ 16:00	0	2	0	2	0	0	0	0
16:00 ~ 17:00	0	1	0	1	1	1	0	2
17:00 ~ 18:00	0	2	0	2	2	2	0	4
18:00 ~ 19:00	1	0	0	1	11	8	0	19
19:00 ~ 20:00	0	0	0	0	2	2	0	4
20:00 ~ 21:00	0	0	0	0	1	1	0	2
21:00 ~ 22:00	0	0	0	0	2	1	0	3

22:00 ~ 23:00	0	0	0	0	1	0	0	1
23:00 ~ 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	25	20	0	45	23	20	0	43

5월 5일

0:00 ~ 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 ~ 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00 ~ 3:00	0	0	0	0	1	0	0	1
3:00 ~ 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00 ~ 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00 ~ 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 ~ 7:00	0	0	0	0	1	0	0	1
7:00 ~ 8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 ~ 9:00	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00 ~ 10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00 ~ 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00 ~ 12:00	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 ~ 13:00	0	1	0	1	0	0	0	0
13:00 ~ 14:00	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00 ~ 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00 ~ 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00 ~ 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00 ~ 18:00	1	0	0	1	0	0	0	0
18:00 ~ 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00 ~ 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00 ~ 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 ~ 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 ~ 23:00	0	0	0	0	0	1	0	1
23:00 ~ 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	1	1	0	2	2	1	0	3

5월 6일

0:00 ~ 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 ~ 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00 ~ 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00 ~ 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00 ~ 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00 ~ 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 ~ 7:00	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00 ~ 8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 ~ 9:00	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00 ~ 10:00	0	1	0	1	0	0	0	0
10:00 ~ 11:00	0	2	0	2	0	0	0	0
11:00 ~ 12:00	0	1	0	1	0	0	0	0
12:00 ~ 13:00	0	0	0	0	0	2	0	2
13:00 ~ 14:00	0	0	0	0	0	1	0	1
14:00 ~ 15:00	0	0	0	0	0	1	0	1
15:00 ~ 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00 ~ 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00 ~ 18:00	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00 ~ 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0

19:00 ~ 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00 ~ 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 ~ 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 ~ 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 ~ 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	0	4	0	4	0	4	0	4
5월 7일								
0:00 ~ 1:00	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 ~ 2:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00 ~ 3:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00 ~ 4:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00 ~ 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00 ~ 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00 ~ 7:00	0	0	0	0	1	0	0	1
7:00 ~ 8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00 ~ 9:00	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00 ~ 10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00 ~ 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00 ~ 12:00	0	1	0	1	0	0	0	0
12:00 ~ 13:00	0	1	0	1	0	0	0	0
13:00 ~ 14:00	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00 ~ 15:00	0	1	0	1	0	0	0	0
15:00 ~ 16:00	0	0	0	0	0	1	0	1
16:00 ~ 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00 ~ 18:00	0	1	0	1	0	1	0	1
18:00 ~ 19:00	1	0	0	1	0	1	0	1
19:00 ~ 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00 ~ 21:00	0	0	0	0	0	1	0	1
21:00 ~ 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00 ~ 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00 ~ 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	1	4	0	5	1	4	0	5
5/1~5/7합계	79	55	1	135	79	55	1	135
일평균	11	8	0	19	11	8	0	19

㉣ E/V 시험운행

- E/V는 101동에 1개소 설치되어 있음
- 운행시간 : 오전 11시~11시 40분까지 약 40분간 시험 운행함
- 엘리베이터 안내멘트가 E/V내부에서는 그렇게 크지 않은데, 전실 및 복도에서 크게 들림.(특히 창문을 모두 닫았을 때는 매우 시끄러움)
- 도착 시 진동에 비해 출발 시 진동이 5배 정도 더 크게 느껴짐(내부에서 볼 때) : 전반적으로 진동이 크지는 않음
- 층별로 도착 및 출발 시 진동을 느꼈을 때 별 차이 없음









승 객 용
15 인승
1000 kg
0127-562



[그림 2.1.23] 101동 엘리베이터 현황

㉤ 세대 내부 마감재 현황 등

❍ 101동 501호

복도 : 콘크리트 물갈기
세대현관 : 대리석 느낌의 유광 타일
욕실 : 무광 타일(UBR)
거실 : 비닐타일, 내부에 절단면(이음부) 없음. 벽체 선에 따라 절단 후 흰색 실리콘 마감 테두리부분은 약간 들뜸이 확인됨.(접착제 시공 없는 걸로 판단) 비닐타일은 손으로 눌렀을 때 푹신하다는 느낌이 들 정도로 들어감

- 세대별로 세탁기 방진패드를 주고 설치하도록 하였으나, 설치를 안한 세대가 많이 있음
- 세탁기의 종류(드럼, 일반), 용량 등에 따라 영향을 미칠 수 있음

❍ SH측 입장

거실 바닥 마감재의 손상은 절대 안됨(입주세대가 나갈 때 마감재 손상 시 손해배상 한다고 함. 실례로, 침대발 자국이 없어지지 않은 경우 손해배상 후 퇴거함)



503









[그림 2.1.24] 마감재 현황

㉰ 사전조사 결과 반영사항

- 사전조사는 본 조사에 앞서 진동측정 계획에 반영하기 위해 실시하였음
- 설문조사를 통해 확보한 진동원인과 함께 이들의 현황을 파악함
- 사전조사를 통해 본 조사에 반영할 사항은 다음과 같음

외부차량 통행 : 시간대별 측정/ 동별 구분, 세대내부 측정, 복도 측정
세탁기 : 협조세대(404호 작동, 304호 측정)에서 측정, 세탁기 제원 및 방진패드 설치여부 확인
주차장 우측도로 : 동별구분, 세대내부, 복도 측정
좌측도로 : 동별구분, 세대내부, 복도 측정
바닥마감재는 훼손불가하므로 마감재 위에 철판위에 센서 설치방안 강구
E/V는 101동 세대내부에서 이용이 낮은 시간대에 15분가량 측정함.
E/V에 공지사항 2~3일전에 부착

---

⑤ 진동측정 및 평가방법

㉠ 측정개요

- 각 세대별 협조 가능일, 협조 가능 세대별 시간에 맞춰 측정계획은 현장에서 결정함

㉡ 측정장비

[표 2.1.10] 진동 측정장비

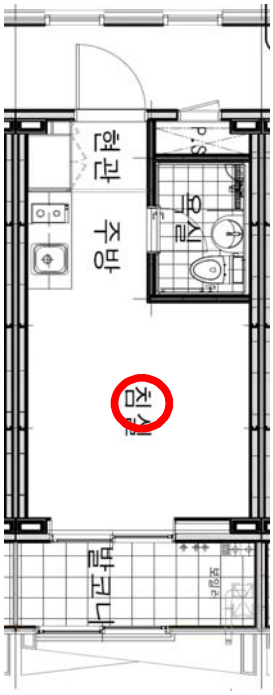
장비명	모델명	관련사진
Note book	-	 〈3축 Accelerometer〉
Vibration Analyzer	SA-01A4 (Rion co.,ltd)	
VIBRATION LEVEL METER	VM-53	
Accelerometer	8762A (Kistler)	

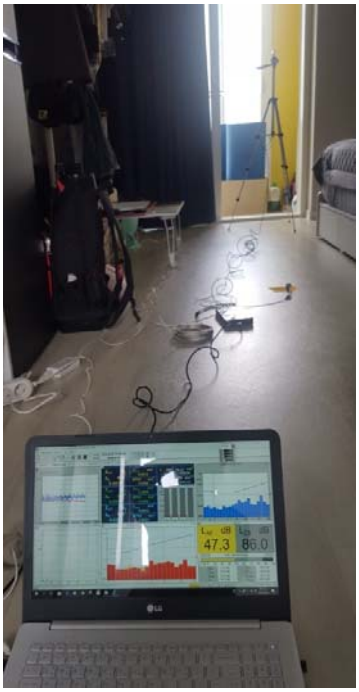


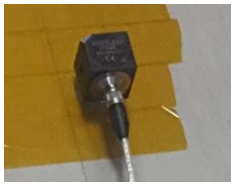
[그림 2.1.25] 장비 설치 현황

㉢ 측정 위치

❍ 실내-세대내부









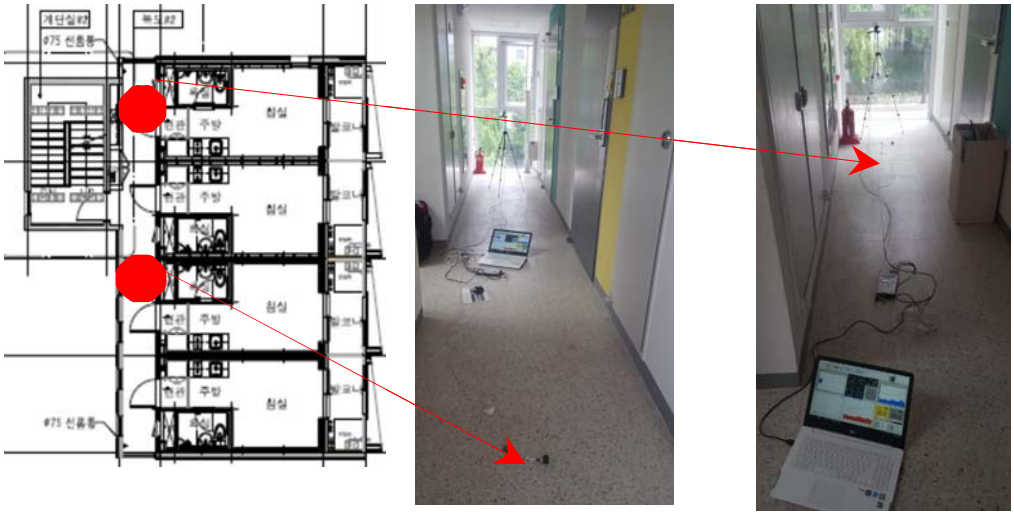
3축 가속도 센서 설치
102동 304호는 바닥에
바로 부착.
이외의 호실은 강판 위에
설치하여 측정

3축 가속도 센서 방향
X(채널 1) : 창문 방향(전후)
Y(채널 2) : 6차선 도로 방향
Z(채널 3) : 수직 방향

마이크로폰 : 주변 상황 확인용

[그림 2.1.26] 3축 가속도 센서 설치

❍ 복도



[그림 2.1.27] 진동 측정위치 및 측정 장비 설치상황

㉣ 측정 방법

- 3축 가속도 센서를 실내 중앙부에 설치함
- 마이크로폰은 창문 측에 설치하여 외부 소리를 확인함
- 외부에서는 주변 상황을 실시간으로 조사
- 측정세대별 가진원은 다음과 같음

101동 304호 : 404호에서 세탁기 운전/ 엘리베이터 운행/일상조건(외부차량 운행 포함)
101동 501호 : 일상 조건(외부차량 운행 포함)
101동 5층 복도 중앙 : 일상 조건(외부차량 운행 포함)
102동 202호 : 일상 조건(외부차량 운행 포함)
102동 304호 : 일상 조건(외부차량 운행 포함)
102동 2층 복도 중앙 및 측면 : 일상 조건(외부차량 운행 포함)

㉤ 측정시나리오

❍ 가진원에 따른 측정방법

- 엘리베이터 운행 상황(4가지 상황)에 따른 가속도 변화 측정
- 101동 404호 세탁기 운전(1~2시간)에 따른 가속도 변화 측정
- 외부 차량 운행(6차선도로 및 좌우측 2차선도로)에 따른 가속도 변화 측정
- 주차장 차량운행에 따른 가속도 변화 측정
- 기타 평상 시 일정시간 평상상태에서의 가속도 값 측정

❍ 가진원 발생 시나리오

- 엘리베이터 운행 : 모터의 충격에 의한 진동발생이 영향을 미치므로 모터충격 발생상황 연출함

- 매 층 정지될 때
- 최고층에서 최하층으로 무정차 낙하 시
- 최하층에서 최고층으로 올라가는 동안
- 탑승 인원수 변화

- 세탁기 운전 : 101동 404호에서 세탁기 운전, 101동 304호에서 측정

세탁기의 운행 상황(불림-세탁-헹굼-탈수 등)을 기록

- 외부차량 운행

6차선 도로의 차량 통행 상황을 실시간으로 기록하여 가속도 값 측정
좌우측 2차선 도로는 승용차(카니발)을 운행하면서 실시간 상황에 따른 가속도 값 측정
일상조건에서의 측정은 외부차량 운행상태를 포함하므로, 외부차량 운행상태를 기록

- 주차장 차량운행

입차 --〉 빈 자리에 주차(자리 바꿔가며 주차함) --〉 시동 끔 --〉 시동 켬 --〉
출차 --〉 우회전해서 6차선 도로 --〉 좌측도로 통과 --〉 돌아서 다시 입차함

㉤ 진동 평가기준

- 국내에는 KS B 0710-2 기계적 진동 및 충격 - 인체 피폭 전신 진동의 평가 - 제2부 : 건물 내 지속진동 및 충격진동(1~80헤르츠)에 대한 기준이 있으며, 이는 해외기준 중 국제규격 ISO 2631-2를 그대로 반영함

- 국제규격 ISO는 ISO 2631-2(1989)에서 진동 전신 폭로 기준인 ISO 2631-1을 근거로 교통, 기차, 건설 및 산업활동, 폭파 및 기계장치에 의하여 발생하는 1~80 Hz범위의 건물진동 평가 방법 및 허용 기준값을 제시함

- 이후 2003년 개정된 ISO 2631-2(2003)에서는 건물 용도별 진동 허용기준값을 삭제하였으나, 건물 및 보행교의 진동에 대한 사용성 평가 기준 ISO 10137(2007)에서 ISO2631-2(1989)의 건물 용도별 허용기준값을 평가 기준으로 소개하고 있어, 건물 진동에 대한 사용성 기준으로 인용되고 있음

- ISO 10137(2007)은 건물 용도와 시간대 및 진동 빈도에 따라 기준곡선에 곱할 계수 값을 제시하고 있는데, 주거 건물의 경우 연속적이거나 빈번한 진동에 대하여 야간 1.4, 주간 2~4임

❍ 진동에 대한 인지평가기준(Human Response Criteria)

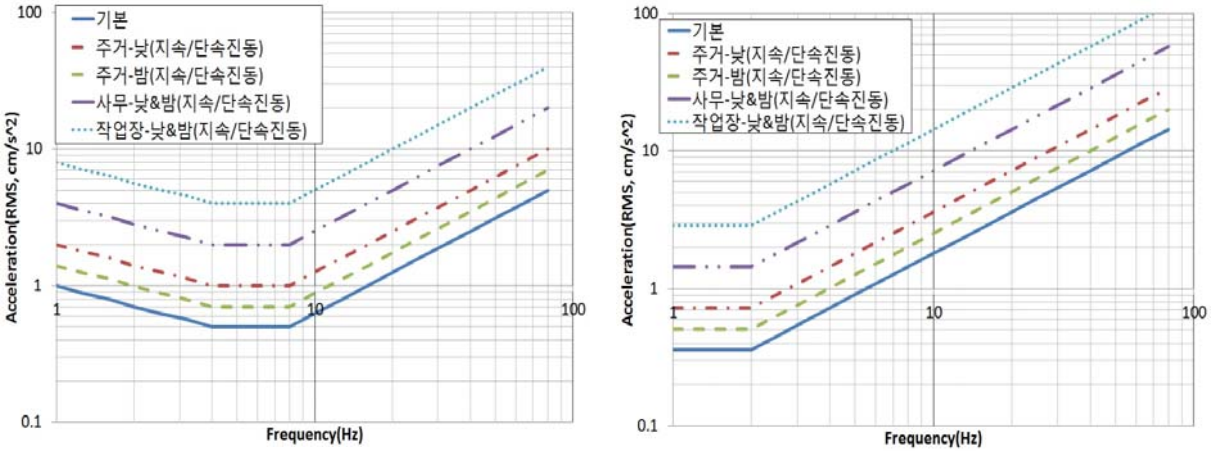
- 인간의 응답에 대하여 ISO는 진동을 두 가지로 분류함

소멸(transient) 또는 충격(impulsive) 진동
지속(continuous) 또는 단속적(intermittent) 진동

- 1에서 80 Hz 사이의 지속진동 및 충격진동이 인체에 미치는 영향을 평가함
- 진동의 인체에 대한 영향의 평가는 진동수, 가속도, 노출시간, 진동의 방향에 따라 평가되며, 사람이 민감한 진동수대역은 수직방향의 경우 4 Hz에서 8 Hz, 수평방향의 경우 2 Hz 이하임
- 유효 가속도의 평가는 노출시간 T에 대한 r.m.s (root-mean-square)값으로 하며 진동을 받는 사람에 대한 진동방향의 x,y,z,축으로 함
- ISO 2631-2는 건물 바닥의 속도나 가속도에 대한 인간의 인지에 대해 다루고 있으며 기본곡선은 다음과 같음
- 이 곡선에 진동의 종류, 장소, 시간에 따라 가중 보정치를 곱하여 인간의 인지에 대한 진동 한계를 결정함

[표 2.1.11] 인체 응답에 대한 건물 진동한계를 규정하기 위한 가중 계수(ISO)

장 소	시 간	지속적인 진동 또는 단속적인 진동	소멸적 진동이거나 하루에 몇 번 발생하는 충격진동
정밀작업구역(병원 수술실, 정밀실험실)	낮	1	1
	밤	1	1
주거지역	낮	2-4	30-90
	밤	1.4	1.4-20
사무실	낮	4	60-128
	밤	4	60-128
작업장	낮	8	90-128
	밤	8	90-128



(a)Z축 (b)X,Y축

[그림 2.1.28] ISO 2631-2 주거지역 진동평가기준(지속 또는 단속진동)

⑥ 측정결과 요약

㉠ 계측결과 정리

- 총 7개소에서 측정한 결과를 정리하면 표 와 같음. 세대 내부는 거실 중앙위치에서, 복도는 중앙과 6차선 도로변의 측면에서 측정하였고, 각 호수별/가진원별 측정시간은 25분~86분가량 측정·기록함

- 먼저 가정된 시나리오에 따라 시간이력데이터를 측정하였으며, 1Hz에서 100Hz까지 1/3옥타브밴드로 주파수분석 결과를 실시간으로 모니터링 함. 모니터링결과, 총 7개소 중 4개소에서 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값(1.0배, 정밀작업구역)을 초과하는 값이 나타남

[표 2.1.12] 측정결과 요약

동	호수/측정 위치		측정조건	측정시간 (초)	기준초과 시 주파수분석결과 (1/3 옥타브 밴드)			ISO기준 곡선 평가
					방향	주파수	진폭	
101	304	거실,중앙	세탁기	5,181	기준보다 낮음			
		거실,중앙	엘리베이터	1,472				
		거실,중앙	일상	2,368				
	501	거실,중앙	일상	4,009	Z축	12.5Hz	0.9022	한 번 초과
	5층	복도,중앙	일상	3,642	기준보다 낮음			
102	202	거실,중앙	일상	4,733	Z축	12.5Hz	0.9539	한 번 초과
	304	거실,중앙	일상	3,933	Z축	12.5Hz	1.0819	한 번 초과
	3층	복도,중앙	일상	1,972	기준보다 낮음			
	2층	복도,중앙	일상	2,020	Z축	3.15Hz	0.7484	한 번 초과
					X,Y축	1~4Hz		한 번 초과
		복도,측면	6차선도로 변	2,623	기준보다 낮음			

* 일상조건은 외부차량 운행, 주차장 차량운행 및 기타 주변 상황이 포함됨

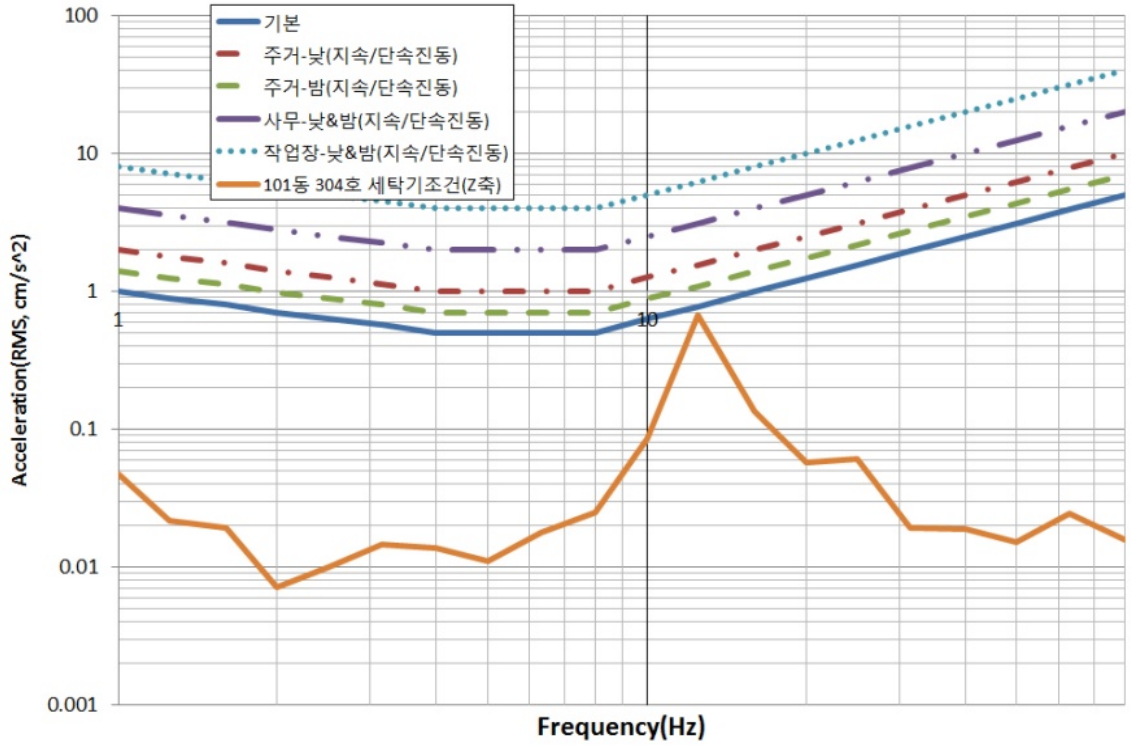
㉡ 기준치 초과부분에 대한 결과

❍ 101동 304호 세탁기 조건 : 기준치를 초과하지는 않으나 거의 근접함

- 최대 가속도를 나타낼 때의 주파수분석결과(162.6초 측정데이터를 기준으로 샘플링)를 [표 2.1.13] 와 같이 나타냄
- 분석결과 세탁기 진동이 아닌 외부 차량통행에 의한 진동으로 나타남

[표 2.1.13] 101동 304호 세탁기조건의 진동값

Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis	Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis
1	0.0220	0.0580	0.0467	10	0.1128	0.1342	0.0854
1.25	0.0123	0.0612	0.0216	12.5	0.2870	0.2081	0.6739
1.6	0.0101	0.0259	0.0194	16	0.0724	0.0580	0.1362
2	0.0051	0.0119	0.0071	20	0.0350	0.0299	0.0572
2.5	0.0053	0.0183	0.0101	25	0.0340	0.0324	0.0609
3.15	0.0243	0.0554	0.0146	31.5	0.0159	0.0174	0.0193
4	0.0141	0.0224	0.0138	40	0.0120	0.0145	0.0188
5	0.0123	0.0090	0.0110	50	0.0146	0.0103	0.0152
6.3	0.0104	0.0121	0.0178	63	0.0182	0.0234	0.0244
8	0.0378	0.0355	0.0252	80	0.0104	0.0118	0.0158



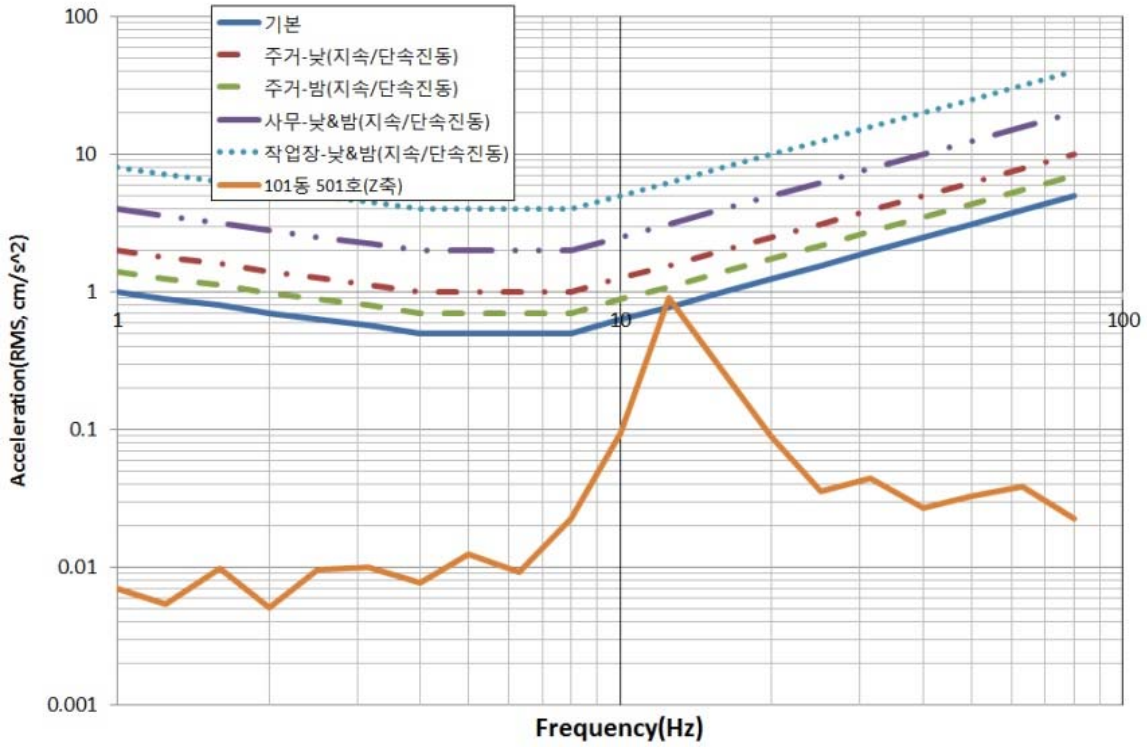
[그림 2.1.29] 101동 304호 세탁기조건 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축)

❍ 101동 501호 일상조건(대형차량 통행)

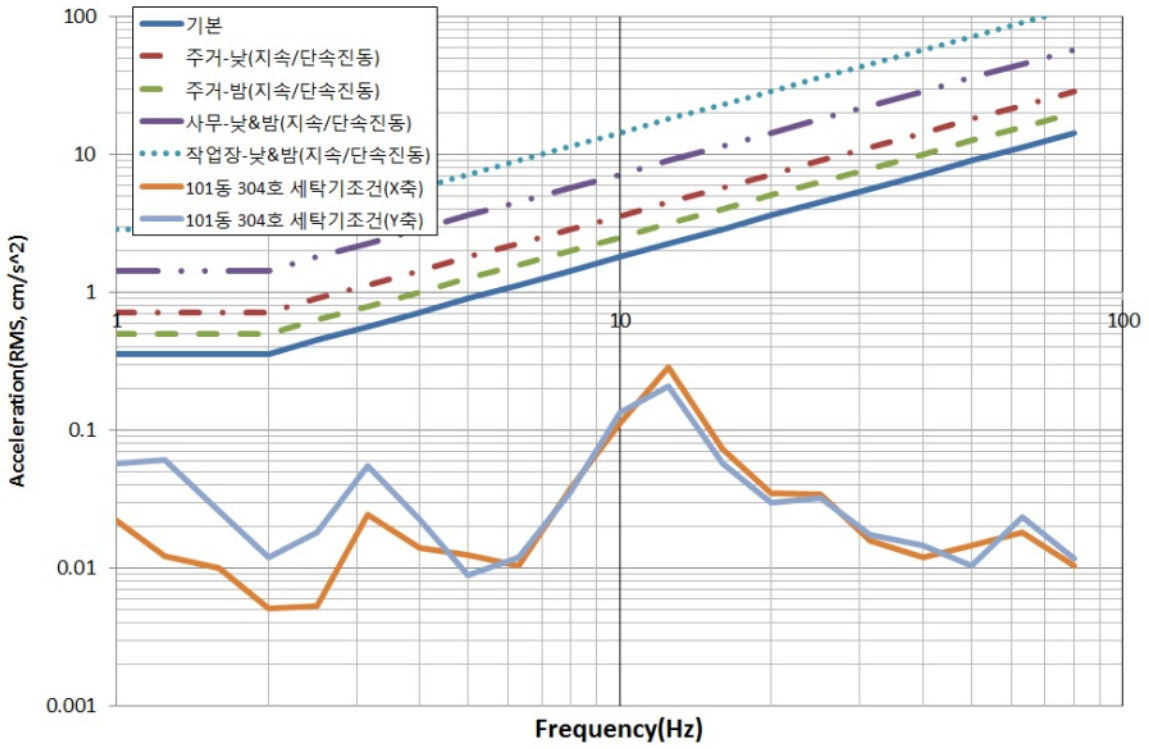
- 최대 가속도를 나타낼 때의 주파수분석결과(1059.8초 측정데이터를 기준으로 샘플링)를 [표 2.1.14]에 나타냄
- ISO기준 주거지역 기본곡선의 값(1.0배, 정밀작업구역)을 초과함.
- ISO기준 주거지역의 권장가중곱셈계수를 적용한 허용값(낮시간대 2.0배 및 밤시간대 1.4배)에 대해서는 기준 이하임

[표 2.1.14] 101동 501호의 진동값

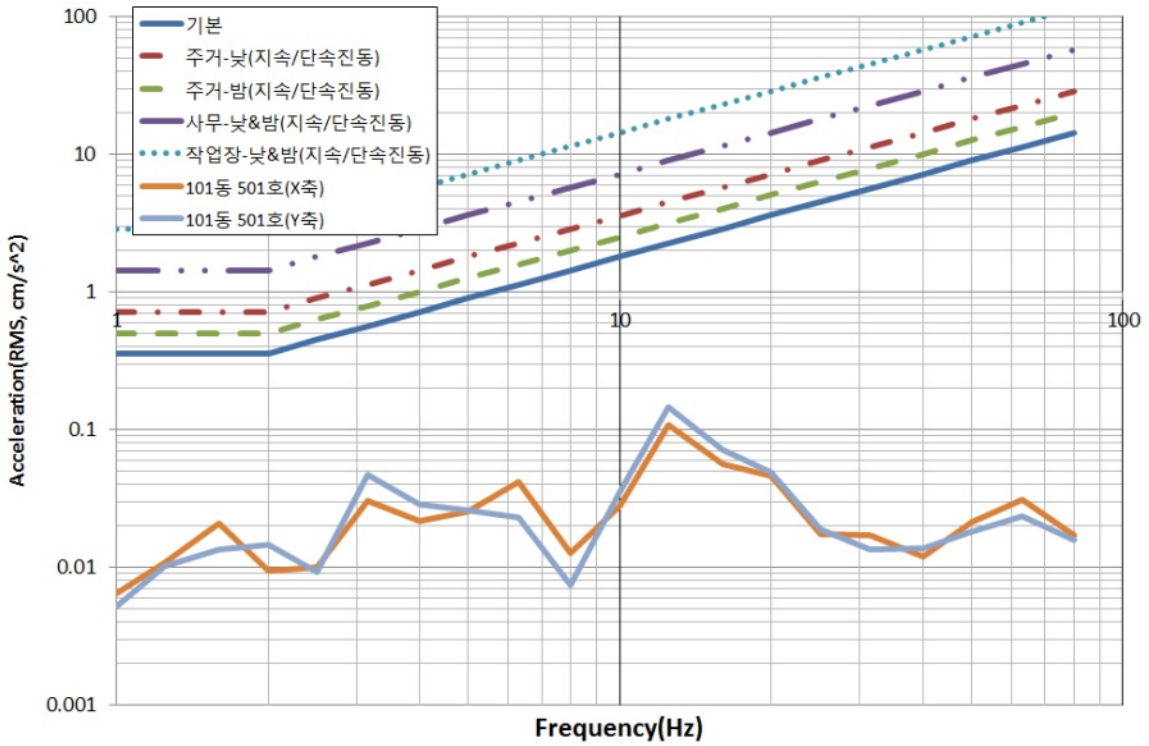
Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis	Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis
1	0.0065	0.0052	0.0070	10	0.0283	0.0355	0.0952
1.25	0.0108	0.0102	0.0054	12.5	0.1082	0.1462	0.9022
1.6	0.0210	0.0135	0.0098	16	0.0565	0.0713	0.2642
2	0.0095	0.0147	0.0051	20	0.0460	0.0486	0.0892
2.5	0.0100	0.0092	0.0097	25	0.0173	0.0188	0.0356
3.15	0.0304	0.0471	0.0100	31.5	0.0170	0.0134	0.0448
4	0.0219	0.0285	0.0077	40	0.0120	0.0137	0.0270
5	0.0253	0.0259	0.0124	50	0.0215	0.0183	0.0332
6.3	0.0419	0.0230	0.0093	63	0.0309	0.0237	0.0389
8	0.0128	0.0075	0.0227	80	0.0170	0.0157	0.0227



[그림 2.1.31] 101동 501호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축)



[그림 2.1.30] 101동 304호 세탁기조건 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축)



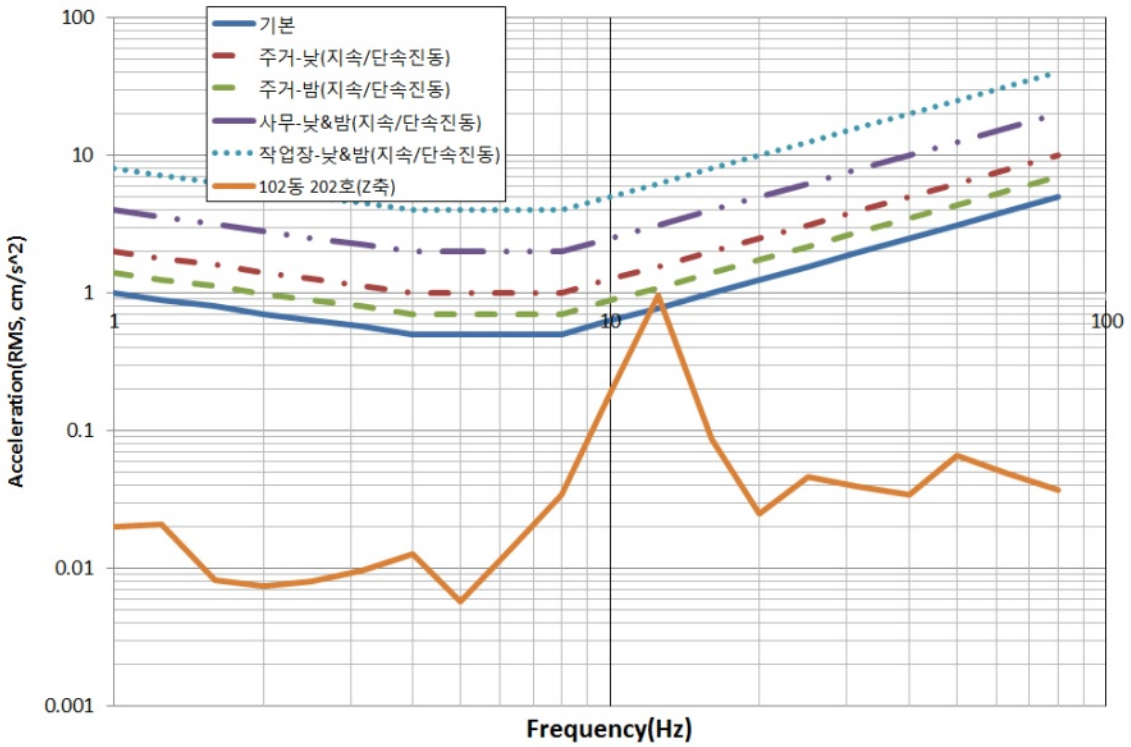
[그림 2.1.32] 101동 501호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축)

❍ 102동 202호 일상조건(대형차량 통행)

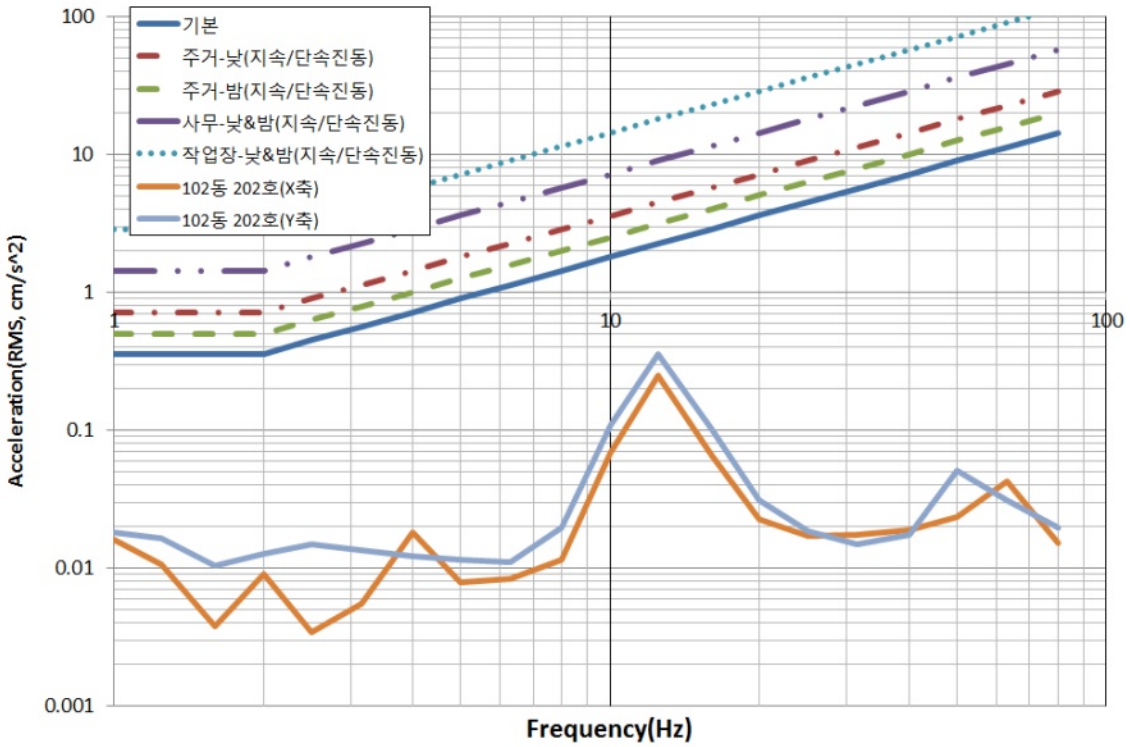
- 최대 가속도를 나타낼 때의 주파수분석결과(2625.0초 측정데이터를 기준으로 샘플링)를 [표 2.1.15]에 나타냄
- ISO기준 주거지역 기본곡선 값(1.0배, 정밀작업구역)을 초과함
- ISO기준 주거지역의 권장가중곱셈계수를 적용한 허용값(낮시간대 2.0배 및 밤시간대 1.4배)에 대해서는 기준 이하임

[표 2.1.15] 102동 202호의 진동값

Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis	Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis
1	0.0162	0.0181	0.0202	10	0.0690	0.1093	0.1887
1.25	0.0107	0.0163	0.0209	12.5	0.2510	0.3538	0.9539
1.6	0.0038	0.0105	0.0082	16	0.0657	0.1020	0.0864
2	0.0090	0.0126	0.0074	20	0.0224	0.0312	0.0251
2.5	0.0034	0.0148	0.0080	25	0.0170	0.0187	0.0461
3.15	0.0055	0.0134	0.0096	31.5	0.0176	0.0150	0.0394
4	0.0182	0.0123	0.0128	40	0.0191	0.0173	0.0346
5	0.0079	0.0115	0.0058	50	0.0235	0.0514	0.0661
6.3	0.0084	0.0110	0.0137	63	0.0431	0.0308	0.0489
8	0.0116	0.0197	0.0344	80	0.0151	0.0198	0.0375



[그림 2.1.33] 102동 202호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축)



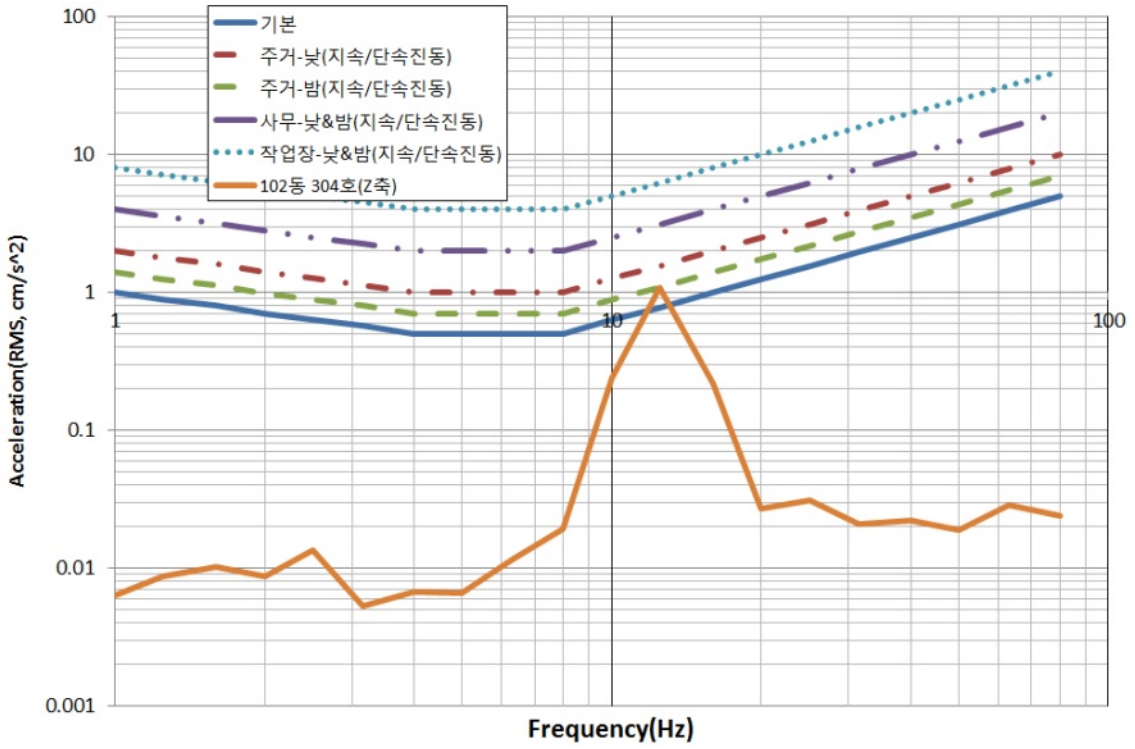
[그림 2.1.34] 102동 202호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축)

❍ 102동 304호 일상조건(대형차량 통행)

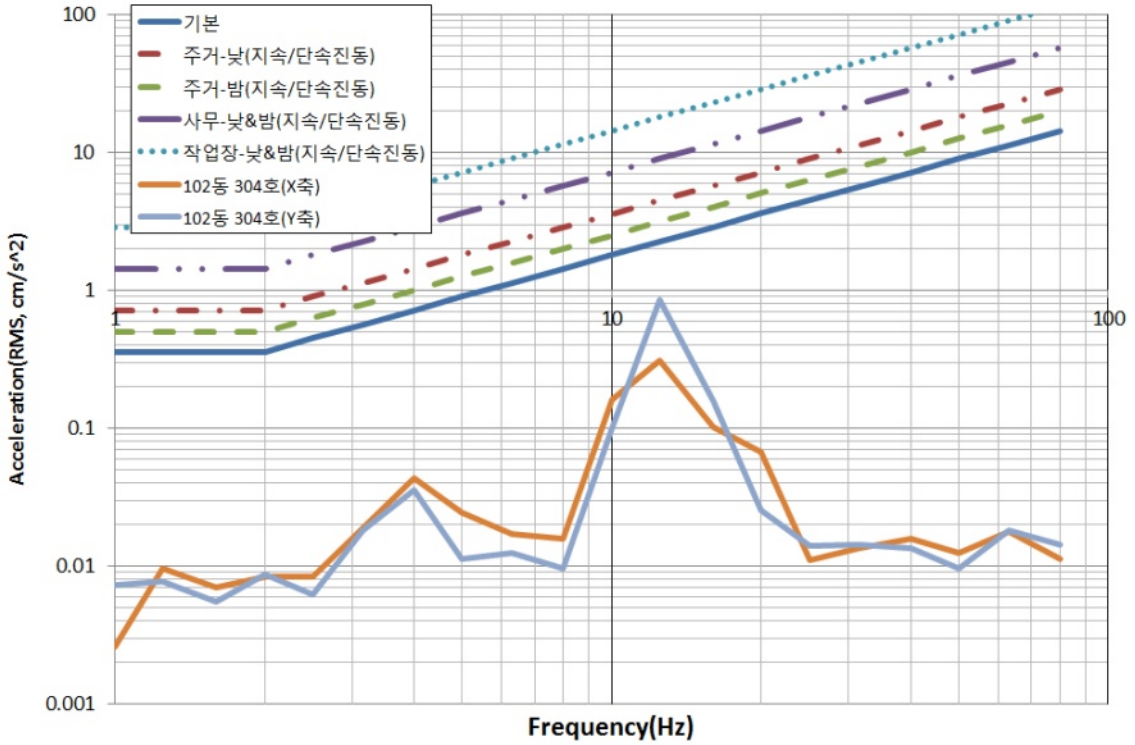
- 최대 가속도를 나타낼 때의 주파수분석결과(2760.1초 측정데이터를 기준으로 샘플링)를 표 2.1.16에 나타냄
- ISO기준 주거지역 기본곡선의 값(1.0배, 정밀작업구역)을 초과함
- ISO기준 주거지역의 허용값에 대해서는 기준 이하임. (낮시간대 기준값의 62%, 밤시간 기준값의 99%)

[표 2.1.16] 102동 304호의 진동값

Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis	Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis
1	0.0026	0.0073	0.0064	10	0.1609	0.1003	0.2424
1.25	0.0096	0.0078	0.0087	12.5	0.3100	0.8577	1.0819
1.6	0.0070	0.0055	0.0103	16	0.1021	0.1595	0.2159
2	0.0083	0.0087	0.0088	20	0.0675	0.0255	0.0272
2.5	0.0083	0.0062	0.0135	25	0.0111	0.0140	0.0311
3.15	0.0189	0.0181	0.0053	31.5	0.0135	0.0142	0.0210
4	0.0432	0.0357	0.0068	40	0.0159	0.0136	0.0222
5	0.0247	0.0114	0.0066	50	0.0124	0.0097	0.0190
6.3	0.0172	0.0124	0.0115	63	0.0177	0.0180	0.0289
8	0.0159	0.0097	0.0194	80	0.0112	0.0142	0.0240



[그림 2.1.35] 102동 304호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축)



[그림 2.1.36] 102동 304호 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축)

❍ 102동 2층 복도 중앙 일상조건(대형차량 통행)

- 최대 가속도를 나타낼 때의 주파수분석결과(802.5초 측정데이터를 기준으로 샘플링)를 [표 2.1.17]에 나타냄

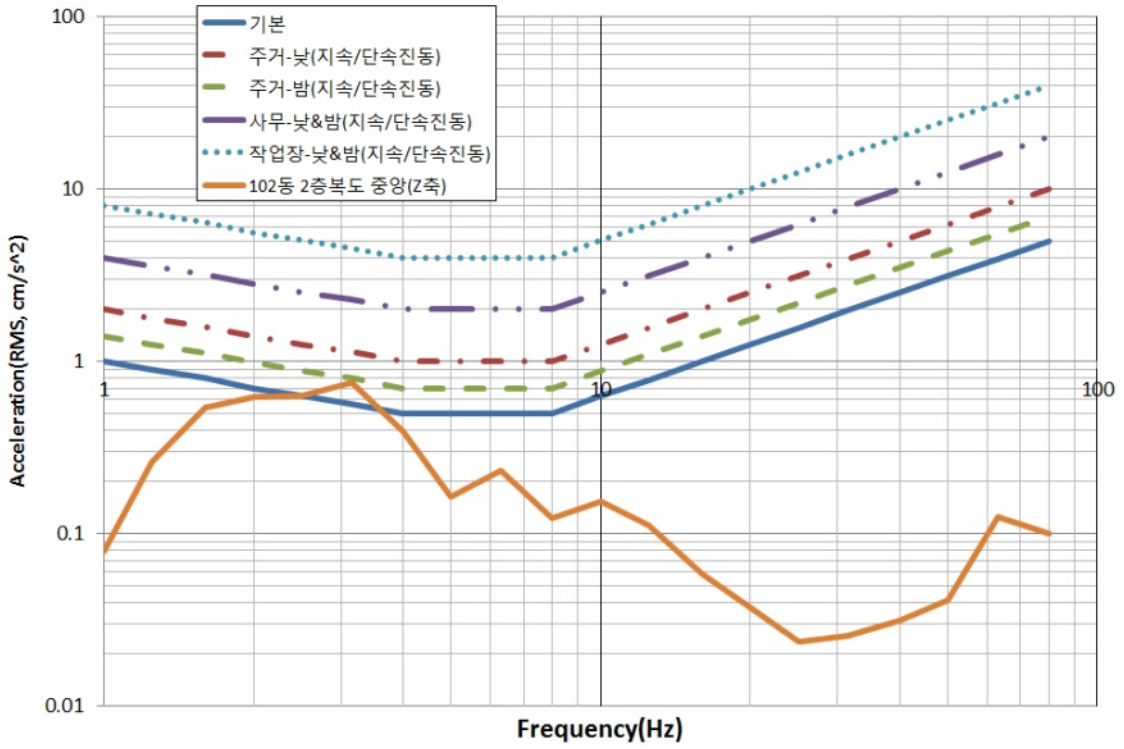
- ISO기준 주거지역 기본곡선의 값(1.0배, 정밀작업구역)을 초과함. 수직진동 값도 크지만, 수평진동이 매우 높게 나타남

- Z축에 대한 진동 값은 주거지역 기준으로 ISO기준 주거지역 권장가중곱셈계수(낮 시간대 2.0 및 밤 시간대 1.4)를 적용한 기준 값 이하임 (낮 시간대 기준 값의 66%, 밤 시간대 기준 값의 94%)

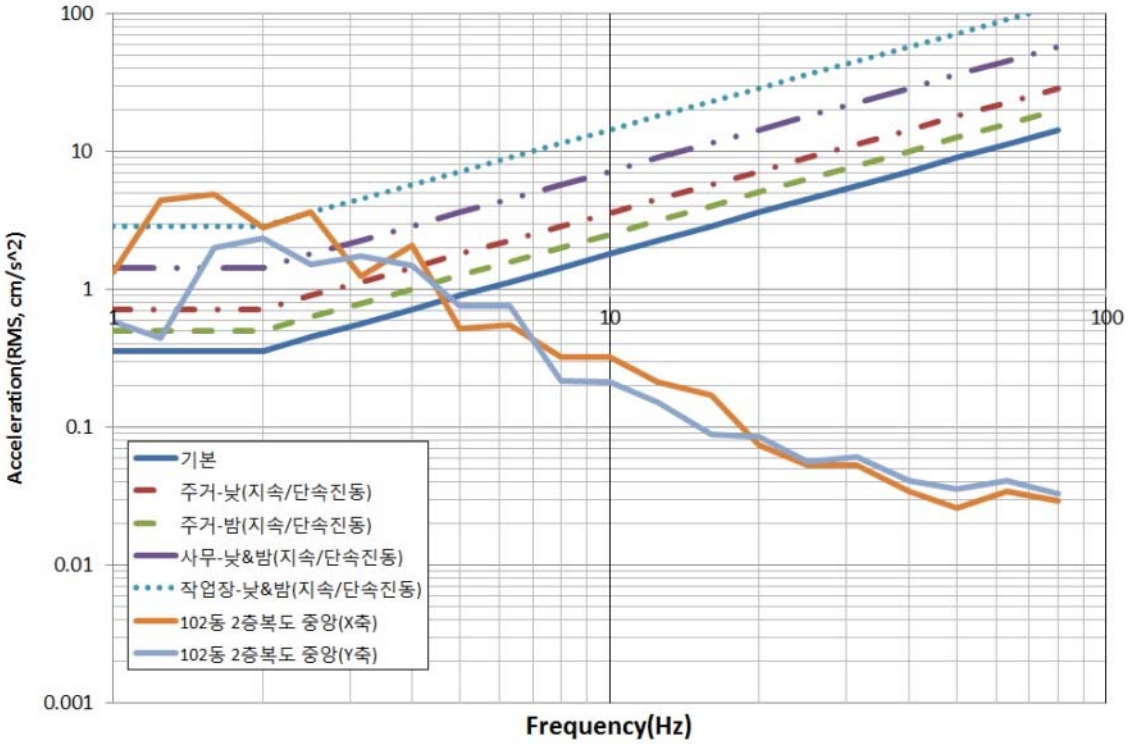
- 수평(X,Y축)에 대한 진동 값은 4.0Hz이하에서 ISO기준 주거지역 값을 초과함

[표 2.1.17] 102동 2층 복도 중앙에서의 진동값

Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis	Frequency	X-axis	Y-axis	Z-axis
1	1.3253	0.5879	0.0786	10	0.3260	0.2127	0.1526
1.25	4.4102	0.4435	0.2580	12.5	0.2150	0.1515	0.1121
1.6	4.8778	2.0111	0.5361	16	0.1718	0.0898	0.0586
2	2.8296	2.3334	0.6242	20	0.0750	0.0856	0.0374
2.5	3.6350	1.5338	0.6290	25	0.0530	0.0561	0.0235
3.15	1.2506	1.7621	0.7484	31.5	0.0532	0.0613	0.0254
4	2.1049	1.5049	0.3910	40	0.0340	0.0408	0.0312
5	0.5177	0.7624	0.1634	50	0.0259	0.0356	0.0414
6.3	0.5523	0.7611	0.2318	63	0.0341	0.0409	0.1246
8	0.3210	0.2178	0.1238	80	0.0290	0.0327	0.0998



[그림 2.1.37] 102동 2층 복도 중앙 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, Z축)



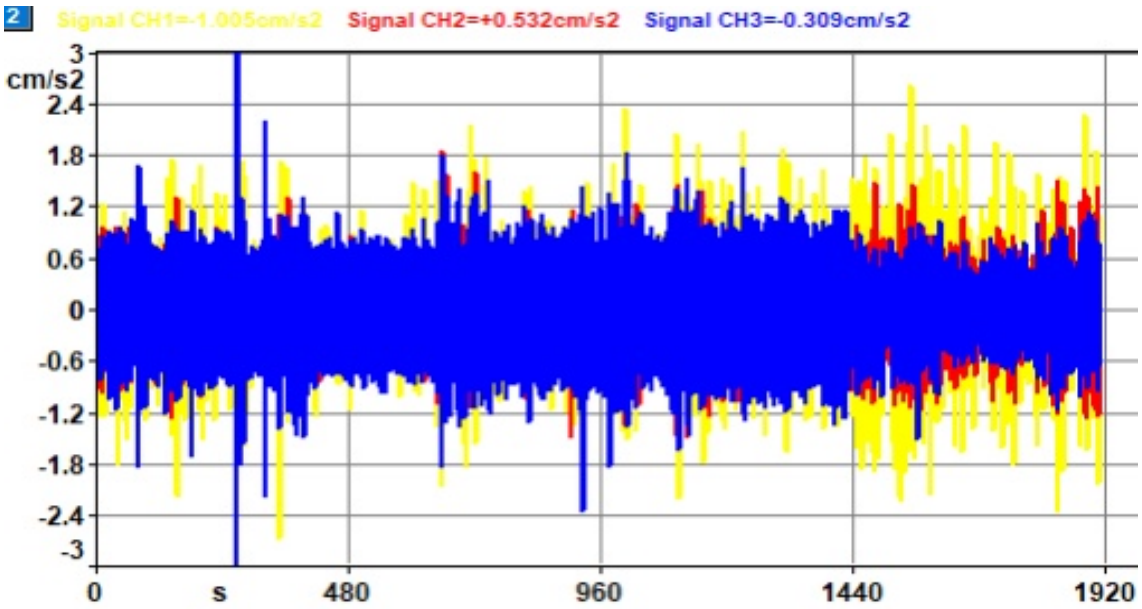
[그림 2.1.38] 102동 2층 복도 중앙 진동평가(ISO 2631, 1/3 octave, X&Y축)

⑦ 가진원별 진동측정 결과

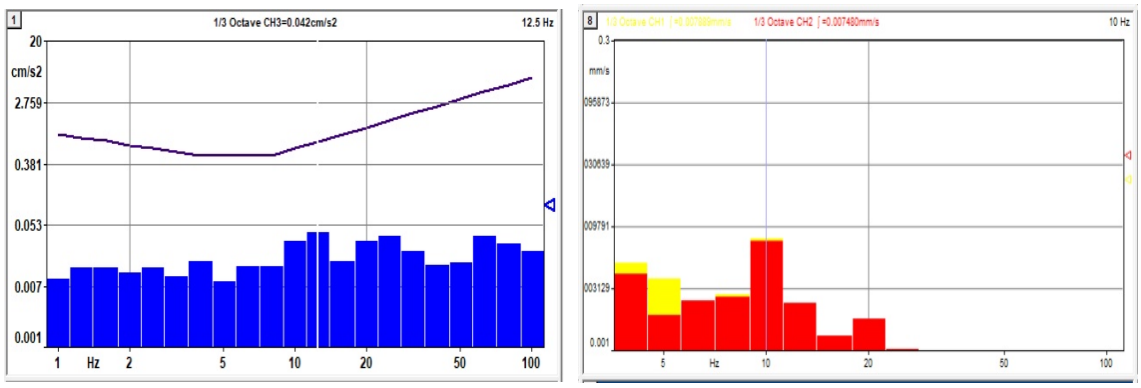
㉠ 일상조건(외부차량 및 주차장 차량 운행, 보행 등 포함)

❍ 101동 304호

- 오후 4시 21분 32초에서 시작하여 2368.400초 동안 계측
- 가속도 센서를 강판 위에 설치하고 계측
- ISO기준 주거지역 기본곡선값을 초과하지 않고 그 값도 낮음
- 4.75초경에 12.5Hz의 주파수 대역에서 진폭이 0.540cm/s2로 다소 크게 나타났으나 이후 특이 현상 없음
- 1440초 이후 저주파에 의한 수평 흔들림이 보임



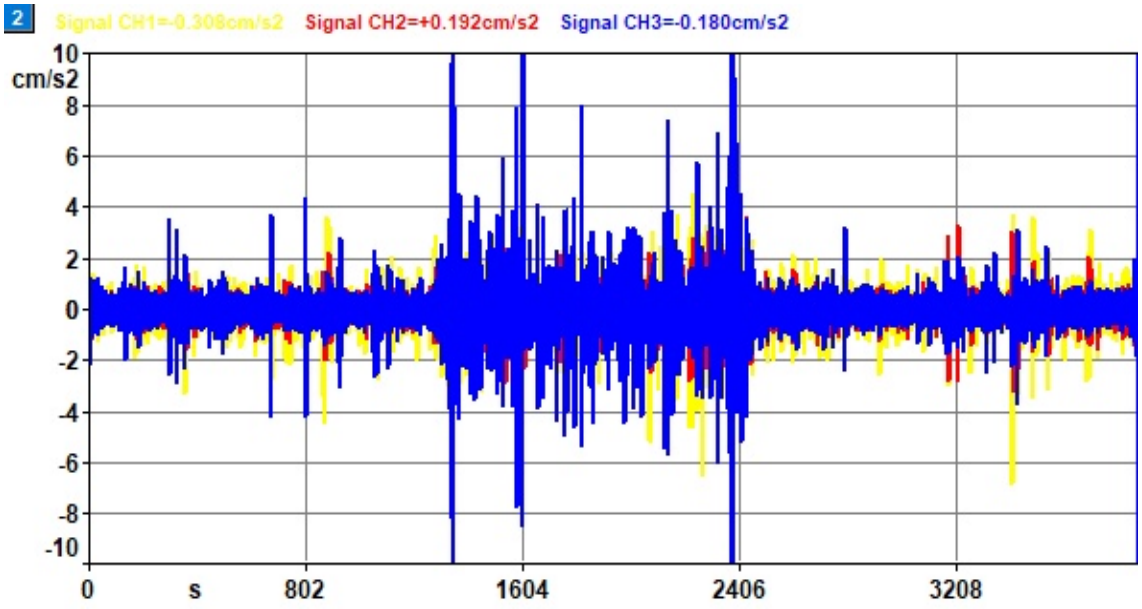
[그림 2.1.39] 101동 304호 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력



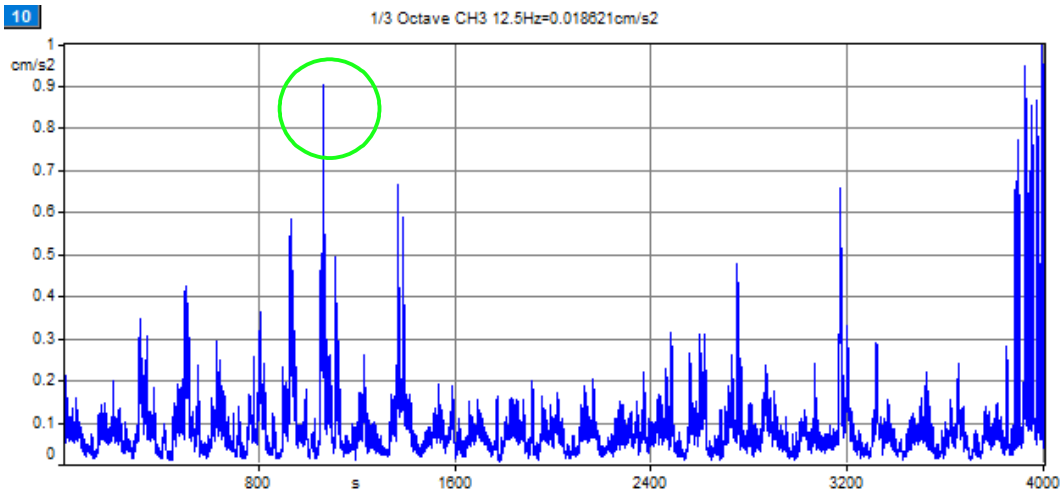
[그림 2.1.40] 101동 304호 일상조건 진동측정데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)

❍ 101동 501호

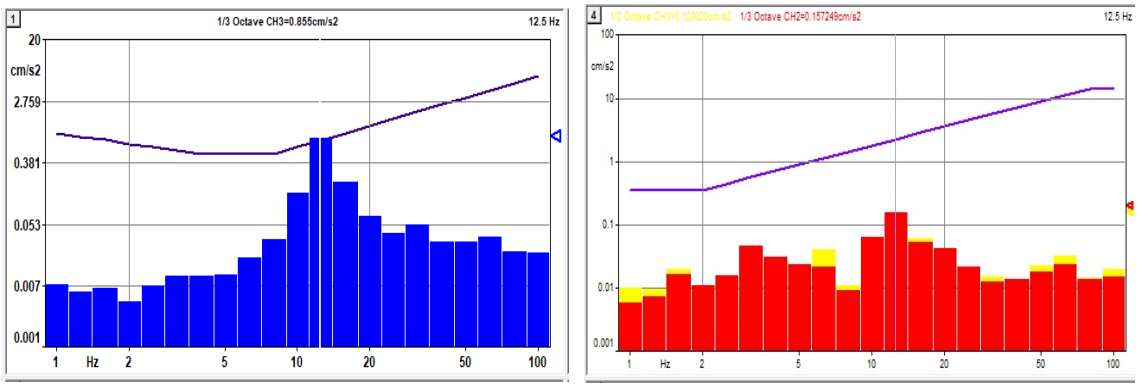
- 일상 조건에서 강판 위에 가속도 센서를 설치
- 오후 2시 54분 38초부터 측정 시작하여 4008.715동안 측정
- 측정 중간에 보행에 의한 충격파가 발생하였으나 전체적인 바닥진동 가속도에는 큰 영향을 미치지 않음
- 1시간 10분 동안의 측정 중, 한 번 ISO기준 주거지역 기본곡선 값(1.0배,정밀작업구역 기준)의 약 113%에 해당하는 크기의 진동이 발생함. 하지만 권장가중곱셈계수(낮시간 보정계수 2.0, 밤시간 보정계수 1.4)를 적용한 허용기준치 이하임
  ==〉 외부 대형 차량 이동에 의해 발생함
- ISO기준 주거지역 기본곡선 값 이하이지만 0.6cm/s2 이상도 2번 발생함



[그림 2.1.41] 101동 501호 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력



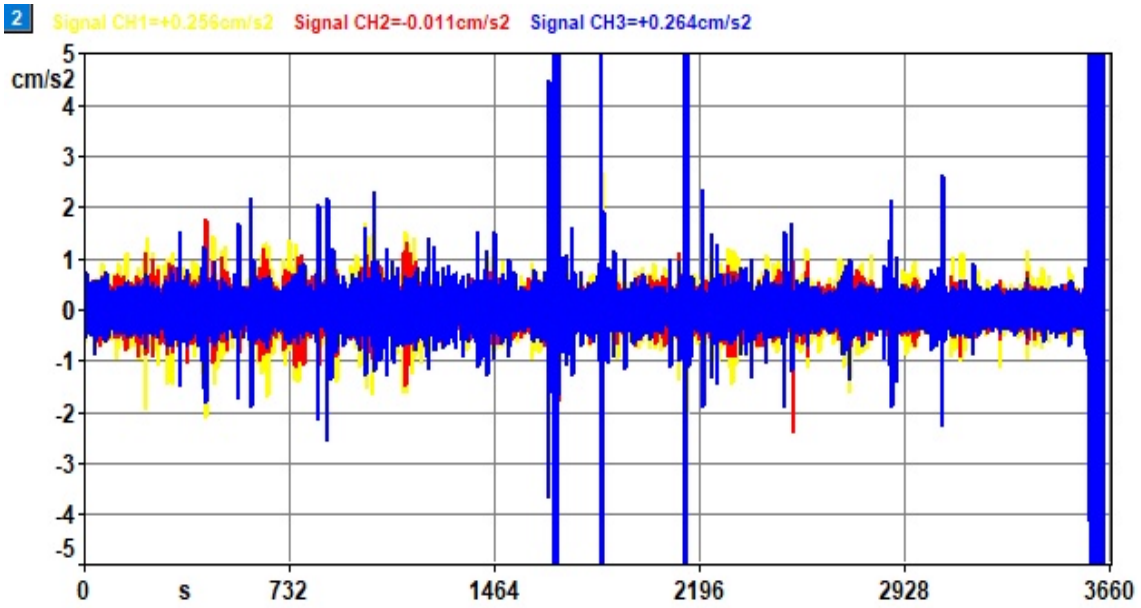
[그림 2.1.42] 101동 501호 일상조건 진동측정데이터
(b) 12.5Hz 대역에 대한 1/3 Octave Band 진동 이력



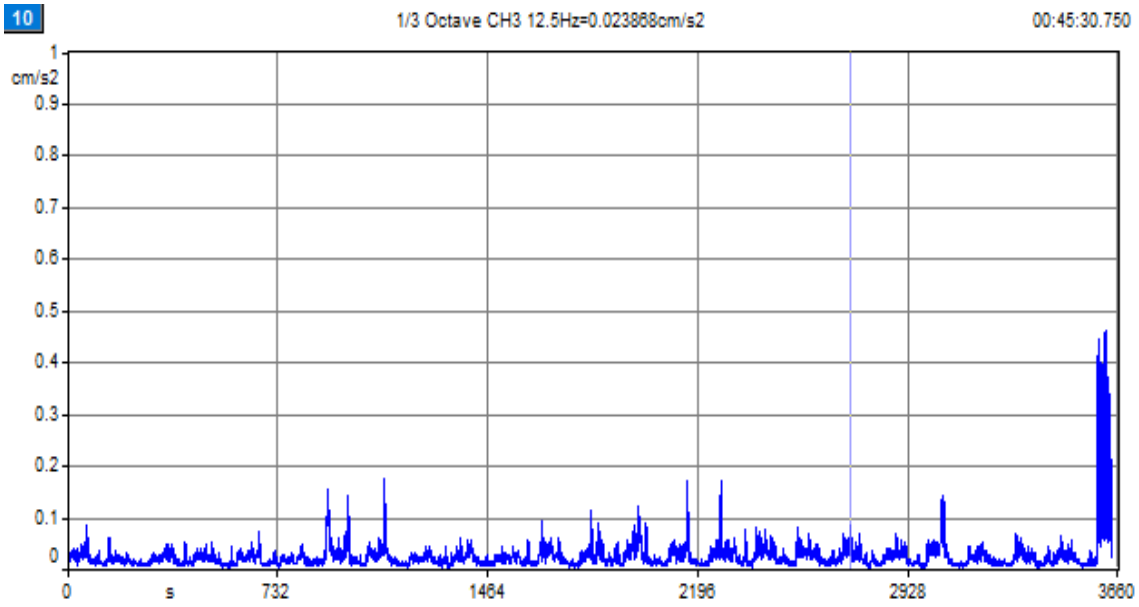
[그림 2.1.43] 101동 501호 일상조건 진동측정데이터
(c) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)

❍ 101동 5층 복도 중앙

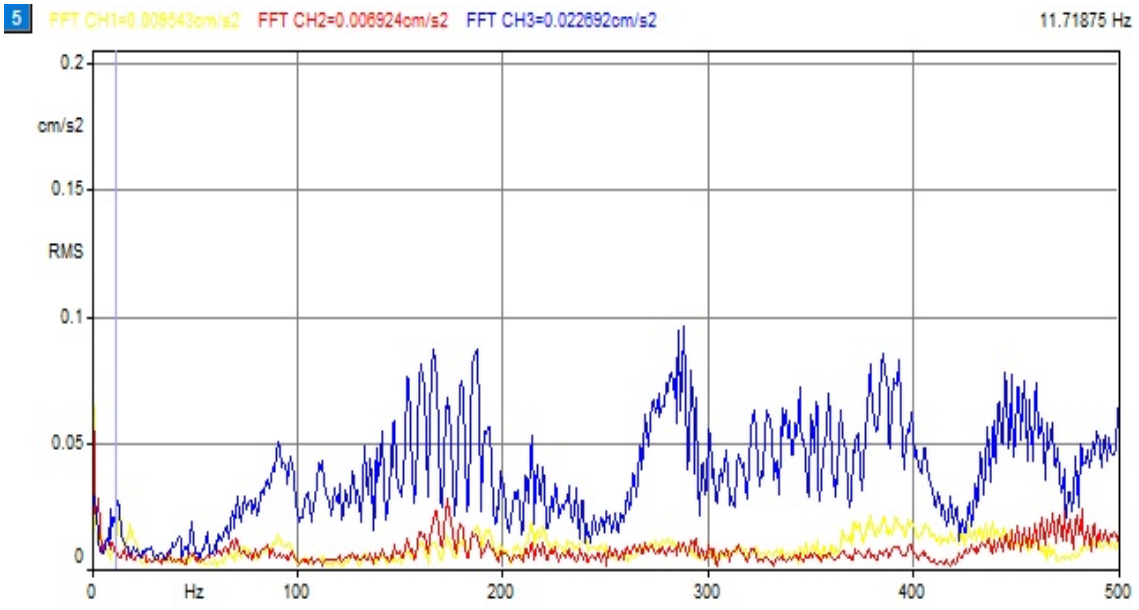
- 일상 조건에서 복도 중앙 바닥면에 강판 위에 가속도 센서를 설치
- 오후 1시 42분 14초부터 시작하여 3641.875동안 측정
- 측정 중간에 보행에 의한 충격파를 임의적으로 발생시켰으나 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않음
- 복도에서의 진동은 ISO기준 주거지역 기본곡선 대비 낮은 값을 나타내고 특이 사항 없음
- 1,679.88초에서 보행 시의 그래프를 관찰해 보면, 충격파로 인하여 넓은 주파수 영역으로 전체 진폭값이 상승하나 관심 주파수에서는 상승폭이 작음. 따라서 기준곡선의 값을 초과하지 않았음



[그림 2.1.44] 101동 5층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력



[그림 2.1.45] 101동 5층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(b) 12.5Hz 대역에 대한 1/3 Octave Band 진동 이력

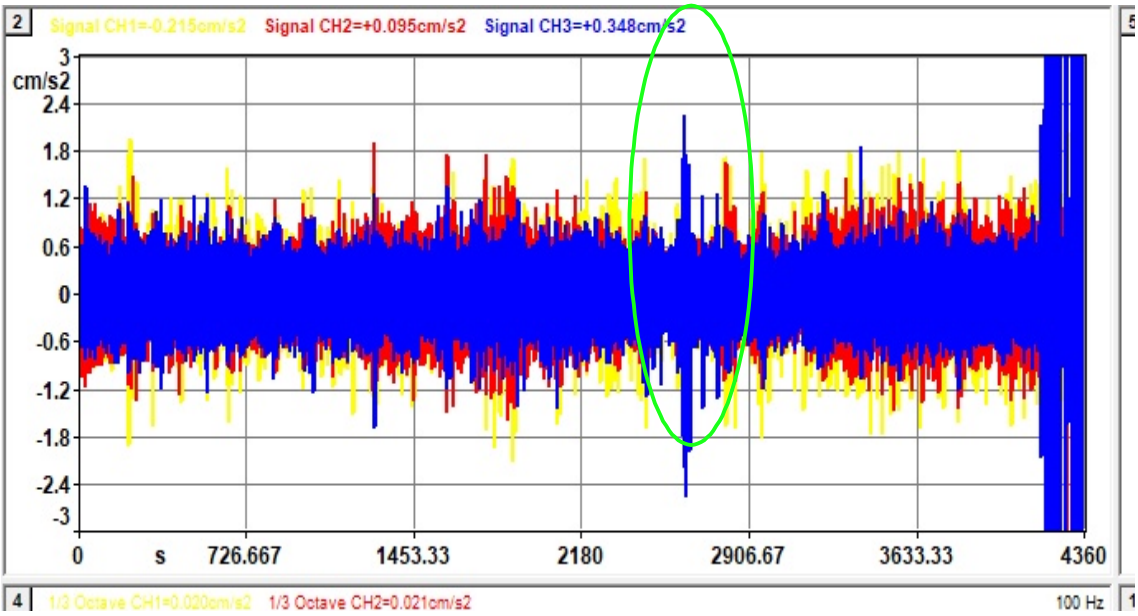


[그림 2.1.46] 101동 5층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(c) 주파수분석결과(보행 시)

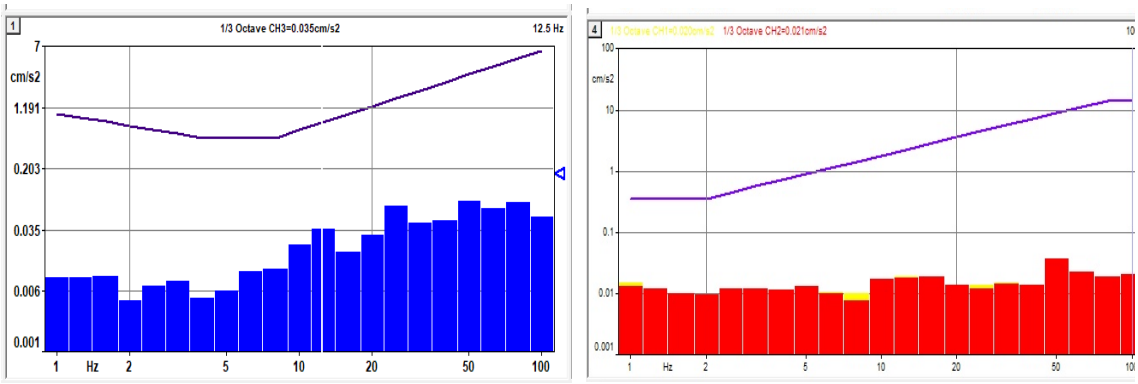
❍ 102동 202호

- 일상 조건에서 실내 중앙에 가속도 센서를 강판 위에 설치(4732초)
- 측정 시 보행조건을 부가함. 계측값은 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지는 않았지만 매우 근접한 값을 보임
- 이 경우에도 지배적인 진동수는 12.5Hz이며, 12분 12초경에 이 진동수 대역에서 0.697cm/s2(ISO기준 주거지역 기본곡선 값의 89%)의 진폭을 보였으나 허용값을 초과하지는 않았음. 수평진동도 기준곡선의 값을 초과하지 않았음

- 이후 2628초경에 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 한번 초과함. 시간 파형에서 관찰해 보면 분명히 큰 에너지가 전달되었음을 확인할 수 있음. 이는 대형차량 통행으로 인한 진동으로 파악됨



[그림 2.1.47] 102동 202호 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력

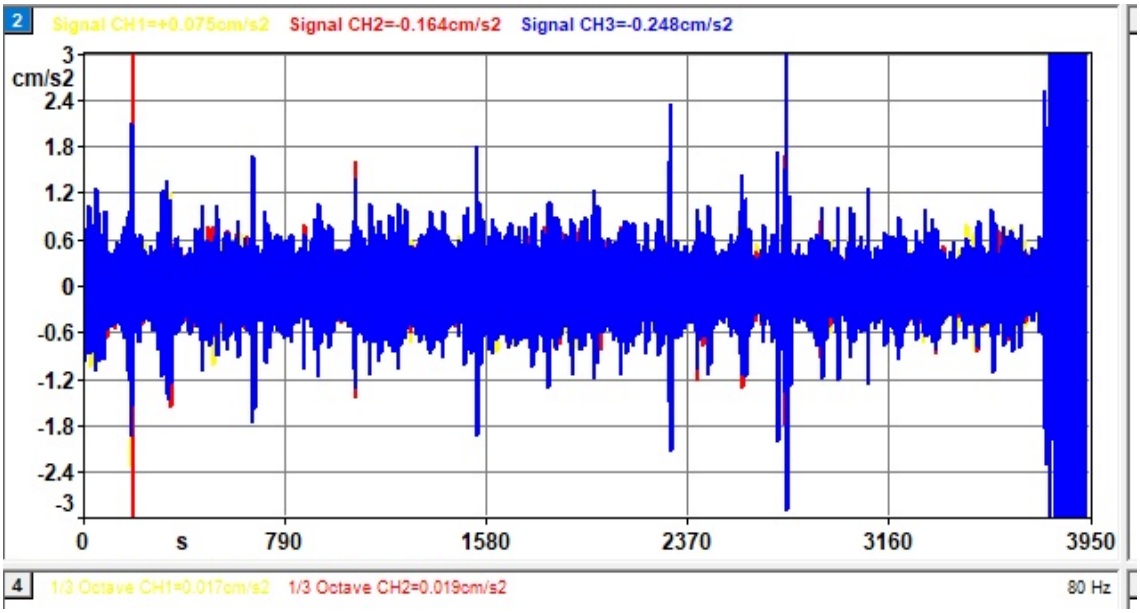


[그림 2.1.48] 102동 202호 일상조건 진동측정데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)

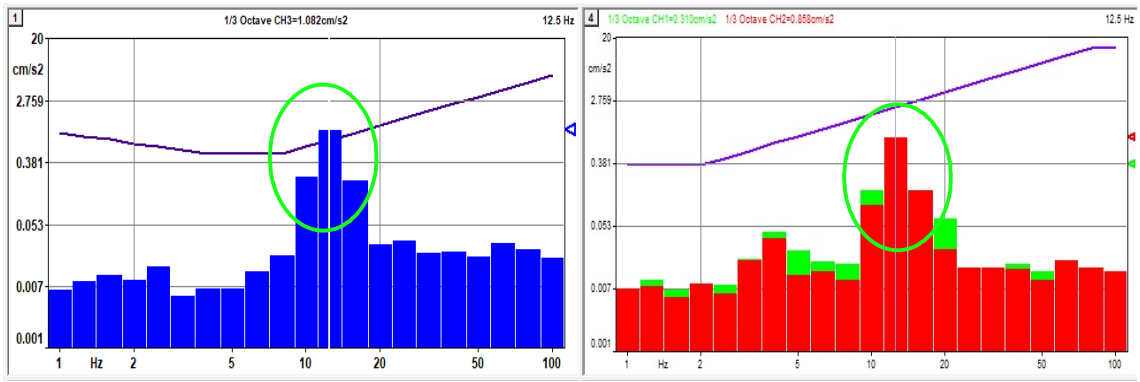
- 최대 가속도진폭은 0.954cm/s2로 ISO기준 주거지역 기본곡선 값의 122%에 해당함. 하지만 역시 주거지역 권장곱셈계수(낮 시간대 2.0 및 밤 시간대 1.4)를 적용한 기준 값보다는 작게 나타남
- 시간 파형을 확대해 보면, 대형 차량에서 여러 번의 큰 에너지가 전달되었음을 알 수 있음

❍ 102동 304호

- 일상 조건에서 강판 위에 가속도 센서를 설치
- 오전 10시 57분 03초부터 측정 시작하여 3932.625초 동안 측정
- 주파수분석결과, 10Hz~30Hz의 범위가 지배적임을 확인함
- 최대 가속도 진폭은 1.082cm/s2로 ISO기준 주거지역 기본곡선 값의 138%에 해당하는 진동이 발생하였으나 주거지역 권장가중곱셈계수(낮 시간대 2.0 및 밤 시간대 1.4)를 적용한 허용 값보다는 낮음(낮 시간대 허용 값의 62%, 밤 시간대 허용 값의 99%)
- 수평방향(Y방향, 6차선 도로 변 방향)의 진동 또한 크게 발생하였으나 기준치는 초과하지 않았음



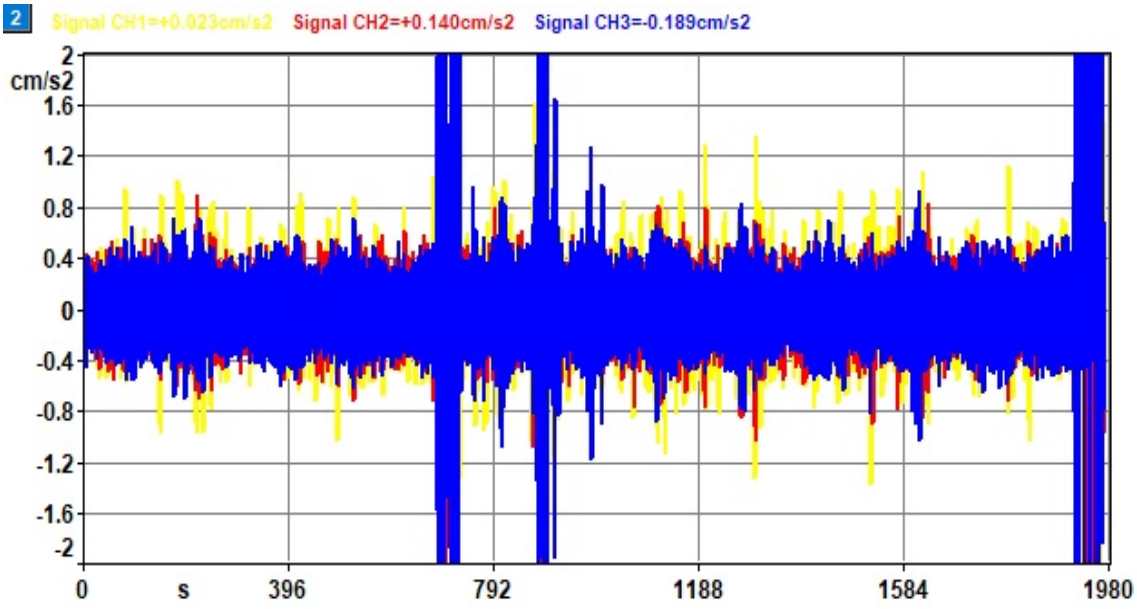
[그림 2.1.49] 102동 304호 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력



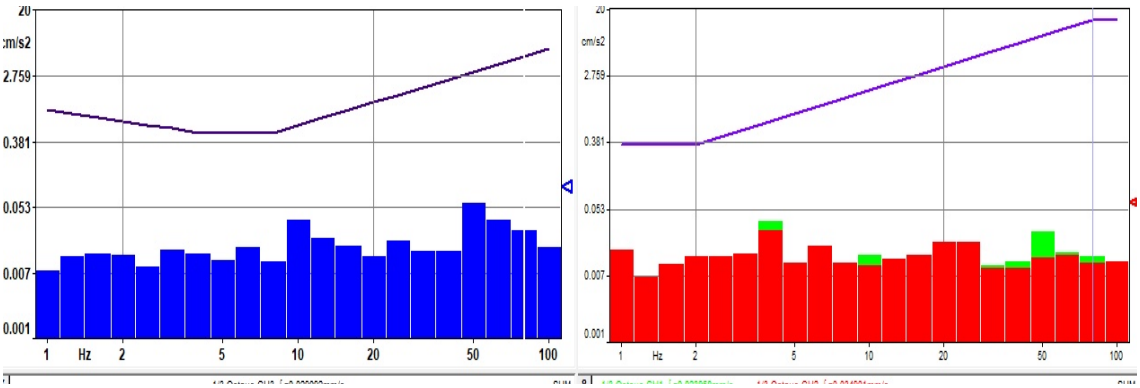
[그림 2.1.50] 102동 304호 일상조건 진동측정데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)

❍ 102동 3층 복도 중앙

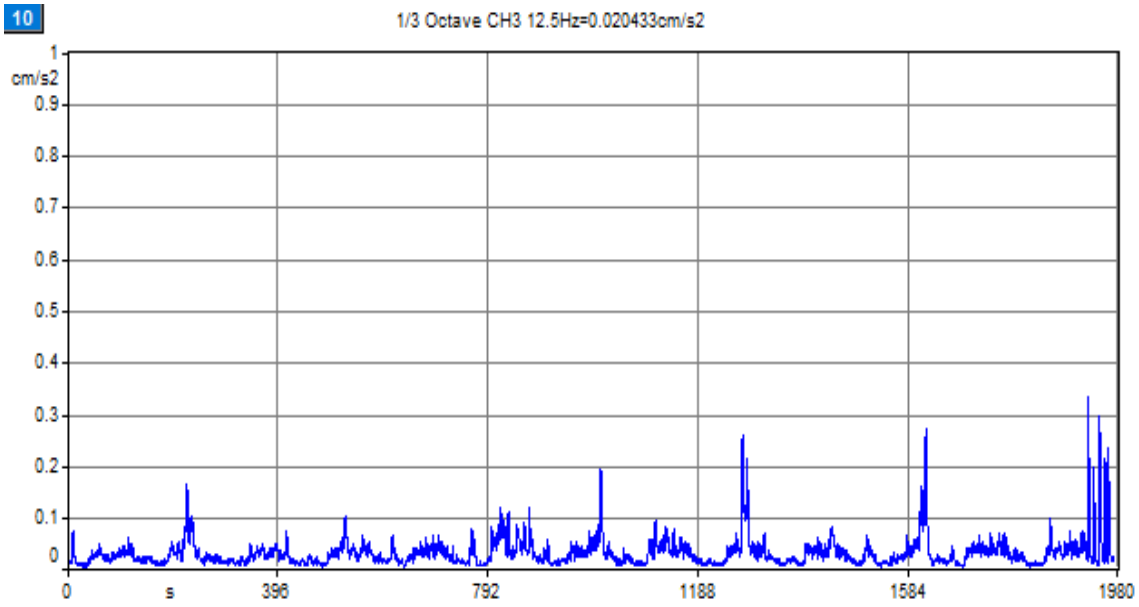
- 일상 조건에서 복도 바닥면 위에 가속도 센서를 설치
- 둘째 날 오후 1시 12분 58초부터 시작하여 1972.235초 동안 측정함
- 측정 중간에 보행 등에 의한 충격파를 임의적으로 발생시켰으나 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지는 않았음
- 복도에서의 진동은 ISO기준 주거지역 기본곡선 대비 낮은 값을 나타내고 특이 사항 없음
- 보행 시는 충격파로 인해 넓은 주파수 영역으로 전체 진폭값이 상승하나 관심 주파수에서는 상승폭이 작음. 따라서 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않았음



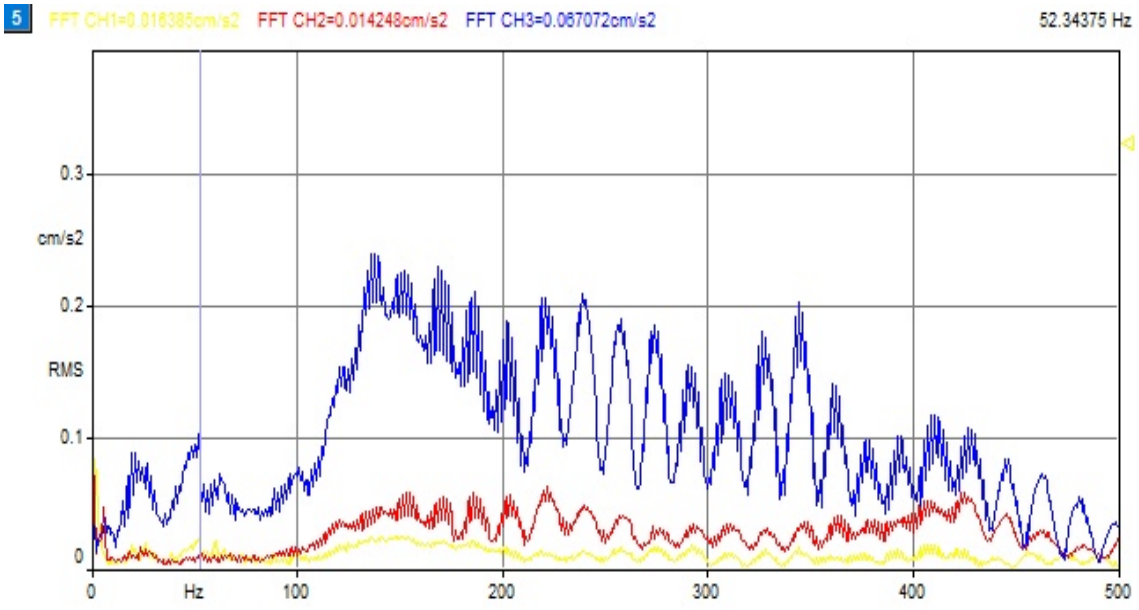
[그림 2.1.51] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력



[그림 2.1.52] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)



[그림 2.1.53] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(c) 12.5Hz 대역에 대한 1/3 Octave Band 진동 이력



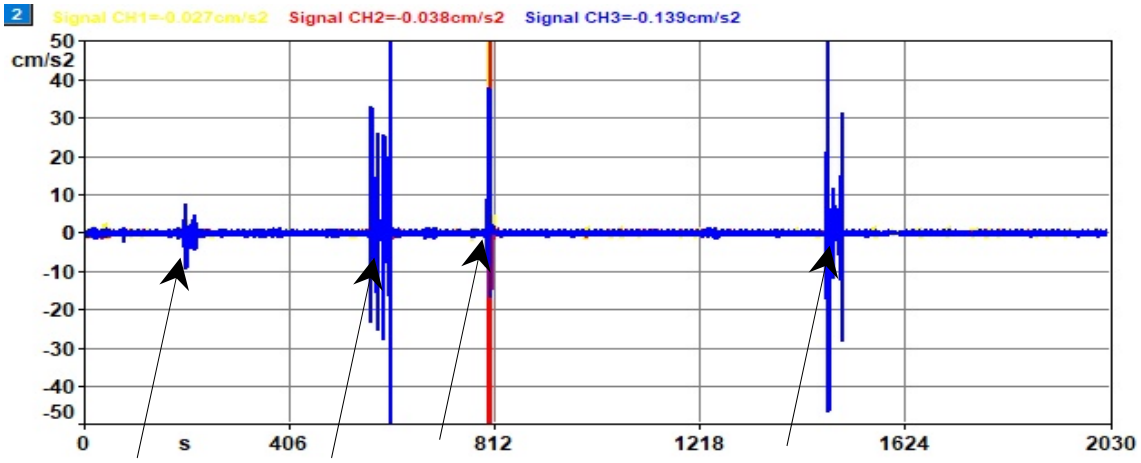
[그림 2.1.54] 102동 3층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(d) 주파수분석결과(보행 시)

❍ 102동 2층 복도 중앙

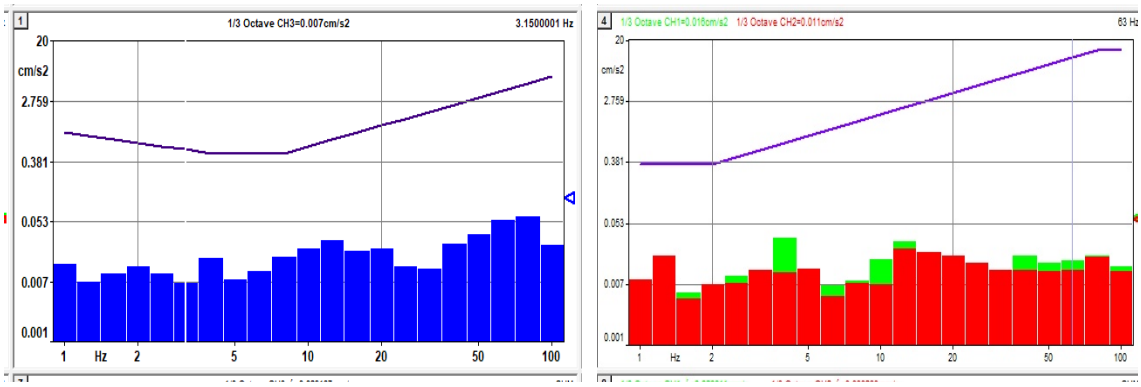
- 일상 조건에서 복도 바닥면 위에 가속도 센서를 설치
- 둘째날 오후 1시 53분 27초부터 시작하여 2020.125초 측정
- 측정 중간에 보행에 의한 충격파를 임의적으로 발생시켰으나 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않았음
- 보행에 의한 복도에서의 진동은 ISO기준 주거지역 기본곡선 대비 낮은 값을 나타내고 특이 사항이 없음(충격파로 넓은 주파수 영역으로 전체 진폭값이 상승하나 관심

주파수에서는 상승폭이 작음. 따라서, ISO기준 주거지역 기본곡선을 초과하지 않았음)

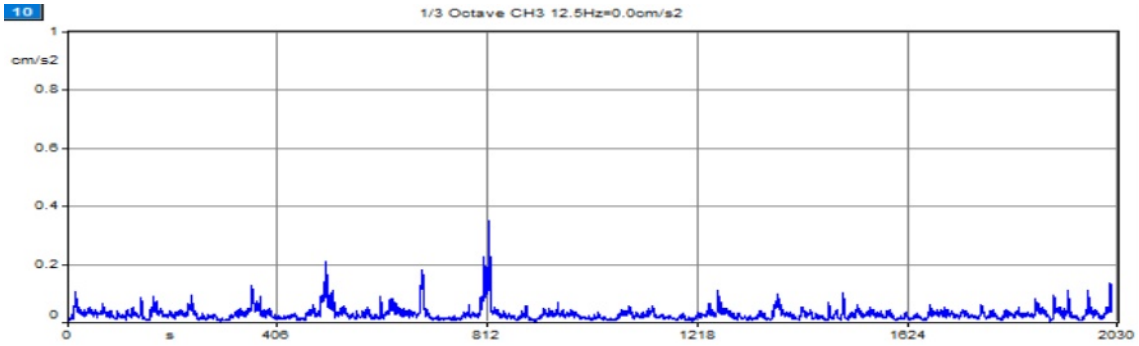
- 하지만, 임의의 저주파 충격 시 3.15Hz 대역에서 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하는 값이 관측됨. 799.8초 경 외부 6차선 도로에 대형차량 3~4대가 경적을 울리며 진입 및 통과하였으며, 이로 인해 큰 저주파(5Hz 미만)의 진동 발생(수평진동이 수직 진동 대비 매우 높음). 이 때의 값이 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값(1.0배, 정밀작업구역)을 초과함
- Z축에 대한 진동 값은 주거지역 기준 ISO기준 주거지역 기본 곡선 값 미만임(낮 시간대 기준 값의 66%, 밤 시간대 기준 값의 94%)
- X축에 대한 진동 값은 2.5Hz이하에서 ISO기준 주거지역 기본곡선 값(8.0배)을 초과함
- Y축에 대한 진동 값은 2.0Hz 및 1.6Hz에서 ISO기준 사무실 기본 곡선 값(4.0배)을 초과함
- 수평방향(X,Y축)에 대한 진동 값은 4.0Hz이하에서 ISO기준 주거지역의 허용 값(2.0배, 낮 시간)도 초과하는 것으로 계측됨



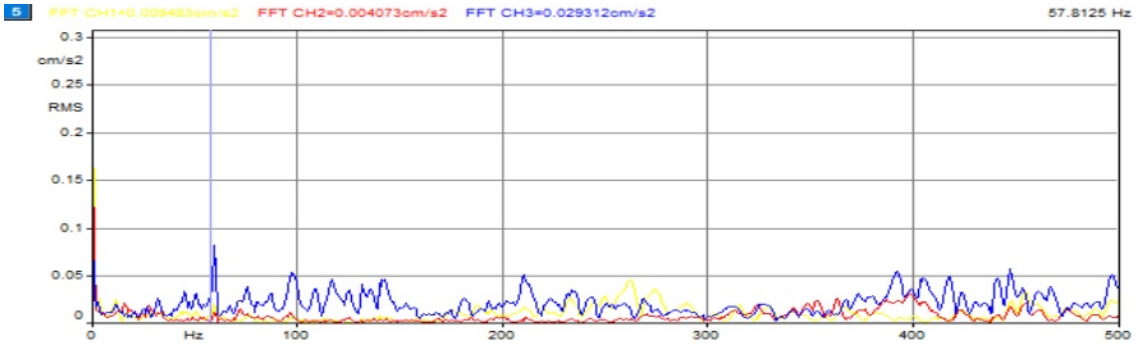
[그림 2.1.55] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력



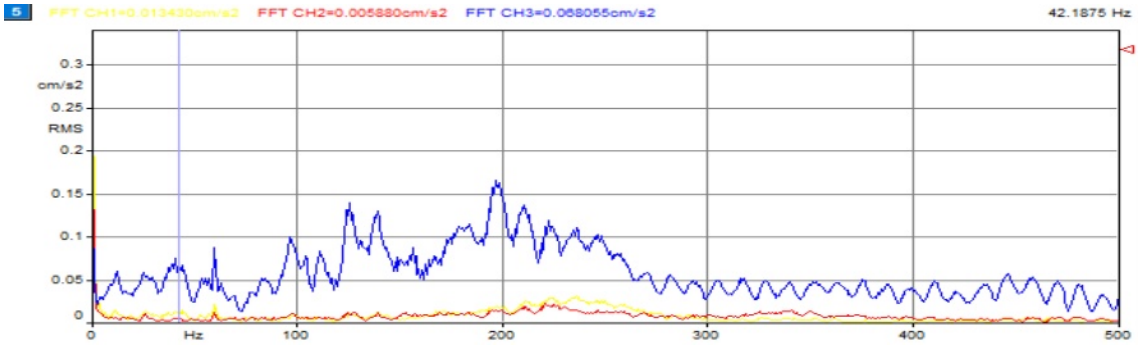
[그림 2.1.56] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(b) 주파수분석 결과(일상조건 1/3 octave band, Z축, X&Y축)



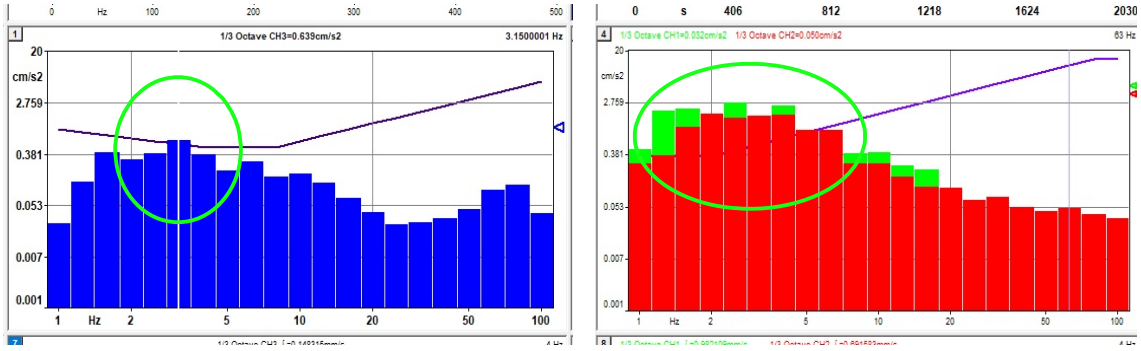
[그림 2.1.57] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(c) 12.5Hz 대역에 대한 1/3 Octave Band 진동 이력



[그림 2.1.58] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(d) 주파수분석결과(문 닫음 시)



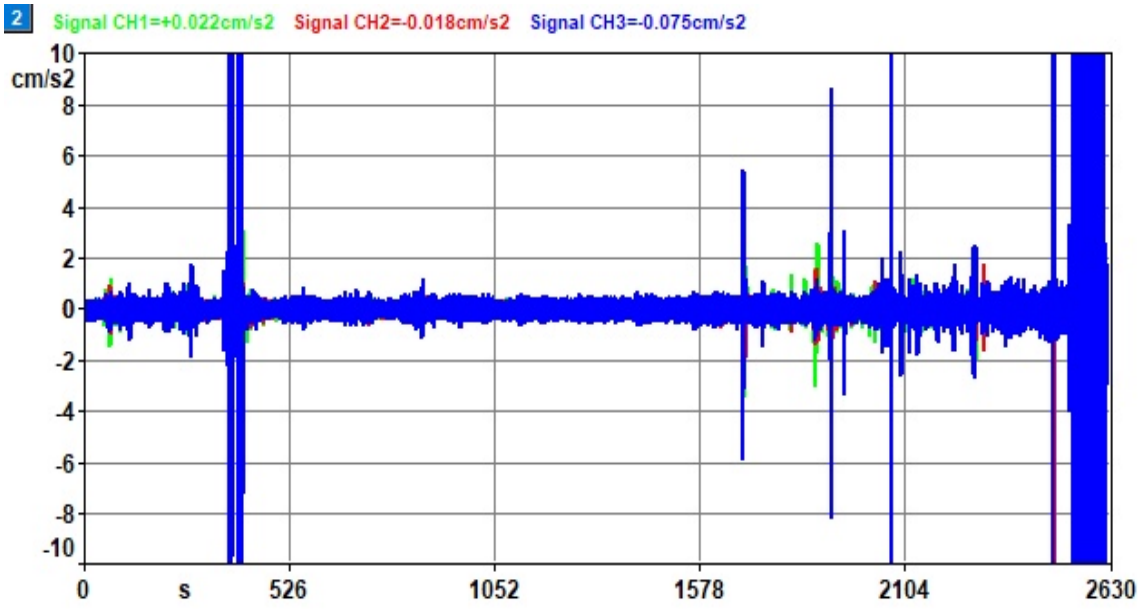
[그림 2.1.59] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(e) 주파수분석결과(보행 시)



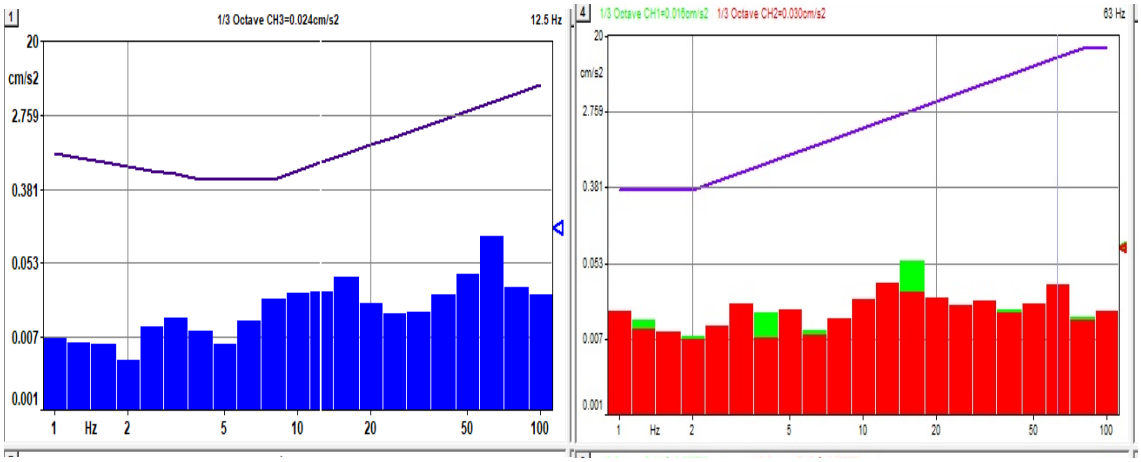
[그림 2.1.60] 102동 2층 복도 중앙 일상조건 진동측정데이터
(f) 주파수분석 결과(저주파 충격조건, 1/3 octave band, Z축, X&Y축)

❍ 102동 2층 복도 측면(6차선 도로측)

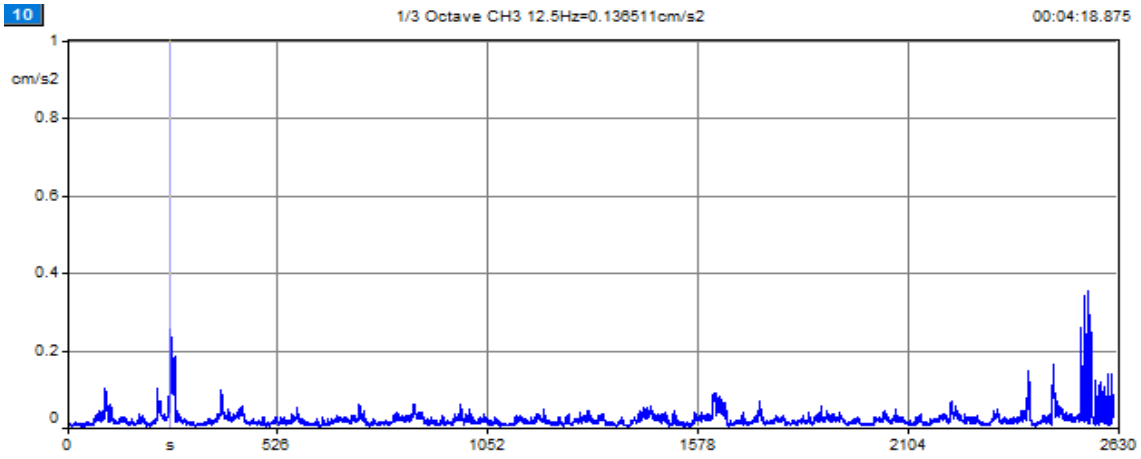
- 일상 조건에서 복도 바닥면 위에 가속도 센서를 설치
- 둘째 날 오후 2시 40분 07초부터 시작하여 2622.805초 동안 측정
- 측정 중간에 보행 등에 의한 충격파를 임의적으로 발생시켰으나 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않았음
- 복도에서의 진동은 ISO기준 주거지역 기본곡선 대비 낮은 값을 나타내고 특이 사항 없음
- 보행 시는 충격파로 인해 넓은 주파수 영역으로 전체 진폭값이 상승하나 관심 주파수에서는 상승폭이 작음. 따라서 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않았음



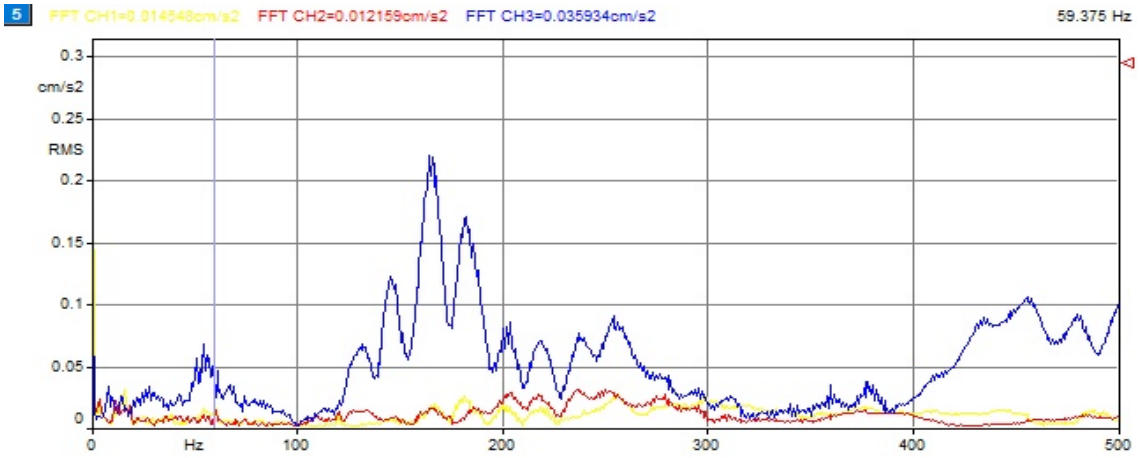
[그림 2.1.61] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터
(a) 가속도 시간이력



[그림 2.1.62] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)



[그림 2.1.63] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터
(c) 12.5Hz 대역에 대한 1/3 Octave Band 진동 이력



[그림 2.1.64] 102동 2층 복도 측면 일상조건 진동측정데이터
(d) 주파수분석결과(보행 시)

❍ 일상조건(차량운행조건 포함)에 대한 소결

- 일상 조건은 외부 차량 통행 및 주차창 차량 통행 조건이 포함되며, 예기치 못한 보행 등의 충격하중의 상황이 복합적으로 나타남
- 세대 내부에서 일상조건에 대한 측정 결과, 대부분의 경우 ISO기준 주거지역 기본곡선이하의 값을 가지나, 12.5Hz부근에서 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값(1.0배, 정밀작업구역 기준)을 초과하는 경우가 발생함
- 12.5Hz는 외부 6차선도로에 대형차량이 여러 대 동시에 지나가거나 신호대기 후 출발 시 발생되는 것으로 확인됨
- 본 대상건물은 주거지역이므로, 낮 시간대의 권장가중보정계수인 2.0 및 밤 시간대의 권장가중보정계수인 1.4를 적용할 경우 계측된 진동은 모두 허용기준치 이하로 평가됨
- 102동 복도 중앙에서는 대형차량이 여러 대 경적을 울리며 통과할 경우, 저주파대(4Hz이하)의 수평 진동 값이 ISO기준 주거지역 기본 값을 상회하는 것으로 나타남

㉡ 세탁기 조건

❍ 세탁기 운행 조건

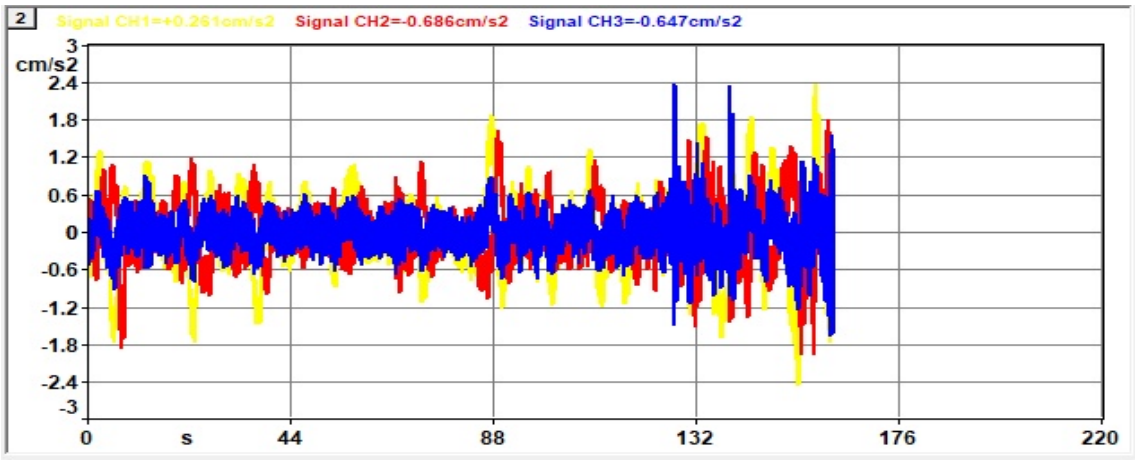
- 가속도 센서를 강판 위에 설치하고 계측
- 101동 404호에서 오전 9:04 세탁기 표준코스 시작
- 삼성 드럼세탁기 12kg용량, 바닥에 진동저감패드 설치함



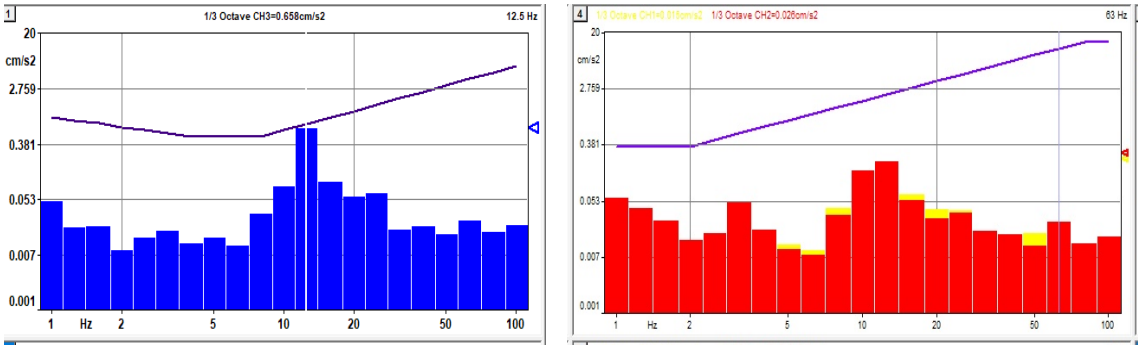

[그림 2.1.65] 101동 404호 세탁기 현황

❍ 세탁기 운행 시 측정 결과

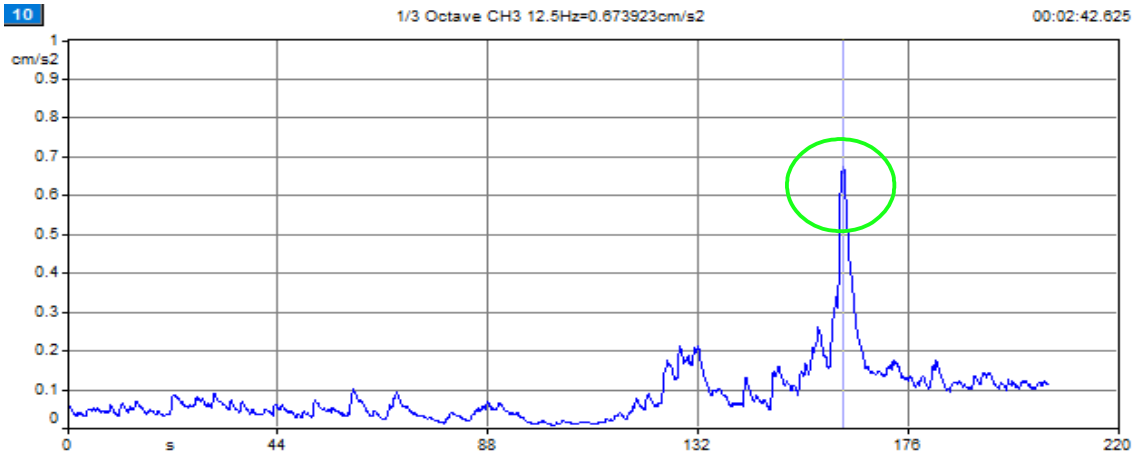
- 101동 404호에서 오전 9시경 세탁 시작, 304호에서 측정
- 일상조건에서 세탁기 운행이므로, 차량 통행 등이 측정조건에 포함될 수 있음
- 오전 9시 4분 6초부터 측정을 시작하였으며, 5180초 동안 측정함
- 측정데이터의 지배적인 진동수는 12.5Hz이며, 이 진동수 근처에서 0.6739cm/s2의 큰 가속도 진폭을 보임. 수평진동은 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않았음(기준값의 86%까지 근접함)
- 최대 진폭값에서의 시간 파형을 보면 12.5Hz의 사인파가 나타나는데, 이는 외부 차량통행에 의한 것으로 추정됨



[그림 2.1.66] 세탁기 조건 진동측정 데이터
(a) 가속도 시간이력

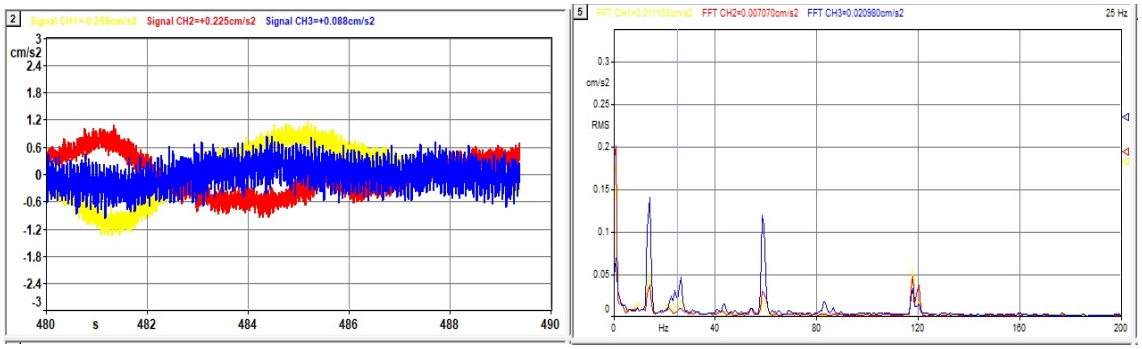


[그림 2.1.67] 세탁기 조건 진동측정 데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)

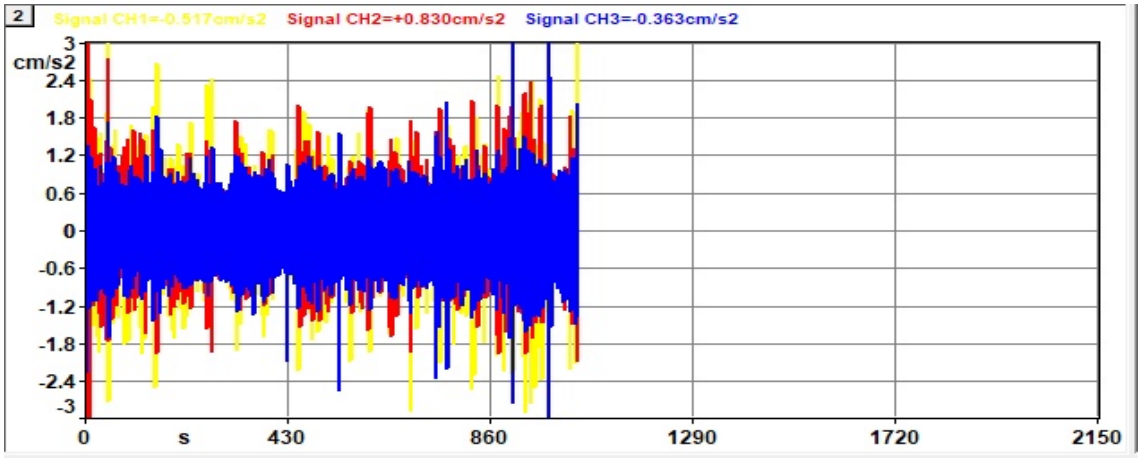


[그림 2.1.68] 세탁기 조건 진동측정 데이터
(c) 12.5Hz 대역에 대한 1/3 Octave Band 진동 이력

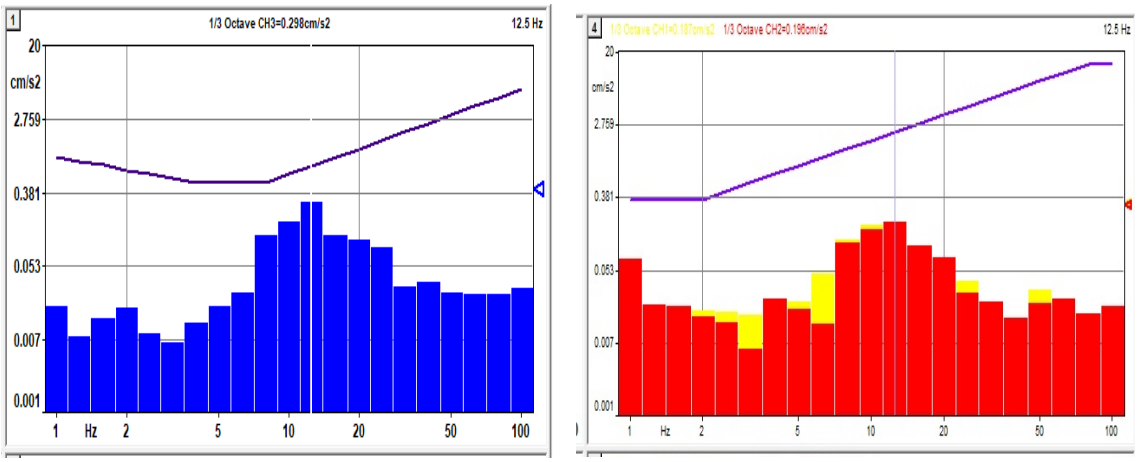
- 주도 주파수는 12.5Hz외에 25Hz, 50Hz도 일부 나타남. 전체 대역대를 보면 9Hz에서 30Hz의 대역대가 진동을 주도함
- 진동은 10Hz에서 30Hz 사이에서 주도하지만, 광대역으로 진동 진폭이 올라감을 알 수 있음 ==〉 이는 세탁기의 영향으로 추정됨
- 세탁기 종료 직전에는 25Hz가 주도적으로 나타나고, 차량이 지나갈 때 12.5Hz대가 나타남



[그림 2.1.69] 세탁기 진동 측정데이터
세탁기 진동패턴(시간이력, FFT결과)



[그림 2.1.70] 세탁기 진동 측정데이터
(a) 가속도 시간이력



[그림 2.1.71] 세탁기 진동 측정데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)

❍ 세탁기조건(일상조건 포함)에 대한 소결

- 세탁기 운전은 오전시간대에 이루어졌으므로, 일상 조건의 오전시간대 특성을 포함할 수 있음
- 세탁기 운전 시 진동측정 결과, 세탁기로 인한 진동특성(25Hz)은 관찰되나 진동 값은 ISO기준 주거지역 기본곡선 값 이하로 나타남
- 세탁기 운전 중 외부차량이 지나갈 때(12.5Hz) ISO기준 주거지역 기본곡선 값에 근접한 최대 진폭(Z축, 0.674cm/s2, ISO기준 주거지역 기본곡선 값의 86%)을 보임. 이는 주거지역 낮 시간대 기준으로 보면 약 43% 수준임

㉣ 엘리베이터 조건

❍ 엘리베이터 운행 조건

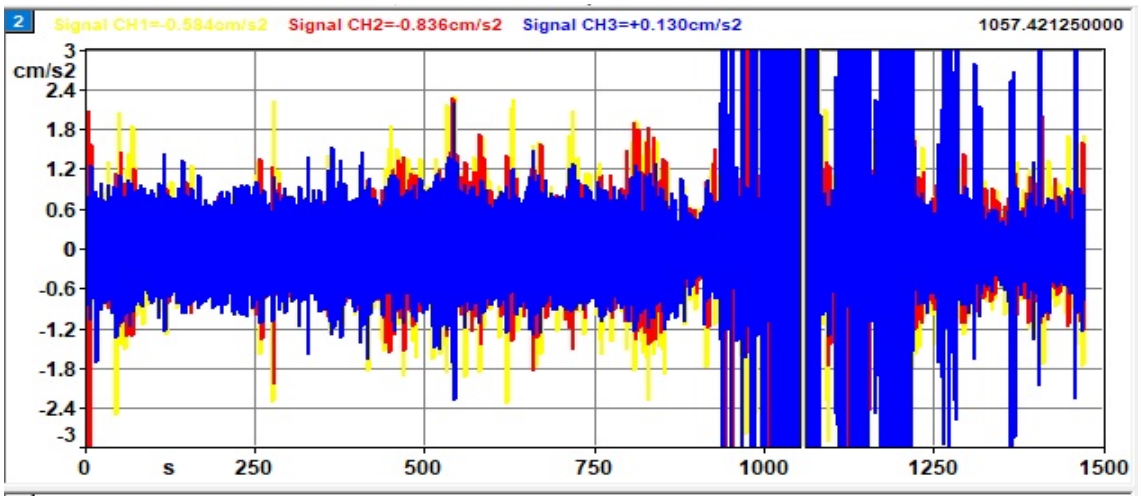
- 엘리베이터 운행은 입주자들의 운행이 최소화되는 시간을 선정하고, 사전공지함
- 엘리베이터 운행 시나리오에 따라 운행조건을 바꿔가며 진동 측정함



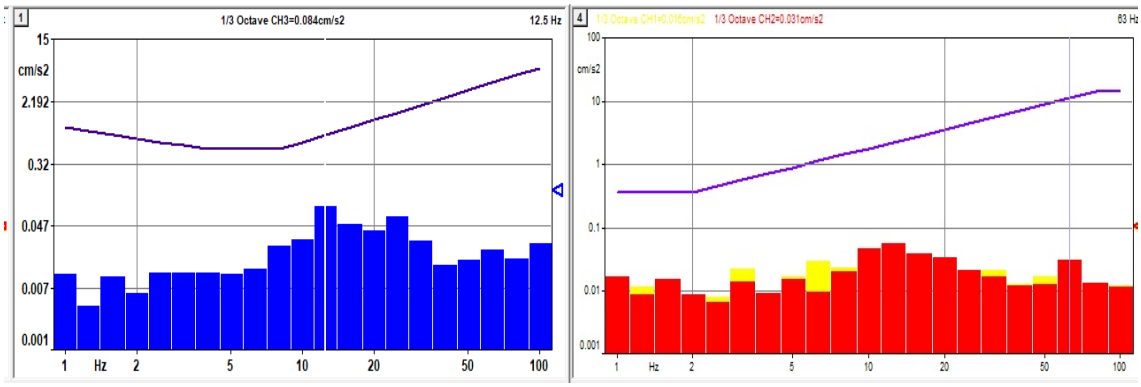
[그림 2.1.72] 101동 엘리베이터

❍ 엘리베이터 운행 시 측정결과

- 101동 304호 거실 중앙에 가속도 센서를 강판 위에 설치하고 계측
- 오전 11시 07분 14초에서 시작하여 1472.32초 동안 계측
- ISO기준 주거지역 기본곡선 값을 초과하지 않고 그 값도 낮음
- 엘리베이터 운행 시 진동은 대형 차량의 영향이 없는 한, 10Hz~30Hz 사이의 광대역 주파수가 주도하고 특히 25Hz 대의 진동 진폭이 올라감을 알 수 있음
  ==〉 이는 엘리베이터 운행에 의한 영향으로 추정됨



[그림 2.1.73] 엘리베이터 조건 진동측정 데이터
(a) 가속도 시간이력



[그림 2.1.74] 엘리베이터 조건 진동측정 데이터
(b) 주파수분석 결과(1/3 octave band, Z축, X&Y축)

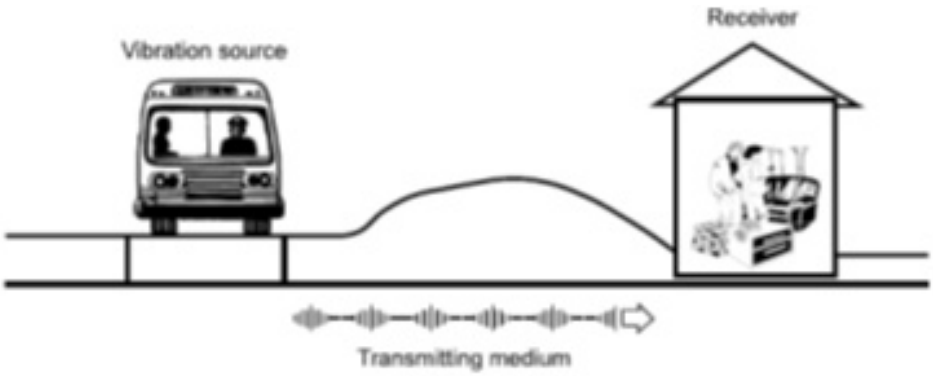
❍ 엘리베이터 조건(일상조건 포함)에 대한 소결

- 엘리베이터 운행 시 세대내부에서의 진동은 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않음
- 엘리베이터 운행 시 10Hz~30Hz 사이의 광대역 주파수가 주도하고 특히 25Hz 대의 진동 진폭이 올라감
- 대형차량이 지나갈 때는 12.5Hz부근에서 진동값이 커짐

⑧ 진동대책

㉠ 일반사항

- 진동을 억제 또는 감소시키기 위한 방법은 방진대책이 수립되는 위치에 따라 ① 진동원 대책, ② 전파경로 대책, ③ 수신부 대책의 3종류로 나누어 생각해 볼 수 있음. 이 3가지 방법들은 각각 나름대로의 장·단점을 가지고 있기 때문에 현장여건이나 진동의 동적특성 등을 잘 고려하여 가장 적절한 방법을 선택하는 것이 중요함(허영, 1999)
- 진동방지 대책 중 가장 적극적인 대책은 ① 진동원 및 ③ 수진부에서 방진장치 등을 사용하여 대책을 시공당시부터 수립하는 것임. 그러나 진동원과 수진부가 시공된 후에 발생되는 진동은 전파경로 상에서 진동 방지대책을 세울 수밖에 없음(김태섭 등, 2002). 즉, ② 진동전파 경로상의 대책은 진동원 및 수진부 대책이 불가능한 경우 또는 이 2가지 방법으로는 충분하지 못한 경우에 사용될 수 있음. 예를 들어 본 과업에서와 같이 차량운행 시나 열차운행 시와 같이 진동원이 긴 선(線)의 형태로 존재하거나 수진부의 규모가 큰 경우에는 방진구나 방진벽과 같은 진동전파 경로상의 대책이 유리할 수 있음([그림 2.1.75] 참조). 진동이 지반을 통하여 전파되어 가는 과정에서 다른 지층의 경계면이나 구조물과의 경계부에서 반사, 굴절, 간섭 등이 생겨 파형이 복잡하게 되는 것은 잘 알려진 현상으로서, 이 현상을 이용하여 지반 중에 방진구나 방진벽 등과 같은 차단벽을 설치하면 진동을 감소시킬 수 있음(이강일, 2006)



[그림 2.1.75] 교통진동의 전파경로

㉡ 진동원 및 수진부에서의 대책

- 진동원 대책은 본질적으로 진동을 일으키는 기진체 자체의 기계적 특성을 개선하거나, 기진체 자체 또는 접지구조체와 지반의 동적 상호작용 특성을 개선하여 지반에 최종적으로 전달되는 동적하중의 크기를 낮추고 진동수 특성을 개선시키는 데 있음. 주로 사용되는 방법으로는 기진체 바닥에 방진패드를 사용하거나, 지반굴착 및 말뚝박기 작업 시 이른바 저진동 또는 무진동 공법의 사용, 그리고 지하철의 경우 터널 및 박스 구조체의 질량 및 강성도를 크게 하는 방법 등이 이러한 진동원 대책에 속함(이강일, 2006)

- 반면, 수진부 구조물 대책으로는 구조물의 기초를 보강하여 기초의 임피던스를 증가시킴으로써 입력 지반진동에너지 자체를 경감시키는 방법, 기초 및 지하벽체 등과 상부구조의 접속부에 고무패드, 스프링-댐퍼 등의 면진시스템을 두는 방법 등이 있음. 하지만 일반적으로 구조물의 면진공법에 사용되는 LRB나 NRB등의 면진장치는 수평진동에 대한 면진기능은 있으나 수직진동에 대한 방진기능은 거의 없기 때문에 본 과업에서 목적으로 하는 바와 같은 차량운행으로 인한 진동의 차단을 위해서는 수직방향의 진동을 감소시킬 수 있는 방진기능이 부가된 면진장치의 사용이 필요함. 이와 같은 3축 면진시스템에 대해서는 국외의 경우 이미 몇몇 장치들이 개발되어 실제적으로 사용되고 있으나 국내에는 아직 실무에 적용된 사례가 없으며, 개념적인 연구나 사례조사 정도만 시행되고 있는 실정임(면진제진협회, 2011)

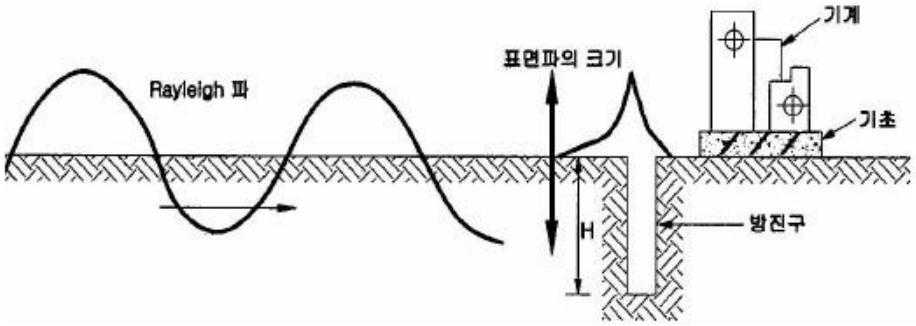
㉡ 진동전파경로상의 대책

- 진동 전파경로상의 대책은 진동원과 수진부 구조물 사이에 놓인 지반에 방진구, 방진벽, 방진슬래브, 방진 블록 등과 같이 지반진동의 전파 자체를 억제 또는 차단할 수 있는 각종 지중 방진구조물을 설치하여 수진부 구조물로 전달되는 지반진동의 강도를 저감시키는 대책을 말함. 이러한 전파경로 상의 방진대책은 진동원에 가까운 영역에 설치할 수도 있으며, 수진부 구조물에 가까운 영역에 설치할 수도 있다. 진동원에 가까운 영역에 설치하는 경우는 진동원으로부터 발생된 진동이 주변으로 확산되게 하여 진동을 저감시키는 방법으로 지반진동 특성이 진동원의 가진 특성에 의해 크게 영향을 받는 특징이 있음. 반면, 수진부 구조물에 가까운 영역에 설치하는 방진대책은 가진원의 특성에 따른 영향을 거의 받지 않는 원격지반 영역에서의 대책으로 일반적인 경우 많이 채택되는 방법임. 이 경우 충분한 진동저감 효과를 얻기 위해서는 방진구조의 폭, 깊이, 길이, 위치 등을 신중하게 결정하여야 함
- 방진구나 방진벽의 경우, 일반적으로 사전 설계단계에서는 수치해석적인 방법에 의한 컴퓨터 시뮬레이션이 많이 사용되며, 시공 후 실측에 의한 방진효율을 검증하는 방식으로 적용됨. 방진구조의 설계 순서를 정리하면 다음과 같음

현장 및 실내실험에 의한 지층 및 지반의 동적 물성치 조사
컴퓨터시뮬레이션을 통한 방진구조의 채움재 및 규모 결정
(방진구조의 설치 위치 변경이 가능한 경우, 최적 설치위치도 결정)
시공 및 측정에 의한 방진효율 검증

- 방진구는 가장 대표적인 지반진동 방진구조물로서 지반 내에 공기라는 이질적인 매질 층을 수직으로 설치하여 지반진동의 수평적 전달을 차단하는 방법임. 지반진동은 주로 지표면을 따라 전달되므로 전파경로 상에 일정 깊이의 방진구를 파두면 상당한 양의 진동이 더 이상 전파되지 못하고 감쇠하게 됨(그림 2.1.75). 개방식 방진구는 다른 어느 지중 방진벽 시스템보다 방진효율이 높으나 현실적으로 굴착벽의 함몰 문제로 시공가능 깊이가 제한되는 치명적인 단점이 있음. 아울러 굴착부에 사람이 빠

지지 않도록 안전조치를 취해야하고, 강우 시 빗물이 유입되어 굴착부가 함몰하거나 주변지반에 연약화를 초래하는 문제가 발생하는 등 유지관리 문제 또한 커다란 단점임



[그림 2.1.76] 전파경로 상의 대책(방진구)

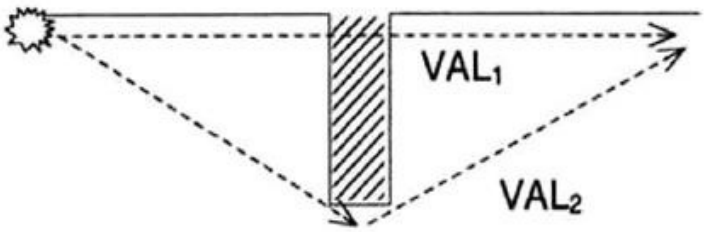
- 차단벽은 개방식 방진구의 문제점을 해결하고자 설계 및 시공적 측면에서 개방식 방진구 공법의 방진원리를 준용한 것으로, 여러 가지 유사 방진구 공법이 제안되어 있음. 차단벽에는 ① 슬러리액 충진 방진벽, ② 연성·경량재 충진 방진벽, ③ 주열식 방진벽, ④ 공기튜브 매트 방진벽, ⑤ 고체 방진벽, ⑥ PC wall Pile 등이 있으므로 그 특징을 잘 판단하여 적용해야 함

❍ 방진구(벽)의 규모 결정을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 방법

- 방진구(벽)의 설계를 위한 수치해석방법으로는 유한요소법(FEM)과 경계요소법(BEM) 그리고 유사한 수학적 이론에 근거를 둔 유한차분법 등이 사용되고 있으나 유한차분법의 경우 모델링의 어려움 등으로 인해 전술된 두 방법들과 비교하여 사용빈도가 낮은 편임. 유한요소법(FEM)과 경계요소법(BEM)에 대해서는 많은 연구결과와 논문이 발표되어 있으며, 현장적용 사례의 경우 해석결과의 실효성이 다수 보고 되고 있음. 참고문헌에 제시된 논문들의 해석적 연구결과를 보면, 대체로 방진벽보다 방진구의 방진효과가 더 우수한 것으로 보고하고 있음. 이는 두 방진대책의 진동차단 기능이 다르기 때문임. 즉, 방진벽의 경우 방진벽 채움재의 강성에 의해 깊이에 따른 진폭의 차이를 억제함으로 인해 진동차단이 이루어지는데 반해 방진구는 전파매개체인 지반을 절단함으로써 에너지 전달을 막는 것이기 때문에 방진구의 효과가 대체로 좋게 됨(허영, 1999)

❍ 방진구(벽)의 진동차단 효과 및 형상설계

- 방진구(벽)의 진동저감 또는 차단효과는 [그림 2.1.77]에서 보는 바와 같이 검토될 수 있음(정갑철, 2002)



VAL_1 ; 방진벽 재질에 의한 차단효과
VAL_2 ; 방진벽 깊이에 의한 차단효과

[그림 2.1.77] 방진구(벽)의 효과

IL(Insertion Loss)=VAL대책 전-VAL대책 후
VAL대책 후=$10\log(10^{VAL_1/10}+10^{VAL_2/10})$

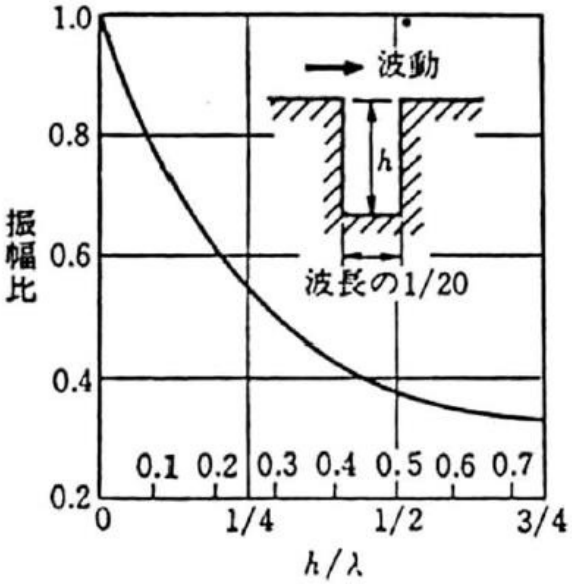
또한 방진구(벽)의 형상은 아래와 같이 개략적으로 결정될 수 있다.
◎ 파장(λ)=c/f=(진동전달 속도)/(지배 진동수)
예를 들어, 견고한 점토(실트)의 진동전달 속도가 300m/s이고, 철도진동의 지배 진동수가 100Hz일 경우, 파장(λ)=300/100=3(m)가 된다.
◎ 방진벽의 폭(d)과 깊이(h)는 그림 2.1.77로부터 결정될 수 있다.
폭(d)=$\lambda/20$=0.15(m)
방진벽의 깊이(h)=1.5(m)[진폭비 1/3, 진동저감량 10dB, h/λ=1/2인 경우]

❍ 방진벽의 재질에 따른 방진효과

- 전술된 바와 같이 방진벽과 같은 진동 전파경로 상의 방진대책은 진동이 지반을 통하여 전파되어 가는 과정에서 다른 지층의 경계면이나 구조물과의 경계부에서 반사, 굴절, 간섭 등이 생겨 파형이 복잡하게 되는 현상을 이용한 것으로서, 진동 전파경로 상의 흙 또는 암반과 특성이 다른 이질 매질층을 인공적으로 형성하여 방진효과를 얻는 방법임. 본 과업에서와 같이 파동의 전달매체가 지반인 경우 지반특성 임피던스($\alpha=\rho c$[밀도 · 진동전달 속도])와 다른 매질층을 설치함으로써 그 경계에서의 반사로 투과에너지를 감소시키는 효과를 얻을 수 있음. 이러한 진동절연층에 사용되는 재료로는 발포폴리에틸렌, 경질발포스틸렌, 연질발포스틸렌 등이 있으며, 재질별 사용 폭에 따른 진동저감량의 예를 보이면 [표 2.1.18]과 같음(정갑철, 2002)

[표 2.1.18] 재질별 폭에 따른 진동저감량(dB)

재질 / 폭	발포폴리에틸렌	경질발포스틸렌	연질발포스틸렌
50mm	6	6	7
100mm	8	6	9
150mm	10	7	14



[그림 2.1.78] 방진벽의 깊이와 진폭비

㉣ 소결

- 전술된 내용을 토대로 볼 때, 본 과업에서 문제시 되고 있는 차량운행으로 인한 교통진동 등의 억제 또는 차단을 위해서는 진동 전파경로 상의 대책으로 방진구 또는 방진벽의 설치가 가장 효과적일 것으로 판단됨

- 방진효율 측면에서 보면 방진구의 설치가 가장 효과적이겠으나, 유지관리 상의 문제가 대두될 수 있음으로 현장 여건을 잘 반영하여 적절한 방법을 선택하는 것이 중요할 것으로 판단됨. 현장 여건 상 방진벽을 설치하게 될 경우, 철, 연질발포스틸렌, EPS 등의 재질을 사용할 것을 권장하며, 콘크리트 벽은 차단효과가 크지 않음으로 사용에 신중할 필요가 있음

진동 측정 소결

■ 일상조건(차량운행조건 포함)에 대한 진동특성

- 일상 조건은 외부 차량 통행 및 주차창 차량 통행 조건이 포함되며, 예기치 못한 보행 등의 충격하중의 상황이 복합적으로 나타남
- 세대 내부에서 일상조건에 대한 측정 결과, 대부분의 경우 주거기준 이하의 값을 가지나, 12.5Hz부근에서 ISO기준 주거지역 기본곡선(1.0배,정밀작업구역 기준)을 초과하는 경우가 발생함
- 12.5Hz는 외부 6차선도로에 대형차량이 여러 대 동시에 지나가거나, 신호대기 후 출발 시 발생되는 것으로 확인됨
- 본 대상건물은 주거지역이므로, ISO기준 주거지역 기본곡선에 대한 권장 가중곱셈계수 2.0(낮시간대) 및 1.4(밤시간대)를 적용할 경우 측정값은 모두 허용기준치 이하로 평가됨
- 102동 복도 중앙에서는 대형차량이 여러 대 경적을 울리며 통과할 경우, 저주파대(4Hz이하)의 진동 값이 기준치를 상회하는 것으로 나타남

■ 세탁기운전 시(일상조건 포함)에 대한 진동특성

- 세탁기 운전은 오전시간대에 이루어졌으므로, 일상 조건의 오전시간대 특성을 포함할 수 있음
- 세탁기 운전 시 진동측정 결과, 세탁기로 인한 진동특성(25Hz)은 관찰되나 진동값은 ISO기준 주거지역 기본곡선 이하로 나타남
- 세탁기 운전 중 외부차량이 지나갈 때(12.5Hz) 허용기준치에 근접한 최대 진폭(0.674cm/s2, ISO기준 주거지역 기본곡선의 86%)을 보임. 이 값은 Z축에 대한 값으로 정밀작업구역기준(1.0배)을 의미함. 주거지역의 경우, 권장가중곱셈계수 2.0(낮시간대) 또는 1.4(밤시간대)을 적용하면 최대진폭은 43%수준임(낮시간대 기준)

■ 엘리베이터 운행 시(일상조건 포함)에 대한 진동특성

- 엘리베이터 운행 시 세대내부에서 계측된 진동 가속도값은 ISO기준 주거지역 기본곡선의 값을 초과하지 않았음
- 엘리베이터 운행 시는 10Hz~30Hz 사이의 광대역 주파수가 주도하고, 특히 25Hz 대의 진동 진폭이 크게 관측됨
- 대형차량이 지나갈 때는 12.5Hz부근에서 진동값이 커지는 것으로 나타남

■ 가양 모듈러 주택의 진동대책 방안

- 상기 계측 및 분석결과, 본 과업에서 문제시 되고 있는 차량운행으로 인한 교통진동 등의 억제 또는 차단을 위해서는 진동 전파경로 상의 대책으로 또는 방진벽의 설치가 가장 효과적일 것으로 판단됨
- 방진효율 측면에서 보면 방진구의 설치가 가장 효과적이겠으나, 유지관리 상의 문제가 대두될 수 있음으로 현장 여건을 잘 반영하여 적절한 방법을 선택하는 것이 중요할 것으로 판단됨
- 현장 여건 상 방진벽을 설치하게 될 경우, 철, 연질발포스틸렌, EPS 등의 재질을 사용할 것을 권장하며, 콘크리트 벽은 차단효과가 크지 않음으로 사용에 신중할 필요가 있음

(3) 가양 실증단지 구조 성능 검토

① 개요

- 본 보고서는 모듈러시스템에 대한 설계사에서 기 작성된 구조계산서에 대하여 그 적절성을 검토하고 문제점이나 개선점이 있을 경우 단위 모듈, 전체모델, 접합부에 대한 구조검토를 실시하여 발전된 대안을 제시한 보고서임

- 모듈러시스템은 일본, 유럽 등 외국에서는 많은 프로젝트에 적용되고 있으나, 국내에서는 소수의 회사에서 연구가 진행되고 있으며 그 적용사례 역시 미비한 상태임. 하지만 국내에서도 그 잠재된 시장은 매우 클 것으로 판단하며 계속적인 연구개발을 통하여 기술력을 습득하고 독자적인 시스템을 개발한다면 국내시장의 점유율을 확보할 수 있을 뿐만아니라 국외 시장 진출을 위한 기술력이 확보될 것임

- 기 설계된 구조계산서 및 모델링(이하 원안이라 함)에 근거하여, 먼저 원안의 타당성 및 적절성을 검토하고 예상되는 문제점을 먼저 열거한 다음 단위모듈과 전체건물에 대한 구조검토를 실시하고, 접합부에 대한 적합성을 확인 함. 그리고 검토 결과에 대한 개선방안과 기대효과를 서술하고, 향후 계속적인 모듈러 공법의 발전을 위한 연구 과제를 제시하고자 함

❍ 건물개요

- 건 물 명 : 가양단지 모듈러
- 위　　치 : 가양동
- 용　　도 : 숙박시설
- 규　　모 : 지하 1층, 지상 6층
- 구조형식 : 철근콘크리트 구조(하부) + 철골모듈러 구조(상부)
- 기초형식 : 파일기초 Φ500 PHC PILE (fp = 700 kN/EA)

❍ 구조설계방법 및 적용기준

- 적용법령 : 건축법 및 동시행령
- 적용규칙 : 건축법시행규칙
- 　　/ 건축물 구조기준 등에 관한 규칙
- 적용기준 : 건축구조설계기준(KBC2009)
- 　　/ 건축물 하중기준 및 해설 (대한건축학회, 2000)
- 적용시방 : 건축공사표준시방서 (대한건축학회)
- 　　/ 콘크리트표준시방서 (한국콘크리트학회)
- 참고기준 : ACI318

❍ 사용재료의 종류 및 설계기준강도

[표 2.1.19] 사용재료 및 설계기준강도

사용재료	규격	설계기준강도	해당부재
콘크리트	KS F 2405 (재령28일압축강도)	fck = 24 MPa	전부재
철근	KS D 3504 SD500 KS D 3504 SD600	fy = 500 MPa fy = 600 MPa	전부재
강재	KS D 3503 SS400 KS D 3515 SN490	Fy = 235 MPa Fy = 325 MPa	모듈러보 모듈러기둥/접합재
앵커볼트	KS B 1016 SS400	Fy = 235 MPa	
접합볼트	KS B 1010 F10T	Fy = 900 MPa	

❍ 해석 및 설계용 프로그램

- 부재해석 : MIDAS GEN
- 부재설계 : MIDAS / 기타 부재설계프로그램

㉠ 설계하중

❍ 하중조건

- 바닥하중

[표 2.1.20] A동 모듈러 - 침실 (단위:kPa)

고정하중	마감 및 몰탈	60mm	1.20
	슬래브	150mm	3.60
	천장		0.30
	합계		5.10
활하중			2.00
	합계		2.00
	Unfactored Load		7.10
	Factored Load		9.32

[표 2.1.21] A동 모듈러 - 복도 (단위:kPa)

고정하중	마감 및 몰탈	60mm	1.20
	슬래브	150mm	3.60
	천장		0.30
	합계		5.10
활하중			3.00
	합계		3.00
	Unfactored Load		8.10
	Factored Load		10.92

[표 2.1.22] B동 모듈러 - 침실 (단위:kPa)

고정하중	마감 및 몰탈	60mm	1.20
	슬래브	210mm	5.04
	천장		0.30
	합계		6.54
활하중			2.00
	합계		2.00
	Unfactored Load		8.54
	Factored Load		11.05

[표 2.1.23] B동 모듈러 - 복도 (단위:kPa)

고정하중	마감 및 몰탈	60mm	1.20
	슬래브	210mm	5.04
	천장		0.30
	합계		6.54
활하중			3.00
	합계		3.00
	Unfactored Load		9.54
	Factored Load		12.65

[표 2.1.24] 계단실(공통) (단위:kPa)

고정하중	마감 및 몰탈	60mm	1.20
	계단 자중		1.00
			2.20
활하중			3.00
	합계		3.00
	Unfactored Load		5.20
	Factored Load		7.44

- 풍 하 중

midas Gen WIND LOAD CALC.

Certified by :

PROJECT TITLE :

MIDAS	Company		Client	
	Author		File Name	151103 가양모듈러모델링.wpf

WIND LOADS BASED ON KBC(2009) [UNIT: kN, m]

Exposure Category	: B
Basic Wind Speed [m/sec]	: Vo = 30.00
Importance Factor	: Iw = 1.00
Average Roof Height	: h = 22.80
Topographic Effects	: Not Included
Structural Rigidity	: Rigid Structure
Gust Factor of X-Direction	: Gfx = 2.19
Gust Factor of Y-Direction	: Gfy = 2.19
Scaled Wind Force	: F = ScaleFactor * Wf
Wind Force	: Wf = Pf * Area
Pressure	: Pf = qz*Gf*Cpe1 - qh*Gf*Cpe2
Velocity Pressure at Design Height z [N/m^2]	: qz = 0.5 * 1.22 * Vz^2
Velocity Pressure at Mean Roof Height [N/m^2]	: qh = 0.5 * 1.22 * Vh^2
Calculated Value of qh [N/m^2]	: qh = 440.04
Basic Wind Speed at Design Height z [m/sec]	: Vz = Vo*Kzr*Kzt*Iw
Basic Wind Speed at Mean Roof Height [m/sec]	: Vh = Vo*Khr*Kzt*Iw
Calculated Value of Vh [m/sec]	: Vh = 26.86
Height of Planetary Boundary Layer	: Zb = 15.00
Gradient Height	: Zg = 400.00
Power Law Exponent	: Alpha = 0.22
Exposure Velocity Pressure Coefficient	: Kzr = 0.81 (Z<=Zb)
Exposure Velocity Pressure Coefficient	: Kzr = 0.45*Z^Alpha (Zb<Z<=Zg)
Exposure Velocity Pressure Coefficient	: Kzr = 0.45*Zg^Alpha (Z>Zg)
Kzr at Mean Roof Height (Khr)	: Khr = 0.90
Scale Factor for X-directional Wind Loads	: SFx = 1.00
Scale Factor for Y-directional Wind Loads	: SFy = 0.00

Wind force of the specific story is calculated as the sum of the forces
of the following two parts.
1. Part I : Lower half part of the specific story
2. Part II : Upper half part of the just below story of the specific story

The reference height for the calculation of the wind pressure related factors are,
therefore, considered separately for the above mentioned two parts as follows.

Reference height for the wind pressure related factors(except topographic related factors)
1. Part I : top level of the specific story
2. Part II : top level of the just below story of the specific story

Reference height for the topographic related factors :
1. Part I : bottom level of the specific story
2. Part II : bottom level of the just below story of the specific story

PRESSURE in the table represents Pf value

** External Wind Pressure Coefficients at Windward and Leeward Walls (Cpe1, Cpe2)

STORY NAME	Cpe1 (Windward)	Cpe2(X-DIR) (Leeward)	Cpe2(Y-DIR) (Leeward)
Roof	0.800	-0.500	-0.496
19F	0.800	-0.500	-0.496

[그림 2.1.79] 풍하중

- 지진하중

midas Gen SEIS LOAD CALC.

Certified by :

PROJECT TITLE :

MIDAS	Company		Client	
	Author		File Name	151103 가양모듈러모델링.spf

TOTAL :	179.09027	179.09027

* EQUIVALENT SEISMIC LOAD IN ACCORDANCE WITH KOREAN BUILDING CODE (KBC2009) [UNIT: kN, m]

Seismic Zone	: 1
Zone Factor	: 0.18
Site Class	: Sd
Acceleration-based Site Coefficient (Fa)	: 1.44800
Velocity-based Site Coefficient (Fv)	: 2.09600
Design Spectral Response Acc. at Short Periods (Sds)	: 0.42475
Design Spectral Response Acc. at 1 s Period (Sd1)	: 0.24593
Seismic Use Group	: I
Importance Factor (Ie)	: 1.20
Seismic Design Category from Sds	: C
Seismic Design Category from Sd1	: D
Seismic Design Category from both Sds and Sd1	: D
Period Coefficient for Upper Limit (Cu)	: 1.4541
Fundamental Period Associated with X-dir. (Tx)	: 0.6306
Fundamental Period Associated with Y-dir. (Ty)	: 0.4671
Response Modification Factor for X-dir. (Rx)	: 4.0000
Response Modification Factor for Y-dir. (Ry)	: 4.0000
Exponent Related to the Period for X-direction (Kx)	: 1.0653
Exponent Related to the Period for Y-direction (Ky)	: 1.0000
Seismic Response Coefficient for X-direction (Csx)	: 0.1170
Seismic Response Coefficient for Y-direction (Csy)	: 0.1274
Total Effective Weight For X-dir. Seismic Loads (Wx)	: 38632.611716
Total Effective Weight For Y-dir. Seismic Loads (Wy)	: 38632.611716
Scale Factor For X-directional Seismic Loads	: 1.00
Scale Factor For Y-directional Seismic Loads	: 0.00
Accidental Eccentricity For X-direction (Ex)	: Positive
Accidental Eccentricity For Y-direction (Ey)	: Positive
Torsional Amplification for Accidental Eccentricity	: Do not Consider
Torsional Amplification for Inherent Eccentricity	: Do not Consider
Total Base Shear Of Model For X-direction	: 4519.954307
Total Base Shear Of Model For Y-direction	: 0.000000
Summation Of Wi*Hi^k Of Model For X-direction	: 334142.987989
Summation Of Wi*Hi^k Of Model For Y-direction	: 0.000000

ECCENTRICITY RELATED DATA

	X-DIRECTIONAL LOAD				Y-DIRECTIONAL LOAD			
STORY NAME	ACCIDENTAL ECCENT.	INHERENT ECCENT.	ACCIDENTAL AMP.FACTOR	INHERENT AMP.FACTOR	ACCIDENTAL ECCENT.	INHERENT ECCENT.	ACCIDENTAL AMP.FACTOR	INHERENT AMP.FACTOR
Roof	-0.6525	0.0	1.0	0.0	0.64	0.0	1.0	0.0
19F	-0.6525	0.0	1.0	0.0	0.64	0.0	1.0	0.0
18F	-0.6525	0.0	1.0	0.0	0.47	0.0	1.0	0.0
17F	-0.6525	0.0	1.0	0.0	0.6275	0.0	1.0	0.0
16F	-0.6525	0.0	1.0	0.0	0.64	0.0	1.0	0.0

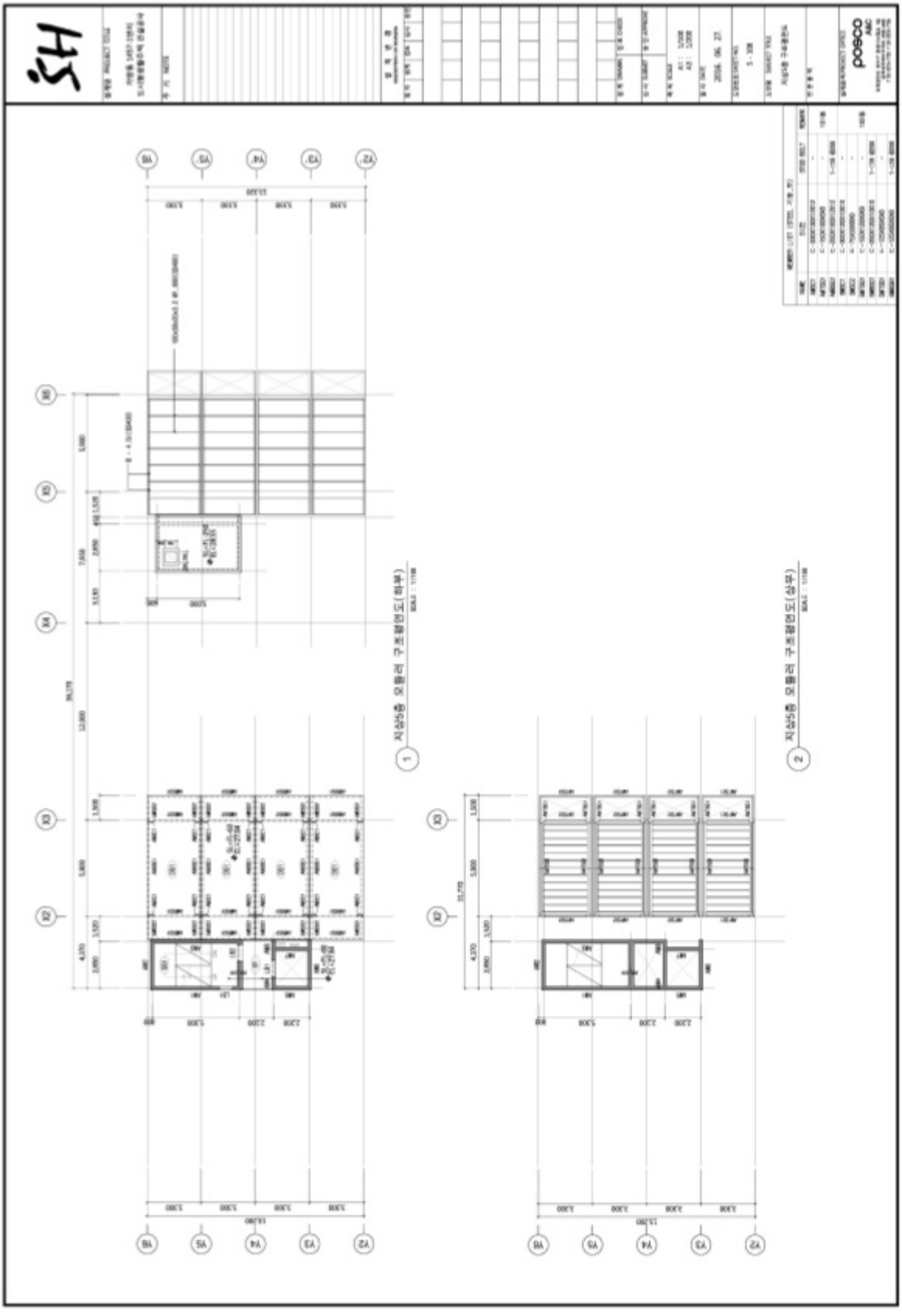
Modeling, Integrated Design & Analysis Software
http://www.MidasUser.com
Gen 2018

Print Date/Time : 10/30/2018 09:35

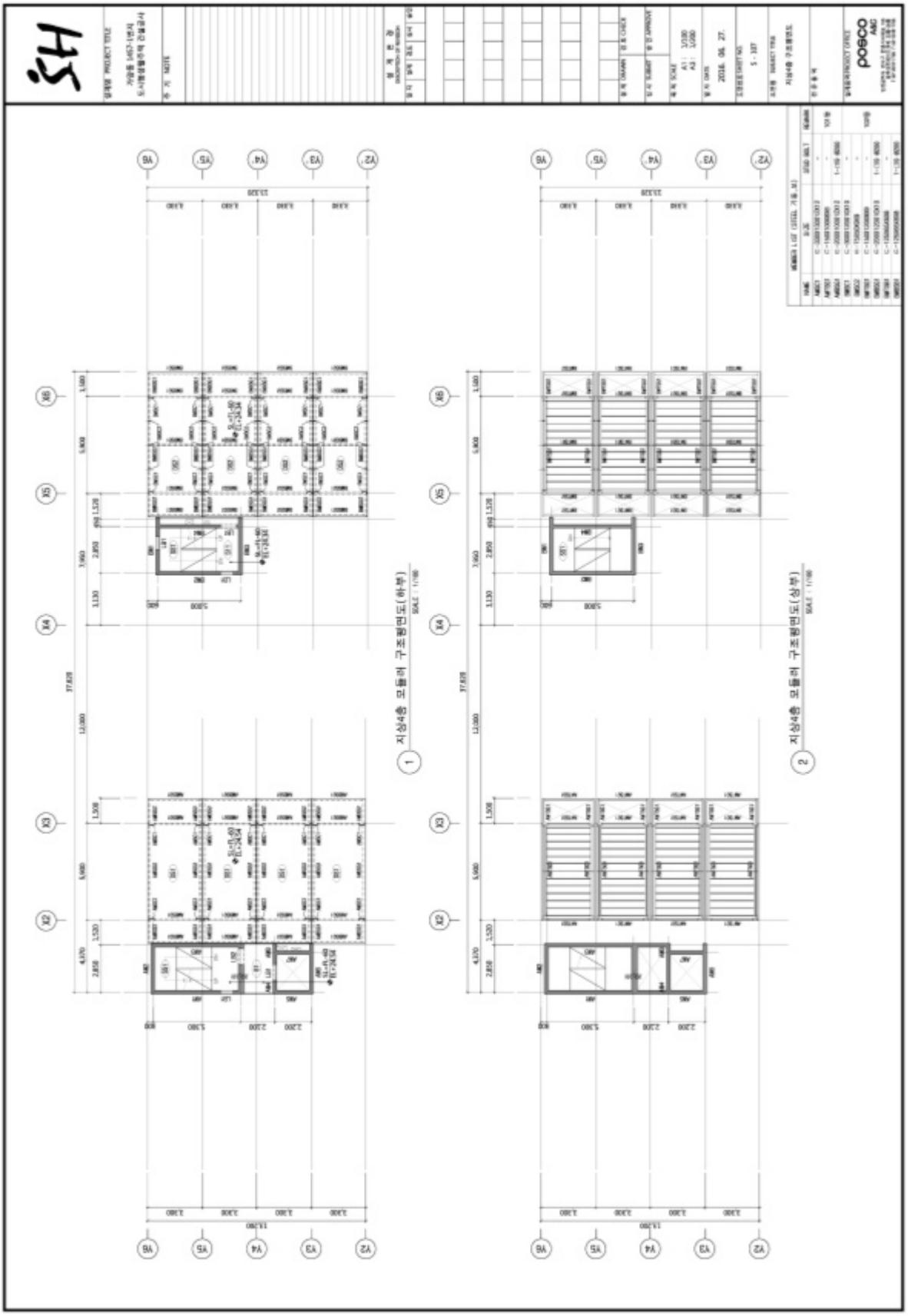
-2/4-

[그림 2.1.80] 지진하중

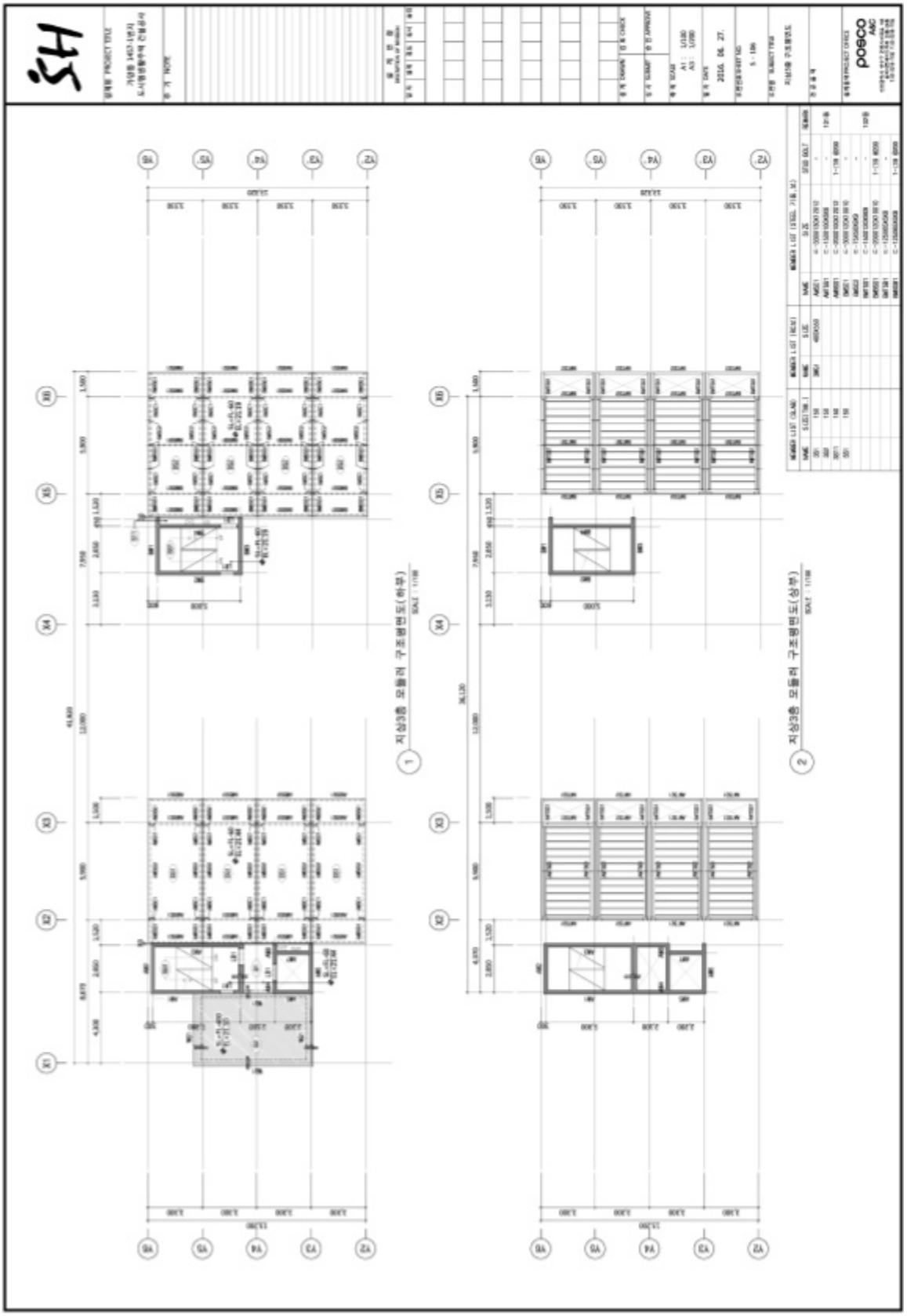
㉡ 구조도면



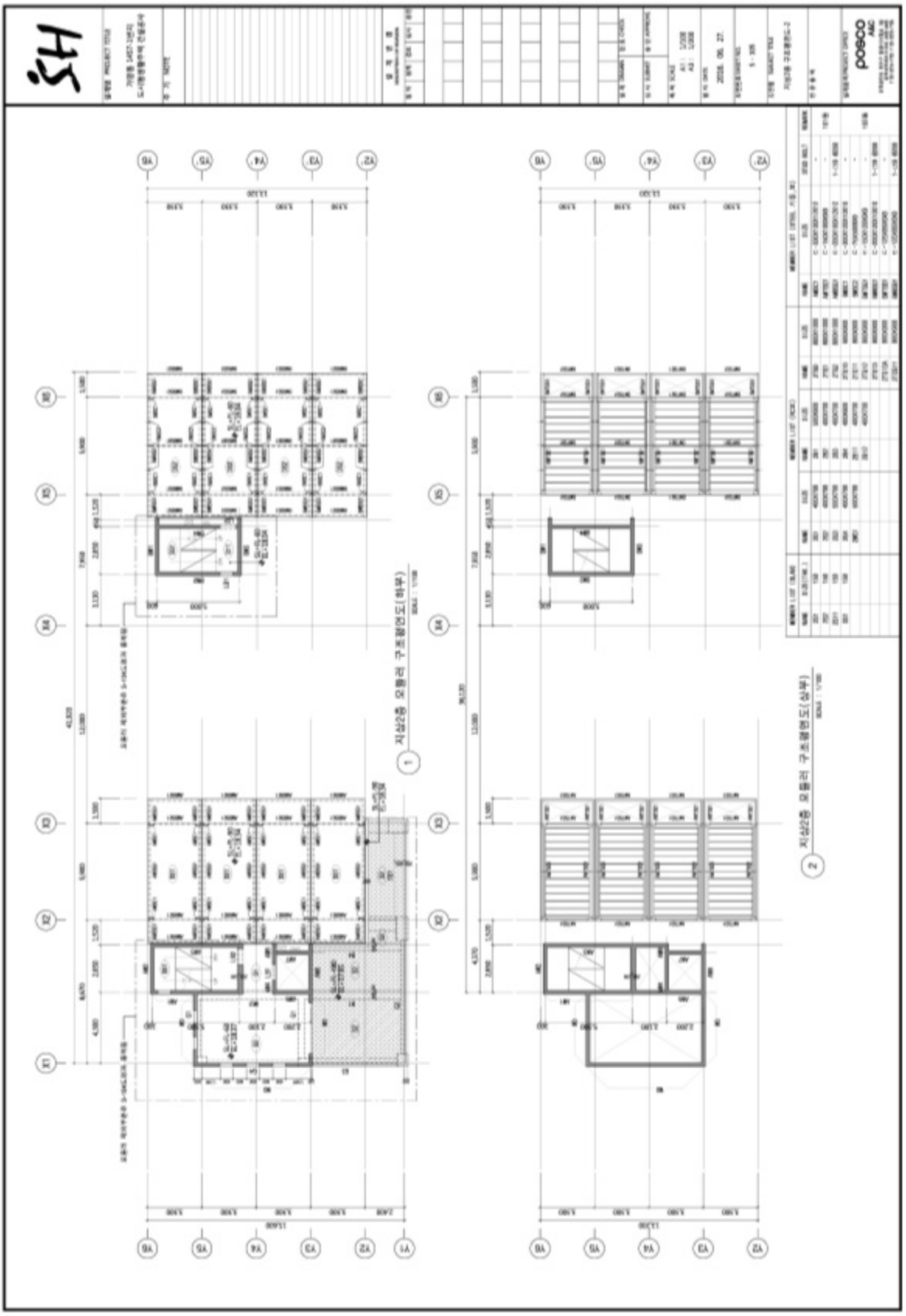
[그림 2.1.81] 지상 5층 구조평면도



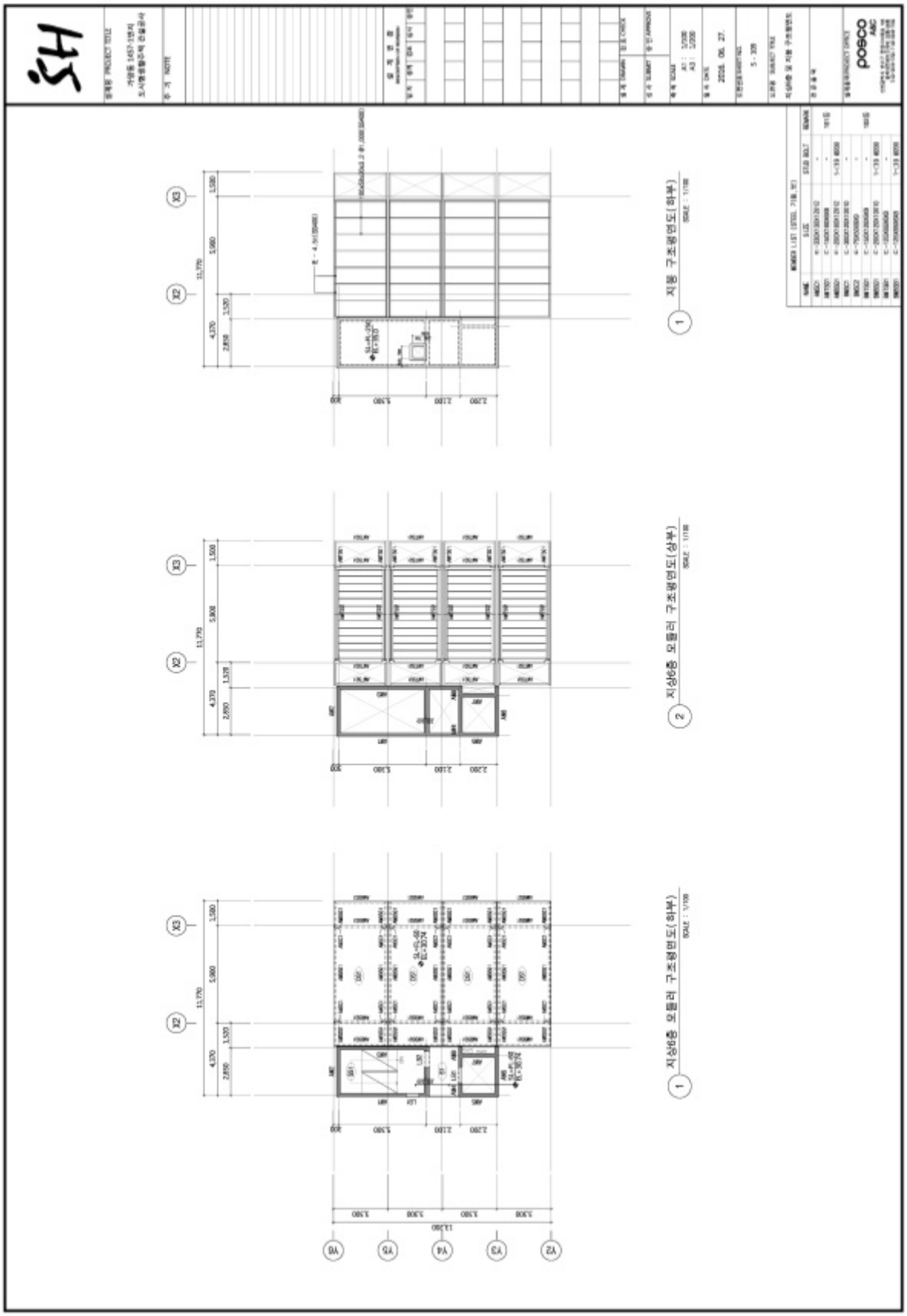
[그림 2.1.82] 지상 4층 구조평면도



[그림 2.1.83] 지상 3층 구조평면도



[그림 2.1.84] 지상 2층 구조평면도



[그림 2.1.85] 지상 6층 및 지붕 구조평면도

② 원안의 개선 항목

- 이 장에서는 원안의 모듈러 시스템에 대하여 구조 안전성이나 시공성에서 예상되는 문제점이나 개선이 필요한 항목들을 제시하고, 각 항목에 대한 접근 방법을 구체적으로 기술함

[표 2.1.25] 개선이 요구되는 항목과 접근방법

구 분	내 용	접근 방법
모듈러	모듈러 구조부재 단면의 적정성 검토	* 모듈러의 설치 전 상태와 설치 후 상태에 대하여 구조 검토 실시 --〉 최적단면 Size 제시 1) A동 (Slab 두께 150mm) 단위 모듈의 응력과 변위에 대한 구조검토 후 대안 제시 2) B동 (Slab 두께 210mm) 단위 모듈의 응력과 변위에 대한 구조검토 후 대안 제시 3) 횡력이 없는 전체 구조물에 대한 구조검토 후 응력과 변위의 정도 분석 4) 횡력을 고려한 전체 구조물에 대한 구조검토 후 응력과 변위의 정도 분석
접합부	모듈러 접합부 Filler Plate에 대한 안전성 검토	* 모듈러의 가장 불리한 위치에서 Filler Plate 대한 구조 검토 실시 --〉 안전성 검토 및 대안 제시 1) 층 전단력으로 Filler Plate의 작용하중 산정 2) Filler Plate의 해석모델 제시와 내력검토 3) Filler Plate의 대안 해석 모델 및 구조검토 4) 개선안 제시
	RC Core 벽체와 모듈러 접합부 시공성 검토	* 습식 공사인 RC Core 벽체와 공장 제작으로 표준화된 모듈러의 설치 시 접합부 시공성에 대한 문제점을 나열하고 대안 제시함
	모듈러의 주요부재 용접 상세 검토	* 모듈러를 구성하는 주요 보와 기둥은 용접합 되어 있으며, 이중 문제시 되는 부분을 확인하고 대안을 제시함

[표 2.1.26] 개선 내용과 접근 방법

구 분	개선 내용	접근 방법
모듈러 설 치	최하단 모듈러 설치방법 개선안	* RC 구조물 위 첫 번째 모듈러를 설치할 경우 1) 원안에 대한 시공 순서 확인 --〉 문제점 도출 2) 대안에 대한 시공 순서 확인 --〉 개선안 제시
RC CORE System	코아 벽체 P.C 구조화 검토	* 모듈러 공법의 최대 장점인 공사 기간 단축을 최대한 실현시키기 위해서 지상층 공사를 모두 건식으로 할 수 있는 방법 및 공사 사례 제시

③ 검토내용

㉠ 모듈러 구조부재 단면의 적정성 검토

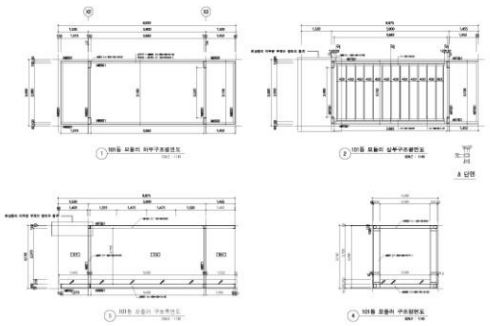
- 단위 모듈러의 구조부재 단면의 적정성을 확인하기 위하여 다음의 순서로 구조 검토를 실시하고 검토 결과를 소결에 언급함

❍ Slab 두께 150 단위모듈 분석

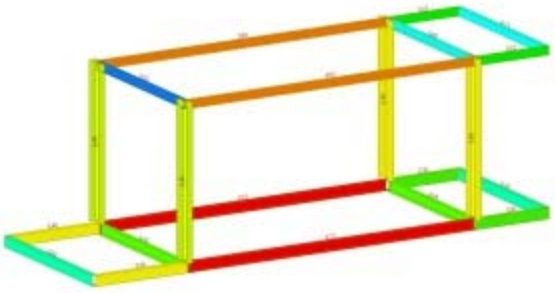
- 원안



a) 101동 – 3D Modeling



b) 101동 – 구조도면



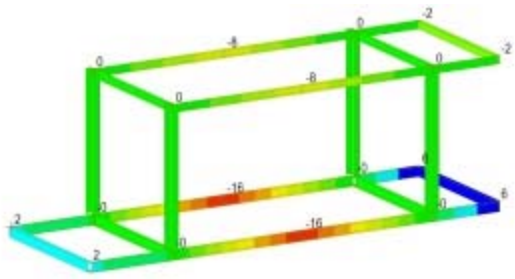
Section Name	Section Property	Ratio
AMSC1	ㄷ-330x130x12x12	0.487
AMTSG1	ㄷ-150x100x6x6	0.599
AMBSG1	ㄷ-200x100x12x12	0.715

– AMSC1 ·····0.487 〈 1.00 (O.K)

– AMTSG1 ·····0.599 〈 1.00 (O.K)

– AMBSG1 ·····0.715 〈 1.00 (O.K)

c) 101동 – 응력비 결과



– AMSC1 : 허용치= H / 200 : 0 mm
: 0 mm 〈 15.0mm (O.K)

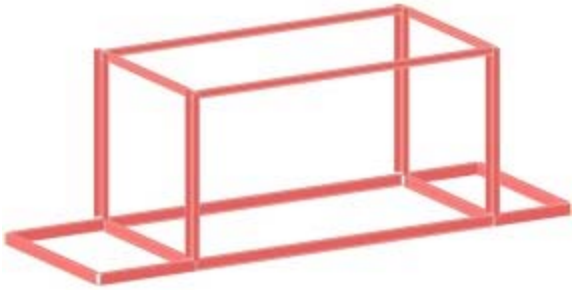
– AMTSG1 : 허용치= L / 240 : 25.0mm
: 8.0mm 〈 25.0mm (O.K)

– AMBSG1 : 허용치= L / 240 : 25.0mm
: 16.0mm 〈 25.0mm (O.K)

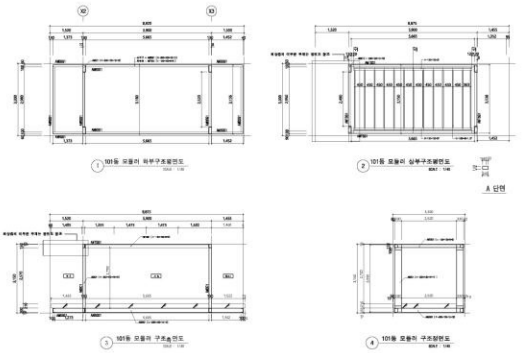
d) 101동 – 변위 결과

원안에 대한 101동의 단위모듈 검토 결과 단위응력 및 변위는 모두 허용치 이내이다.

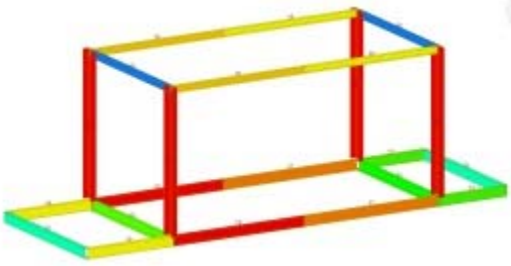
- 개선안



a) 101동 – 3D Modeling



b) 101동 – 구조도면



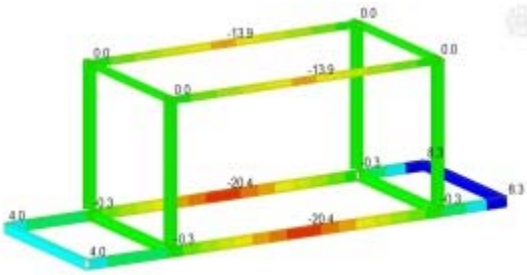
Section Name	Section Property	Ratio
AMSC1	⊏-300x120x8x8	0.768
AMTSG1	⊏-130x100x6x6	0.606
AMBSG1	⊏-200x100x12x12	0.688

– AMSC1 ·····0.768 〈 1.00 (O.K)

– AMTSG1 ·····0.606 〈 1.00 (O.K)

– AMBSG1 ·····0.688 〈 1.00 (O.K)

c) 101동 – 응력비 결과



– AMSC1 : 허용치= H / 200 : 0 mm
: 0 mm 〈 15.0mm (O.K)

– AMTSG1 : 허용치= L / 240 : 25.0mm
: 13.9mm 〈 25.0mm (O.K)

– AMBSG1 : 허용치= L / 240 : 25.0mm
: 20.4mm 〈 25.0mm (O.K)

d) 101동 – 변위 결과

- 상부 한쪽 켄틸레버 부분 제거
- 부재 변경

Section Name	Section Property	Ratio
AMSC1	⊏-330x130x12x12	0.487
AMTSG1	⊏-150x100x6x6	0.599
AMBSG1	⊏-200x100x12x12	0.715

VS

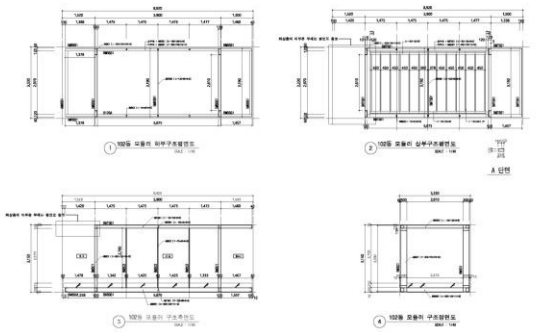
Section Name	Section Property	Ratio
AMSC1	⊏-300x120x8x8	0.768
AMTSG1	⊏-130x100x6x6	0.606
AMBSG1	⊏-200x100x12x12	0.688

❍ Slab 두께 210 단위모듈 분석

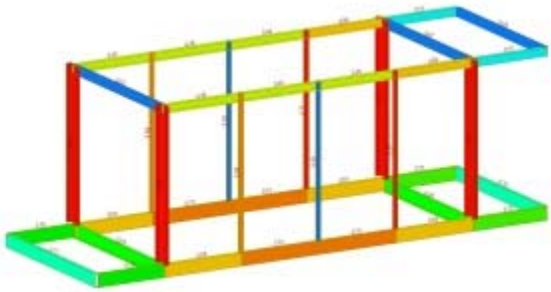
- 원안



a) 102동 – 3D Modeling



b) 102동 – 구조도면



Section Name	Section Property	Ratio
BMSC1	ㄷ-300x100x12x12	0.780
BMSC2	ㄷ-75x50x9x9	0.715
BMTSG1	ㄷ-150x100x10x10	0.588
BMBSG1	ㄷ-240x80x10x10	0.705

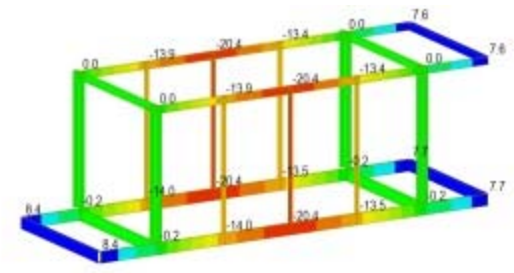
– BMSC1 ·····0.741 〈 1.00 (O.K)

– BMSC2 ·····0.669 〈 1.00 (O.K)

– BMTSG1 ·····0.657 〈 1.00 (O.K)

– BMBSG1 ·····0.676 〈 1.00 (O.K)

c) 102동 – 응력비 현황



– BMSC1 : 허용치= H / 200 : 0 mm
: 0 mm 〈 15.0mm (O.K)

– BMSC2 : 허용치= H / 200 : 0 mm
: 0 mm 〈 15.0mm (O.K)

– BMTSG1 : 허용치= L / 240 : 26.3mm
: 20.4mm 〈 26.3mm (O.K)

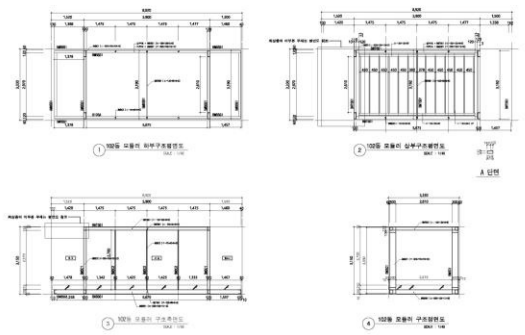
– BMBSG1 : 허용치= L / 240 : 26.3mm
: 20.4mm 〈 26.3mm (O.K)

d) 102동 – 변위 현황

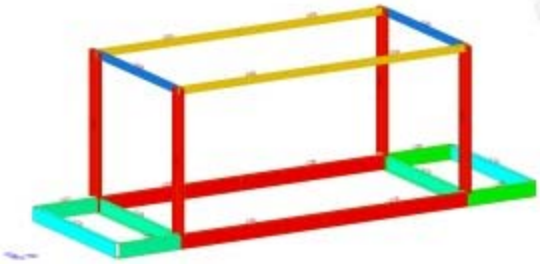
- 개선안



a) 102동 – 3D Modeling



b) 102동 – 구조도면



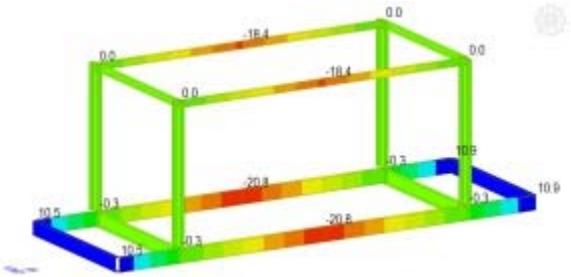
Section Name	Section Property	Ratio
BMSC1	⊏-300x100x10x10	0.805
BMTSG1	⊏-130x100x6x6	0.638
BMBSG1	⊏-280x100x10x10	0.769

– BMSC1 ·····0.805 〈 1.00 (O.K)

– BMTSG1 ·····0.638 〈 1.00 (O.K)

– BMBSG1 ·····0.769 〈 1.00 (O.K)

c) 102동 – 응력비 현황



– BMSC1 : 허용치= H / 200 : 0 mm
: 0 mm 〈 15.0mm (O.K)

– BMTSG1 : 허용치= L / 240 : 26.3mm
: 18.4mm 〈 26.3mm (O.K)

– BMBSG1 : 허용치= L / 240 : 26.3mm
: 20.8mm 〈 26.3mm (O.K)

d) 102동 – 변위 현황

- 상부 한쪽 켄틸레버 부분 제거, 기둥 BMSC2 제거
- 부재 변경

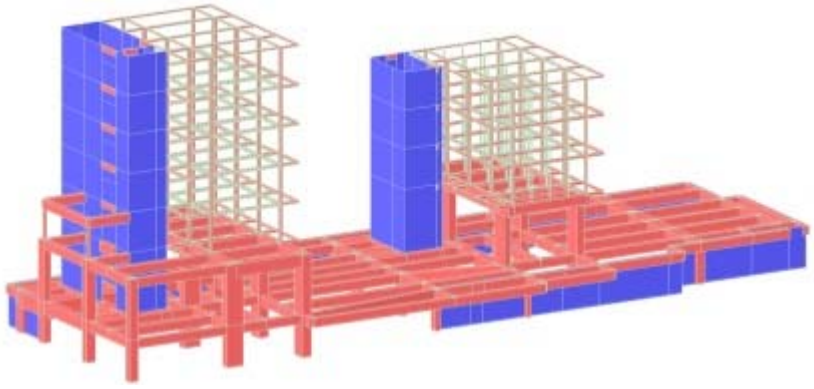
Section Name	Section Property	Ratio
BMSC1	⊏-300x100x12x12	0.780
BMSC2	⊏-75x50x9x9	0.715
BMTSG1	⊏-150x100x10x10	0.588
BMBSG1	⊏-240x80x10x10	0.705

VS

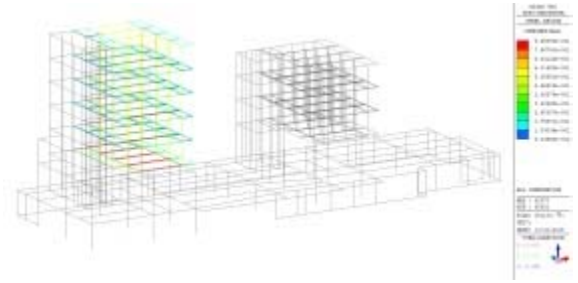
Section Name	Section Property	Ratio
BMSC1	⊏-300x100x10x10	0.805
BMTSG1	⊏-130x100x6x6	0.638
BMBSG1	⊏-280x100x10x10	0.769

❍ 횡력이 없는 경우의 전체 구조물 검토

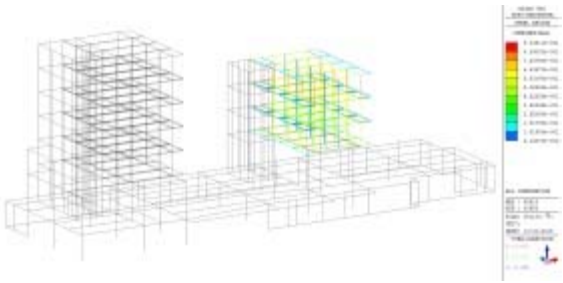
- 원안 (Dead Load)



a) 가양동 모듈의 전체구조물 – 3D Modeling

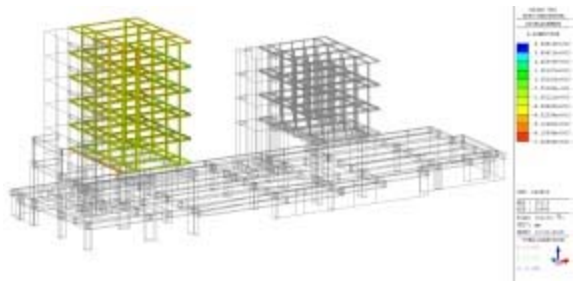


CHK	MEMB	SECT	SEL	Section	
	COM	SHR		Material	Fy
OK	43826	1110	☐	AMSC1	
	0.683	0.016		SM490	325000
OK	44588	1310	☐	AMTSG1	
	0.585	0.122		SS400	235000
OK	42370	1330	☐	AMBSG1	
	0.829	0.177		SS400	235000



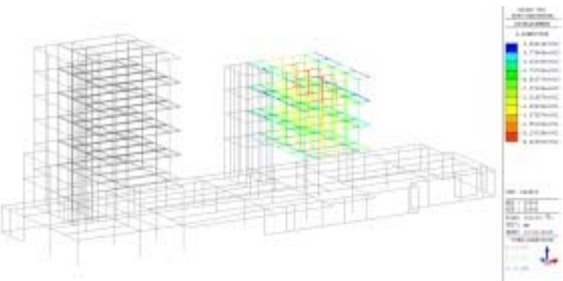
CHK	MEMB	SECT	SEL	Section	
	COM	SHR		Material	Fy
OK	56610	1111	☐	BMSC1	
	0.796	0.028		SM490	325000
OK	68750	1126	☐	BMSC2	
	0.676	0.037		SS400	235000
OK	55980	1311	☐	BMTSG1	
	0.753	0.141		SS400	235000
OK	55618	1331	☐	BMBSG1	
	0.904	0.209		SS400	235000

b) 101동 102동의 응력비 검토



• Max Displacement

7.3 mm 〈 25.0 mm ••••••••••••••••••O.K



• Max Displacement

24.1 mm 〈 26.3 mm ••••••••••••••••••O.K

c) 101동 102동의 변위 검토

- 대안 (Dead Load + Live Load)
- 개별모듈데이터를 바탕으로 횡력이 작용하지 않았을 경우에 대해 최적의 부재 사이즈를 검토하여 제시하고자 함. 응력 및 수직변위 허용을 만족하는 최적 부재사이즈는 다음과 같음. 또한 102동의 경우, 모듈데이터에서 제시한 바와 같이 BMSC2 부재를 삭제함

Section Name	Section Property
AMSC1	⊏-330x130x12x12
AMTSG1	⊏-150x100x6x6
AMBSG1	⊏-330x130x12x12
-	-

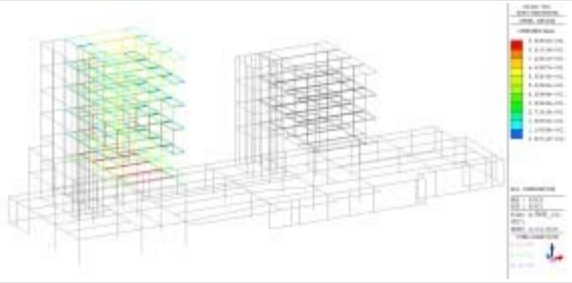
Section Name	Section Property
AMSC1	⊏-300x120x10x10
AMTSG1	⊏-130x100x6x6
AMBSG1	⊏-200x100x12x12

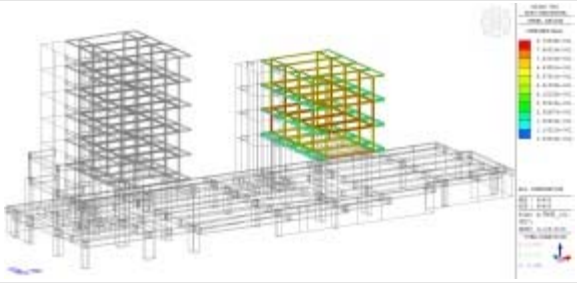
Section Name	Section Property
BMSC1	⊏-300x100x12x12
BMSC2	⊏-75x50x9x9
BMTSG1	⊏-150x100x10x10
BMBSG1	⊏-240x80x10x10

Section Name	Section Property
BMSC1	⊏-300x100x10x10
BMTSG1	⊏-130x100x6x6
BMBSG1	⊏-280x100x10x10

101동 102동

a) 101동 102동의 부재 사이즈 최적화

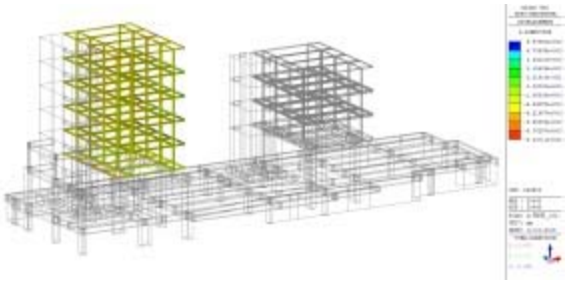


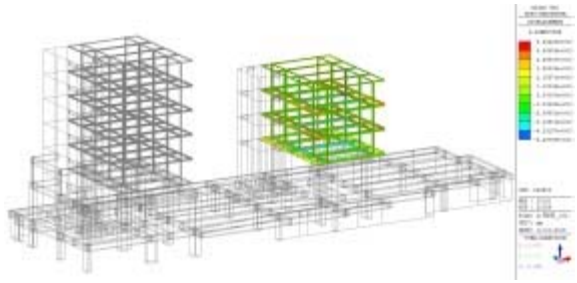


CHK	MEMB	SECT	SEL	Section	
	COM	SHR		Material	Fy
OK	43826	1110	☐	AMSC1	
	0.900	0.017		SM490	0.32500
OK	44588	1310	☐	AMTSG1	
	0.688	0.140		SS400	0.23500
OK	42370	1330	☐	AMBSG1	
	0.833	0.178		SS400	0.23500

CHK	MEMB	SECT	SEL	Section	
	COM	SHR		Material	Fy
OK	56606	1111	☐	BMSC1	
	0.873	0.020		SM490	0.32500
OK	50207	1311	☐	BMTSG1	
	0.734	0.145		SS400	0.23500
OK	55570	1331	☐	BMBSG1	
	0.815	0.213		SS400	0.23500

b) 101동 102동의 응력비 검토





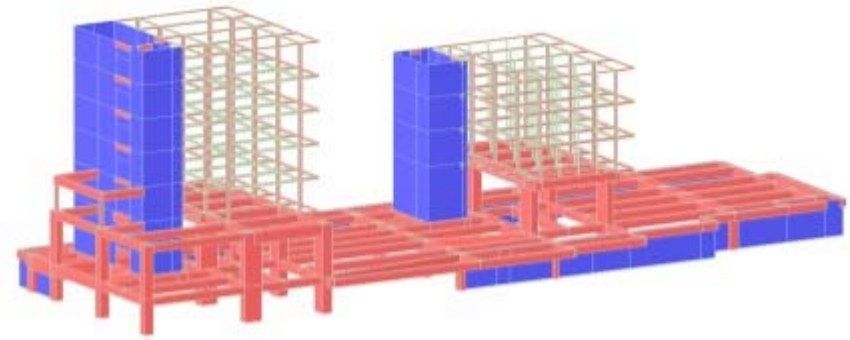
- Max Displacement
  8.1 mm 〈 25.0 mm ••••••••••••••••••••O.K

- Max Displacement
  5.3 mm 〈 26.3 mm ••••••••••••••••••••O.K

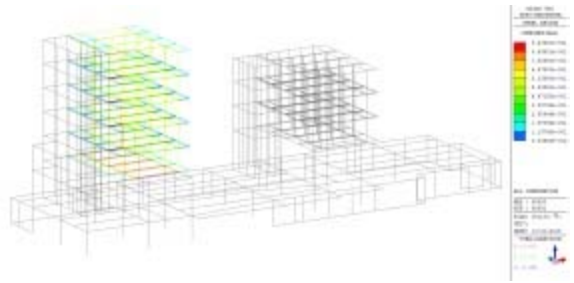
c) 101동 102동의 변위 검토

❍ 횡력이 있는 경우의 전체구조물 검토

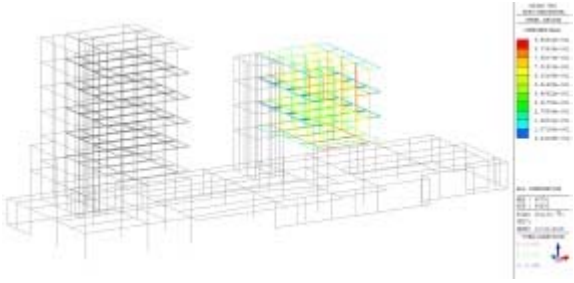
- 원안 (Dead Load + Live Load + 횡력)



a) 가양동 모듈의 전체구조물 – 3D Modeling

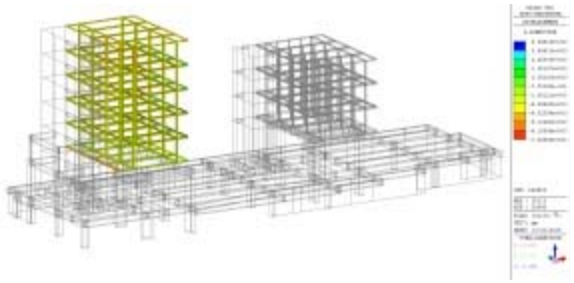


CHK	MEMB	SECT	SEL	Section	
	COM	SHR		Material	Fy
OK	43839	1110	☐	AMSC1	
	0.935	0.025		SM490	325000
OK	69356	1310	☐	AMTSG1	
	0.807	0.156		SS400	235000
OK	69393	1330	☐	AMBSG1	
	0.947	0.209		SS400	235000



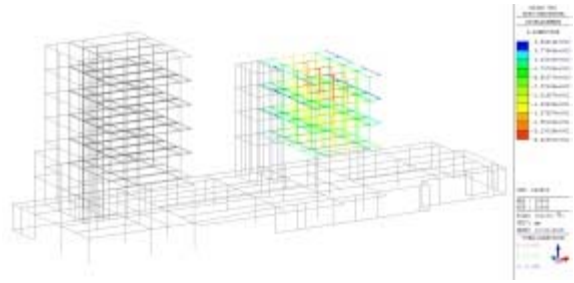
CHK	MEMB	SECT	SEL	Section	
	COM	SHR		Material	Fy
OK	57760	1111	☐	BMSC1	
	0.881	0.031		SM490	325000
OK	68750	1126	☐	BMSC2	
	0.832	0.046		SS400	235000
OK	68754	1311	☐	BMTSG1	
	0.898	0.156		SS400	235000
OK	68751	1331	☐	BMBSG1	
	0.956	0.194		SS400	235000

b) 101동 102동의 응력비 검토



• Max Displacement

7.3 mm 〈 25.0 mm ••••••••••••••••••••O.K



• Max Displacement

24.1 mm 〈 26.3 mm ••••••••••••••••••••O.K

c) 101동 102동의 변위 검토

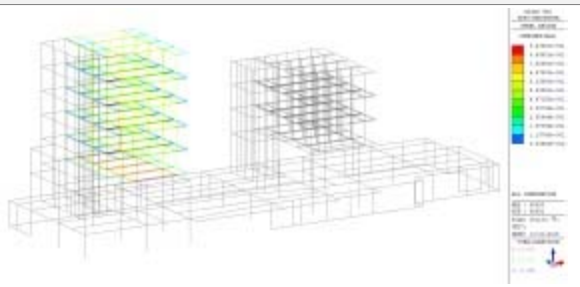
- 대안 (Dead Load + Live Load + 횡력)
- 횡력이 작용 할 때의 경우에 대해 최적의 부재 사이즈를 검토하여 제시하고자 함. 응력 및 수직변위 허용을 만족하는 최적 부재사이즈는 다음과 같음
- 또한 102동의 경우, 모듈데이터에서 제시한 바와 같이 BMSC2 부재를 삭제하였으며, 101동의 경우는 더 이상 변경이 필요하지 않으므로, 제안하지 않음

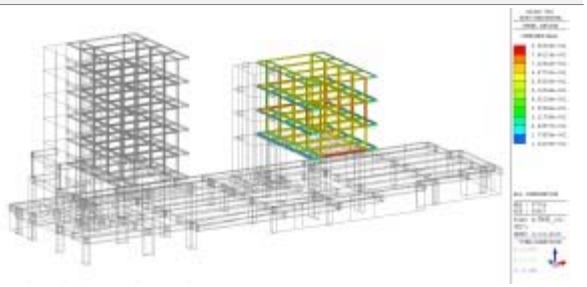
Section Name	Section Property
BMSC1	⊏-300x100x12x12
BMSC2	⊏-75x50x9x9
BMTSG1	⊏-150x100x10x10
BMBSG1	⊏-240x80x10x10

Section Name	Section Property
BMSC1	⊏-300x130x12x12
BMTSG1	⊏-130x100x6x6
BMBSG1	⊏-280x100x10x10

101동 | 102동

a) 101동 102동의 부재 사이즈 최적화

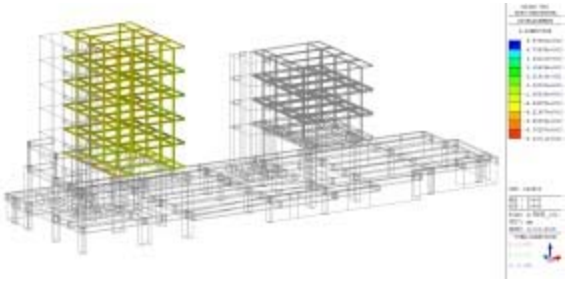


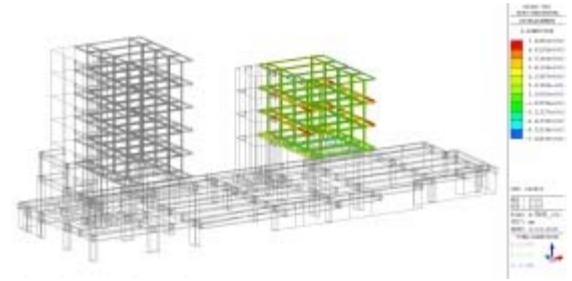


CHK	MEMB / COM	SECT / SHR	SEL	Section / Material	Fy
OK	43839	1110	☐	AMSC1	
	0.935	0.025		SM490	325000
OK	69356	1310	☐	AMTSG1	
	0.807	0.156		SS400	235000
OK	69393	1330	☐	AMBSG1	
	0.947	0.209		SS400	235000

CHK	MEMB / COM	SECT / SHR	SEL	Section / Material	Fy
OK	57756	1111	☐	BMSC1	
	0.865	0.042		SM490	0.32500
OK	58599	1311	☐	BMTSG1	
	0.680	0.125		SS400	0.23500
OK	57948	1331	☐	BMBSG1	
	0.837	0.196		SS400	0.23500

b) 101동 102동의 응력비 검토





• Max Displacement
7.3 mm 〈 25.0 mm ••••••••••••••••••••O.K

• Max Displacement
7.3 mm 〈 26.3 mm ••••••••••••••••••••O.K

c) 101동 102동의 변위 검토

❍ 소결

- 모듈러를 구성하는 주요구조부재의 단면 Size를 최적화 시키기 위하여 단위 모듈러와 전체 구조물에 대한 구조검토를 실시한 결과는 다음과 같음

- 101동(A동)은 모듈러 층수 5개층, 슬래브 두께 150mm, 모듈러 1개 철골조 무게 약 2.1 Ton. 상부보(AMTSG1)와 하부보(AMBSG1)는 작용하중에 각각 개별적으로 거동함

- 102동(B동)은 모듈러 층수 3개층, 슬래브 두께 210mm, 모듈러 1개 철골조 무게 약 2.3Ton. 상부보(BMTSG1)와 하부보(BMBSG1)가 기둥 BMSC2로 연결되어 같이 거동함

---

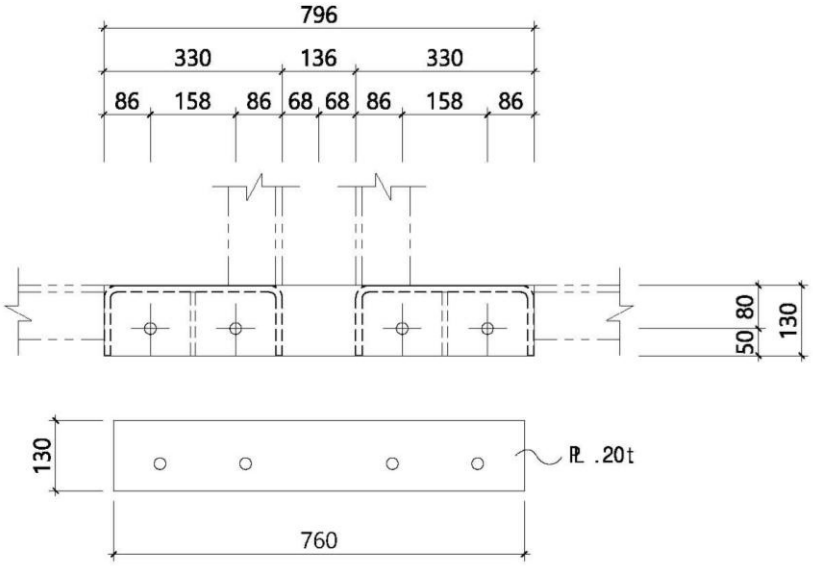
① 단위 모듈에서 기준층 상부 Cantilever 보는 구조적으로 제거 가능함
– 이 경우 101동은 약 4.5%, 102동은 약 3.3% 정도 철골량을 절감할 수 있음

② 단위 모듈에 대한 구조검토 결과
– 101동은 약 16.5%, 102동은 약 22.2% 정도 철골량을 절감할 수 있음

③ 모듈러가 횡력을 저항하지 않을 경우
– 101동은 약 16.5% 절감 가능하며, 102동은 약 22.2% 절감 가능함

④ 모듈러가 횡력을 저항할 경우
– 101동은 약 4.5% 절감 가능하며, 102동은 약 15.2% 절감 가능함

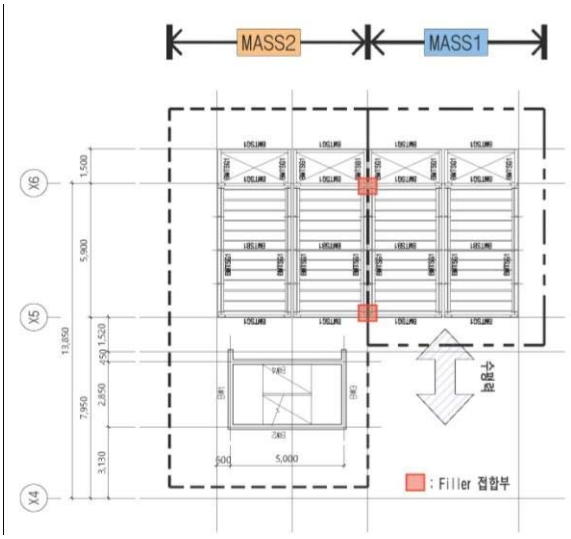
㉡ 모듈러 접합부 Filler Plate에 대한 안전성 검토



[그림 2.1.86] Filler Plate 상세도면

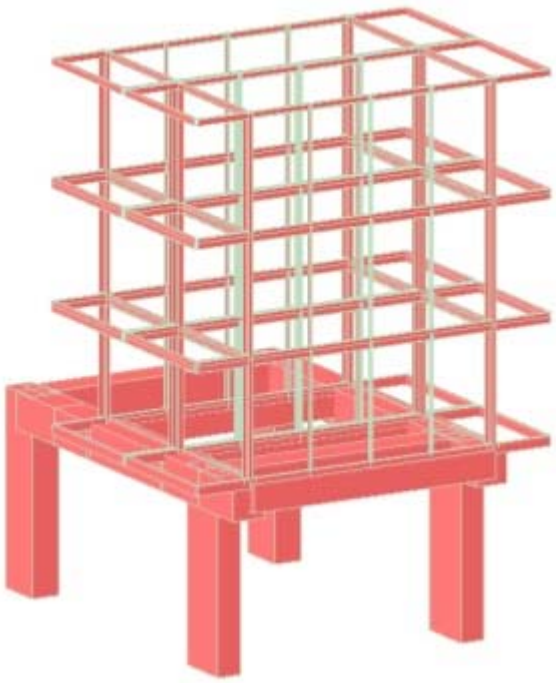
- 모듈간의 상/하, 좌/우 접합은 수평 연결 플레이트(Filler Plate)를 이용하여 고력볼트로 체결하도록 설계되어 있음. 수평 연결 플레이트의 고정은 상기 [그림 2.1.86]과 같이 고력볼트 4개가 1열로 배치되어 있으며 이 경우 수평 연결 플레이트에 응력 집중이나 볼트에 지렛대 작용으로 작용 응력이 급증 할 수 있음. 그러므로 다음의 과정으로 검토하고 그 결과를 소결에 나열함

❍ 층 전단에 대한 수평 연결 플레이트(Filler Plate)의 외력산정



[그림 2.1.87] MASS 2와 MASS 1의 영역

- 102동은 편심 코어로 설계되어 있으며 모듈러 2개 Line 이 층당 2개의 수평 연결 플레이트(Filler 접합부)로 지지되고 있음
- 이에 모듈러 2개 Line의 층간 수평력을 추정하기 위하여 아래와 같이 모듈러 2개 Line (Mass1)만 별도로 모델링하여 그 층간 수평 전단력 (Story Shear Force)을 산정하고 수평 연결 플레이트(Filler 접합부)에 작용하는 외력으로 가정함



		Shear Force	
Story	Spectrum	X (kN)	Y (kN)
7F	RX(RS)	5.5277e+000	1.0855e-001
6F	RX(RS)	4.5321e+001	6.7487e-002
5F	RX(RS)	4.8122e+001	7.2709e-002
4F	RX(RS)	6.9068e+001	5.7359e-002
3F	RX(RS)	7.0949e+001	6.3455e-002
2F	RX(RS)	1.0192e+002	5.3650e-001
1F	RX(RS)	1.8389e+002	1.2452e+000

• MAX. Story Shear Force
: 70.9 kN + 69.1 kN = 140 kN

a) Mass 1 의 3D Modeling

b) Story Shear Force

Mass1의 3D Modeling 및 Story Shear Force

- 102동은 RC 1개층 위에 2층부터 모듈러가 수직으로 총 3개가 있으며 층수는 4층 건물임. 구조해석용 모델링의 층수는 7층으로 되어 있으나 실제적으로는 다음과 같음

[표 2.1.27] 102동 층수

건축 도면 층수	구조 해석 층수	층간 수평 전단력
지붕층	7F	5.5kN
4층 바닥	6F	45.3kN
3층 천장	5F	48.1kN
3층 바닥	4F	69.0kN
2층 천장	3F	70.9kN
2층 바닥	2F	101.9kN
1층 천장	1F	183.8kN

- 따라서 모듈러 중 가장 크게 작용하는 수평 전단력은 2층 천장과 3층 바닥 전단력임. 그러므로 MASS1의 최대 수평력은 3층 바닥에서 140 KN 이며, MASS1과 MASS2가 서로 반대 방향으로 움직이는 것을 고려하여 최대 수평력을 2배(280kN)로 가정함. 3층에서 두 개의 Filler Plate 접합부에 작용하는 최대 수평력을 280kN으로 가정함

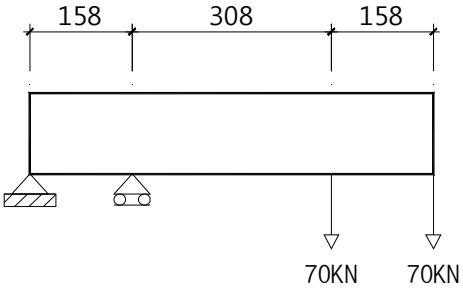
- 여기서 1개의 수평 연결 플레이트(Filler Plate)에 작용하는 하중은 [그림 2.1.88]과 같음

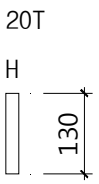


[그림 2.1.88] Filler Plate의 3D Modeling + 3층 Story Shear Force

❍ Filler Plate의 내력검토

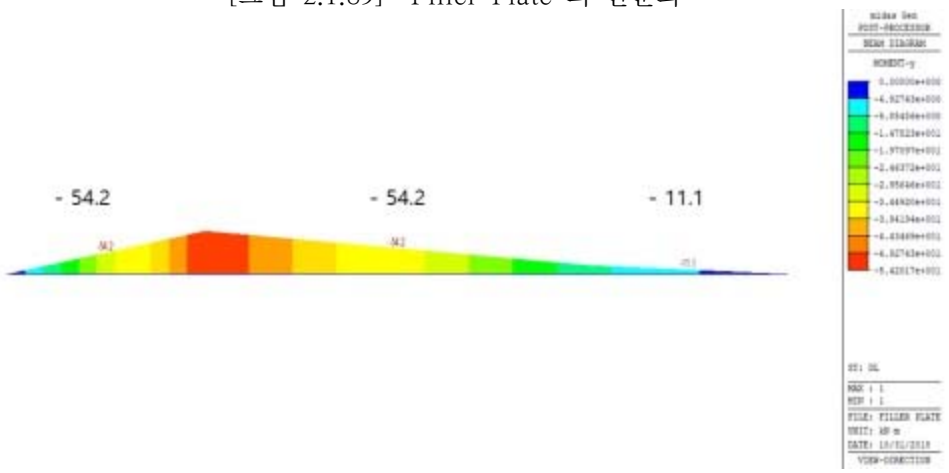
- Filler Plate의 내력을 검토하기 위하여 Filler Plate의 크기 그대로 다음과 같은 해석 모델을 설정하고 Filler Plate 하나에 작용하는 최대하중 140kN을 Mass1의 볼트 위치에 작용하는 것으로 하여 구조해석을 시작함



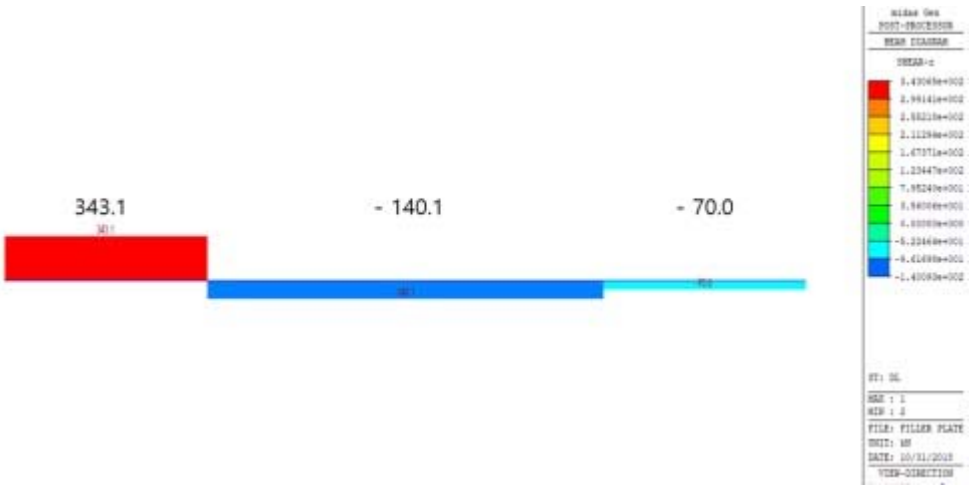


(단위 : mm)

[그림 2.1.89] Filler Plate 의 단순화



[그림 2.1.90] B.M.D



[그림 2.1.91] S.F.D



[그림 2.1.92] B.M.D

❍ 내력평가

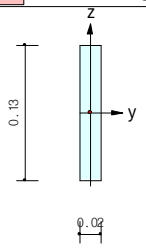
midas Gen **Steel Checking Result**

Certified by:

	Company		Project Title	
	Author	콜로바스	File Name	C:\...\FillerPlate.mgb

1. Design Information

Design Code : KSSC-LSD16
Unit System : kN, m
Member No : 2
Material : SM490(No:1)
(Fy= 325000, Es= 205000000)
Section Name : PL(No:1)
(Built-up Section).
Member Length : 0.30800



Depth	0.13000	Width	0.02000
Area	0.00260	Asz	0.00173
Qyb	0.00211	Qzb	0.00005
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.01000	Zbar	0.06500
Syy	0.00006	Szz	0.00001
ry	0.03753	rz	0.00577

2. Member Forces

Axial Force : Fxx = 0.00000 (LCB: 1, POS:I)
Bending Moments : My = -54.202, Mz = 0.00000
End Moments : Myi = -54.202, Myj = -11.062 (for Lb)
Myi = -54.202, Myj = -11.062 (for Ly)
Mzi = 0.00000, Mzj = 0.00000 (for Lz)
Shear Forces : Fyy = 0.00000 (LCB: 1, POS:1/2)
Fzz = -140.09 (LCB: 1, POS:I)

3. Design Parameters

Unbraced Lengths : Ly = 0.30800, Lz = 0.30800, Lb = 0.30800
Effective Length Factors : Ky = 1.00, Kz = 1.00
Moment Factor / Bending Coefficient : Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, Cb = 1.00

4. Checking Results

Slenderness Ratio
L/r = 53.3 < 300.0 (Memb:2, LCB: 1)..... O.K
Axial Strength
Pu/phiPn = 0.000/760.500 = 0.000 < 1.000 ..... O.K
Bending Strength
Muy/phiMny = 54.2017/24.3293 = 2.228 > 1.000 ..... N.G
Muz/phiMnz = 0.00000/3.80250 = 0.000 < 1.000 ..... O.K
Combined Strength (Tension+Bending)
Pu/phiPn = 0.00 < 0.20
Rmax = Pu/(2*phiPn) + [Muy/phiMny + Muz/phiMnz] = 2.228 > 1.000 ..... N.G
Shear Strength
Vuy/phiVny = 0.000 < 1.000 ..... O.K
Vuz/phiVnz = 0.307 < 1.000 ..... O.K

5. Deflection Checking Results

L/ 300.0 = 0.0010 > 0.0005 (Memb:2, LCB: 2, POS: 0.1m, Dir-Z)..... O.K

Modeling, Integrated Design & Analysis Software
http://www.MidasUser.com
Gen 2018

Print Date/Time : 10/31/2018 12:51

[그림 2.1.93] 내력평가

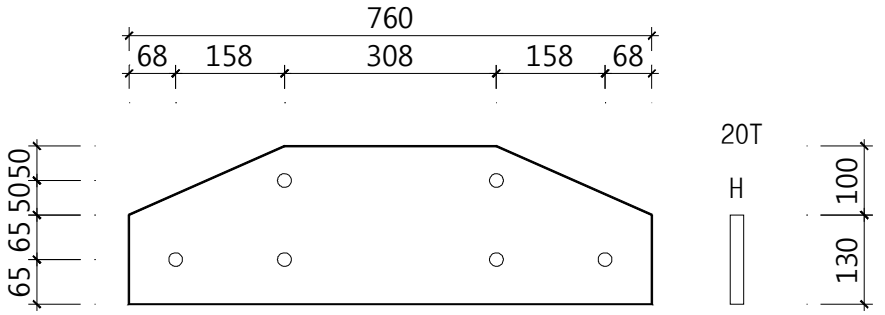
- BOLT 내력검토

볼트 한 본당 필요 Max Shear Force = 483.2 kN
(F10T)M20의 설계전단내력값 :
– 0.75 x 1(EA) x 500(F10T) x 314 x 2(면) x 10^{-3} = 235.5 kN 〈 483.2 kN
∵ (F10T)M20 볼트 사용시 ••• N.G

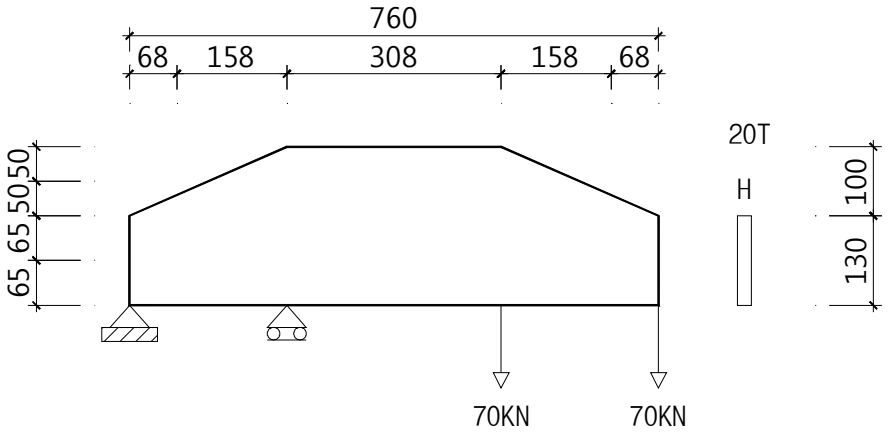
- Filler Plate의 안전성은 여러 가지 방법으로 접근하여 검토할 수 있으나 3.2.1과 3.2.2의 과정으로 검토한 결과 원안의 Filler Plate(20t 130x760)는 응력에서 2.23배 부족하고 볼트에서 2.05배 부족한 것으로 검토됨. 따라서 다음과 같은 개선안을 제시함

❍ 개선안

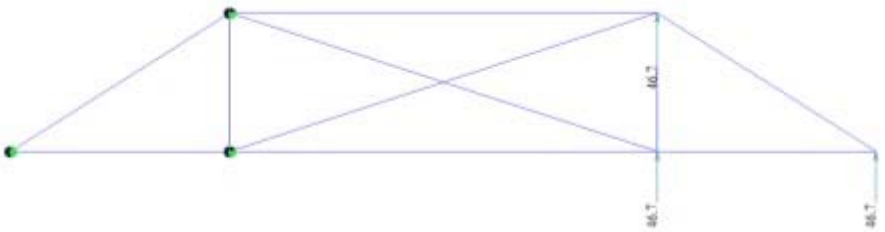
- 같은 두께로 Filler Plate Size를 키우고 볼트 개수를 추가함



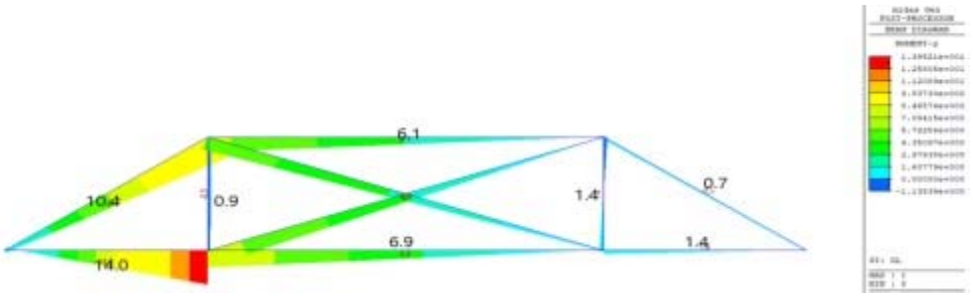
[그림 2.1.94] Filler Plate의 개선안



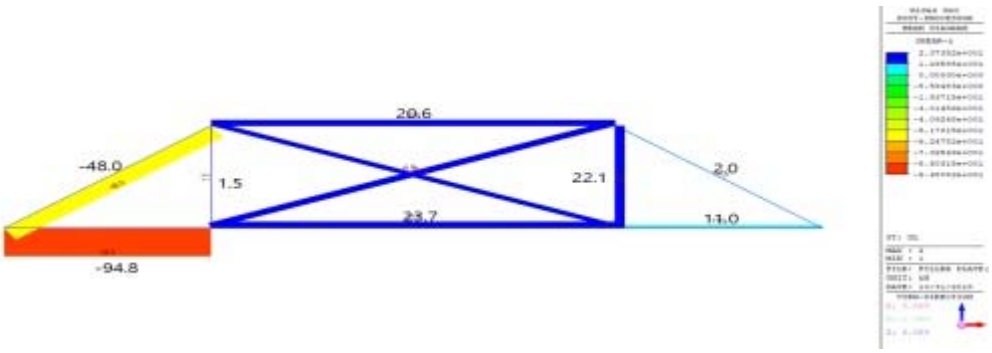
[그림 2.1.95] Filler Plate의 개선안 해석 모델



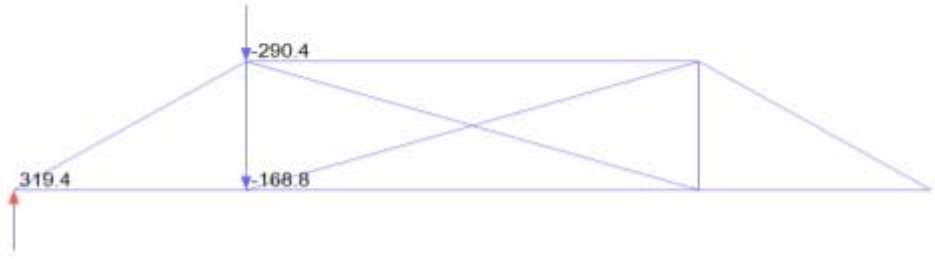
[그림 2.1.96] 개선된 Filler Plate의 모형화



[그림 2.1.97] B.M.D



[그림 2.1.98] S.F.D



[그림 2.1.99] Reaction

❍ 개선안의 내력평가

- Filler Plate 검토

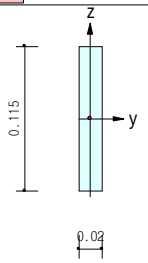
midas Gen **Steel Checking Result**

Certified by:

	Company		Project Title	
	Author	콜로비스	File Name	C:\...\Filler Plate(FRAME).mgb

1. Design Information

Design Code : KSSC-LSD16
Unit System : kN, m
Member No : 4
Material : SM490(No.1)
(Fy = 325000, Es = 2.05e+008)
Section Name : PL(No.1)
(Built-up Section)
Member Length : 0.19542



Depth	0.11500	Width	0.02000
Area	0.00230	Asz	0.00153
Qyb	0.00165	Qzb	0.00005
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.01000	Zbar	0.05750
Syy	0.00004	Szz	0.00001
ry	0.03320	rz	0.00577

2. Member Forces

Axial Force : Fxx = -315.69 (LCB: 1, POS:J)
Bending Moments : My = 10.4317, Mz = 0.00000
End Moments : Myi = 1.02538, Myj = 10.4071 (for Lb)
Myi = 1.02538, Myj = 10.4071 (for Ly)
Mzi = 0.00000, Mzj = 0.00000 (for Lz)
Shear Forces : Fyy = 0.00000 (LCB: 1, POS:1/2)
Fzz = -48.022 (LCB: 1, POS:I)

3. Design Parameters

Unbraced Lengths : Ly = 0.19542, Lz = 0.19542, Lb = 0.19542
Effective Length Factors : Ky = 1.00, Kz = 1.00
Moment Factor / Bending Coefficient :
Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, Cb = 1.00

4. Checking Results

Slenderness Ratio
KL/r = 56.9 < 200.0 (Memb:9, LCB: 1)..... O.K
Axial Strength
Pu/phiPn = 315.694/622.876 = 0.507 < 1.000 ..... O.K
Bending Strength
Muy/phiMny = 10.4317/19.2848 = 0.541 < 1.000 ..... O.K
Muz/phiMnz = 0.00000/3.36375 = 0.000 < 1.000 ..... O.K
Combined Strength (Compression+Bending)
Pu/phiPn = 0.51 > 0.20
Pmax = Pu/phiPn + 8/9 [Muy/phiMny + Muz/phiMnz] = 0.988 < 1.000 ..... O.K
Shear Strength
Vuy/phiVny = 0.000 < 1.000 ..... O.K
Vuz/phiVnz = 0.119 < 1.000 ..... O.K

Modeling, Integrated Design & Analysis Software
http://www.MidasUser.com
Gen 2018

Print Date/Time : 10/31/2018 13:33

[그림 2.1.100] Filler Plate 검토

- BOLT 내력검토

볼트 한 본당 필요 Max Shear Force = 319.4 kN
(F10T)M24의 설계전단내력값 :

– 0.75 x 1(EA) x 500(F10T) x 453 x 2(면) x 10^{-3} = 340 kN 〈 319.4 kN
∵ (F10T)M24 볼트 사용시 •••••••••••••••••••••••••••••••••••••• O.K

❍ 소결

- 201동 3층의 모듈러간 수평 연결 접합부인 Filler Plate를 대상으로 구조 안전성 검토를 실시한 결과는 다음과 같음

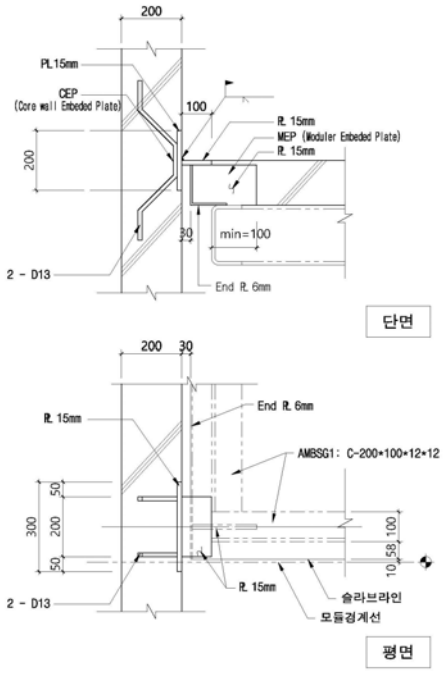
Filler Plate의 크기는 가로x세로가 130mmx760mm이고 두께가 20mm이며 4개의 고력 볼트가 모듈당 2개식 1열로 배치되어 있음. 이에 대한 구조 검토 결과 Filler Plate의 경우 편심 모멘트와 전단력을 고려한 경우 2.23배 응력이 초과되었으며, Bolt의 경우 Mass2에서 저항 하는 첫 번째 Bolt에 지레형 반력(Prying Force)이 작용하여 작용하중(140kN)보다 큰 반력(483kN)이 발생하여 내력이 2.05배 부족함

상기 구조검토 결과에 대한 개선안으로 동일한 두께에서 Filler Plate Size를 키우고 Bolt를 2열로 추가 배치하여 검토한 결과 Plate 내력비 0.98, Bolt 내력비 0.94로 1.0 이하로 안전하게 검토됨

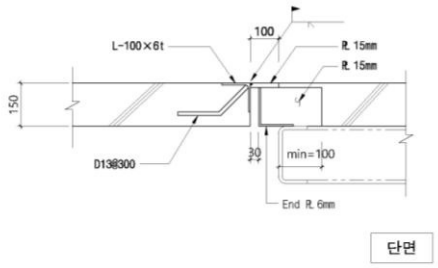
또한 모든 Bolt는 고력볼트의 마찰 접합이라 할지라도 모듈러의 접합부가 두 개소인 것을 고려한다면 계속적인 진동에 안전하도록 2중 Nut나 Nut 풀림방지 장치가 필요할 것으로 판단함

㉡ RC Core 벽체와 모듈러 접합부 시공성 검토

❍ 원안



a) 복도측 MODULE 과 RC CORE(벽체측) 접합상세

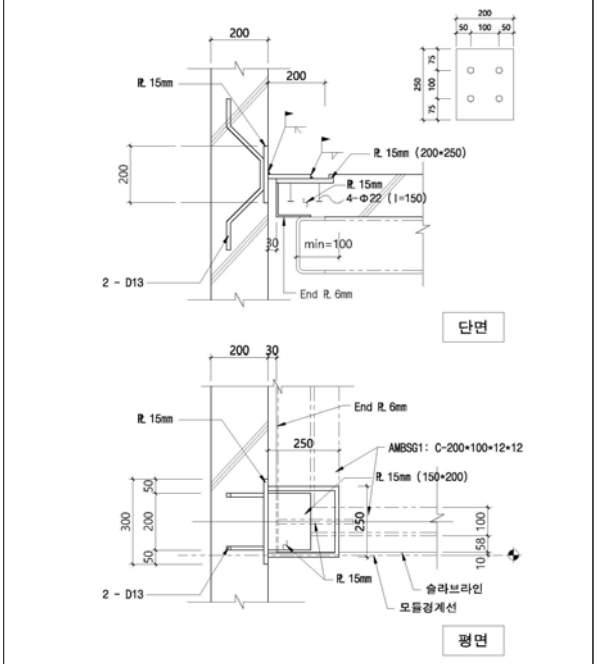


b) 복도측 MODULE 과 RC CORE(슬라브측) 접합상세

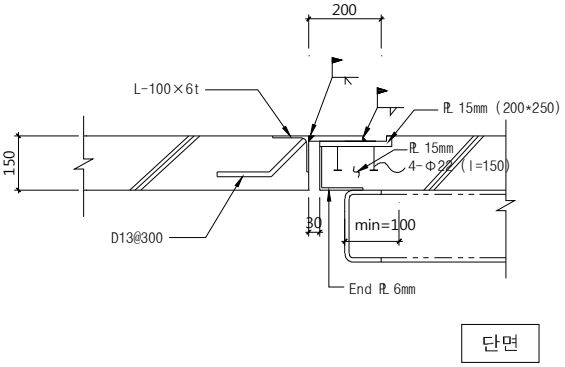
- 1개의 모듈러는 R.C CORE 벽체와 최소 2개소에서 접합되며 콘크리트 바닥이 있는 모듈러 하부 끝 부분(복도측)에서 현장 용접으로 접합함. 상기 도면 a)는 R.C CORE 벽체와 모듈러의 접합 상세이고, 도면b)는 R.C CORE 슬래브와 모듈러의 접합 상세임. 이 두 방법은 모두 R.C CORE의 Embeded Plate와 모듈러 Zig Plate를 현장에서 1면 용접하는 방법이며, RC CORE 벽체의 수직 시공 정밀도가 1~2 mm 이내로 정확해야 시공이 가능할 것으로 보임

- 그러나 R.C CORE 벽체의 수직 시공 정밀도는 철골설치 만큼 정확할 수가 없음. 만일 R.C CORE의 수직 시공 정밀도가 3~5mm 정도만 되어도 모듈러를 설치하면서 R.C CORE 벽체와 간섭이 되든 아님 하부 정착용 볼트와 간섭이 될 것임. 따라서 R.C CORE의 시공성을 고려하여 다음과 같은 방법을 제시함

❍ 개선안



a) 복도측 MODULE 과 RC CORE(벽체측) 접합상세



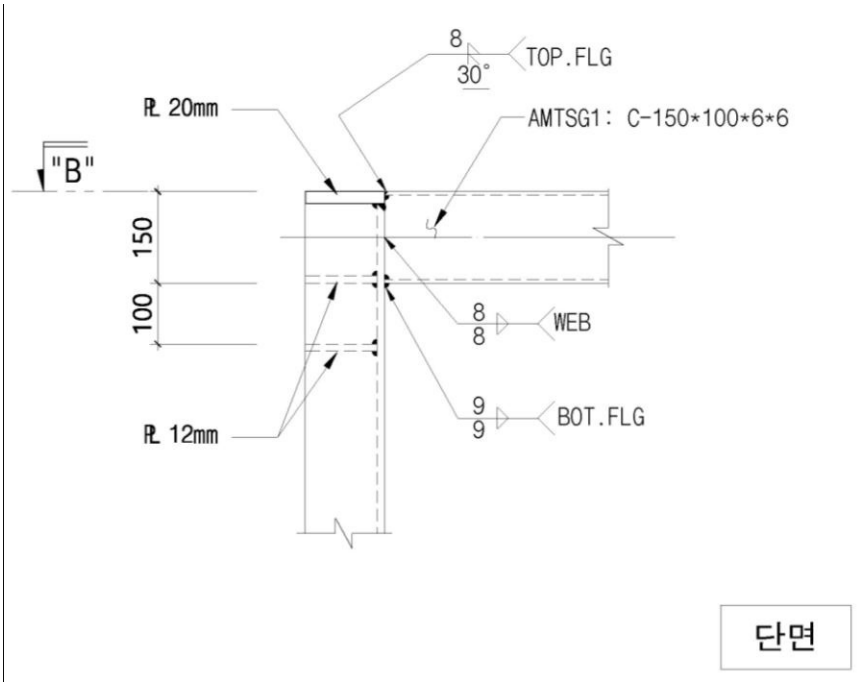
b) 복도측 MODULE 과 RC CORE(슬라브측) 접합상세

- 위 개선안은 현장 용접을 2면 용접으로 함으로써, R.C CORE 벽체의 수직 정밀도를 30mm 이내로 허용할 수 있음. 즉 R.C CORE 벽체가 수직으로 30mm 정도 오차가 있어도 모듈러는 수직으로 설치할 수 있으며 모듈러의 수직 설치가 완료되면 덧판 개념으로 Cove Plate를 2면 용접시켜 모듈러를 R.C CORE 벽체에 고정시킴

- 개선안의 설치 방법은 모듈러의 수직 및 수평 설치 시간을 단축시켜 시공성을 높이 수 있음

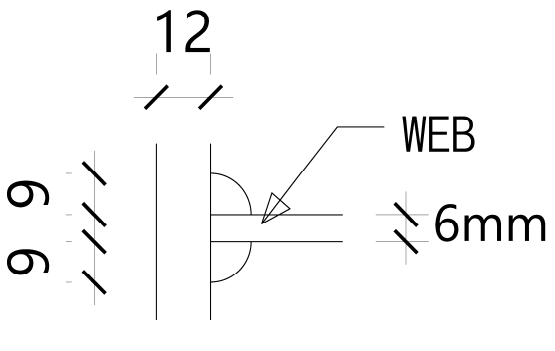
㉣ 모듈러 Main Member 용접 상세 검토

❍ 원안

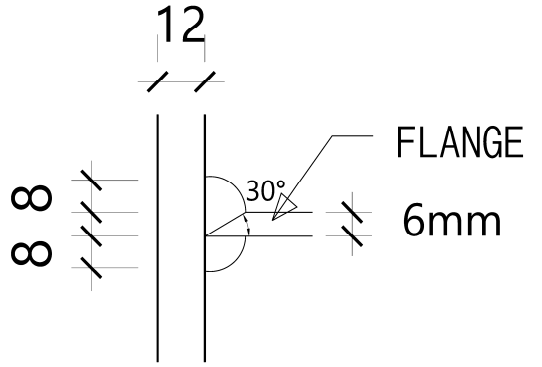


[그림 2.1.101] AMSC1 + AMTSG1 접합 용접상세

- A동 모듈러의 기둥 AMSC1(C-330x130x12x12)과 상부 보 AMTSG1(C-150x100x6x6)의 접합에서 기둥(12mm)과 보web(6mm) 부분은 8mm 양면 모살 용접으로 설계됨 (아래 "WEB 용접" 도면 참조)



[그림 2.1.102] WEB 용접333

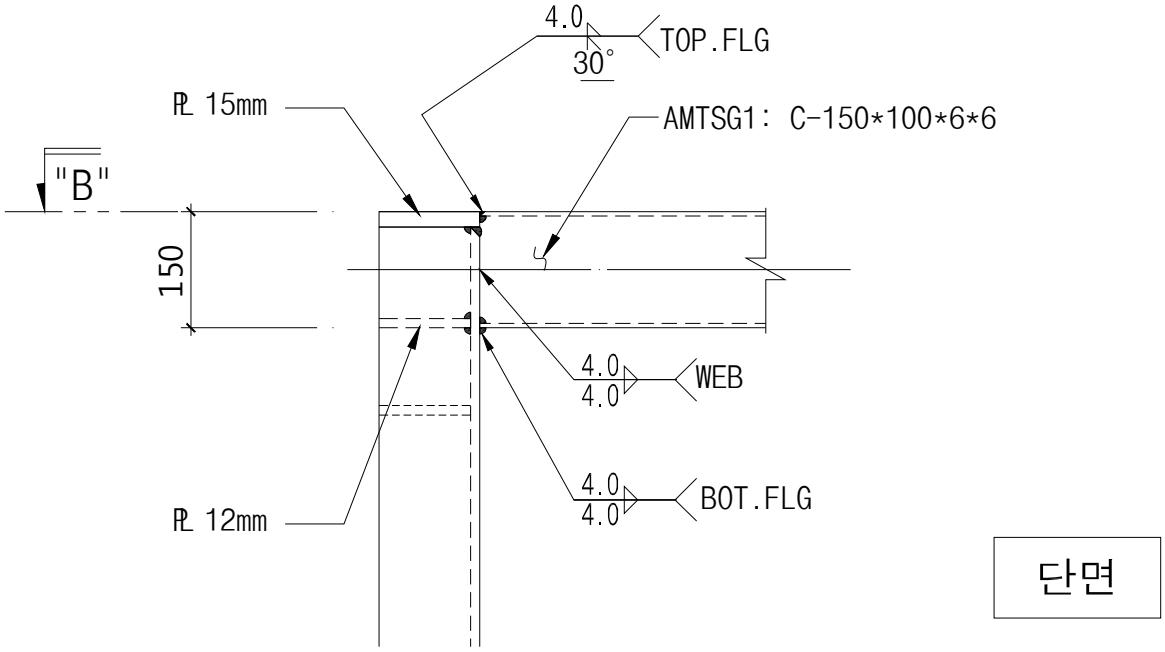


[그림 2.1.103] 상부 Flange 용접

- 보의 상부 Flange(6mm)는 일면 30° 개선용접, 1면 8mm 모살 용접으로 되어있고(위 "상부 Flange 용접" 도면 참조), 하부 Flange(6mm)는 양면 9mm 모살 용접으로 설계되어 있음

- 상기의 용접두께는 모재 두께 6mm에 비해 너무 두꺼운 것으로 판단됨
- 일반적으로 6mm이상의 최대 용접두께는 모재두께 보다 2mm 작게 해야하며 양면 용접으로 할 경우 보통 모재 두께의 0.7배 정도로 용접함
- 그러므로 아래 그림과 같이 상부보 AMTSG1의 용접 두께를 모두 4.0으로 제안함

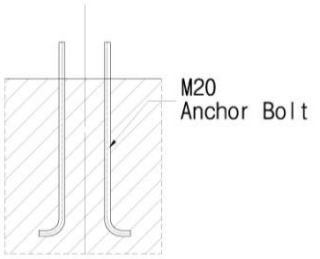
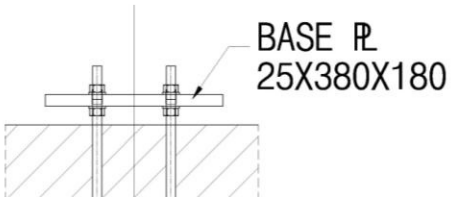
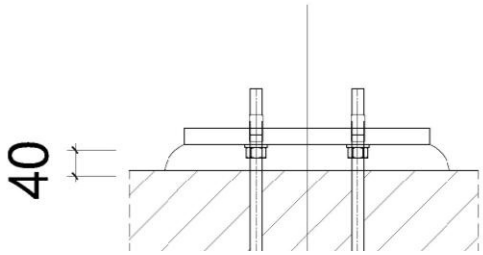
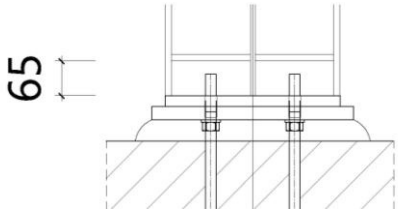
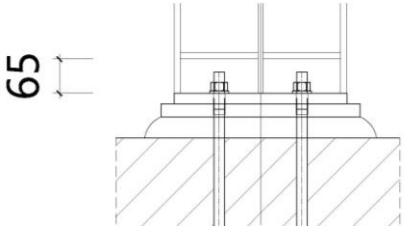
❍ 개선안



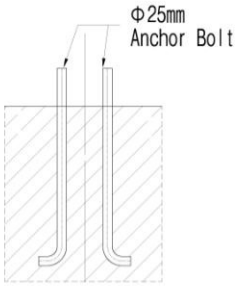
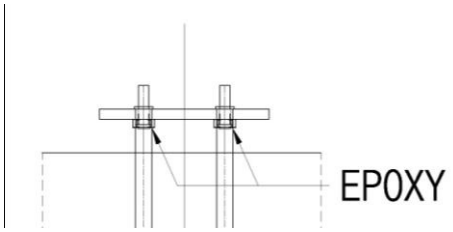
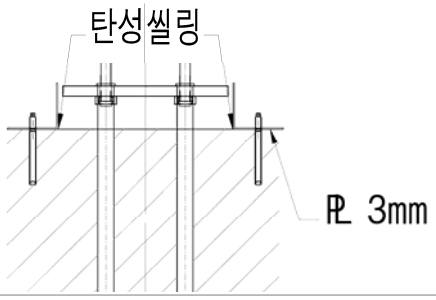
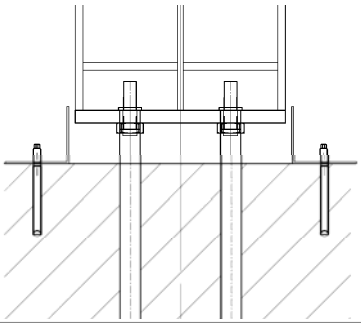
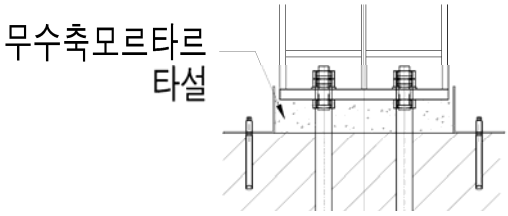
[그림 2.1.104] AMSC1 + AMTSG1 접합 용접상세

㉤ 최하단 모듈러 설치 방법 개선안

❍ 원안 시공 순서

①		2-M20 ANCHOR BOLT 설치 후 콘크리트 타설
②		모든 BASE PLATE LEVEL 조절 후 NUT 고정 하부 - 고정용 상부 NUT도 필요함.
③		무수축 모르타르 타설 후 상부 NUT 제거 ※주의 : 모르타르 부분은 향후 깨질 수 있음
④		상부 N 모듈러 설치 첫 번재 최하단
⑤		65mm 사이에서 NUT 조임 65mm 사이에서 작업공간이 너무 협소함.

❍ 개선안 시공순서

①		2-Φ25 ANCHOR BOLT 설치 후 콘크리트 타설
②		가설 PLATE를 이용하여 수평을 잡은 후 EPOXY 주입 후, NUT로 고정
③		PLATE 3mm 내후성 강판 거푸집 설치
④		첫 번째 최하단 모듈러 설치
⑤		2중 Nut 체결 후 무수축 모르타르 타설

❍ 소결

- 원안은 최하단 모듈러 설치 시 BASE PLATE를 2겹으로 설치함. 먼저 RC부분 공사가 끝나면 모든 Base Plate 위치 고정을 위하여 수직 높이와 수평을 조정하고 1차 Base Plate를 Nut로 고정시키고 무수축 모르터를 타설하여 완전히 고정시킨 다음 모듈러 하부에 부착된 2차 Base Plate를 올리고 볼트로 접합함(원안 시공순서 참조)
- 이 경우에 예상되는 문제점은 다음과 같음

1차 고정한 Base Plate의 수평도가 정확하지 않을 경우 1차 Base Plate와 2차 Base Plate의 접합이 경사지게 되면 응력 집중 등으로 모르터 파손 등이 우려됨

Base Plate 하부 고정용 무수축 모르터가 단부에서 점차적으로 파손될 수 있음

Base Plate를 2중으로 설치하여 비경제적임

- 상기 문제점을 보완하여 모듈러의 Base Plate를 하나만 설치할 수 있는 방법을 제시함(개선안 시공순서 참조)
- ANCHOR BOLT 직경을 M20에서 M25로 증가시키고 모듈러 자중을 볼트로만 지지할 수 있도록 설계하여 모듈러를 설치하고 볼트로 고정시킴. 미리 설치된 거푸집용 내후성 강판 내부로 무수축 모르터를 타설함으로 모듈러 설치를 완료함
- 한편 내후성 강판은 거푸집용뿐만 아니라 향후 무수축 모르터의 단부 파손을 막아줌으로 Base Plate의 내구성을 증대시킬 수 있어 구조안전성과 유지관리 측면에 유리함

㉤ RC 코아 벽체 P.C 구조화

- 원안의 코아는 철근 콘크리트로 계획됨. 이는 공사 기간이나 공사 정밀도 등이 문제가 되므로 PC WALL공법을 제안함

[표 2.1.28] PC WALL공법 제안

구분	사 진	내 용
원안		■ 장점 일반적인 공사이므로 공사가 쉬움 ■ 단점 -모듈러 구조에서는 코아 공사가 선행되고 모듈러 설치는 후공정이므로 공사 기간이 길어짐 - RC 코아의 수직도에 대한 정밀도가 많이 떨어짐 - 습식 공정이라 현장이 깨끗하지 못함
개선안		■ 장점 - 모듈러 구조에서는 코아 공사는 모듈러 설치와 유사하게 동시 공사가 가능함 - 코아의 수직도에 대한 정밀도가 높아짐 - 건식 공정이라 현장이 깨끗함 ■ 단점 - 건물 규모나 높이에 따라 필요 장비의 능력이 달라짐 - RC에 비해 공사비 증가가 예측됨



PC Wall 시공예 1



PC Wall 시공예 2



PC Wall 시공예 3



PC Wall 시공예 4

구조 적정성 소결

㉠ 모듈러 조부재 단면의 적정성 검토

- 원안의 모듈러시스템에 대한 적절성을 검토하고 단위 모듈, 전체모델, 접합부에 대한 구조검토를 실시하여 다음과 같은 개선방안과 기대효과를 서술함

■ 개선방안

- 모듈러를 구성하는 주요구조부재의 단면 Size를 최적화시키기 위하여 단위 모듈러와 전체 구조물에 대한 구조검토를 실시한 결과로부터 다음 세 가지 결론을 제시할 수가 있음

□단위 모듈러 검토결과, 모듈러의 주요 부재는 대부분 응력보다 변형에 의해 결정되었으며 101동과 102동 모두 철골량을 16.5% 이상 절감 시킬 수 있음. 또한 102동의 경우 상부보(BMTSG1)와 하부보(BMBSG1)를 기둥 BMSC2로 연결하여 같이 거동하도록 설계되어 있는데 101동과 같은 시스템으로 변경하면 약 5.7%정도 더 절감할 수 있음

□단위 모듈러를 검토한 결과와 모듈러 5개 층(B동은 3개 층)에 횡력이 없을 경우의 검토 결과가 거의 같은 결과로 검토되어 철골량을 약 16.5% 이상 절감할 수 있음

□모듈러가 횡력을 저항하도록 할 경우 모듈러가 5개 층인 101동은 약 4.5%, 3개 층인 102동은 약 15.2% 절감 가능함. 즉 모듈러를 높이 설치할수록 횡력을 많이 지지하게 되고 횡력을 많이 지지할수록 비경제적인 단면이 설계됨

■ 기대효과

- 따라서 RC 코아가 횡력을 100% 지지하면서 RC 코아의 강성을 조절하여 횡 변위까지도 제어하도록 설계한다면 모듈러는 최적의 단면(약 20%절감)으로 설계될 것임

㉡ 모듈러 접합부 Filler Plate에 대한 안전성 검토

- 201동 3층의 모듈러 간 수평 연결 접합부인 Filler Plate를 대상으로 구조 안전성을 검토한 결과, 두께 20mm의 크기130x760인 Filler Plate는 2.23배 내력이 부족하고, Bolt 2.05배 내력이 부족함

■ 개선방안

- 동일한 두께에서 Filler Plate Size를 키우고 Bolt를 2열로 추가 배치함. Filler Plate는 해석 모델을 어떻게 가정하는가에 따라 검토 결과가 많이 다를 수 있음. 따라서 실험이나 정밀해석을 실시하여 보다 정확한 방법으로 검토할 것을 권함
- 또한 모든 Bolt가 고력볼트의 마찰 접합이라 할지라도 모듈러 간의 접합부가 두 개소인 것을 고려한다면 계속적인 진동에 안전하도록 2중 Nut나 Nut 풀림방지 장치가 필요할 것으로 판단함

㉣ RC Core 벽체와 모듈러 접합부 시공성 검토

- RC Core 벽체와 모듈러 접합부의 시공성을 검토한 결과 원안의 방법은 RC코어의 수직 시공 정밀도가 1~2mm 이내로 정확해야 시공이 가능함. 그러나 R.C CORE의 수직 시공 정밀도는 철골과 같이 정확하지 않아 시공이 상당히 어려울 것으로 판단하여 다음과 같은 방법을 개선안으로 제시함

■ 개선방안 및 기대효과

- Cove Plate를 이용하여 현장 용접을 2면으로 함으로써, R.C CORE 벽체의 수직 정밀도를 30mm 이내로 허용할 수 있어, 모듈러의 수직 및 수평 설치 시간을 단축시켜 시공성을 높이 수 있음

㉤ 모듈러 Main Member 용접 상세 검토

- 모듈러의 주요구조부재들에 대한 용접 상세를 검토한 결과 A동 모듈러의 기둥 AMSC1 (C-330x130x12x12)과 상부 보 AMTSG1(C-150x100x6x6)의 접합에서 12mm 두께의 기둥과 6mm 두께의 보가 플랜지 9mm, 웹 8mm로 양면 모살 용접으로 설계되어 있음

■ 개선방안 및 기대효과

- 일반적으로 6mm이상의 최대 용접두께는 모재두께 보다 2mm 작게 해야 하며 양면 용접으로 할 경우 보통 모재 두께의 0.7배 정도로 용접함. 그러므로 보의 용접두께는 플랜지와 웹 모두 4mm이하로 하여 경제성과 안전성을 확보할 수 있음

㉥ 최하단 모듈러 설치 방법 개선안

- 최하단 모듈러 설치 시 원안은 Base Plate를 2겹으로 설치하며 다음과 같은 문제점이 예상됨

□1차 고정한 Base Plate의 수평도가 정확하지 않을 경우 1차 Base Plate와 2차 Base Plate의 접합이 경사지게 되면 응력 집중 등으로 무수축 모르터 파손 등이 우려됨

□Base Plate 하부 고정용 무수축 모르터가 단부에서 점차적으로 파손될 수 있음

□Base Plate를 2중으로 설치하여 비경제적임

■ 개선방안

- 이에 상기 문제점을 보완하여 모듈러의 Base Plate를 하나만 설치할 수 있는 방법을 제시함. (개선안 시공순서 참조) 먼저 Anchor Bolt의 직경을 M20에서 M25로 증가시키고 모듈러 자중을 볼트로만 지지할 수 있도록 설계함. 모듈러를 설치하고 볼트로 고정시킨 다음 미리 설치된 거푸집용 내후성 강판 내부로 무수축 모르터를 타설함으로 모듈러 설치를 완료함

■ 기대효과

- 모듈러 설치를 빠르게 하고 내후성 강판으로 향후 무수축 모르터의 단부 파손을 막아줌으로 Base Plate의 내구성을 증대시켜 시공성 및 구조안전성과 유지관리까지 유리하도록 함

ⓗ RC 코아 벽체 P.C 구조화

■ 개선방안

- 원안의 RC 코아 벽체를 PC 구조로 제안함
- 원안의 철근 콘크리트 코아는 모듈러 설치 보다 선행되어야 하므로 ①공사 기간이 길어지고, ② 벽체의 수직 정밀도가 많이 떨어지며, ③ 습식 공정이라 현장이 깨끗하지 못함

■ 기대효과

- PC 벽체의 경우 대부분 설계과정은 RC벽체와 동일하여 특별하지 않으며 PC 코아 벽체 설치는 모듈러 설치와 거의 동시에 설치할 수 있어 공기가 빠르고 수직 정밀도가 높아져 접합 상세가 간단해짐. 또한 건식 공사라 현장이 깨끗해져 공사 현장 사고율까지 낮출 수 있음

ⓘ 향후 연구 과제

- 본 보고서에서는 원안에 대한 검토를 통하여 개선안을 제시함. 그러나 아직 기본적인 검토만 실시되었으며, 실시 설계 및 시공 방법을 발전시키기 위해서는 더 정밀한 검토가 요구됨. 이에 향후에 진행되어야 할 아이템을 다음과 같이 제안함

[표 2.1.29] 향후 연구 내용

아이템	향후 연구 내용	비고
횡력저항시스템	모듈러 접합부의 연성상세 개발에 관한 연구 탄성 베이스를 이용한 모듈러시스템	
모듈간 접합부	상하기둥 접합 방법 및 그 방법에 대한 성능실험 – 연결플레이트 + 볼트 방식(원안) – 벨트 체결 방식 – 장볼트 체결 방식 – 연결용 소켓 방식 모듈러 천장보 단부 핀접합 검토	
구조물 강성의 편심 대책	편심에 의한 비틀림은 단위모듈러가 아닌 전체구조시스템으로 접근 – 외측면부 단독 브레이스 시스템 적용 – 최외측 모듈러에 브레이스시스템 적용	
양중 및 운반 대책	모듈프레임에의 양중 지그 설치 위치 양중을 위한 지그프레임 제작	
기타	볼트체결방법, 볼트접합내력 및 변형성능 검토 체크리스트 작성 – 설계상, 제작상, 시공상 RC조 + 단위모듈러 (평면위치 및 수평레벨 조정) RC부와 접합부 검토	

(4) 공공 모듈러 임대주택 표준화 방안

① 공공 모듈러 임대주택의 표준화

㉠ 배경 및 목적

- 최근 모듈러 실증사업의 일환으로 가양동에 총 30세대의 모듈러 실증단지가 건립됨(2017.12). 우리나라 최초의 주택법 기준을 통과한 공동주택으로서 총 6층으로 건설되어 그 의미가 큼. 실증사업을 통해 경제성과 시공성 그리고 기술성 등이 실증되고 검증되었으며, 향후 이를 보다 개선할 수 있는 방안을 찾을 수 있는 기준을 마련하게 됨. 특히 기술성의 경우에는 주택법의 주택건설기준 등에 관한 규정의 내용과 공업화 주택인정기준을 만족하기 위한 12가지 기술을 상정하였는데, 이 가운데 모듈러의 표준화와 규격화를 위하여 MC설계기준을 적용하는 기술이 포함됨. 이는 국토교통부의 설계도서 작성기준으로서 고시될 예정임
- 본 연구에서는 가양실증단지의 설계도서와 설계표준화 기준을 비교하여 MC설계기준 적용실태를 파악하고 적용상의 문제점과 개선사항을 도출하여 향후 모듈러 공동주택을 설계하는 과정에서 올바른 표준화 기준을 적용하고 설계기준을 수정보완하고 발전시켜나갈 수 있는 방안을 제안함

㉡ 연구방법

- 현재 국내에서는 공업화 주택 인증을 취득한 4개 정도의 모듈러 주택업체가 있는데 대부분 기존의 벽식이나 라멘조 및 무량판 공법의 공동주택과 유사하게 설계도서를 작성하고 있음. 그리고 업체마다 모듈의 기둥과 보의 접합부 형태는 물론 주요구조부의 치수가 각각 상이하여, 실제 모듈의 외형크기는 각각 상이하며 동일 업체의 경우에도 프로젝트별로 발주처의 상황과 요구에 따라 상이한 실정임
- 본 연구에서는 최근 국토교통부의 R&D에서 모듈러 실증단지로서 30세대 가양동 모듈러 아파트를 준공한 바있는데, 이를 국토교통부 모듈러 설계도서 작성기준(안)으로 고시 준비중인 설계기준과 비교하여 모듈러 생산 및 시공 업계의 표준화 수준을 파악하고자 함
- 이를 위해 본 연구에서는 가양실증단지의 기본설계도서를 입수하여 국토교통부의 고시(안)으로서 설계표준화 기준과의 비교분석을 통하여 정확한 MC설계적용 여부를 판단하고 문제점을 도출하여 향후 실무업계 등에서 정확한 설계기준 적용을 할 수 있는 기본지침을 마련함

② 모듈러의 표준화

㉠ 설계표준화를 위한 MC설계

- 모듈(Module)은 건축의 공업화 생산에 가장 합리적인 건축구성재 및 설계의 전반적인 치수정합 확립에 사용되는 가장 기본이 되는 치수단위이며 설계표준화의 도구로 활용됨. 따라서 건축 및 구성재의 치수관계를 모듈에 따라 조정하는 것을 말함. 일반적인 호칭으로 MC(Modular Coordination)라고 부름. 모듈정합의 궁극적인 목적은 설계 작업의 편의, 대량 생산과 공사비 절감, 건축재의 수송과 취급상의 편리,

건축 부품의 호환 및 수선의 편의성을 높이는데 있음. 모듈정합은 근본적으로 '공간의 최소단위'에 대한 추출에 노력이 집중되어야 하며 조합된 전체가 단위에 따른 비례체계로서의 질서를 느끼게 해줄 수 있을 때 모듈정합의 목표가 달성되었다고 할 수 있음. 이러한 모듈정합은 절대적인 것이 아니며 인간의 생활방법이나 도구의 변화발전에 적용하여 가장 효율적이며 가능성 있는 '단위' 및 '시스템'을 찾아내는 방법임

- 프리패브 건축은 공장생산을 전제로 하는 공업화 건축시스템이기 때문에 제작의 효율성 및 경제성 확보를 위해서는 MC설계가 필수적으로 이뤄져야 함. 즉 프리패브 건축의 설계표준화는 MC설계를 통해 구현되는데, 건축물의 주요 구조부(벽, 기둥, 바닥 등) 및 창 개구부의 위치 설정 등을 위한 규정으로(KS F 1525:2002) 수평 및 수직계획모듈 그리고 주요구성부의 증분치수설정 등의 설계기준 수립이 우선 필요함. 수직·수평모듈계획은 건축공간, 건축구성재 상호간의 호환성을 바탕으로 수평·수직계획 모듈 격자 체계를 정하는 것을 의미함.(Park & Kim, 2013) 국내의 MC 설계기준은 'International Standard ISO 2848 Building construction-Modular coordination-principle and rules'를 준용한 내용으로 기본적으로 수평모듈 계획은 300mm(3M / 1M= 10cm), 수직모듈 계획은 100mm(1M) 원칙으로 증분치수와 조립기준면이 설정되고 여기에 맞추어 주택 부품이 위치와 영역을 설정함

㉡ 모듈러 주택의 설계표준화 필요성

- 건축산업은 기술특성상 지금까지 현장산업의 기반에서 발전해왔음. 따라서 코스트의 절감이나 건축물의 성능향상 등에서 타 산업에 비하여 발전속도가 빠르지 못함. 그러나 모듈러 주택은 70%이상이 공장에서 이루어져 제조산업의 장점인 대량생산에 의한 원가절감과 시공의 질이 제고될 수 있는 충분한 여지가 있음. 이는 공장제조시에 관련 자재와 부품의 규격화의 기준으로 활용될 수 있음. 설계의 표준화를 통하여 유닛모듈의 조합에 의한 세대 형성시, 내부공간으로 포함되는 구조대 부분의 영역이 1M(100㎜)의 증분치수화가 가능하며 실 유효폭 치수가 30센티미터의 증분치수로 설정할 수 있어 이에 시공되는 내장재의 자재우선치수 적용이 가능해짐. 즉 모듈러 주택을 구성하는 각 유닛모듈의 내부 안목치수와 동시에 모듈이 접합되는 접합부위의 가변적인 구조대 치수를 동시에 30센티미터 또는 10센티미터로 설계가 가능하여 각기 상이한 업체별 접합부 설계치수와 상이한 프로젝트라 하더라도 자재 및 부품의 일정한 규격화가 가능함. 또한 내장부품은 물론 외장재도 일정한 치수로 생산시공할 수 있는 기술적 토대를 마련해줄 수 있어, 구조체와 내장재 그리고 외장재를 모두 일정한 모듈치수로 설계할 수 있음. 이상 일련의 기준이 국가적인 설계도서 작성기준으로서 인정받아 향후 법적으로 고시된다면 향후 클라이언트나 발주처와의 협의과정에서도 모듈러 주택을 생산하는 업계는 자사의 고유한 모듈 설계표준화 기준을 유지하면서 규격화 생산 시공 공급할 수 있는 토대를 마련할 수 있음

③ 가양동 모듈러 주택의 설계현황

- 2013년 국토교통부에서는 “수요자 맞춤형 조립식 주택기술개발 및 실증단지 구축”이라는 연구단급 규모의 국책과제를 시행함. 이를 통해 가양동에 6층 규모 30세대 규모의 국내 최초 모듈러 공동주택(일명 라이품 주택)을 실증사업으로 건축하게 됨. 다음의 [표 2.1.30]과 [표 2.1.31]에서는 가양동 모듈러 실증단지의 개요를 정리한 것임

[표 2.1.30] 가양동 모듈러 실증단지의 건축개요

단지명	라이품(SH공사에서 설정)
단지명 의미	Life’+‘品’의 합성어로 “생활을 품다”, 생활의 품격을 더하다 라는 의미
위치	서울시 강서구 강서로 515(가양동 1457-1번지)
규모	30세대 지하1층~지상6층 (101동 6층, 102동 4층)
구조	철근콘크리트 + 적층형 모듈러
공급방식	행복주택 (도시형생활주택)
사업배경	국토교통부 R&D사업으로 추진되는 “수요자 맞춤형 조립식주택(시스템주택)기술개발 및 실증단지구축” 연구사업의 일환으로 R&D 정부 출연금 지원받아 진행
추진공정	`16.11 공사 착공 / `17.11 준공 / `17.12 입주
입주계층	사회초년생 100% (신혼부부 2세대 포함)

[표 2.1.31] 가양 라이품 행복주택 세대구성

구분	가양 라이품 행복주택	
	101동 라멘식(적층)	102동 벽식(적층)
1인실(16m2)	주차장(2층),주동(6층)	주차장(2층),주동(4층)
2인실(34m2)	16세대	12세대
세대수(합계:30세대)	2세대	-
Unit(합계:32개)	20개(3mX5.7m)	12개(3mX5.7m)
입주대상자	사회초년생	
실구성	통합분리가변형	One Room 형



[그림 2.1.105] 가양 모듈러 주택 적용 공법(적층공법)

- 가양동 모듈러 주택에 적용된 모듈러 공법은 적층식 공법으로서 [그림 2.1.105]과 같이 라멘조와 벽식으로 각각 16세대와 12세대씩 1동씩 건축되었음. 기존 공영주차장을 대지에 1층 필로티 구조로 각각 4층과 6층의 모듈러 주택이 건축되었으며, 지하에는 기존의 공영주차장이 계획됨. 차량은 세대 주민을 위한 입구와 공영주차장의 입구가 분리되었으며, 각각 1층과 지하층에 계획됨([표 2.1.32] 및 [그림 2.1.106,2.1.107] 참조)



[그림 2.1.106] 가양 모듈러 주택 대지활용



[그림 2.1.107] 가양 모듈러 주택 배치도

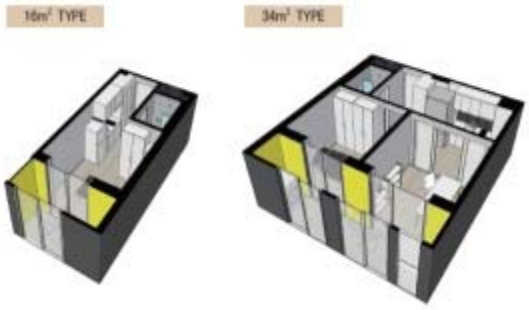
[표 2.1.32] 가양 모듈러 주택 설계개요

대지면적	1,436.00m²
건축면적	371.65m² / 2,068.12m²
건폐율/용적률	25.88% / 75.96% (법정 60% / 230% 이하)
세대수	101동 6층(18세대), 102동 4층(12세대)
주차대수	총53대 : 공영 39대, 세대14대
용도	공영주차장(지하1층), 근린생활시설(1층), 공동주택(2~6층)
시공사	하부공사(신우건설산업(주)), 모듈러주택(포스코 A&C)
발주처	서울주택도시공사

- 가양동 모듈러 주택은 1세대 1 유닛모듈(16㎡)로서 원룸주택으로 기본계획이 수립되었고 층별로 4호의 주택으로 구성되었으나 101동의 6층 최상층에는 신혼부부용으로 특별히 설계되어 2개의 모듈이 1세대(34㎡)를 이루고 있음 ([그림 2.1.110] 참조)



[그림 2.1.108] 가양 모듈러 주택 단면 및 평면구성



[그림 2.1.109] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면 유형



[그림 2.1.110] 가양 모듈러 주택 단위세대 평면계획

- 한편 가양 모듈러 주택은 [그림 2.1.110]에서와 같이 사회초년생 2인실이 101동 6층에 신혼부부용으로 계획되어 공급됨

- 가양 모듈러 주택이 갖고 있는 가장 중요한 의미는 국내 최초의 건축법이 아닌 주택법 주택건설기준 등에 관한 규정에 의거 건축된 최초의 공동주택이며, 다음의 [표 2.1.33]와 같이 일반 공동주택과 동일한 프로세스에 의해 건축됨

[표 2.1.33] 가양 모듈러 주택의 건축허가 프로세스

2015.02.11	도시건축공동위원회 심의(통과)
2015.04.23	공공건축가 자문
2015.06.25	서울시 공공주택통합심의소위원회 심의(자문)
2015.11.11	주택건설사업계획승인 완료
2015.11.19	주택건설사업계획승인 지형도면고시 (서울시 고시 제2015-360호)
2015.12.09	서울시 계약심사 통과
2016.09.30	시공사 선정
2016.11.11	착공
2017.02.20	모듈러 공장제작 착수(당진)
2017.06.30	지상층구조물 완료(공영주차장 1층 및 코어)
2017.07.13	모듈러 유닛 현장설치(주말제외 4일)
2017.07.18	모듈러 현장설치 완료
2017.11.10	공사준공
2017.12.29	입주

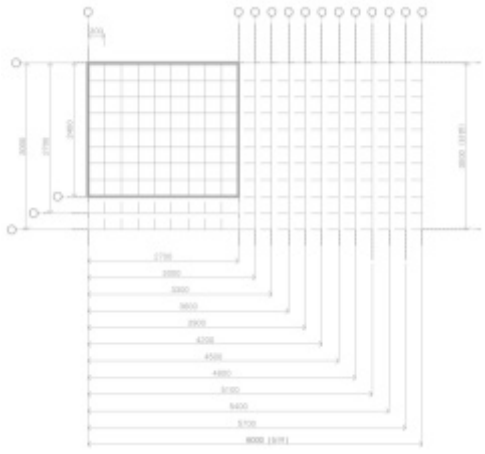
④ 모듈러 주택의 설계 표준화 기준 현황 및 적용실태

- 현재 모듈러 주택의 설계 표준화를 위해서 일련의 설계기준의 수립되어 있으며, 이는 일정한 공고기간이 경과된 후 고시될 예정임. 본 연구에서는 설계표준화 기준과 가양동 모듈러 실증단지의 설계사례를 상호 비교하여 정확한 기준적용 여부를 판단하고 수정내용을 제시하고자 함
- 설계도서 작성기준은 적용범위와 설계방법 그리고 치수설정 평면계획, 단면계획 등의 내용으로 구성됨. 이 가운데 모듈의 치수설정과 평면 및 입면계획이 설계표준화 기준 즉 MC설계와 직접적으로 연관되어 본 연구에서는 이 부분에 대하여 가양 실증단지의 설계도서와 비교하기로 함

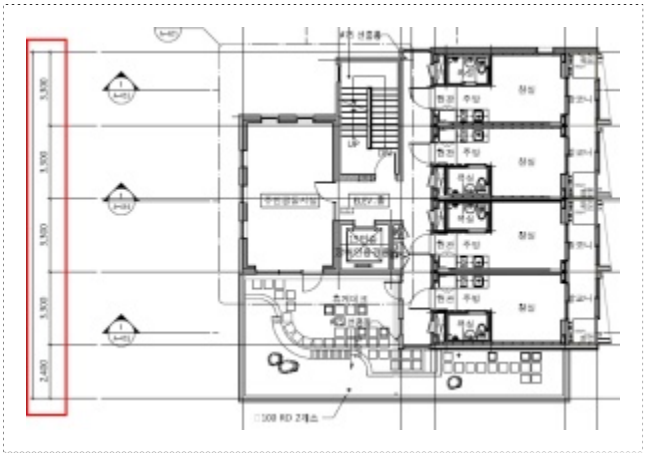
㉠ 모듈의 치수설정

❍ 조립기준면

- 설계기준에 따르면 모듈 내부공간의 크기는 장변 및 단변방향으로 300mm의 증분치수로 하며, 조립기준면으로 표시함. 단, 모듈운송의 문제 등으로 모듈의 치수 축소가 불가피한 경우 100mm의 증분치수도 인정함. [그림 2.1.111]에서와 같이 단변은 2400 그리고 장변 은 2700부터 300mm의 증분치수로 유닛모듈의 안목치수를 설정하는 예를 설명하고 있음. 단변의 최대치수를 3000mm로 설정한 것은 일단 도로 교통법상 외벽체와 단열재가 부착되는 경우 3400mm에 이르러 최대치수로 설정함. 그러나 장변 길이방향은 6000mm이상의 경우라도 300mm의 증분치수라면 기준에 부합하는 것으로 봄



[그림 2.1.111] Display of modular interior space and assembly reference plane



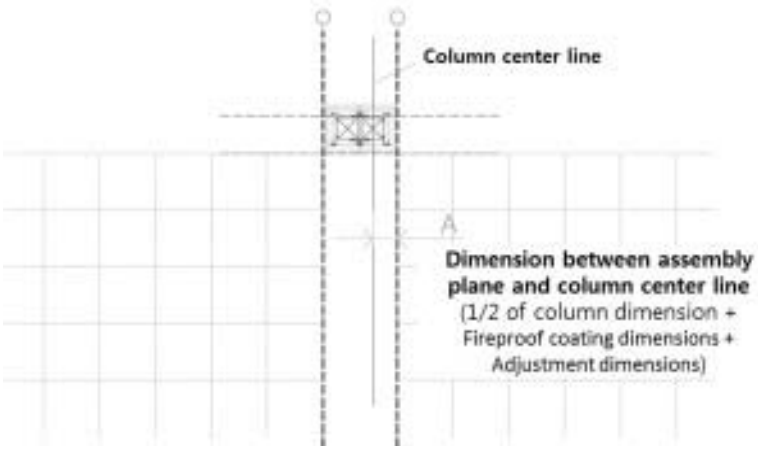
[그림 2.1.112] 모듈러 주택 내부공간 적용 치수(가양사례)

- 이상의 설계기준에 대하여 가양실증단지의 경우 [그림 2.1.112]에서와 같이 단변방향의 경우 3000mm의 안목치수로 설계기준에 부합하고 있으나 장변방향의 경우에는 5900mm로 6000mm를 벗어나고 있음. 그러나 예외적 조항으로서 기준에서 10센티미터의 증분치수도 인정하는 것으로 규정하고 있어 기준에 부합하는 것으로 인정할

수 있음. 따라서 가양실증단지는 안목치수를 기준으로 일정한 모듈의 증분치수를 적용한다는 점에서 설계기준에서 규정하는 모듈의 치수설정은 준용을 하는 것으로 인정됨

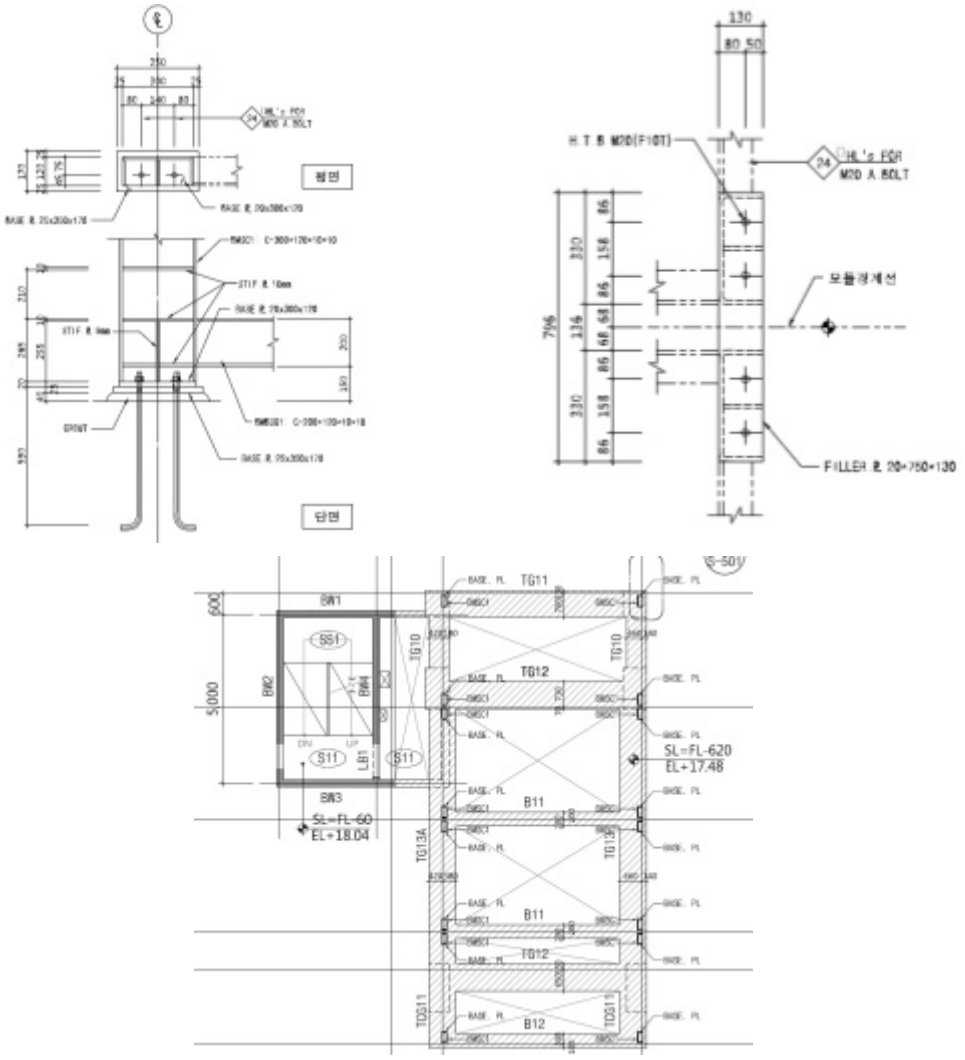
❍ 기둥 중심선

- 설계기준에 의하면 유닛모듈의 내부 조립기준면이 설정되는데, 수평계획모듈 조립기준면으로부터 일정치수(1/2 기둥치수+내화마감두께+조정치수)를 더한 치수를 이격시킨 가상선의 교차점에 기둥의 중심을 설정하는 것으로 규정함. 여기에서 조정치수는 구조대를 10센티미터의 증분치수로 설정하기 위한 치수로서 조립기준면으로부터 조정치수와 내화피복두께와 기둥두께의 2분의 1을 더한 치수를 이격시킨 가상선의 교차점에 기둥의 중심을 설정함([그림 2.1.113] 참조)



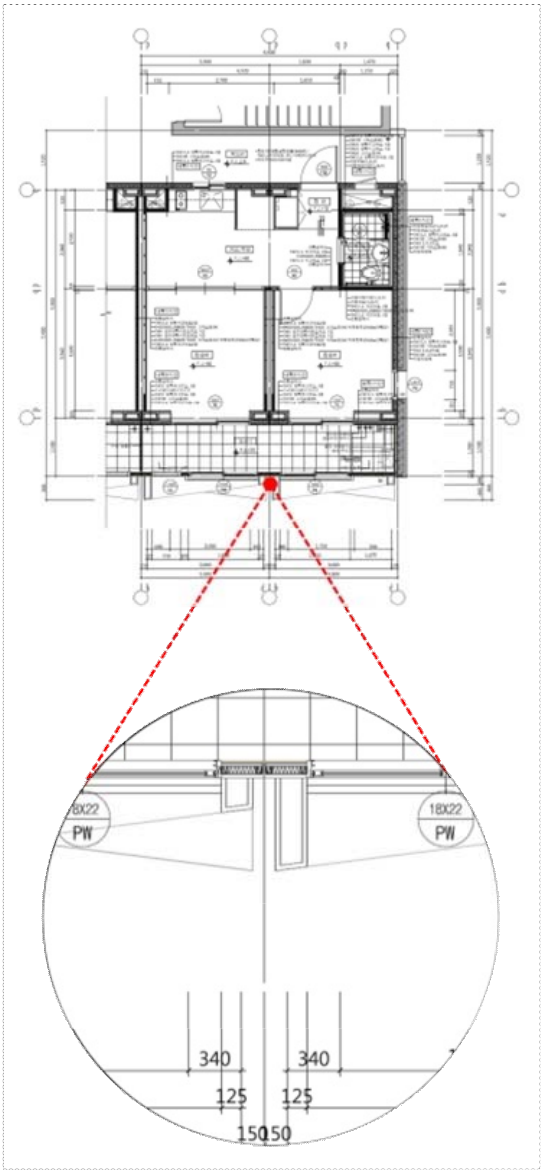
[그림 2.1.113] 조립기준면과 기둥 중심선

- 이상의 설계기준에 대하여 가양 모듈러 주택의 경우 모듈의 외곽치수는 틈값을 포함하여 3300mm로 설정되어 있음. 그리고 모듈과 모듈의 중심선에서 내부 조립기준면은 각각 150으로 설정됨. 여기에서 설계기준은 모듈과 모듈의 중심선은 도킹라인으로 별도의 기준으로 규정하고 있는데, 이에 반하여 가양도면에서는 도킹라인으로서 모듈경계선으로 표현됨. 구조도면에서 앵커를 설치하는 베이스 플레이트와 베이스 플레이트의 치수로 설정하고 있음. 다음 그림에서는 가양동의 베이스 플레이트의 단면과 평면 그리고 모듈이 장착되는 하부 구조평면도인데, 여기에서 도킹라인이 모듈경계선으로 표현되고 있으며, 이 모듈경계선으로부터 각각 68mm(틈값 10+ 공기층 20+석고보드 19t x 2장)가 이격되어 전체적으로 136mm의 간격을 보임. 그리고 모듈경계선(도킹라인)으로부터 243mm 이격되어 기둥의 중심선이 위치하게 됨. 결국 모듈경계선(도킹라인) 및 기둥의 중심선과 실 내부의 조립기준면간의 치수간에는 특정한 룰이 없는 것으로 이해됨. 이러한 경우 세대내부에 간막이 벽이 위치하는 경우 실내부 안목치수(최소 10cm의 증분치수)를 유지할 수 없음



[그림 2.1.114] 모듈과 모듈간의
접합부(가양사례)

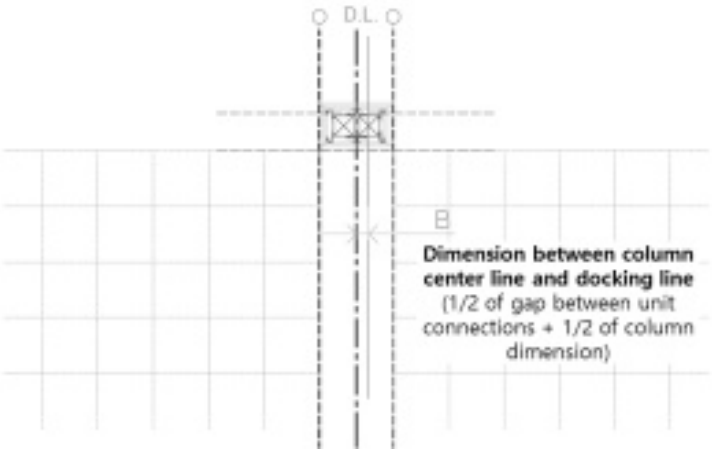
- 가양실증단지의 도서에서는 기둥과 조립기준면간의 치수는 별도로 표현되지 않음. 모든 치수의 시작점은 안목치수를 일정한 치수로 확보하는 조립기준면에서 시작해야 하는데 이것이 무시될 경우 모듈의 제작치수가 벽체의 내화마감치수 등으로 각각 상이하게 됨. 실제 가양단지의 경우 총 30세대 32개 모듈 중 24개 타입이 각각 다른 치수로 제작되어 모듈마다 개별로 내역 및 공정관리가 필요하고 이는 제작효율저하 및 공사비 상승 요인이 됨. 예를 들면 최외측 모듈과 중간모듈의 경우 내화벽체의 발생유무가 발생하여 결과적으로 두께 50mm내외의 차이가 발생하며 이로 인하여 모듈내부의 제작치수가 상이하게 제작됨. 결국 내부 조립기준면과 기둥중심선을 모두 동시에 수평계획모듈(3M이나 1M)에 맞출 수 없기에 이 가운데 내부 조립기준면을 최우선으로 수평계획모듈에 맞추고 여기를 기준으로 기둥의 중심선 그리고 이로부터 모듈경계선 즉, 도킹라인을 설정해야 함



[그림 2.1.115] 가양 모듈러 주택
조립기준면과 기둥중심 간의
치수적용(가양사례)

❍ D.L.(Docking Line, 도킹라인)

- 도킹라인(Docking Line)이란 모듈과 모듈이 접합되는 경우 설정되는 모듈간의 중심선(모듈 경계선)을 말함. 기존 건축물의 경우에는 기둥의 중심선에 설정되는 축열선을 말한다. 모듈러 주택에서는 인접하는 모듈의 기둥과 기둥의 중심선에 해당됨. 즉 건축물의 축열에 해당하는 가상선으로 모듈과 모듈 간의 중심선을 말함. 이는 미리 매립 설정되는 앵커의 중심먹줄의 기준이 됨
- 설계기준에 의하면 모듈러 구조체 기둥 중심으로부터 기둥 두께의 2분의 1과 모듈유닛 간 접합부 틈값의 2분의1을 더한 치수를 이격시킨 가상선을 DL으로 설정함. ([그림 2.1.116]) 참조



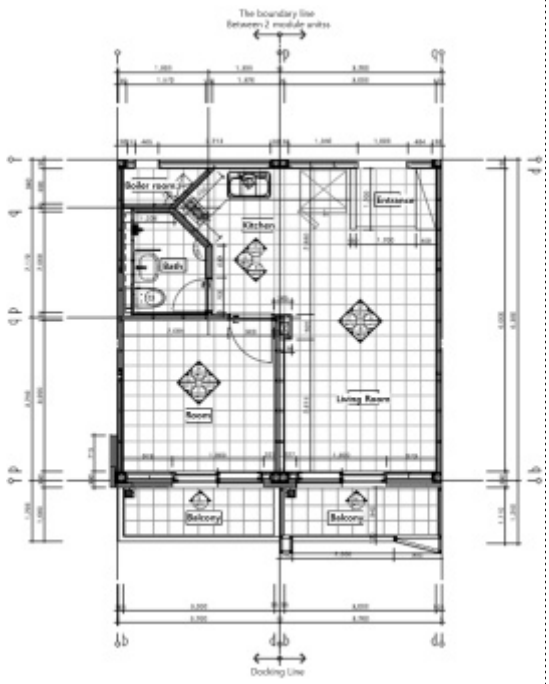
[그림 2.1.116] 모듈경계선과 도킹라인

- 가양단지의 경우 도킹라인이 [그림 2.1.116]와 같이 모듈경계선으로 표현된다. 단지 도킹라인에 해당하는 축열선을 기준으로 양쪽 방향으로 68mm씩의 틈값을 설정하였는데 이는 기준에 의하면 1/2접합부에 해당하는 치수라 할 수 있음. 이상 모듈의 치수설정에 관한 설계기준과의 비교에서 가양단지의 경우 도킹라인에 대한 표시가 도서에 없으며, 기둥중심선과 조립기준면간의 치수설정도 없음. 단지 모듈과 모듈의 중심선(D.L.)에서 조립기준면까지의 치수가 150mm로 설정되어 있음. 이 경우 가양동은 세대내 간막이 벽체가 이중벽으로 시공되어 문제가 없으나 향후 단일벽체로 설계된다면 양쪽 실 가운데 1개의 실은 안목치수를 만족하지 못하는 결과가 발생함

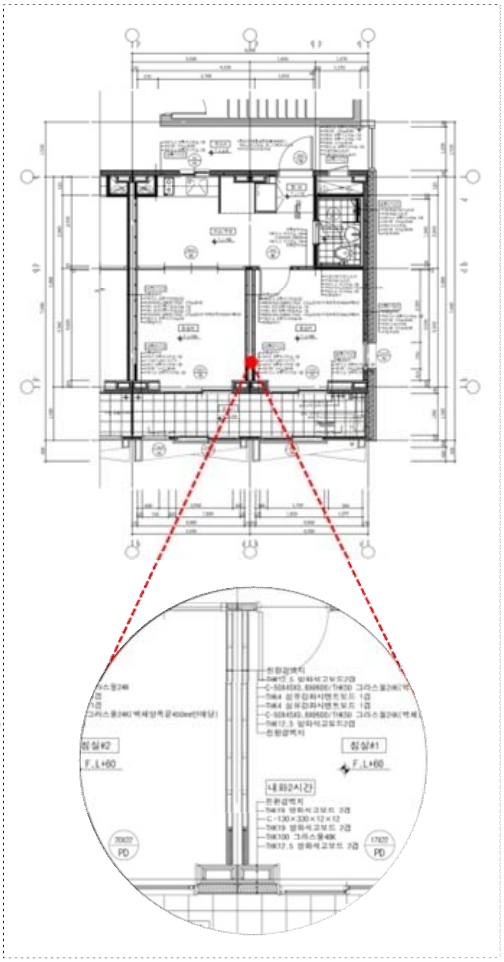
㉡ 평면계획

❍ 구조대의 계획

- 설계기준에 의하면 모듈러주택의 평면계획은 300mm로 구획되는 수평계획모듈격자에 따름. 단, 구조대는 기둥과 기둥이 만나는 부위로서 100mm의 증분치수를 원칙으로 함
- 구조대 내에는 세대내 간막이벽을 위한 보조 조립기준면을 설정함. 유닛모듈 간의 접합부가 위치하는 구조대를 1M(100㎜)의 증분치수로 설정함
- [그림 2.1.117]는 구조대가 설정된 설계기준을 적용한 설계사례로서 각 유닛모듈의 안목치수는 단변방향 3m, 장변방향 6m로서 모두 30센티미터의 증분치수에 만족함. 이때 거실과 방 사이의 실 간 간막이벽의 두께는 200㎜이며, 구조대 내의 보조조립기준면 상에 위치하여 설계기준을 만족함

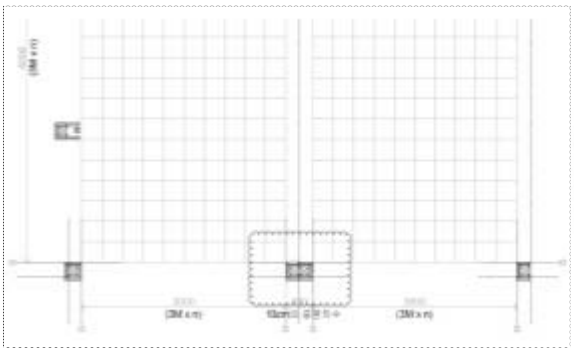


[그림 2.1.117] 평면계획이 적용된 설계사례(설계기준 적용사례)

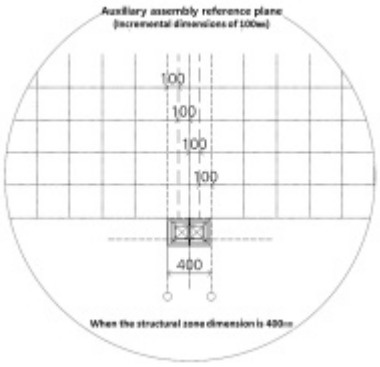


[그림 2.1.118] 가양동 모듈러 주택 평면계획(가양사례)

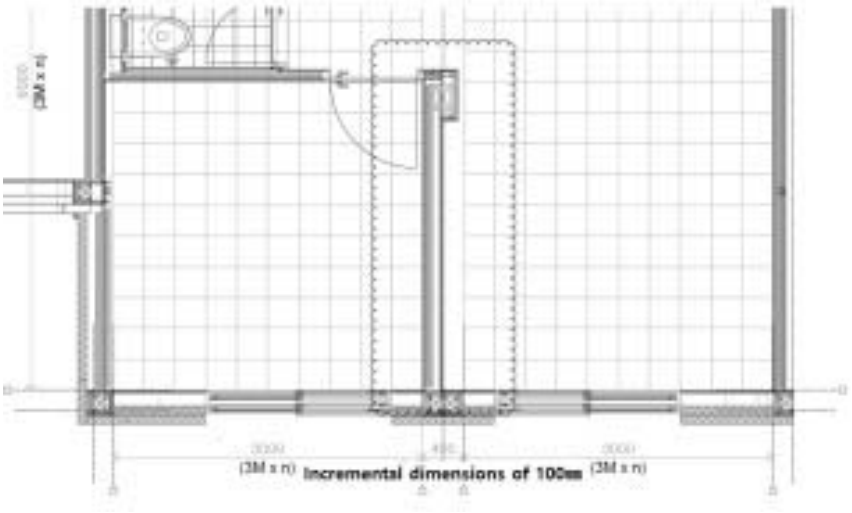
- 그러나 [그림 2.1.118]은 가양동 모듈러 주택의 신혼부부용 주택평면인데, 구조대의 치수를 살펴보면 980으로 설계되어 있어 설계기준에는 부합하지 않음. 설계기준에 따라 900이나 1000mm로 설계된다면 기준에 부합하게 됨



[그림 2.1.119] 구조대의 치수 설정 예 (구조대가 400㎜인 경우, 설계기준)

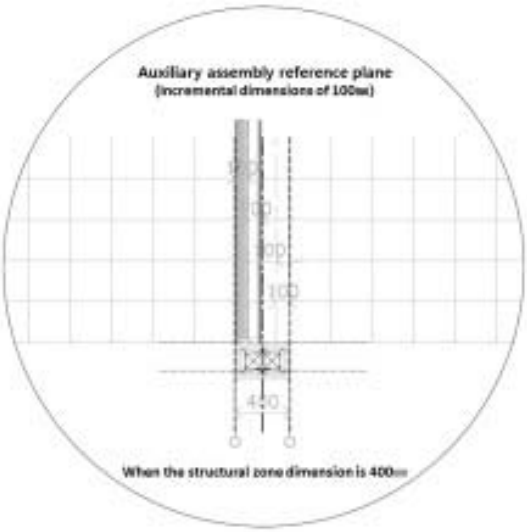


[그림 2.1.120] 구조대의 치수 (설계기준)



[그림 2.1.121] 구조대 내의 세대내 간막이벽의 설치 (기준설계사례)

- 이를 구체적으로 세부적인 구조대내의 보조조립기준면의 설정을 설명하면 [그림 2.1.119], [그림 2.1.120], [그림 2.1.121]과 같음. 즉 주요 구성 실(거실, 침실, 부엌, 화장실) 각 변의 치수는 안목치수 300mm 증분치수 적용을 우선적으로 적용하고, 불가피한 경우에는 보조모듈 증분치수인 100mm 증분치수를 적용할 수 있음. 이때 세대내 간막이벽과 세대 간 간막이벽은 보조조립기준면에 맞추어 계획함([그림 2.1.122] 참조)



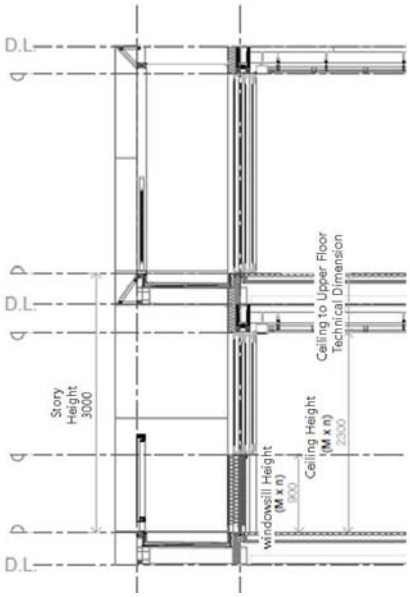
[그림 2.1.122] 구조대 내의 세대내
간막이벽체 설치(설계 기준)

- 이상의 설계기준은 2개 이상의 모듈이 접합되어 주택세대를 구성할 경우 결과적으로 내부의 실 안목치수가 30cm의 증분치수 또는 세대내 간막이벽체의 설치에 의해 10cm의 안목치수를 유지하게 되어 실단위의 MC를 유지하게 되는 효과를 기대할 수 있음

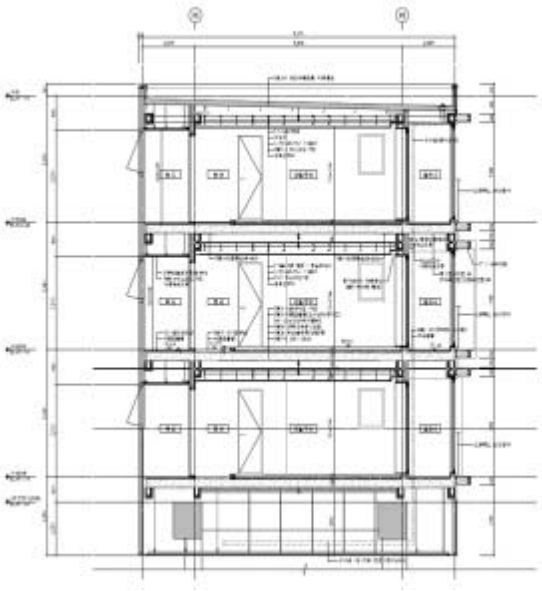
㉡ 단면계획

❍ 모듈의 단면계획

- 설계기준에 의하면 모듈러 주택의 단면계획은 자재 및 부품의 높이방향 길이치수의 규격화를 위하여 100mm의 증분치수로 설정되는 수직계획모듈격자에 따른다고 규정함. 이에 따라 층고는 아래층 바닥마감 기준면에서 위층 바닥마감 기준면까지의 치수로 100mm 증분치수를 적용하되, 보조적으로 5cm 증분치수를 적용할 수 있음. 한편 천장고는 당해층 바닥마감 기준면으로부터 천장마감 기준면까지의 치수는 100mm 증분치수를 적용함
- 층고 3,000mm, 천장고 2,300mm를 권장하되 불가피한 경우와 특수한 상황에서는 50mm 또는 100mm의 증분치수를 적용함
- 창문대의 높이는 바닥마감 기준면(발코니창 등 전면창 등)으로부터 창호의 하부기준면까지 300mm 증분치수를 원칙으로 하고, 보조적으로 100mm 증분치수를 적용함. 이때 전면 발코니 창의 경우, 창호의 하부 기준면까지의 치수는 0으로 적용할 수 있음
- 한편 다음의 [그림 2.1.123]은 모듈러주택 설계도서 작성기준이 적용된 단위유닛의 단면도로서 층고와 천장고, 창문대 높이는 1M의 증분치수로 설계되며, 이때 층간대의 경우는 기술적 치수로서 비모듈치수로 설계될 수 있다. 그러나 층간대의 치수도 1M의 치수로 설계한다면 향후 외장 마감재인 층간대 패널도 규격화를 기대할 수 있을 것임



[그림 2.1.123] 수직계획모듈(설계기준)



[그림 2.1.124] 층고 및 반자높이, 층간대의 설계(가양실증사례)

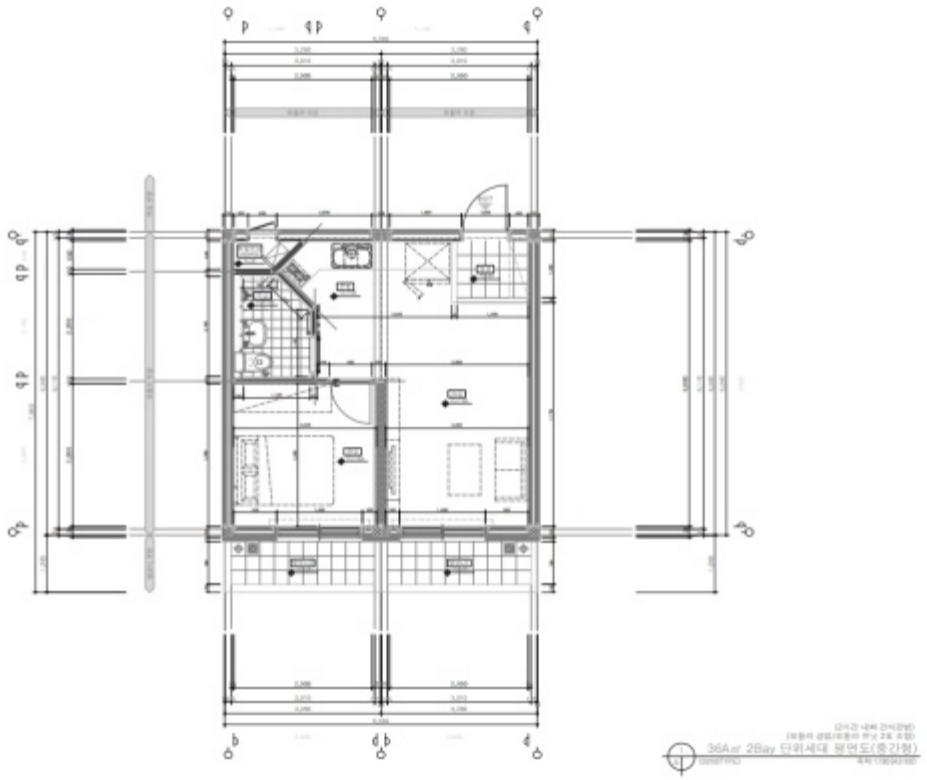
- [그림 2.1.124]는 가양동 실증단지의 단면도로서 천장고를 2,300mm으로 설정하고 층고는 3,150mm 그리고 층간대를 850mm으로 설정하여 층고와 천장고가 설계기준에 부합하는 것으로 나타남. 한편 층간대 850mm은 기술적 치수로서 50mm의 증분치수로 설계되어 기준에 부합하는 것으로 나타남

⑤ 모듈러 공공임대주택의 표준화 설계안 제안

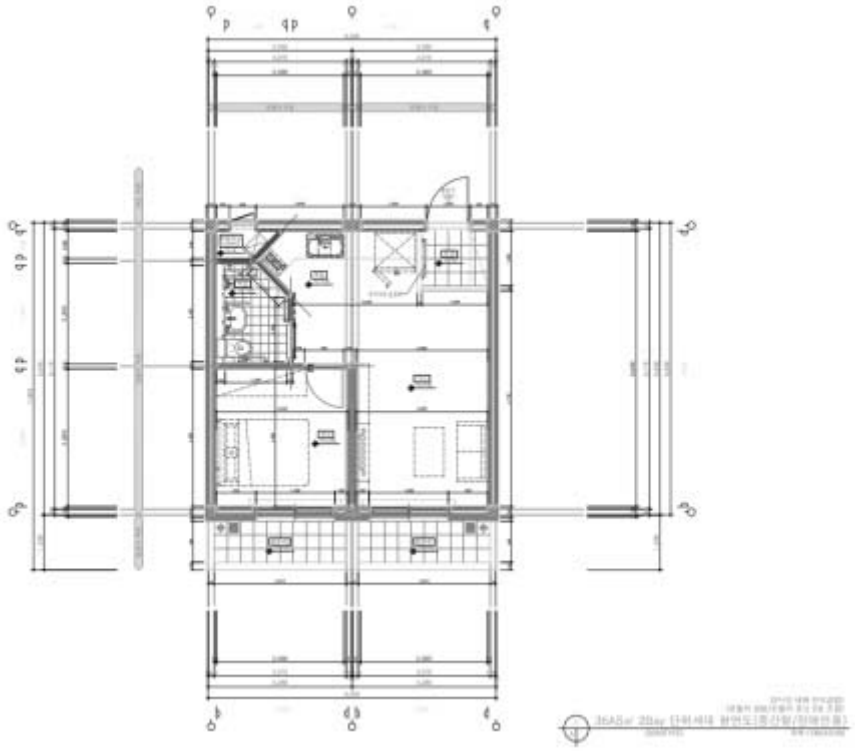
- 본 연구에서는 국토교통부에서 고시예정인 모듈러 주택의 설계도서 작성기준의 설계기준에 대하여 우리나라 최초의 모듈러 실증단지인 가양단지의 설계사례를 비교하여 설계기준의 실무적용 현황과 문제점을 파악하여 향후 모듈러 주택의 설계시에 정확한 설계기준의 적용방향을 제시하였음. 설계기준과 실제 적용사례를 조사한 결과는 다음과 같음

첫째, 조립기준면의 안목치수설정은 설계기준의 내용에 부합되어 적용하는 것으로 나타남
둘째, 그러나 다음 단계인 기둥의 중심선 치수설정과 도킹라인의 설정에서는 설계기준에 제대로 부합되지 않는 것으로 나타남
셋째, 평면계획에서는 구조대의 설정개념이 설계기준의 내용과 부합하지 않는 것으로 나타나 실제 내부 공간의 모듈화가 지켜지지 않을 수 있음
넷째, 단면계획에서는 층고와 천장고 그리고 창문대의 높이는 주요 기준면의 치수가 설계기준에 부합되는 것으로 나타남

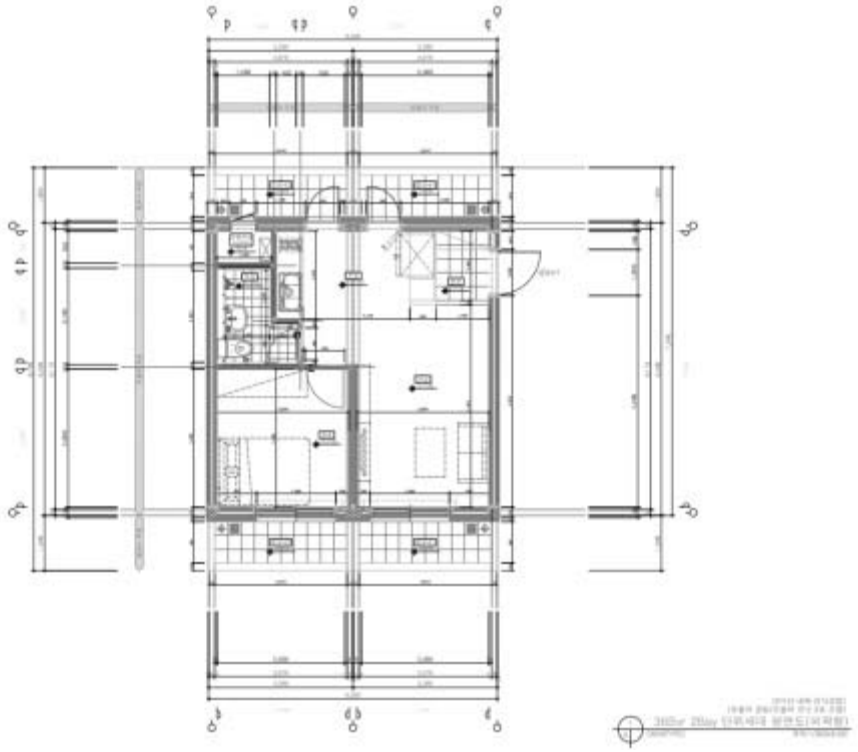
- 이상의 내용을 종합하여 LH와 SH가 향후 활용할 수 있는 모듈러 공공주택의 설계 프로토 타입을 제안하면 다음과 같음



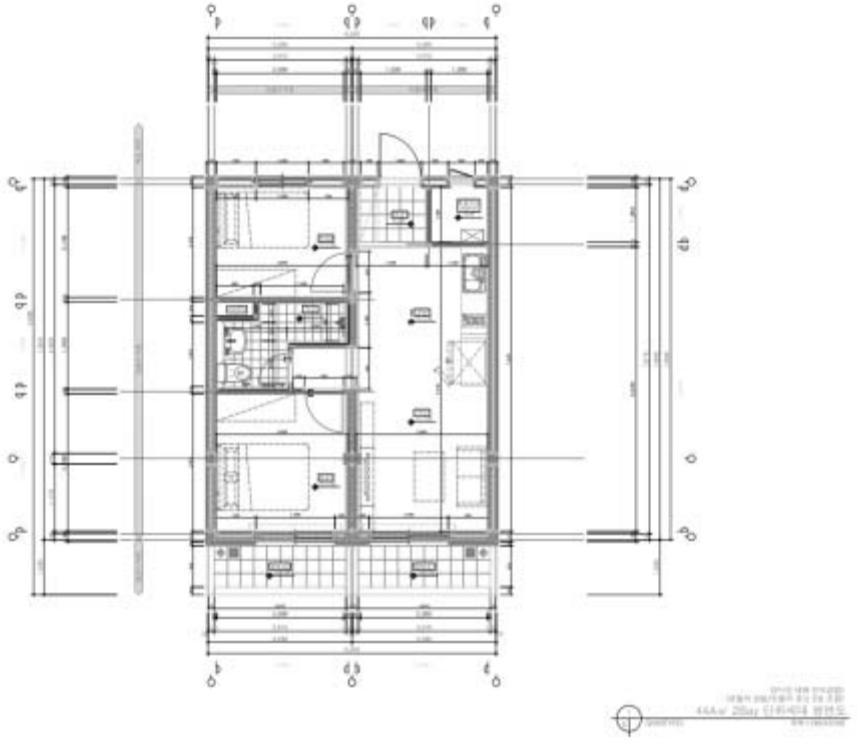
[그림 2.1.125] 36A㎡ 2Bay 단위세대 평면도(중간형) 설계 프로토 타입



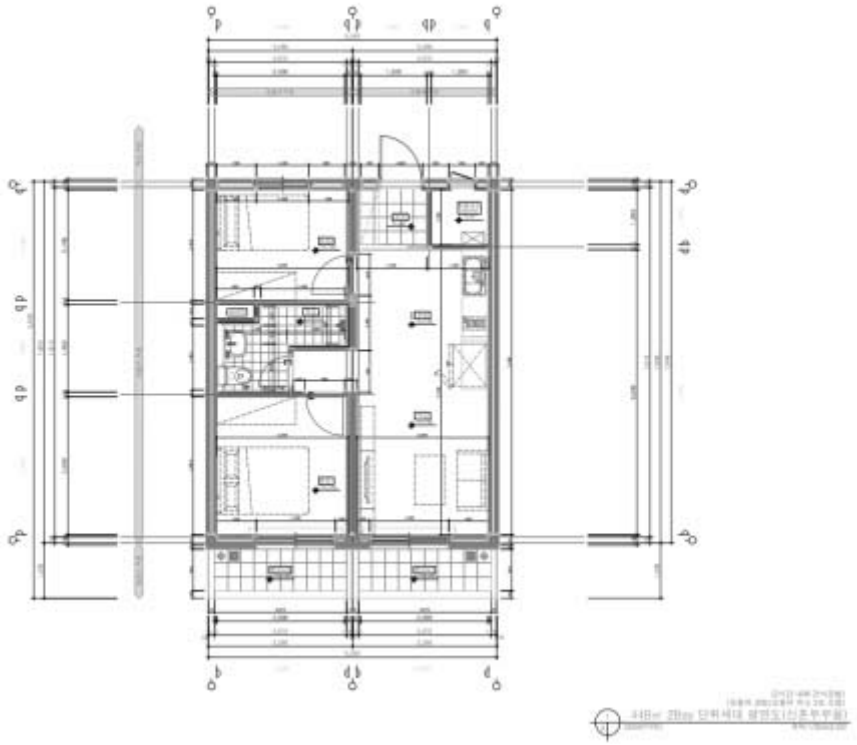
[그림 2.1.126] 36ASm² 2Bay 단위세대 평면도(중간형/장애인용) 설계 프로토 타입



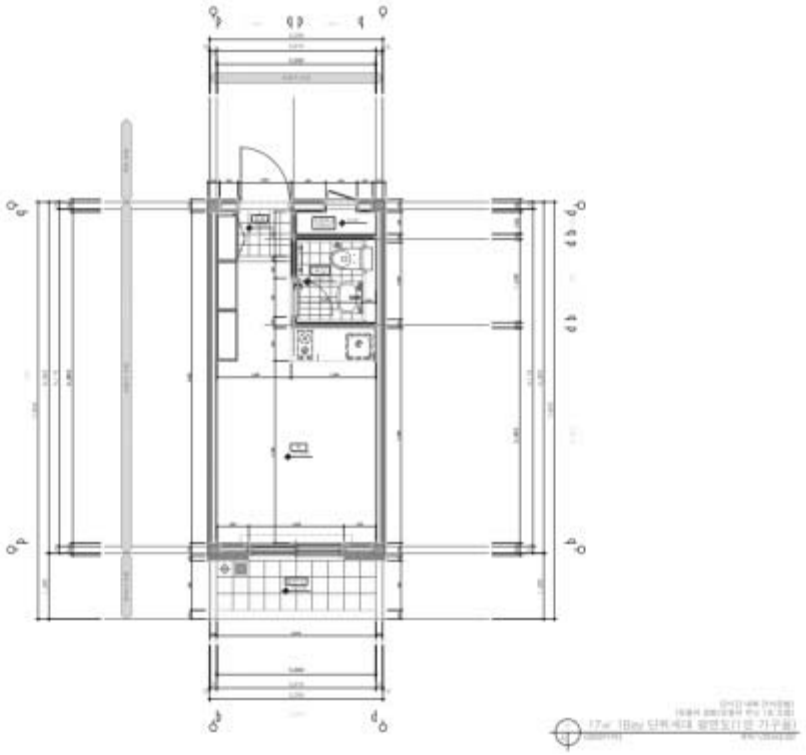
[그림 2.1.127] 36Bm² 2Bay 단위세대 평면도(외곽형) 설계 프로토 타입



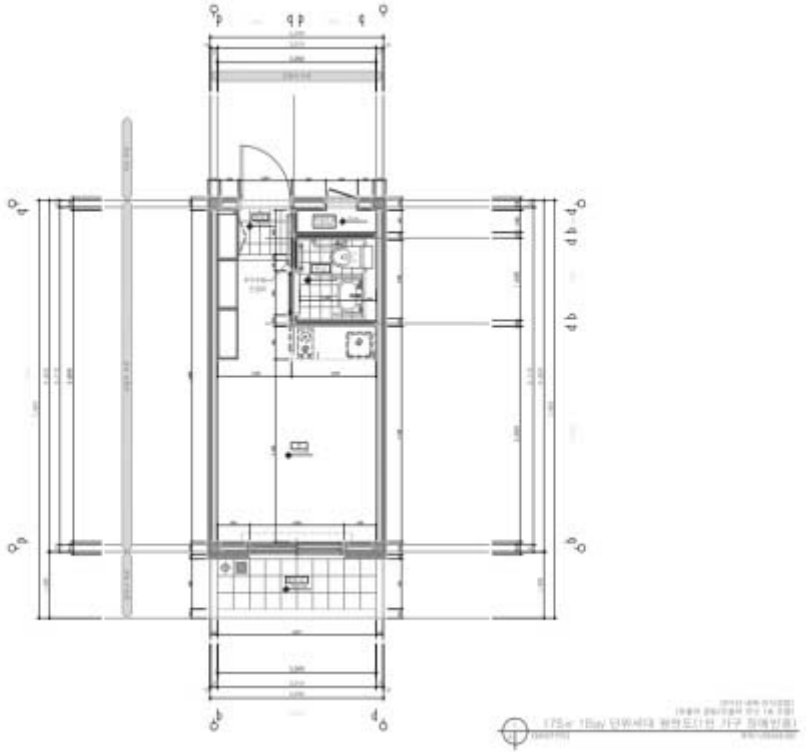
[그림 2.1.128] 44Am² 2Bay 단위세대 평면도 설계 프로토 타입



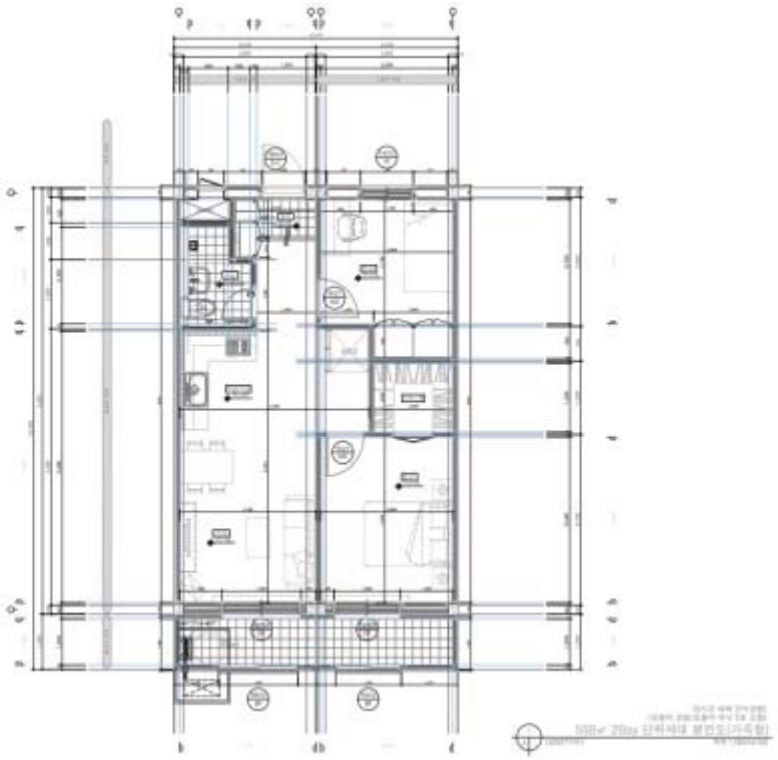
[그림 2.1.129] 44Bm² 2Bay 단위세대 평면도(신혼부부용) 설계 프로토 타입



[그림 2.1.130] 17㎡ 1Bay 단위세대 평면도(1인가구용) 설계 프로토 타입



[그림 2.1.131] 17Sm² 1Bay 단위세대 평면도(1인 가구장애인용) 설계 프로토 타입



[그림 2.1.132] 55Bm² 2Bay 단위세대 평면도(가족형) 설계 프로토 타입

설계표준화 소결

- 건축산업은 기술특성상 지금까지 현장산업의 기반함, 코스트의 절감이나 건축물의 성능향상 등에서 타 산업에 비하여 발전속도가 빠르지 못함

- 모듈러 주택은 70%이상이 공장에서 이루어져 제조산업의 장점인 대량생산에 의한 원가절감과 시공의 질이 제고될 수 있는 충분한 여지가 있으며, 이를 위해서 본 연구에서는 모듈러 주택의 표준화 기준을 마련했고, 이는 공장제조시에 관련 자재와 부품의 규격화의 기준으로 활용될 수 있음

- 설계의 표준화를 통하여 유닛모듈의 조합에 의한 세대 형성시, 내부공간으로 포함되는 구조대 부분의 영역이 1M(100㎜)의 증분치수화가 가능하며 실 유효폭 치수가 30센티미터의 증분치수로 설정할 수 있어 이에 시공되는 내장재의 자재우선치수 적용이 가능해짐

- 즉 모듈러 주택을 구성하는 각 유닛모듈의 내부 안목치수와 동시에 모듈이 접합되는 접합부위의 가변적인 구조대 치수를 동시에 30센티미터 또는 10센티미터로 설계가 가능하여 각기 상이한 업체별 접합부 설계치수와 상이한 프로젝트라 하더라도 자재 및 부품의 일정한 규격화가 가능함

- 또한 본 기술의 적용시에 내장부품은 물론 외장재도 일정한 치수로 생산시공할 수 있는 기술적 토대를 마련해줄 수 있어, 구조체와 내장재 그리고 외장재를 모두 일정한 모듈치수로 설계할 수 있는 표준화 기준임

- 이상 일련의 기준이 국가적인 설계도서 작성기준으로서 인정받아 향후 법적으로 고시된다면 향후 클라이언트나 발주처와의 협의 과정에서도 모듈러 주택을 생산하는 업계는 자사의 고유한 모듈로 규격화 생산 시공 공급할 수 있는 토대를 마련할 수 있다는데 그 의미가 있음

나) 시공성 보고서

(1) 공기단축을 위한 공정분석

① 서론

㉠ 배경 및 목적

- 최근 국가 R&D를 통하여 가양동에 모듈러 실증사업의 결과로서 총 30세대의 모듈러 실증단지가 공급됨(2017.12). 지난 2000년대 초에 모듈러 공법이 국내 최초로 소개된 이후 거의 20년만에 우리나라 최초의 주택법 기준을 통과한 공동주택이 건설된 것으로 그 의미가 큼. 실증사업을 통해 경제성과 시공성 그리고 기술성 등이 실증되고 검증되었으며, 향후 이를 보다 개선할 수 있는 방안을 찾을 수 있는 기준을 마련하게 됨. 모듈러 공법의 가장 큰 장점과 특징은 공기단축에 따른 공사비의 절감과 소음 및 분진의 발생을 미연에 방지하여 민원문제를 원천적으로 억제하는데 있음.
- 이에 본 연구에서는 가양실증단지를 대상으로 시공공기와 주요공정을 분석하여 실제 공기단축 효과를 검증하고 기존의 공동주택과의 비교 등을 통하여 향후 공기단축 기술을 도출하는 한편 향후 모듈러 공동주택의 건설시에 보다 실질적인 공기단축 효과를 가져오기 위한 기초적인 자료를 제안하고자 함

㉡ 연구방법

- 가양동 모듈러 실증단지는 지난 2017년 12월에 준공되어 현재 30세대가 입주완료된 상태임. 본 연구에서는 본 실증단지의 실제 공사일정표를 입수하여 분석하는 것을 원칙으로 하였음. 분석대상 기간은 실증단지의 터파기 공사에서부터 실제 준공시점까지의 기간을 대상으로 하였음. 본 연구대상으로서 가양단지는 피로티 구조로서 6층과 4층 각 1동씩 건축되었는데 하부 1층에는 주차를 위한 피로티 구조와 계단실 코아 구조를 현장 타설 RC구조로 건설함. 이에 본 연구에서는 시공공기의 객관적인 타당성을 파악하기 위하여 전체를 RC로 하는 방안과 피로티와 계단코아 부분 모두를 모듈러 구조로 하는 방안을 상정하여 이를 상호 비교분석함. 이를 통해 보다 신속한 공기단축과 공기절감에 따른 공사비 절감을 도모하는 방안을 제안하고자 함

② 계획공정과 실시공정 분석

㉠ 계획공정과 실시공정의 차이 발생 내용 및 사유

[표 2.1.34] 계획공정과 실시공정의 차이

공 종	계 획 공 정	실 시 공 정	내용 및 사유
1. 임시 주차장 공사	착공 : 2016.10.06	착공 : 2016.10.19	임시주차장 부지 선정 지연으로 13일 연장(발주처 사유)
2. 기초 파일공사	'16.12.18 – '17.02.17 (기초터파기 포함)	'16.12.18 – '17.03.01	기초파일공사 공법 변경으로 공사기간 연장됨 1. 당초 : 콘크리트파일 Ø500-10.14m, 91본 2. 변경 : 나선형강관파일 150본 3. 변경사유 1) 시항타 및 시험천공한 결과 지반조사보고서와 지지력 및 천공깊이가 상이함 ① 지지력 – 설계 : 1,200kn/EA, 실시 : 365.7kn/EA ② 천공깊이 - 설계 : 10.0m, 실시 ; 25.0m (선단지지까지 도달 안됨) 2) 천공깊이 변경으로 공사비 증액 및 천공장비 사양 상향 조정 3) 장비사양 상향에 따른 작업공간 협소로 공사기간 연장 등 문제점 발생 ① 협소한 사업부지 출입구 유효 폭이 16m이고 높이 고저차는1.2m 면적은 장방향마름모 형태이며, 소음 분진에 민감함 건물들이 인접해있어 주변 민원 발생여지가 많음 ② 대형 천공장비로 시공시 사업부지내 별도의 작업장에서 보조크레인(50톤)과 백호(10W) 추가 배치하여야 하며, 이로 인해 부지협소가 가중되어 작업효율이 약 30% 저감되어 당초 예상보다 작업일수가 25일 연장 예상됨 4) 나선형강관파일 공법과 비교검토하면 파일본수는 다소 증가하나 보조장비 없이 소형장비로 작업이 가능하고 기상의 영향 없고, 작업기간이 약19일정도 단축가능하고, 친환경공법(무소음,무진동,비배토)으로 주변민원이 억제되는 효과가 있어 변경함 4. 기초파일공사 설계변경에 따른 실정보고 검토 및 선정에 지연이 있었으나, 나선형파일공사 진행에는 공사기간이 단축하였음
3. 가시설 공사			가시설공사(흙막이공사)의 내부 지지 공법 변경 1. 설계 : 띠장설치후 STRUT 지보공, 실시 : RAKER 2. 흙막이공사 완료후 기초터기 공사진행시 장비의 작업공간 확보을 위함 3. 공사비 절감

4. 철근 콘크리트공사	'17.03.01 – '17.06.05	'17.03.31 – '17.06.30	1. 철근콘크리트공사 착공이 시점이 당초보다 늦음(기초공사 지연) 2. 사업부지 협소로 인하여 공사구간 2구간을 분할 시공함 1) 주요자재(철근), 가설재(유로폼,합판,강관파이프 등) 적재할 장소가 부족하여 가시설물인 복공판을 설치함 2) 복공판을 기준으로 기초 및 지하구조물(지하주차장)공사가 2 구간으로 분할 됨 3) 지상구조물인 101동과 102동이 층수가 다르며, 1개동당 바닥 면적이 적어 작업 효율이 떨어짐
5. 모듈러설치 공사	'17.06.06 – '17.07.28	'17.07.01 – '17.09.14	1. 모듈러설치공사 착공 지연(철근콘크리트공사 지연) 2. 모듈러설치 기간이 우천으로 인한 작업중지 일수가 많음 1) 우천시에는 모듈러설치 안전문제 및 용접작업으로 외부 칼라강판 작업 불가함 2) 모듈러실치 기간중 전년도 대비 우천일수가 많음 ① 2016년 7월 : 20일, 2017년 7월 : 24일 (증)4일 ② 2016년 8월 : 13일, 2017년 8월 : 18일 (증)5일 3. 모듈러설치를 위한 시스템비계 간섭으로 하부공사인 지상 1층 방수공사, 포장공사, 조경공사 등을 진행할 수 없어 공사기간이 지연됨

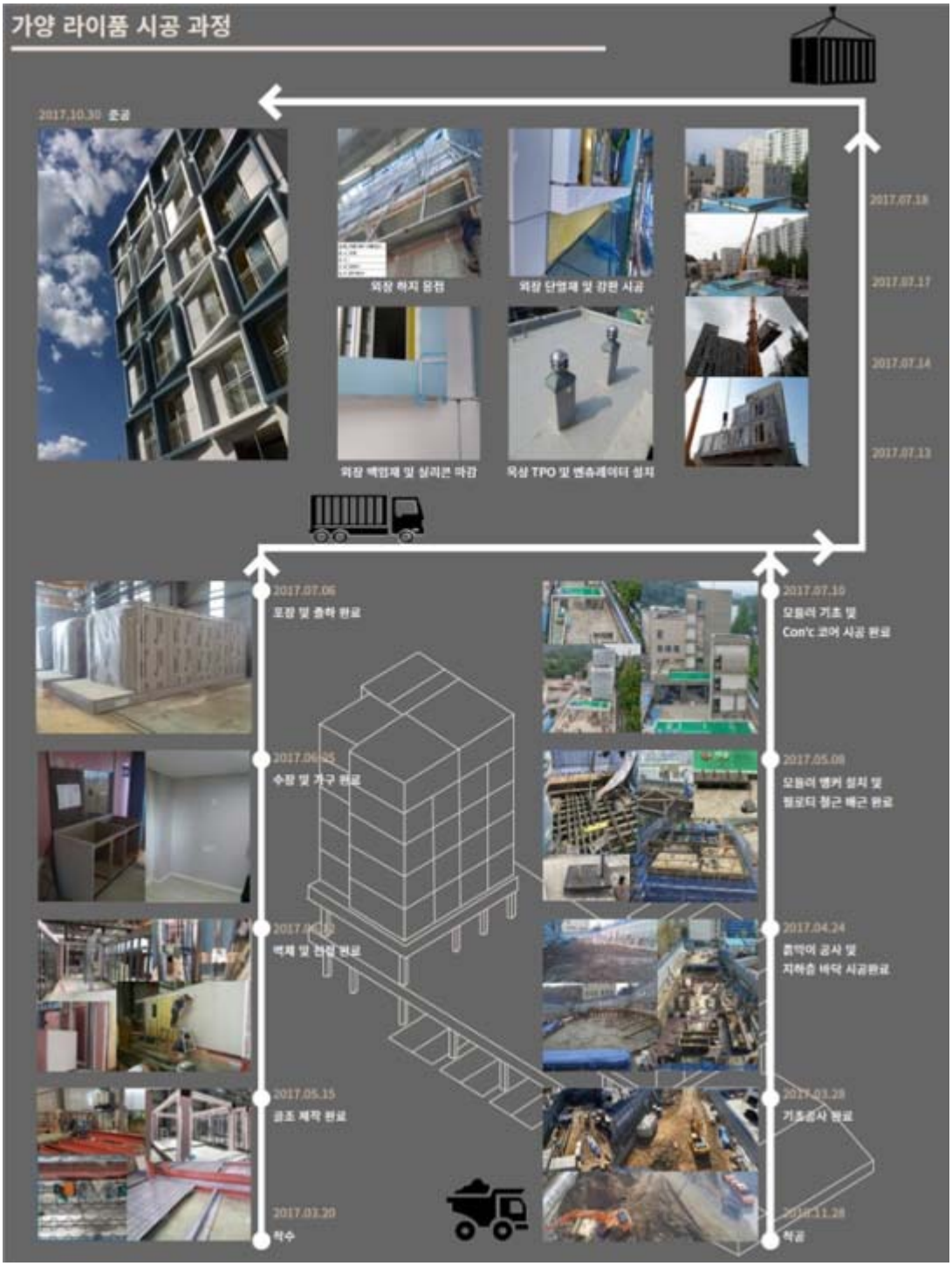
㉡ 공정 분석 결과 문제점 및 개선방안

[표 2.1.35] 시공상 문제점과 개선방안

NO	시공상 문제점	개선방안
01	공공하수관로 사업부지내로 통과하여 시공함 ▶ 일부구간은 지하주차장 기초 하부로 통과하여 향후 공공하수관로 보수가 어려움 ▶ 건물내로 통과하는 관로는 기초터파기 완료후 공공하수관를 매설하기 전까지 본공사 진행을 할 수 없음	▶ 설계당시 사업부지를 통과하지 않고 전면 도로에서 바로 연결
02	▶ 계단실 코아부분 철근콘크리트조로 인하여 공사기간 과다 소요됨	▶ 철골조 혹은 PC조로 변경
03	모듈러 외부 마감재 ▶ 모듈러 현장설치후 외부 마감재인 칼라강판 하지작업, 실측, 발주, 설치함으로 공사기간이 과다 소요됨	▶ 모듈러 외부 마감재 설치를 위한 하지철물은 공장제작하고 취부는 현장에서 설치하는 것으로 하여 공사기간 단축 및 원가 절감
04	모듈러제작시 중량 감량 ▶ 바닥 온돌난방 위한 바닥미장(몰탈타설)으로 중량증가	▶ 모듈러 감량을 위해 가스온수 난방을 전기히팅으로 변경

㉡ 가양실증단지 모듈러 건축 시공프로세스

- 모듈러 건축의 시공특징은 [그림 2.1.133]과 같이 현장의 토목공사 시공과 모듈유닛의 공장 제작시공이 동시에 이루어진다는 것임. 기존의 공사일정은 현장의 기초공사와 토목공사가 완료된 후 건축일정이 진행되는 것에 비하여 공기단축이 최대 1/2로 단축된다는 특징이 있음
- 한편 [그림 2.1.133]은 본 연구의 대상인 가양동 실증단지의 제작 및 시공과정을 개략적으로 보여주는 그림임



[그림 2.1.133] 가양동 제작 및 시공프로세스총괄

③ 모듈러 주택의 시공 공정 현황 및 실태

㉠ 가양동 주요 시공 프로세스

- 가양동 모듈러의 주요 제작 시공프로세스는 다음의 그림과 같음. 크게 골조공사에서 전기설비공사 및 포장 운송까지 18단계로 구분할 수 있음. 가양단지 모듈의 제작은 당진 공장에서 진행되었으며 다음 [그림 2.1.134]과 같이 제작 과정을 정리할 수 있음
- 한편 가양동 모듈러의 주요 현장 시공프로세스는 다음의 [그림 2.1.135]과 같음. RC 공사에서 기계설비 및 준공청소 및 시운전까지 8단계로 구분하여 정리할 수 있음



[그림 2.1.134] 모듈 제작 프로세스



[그림 2.1.135] 모듈러 현장 시공 프로세스

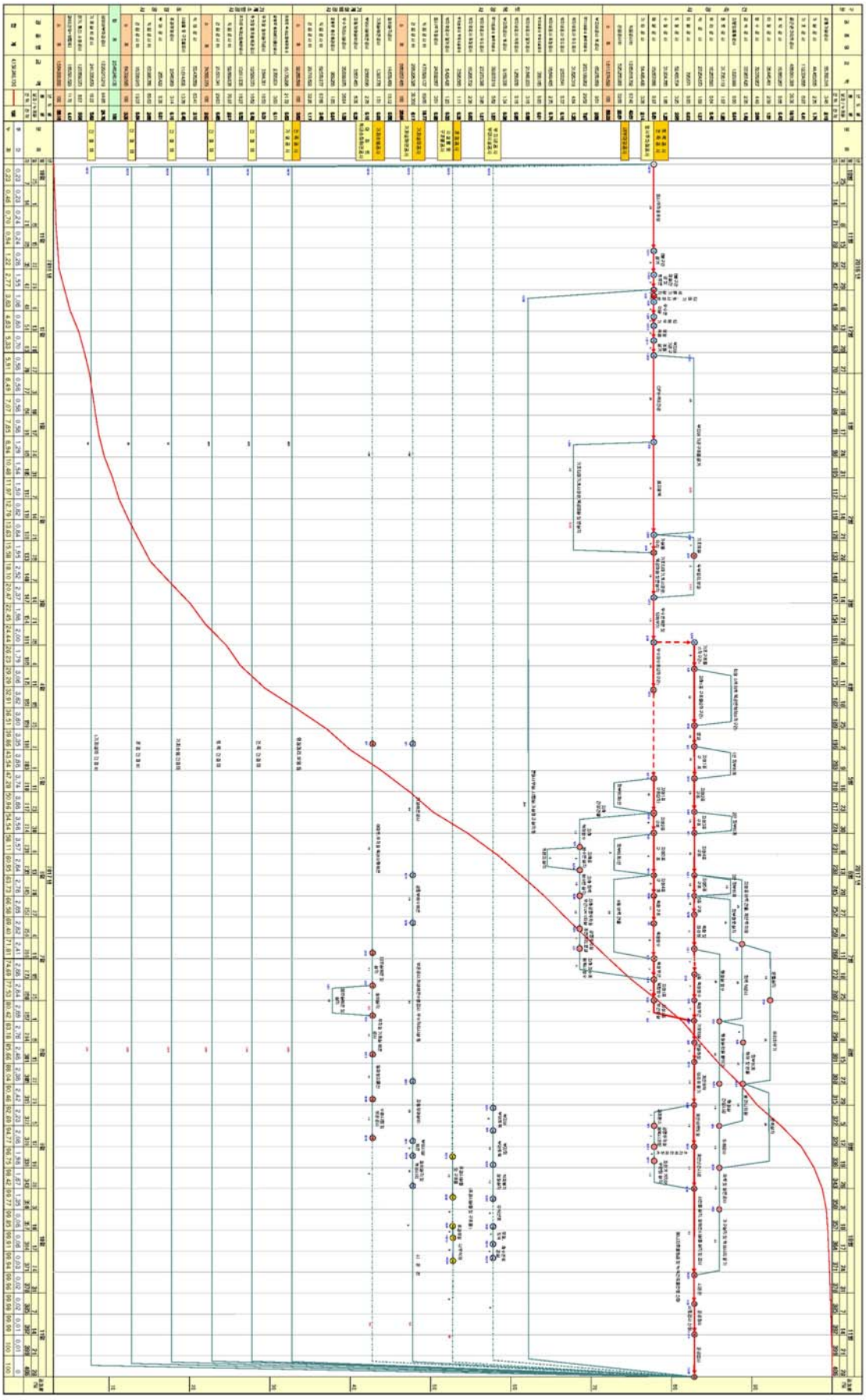
㉡ 가양동 시공공정표 (RC+모듈) : 12개월 소요

- 가양동 1457-1 도시형 생활주택의 건설공사는 2016년 10.06에 기초터파기가 예정되었으나 시항타 및 시험 천공한 결과 지반조사보고서와 지지력 및 천공깊이가 상이하여 일정이 다소 지체됨. 즉 지지력의 경우 설계는 1,200kn/EA이었으나 실시결과 365.7kn/EA로 파악되고 천공깊이도 설계는 10.0m이었으나 실제로는 25.0m지지까지 깊게 도달됨. 이에 천공깊이 등의 변경으로 인한 천공장비 사양 조정 등으로 전반적인 공정 변화가 불가피하여 실제 착공은 10월 19일 착공되었고 기초파일공사는 2016년 12월 18일 개시되어 3월 1일 종료됨
- 그리고 철근콘크리트 공사는 2017년 3월 1일에 개시되어 6월 5일까지 3개월 공사로 당초 계획되었으나 실제로는 6월 30일 종료되어 약 1달이 지체됨. 이는 사업부지 협소로 인하여 공사구간 2개 구간을 분할 시공하였기 때문임. 즉 주요자재(철근), 가설재(유로폼,합판,강관파이프 등) 적재할 장소가 부족하여 가시설물인 복공판을 설치하였고 복공판을 기준으로 기초 및 지하구조물(지하주차장)공사가 2개 구간으로 분할됨. 그리고 지상구조물인 101동과 102동이 층수가 다르며, 1개동당 바닥 면적이 소규모로 인하여 작업 효율이 떨어지는 결과가 발생함

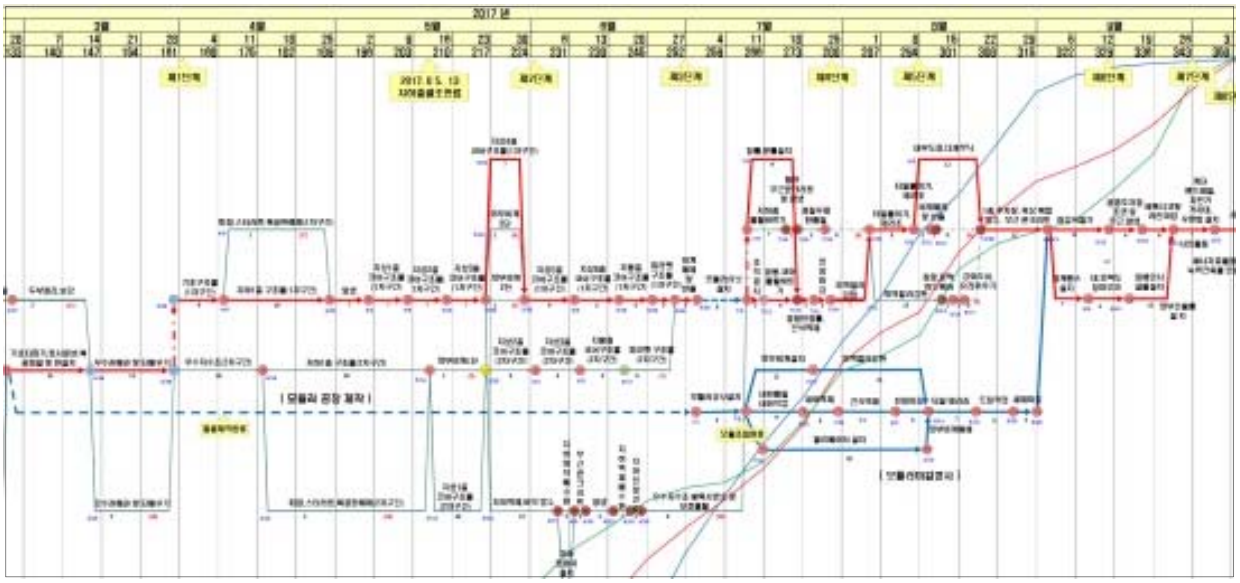
- 가양동 모듈러 주택은 세대 건축부분의 경우는 모듈공법으로 적용하였고, 그 외의 지하 공영주차장 및 지상 세대 주민 전용주차장과 계단실 및 피로티는 RC로 건축됨. 모듈러 설치공사는 철근콘크리트 공사가 지연되어 당초보다 1개월 지체되어 7월 1일 착공되어 9월 14일에 완료됨. 당초에는 50일 정도 예상하였으나 실제로는 75일 정도 소요됨. 이는 모듈러설치 기간이 우천으로 인한 작업중지 일수가 많았기 때문인데 우천시에는 모듈러설치 안전문제 및 용접작업으로 외부칼라강판 작업이 불가하였기 때문임
- 특히 모듈러 설치 기간중 전년도 대비 우천일수가 많았는데, 2016년 7월부터 8월까지 10일 정도가 우천으로 인해 공사가 불가함. 또한 모듈러설치를 위한 시스템비계 간섭으로 하부공사인 지상1층 방수공사, 포장공사, 조경공사 등을 진행할 수 없어 공사기간이 지연됨

- 결국 기상날씨로 인한 공기지연과 함께 현장에서 설치되는 칼라강판 시공으로 예정에 비하여 1개월이 지체되었는데, 향후 공기단축을 위해서는 외장마감을 공장에서 부착하고, 현장에서는 단지 스카이시스템으로 층간대 패널과 죠인트 패널만을 부착하는 방안을 적극적으로 고려해야 함. 이는 향후 제 2호 모듈러 공동주택인 천안두정 모듈러 행복주택에 외장마감 공장부착이 적용될 예정임

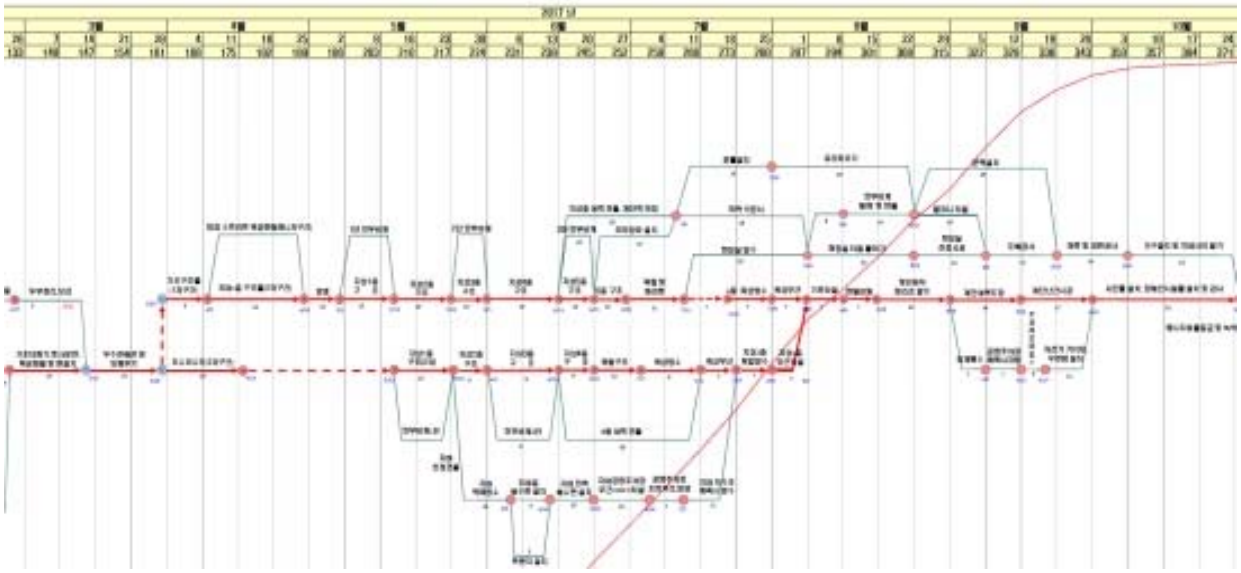
- 결국 32개의 모듈러 유닛이 4일만에 조립되었으나 전체 모듈러 공사는 75일이 소요되어 이 공정에 대한 적극적인 검토 분석이 필요할 것으로 판단됨



[그림 2.1.136] 가양동 모듈러 주택 시공공정표(당초 공정계획에 의한 공정표)



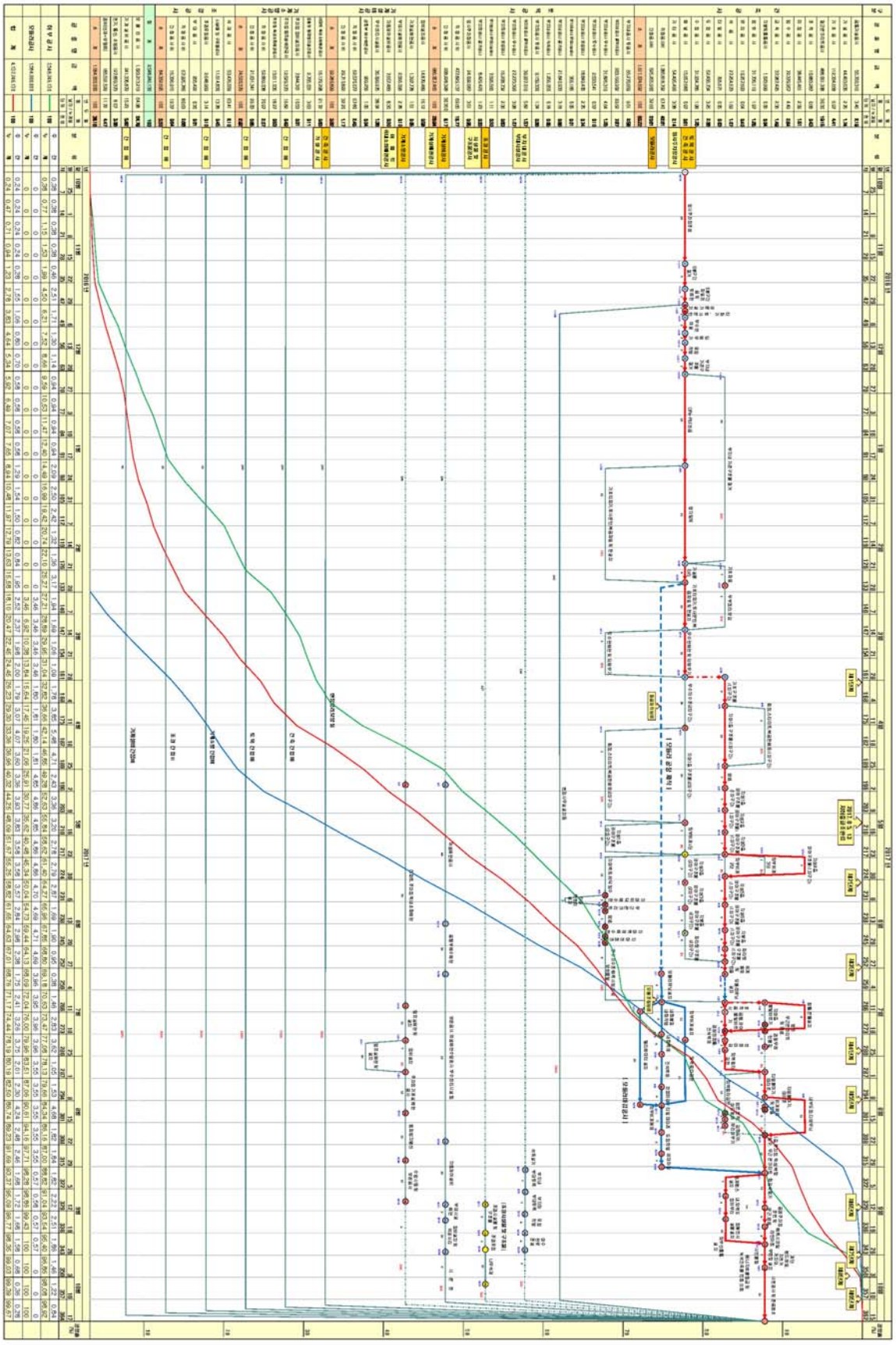
[그림 2.1.137] 가양동 모듈러 주택 모듈러 제작 및 설치 공정(실제 진행된 공정표)



[그림 2.1.138] 가양동 모듈러 주택 RC 지상층(모듈러 부분) 공정표

㉡ 전체를 RC로 공사하는 경우 (13.6개월 소요예상)

- 모듈러 공사와 기존의 RC공동주택과 공기를 비교함. 즉 세대의 주거부분도 RC부분으로 상정하여 공정표를 작성함. 전체 공기는 그림과 같이 총 13.6개월이 소요되어 가양동의 RC+모듈에 비하여 1.6개월의 공기차이를 보임. 예상보다 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 계단실을 RC로 건축하는 경우 결국 세대부분이 신속하게 조립되더라도 결국에는 계단실의 공정에 전체의 공기를 맞출 수 밖에 없기 때문에 모듈러 공법의 효과를 기대하기 어려움



[그림 2.1.139] 가양동 모듈러 주택을 RC로 건축할 경우 시공공정계획

㉣ 전체를 모듈로만 건축하는 경우 (8.7개월 소요예상)

- 계단실이 RC로 건축되어 공기단축이 실질적으로 이루어지지 않았는데, 이에 계단실을 모듈로 건축하는 경우를 가정하여 공기를 산정함. 전체공기는 [표 2.1.36]에서와 같이 8.7개월이 소요되어 RC 공동주택에 비교하면 6.6개월 RC+모듈에 비하면 5개월이 단축되는 효과를 기대할 수 있음. [그림 2.1.140]은 모듈로만 건축하는 경우의 공정표를 보여주는데, 이를 위한 방안을 구체적으로 제시하면 다음과 같음

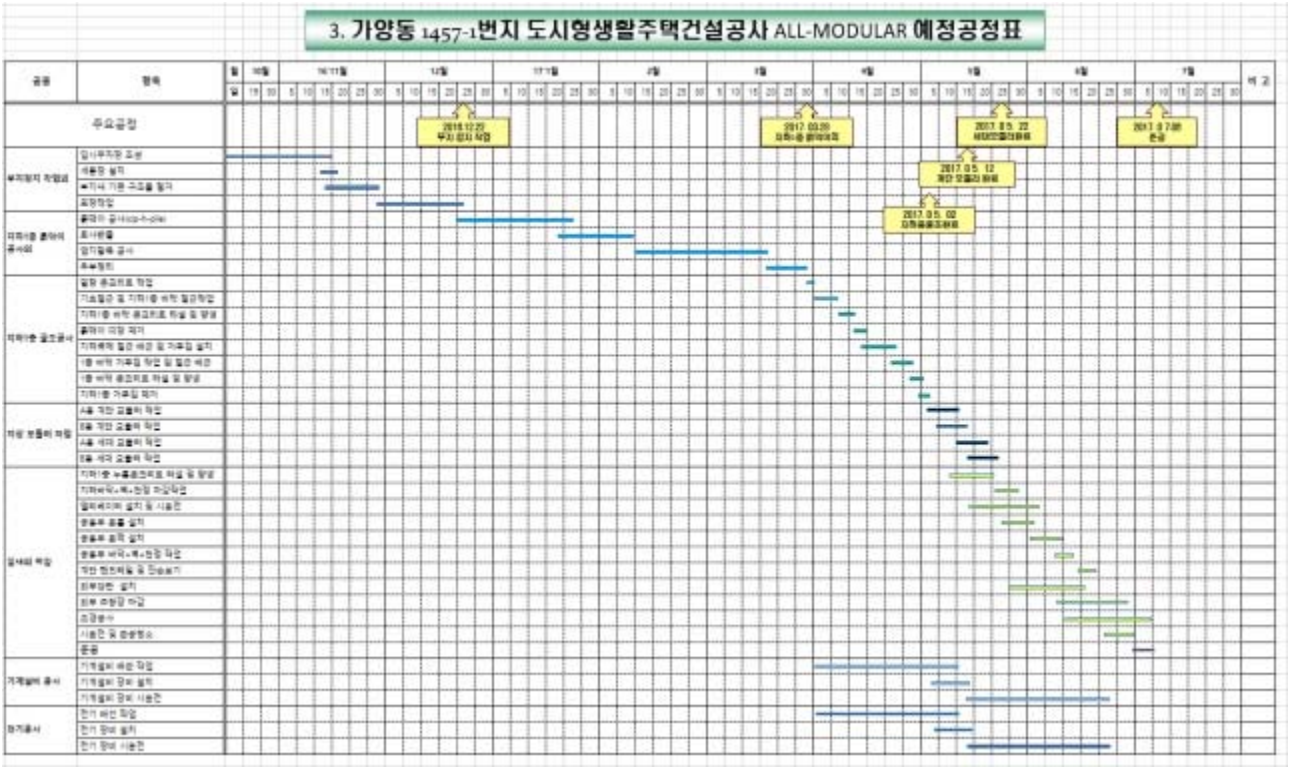
[표 2.1.36] 전체를 RC공법으로 건축하는 경우 주요 공정 및 공기

NO	공 정	16'10,21 ~ 12,22	~ 17'3,28	~ 5.2	~ 7,11	~ 11.28	비 고 406일 (13.5개월)
		65일	96일	35일	70일	140일	
1	부지 정지 작업						
2	지하1층 흙막이외						
3	지하1층RC 골조						
4	지상골조(1~6층)						
5	실내외 공사외						

[표 2.1.37] 전체를 모듈로만 건축하는 경우 주요 공정 및 공기

NO	공 정	16'10,19~ 12,22	~ 17'3,28	~ 5.2	~ 5.12	~ 5.22	~ 7.6	비 고 264일 (8.7개월)
		65일	96일	35일	10일	10일	45일	
1	부지 정지 작업							
2	지하1층 흙막이외							
3	지하1층RC 구조							
4	UNIT MODULAR 계단(1~6층)							
5	UNIT MODULAR 세대(1~6층)							
6	실내외 공사외							

- 우선 모듈러 계단 제작 및 운반설치는 총 10일로 산정함. 현장 크레인 및 장비설치 1일, 계단 운반 및 설치에는 7일(6개층과 지붕층), 마무리 2일 결국 총 10일을 상정할 수 있음. 그리고 모듈러 세대 및 조립설치는 가양실증단지의 실제 공기와 동일하게 10일로 설정할 수 있음. 실내외 마감 이외의 공기는 지하층 바닥/벽/천장 6일/ 엘리베이터 설치 및 시운전 20일/ 공용부 바닥/벽/천장 마감에 5일, 계단 핸드레일 설치 및 마감에 5일 준공 및 시운전 9일로 총 45일로 일반 공동주택과 동일한 공기로 상정하여 세부일정기간을 합산하면 65일로 공기를 산정할 수 있음



[그림 2.1.140] 전 공정 모듈로 시공시 공정표

④ 공기비교

- 다음의 [표 2.1.38]에서는 가양실증단지의 공기(지상 RC계단 + 모듈러)와 ALL- RC/ ALL- MODULAR 등 3가지 공법을 상정하여 비교함

- ALL- MODULAR는 향후 모듈러 공동주택에서 지향해야 할 공법으로 가양실증단지 (지상 RC계단 + 모듈러)에 비하여 92일 가량을 단축 가능함

- 가양단지의 경우에는 사업의 특성상 계단을 RC로 발주해야하는 특수성으로 공기가 지연되는 결과가 발생함

[표 2.1.38] 3개 공법의 총공사 기간 비교

구 분		ALL- RC	지상 RC 계단 + 모듈러	지상 ALL- MODULAR
총 공사 기간		406일(13.1개월)	362일(12.1개월)	264일(8.7개월)
공사구분	부지정지작업	65일		
	지하1층흙막이외공사	96일		
	지하1층 골조공사	35일		
	지상골조공사	70일 (계단 및 세대 포함)	68일 (계단59일, 세대9일)	20일 (계단10일, 세대10일)
	실내외 마감	140일	98일	45일
비 고 (마감)		●직렬식 마감공사 -.실내외 공사를 구분하여 각각 순차적으로 마감공사 진행. -.계단과 실내마감 공사를 순차적으로 각각 별도로 진행해야하는 습식공사의 특성이 있음.	●직렬식 마감공사 -.실내외 공사를 구분하여 각각 순차적으로 마감공사 진행. -.모듈러 공사에 의한 세대마감이 공장에서 실시됨으로 공기단축이 가능하였음. 그러나 절대공기는 계단의 습식공사 기간에 좌우되어 공기절감 효과가 크지 못함	●병렬식 마감공사 -.공장제작 및 현장 조립으로 골조공사가 단축. -.계단 및 세대모듈러로 주요마감이 공장에서 완료되어 절대공기가 단축될 수 있음.

- 우선 ALL-RC 및 지상 모듈러 구조로 공사를 진행하면 습식공사로 인한 순차적인 공사 대기시간이 소요됨으로 인한 절대시간이 필요함. 또한 동일층에서 2가지 공법이 병행될 때에도 습식공사에 따른 대기시간이 필요하기 때문에 전반적인 공기단축을 기대하기에는 한계가 있음
- 그러나 ALL-RC와 지상 ALL-MODULAR 공법을 비교한다면 현장에서 작업해야 할 모든 공사의 대부분을 공장에서 제작하기 때문에 현장 공사기간이 현격하게 단축될 수가 있음. 즉 병렬공사가 가능한데 부지정지작업과 동시에 공장제작이 가능하고 계단의 마감과 세대의 마감이 동시에 공장에서 진행됨. 따라서 현장에서 조립설치후 접합부 마감만으로도 현장마감공사가 완료될 수 있음

- 한편 계단의 핸드레일공사도 공장제작으로 현장설치시 접합부만 현장에서 마감할 수 있어 80%이상의 마감공기가 단축될 수 있고 엘리베이터 공사일 경우에도 엘리베이터 RAIL.설치를 공장에서 선시공하여 현장 접합으로 가능하고 사전에 엘리베이터도 공장에서 제작하여 현장 설치가 가능하기에 마감공사 단축이 가능함

- 한편 ALL-모듈러와 지상 모듈러 구조와 비교한다면 계단과 세대마감공사가 동시에 진행이 가능함. 습식공사의 마감은 통상적으로 직렬식으로 진행될 수밖에 없는 한계가 있으나 ALL-모듈러의 경우 공장제작 및 현장 설치 작업은 공장과 현장이 동시에 기본마감 작업이 가능하고 최종 현장마감도 동시에 병렬식 마감이 가능하여 전체 공기 단축을 크게 기대할 수 있음

공기단축 소결

- 본 연구에서는 가양실증단지의 실제 공기(지상 RC계단 + 모듈러)를 ALL- RC/ ALL- 모듈러 공법을 가정하고 이를 비교하여, 모듈러 공법의 공사기간을 객관적으로 분석하고 향후 공기단축을 위한 공법을 제안

■ 가양실증단지와 기존공법과의 차이

- 44일의 공기단축에 불과하여 예상보다 큰 공기단축을 이루지는 못함. 즉 세대공사기간의 단축이 계단실 습식공사로 인하여 효과를 거두지 못함

■ 가양실증단지와 ALL- MODULAR공법

- 그러나 가양실증단지의 공기에 비하여 ALL- MODULAR공법을 적용할 경우 100일 가량을 단축시킬 수 있는 것으로 나타남. 이는 모듈러 계단과 습식 계단의 절대 공기 단축기간(48일단축가능)과 계단 및 세대 실내외 마감이 병렬공사로 공기가 단축(53일 단축가능)이 가능하기 때문임. 결국 프리패브 공사의 특징과 계단 및 세대 병렬공사가능에 의한 효과로 1/2공기단축이 가능할 것으로 보임

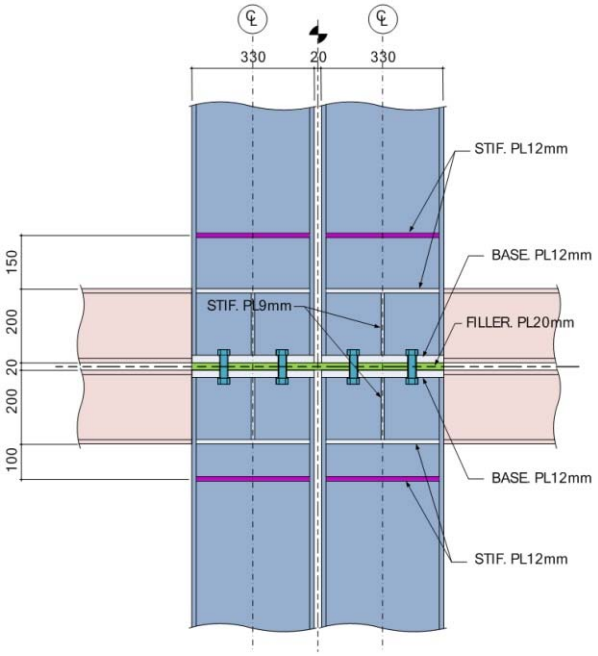
- 그리고 ALL-모듈러를 적용하더라도 절대공기를 단축시키기 위해서는 칼라강판 등 외장재의 프리패브 등도 현장의 가설재 설치 및 해체 그리고 외장재 설치 등으로 많은 공기를 소요되는 바, 공기단축에 반드시 필요한 기술이라 할 수 있음. 따라서 외장재의 죠인트 패널 등 일부패널은 현장의 스카이공법으로 조립하여 시공을 완료하는 공법을 채택하여야 함. 향후 계단실의 모듈러 공법 적용에 대한 적극적인 후속연구가 필요할 것으로 판단되며, 이에 대한 구조안전성 등에 대한 연구도 병행되어야 할 것으로 판단됨

(2) 공장제작 및 현장시공 문제점

공장제작 01	골조공사(철골)

모듈간 접합부 약기둥-강보에 의한 파괴우려 발생

도면 및 사진



(보강이미지)

문제점

- 철골 프레임의 시뮬레이션 결과 지진에 취약한 약기둥 강보에 의한 파괴 우려 발생
- 기둥 약축방향에 좌굴우려 발생으로 보강 필요

개선방안

- 기둥 약축방향에 스티프너 보강으로 좌굴방지 및 내력 향상
- 기둥의 상부(-100mm)와 하부(+150mm) 위치에 12mm스티프너 보강

공장제작 02	설비공사

PD실 배관설비공간 협소

도면 및 사진



문제점

- 복도 PD실에 환기, 상수도, 하수도, 우수, 오수 등 5개 이상의 배관이 반영되어 있으며 검침함까지 설치하여 매우 협소함

개선방안

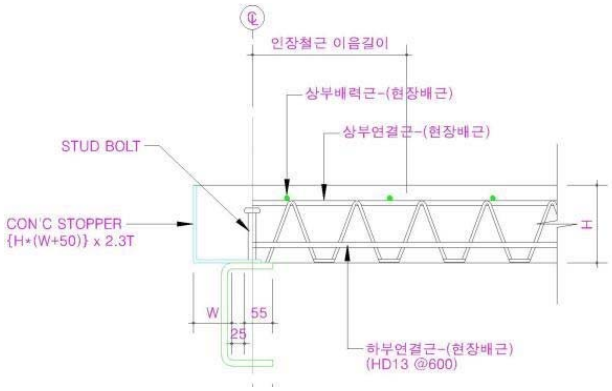
- 유지관리 시 보수 등을 위해서 공간을 좀 더 확장할 필요 있음

공장제작 03	골조공사(데크)

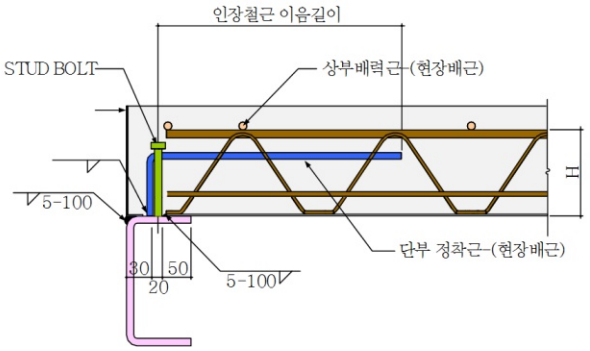
데크 슬라브 정착

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 스터드 볼트 용접 시 일부 END PI. 위에 용접하여 슬라브 펀칭 우려 발생
- 스터드 볼트만으로는 이동 및 진동에 의해 슬라브가 펀칭의 우려 있음

개선방안

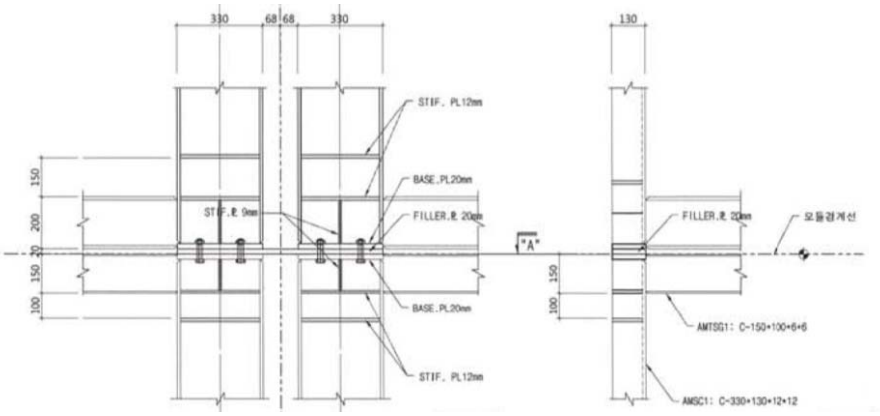
- END PI. 정착길이 줄이고 스터드볼트 “ㄷ”보에 용접
- 200mm간격으로 스터드볼트 용접→ 400mm간격으로 스터드볼트 용접하고 그 사이에 “ㄱ” 철근(200mm) 용접하여 부착력 증대
- 가양동 현장에 개선하여 적용

공장제작 04	건식 내화 공사

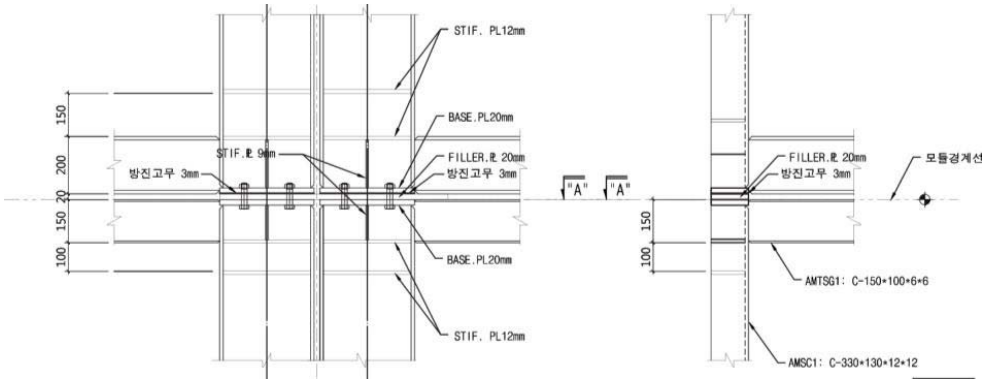
기둥, 보 인케이스먼트 시공 시 중복부위

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 모듈과 모듈이 좌우로 만나면서 기둥 인케이스먼트가 중복되는 부위 발생
- 기둥의 경우 인케이스먼트(간격재20mm, 방화석고19.5mm 2P)중복으로 인해 모듈간 연결플레이트가 중심으로부터 틈값 10mm보다 58mm가 더 벌어짐
- 이로 인해 구조적 안정성 부족

개선방안

- 기둥 및 보가 중복되는 부위는 인케이스먼트 시공을 하지 않고 틈 부위를 불연재(Fire Stop)으로 처리
- 인케이스먼트 틈 부위에 대한 명확한 처리방안 마련 필요

공장제작 05	수장공사

기밀성능 확보를 위한 기밀 레이어 확보필요

도면 및 사진



문제점

- 당초 설계에 기밀성 확보에 대한 고려가 없어 결로, 방습 등 우려 발생
- 시공 중 설계변경으로 기밀방습지를 취부 하였으나, 기밀층에 대한 레이어가 명확하지 않아 PD실 배관부위, 콘센트부위, 방화문부위 등의 처리부분에서 인건비가 증가하고 하자 발생우려

개선방안

- 모듈러 설계 시 기밀층 확보 필요하며, 기밀을 고려하여 개구부에 대한 디테일 개발 필요
- 기밀층 안쪽에서 설비라인을 확보하여 개구부가 발생하지 않도록 시공
- 현재 시중에 판매되는 기밀패치의 경우 고가이기 때문에 모듈러 현장에 적용하기에는 단가 경쟁력이 없음

공장제작 06	수장공사

발코니 천정부위 현장시공에 따른 공기지연

도면 및 사진



문제점

- 발코니는 모듈이 현장에서 적층이 되면 상부모듈의 슬라브가 발코니의 천정면이 되고 그 위에 천정틀을 설치하여 마감을 하도록 되어있음
- 이 부분은 오픈이 되어있는 상태로 포장만 되어 현장으로 운송되며, 마감이 되지 않아 운송시 풍압에 의해 투습방수지가 탈락되거나, 다른 부위에 훼손의 우려가 있음
- 또한, 현장 설치시 설치작업자가 추락의 위험이 있으며, 현장시공에 따른 품질저하 및 프리패브율이 낮아짐

개선방안

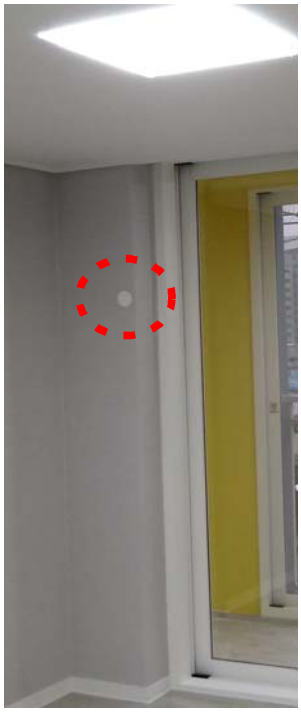
- 경질우레탄뿜칠을 대체할 수 있는 시공방법 검토하여 데크 시공 전 또는 데크 시공과 함께 단열재 시공 할 수 있도록 개선 필요

공장제작 07	수장공사

에어컨 슬리브 타공 및 실외기실 미설치

도면 및 사진





문제점

- 원룸세대 실외기실이 설계시 고려하였으나 SH공사의 요청에 의해 미설치
- 투룸세대 에어컨 슬리브 타공위치가 실외기실 위치와 이격되어 있어서 에어컨 배관이 발코니 창호 밑으로 지나가야 함
- 슬리브 위치가 단열이 깨짐

개선방안

- 원룸세대에 대해 실외기실 위치가 고려되어야 하며, 슬리브 위치도 에어컨 위치를 고려하여 타공이 필요함
- 슬리브 배관에 단열이 고려된 전용 캡이 필요

공장제작 08	수장공사

세대 간 벽체 시스템의 CRC보드 마감으로 인한 파손

도면 및 사진

변경전



문제점

- 세대간 벽체의 경우 보랄 석고보드의 내화 및 차음 시스템을 적용하였음
- 본 시스템에 CRC보드 4T가 적용되는데 CRC보드를 피스로 고정할 때, 이동 및 양중을 할 때 피스 주위가 파손되거나 패널이 금이가는 현상이 생김

개선방안

- CRC보드 외측에 OSB등의 보호용 판재를 시공하여 CRC보드가 파손되지 않도록 개선하거나, 내화 및 차음 시스템에서 CRC보드를 대신할 수 있는 대체자재를 활용하여 개선 필요

공장제작 09	마감공사

도배, 장판 공장제작으로 인한 오염

도면 및 사진



문제점

- 도배 및 장판시공을 공장에 제작 하여 현장에 반입하였으나, 현장에서 발코니 쪽 가스, 우수배관공사 등을 수행하면서 작업자들이 벽지 및 바닥부분을 오염시킴
- 현장에서 오염부위를 보수하게 됨으로서 비용증가 및 품질저하

개선방안

- 도배 및 장판은 전체 공종이 마무리 된 후 준공청소 전에 실시하여야 하자율을 줄이고 품질을 높일 수 있음

공장제작 10	바닥 단열공사

슬라브 바닥 결로방지를 위한 단열시공

도면 및 사진





문제점

- 데크플레이트 하부 결로방지를 위해 외측에서 450mm 이상 10mm두께로 경질우레탄뿜칠을 처리가 법적으로 필요하여 모듈받침대를 별도 제작으로 가설비용 상승
- 비용문제로 인해 32개 모듈의 모듈받침대를 모두 제작하기 어려워 일부만 제작하여 뿜칠 시 양중 후 이동하여 시공
- 이때, 기준레벨이 흔들릴 수 있으며, 슬라브에 크렉이 갈 수 있음

개선방안

- 경질우레탄뿜칠을 대체할 수 있는 시공방법 검토하여 데크 시공 전 또는 데크 시공과 함께 단열재 시공 할 수 있도록 개선 필요

공장제작 11	UBR공사

방수 턱 높이 부족

도면 및 사진



문제점

- 화장실 신발이 문에 걸리는 현상을 막기 위해 최소 80mm정도를 확보하는 것이 통상적이고 화장실과 거실은 단차가 없도록 설계함
- 현장에서 콘크리트, 기포, 몰탈 등의 과타설로 인해 높이가 높아져 문턱을 높이는 현상이 발생함

개선방안

- 콘크리트 타설 시 과타설이 되지 않도록 UBR방수판 높이를 반드시 체크하여야 함
- 가양동 현장의 경우는 문틀 경계석을 위에 추가로 10mm설치

공장제작 12	도장공사

발코니 복합단열재 시공에 따른 페인트 마감 품질저하

도면 및 사진



문제점

- 발코니 부위에 단열을 위해 복합단열재를 시공하게 되는데 그 위에 바로 도장을 하다보니 도장면이 깨끗하지 않음

개선방안

- 마감면에 복합단열재 시공 후 석고보드 또는 CRC보드 등으로 마감하여 마감면이 깨끗하게 나올 수 있도록 개선 필요

공장제작 13	방수공사

세대 간 피난벽체 쪽 발코니 방수턱 미반영

도면 및 사진



〈 방수턱 시공 〉

문제점

- 발코니쪽 모듈과 모듈 사이에 피난을 위한 벽체가 형성 되는데 설계도면에는 하부쪽에 방수턱이 고려되어 있지 않아 발코니에서 물을 사용시 옆세대로 물이 침투 되거나 세대간 틈으로 누수발생 우려가 있음

개선방안

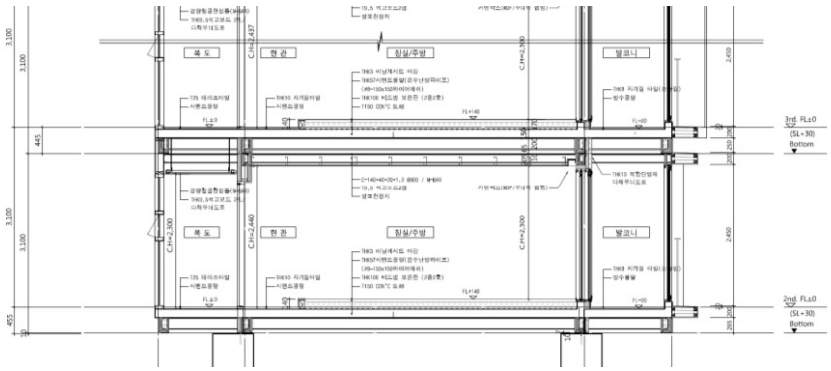
- 콘크리트 타설 시 방수턱을 만들어 주고 방수처리

공장제작 14	기계설비공사(배관)

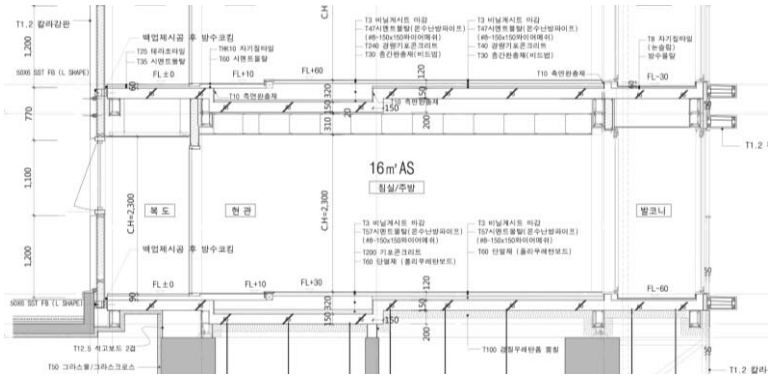
층하 배관설계로 인해 오수배관구배 불량

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 층하배관으로 설계되어 오수배관 구배가 불량하여 변기가 막힐 우려가 있음
- 위층세대 물 사용 시 아래층 세대에 소음발생

개선방안

- 화장실 및 현관쪽의 슬라브를 다운하고 층상배관으로 배관
- 오수배관 구배확보 및 소음방지

공장제작 15	전기설비공사(천정)

천정 틀 전기배관을 위한 현장타공으로 품질저하

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 천정 틀 시공후 현장에서 전기 배관을 설치하기 위해 현장타공을 하여 천정틀의 품질이 저하되며 절개 부위가 날카로와 전선인입시 피복이 벗겨질 우려가 있음

개선방안

- 천정틀을 선 타공 후 반입

공장제작 16	창호공사

창틀주변 단열 및 기밀 부족

도면 및 사진



문제점

- 거실창 및 현관 방화도어의 경우 단열 및 기밀을 위해 팽창테이프를 적용하여 품질을 확보할 필요가 있으나, 비용증가로 인해 일반적으로 사용하는 우레탄 폼으로 충진함
- 우레탄 폼의 경우 단열 및 기밀성능을 고르게 확보하기는 어려움

개선방안

- 설계단계부터 개구부 주변에 팽창테이프를 고려하여 성능확보 필요 (단, 자재가 고가 임)

공장제작 17	타일공사

발코니 가스배관부위

도면 및 사진



문제점

- 발코니 가스배관부위 연결로 인해 타일시공이 누락되어있음
- 타일시공 전 방수공사를 수행하였고 보일러 설치 후 하부에 커버설치를 하여 문제는 없으나 세탁기 설치 후 물을 쓸 경우 누수에 우려가 있음

개선방안

- 몰탈을 위로 하여 주변에 방수턱설치 후 타일 시공하여 물을 사용하여도 물이 주변에 닿지 않도록 시공

공장제작 18	운송

로프 결박에 의한 마감석고보드 회손

도면 및 사진

변경전



문제점

- 공장제작 모듈의 최 외측 마감이 석고보드로 취부되어 있어 운송을 위해 바람막이 천막을 로프로 결박하는 과정에서 석고보드 일부 회손

개선방안

- 모듈러 규격에 맞는 전용 바람막이 덮개를 제작필요
- 바람막이 덮개(타포린 류) 제작 시 비용증가에 대해 내역에 반영 필요 (고가임 개당 30~50만원 선)

공장제작 19	포장

최 외측 투습방수지의 운반 중 풍압에 의한 탈락

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 공장제작 모듈의 최외측 마감인 투습방수지의 경우 전용 테이프로 이음 부위를 붙이며 시공하게 되는데 운송시 풍압에 의해 이음부위가 탈락하여 일부 회손

개선방안

- 투습방수지를 선택할 때 폭을 기존 1500mm에서 2500mm로 변경하여 최대한 이음부위를 줄이고 중간중간 밴딩을 해 주어 바람이 들어가지 않도록 처리

공장제작 20	창호공사

창호 공장제작 후 보양부족에 따른 오염

도면 및 사진



문제점

- 공장에서 창호(창틀, 현관문, 방문 등) 설치 후 보양이 되어있지 않아 현장에서 작업간에 오염 및 스크레치 등으로 인해 파손

개선방안

- 제품 생산 시 보양재를 반드시 붙이도록 하고 현장에서 최종 완료되기 전까지는 절대로 뜯어내지 않도록 관리필요

현장시공 01	RC코어공사

코어부위 층간높이

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 코어부위 바닥과 모듈의 바닥높이가 맞지 않아 미리 설치해 놓은 엠배디드플레이트 용접부위 높이차가 발생
- 철물로 보강하여 용접하고 최종 마감시 몰탈타설로 높이 맞춤

개선방안

- 앵커 설치 및 모듈 설치 전 충분한 공기를 가지고 현장 실측 필요

현장시공 02	RC코어공사

RC코어 수직도 오차관리 부족

도면 및 사진



문제점

- 기초 무근 타설 후 기준먹 설정을 하지 않아 건물의 위치가 틀어짐
- RC공사의 경우 통상적으로 인정하는 오차범위가 10~20mm내외이기 때문에 코어의 엠배디드 철물이 매립된 부분의 수직도 관리가 중요함에도 불구하고 수직도관리가 되지 않아 오차가 크게 발생
- 본 현장의 경우 상층으로 갈수록 모듈설치부위로 골조가 돌출하여 모듈 설치 시 엠배디드 철물의 간섭으로 인해 현장에서 할석 및 절단하여 설치시간이 오래 걸림

개선방안

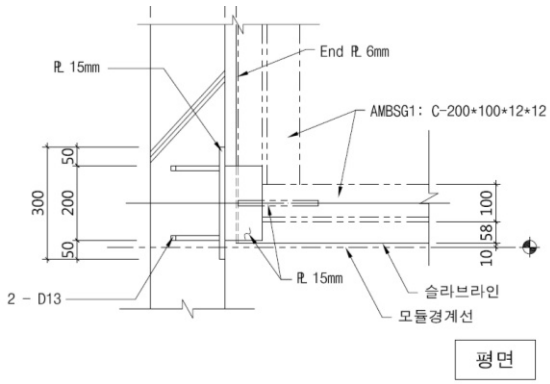
- RC공사 전에 기준먹을 반드시 설정할 것
- RC공사 담당자가 모듈러 공법의 특성을 이해하고 모듈접합부위의 오차가 발생하지 않도록 특별관리가 필요
- 콘크리트 타설 후 수직도를 측정하여 오차가 발생되었을 경우 반드시 수정

현장시공 03	RC코어공사

엠배디드 철물 보강

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- RC코어에 삽입되는 엠배디드 철물의 경우 20mm철판에 D13철근으로 보강하는 구조로 되어 있으나 용접부위가 너무 적고 지진발생 시 철근이 뽑힐 수 있음

개선방안

- RC코어와 모듈이 접하는 전면에 철물을 설치하고 철물 자체가 골조에 묻혀서 인발되지 않도록 설계

현장시공 04	모듈설치공사

모듈과 코어 연결부위 엠베디드플레이트 위치가 상이함

도면 및 사진



문제점

- 모듈과 코어를 연결하기 위해 모듈 슬라브 타설전, 코어 벽체 타설전에 엠베디드플레이트를 묻어 놓았으나 그 크기가 너무 작고 일부만 연결하게 되어있어 연결부위가 맞지 않음
- 코어 연결부위가 계단코어 벽체에 물려 있어 위치가 애매하고 용접량이 부족할 수 있음

개선방안

- 엠베디드 플레이트를 전체를 줄용접으로 시공
- 코어 벽체에 철물을 묻을 때 오차를 고려하여 넓게 시공

현장시공 05	모듈설치공사

모듈과 코어 연결부위 횡력보강

도면 및 사진

변경전



변경후





문제점

- 모듈과 코어 연결부위가 핀으로 거동하게 설계 되어있으나 엠베디드 플레이트를 코어와 모듈에서 용접하는 것으로 시공 됨
- 이는 지진 및 진동 발생시 용접부위가 파괴될 수 있으며 당초 구조설계계획과도 상이함

개선방안

- 모듈 용접부위 보강하여 용접량을 증가
- 복도 천장부위에서 핀으로 거동 할 수 있도록 보강
- * 상부쪽은 줄용접, 하부쪽에 핀으로 거동할 수 있도록 보강하는 것이 안전할 것으로 판단 됨

현장시공 06	커튼월 공사(복도)

RC벽과 커튼월 연결부위 크랙발생

도면 및 사진



문제점

- 복도 커튼월 시공부위와 RC코어 벽이 만나는 위치에 이질재료가 만나 크랙이 발생
- 하부공사와 모듈러공사로 분리발주 시 연결부위에 대한 계획 미수립

개선방안

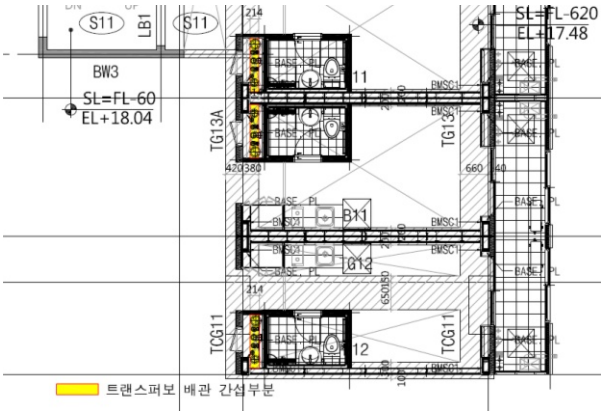
- 재료분리대 시공 또는 실리콘 처리
- 공사를 분리발주 할 경우 연결부위에 대한 계획 수립필요

현장시공 07	배관공사

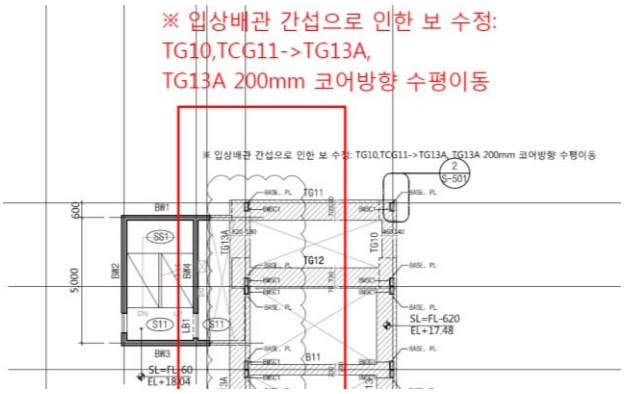
모듈배관과 RC거더와 간섭

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 모듈의 복도와 발코니쪽에 수직배관이 1층 필로티 천장에서 모이게 되는데 모듈 내 수직배관의 위치가 RC거더와 일부 간섭이 생겨 수직배관이 통과하지 못함
- 최하층 도면은 건축도면이고 RC거더 도면은 구조도면으로 도면이 서로 분리되어 있어 검토하기 어려움

개선방안

- 모듈러 공사에서 배관부분이 기둥, 보 등에 간섭에 의해 현장에서 코어링을 하는 경우가 많이 발생됨
- 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기계설비 도면 작성 시 수직배관위치의 단면도를 반드시 확인할 수 있도록 개선하거나 BIM을 활용
- 가양은 사전에 미리 발견하여 설계변경을 통해 RC거더의 위치를 이동함

현장시공 08	모듈러설치공사

모듈설치 시 안전시스템 필요

도면 및 사진



문제점

- 모듈설치시 안전모, 안전띠 등의 장비를 갖추고 설치를 수행하였으나 모듈을 설치하는 고층에 안전고리를 연결할 곳이 마땅치 않아 추락 등의 위험요소가 있음
- 벨런스 빔에 안전고리를 연결하는 경우가 있으나 크레인 조작자와 신호가 맞지 않을 경우 크레인에 매달려 추락할 가능성이 있음

개선방안

- 설치하는 모듈, 코어벽체 등에 임시 안전고리 연결 시스템을 구축

현장시공 09	앵커설치공사

앵커매립 시 기존 기둥 및 보 철근에 간섭

도면 및 사진



문제점

- 모듈을 설치하기 위해서는 반드시 앵커볼트 매립이 선행되어야 하는데 가양단지의 경우 트랜스퍼 거더 위에 모듈이 놓여지기 때문에 앵커볼트가 트랜스퍼 거더위에 설치 됨
- 이때 기둥과 보 등이 연결되는 부위에 철근배근이 매우 조밀하게 되어 있어 앵커볼트 매립할 공간이 없음

개선방안

- 철근은 겹침이음 되신 커플러를 이용하여 철근을 연결하도록 함
- 앵커볼트를 선매립 후 철근을 배근 할 수 있도록 변경

현장시공 10	외장패널공사

외장 패널 연결 시 넓은 틈 발생

도면 및 사진



문제점

- 모듈의 외장패널 연결 시 하지철물에 볼트를 체결하여 고정하는 방식이기 때문에 15~20mm의 틈이 발생하게 되고 그 틈은 백업재를 넣고 실리콘으로 마감하게 됨
- 모서리 부분의 경우 조각 패널이 연결될 경우 볼트체결 때문에 기존 틈 보다 큰 틈(30~40mm)이 발생하게 됨

개선방안

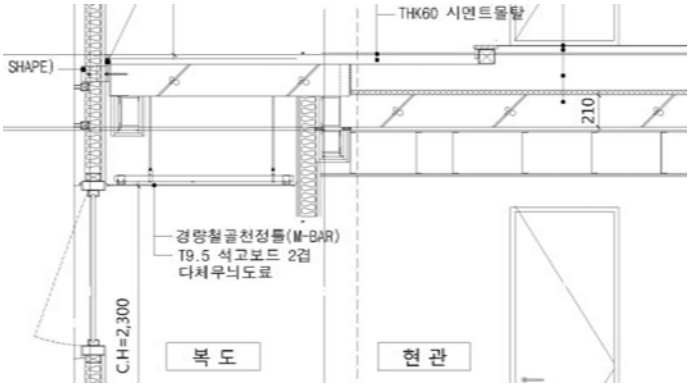
- 조각 패널이 발생하지 않도록 설계하거나, 단일 철판을 접어서 시공

현장시공 11	복도천정공사

복도 천장 점검구 미설치

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 복도천장은 전기배선설비가 있고 그 위에 석고 보드 마감을 하는 것으로 설계 됨
- 복도 천장의 경우 모듈과 코어 부분이 연결되면서 전기설비가 연결되는 부분으로 향후 점검을 위해 개폐가 자유로워야 함에도 불구하고 전면 석고보드로 마감하게 되어있음

개선방안

- 텍스마감으로 변경 후 점검구 설치

현장시공 12	모듈설치공사

모듈-코어 및 모듈 간 연결부위 마감방법 시방기준 미비

도면 및 사진

변경전



변경후



문제점

- 모듈간 좌우 연결부위 및 모듈과 코어 연결부위의 틈에 대하여 시방서 및 도면에 방법명기 없음

개선방안

- 모듈간 좌우 연결부위 우레탄 충진 후 철물 용접 마감 하여 처리
- 향후 도면 및 시방에 마감방법에 대해 명기 필요

현장시공 13	복도방수공사

모듈러 복도 부위 방수대책 미비

도면 및 사진



문제점

- 모듈러 복도의 경우 바닥부위는 모듈간 연결부위로 인해 틈이 발생하며, 벽체는 건식벽체로 석고보드가 취부 되어 있어 방수대책 없음
- 모듈 연결부위는 테라죠 타일 시공 전 실리콘으로 처리 하여 생활방수 정도는 가능 할 수 있다고 판단되나 궁극적인 방수성능은 없음

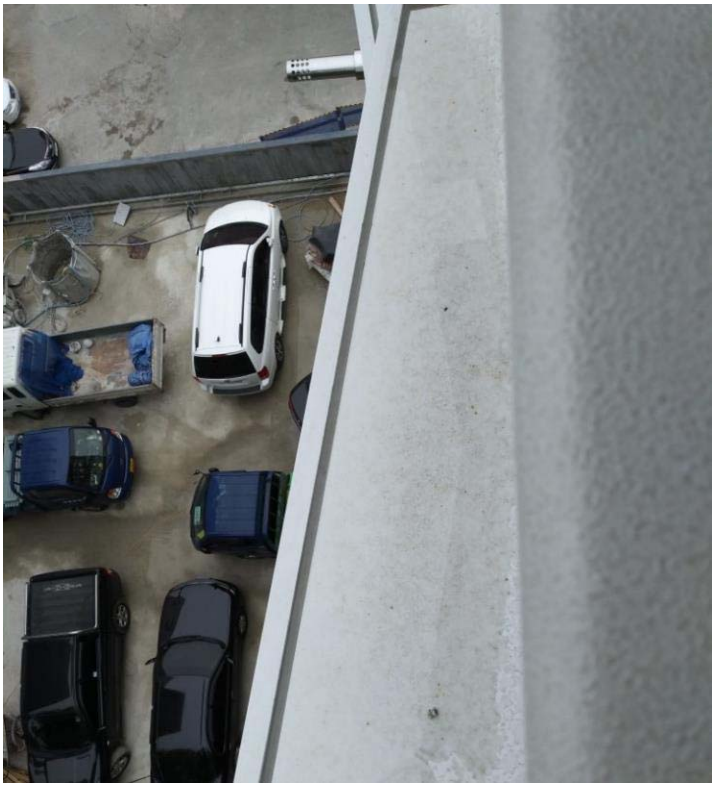
개선방안

- 복도부위에 대하여 설치 후 벽체 하부 및 바닥부분에 대하여 시트방수 등으로 처리방안 검토 필요(내역에 반영)

현장시공 14	외장패널공사

외장패널 돌출부 오염

도면 및 사진



문제점

- 모듈러 외장의 경우 강판이 돌출되어 있는 형상인데 경사가 없는 평구배이기 때문에 먼지, 낙엽등으로 오염이 잘 되며, 비가 올 경우 강판에 물이 튀겨 발코니 창호까지 오염시킴

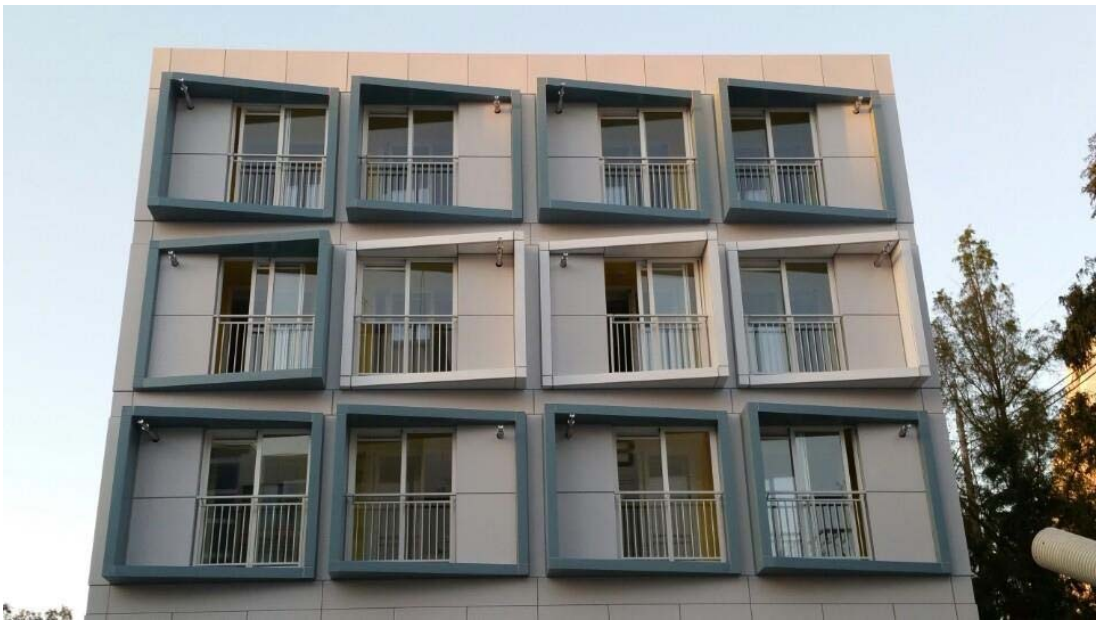
개선방안

- 향후 유사한 디자인으로 시공 할 경우 구배를 주어 물이 흘러 내리게 하거나 돌출되지 않는 구조를 사용

현장시공 15	보일러 공사

외장 디자인에 의해 세대별 보일러 연도 길이 상이

도면 및 사진



문제점

- 모듈러 외장 강판이 사선으로 엇갈려 돌출되어 있어 보일러의 연도 길이가 들쑥날쑥하며, 강판이 많이 나온 부분 쪽은 연도의 길이가 너무 길어져 설치할 때 구배가 나오지 않아 시공상 어려움이 있음

개선방안

- 연도설치 부위에 대해 사전에 보강을 하거나 외장 디자인을 변경

현장시공 16	모듈러 설치공사

모듈러 진동에 대한 검토 미비

도면 및 사진



문제점

- 모듈러구조설계시 진동에 대해 사전고려가 없었으며, 사례가 없어 대책마련이 어려운 상황임
- 모듈의 현장 설치 전 방진고무를 적용하여 진동을 저감하였으며, 장변방향에 20mm이상의 방진고무를 반영하여 진동을 최소화

개선방안

- 모듈러 구조설계시 진동에 대한 부분을 함께 고려하여 설계반영 필요
- 모듈러 진동저감을 위한 저렴하고 단순한 구조의 댐퍼시스템 개발 필요

현장시공 17	모듈러 마감공사

모듈 이동 시 건식벽체와 천정연결부위 롤링현상

도면 및 사진



문제점

- 운송 시 진동에 의해 건식벽체와 천정틀의 석고보드 연결부위의 롤링현상으로 인해 벽지마감 부위가 울거나 틀어지는 현상이 일부 발생
- 현장에서 일부 보수

개선방안

- 하자는 아니지만 현장에서 최종 마감을 하거나 실크벽지 또는 패브릭패널로 마감하여 운반 시 롤링현상에 대비할 수 있는 마감재로 교체 필요

현장시공 18	모듈러 설치공사

모듈 간 체결 시 TS볼트 적용을 통한 토크 관리 필요

도면 및 사진



문제점

- 모듈 간 결합 편의성 및 정확성을 위한 TS볼트 적용필요
- 현재 가양동현장의 경우 당초 TS볼트로 체결하기로 계획하였으나 시중에서 구매가능 한 코너 임팩트 렌치가 가양동 현장골조에 맞지 않아 고장력 볼트로 체결하여 인력으로 토크렌치 조립 후 확인
- TS볼트 체결을 위한 볼트체결부위의 공구 삽입 공간 부족

개선방안

- 구조설계 시 TS볼트가 체결이 가능하도록 공구크기를 설계에 반영
- TS볼트 체결 시 모듈본 조립 공기 단축 및 정확한 내력확보 가능

현장시공 19	수장공사

발코니 피난벽체 시공 마감에 의한 벽체 품질 저하

도면 및 사진





문제점

- 발코니 피난벽체의 경우 그 설치 방법을 USG보랄석고보드에서 매뉴얼로 제공하고 있는데 그대로 설치할 경우 재료가 분리되어 있어 도장면이 갈라지는 현상이 발생함
- 거주상의 문제는 없으나 육안상으로 품질이 좋지 않아 보임

개선방안

- 도장 전에 초배지 등으로 조인트 부분을 처리하고 도장처리

현장시공 20	설비공사

발코니 및 PD실 수직배관 슬리브

도면 및 사진



문제점

- 발코니 및 PD실 층간방화를 위해 콘크리트 타설 전 일반 슬리브 매립 후 현장에 반입하여 수직배관설치을 설치하고 주변을 미네랄울+방화코킹으로 마감하는 방식이 일반적이나 현장작업이 많고 슬리브 유격이 커서 작업성이 좋지 않음

개선방안

- 방화슬리브를 매립하여 현장에서는 별도의 마감없이 수직배관만 연결하면 되는 시스템 적용

제작 및 시공 실태 소결

■ 제작 프로세스

- 모듈러는 프리패브를 근간으로 제안된 공법임. 그러나 현재의 수준은 현장의 작업상황을 그대로 공장에서 시행하는 수준에 머물고 있음
- 대부분의 모듈러 제작업체가 전용 공장을 보유하지 못하여 전용생산설비를 갖추고 있지 못하여, 종래의 도구를 사용하여 수작업에 의존하고 있는 실정임
- 일본의 경우 컨베이어 시스템을 도입하여 자동화의 수준을 보이고 높은 생산성을 보이고 있어, 이에 대한 투자와 연구가 필요할 것으로 보임

■ 시공프로세스

- 현장시공의 경우에도 재래공법 및 기술을 답습하여 시공되고 있는 상황임
- 특히 코아의 경우 RC로 건축되어 모듈러와 접합되는 경우 시공오차가 발생하여 여기에서 비롯되는 공기의 지연과 향후 구조적 결함 등의 문제를 야기시킬 수 있
- 외장재의 경우에는 가설재의 설치 등으로 공기지연에 많은 문제를 초래하고 있으며, 우기에 시공하는 경우 단열재가 빗물에 젖는 문제가 발생할 수 있어 외장재의 프리패브화는 반드시 해결해야 할 것으로 판단되며, 외장재도 7개의 레이어로 시공되어 시공성이 떨어지는 문제가 있어 이를 단순화시키는 연구가 필요함

다) 경제성 보고서

(1) 가양 실증단지 경제성 분석

① 서론

- 모듈러 실증사업의 일환인 가양동 시범단지 실 계약금액을 기준으로 기존 공사비의 현황을 분석하고, 대기업군의 견적 실행 편성시 적용하는 실적단가의 공사비와의 비교 분석을 통해 공사비 적정성을 검토하고자 함
- 또한 일반 시중 아파트 신축 공사시 실 실행 금액과의 비교를 통해, 평당 금액의 차이를 살펴보고 그 차이의 극복을 위한 방안을 모색하고자 함
- 최근 강남 일대에 불고 있는 고급 빌라의 평당 공사비와의 비교 실시함
- 글의 마지막으로 기존 모듈러 R&D사업의 사업비 산정이 일반아파트나 고급빌라(모듈러 규모급)의 공사비와의 현저한 차이가 있는 이유와 이를 극복하여 기존 RC구조물의 건축물과의 경쟁력을 확보 할 수 있는 방안을 제시하고자 함

② 본론

㉠ 모듈러 주택 목표 공사비 현황 분석

❍ 공정별 구성비(직접공사비)

[표 2.1.39] 직접공사비 공정별 구성비

구 분	건 축	기 계	기계소방	전 기	전기소방	통 신	합 계
재료비	656백만원	134백만원	9백만원	17백만원	4백만원	13백만원	832백만원
노무비	330백만원	95백만원	3백만원	51백만원	26백만원	17백만원	522백만원
경 비	43백만원	0.5백만원					44백만원
계	1,029백만원	230백만원	11백만원	68백만원	30백만원	30백만원	1,398백만원
비 율	**73.6%**	**16.5%**	**0.8%**	**4.9%**	**2.1%**	**2.1%**	**100%**

❍ 직접공사비 대비 간접비 현황(VAT포함 : 5.9%)

[표 2.1.40] 직접공사비 대 간접비

구 분	목표공사비	직접비대	R&D 도급	직접비대
직접비	1,398백만원	100%	1,398백만원	100%
간접비	493백만원	35.3%	186백만원	13.3%
총공사비	**1,891백만원**	**135.3%**	**1,584백만원**	**113.3%**

- 일반적인 공공공사 발주시 간접비 비율이 31%~32% 전후인 것과 비교 시 3%~4% 정도 높은 구성비로 설계가가 책정되어 있고, R&D 도급 계약 시 22%의 현물 출자 형태로 금액 조정이 반영되어 있음을 알 수 있음

- 이는 R&D 도급업체의 원가 절감 노력의 산물이 아니라, 실 정산되는 항목들의 감액 사항이며, 일반관리비나 이윤의 현물출자 또한 국내 공공공사의 계약 시 대다수 0원 처리되는 현실을 반영한 것으로 보임

❍ 목표 공사비 및 R&D 도급 현황 (공종별, 직간접비, 부가세, 총공사비)

[표 2.1.41] 목표공사비 및 R&D 도급현황

구 분	목표공사비	구성비	직접비대	R&D도급	구성비	직접비대
건축공사	1,029백만원	54.4%	73.6%	1,029백만원	65%	73.6%
기계공사	230백만원	12.2%	16.5%	230백만원	14.5%	16.5%
전기공사	68백만원	3.6%	4.9%	68백만원	4.3%	4.9%
기계소방	11백만원	0.6%	0.8%	11백만원	0.7%	0.8%
전기소방	30백만원	1.6%	2.1%	30백만원	1.9%	2.1%
통신	30백만원	1.6%	2.1%	30백만원	1.9%	2.1%
직접비계	1,398백만원	74%	100%	1,398백만원	88.3%	100%
간접비계	410백만원	21.7%	29.3%	103백만원	6.5%	7.4%
부가세	83백만원	4.3%	5.9%	83백만원	5.2%	5.9%
총공사비	**1,891백만원**	**100%**	**135.3%**	**1,584백만원**	**100%**	**113.3%**

- 목표공사비와 R&D도급의 현황에서 보듯이 직접공사비는 시중조사가격의 100%로 추가 가격 조정 없이 반영되어 있음을 알 수 있음. 단지 간접비에서만 현실성 있는 금액 조정이 이루어져 있음을 볼 수 있음

- 일반적으로 공사 발주 후, 계약 체결 시 간접비 비율은 최소 4.5%에서 최대 7% 정도로 관리함을 기준으로 하는데, 현재 반영된 R&D도급의 간접비율은 7.4%로 지극히 양호한 상태임을 알 수 있음

[표 2.1.42] 직접공사비의 항목별 비율과 당초 설계 내역서와 NEGO율 검토

구 분	설계내역서	비율	목표공사비	비율	NEGO율	R&D도급	비율
재료비	958백만원	59.6%	832백만원	51.7%	86.9%	832백만원	59.5%
노무비	600백만원	37.3%	522백만원	32.5%	86.9%	522백만원	37.4%
경 비	50백만원	3.1%	44백만원	2.7%	86.9%	44백만원	3.1%
직접비계	**1,608백만원**	**100%**	**1,398백만원**	**86.9%**	**86.9%**	**1,398백만원**	**100%**

- 최초 설계내역서 금액에서 목표공사비의 금액 nego율은 일률적인 동일 비율인 86.9%로 시장금액의 반영이 아닌 정책적인 결정 금액으로 여겨진다고 볼 수 있음

- 설계내역금액에서 목표공사비 및 R&D 도급의 직접비 네고율은 86.9%로 직접비에서의 공사금액 조정은 없었으나, 총공사비에서의 네고비율은 목표공사비는 86.4%, R&D도급은 72.4%로 간접비중 보험료 성격의 정산 항목의 실투입 가능 금액으로 조정하였으며, 최종 일반관리비와 이윤부분도 0원 처리하여 나온 결과임

※(총공사금액 : 설계서-2,188백만원 / 목표공사비-1,891백만원 / R&D도급-1,584백만원)

㉡ 견적실행금액 : 직접공사비 / 현장간접비(개산견적시 인월당)

[표 2.1.43] 견적실행금액

구 분	건축공사	기계공사	전기공사	기계소방	전기소방	통신	합 계
직접 공사비	852백만원	218벡만원	50백만원	10백만원	21백만원	24백만원	1,175백만원
(구성비)	72.5%	18.5%	4.3%	0.9%	1.8%	2%	100%
간접비	경상비산출기준 1인월당 9백만원 편성 총공기 6개월, 소장,공무 각1명 (=2명*6개월*9백만원=108백만원) / 부가세 : 83백만원 / 공과잡비(직공비의 3%) : 35백만원						226백만원
총공사비							**1,401백만원**

- 상기 금액은 모듈러 목표공사비 공 내역서를 기준으로, 대기업 군에서 최근 실행예산 편성 할 때 사용하는 실적 공사비 단가를 데이터로 사용하여, 산출한 견적 실행금액으로 실제 협력사 입찰 후에는 전체 금액이 다소 상이 할 수는 있으나, 오랜 경험상 금액의 변동 폭은 그리 크지 않을 것으로 예상함

㉡ 견적실행 대비 목표공사비 차이 분석 및 구성 현황

[표 2.1.44] 견적 실행 대비 목표공사비 차이

구 분	목표공사비(A)	R&D도급(B)	견적실행(C)	목표공사 대비(C/A)	R&D도급 대비(C/B)
건축공사	1,029백만원	1,029백만원	852백만원	82.8%	82.8%
기계공사	230백만원	230백만원	218백만원	94.7%	94.7%
전기공사	68백만원	68백만원	50백만원	73.5%	73.5%
기계소방	11백만원	11백만원	10백만원	90.9%	90.9%
전기소방	30백만원	30백만원	21백만원	70%	70%
통신	30백만원	30백만원	24백만원	80%	80%
직접비계	1,398백만원	1,398백만원	1,175백만원	84%	84%
간접비계	410백만원	103백만원	143백만원	34.9%	138.8%
부가세	83백만원	83백만원	83백만원	100%	100%
총공사비	**1,891백만원**	**1,584백만원**	**1,401백만원**	**74.1%**	**88.4%**

- 견적실행과 차이는 목표공사비 대비 74.1%이며, R&D도급 대비는 88.4%임
- 금액으로는 목표공사비 대비 490백만원 낮으며, R&D도급과는 183백만원 낮음

㉢ 평당 공사비 비교 분석

❍ 가양 모듈러 주택 연면적 산출

[표 2.1.45] 가양 주택 연면적 산출

구 분		SIZE		SET	면적
A TYPE	기준	3.28	5.9	20	387.04
	복도	3.28	1.39		91.18
	발코니	3.28	1.46		95.78
B TYPE	기준	3.31	5.9	12	234.35
	복도	3.31	1.39		55.21
	발코니	3.31	1.46		57.99
합 계(M2)					921.55
합 계(평)					**278평**

❍ 모듈러 주택 평당 공사비

[표 2.1.46] 모듈러 주택 평당 공사비

구 분	R&D도급	평당금액(단위:천원)	견적실행	평당금액(단위:천원)	비 고
건축공사	1,029백만원	3,701	852백만원	3,065	
기계공사	241백만원	867	228백만원	820	
전기공사	98백만원	353	71백만원	255	
통신	30백만원	108	24백만원	86	
직접비	1,398백만원	5,029	1,175백만원	4,226	
간접비	103백만원	371	143백만원	514	
부가세	83백만원	299	83백만원	299	
총공사비	**1,584백만원**	**5,698**	**1,401백만원**	**5,039**	

❍ 일반아파트 평당 공사비(개산견적)

[표 2.1.47] 일반아파트 평당 공사비

구 분	평당 금액(단위:천원)	비 고
공통가설	106	
건축공사	1,925	
토목공사	191	조경포함
기계공사	288	
전기공사	288	
직 접 비	2,797	
간 접 비	404	
합 계	**3,201**	

❍ 강남 역삼동 고급빌라 평당 공사비(모듈러 규모급)

[표 2.1.48] 고급빌라 평당 공사비

구분	공사금액	평당금액(단위:천원)	비 고
자재비	432백만원	2,170	
건축공사	379백만원	1,905	
기계공사	141백만원	707	
전기공사	57백만원	286	
직접비	1,009백만원	5,070	
간접비	39백만원	197	
합 계	**1,048백만원**	**5,268**	

㉮ 모듈러 R&D 사업비 편성의 문제점

❍ 단가 산정의 문제점

- 정부 예산 집행 공사의 경우 단가 산정은 ①표준시장단가, ②표준품셈, ③실거래가격으로 구성하며, 이는 설계가의 산정시에 기준임

- 금번 시범사업의 R&D도급은 설계예정가를 바탕으로, 공사 수행업체와 계약 체결 및 기성 대가의 기준으로, 물량 공 내역서에 업체 자체의 경쟁력 있는 금액를 기재하고 단가산출서 작성 제출, 공사를 수행하고 공정관리, 품질관리를 수행하여야 함

- 현재 작성, 계약 체결된 내용을 보면, 설계가에서 1차 목표공사비를 수립할 때 일정 비율로 전체 단가를 네고하고, 이를 다시 R&D도급 단가로 적용 정리하는 단계를 거쳐, 업체의 경쟁력 있는 단가 및 실 투입되는 금액의 산정과 평가를 저해하는 방법을 적용함

❍ 간접비 구성의 문제점

- 공공공사 발주 시 간접비 비율은 일반적으로 31% ~ 32% 정도이다. 현재 구성되어 있는 목표공사비의 간접비는 35.3% 다소 높은 수준임. 업체는 이를 바탕으로 전체 공사비를 네고한 효과를 보이기 위해 간접비 항목 중 보험료와 같은 공공공사시 투입 정산 항목들에 대해 실 투입금액으로 정리 감액처리하고, 현행 공공공사 입찰시 일반관리비와 이윤항목은 대체로 0원 처리하는 사례와 같이 삭감 처리하는 방법을 채택함

❍ 1회 휘발성 사업으로 인한 관계 업체들의 관리 숙련도 미숙에 따른 COST DOWN 저하

- 모듈러 사업의 생명은 ⅰ)대량 생산을 바탕으로 ⅱ)지속 가능한 사업의 운영으로 ⅲ)끊임없는 기술 개발과 제작, 설치하는 ⅳ)기능공들의 숙련도 향상이 원가 절감으로 연결 될 수 있는데 현재 운영 체계는 FEED-BACK 기능의 부재로 손실 만회의 기회를 십분 활용하지 못한 단점이 나타남

㉯ 사업비 편성의 문제점 개선방향

❍ 단가 산정 개선 방향

- R&D 사업의 특성상 설계와 시공의 분리 운영이 사실상 어려운 부분이 존재함. 하지만 이의 과감한 분리 운영을 시행함으로 인해 업계 전체의 경쟁력을 확보 할 수 있으며, 이를 바탕으로 각 업체별 차별화된 경쟁력 있는 단가의 보유가 모듈러 사업의 시장 확장성을 유지 할 수 있음

- 따라서 설계가 작성과 R&D도급 금액의 기재 방법에 있어 현재와 다른 블라인더 기재 방법과 동시에 여러 업체를 입찰 형태로 금액 제출을 받아 최적 금액을 채택하는 방식으로 운영하여야 시장에서 생존 할 수 있는 방안이라 판단됨

❍ 간접비 구성 개선방향

- 설계가 작성 시 적용된 원가계산서상의 간접비 항목들 중 사후 정산 항목들에 대해서는 기존 방식대로의 정산 운영은 권장 할 수 있음. 단지 전체 금액의 네고를 위한 방편으로 활용하는 것은 지양되어야 하며, 직접공사비에서의 조정이 필요 할 것으로 보임

- 아울러 설계가 구성 시에 간접비율의 조정 가이드 또한 필요함. 즉 간접비는 직접공사비의 재료비, 노무비, 경비 항목을 비율에 따라 조정 가능하므로, 사전 항목 조정의 과정을 거쳐 확정 하는 걸 제안함

❍ R&D 파트너사의 선정방법

- 기술제안 방식 - 기본설계안 확정 후 업체별 기술제안 제출, 심의 후 확정 방식
- TURN-KEY방식 - 기본 형식만 확정 후 설계/시공 일괄 확정 방식
- 설계 / 시공 분리 관리방식(각업체별 특허/의장등록은 제안사항으로)

㉦ 모듈러 주택의 공법 변경에 따른 공사비 절감 방안 : 44%절감(대상항목대비)

❍ 방화석고보드 → 내화뿜칠(2시간, 30mm)

- 당초 : 기존 계약내역서상 내화 구조부(1,687M2, 금액:75,382,776)

[표 2.1.49] 기존 계약내역서상 내화 구조부

품 명	규 격	단위	계약(목표)공사비								비 고
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
DRY WALL(C-50)/기둥내화용	방화19.0*2,한면	M2	483	23,297	11,252,451	15,127	7,306,341	-		38,424	18,558,792	호표 183
DRY WALL(C-50)/보내화용	방화19.0*2,한면	M2	1204	32,069	38,611,076	15,127	18,212,908	-		47,196	56,823,984	호표 184

[표 2.1.50] 기둥 및 보 뿜칠 해당 철골부위 면적(2,615M2)

품 명	규 격	단위	계약(목표)공사비								비 고
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
녹막이페인트(뿜칠)	철재면, 1회, 2종	M2	2615	587	1,535,005	417	1,090,455	37	96,755	1,041	2,722,215	호표 137

- 변경 : 내화피복뿜칠(기둥=30M/M, 보=28M/M) - 전체 30M/M 기준

[표 2.1.51] 내화피복뿜칠

품 명	규 격	단위	수량	견 적 금 액		비 고
				단 가	금 액	
내화피복뿜칠	T=30M/M	M2	2,615	8,400	21,966000	288원 m/m당

- 절감금액 : 53,416,776원

[표 2.1.52] 내화피복뿜칠로 인한 비용절감

당초 : 방화 D/W	변경 : 내화피복뿜칠	절감금액
75,382,776	21,966,000	**53,416,776**

❍ 추가 공정, 사전 공사관리로 인한 절감

- fire-stop 재설치(38백만원) : 100% 절감

[표 2.1.53] 파이어스탑 재설치

품 명	규 격	단위	계약(목표)공사비								비 고
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
파이어스탑재설치	50*25mm	M	1135	28,677	32,548,395	4,626	5,250,510	-		33,303	37,798,905	호표 185

[표 2.1.54] 파이어스탑 재설치로 인한 비용절감

당초 : 파이어스탑재설치	변경 : 항목 불인정	절감금액
37,798,905	관리 철저	37,799,905

❍ 승강기공사 직발주 관리로 절감 : 36% 절감

[표 2.1.55] 승강기공사 직발주 관리

품 명	규 격	단위	계약(목표)공사비							
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
01010109 승강기공사				-		-		-			
엘리베이터(장애인겸용 MRL)	15인 승,60m/min,6F/6STOP	대	1	51,767,894	51,767,894	-		-		51,767,894	51,767,894

[표 2.1.56] 승강기공사 직발주 관리로 인한 비용절감

당초 : 엘리베이터	변경 : 현대E/V견적가	절감금액
51,767,894	33,000,000	18,767,894

❍ 칼라강판마감 → AL SHEET(T=3mm), AL 복합판넬 변경(내구성향상)

- 칼라 강판 기 시공 완료한 청담동 모듈러 주택의 외관이 녹슬고 누수 현상 발생함. 따라서 AL쉬트나 AL복합판넬을 동일 단가로 작업 수행

[표 2.1.57] 칼라강판설치

품 명	규 격	단위	계약(목표)공사비								비 고
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
칼라강판설치(외벽)	1겹불소수지,틀포함	M2	808	60,743	49,080,344	22,159	17,904,472	10,428	8,425,824	93,330	75,410,640	시공도
칼라강판설치(띠장)	1겹불소수지,틀포함	M2	359	63,610	22,835,990	25,635	9,202,965	12,680	4,553,408	101,845	36,592,365	시공도

[표 2.1.58] 칼라강판과 AL복합판넬 비교

당초 : 칼라강판설치	변경 : AL 복합판넬	절감금액
95,949 / m2	95,900 / m3	변동 없음

❍ 철골공사 직발주 관리(철골업체 제작, 공장 반입 후 설치) : 15%절감

[표 2.1.59] 철골공사 직발주 관리로 인한 비용절감

당 초			변 경			절 감 금 액		
수량	금액	톤당금액	수량	금액	톤당금액	수량	금액	톤당금액
88.056	132,126,247	1,500,479	88.056	111,972,995	1,312,523	0	20,153,252	187,956

❍ 절감사항 정리 요약

[표 2.1.60] 절감사항

NO	절감항목	절감금액	절감비율	반영여부		비고
				R&D도급	견적실행	
1	주요구조부 방화석고보드 →내화피복뿜칠	53,416,776	70%	미반영	11,315,556	
2	추가공정, 사전관리로 절감 : FIRE STOP 재설치 항목삭제	37,799,905	100%	미반영	12,262,405	
3	승강기공사 직발주 관리	18,767,894	36%	미반영	0	
4	칼라강판설치→ AL복합판넬설치	내구성 향상	0%	미반영	25,614,995	
5	철골공사 직발주 관리	20,153,252	15%	미반영	20,153,252	
합 계		130,137,827		0	69,346,208	

❍ 절감사항 반영시 최종 공사비 현황(직접비/간접비 현황)

- 추가 절감 반영 가능 금액 : R&D도급 - 130,137,827원
  견적실행 - 절감가능금액 - 기반영 절감금액
  = 60,791,619원
- 추가 절감 반영 금액 반영시 공사비 현황

[표 2.1.61] 절감사항 반영시 최종 공사비 현황(직접비/간접비 현황)

구 분	R&D도급	견적실행	비 고
당초금액(A)	1,584백만원	1,401백만원	
절감가능금액(B)	130백만원	69백만원	
최종금액(C=A-B)	1,454백만원	1,332백만원	
절감율(B/A)	8.3%	4.9%	
평당금액(천원)	5,230 / 5,698	4,791 / 5,039	=C/278평

◎ 경제성 확보를 위한 업체(설계/시공) 선정방법

❍ 설계 / 시공 운영 업체 분리

- 설계 / 시공을 동일업체로 운영시 설계내역서 노출 우려
- 이로인한 R&D 공사비 투입비 절감 운영에 한계점(평당 공사비 높음)
- 설계업체 선정후 설계 완성되면, 적산업체 별도 투입, 내역서 작성
- 작성 내역서 보안 유지 장점 활용
- 블라인더 내역서(물량 공내역서) 제시, 업체 견적후 최적업체 선정

❍ 기술제안형 업체 선정(기본설계 / 실시설계)

- 모듈러 실적업체 대상으로 기술제안 접수
- 기술제안사항에는 각사별 특허 및 의장등록사항 반영 허용
- 실시설계 및 절감 안 검토후 최적의 업체 선정

❍ 설계, 시공 일괄 입찰 방식

- 공사 규모, 개략사업비 설정하고 업체에 설계, 시공일괄 견적 의뢰
- 제출된 설계안과 공사비, 공법 검토 후에 업체 선정

❍ COST & FEE방식

- 설계안 확정 후 시공업체 선정 시 실투입비(COST)와 일정 비율의 일반 관리비, 이윤 보장하는 방식
- 단, 실투입비는 사전 협의 금액 한도내 감액정산 방식으로 운영

㉦ 경제성 확보를 위한 R&D 사업 운영관리 개선방안

❍ 관리 감독자 상주 운영 - 공장제작 초기에 공장 상주 운영
(투입 자재, 인원, 품질, 공정관리 확인)

❍ 공장 및 현장 일일 공사 일보 작성 제출 의무화
(인력, 장비, 자재, 작업량 기록)

❍ 자재 및 협력사 사전 보고, 승인제 활용
(자재공급원 승인 요청서 제출, 협력사 계약체결 신고 의무화)

❍ 기성 청구시 제출 서류 - 자재비, 장비비 지급현황(세금계산서 첨부)
노무비 지급 명세서(직종별 단가, 금액 기재)

경제성 분석 소결

㉠ 관리 전문업체 선정 – 관리 포인트 향상

- 설계, 자재, 시공, 품질관리에 최적화 업체를 발굴 육성하고, 또한 시장성 확보를 위해서는 기술자와 기능공의 확보가 우선 선행되어야 함
- 시범사업과 같은 1회성 휘발성 사업이라 할지라도, 이를 통한 업계의 자구노력이 경주되어야 향후 주택시장의 패러다임을 변화시키고, 주도 할 수 있는 위치 선점의 장이 확보 될 것이고, 현재 사회적 대변환기인 주52시간 근무환경에 적합한 공법으로 자리 매김이 가능 할 것임

㉡ 설계, 시공관리 기법 도입 – 턴키/기술제안형으로 원가절감 및 품질개선 도모

- 경제성 확보에 있어 공사비의 결정적 요소 중 하나는 설계의 충실도임. 이를 위한 방편으로는 부실한 설계가 아닌 경쟁을 통한 내실있고 현실감 있는 설계도서의 작성이 선행되어야하고, 이후 진행되는 COST관리 기법이 적용될 경우 기존 공법들과의 경쟁력 있는 사업성을 확보 할 수 있음. 그 대안으로는 비록 R&D사업의 시범사업이라 할지라도, 업계 자체의 경쟁력 유발과 자체 기술개발을 촉진 할 수 있는 공사 발주 방식인 TURN-KEY나 기술제안형 방식의 도입도 고려해 볼만하며, 최소한 설계, 시공의 분리만이라도 추진하여 원가 경쟁력을 확보해야 할 것으로 사료됨
- 앞서 분석한대로 평당 공사금액을 보면 R&D도급 최종은 5,230,000원/평, 견적실행은 4,791,000원/평이며, 상대적으로 RC 기존 재래식 아파트의 경우는 3,201,000원/평으로 갭은 상당한 차이가 있음

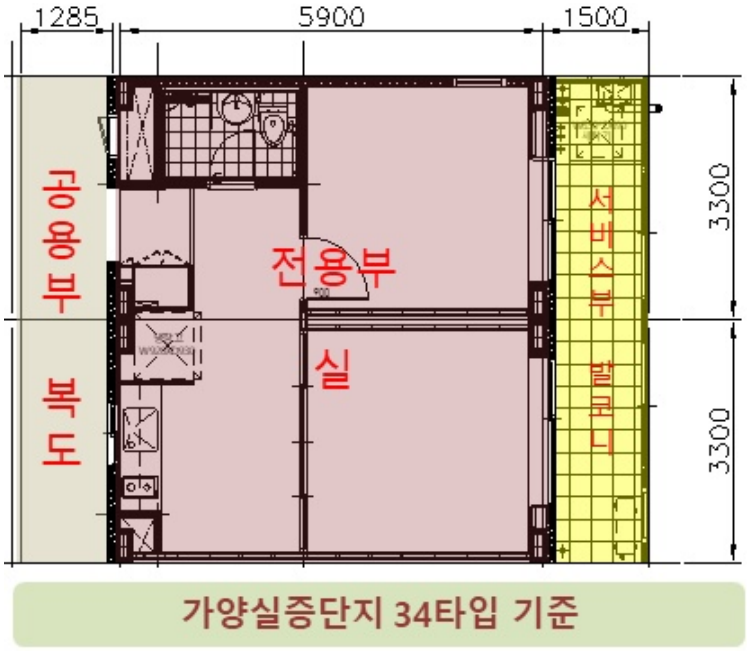
㉢ 일일 작업 모니터링을 통한 체계적인 원가분석

- 모듈러 주택은 공장생산 80%와 현장설치공사가 20%로 공장제작 공정관리의 투명성과 상호 원가절감 항목의 추가 발굴의 의지와 노력이 절대적으로 필요함 (계획 대비 실투입 분석을 통한 절감 항목 발굴)

㉣ 모듈러 적정 공급 및 생산량 예측

■ 견적조건

□필로티를 제외한 상부 모듈러 공사만 적용
□모듈제작+설치+마감공사 포함
□엘리베이터 설비 및 구조체 제외
□필로티, 기초, 부대토목, 정화조 제외
□모듈의 유형은 한가지로 가정
□5년간 매년 4,000모듈(2,000세대) 발주 가정



[그림 2.1.141] 가양실증단지 34타입 기준

■ 생산량에 따른 모듈러 예상가

[표 2.1.62] 생산량 기준에 따른 원가 절감비율

생산량 기준 (200세대, 100%)	재료비		노무비		경비	
	공장제작 절감비율	현장시공 절감비율	공장제작 절감비율	현장시공 절감비율	공장제작 절감비율	현장시공 절감비율
1단계 500세대 (1,000모듈)	99%	97%	98%	95%	95%	100%
2단계 1,000세대 (2000모듈)	97%	96%	95%	90%	90%	90%
3단계 4~5,000세대 (8~10,000모듈)	90%	95%	70%	90%	70%	85%
4단계 10,000세대 (20,000모듈) 평당 450만원	88%	90%	53%	88%	55%	82%

기준 : 가양실증단지 신혼부부 세대 34타입/200세대/평당 600만원, 매입부가세 별도
국내 모듈러 업체(공업화 인증 획득 업체)를 대상으로 가격 조사

㉮ 향후 경제성 확보를 위한 필요 연구내용

- 모듈 표준화 및 규격화에 의한 대량생산 기반
- 모듈러 전용생산 공장, 설비, 기능인력 확보를 통한 생산성 향상
- 기존강재(재료) 모듈의 재료 다양화 및 하이브리드 공법 개발을 통한 경제성 확보
- 모듈러 주택 생산(설계, 제작, 시공) 시스템의 서플라이체인 구축 방안

(2) 모듈러 발주제도

① 모듈러 발주제도 고찰

㉠ 모듈러 발주제도 개선 배경 및 목적

- 정부는 건설산업 혁신과 모듈러주택 활성화를 모색하고자 부산, 천안, 인천 등지에 모듈러주택 시범사업을 추진 중
- 모듈러 주택사업의 경우 대부분 소규모 공사로서 현행법상 설계 및 시공을 분리발주함으로써, 모듈러의 특성을 반영한 품질관리가 어려움. 원인은 제조업체별 구조 및 접합 공법이 상이하여 설계의 일괄적용이 어렵고, 시공사 선정 후 재설계를 하는 등의 문제 발생
- 또한 모듈러주택, 공업화주택, 프리패브 등 모듈러 건축물의 정의가 현재 명확히 이루어져 있지 않으므로 관련 법제도 개선 필요

㉡ 공공건설공사 발주방식 사례조사[1)]

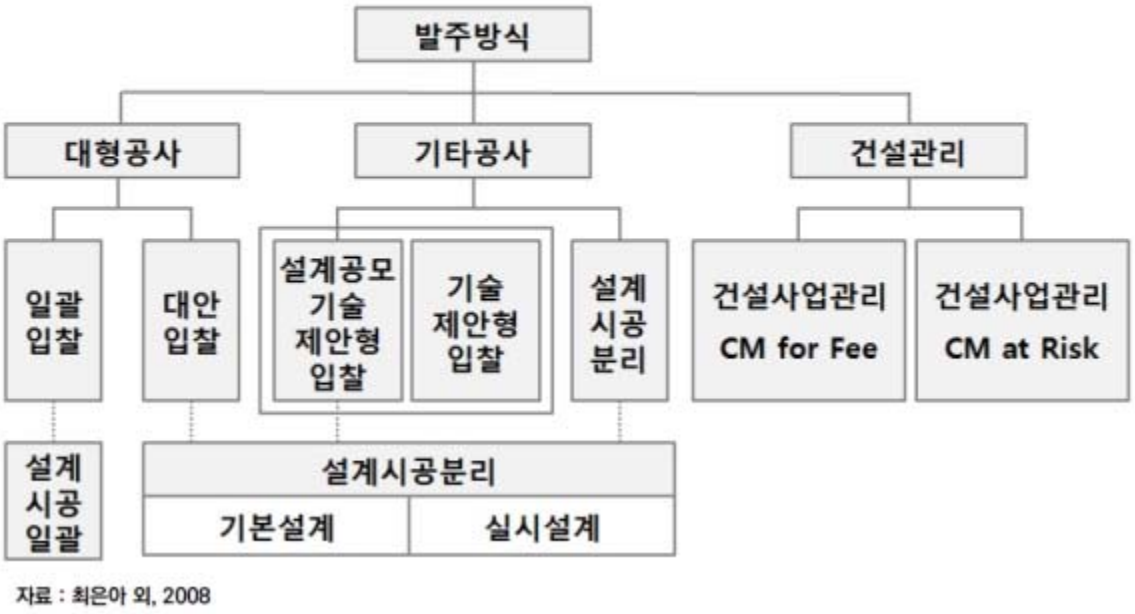
- 발주방법에 따른 특징 및 모듈러 발주 시 특징 및 고려사항 정리
  : 설계시공분리발주(DBB), 설계시공일괄발주(DB), 턴키 발주, 건설사업관리 발주(CM), 통합프로젝트 발주방식(IPD), 주계약자 공동도급 발주방식 등

[표 2.1.63] 발주방법에 따른 공공건설공사 발주방식 비교

발주방식	특징	고려사항
설계시공분리발주 (Design-Bid-Build, DBB)	- 전통적인 공사계약방식으로 설계 및 시공 분리 - 프로젝트 관련자와 발주자가 직접계약신규공사, 설계변경이 적은 공사에 적합	- 모듈러 설계 도서 변경 사전 인지 필요 - 모듈러 제작업체 및 시공사의 업무범위 명확히 하여 분쟁 방지
설계시공일괄발주 (Design Build, DB)	- 설계, 시공, 감리가 단일 수급, 단일 목적 대상 계약 시 공사금액 미확정으로 예비비가 높게 책정되나 공기단축에 따른 비용절감 가능	- 보수공사, 설계변경이 많은 공사에 부적합
턴키 발주 (Turn-Key)	- 설계, 시공, 감리 단일 수급 및 수행 - 발주 완성품의 목적 성능에 대한 최소한의 품질 보증 전제	- 발주자는 초기 프로젝트보다 최종 목적물에 대한 기준 중심의 정보 제공
건설사업관리 발주방식(CM)	- 책임형 건설사업관리 발주방식(프로젝트 기획단계부터 책임 및 수행) - 용역형 건설사업관리 발주방식(사업진행과 관련된 자문수행. 시공책임X)	
통합프로젝트 발주방식(IPD)	- 발주자, 건축가, 시공자, 컨설턴트가 하나의 팀으로 구성되어 통합 프로젝트 수행 - 모든 참여자가 책임 및 성과 공동 부담 - 비용절감 및 전체 공사기간 단축, 품질향상	- BIM을 활용하여 의사소통 창구 일원화로 가장 이상적인 발주방식이나, 국내에는 IPD 발주방식 적용기준 부재
주계약자 공동도급 발주방식	- 건축/토목, 전기, 정보통신, 소방, 기계 공사업체들이 공동 도급하는 형태 - 대상공사: 2억~100억 미만 공사	- 공사 및 하자관리 업무가 다른 발주방식에 비해 많음 - 모듈러 제작사가 전문건설업 등록되어 있어야 가능

1) 이정훈, 성공적인 모듈러 건축물 발주를 위한 발주자의 역할, 서울주택도시공사, 2018

공공건설공사 발주방식 요약



[그림 2.1.142] 공공건설공사 발주방식 요약

- 국내 모듈러 발주 및 입·낙찰 현황 분석

총 공사금액 100억원 미만의 소규모 공공임대주택 공사 적용 가능성
조립식 주택의 특성상 발주소요기간이 짧아야 함
전문 기술력을 가진 업체의 선정 가능성 검토 필요
조립식 주택의 공사품질확보 가능성

- 현행 법령 기준으로 고려 가능한 발주방식 및 입·낙찰 방식

[표 2.1.64] 발주방식 및 입 · 낙찰 방식

구분	1안	2안(best)	비고(best)
발주	주계약자 공동도급 발주(대상공사 2억~100억 미만)	설계시공 일괄발주 방식(DB)	현행 법령상 적용대상 공사규모 포함 X
낙찰자 선정방식	실적 제한 경쟁입찰 & 제한적 최저가격(적격심사제) 낙찰자 선정	기본설계 기술제안 입찰방식	현행 법령 상 심의대상 공종이 200억 이상만 가능. 공사비 절감방안에 대한 배점이 높아 모듈러 공법이 부적합
공사금액 계약방식	총액계약방식(Lump-sum)	총액계약방식(Lump-sum)	현행 법령 상 적합

② 모듈러 실증단지 발주 관련 문제점 도출

㉠ 실증사업 개요

❍ 사업개요

- 위치 : 강서구 가양동 1457-1번지
- 규모 : 지하1층~지상6층(A동 4층, B동 6층)
- 구조 : 지하 RC, 지상1층 RC, 지상2층~6층 모듈러시스템(적층식)
- 사업목적 : 국토교통부 R&D사업으로 추진되는 "수요자맞춤형 조립식 주택(이하 모듈러주택) 기술개발 및 실증단지구축"연구사업의 일원

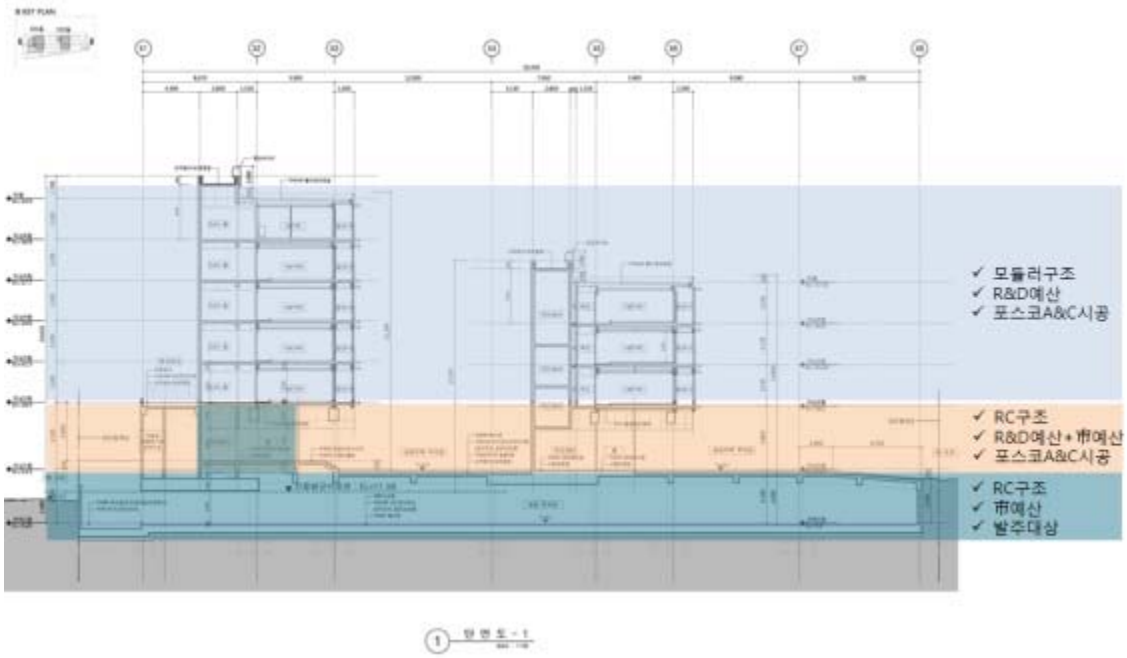


[그림 2.1.143] 가양 라이품 조감도

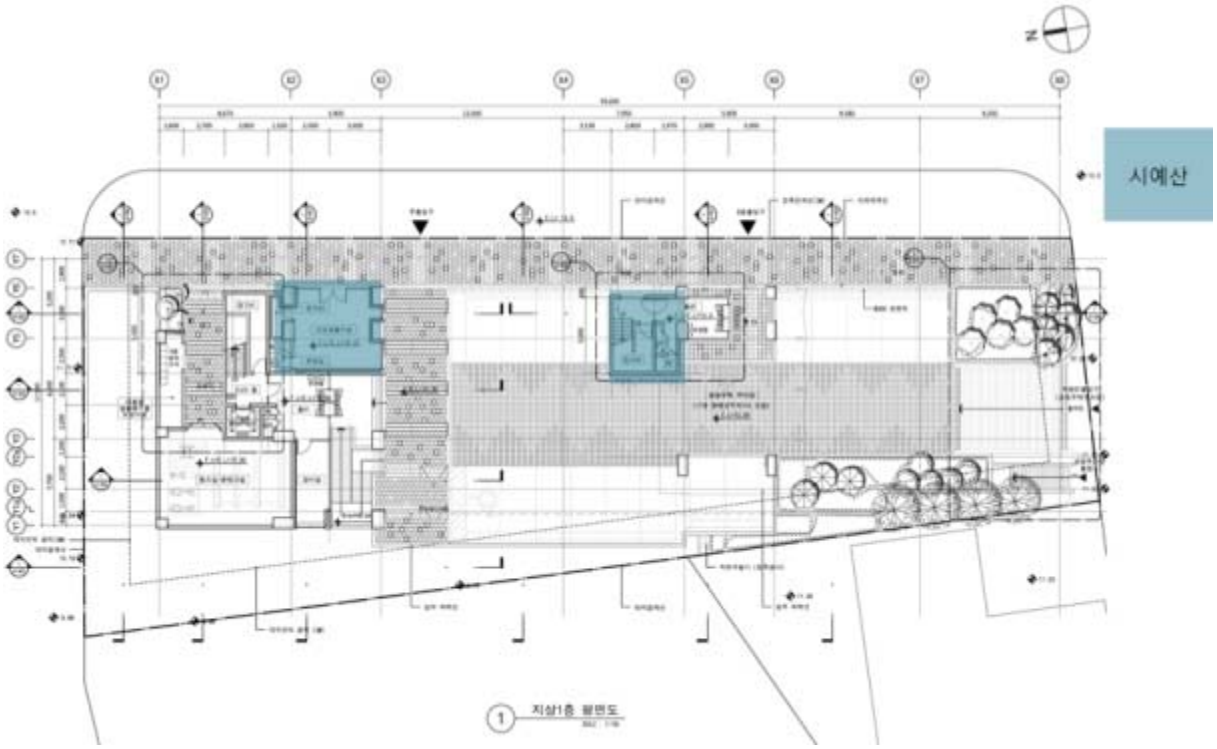
❍ 공사개요

- 착공신고 : 2015.12말
- 공사기간 : 2016.1 ~ 2016.4 (3~4개월)
- 시공사

지상층(모듈러 적층공법) : 포스코A&C(국책과제 R&D 협약에 의해 체결)
지하층(철근콘크리트), 지상1층 일부 : 미정



[그림 2.1.144] 가양 단면도



[그림 2.1.145] 가양 지상1층 평면도

❍ 공사발주 대상

- 지하층 공영주차장 및 지상1층 일부분(근생, 계단실 일부)

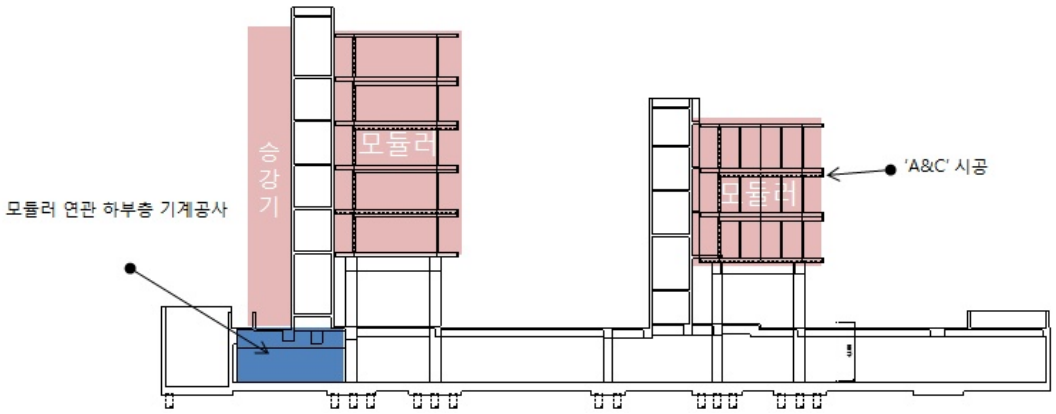
❍ 공사범위

- 하수관이설공사, 지하층 공영주차장 조성공사, 지상1층 일부공사

㉡ 분리발주로 인한 모듈러 실증사업의 문제점

❍ 시공오차 및 검측 포인트 상이

- 일반적으로 모듈러 공법은 기초와 필로티, 추가적으로 건물의 횡력 저항을 위해 계단실과 같은 코어부위를 RC로 시공
- 현장에서 시공한 RC공사가 완료 된 이후에 공장에서 제작된 모듈을 설치
- K현장의 경우 모듈공사부분과 RC공사부분을 연구비예산 부족으로 분리발주하여 시공오차관리에 대한 기준이 상이하여 현장에서 하자로 발생



[그림 2.1.146] 음영처리부(R&D시공) 및 나머지 부분(별도시공)

- RC공사의 경우, 골조공사 등 대부분의 공정이 습식공사이기 때문에 정밀한 오차관리를 하지 않을 경우 통상적으로 10~30mm정도는 오차범위로 인정하고 있고, 마감에서도 이러한 오차를 인지하고 있는 상태여서 현장에서 컨트롤 가능
- 그러나 모듈러의 경우, 공장에서 제작되기 때문에 허용오차범위가 최대 1~2mm내외여서 RC공사부분의 오차관리 부족으로 인해 모듈설치 시 하자로 이어지며 이는 공사비 상승의 원인이 됨
- K 사례의 경우, RC(하부) 및 모듈러(상부)를 연결시키기 위하여 임베디드 철물 공정 및 비용이 추가로 발생하였으나, 연구과제 실증단지 특성 상 공사비의 추가 투입 어려움



[그림 2.1.147] 시공오차로 인해 수직레벨 상이



[그림 2.1.148] 추가 구조검토를 통한 보강(비용상승)

- RC구조체가 하층대비 상층이 50mm 이상 기울어져 앰베디드 철물 연결부위에서 하부는 간격이 넓어 철물을 덧댐시공하고 상부는 철물을 잘라내야 하는 공정 추가 발생



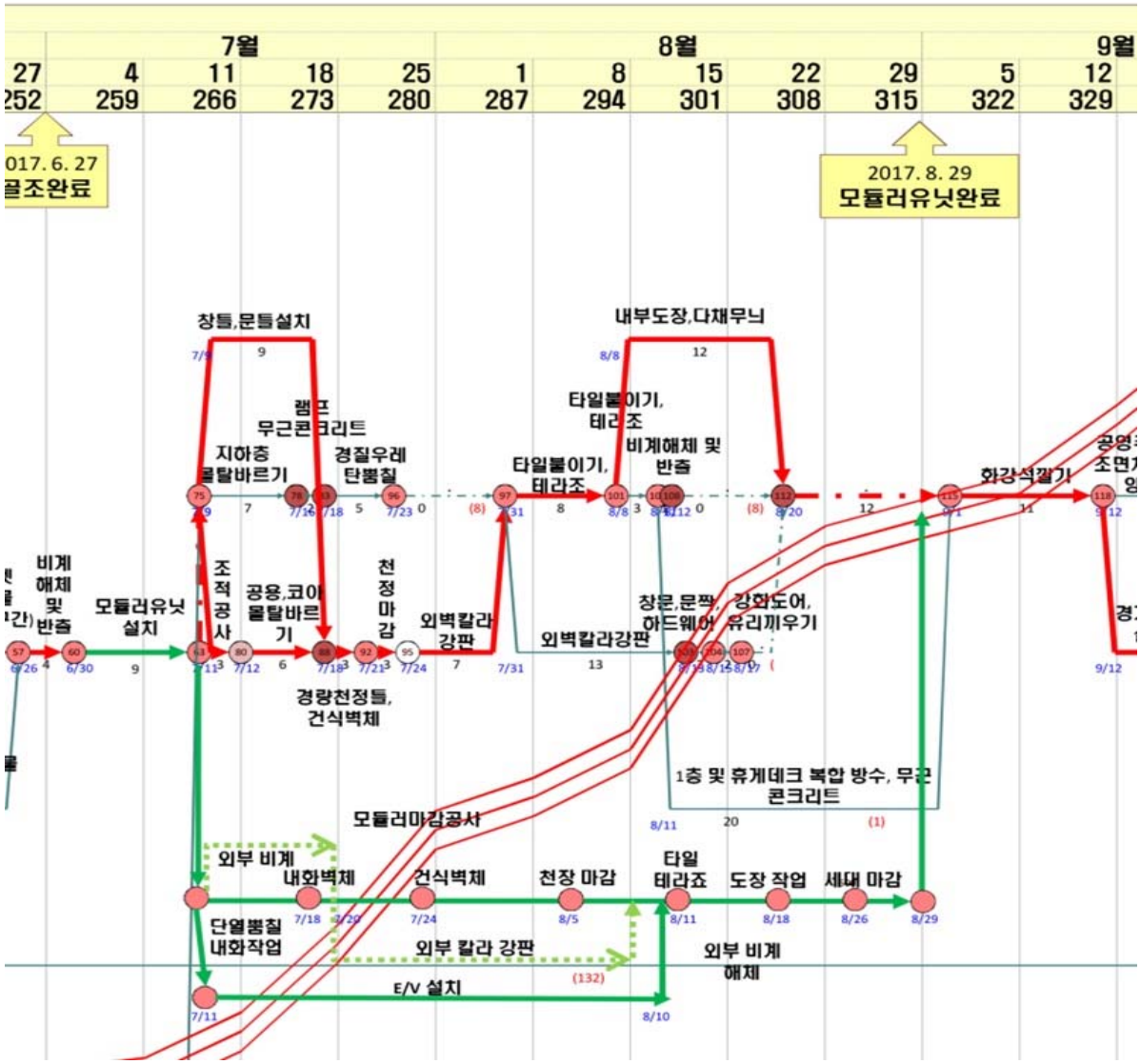
[그림 2.1.149] 모듈 상층부 앰배디드 절단(비용상승)



[그림 2.1.150] 모듈 하부층 앰배디드 덧댐용접(비용상승)

❍ 공사관리 주체의 불명확

- 한 현장에 2개의 업체(모듈러시공사, 하부공사 시공사)가 동시에 시공하다보니 공정이 꼬여 간섭이 발생하여 공기지연 및 공사비 상승 (ex. K현장의 경우 모듈러 외장공사를 위해 비계설치하고 있는 상황에 외부 바닥면 콘크리트타설 공사 동시수행일정으로 공사계획 변경이 불가피 한 상황이였음)
- 현장 사고 발생시 사고원인에 따라 책임주체가 불명확 함
- K현장의 경우 모듈러 설치시부터 모듈러 완공시까지는 모듈러 공사업체가 현장 주관업체로 하부공사업체는 작업이 불가한 상황(인부통제 및 사고발생시 책임여부)이나 공기 등의 여건으로 동시진행 함



[그림 2.1.151] 모듈러 실증단지 공정 프로세스

❍ 부대토목공사의 중복

- 부대토목공사 공사시기는 대부분 공사마무리 시점에 실시
- 그러나 모듈러 현장 설치를 위해 크레인 설치 및 모듈러 반입을 위한 진입로 확보 때문에 일부 구간의 되메우기 공정이 필요함
- 모듈 설치 이후 가스관 등의 매립을 위해 일부구간을 다시 걷어내고 시공해야 함



[그림 2.1.152] 모듈러 반입을 위한 되메우기 공사

❍ 시공인력의 중복으로 인한 인건비 상승

- 동일공종이지만 하부공사와 모듈러공사가 분리하여 시공하다 보니 시공자 인건비 계상 시 품셈이 약 1.5배 정도 증가하는 경우 발생 (ex. 단일공정이 1.5일 공사분일 경우 2일치 품 지급하게 됨. 예를들어 모듈러 공사 복도 도장시 1.5품, 하부공사 계단실 0.5품일 경우 2품이면 끝날 수 있음에도 불구하고 개별로 공사하다보니 3품의 공사비를 지급하게 되는 경우 발생. K현장의 경우 하부업체와 모듈러 업체가 협의하여 테라조 바닥공사는 단일업체로 발주하였으나, 도장은 별도로 진행함)
- 또한 현장 시공자의 기술에 따라 차이가 발생하는 공정의 경우 최종 마감재의 결과가 다르게 표현되는 경우 발생(ex. 다채무늬도료 시공 등)

❍ 계약문제

- 대기업참여불가 : 중소건설업체 지원을 위해 대형건설업체의 소규모 공공공사 입찰참여를 제한하는 “건설공사금금액의 하한”에 따라 기업의 매출규모 1/100 이하 공사에는 참여 불가
- 수의계약 불가 : K현장의 경우 지방자치단체를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령 제25조에 의거 수의계약에 의할 수 있는 경우)에 해당하는 다양한 사유를 제시하였음에도 불구하고 공공기관(SH)의 구조상 책임을 지고 수의계약을 수행 할 당사자가 없어 수행하지 못함

- K현장 수의계약 검토내용

■ 수의계약 근거

지방자치단체를당사자로하는계약에관한법률 시행령 제25조(수의계약에 의할 수 있는 경우)의 ① 항 4호 [특정인의 기술·용역 또는 특정한 위치·구조·품질·성능·효율 등으로 인하여 경쟁을 할수 없는 경우로서 다음 각 목의 경우]

가. 공사에서 장래 시설물의 하자에 대한 책임구분이 곤란한 경우로서 행정자치부장관이 정하는 기준에 적합한 직전 또는 현재의 시공자와 계약을 하는 경우

나. 작업상의 혼잡 등으로 하나의 현장에서 2인 이상의 시공자가 공사를 할 수 없는 경우

다. 마감공사에 대하여 행정자치부장관이 정하는 기준에 적합한 직전 또는 현재의 시공자와 계약을 하는 경우

차. 특정인과의 학술연구 등을 위한 용역계약을 할 필요가 있는 경우로서 법32조에 따른 계약심의위원회의 심의 결과가 필요하다고 인정하는 경우

○ 다른 법령에 따라 국가나 지방자치단체의 사업을 위탁받거나 대행할 수 있는 자와 해당 사업에 대한 계약을 하는 경우에 해당

■ 수의계약 사유

본 공사는 지하층 데크주차장(공영주차장)부분 위에 지상층 아파트부분을 건설하는 공사로서, 아파트부분 공사는 시공사가 기 선정(포스코A&C)되어 있고 지하주차장 및 지상1층 일부분에 대한 공사는 시공사가 선정되어 있지않아, 주동부분을 발주방안을 검토한 결과, 동 부분을 아파트부분과 분리시공시 아래와 같은 주요 문제가 있음

① 모듈러주택부분 및 지하주차장부분의 일체형 구조로서, 분리시공시 구조안정성 확보 우려

② 공영주차장구조체와 모듈러구조체와의 연결하는 접합부 앙카철물은 초정밀시공이 요구되어 동일시공 필요

③ 분리시공시 아파트부분과 공영주차장와 상호 연계되는 공용부(엘리베이터, 외부마감 등)의 일관된 마감 품질확보 곤란

④ 각종 공영주차장을 관통하여 연계설치하는 전기, 통신, 소방설비, 오·우수 관로공사 등의 분리시공 곤란

⑤ 분리시공시 아파트부분과 공영주차장 연계되어 있어, 구조 하자 발생 및 접합부 마감 하자 발생 시 책임소재가 불분명 함

⑥ 지상층 모듈상차, 외부 강관비계 존치, 각종 자재반입, 콘크리트 타설장비, 자재야적, 이동통로 등 모듈러주택공사 시 대부분의 작업이 1층에서 진행되는 경우가 많아 지하주차장공사와 간섭 발생, 간섭에 의한 공정지연 및 시설물 파손 등의 책임발생

⑦ 작업공간 중첩(1층)에 의한 안전 등의 현장관리 구분 곤란

⑧ 전기, 급수, 가설휀스 등의 가설시설 공동사용에 따른 금액분할 및 관리주체 불분명

❍ 감리의 역할 미흡

- 공사제조도급용역의 경우 건설현장과 다르게 발주처가 제조하도업체(수장, 기계, 전기 등의 전문공종업체)에게 품질관련 이슈를 제기할 수는 있으나 공사방법 및 제작과정에 대한 문제점이나 안전관리 등에 대한 책임을 100%지지 않음
- 단, 현재 모듈러제조분야의 경우 모듈러 제조부분에 대한 하도업체에 대한 관리방법이나 계약방법 등이 명확하지 않고, 산재처리에 대한 명확한 규정이 없어 일반건설기준을 따르고 있는 실정 임(엄밀히 구분하면 공장제작시 업체는 제조업등록이 되어야 하며 제조산재에 가입이 되어야 함. 하지만 현재는 그렇게 하고 있지 않음)
- 이는 현장감리의 문제로 이어지며 현재 법적 기준 상 '모듈러' 관련 감리 기준이 없어 감리에 따른 책임소재 불분명

■ 모듈러 전문 건설사업관리 필요

– 모듈러 공장 및 현장의 특수성을 고려한 전문건설사업관리 제도 및 전문인력 필요

■ 모듈러 공장 및 현장에 대한 관리기준 필요

– 공장과 현장 이원화에 따른 유기적인 조직구축
(Ex. 공장감리와 현장감리의 업무연계, 공장에서 모듈출하와 현장에서 모듈반입 연계)
– 공장관리 : 건설제조업에 맞는 모듈러 공장제작프로세스를 이해하고 단계별 관리기준 마련
– 현장관리 : 모듈의 현장반입 인수인계 및 현장설치에 대한 관리기준 마련

■ 모듈러 전문 건설사업관리를 위한 기준 재정립 필요

– 품질관리 : 공장생산에 준하는 시공오차관리기준 및 검측기준 마련
– 시공관리 : 공장생산에 맞는 단계별 중점 관리방안(절차서) 수립
– 안전관리 : 모듈 양중, 설치 시 안전관리기준마련
– 공정관리 : 공장과 현장이 이원화에 따른 효율적 공정관리 체계 구축

❍ 책임구분 불명확 및 작업 간섭

- 데크 주차장 별도 시행으로 인하여 책임 구분 곤란 및 작업의 혼잡으로 인하여 동일 현장에서 2인 이상의 시공자가 공사를 할 수 없는 경우 발생

[표 2.1.65] 책임구분

구 분	세부항목	내 용	비 고
건축 토목	PC데크와 모듈러 연결부 시공	- PC데크(공장제작) 상부 모듈러 앙카설치 - 모듈전체 조립치수 2mm 이내 오차의 앙카 설치 - 연결부위 세부마감 방법 불명확 - 모듈러와 연결되는 기초, E/V, 계단 등 연결구조	- PC구조에 앙카설치를 설치하는 기술적용 - 정밀시공 필요 - 하자발생요인 / 상대사에 책임전가 - 디테일한 설계 및 시공관리 필요
	건축공정 중복	- 마감시 각사의 공정관리에 따라 혼잡 발생 - 각각의 시공사가 동일공정 인력투입	- 공사지연 사유 발생 / 공사비증가 - 공사장 혼잡 / 안전관리 취약
	토목공사 및 각종 인입공사	- 토공 및 전기, 설비 인입공사 공정중복 - 외부조경, 부대토목 등이 모듈러 조립 및 설치, 차량운송, 장비운영, 마감공정과 중복 가능	- 공정관리 난해 / 공사지연 사유 - 안전관리 취약
전기 기계	각종 배관 설치 전기, 설비기기 설치	- 동일공종을 2개사가 시공 - 배관연결, 장비 설치위치, 전기기기 설치위치 시공	- 연결부위 등 공사부실요인 - 공사범위 불확실 / 하자요인 / 책임전가 - 업무처리 혼잡 - 공사관리 난해 / 공사비증가
기타	전체 공정관리 전체 공사관리 안전관리	- 한 프로젝트를 양사에서 각각 관리 - 가설공사, 공통가설공사 등 중복 - 폐기물발생 처리 등 문제	- 공사비 증가 - 발주 및 공사복잡 / 업무처리 혼잡 - 관리인력 초과투입

㉣ 모듈러 제작업체가 연구기관 실증사업 직영 시 발생할 수 있는 간접비 이중계상의 문제점

- 외주 용역 시 간접비·이윤은 하도금액에 포함되나, 직접 참여 시 R&D의 특성 상 간접비·이윤을 계상할 수 없으므로 공사비 상승 등 문제 발생 시 공사비용 조정 불가능

발주제도 소결

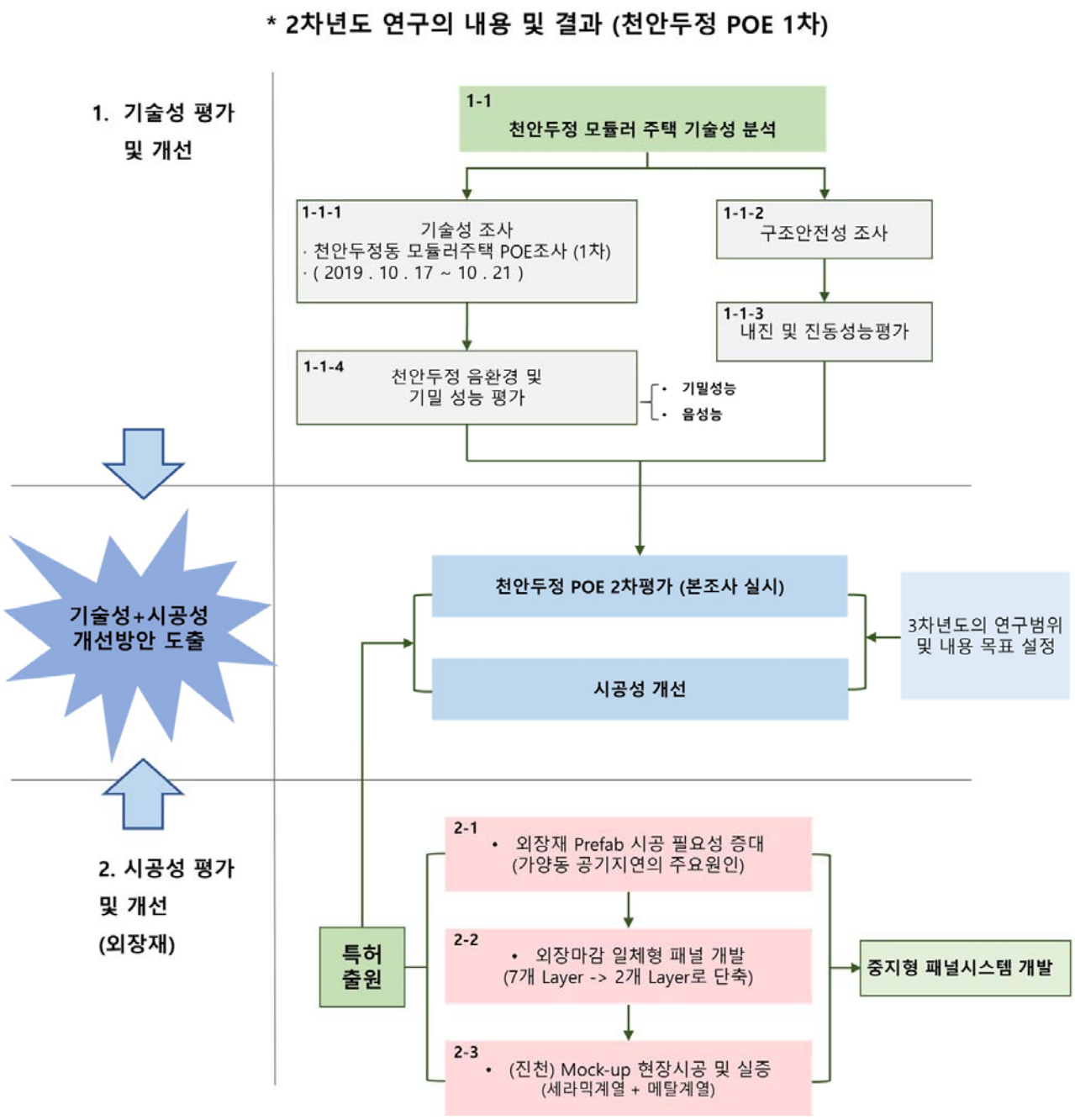
■ 개선방향을 위한 고려사항

- 모듈러 주택사업의 경우 대부분 소규모 공사로서 현행법상 설계 및 시공을 분리발주 함으로써 모듈러의 특성을 반영한 품질관리가 어려움. 이에 모듈러의 효율적인 발주를 위해서 다음과 같은 사항이 고려되어야 함

□분리발주 시 모듈러 제작사 및 건설사의 모듈러 기술 및 매뉴얼 필요
□모듈러 주택의 대량생산 기반 마련 및 공장자동화 기술 발전 모색
□300억원 이상 공사에 대하여 턴키 발주 적용방안 검토
□기존 건축공법과 경쟁할 수 있도록 지속적인 모듈러 발주 환경 조성

2차년도 수행내용

나. 2차년도 수행내용


* 2차년도 연구의 내용 및 결과 (천안두정 POE 1차)
1. 기술성 평가 및 개선
1-1
천안두정 모듈러 주택 기술성 분석
1-1-1
기술성 조사
· 천안두정동 모듈러주택 POE조사 (1차)
· (2019 . 10 . 17 ~ 10 . 21)
1-1-2
구조안전성 조사
1-1-3
내진 및 진동성능평가
1-1-4
천안두정 음환경 및 기밀 성능 평가
• 기밀성능
• 음성능
기술성+시공성 개선방안 도출
천안두정 POE 2차평가 (본조사 실시)
시공성 개선
3차년도의 연구범위 및 내용 목표 설정
2. 시공성 평가 및 개선 (외장재)
2-1
• 외장재 Prefab 시공 필요성 증대 (가양동 공기지연의 주요원인)
2-2
• 외장마감 일체형 패널 개발 (7개 Layer -> 2개 Layer로 단축)
2-3
• (진천) Mock-up 현장시공 및 실증 (세라믹계열 + 메탈계열)
특허 출원
중지형 패널시스템 개발

1) 천안두정 실증단지 입주자 대상 거주 후 평가(KICT)

가) 대상지 개요 및 조사 방법

(1) 대상지 개요 및 특성

① 입지 여건

- 충청남도 천안시 서북구 두정동 581번지(A1블록)에 조성되는 천안두정 행복주택은 주변으로 경부고속도로 천안IC와 KTX_SRT 천안아산역 및 1호선 두정역과 종합터미널 등 다양한 교통망과의 접근성이 좋은 지리적 이점이 있음

- 천안두정 행복주택은 천안시청으로부터 동북방향 약 2km 지점에 위치하며, 북측으로 8M 통과 도로와 접하고 있으며, 부지 서북방향 약 0.5km 지점에 노태산(141m)이 자리하고 있으며, 동북방향 약 1km 지점에 두정도서관이 위치하고 있음

- 주변에는 오성초등학교를 비롯하여 1km 이내 아홉 개의 초중고교가 위치했으며, 한국기술교육대, 공주대, 단국대 등 다수 대학이 근거리에 위치함

- 주변 생활편의시설은 종합운동장, 이마트, 롯데마트, 단국대부속병원 등이 있으며, 천안일반상업단지, 아산디스플레이시티 등 산업단지 접근성이 좋은 환경에 자리함



[그림 2.2.1] 천안두정 행복주택 입지 여건

② 대상지 특징

- 충청남도 천안시 서북구 두정동 581번지(A1블록)에 위치한 천안두정 행복주택은 국토부 R&D사업으로 한국건설기술연구원, 한국토지주택공사, 스타코, 금강공업이 합작한 실증단지 조성사업으로, 모듈러 공법(적층식, 인필식)을 적용한 '조립식 공동주택'임

- 입주 대상자는 대학생 및 청년계층(만19세 ~ 만 39세 이하)과 무주택기간이 1년 이상인 고령자(만 65세 이상)으로 2019년 9월말부터 입주가 시작됨

- 대상지는 일반주거지역 내 유휴부지에 건설되었으며, 현재 1층의 입주자지원센터는 추후 주민편의시설로 예정되어 있음

- 건물은 단일 건물이나, 공법에 따라 A동과 B동을 구분하여, A동(5호~8호)은 라멘식 적층구조로 이루어져 있고, B동(1호~4호)은 인필식 구조로 이루어져 있음

- A동의 경우 16㎡ 원룸형 20세대로 되어 있으며, B동은 16㎡ 원룸형 4세대와 26㎡ 16세대로 구성. A동 1층의 경우 주민공동시설인 게스트하우스와 홍보관, 노인정이 계획되어 있음

- 현재 입주자지원센터가 있어 상주 관리인이 있지만, 입주가 완료됨 시점에서는 상주 관리자는 없을 예정이며, 한국토지주택공사 천안두정, 백석 관리사무소에서 주차장과 함께 건물을 관리하고 있음



[그림 2.2.2] 천안두정 행복주택 내부 평면도



[그림 2.2.3] 천안두정 행복주택 조감도

(2) 조사목적 및 분석방법

① 조사목적

- 천안두정 모듈러주택 실증단지 평가를 통해 사용자 관점의 거주 만족도 평가 및 진단
- 추후 모듈러주택 거주환경 개선방향 및 정책 제언
- 2차 거주 후 평가 분석에 대한 보완 및 계획

② 조사 기간 및 방법

- 조사는 2019년 10월 17일부터 10월 21일까지 5일간 진행되었으며, 설문 당시 거주 인원 총 20세대 중 13세대를 대상으로 설문을 진행하였음
- 조사 방법으로는 오프라인 설문 및 심층 인터뷰 방식으로 진행하였고, 의사소통이 어려운 고령자 세대의 경우 1대1 직접면담 방식으로 인터뷰와 설문조사를 동시에 진행하였음

③ 분석방법

- 이전의 "(가양동)수요자 맞춤형 조립식 주택 기술개발 및 실증단지 구축" 사업의 분석방법을 기반으로 평가 분석을 시행하였으며, 빈도분석을 통해 각 요소에 대한 만족도 분석을 진행
- 분석의 내용은 거주자 일반사항, 주거성능요소, 주택계획요소, 주변환경요소, 모듈러주택 인식, 모듈러주택 발전방향으로 총 6가지 요소로 구분하여 조사

[표 2.2.1] 설문지 문항 구성

일반사항	성별 / 연령 / 이전 주거유형 / 평균 정주시간(주중, 주말) / 취미
주거성능요소	환기-2문항 / 기밀-1문항 / 결로-1문항 / 채광-1문항 / 방음-7문항 / 진동-3문항
주택계획요소	내부평면 / 실의 규모 / 취사공간 규모 / 냉난방 시스템 / 외관 디자인 / 내부 수납공간
주변환경요소	근린생활시설 / 대중교통 / 여가활동시설
모듈러주택 인식	(입주전)모듈러주택 사전인식 / 현 건물의 모듈러주택 인식 / 공고 정보량 / 모듈러주택 장단점
모듈러주택 발전방향	추후 거주의향 / 일반적 가족의 모듈러주택의 거주 적합성 / 모듈러주택의 보완점추후 거주의향 / 일반적 가족의 모듈러주택의 거주 적합성 / 모듈러주택의 보완점

- 가양동 모듈러주택 실증단지 거주 후 평가의 만족도와 천안두정 모듈러주택의 만족도를 비교
- 성별, 공법별 간 만족도 평균 차이에 대한 비교

나) 천안두정 모듈러 주택 거주 후 평가 분석

(1) 조사 대상자 특성

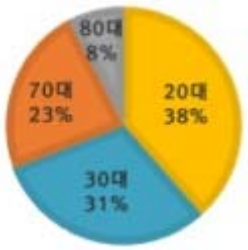
- 성별은 남성 5명(38.5%), 여성이 8명(61.5%)로 여성의 비중이 더 높음

- 조사에 응한 응답자의 연령은 사회초년생 20,30대와 고령자 70,80대로 구성됨. 사회초년생의 경우 20대는 5명(38.5%), 30대는 4명(30.8%)이며, 고령자 세대의 경우 70대 3명(23.1%), 80대 1명(7.7%)로, 현재 사회초년생 세대가 70% 고령자 세대가 30%로 입주된 상태임

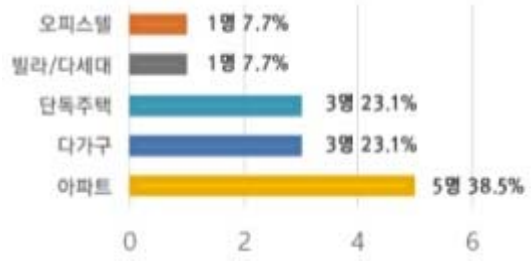
- 이전 주거유형을 살펴보면 아파트가 5명(38.5%)로 가장 많았으며 이어서 다가구주택이 3명(23.1%), 단독주택 3명(23.1%), 빌라 및 다세대 1명(7.7%), 오피스텔 1명(7.7%)로 나타남



[그림 2.2.4] 성별 분포



[그림 2.2.5] 연령 분포



[그림 2.2.6] 이전 주거유형 분포

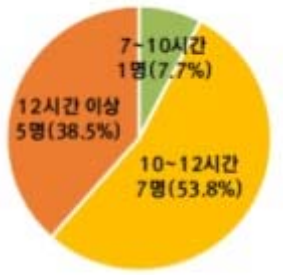
[표 2.2.2] 조사 대상자 일반 특성-1

구분		빈도	%
성별	남	5	38.5
	여	8	61.5
연령	20대	5	38
	30대	4	31
	70대	3	23
	80대	1	8
이전 주거유형	아파트	5	38.5
	다가구주택	3	23.1
	단독주택	3	23.1
	빌라/다세대	1	7.7
	오피스텔	1	7.7

- 현 주택에서 보내는 시간은 주중에는 7~10시간, 10~12시간, 12시간 이상이이 4명(30.8%)으로 나타났고 5시간 미만으로는 1명(7.7%)로 정주시간을 보임. 주말시간에는 10~12시간이 7명(53.8%)로 가장 많았으며 12시간 이상이 5명(38.5%), 7~10시간 1명(7.7%)로 나타남
- 정주공간에서 주로 하는 활동은 주중, 주말 모두 휴식이 가장 많았으며, 주중 활동으론 가사, 취미생활 순, 주말 활동은 자기개발, 일, 가사, 취미생활 순으로 나타남



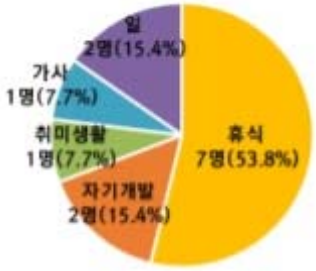
[그림 2.2.7]
정주시간[주중]



[그림 2.2.8]
정주시간[주말]



[그림 2.2.9]
정주활동[주중]



[그림 2.2.10]
정주활동[주말]

[표 2.2.3] 조사 대상자 일반 특성-2

구분		빈도	%
정주시간[주중]	5시간 미만	1	7.7
	05~07시간	0	0.0
	07~10시간	4	30.8
	10~12시간	4	30.8
	12시간 이상	4	30.8
정주시간[주말]	5시간 미만	0	0.0
	05~07시간	0	0.0
	07~10시간	1	7.7
	10~12시간	7	53.8
	12시간 이상	5	38.0
정주활동[주중]	휴식	11	84.6
	자기개발	0	0.0
	취미생활	1	7.7
	가사	1	7.7
	일	0	0.0
정주활동[주말]	휴식	7	53.8
	자기개발	2	15.4
	취미생활	1	7.7
	가사	1	7.7
	일	2	15.4

(2) 천안두정 모듈러주택에 대한 인식 및 발전방향

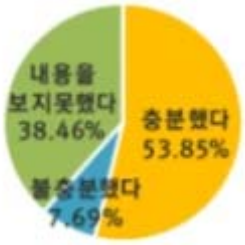
① 모듈러주택에 대한 인식



[그림 2.2.11] 모듈러주택 인지도



[그림 2.2.12] 현 주택의 모듈러주택 인지



[그림 2.2.13] 사전 정보 충족도

㉠ 응답자 중 61.5%가 입주 전 모듈러주택에 대해 인지

- 현 주택 입주 전 모듈러주택의 개념을 알고 있었다는 응답자는 8명(61.5%), 인지하지 못한 사람은 5명(38.5%)로 나타남. 절반 이상의 입주자가 모듈러주택에 대해 인지하고 있는 것으로 나타남. 이는 가양동 보다 인지하고 있는 비율이 높다는 것을 알 수 있음

[표 2.2.4] 모듈러주택 인지 여부 비교

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
알고 있었다	12	48.0	8	61.5
몰랐다	13	52.0	5	38.5

㉡ 입주한 두정동 행복주택이 모듈러 주택이라는 것은 61.5%가 인지

- 현 입주한 주택이 모듈러주택이라는 것을 알고 있었던 응답자는 8명(61.5%), 인지하지 못한 사람은 5명(38.5%)로 나타남
- 가양동과 비교했을 때 입주한 주택이 모듈러주택이라는 것을 인지한 비율이 낮은 것을 알 수 있음. 이는 고령자들의 경우 본인이 신청하기보단 타인(가족 및 친인척)등이 대리로 신청한 경우가 많기 때문으로 판단됨

[표 2.2.5] 모듈러주택 인지 여부 비교

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
알고 있었다	23	92.0	8	61.5
몰랐다	2	8.0	5	38.5

㉢ 응답자 중 46.1%가 입주자 모집 공고문에 게재된 정보가 불충분하다고 응답

- 응답자중 7명(53.9%)가 충분하다고 응답했으나, 6명(46.1%)가 불충분하거나 보지 못했다고 답하였음. 불충분하다고 응답한 사람은 1명(7.7%)이며, 보지 못했다가 5명(38.4%)인 것으로 보아, 정보가 불충분한 것보단 타인(가족 및 친인척)의 대리 신청으로 인한 정보의 미전달이 원인으로 보임

- 가양동과 비교했을 시, 보지 못했다고 응답한 비율이 38.4%(5명)으로 높은 것으로 보아, 적극적인 홍보 및 정보 전달이 필요할 것으로 보이며, 고령자를 대상으로 건축되는 모듈러주택은 기존과는 다른 정보 전달 방법이 필요

[표 2.2.6] 모듈러주택 인지 여부 비교

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
충분했다	13	52.0	7	53.9
충분하지 않았다	8	32.0	1	7.7
내용을 보지 못했다	4	16.0	5	38.4

㉣ 모듈러주택의 장점은 짧은 공사기간과 저렴한 건축비로 인식

- 천안 두정동 모듈러주택의 장점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '짧은 공사기간'이 54.6%(6명)으로 나왔으며, 2순위로는 '외관디자인'이 36.4%(4명)으로 나타남. 우선순위에 따른 가중치 결과는 '짧은 공사기간', '저렴한 건축비', '외관디자인'순으로 나타남
- 가양동의 경우, 모듈러주택의 장점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '짧은 공사기간'이 60.0%(15명)으로 나왔으며, 2순위로는 '저렴한 건축비'이 20.0%(5명)으로 나타남(우선순위에 따른 가중치 결과도 같음)
- 두정동과 가양동 모듈러주택 두 실증단지 모두 '친환경적 건축물', '부품의 표준화'는 가장 낮은 순위로 나타남. 따라서 '친환경적 건축물', '부품의 표준화'등 낮은 점수의 이미지들을 추후 긍정적 이미지로 개선할 수 있는 활동이 필요할 것으로 보임

[표 2.2.7] 모듈러주택의 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택)

구분		짧은 공사기간	저렴한 건축비	자유로운 입지	부품의 표준화	외관디자인	안전한 현장시공	친환경적 건축물
1순위	빈도	6	2	1	0	0	2	0
	%	54.6	18.2	9.09	–	–	18.2	–
2순위	빈도	1	2	1	2	4	0	1
	%	9.1	18.2	9.1	18.2	36.4	–	9.1
가중치	점수	69	38	19	18	36	20	9

[표 2.2.8] 모듈러주택의 장점 인식(가양동 모듈러주택)

구분		짧은 공사기간	저렴한 건축비	자유로운 입지	부품의 표준화	외관디자인	안전한 현장시공	친환경적 건축물
1순위	빈도	15	5	1	0	1	2	0
	%	60.0	20.0	4.0	0.0	4.0	8.0	0.0
2순위	빈도	4	5	5	2	3	4	1
	%	16.0	20.0	20.0	8.0	12.0	16.0	4.0
가중치	점수	34	15	7	2	5	8	1

㉤ 모듈러주택의 단점은 방음성능 취약과 단열성능 취약으로 인식

- 천안 두정동 모듈러주택의 단점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '방음성능 취약'이 60%(6명)으로 나왔으며, 2순위로는 '구조적 불안감'이 40%(4명)으로 나타남. 우선순위에 따른 가중치 결과는 '방음성능 취약', '단열성능 취약', '구조적 불안감'순으로 나타남

- 가양동의 경우, 모듈러주택의 단점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '구조적 불안감'이 56.0%(14명)으로 나왔으며, 2순위로는 '임시 주거 건축물 이미지'이 32.0%(8명)으로 나타남. 우선순위에 따른 가중치 결과는 '구조적 불안감', '방음성능 취약', '임시 주거 이미지'순으로 나타남

- '방음성능 취약', '단열성능 취약', '구조적 불안감'등 단점으로 인식되는 부분들에 대한 인식 및 문제점에 대한 개선 방향에 대한 연구 필요. 특히 방음성능에 대한 개선이 시급함

[표 2.2.9] 모듈러주택의 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택)

구분		임시주거 이미지	방음성능 취약	단열성능 취약	구조적 불안감	획일화된 외관	기타 (작은 실크기)
1순위	빈도	2	6	1	0	0	1
	%	20	60	10	–	–	10
2순위	빈도	1	2	3	4	0	0
	%	10	20	30	40	–	–
가중치	점수	29	78	37	36		10

[표 2.2.10] 모듈러주택의 단점 인식(가양동 모듈러주택)

구분		임시주거 이미지	방음성능 취약	단열성능 취약	구조적 불안감	획일화된 외관	기타 (작은 실크기)
1순위	빈도	2	7	1	14	0	1
	%	8.0	28.0	4.0	56.0	0	4.0
2순위	빈도	8	5	4	4	0	2
	%	32.0	20.0	16.0	16.0	0	8.0
가중치	점수	12	19	6	32	0	2

㉥ 소결

- 모듈러주택에 대한 인식 분석결과 전반적인 인지도는 가양동과 비교하여 많이 높아졌으나, 입주자 공고시 정보 제공에 대한 불충분 및 미전달의 비율이 높음. 따라서 정보 제공 방식과 적절한 정보 제공을 위한 노력이 필요해 보임

- 모듈러주택의 장점으로 짧은 공사기간과 저렴한 건축비가 나타난 것은 가양동의 결과와 같음. 이는 가양동과 마찬가지로 저렴한 임대료, 공공임대주택의 특성에 기인한 결과일 확률이 높음

- 천안두정 거주 후 평가 조사에서 외관디자인이 모듈러주택의 장점으로 나타난 것은 모듈러주택의 인식개선을 위해 긍정적인 점으로 판단됨. 따라서 지속적인 외관디자인에 대한 고려와 친환경성 등에 대한 홍보가 필요

- 모듈러주택의 단점으로 방음 및 단열성능 취약과 구조적 불안감 등이 나타남. 특히 방음성능 취약은 가장 높은 비율을 차지했으며, 가양동의 경우도 구조적 불안감 다음으로 방음성능 취약이 문제 인식 비율이 가장 높았음. 따라서 방음성능에 대한 개선이 필요

② 모듈러주택 발전방향

㉠ 응답자 중 61.5%가 앞으로도 계속 거주할 의향이 있다고 답함

- 현 모듈러주택에 계속해서 거주할 의향이 있냐는 질문에, 의향이 있다고 답한 비율은 11명(84.6%)로 아니라고 대답한 비율 2명(15.4%)와 비교해서 압도적으로 높은 비율로 나타남

- 거주할 의향이 없는 응답자는 이유로 실의 규모를 가장 큰 이유로 언급. 이는 모듈러건축의 한계라 할 수 있는 실폭의 문제로, 가구를 배치하는데 어려움이 있다고 거주민이 얘기함. 이어서 평면의 형태, 주변환경으로 답함

- 가양동의 경우는 진동 문제, 실의 규모, 방범 시스템 등을 언급한데 반해, 두정동의 경우 진동 문제에 대한 문제는 없었던 점으로 보아, 가양동에 비해 진동문제는 개선된 것으로 보임

[표 2.2.11] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교

구분		가양동 모듈러주택	두정동 모듈러주택
예	빈도	22	11
	%	88.0	84.6
아니요	빈도	3	2
	%	12.0	15.4

㉡ 응답자 중 15.4%가 3~4인 가족 등 일반적인 가족이 생활하는데 적합하다고 답함

- 모듈러주택이 3~4인 가족 등 일반적인 가족이 생활하기에 적합하다고 생각하는지에 대한 질문에 매우 적합하다 1명(7.7%), 적합하다 1명(7.7%), 보통이다 8명(61.5%), 부적합하다 2명(15.4%), 매우 부적합하다 1명(7.7%)로 답함

- 가양동과 두정동 모두 부적합하다는 비율이 더 높게 나타남. 따라서 모듈러주택에서 사용자 선호도를 고려한 다양한 평면유형 개발이 필요

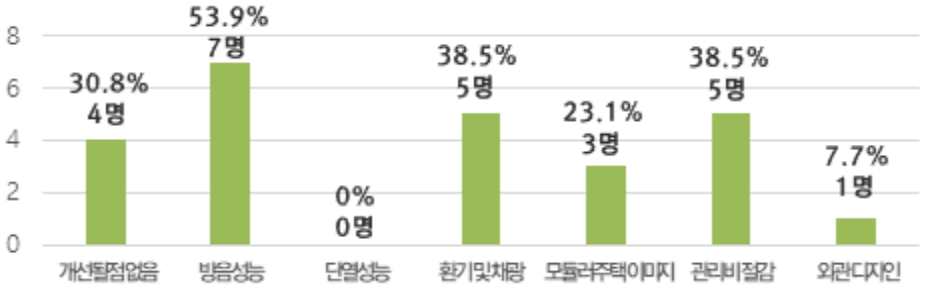
[표 2.2.12] 모듈러주택의 3~4인 가족 생활 적합성

구분	매우 적합	적합	보통	부적합	매우 부적합
빈도	1	1	8	2	1
%	7.7	7.7	61.5	15.4	7.7

[표 2.2.13] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교

구분	가양동 모듈러주택	두정동 모듈러주택
적합하다	7 (28.0%)	2 (15.4%)
보통이다	8 (32.0%)	8 (61.5%)
부적합하다	10 (40.0%)	3 (23.1%)

㉣ 모듈러주택 공급 확대를 위한 보완사항 : 방음성능, 환기 및 채광, 관리비 절감



[그림 2.2.14] 모듈러주택 공급 확대를 위한 보완사항

[표 2.2.14] 모듈러주택의 단점 인식

구분	개선될 점 없음	방음성능	단열성능	환기 및 채광	모듈러주택 이미지	관리비절감	외관디자인
빈도	4	7	0	5	3	5	1
%	30.8	53.9	–	38.5	23.1	38.5	7.7

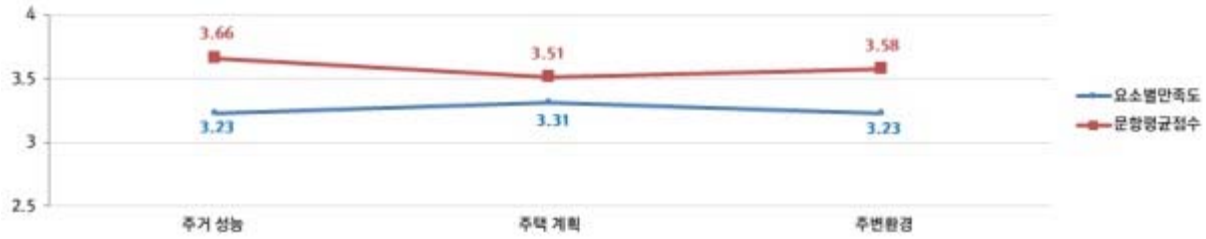
- 모듈러주택 공급 확대를 위한 보완사항으로 응답자의 53.9%(7명)는 방음성능, 38.5%(5명)은 환기 및 채광, 관리비 절감이라고 답함. 모듈러주택의 인식 및 보완점을 살펴본 결과 가장 시급한 개선점은 방음성능인 것으로 나타남

㉤ 소결

- 모듈러주택 발전방향에 대해서 종합한 결과, 방음성능 향상과 환기 및 채광 성능에 대한 개선이 가장 필요한 것으로 나타났으며, 3~4인 가구 유형이 거주하기에는 모듈러주택은 부적합하다는 인식이 높은 것으로 나타남

(3) 천안두정 모듈러주택 주거만족도

① 주거만족도



[그림 2.2.15] 전반적 주거만족도

[표 2.2.15] 요소별 주거만족도

구분	주거성능		주택계획		주변환경	
	전반적만족도	문항평균점수	전반적만족도	문항평균점수	전반적만족도	문항평균점수
점수	3.23	3.66	3.31	3.51	3.23	3.58

- 요소별 만족도를 살펴본 결과 주거성능 요소의 전반적 만족도는 3.23, 주택계획 요소는 3.31, 주변환경은 3.23으로 나타남. 만족도 중 주택계획 요소가 가장 높고 주거성능, 주변환경 요소가 3.23점으로 낮게 나타남

- 각 요소별에 해당하는 문항들에 대한 평균점수를 비교시, 주거성능 3.66이 제일 높게 나타났으며, 주변환경 3.58, 주택계획 3.51 순으로 나타남

② 주거성능 요소 만족도

㉠ 복도 소음의 문제가 심각하며, 외부소음, 타세대 방문소음, 조리시 환기가 낮게 나타남

- 주거성능의 전반적인 만족도는 매우 만족 1명(7.7%), 만족 4명(30.8%), 보통 5명(38.5%), 불만족 3명(23.1%), 매우 불만족 0명으로 전체적으로 38.5%만이 만족하며, 23.1%가 불만족이라고 답함

[표 2.2.16] 주거성능의 전반적인 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
빈도	1	4	5	3	0
%	7.7	30.8	38.5	23.1	-

- 항목별 만족도 평균을 살펴보면 조리시 환기 3.15, 샤워시 환기 3.62, 기밀 3.69, 결로 4.23, 채광 3.62, 윗층 발자국 소음 3.85, 윗층 소음 3.85, 화장실 소음 3.92, 옆세대 생활소음 3.62, 외부소음 3.31, 복도소음 2.85, 타세대 방문소음 3.31, 본인 세탁기 진동 4.00, 타인 세탁기 진동 3.92, 주방후드 진동 3.92로 나타남



[그림 2.2.16] 주거성능 요소별 만족도

- 복도 소음의 경우 2.85로 다른 주거성능 요소들보다 현저히 낮은 만족도를 보임. 인터뷰 의견에서도 공통적으로 복도 소음에 대한 문제의식이 높았으며, 엘리베이터에서 발생하는 소음, 복도에서 발생하는 소음 등의 발생에 대한 불만이 나타남

- 조리시 환기 3.15, 외부소음 3.31, 타세대 방문소음 3.31도 마찬가지로 낮은 만족도를 보임. 타세대 방문소음 및 외부소음은 복도 소음과 연관된 소음으로 판단되며, 추후 외부소음과 복도소음에 대한 정확한 구분이 필요할 것으로 판단됨

- 조리시 환기에 대한 문제는 조리공간과 센서의 위치가 매우 근접하여 연기를 쉽게 감지하기 때문이라고 판단됨. 인터뷰 상에서 한 두차례 소방 사이렌이 울린 것을 파악할 수 있었음

㉡ 진동 요소와 결로에서 높은 만족도를 보임

- 항목별 만족도 중 결로 만족도의 평균이 4.23으로 가장 높게 나타났으며, 진동에 관련한 항목들도 4.00, 3.92, 3.92 로 다른 요소에 비해 상대적으로 높게 나타남
- 그러나 결로에 대한 항목은 아직 겨울철이 되지 않아 정확하게 판단하기 힘들다고 판단됨

〈인터뷰 의견〉
- 채광이 잘 안되고, 환기를 하기 불편함 - 엘리베이터 소리가 방안까지 다 들리고, 윗집 소음도 심한 것 같음 - 욕실바닥이 조금씩 꺼지는 느낌이 들어 불안함 - 복도에서 나는 소리가 다 들리고 엘리베이터 소리도 들림 - 화장실 배수가 잘 안되고, 환기가 잘되지 않음 - 환기가 잘 되지 않아, 복도 문이며 베란다 문까지 다 열어야 됨 - 조리시 발생되는 연기가 감지 센서에 닿아서 울릴까봐 걱정됨

㉢ 소결

- 주거성능 만족도를 살펴본 결과 복도 소음, 조리시 환기에 대한 문제가 제일 심각한 것으로 나타남. 복도 소음은 외부 소음과 타세대 방문 소음 등도 같이 연관됨 문제로 판단되며, 현관문의 방음 성능 및 복도와 맞닿은 벽에 대한 방음 성능에 대한 점검 및 보완이 필요할 것으로 보임

- 조리시 환기에 대한 불만족과 인터뷰 시 발생한 방안 환기에 대한 문제점이 나타남. 조리시 환기에 대한 것은 센서에 대한 적절한 위치 조절과 입주민들의 기본 매뉴얼 숙지 등이 필요하다고 판단됨. 또한 방안 환기에 대해서는 추후 설문지에 추가하여 정확한 판단이 필요할 것으로 보임

- 제일 만족도가 높았던 결로 항목은 거주민의 짧은 거주기간 및 겨울철 거주 경험이 없는 관계로 만족도가 높았을 것으로 판단됨. 추후 보다 긴 거주기간과 겨울이 지난 상황에서 추가 설문 및 인터뷰가 필요할 것으로 판단됨

- 진동과 관련된 항목들도 만족도가 높은 것으로 나타남. 이는 두정동 모듈러주택 실증단지의 주변환경, 특히 인접도로의 경우 주택가 내부도로이므로 차량통행 빈도가 낮기에 외부 진동원이 크게 없으며, 또한 내부 진동도 아직 건물 전체의 빈 세대가 많기에 만족도가 높다고 판단됨. 추후 입주가 완료됨 시점에서 설문조사 보완이 필요할 것으로 판단됨

- 기밀, 단열, 결로 등에 관한 주거성능 요소에 대해서는 짧은 거주기간 및 겨울철 거주 경험이 없는 관계로 거주민에게 평가를 받을 수 없었음. 따라서 2차 거주 후 평가시 기밀, 단열, 결로 등에 관한 추가 및 보완이 필요

③ 주택계획 요소 만족도

- 주택계획의 전반적인 만족도는 매우 만족 2명(15.4%), 만족 4명(30.8%), 보통 3명(23.1%), 불만족 4명(30.8%), 매우 불만족 0명으로 전체적으로 46.2%만이 만족하며, 30.8%가 불만족이라고 답함

[표 2.2.17] 주거성능의 전반적인 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
빈도	2	4	3	4	0
%	15.4	30.8	23.1	30.8	-

- 항목별 만족도 평균을 살펴보면 내부평면 3.38, 실의규모 3.38, 취사공간 3.23, 냉난방 시스템 4.15, 외관디자인 4.15, 내부수납 공간 2.77로 나타남



[그림 2.2.17] 주택계획 요소별 만족도

㉠ 수납공간 및 취사공간 부족, 실 내부 가구 옵션 필요

- 내부수납 공간의 경우 2.77로 가장 낮은 만족도를 보임. 인터뷰 의견에서도 공통적으로 수납공간의 부족을 문제점으로 지적하였음. 이는 내부평면, 실의규모와도 연관되는 문제점으로 협소한 공간, 빌트인 가구(built-in)가구 부재 등이 원인이라고 판단됨. 거주민 인터뷰 과정중에서도 임대료가 상승하더라도 수납공간 설치가 필요하다는 의견이 있었음

- 다음으로 취사공간 및 실의규모, 내부평면 순으로 만족도가 낮게 나타남. 특히 고령자 층의 경우 실의규모, 취사공간에 대한 불만이 더 큼. 이는 고령자의 특성상 짐이 많고 다른 연령층에 비해 긴 정주시간을 갖고 있기 때문인 것으로 판단됨

- 냉난방 시스템과 외관디자인은 각 4.15점으로 높은 만족도를 보임

〈인터뷰 의견〉
- 조리공간이 너무 작고, 주방과 침실이 분리되어 있지 않아서 불편함
- 수납공간이 부족하고, 붙박이장 설치가 필요함
- 임대료가 상승하더라도 기본적인 가구가 설치되어 있으면 좋겠음
- 대체적으로 실크기가 작고 베란다도 작아서 물건을 놓을 곳이 없음
- 수납이 불편하고, 벽면에 벽선반이나 벽을 확용한 수납공간이 있었으면 좋겠음
- 대학생 및 청년들의 유닛에 기본적인 가구가 없어서 불편함
- 가구가 배치되는 것을 생각해서 평면이 구성되어 있으면 좋겠음

㉡ 소결

- 주택계획 만족도를 살펴본 결과 내부수납 공간에 대한 만족도가 가장 낮음. 인터뷰 과정에서도 수납에 대한 문제점 지적이 많았음. 추후 모듈러주택을 계획함에 있어서 수납공간에 대한 연구 필요

- 고령자 층의 경우 실의규모, 취사공간에 대한 불만이 더 큰 것으로 파악됨. 이는 고령자의 특성상 가지고 있는 짐이 많고 긴 정주시간을 갖고 있기 때문인 것으로 보임. 추후 연령층을 고려한 평면 계획 및 수납 계획에 대한 연구가 필요

- 외관디자인은 주택계획 만족도에서 가장 높은 4.15점으로 나타남. 모듈러주택의 특징을 반영한 독특하고 개성있는 외관디자인을 통해 일반 대중에게 어필할 수 있을 것으로 보임

④ 주변환경 요소 만족도

- 주변환경의 전반적인 만족도는 매우 만족 2명(15.4%), 만족 7명(53.8%), 보통 2명(15.4%), 불만족 1명(7.7%), 매우 불만족 1명(7.7%)으로 전체적으로 69.2%만이 만족하며, 30.8%가 불만족이라고 답함

[표 2.2.18] 주택계획의 전반적인 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
빈도	2	7	2	1	1
%	15.4	53.8	15.4	7.7	7.7

- 주변환경 요소 만족도의 항목별 평균을 살펴보면 근린생활시설(음식점, 슈퍼마켓, 쇼핑시설 등) 3.92, 대중교통 이용의 편리성 3.46, 여가활동시설(영화관, 공원) 3.38로 나타남

- 주변환경 요소에서 근린생활시설(음식점, 슈퍼마켓, 쇼핑시설 등)은 3.92점으로 가장 높은 만족도를 보임. 이는 주변에 위치한 마트와 다수의 편의점 등이 위치하고 있기에 만족도가 높은 것으로 판단됨

- 대중교통 이용의 편리성은 3.46점으로 비교적 만족도가 높은 것으로 판단되나 몸이 불편한 고령자의 경우 버스 정류장의 거리(가장 가까운 정류장의 거리가 400m)가 상대적으로 멀게 느껴져서 만족도에 영향을 줬다고 판단됨

- 여가활동시설의 경우 3.38점으로 상대적으로 낮게 나타남. 이는 주택가 근처에 위치한 특성상 영화관이나 기타 여가시설이 부족하기에 나타난 결과로 보임

〈인터뷰 의견〉

- 마트가 가깝고 대중교통을 이용하는데도 큰 무리가 없어서 편리함
- 다리가 불편한 노인이라 대중교통을 이용하기에 불편함

㉠ 소결

- 주변환경 만족도를 살펴본 결과 대체적으로 만족함. 그러나 몸이 불편한 고령자의 경우 대중교통 이용의 편리성 요소에서 낮은 만족도를 보임
- 추후 고령자나 장애인 등을 대상으로 한 모듈러주택의 경우 대지의 입지선정에 대중교통에 대한 고려도 필요할 것으로 보임

(4) 천안두정과 가양동 모듈러주택에 대한 주거만족도 비교

① 일반사항 비교

[표 2.2.19] 조사 대상자 일반 특성 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분		두정동 모듈러주택		가양동 모듈러주택	
		빈도	%	빈도	%
성별	남	5	38.5	11	44.0
	여	8	61.5	14	56.0
연령	20대	5	38.0	20	80.0
	30대	4	31.0	5	20.0
	70대	3	23.0	–	–
	80대	1	8.0	–	–
이전 주거유형	아파트	5	38.5	6	24.0
	다가구주택	3	23.1	1	4.0
	단독주택	3	23.1	1	4.0
	빌라/다세대	1	7.7	5	20.0
	오피스텔	1	7.7	9	36.0
	기타	–	–	3	12.0
세대유형	고령자	4	30.8	–	–
	사회초년생	9	69.2	25	100

[표 2.2.20] 주택 규모 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	두정동 모듈러주택		가양동 모듈러주택	
	규모(㎡)	세대수	규모(㎡)	세대수
1인실	16.0	24	18.0	28
2인실	26.0	16	36.0	2

- 두정동 모듈러주택은 고령자와 사회초년생을 위한 행복주택으로 20~30대 및 70~80대의 연령층이 구분됨. 가양동의 경우 사회초년생만 신청이 가능. 따라서 두정동과 가양동 모듈러주택 거주민의 평균연령 비교시, 두정동의 경우가 가양동에 비해 높은 연령대로 구성됨

- 두정동 모듈러주택 세대유형은 고령자와 사회초년생으로 두가지 유형이며, 가양동의 경우 사회초년생(1인실)과 (사회초년생에 해당하는)신혼부부(2인실)로 이루어져 있음

- 두정동 모듈러주택의 경우 1인실이 24세대(60%), 2인실이 16세대(40%)로 구성되있고, 가양동의 경우 1인실이 28세대(93%), 2인실이 2세대(7%)로 구성되어 있음

② 전반적 주거만족도 비교



[그림 2.2.18] 요소별 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

[표 2.2.21] 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	주거성능		주택계획		주변환경	
	전반적만족도	문항평균점수	전반적만족도	문항평균점수	전반적만족도	문항평균점수
가양동	3.00	3.35	3.48	3.38	3.48	3.37
두정동	3.23	3.66	3.31	3.51	3.23	3.58

- 요소별 만족도를 살펴본 결과 주거성능 요소의 전반적 만족도는 3.23, 주택계획 요소는 3.31, 주변환경은 3.23으로 주택계획 요소가 높고 주거성능, 주변환경 요소가 3.23점으로 낮게 나타남

- 각 요소별에 해당하는 문항들에 대한 평균점수를 비교했을때, 주거성능, 주택계획, 주변환경에 대한 평균 만족도가 가양동과 비교해서 두정동이 다 높은 점수를 받은 것으로 나타남

- 가양동 모듈러주택과 두정동 모듈러주택의 요소별 전반적 만족도를 비교했을 때, 주거성능부분에서 두정동이 높게 나타남. 이는 사회초년생 및 신혼부부로 구성된 가양동과 사회초년생 및 고령자로 구성된 두정동의 사용자 유형(연령 및 세대유형)의 차이로 인한 주거 기대치 차이와 아직 겨울철 결로, 기밀, 단열에 대한 데이터가 없는 점 등의 원인이 있을 것이라 판단됨

- 가양동과 두정동의 모듈러주택의 만족도의 차이의 영향 요인에 대한 연구 및 분석이 필요. 따라서 2차 거주 후 평가 진행에 있어서 공법별, 사용자 유형별 만족도 조사가 필요하다고 판단됨

③ 주거성능 만족도 비교



[그림 2.2.19] 주거성능 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

[표 2.2.22] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	환기	기밀	결로	채광	외부 소음	윗층 소음	옆세대 소음	복도 소음	진동
두정동	3.4	3.7	4.2	3.6	3.3	3.9	3.6	2.9	3.9
가양동	3.2	3.4	3.9	4.0	2.4	3.5	3.5	2.4	3.7

- 두정동과 가양동의 주거성능에 대한 만족도 비교시 대체적으로 두정동에서 높은 만족도를 보임. 이는 앞서 언급했듯이 사용자 유형(연령, 세대유형), 겨울철 거주경험이 없다는 점등이 원인이라 판단됨

- 두정동은 인필방식과 적층방식의 두가지 공법이 적용되었고, 가양동은 적층방식만 적용됨. 따라서 두 실증단지의 공법상 차이로 인한 만족도에 미친 영향에 대한 분석이 필요하다고 판단됨

④ 주택계획 만족도 비교



[그림 2.2.20] 주택계획 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

[표 2.2.23] 주택계획 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	내부평면	실 규모	취사공간	수납공간	냉난방 시스템	외관디자인
두정동	3.4	3.4	3.2	2.8	4.2	4.2
가양동	3.7	2.9	3.3	2.4	4.1	4.0

- 두정동과 가양동의 주택계획 만족도 비교시 항목별 만족도는 두정동이 상대적으로 높은 만족도를 보임. 주거성능과 마찬가지로 사용자 유형에 따른 기대치 차이가 있다고 판단됨

- 주택계획의 만족도에 있어서 두 실증단지 모두 수납공간과 실 규모에 있어서는 낮은 만족도가 나타남. 추후 모듈러주택을 계획함에 있어서 실의 규모와 수납공간에 대한 개선 필요

⑤ 주변환경 만족도 비교



[그림 2.2.21] 주변환경 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

[표 2.2.24] 주변환경 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	근린생활시설 (음식점, 슈퍼마켓)	대중교통 이용의 편리성	여가활동시설 (영화관, 공원)
두정동	3.9	3.5	3.4
가양동	3.5	3.8	2.9

- 두정동과 가양동의 주변환경 만족도 비교시 전반적인 항목별 만족도는 두정동이 상대적으로 높은 만족도를 보임. 다만 앞선 이유와 마찬가지로 기대치의 차이가 있을 것으로 추측함

- 두정동과 가양동 모두 주변환경에 대해선 물리적으로 비슷한 환경에 위치하고 있음 (주변 근린생활시설 수, 대중교통과의 거리, 여가활동시설의 수 등)

㉠ 소결

- 두정동과 가양동의 전체적인 만족도를 비교했을 시, 대체적으로 두정동의 만족도가 높게 나타나는 경향을 보였음. 이는 사용자 유형에 따라 주거환경에 대한 기대치가 다르기 때문이라고 판단됨

- 두정동과 가양동의 만족도 차이에 대한 분석을 위한 공법별, 사용자 유형별 분석을 통한 만족도 영향 요인에 대한 조사가 필요하다고 판단됨

(5) 주거만족도 조사 시사점

① 주거성능

㉠ 방음, 환기에 대한 개선이 시급

- 가양동 모듈러주택에 비해 전반적인 만족도가 높아졌으나, 채광에 대한 만족도가 하락함. 이는 입지조건 상 주변건물로 인한 음영지역이 발생하는 것으로 인한 것으로 판단됨

- 천안 두정동과 가양동 모듈러주택에서 공통적으로 방음과 환기에 대한 만족도가 낮음. 따라서 방음과 환기에 대한 개선이 제일 우선시되어야 함

- 두 모듈러주택 실증단지 모두 복도 소음 및 외부 소음에 가장 낮은 만족도를 보임. 따라서 소음에 대한 전반적인 원인 및 해결책을 마련할 필요가 있음

② 주택계획

㉠ 수납공간, 조리공간 확충이 필요

- 천안 두정동과 가양동 모듈러주택에서 공통적으로 수납공간에 대한 만족도가 낮게 나타남

- 사용자 유형에 따른 수납공간 마련과 빌트인(built-in) 가구, 벽선반 등의 활용방안에 대한 연구가 필요

- 적정 실 면적에 대한 연구가 필요(사용자 유형, 거주시간 등에 따른 적정 주거면적 등)

- 취사공간에 대한 적정면적 및 내부평면의 가구배치를 고려한 평면 연구가 필요

③ 모듈러주택 인지 및 인식

㉠ 모듈러주택에 대한 인식 및 개선방향 설정 필요

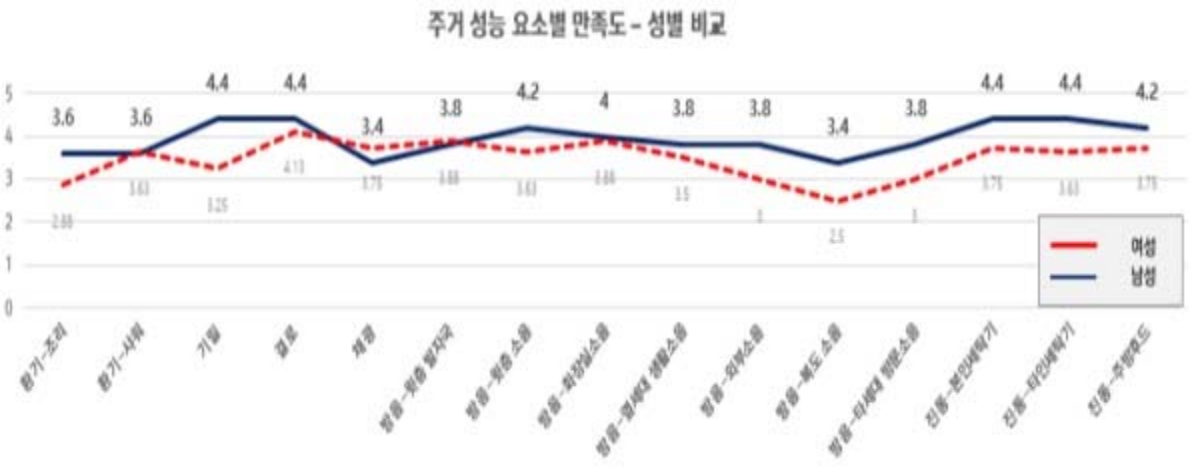
- 고령자들을 위한 모듈러주택 정보 제공 방안에 대한 고찰 필요

- 모듈러주택에 대한 이미지는 짧은 공사기간, 저렴한 건축비로 인식. 따라서 모듈러주택의 인식을 개선하기 위해 적절한 홍보 및 적절한 정보 전달 방안이 필요

- 모듈러주택의 단점으로 인식되는 방음 및 단열성능에 대한 우선적인 개선이 필요

(6) 성별, 공법별 주거만족도 비교

① 성별 주거만족도 비교



[그림 2.2.22] 성별 주거성능 만족도 비교

[표 2.2.25] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(성별)

구분	환기		기밀	결로	채광	소음							진동		
	조리	샤워				윗층발자국	윗층소음	화장실소음	옆세대생활소음	외부소음	복도소음	타세대방문소음	본인세탁기	타인세탁기	주방후드
남성	3.6	3.6	4.4	4.4	3.4	3.8	4.2	4.0	3.8	3.8	3.4	3.8	4.4	4.4	4.2
여성	2.9	3.6	3.3	4.1	3.8	3.9	3.6	3.9	3.5	3.0	2.5	3.0	3.8	3.6	3.8

- 남성 평균 3.60점 (n=5), 여성 평균 3.00점 (n=8)

- 남녀별 주거성능 만족도 평균을 비교했을 때, 기밀에서 1.1점 차이, 외부소음, 복도소음, 타세대 방문소음 등에서 대략 1점 정도 차이, 진동에서 0.5점 이상 차이를 보임

- 대체적으로 남성이 여성에 비해서 높은 만족도를 나타냄

② 공법별 주거만족도 비교



[그림 2.2.23] 공법별 주거성능 만족도 비교

[표 2.2.26] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(공법별)

구분	환기		기밀	결로	채광	소음							진동		
	조리	샤워				윗층발자국	윗층소음	화장실소음	옆세대생활소음	외부소음	복도소음	타세대방문소음	본인세탁기	타인세탁기	주방후드
인필	4.0	4.3	4	4.3	4.3	4.3	4.3	3.8	4.0	3.8	4.0	3.8	4.3	4.3	3.8
적층	2.8	3.3	3.6	4.2	3.3	3.7	3.7	4.0	3.4	3.1	2.3	3.1	3.9	3.8	4.0

- 인필방식 평균 3.75점 (n=4), 적층방식 평균 3.00점 (n=9)

- 공법별 주거성능 만족도 평균을 비교했을 시, 환기, 채광에서 1.0점 이상 차이, 옆세대 생활소음, 외부소음, 복도소음, 타세대 방문소음 및 진동에서 대략 0.5점 이상의 차이를 보임

- 대체적으로 인필방식이 적층방식에 비해 높은 만족도를 보임

㉠ 소결

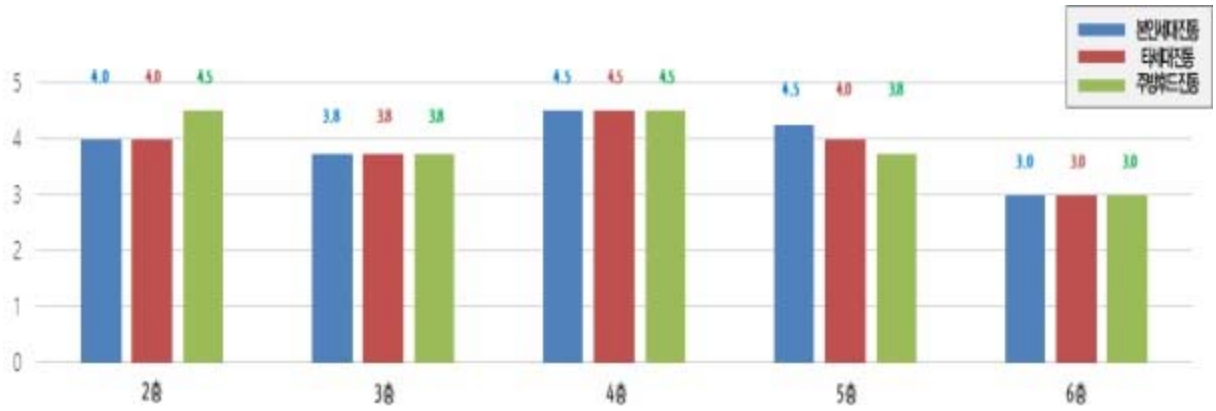
- 남녀별 주거성능 만족도를 비교했을 시, 남성이 여성에 비해서 주거에 대한 만족도가 높게 나타남. 여성의 경우 주거환경에 있어서 조금 더 민감하게 반응하는 것으로 추측됨

- 두정동 모듈러주택의 경우 인필방식과 적층방식, 두 공법이 적용되었으며, 대체적으로 인필방식의 주거만족도가 높게 나타남. 이러한 원인으로는 공법의 차이로 인해 나타난다고 추측됨

(7) 주거만족도 조사 결과와 성능 검사 비교

① 진동에 관한 성능 검사

- 적층식은 인필식에 비해 상층부 진동에 민감
- 진동에 가장 큰 영향은 인접도로의 차량통행 요인



[그림 2.2.24] 층별 진동 성능 만족도

- 층별 평균: 2층 4.17(n=2), 3층 3.75(n=4), 4층 4.5(n=2), 5층 4.00(n=4), 6층 3.00(n=1)

- 진동 성능 검사와 동일하게, 대체로 진동성능에 대한 만족도는 상층부로 올라갈수록 낮게 나타남 (그러나 표본의 수가 부족하고 3층의 경우 4층보다 진동에 대한 만족도가 떨어짐)

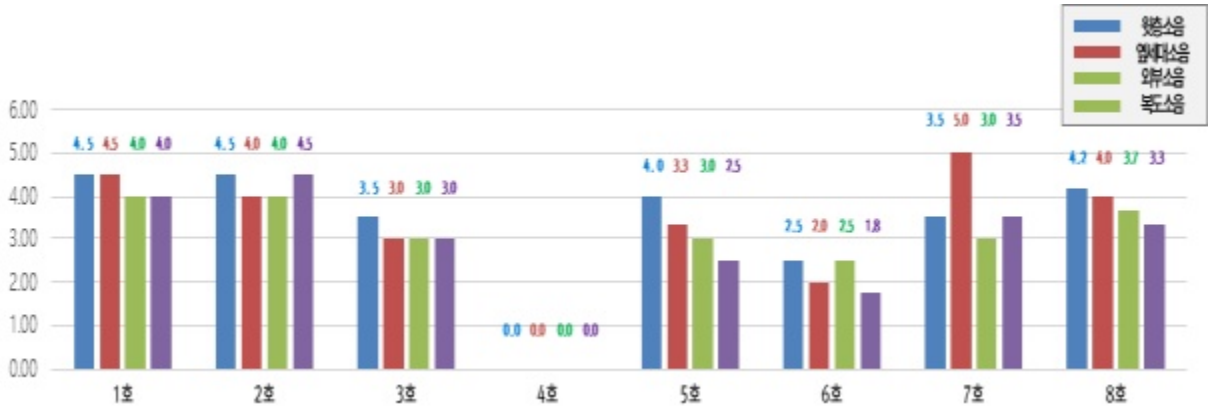
- 추후 2차 거주 후 평가를 통한 표본 추가와 차량진동, 엘리베이터 진동 등 진동에 대한 설문항목을 추가 구성하여 진동 성능에 대한 분석이 필요

② 소음에 관한 성능 검사

제작 및 인필, 적층시 제작 품질 및 현장 조립의 품질 확보 필요
(인필형) 중간부분은 구조의 처짐 발생으로 소음성능 하락 예상
소음 성능검사에서, 특히 303호의 경우 바닥충격음이 상대적으로 낮은 성능을 보임

- 세대별 평균1호 4.21(n=2), 2호 4.29(n=1), 3호 3.14(n=1), 4호 0.00(n=0)5호 3.33(n=3), 6호 2.29(n=2), 7호 3.86(n=1), 8호 3.86(n=3)

- 세대별 소음 성능에 대한 만족도 비교 시, 인필방식에 해당하는 1~4호 세대는 적층방식(5~5호)보다 상대적으로 만족도가 높은 것으로 나타남. 이는 사용자 유형의 차이로 인한 원인으로 추측됨



[그림 2.2.25] 세대별 소음 성능 만족도

- 아직 입주가 완료되지 않아, 표본 수의 부족으로 인해 정확한 비교가 불가능함. 추후 2차 거주 후 평가를 통한 표본 수 확보가 필요

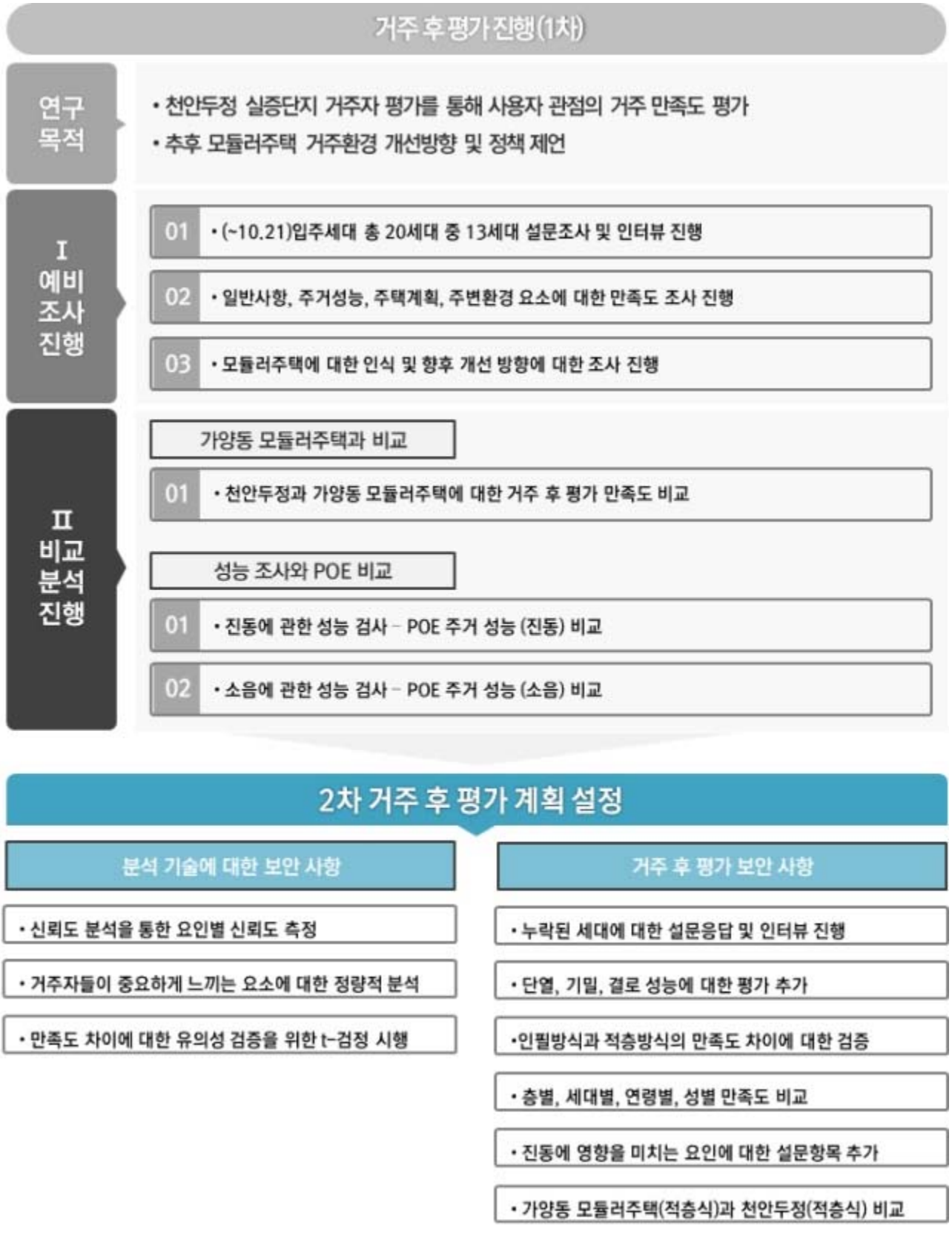
㉠ 소결

- 진동 성능 검사와 거주 후 평가의 만족도는 대체적으로 동일향 경향을 보이는 것으로 판단됨. 다만 표본이 적고, 진동 관련 문항 수가 적어 정확한 분석이 어려움. 따라서 2차 거주 후 평가를 통한 표본 수 확보와 진동 관련 문항 추가가 필요

- 소음 성능 검사와 거주 후 평가의 만족도 비교는 표본의 부족으로 연관성을 찾기 힘듬. 그러나 인필방식과 적층방식의 소음 성능의 만족도 차이는 비교가 일부 가능하며, 인필방식이 적층방식에 비해 비교적 높은 만족도를 보인다고 판단됨

- 진동 및 소음 성능 검사와 거주 후 평가의 만족도 비교는 표본 수의 확보가 필요하며, 설문 문항의 추가가 필요하며, 특히 303호(현재는 공실 상태)의 바닥충격음에 대한 거주 만족도 조사가 필요

(8) 2차 거주 후 평가 계획 설정



[그림 2.2.26] 거주 후 평가 진행

결 론 — 천안두정 모듈러 주택 거주 후 평가 분석

1. 천안두정 모듈러주택에 대한 인식 및 발전방향

㉠ 모듈러주택에 대한 인식

- 모듈러주택에 대한 인식 분석결과 전반적인 인지도는 가양동과 비교하여 많이 높아졌으나, 입주자 공고시 정보 제공에 대한 불충분 및 미전달의 비율이 높음. 따라서 정보 제공 방식과 적절한 정보 제공을 위한 노력이 필요해 보임
- 모듈러주택의 장점으로 짧은 공사기간과 저렴한 건축비가 나타난 것은 가양동의 결과와 같음. 이는 가양동과 마찬가지로 저렴한 임대료, 공공임대주택의 특성에 기인한 결과일 확률이 높음

㉡ 모듈러주택에 대한 발전방향

- 모듈러주택 발전방향에 대해서 종합한 결과, 방음성능 향상과 환기 및 채광 성능에 대한 개선이 가장 필요한 것으로 나타났으며, 3~4인 가구 유형이 거주하기에는 모듈러주택은 부적합하다는 인식이 높은 것으로 나타남

2. 천안두정 모듈러주택 주거만족도

㉠ 주거성능 요소 만족도

- 주거성능 만족도를 살펴본 결과 복도 소음, 조리시 환기에 대한 문제가 제일 심각한 것으로 나타남. 복도 소음은 외부 소음과 타세대 방문 소음 등도 같이 연관된 문제로 판단되며, 현관문의 방음 성능 및 복도와 맞닿은 벽에 대한 방음 성능에 대한 점검 및 보완이 필요할 것으로 보임
- 조리시 환기에 대한 불만족과 인터뷰 시 발생한 방안 환기에 대한 문제점이 나타남. 조리시 환기에 대한 것은 센서에 대한 적절한 위치 조절과 입주민들의 기본 매뉴얼 숙지 등이 필요하다고 판단됨. 또한 방안 환기에 대해서는 추후 설문지에 추가하여 정확한 판단이 필요할 것으로 보임
- 제일 만족도가 높았던 결로 항목은 거주민의 짧은 거주기간 및 겨울철 거주 경험이 없는 관계로 만족도가 높았을 것으로 판단됨. 추후 보다 긴 거주기간과 겨울이 지난 상황에서 추가 설문 및 인터뷰가 필요할 것으로 판단됨
- 진동과 관련된 항목들도 만족도가 높은 것으로 나타남. 이는 두정동 모듈러주택 실증단지의 주변환경, 특히 인접도로의 경우 주택가 내부도로이므로 차량통행 빈도가 낮기에 외부 진동원이 크게 없으며, 또한 내부 진동도 아직 건물 전체의 빈 세대가 많기에 만족도가 높다고 판단됨. 추후 입주가 완료됨 시점에서 설문조사 보완이 필요할 것으로 판단됨

㉡ 주택계획 요소 만족도

- 주택계획 만족도를 살펴본 결과 내부수납 공간에 대한 만족도가 가장 낮음. 인터뷰 과정에서도 수납에 대한 문제점 지적이 많았음. 추후 모듈러주택을 계획함에 있어서 수납공간에 대한 연구 필요

- 고령자 층의 경우 실의규모, 취사공간에 대한 불만이 더 큰 것으로 파악됨. 이는 고령자의 특성상 가지고 있는 짐이 많고 긴 정주시간을 갖고 있기 때문인 것으로 보임. 추후 연령층을 고려한 평면 계획 및 수납 계획에 대한 연구가 필요
- 외관디자인은 주택계획 만족도에서 가장 높은 4.15점으로 나타남. 모듈러주택의 특징을 반영한 독특하고 개성있는 외관디자인을 통해 일반 대중에게 어필할 수 있을 것으로 보임

㉢ 주변환경 요소 만족도

- 주변환경 만족도를 살펴본 결과 대체적으로 만족함. 그러나 몸이 불편한 고령자의 경우 대중교통 이용의 편리성 요소에서 낮은 만족도를 보임
- 추후 고령자나 장애인 등을 대상으로 한 모듈러주택의 경우 대지의 입지선정에 대중교통에 대한 고려도 필요할 것으로 보임

3. 천안두정과 가양동 모듈러주택에 대한 주거만족도 비교

- 두정동과 가양동의 전체적인 만족도를 비교했을 시, 대체적으로 두정동의 만족도가 높게 나타나는 경향을 보였음. 이는 사용자 유형에 따라 주거환경에 대한 기대치가 다르기 때문이라고 판단됨
- 두정동과 가양동의 만족도 차이에 대한 분석을 위한 공법별, 사용자 유형별 분석을 통한 만족도 영향 요인에 대한 조사가 필요하다고 판단됨

4. 성별, 공법별 주거만족도 비교

- 남녀별 주거성능 만족도를 비교했을 시, 남성이 여성에 비해서 주거에 대한 만족도가 높게 나타남. 여성의 경우 주거환경에 있어서 조금 더 민감하게 반응하는 것으로 추측됨
- 두정동 모듈러주택의 경우 인필방식과 적층방식, 두 공법이 적용되었으며, 대체적으로 인필방식의 주거만족도가 높게 나타남. 이러한 원인으로는 공법의 차이로 인해 나타난다고 추측됨

5. 주거만족도 조사 시사점

㉠ 주거성능

■ 방음, 환기에 대한 개선이 시급

- 가양동 모듈러주택에 비해 전반적인 만족도가 높아졌으나, 채광에 대한 만족도가 하락함. 이는 입지조건 상 주변건물로 인한 음영지역이 발생하는 것으로 인한 것으로 판단됨
- 천안 두정동과 가양동 모듈러주택에서 공통적으로 방음과 환기에 대한 만족도가 낮음. 따라서 방음과 환기에 대한 개선이 제일 우선시되어야 함
- 두 모듈러주택 실증단지 모두 복도 소음 및 외부 소음에 가장 낮은 만족도를 보임. 따라서 소음에 대한 전반적인 원인 및 해결책을 마련할 필요가 있음

㉡ 주택계획

■ 수납공간, 조리공간 확충이 필요

- 천안 두정동과 가양동 모듈러주택에서 공통적으로 수납공간에 대한 만족도가 낮게 나타남
- 사용자 유형에 따른 수납공간 마련과 빌트인(built-in) 가구, 벽선반 등의 활용방안에 대한 연구가 필요
- 적정 실 면적에 대한 연구가 필요(사용자 유형, 거주시간 등에 따른 적정 주거면적 등)
- 취사공간에 대한 적정면적 및 내부평면의 가구배치를 고려한 평면 연구가 필요

㉢ 모듈러주택 인지 및 인식

■ 모듈러주택에 대한 인식 및 개선방향 설정 필요

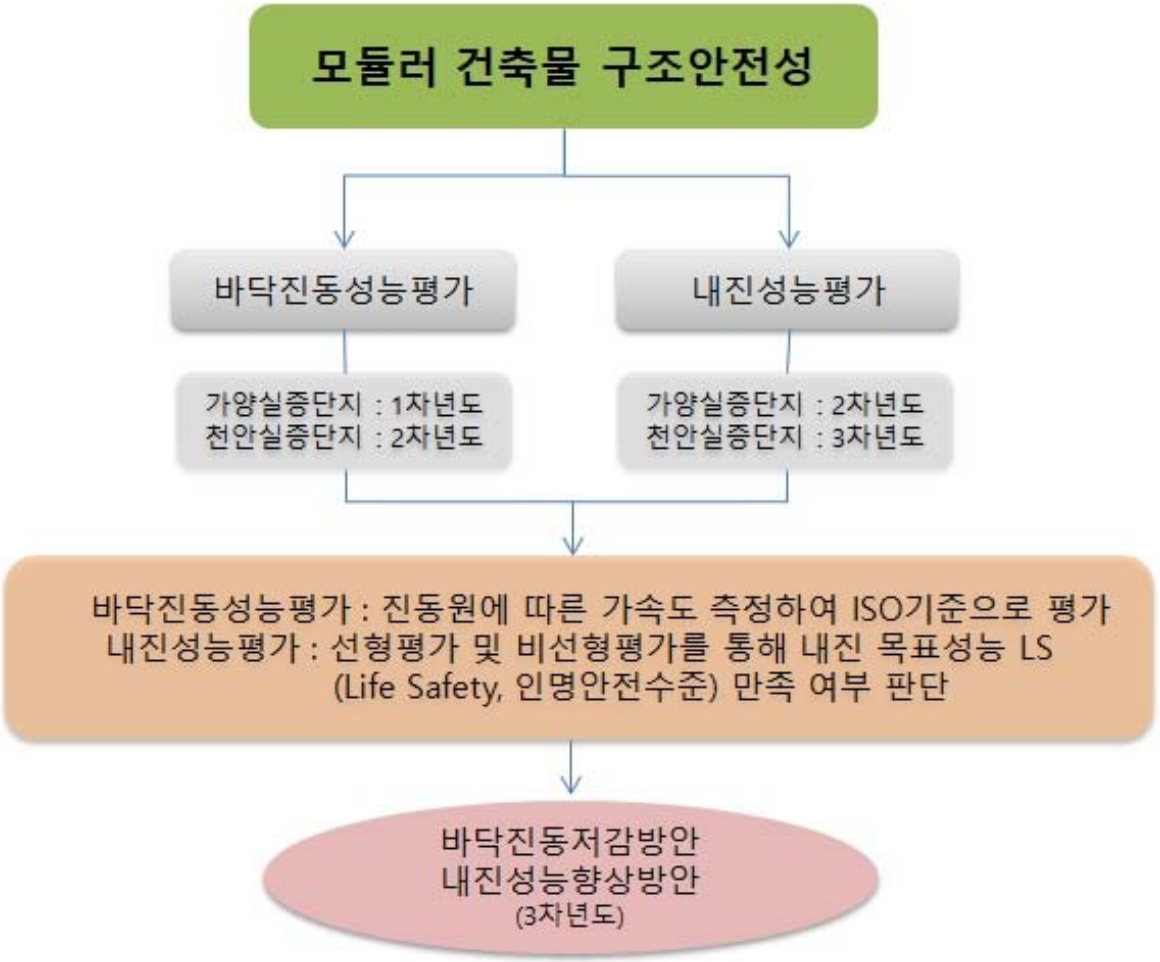
- 고령자들을 위한 모듈러주택 정보 제공 방안에 대한 고찰 필요
- 모듈러주택에 대한 이미지는 짧은 공사기간, 저렴한 건축비로 인식. 따라서 모듈러주택의 인식을 개선하기 위해 적절한 홍보 및 적절한 정보 전달 방안이 필요
- 모듈러주택의 단점으로 인식되는 방음 및 단열성능에 대한 우선적인 개선이 필요

6. 주거만족도 조사 결과와 성능 검사 비교

- 진동 성능 검사와 거주 후 평가의 만족도는 대체적으로 동일향 경향을 보이는 것으로 판단됨. 다만 표본이 적고, 진동 관련 문항 수가 적어 정확한 분석이 어려움. 따라서 2차 거주 후 평가를 통한 표본 수 확보와 진동 관련 문항 추가가 필요
- 소음 성능 검사와 거주 후 평가의 만족도 비교는 표본의 부족으로 연관성을 찾기 힘듬. 그러나 인필방식과 적층방식의 소음 성능의 만족도 차이는 비교가 일부 가능하며, 인필방식이 적층방식에 비해 비교적 높은 만족도를 보인다고 판단됨
- 진동 및 소음 성능 검사와 거주 후 평가의 만족도 비교는 표본 수의 확보가 필요하며, 설문 문항의 추가가 필요하며, 특히 303호(현재는 공실 상태)의 바닥충격음에 대한 거주 만족도 조사가 필요

2) 가양 실증단지 내진성능평가 / 천안두정 실증단지 진동 성능평가(동양구조이앤알)

- 모듈러 건축물의 입주민을 대상으로 실시한 설문조사 결과, 진동에 대한 불편과 지진에 대한 불안이 나타남
- 구조안전성 분야는 바닥진동성능과 내진성능평가를 수행함
- 가양실증단지, 천안실증단지를 대상으로 1~3차년도에 걸쳐 바닥진동측정을 하여 ISO 기준에 의한 평가 및 한국시설안전공단 기준에 의한 내진 목표성능(LS, Life Safety, 인명안전수준) 만족여부를 평가함
- 이를 통해 모듈러 건축물에 적용할 수 있는 바닥진동저감방안, 내진성능향상방안을 제시함



[그림 2.2.27] 구조안전성 연구 흐름도

가) 가양실증단지 내진성능평가

(1) 개요

- 건 물 명 : 가양모듈러 행복주택
- 소 재 지 : 서울특별시 강서구 가양동 1457-1번지
- 규　　모 : 지하 1층, 지상 6층
- 중 요 도 : 중요도 (Ⅰ)
- 구조형식 : 철근콘크리트구조(하부) + 철골조(상부)



[그림 2.2.28] 가양 실증단지 위치

(2) 내진성능 예비평가

① 비정형성 평가

- 비정형 평가 결과, 가양 실증단지는 비틀림 비정형에 해당하여 1단계 상세평가를 수행하여야 함

[표 2.2.27] 비틀림 비정형 평가

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Average Value of Extreme Points		Maximum Value		Remark
				Story Drift (m)	1.2*Story Drift (m)	Node	Story Drift (m)	
RX(RS)+R	6F	20.00	3.00	0.0128	0.0153	1980	0.0182	Irregular
RX(RS)+R	5F	17.00	3.00	0.0130	0.0156	1804	0.0186	Irregular
RX(RS)+R	4F	14.00	3.00	0.0128	0.0154	1628	0.0183	Irregular
RX(RS)+R	3F	11.00	3.00	0.0117	0.0141	1452	0.0167	Irregular
RX(RS)+R	2F	7.90	3.10	0.0089	0.0107	1309	0.0136	Irregular
RX(RS)+R	1F	3.20	4.70	0.0068	0.0081	18274	0.0101	Irregular
RX(RS)+R	B1F	0.00	3.20	0.0025	0.0030	18296	0.0038	Irregular
RX(RS)-RX	6F	20.00	3.00	0.0116	0.0140	1980	0.0161	Irregular
RX(RS)-RX	5F	17.00	3.00	0.0119	0.0142	1804	0.0165	Irregular
RX(RS)-RX	4F	14.00	3.00	0.0117	0.0140	1628	0.0162	Irregular
RX(RS)-RX	3F	11.00	3.00	0.0107	0.0128	1452	0.0148	Irregular
RX(RS)-RX	2F	7.90	3.10	0.0082	0.0099	1309	0.0119	Irregular
RX(RS)-RX	1F	3.20	4.70	0.0063	0.0076	18274	0.0088	Irregular
RX(RS)-RX	B1F	0.00	3.20	0.0022	0.0027	18296	0.0034	Irregular
RY(RS)+R	6F	20.00	3.00	0.0104	0.0125	1980	0.0138	Irregular
RY(RS)+R	5F	17.00	3.00	0.0107	0.0128	1804	0.0142	Irregular
RY(RS)+R	4F	14.00	3.00	0.0106	0.0127	1628	0.0141	Irregular
RY(RS)+R	3F	11.00	3.00	0.0098	0.0118	1452	0.0131	Irregular
RY(RS)+R	2F	7.90	3.10	0.0077	0.0093	1309	0.0109	Irregular
RY(RS)+R	1F	3.20	4.70	0.0064	0.0076	18274	0.0084	Irregular
RY(RS)+R	B1F	0.00	3.20	0.0020	0.0025	18296	0.0030	Irregular
RY(RS)-R	6F	20.00	3.00	0.0093	0.0112	1980	0.0118	Irregular
RY(RS)-R	5F	17.00	3.00	0.0096	0.0115	1804	0.0121	Irregular
RY(RS)-R	4F	14.00	3.00	0.0095	0.0114	1628	0.0120	Irregular
RY(RS)-R	3F	11.00	3.00	0.0088	0.0106	1452	0.0111	Irregular
RY(RS)-R	2F	7.90	3.10	0.0071	0.0085	1309	0.0092	Irregular
RY(RS)-R	1F	3.20	4.70	0.0060	0.0072	18274	0.0073	Irregular
RY(RS)-R	B1F	0.00	3.20	0.0018	0.0021	18296	0.0026	Irregular

[표 2.2.28] 강성 비정형 평가

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Story Drift (m)	Story Shear Force (kN)	Story Stiffness	Upper Story Stiffness		Story Stiffness Ratio	Story Drift Angle Ratio	Remark
							0.7Ku1	0.8Ku123			
RX(RS)+RX(ES)	6F	20.00	3.00	0.0088	301.60	341.54	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)+RX(ES)	5F	17.00	3.00	0.0091	962.10	329.16	239.08	0.00	1.377	1.038	Regular
RX(RS)+RX(ES)	4F	14.00	3.00	0.0089	1430.88	337.53	230.41	0.00	1.465	0.975	Regular
RX(RS)+RX(ES)	3F	11.00	3.00	0.0081	1749.89	371.86	236.27	268.86	1.383	0.908	Regular
RX(RS)+RX(ES)	2F	7.90	3.10	0.0065	2083.33	476.97	260.30	276.95	1.722	0.780	Regular
RX(RS)+RX(ES)	1F	3.20	4.70	0.0057	2559.50	829.76	333.88	316.36	2.485	0.575	Regular
RX(RS)+RX(ES)	B1F	0.00	3.20	0.0011	2906.40	2871.03	580.83	447.63	4.943	0.289	Regular
RX(RS)-RX(ES)	6F	20.00	3.00	0.0082	301.60	364.01	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)-RX(ES)	5F	17.00	3.00	0.0085	962.10	351.77	254.81	0.00	1.381	1.035	Regular
RX(RS)-RX(ES)	4F	14.00	3.00	0.0083	1430.88	360.84	246.24	0.00	1.465	0.975	Regular
RX(RS)-RX(ES)	3F	11.00	3.00	0.0075	1749.89	397.61	252.59	287.10	1.385	0.908	Regular
RX(RS)-RX(ES)	2F	7.90	3.10	0.0061	2083.33	510.02	278.32	296.06	1.723	0.780	Regular
RX(RS)-RX(ES)	1F	3.20	4.70	0.0052	2559.50	899.55	357.02	338.26	2.520	0.567	Regular
RX(RS)-RX(ES)	B1F	0.00	3.20	0.0010	2906.40	3239.09	629.69	481.92	5.144	0.278	Regular
RY(RS)+RY(ES)	6F	20.00	3.00	0.0051	281.23	591.99	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)+RY(ES)	5F	17.00	3.00	0.0066	972.11	455.70	414.39	0.00	1.100	1.299	Regular
RY(RS)+RY(ES)	4F	14.00	3.00	0.0066	1513.80	456.61	318.99	0.00	1.431	0.998	Regular
RY(RS)+RY(ES)	3F	11.00	3.00	0.0062	1910.83	484.52	319.63	401.15	1.208	0.942	Regular
RY(RS)+RY(ES)	2F	7.90	3.10	0.0050	2322.02	624.52	339.16	372.49	1.677	0.776	Regular
RY(RS)+RY(ES)	1F	3.20	4.70	0.0042	2685.02	1112.98	437.17	417.51	2.546	0.561	Regular
RY(RS)+RY(ES)	B1F	0.00	3.20	0.0014	2969.37	2321.01	779.08	592.54	2.979	0.480	Regular
RY(RS)-RY(ES)	6F	20.00	3.00	0.0048	281.23	629.11	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)-RY(ES)	5F	17.00	3.00	0.0059	972.11	505.94	440.38	0.00	1.149	1.243	Regular
RY(RS)-RY(ES)	4F	14.00	3.00	0.0059	1513.80	506.96	354.16	0.00	1.431	0.998	Regular
RY(RS)-RY(ES)	3F	11.00	3.00	0.0056	1910.83	537.48	354.87	437.87	1.227	0.943	Regular
RY(RS)-RY(ES)	2F	7.90	3.10	0.0046	2322.02	678.37	376.23	413.43	1.641	0.792	Regular
RY(RS)-RY(ES)	1F	3.20	4.70	0.0040	2685.02	1161.31	474.86	459.41	2.446	0.584	Regular
RY(RS)-RY(ES)	B1F	0.00	3.20	0.0012	2969.37	2582.43	812.92	633.91	3.177	0.450	Regular

[표 2.2.29] 중량 비정형 평가

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Story Weight (kN)	Adjacent Story Weight		Story Weight Ratio	Story Drift Angle Ratio	Remark
					1.5M(Upper) (kN)	1.5M(Lower) (kN)			
RX(RS)	Roof	23.00	0.00	566.505	0.000	2407.918	0.235	0.000	Regular
RX(RS)	6F	20.00	3.00	1605.278	849.758	2407.290	1.889	0.000	Regular
RX(RS)	5F	17.00	3.00	1604.860	2407.918	2407.290	0.667	1.036	Regular
RX(RS)	4F	14.00	3.00	1604.860	2407.290	2771.497	0.667	0.975	Regular
RX(RS)	3F	11.00	3.00	1847.665	2407.290	7205.677	0.768	0.908	Regular
RX(RS)	2F	7.90	3.10	4803.785	2771.497	13519.301	1.733	0.780	Regular
RX(RS)	1F	3.20	4.70	9012.867	7205.677	0.000	1.251	0.571	Regular
RX(RS)	B1F	0.00	3.20	731.498	13519.301	0.000	0.054	0.284	Regular
RY(RS)	Roof	23.00	0.00	566.505	0.000	2407.918	0.235	0.000	Regular
RY(RS)	6F	20.00	3.00	1605.278	849.758	2407.290	1.889	0.000	Regular
RY(RS)	5F	17.00	3.00	1604.860	2407.918	2407.290	0.667	1.272	Regular
RY(RS)	4F	14.00	3.00	1604.860	2407.290	2771.497	0.667	0.998	Regular
RY(RS)	3F	11.00	3.00	1847.665	2407.290	7205.677	0.768	0.943	Regular
RY(RS)	2F	7.90	3.10	4803.785	2771.497	13519.301	1.733	0.784	Regular
RY(RS)	1F	3.20	4.70	9012.867	7205.677	0.000	1.251	0.572	Regular
RY(RS)	B1F	0.00	3.20	731.498	13519.301	0.000	0.054	0.465	Regular

[표 2.2.30] 강도 비정형 평가

Story	Level (m)	Story Height (m)	Angle1 ([deg])	Story Shear Strength1 (kN)	Upper Story Shear Strength1 (kN)	Story Shear Strength Ratio1	Remark1	Angle2 ([deg])	Story Shear Strength2 (kN)	Upper Story Shear Strength2 (kN)	Story Shear Strength Ratio2	Remark2
Angle = 0 [Deg]												
Input angle and press 'Apply' button to change angle.			0.00	Apply								
6F	20.00	3.00	0.00	9244.4901	0.0000	0.0000	Regular	90.00	14385.8719	0.0000	0.0000	Regular
5F	17.00	3.00	0.00	9244.4901	9244.4901	1.0000	Regular	90.00	14385.8719	14385.8719	1.0000	Regular
4F	14.00	3.00	0.00	9244.4901	9244.4901	1.0000	Regular	90.00	14385.8719	14385.8719	1.0000	Regular
3F	11.00	3.00	0.00	9244.4901	9244.4901	1.0000	Regular	90.00	14385.8719	14385.8719	1.0000	Regular
2F	7.90	3.10	0.00	9309.5757	9244.4901	1.0070	Regular	90.00	14861.8183	14385.8719	1.0331	Regular
1F	3.20	4.70	0.00	31990.3384	9309.5757	3.4363	Regular	90.00	33503.4876	14861.8183	2.2543	Regular
B1F	0.00	3.20	0.00	48698.8760	31990.3384	1.5223	Regular	90.00	41565.6261	33503.4876	1.2406	Regular

② 성능수준 평가 결과

- 요구량(Demand)/저항능력(Capacity)의 비(DCR)에 의해 구조물의 성능수준 판정결과를 평가함
- 성능수준 평가 결과, DCR값이 1.0을 초과하여 붕괴위험 수준으로 평가됨

[표 2.2.31] KISTEC 2013(한국시설안전공단 2013) 관련조항
철근콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR의 범위	성능수준
DCR≤0.5	거주가능
0.5<DCR≤0.75	인명안전
0.75<DCR≤1.0	붕괴방지
1.0<DCR	붕괴위험

[표 2.2.32] 성능수준평가

Story	Elev. (m)	Sds	Effective Weight (kN)	γ	Demand (kN)	Dμ	X-Direction					Y-Direction				
							Cf (kN)	Cs (kN)	Capacity (kN)	DCR	Performance	Cf (kN)	Cs (kN)	Capacity (kN)	DCR	Performance
Roof	23.00	0.424747	566.51	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-				
6F	20.00	0.424747	1530.33	0.07	839.72	2.00	0.00	4191.99	4191.99	0.15	Invalid	0.00	7163.53	7163.53	0.09	Invalid
6F	19.90	0.424747	74.95	0.24	2142.43	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
5F	17.00	0.424747	1529.91	0.26	2216.66	2.00	0.00	3463.50	3463.50	0.64	Invalid	0.00	7397.90	7397.90	0.30	Invalid
5F	16.90	0.424747	74.95	0.39	3492.61	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
4F	14.00	0.424747	1529.91	0.40	3554.80	2.00	0.00	4304.08	4304.08	0.83	Invalid	0.00	7397.90	7397.90	0.48	Invalid
4F	13.90	0.424747	74.95	0.52	4806.40	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
3F	11.00	0.424747	1772.72	0.52	4857.55	2.00	0.00	3463.50	3463.50	1.34	Invalid	0.00	7454.51	7454.51	0.62	Invalid
3F	10.90	0.424747	74.95	0.63	5814.95	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
2F	8.00	0.424747	980.35	0.63	5865.08	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
2F	7.90	0.424747	3823.43	0.66	6040.12	2.00	0.00	5297.60	5297.60	1.14	Invalid	0.00	8816.51	8816.51	0.69	Invalid
1F	3.20	0.424747	9012.87	0.84	7823.11	2.00	18575.70	7086.37	37151.40	0.20	IO	18004.70	12378.90	36009.40	0.21	IO
B1F	0.00	-	-	1.00	8935.14	2.00	8351.92	38020.10	43866.50	0.20	IO	8286.66	29622.40	31423.10	0.28	IO
STRUCTURE PERFORMANCE																
											Performanc					Performanc
											Invalid					Invalid

- 예비평가 결과 비틀림비정형과 붕괴위험 수준으로 나타나 1단계 상세평가를 수행함

(3) 1단계 내진성능 상세평가

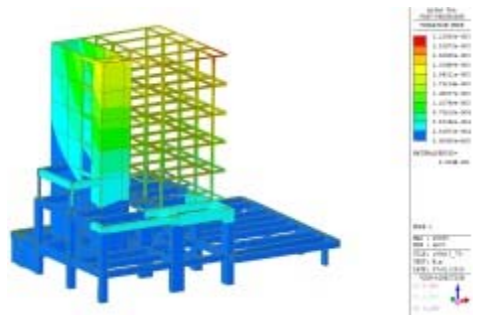
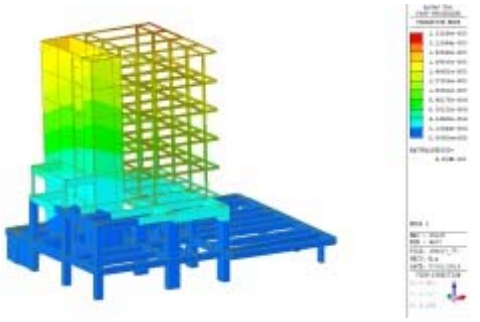
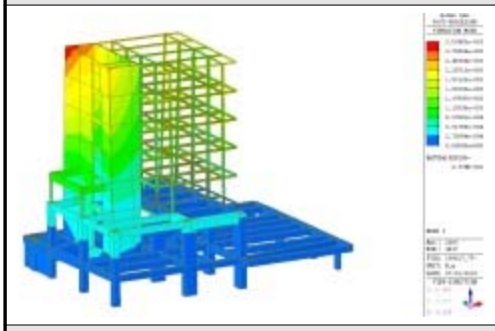
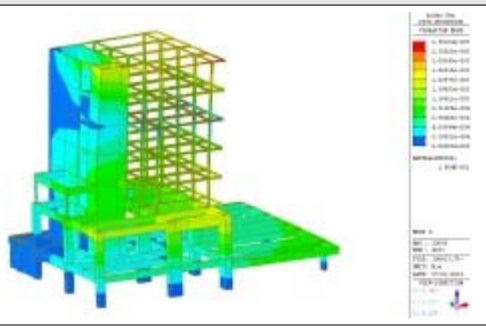
① 고유치해석 결과

[표 2.2.33] 모듈러 A동 고유치 해석

EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency		Period	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	9.6611	1.5376	0.6504	0.0000e+000
2	12.6821	2.0184	0.4954	0.0000e+000
3	24.4122	3.8853	0.2574	2.6884e-129
4	33.0024	5.2525	0.1904	1.7554e-120
5	54.4399	8.6644	0.1154	5.4916e-104
6	63.7137	10.1403	0.0986	6.1014e-100
7	78.8534	12.5499	0.0797	2.8494e-093
8	92.1860	14.6719	0.0682	5.3046e-089
9	111.3310	17.7189	0.0564	1.6149e-083
10	133.1677	21.1943	0.0472	5.3119e-079
11	150.2886	23.9192	0.0418	9.0273e-076
12	189.4288	30.1485	0.0332	3.6602e-069
13	201.2569	32.0310	0.0312	2.2613e-066
14	218.9173	34.8418	0.0287	3.6106e-063
15	229.2463	36.4857	0.0274	5.5646e-064

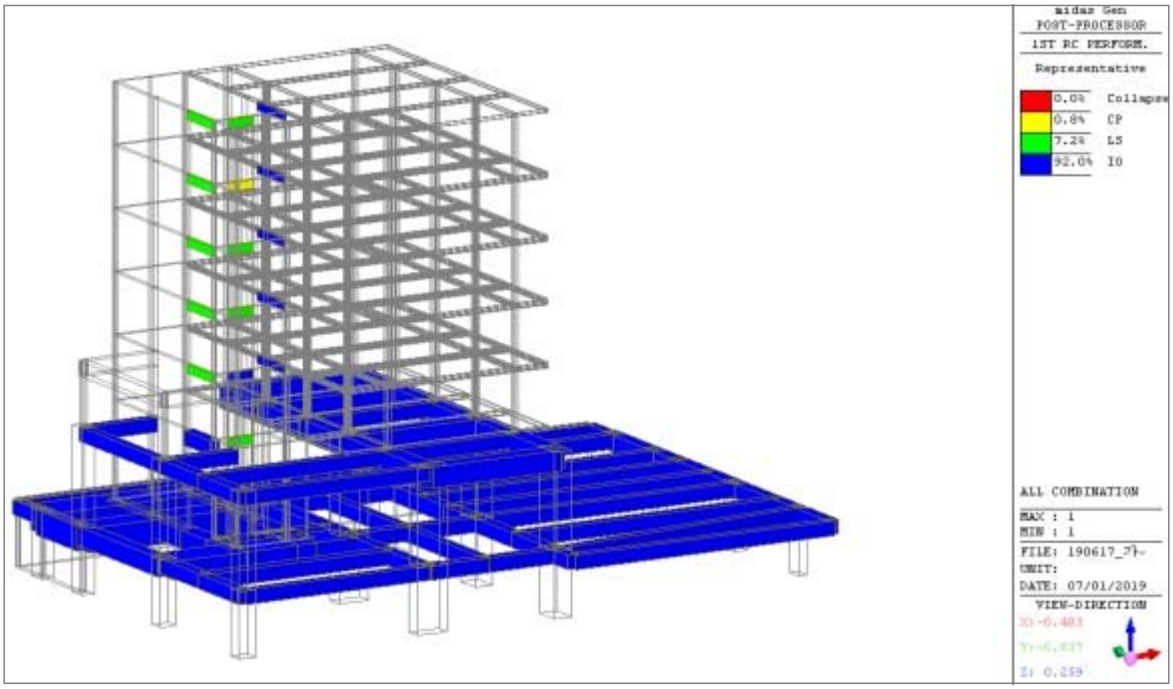
② 모드형상

[표 2.2.34] 모듈러 A동 모드형상

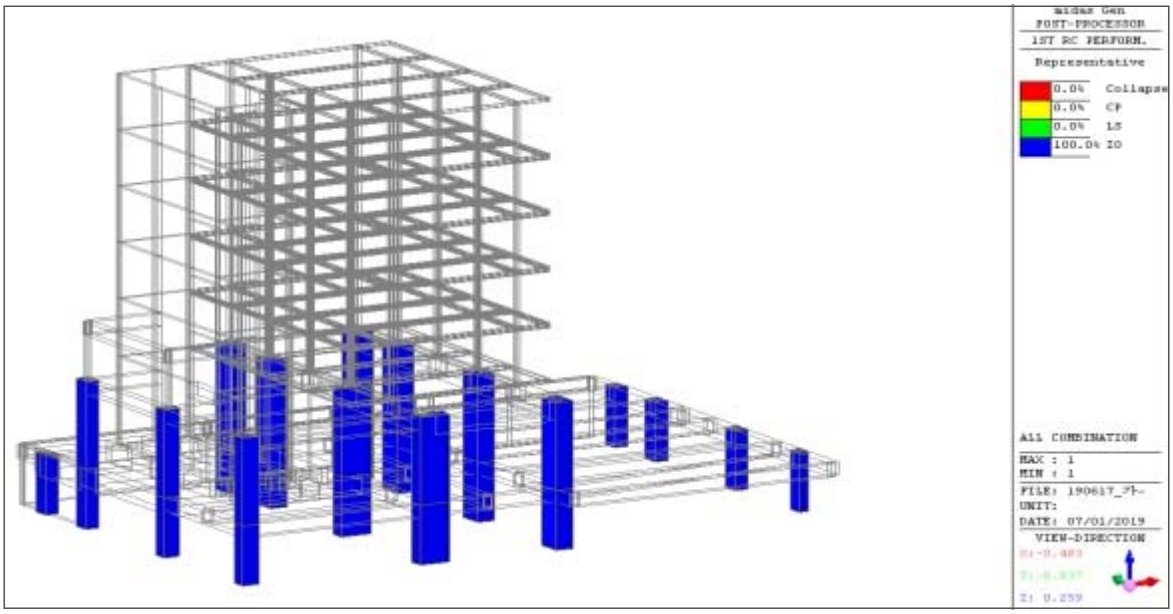
1차모드	2차모드
	
3차모드	**4차모드**
	
1차모드	주기 : 0.6504초
2차모드	주기 : 0.4954초
3차모드	주기 : 0.2574초
4차모드	주기 : 0.1904초

③ 부재 검토결과

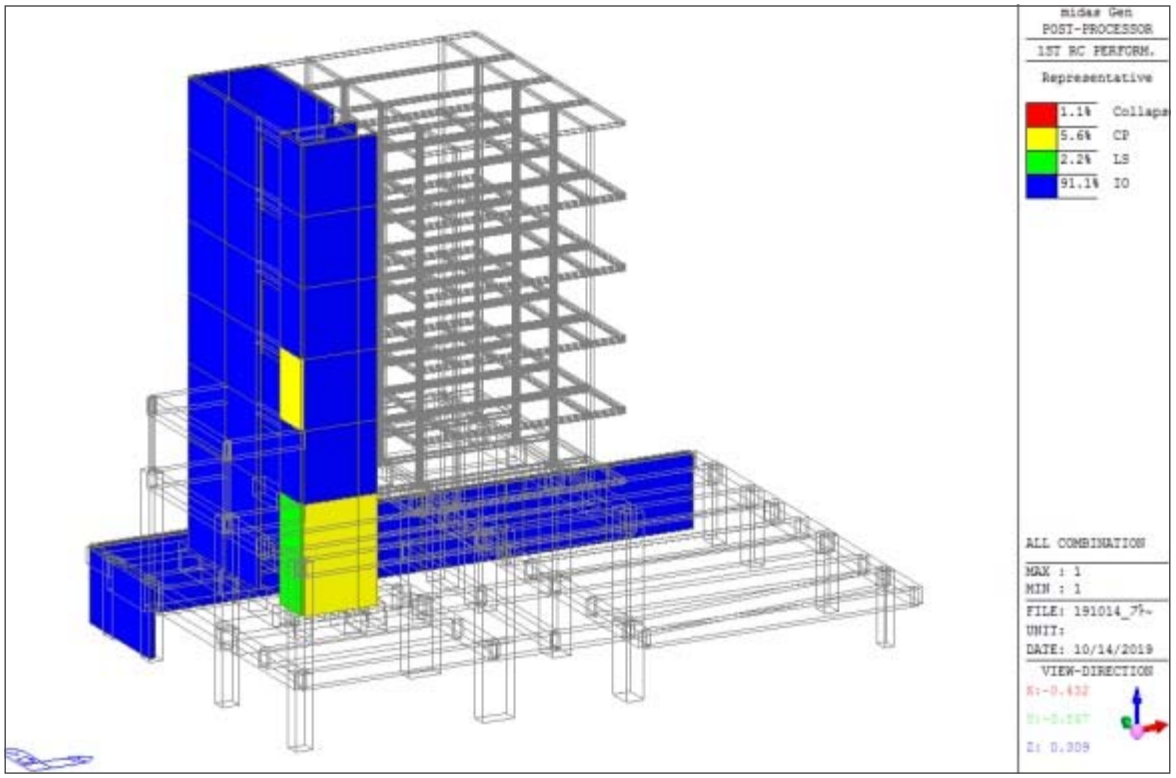
- 하중조합별, 전체 부재별로 성능평가 결과를 그래픽으로 확인
- 부재별로 어떤 이유에 의해 성능수준이 결정되었는지 확인
- RC보는 99.2%, RC기둥은 100%, RC벽체는 93.3%가 LS수준을 만족함
- 철골 보, 기둥 부재는 LS 목표성능에 100% 만족함



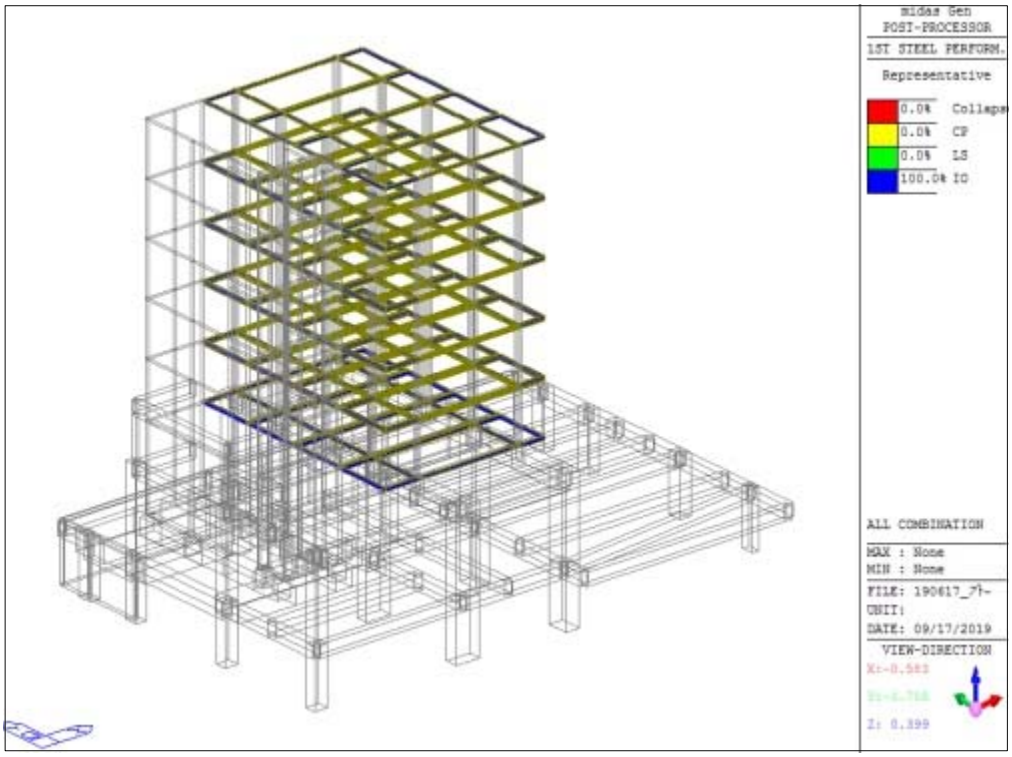
[그림 2.2.29] 모듈러 A동 RC 보 성능평가 검토



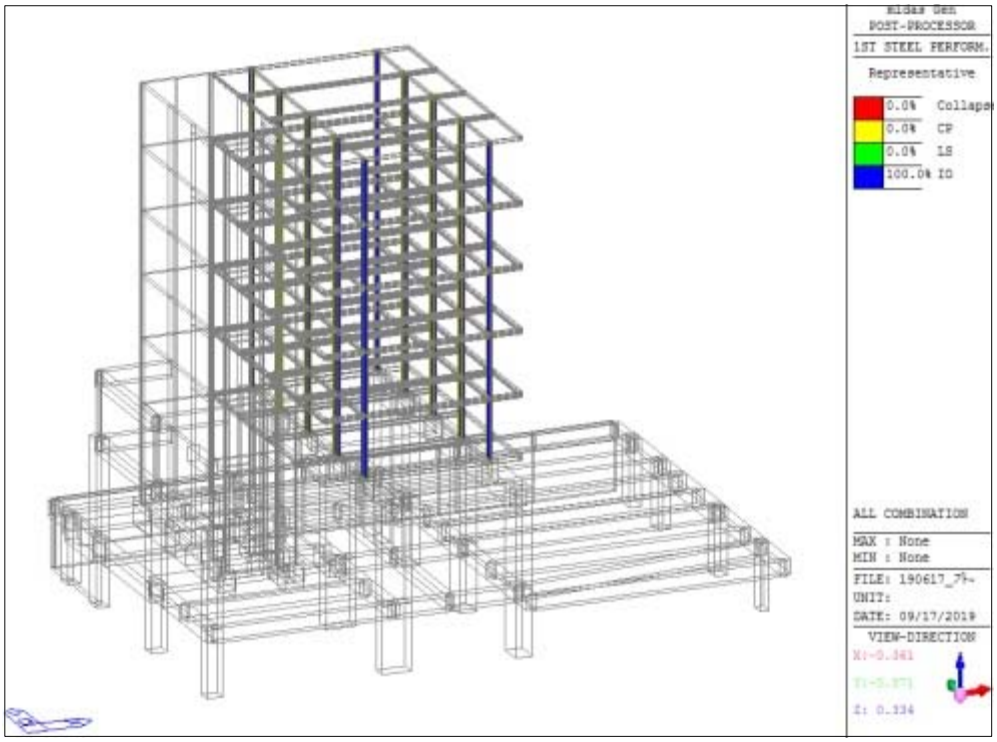
[그림 2.2.30] 모듈러 A동 RC 기둥 성능평가 검토



[그림 2.2.31] 모듈러 A동 RC 벽체 성능평가 검토



[그림 2.2.32] 모듈러 A동 보 철골 성능평가 검토



[그림 2.2.33] 모듈러 A동 철골 기둥 성능평가 검토

④ 수직하중 분담비율에 따른 성능수준

- 층별로 수평부재와 수직부재에 대해 각각 수직하중 분담비율이 80%를 초과할 때의 성능수준을 최종 결정함
- 수직하중 분담비율에 따른 성능수준은 IO(Immediate Occupancy, 즉시거주) 수준으로 목표성능인 LS(Life Satety, 인명안전) 수준보다 높게 나타남

[표 2.2.35] 수직하중 분담비율 평가

Story	Level (m)	Load	Horizontal Member Ratio				Vertical+Inclined Member Ratio			
			IO	LS	CP	Performance	IO	LS	CP	Performance
Vertical Load factor for Calculating Acceptance Performance criteria = 1DL, 0.25LL										
Load Combinations for Performance status = ALL										
Scale Up of m Factor for DCR Calculation of Deformation-Controlled Action = 1										
Roof	23.00	ALL	0.89	1.00	1.00	IO	-	-	-	-
6F	20.00	ALL	0.99	0.99	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
6'F	19.90	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
5F	17.00	ALL	0.99	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
5'F	16.90	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
4F	14.00	ALL	0.99	1.00	1.00	IO	0.98	1.00	1.00	IO
4'F	13.90	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
3F	11.00	ALL	0.97	1.00	1.00	IO	0.95	0.95	1.00	IO
3'F	10.90	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
2'F	8.00	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
2F	7.90	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	0.99	0.99	1.00	IO
1F	3.20	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	0.92	0.94	1.00	IO
B1F	0.00	ALL	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	IO
STRUCTURE PERFORMANCE										
						Performance				Performance
						IO				IO

⑤ 층간 변위각에 따른 성능수준

- 구조시스템별로 층간 변위각의 크기로 층별 성능수준을 판정하고, 가장 낮은 성능수준을 전체 구조물의 성능수준으로 판정함
- 층간 변위각에 따른 성능수준는 X, Y 방향 모두 LS을 만족함

[표 2.2.36] 구조시스템 및 성능수준별 허용층간 변위각

구조시스템	내진설계된 경우			내진설계 되지 않은 경우		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP
RC 모멘트골조	0.01	0.02	0.04	0.005	0.01	0.02
조적채움벽이 있는 RC 모멘트 골조	0.007	0.014	0.024	0.0035	0.007	0.012
전단지배형 전단벽 시스템	0.0025	0.005	0.01	0.0012	0.0025	0.005
휨지배형 전단벽 시스템	0.005	0.01	0.02	0.0025	0.005	0.01
철골골조	0.007	0.025	0.05	0.0055	0.02	0.04
가새가 있는 철골골조	0.005	0.015	0.02	0.004	0.012	0.016
조적조	0.004	0.0067	0.01	0.004	0.0067	0.01

[표 2.2.37] X/Y방향 층간 변형각에 따른 성능수준

STRUCTURE PERFORMANCE
Performance
LS

(4) 소결

① 예비평가 결과

- 비정형성 평가에서는 비틀림 비정형에 해당되고, 성능수준은 붕괴위험 수준으로 나타나 상세평가를 수행함

② 상세평가 결과

- 각 부재별 상세평가에 따른 결과는 RC 보 부재 LS 목표성능에 99.2% 만족하며, 기둥 부재는 LS 목표성능에 100% 만족하고, 벽체 부재는 LS 목표성능에 93.3% 만족함
- 철골 보, 기둥 부재는 LS 목표성능에 100% 만족함
- 층간 변위각에 따른 성능수준는 X, Y방향 모두 LS를 만족함
- 따라서 가양 실증단지의 내진성능평가결과, 일반적인 공동주택과 동등한 LS(Life Safety, 인명안전)수준을 만족하는 것으로 평가됨

나) 천안실증단지 바닥진동성능평가

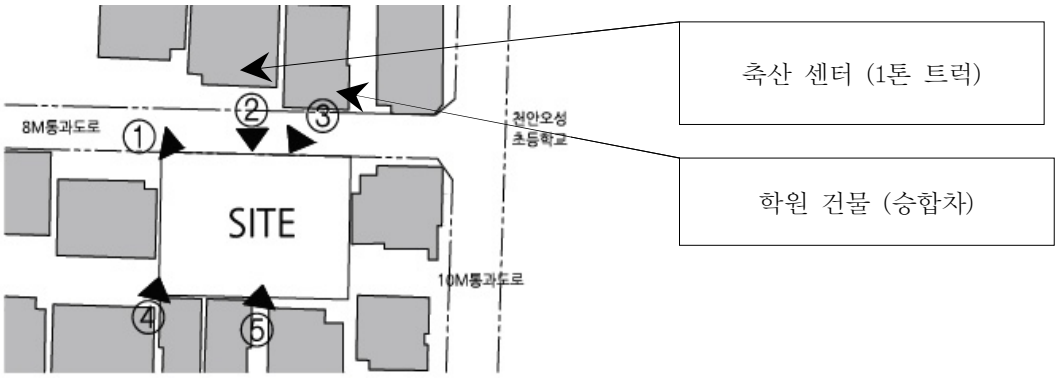
(1) 개요

① 대상 건축물 현황

- 위치 : 천안시 서북구 두정동 581번지
- 구조형식 : 1동 적층식(모듈러), 2동 인필식(모듈러)
- 주요 구조 : 적층식 : 철골모듈러 구조
  인필식 : 철근 콘크리트(코어 및 골조) + 철골 모듈러 시스템(세대)

② 주변 현황

- 정면(북측) : 8m 통과 도로 :1톤 트럭 이하 통행, 축산 센터, 학원 건물
- 우측 : 10m 통과 도로 : 승용차, 승합차 다수 통행, 도로 건너 초등학교





(a) 북측 8m 도로



(b) 조감도

[그림 2.2.34] 천안 실증단지 주변 현황

③ 진동 측정

㉠ 측정일

- 2019년 7월 18일~19일

㉡ 측정 장비

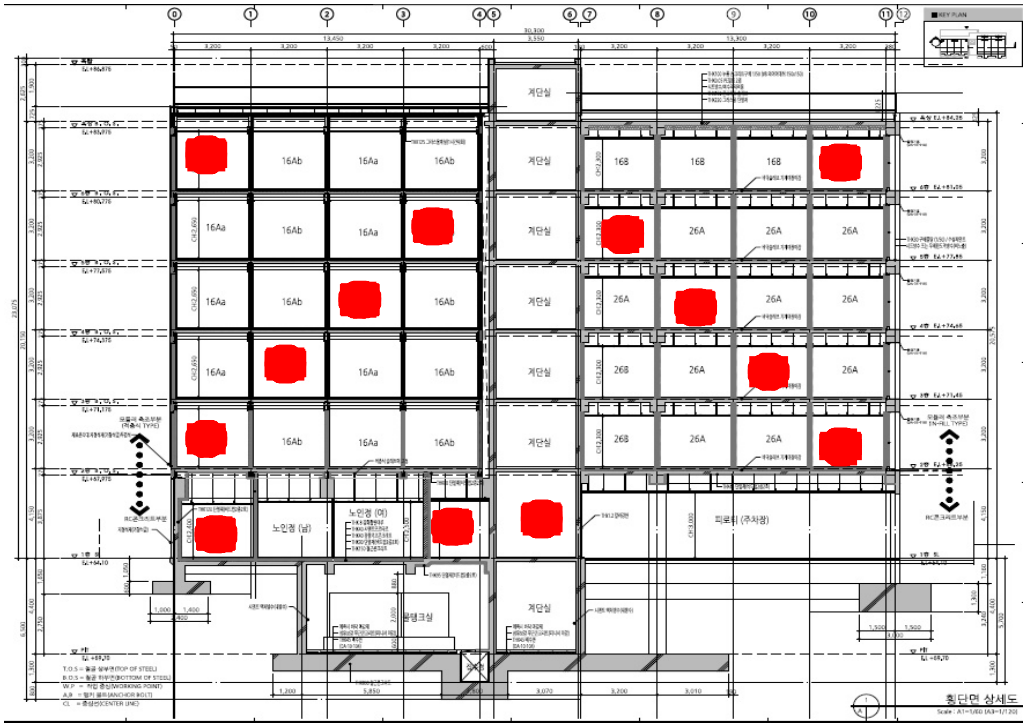
- FFT Analyzer : Apollo Light (SINUS)
- Accelerometer : 8762A5 (KISTLER)
- Camera : Lifecam (Microsoft)

㉢ 측정 세대

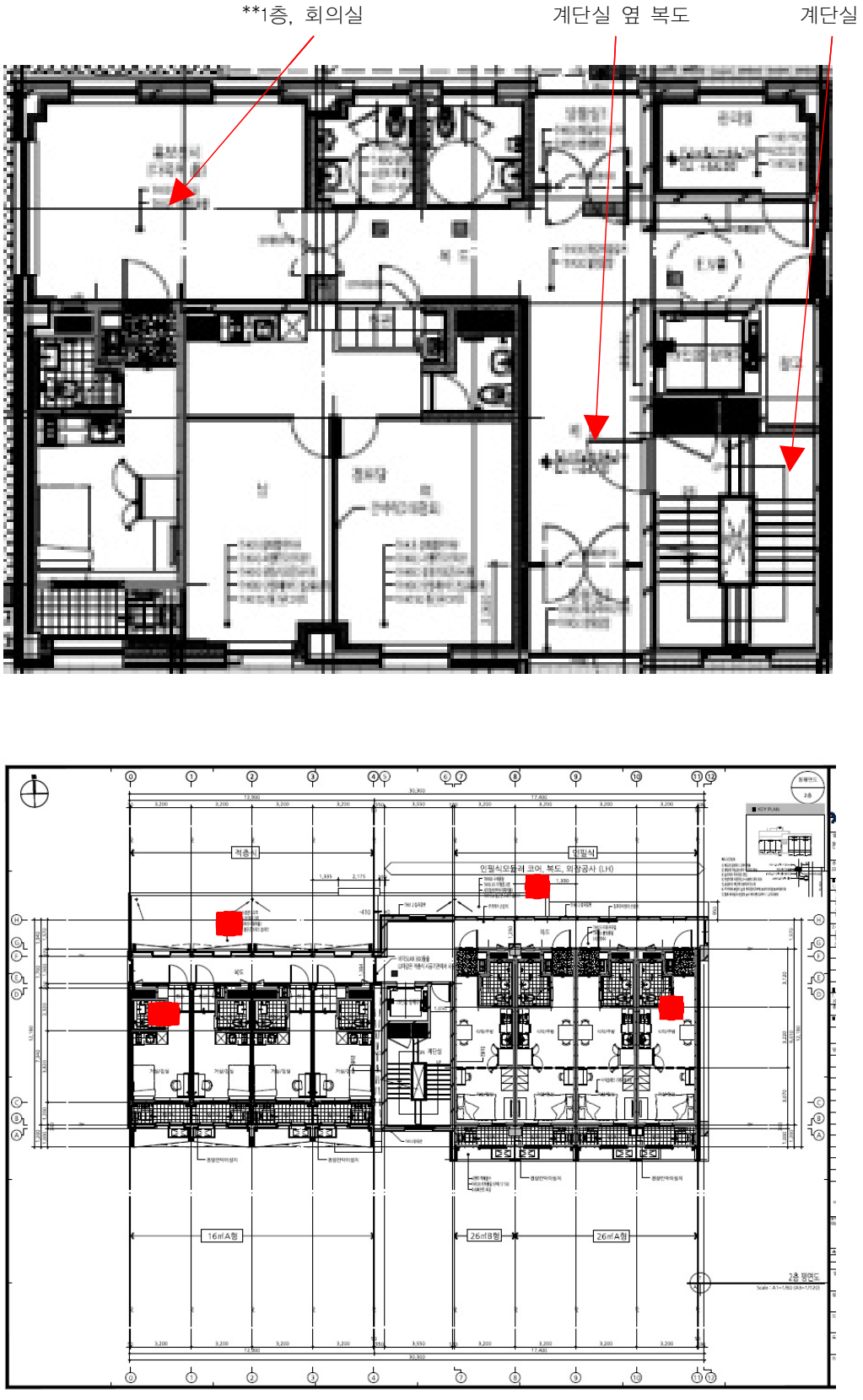
[표 2.2.38] 진동 측정 세대

층 \ 동	1 동(적층식)		2동(인필식)	
	호	위치	호	위치
2층	208	거실 중앙, 복도	201	거실 중앙, 복도
3층	307	거실 중앙, 복도	302	거실 중앙, 복도
4층	406	거실 중앙, 복도	403	거실 중앙, 복도
5층	505	거실 중앙, 복도	504	거실 중앙, 복도
6층	608	거실 중앙, 복도	601	거실 중앙, 복도
1층	사무실	중앙, 계단측 복도	계단실	계단참 중앙

㉣ 측정 위치



[그림 2.2.35] 측정위치



[그림 2.2.36] 측정위치 평면도



[그림 2.2.37] 측정위치 사진

㉤ 측정 방법

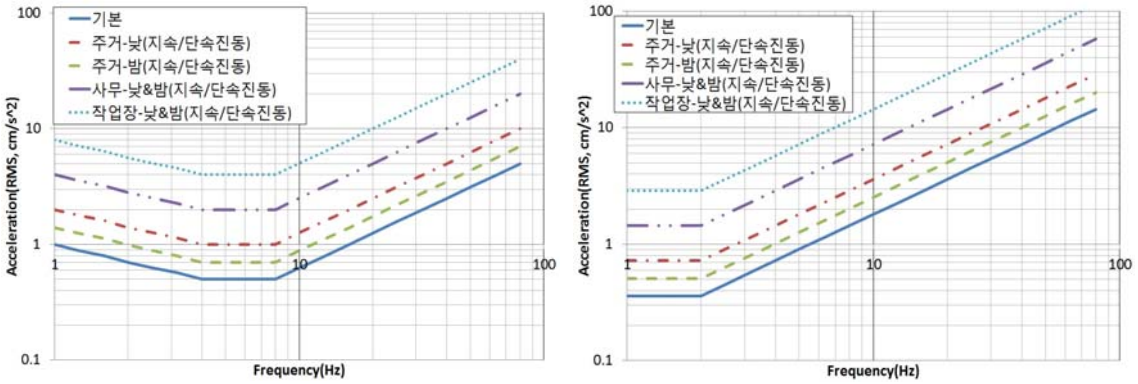
- 측정 세대의 경우 1개소(슬래브의 중앙)에 가속도 센서 설치
- 각 층 복도 슬래브 중앙부에 가속도 센서 설치
- 카메라는 창문 측에 설치하여 외부 차량 등 이동 상태를 확인함

㉥ 진동 평가기준

- 2003년 개정된 ISO 2631-2(2003)에서 건물 진동에 대한 사용성 기준으로 인용되고 있음
- 건물 용도와 시간대 및 진동 빈도에 따라 기준곡선에 곱할 계수 값을 제시하고 있는데, 주거 건물의 경우 연속적이거나 빈번한 진동에 대하여 야간 1.4, 주간 2~4임
- ISO 2631-2는 건물 바닥의 속도나 가속도에 대한 인간의 인지에 대해 다루고 있으며 기본곡선은 [그림2.2.38]과 같음
- 이 곡선에 진동의 종류, 장소, 시간에 따라 가중 보정치를 곱하여 인간의 인지에 대한 진동 한계를 결정함

[표 2.2.39] 인체 응답에 대한 건물 진동한계를 규정하기 위한 가중 계수(ISO)

장 소	시 간	지속적인 진동 또는 단속적인 진동	소멸적 진동이거나 하루에 몇 번 발생하는 충격진동
정밀작업구역 (병원 수술실, 정밀실험실)	낮	1	1
	밤	1	1
주거지역	낮	2-4	30-90
	밤	1.4	1.4-20
사무실	낮	4	60-128
	밤	4	60-128
작업장	낮	8	90-128
	밤	8	90-128

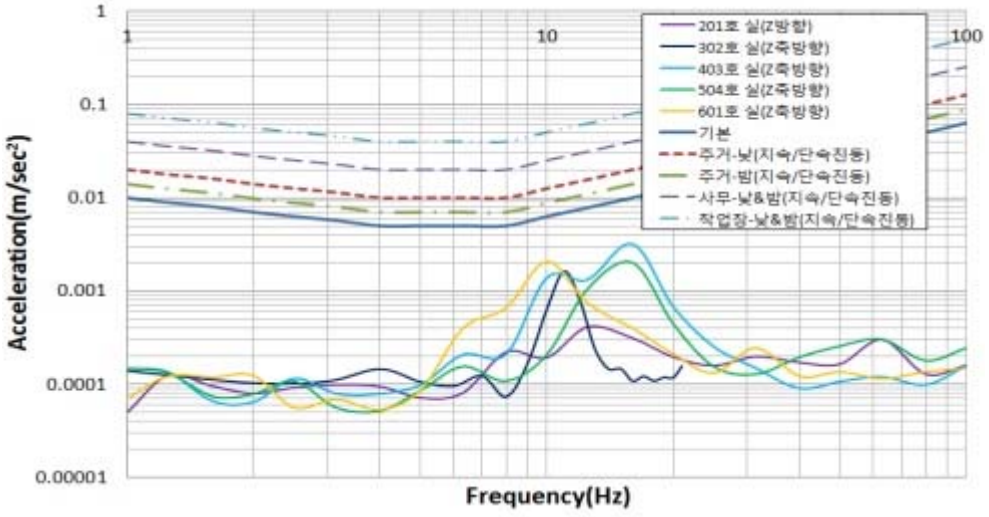


(a) Z축 (b) X,Y축

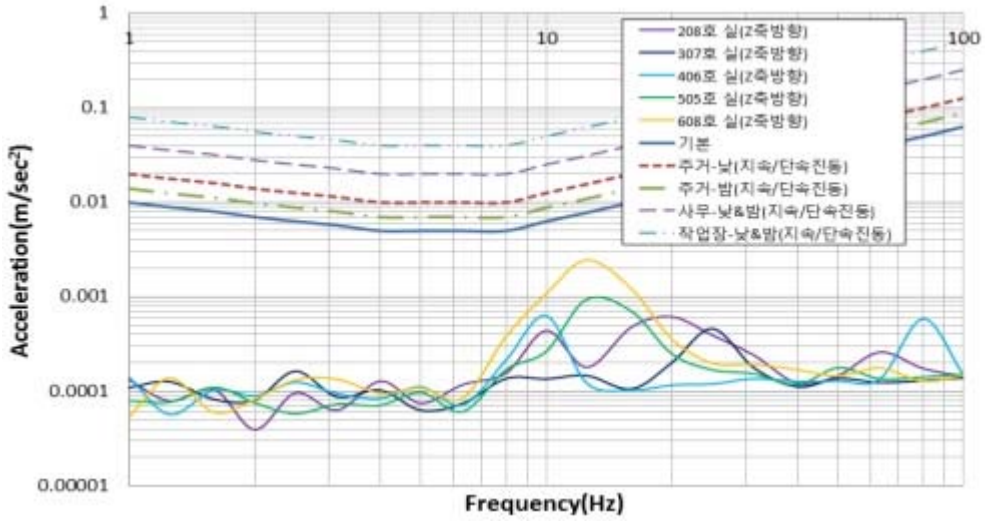
[그림 2.2.38] ISO 2631-2 진동평가기준(지속 또는 단속진동)

(2) 최대진동값의 허용기준치 비교

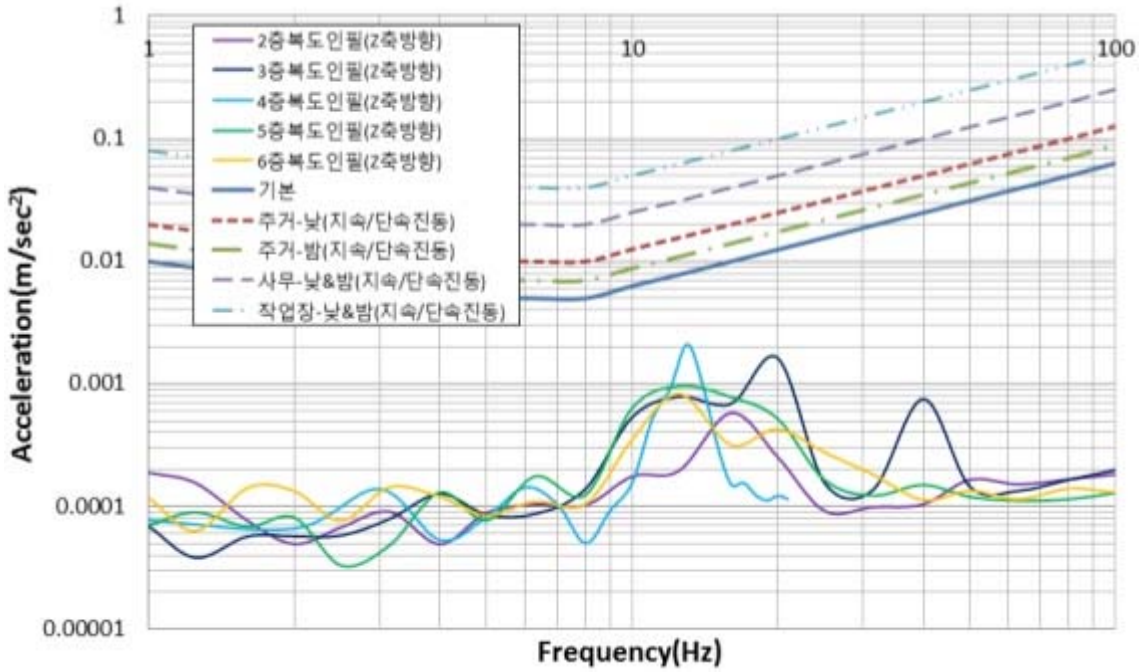
- 천안 실증단지의 진동값을 층별로 비교한 결과, 인필식 모듈러의 세대 내부 거실 중앙에서 측정한 값을 보면, 10~20Hz사이의 값이 크게 나타나고 층별 연관성은 없는 것으로 판단됨. 이에 반해 적층식 모듈러의 세대 내부 거실 중앙에서 측정한 값은 인필식과 마찬가지로 10~20Hz사이에서 큰 값을 보이고, 상층부로 갈수록 진동이 더 크게 나타남
- 복도에서 측정한 값도 방에서 측정된 값과 마찬가지로 10~20Hz 사이에서 큰 값을 가지며, 적층식은 상층부로 갈수록 진동이 크게 나타남



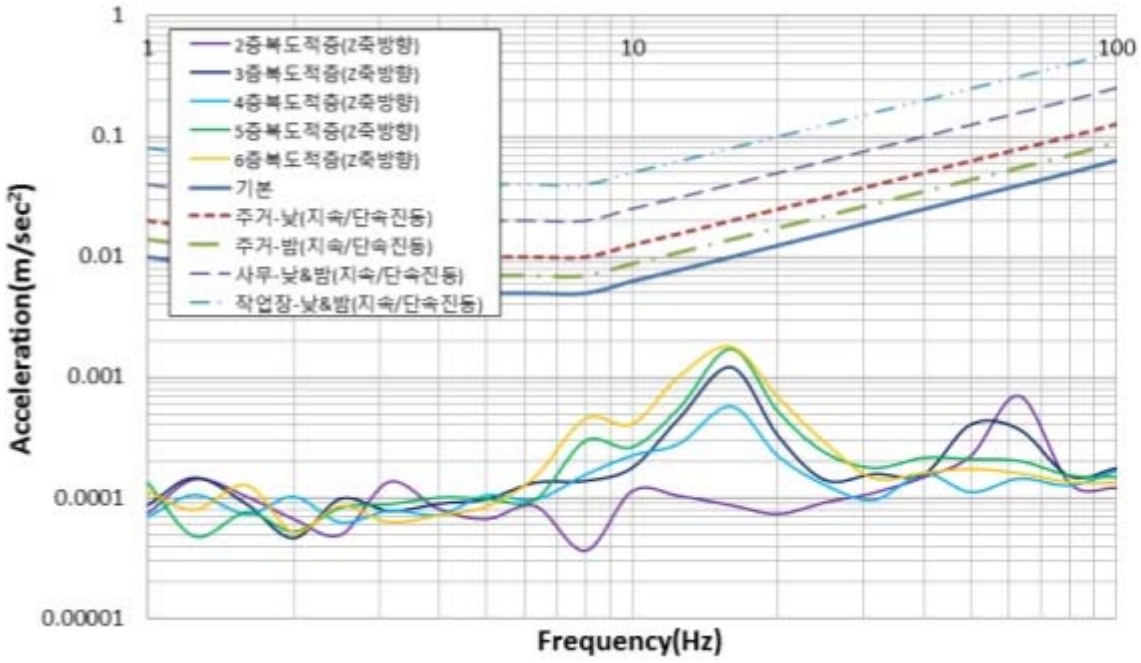
[그림 2.2.39]인필식 방 층별 진동값 비교(Z축)



[그림 2.2.40] 적층식 방 층별 진동값 비교(Z축)



[그림 2.2.41] 인필식 복도 층별 진동값 비교(Z축)

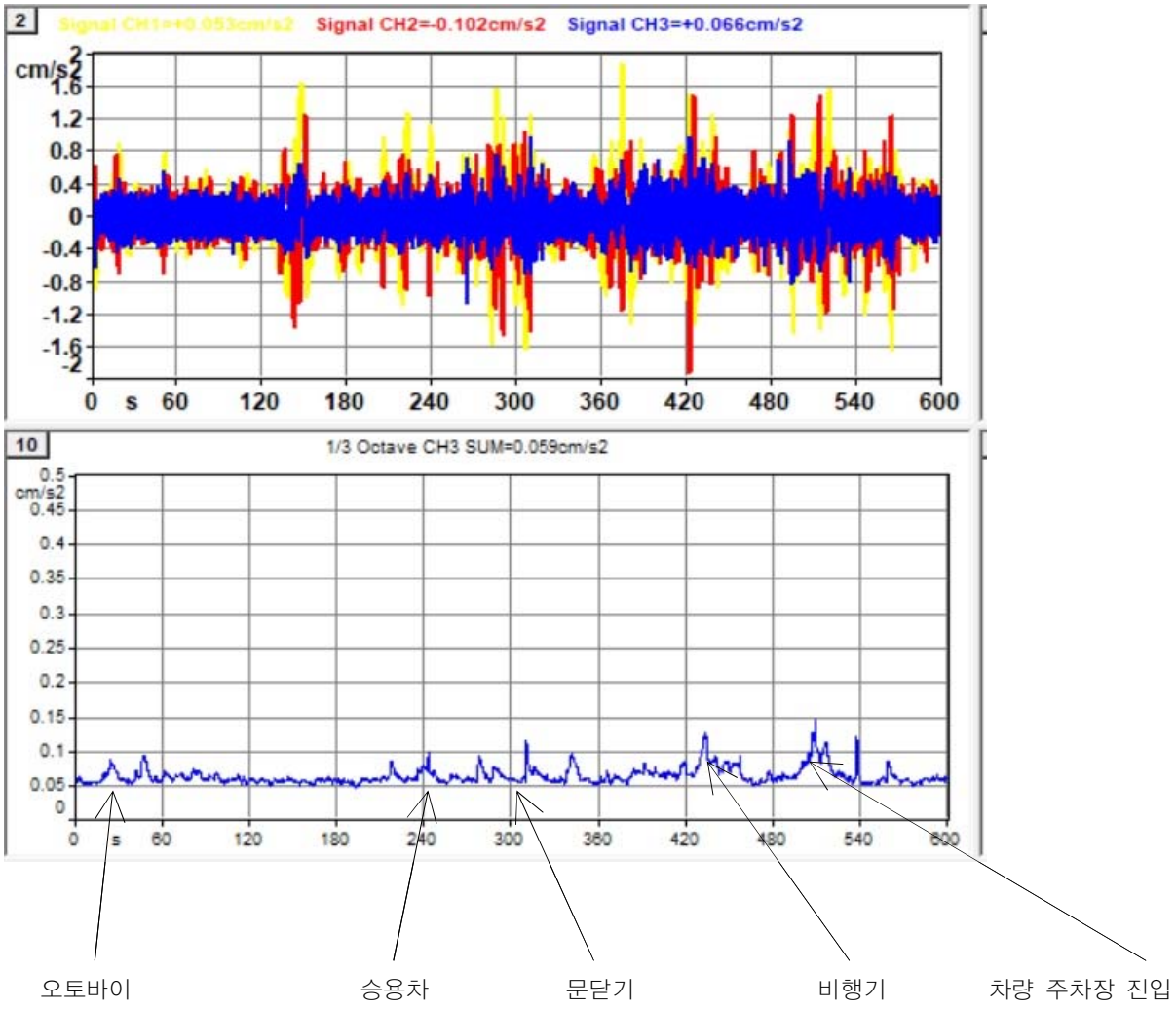


[그림 2.2.42] 적층식 복도 층별 진동값 비교(Z축)

(3) 실별 바닥진동 측정결과

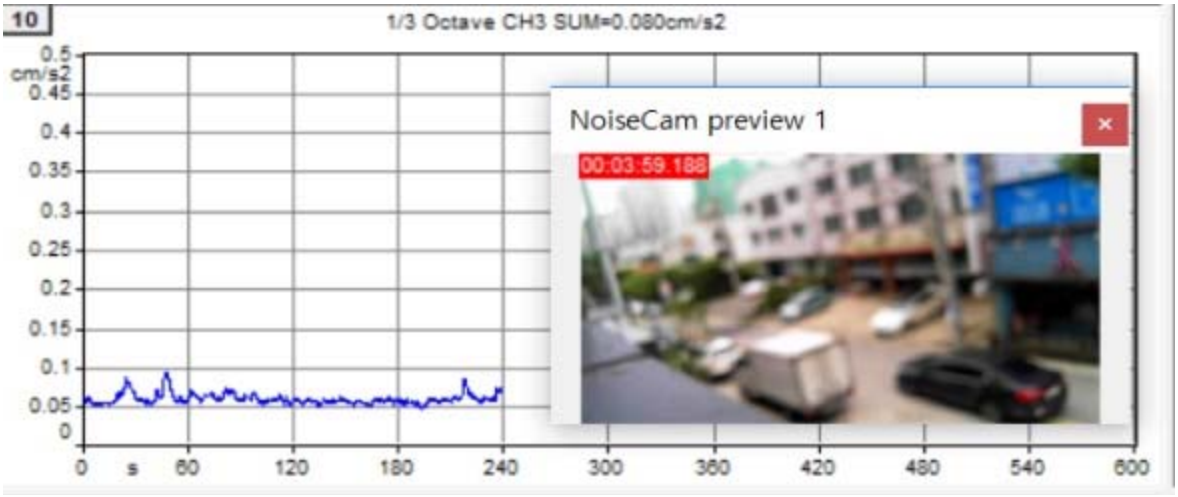
① 201호 방에서 측정

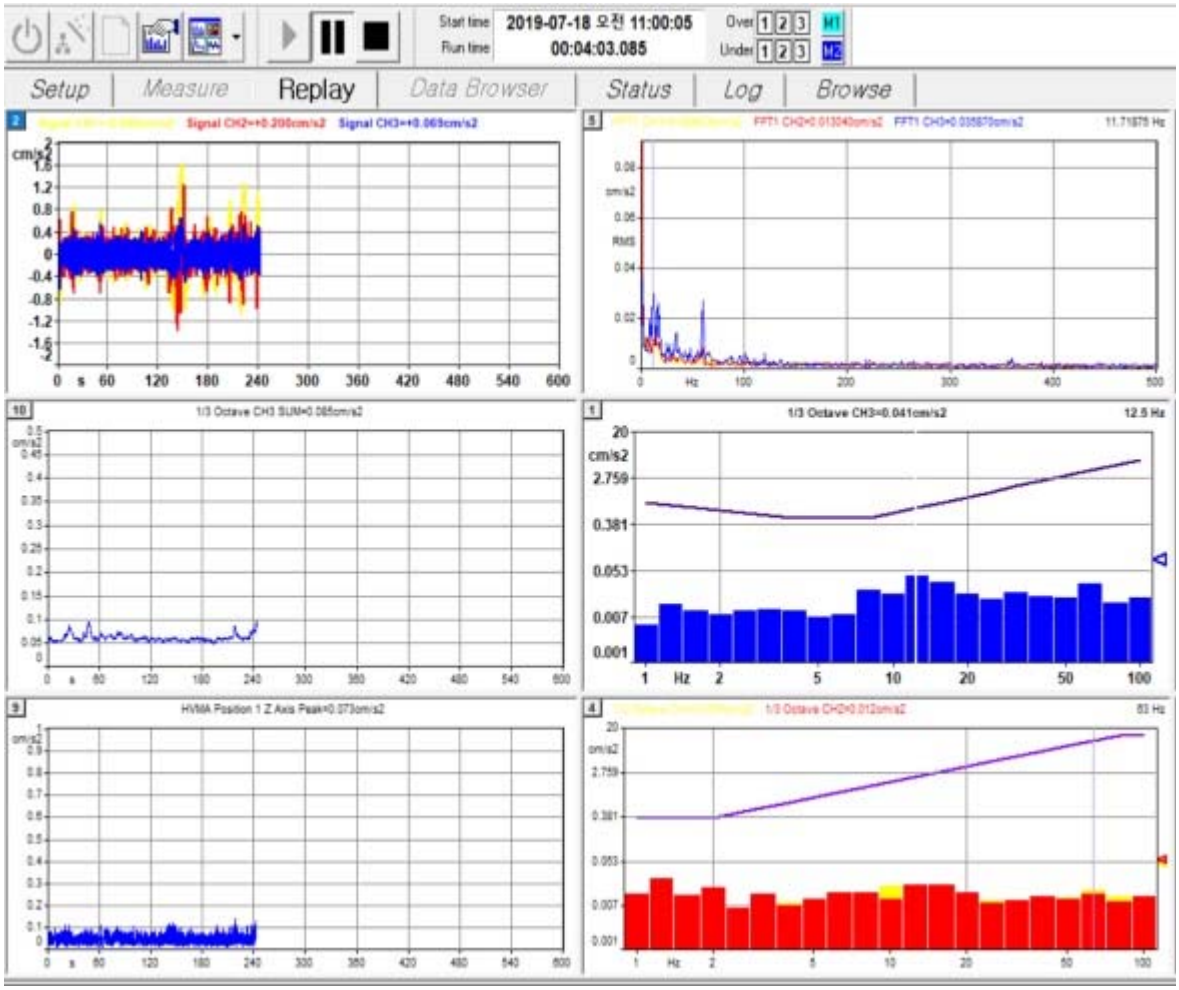
- 오전 11시 00분 05초부터 600초간 측정함



[그림 2.2.43] 201호 방 일상조건 진동측정값

❍ 승용차 통과 시

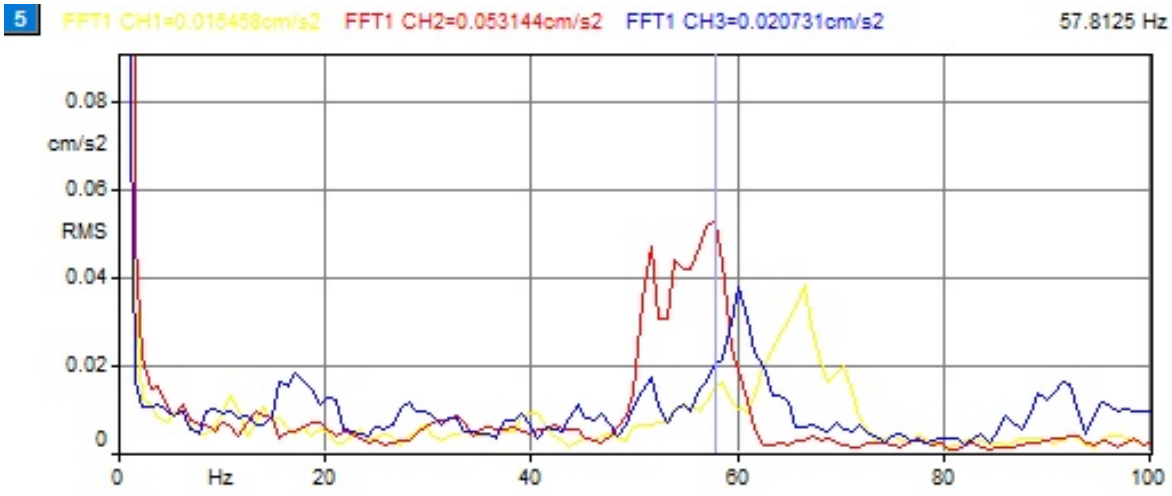




[그림 2.2.44] 201호 방 승용차 통과 시 진동측정값

❍ 문닫기

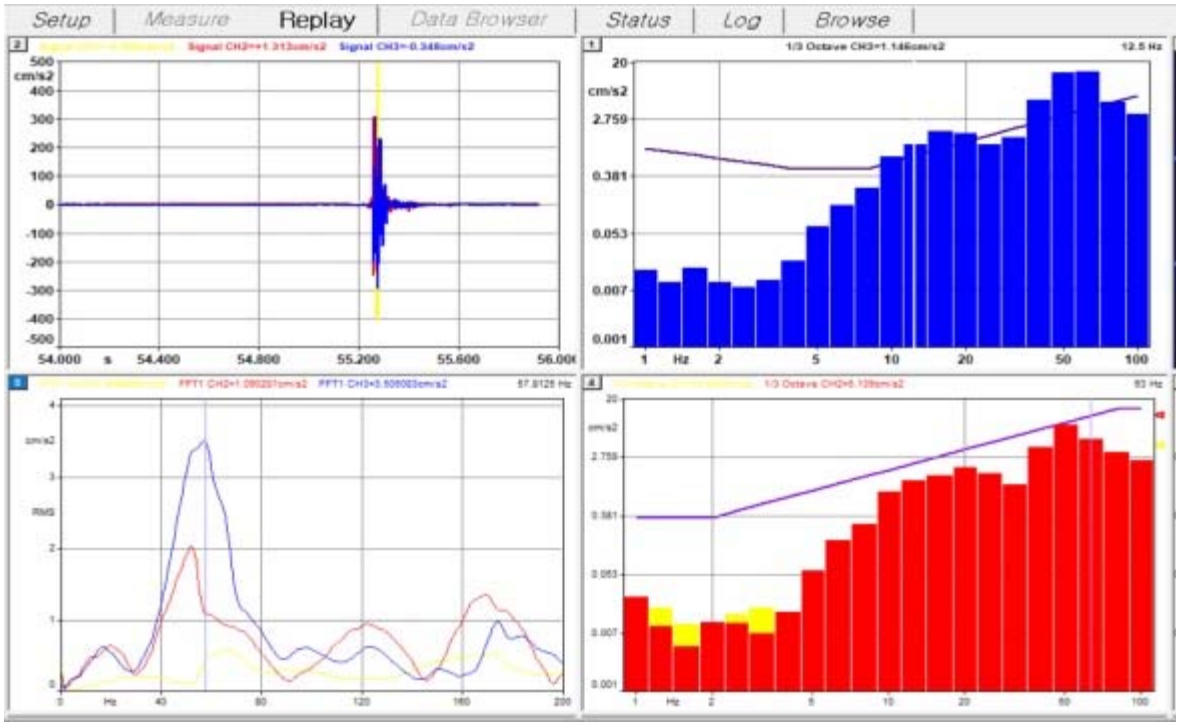
- 수평(Y) 방향이 수직(Z), 수평(X, 창문 방향)보다 크며, 50~58Hz로 넓게 나타남
- 수직은 60Hz, 수평(x)는 68Hz를 보임



[그림 2.2.45] 201호 방 문닫기 시 진동측정값

❍ 발꿈치 충격 진동

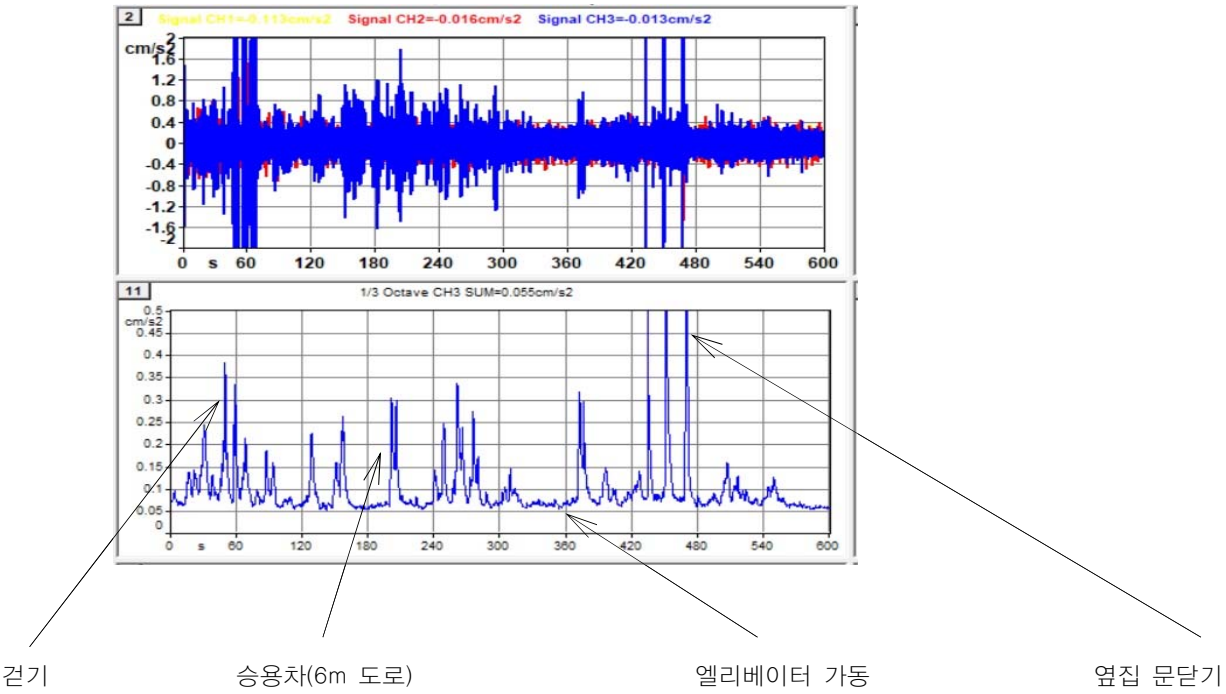
- 일상 조건에서 측정 후 바닥면에 대해 발꿈치 충격 진동을 측정함
- 수직으로 충격을 주었으나, 수직(Z) 및 수평(Y) 방향으로의 고유 진동수가 나타남
- 수직 : 17Hz, 57Hz, 88Hz, 96Hz대 그리고 수평(Y) : 19.5Hz, 51.5Hz, 121Hz, 169Hz대의 증폭이 나타남



[그림 2.2.46] 201호 방 발꿈치 충격하중 진동측정값

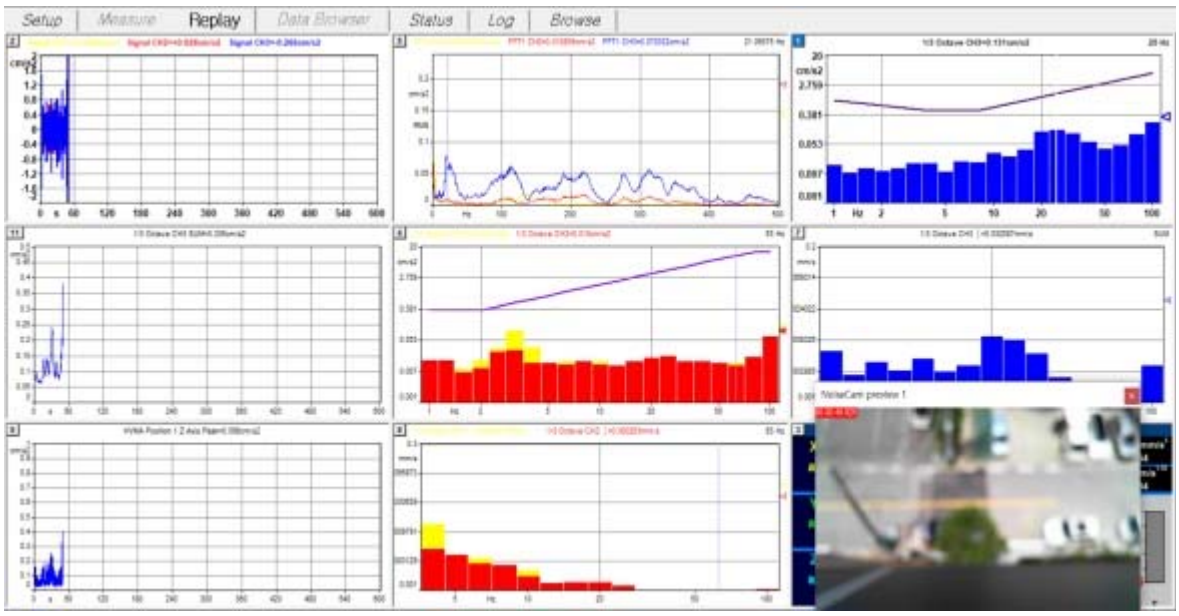
② 608호 방에서 측정

- 오후 1시 39분 41초부터 600초간 측정함



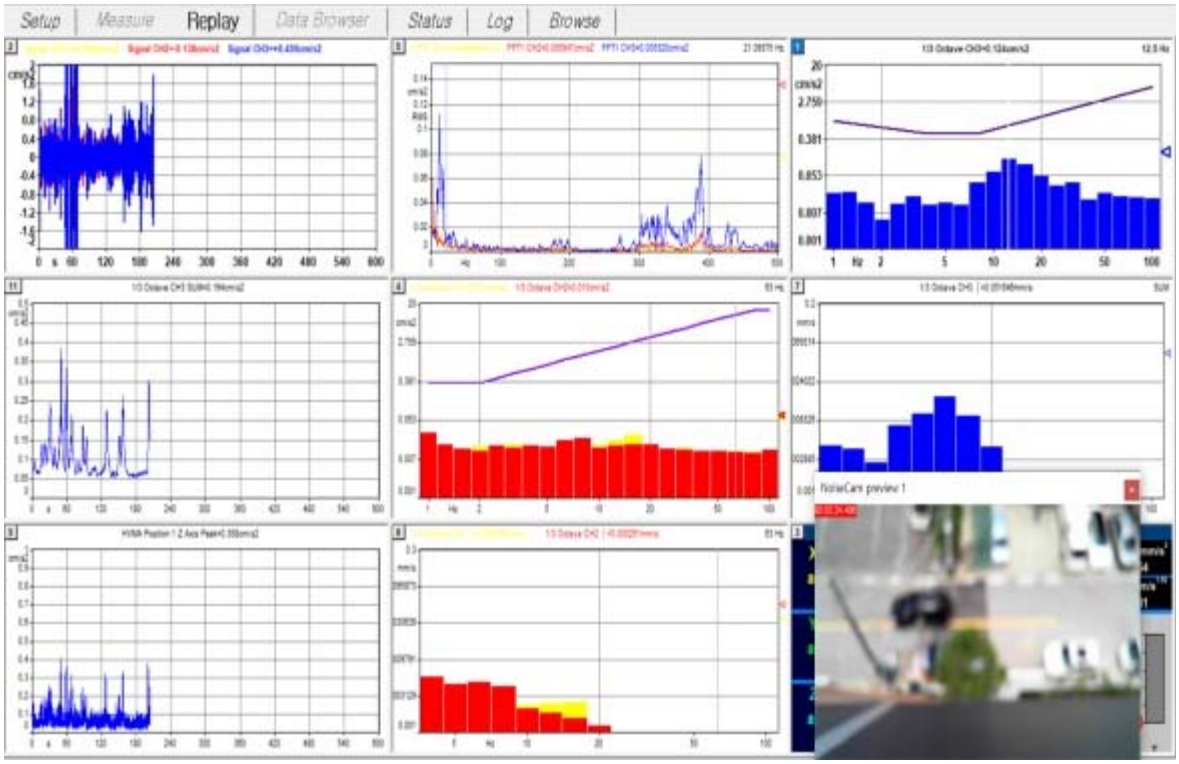
[그림 2.2.47] 608호 방 일상조건 진동측정값

❍ 걷기 : 충격과 동일 25, 100Hz



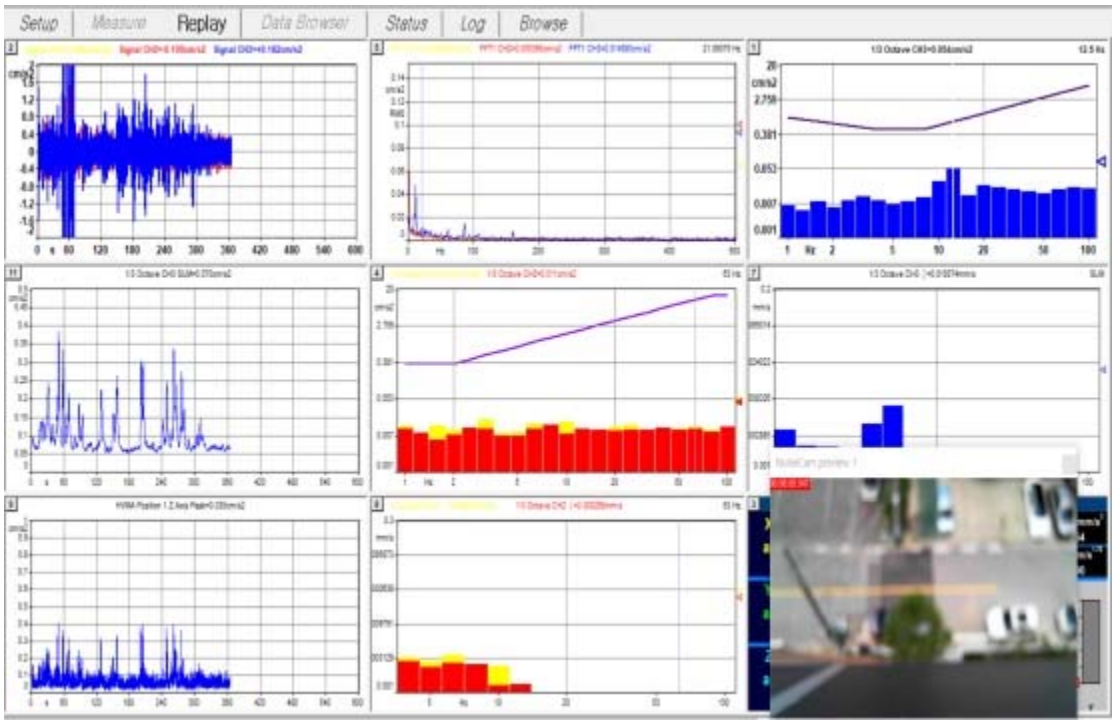
[그림 2.2.48] 608호 방 걷기 시 진동측정값

❍ 승용차 (6m 도로 통과) : 12.5, 16Hz



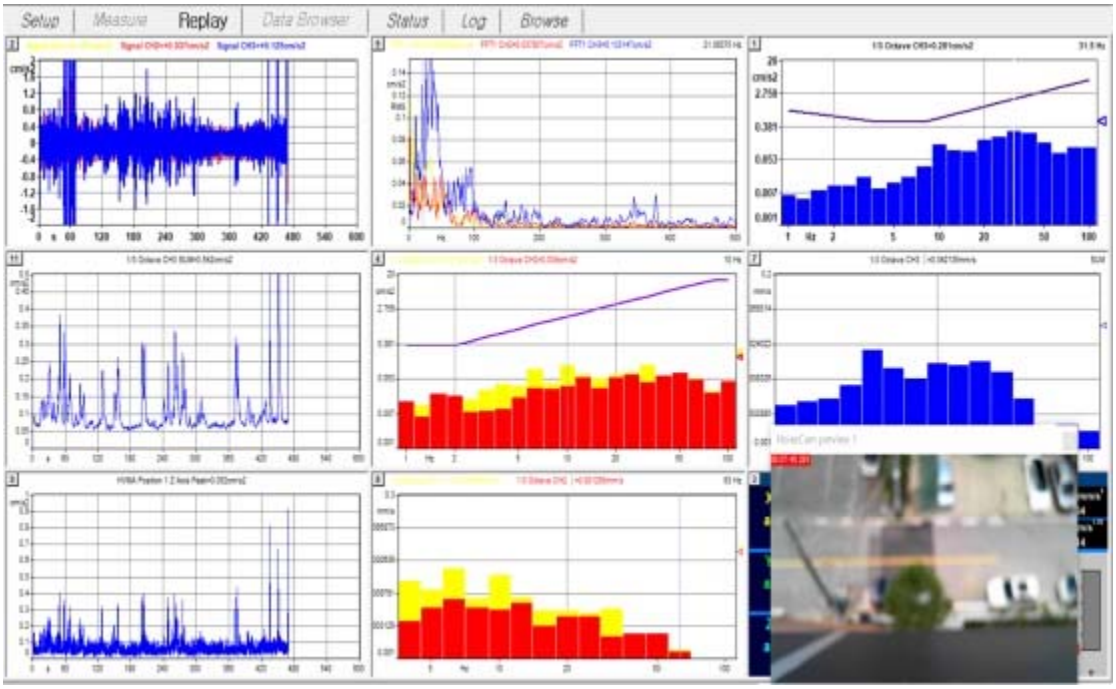
[그림 2.2.49] 608호 방 승용차 통과 시 진동측정값

❍ 엘리베이터 가동 : 엘리베이터와 멀리 떨어져 있어 큰 영향이 없음



[그림 2.2.50] 608호 방 엘리베이터 가동 시 진동측정값

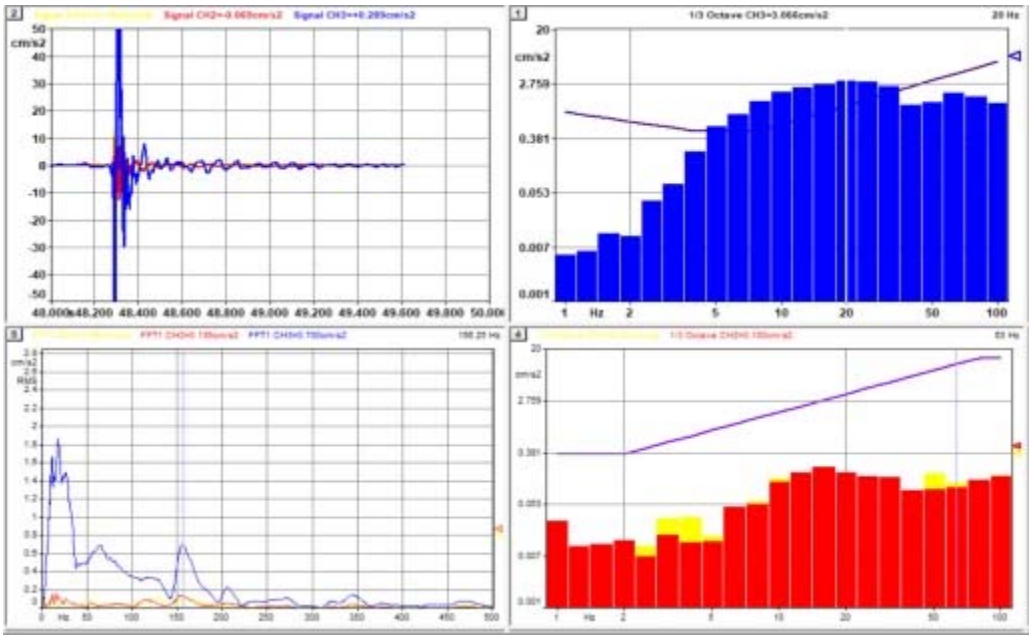
❍ 옆집 문닫기 : 수직 및 수평(X) 진동



[그림 2.2.51] 608호 방 옆집 문닫기 시 진동측정값

❍ 발꿈치 충격 진동

- 일상 조건에서 측정 후 바닥면에 대해 발꿈치 충격 진동을 측정함
- 수직(Z) : 18Hz, 65Hz, 156Hz 대의 증폭이 나타남



[그림 2.2.52] 608호 방 발꿈치 충격 진동 시 진동측정값

(4) 소결

- 천안 실증단지의 바닥진동측정결과, 하층부보다 상층부에서 진동값이 크게 나타남
- 적층식이 인필식보다 진동에 더 불리하다고 생각할 수 있으나, 천안 실증단지의 경우 인필식이 북측 6m 도로와 동측 10m 도로와 가까이 있어 특히 10m 도로의 차량 통행의 영향을 적층식보다 더 많이 받는 것으로 평가됨
- 천안 실증단지의 가장 큰 진동원은 인접도로의 차량 통행인 경우로 나타남
- 엘리베이터의 경우 적층식보다 인필식에 더 큰 영향을 미쳤고, 기계실이 있는 고층에서 더 큰 영향을 주는 것으로 나타남. 이는 엘리베이터가 인필식 구조체와 일체로 설치되어 있고 적층식과는 분리되어 있기 때문인 것으로 사료됨
- 비행기 운행이 진동값에 영향을 미치기는 하나, ISO기준으로 평가 시 고주파에 해당하여 인지한계기준보다 작은 값을 보임(사람이 불편하게 느끼지 않을 가능성이 큼)
- 전체적으로 천안 실증단지에서 측정된 모든 바닥진동 값은 **1SO2631의 기준 곡선 이하로 주거지역 기준을 만족**하는 것으로 평가됨

결 론 가양 실증단지 내진성능평가/천안 실증단지 바닥진동평가 분석

1. 가양 실증단지 내진성능평가

㉠ 예비평가 결과

- 비정형성 평가에서는 비틀림 비정형에 해당되고, 성능수준은 붕괴위험 수준으로 나타나 상세평가를 수행함.

㉡ 상세평가 결과

- 각 부재별 상세평가에 따른 결과는 RC 보 부재 LS 목표성능에 99.2% 만족하며, 기둥 부재는 LS 목표성능에 100% 만족하고, 벽체 부재는 LS 목표성능에 93.3% 만족함
- 철골 보, 기둥 부재는 LS 목표성능에 100% 만족함
- 층간 변위각에 따른 성능수준는 X, Y방향 모두 LS를 만족함
- 따라서 가양 실증단지의 내진성능평가결과, 일반적인 공동주택과 동등한 LS(Life Safety, 인명안전)수준을 만족하는 것으로 평가됨

2. 천안 실증단지 바닥진동성능평가

- 천안 실증단지의 바닥진동측정결과, 하층부보다 상층부에서 진동값이 크게 나타남
- 적층식이 인필식보다 진동에 더 불리하다고 생각할 수 있으나, 천안 실증단지의 경우 인필식이 북측 6m 도로와 동측 10m 도로와 가까이 있어 특히 10m 도로의 차량 통행의 영향을 적층식보다 더 많이 받는 것으로 평가됨
- 천안 실증단지의 가장 큰 진동원은 인접도로의 차량 통행인 경우로 나타남
- 엘리베이터의 경우 적층식보다 인필식에 더 큰 영향을 미쳤고, 기계실이 있는 고층에서 더 큰 영향을 주는 것으로 나타남. 이는 엘리베이터가 인필식 구조체와 일체로 설치되어 있고 적층식과는 분리되어 있기 때문인 것으로 사료됨
- 비행기 운행이 진동값에 영향을 미치기는 하나, ISO기준으로 평가 시 고주파에 해당하여 인지한계기준보다 작은 값을 보임(사람이 불편하게 느끼지 않을 가능성이 큼)
- 전체적으로 천안 실증단지에서 측정된 모든 바닥진동 값은 **1SO2631의 기준 곡선 이하로 주거지역 기준을 만족**하는 것으로 평가됨

3) 외장마감 일체형 패널 상용화 검토 및 시작품 제작(동양)

가) 일반사항

(1) 개요

- 본 장은 외장 마감 일체형 패널 개발 연구과제 수행내용으로, 과업 대상 목적물의 설계, 제작, 운송, 설치등의 진행과정을 연구하고자 함

- 적용범위 모듈러건축 외벽 시스템
- 사용목적 일체화 외벽 패널
- 유닛크기 기본형 [7.4m(L) X 3m(H)]
- 구축방식 건식패널 시스템
- 제작방식 패널 공장제작 → 현장 패널조합

---

(2) 주요내용

- 본 과제의 주요 목표는 모듈러 공법으로 제작되어지는 건축물의 시공방법에 있어, 기존 일반적인 방법에서의 개선을 통해, 제작기간 및 시공기간의 단축을 통한, 비용절감 효과에 목표하고 있음

- 모듈러 건축 공법은 공정의 대부분을 공장에서 완성하여 설치되어지는 목적지로 운송하여 현장에서 최종 조립, 완성되어지는 신개념의 건축공법임

- 공장에서 규격화된 형태로 대량생산 과정을 거쳐, 효율적 공정관리를 통한 인건비 절감 및 효율적인 자재관리가 가능하여 이를 통한 기간단축 및 비용절감이 가능해짐

- 여기에서 중요한 것은 모듈러 건축의 공장 제작률을 얼마나 높이느냐와 더불어 현장 설치율을 얼마나 줄이느냐가 중요함

- 특히, 여러 재작 공정 중 외장마감 부분은 여러 공정의 과정을 거쳐 완성되어짐

- 일반적으로 모듈러 건축의 외장 마감의 구성은 '외장벽체 하지틀' – 'OSB합판(CRC 보드)' – '방수지' – '외장마감 하지틀' – '단열재' – '외장마감재' 등으로 총 6단계의 공정을 거쳐 완성되어짐

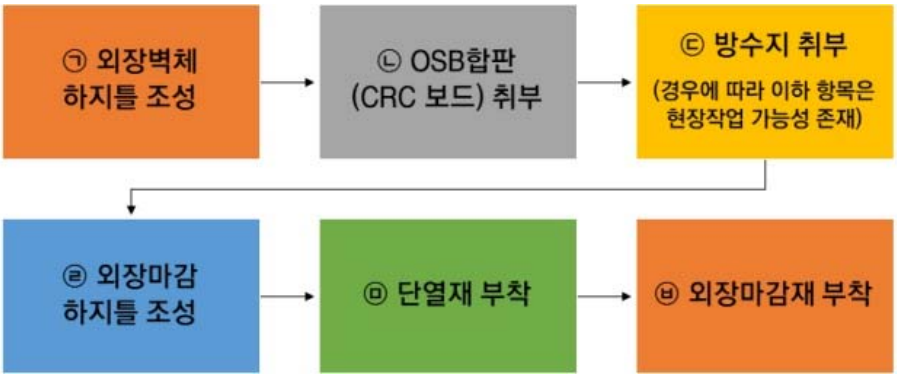
- 연구의 목적은 외장마감 구성에 있어, 성능은 유지하고, 공정을 단순화 시켜 공정단축 및 제작 단순화를 통해 기간 및 비용 절감을 달성하는 데 있음

나) 주요목표

(1) 주요 연구 목표

① 기존 외장 구성 공정

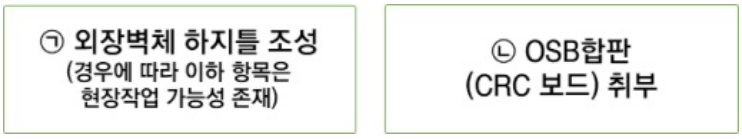
- 기존 외장 구성재의 경우 가양은 현장에서 외장재 공사가 진행되어 가설재 설치 등 공기지연을 발생시키는 주요원인으로 작용한 바 있음
- 그리고 외장재 공사도 다음과 같이 6개 이상의 공정이 소요되어 코스트 상승과 공기지연이 불가피하여 이를 집적화하는 기술이 필요함



[그림 2.2.53] 기존 외장 구성 공정 도식화

② 개선 외장 구성 공정

- 외장재의 집적화를 위하여 관련공정을 대폭 축소하여 하지철물없이 접착을 통하여 단열재와 외장마감을 일체화하여 외장패널로 제작한 제품을 적용



[그림 2.2.54] 개선 외장 구성 공정 도식화

(2) 세부 연구 목표

① 기존의 총 6단계의 공정을 최소 2~3단계 공정을 단순화 시키는 것.

② 일체화 과정에서의 문제점 파악 및 개선사항 제시

③ 하자 + 중지 시스템 적용

(3) 세부 방향 설정

① 외장 마감재의 다양화

- 외장 마감재 종류에 따른 각각의 디테일 및 시공상의 예측 가능한 문제점 부석 및 시공시 여러 외부 환경에 다른 돌발 변수를 체크하여 개선사항 제시

② 외장 마감재의 종류

- 일반적으로 모듈러 건축에서 사용되어지는 외장 마감재는 다음과 같음



[그림 2.2.55] 외장 마감재의 종류

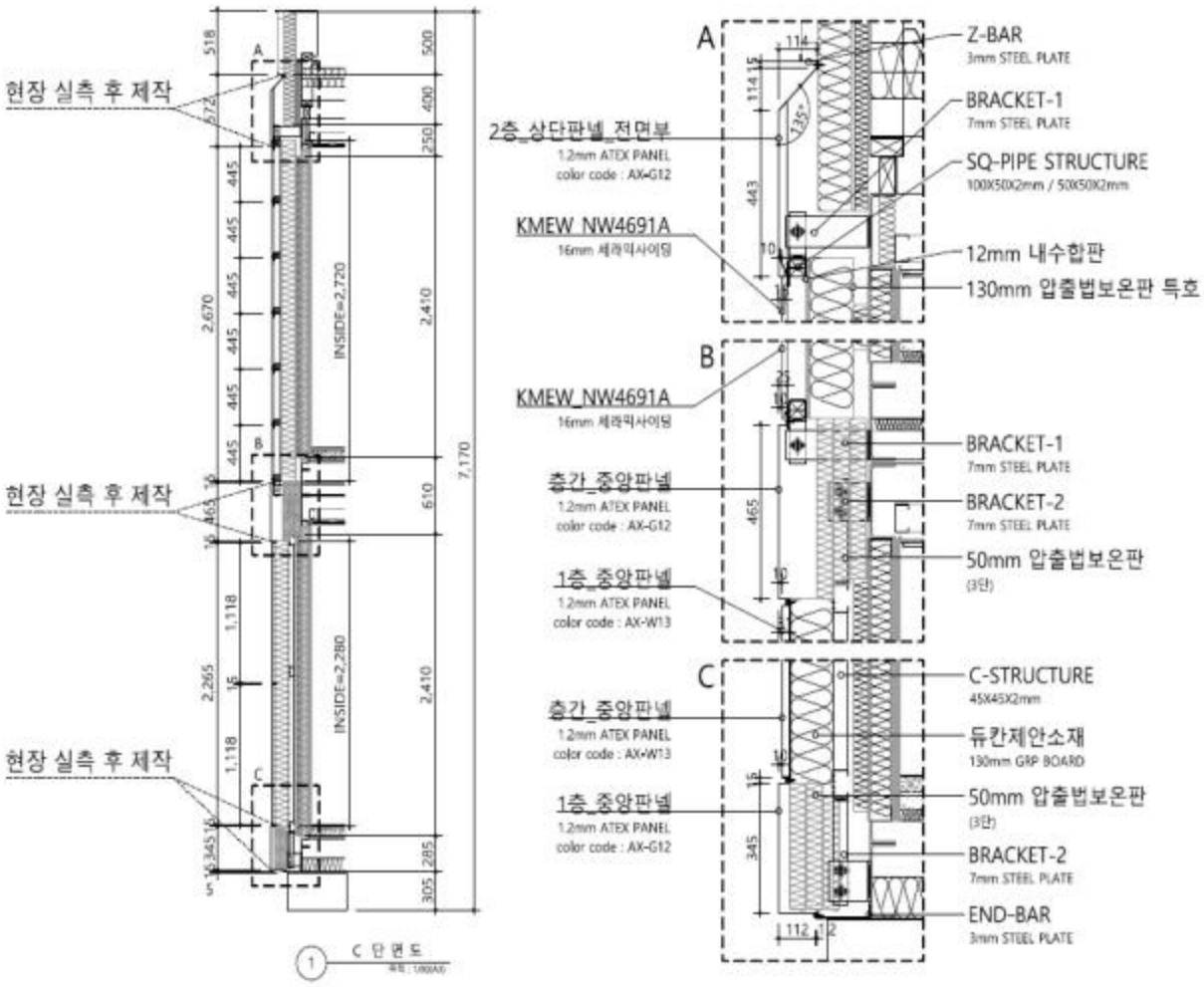
③ 외장 마감재의 선택

- 일반적으로 가정 많이 사용되고, 재료에 따는 다양한 설치 사례를 연구하기 위해 ㉠ 금속류 와 ㉡ 석재류에서 선택

(4) 제시된 설계

① 금속 마감재 설계안

- 이 설계의 목적은 모듈러 건축의 외벽체 구성의 일체화 구성을 위해 작성된 것임



[그림 2.2.56] 북측면 외벽 단면 상세도(이하 추후 번호 수정)

- 상기 제시된 설계 도면은 금강공업 진천공장에 있는 금강 모듈러 목업 북측면에 적용되는 것으로써, 설치되는 마감재의 용도에 따라 상부 외벽체 마감재에는 세라믹사이딩 타일을 적용하였고, 하부 외벽체 마감재에는 금속패널을 적용하였음

- 또한, 건축물의 단열성능을 위해 외단열 시스템을 적용하였음

다) 제작 및 설치과정

(1) 설치대상 현장사진



[그림 2.2.57] 설치대상 건축면



[그림 2.2.58] 설치대상 건축면 기존외장 철거

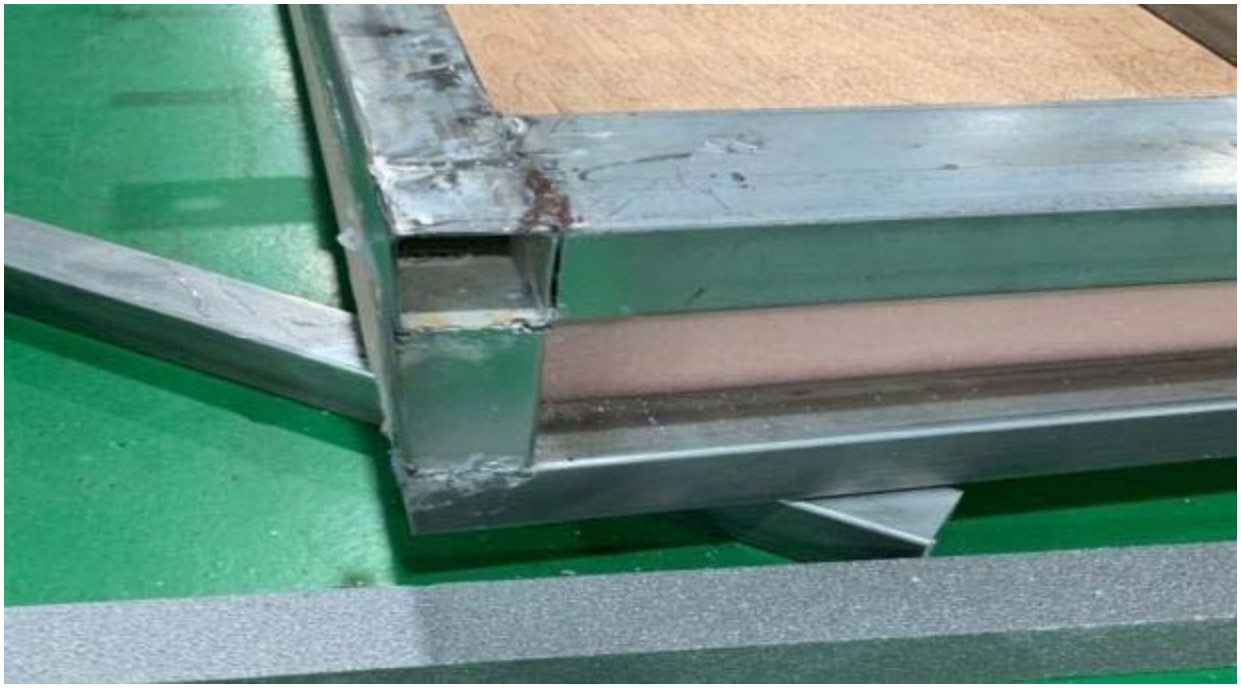


[그림 2.2.59] 설치대상 건축면 기존외장 철거 후

(2) 제작과정

① 북측 상부

- 외단열을 구성하기 위해 금속 프레임 구조틀(중지)안에 단열재를 삽입한 모양새를 띠고 있음



[그림 2.2.60] 금속 프레임 구조틀안에 단열재 삽입

- 세라믹 사이딩 타일 패널 취부 방법 – 클립을 사용하여 부착하게 되는 시공방법을 보여줌



[그림 2.2.61] 세라믹 사이딩 타일 패널 취부 방법

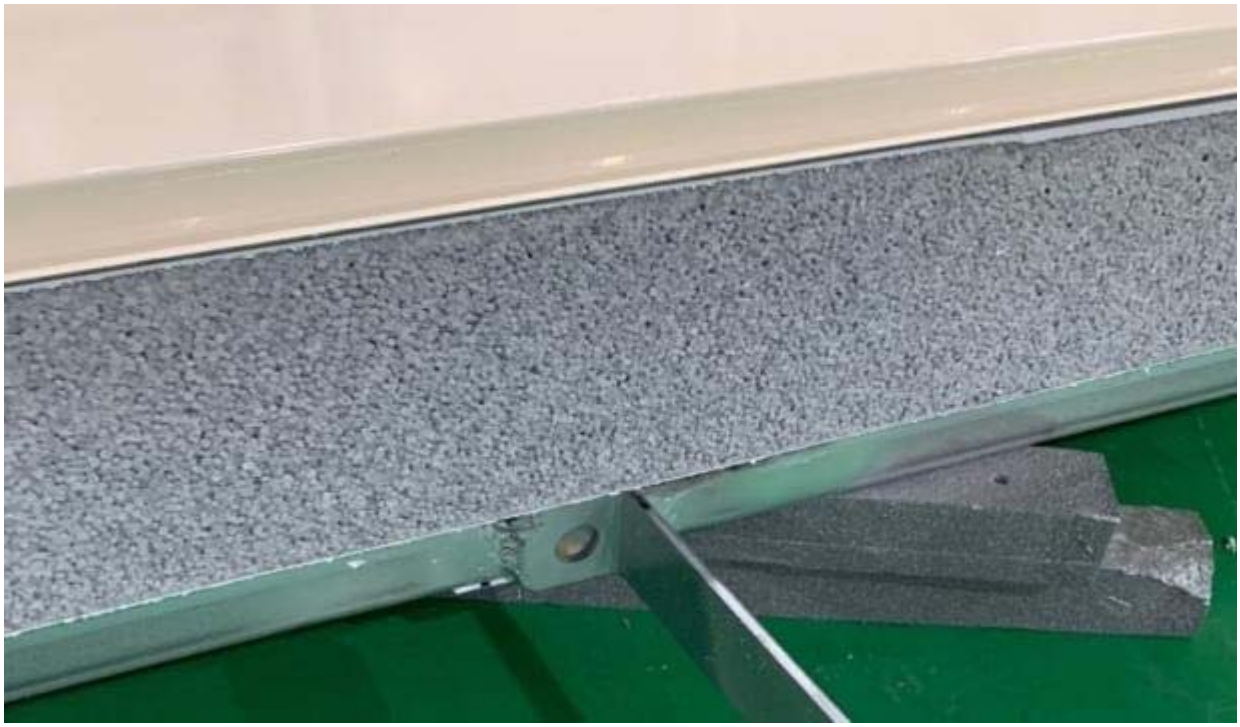
② 북측 하부

- 단열재 외부에 GRP-SKIN 과 스틸메쉬를 삽입, 압착한 후, 금속 패널 마감재를 피스 고정하여 부착함



[그림 2.2.62] 외부 GRP-SKIN과 스틸메쉬 삽입

- 마찬가지로 후면에는 GRP-SKIN 과 스틸메쉬(중지)를 삽입, 압착한 후 벽체 고정을 위한 금속 하지틀 고정함



[그림 2.2.63] 후면 GRP-SKIN 과 스틸메쉬(중지)를 삽입

(3) 설치과정

① 북측 상부-1

- 외벽체 패널을 설치하기 위해 크레인을 사용 양중하고 있음



[그림 2.2.64] 외벽체 패널 크레인 양중

- 양중 과정에서 클립 체결 부분에서 세라믹 사이딩 패널이 흔들림으로 이탈하는 모습



[그림 2.2.65] 세라믹 사이딩 패널의 이탈

② 북측 상부-2

- 외벽체 패널의 후면 부분 – 기밀을 위해 테이핑을 한 모습



[그림 2.2.66] 외벽체 패널 후면 부분

- 외벽체 패널을 설치하기 의해 크레인으로 양중하여 이동하는 모습 – 추가 이탈 우려됨



[그림 2.2.67] 외벽체 패널 크레인 양중 이동

③ 북측 상부-3

- 외벽체 패널을 설치할 벽체 하지틀에 고정하기 위해 위치를 잡는 모습



[그림 2.2.68] 하지틀 고정 위해 위치 교정

- 외벽체 패널을 설치, 고정하는 모습



[그림 2.2.69] 외벽체 패널 설치, 고정

④ 북측 하부-1

- 외벽체 패널을 설치할 벽체에 고정하기 위해 하지틀에 위치를 잡는 모습



[그림 2.2.70] 외벽체 패널 고정위해 하지틀 위치 잡는 모습

- 외벽체 패널을 설치, 고정하기 위해 기존 프레임 하지틀에 금속 철물을 용접하여 고정하는 모습



[그림 2.2.71] 기존 프레임 하지틀에 금속 철물 용접

⑤ 북측 하부-2

- 고정 철물 중지와 외벽체 패널 하지틀 철물이 연결된 모습



[그림 2.2.72] 고정 철물중지와 패널 하지틀이 연결된 모습

- 외벽체 패널에 외장 마감재가 피스로 고정 되어 있는 모습



[그림 2.2.73] 외장 마감재 피스 고정

(4) 최종 설치 모습

- 북측면 상부 최종 마감 사진



[그림 2.2.74] 북측면 상부 마감 사진

- 북측면 하부 최종 마감 사진



[그림 2.2.75] 북측면 하부 마감 사진

라) 설치제품 주요사양

① 북측면 상부(세라믹 사이딩)

❍ 북측면 상부에 설치되는 일체형 외벽체 제품의 주요 사양은 다음과 같음

[표 2.2.40] 외벽체 주요 사양

시험항목	시험방법
규격	7410 X 2410
중량	900 KG
제작 소요시간	금속하지틀 제작(4시간), 단열재 부착(4시간), 마감재 부착(4시간) – 총 14시간

- 벽체의 규격은 7410 x 2410 으로 다소 크기가 큰 형태이고, 운반시 적층하여 운반이 불가능하여, 5 ton 차량 한 대에 상기 일체형 패널 한 개를 운송하였음

- 일체형 패널을 운송수단에 적재하기 위해, 비교적 큰 규격과 더불어 중량으로 인해 인력으로 적재가 어려워 지게차 2대를 사용하여 적재하였음

- 일체형 패널 설치시, 현장 여건(공간 협소하여 중장비가 밀착, 양중이 어려움)과 더불어, 큰 크기와 더불어 다소 적지 않은 중량(약 1톤)으로 인하여 과도한 중장비 크레인이 동원됨

② 북측면 하부(금속 패널)

❍ 북측면 하부에 설치되는 일체형 외벽체 제품의 주요 사양은 다음과 같음

[표 2.2.41] 외벽체 주요 사양

시험항목	시험방법
규격	7410 X 2410
중량	400 KG
제작 소요시간	금속하지틀 제작(4시간), 마감재 부착(2시간) – 총 6시간

- 벽체의 규격은 7410 x 2410 으로 다소 크기가 큰 형태이고, 운반시 적층하여 운반이 불가능하여, 5 ton 차량 한 대에 상기 일체형 패널 한 개를 운송하였음

- 일체형 패널을 운송수단에 적재하기 위해, 비교적 큰 규격으로 인해 인력으로 적재가 어려워 지게차 2대를 사용하여 적재하였음

마) 시공성 분석

- 본 연구의 목적인 일체형 외벽체 패널의 제작, 시공을 관찰한 결과 다음과 같은 장점 및 단점을 파악할 수 있었음

[표 2.2.42] 일체형 외벽체 패널의 장단점

구 분	객원 연구원 의견
규격	- 기밀 및 단열성능을 고려하여 비교적 큰 규격인 7410 X 2310으로 제작하여, 기밀에 대한 문제는 줄어들 수 있었으나, 각각의 현장 여건에 따라 비교적 큰 규격으로 인한 설치시 작업 여건이 협소할 경우 여러 문제점이 발생 가능할 것으로 사료됨
중량	- 인력으로 운반 및 양중 할 수 있는 중량은 아니므로 작업시 호이스트 등으로 작업해야 함. 이로 인해 작업 시간이 증가할 것으로 사료됨
제작시간	- 북측면 상부 패널의 경우, 제작 기간이 1일 반나절, 북측면 하부 패널의 경우에는 약 6시간이 소요되었으나, 이 제작 시간은 진행할수록 점차 단축 가능할 것으로 보여짐 - 또한, 향후 규격화에 따른 일부 사전 제작이 이루어 질 경우 이 제작 시간은 더욱 단축 가능할 것임 - 현장 시공 경우에도, 일반적으로 외부비계를 설치하고 각각의 하지틀, 패널, 단열재, 마감재를 시공하는 경우보다 작업시간은 어떠한 경우라도 더욱 단축될 것은 분명해 보임
기타의견	- 북측면 상부 세라믹 사이딩 패널 부착 방법이 클립 고정이라는 점 때문에 운송 및 양중 시 외장 마감재의 추락 위험이 있음. 이에 따라 별도의 고정 방법(본드 결합 등)이 추가적으로 고려되어야 함 - 북측면 하부 금속 패널의 경우, 패널의 규격에 따른 금속패멀 플레이트의 두께가 상대적으로 얇아, 굴곡이 발생함. 이에 따라, 향후 패널의 규격을 수정 또는 패널 내부 보강 작업이 필요해 보임 - 하지 시스템 및 중지 시스템 체결시 용접작업 동반됨(수평조절이 힘듬). 현실적인 작업 환경에 적합한 개선된 체결 시스템 보완 및 개선이 필요함 - 중지 시스템을 좀 더 가볍게 개선할 필요가 있음 - 외벽체 패널의 규격을 줄여서 시공성을 향상 시키는 것을 고려해야 함(기밀성능 – 시공성 향상을 적절하게 고려할 필요 有)

결 론 외장마감 일체형 패널 상용화 검토 및 시작품 제작(동양)

- 본 보고서는 모듈러 건축에 있어, 여러 구성 요소들 중에 외벽체의 일체화를 통한, 시공성 향상 및 이에 따른 비용절감, 작업시간단축 등을 위한 연구임

- 기존의 모듈러 건축의 외벽체 구성인 OSB합판, 방수지, 마감중지틀, 단열재, 마감재 등의 5단계의 작업과정을 하나의 작업 과정으로 일체화 시키는 것이 목적임

- 기존의 공법의 각각의 구성재료의 단가는 그리 높지 않으나, 각각의 공정별로 작업이 이루어지게 되어 다소의 작업시간이 소요됨. 또한 각각 다른 공정별 작업자들로 구성되어, 작업간 여유시간도 발생될 뿐만 아니라. 규격화되지 않은 시스템으로 인하여 투입재료의 로스율도 상당할 수밖에 없음

- 하지만, 외벽체의 일체화를 통한 외벽체 구성이 가능하다면, 각각 다른 공정을 하나의 공정으로 통합하여, 작업시간도 효율적으로 관리가 가능할 뿐만 아니라, 소요되는 재료도 규격화가 가능하여, 구성재료의 로스율도 현격하게 줄어들 수 있을 것임

- 다만, 일체화를 구성하는 재료의 단가가 다소 높을 수 있으나, 이는 현재에서 중요한 관점은 아니라고 생각함. 그 이유는 모듈러 공법이 추구하는 목적이 공장 대량 생산을 통한 인건비 절감에 목적하기 때문임. 국내 건축 시장에서의 건축노무인력은 가파르게 그 수가 감소될 것이고, 이에 따라 건축 노무비 또한, 가파르게 오를 수밖에 없다는 것은 기정사실화 된 내용이기 때문임

- 대량생산 체계 및 규격화를 통한 생산 시스템이 이루어진다면 재료의 가격은 얼마든지 하락 가능하기 때문에 본 연구에서는 중요한 고려 대상은 아니라고 생각됨

- 본 연구에서 가장 중요한 목적은 일체화를 통한 성능유지 및 향상의 가능여부와 일체화를 통한 작업 효율화가 이루어지는 것인가가 가장 중요한 연구의 목적임

- 본 연구에서 체크되어진 각각의 마감재에 따른 작업 및 제작시간, 규격, 중량 등의 데이터와 이에 따른 건축구조물과의 체결방법이 가장 중요한 연구 결과물이라고 생각됨

- 본 연구에서 보여진 결과물들은 향후 개선과정을 거쳐 작업시간은 충분히 더 단축 가능하리라 판단되며, 시제품을 통해 확인된 체결방법의 문제는 좀 더 현장에 맞게 개선될 필요가 있어 보임

- 마지막으로 규격을 축소하는 것은 기밀성능과 작업성에 관한 것으로 이에 대한 것은 추후 논의가 필요해 보임

4) 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가(KCL)

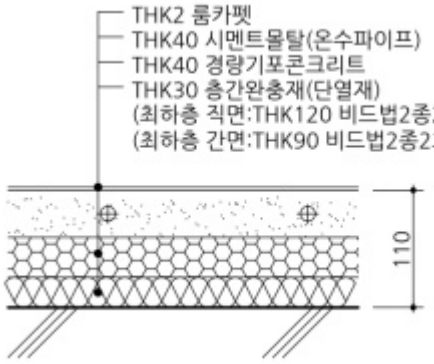
가) 천안두정 실증단지 주거환경 성능 확보를 위한 설계검토

(1) 주요 구성재 주거환경 성능 확보를 위한 설계 현황

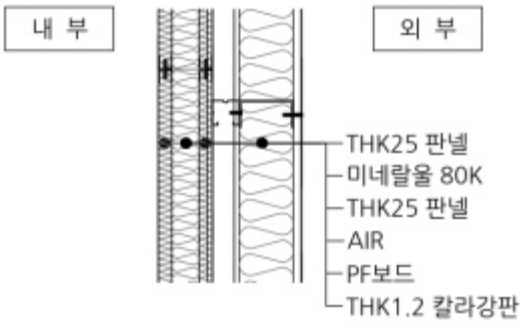
· 바닥 : 륨카펫 2 ㎜ + 마감모르타르 40 ㎜ + 경량기포콘크리트 40 ㎜ + EPS 완충재 30 ㎜ + 슬라브 150 ㎜

· 인필형 벽체 : 칼라강판 1.2 ㎜ + PF보드 110 ㎜ + 공기층 50 ㎜ + 판넬 25 ㎜ + 미네랄울 80 K 50 ㎜ + 판넬 25 ㎜

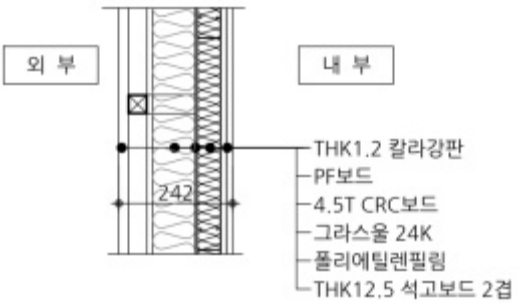
· 적층형 벽체 : 칼라강판 1.2 ㎜ + PF보드 90 ㎜ + CRC 보드 4.5 ㎜ + 글라스울 24 K 50 ㎜ + 폴리에틸렌필름 0.1 ㎜ + 석고보드 25 ㎜



<거실 바닥 단면도>



<인필식 벽체 단면도>



<적층식 벽체 단면도>

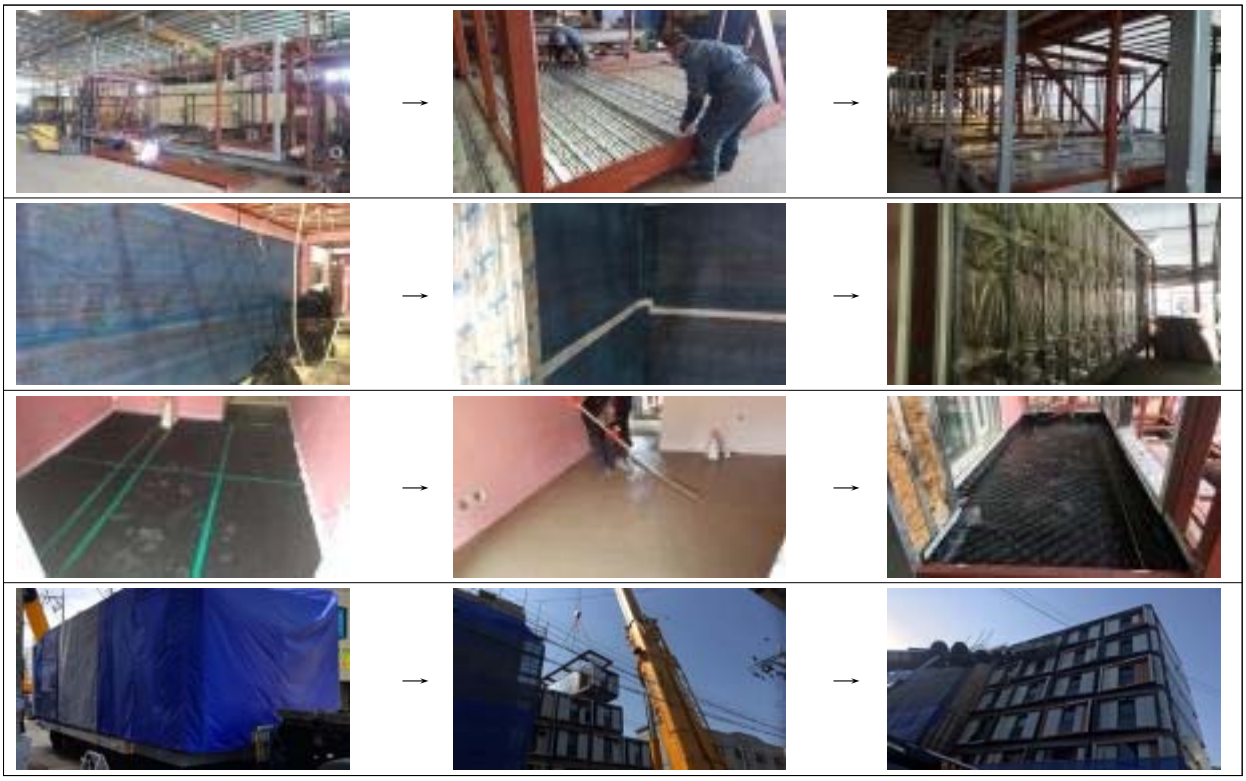
[그림 2.2.76] 주요 구성재 주거환경 성능 확보를 위한 설계 현황

나) 천안두정 실증단지 주거환경 성능 확보를 위한 제작 품질 확인

- 인필형 모듈러 주택 제작 모니터링



- 적층형 모듈러 주택 제작 모니터링



다) 천안두정 실증단지 음환경 성능 평가

(1) 바닥충격음

① 바닥충격음 시험 개요

❍ 가진점의 위치 및 개소 :

- 충격원의 설치위치는 KS F 2810-1 : 2015 및 KS F 2810-2 : 2012에 따라 중앙점을 포함하여 5개소로 하였으며, 실의 주변벽으로부터 0.5 m 의 거리를 이격하여 설치함

❍ 측정점 배치

- 마이크로폰의 위치는 KS F 2810-1 : 2015 및 KS F 2810-2 : 2012에 따라 중앙점을 포함하여 5개소로 하였으며 실의 주변 벽으로부터 0.5 m 떨어진 지점으로 바닥으로부터 1.2 m 높이에 설치함

❍ 배경소음

- 배경소음을 측정하는 목적은 외부의 잡음이나 수음실 내의 전기적 잡음이 수음실의 충격음 레벨측정에 영향을 미치는지 파악하려는 것임. 충격원에 의해 발생된 공기전달음이 수음실로 전달되어 바닥 충격음 레벨에 영향을 주지 않도록 유의해야 함. 충격원을 작동할 때와 정지할 때의 음압 레벨 차이가 6 dB이상인 경우에는 배경소음의 영향을 배제한 음압레벨을 관련 수식에 의해 구함

❍ 표준 경량 충격원에 의한 역 A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨 측정 및 평가방법

- KS F 2810-1 : 2015에 의해 측정된 옥타브 밴드 측정 결과를 규정된 기준값과 비교하여 평가함. 평가방법은 KS F 2863-1 : 2017에 의해 중심 주파수 (125 ~ 2 000) Hz의 옥타브 대역 측정결과를 연결한 곡선에 대해서 기준곡선을 상하 1 dB 간격으로 상하 이동시켜, 5개의 옥타브 밴드에 있어서 측정값이 기준 곡선을 상회하는 값의 총합이 10.0 dB 을 상회하지 않는 범위에서 가능한 한 기준곡선이 낮게 위치하는 곳까지 이동시킴. 이상의 수순으로 이동한 기준곡선의 500 Hz 대역에 있어서의 값(dB)을 역A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨이라 함

❍ 표준 중량 충격원에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨 측정 및 평가방법

- KS F 2810-2 : 2012에 의해 측정된 옥타브 밴드 측정 결과를 규정된 기준값과 비교하여 평가함. 평가방법은 KS F 2863-2 : 2017에 의해 중심 주파수 (63 ~ 500) Hz의 옥타브 대역 측정결과를 연결한 곡선에 대해서 기준곡선을 상하 1 dB 간격으로 상하 이동시켜, 4개의 옥타브 밴드에 있어서 측정값이 기준 곡선을 상회하는 값의 총합이 8.0 dB 을 상회하지 않는 범위에서 가능한 한 기준곡선이 낮게 위치하는 곳까지 이동시킴. 이상의 수순으로 이동한 기준곡선의 500 Hz 대역에 있어서의 값(dB)을 역A특성 가중 바닥 충격음 레벨이라 함

❍ 바닥충격음 차단성능의 등급기준

[표 2.2.43] 경량충격음

등급	역A특성 가중 규준화 바닥충격음레벨 (단위: dB)
1급	$L'_{n,AW} \leq 43$
2급	$43 < L'_{n,AW} \leq 48$
3급	$48 < L'_{n,AW} \leq 53$
4급	$53 < L'_{n,AW} \leq 58$

[표 2.2.44] 중량충격음

등급	역A특성 가중 바닥충격음레벨 (단위: dB)
1급	$L'_{i,Fmax,AW} \leq 40$
2급	$40 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 43$
3급	$43 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 47$
4급	$47 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 50$

② 바닥충격음 및 세대간 경계벽 음환경 측정 위치

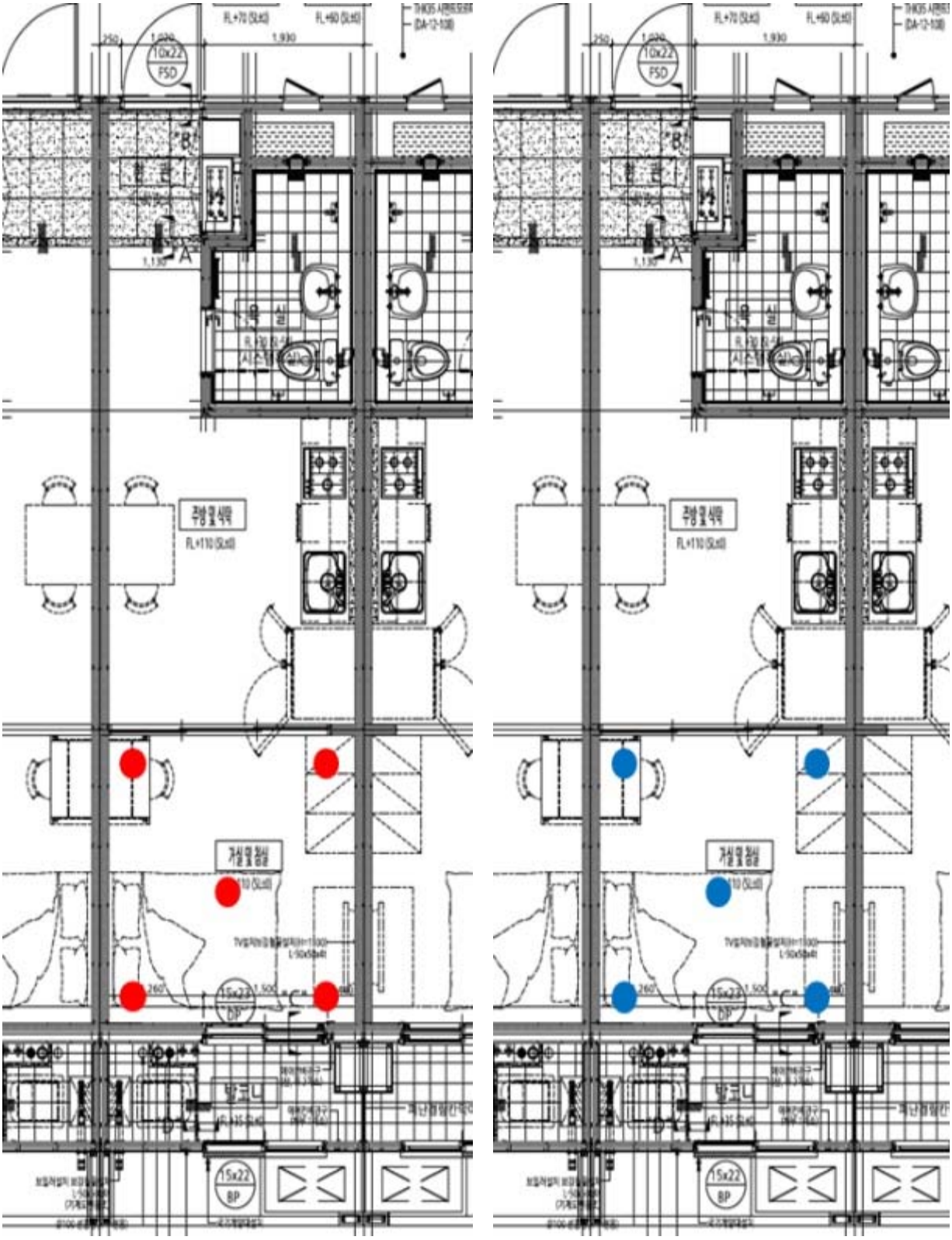
- 인필식 :
  바닥충격음 : 501호, 301호, 303호
  세대간 경계벽 : 202호-203호

- 적층식 :
  바닥충격음 : 608호, 408호, 406호
  세대간 경계벽 : 305호-306호



[그림 2.2.77] 바닥충격음 및 세대간 경계벽 음환경 측정 위치

㉠ 인필형 타입 측정세대 바닥구성 및 측정 위치



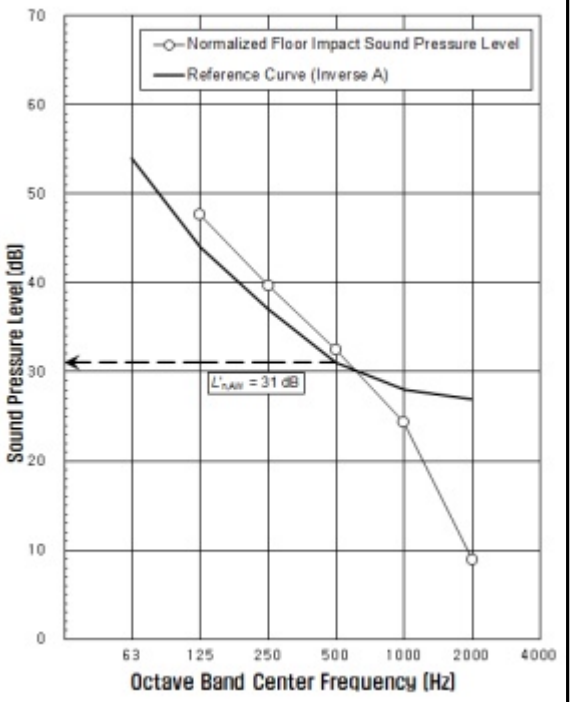
음원실 가진점　　수음실 수음점

[그림 2.2.78] 인필형 타입 측정세대 바닥구성 및 측정 위치

❍ 인필형 타입 501호 바닥충격음 성능

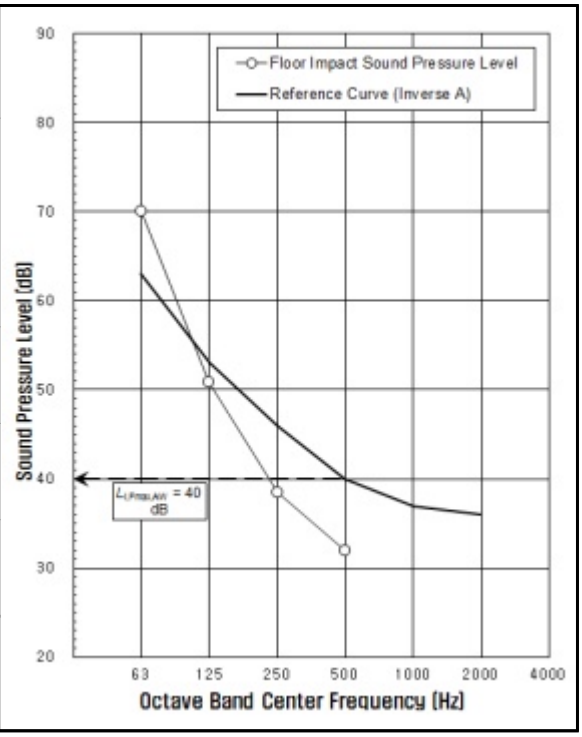
[표 2.2.45] 501호 경량충격음 측정값

표준 경량 충격원(태핑머신)에 의한 역 A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨(L'n,AW)				
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	규준화 바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
125	51.2	47.6	44	3.6
250	44.2	39.6	37	2.6
500	38.5	32.4	31	1.4
1 000	30.6	24.3	28	–
2 000	14.7	8.9	27	–
규준곡선 상회값의 합계 7.6 dB (≤10.0 dB) L'n,AW = 31 dB				



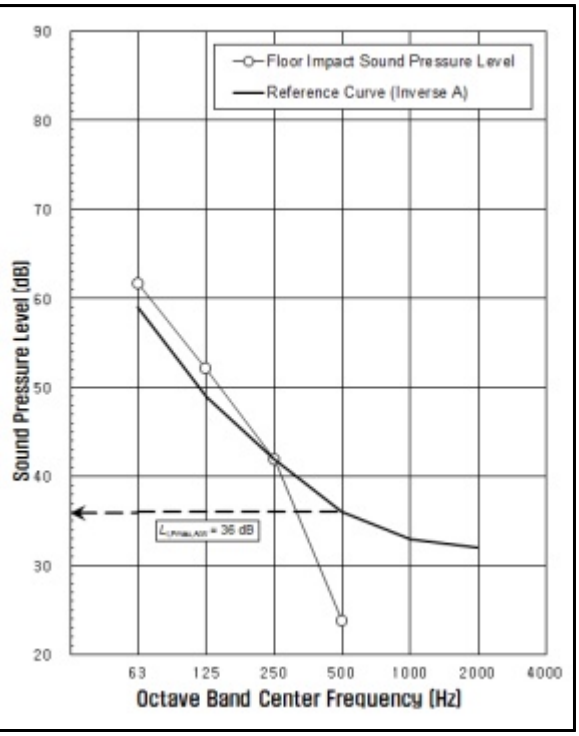
[표 2.2.46] 501호 중량충격음(뱅머신) 측정값

표준 중량 충격원(뱅머신)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	70.1	63	7.1
125	50.8	53	–
250	38.5	46	–
500	32.0	40	–
규준곡선 상회값의 합계 7.1 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 40 dB			



[표 2.2.47] 501호 중량충격음(고무공) 측정값

표준 중량 충격원(고무공)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	61.6	59	2.6
125	52.2	49	3.2
250	41.9	42	–
500	23.7	36	–
규준곡선 상회값의 합계 5.8 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 36 dB			





음원실(Tapping Machine)



음원실(Bang machine)



음원실(Rubber ball)

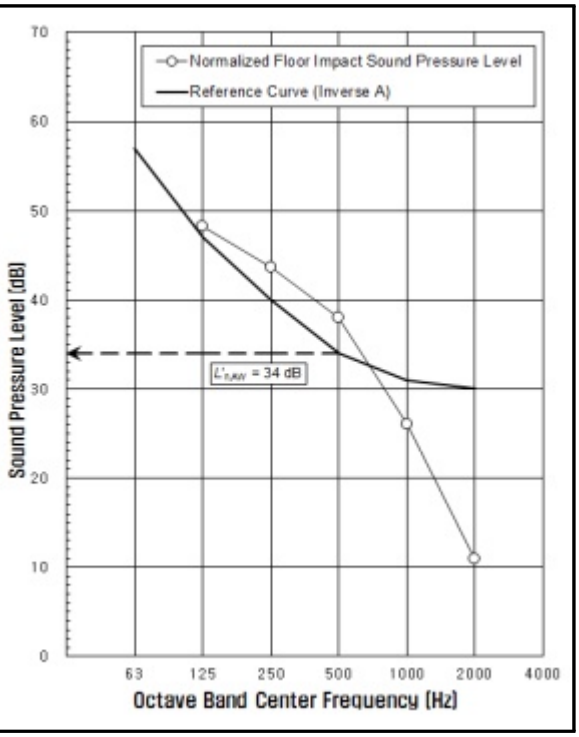


수음실

❍ 인필형 타입 301호 바닥충격음 성능

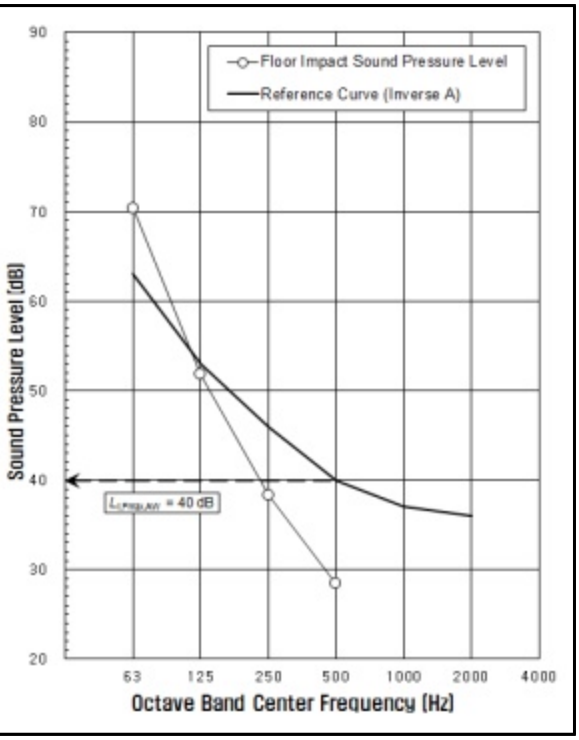
[표 2.2.48] 301호 경량충격음 측정값

표준 경량 충격원(태핑머신)에 의한 역 A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨(L'n,AW)				
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	규준화 바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
125	51.8	48.3	47	1.3
250	48.3	43.7	40	3.7
500	44.0	38.0	34	4.0
1 000	32.0	26.0	31	–
2 000	16.5	10.9	30	–
규준곡선 상회값의 합계 9.0 dB (≤10.0 dB) L'n,AW = 34 dB				



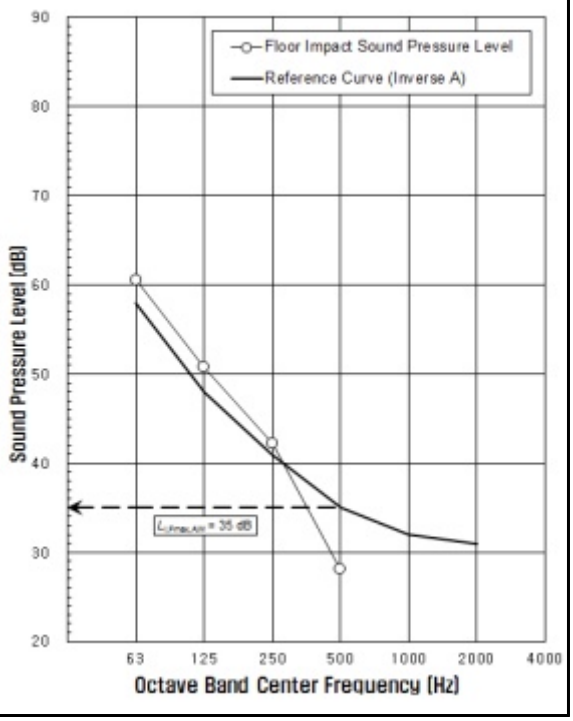
[표 2.2.49] 301호 중량충격음(뱅머신) 측정값

표준 중량 충격원(뱅머신)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	70.3	63	7.3
125	51.9	53	–
250	38.3	46	–
500	28.4	40	–
규준곡선 상회값의 합계 7.3 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 40 dB			



[표 2.2.50] 301호 중량충격음(고무공) 측정값

표준 중량 충격원(고무공)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	60.5	58	2.5
125	50.7	48	2.7
250	42.2	41	1.2
500	28.1	35	–
규준곡선 상회값의 합계 6.4 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 35 dB			




음원실(Tapping Machine)


음원실(Bang machine)

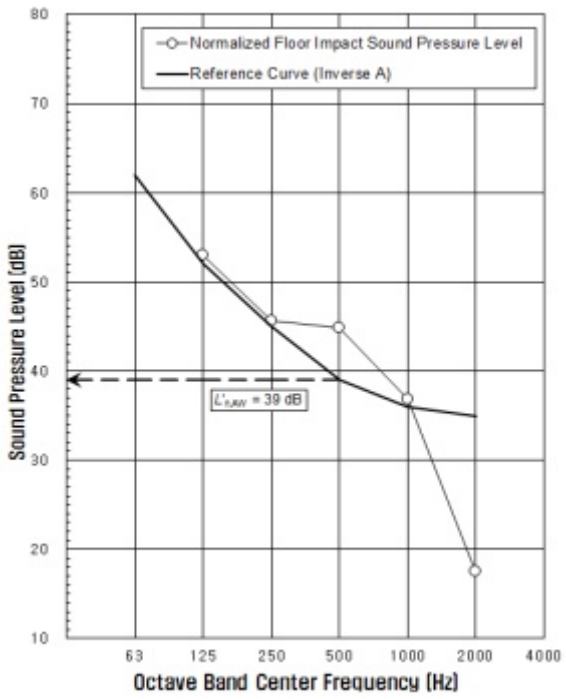

음원실(Rubber ball)


수음실

❍ 인필형 타입 303호 바닥충격음 성능

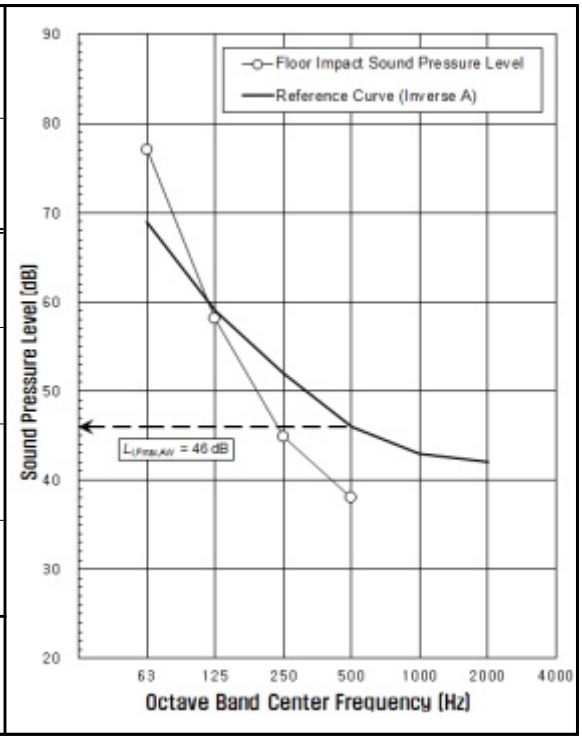
[표 2.2.51] 303호 경량충격음 측정값

표준 경량 충격원(태핑머신)에 의한 역 A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨(L'n,AW)				
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	규준화 바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
125	56.3	53.0	52	1.0
250	50.5	45.7	45	0.7
500	49.4	44.9	39	5.9
1 000	40.8	36.9	36	0.9
2 000	20.9	17.5	35	–
규준곡선 상회값의 합계 8.5 dB (≤10.0 dB) L'n,AW = 39 dB				



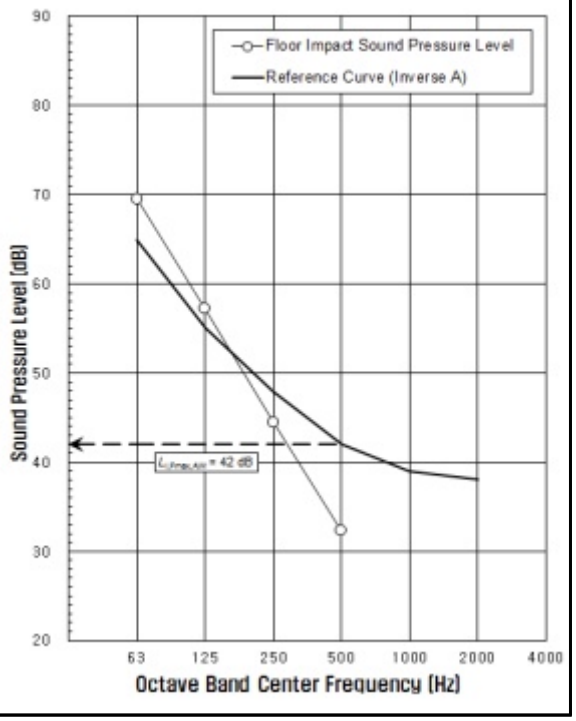
[표 2.2.52] 303호 중량충격음(뱅머신) 측정값

표준 중량 충격원(뱅머신)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	77.0	69	8.0
125	58.2	59	–
250	44.9	52	–
500	38.1	46	–
규준곡선 상회값의 합계 8.0 dB (≤8.0 dB) $L_{i,Fmax,AW}$ = 46 dB			



[표 2.2.53] 303호 중량충격음(고무공) 측정값

표준 중량 충격원(고무공)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	69.5	65	4.5
125	57.2	55	2.2
250	44.5	48	-
500	32.3	42	-
규준곡선 상회값의 합계 6.7 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 42 dB			



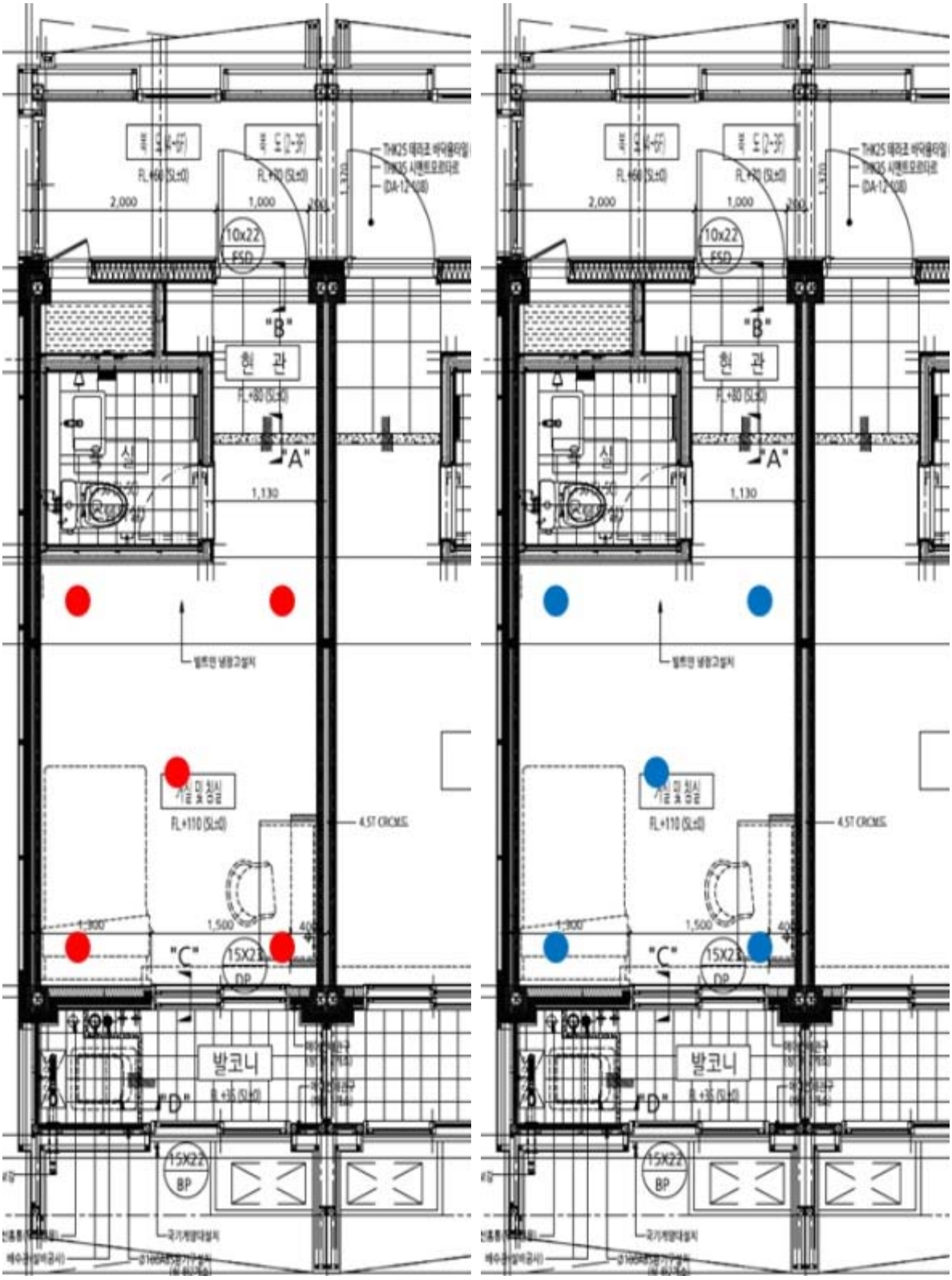

음원실(Tapping Machine)


음원실(Bang machine)


음원실(Rubber ball)


수음실

㉡ 적층형 타입 측정세대 바닥구성 및 측정 위치



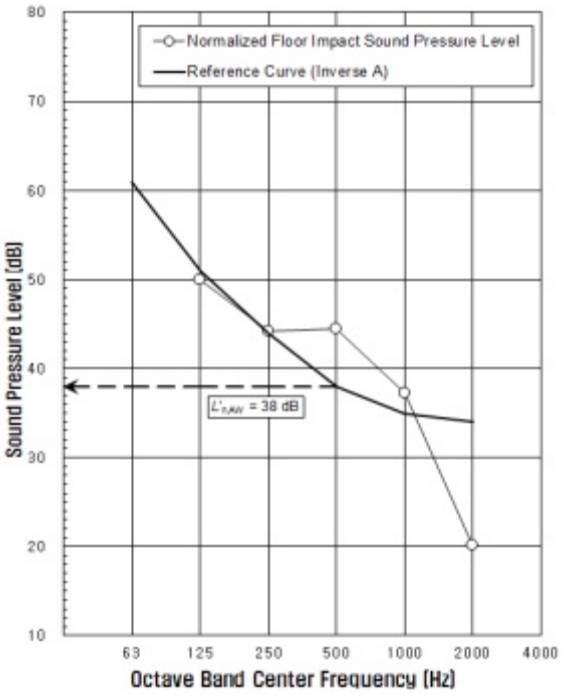
음원실 가진점 수음실 수음점

[그림 2.2.79] 적층형 타입 측정세대 바닥구성 및 측정 위치

❍ 적층형 타입 608호 바닥충격음 성능

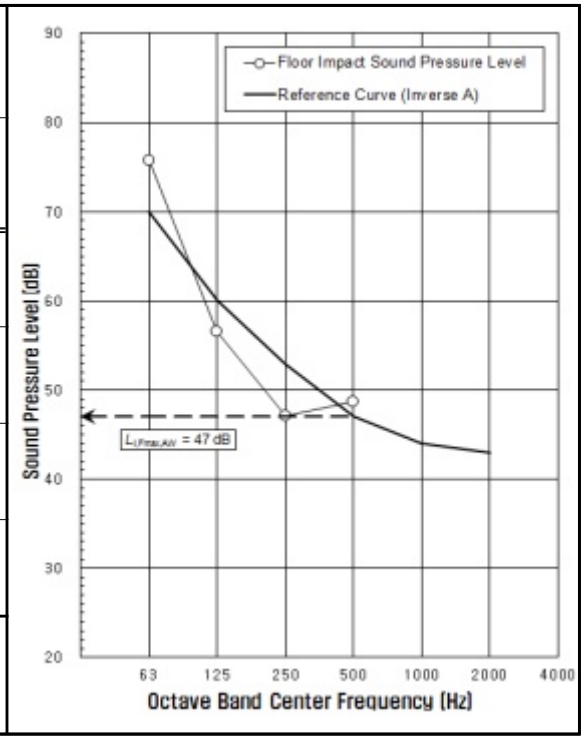
[표 2.2.54] 608호 경량충격음 측정값

표준 경량 충격원(태핑머신)에 의한 역 A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨(L'n,AW)				
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	규준화 바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
125	53.1	50.0	51	–
250	48.8	44.2	44	0.2
500	48.9	44.4	38	6.4
1 000	41.2	37.3	35	2.3
2 000	23.6	20.2	34	–
규준곡선 상회값의 합계 8.9 dB (≤10.0 dB) L'n,AW = 38 dB				



[표 2.2.55] 608호 중량충격음(뱅머신) 측정값

표준 중량 충격원(뱅머신)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	75.7	70	5.7
125	56.6	60	–
250	47.1	53	–
500	48.7	47	1.7
규준곡선 상회값의 합계 7.4 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 47 dB			

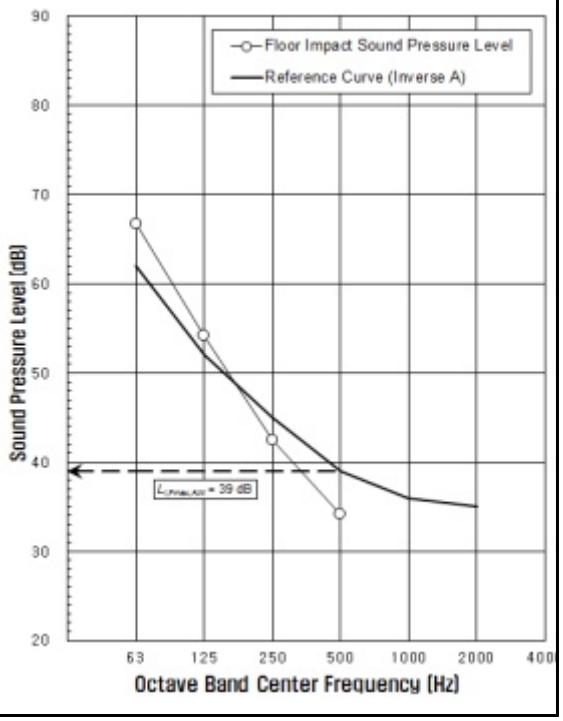


[표 2.2.56] 608호 중량충격음(고무공) 측정값

표준 중량 충격원(고무공)에 의한
역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)

주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	66.8	62	4.8
125	54.3	52	2.3
250	42.5	45	-
500	34.2	39	-

규준곡선 상회값의 합계 7.1 dB (≤8.0 dB)
Li,Fmax,AW = 39 dB





음원실(Tapping Machine)



음원실(Bang machine)



음원실(Rubber ball)

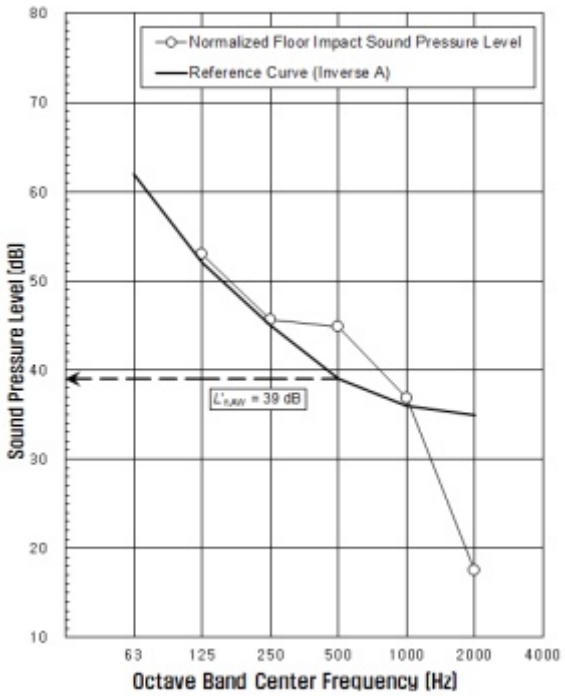


수음실

❍ 적층형 타입 408호 바닥충격음 성능

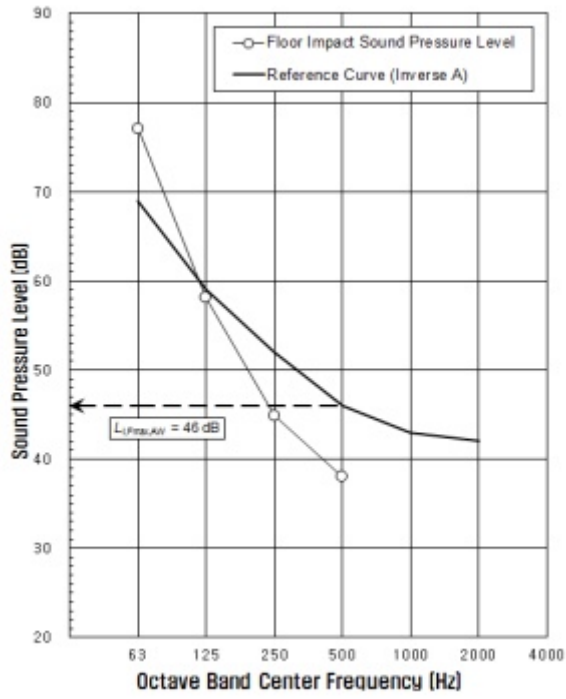
[표 2.2.57] 408호 경량충격음 측정값

표준 경량 충격원(태핑머신)에 의한 역 A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨(L'n,AW)				
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	규준화 바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
125	56.3	53.0	52	1.0
250	50.5	45.7	45	0.7
500	49.4	44.9	39	5.9
1 000	40.8	36.9	36	0.9
2 000	20.9	17.5	35	–
규준곡선 상회값의 합계 8.5 dB (≤10.0 dB) L'n,AW = 39 dB				



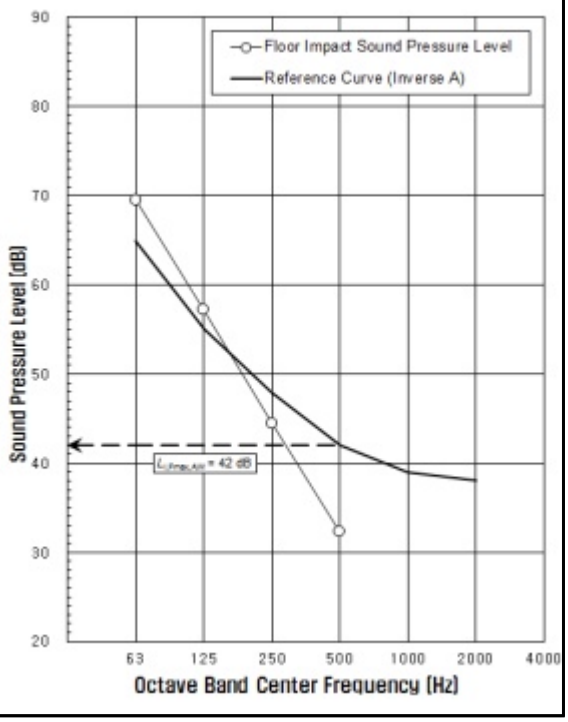
[표 2.2.58] 408호 중량충격음(뱅머신) 측정값

표준 중량 충격원(뱅머신)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	77.0	69	8.0
125	58.2	59	–
250	44.9	52	–
500	38.1	46	–
규준곡선 상회값의 합계 8.0 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 46 dB			



[표 2.2.59] 408호 중량충격음(고무공) 측정값

표준 중량 충격원(고무공)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	69.5	65	4.5
125	57.2	55	2.2
250	44.5	48	-
500	32.3	42	-
규준곡선 상회값의 합계 6.7 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 42 dB			




음원실(Tapping Machine)


음원실(Bang machine)

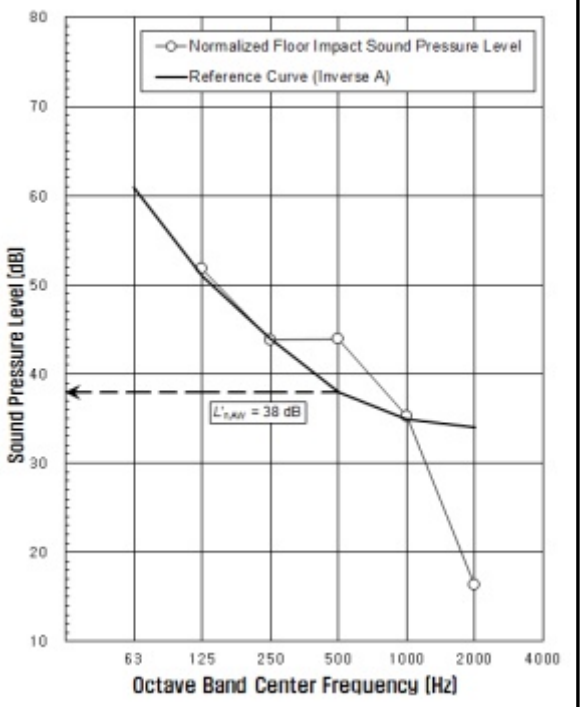

음원실(Rubber ball)


수음실

❍ 적층형 타입 406호 바닥충격음 성능

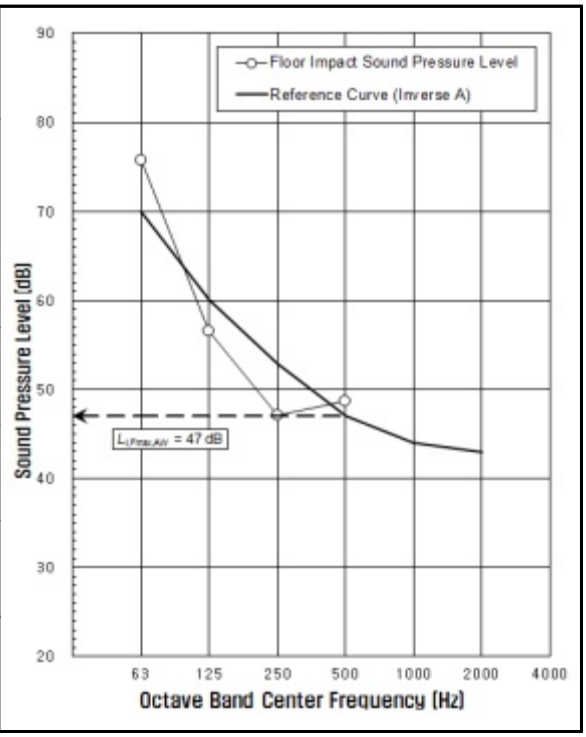
[표 2.2.60] 406호 경량충격음 측정값

표준 경량 충격원(태핑머신)에 의한 역 A특성 가중 규준화 바닥 충격음 레벨(L'n,AW)				
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	규준화 바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
125	55.0	51.8	51	0.8
250	48.9	43.8	44	–
500	48.5	44.0	38	6.0
1 000	39.3	35.3	35	0.3
2 000	19.7	16.3	34	–
규준곡선 상회값의 합계 7.1 dB (≤10.0 dB) L'n,AW = 38 dB				



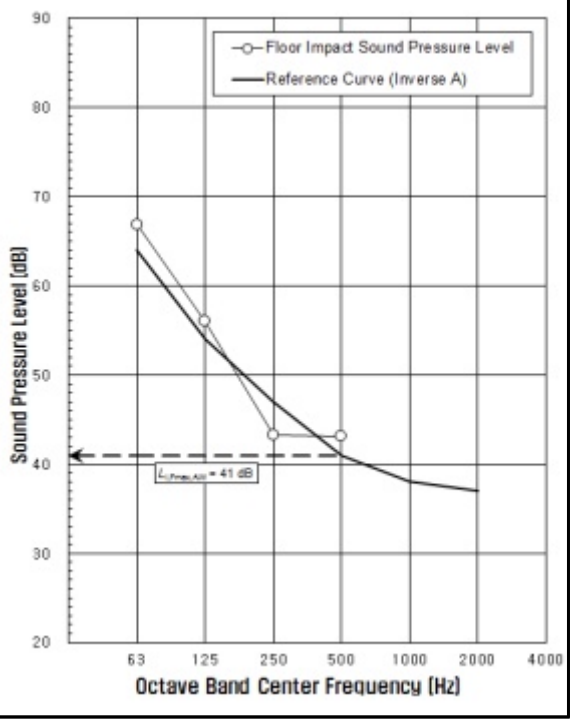
[표 2.2.61] 406호 중량충격음(뱅머신) 측정값

표준 중량 충격원(뱅머신)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	75.4	73	2.4
125	58.6	63	–
250	48.1	56	–
500	55.5	50	5.5
규준곡선 상회값의 합계 7.9 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 50 dB			



[표 2.2.62] 406호 중량충격음(고무공) 측정값

표준 중량 충격원(고무공)에 의한 역 A특성 가중 바닥 충격음 레벨(Li,Fmax,AW)			
주파수 (Hz)	바닥충격음 레벨 (dB)	이동된 역A특성 규준곡선 (dB)	규준곡선 상회값 (dB)
63	66.9	64	2.9
125	56.1	54	2.1
250	43.3	47	-
500	43.2	41	2.2
규준곡선 상회값의 합계 7.2 dB (≤8.0 dB) Li,Fmax,AW = 41 dB			




음원실(Tapping Machine)


음원실(Bang machine)


음원실(Rubber ball)


수음실

③ 세대간 경계벽

㉠ 세대간경계벽 차음 시험 개요

- KS F 2809:2011 (공기 전달음 차단 성능 현장 측정 방법)의 시험방법에 따라 겉보기음향감쇠계수를 측정하였으며, 측정 주파수 대역은 1/3 옥타브밴드 중심 주파수로 (100 ~ 5 000) Hz 임. 가중음향감쇠계수는 KS F 2862:2017 (건물 및 건물부재의 공기전달음 차단성능 평가방법)에 따라 평가하였음

❍ 실내 평균음압레벨 측정

- 각 실에 무지향성 마이크로폰을 마이크로폰 간 0.7 m, 음원으로부터 1.0 m, 실의 경계 및 확산체로부터 0.7 m 이상 떨어진 5개의 위치에 고정하여 측정된 음압 레벨의 에너지 평균값(L)을 산출

$$L = 10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{L_i/10}\right) \qquad \text{(식 2.2.1)}$$

여기에서

L_i : i번째 고정 측정점에서 음압 레벨의 측정값 (dB)

n : 고정 측정점 수

❍ 수음실 등가 흡음력 측정

- 수음실 내 1점에 음원 스피커를 설치하고 3점 이상의 균등한 측정점에서 음원단속법으로 잔향시간을 측정하여 등가 흡음력 산출

$$A = \frac{0.16\,V}{T} \qquad \text{(식 2.2.2)}$$

여기에서

A : 등가 흡음력 (㎡), V : 수음실의 체적 (㎥), T : 수음실의 잔향 시간 (s)

❍ 겉보기 음향감쇠계수의 산출

- 음원실과 수음실의 평균음압레벨차를 구하고 수음실의 흡음력을 보정하여 음향감쇠계수($R'_{45°}$) 산출

$$R'_{45°} = L_1 - L_2 + 10\log\left(\frac{S}{A}\right) \qquad \text{(식 2.2.3)}$$

여기에서

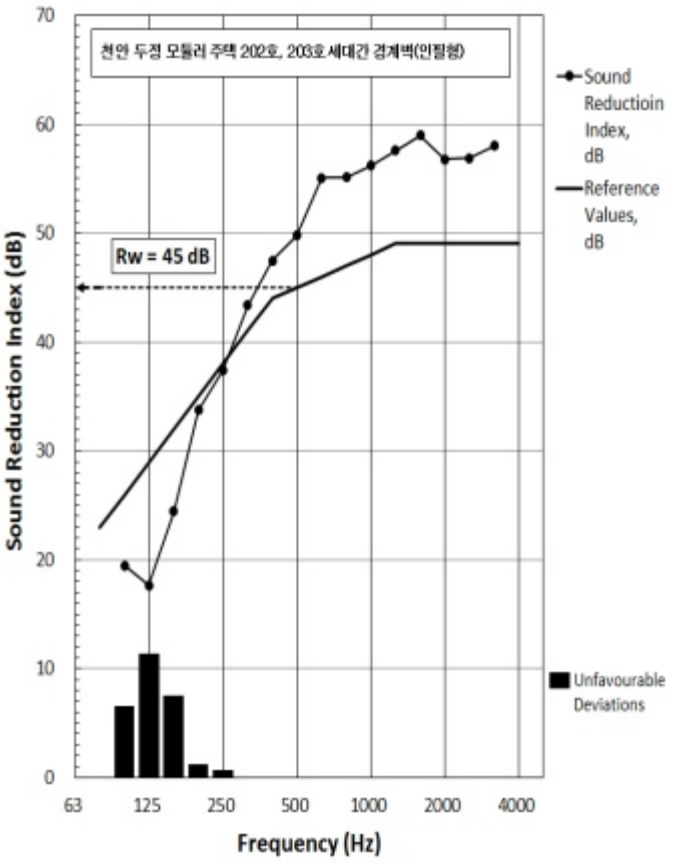
L_1 : 음원실에서의 평균 음압레벨 (dB), L_2 : 수음실에서의 평균 음압레벨 (dB)

S : 시료의 면적 (㎡), A : 수음실의 음향 파워 흡음력 (㎡)

㉡ 인필형 세대간경계벽 차음성능 결과

[표 2.2.63] 202호, 203호 세대간 경계벽 차음성능 측정값

주파수 (Hz)	음향감쇠계수 (dB)
100	19.5
125	17.6
160	24.4
200	33.7
250	37.3
315	43.3
400	47.5
500	49.8
630	55.1
800	55.1
1 000	56.2
1 250	57.6
1 600	58.9
2 000	56.8
2 500	56.9
3 150	58.0
4 000	54.4
5 000	53.8
Rw(C;Ctr)	45(−4;−11)



※ Rw는 가중음향감쇠계수, C;Ctr은 스펙트럼조정항임.



음원실

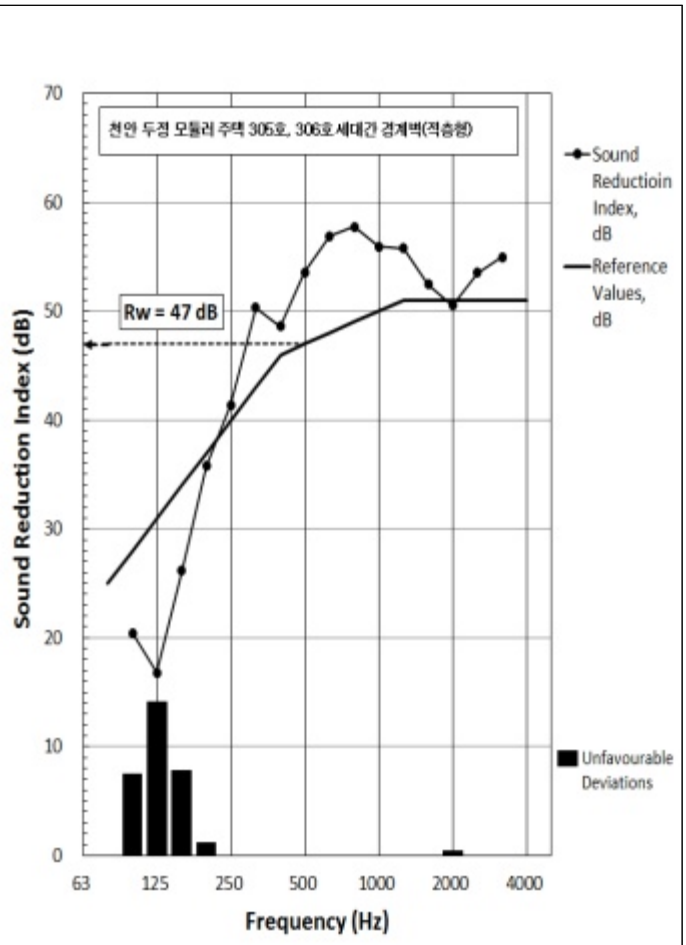


수음실

㉡ 적층형 세대간경계벽 차음성능 결과

[표 2.2.64] 305호, 306호 세대간 경계벽 차음성능 측정값

주파수 (Hz)	음향감쇠계수 (dB)
100	20.5
125	16.8
160	26.2
200	35.8
250	41.4
315	50.3
400	48.6
500	53.6
630	56.9
800	57.7
1 000	55.9
1 250	55.7
1 600	52.5
2 000	50.5
2 500	53.5
3 150	54.9
4 000	49.4
5 000	48.4
Rw(C;Ctr)	47(−6;−12)



※ Rw는 가중음향감쇠계수, C;Ctr은 스펙트럼조정항임.



음원실



수음실

④ 화장실 소음 평가

㉠ 화장실 소음 시험 개요

- 화장실에서 변기 및 세면대의 배수 소음을 KS F 2871:2016에 따라서 직하세대 화장실 중앙 높이 1.2 m 지점에서 수세식 변기 및 세면대 배수가 진행되는 시간동안의 등가 A가중 음압 레벨 및 최대 A가중 음압 레벨을 Fast 동특성으로 3회 반복하여 측정하였음

❍ 배경 소음 및 배수음의 측정

- 수세식 변기의 배수음 측정을 위해 물탱크의 물을 완전히 채운 뒤 급수전을 잠근 후, 물탱크의 물을 배수하면서 측정을 시작하였고, 물이 완전히 배수되었을 때 측정을 종료함. 배수음은 A가중 음압 레벨(L_{pA})을 Fast 동특성으로 측정하였으며, 등가 A가중 음압 레벨($L_{Aeq,T}$)은 다음 식을 이용하여 산출함

$$L_{Aeq,T} = 10\log\left[\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2}\frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt\right] \qquad \text{(식 2.2.4)}$$

여기에서 p_0는 기준 음압(20 μPa), T는 t_1에서 t_2까지의 시간 (s)

❍ 배경 소음의 보정

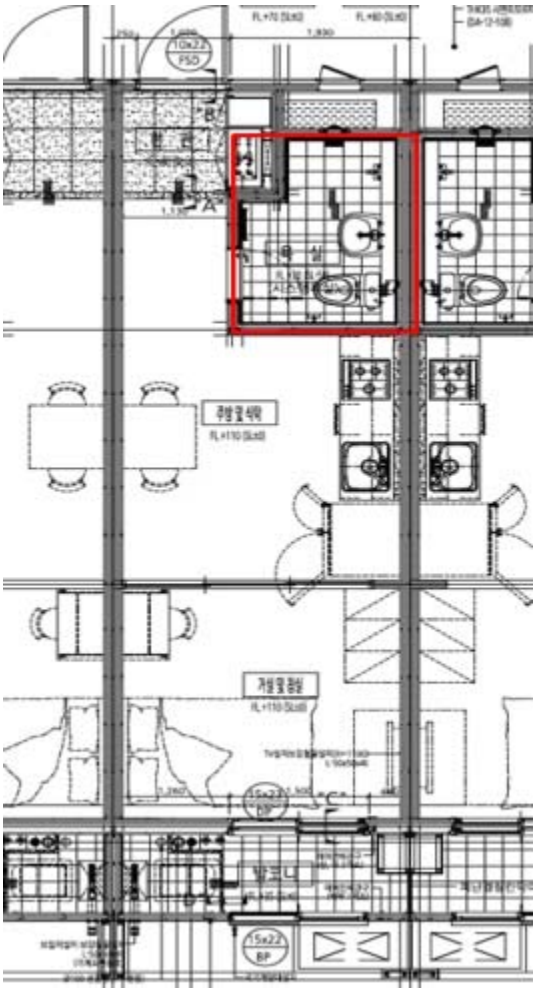
- 배경 소음이 포함된 측정 대상음의 소음 레벨(L_{sb})과 배경 소음 레벨(L_b)과의 차이가 3 dB 이상인 경우, 다음 식과 같이 보정하여 보정된 소음 레벨(L_B)을 산출하며, 배경 소음과의 차이가 3 dB 미만인 경우에는 보정 없이 참고값으로만 기재함

$$L_B = 10\log_{10}(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}}) \qquad \text{(식 2.2.5)}$$

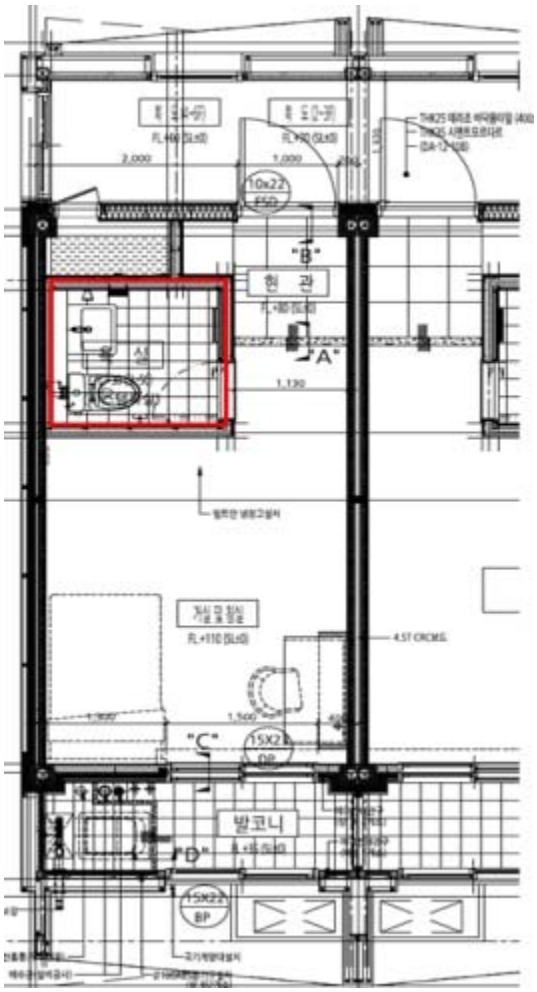
㉡ 화장실 배수 소음 시험결과

[표 2.2.65] 화장실 배수 소음 시험결과

시험체명	등가 A가중 음압 레벨 (dB(A))	최대 A가중 음압 레벨 (dB(A))
인필형 변기 소음	34.8	52.1
인필형 세면대 소음	36.8	44.7
인필형 환기팬 소음	50.6	52.5
적층형 변기 소음	39.5	45.1
적층형 세면대 소음	43.8	57.8
적층형 환기팬 소음	49.4	55.1
배경 소음 레벨	25.7	



인필형 화장실 도면



적층형 화장실 도면



인필형 화장실 시험사진



적층형 화장실 시험사진

[그림 2.2.80] 인필형, 적층형 화장실 도면 및 화장실 시험사진

⑤ 공동주택 실·내외 소음도 시험

㉠ 실·내외 소음도 시험 개요

- 시험방법은 국토교통부고시 제2017-558호 “공동주택 소음측정기준”을 준용하여 측정함
- 실내소음도를 측정하기 위해 거실 중앙부에서 5분간 등가소음을 측정하였음
- 실외소음도를 측정하기 위해서 바닥면으로부터 1.5 m 이격하고 외벽면으로부터 1 m 이격된 위치에서 2층개층에서 5분간 등가소음을 측정하였음

❍ 측정기준

[표 2.2.66] 측정기준

대통령령 제29459호 “주택건설기준 등에 관한 규정”	실외소음도 65 dB(A) 이하 6층 이상에서 실내소음도 45 dB(A) 이하							
대통령령 제29950호 “환경정책기본법 시행령”	**구분**	**일반지역 [dB(A)]**				**도로변지역 [dB(A)]**		
		가	나	다	라	가,나	다	라
	주간(6시~22시)	50	55	65	70	65	70	75
	야간(22시~6시)	40	45	55	65	55	60	70

㉡ 실·내외 소음도 시험결과

[표 2.2.67] 실 · 내외 소음도 시험결과

시험체명	**등가 A가중 음압 레벨 (dB(A))**			
	201호	**202호**	**207호**	**208호**
실내소음	38.4	28.7	37.9	31.7
실외소음	61.6		58.0	



실내소음 측정사진 1



실내소음 측정사진 2



실외소음 측정사진 1



실외소음 측정사진2

[그림 2.2.81] 실내외소음 측정사진

라) 천안두정 실증단지 음환경 성능 평가 결과

① 바닥충격음

- 인필형 타입은 경량충격음 1등급, 중량충격음 1등급의 성능을 확보함
- 적층형 타입은 경량충격음 1등급, 중량충격음 3등급의 성능을 확보함
- 인필형 타입 중 303호의 바닥은 중량충격음 45 dB로 제작 및 인필 적층시 제작 품질 및 현장 조립의 품질 확보 필요

② 세대간 경계벽

- 인필형 타입은 Rw 45 dB의 성능을 확보함
- 적층형 타입은 Rw 47 dB의 성능을 확보함
- 위의 성능을 벽체의 차음구조 인정 및 관리기준 별표1 차음구조 성능기준과 비교했을 때, 아직 등급을 만족하지 못하고 있음
- 이유는 벽체의 차음구조 인정 및 관리기준은 실험실에서의 평가방법임
- 따라서 추후 인필형 및 적층형의 벽체를 실험실에서 차음성능을 평가할 필요가 있음

③ 화장실 소음 평가

- 변기 만수때 배수 소음은 적층형 일 때 순간 최대 45.1 dB, 인필형 일 때 순간 최대 52.1 dB로 평가되었음
- 세면대 만수때 배수 소음은 적층형 일 때 순간 최대 57.8 dB, 인필형 일 때 순간 최대 44.7 dB로 평가되었음
- 실내배경소음이 25.7 dB로 윗 층에서 변기 또는 세면대의 배수시 약간의 거슬림은 있을 수 있음

④ 공동주택 실·내외 소음도 시험

- 천안두정 모듈러의 실내소음도는 약 34.2 dB로 국토부 및 환경부의 기준안에 모두 충족
- 외부소음은 주간에 약 60 dB 로 행복주택 인근 도로가 좁으며, 학교가 있어서 자동차의 제한속도가 30 km/h로 저속주행으로 외부소음이 낮음

마) 천안두정 실증단지 음환경에 대한 주관적 청감평가를 통한 만족도 분석

① 음원 녹음

- 천안 두정 모듈러 행복주택에서 인필형 및 적층형 각각 표준충격원에 의한 바닥충격음을 녹음하였음. 이번 연구에서는 가장 문제되는 중량충격음에 대해서 청감평가를 실시하였음
- 비교군으로 RC조 공동주택에서 표준충격원에 의한 바닥충격음을 녹음하였으며, 모듈러 주택의 바닥충격음과 청감평가를 비교하였음



인필형 바닥충격음 녹음



적층형 바닥충격음 녹음



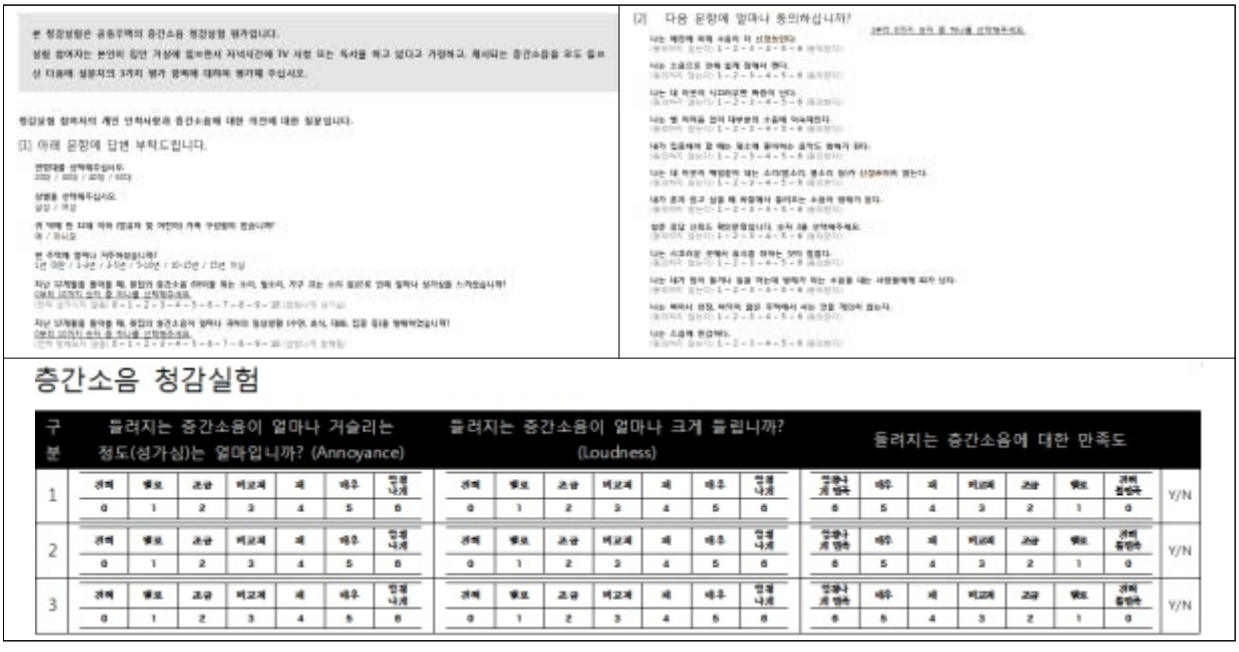
RC형 바닥충격음 녹음

[그림 2.2.82] 바닥충격음 녹음

② 설문지 항목 및 평가개요

- 녹음원에 대한 바닥충격음 중 중량충격음에 대한 주관적 평가를 위한 항목은 아래 표와 같음
- 빌라, 원룸 등 에서 현재 생활하고 있는 (20 ~ 30)대 10명을 대상으로 주관적 평가를 실시함

[표 2.2.68] 층간소음 청감실험 설문항목

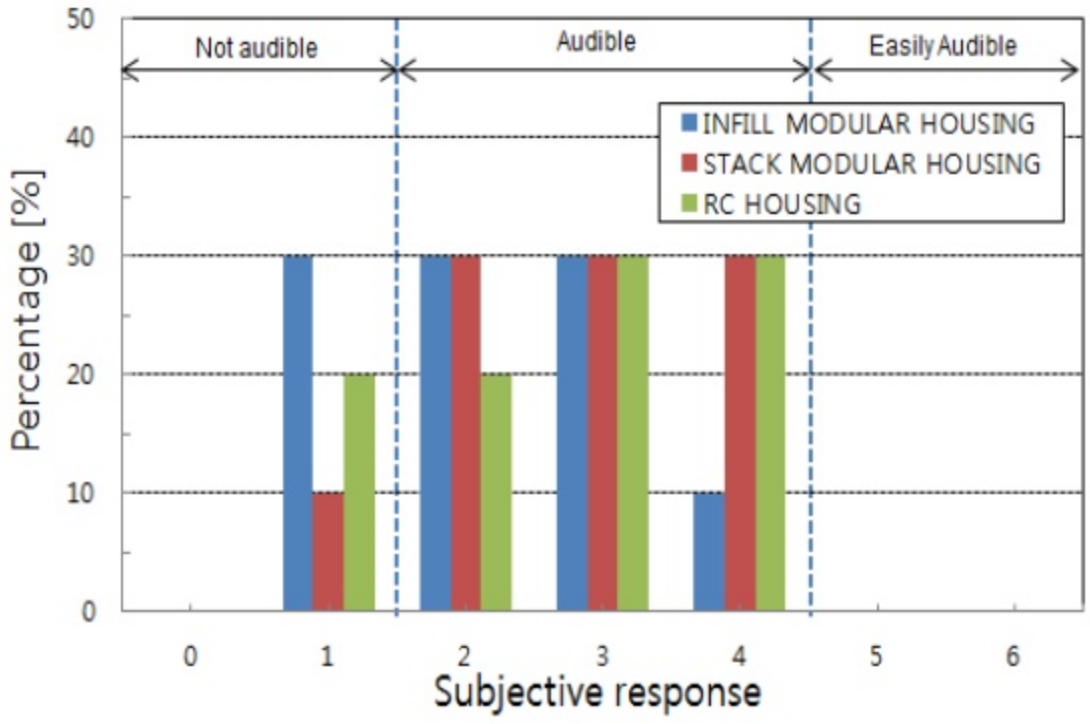


층간소음 청감실험

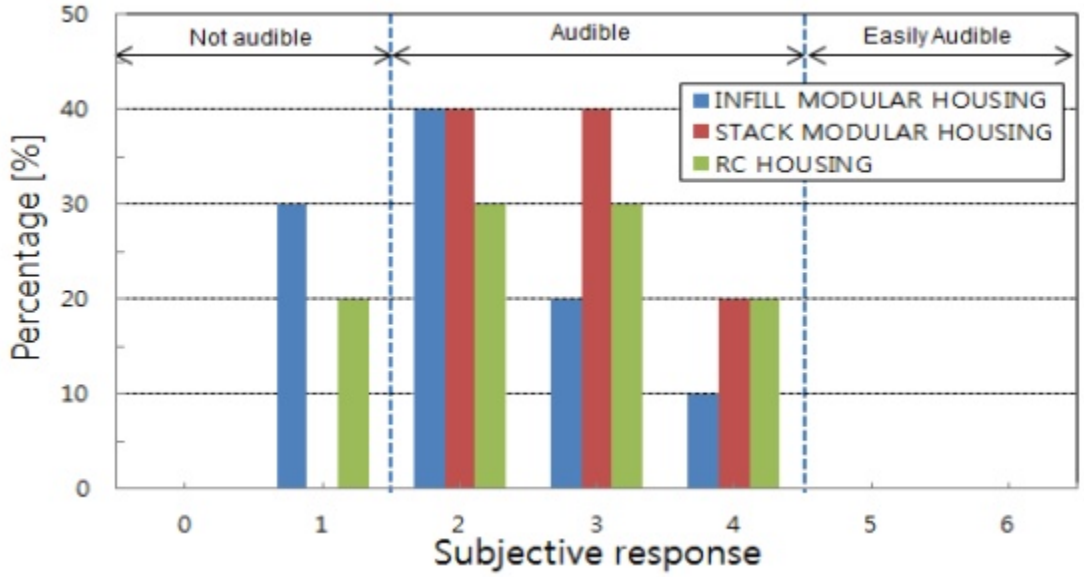
구분	들려지는 층간소음이 얼마나 거슬리는 정도(성가심)는 얼마입니까? (Annoyance)							들려지는 층간소음이 얼마나 크게 들립니까? (Loudness)							들려지는 층간소음에 대한 만족도							
1	전혀	별로	조금	비교적	매	매우	견딜 수 없게	전혀	별로	조금	비교적	매	매우	견딜 수 없게	견딜 수 없게	매우	매	비교적	조금	별로	전혀	Y/N
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1	0	
2	전혀	별로	조금	비교적	매	매우	견딜 수 없게	전혀	별로	조금	비교적	매	매우	견딜 수 없게	견딜 수 없게	매우	매	비교적	조금	별로	전혀	Y/N
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1	0	
3	전혀	별로	조금	비교적	매	매우	견딜 수 없게	전혀	별로	조금	비교적	매	매우	견딜 수 없게	견딜 수 없게	매우	매	비교적	조금	별로	전혀	Y/N
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1	0	

③ 청감평가결과

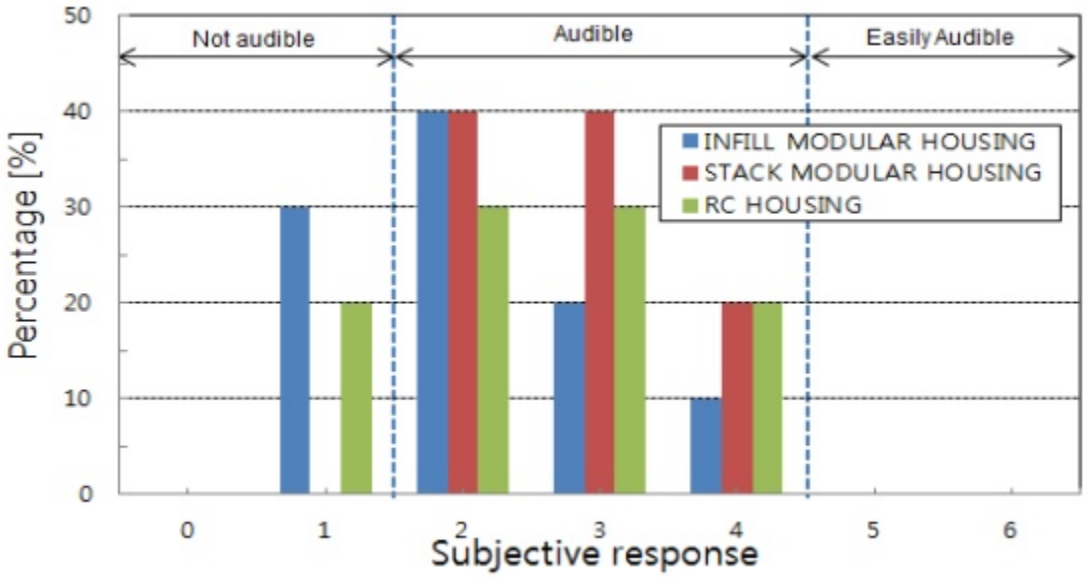
- 층간소음 중 가장 문제점으로 지적되고 있는 중량충격음에 대한 청감평가를 실시하였음
- 중량충격음은 윗층에서 뛰는 소리 또는 뒷꿈치가 부딪히면서 쿵쿵 거리는 소리에 대해 주관적 느낌을 구분하여 조사하였음
- 먼저 모듈러 주택에서 녹음된 중량충격음과 RC조에서 녹음한 중량충격음을 들려주고 주관적으로 느끼는 정도를 7점 척도로 구분하였으며, 성가심, 크기, 만족도에 대해서 평가하였음
- 단일수치평가량에서도 가장 낮게 나온 인필형 타이에서 성가심 및 소리크기에서 낮게 나왔고 만족도도 높게 평가되었음
- 단일수치평가량이 47 dB로 유사하게 나온 적층형과 RC조에서 성가심 및 소리의 크기에 대한 평가가 유사하게 나왔으나, 적층형에서 천장 떨림 등 으로 인해 RC조에 비해 주관적 만족도가 낮게 평가되었음
- 단일수치평가량은 성가심과 크기에 영향을 주는 것으로 판단되었고 만족도는 성가심과 소리 크기에 영향을 미치고 있으나, 천장 떨림 등 고주파수 대역에서 음압이 높은 것이 만족도가 떨어지는 것으로 나타났음
- 만족도 평가 결과, 인필형 타입이 만족도 등 가장 높은 것으로 판단됨



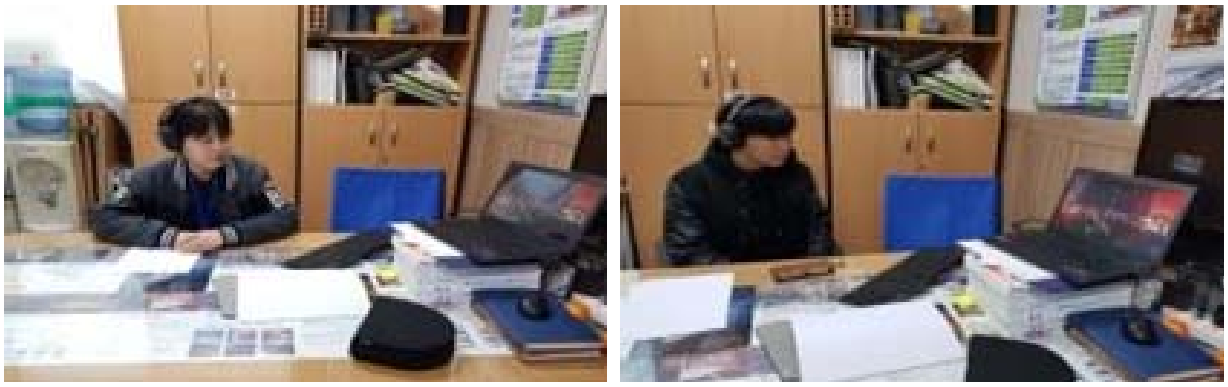
[그림 2.2.83] 층간소음 성가심 주관적 평가



[그림 2.2.84] 층간소음 소리크기 주관적 평가



[그림 2.2.85] 층간소음 만족도 주관적 평가



[그림 2.2.86] 층간소음 주관적 평가 사진

바) 천안두정 실증단지 기밀성능 평가 및 결로·열교현상 진단

① 기밀성능

❍ 측정 목적

- 가양동 모듈러 주택 단위세대의 기밀성능 검토
- 모듈러 주택의 시공방법(적층식, 인필식)에 따른 기밀성능 비교
- 단위세대의 누기부위 검토

❍ 측정 세대: 총 7세대

- 인필식 : 401호, 403호, 601호
- 적층식 : 406호, 408호, 607호, 608호

❍ 측정 기준

- ISO 9972 “Thermal performance of buildings –Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method”

❍ 측정 장비

- Fan : Retrotec 3000SR PH001833
- Gauge : Retrotec DM32 406449

❍ 측정 위치



[그림 2.2.87] 천안두정 실증단지 기밀성능 측정 위치

② 기밀성능 결과

[표 2.2.69] 기밀성능 측정값

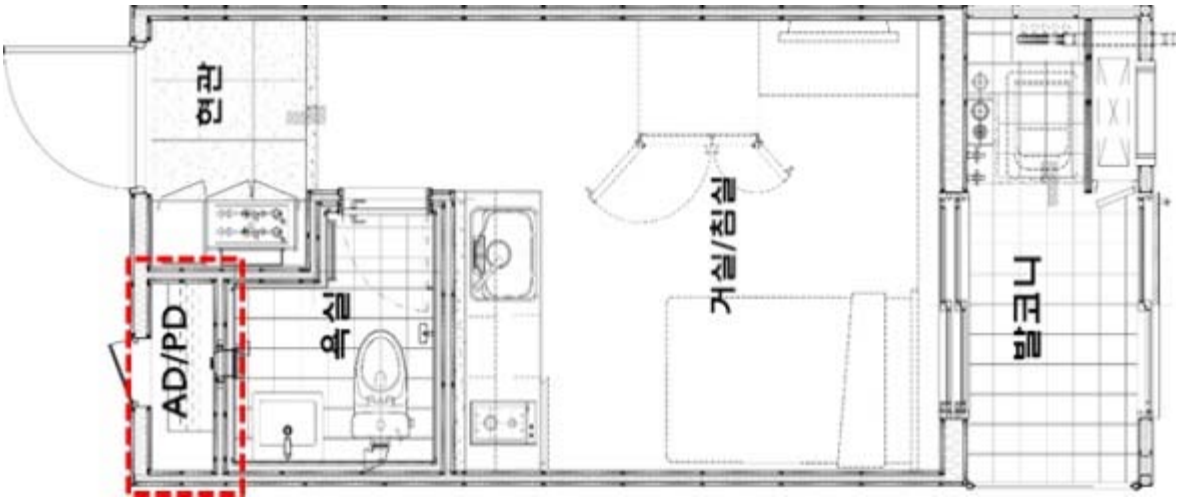
구분	601호	401호	403호	607호	608호	406호	408호	평 균
	16B Type	26A Type	26A Type	16A Type	16A Type	16A Type	16A Type	
	인필식	인필식	인필식	적층식	적층식	적층식	적층식	
ACH50 (1/h @50Pa)	15.26	7.31	9.19	7.99	7.74	7.76	7.56	8.97

- 인필형 타입의 기밀성능은 ACH50 7.31 ~ 15.26 으로 평가되었음
- 적층형 타입의 기밀성능은 ACH50 7.56 ~ 7.99 으로 평가되었음
- 인필형 타입의 각 세대간 기밀성능 차이가 많이 나기 때문에 공장제작시 기밀시공에 대한 품질기준을 만들 필요가 있음
- 적층형 타입은 평균 ACH50 7.76 으로 신축 RC조 공동주택의 ACH50 1~2 보다 높기 때문에 제작과정에서 기밀시공에 대한 품질기준이 요구됨

사) 천안두정 실증단지 기밀성능 및 결로 취약 부위

① AD/PD실 및 건식 벽체

- 욕실과 AD/PD실이 면하는 건식 벽체로 누기가 발생함
- AD/PD 실의 수직 관통부의 기밀 시공이 되어 있지 않으며, 최고층(6층 607호)의 경우 AD/PD실의 상부가 옥상과 바로 연결되어 있음




607호 AD/PD 실 하부


607호 AD/PD 실 상부

② 욕실 상부 실링 내부

- 욕실 상부 실링 내부로 많은 누기가 발생함







③ 전기 콘센트

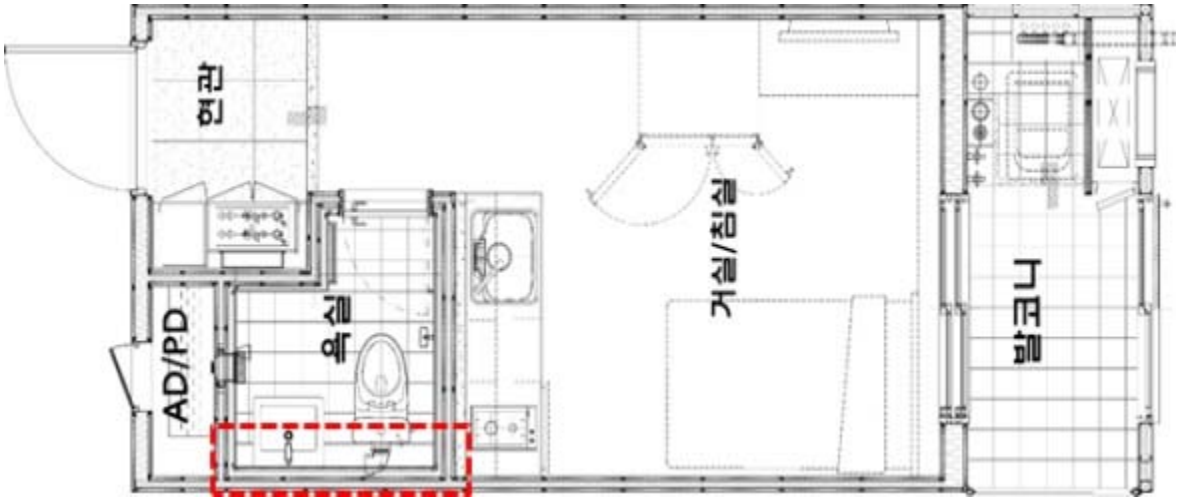
- 전기 배선시 기밀시공이 안되어 있음





④ 욕실 세면대 하부 접합부 (601호)

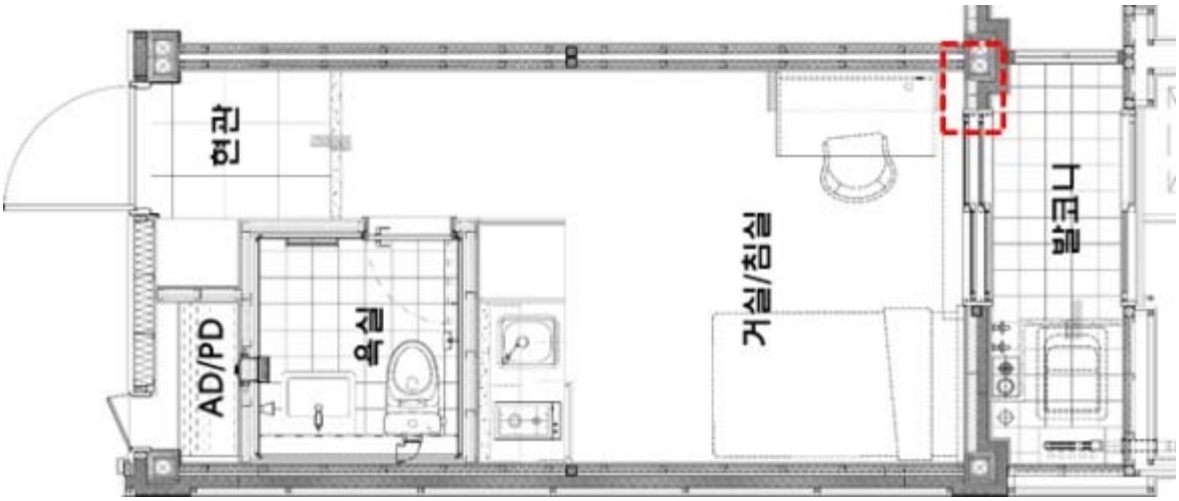
- 601호의 욕실 세면대 하부 접합부의 공간을 통하여 많은 양의 누기가 발생함





⑤ 에어컨 전기 및 배관 관통부

- 에어컨 전기 및 배관 관통부는 설치 예정부분으로 실링이 필요함

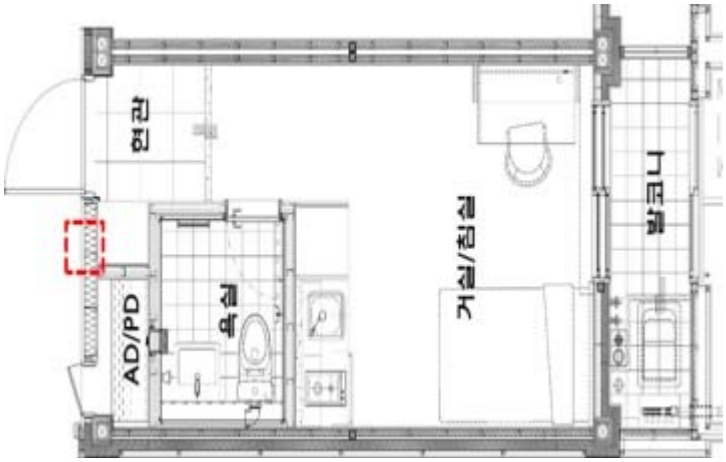






⑥ 인터폰 전기 관통부

- 전기 및 배관 관통부는 기밀시공 및 실링이 필요함





₩

아) 두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 개선기술 도출

① 음환경 개선기술

❍ 바닥충격음 개선사항

- 「주택건설기준 등에 관한 규칙」 별표 6 공업화주택의 성능 및 생산기준, 6) 음환경성능, 나) 바닥충격음의 차단성능은 상하층 간 바닥의 경량충격음 및 중량충격음의 기준은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조의2제2호에 따른 기준에 적합해야함
- 천안 두정 모듈러 행복주택은 라멘구조이며, 주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조의2제2호에 따라 슬라브 150 ㎜ 이상 설계를 하였음
- 또한 인필형 및 적층형 타입 모두 경량충격음 43 dB 이내, 중량충격음 47 dB 이내로 평가되어, 「공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준」 별표1 바닥충격음 차단성능의 등급기준 상 경량충격음 1급, 중량충격음 3급을 만족하고 있음
- 또한 세대별로 측정한 평가한 결과 세대별로 3 dB 이내의 오차범위를 확보한 것으로 보임
- 다만, 세대별 바닥충격음 중 중량충격음 차단 성능이 6 dB 차이나는 것으로 평가되어, 공장제작시 및 현장시공시 균질한 품질을 확보할 수 있는 방안을 마련한다면, 균일한 바닥충격음 차단성능을 확보할 수 있을 것으로 사료됨
- 공업화 주택이 공동주택으로 범위를 확장하고자 한다면, 「공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준」에 따라 공업화 주택의 바닥충격음 차단구조를 현장에서 인정받는 것이 바람직함

❍ 세대간 차음성능 개선사항

- 「주택건설기준 등에 관한 규칙」 별표 6 공업화주택의 성능 및 생산기준, 6) 음환경성능, 가) 세대간 경계벽의 소음차단성능은 세대간 경계벽의 구조는 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조 제1항 및 제2항에 따른 경계벽의 구조기준에 적합해야함
- 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조(세대간의 경계벽등)에 따라 천안 두정 모듈러 행복주택은 동규정 동조 제4호에서 제1호 내지 제3호의 것외에 국토교통부장관이 정하여 고시하는 기준에 따라 한국건설기술연구원장이 차음성능을 인정하여 지정하는 구조인 것을 사용하게 되어 있음
- 천안 두정 모듈러 행복주택의 세대간 경계벽 차음성능은 (45 ~ 47) dB로 「벽체의 차음구조 인정 및 관리기준」 별표1 차음구조 성능기준에 따른 등급 기준에 등외로 평가되고 있음
- 따라서 우선적으로 모듈러 주택이 공동주택으로 사용되기 위해서는 「벽체의 차음구조 인정 및 관리기준」에 따라 공업화 주택의 벽체에 대해서 차음구조 인정을 받아 활용하는 것이 바람직함
- 아래 그림에서 설명하듯, 소리는 직접 전달음과 간접 전달음이 있어 우선 현재 사용된 천안 두정 모듈러 행복주택의 세대간 경계벽을 시험실 방법으로 평가하여 음향감

쇠계수에 대한 평가를 진행하고 벽체 구성에서 성능을 개선할지, 공장제작시 또는 현장시공시 성능 개선을 도출할지에 대한 판단할 필요가 있음

- Marshall Long의 연구결과에 따르면, 설치의 상태, 실링 처리의 여부에 따라 STC가 최대 31 dB 차이 나는 것을 확인 할 수 있음
- 따라서 현장에서 차음성능을 확보하기 위해서는 경계벽을 지붕밑 또는 바로 윗층바닥판까지 닿게 하여야 하고 맞닿는 부분은 실링처리를 하여 소리를 차단하는데 장애가 되는 부분이 없도록 설치하는 것이 중요함

② 기밀성능 개선기술

- 아래의 체크리스트를 통해 설계단계부터 기밀부위를 선정하고 기밀 시공을 실시하면 향상된 기밀성능을 도출할 수 있음

[표 2.2.70] 기밀성능 개선 관련 체크리스트

점검부위		비고
건축구조	창호와 벽체가 만나는 부위	시공설치라인
	문과 벽체가 만나는 부위	시공설치라인
	창호프레임 접합부위	
	창문과 창틀이 만나는 부위	가스켓
	문짝과 문틀이 만나는 부위	가스켓
기계설비	오수 및 배수 인출관의 외벽관통 부위	
	옥외 부동수전 인출관의 외벽관통 부위	
	수도 인입관의 외벽관통 부위	
	가스 인입관의 외벽관통 부위	
	욕실 배기덕트의 외벽관통 부위	
	주방 및 다용도실의 후드 배기덕트의 외벽관통 부위	
	보일러 연도의 외벽관통 부위	
	환기장치 덕트관로의 외벽관통 부위	
전기설비	전기 인입선의 외벽관통 부위	
	세대 분전반 박스 부위	
	온도 조절기 박스 부위	
	콘센트 박스 부위	
	전동 블라인드 전원공급선의 외벽관통 부위	
	외부전등 전원공급선의 외벽관통 부위	
	전등 박스 부위	
	전등 스위치 박스 부위	
	통신 인입선의 외벽관통 부위	
	TV 분배함 및 통신용 국선단자함 부위	
	관통부위에 설치하는 슬리브 및 pipe 내부	pipe내부를 통한 침기
	비디오 폰 및 도어제어 전선의 외벽관통 부위	
	비디오폰 박스 부위	
	TV 유니트 및 통신용 콘센트 박스 부위	

결 론 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가(KCL)

1. 천안두정 실증단지 음환경 성능평가 결과

㉠ 바닥충격음

- 인필형 타입은 경량충격음 1등급, 중량충격음 1등급의 성능을 확보함
- 적층형 타입은 경량충격음 1등급, 중량충격음 3등급의 성능을 확보함
- 인필형 타입 중 303호의 바닥은 중량충격음 45 dB로 제작 및 인필 적층시 제작 품질 및 현장 조립의 품질 확보 필요

㉡ 세대간 경계벽

- 인필형 타입은 Rw 45 dB의 성능을 확보함
- 적층형 타입은 Rw 47 dB의 성능을 확보함
- 위의 성능을 벽체의 차음구조 인정 및 관리기준 별표1 차음구조 성능기준과 비교했을 때, 아직 등급을 만족하지 못하고 있음
- 이유는 벽체의 차음구조 인정 및 관리기준은 실험실에서의 평가방법임
- 따라서 추후 인필형 및 적층형의 벽체를 실험실에서 차음성능을 평가할 필요가 있음

㉢ 화장실 소음 평가

- 변기 만수때 배수 소음은 적층형 일 때 순간 최대 45.1 dB, 인필형 일 때 순간 최대 52.1 dB로 평가되었음
- 세면대 만수때 배수 소음은 적층형 일 때 순간 최대 57.8 dB, 인필형 일 때 순간 최대 44.7 dB로 평가되었음
- 실내배경소음이 25.7 dB로 윗 층에서 변기 또는 세면대의 배수시 약간의 거슬림은 있을 수 있음

㉣ 공동주택 실·내외 소음도 시험

- 천안두정 모듈러의 실내소음도는 약 34.2 dB로 국토부 및 환경부의 기준안에 모두 충족
- 외부소음은 주간에 약 60 dB 로 행복주택 인근 도로가 좁으며, 학교가 있어서 자동차의 제한속도가 30 km/h로 저속주행으로 외부소음이 낮음

2. 천안두정 실증단지 음환경에 대한 주관적 청감평가를 통한 만족도 분석 결과

- 층간소음 중 가장 문제점으로 지적되고 있는 중량충격음에 대한 청감평가를 실시하였음
- 중량충격음은 윗층에서 뛰는 소리 또는 뒷꿈치가 부딪히면서 쿵쿵 거리는 소리에 대해 주관적 느낌을 구분하여 조사하였음
- 먼저 모듈러 주택에서 녹음된 중량충격음과 RC조에서 녹음한 중량충격음을 들려주고 주관적으로 느끼는 정도를 7점 척도로 구분하였으며, 성가심, 크기, 만족도에

대해서 평가하였음

- 단일수치평가량에서도 가장 낮게 나온 인필형 타이에서 성가심 및 소리크기에서 낮게 나왔고 만족도도 높게 평가되었음
- 단일수치평가량이 47 dB로 유사하게 나온 적층형과 RC조에서 성가심 및 소리의 크기에 대한 평가가 유사하게 나왔으나, 적층형에서 천장 떨림 등 으로 인해 RC조에 비해 주관적 만족도가 낮게 평가되었음
- 단일수치평가량은 성가심과 크기에 영향을 주는 것으로 판단되었고 만족도는 성가심과 소리 크기에 영향을 미치고 있으나, 천장 떨림 등 고주파수 대역에서 음압이 높은 것이 만족도가 떨어지는 것으로 나타났음
- 만족도 평가 결과, 인필형 타입이 만족도 등 가장 높은 것으로 판단됨

3. 천안두정 실증단지 기밀성능 평가 및 결로·열교현상 진단 결과

㉠ 기밀성능 평가 결과

[표 2.2.71] 기밀성능 측정 값

구분	601호	401호	403호	607호	608호	406호	408호	평 균
	16B Type	26A Type	26A Type	16A Type	16A Type	16A Type	16A Type	
	인필식	인필식	인필식	적층식	적층식	적층식	적층식	
ACH50 (1/h @50Pa)	15.26	7.31	9.19	7.99	7.74	7.76	7.56	8.97

- 인필형 타입의 기밀성능은 ACH50 7.31 ~ 15.26 으로 평가되었음
- 적층형 타입의 기밀성능은 ACH50 7.56 ~ 7.99 으로 평가되었음
- 인필형 타입의 각 세대간 기밀성능 차이가 많이 나기 때문에 공장제작시 기밀시공에 대한 품질기준을 만들 필요가 있음
- 적층형 타입은 평균 ACH50 7.76 으로 신축 RC조 공동주택의 ACH50 1~2 보다 높기 때문에 제작과정에서 기밀시공에 대한 품질기준이 요구됨

㉡ 결로·열교현상 진단 결과

- 평가시점이 여름철에 진행되었고 내부에 에어컨이 없어 실내외 온도차를 크게 만들지 못한 것이 있어서 정확한 판단을 하기가 어려움
- 창틀 부분에 있어서 외부 열이 내부로 들어오는 현상이 발견됨
- 벽체 결합부위나 벽체 쪽에 외부 열이 내부로 전달되는 현상이 발견됨
- 발코니쪽 외부 패널과 창호 결합부위에서 열이 내부로 전달되는 현상이 발견됨
- 인필형인 경우에는 벽체패널이 외장재와 구분되어 있기 때문에 기밀성을 더 확보하는 것이 바람직함
- 적층형인 경우에는 벽체패널이 외장재 역할과 동시에 하고 있기 때문에 결합부위에서 결로현상이 있을 수 있기 때문에 패널 결합부위에 대해서 결로 방지 대책을 수

립하여야함

- 적층형인 경우 철골조에서 열교 현상이 나타나지 않도록 구조체를 감싸는 거나 패널과 결합시에 열교방지하는 결합방법을 추가적으로 연구해야할 필요가 있음
- 실내외 온도차가 크게 나타나면 상기 표기된 부분에서 열교현상으로 인해 결로 현상이 나타나는지에 대해서 지속적인 모니터링을 추가적으로 진행할 필요가 있음

3. 천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 개선기술 도출

㉠ 음환경 개선기술

■ 바닥충격음 개선사항

- 「주택건설기준 등에 관한 규칙」 별표 6 공업화주택의 성능 및 생산기준, 6) 음환경성능, 나) 바닥충격음의 차단성능은 상하층 간 바닥의 경량충격음 및 중량충격음의 기준은 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조의2제2호에 따른 기준에 적합해야함
- 천안 두정 모듈러 행복주택은 라멘구조이며, 주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조의2제2호에 따라 슬라브 150 ㎜ 이상 설계를 하였음
- 또한 인필형 및 적층형 타입 모두 경량충격음 43 dB 이내, 중량충격음 47 dB 이내로 평가되어, 「공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준」 별표1 바닥충격음 차단성능의 등급기준 상 경량충격음 1급, 중량충격음 3급을 만족하고 있음
- 또한 세대별로 측정한 평가한 결과 세대별로 3 dB 이내의 오차범위를 확보한 것으로 보임
- 다만, 세대별 바닥충격음 중 중량충격음 차단 성능이 6 dB 차이나는 것으로 평가되어, 공장제작시 및 현장시공시 균질한 품질을 확보할 수 있는 방안을 마련한다면, 균일한 바닥충격음 차단성능을 확보할 수 있을 것으로 사료됨
- 공업화 주택이 공동주택으로 범위를 확장하고자 한다면, 「공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준」에 따라 공업화 주택의 바닥충격음 차단구조를 현장에서 인정받는 것이 바람직함

■ 세대간 차음성능 개선사항

- 「주택건설기준 등에 관한 규칙」 별표 6 공업화주택의 성능 및 생산기준, 6) 음환경성능, 가) 세대간 경계벽의 소음차단성능은 세대간 경계벽의 구조는 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조 제1항 및 제2항에 따른 경계벽의 구조기준에 적합해야함
- 「주택건설기준 등에 관한 규정」 제14조(세대간의 경계벽등)에 따라 천안 두정 모듈러 행복주택은 동규정 동조 제4호에서 제1호 내지 제3호의 것외에 국토교통부장관이 정하여 고시하는 기준에 따라 한국건설기술연구원장이 차음성능을 인정하여 지정하는 구조인 것을 사용하게 되어 있음
- 천안 두정 모듈러 행복주택의 세대간 경계벽 차음성능은 (45 ~ 47) dB로 「벽체의 차음구조 인정 및 관리기준」 별표1 차음구조 성능기준에 따른 등급 기준에 등외로 평가되고 있음

- 따라서 우선적으로 모듈러 주택이 공동주택으로 사용되기 위해서는 「벽체의 차음구조 인정 및 관리기준」에 따라 공업화 주택의 벽체에 대해서 차음구조 인정을 받아 활용하는 것이 바람직함
- 아래 그림에서 설명하듯, 소리는 직접 전달음과 간접 전달음이 있어 우선 현재 사용된 천안 두정 모듈러 행복주택의 세대간 경계벽을 시험실 방법으로 평가하여 음향감쇠계수에 대한 평가를 진행하고 벽체 구성에서 성능을 개선할지, 공장제작시 또는 현장시공시 성능 개선을 도출할지에 대한 판단할 필요가 있음
- Marshall Long의 연구결과에 따르면, 설치의 상태, 실링 처리의 여부에 따라 STC가 최대 31 dB 차이 나는 것을 확인 할 수 있음
- 따라서 현장에서 차음성능을 확보하기 위해서는 경계벽을 지붕밑 또는 바로 윗층바닥판까지 닿게 하여야 하고 맞닿는 부분은 실링처리를 하여 소리를 차단하는데 장애가 되는 부분이 없도록 설치하는 것이 중요함

㉡ 기밀성능 개선기술

- 아래의 체크리스트를 통해 설계단계부터 기밀부위를 선정하고 기밀 시공을 실시하면 향상된 기밀성능을 도출할 수 있음

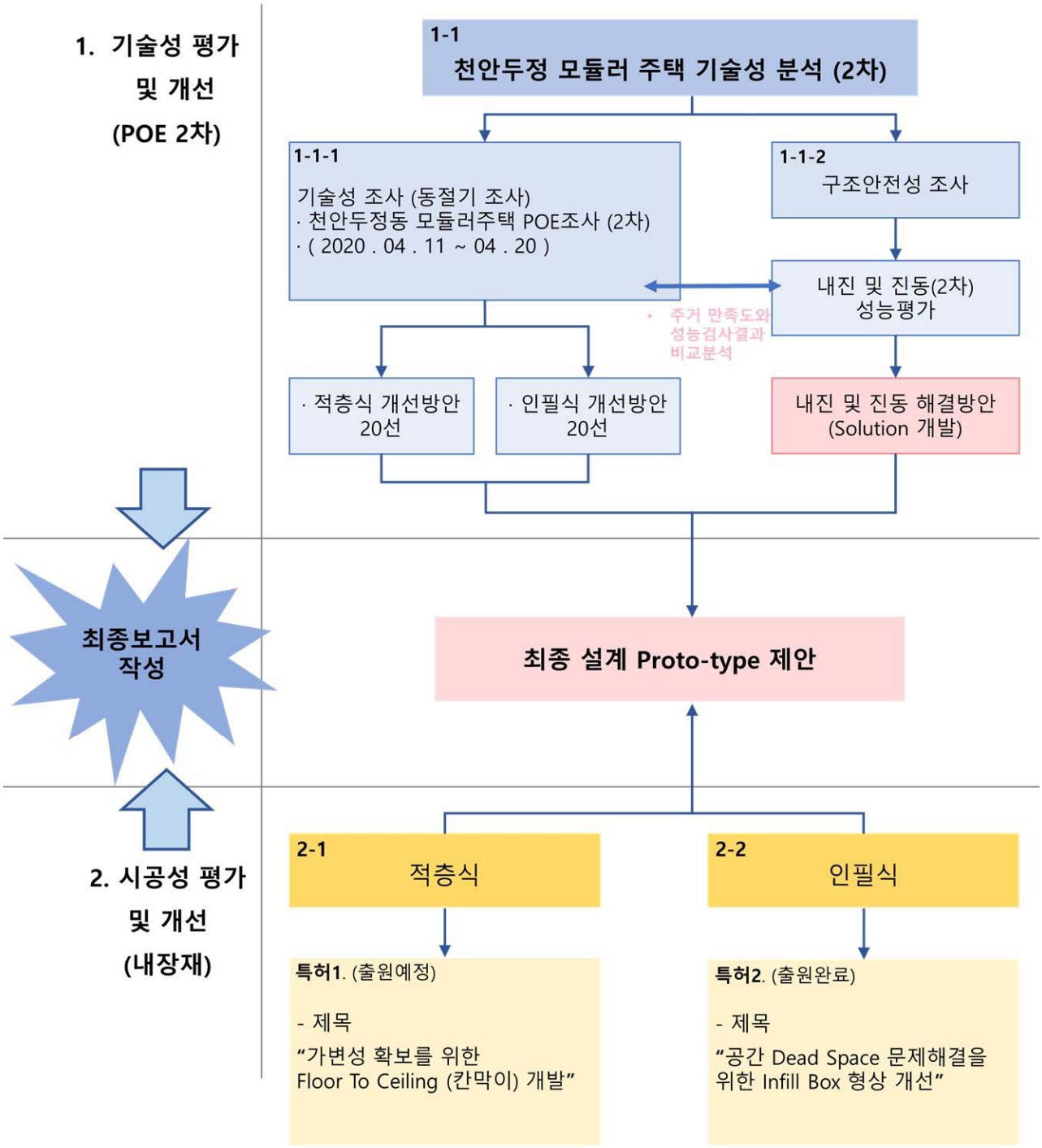
[표 2.2.72] 기밀성능 개선 관련 체크리스트

점검부위		비고
건축 구조	창호와 벽체가 만나는 부위	시공설치라인
	문과 벽체가 만나는 부위	시공설치라인
	창호프레임 접합부위	
	창문과 창틀이 만나는 부위	가스켓
	문짝과 문틀이 만나는 부위	가스켓
기계 설비	오수 및 배수 인출관의 외벽관통 부위	
	옥외 부동수전 인출관의 외벽관통 부위	
	수도 인입관의 외벽관통 부위	
	가스 인입관의 외벽관통 부위	
	욕실 배기덕트의 외벽관통 부위	
	주방 및 다용도실의 후드 배기덕트의 외벽관통 부위	
	보일러 연도의 외벽관통 부위	
	환기장치 덕트관로의 외벽관통 부위	
전기 설비	전기 인입선의 외벽관통 부위	
	세대 분전반 박스 부위	
	온도 조절기 박스 부위	
	콘센트 박스 부위	
	전동 블라인드 전원공급선의 외벽관통 부위	
	외부전등 전원공급선의 외벽관통 부위	
	전등 박스 부위	
	전등 스위치 박스 부위	
	통신 인입선의 외벽관통 부위	
	TV 분배함 및 통신용 국선단자함 부위	
	관통부위에 설치하는 슬리브 및 pipe 내부	pipe내부를 통한 침기
	비디오 폰 및 도어제어 전선의 외벽관통 부위	
	비디오폰 박스 부위	
	TV 유니트 및 통신용 콘센트 박스 부위	

3차년도 수행내용

다. 3차년도 수행내용

* 3차년도 연구의 내용 및 결과 (천안두정 POE 2차)



1) 동절기 천안두정 실증단지 입주자 대상 거주 후 평가(KICT)

가) 연구의 개요

(1) 연구의 배경 및 목적

① 연구의 배경

- 최근 한국사회의 인구구조 변화와 저성장, 주거패턴의 다양화, 저출산·고령화 등의 이슈로 인해서 새로운 주거시장의 수요와 정책적 요구가 증대되고 있음. 이에 공공임대주택 제공은 저소득층의 주거비 부담을 완화시키는 등 서민 주거안정에 크게 기여를 하고 있음

- 1~2인 소형가구, 고령가구 등의 비중이 크게 증가하면서 사회초년생, 대학생, 신혼부부, 고령자가구 등을 위한 소형·임대주택에 대한 수요가 급증하고 있음. 또한 가구유형 변화 및 소득수준 향상에 따른 삶의 질 추구 등과 같은 사회적 패러다임의 변화로 다양한 주택형식 및 수요에 대응할 필요가 있음

- 기존의 정부에서 제공하는 공공임대주택의 철근콘크리트 구조 위주의 방식은 택지부족, 공사의 장기화 등의 문제가 있음. 이에 정부에서는 모듈러 주택 공급 활성화를 위해 2012년 '주택건설기준 등에 관한 규칙'을 개정하여 공업화 주택 인정제도 기준 및 절차를 개선하였음

- 앞선 기술한 사회적·정책적 배경에서 최근 임대주택의 한 부분으로 제공되는 모듈러 주택의 인식 및 거주환경(주거공간, 주거성능, 주변환경 등)에 대한 거주자의 실질적 평가가 필요함. 또한 평가를 통해 단점 및 인식 등을 개선할 필요가 있음

② 연구의 목적

- 본 연구의 목적은 충청남도 천안시 서북구 두정동 581번지(A1블록)에 조성되는 천안두정 행복주택의 사용자 관점의 거주 만족도 평가 및 진단을 통해 주거만족도를 향상시킬 수 있는 요소를 도출하고자 함

- 거주자의 실질적 평가를 통해서 모듈러 주택의 인식 및 불편사항을 분석하여, 추후 거주환경 개선방향을 도출하고자 함

- 이를 통해 향후 모듈러 주택의 높은 만족도를 갖는 주거환경을 제공하는데 기여하고자 함

(2) 연구의 범위 및 방법

① 연구의 범위

㉠ 공간적 범위

- 본 연구의 공간적 범위는 충청남도 천안시 서북구 두정동 581번지(A1블록에)에 위치한 천안두정 행복주택으로 대학생과 사회초년생(50%), 고령자(45%), 주거약자(5%)를 위한 공공임대주택을 대상으로 함

공간적 범위
충청남도 천안시 서북구 두정동 581번지(A1블록) 천안두정 행복주택

㉡ 내용적 범위

- 내용적 범위는 1) 천안두정 행복주택의 거주 후 평가 실시, 2) 주거 만족도에 큰 영향을 미치는 요소 분석, 3) 모듈러 주택에 대한 인식 및 향후 개선방향 도출, 4) 천안두정 실증단지와 가양동 실증단지의 주거 만족도 비교, 5) 천안두정 실증단지 내에서의 진동 및 소음에 관한 주거 성능 비교로 구성

내용적 범위
- 천안두정 행복주택의 거주 후 평가 실시 - 주거 만족도에 큰 영향을 미치는 요소 분석 - 모듈러 주택에 대한 인식 및 향후 개선방향 도출 - 천안두정 실증단지와 가양동 실증단지의 주거 만족도 비교 - 천안두정 실증단지 내에서의 진동 및 소음에 관한 주거 성능 비교

② 연구의 방법

- 연구의 방법은 문헌 조사, 거주자 설문조사 및 인터뷰

- 거주 후 평가 모델은 기존의 가양동 실증단지와 비교를 위해서 동일한 방식으로 진행하였으며, 일부 거주자에게 선입견을 줄 수 있다고 판단되는 설문항목을 변경 또는 순서를 재배치하여 작성하였음

- 거주 후 평가를 위해 조사당시 입주한 세대만을 대상으로 진행하였으며, 설문조사 및 인터뷰를 시행하였음. 시행한 내용을 바탕으로 기술통계 분석, 중요도-만족도 분석의 분석방법을 적용하였음

(3) 대상지 개요 및 특성

① 입지 여건

- 충청남도 천안시 서북구 두정동 581번지(A1블록)에 조성되는 천안두정 행복주택은 주변으로 경부고속도로 천안IC와 KTX_SRT 천안아산역 및 1호선 두정역과 종합터미널 등 다양한 교통망과의 접근성이 좋은 지리적 이점이 있음

- 천안두정 행복주택은 천안시청으로부터 동북방향 약 2km 지점에 위치하며, 북측으로 8M 통과 도로와 접하고 있으며, 부지 서북방향 약 0.5km 지점에 노태산(141m)이 자리하고 있으며, 동북방향 약 1km 지점에 두정도서관이 위치하고 있음

- 주변에는 오성초등학교를 비롯하여 1km 이내 아홉 개의 초중고교가 위치했으며, 한국기술교육대, 공주대, 단국대 등 다수 대학이 근거리에 위치함

- 주변 생활편의시설은 종합운동장, 이마트, 롯데마트, 단국대부속병원 등이 있으며, 천안일반상업단지, 아산디스플레이시티 등 산업단지 접근성이 좋은 환경에 자리함



[그림 2.3.1] 천안두정 행복주택 입지 여건

② 대상지 특징

- 충청남도 천안시 서북구 두정동 581번지(A1블록)에 위치한 천안두정 행복주택은 국토부 R&D사업으로 한국건설기술연구원, 한국토지주택공사, 스타코, 금강공업이 합작한 실증단지 조성사업으로, 모듈러 공법(적층식, 인필식)을 적용한 '조립식 공동주택'임

- 입주 대상자는 대학생 및 청년계층(만19세 ~ 만 39세 이하)과 무주택기간이 1년 이상인 고령자(만 65세 이상)으로 2019년 9월말부터 입주가 시작됨

- 대상지는 일반주거지역 내 유휴부지에 건설되었으며, 1층의 입주자지원센터는 추후 주민편의시설로 예정되어 있음

- 건물은 단일 건물이나, 공법에 따라 A동과 B동을 구분하여, A동(5호~8호)은 라멘식 적층구조로 이루어져 있고, B동(1호~4호)은 인필식 구조로 이루어져 있음

- A동의 경우 16㎡ 원룸형 20세대로 되어 있으며, B동은 16㎡ 원룸형 4세대와 26㎡ 16세대로 구성. A동 1층의 경우 주민공동시설인 게스트하우스와 홍보관, 노인정이 계획되어 있음

- 한국토지주택공사 천안두정, 백석 관리사무소에서 주차장과 함께 건물을 관리하고 있음



[그림 2.3.2] 천안두정 행복주택 내부 평면도



[그림 2.3.3] 천안두정 행복주택 조감도

(4) 조사 방법 및 분석 방법

① 주요 조사 내용

- 연구의 조사 내용은 기존 선행연구를 바탕으로 개발하였고, 1차 POE 예비조사 및 전문가 자문을 토대로 문항을 수정 및 추가

- 거주 후 평가의 설문문항은 6개의 파트(일반사항, 주택성능, 주택계획, 주변환경, 모듈러주택 인지 및 사전 정보 충족도, 모듈러주택 발전방향)으로 구성되어 있으며, 다음 표와 같은 문항으로 구성

[표 2.3.1] 조사 내용 문항구성

구분	문항구성
1. 일반사항	- 성별, 연령, 동, 호수, 주택유형, 정주시간, 정주활동
2. 주택성능	- 주택성능 요소 만족도
	- 환기(2문항) / 기밀(1문항) / 결로(2문항) / 단열(2문항) / 채광(1문항)/ 방음(7문항) / 진동(3문항)
	- 기타 추가 의견
3. 주택계획	- 주택계획 요소 만족도
	- 내부평면, 실의규모, 취사공간, 냉난방시스템, 외관디자인, 수납공간
	- 기타 추가 의견
4. 주변환경	- 주변환경 요소 만족도
	- 근린생활시설, 대중교통 편리성, 여가활동시설
	- 기타 추가 의견
5. 모듈러주택 인식 및 사전 정보 충족도	- 현 주택 만족도, 사전인지 정보, - 모듈러주택 인지도, 모듈러주택 장·단점
6. 모듈러주택 발전방향	- 거주의향, 3~4인 가족의 거주 적합성, - 모듈러주택의 보완사항

② 조사목적

- 천안두정 모듈러주택 실증단지 평가를 통해 사용자 관점의 거주 만족도 평가 및 진단

- 추후 모듈러주택 거주환경 개선방향 및 정책 제언

③ 조사 기간 및 방법

- 조사는 2020년 4월 11일부터 4월 20일까지 10일간 진행되었으며, 설문 당시 입주세대 총 33세대 중 26세대를 대상으로 설문을 진행하였음

- 조사 방법으로는 오프라인 설문 및 심층 인터뷰 방식으로 진행하였고, 의사소통이 어려운 고령자 세대의 경우 1대1 직접면담 방식으로 인터뷰와 설문조사를 동시에 진행하였음

- 주거만족도 항목에 대해서는 리커트 5점 척도(Likert scales)로 구성하였으며, 모듈러주택 인식 및 발전방향에 대한 항목은 명목척도(Norminal scale)로 구성

④ 분석방법

- 이전의 “(가양동)수요자 맞춤형 조립식 주택 기술개발 및 실증단지 구축” 사업의 분석방법을 기반으로 평가 분석을 시행하였으며, 기술통계 분석을 통해 각 요소에 대한 만족도 분석을 진행

- 주거만족도, 모듈러주택의 인지성, 발전방향 등을 통계적으로 분석하여 향후 계획방향 및 개선점 도출

- 주거만족도에 영향을 미치는 요소를 파악하고 시급하게 개선해야 될 우선순위 요소 도출(중요도-만족도 분석[2]을 측정)

- 가양동 모듈러주택 실증단지 거주 후 평가의 만족도와 천안두정 모듈러주택의 만족도를 비교(전체 비교 및 적층식 비교)

- 층별, 세대별, 연령별, 성별, 공법별 간 만족도 평균 차이에 대한 비교

2) 중요도-만족도 분석(ISA, Importance-Satisfaction Analysis)은 Martilla와 James(1977)가 제안한 중요도-성취도 분석(IPA, Importance-Performance Analysis)으로 시작되었고, 성취도 대신에 만족도를 넣어 분석한 Tonge와 moore(2006)에 의해 제안되었다(김종선・오도교・김세빈, 2010)

나) 천안두정 모듈러 주택 거주 후 평가 분석

(1) 조사 내용의 신뢰도 분석

- 확정된 조사 내용을 대상으로 문항의 내적 일관성을 검증하기 위하여 신뢰도 분석을 실시

- 신뢰도 분석은 하나의 개념에 대해 몇 개의 질문을 측정도구로 사용할 때, 그 질문들에 대한 응답들이 동일한 개념을 측정하였기 때문에 비슷하게 나타나야 한다는 것을 전제로 하는 분석임
  예를들어 주거성능 만족도가 “매우 만족”이라면, 환기, 기밀, 결로 등의 세부항목 만족도도 “매우 만족”으로 응답한 비율이 높아야 설문 응답을 신뢰할 수 있음

- 신뢰도 분석은 설문 문항 중 리커트 5점 척도로 이루어진 문항들을 대상으로 실시

[표 2.3.2] 신뢰도 분석

구분	항목	Alpha if item Deleted	Cronbach's α
주거성능 요소	성능 요소 전반	0.905	0.913
	조리시 환기	0.906	
	샤워기 환기	0.915	
	기밀	0.915	
	결로	0.913	
	겨울철 결로	0.913	
	단열	0.909	
	겨울철 난방요금	0.909	
	채광	0.913	
	윗층 발자국 소음	0.906	
	윗층 음악 소음	0.906	
	화장실 소음	0.908	
	옆세대 생활소음	0.906	
	외부소음	0.906	
	복도소음	0.904	
	타세대 방문소음	0.904	

	본인 세탁기 진동	0.906	
	타인 세탁기 진동	0.906	
	주방 후드 진동	0.911	
주택 계획 요소	계획 요소 전반	0.819	0.853
	내부평면	0.812	
	실의 규모	0.813	
	취사공간	0.827	
	냉난방 시스템	0.844	
	외관디자인	0.853	
	내부수납 공간	0.856	
주변환경 요소	환경 요소 전반	0.812	0.789
	근린생활시설	0.733	
	대중교통	0.639	
	여가활동시설	0.798	
전체 주거만족도와 각 요소	전체 주거만족도	0.722	0.792
	주거성능	0.713	
	주택 계획	0.703	
	주변환경	0.736	

- Cronbach's α(크론바흐 알파계수, 신뢰도 계수) 값은 변수들끼리 상관관계가 클수록 (항목별 분산들의 차이가 작을수록) 크게 계산됨. 계수가 0과 1사이의 값으로 나타나며, 1에 가까울수록 문항들에 대한 응답이 서로 유사해서 신뢰성이 높음을 의미함

- Alpha if item Deleted 값은 해당 항목이 삭제되었을 때의 Cronbach's α값을 나타내며, 해당 항목의 신뢰도에 미치는 영향을 개략적으로 파악 가능

- 분석 결과 주거성능 요소의 Cronbach's α값은 0.913, 주택 계획 요소는 0.853, 주변 환경 요소는 0.789으로 나타남

- 전체 주거만족도와 각 요소와의 Cronbach's α값은 0.792으로 모두 0.7 이상으로 나와 내적 일관성에는 문제가 없는 것으로 나타나 모든 문항을 설문 분석에 활용함

(2) 조사 대상자 특성

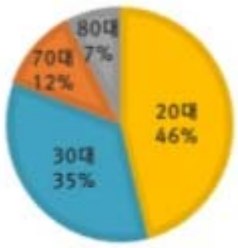
- 성별은 남성 12명(46.2%), 여성이 14명(53.8%)로 여성의 비중이 더 높음

- 조사에 응한 응답자의 연령은 사회초년생 20,30대와 고령자 70,80대로 구성됨. 사회초년생의 경우 20대는 12명(46.2%), 30대는 9명(34.6%)이며, 고령자 세대의 경우 70대 3명(11.5%), 80대 2명(7.7%)로, 현재 사회초년생 세대가 81%, 고령자 세대가 19%로 입주된 상태임

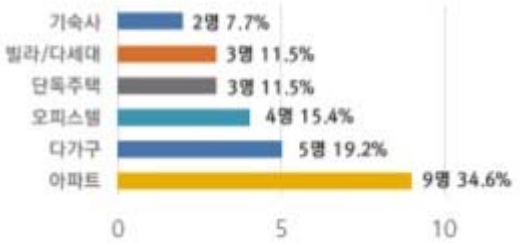
- 이전 주거유형을 살펴보면 아파트가 9명(34.6%)로 가장 많았으며 이어서 다가구주택이 5명(19.2%), 오피스텔 4명(15.4%), 빌라/다세대 및 단독주택 3명(11.5%), 기타(기숙사) 2명(7.7%)로 나타남



[그림 2.3.4] 성별 분포



[그림 2.3.5] 연령 분포



[그림 2.3.6] 이전 주거유형 분포

[표 2.3.3] 조사 대상자 일반 특성-1

구분		빈도	%
성별	남	12	46.2
	여	14	53.8
연령	20대	12	46.2
	30대	9	34.6
	70대	3	11.5
	80대	2	7.7
이전 주거유형	아파트	9	34.6
	다가구주택	5	19.2
	오피스텔	4	15.4
	단독주택	3	11.5
	빌라/다세대	3	11.5
	기타(기숙사)	2	7.7

- 현 주택에서 보내는 시간은 주중에는 10~12시간이 10명(38.5%)으로 가장 많았으며 7~10시간 미만과 12시간 이상이 6명(23.1%), 5시간 미만과 5~7시간 미만이 2명(7.7%)으로 정주시간을 보임. 주말시간에는 12시간 이상이 13명(50.0%)으로 가장 많았으며 10~12시간 미만이 9명(34.6%), 5~7시간 2명(7.7%), 5시간 미만과 7~10시간 미만이 1명(3.8%)으로 나타남

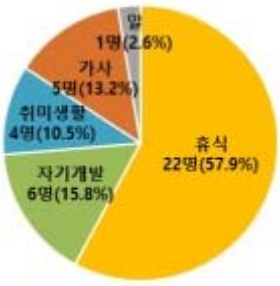
- 정주공간에서 주로 하는 활동(중복 선택)은 주중, 주말 모두 휴식이 가장 많았으며, 주중 활동으론 자기개발, 가사, 취미생활, 일 순, 주말 활동은 취미생활, 가사와 일, 자기개발 순으로 나타남



[그림 2.3.7]
정주시간[주중]



[그림 2.3.8]
정주시간[주말]



[그림 2.3.9]
정주활동[주중]



[그림 2.3.10]
정주활동[주중]

[표 2.3.4] 조사 대상자 일반 특성-2

구분		빈도	%
정주시간[주중]	5시간 미만	2	7.7
	5~7시간 미만	2	7.7
	7~10시간 미만	6	23.1
	10~12시간 미만	10	38.5
	12시간 이상	6	23.1
정주시간[주말]	5시간 미만	1	3.8
	5~7시간 미만	2	7.7
	7~10시간 미만	1	3.8
	10~12시간 미만	9	34.6
	12시간 이상	13	50.0
정주활동[주중]	휴식	22	57.9
	자기개발	6	15.8
	취미생활	4	10.5
	가사	5	13.2
	일	1	2.6
정주활동[주말]	휴식	17	41.5
	자기개발	5	12.2
	취미생활	7	17.1
	가사	6	14.6
	일	6	14.6

(3) 천안두정 모듈러주택에 대한 인식 및 발전방향

① 모듈러주택에 대한 인식

㉠ 모듈러주택 인지도

[표 2.3.5] 입주 전 모듈러주택 인지 여부



[그림 2.3.11]
모듈러주택 인지도

구분	두정동 모듈러주택	
	빈도	%
알고 있었다	13	50.0
몰랐다	13	50.0

- 현 주택 입주 전 모듈러주택의 개념을 알고 있었다는 응답자와 인지하지 못한 응답자는 각각 13명(50.0%)으로 동일하게 나타남. 입주자의 절반은 모듈러주택에 대해 인지하고 있는 것으로 나타남

- 응답자 중 50.0%가 입주 전 모듈러주택에 대해 인지

㉡ 현 주택의 모듈러주택 인지

[표 2.3.6] 현 입주주택의 모듈러주택 인지 여부



[그림 2.3.12] 현 주택의
모듈러주택 인지

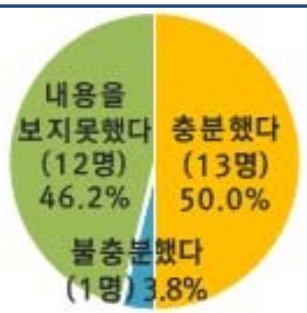
구분	두정동 모듈러주택	
	빈도	%
알고 있었다	16	61.5
몰랐다	10	38.5

- 현 입주한 주택이 모듈러주택이라는 것을 알고 있었던 응답자는 16명(61.5%), 인지하지 못한 사람은 10명(38.5%)로 나타남

- 입주한 두정동 행복주택이 모듈러 주택이라는 것은 61.5%가 인지. 고령자들의 경우 본인이 신청하기보단 타인(가족 및 친인척)등이 대리로 신청한 경우가 많기 때문으로 인지하지 못한 경우가 많음

㉣ 현 입주주택의 모듈러주택 정보 제공성

[표 2.3.7] 현 입주주택의 모듈러주택 정보 제공성



[그림 2.3.13] 사전정보 충족도

구분	두정동 모듈러주택	
	빈도	%
충분했다	13	50.0
충분하지 않았다	1	3.8
내용을 보지 못했다	12	46.2

- 응답자중 13명(50.0%)가 충분하다고 응답했으나, 13명(50.0%)가 불충분하거나 보지 못했다고 답하였음. 불충분하다고 응답한 사람은 1명(3.8%)이며, 보지 못했다가 12명(46.2%)인 것으로 보아, 정보가 불충분한 것보단 타인(가족 및 친인척)의 대리 신청으로 인한 정보의 미전달이 원인으로 보임

- 보지 못했다고 응답한 비율이 46.2%(12명)으로 높은 것으로 보아, 적극적인 홍보 및 정보 전달이 필요할 것으로 보임

- 응답자 중 50.0%가 입주자 모집 공고문에 게재된 정보가 불충분하다고 응답. 고령자를 대상으로 건축되는 모듈러주택은 기존과는 다른 정보 전달 방법이 필요하다고 판단됨

㉣ 모듈러주택의 장점 인식



[그림 2.3.14] 모듈러주택 장점 인식[천안 두정동 모듈러주택]

[표 2.3.8] 모듈러주택의 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택)

구분		짧은 공사기간	저렴한 건축비	자유로운 입지	부품의 표준화	외관 디자인	안전한 현장시공	친환경적 건축물	기타
1순위	빈도	16	3	3	0	0	3	0	1
	%	61.5	11.5	11.5	–	–	11.5	–	3.8
2순위	빈도	2	8	3	3	4	2	3	1
	%	7.7	30.8	11.5	11.5	15.4	7.7	11.5	3.8
가중치	점수	178	102	57	27	36	48	27	19

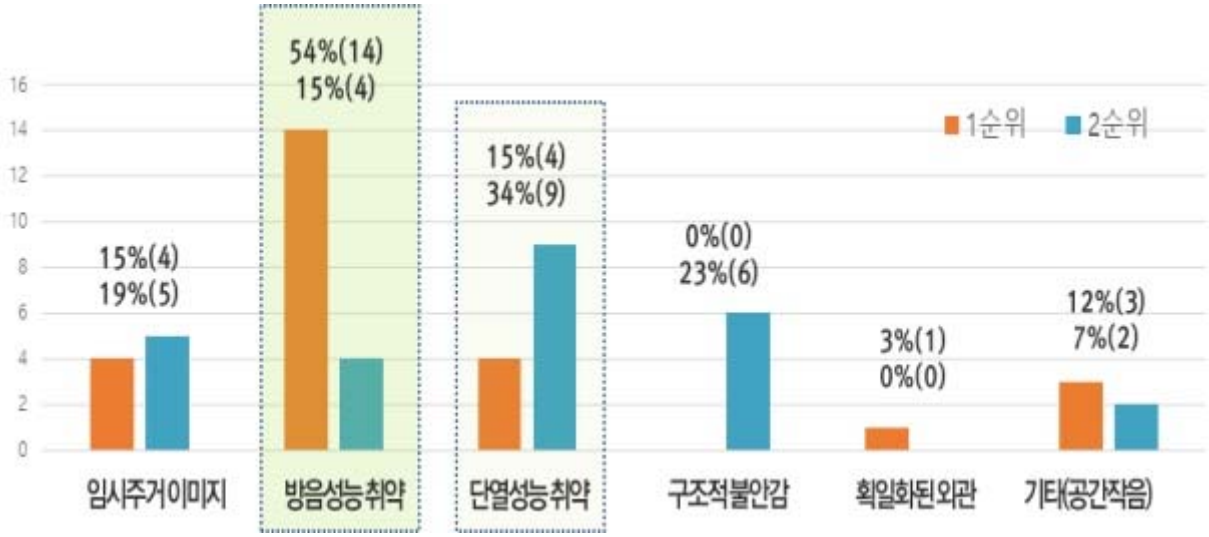
- 천안 두정동 모듈러주택의 장점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '짧은 공사기간'이 61.5%(16명)으로 나왔으며, 2순위로는 '저렴한 건축비'가 30.8%(8명)으로 나타남.

- 우선순위에 따른 가중치 결과는 '짧은 공사기간', '저렴한 건축비', '자유로운 입지'순으로 나타남

- '친환경적 건축물', '부품의 표준화'는 가장 낮은 순위로 나타남. 낮은 점수의 이미지들을 추후 긍정적 이미지로 개선할 수 있는 활동이 필요할 것으로 보임

- 모듈러주택의 장점은 '짧은 공사기간'과 '저렴한 건축비'로 인식

㉤ 모듈러주택의 단점 인식



[그림 2.3.15] 모듈러주택 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택)

[표 2.3.9] 모듈러주택의 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택)

구분		임시주거 이미지	방음성능 취약	단열성능 취약	구조적 불안감	획일화된 외관	기타 (작은 실크기)
1순위	빈도	4	14	4	0	1	3
	%	15.4	53.8	15.4	-	3.8	11.5
2순위	빈도	5	4	9	6	0	2
	%	19.2	15.4	34.6	23.1	-	7.7
가중치	점수	85	176	121	54	10	48

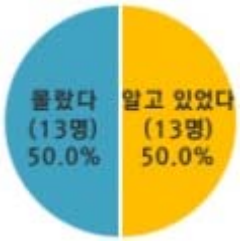
- 천안 두정동 모듈러주택의 단점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '방음성능 취약'이 53.8%(14명)으로 나왔으며, 2순위로는 '단열성능 취약'이 34.6%(9명)으로 나타남

- 우선순위에 따른 가중치 결과는 '방음성능 취약', '단열성능 취약', '임시주거 이미지' 순으로 나타남

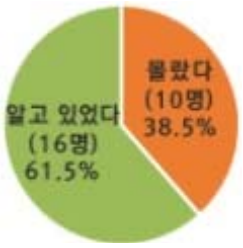
- '방음성능 취약', '단열성능 취약', '임시주거 이미지'등 단점으로 인식되는 부분들에 대한 인식 및 문제점에 대한 개선 방향에 대한 연구 필요. 특히 방음성능에 대한 개선이 시급하다고 보임

㉤ 소결

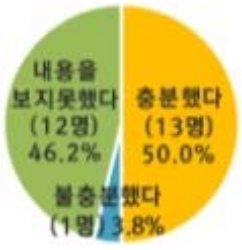
❍ 모듈러주택에 대한 인식



[그림 2.3.16] 모듈러주택 인지도



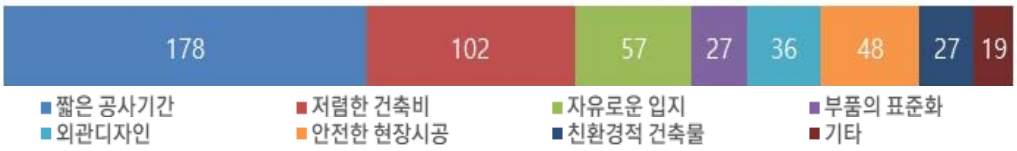
[그림 2.3.17] 현 주택의 모듈러주택 인지



[그림 2.3.18] 사전 정보 충족도

- 13세대(50.0%)가 입주전 모듈러주택에 대해 인지하고 있었으며, 입주한 주택이 모듈러주택이라는 것을 16세대(61.5%)가 인지하고 있었음
- 입주자 공고시 사전정보 제공에 대해서는 13세대(50.0%)가 충분했다고 응답하였으며, 내용을 못 보거나 불충분했다고 응답한 이는 13세대(50.0%)로 나타남
- 이는 고령자들의 경우 본인이 신청하기보단 타인(가족 및 친인척)등이 대리로 신청한 경우가 많기 때문으로 판단되며, 고령자를 대상으로 건축되는 모듈러주택은 기존과는 다른 정보 전달 방법이 필요

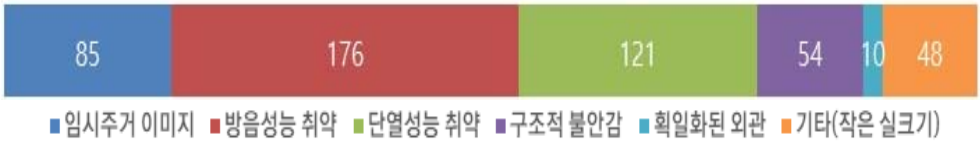
❍ 모듈러주택에 대한 장점



[그림 2.3.19] 모듈러주택의 장점

- 모듈러주택의 장점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '짧은 공사기간'이 178점으로 나왔으며, 2순위로는 '저렴한 건축비'이 102점으로 나타남(우선순위에 따른 가중치 결과)
- '친환경적 건축물'과 '부품의 표준화'가 모듈러주택의 장점 중 낮게 나타남. 따라서 점수가 낮게 나온 부품 표준화에 대한 고려와 친환경성 등에 대한 홍보 및 연구가 필요

❍ 모듈러주택에 대한 단점



[그림 2.3.20] 모듈러주택의 단점

- '방음성능 취약', '단열성능 취약', '임시주거 이미지'등 단점으로 인식되는 부분들에 대한 인식 및 문제점에 대한 개선 방향에 대한 연구 필요. 특히 방음성능에 대한 개선이 시급하다고 보임

② 모듈러주택 발전방향

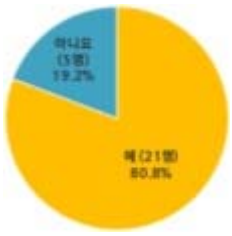
㉠ 현 주택의 추후 거주의향

- 현 모듈러주택에 계속해서 거주할 의향이 있냐는 질문에, 의향이 있다고 답한 비율은 21명(80.8%), 아니라고 대답한 비율 5명(19.2%)와 비교해서 압도적으로 높은 비율로 나타남

- 거주할 의향이 없는 응답자는 이유로 실의 규모를 가장 큰 이유로 언급. 이는 모듈러건축의 한계라 할 수 있는 실 폭의 문제로, 가구를 배치하는데 어려움이 있다고 거주민이 얘기함. 이어서 소음 문제, 평면의 형태 순, 대중교통 이용의 불편함 등으로 답함

- 응답자 중 80.8%가 앞으로도 계속 거주할 의향이 있다고 답함. 거절한 이유로 언급한 실의 규모, 평면의 형태(가구 배치의 어려움), 소음, 대중교통 등의 문제를 개선할 필요가 있음

[표 2.3.10] 현 주택 거주의향



[그림 2.3.21]
현 주택 거주의향

거절 이유
- 실의 규모가 작아서 생활하기 불편함 - 평면의 형태가 원룸형이라 불편 - 고령자 입장에서 대중교통 이용이 불편함

[표 2.3.11] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교

구분	두정동 모듈러주택	
	빈도	%
예	21	80.8
아니오	5	19.2
내용을 보지 못했다	12	46.2

㉡ 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성

- 모듈러주택이 3~4인 가구(일반적인 가구)이 생활하기에 적합하다고 생각하는지에 대한 질문에 매우 적합하다 1명(3.8%), 적합하다 2명(7.7%), 보통이다 15명(57.7%), 부적합하다 4명(15.4%), 매우 부적합하다 4명(15.4%)로 답함

- 응답자 중 적합하다고 응답(매우 적합, 적합으로 응답)한 세대는 3명(11.5%)으로 나타났으며, 부적합(부적합, 매우 부적합으로 응답)하다고 응답한 세대는 8명(30.8%)으로, 부적합하다고 판단한 세대가 더 많이 나타남

- 3~4인 가구의 거주 적합성에 대해서는 부적합하다는 인식이 높은 것으로 나타남. 이는 인터뷰에서 나타난 '실의 크기'의 문제로 인한 인식과 더불어 앞선 부정적 인식으로 인해서 나타난 결과로 보임

- 적합하다는 응답자 비율 보다는 부적합하다는 비율이 더 높게 나타나므로, 모듈러주택에서 사용자 선호도를 고려한 다양한 평면유형 개발이 필요하다고 보임



[그림 2.3.22] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성

[표 2.3.12] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성(천안 두정동 모듈러주택)

구분	매우 적합	적합	보통	부적합	매우 부적합
빈도	1	2	15	4	4
%	3.8	7.7	57.7	15.4	15.4

㉣ 모듈러주택의 개선될 사항

- 모듈러주택 공급 확대를 위한 보완사항으로 응답자의 53.8%(14명)는 방음성능, 42.3%(11명)은 관리비 절감, 30.8%(8명)은 환기 및 채광이라고 답했으며, 단열성능, 모듈러주택 이미지, 개선될 점 없음이 26.9%(7명), 기타(실의 크기) 15.4%(4명) 순으로 나타남

- 외관디자인의 경우 입주세대 대부분이 만족했으며, 모듈러주택 개선사항으로 0%(0명)으로 나타남. 기타 의견으로 나온 사항은 실의 크기, 내부 평면(내부 수납, 가구 배치) 등으로 나타남

- 모듈러주택의 개선될 사항으로 응답한 '방음성능'(53.8%, 14명), '관리비 절감'(42.3%, 11명), '환기 및 채광'(30.8%, 8명)에 대한 개선이 시급하다고 판단됨



[그림 2.3.23] 모듈러주택 공급 확대를 위한 개선사항

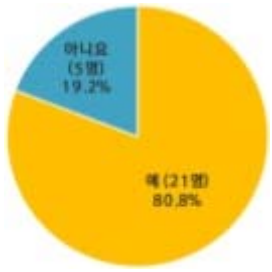
[표 2.3.13] 모듈러주택의 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택)

구분	개선될 점 없음	방음성능	단열성능	환기 및 채광	모듈러 주택 이미지	관리비 절감	외관 디자인	기타
빈도	7	14	7	8	7	11	0	4
%	26.9	53.8	26.9	30.8	26.9	42.3	-	15.4

㉣ 소결

❍ 현 주택의 추후 거주의향

[표 2.3.14] 입주 전 모듈러주택 인지 여부



[그림 2.3.24]
현 주택 거주의향

구분	두정동 모듈러주택	
	빈도	%
예	21	19.2
아니요	5	80.8

- 응답자 중 80.8%가 앞으로도 계속 거주할 의향이 있다고 답함. 거절한 이유로 언급한 실의 규모, 평면의 형태(가구 배치의 어려움), 소음, 대중교통 등의 문제를 개선할 필요가 있음

❍ 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성

[표 2.3.15] 입주 전 모듈러주택 인지 여부



[그림 2.3.25] 모듈러주택의
3~4인 가구 생활 적합성

구분	두정동 모듈러주택	
	빈도	%
적합하다	21	19.2
보통이다	5	80.8
부적합하다		

- 적합하다는 응답자 비율(11%, 3명) 보다는 부적합하다는 비율(31%, 8명)이 더 높게 나타나므로, 모듈러주택에서 사용자 선호도를 고려한 다양한 평면유형 개발이 필요하다고 보임

❍ 모듈러주택의 개선될 사항



[그림 2.3.26] 모듈러주택의 개선될 사항

- 모듈러주택의 개선될 사항으로 응답한 '방음성능'(53.8%, 14명), '관리비 절감'(42.3%, 11명), '환기 및 채광'(30.8%, 8명)에 대한 개선이 시급하다고 판단됨

(4) 천안두정 모듈러주택 주거만족도

① 현 주택의 전체 만족도

- 천안 두정동 모듈러주택의 전반적인 만족도를 살펴본 결과 매우 만족 4명(15.4%), 만족 10명(38.5%), 보통 8명(30.8%), 불만족 4명(15.4%), 매우 불만족 0명으로 나타남

- 천안두정 모듈러주택에 대한 전체적인 만족도는 53.9% (전체 응답자 26세대 중 14세대)가 만족하는 것으로 나타남

[표 2.3.16] 천안두정 모듈러주택의 전체 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
빈도	4	10	8	4	0
%	15.4	38.5	30.8	15.4	-

② 요소별 전반적 만족도

- 요소별 전반적 만족도를 살펴본 결과 주거성능 요소의 전반적 만족도는 3.38, 주택계획 요소는 3.50, 주변환경은 3.88로 나타남. 만족도 중 주변환경 요소가 가장 높고 주택계획, 주거성능 요소 순으로 나타남

- 각 요소별에 해당하는 문항들에 대한 평균점수를 비교시, 주변환경 3.64로 가장 높게 나타났으며, 주거성능 3.60, 주택계획 3.54 순으로 나타남

- 천안두정 모듈러주택의 전반적 만족도와 문항 평균점수 비교시, 주변환경의 만족도가 전반적 만족도와 문항 평균점수 둘다 높게 나타남. 주택 계획은 3.54(문항평균점수), 3.50(전반적만족도)가 비슷하게 나타났으며, 주거 성능 부분은 3.60은 문항평균점수는 비교적 높게 나타났지만 전반적 만족도에서는 3.38로 낮게 나타남

- 주거성능 부분은 문항별로 높은 만족도를 보이는 부분이 있어서 문항평균점수는 비교적 높게 나타났지만, 소음부분의 불만족으로 인해 전반적인 만족도 점수가 낮게 나온 것으로 판단됨

[표 2.3.17] 요소별 주거만족도 비교(천안 두정동 모듈러주택)

구분	주거성능		주택계획		주변환경	
	전반적만족도	문항평균점수	전반적만족도	문항평균점수	전반적만족도	문항평균점수
점수	3.38	3.60	3.50	3.54	3.88	3.64



[그림 2.3.27] 전반적 주거만족도 비교(천안 두정동 모듈러주택)

③ 주거성능 요소 만족도

㉠ 주거성능의 전반적 만족도

- 주거성능의 전반적인 만족도는 매우 만족 3명(11.5%), 만족 9명(34.6%), 보통 9명(34.6%), 불만족 5명(19.2%), 매우 불만족 0명으로 전체적으로 46.1%(12명)가 만족하며, 19.2%(5명)가 불만족이라고 답함

- 주거성능에 있어서 대체적으로 만족함(46.1%, 12명)

[표 2.3.18] 주거성능의 전반적인 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
빈도	3	9	9	5	0
%	11.5	34.6	34.6	19.2	-

㉡ 주거성능의 문항별 만족도

- 문항별 만족도를 살펴보면 조리시 환기 3.35, 샤워시 환기 3.54, 기밀 3.65, 누수결로 4.23, 창문결로 4.08, 단열 3.38, 난방 3.27, 채광 3.81, 윗층 발자국 소음 3.62, 윗층 음악 소음 3.69, 화장실 소음 3.69, 옆세대 생활소음 3.19, 외부소음 3.54, 복도소음 2.85, 타세대 방문소음 3.23, 본인 세탁기 진동 3.96, 타인 세탁기 진동 3.92, 주방후드 진동 3.77로 나타남

- 복도 소음의 경우 2.85로 다른 주거성능 요소들보다 현저히 낮은 만족도를 보임. 인터뷰 의견에서도 공통적으로 복도 소음에 대한 문제의식이 높았으며, 엘리베이터에서 발생하는 소음, 복도에서 발생하는 소음 등의 발생에 대한 불만이 나타남

- 옆세대 생활소음 3.19, 타세대 방문소음 3.23도 마찬가지로 낮은 만족도를 보임. 옆세대 방문소음 및 타세대 방문소음은 복도 소음과 연관된 소음으로 판단됨

- 항목별 만족도 중 결로 만족도의 평균이 4.15로 가장 높게 나타났으며, 진동 만족도의 평균이 3.88로 다른 요소에 비해 상대적으로 높게 나타남

- 복도 소음의 문제가 심각하며, 옆세대 생활소음, 타세대 방문소음 등이 낮게 나타남

- 결로요소에서 높은 만족도를 보이나, 단열,난방 요소에서 만족도가 비교적 낮게 나타남



[그림 2.3.28] 주거성능 요소별 만족도

〈인터뷰 의견〉
- 채광이 잘 안되고, 환기를 하기 불편함 - 엘리베이터 소리가 방안까지 다 들리고, 윗집 소음도 심한 것 같음 - 욕실바닥이 조금씩 꺼지는 느낌이 들어 불안함 - 복도에서 나는 소리가 다 들리고 엘리베이터 소리도 들림 - 화장실 배수가 잘 안되고, 환기가 잘되지 않음 - 환기가 잘 되지 않아, 복도 문이며 베란다 문까지 다 열어야 됨 - 조리시 발생되는 연기가 감지 센서에 닿아서 울릴까봐 걱정됨. - 외벽에 맞닿은 벽에서 차가운 냉기가 심함

㉣ 소결

- 주거성능 만족도를 살펴본 결과 복도 소음, 옆세대 생활소음에 대한 문제가 제일 심각한 것으로 나타남. 복도 소음은 옆세대 생활소음과 타세대 방문 소음 등도 같이 연관된 문제로 판단되며, 현관문의 방음 성능 및 복도와 맞닿은 벽에 대한 방음 성능에 대한 점검 및 보완이 필요할 것으로 보임

- 진동과 관련된 항목들도 만족도가 높은 것으로 나타남. 이는 두정동 모듈러주택 실증단지의 주변환경, 특히 인접도로의 경우 주택가 내부도로이므로 차량통행 빈도가 낮기에 외부 진동원의 영향으로 판단됨

- 결로요소에 대한 만족도는 높은 반면에 단열성능에 대한 만족도는 낮은 것으로 나타남. 또한 단열성능에 대한 낮은 만족도 때문에 겨울철 난방요금에 관한 만족도도 낮게 나타남. 따라서 단열재에 대한 고려가 필요

④ 주택계획 요소 만족도

㉠ 주택계획의 전반적 만족도

- 주택계획의 전반적인 만족도는 매우 만족 4명(15.4%), 만족 9명(34.6%), 보통 9명(34.6%), 불만족 4명(15.4%), 매우 불만족 0명으로 전체적으로 50.0%(13명)가 만족하며, 15.4%(4명)가 불만족이라고 답함

- 주택계획에 있어서 대체적으로 만족함(50.0%, 13명)

[표 2.3.19] 주택계획의 전반적인 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
빈도	4	9	9	4	0
%	15.4	34.6	34.6	15.4	-

㉡ 주택계획의 문항별 만족도

- 항목별 만족도 평균을 살펴보면 내부평면 3.46, 실의 규모 3.27, 취사공간 3.31, 냉난방 시스템 4.08, 외관디자인 4.08, 내부수납 공간 3.04로 나타남

- 내부수납 공간의 경우 3.04로 가장 낮은 만족도를 보임. 인터뷰 의견에서도 공통적으로 수납공간의 부족을 문제점으로 지적하였음. 이는 내부평면, 실의 규모와도 연관되는 문제점으로 협소한 공간, 빌트인 가구(built-in)가구 부재 등이 원인이라고 판단됨. 거주민 인터뷰 과정 중에서도 임대료가 상승하더라도 수납공간 설치가 필요하다는 의견이 있었음

- 다음으로 실의 규모, 취사공간, 내부평면 순으로 만족도가 낮게 나타남. 특히 20대 연령층의 경우 취사공간, 수납공간에 대한 불만이 더 큼. 이는 젊은 계층의 특성상 편리함을 추구하는 라이프스타일에 기인하여 넓은 내부공간을 선호하기 때문인 것으로 판단됨

- 냉난방 시스템과 외관디자인은 각 4.08점으로 높은 만족도를 보임(냉난방시스템의 경우, 주거성능요소의 단열성능과 난방요금이 만족도가 낮은 것과 대조되는데, 이는 아직 입주가 진행 중이며, 일부 입주세대의 경우 여름철을 겪지 않은 세대로 인해서 나타난 결과로 보임)

- 수납공간 항목의 만족도가 가장 낮게 나타났으며, 실 내부 가구 옵션이 필요하다는 의견이 있음. 특히 20대 연령층에서 불만이 큰 것으로 나타났으며, 추후 연령층을 고려한 평면 계획 및 수납 계획에 대한 연구가 필요

- ‘실의 규모’는 2번째로 낮은 만족도로 나타남. 특히 가구를 배치하는데 있어서 폭이 좁아 불리하다는 의견이 나타남



[그림 2.3.29] 주택계획 요소별 만족도

〈인터뷰 의견〉
- 조리공간이 너무 작고, 주방과 침실이 분리되어 있지 않아서 불편하다. - 수납공간이 부족하고, 붙박이장 설치가 필요하다. - 임대료가 상승하더라도 기본적인 가구가 설치되어 있으면 좋겠다. - 대체적으로 실크기가 작고 베란다도 작아서 물건을 놓을 곳이 없다. - 수납이 불편하고, 벽면에 벽선반이나 벽을 확용한 수납공간이 있었으면 좋겠다. - 대학생 및 청년들의 유닛에 기본적인 가구가 없어서 불편하다. - 가구가 배치되는 것을 생각해서 평면이 구성되어 있으면 좋겠다. - 관리비가 너무 많이 나온다.

㉣ 소결

- 주택계획 만족도를 살펴본 결과 내부수납 공간에 대한 만족도가 가장 낮음. 인터뷰 과정에서도 수납에 대한 문제점 지적이 많았음. 추후 모듈러주택을 계획함에 있어서 수납공간에 대한 연구가 필요함

- 외관디자인과 냉난방 시스템은 주택계획 만족도에서 가장 높은 4.08점으로 나타남 (냉난방시스템의 경우, 주거성능요소의 단열성능과 난방요금이 만족도가 낮은 것과 대조되는데, 이는 아직 입주가 진행 중이며, 일부 입주세대의 경우 여름철을 겪지 않은 세대로 인해서 나타난 결과로 보임). 모듈러주택의 특징을 반영한 독특하고 개성있는 외관디자인을 통해 일반 대중에게 어필할 수 있을 것으로 보임

- 20대 연령층의 경우 취사공간, 수납공간에 대한 불만이 더 큰 것으로 파악됨. 이는 젊은 계층의 특성상 편리함을 추구하는 라이프스타일에 기인하여 넓은 내부공간을 선호하기 때문인 것으로 판단됨. 추후 연령층을 고려한 평면 계획 및 수납 계획에 대한 연구가 필요함

⑤ 주변환경 요소 만족도

㉠ 주변환경의 전반적 만족도

- 주변환경의 전반적인 만족도는 매우 만족 6명(23.1%), 만족 14명(53.8%), 보통 4명(15.4%), 불만족 1명(3.8%), 매우 불만족 1명(3.8%)으로 전체적으로 과반수 이상인 76.9%가 만족하며, 7.6%만이 불만족이라고 응답함

- 주변환경에 있어서 상당수가 만족함(76.9%, 20명)

[표 2.3.20] 주변환경의 전반적인 만족도

구분	매우 만족	만족	보통	불만족	매우 불만족
빈도	6	14	4	1	1
%	23.1	53.8	15.4	3.8	3.8

㉡ 주변환경의 문항별 만족도

- 주변환경 요소 만족도의 항목별 평균을 살펴보면 근린생활시설(음식점, 슈퍼마켓, 쇼핑시설 등) 4.04, 대중교통 이용의 편리성 3.58, 여가활동시설(영화관, 공원) 3.31로 나타남

- 주변환경 요소에서 근린생활시설(음식점, 슈퍼마켓, 쇼핑시설 등)은 4.04점으로 가장 높은 만족도를 보임. 이는 주변에 위치한 마트와 다수의 편의점 등이 위치하고 있기에 만족도가 높은 것으로 판단됨

- 여가활동시설의 경우 3.31점으로 상대적으로 낮게 나타남. 이는 주택가 근처에 위치한 특성상 영화관이나 기타 여가시설이 부족하기에 나타난 결과로 보임

- 대중교통 이용의 편리성은 3.58점으로 비교적 만족도가 높은 것으로 판단되나 몸이 불편한 고령자의 경우 버스 정류장의 거리(가장 가까운 정류장의 거리가 400m)가 상대적으로 멀게 느껴져서 만족도에 영향을 줬다고 판단됨

- 추후 고령자나 장애인 등을 대상으로 한 모듈러주택의 경우 대지의 입지선정에 대중교통에 대한 고려도 필요할 것으로 보임



[그림 2.3.30] 주변환경 요소별 만족도

〈인터뷰 의견〉
- 마트가 가깝고 대중교통을 이용하는데도 큰 무리가 없어서 편리하다. - 다리가 불편한 노인이라 대중교통을 이용하기에 불편하다.

㉣ 소결

- 주변환경 만족도를 살펴본 결과 상당수가 만족하는 것으로 나타남. 그러나 몸이 불편한 고령자의 경우 대중교통 이용의 편리성 요소에서 낮은 만족도를 보임. 추후 고령자나 장애인 등을 대상으로 한 모듈러주택의 경우 대지의 입지선정에 대중교통에 대한 고려도 필요할 것으로 보임

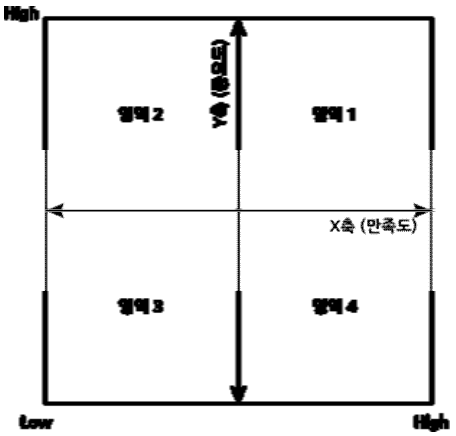
- 향후 모듈러 주택이 입지할 때 거주자의 특성을 파악하여, 입지 여건을 분석할 필요가 있음(특히 고령자, 주거약자의 경우 대중교통에 대한 고려가 필요할 것으로 보임)

(5) 주거만족도 향상을 위한 우선 순위 도출

① 중요도-만족도 분석

- 주거만족도 향상을 위한 우선 순위를 도출하기 위해, 중요도-만족도 분석을 사용 (중요도-만족도 분석을 통해 어떤 서비스 속성이 시급한 개선이 필요한지 확실하게 인식하기 위해서)

- 중요도-만족도 분석이란 중요도 및 만족도를 측정(평가)한 결과를 4분면 상에 나타낸 것으로, 1영역은 중요도도 높고, 만족도도 높은 영역으로 현재의 상황을 유지해야될 영역이며, 2영역은 중요도에 비해 만족도가 낮아 시급히 개선되어야 할 영역이며, 3영역은 중요도가 낮고 만족도도 낮은 영역이며, 4영역은 중요도에 비해 만족도가 높아 상대적으로 우선 순위가 낮은 영역임



[그림 2.3.31] 중요도-만족도 분석 매트릭스
(출처:https://sooupforlee.tistory.com/100)

- 중요도란 전체 만족도에 영향을 미치는 정도를 의미하며, 중요도를 산출하기 위해 단계적 회귀분석(Stepwise Regression Analysis)[3]을 실시

- 회귀분석을 통해, 표준화 계수 β[4]값을 산출하고 이를 중요도로 활용

- 독립변수간의 다중공선성을 살펴보기 위하여 공차한계(Tolerance)[5]값을 산출하고, 각 변수의 잔차들 간의 상관관계를 살펴보기 위해 Durbin-Watson[6] 값과 VIF[7] 값을 산출

3) 단계적 회귀분석이란 종속변수를 설명할 수 있는 많은 독립변수 중에서 회귀모형에 사용할 변수를 축자적으로 선택하는 방법으로, 중요도의 우선순위를 판별하기에 효과적임 (안화연, 이현민, 장옥연, 2015)

4) 각 독립변수들이 종속변수에 주는 영향력을 비교하기 위하여 '특정단위에 관계없는' 회귀계수가 필요. 따라서 모형에 있는 모든 독립변수와 종속변수들에 대해 평균 0, 분산 1로 만든 표준화 변환을 한 후, 회귀모형을 추정하면 이 경우의 회귀계수를 표준화계수 또는 β값이라고 함

5) 공차한계값은 0.1 이하일 때 다중공선성에 문제가 있다고 해석

6) 자기상관이 없는지를 검토하는 방법 중 하나로, 회귀분석에서는 독립변수들 간에 상관관계가 높으면 분석과정에서 계산되는 수치들이 심각하게 부정확해지는 다중공선성 문제가 발생함. 값이 0~4 사이의 값을 가지며, 2에 가까울수록 자기상관이 없음. 값이 2보다 작으면 양의 자기상관 관계를, 2가 넘으면 음의 자기상관 관계를 갖고 있음을 의미

7) VIF(Variance Inflation Factor, 분산팽창요인)으로 다중공선성을 평가하는 지표이다. 독립변수들의 VIF값이 10 이상이면 다중공선성이 존재한다고

② 주거성능 요소 중요도 분석

㉠ 주거성능 요소 중요도 분석

- 주거성능 요소 중요도를 도출하기 위하여 단계별 회귀분석을 실시한 결과 총 18개의 변인 중 복도소음, 외부소음, 채광 등 3개의 변인 채택

- 중요도는 회귀분석 결과 도출된 표준화 계수 베타(β)값을 가지고 판별하였으며, 외부소음 0.405, 채광 0.398, 복도소음 0.315 순으로 중요도가 나타남

- t값[8]은 외부소음 3.339, 채광 3.330으로 $p<0.01$ 범위에서 유의한 것으로 나타났고, 복도소음은 $p<0.05$ 범위에서 유의한 것으로 나타남

- 설명력(R^2)[9]은 복도소음은 0.532, 복도소음과 외부소음은 0.648, 복도소음과 외부소음 및 채광까지는 0.766를 나타내 3개의 변인이 전체의 76.6%를 설명하는 것으로 나타남

[표2.3.21] 주거성능 요소 중요도 분석 결과

단계	변인	SE	β	t값 (유의도)	설명력 (R2)
1	(상수)	1.823		5.627	0.532
	복도소음	0.547	0.729	5.220***	
2	(상수)	0.723		1.467	0.648
	복도소음	0.389	0.519	3.570***	
	외부소음	0.439	0.401	2.760**	
3	(상수)	-0.255		-0.504	0.766
	복도소음	0.236	0.315	2.321**	
	외부소음	0.443	0.405	3.339***	
	채광	0.367	0.398	3.330***	

주 : *** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.1$

평가

8) 독립변수와 종속변수 간의 선형관계(관련성)가 존재하는 정도를 나타냄. t값이 크다는 것은 표준편차가 작다는 것으로 독립변수와 종속변수 간의 상관도가 높다는 의미이고, 표본의 크기가 커질수록 표준오차는 작아지므로 회귀계수에 대한 t값은 유의미하게 나오게 됨

9) 결정계수라고도 하며, 회귀모형에 있는 독립변수들이 종속변수값을 얼마나 잘 설명해주는가에 대한 척도로 사용. 계수가 1에 가까울수록 독립변수들의 설명력이 좋음을 나타내고, 0에 가까우면 설명력이 떨어지는 것을 의미

㉡ 주거성능 요소 중요도 다중공선성 분석

- 공차한계는 복도소음 0.577, 외부소음 0.724, 채광 0.743으로 모두 0.1 이상의 수치를 보여 다중공선성에는 문제가 없는 것으로 나타남

- Durbin-Watson값은 2.022으로 기준값인 2에 근접하고 0 또는 4에 가깝지 않기 때문에 잔차들 간에 상관관계는 없는 것으로 판단됨

- 이에 회귀모형은 적합한 것으로 나타남

[표 2.3.22] 주거성능 요소 다중공선성 및 Durbin-Watson 검증

변인	공차한계	VIF	Durbin-Watson 값
복도소음	0.577	1.732	2.022
외부소음	0.724	1.380	
채광	0.743	1.346	

㉢ 소결

- 단계별 회귀분석을 실시한 결과 총 18개 변인 중 복도소음, 외부소음, 채광 등 3개의 변인을 채택(18개의 변인 중 주거성능의 만족도에 영향을 미치는 변인으로 채택)하였으며, 중요도는 외부소음(0.405), 채광(0.398), 복도소음(0.315) 순으로 중요도가 나타남

- 따라서 도출된 3개의 변인(외부소음, 채광, 복도소음)은 주거성능의 만족도를 높이기 위해선 중요한 요소로 판단됨

③ 주택 계획 요소 중요도

㉠ 주택계획 요소 중요도 분석

- 주택 계획 요소 중요도를 도출하기 위하여 단계별 회귀분석을 실시한 결과 총 6개의 변인 중 내부평면 1개의 변인 채택

- 중요도는 회귀분석 결과 도출된 표준화 계수 베타(β)값을 가지고 판별하였으며, 내부평면의 베타(β)값이 0.652로 나타남

- t값은 내부평면 4.218으로 p<0.01 범위에서 유의한 것으로 나타남

- 설명력(R^2)은 0.426로서 전체의 42.6%를 설명하는 것으로 나타남

[표 2.3.23] 주택 계획 요소 중요도 분석 결과

단계	변인	SE	β	t값 (유의도)	설명력 (R2)
1	(상수)	1.132		1.952	0.426
	내부평면	0.684	0.652	4.218***	

주 : *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

㉡ 주택계획 요소 중요도 다중공선성 분석

- 공차한계는 내부평면 1.000로서 0.1 이상의 수치를 보여 다중공선성에는 문제가 없는 것으로 나타남

- Durbin-Watson값은 2.114으로 기준값인 2에 근접하고 0 또는 4에 가깝지 않기 때문에 잔차들 간에 상관관계는 없는 것으로 판단됨

- 이에 회귀모형은 적합한 것으로 나타남

[표 2.3.24] 주택 계획 요소 다중공선성 및 Durbin-Watson 검증

변인	공차한계	VIF	Durbin-Watson 값
내부평면	1.000	1.000	2.114

㉢ 소결

- 단계별 회귀분석을 실시한 결과 총 6개 변인 중 내부평면 1개의 변인을 채택(6개의 변인 중 주택계획의 만족도에 영향을 미치는 변인으로 채택)하였으며, 베타(β)값이 0.652로 나타남

- 따라서 도출된 1개의 변인인 내부평면이 주택계획의 만족도에 가장 큰 영향을 주는 중요한 요소로 판단됨

④ 주변환경 요소 중요도

㉠ 주변환경 요소 중요도 분석

- 주변환경 요소 중요도를 도출하기 위하여 단계별 회귀분석을 실시한 결과 총 3개의 변인 중 대중교통 이용의 편리성 1개의 변인 채택

- 중요도는 회귀분석 결과 도출된 표준화 계수 베타(β)값을 가지고 판별하였으며, 대중교통 이용의 편리성 0.818 중요도가 나타남

- t값은 대중교통 이용의 편리성 4.198으로 $p<0.01$ 범위에서 유의한 것으로 나타남

- 설명력(R^2)은 0.423로서 전체의 42.3%를 설명하는 것으로 나타남

[표 2.3.25] 주변환경 요소 중요도 분석 결과

단계	변인	SE	β	t값 (유의도)	설명력 (R2)
1	(상수)	0.960		1.349	0.423
	대중교통	0.818	0.651	4.198***	

주 : *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

㉡ 주변환경 요소 중요도 다중공선성 분석

- 공차한계는 내부평면 1.000로서 0.1 이상의 수치를 보여 다중공선성에는 문제가 없는 것으로 나타남

- Durbin-Watson값은 2.126으로 기준값인 2에 근접하고 0 또는 4에 가깝지 않기 때문에 잔차들 간에 상관관계는 없는 것으로 판단됨

- 이에 회귀모형은 적합한 것으로 나타남

[표 2.3.26] 주변환경 요소 다중공선성 및 Durbin-Watson 검증

변인	공차한계	VIF	Durbin-Watson 값
대중교통	1.000	1.000	2.126

㉢ 소결

- 단계별 회귀분석을 실시한 결과 총 3개 변인 중 대중교통 이용의 편리성 1개의 변인을 채택(3개의 변인 중 주변환경의 만족도에 영향을 미치는 변인으로 채택)하였으며, 베타(β)값이 0.818로 나타남

- 따라서 도출된 1개의 변인인 대중교통 이용의 편리성이 주변환경의 만족도에 가장 큰 영향을 주는 중요한 요소로 판단됨

⑤ 중요도-만족도 분석 소결

- 중요도 분석 결과를 종합한 결과 총 5개의 변인이 유의하게 나타났으며, 중요도 베타(β)값은 0.652에서 0.315 사이로 나타남

- 주택 내부평면 요소가 0.652로 가장 중요하게 나타났고, 다음으로는 대중교통 이용의 편리성이 0.651으로 중요하게 나타남

- 다음으로는 외부소음 0.405, 채광 0.398, 복도소음 0.315 순으로 나타남

- 내부평면 항목을 제외하고는 모듈러주택 외부환경 요소들의 중요도가 높게 나타남

[표 2.3.27] 중요도 분석 결과 종합

우선순위	변인	SE	β
1	내부평면	0.684	0.652
2	대중교통	0.818	0.651
3	외부소음	0.443	0.405
4	채광	0.367	0.398
5	복도소음	0.236	0.315

⑥ 중요도-만족도 분석을 통한 우선순위 도출

- 앞에서 산출한 중요도와 만족도를 기준으로 중요도-만족도 분석을 하였으며, 향후 모듈러 주택 주거만족도 향상을 위해 우선적으로 개선해야 할 요소가 무엇인지 도출하였음

- 중요도-만족도 분석결과 2영역에 나오는 요소가 중요도는 높지만 만족도가 낮은 영역으로 시급한 개선이 필요한 요소로 나타남. 본 분석에서는 내부평면과 대중교통 이용의 편리성이 2영역으로 개선이 시급함

- 중요도도 낮고 만족도도 낮은 3영역에 속하는 변인은 복도소음과 외부소음 요소로 나타남. 복도소음과 외부소음 요소들은 다른 요소들과 비교하여 개선의 우선 순위는 낮다고 판단할 수 있으나, 만족도가 다른 요소들보다 매우 낮으므로 시급히 해결해야 할 과제로 나타남

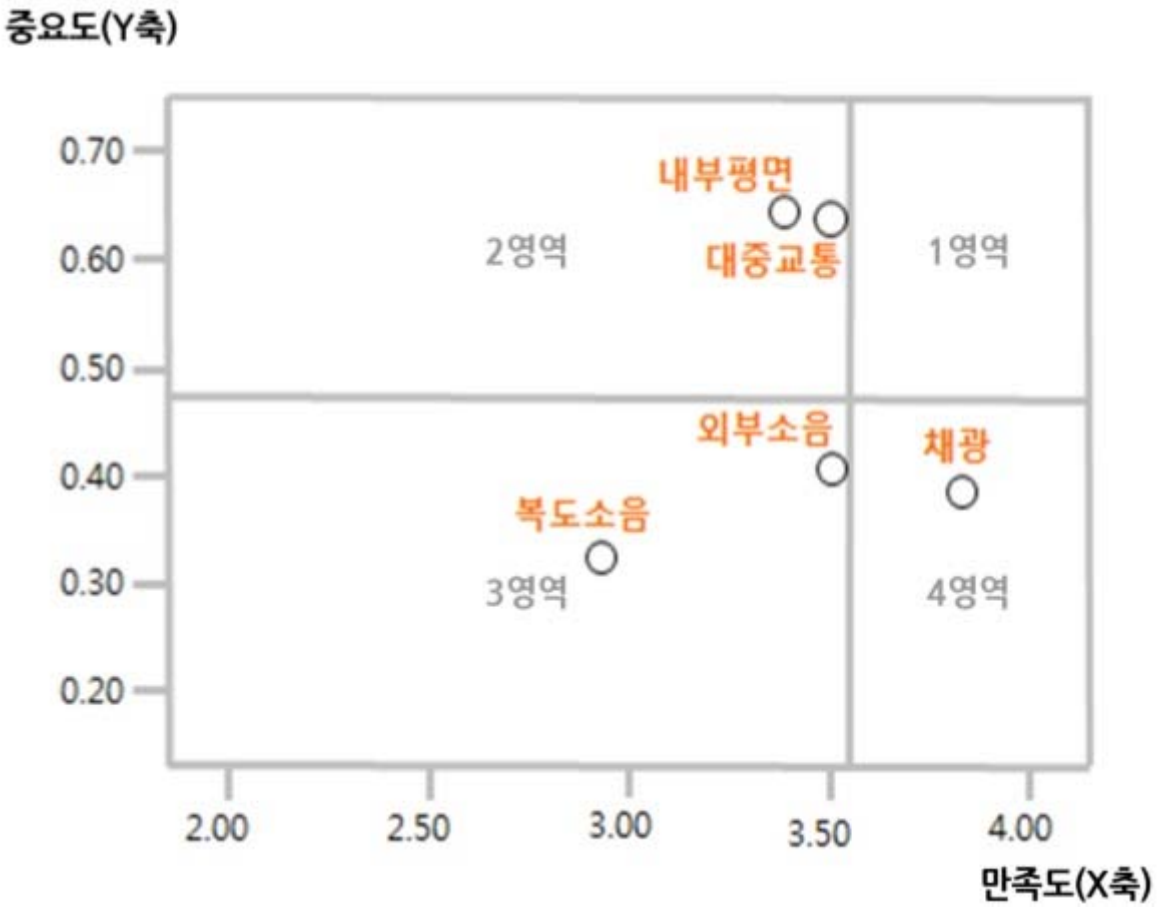
- 중요도는 낮지만 만족도는 높은 4영역에 속하는 변인은 채광 요소로 나타남(따라서 현재의 정도를 유지하거나 노력을 덜 기울여도 됨)

- 결론적으로 향후 모듈러 주택 공급 확대를 위해서는 내부평면과 대중교통 이용의 편리성 요소를 1차적으로 우선하여 개선해야할 필요가 있음

- 또한 다른 요소에 비해 만족도가 매우 낮게 나타난 복도소음과 외부소음 문제도 시급히 해결해야할 요소로 보임

[표 2.3.28] 중요도-만족도 분석 결과

영역	변인	β	만족도
2	내부평면	0.652	3.46
	대중교통	0.651	3.58
3	복도소음	0.315	2.85
	외부소음	0.405	3.54
4	채광	0.398	3.81



[그림 2.3.32] 중요도-만족도 분석 결과

다) 주거만족도 비교 분석

(1) 두정동과 가양동 모듈러주택에 대한 주거만족도 비교

① 일반사항 비교

- 두정동 모듈러주택은 고령자와 사회초년생을 위한 행복주택으로 20~30대 및 70~80대의 연령층이 구분됨. 가양동의 경우 사회초년생만 신청이 가능. 따라서 두정동과 가양동 모듈러주택 거주민의 평균연령 비교시, 두정동의 경우가 가양동에 비해 높은 연령대로 구성됨

- 두정동 모듈러주택 세대유형은 고령자와 사회초년생으로 두가지 유형이며, 가양동의 경우 사회초년생(1인실)과 (사회초년생에 해당하는)신혼부부(2인실)로 이루어져 있음

- 두정동 모듈러주택의 경우 1인실이 24세대(60%), 2인실이 16세대(40%)로 구성되어 있고, 가양동의 경우 1인실이 28세대(93%), 2인실이 2세대(7%)로 구성되어 있음

[표 2.3.29] 조사 대상자 일반 특성 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분		두정동 모듈러주택		가양동 모듈러주택	
		빈도	%	빈도	%
성별	남	12	46.2	11	44.0
	여	14	53.8	14	56.0
연령	20대	12	46.2	20	80.0
	30대	9	34.6	5	20.0
	70대	3	11.5	-	-
	80대	2	7.7	-	-
이전 주거유형	아파트	9	34.6	6	24.0
	다가구주택	5	19.2	1	4.0
	단독주택	3	11.5	1	4.0
	빌라/다세대	3	11.5	5	20.0
	오피스텔	4	15.4	9	36.0
	기타	2	7.7	3	12.0
세대유형	고령자	5	19.2	-	-
	사회초년생	21	80.8	25	100

[표 2.3.30] 주택 규모 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	두정동 모듈러주택		가양동 모듈러주택	
	규모(㎡)	세대수	규모(㎡)	세대수
1인실	16.0	24	18.0	28
2인실	26.0	16	36.0	2

② 모듈러주택에 대한 인식

㉠ 모듈러주택 인지도

- 가양동 모듈러주택의 경우 '알고 있었다'고 응답한 비율이 48.0%(12명), '몰랐다'고 응답한 비율이 52.0%(13명)으로 나타났으며, 두정동 모듈러주택의 경우 50.0%(13명)으로 '알고 있었다'와 '몰랐다'의 비율이 같게 나타남

- 가양동과 두정동 모듈러주택 모두 절반수준으로 입주전 모듈러주택에 대해서 인지하고 있는 것으로 나타남

[표 2.3.31] 입주 전 모듈러주택 인지 여부(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
알고 있었다	12	48.0	13	50.0
몰랐다	13	52.0	13	50.0

㉡ 현 주택의 모듈러주택 인지

- 현 입주 주택이 모듈러주택이라는 것을 알고 있던 응답자는 가양동의 경우 23명(92.0%)가 인지하고 있었으며, 두정동의 경우 16명(61.5%)가 인지하는 것으로 나타남

- 가양동과 비교했을 때 입주한 주택이 모듈러주택이라는 것을 인지한 비율이 낮은 것을 알 수 있음. 이는 고령자들의 경우 본인이 신청하기보단 타인(가족 및 친인척)등이 대리로 신청한 경우가 많기 때문으로 판단됨

[표 2.3.32] 현 입주주택의 모듈러주택 인지 여부(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
알고 있었다	23	92.0	16	61.5
몰랐다	2	8.0	10	38.5

㉣ 현 입주주택의 모듈러주택 정보 제공성

- 두정동의 경우, 응답자 중 13명(50.0%)이 충분하다고 응답했으나, 13명(50.0%)이 불충분하거나 보지 못했다고 답하였음. 불충분하다고 응답한 사람은 1명(3.8%)이며, 보지 못했다가 12명(46.2%)인 것으로 보아, 정보가 불충분한 것보단 타인(가족 및 친인척)의 대리 신청으로 인한 정보의 미전달이 원인으로 보임

- 가양동과 비교했을 시, 보지 못했다고 응답한 비율이 46.2%(12명)으로 높은 것으로 보아, 앞서 설명한 고령자 세대의 가족 및 친인척의 대리 신청으로 인한 원인이 크다고 판단되며, 고령자를 대상으로 건축되는 모듈러주택은 기존과는 다른 정보 전달 방법이 필요하다고 판단됨

[표 2.3.33] 현 입주주택의 모듈러주택 정보 제공성(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
충분했다	13	52.0	13	50.0
충분하지 않았다	8	32.0	1	3.8
내용을 보지 못했다	4	16.0	12	46.2

㉤ 모듈러주택의 장점 인식

- 천안 두정동 모듈러주택의 장점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '짧은 공사기간'이 61.5%(16명)으로 나왔으며, 2순위로는 '저렴한 건축비'가 30.8%(8명)으로 나타남

- 가양동의 경우, 모듈러주택의 장점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '짧은 공사기간'이 60.0%(15명)으로 나왔으며, 2순위로는 '저렴한 건축비'이 20.0%(5명)으로 나타남

[표 2.3.34] 모듈러주택의 장점 인식(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분		짧은 공사기간		저렴한 건축비		자유로운 입지		부품의 표준화		외관 디자인		안전한 현장시공		친환경적 건축물		기타	
		두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양
1순위	빈도	16	15	3	5	3	1	0	0	0	1	3	2	0	0	1	0
	%	61.5	60.0	11.5	20.0	11.5	4.0	–	–	–	4.0	11.5	8.0	–	–	3.8	–
2순위	빈도	2	4	8	5	3	5	3	2	4	3	2	4	3	1	1	0
	%	7.7	16.0	30.8	20.0	11.5	20.0	11.5	8.0	15.4	12.0	7.7	16.0	11.5	4.0	3.8	–

- 두정동과 가양동 모듈러주택은 '친환경적 건축물', '부품의 표준화'는 가장 낮은 순위로 나타남. 따라서 '친환경적 건축물', '부품의 표준화'등 낮은 점수의 이미지들을 추후 긍정적 이미지로 개선할 수 있는 활동이 필요할 것으로 보임



[그림 2.3.33] 모듈러주택 장점 인식(천안 두정동 모듈러주택)



[그림 2.3.34] 모듈러주택 장점 인식(가양동 모듈러주택)

㉤ 모듈러주택의 단점 인식

- 천안 두정동 모듈러주택의 단점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '방음성능 취약'이 53.8%(14명)으로 나왔으며, 2순위로는 '단열성능 취약'이 34.6%(9명)으로 나타남

- 가양동의 경우, 모듈러주택의 단점에 대해 물어본 결과 1순위로는 '구조적 불안감'이 56.0%(14명)으로 나왔으며, 2순위로는 '임시 주거 건축물 이미지'이 32.0%(8명)으로 나타남

[표 2.3.35] 모듈러주택의 단점 인식(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분		임시주거 이미지		방음성능 취약		단열성능 취약		구조적 불안감		획일화된 외관		기타 (작은 실크기)	
		두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양
1순위	빈도	4	2	14	7	4	1	0	14	1	0	3	1
	%	15.4	8.0	53.8	28.0	15.4	4.0	–	56.0	3.8	–	11.5	4.0
2순위	빈도	5	8	4	5	9	4	6	4	0	0	2	2
	%	19.2	32.0	15.4	20.0	34.6	16.0	23.1	16.0	–	–	7.7	8.0

- '방음성능 취약', '단열성능 취약', '임시주거 이미지'등 단점으로 인식되는 부분들에 대한 인식 및 문제점에 대한 개선 방향에 대한 연구 필요. 특히 공통적으로 나온 '방음성능'에 대한 개선이 시급하다고 보임



[그림 2.3.35] 모듈러주택 단점 인식(천안 두정동 모듈러주택)



[그림 2.3.36] 모듈러주택 단점 인식(가양동 모듈러주택)

㉥ 소결

- 모듈러주택에 대한 인식 분석결과 전반적인 인지도는 가양동과 두정동이 비슷한 수준으로 나타남. 그러나 입주자 공고시 정보 제공에 대한 불충분 및 미전달의 비율이 두정동에서는 높게 나타남. 이는 고령자의 경우 가족 대리 신청으로 인한 원인이 크다고 판단됨. 따라서 고령자를 대상으로 건축되는 모듈러주택은 기존과는 다른 정보 전달 방법이 필요하다고 판단됨

- 모듈러주택의 장점으로 '짧은 공사기간'과 '저렴한 건축비'가 높게 나타났으며, '친환경적 건축물'과 '부품의 표준화'가 낮은 순위로 나타남. 따라서 순위가 낮게 나타난 요소들의 인식개선 및 홍보가 필요

- 모듈러주택의 단점으로 두정동의 경우 '방음성능 취약', '단열성능 취약'이 나타났으며, 가양동의 경우 '구조적 불안감', '방음성능 취약'이 높게 나타남. 따라서 공통적으로 나타난 '방음성능 취약'에 대한 인식 개선 및 연구가 필요할 것으로 보임

③ 모듈러주택 발전방향

㉠ 현 주택의 추후 거주의향

- 가양동 모듈러주택의 경우 거주할 의향이 있다고 응답한 비율이 88.0%(22명), 의향이 없다고 답한 비율이 12.0%(3명)으로 나타났으며, 두정동은 거주할 의향이 있다고 응답한 비율이 80.8%(21명), 없다고 답한 비율이 19.2%(5명)으로 나타남

- 가양동의 경우 거절 이유로 진동 문제, 실의 규모, 방범 시스템 등을 언급한 반면에 두정동의 경우 진동 문제에 대한 언급은 없었던 점으로 보아, 가양동에 비해 진동 문제는 개선된 것으로 보임

- 가양동과 두정동 모듈러주택 모두 80% 이상이 추후 거주할 의향이 있다고 답함

[표 2.3.36] 현 모듈러주택의 추후 거주의향 비교(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
예	22	88.0	21	80.8
아니오	3	12.0	5	19.2

㉡ 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성

- 가양동과 두정동 응답자 총 51명중 적합하다고 응답한 비율은 19.6%(가양동 7명, 두정동 3명), 부적합하다고 응답한 비율은 35.3%(가양동 10명, 두정동 8명)으로 나타남

- 가양동과 두정동 모두 적합하다는 응답자 비율 보다는 부적합하다는 비율이 더 높게 나타나므로, 모듈러주택에서 사용자 선호도를 고려한 다양한 평면유형 개발이 필요하다고 보임

[표 2.3.37] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성 비교(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분	가양동 모듈러주택		두정동 모듈러주택	
	빈도	%	빈도	%
적합하다	7	28.0	3	11.5
보통이다	8	32.0	15	57.7
부적합하다	10	40.0	8	30.8



[그림 2.3.37] 모듈러주택의 3~4인 가구 생활 적합성 비교
(가양동, 두정동 모듈러주택)

㉣ 모듈러주택의 개선될 사항

- 모듈러주택 공급 확대를 위한 개선사항으로 두정동의 경우, 응답자의 53.8%(14명)는 방음성능, 42.3%(11명)은 관리비 절감, 30.8%(8명)은 환기 및 채광이라고 답하였으며, 가양동의 경우 응답자의 21.3%(10명)이 방음성능, 19.1%(9명)이 관리비 절감, 모듈러주택 이미지라고 답하였음

- 두정동과 가양동 모두 개선사항으로 '방음성능'과 '관리비 절감'이 높게 나타남. 모듈러주택의 인식 및 개선사항에 있어서 방음성능과 관리비 절감에 대한 시급한 개선방안이 필요할 것으로 보임

[표 2.3.38] 모듈러주택의 개선될 사항(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

구분	개선될 점 없음		방음성능		단열성능		환기 및 채광		모듈러주택 이미지		관리비절감		외관디자인		기타	
	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양	두정	가양
빈도	7	6	14	10	7	3	8	5	7	9	11	9	0	3	4	2
%	26.9	12.8	53.8	21.3	26.9	6.4	30.8	10.6	26.9	19.1	42.3	19.1	-	6.4	15.4	4.3



[그림 2.3.38] 모듈러주택 공급 확대을 위한 개선사항(가양동과 두정동 모듈러주택 비교)

㉣ 소결

- 가양동과 두정동 모듈러주택 모두 80% 이상이 추후 거주할 의향이 있다고 답하였으나, 거절한 이유는 '작은 실의 규모', '가구 배치의 어려움', '소음 문제', '평면의 형태', '(고령자 입장) 대중교통의 불편함'등이 이유로 나타남

- 추후 3~4인 가구의 거주 적합성에 대해서는 부적합하다는 인식이 높은 것으로 나타남. 이는 인터뷰에서 나타난 '실의 크기'의 문제로 인한 인식과 더불어 앞선 부정적 인식으로 인해서 나타난 결과로 보임

- 두정동과 가양동 모두 개선사항으로 '방음성능'과 '관리비 절감'이 높게 나타남. 모듈러주택의 인식 및 개선사항에 있어서 방음성능과 관리비 절감에 대한 시급한 개선방안이 필요할 것으로 보임

④ 전반적 주거만족도 비교

- 두정동의 경우, 공법이 인필형과 적층형으로 구분되어 있어 가양동과 비교에 앞서 두 공법을 구분하여 적용하였음(주택 계획과 주변환경의 경우 공법에 의한 차이가 없다고 판단하여 주택 전체만족도와 주거성능 부분만 구분함)

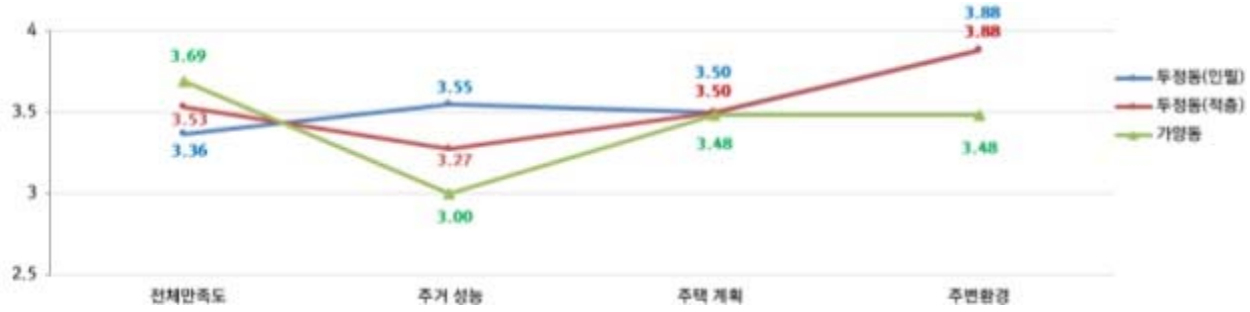
- 주택의 전체 만족도는 가양동이 3.69, 두정동(인필)이 3.53점, 두정동(적층)이 3.36점으로 가양동이 가장 높은 점수로 나옴

- 요소별 만족도를 살펴본 결과 주거성능 요소의 전반적 만족도는 두정동(인필)이 3.55점, 두정동(적층)이 3.27점, 가양동이 3.00점으로 순으로 두정동(인필)이 가장 높게 나타남

- 주택계획의 전반적 만족도는 두정동이 3.50점, 가양동이 3.48점으로 두정동이 약간 높게 나타났으며, 주변환경의 전반적 만족도는 두정동이 3.88점, 가양동이 3.48점으로 두정동이 높게 나타남

- 가양동 모듈러주택과 두정동 모듈러주택의 전체만족도는 가양동이 높게 나타났으나, 요소별 만족도에서는 두정동이 가양동에 비해 높게 나타남. 이는 사회초년생 및 신혼부부로 구성된 가양동과 사회초년생 및 고령자로 구성된 두정동의 사용자 유형(연령 및 세대유형)의 차이로 인한 주거 기대치 차이 등의 원인이 있을 것이라 판단

- 가양동과 두정동의 모듈러주택의 만족도의 차이의 영향 요인에 대한 연구 및 분석이 필요하다고 판단하여 추가적으로 성별, 연령별, 공법별 요인에 대해서 분석함



[그림 2.3.39] 요소별 만족도 비교(두정동(인필,적층), 가양동 모듈러주택)

[표 2.3.39] 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	주택 전체	주거성능	주택계획	주변환경
	만족도	전반적 만족도	전반적 만족도	전반적 만족도
가양동	3.69	3.00	3.48	3.48
두정동(인필)	3.36	3.55	3.50	3.88
두정동(적층)	3.53	3.27		

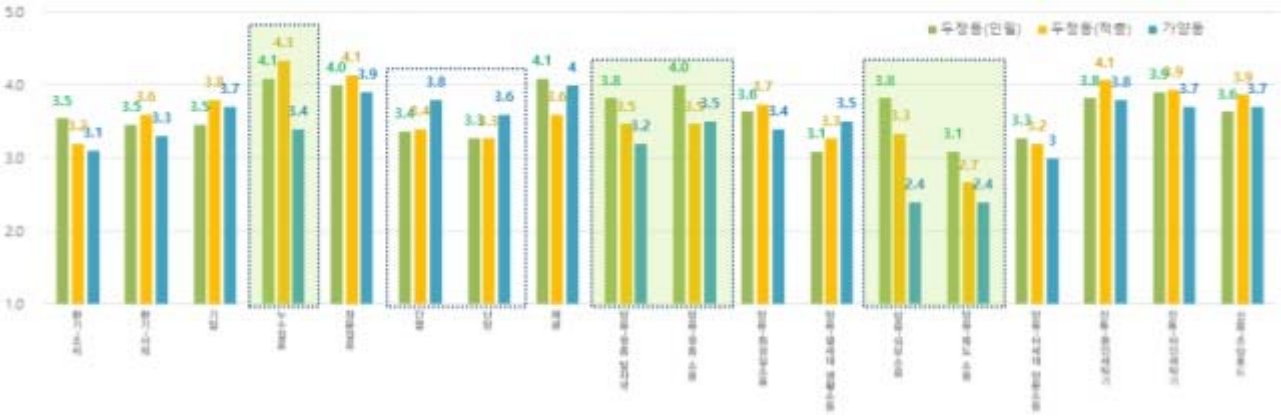
⑤ 주거성능 만족도 비교

- 두정동과 가양동의 주거성능에 대한 만족도 비교시 대체적으로 두정동에서 높은 만족도를 보임. 이는 사용자 유형(연령, 세대유형) 등이 원인이라 판단됨(두정동의 경우 고령자세대가 포함되어 있고, 가양동에 비해서 평균 연령이 높음. 따라서 주거공간에 대한 기대수준이 다름)

- 그러나 단열과 난방에 있어서는 두정동이 가양동에 비해 0.3점 이상 낮은 점수를 보임. 단열에 대한 정확한 검사가 필요하다고 판단됨

- 평균점수가 0.5점 이상 차이나는 항목은 누수결로와 외부소음에 대한 항목으로 나타남. 특히 외부소음의 경우 1.1점이 차이가 나타났는데, 이는 두정동의 경우 인접한 도로가 가양동과 비교해서 소로이고 주택가 근처에 위치하고 있어서 이와 같은 결과가 나타났다고 보임

- 방음의 경우 대체적으로 두정동(인필)이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 두정동(적층), 가양동 순으로 나타나는 경향을 보임. 공법상 인필형이 적층형에 비해 방음에 대한 효과가 높은 것으로 판단됨



[그림 2.3.40] 주거성능 만족도 비교(두정동(인필, 적층), 가양동 모듈러주택)

[표 2.3.40] 주거성능 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	환기		기밀	결로		단열	난방	채광	소음							진동		
	조리	샤워		누수	창문				윗층 발자국	윗층 소음	화장실 소음	염세대 생활 소음	외부 소음	복도 소음	타세대 방문 소음	본인 세탁기	타인 세탁기	주방 후드
두정 (인필)	3.6	3.5	3.5	4.1	4.0	3.4	3.3	4.1	3.8	4.0	3.6	3.1	3.8	3.1	3.3	3.8	3.9	3.6
두정 (적층)	3.2	3.6	3.8	4.3	4.1	3.4	3.3	3.6	3.5	3.5	3.7	3.3	3.3	2.7	3.2	4.1	3.9	3.9
가양	3.1	3.3	3.7	3.4	3.9	3.8	3.6	4.0	3.2	3.5	3.4	3.5	2.4	2.4	3.0	3.8	3.7	3.7

⑥ 주택계획 만족도 비교

- 두정동과 가양동의 주택계획 만족도 비교시 항목별 만족도는 두정동이 상대적으로 높은 만족도를 보임. 주거성능과 마찬가지로 사용자 유형에 따른 기대치 차이가 있다고 판단됨

- 주택계획의 만족도에 있어서 두 실증단지 모두 수납공간과 실의 규모에 있어서는 낮은 만족도가 나타남. 추후 모듈러주택을 계획함에 있어서 실의 규모와 수납공간에 대한 개선 필요



[그림 2.3.41] 주택계획 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

[표 2.3.41] 주택계획 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	내부평면	실 규모	취사공간	수납공간	냉난방 시스템	외관디자인
두정동	3.5	3.3	3.3	3.0	4.1	4.1
가양동	3.7	2.9	3.3	2.4	4.1	4.0

⑦ 주변환경 만족도 비교

- 두정동과 가양동의 주변환경 만족도 비교시 전반적인 항목별 만족도는 두정동이 상대적으로 높은 만족도를 보임. 이는 앞선 이유와 마찬가지로 기대치의 차이가 있을 것으로 추측

- 두정동과 가양동 모두 주변환경에 대해선 물리적으로 비슷한 환경에 위치하고 있음 (주변 근린생활시설 수, 대중교통과의 거리, 여가활동시설의 수 등)

- 근린생활시설의 만족는 0.5점 차이가 나타남. 거주자 인터뷰 결과, 두정동의 경우 도보로 180m 거리에 대형마트가 있기 때문에, 그에 대한 만족도가 높은 것으로 보임

- 대중교통 이용의 편리성의 경우, 고령자 세대가 있는 두정동은 거동이 불편하신 고령자의 불편함이 반영된 결과로 보임



[그림 2.3.42] 주변환경 만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

[표 2.3.42] 주변환경 요소별 주거만족도 비교(두정동, 가양동 모듈러주택)

구분	근린생활시설 (음식점, 슈퍼마켓)	대중교통 이용의 편리성	여가활동시설 (영화관, 공원)
두정동	4.0	3.6	3.3
가양동	3.5	3.8	2.9

㉠ 소결

- 주거성능
  (공통)방음에 대한 개선이 시급, 두정동의 경우 기밀과 단열에 대한 검사 필요

- 가양동 모듈러주택에 비해 전반적인 만족도는 높아졌으나, 단열과 난방에 대한 만족도가 하락함. 두정동 모듈러주택에 대한 단열에 대한 검사가 필요하다고 판단됨
- 천안 두정동과 가양동 모듈러주택에서 공통적으로 방음에 대한 만족도가 낮음. 따라서 방음에 대한 개선이 제일 우선시되어야 함
- 인필형이 적층형에 비해 방음에 유리하다고 판단됨
- 두 모듈러주택 실증단지 모두 복도 소음, 옆세대 생활소음, 타세대 방문소음에 가장 낮은 만족도를 보임. 따라서 소음에 대한 전반적 원인 분석 및 해결책 마련이 필요하다고 보임

- 주택계획 및 주변환경
  수납공간, 실의 규모 확충이 필요 / 입주세대 특성에 맞는 입지요소 파악이 필요

- 천안 두정동과 가양동 모듈러주택에서 공통적으로 수납공간에 대한 만족도가 낮게 나타남
- 사용자 유형에 따른 수납공간 마련과 빌트인(built-in) 가구, 벽선반 등의 활용방안에 대한 연구가 필요함
- 적정 실의 면적에 대한 연구가 필요(사용자 유형, 거주시간 등에 따른 적정 주거면적 등)
- 취사공간에 대한 적정면적 및 내부평면의 가구배치를 고려한 평면 연구가 필요함
- 주변환경 요소에서는 거주자의 특성, 특히 연령에 따라 만족도 항목이 다르게 나타남. 따라서 입주세대의 특성을 파악하여 만족도 영향 요소에 대한 연구가 필요하다고 판단됨

- 모듈러주택 인지 및 인식
  모듈러주택에 대한 인식 및 개선방향 설정 필요

- 모듈러주택에 대한 전반적인 인지도는 입주자 공고 시 정보 제공에 대한 불충분 및 미전달의 비율이 높음. 따라서 정보 제공 방식과 적절한 정보 제공을 위한 노력이 필요해 보임
- 모듈러주택의 장점으로 짧은 공사기간과 저렴한 건축비가 나타나는데, 이는 저렴한 임대료, 공공임대주택의 특성에 기인한 결과일 확률이 높으므로 적절한 홍보 및 정보 전달 방안이 필요함
- 친환경적 건축물과 부품의 표준화가 모듈러주택의 장점 중 낮게 나타난 것은 모듈러주택의 인식개선을 위해 향후 보완사항으로 판단됨. 따라서 지속적인 부품 표준화에 대한 고려와 친환경성 등에 대한 홍보가 필요
- 방음성능 취약', '단열성능 취약', '임시주거 이미지'등 단점으로 인식되는 부분들에 대한 개선 방향 필요. 특히 방음성능에 대한 개선이 시급하다고 보임

(2) 성별・연령별・공법별 주거만족도 비교(천안두정 모듈러 주택)

① 성별 주거만족도 비교

㉠ 성별 주거만족도 비교분석



[그림 2.3.43] 성별 주거성능 만족도 비교

[표 2.3.43] 성별 주거성능 만족도 비교

구분	환기		기밀	결로		단열	난방	채광	소음							진동		
	조리	샤워		누수	창문				윗층 발자국	윗층 소음	화장실 소음	염세대 생활 소음	외부 소음	복도 소음	타세대 방문 소음	본인 세탁기	타인 세탁기	주방 후드
여성	3.4	3.6	3.8	4.1	3.9	3.4	3.0	3.8	3.9	3.8	3.9	3.2	3.4	2.7	3.2	3.9	3.9	3.6
남성	3.3	3.4	3.5	4.3	4.3	3.4	3.6	3.8	3.3	3.6	3.4	3.2	3.7	3.0	3.3	4.0	4.0	4.0

- 남성 평균 3.62점 (n=12), 여성 평균 3.58점 (n=14)

- 남녀별 주거성능 만족도 평균을 비교했을 때, 난방, 윗층 발자국 소음, 화장실 소음에서 0.5점 이상의 차이를 보임

- 0.5점 이상의 차이를 보인 난방에서는 남성의 만족도가 높았고, 소음에 대해서는 여성의 만족도가 더 높게 나타남

㉡ 소결

- 성별 주거성능 만족도를 비교했을 때, 남성이 여성에 비해 근소하게 만족도가 높게 나타났지만, 성별의 차이가 주거만족도에 미치는 영향이 크지 않다고 판단됨

② 연령별 주거만족도 비교

㉠ 연령별 주거만족도 비교분석



[그림 2.3.44] 연령별 주거성능 만족도 비교

[표 2.3.44] 연령별 주거성능 만족도 비교

구분	환기		기밀	결로		단열	난방	채광	소음							진동		
	조리	샤워		누수	창문				윗층 발자국	윗층 소음	화장실 소음	염세대 생활 소음	외부 소음	복도 소음	타세대 방문 소음	본인 세탁기	타인 세탁기	주방 후드
청년	3.2	3.6	3.8	4.3	4.0	3.4	3.2	3.7	3.5	3.6	3.7	3.0	3.5	2.6	3.1	3.9	3.9	3.9
고령	4.0	3.4	3.2	4.0	4.2	3.4	3.6	4.4	4.2	4.2	3.8	4.0	3.8	4.0	3.8	4.2	4.2	3.4

- 고령 평균 3.88점 (n=5), 청년 평균 3.53점 (n=21)

- 고령자 세대 평균 연령 76.0세, 청년세대 평균 연령 28.2세

- 연령별 주거성능 만족도 평균을 비교했을 시, 0.35점의 차이가 나타남(고령자 세대가 청년 세대보다 대체적으로 만족도가 높음)

- 0.5점 이상 차이나는 항목으로 조리시 환기, 기밀, 채광, 방음 5개 항목, 주방후드 진동이 나타났음. 특히 방음성능에 대해서는 만족도 점수가 큰 차이가 나타남

㉡ 소결

- 연령별 주거성능 만족도를 비교했을시, 고령자 세대가 청년세대에 비해서 대체적으로 높은 만족도를 보임. 거주자 인터뷰를 통해서 살펴본 결과 고령자가 주거환경에 대해서 기대하는 수준이 낮기에 나타난 결과로 보임

- 또한 고령자의 경우 신체적인 인지능력(소음, 진동 등)이 젊은 청년보다 비교적 떨어지기에 각 요인에 나타나는 민감성이 다르다고 판단됨

③ 공법별 주거만족도 비교

㉠ 공법별 주거만족도 비교분석



[그림 2.3.45] 공법별 주거성능 만족도 비교

[표 2.3.45] 공법별 주거성능 만족도 비교

구분	환기		기밀	결로		단열	난방	채광	소음							진동		
	조리	샤워		누수	창문				윗층 발자국	윗층 소음	화장실 소음	염세대 생활 소음	외부 소음	복도 소음	타세대 방문 소음	본인 세탁기	타인 세탁기	주방 후드
적층	3.2	3.6	3.8	4.3	4.1	3.4	3.3	3.6	3.5	3.5	3.7	3.3	3.3	2.7	3.2	4.1	3.9	3.9
인필	3.5	3.5	3.5	4.1	4.0	3.4	3.3	4.1	3.8	4.0	3.6	3.1	3.8	3.1	3.3	3.8	3.9	3.6

- 인필방식 평균 3.63점 (n=11), 적층방식 평균 3.57점 (n=15)으로 대체적으로 인필방식이 적층방식에 비해 높은 만족도를 보임

- 공법별 주거성능 만족도 평균을 비교했을 시, 채광, 방음-윗층 소음, 방음-외부소음에서 0.5점 이상의 차이를 보임. 특히 소음부분에서 적층방식에 비해 인필방식이 높은 만족도를 보임

- 기밀성능에 있어서는 적층방식이 인필방식에 비해 만족도가 0.3점이 높음

㉡ 소결

- 공법별 주거성능 요소별 주거만족도를 살펴본 결과, 인필방식이 적층방식에 비해서 소음에 비교적 높은 만족도를 보이는 것으로 나타남. 이는 구조적 차이로 인해서 어느정도 소음에 대한 차이가 보이는 것으로 판단됨

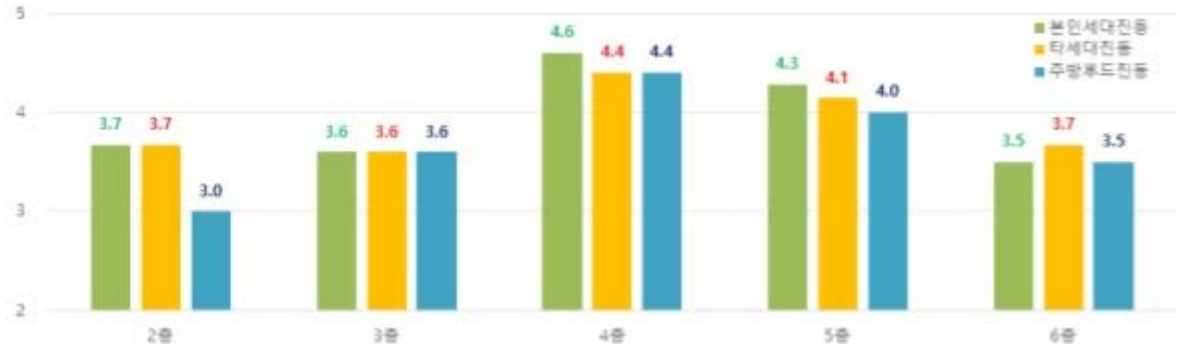
- 보통 소음과 기밀은 같은 조건하에서는 동일한 결과(기밀성이 좋을 때 소음성능에서도 대체로 우수한 성능을 보임)를 보이지만 본 실증단지에서는 다르게 나타남. 이는 제작과 적층 또는 현장 조립시에 시공시에 따른 품질 편차가 있었기 때문으로 판단됨

(3) 주거만족도 조사 결과와 성능 검사 비교

① 진동에 관한 성능 검사

㉠ 진동 성능 비교분석

- 적층식은 인필식에 비해 상층부 진동에 민감
- 적층식은 상층부로 올라갈수록 진동치가 큰 값을 가짐(인필식은 층별 일관성 없음)
- 진동에 가장 큰 영향은 인접도로의 차량통행 요인
- 엘리베이터의 경우 적층식보다 인필식에 더 큰 영향을 줌
  (엘리베이터가 인필식에 설치되어 있음)



[그림 2.3.46] 층별 진동 성능 만족도 비교(층별 비교)



[그림 2.3.47] 층별 진동 성능 만족도 비교(인필식 vs 적층식)

- 층별 평균: 2층 3.44(n=3), 3층 3.60(n=5), 4층 4.47(n=5), 5층 4.14(n=7), 6층 3.56(n=6)

㉡ 소결

- 진동성능에 대한 만족도는 대체로 상층부로 올라갈수록 낮게 나타남. 그러나 2,3층의 경우 최상층인 6층과 비슷하게 만족도가 낮음. 2, 3층의 경우 인접도로의 차량통행 영향으로 나타난 결과라고 판단됨

- 또한 인필식과 적층식의 진동성능에 대한 만족도를 비교했을시, 인필식이 낮은 점수로 나타남. 특히 3층과 6층의 경우 0.5점 이상의 큰 차이가 발생하였음. (인필식이 적층식에 비해 낮은 이유는 엘리베이터의 진동으로 인한 결과로 판단됨)

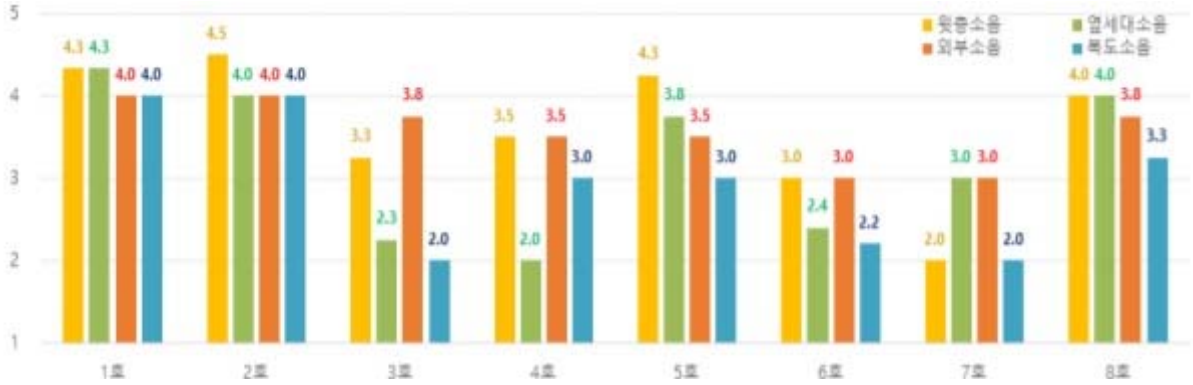
② 소음에 관한 성능 검사

㉠ 소음 성능 비교분석

- 제작 및 인필, 적층시 제작 품질 및 현장 조립의 품질 확보 필요
- (인필형) 중간부분은 구조의 처짐 발생으로 소음성능 하락 예상
- 소음 성능검사에서, 특히 303호의 바닥충격음이 상대적으로 낮은 성능을 보임

[표 2.3.46] 타입별 소음성능 평가

	인필형 타입	적층형 타입
바닥충격음	경량충격음 1등급	경량충격음 1등급
	중량충격음 1등급	중량충격음 3등급
세대간 경계벽	Rw 45 dB	Rw 47dB



[그림 2.3.48] 세대별 소음 성능 만족도 비교(세대 라인별 비교)

- 세대별 평균
  1호 4.17(n=3), 2호 4.13(n=2), 3호 2.81(n=4), 4호 3.00(n=2)
  5호 3.63(n=4), 6호 2.65(n=5), 7호 2.50(n=2), 8호 3.75(n=4)
- 세대별 소음 성능에 대한 만족도 비교 시, 인필방식에 해당하는 1~4호 세대의 만족도는 3.53로서 적층방식의 5~8호 세대의 만족도 3.13보다 상대적으로 만족도가 높은 것으로 나타남. 이는 사용자 유형 및 세대별 거주 연령 및 공법 차이에서 발생한 것으로 추측됨

㉡ 소결

- 소음 성능 검사와 거주 후 평가의 만족도는 대체적으로 인필형이 적층형에 비해 상대적 만족도가 높은 것으로 나타남. 따라서 소음 성능검사와 주거만족도 평가가 일치하는 것으로 판단됨
- 인필형 타입의 경우, 3호 라인이 다른 세대에 비해서 소음에 대한 만족도 낮게 나타남. 이는 성능평가에서 예상한 중간부분의 구조처짐 현상으로 인한 소음성능 하락이 보이는 것으로 판단됨(특히 303호의 소음에 대한 만족도는 2.29로 다른 세대에 비해 상대적으로 만족도가 낮음)

결 론 동절기 천안두정 실증단지 입주자 대상 거주 후 평가(KICT)

1. 천안두정 모듈러 주택 거주 후 평가 분석

- 본 연구는 모듈러 주택의 인식 및 주거만족도 연구를 위해 두정동 행복주택에 대한 거주 후 평가를 실시하였고 연구결과는 다음과 같음

㉠ 모듈러주택에 대한 인식

- 응답자의 50%가 모듈러 주택에 대하여 인지하지 못하고 있었으며, 입주전 정보 제공도 미흡하다고 응답(50%)하였음. 이는 고령자들의 경우 본인이 신청하기보단 타인(가족 및 친인척)등이 대리로 신청한 경우가 많기 때문으로 판단되며, 고령자를 대상으로 건축되는 모듈러주택은 기존과는 다른 정보 전달 방법이 필요
- '방음성능 취약', '단열성능 취약', '임시주거 이미지'등 단점으로 인식되는 부분들에 대한 인식 및 문제점에 대한 개선 방향에 대한 연구 필요. 특히 방음성능에 대한 개선이 시급하다고 보임
- 또한 모듈러주택의 장점 중 낮게 나타난 '부품의 표준화', '친환경적 건축물'에 대한 홍보 및 연구가 필요

㉡ 모듈러 주택 발전방향

- 응답자의 80.8%가 계속적으로 거주할 의향이 있다고 답하였으나, 3~4인 가족이 거주하기에는 부적합하다고 응답함. 따라서 모듈러 주택에 대한 인식 개선과 더불어 3~4인 가족 구성을 위한 다양한 평면 유형 개발이 필요할 것으로 보임
- 거주자의 응답에 따르면 방음성능과 관리비 절감에 대한 개선이 필요하다고 응답한 비율이 가장 많음. 따라서 방음성능과 관리비 절감에 대한 방안이 필요

㉢ 주거성능 요소

- 주거성능에 있어서 대체적으로 만족함(46.1%, 12명)
- 개별적인 항목들 중에서는 특히 복도 소음과 옆세대 생활소음에 대한 문제가 제일 심각한 것으로 나타났으며, 단열성능과 난방요금에 대한 만족도도 낮은 것으로 나타남. 따라서 현관문의 방음 성능 및 복도와 맞닿은 벽에 대한 방음성능 및 단열성능에 대한 개선이 필요
- 향후 모듈러 주택 계획 및 공급 시 방음성능과 단열성능에 대한 기술적 고려가 필요

㉣ 주택계획 요소

- 주택계획에 있어서 대체적으로 만족함(50.0%, 13명)
- 개별 항목들 중에서 냉난방시스템과 외관디자인이 만족도가 가장 높게 나타남 (냉난방시스템의 경우, 주거성능요소의 단열성능과 난방요금이 만족도가 낮은 것과 대조되는데, 이는 아직 입주가 진행 중이며, 일부 입주세대의 경우 여름철을 겪지 않은 세대로 인해서 나타난 결과로 보임). 모듈러주택의 특징을 반영한

독특하고 개성있는 외관디자인을 통해 일반 대중에게 어필할 수 있을 것으로 보임
- 반면 취사공간, 수납공간에 대한 만족도는 낮은 것으로 파악됨. 인터뷰 과정에서도 수납에 대한 문제점 지적이 많았음. 추후 모듈러주택을 계획함에 있어서 수납공간에 대한 연구가 필요함

㉤ 주변환경 요소
- 주변환경에 있어서 상당수가 만족함(76.9%, 20명)
- 개별 항목에서는 근린생활시설에 대한 만족도가 4.04점으로 가장 높았으며, 상대적으로 여가활동시설(3.31점), 대중교통 이용의 편리성(3.58점)의 만족도는 낮게 나타남. 특히 고령자의 경우 대중교통 이용의 편리성에서 낮은 만족도를 보임
- 향후 모듈러 주택이 입지할 때 거주자의 특성을 파악하여, 입지 여건을 분석할 필요가 있음(특히 고령자, 주거약자의 경우 대중교통에 대한 고려가 필요할 것으로 보임)

㉥ 주거만족도 향상을 위한 우선 순위 도출
- 중요도 분석 결과를 종합한 결과 총 5개의 변인이 유의하게 나타났으며, 2영역(중요도는 높지만 만족도가 낮은 영역)에 나타난 '내부평면'과 '대중교통 이용의 편리성'의 개선이 시급함
- 3영역(중요도도 낮고 만족도도 낮은 영역)에 속하는 변인은 '복도소음'과 '외부소음'으로 나타났음. 2영역에 비해 우선순위가 낮지만, 만족도가 다른 요소들보다 매우 낮으므로 시급히 해결해야 할 과제로 판단됨
- 중요도는 낮지만 만족도는 높은 4영역에 속하는 변인은 채광 요소로 나타남 (따라서 현재의 정도를 유지하거나 노력을 덜 기울여도 됨)
- 결론적으로 향후 모듈러 주택 공급 확대를 위해서는 내부평면과 대중교통 이용의 편리성 요소를 1차적으로 우선하여 개선해야할 필요가 있음. 또한 다른 요소에 비해 만족도가 매우 낮게 나타난 복도소음과 외부소음 문제도 시급히 해결해야 할 요소로 보임

2. 주거만족도 비교 분석

㉠ 두정동과 가양동 모듈러 주택에 대한 주거만족도 비교
- 주거성능 요소에서는 천안 두정동과 가양동 모듈러 주택에서 공통적으로 방음에 대한 만족도가 낮음. 따라서 향후 방음성능에 대한 기준 마련과 기술적 개선이 시급할 것으로 판단됨(특히 복도 소음, 옆세대 생활소음, 타세대 방문소음이 가장 낮은 만족도를 보임. 따라서 소음에 대한 전반적 원인 분석 및 해결책 마련이 필요할 것으로 보임)
- 주택계획 요소에서는 공통적으로 수납공간에 대한 만족도가 낮게 나타남. 따라서 사용자 유형에 따른 수납공간 마련과 빌트인(built-in) 가구, 벽선반 등의 활용방안에 대한 연구가 필요할 것으로 보임. 또한 적정한 실 면적에 대한 연구가 필요

- 주변환경 요소에서는 거주자의 특성(특히 연령)에 따라 주안된 항목이 다르게 나타났다. 따라서 입주세대의 특성을 파악하여 만족도에 영향을 미치는 요소에 대한 연구가 필요하다고 판단됨

㉡ 성별・연령별・공법별 주거만족도 비교(천안두정 모듈러 주택)

- 성별 주거성능 만족도 차이에서는 여성이 남성에 비해 근소하게 만족도가 높게 나타났으나, 성별의 차이가 주거만족도에 미치는 영향이 크지 않다고 판단됨
- 연령별 주거성능 만족도를 비교했을 시, 고령자 세대가 청년세대에 비해 대체적으로 높은 만족도로 나타남. 이는 고령자의 경우 주거환경에 기대치가 낮고, 신체적 인지능력이 청년들에 비해 떨어지기 때문에 나타난 결과로 판단됨
- 공법별 주거성능을 비교했을 시, 인필방식이 적층방식에 비해 소음에 비교적 높은 만족도를 보이는 것으로 나타남. 이는 구조적 차이로 인해 어느 정도 소음에 대한 차이가 보임

㉢ 주거만족도 조사 결과와 성능 검사 비교

- 진동성능에 대한 만족도는 2,3,6층이 낮게 나타남. 이는 2층과 3층의 경우 인접도로의 차량통행의 직접적 영향으로 보이며, 6층의 경우 성능 검사에서 나타난 고층일수록 진동에 불리한 구조로 인해서 나타난 결과로 보임
- 또한 인필식과 적층식의 진동성능에 대한 만족도를 비교했을 시, 인필식이 낮은 점수로 나타남. 특히 3층과 6층의 경우 0.5점 이상의 큰 차이가 발생하였음. (인필식이 적층식에 비해 낮은 이유는 엘리베이터의 진동으로 인한 결과로 판단됨)
- 인필형 타입의 경우, 3호 라인이 다른 세대에 비해서 소음에 대한 만족도 낮게 나타남. 이는 성능평가에서 예상한 중간부분의 구조 처짐 현상으로 인한 소음성능 하락이 보이는 것으로 판단됨(특히 303호의 소음에 대한 만족도는 2.29로 다른 세대에 비해 상대적으로 만족도가 낮음)

3. 연구의 한계점

■ 본 연구의 한계는 다음과 같음

- 첫째, 거주 후 평가 설문조사와 인터뷰 시점상 거주자의 입주가 진행 중으로 계획된 40세대중 33세대만 입주하였으며, 응답자는 26세대로 총 65%를 대상으로 평가가 이루어졌음
- 둘째, 입주가 계속적으로 진행중인 상황이였기에, 거주자가 실질적으로 거주한 기간이 4계절을 충분히 다 겪어보지 못한 채 이루어진 점
- 셋째, 주거 계층 및 연령이 20,30대 청년과 고령자, 주거약자로 국한되어 있다는 점
- 넷째, 공법별 주거만족도 차이를 비교하기 위해서 층별, 라인별 세대를 분류할시 입주되지 않은 그룹이 발생하여, 정확한 비교가 어려움

-

2) POE 및 모니터링을 통한 종합 해결 설계 Proto-Type 개발(KICT)

가) Proto-Type 설계 개선(안)

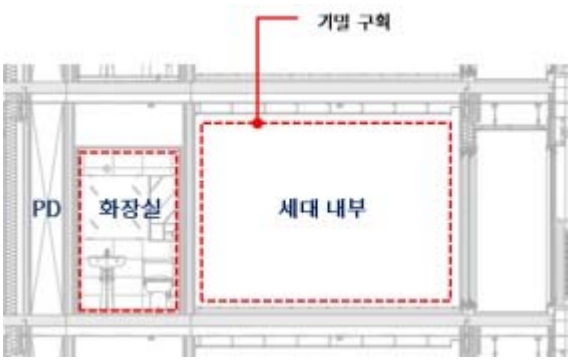
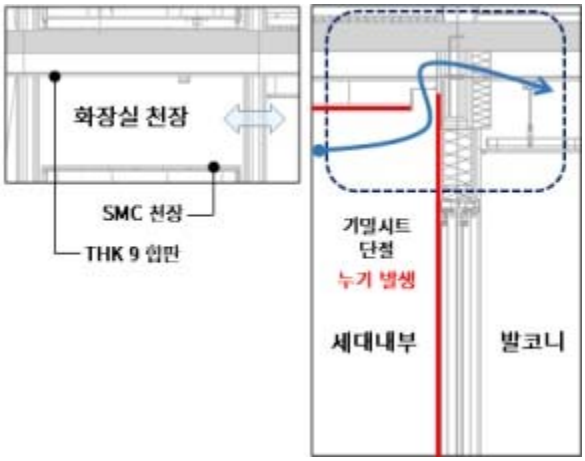
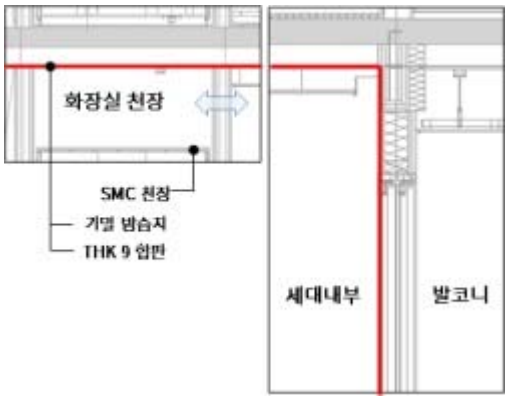
- 2019년 준공된 천안두정 모듈러 공동주택 실증단지는 적층식 공법과 인필식 공법을 모두 적용한 건축물임
- 모듈러 공동주택의 건설(제작, 시공) 당시 제작, 시공과정을 분석하여, 개선되어야 할 부분을 다각적(성능개선, 구조개선, 설계개선 등)으로 검토하여, 개선(안) 도출을 목표로 함

나) 천안두정 모듈러 적층식 제작 및 시공 분석

(1) 성능개선

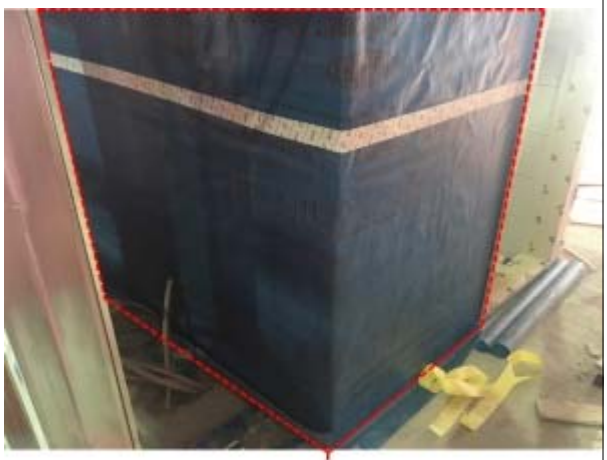
① 기밀성능 개선방안

[표 2.3.47] 기밀 성능 개선(안)

〈변경 전〉 각 실 별 기밀 구획	〈변경 후〉 세대 별 기밀 구획
	
〈변경 전〉 화장실/커튼박스 누기 발생	〈변경 후〉 화장실/커튼박스 누기 차단
	

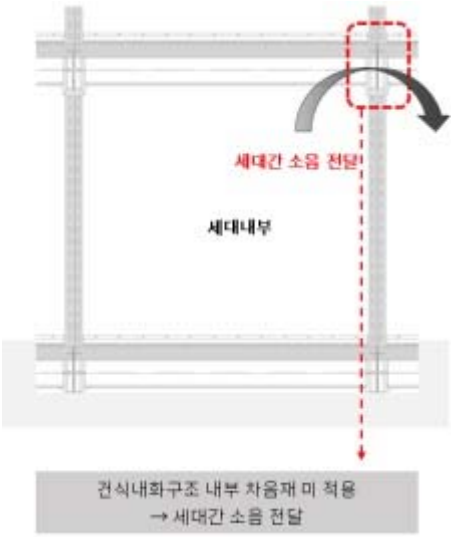
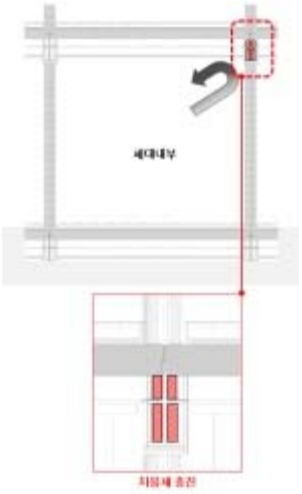
- **종합의견** : 현 계획 상 각 실 별 기밀 구획을 모듈 단위의 기밀 구획으로 변경하여 기밀성능을 개선하고자 함.
- **설계의도** : 현재 모듈 내부에서 각 실 별로 기밀 구획 하는 것을 단위 세대별로 기밀 구획하여 기밀 성능을 향상 시키고자 함
- **문 제 점** : 각 실 별로 기밀구획을 할 경우 화장실 벽체 등 기밀시트 시공 등이 어려운 부분이 발생됨, 화장실의 천장부분의 SMC 천장재 기밀 시공 난해, 커튼 박스 부분 기밀 설계 누락.
- **개선방안** : 각 실 별이 아닌 모듈의 세대 단위로 기밀설계 범위 확대, 모듈 상부 합판을 이용하여 천장 기밀지 시공
- **기대효과** : 기밀층의 누락을 방지하여 침기 또는 누기 발생을 최소화, 제로 에너지 건물(1.5 ACH 50 이하) 수준의 기밀성능 확보

[표 2.3.48] 기밀성능 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 화장실 시공 실태	〈변경 후〉 커튼박스 시공 실태
	
[화장실 외부에 기밀 방습지를 감은 상태] -> 각 실별 기밀시트 시공으로 기밀지가 누락된 곳이 발생	[커튼 박스 부분 기밀시트가 단절 된 상태] -> 기밀지 단절로 인해 침기 또는 누기 발생

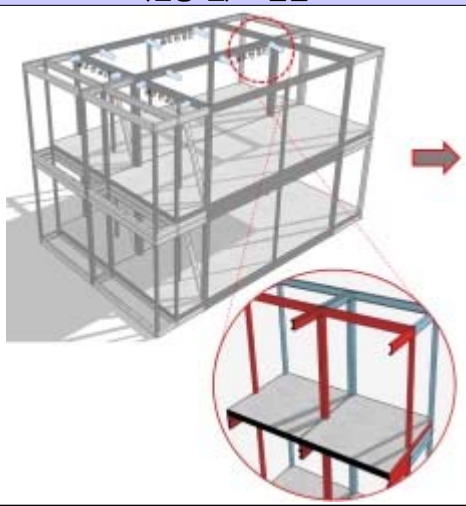
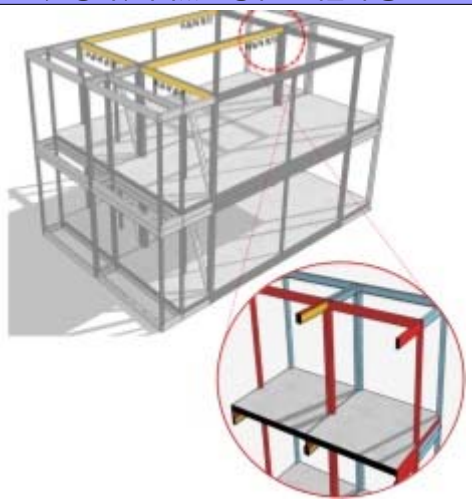
② 차음성능 개선방안

[표 2.3.49] 차음성능 개선(안)

〈변경 전〉 보 내부 공간을 통한 소음 전달	〈변경 후〉 보 내부 공간을 통한 소음 차단
	

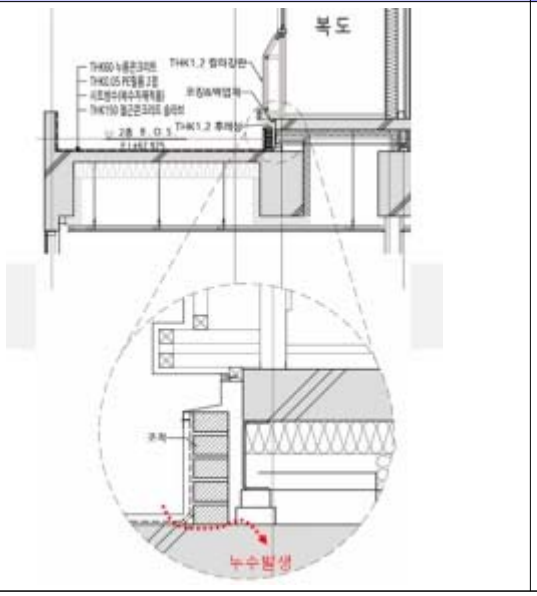
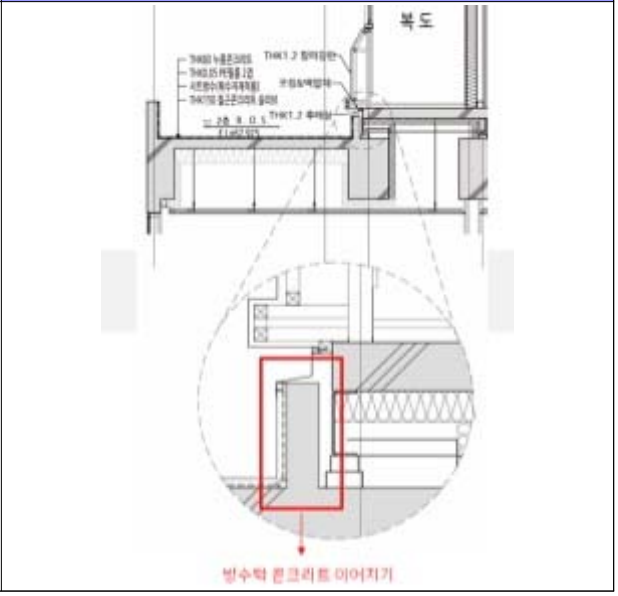
- **종합의견** : 현 계획 상 상부 보의 빈 공간으로 인한 세대 간 소음 발생 우려로 상부 보 차음재 충진을 통해 차음 성능을 개선하고자 함
- **설계의도** : 건식벽체 상세도에서 상부 보가 표현되지 않아 보의 차음재 충진 여부가 나오지 않음, 상부 보 빈 공간으로 세대간 소음 전달발생 우려 차음재 충진을 통해 차음성능 개선하고자 함.
- **문 제 점** : 벽체 상부 보 내부 공간을 통한 세대간 소음 전달 발생 우려, 건식 보 내화시스템(BB17-1129-1)에 대한 차음 성능 검증 미비
- **개선방안** : 모듈 연결부위 및 보를 통한 세대간 소음 전달 저감, 상부 CEILING STUD 접합부에도 밀실하게 차음재를 충진하도록 할 것
- **기대효과** : 세대 간 경계벽 차음 성능 상승, 건식벽체 상세도 표현 개선

[표 2.3.50] 차음성능 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 모듈골조	〈변경 후〉비어있는 상부보 차음재 충진
	

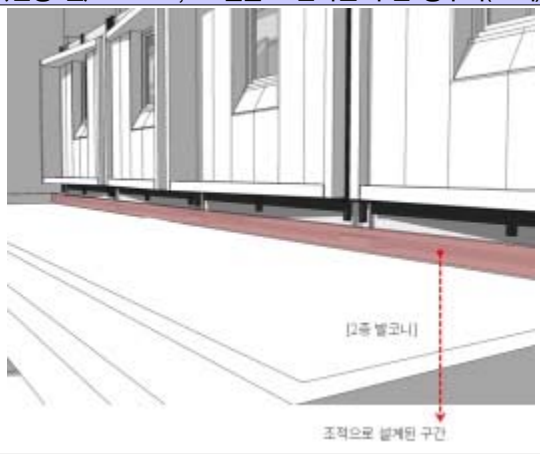
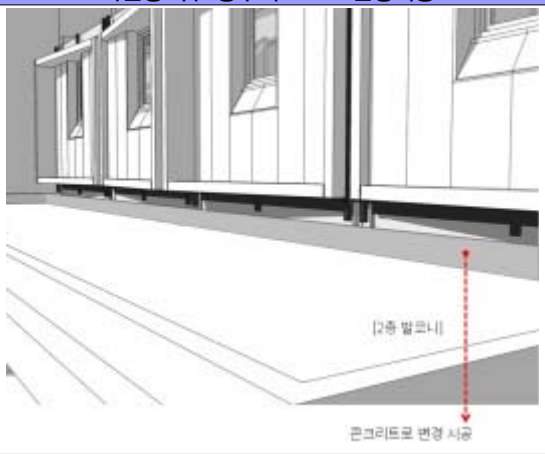
③ 방수성능 개선안

[표 2.3.51] 방수성능 개선(안)

〈변경 전〉 방수턱 상세도	〈변경 후〉 방수턱 상세 개념
	

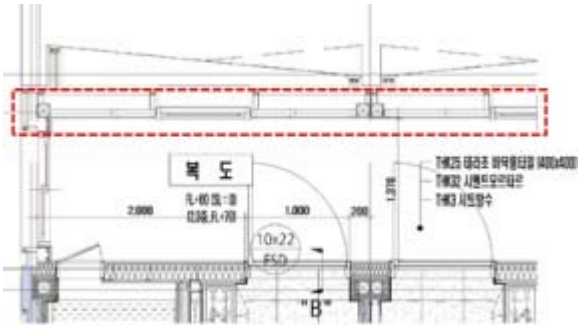
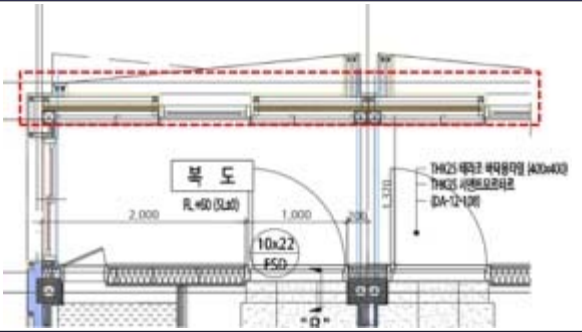
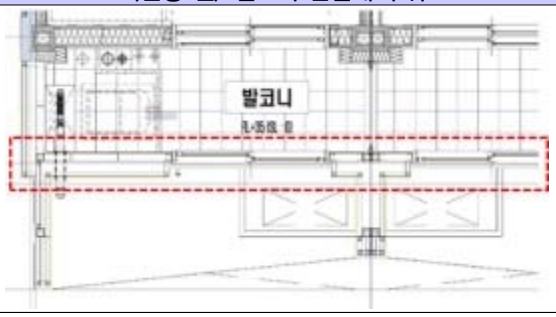
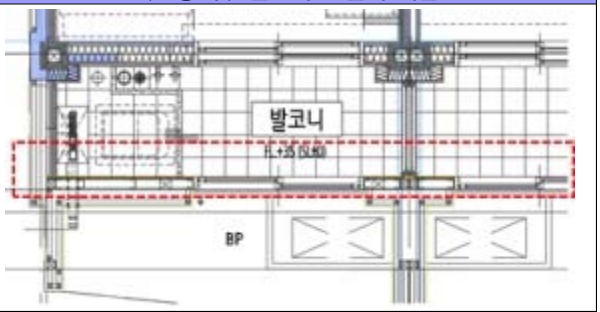
- **종합의견** : 현 설계상 RC조와 철골조 이음 구간의 방수턱을 조적으로 설계 했으나 균열 발생 우려로 콘크리트 이어치기로 변경 시공
- **설계의도** : 1F RC조와 2F 철골조가 만나는 구간의 방수턱을 조적으로 설계 진행 하였으나 조적 이음부 누수 발생 우려로 1F 콘크리트를 이어치는 것으로 변경 시공 함
- **문 제 점** : 방수턱이 SLAB 골조와 분리시공으로 인하여 시공 이음부위가 발생, 시공 이음부 균열 발생시 1층 천장 누수발생 우려
- **개선방안** : 1F SLAB 골조와 일체화가 될 수 있도록 방수턱을 콘크리트로 SLAB 와 같이 이어칠 수 있도록 설계
- **기대효과** : SLAB 골조와 방수턱의 일체화로 기밀한 시공성과 누수 발생 우려 감소, 조적 방수턱 공사로 인한 공기 증가 방지, 공기 단축 및 경제적 효과 기대

[표 2.3.52] 방수성능 개선 관련 이미지

〈변경 전〉1F RC조,2F 철골조 만나는 구간 방수턱(조적)	〈변경 후〉 방수턱 RC조 변경시공
	

④ 단열성능 개선안(단열재 시공)

[표 2.3.53] 단열성능 개선(안)-1

〈변경 전〉 복도 단열재 부위	〈변경 후〉 복도 단열재 개념
	
〈변경 전〉 발코니 단열재 부위	**〈변경 후〉 발코니 단열재 개념**
	

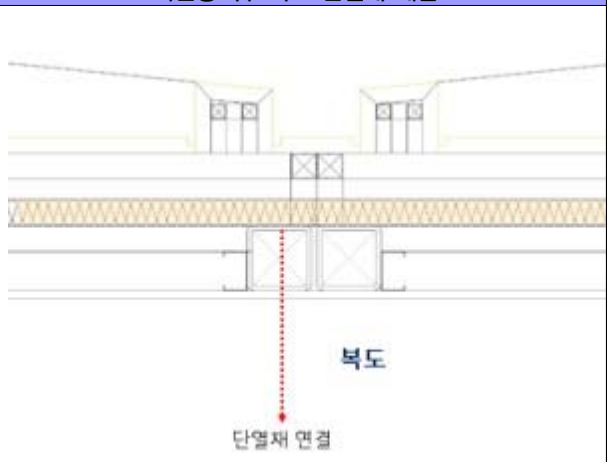
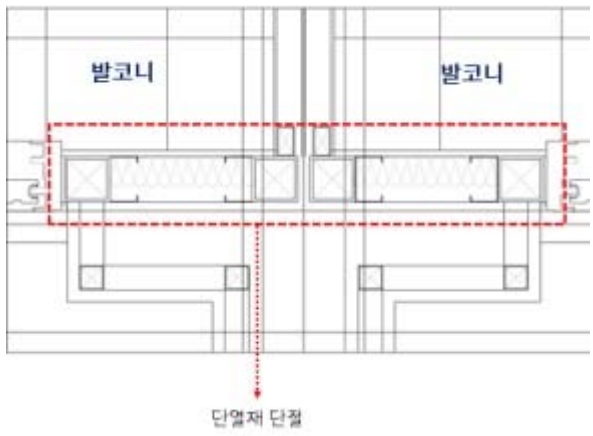
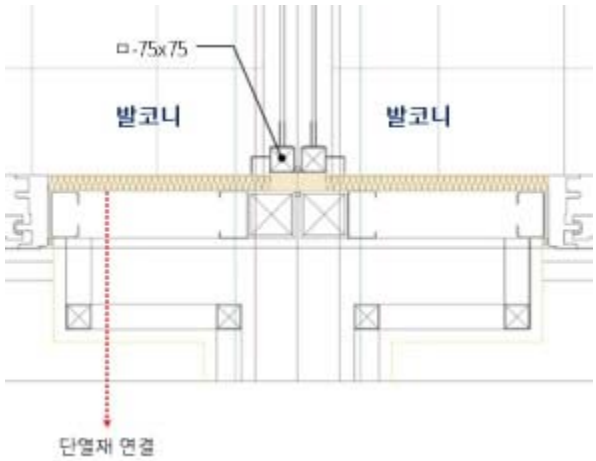
- **종합의견** : 복도와 발코니의 최종 설계 도서에서 단열재 삭제로 인한 복도와 발코니의 결로 발생 우려, 단열재 설치로 개선하고자 함
- **설계의도** : 시공 상의 단가 문제로 인해 최종설계도서에서 복도와 발코니의 단열재가 삭제 됨, 이로 인해 복도와 발코니의 결로 발생이 우려가 되므로 단열재를 계획하고자 함
- **문 제 점** : 복도와 발코니에 단열재가 없을 경우 내 외부와의 온도 차로 인해 이슬맺힘 현상 등 결로 발생 우려
- **개선방안** : 복도와 발코니 단열재를 설치하여 기둥 연결 구간에도 연속적으로 단열재 설치
- **기대효과** : 모듈 연결 부위에 대한 단열재 보강으로 결로 현상 방지

[표 2.3.54] 단열성능 개선 관련 이미지-1

〈변경 전〉 복도 외벽 단열재 없음	〈변경 전〉 마감 완료 (적층식/개선전)
 복도 단열재 없이 시공된 상태	

⑤ 단열성능(결로 방지)

[표 2.3.55] 단열성능 개선(안)-2

〈변경 전〉 복도 모듈 연결부위	〈변경 후〉 복도 단열재 개념
	
〈변경 전〉 발코니 모든 연결부위	**〈변경 후〉 발코니 단열재 개념**
	

- **종합의견** : 복도와 발코니 부분의 기둥으로 인해 단열재 끊김 현상으로 결로 발생 우려, 기둥 내측으로 단열재를 설치하여 이를 개선하고자 함
- **설계의도** : 복도와 발코니 벽체 부분 결로 방지를 위한 단열재 설치를 계획 했으나 기둥에서 단열재 끊김 현상으로 결로 발생 우려가 있으므로 기둥 외측으로 단열재를 설치하여 개선하고자 함
- **문 제 점** : 기둥으로 인한 단열재 끊김 현상 발생, 내 외부와의 온도 차로 인해 이슬 맺힘 현상 등 결로 발생 우려
- **개선방안** : 복도와 발코니 기둥 외측으로 단열재위치를 조정하여 기둥 연결구간에도 연속적으로 단열재 설치
- **기대효과** : 모듈 연결부위에 대한 단열재 보강으로 결로현상 방지

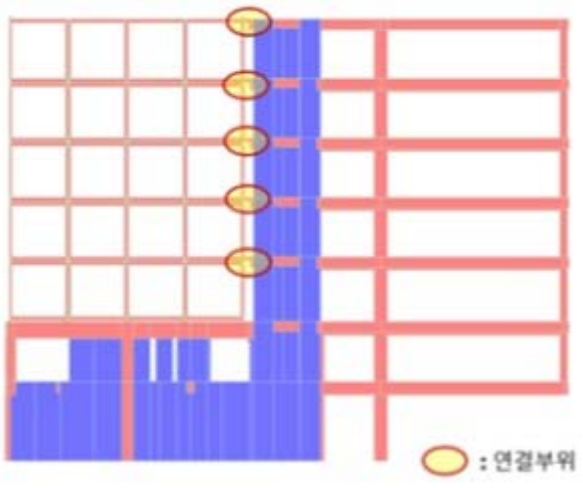
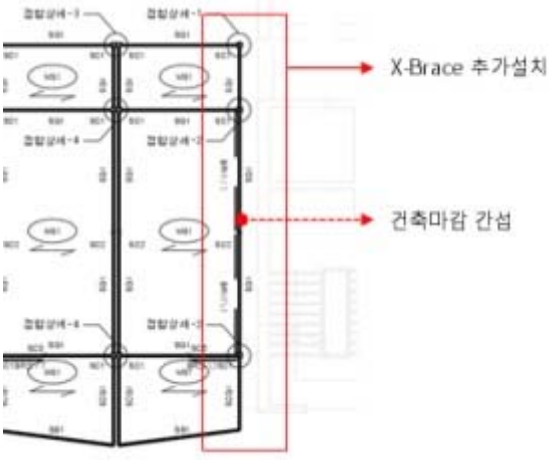
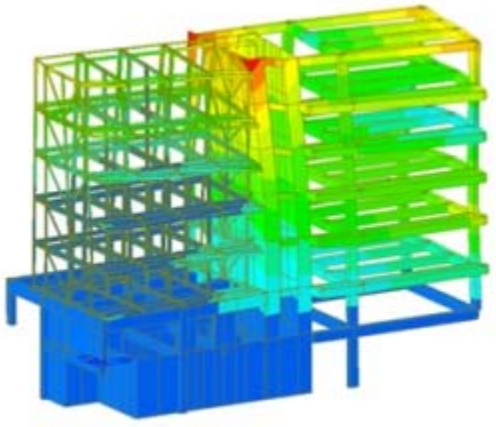
[표 2.3.56] 단열성능 개선 관련 이미지-2

〈변경 전〉 발코니 골조	〈변경 전〉 복도 마감(개선전_외벽 단열재 없음)
	

(2) 구조개선

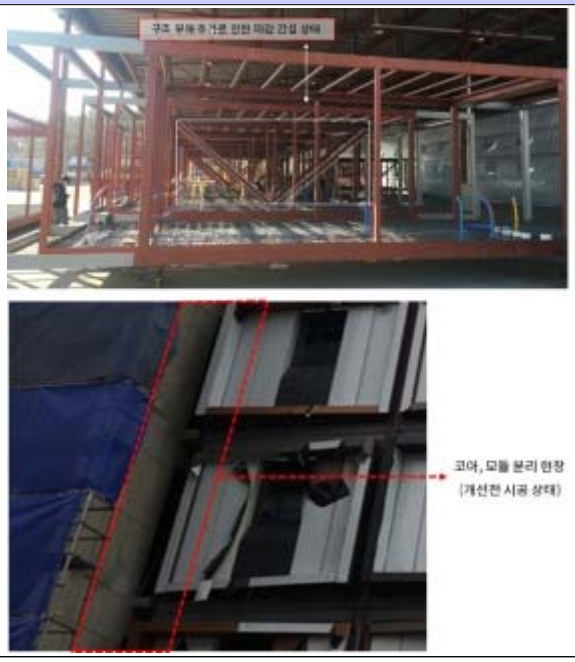
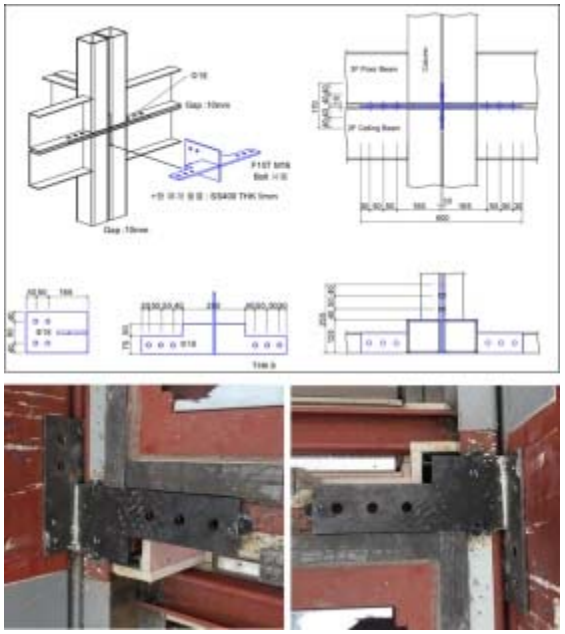
① 모듈러, RC 코아 분리/구조부재 추가로 인한 마감 간섭

[표 2.3.57] 마감 간섭 개선(안)

〈변경 전〉 모듈러 코아 연결 부위(단면)	〈변경 후〉 모듈러 코아 연결 부위(단면)
	
〈변경 전〉 모듈러 코아 연결 부위(평면)	**〈변경 후〉 모듈러 코아 연결 개념**
	

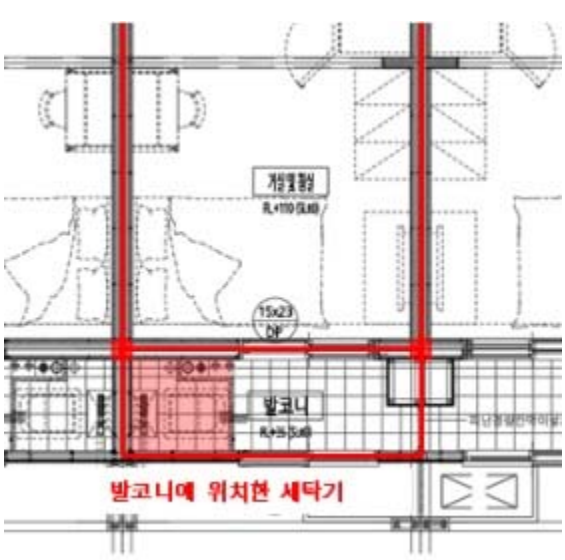
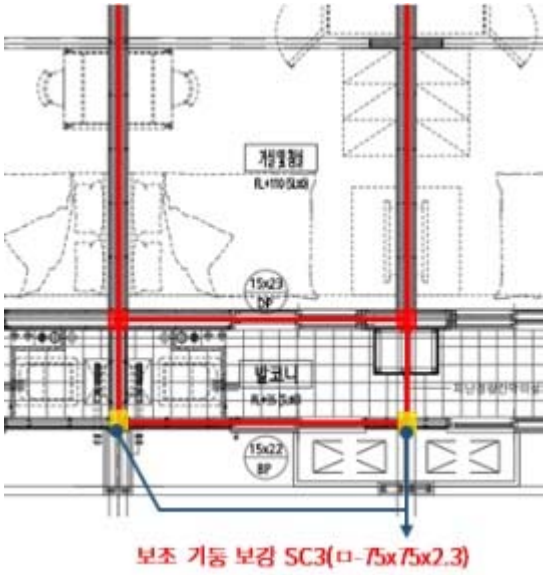
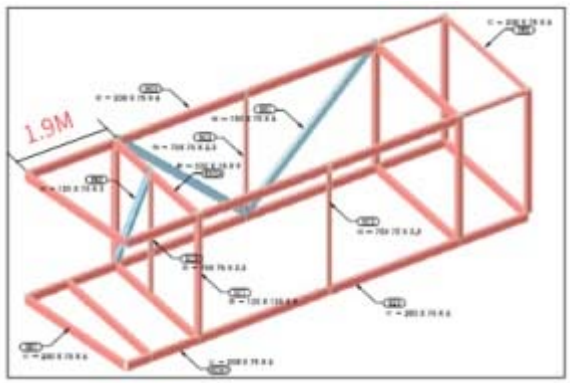
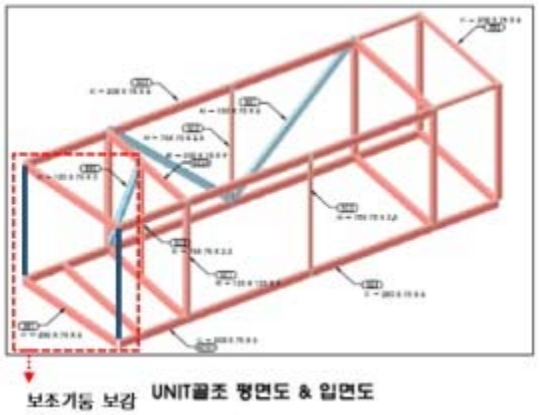
- **종합의견** : 현 구조 설계상 모듈러 추가부재 발생으로 마감 간섭이 유발되므로 RC 코아를 다른 구조로 변경 하여 모듈러 접합 방식을 개선하고자 함
- **설계의도** : RC코어와 적층식 모듈러 구조물을 서로 분리하여 구조 설계하고 모듈은 X-BRACE 로 횡력 부담하는 것으로 설계되어 있으나, 모듈 부재 추가로 인해 마감 간섭이 발생되므로 코아 구조를 PC구조로 변경하여 모듈러와 접합하고자 함
- **문 제 점** : 모듈러에 X-Brace 추가 설치, X방향 횡 변위에 취약하며 브레이스 설치로 인한 부재추가와 공간간섭 발생, 모듈간 접합 십자 플레이트로 보완 조립 복합성으로 인해 시공성이 떨어짐
- **개선방안** : 모듈러 구조와 코아월을 연결하여 일체 구조로 해석, PC 구조로 코아 월 변경, 모듈러 구조와 접합부 연결 시공, 모듈러 기둥에 Plate를 뽑아 코아에 미리 매립 되어있는 앵글과 접합 시공함
- **기대효과** : 구조설계 시 X방향 변위를 코어 벽체가 제어하므로 유효좌굴계수 K=1 적용, 경제적인 구조부재 설계 가능, 건축마감 간섭 최소화

[표 2.3.58] 마감 간섭 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 구조부재 추가	〈변경 전〉 모듈간 접합부 (모듈-모듈 접합부 십자형 접합 철물 적용)
	

② 캔틸레버 구조 발코니 진동

[표 2.3.59] 캔틸레버 구조 진동 개선(안)

〈변경 전〉 단위세대 평면 캔틸레버 부위	〈변경 후〉 단위세대 평면 캔틸레버 개념
	
〈변경 전〉 UNIT 골조 캔틸레버 부위	〈변경 후〉 UNIT 골조 캔틸레버 개념
	

- **종합의견** : 현 설계 상 발코니가 위치한 캔틸레버 보 진동 하자 우려로 인해 샛기둥 부재를 추가하여 시공 개선 하고자 함
- **설계의도** : 설계도면에서 발코니 부분을 캔틸레버로 표현 하였으나, 세탁기로 인한 진동을 우려하여 시공 시 발코니에 보조기둥을 추가하여 시공 진행함
- **문 제 점** : 발코니 외 돌출된 외장을 적용하여 캔틸레버 보 돌출길이 1.9m 이상 적용으로 처짐 하자 발생 우려, 발코니 세탁기 사용으로 인한 진동발생 우려, 구조 설계 시 고려 되지 않음
- **개선방안** : 설계 발코니 쪽 샛기둥이 빠진 것으로 설계 되었으나 현장 시공 시 SC3 (ㅁ-75 X 75 X 2.3) 부재를 추가 보강하여 시공 설계도서 개선 후 현장시공 완료, 구조 설계 시 발코니 구간도 포함하여 구조 설계 필요함
- **기대효과** : 세탁기 진동으로 인한 하자 발생 저감, 캔틸레버 보 처짐에 대한 제어로 구조적 안정성 확보

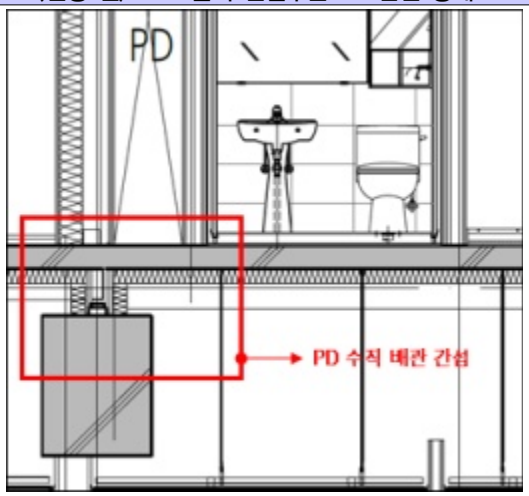
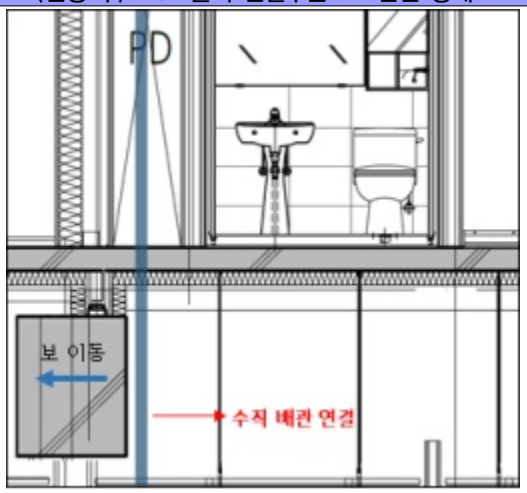
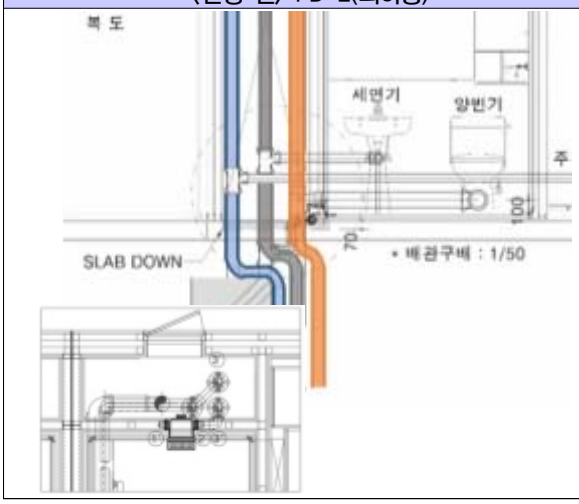
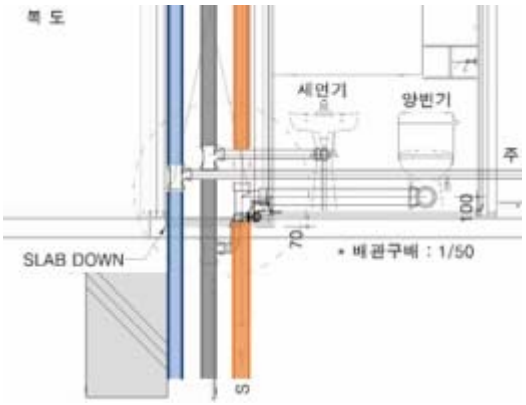
[표 2.3.60] 캔틸레버 구조 진동 개선 관련 이미지

발코니 쪽 기둥 자재 추가하여 시공	공장 발코니 마감(부재추가 시공)
	
외장 돌출 마감(부재추가 시공)	세탁기 위치
	

(3) 설계개선

① 모듈러 하부 RC 보와 배관 간섭

[표 2.3.61] 설비배관 개선(안)

〈변경 전〉 RC모듈러 연결부분 PD 단면 상세도	〈변경 후〉 RC모듈러 연결부분 PD 단면 상세도
	
〈변경 전〉 PD-2(최하층)	〈변경 후〉 PD-2(개념도)
	

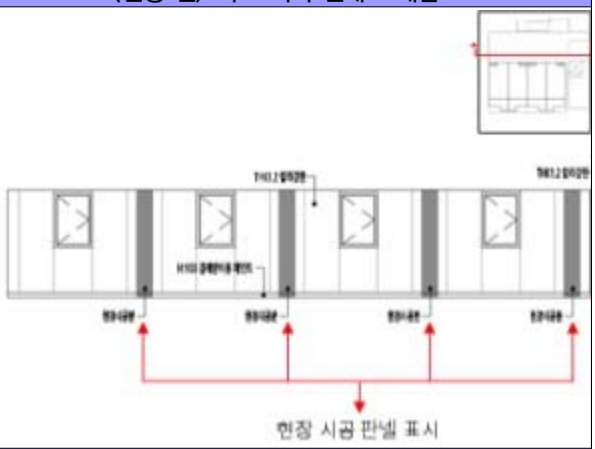
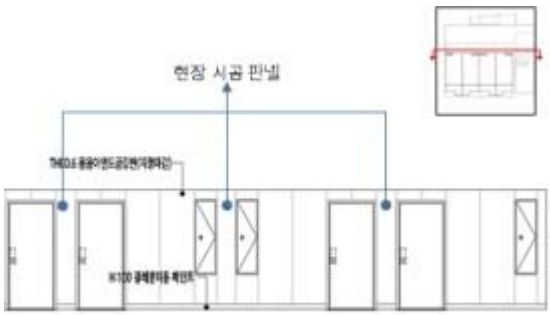
- **종합의견** : RC조와 모듈러 접합 부분 PD실 하부가 좁아 배관 간섭 발생, RC 보 위치 이동 및 사전 배관 도면 검토하여 개선하고자 함
- **설계의도** : 1층 RC 라멘구조와 철골 모듈러 구조의 접합을 고려한 단면 계획에서 배관설비 계획을 고려하지 않아 RC 보와의 간섭이 발생함. 이를 개선하고자 RC보의 위치를 이동하거나 건축설계 단계에서 사전 수직배관 도면 검토를 통해 시공 시 발견하게 되는 문제를 줄이고자 함
- **문 제 점** : 현장에서 시공되는 PD 수직배관이 1층 천장에서 RC보와 간섭발생, 배관 효율이 떨어지며 시공 난이도가 높음
- **개선방안** : RC와 모듈러 구조를 혼합할 경우 설비 수직 배관의 간섭이 발생하지 않도록 접합부 PD 수직배관 상세를 우선 검토, 모듈러 하부층 공간 계획에 영향을 받지 않는 범위 내에서 RC보 위치 이동
- **기대효과** : 건축설계 단계에서 설비 배관의 수직배관 사전 도면검토, 시공의 편리성 및 배관 효율 증대

[표 2.3.62] 설비배관 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 1층 천장 배관 시공실태	〈변경 전〉 1층 천장 배관 시공실태
	

② 현장시공/공장제작 범위 분류

[표 2.3.63] 현장/공장 제작 분류(안)

〈변경 전〉 복도 외벽 전개도	〈변경 전〉 복도 외벽 전개도 개념도
	
〈변경 전〉 복도 내벽 전개도	〈변경 전〉 복도 내벽 전개도 개념도
	

- **종합의견** : 설계 도면에 모듈러 연결부에 대한 미 표기로 인해 현장 시공 시 문제 발생 공장제작, 현장시공을 표기한 상세도서를 작성해 개선 하고자 함
- **설계의도** : 설계도서에서 복도 벽체가 현장 시공으로만 표기 되어 공장 제작분에 대

한 미 표현으로 현장시공분과 공장 제작분과의 줄눈 등의 차이로 인해 기존 설계 계획과 다른 디자인 결과가 나올 우려가 있음. 그러므로 사전에 모듈러 연결부분을 도면에 표시하여 현장 시공 시 발생하는 차이를 개선하고자 함

- **문 제 점** : 복도 벽체가 현장시공으로 표기되어 공장 제작분과 줄눈 나누기 등의 차이 발생, 모듈러 공법의 특성인 접합부에 대한 디자인 요소가 전개도에 반영되지 않음
- **개선방안** : 도면 표기 시 공장 제작 분에 대한 시공 한계를 표현, 현장 시공 시 모듈 연결 부 시공에 대한 상세 포함
- **기대효과** : 공장 제작에 대한 명확한 구분과 운송 및 현장 시공에 대한 보양대책 수립 가능, 모듈러 디자인의 특성을 사전 검토하여 반영 가능

[표 2.3.64] 현장/공장 제작 분류 관련 이미지

〈변경 전〉 복도 공장 시공실태

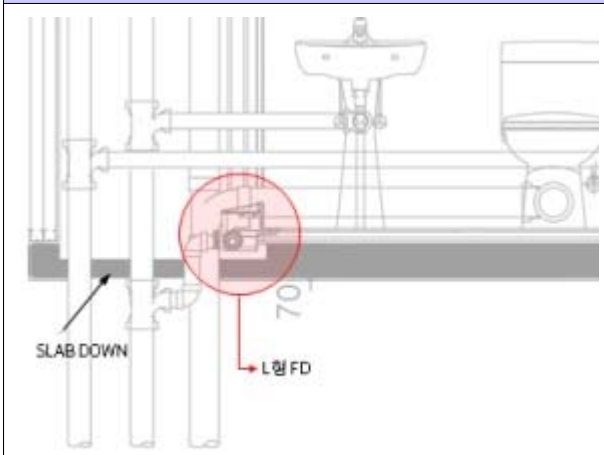
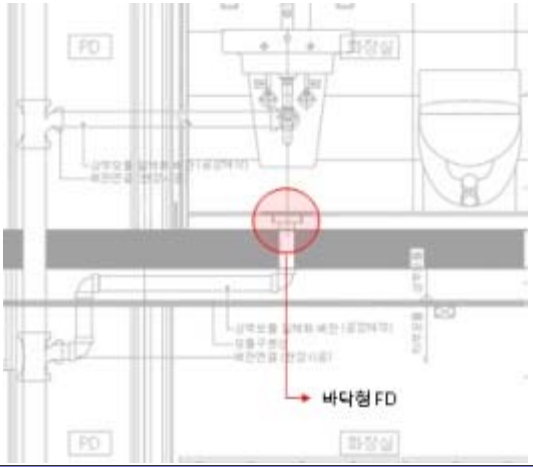
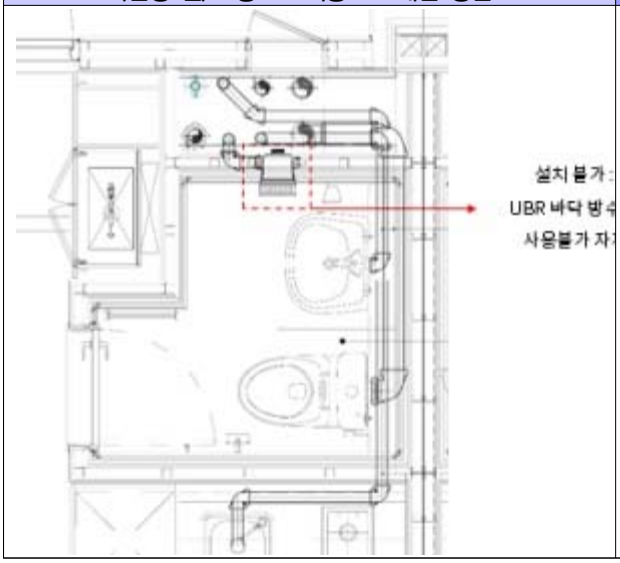
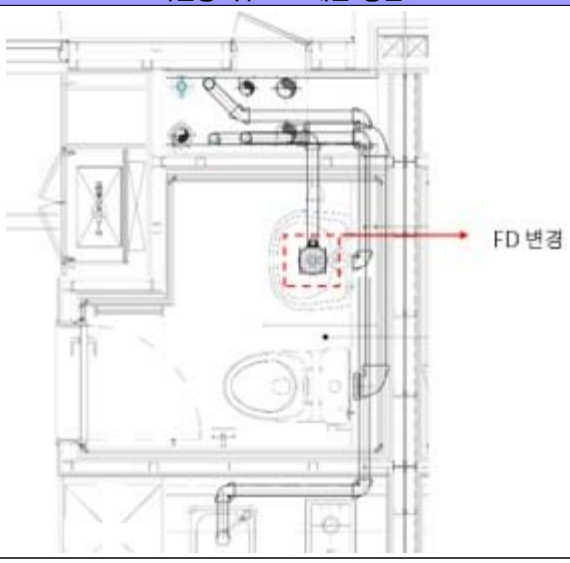


〈변경 전〉 현장 모듈 설치 시공실태



③ 건식공법 층상배관 적용

[표 2.3.65] 건식공법 층상배관 개선(안)

〈변경 전〉 L형 FD 적용 층상배관 계통도	〈변경 후〉 건식공법 층상배관 계통도
	
〈변경 전〉 L형 FD 적용 PD 배관 평면도	〈변경 후〉 PD 배관 평면도
	

- **종합의견** : 기존에 습식공법에 적합하게 설계된 L형 FD를 건식공법에 적합한 바닥형 FD로 변경 시공하여 개선하고자 함
- **설계의도** : 기존에 습식공법 층상배관으로 설계된 도면을 모듈러 UBR 화장실에 적용하고자 건식공법 층상배관으로 변경하여 시공함, 건식자재에 걸맞지 않은 L형 FD 대신 바닥형 FD로 변경하여 시공함
- **문 제 점** : L형 F.D는 습식 화장실에 적합한 자재로서 현재기준 UBR 바닥 방수판에 적용이 불가함 / 바닥 F.D 층하배관 적용. 현재 UBR 기술개발수준으로 층상배관을 적용하기 위해서는 슬라브 단차를 두는 것이 필요
- **개선방안** : L형 FD를 바닥형 FD로 변경하여 개선, 화장실 SLAB를 70mm로 조정하여 층상배관 적용
- **기대효과** : 모듈러에 적합한 설계방식으로 개선, 화장실 전체를 층상배관 공법을 적용함으로 층간 소음 저감 및 화장실 사용하는 층에서 유지보수 가능, 화장실 천장고

추가 확보 가능

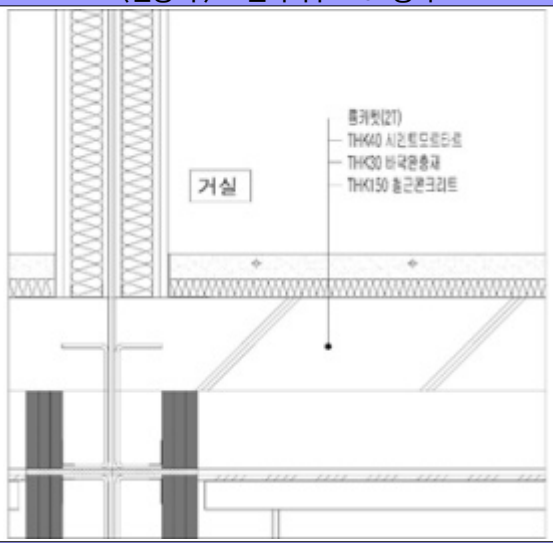
[표 2.3.66] 건식공법 층상배관 관련 이미지

<table>
<tr><th>TPR 방수판 설치</th><th>FD설치 (바닥형 FD 시공실태)</th></tr>
<tr><td>  </td><td> 
기존 설계에 반영 되었던 L형 FD 대신
바닥형 FD로 교체하여 시공</td></tr>
<tr><th colspan="2">마감완료</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
</table>

(4) 기타

① 표준 바닥구조 개선

[표 2.3.67] 표준 바닥구조 개선(안)

<table>
<tr><th>〈변경 전〉 LH 표준 상세도 (DA-14-001)</th><th>〈변경 후〉 표준바닥구조 3 I형식</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><th>〈변경 전〉 공장 제작 공정</th><th>〈변경 후〉 공장 제작 공정</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

종합의견 : RC조에 적합한 표준 바닥 구조를 적용해 공기가 증가되는 문제점이 발생하여 건식 공정에 적합한 표준바닥구조 3을 적용하고자

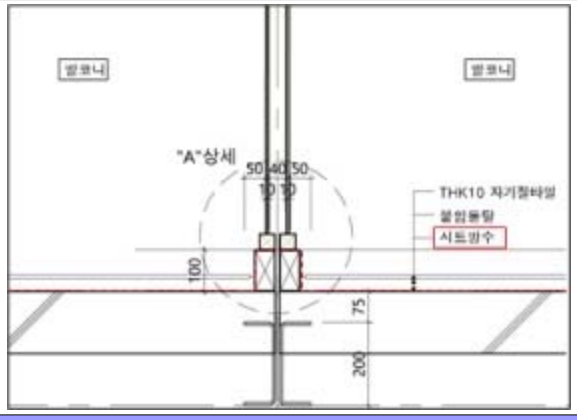
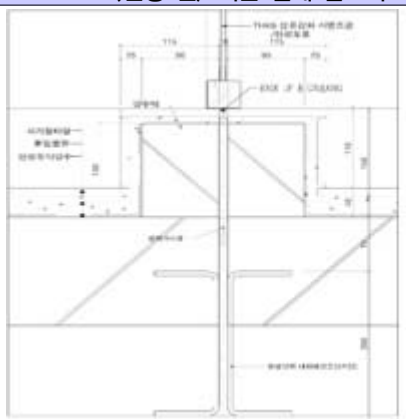
- **설계의도** : 일반적인 RC조 공동주택에 적용하는 표준바닥구조(LH 건축공사 표준 상세도 DA-14-001)를 적용해 거실 바닥구조에서 습식공정이 3번 발생 함, 건식공정에 적합한 공법 적용을 위해 표준 바닥구조 3 볚형식으로 습식공정을 줄이고 공기단축을 이루어 개선하고자 함
- **문 제 점** : 공장제작시 습식공정이 3번 (콘크리트 타설, 경량기포, 마감몰탈) 발생하여 공장의 모듈러 생산 효율이 매우 낮음, 일반적인 RC조 공동주택에 적용하는 표준바닥구조를 그대로 적용함으로써 건식구조에 적합한 공법 적용 필요
- **개선방안** : LH 건축공사 표준 상세도 DA-14-001에서 경량기포 콘크리트 공정을 삭제한 표준 바닥구조 3의 볚형식을 사용, 모듈러 공법은 라멘 구조이므로 벽식조의 인증된 바닥 안정 구조를 따르지 않아도 됨, 경량기포콘크리트 대신 시트 방수를 사용하여 라멘구조의 공장 생산 속도를 높이고자 함
- **기대효과** : 모듈 1개당 생산기간 4일 단축, 품질관리 용이

[표 2.3.68] 표준 바닥구조 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 표준 바닥구조3 1형식 시공 실태


② 발코니 방수 공법 개선

[표 2.3.69] 발코니 방수/시멘트 액체방수 공법 적용(안)

〈변경 전〉 발코니 단면도	〈변경 후〉 발코니 단면도
	
〈변경 전〉 기존 설계 발코니 도면	〈변경 후〉 변경 시공 발코니 도면
	

- **종합의견** : RC조에 적합한 시멘트 액체방수공법을 적용해 모듈러 구조와 적합하지 않고, 누수 우려가 있어 시트 방수를 적용해 개선하고자 함
- **설계의도** : 기존 설계 안에서 발코니 방수 공법을 RC조에 적합한 시멘트 액체방수 공법을 적용(LH 표준 상세도 DA-13-104 , DA-13-105)하여 모듈러 공법에 적합하지 않아 누수 우려가 있어 건식 방수 공법인 시트 방수를 적용하여 개선하고자 함
- **문 제 점** : LH표준 상세는 RC구조 공동주택의 습식 방수공법만을 규정하고 있어 건식 모듈러 공법에 적합하지 않음, 바닥과 벽체가 연결되는 부위 등에 대한 상세 필요
- **개선방안** : 모듈러 공법에 적합한 건식 방수공법 중 시트방수 적용 (기존 시멘트 액체 방수 공법에서 방수 모르타르, 압착 모르타르 삭제), 벽체도 방수가 필요한 부분까지 시트방수 처리
- **기대효과** : 건식 공법 사용으로 제작기간 단축 및 품질 향상, 공장 제작률 향상

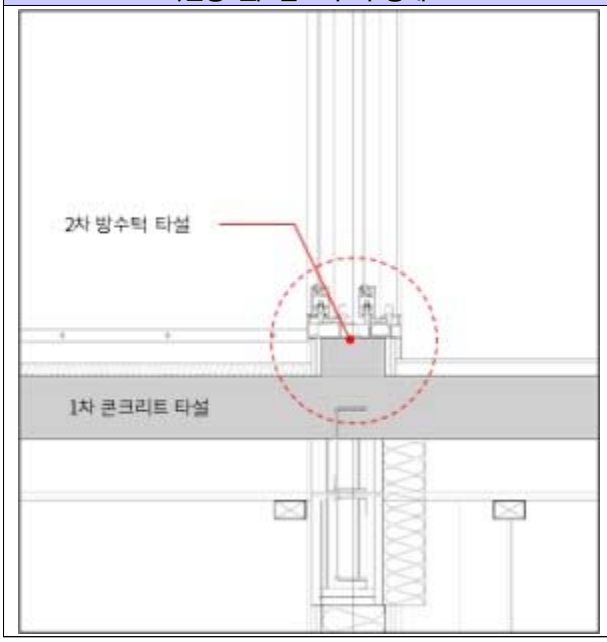
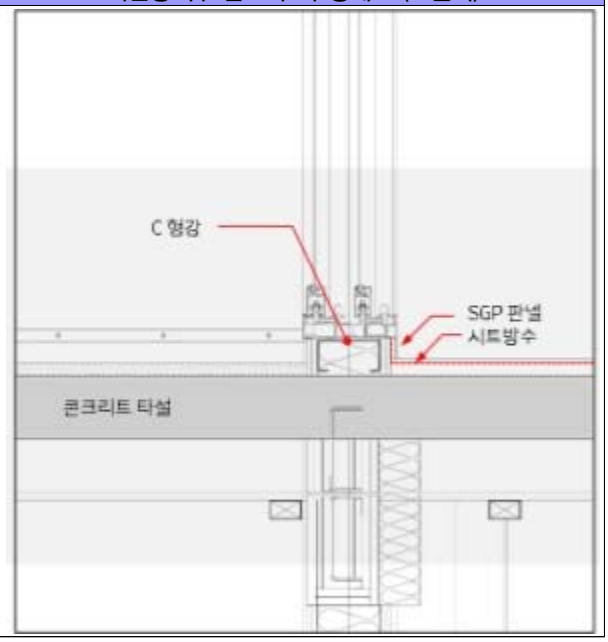
[표 2.3.70] 발코니 방수 공법 개선 이미지



\

③ 발코니 방수 턱/RC 구조 개선

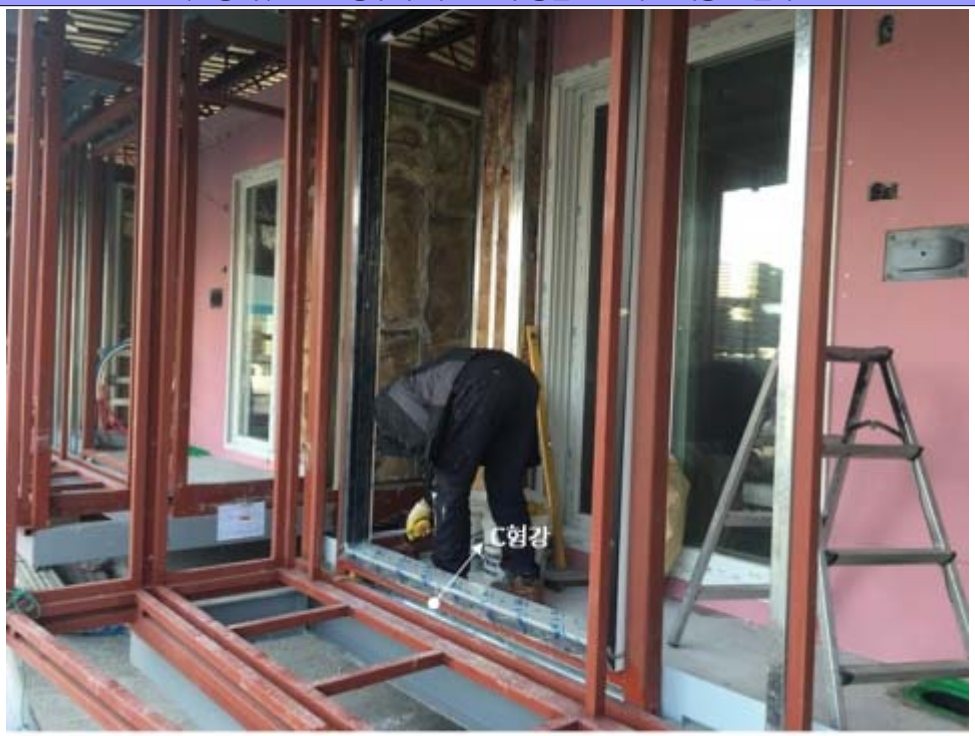
[표 2.3.71] 발코니 방수 턱 상세 개선

〈변경 전〉 발코니 턱 상세도	〈변경 후〉 발코니 턱 상세도 (모듈러)
	

- **종합의견** : 현 설계상 방수턱은 RC구조 습식 공법에 적합한 공법이므로 시트 방수 처리로 변경, 건식공법에 적합한 상세도 작성하여 개선하고자 함
- **설계의도** : 현 설계 안대로 방수턱을 만들 경우 모듈러 구조와 RC구조와의 차이로 인해 따로 공정을 추가하여 방수턱을 만드는 불필요한 작업이 발생하므로 방수턱을 삭제하고 시트방수로 처리하고자 함, 현재 건식공법에 적합한 표준 상세도가 없어 발생한 문제이므로 상세도를 작성하여 개선하고자 함
- **문 제 점** : 발코니 물막이를 위한 방수턱 시공은 RC구조 습식공법에 적합한 공법, 건식공법에 적합한 상세 적용 필요
- **개선방안** : 콘크리트 방수턱을 따로 제작하지 않고 창호 하부에 C형강과 건식 벽체를 구성하고 시트방수 처리를 하여 기 시공함, 시트 방수와 건식벽체 구성으로 공정을 단축하여 개선하고자 함
- **기대효과** : 시공의 편의성 증대, 마감품질 확보 용이

[표 2.3.72] 발코니 RC 구조 개선 관련 이미지

〈변경 후〉 RC조 방수턱 대신 건식 공법으로 개선 시공한 실태



RC조 방수턱 대신 C형강 시공



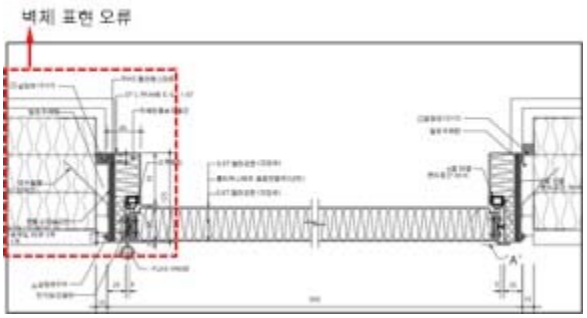
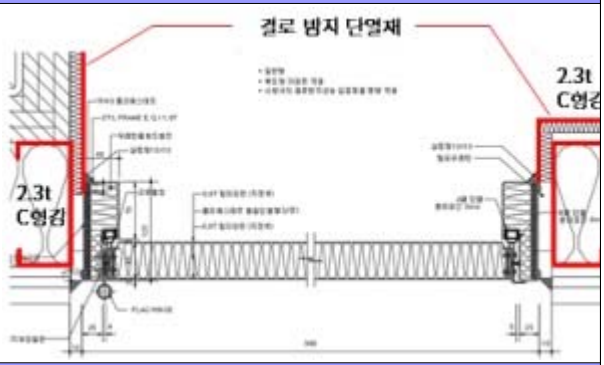
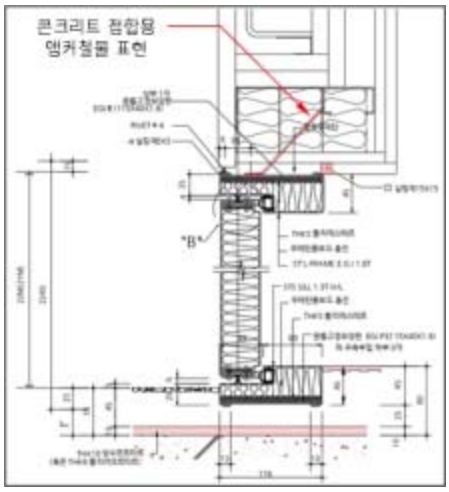
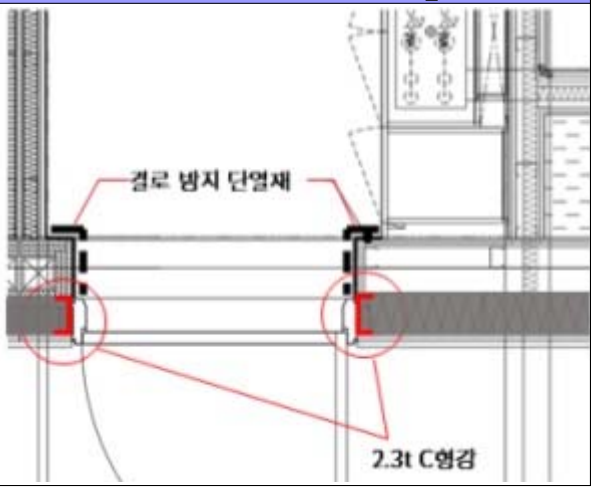
건식벽체(석고보드) 시공



시트방수 시공

④ 현관문/RC 구조 상세 개선

[표 2.3.73] 현관문/RC 구조 상세 적용(안)

〈변경 전〉 문틀 고정 상세도	〈변경 후〉 문틀 고정 상세도(모듈러)
	
	〈변경 후〉 현관 결로 방지 평면 상세도_시공도면 

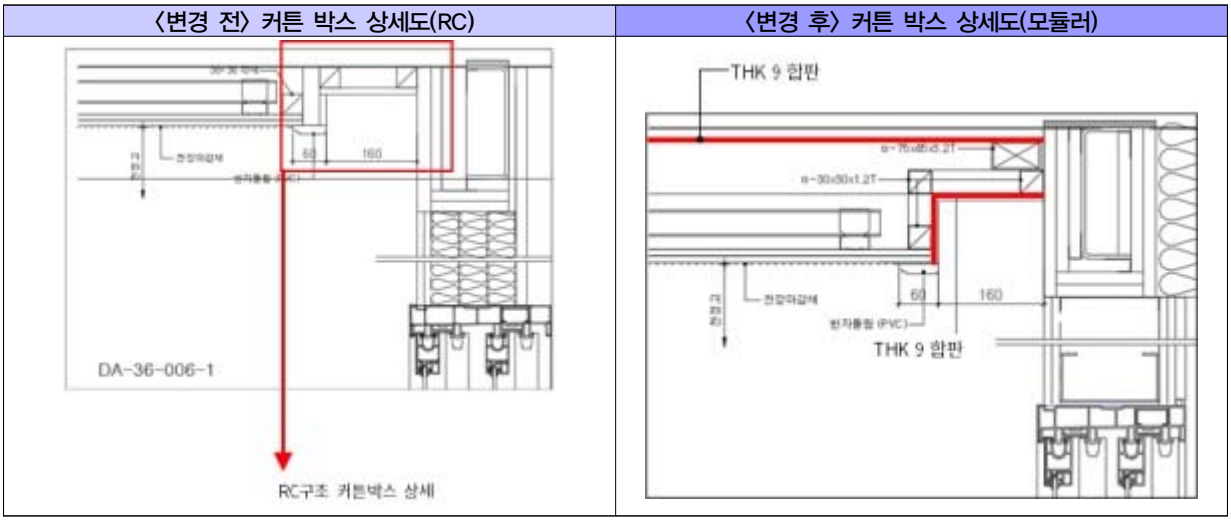
- **종합의견** : 건식공법에 적합한 상세도가 없어 LH 표준 상세도를 혼합 적용함으로써 표현오류가 발생 건식공법으로 현관상세도를 작성하여 개선하고자 함
- **설계의도** : 건식공법에 적합한 현관상세도가 없어 현 설계안과 시공 공법의 상이한 부분이 발생함, 이를 개선하고자 건식 벽체 상세도로 도면을 수정하고 결로 방지를 위한 단열재를 추가하는 방안으로 개선하고자 함
- **문 제 점** : 벽체에 현관문 고정 불가, 현관문의 고정방식을 콘크리트 접합용 앵커철물로 표시
- **개선방안** : 건식벽체의 문틀 고정 상세 적용(2.3t C형강으로 문틀 고정), 문틀 고정 시 구조체로 인해 단열 결손이 발생하지 않도록 단열 충진
- **기대효과** : 벽체와 현관 연결부위 상세 개선으로 단열 및 결로방지 성능 증대

[표 2.3.74] 건식공법 적용, 현관문 개선시공 관련 이미지



⑤ 커튼박스/RC 구조 상세 적용

[표 2.3.75] 커튼박스 구조 상세 적용(안)



- **종합의견** : RC 구조 표현으로 되어있는 커튼박스 상세도를 철골 구조물로 커튼박스 상세도를 수정하여 개선하고자 함
- **설계의도** : 현 설계안은 RC 골조 면에 각재를 적용하는 방법으로 표현되어있으므로 모듈러 철골 구조물에 각관을 부착하는 방식으로 커튼 박스 도면을 수정하고, 기밀 시트를 합판 안쪽으로 부착하여 개선하고자 함

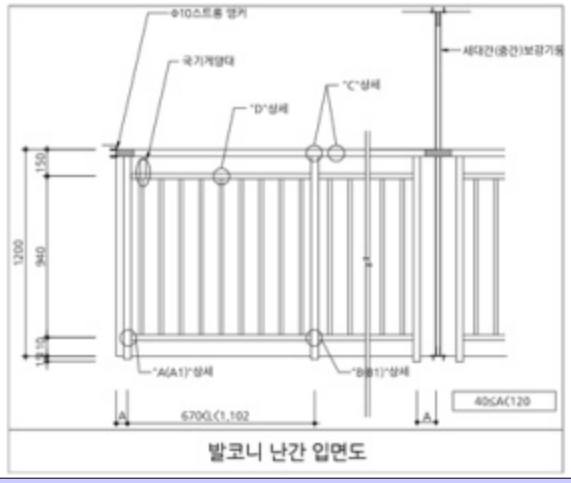
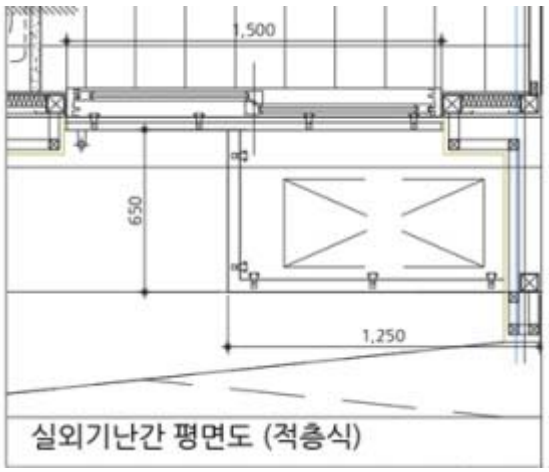
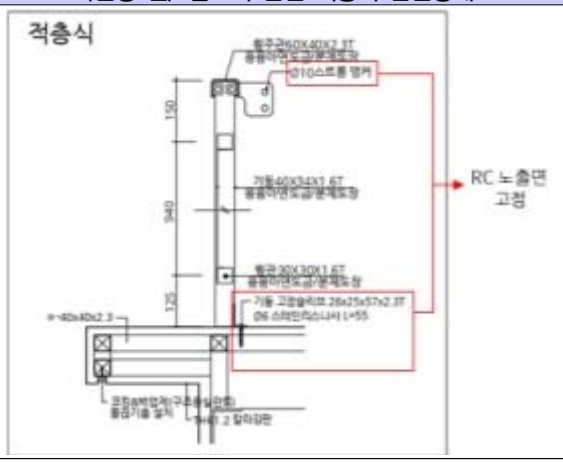
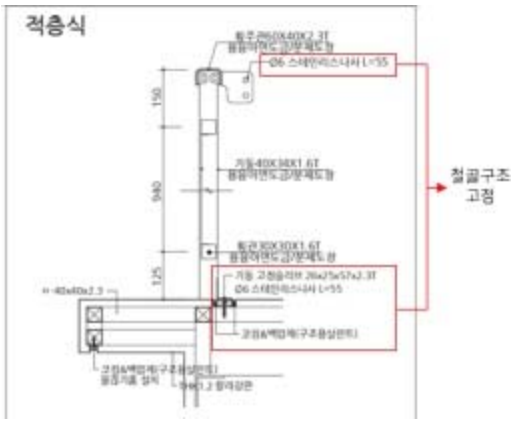
- **문 제 점** : RC구조 상세를 적용함으로써 목재보강 시공이 난해, 모듈러 공법에 적합한 상세 적용 필요
- **개선방안** : 모듈러 철골 구조에 커튼박스가 부착이 가능하도록 보강 상세도 변경하여 개선, 모듈 구조에 합판 부착 후 각관을 덧대워 커튼박스를 보강하도록 설계도 변경
- **기대효과** : 모듈러 공법에 적합한 커튼박스 상세도 개선

[표 2.3.76] 커튼박스 구조 상세 개선 관련 이미지

〈변경 후〉 상세도 대신 자체적으로 커튼박스 시공	
커튼박스 설치	창호 설치
	

⑥ 실외기 난간/RC 구조 상세 적용

[표 2.3.77] 실외기 난간 구조상세 적용(안)

〈변경 전〉 LH 표준 상세도 / DA-61-011	〈변경 후〉 발코니 난간 적층식 평면상세 / 개선안
	
〈변경 전〉 발코니 난간 적층식 단면상세	〈변경 후〉 발코니 난간 적층식 단면상세 / 개선안
	

- **종합의견** : 현 난간 상세도는 RC조에 적합한 표현 방식으로 시공시 혼란 우려가 있으므로 모듈러에 적합한 방식으로 도면을 개선하고자 함
- **설계의도** : 현 설계 안은 LH 표준 상세도 (DA-61-011)를 적용하여 RC 구조체에 시공하는 방식으로 표현 되어 있으며 건식 공법에 적합하게 상세도 표현을 개선하고자 함
- **문 제 점** : 공동주택 아파트의 경우 대부분의 난간이 RC구조체에 시공하는 방식으로 건식 구조에 대한 시공 상세가 없음, 발코니 난간 상세에 대한 건식 공법 설계안 제시 필요
- **개선방안** : 모듈러 철골 구조에 부착이 가능하도록 난간상세도를 건식공법에 적합하게 표현을 개선하고자 함, 콘크리트 접합에 사용되는 스트롱 앵커 대신 스테인리스 나사를 사용하도록 함, 기둥 고정 슬리브와 스테인리스 나사를 각파이프로 보강하여 처리하도록 표현
- **기대효과** : 시공 시 RC 조 혼합 표현으로 인한 시공자의 혼란 없이 제작 가능, RC조와 철골조의 혼합 된 표현 개선 기대

[표 2.3.78] 실외기 난간 구조상세 관련 이미지

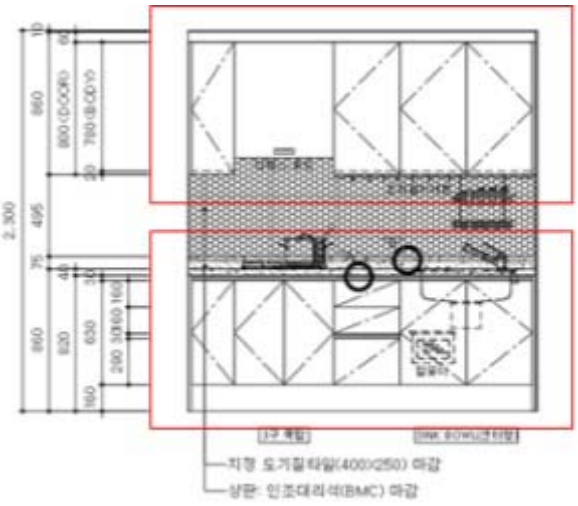
상세도 대신 자체적으로 실외기 난간 시공	
실외기 난간 설치	시공완료
	

⑦ 가구 보강 도면

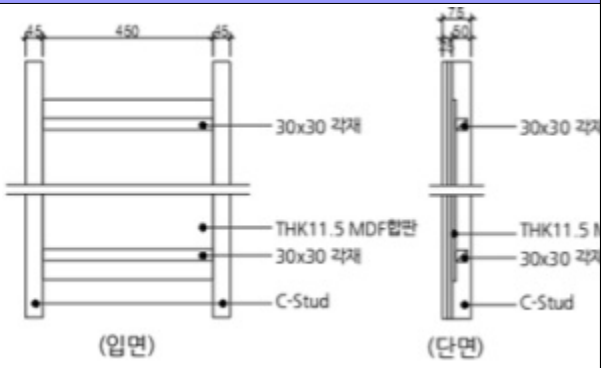
[표 2.3.79] 가구 보강/가구 보강 도면(안)

〈변경 전〉 가구보강상세도 누락

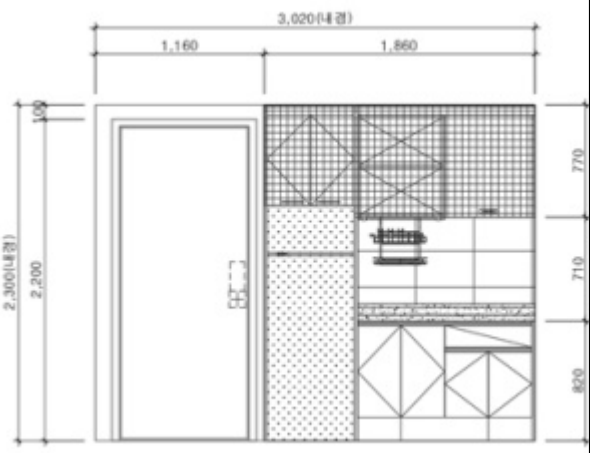
A-090	기타상세도
A090 - 001	세대 현관문 상세도
A090 - 002	주계단 난간상세도
A090 - 003	발코니 난간상세도
A090 - 004	기타상세도-1
A090 - 005	기타상세도-2
A090 - 006	기타상세도-3
A090 - 007	기타상세도-4
A090 - 008	우편함상세도
A090 - 009	비상탈출구 상세도
A090 - 010	적층식 지붕조인트평면도
A090 - 011	지붕판넬부분상세도



〈변경 후〉 경량 벽체 가구 일람표



〈변경 후〉 벽체 가구보강 전개도



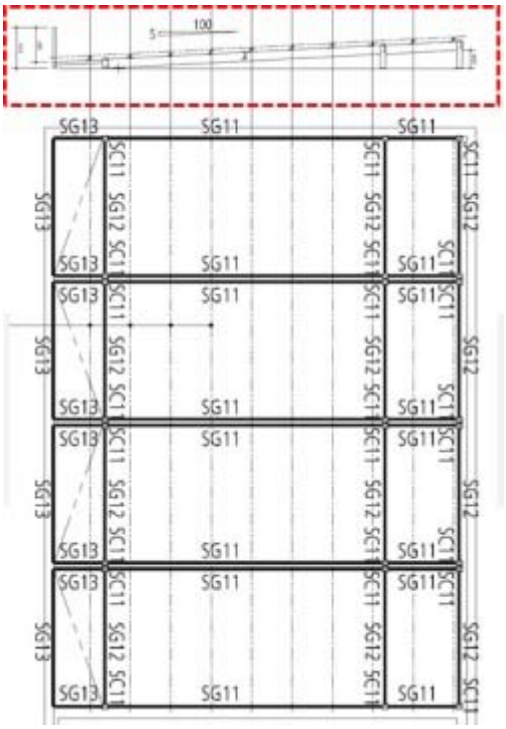
- **종합의견** : 현 설계 안에서 가구 보강 상세도가 누락되었고 시공 시 자체적으로 시공 진행 함 건식공법 에 맞는 설계 도면 추가로 개선하고자 함
- **설계의도** : 최종 도서에 가구보강 상세도가 누락 되어 있으며 모듈러 공법상 일반적으로 가구 보강이 필요함으로 경량벽체 가구보강 상세도를 추가하고자 함
- **문 제 점** : 모듈러 공법의 벽체는 일반적으로 경량 철골 벽체로 시공되기 때문에 주방 가구를 시공하기 위해서는 별도의 벽체 보강 상세 필요
- **개선방안** : 경량 벽체 내부에 THK9 합판을 덧 시공하여 보강, 경량벽체에 가구, TV 브라켓 등의 설치를 위한 별도 도면을 작성하여 벽체 설치 시 가구보강이 누락되지 않도록 관리
- **기대효과** : 공장에서 모듈러 벽체 설치 시 가구 보강 시공 가능, 벽체 설치되는 가구의 탈락 방지

[표 2.3.80] 가구 구조상세 관련 이미지

〈변경 후〉 자체적으로 가구보강하여 시공	
경량벽체 시공	가구 설치 위치 합판보강
	
가구 설치	마감 완료
	

⑧ 지붕 트러스/고소작업 최소화

[표 2.3.81] 고소작업 최소화

〈변경 전〉 종 단면도	〈변경 후〉 종 단면 개념
	

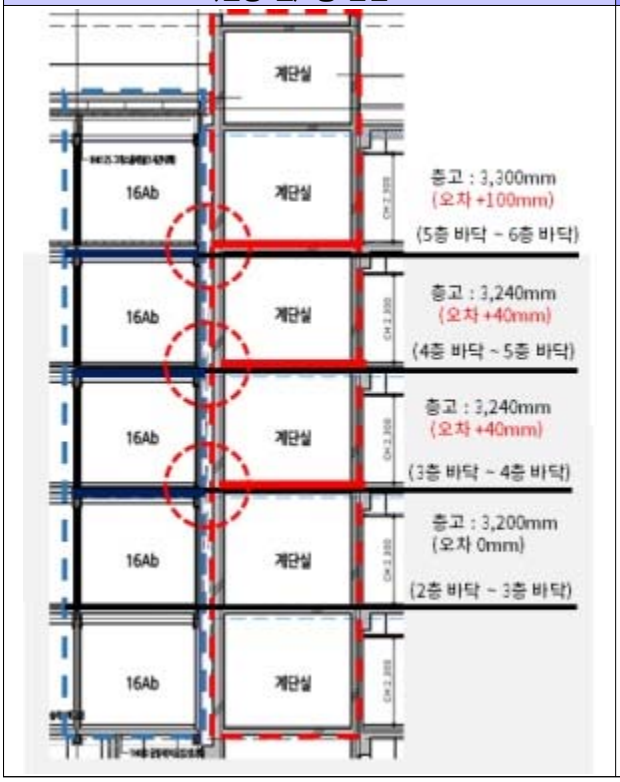
- **종합의견** : 지붕 구조 설치 시 고소 작업으로 인한 안전상의 우려가 되므로 지붕 트러스를 공장에서 선 제작하여 안전성을 개선하고자 함.
- **설계의도** : 현재 모듈러 구조 위 별도로 현장에서 지붕 트러스와 지붕패널을 설치함으로써 고소작업으로 인한 안전상의 우려가 되므로 공장에서 모듈로 지붕 트러스를 선 제작하여 현장에서 조립만 할 수 있도록 개선하고자 함
- **문 제 점** : 트러스 및 지붕패널 설치 시 고소작업으로 인한 추락 위험 상존, 모듈 설치부터 지붕패널 완료전까지 우천에 대비한 별도의 전체 모듈 보양 필요
- **개선방안** : 공장에서 미리 지붕 트러스 구조를 제작하여 현장에서는 트러스 구조를 모듈러 최상부에 조립만 할 수 있도록 하여 현장 작업 최소화를 통한 안전성을 개선하고자 함
- **기대효과** : 공장 제작율 제고 및 현장 트러스 및 지붕설치공사 기간 단축, 고소 작업 안전도 향상

[표 2.3.82] 지붕 트러스/고소작업 최소화 관련 이미지

천안두정 모듈러 주택 트러스 제작 및 설치	
트러스 골조제작 (개선전)	트러스 현장 설치(개선전)
	
[공장에서 제단 제작]	[현장에서 직접 조립 설치]

⑨ RC 코어/시공 오차 발생

[표 2.3.83] RC코어/모듈 간 시공 오차 개선

〈변경 전〉 횡 단면도	〈변경 후〉 횡 단면도
	

- **종합의견** : : RC코아 선시공시 기존 설계된 층고와 상이한 높이로 시공되어 모듈러 접합 시 문제가 발생했으므로 PC 코아로 변경하여 개선하고자 함.
- **설계의도** : RC코어와 적층식 모듈러구조가 층별 복도를 통해 연결하는 설계안에서 선시공된 RC 코아에서 층고 오차가 발생 했으므로 RC코아가 아닌 PC 코아로 설계 변경하여 시공상의 오차를 개선하고자 함.
- **문 제 점** : RC코어의 시공오차로 인해 층별 SL의 누적오차 발생, 코어시공과 동시에 모듈을 제작하기 때문에 시공오차를 모듈러 제작시 반영할 수 없음
- **개선방안** : 시공 정밀성 확보가 가능한 PC 코아를 제안함.
- **기대효과** : RC코어 시공오차 발생으로 인한 리스크 최소화, 공장제작율 향상

[표 2.3.84] RC코어/모듈 간 시공 오차 관련 이미지

시공된 RC코어와 모듈러 높이 상이로 인한 모듈러 높이 변경 제작 시공 실태

RC코어 현장 측량 결과



층고 : 3,200mm (오차 0mm)
내용 : 2층 층고 확인 (2층 바닥 ~ 3층 바닥)



층고 : 3,240mm (오차 +40mm)
내용 : 3층 층고 확인 (3층 바닥 ~ 4층 바닥)



층고 : 3,240mm (오차 +40mm)
내용 : 4층 층고 확인 (4층 바닥 ~ 5층 바닥)



층고 : 3,300mm (오차 +100mm)
내용 : 5층 층고 확인 (5층 바닥 ~ 6층 바닥)

모듈러 높이 변경 제작

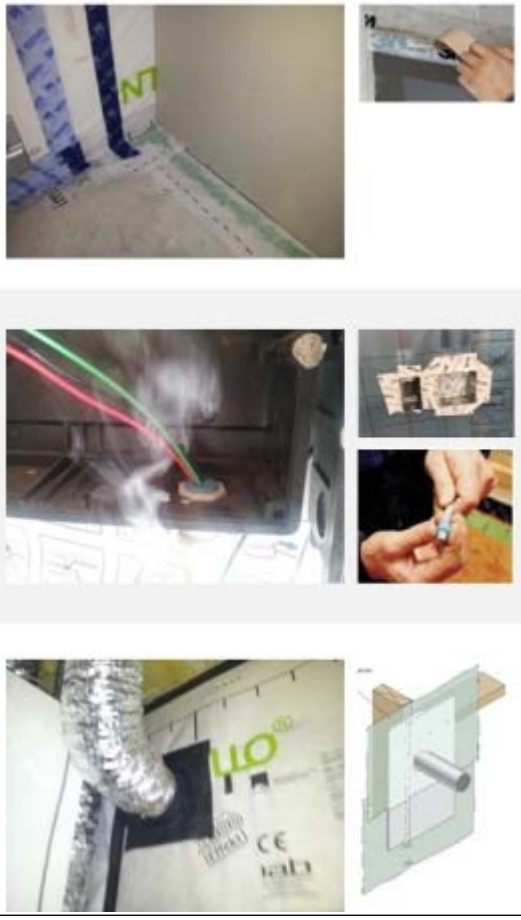






⑩ 기밀성능/기밀 자재 개선

[표 2.3.85] 기밀관련 자재 개선

〈변경 전〉 기밀설계 미적용으로 인한 누기발생	〈변경 후〉 기밀시공 개선방안
 ※ 누기 발생 A : 별도 바닥 마감이 없는 PD실 바닥과 건식 벽체의 연결부 B : 욕실 기구류 접합부 C : 전기 기구류 설치부위 (콘센트, 초인종) D : 벽체 설비배관 관통부 (에어컨)	▼ 개선방안 A : 벽체 기밀방습지 연장시공, 접착 

- **종합의견** : 현 설계 안에서 기밀 시공에 대한 내용이 없어 자체적으로 시공처리 했으나 미흡함 전반적인 기밀설계에 대한 기준 마련하여 개선하고자 함
- **설계의도** : 현 설계안에서 기밀 시공에 대한 언급이 없어 시공에서 벽체 및 천장 기밀 방습지 시공만 제시 했으므로 전반적인 기밀 성능을 높이기 위해 기밀 설계 기준을 마련하여 개선하고자 함
- **문 제 점** : 기밀 설계에 대한 기준 미비로 인해 화장실 세면대, AD / PD실의 배관부 , 콘센트 와 에어컨 배관 관통부의 기밀설계 누락으로 누기 발생
- **개선방안** : 누기 발생 A – 벽체 기밀방습지를 바닥마감에 150mm 연장시공 하고 전용 접착테이프로 밀착, 누기 발생 B – 욕실 기구류 접합부분은 방수 실란트를 사용하여 밀실하게 충진, 누기 발생 C – 전기 배관시 콘센트용 기밀캡 자재를 사용하여 시공. 누기발생 D – 설비 배관 주변은 전용 기밀테이프를 이용하여 처리
- **기대효과** : 제로에너지 건물 수준의 기능성능 유지,건축물의 결로방지 및 단열 성능 향상

[표 2.3.86] 기밀관련 자재 관련 이미지



(5) 천안 두정동 적층공법의 생산 제작 모니터링 결과

❍ 기밀 및 차음/ 방수 및 단열 성능 등 평가 결과 전반적인 성능개선이 필요

- 천안 두정동 적층공법의 생산 제작 모니터링 결과 기밀성능과 차음성능 등 POE의 조사결과로부터 도출되는 항목에서 문제점이 도출되었음. 이밖에 방수성능과 단열성능에서도 성능개선이 필요한 것으로 보임

❍ 접합부위에 개선점이 발생

- 그리고 공장제작 부분과 현장 시공에 대한 명확한 구분이 없어 접합부위 등에서 시공하자가 일부 발생한 것으로 나타남. 또한 많은 시공개선부분은 기존의 발주기관 기준의 일률적인 적용으로 시공되어 모듈러를 위한 시방기준 등을 개발하는 노력이 필요할 것으로 나타남

❍ 코아와의 접합부

- 특히 천안두정의 적층식 공법의 경우 RC코아와의 구조내력을 고려하여 일정한 틈을 두고 이격되어 자중으로 적층된 바, 여기에서 과다한 코아와의 이격으로 인한 시공하자 등이 우려됨. 다음의 표는 모니터링결과를 요약 정리한 것임

No	공정	문제점	개선방향
1	**기밀성능/화장실, 커튼박스 누기 발생**	1. 각 실 별로 기밀구획을 할 경우 화장실 벽체 등 기밀시트 시공 등이 어려운 부분이 발생됨, 화장실의 천장부분의 SMC 천장재 기밀 시공 난해 2. 커튼 박스 부분 기밀 설계 누락.	1. 각 실 별이 아닌 모듈의 세대 단위로 기밀설계 범위 확대, 2. 모듈 상부 합판을 이용하여 천장 기밀지 시공
2	**차음성능/보 내부 공간을 통한 소음 전달**	2. 벽체 상부 보 내부 공간을 통한 세대간 소음 전달 발생 우려, 1. 건식 보 내화시스템(BB17-1129-1)에 대한 차음 성능 검증 미비	모듈 연결부위 및 보를 통한 세대간 소음 전달 저감, 상부 CEILING STUD 접합부에도 밀실하게 차음재를 충진하도록 할 것
3	**방수성능/기초 방수턱 누수 하자 우려**	1. 방수턱이 SLAB 골조와 분리시공으로 인하여 시공 이음부위가 발생, 2. 시공 이음부 균열 발생시 1층 천장 누수발생 우려	1F SLAB 골조와 일체화가 될 수 있도록 방수턱을 콘크리트로 SLAB 와 같이 이어칠 수 있도록 설계

4	**단열성능/복도, 발코니 외벽 단열재 없음**	1. 시공 상의 단가 문제로 인해 최종설계도서에서 복도와 발코니의 단열재가 삭제 됨, 2. 이로 인해 복도와 발코니의 결로 발생이 우려가 되므로 단열재를 계획하고자 함	복도와 발코니 단열재를 설치하여 기둥 연결 구간에도 연속적으로 단열재 설치
5	**단열성능/복도, 발코니 결로 방지 단열재 단절**	1. 기둥으로 인한 단열재 끊김 현상 발생, 2. 내 외부와의 온도 차로 인해 이슬 맺힘 현상 등 결로 발생 우려	복도와 발코니 기둥 외측으로 단열재위치를 조정하여 기둥 연결구간에도 연속적으로 단열재 설치
6	**모듈러, RC 코아 분리/구조부재 추가로 인한 마감 간섭**	1. 모듈러에 X-Brace 추가 설치, X방향 횡 변위에 취약하며 브레이스 설치로 인한 부재추가와 공간간섭 발생, 2. 모듈간 접합 십자 플레이트로 보완 조립 복합성으로 인해 시공성이 떨어짐 .	1. 모듈러 구조와 코아월을 연결하여 일체 구조로 해석, 2. PC 구조로 코아 월 변경, 3. 모듈러 구조와 접합부 연결시공, 4. 모듈러 기둥에 Plate를 뽑아 코아에 미리 매립 되어있는 앵글과 접합 시공한다.
7	**진동/캔틸레버 구조 발코니 진동하자 우려**	1. 발코니 외 돌출된 외장을 적용하여 캔틸레버 보 돌출길이 1.9m 이상 적용으로 처짐 하자 발생 우려, 2. 발코니 세탁기 사용으로 인한 진동발생 우려, 구조 설계 시 고려 되지 않음	1. 설계 발코니 쪽 샛기둥이 빠진 것으로 설계 되었으나 현장 시공 시 SC3 (ㅁ-75 X 75 X 2.3) 부재를 추가 보강하여 시공 설계도서 개선 후 현장시공 완료, 2. 구조 설계 시 발코니 구간도 포함하여 구조 설계 필요함
8	**설비배관 / 모듈러 하부 RC 보와 배관 간섭**	1. 현장에서 시공되는 PD 수직배관이 1층 천장에서 RC보와 간섭발생, 2. 배관 효율이 떨어지며 시공 난이도가 높음	1. RC와 모듈러 구조를 혼합할 경우 설비 수직 배관의 간섭이 발생하지 않도록 접합부 PD 수직배관 상세를 우선 검토, 2. 모듈러 하부층 공간 계획에 영향을 받지 않는 범위 내에서 RC보 위치 이동
9	**공장 제작 범위/공장 제작분 미분류**	1. 복도 벽체가 현장시공으로 표기되어 공장 제작분과 줄눈 나누기 등의 차이 발생, 2. 모듈러 공법의 특성인 접합부에 대한 디자인 요소가 전개도에 반영되지 않음	도면 표기 시 공장 제작 분에 대한 시공 한계를 표현, 현장 시공 시 모듈 연결 부 시공에 대한 상세 포함

10	**층상배관/화장실 습식공법 층상배관 적용**	1. L형 F.D는 습식 화장실에 적합한 자재로서 현재기준 UBR 바닥 방수판에 적용 불가함 / 바닥 F.D 층하배관 적용. 2. 현재 UBR 기술개발수준으로 층상배관을 적용하기 위해서는 슬라브 단차를 두는 것이 필요	L형 FD를 바닥형 FD로 변경하여 개선, 화장실 SLAB를 70mm로 조정하여 층상배관 적용
11	**표준 바닥 구조/모듈 제작 공정 증가**	1. 공장제작시 습식공정이 3번 (콘크리트 타설, 경량기포, 마감몰탈) 발생하여 공장의 모듈러 생산 효율이 매우 낮음, 2. 일반적인 RC조 공동주택에 적용하는 표준바닥구조를 그대로 적용함으로써 건식구조에 적합한 공법 적용 필요	1. LH 건축공사 표준 상세도 DA-14-001에서 경량기포 콘크리트 공정을 삭제한 표준 바닥구조 3의 봠형식을 사용, 2. 모듈러 공법은 라멘 구조이므로 벽식조의 인증된 바닥 안정 구조를 따르지 않아도 됨, 2. 경량기포콘크리트 대신 시트 방수를 사용하여 라멘구조의 공장 생산 속도를 높이고자 함
12	**발코니 방수/시멘트 액체방수 공법 적용**	1. LH표준 상세는 RC구조 공동주택의 습식 방수공법만을 규정하고 있어 건식 모듈러 공법에 적합하지 않음, 2. 바닥과 벽체가 연결되는 부위 등에 대한 상세 필요	1. 모듈러 공법에 적합한 건식 방수공법 중 시트방수 적용 (기존 시멘트 액체 방수 공법에서 방수 모르타르, 압착 모르타르 삭제), 2. 벽체도 방수가 필요한 부분까지 시트방수 처리
13	**발코니 방수턱/RC 구조 상세 적용**	발코니 물막이를 위한 방수턱 시공은 RC구조 습식공법에 적합한 공법, 건식공법에 적합한 상세 적용 필요	1, 콘크리트 방수턱을 따로 제작하지 않고 창호 하부에 C형강과 건식 벽체를 구성하고 시트방수 처리를 하여 기시공함, 2. 시트 방수와 건식벽체 구성으로 공정을 단축하여 개선하려 함
14	**현관문/RC 구조 상세 적용**	1. 벽체에 현관문 고정 불가, 2. 현관문의 고정방식을 콘크리트 접합용 앵커철물로 표시	1. 건식벽체의 문틀 고정 상세 적용(2.3t C형강으로 문틀 고정), 2. 문틀 고정 시 구조체로 인해 단열 결손이 발생하지 않도록 단열 충진
15	**커튼박스/RC 구조 상세 적용**	1. RC구조 상세를 적용함으로써 목재보강 시공이 난해, 2. 모듈러 공법에 적합한 상세 적용 필요	1. 모듈러 철골 구조에 커튼박스가 부착이 가능하도록 보강 상세도 변경하여 개선, 2. 모듈 구조에 합판 부착 후 각관을 덧대워 커튼박스를 보강하도록 설계도 변경

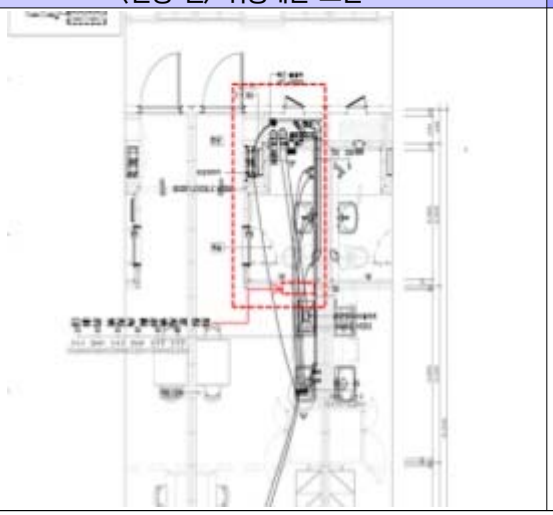
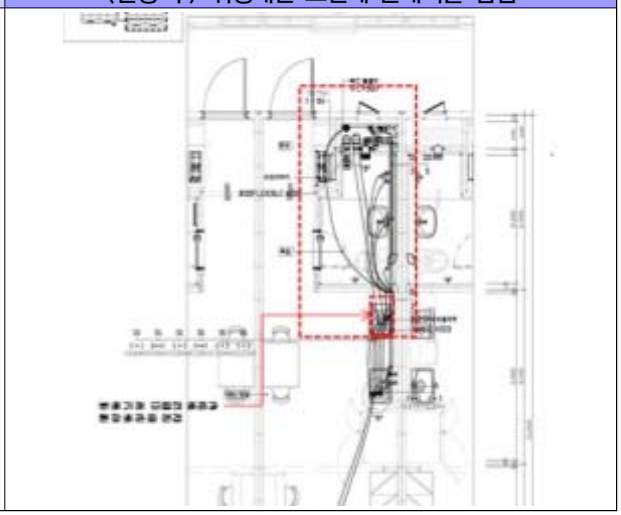
16	**실외기 난간/RC 구조 상세 적용**	1. 공동주택 아파트의 경우 대부분의 난간이 RC구조체에 시공하는 방식으로 건식 구조에 대한 시공 상세가 없음, 2. 발코니 난간 상세에 대한 건식 공법 설계 안 제시 필요	1. 모듈러 철골 구조에 부착이 가능하도록 난간상세도를 건식공법에 적합하게 표현을 개선하고자 함, 2. 콘크리트 접합에 사용되는 스트롱 앵커 대신 스테인리스 나사를 사용하도록 함, 3. 기둥 고정 슬리브와 스테인리스 나사를 각파이프로 보강하여 처리하도록 표현
17	**가구 보강/가구 보강 도면 필요**	모듈러 공법의 벽체는 일반적으로 경량 철골 벽체로 시공되기 때문에 주방 가구를 시공하기 위해서는 별도의 벽체 보강 상세 필요	1. 경량 벽체 내부에 THK9 합판을 덧 시공하여 보강, 2. 경량벽체에 가구, TV 브라켓 등의 설치를 위한 별도 도면을 작성하여 벽체 설치 시 가구보강이 누락되지 않도록 관리
18	**지붕 트러스/고소작업 최소화**	1. 트러스 및 지붕패널 설치 시 고소작업으로 인한 추락 위험 상존, 2. 모듈 설치부터 지붕패널 완료전까지 우천에 대비한 별도의 전체 모듈 보양 필요	공장에서 미리 지붕 트러스 구조를 제작하여 현장에서는 트러스 구조를 모듈러 최상부에 조립만 할 수 있도록 하여 현장 작업 최소화를 통한 안전성을 개선하고자 함
19	**RC 코어/시공 오차 발생**	1. RC코어의 시공오차로 인해 층별 SL의 누적오차 발생, 2. 코어시공과 동시에 모듈을 제작하기 때문에 시공오차를 모듈러 제작시 반영할 수 없음	시공 정밀성 확보가 가능한 PC 코아를 제안함.
20	**기밀성능/기밀 자재 개선**	기밀 설계에 대한 기준 미비로 인해 화장실 세면대, AD / PD실의 배관부 , 콘센트 와 에어컨 배관 관통부의 기밀설계 누락으로 누기 발생	1. 누기 발생 A : 벽체 기밀방습지를 바닥마감에 150mm 연장시공 하고 전용 접착테이프로 밀착, 2. 누기 발생 B : 욕실 기구류 접합부분은 방수 실란트를 사용하여 밀실하게 충진, 3. 누기 발생 C : 전기 배관시 콘센트용 기밀캡 자재를 사용하여 시공. 4. 누기발생 D : 설비 배관 주변은 전용 기밀테이프를 이용하여 처리

다) 천안두정 모듈러 인필식 제작 및 시공 분석

(1) 성능개선

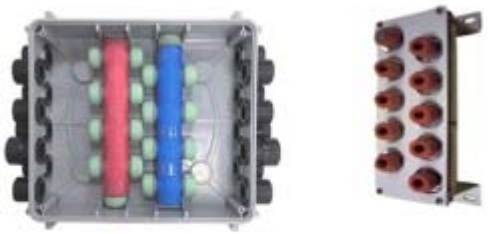
① 위생배관

[표 2.3.87] 위생배관 개선(안)

〈변경 전〉 위생배관 도면	〈변경 후〉 위생배관 도면에 분배기를 삽입
	

- **종합의견** : 분배기의 사용으로 인필 설치와 설치 후 위생배관 관리 및 누수 발생을 방지
- **설계의도** : 위생배관의 도면이 모듈러 내부의 위생배관과 현장의 위생배관 연결에 대한 설명이 부족함
- **문 제 점** : 공장에서 모듈러의 위생배관을 설치한 후 인필하여 현장의 위생배관과 연결하는 공법으로 인해 위생배관의 연결 부위에서 누수가 발생할 수 있는 문제점이 발생
- **개선방안** : 공장에서 모듈러 내부에 분배기를 설치하고 위생배관을 연결 후 인필하여 현장 위생배관을 분배기에 연결하는 개선 방안
- **기대효과** : 인필 및 셋팅 시 위생배관의 품질저하를 방지, 분배기에 위생배관을 연결함으로써 연결부위의 누수 발생을 방지

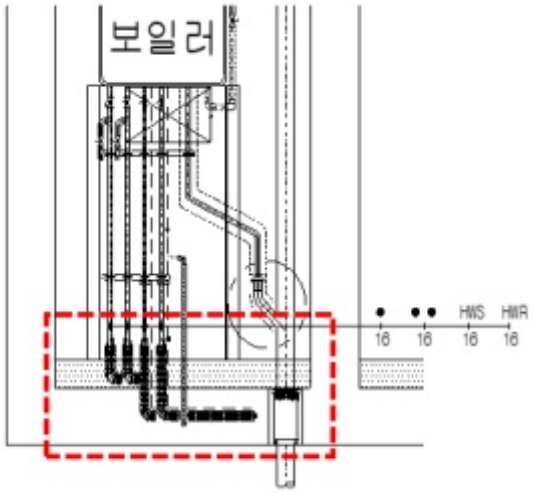
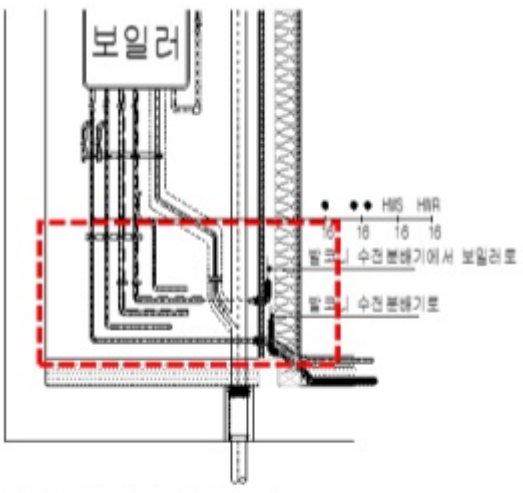
[표 2.3.88] 위생배관 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 위생배관 시공실태	〈변경 후〉 변경 후 위생배관
 ▶ 공장에서 모듈러의 위생배관을 설치한 후 인필하여 현장의 위생배관과 연결하는 방식으로 시공 함.	 ▶ 공장에서 모듈러 내부에 위와 같은 분배기를 설치하여 배관을 연결 후 인필하여 현장 위생배관을 분배기에 연결하는 개선 방안.

(2) LH 표준 적용에 따른 오류

① 보일러배관

[표 2.3.89] 보일러 배관 개선(안)

〈변경 전〉 보일러 배관 부분 단면도	〈변경 후〉 보일러 배관 부분 단면도 (온수관 노출)
	

- **종합의견** : 보일러 온수관의 노출시공으로 유지보수에 용이
- **설계의도** : 보일러의 온수관을 매립한 슬라브에서 연결함
- **문 제 점** : 슬라브에 매립한 온수관은 향후 유지 보수가 어려움
- **개선방안** : 모듈러 업체에서 발코니 부분까지 제작하여 보일러 온수배관을 구조체와 별도 분리하는 방식
- **기대효과** : 온수관이 노출되어 있으므로 유지보수에 용이. 노출된 온수관을 별도 마감하여 시각적 효과를 기대

[표 2.3.90] 보일러 배관 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 보일러 배관 시공실태	〈변경 후〉 보일러 배관 개선 후 시공실태
 ▶ 슬라브에 매립한 온수배관	 ▶ 보일러를 상향으로 설치 후 배관을 노출 시킨 다음 점검구를 포함한 커버를 별도 마감 하여 유지보수에 용이 하고 시각적 효과에도 기대.

② 3연동 슬라이딩 도어

[표 2.3.91] 3연동 슬라이딩 도어 개선(안)

〈변경 전〉 3연동 슬라이딩 도어를 사용한 도면	〈변경 후〉 양개도어를 사용한 도면
	

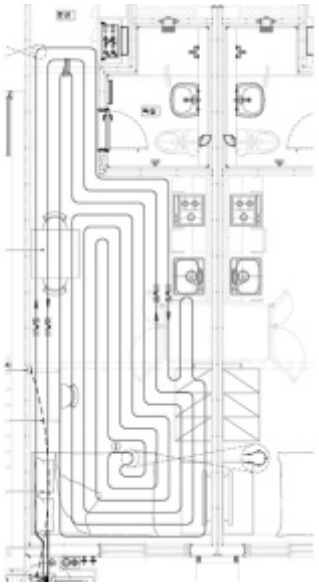
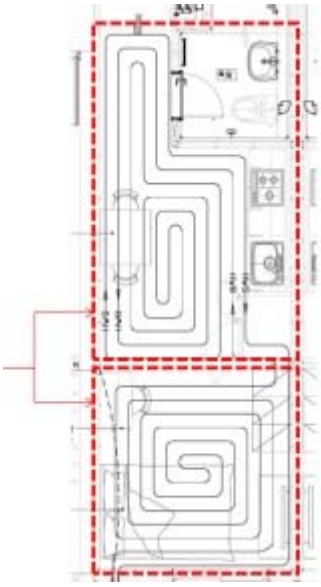
- **종합의견** : 양개도어를 사용하여 사용 품질성능을 확보 및 효율적 배치공간 확보
- **설계의도** : 크기가 너무 큰 3연동 슬라이딩 도어를 사용
- **문 제 점** : 3연동 슬라이딩 도어의 사이즈가 크기 때문에 문틀을 잡아주는 판넬의 면적이 좁아지는 단점 발생, 진동 및 흔들림으로 문틀의 탈락위험이 생길 수 있는 문제점 발생
- **개선방안** : 3연동 슬라이딩 도어가 아닌 양개도어를 사용하여 판넬의 면적을 넓히는 개선방안
- **기대효과** : 문틀을 잡아주는 면적이 늘어남으로써 진동 및 흔들림에도 문틀의 탈락위험을 방지, 확보된 판넬 면적의 공간을 활용가능

[표 2.3.92] 3연동 슬라이딩 도어 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 3연동 슬라이딩 도어를 시공한 사진	〈변경 후〉 양개도어를 시공한 사진
 ▶ 3연동 슬라이딩 도어를 설치하게 되면 문틀을 잡아주는 판넬의 면적이 작아 진동 및 흔들림으로 문틀의 탈락위험이 생길 수 있음.	 ▶ 문틀을 잡아주는 면적이 늘어남으로써 진동 및 흔들림과 문틀의 탈락위험을 방지. ▶ 확보된 공간을 활용가능.

③ 바닥 난방 배관

[표 2.3.93] 바닥 난방 배관 개선(안)

〈변경 전〉 바닥 난방 배관의 직선화	〈변경 후〉 바닥 난방 배관의 나선형화
	

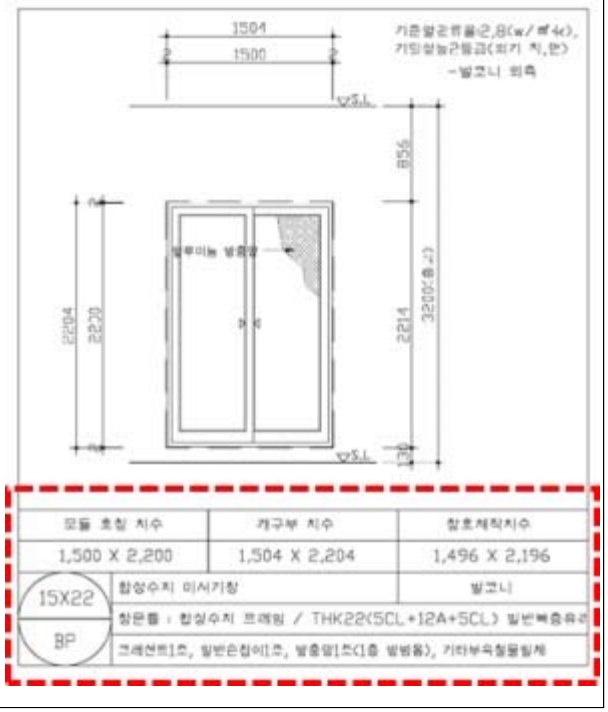
- **종합의견** : 바닥 난방 배관을 나선형으로 시공하여 난방효과 극대화
- **설계의도** : 바닥 난방 배관 설치 도면
- **문 제 점** : 바닥 난방 배관이 일직선으로 시공이 되면 난방수가 한 방향으로만 흐르게 되어 난방효과가 저하되는 문제점 발생
- **개선방안** : 주방/거실과 방의 난방배관을 따로 분리하고 배관을 나선형으로 설치
- **기대효과** : 나선형으로 배관을 설치하여 난방수를 순환하게 만들어 난방 효과를 극대화

[표 2.3.94] 바닥 난방 배관 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 바닥 난방 배관 시공실태	〈변경 후〉 바닥 난방 배관 시공실태
	

④ 발코니 샷시 프레임 외부 도장

[표 2.3.95] 발코니 샷시 프레임 외부 도장 개선(안)

〈변경 전〉 발코니 샷시 도면	〈변경 후〉 발코니 샷시 창호도
	

- **종합의견** : PVC 및 알루미늄 프레임(기성품)을 스펙 적용하여 품질성능 극대화
- **설계의도** : LH의 요청으로 프레임의 외부를 NCS S 8000-N 으로 도장 요청
- **문 제 점** : PVC 프레임에 도장을 하게 되면 시간이 지난 후 햇빛 및 날씨의 영향으로 도장 코팅이 벗겨지는 문제점이 발생
- **개선방안** : 도장하지 않고 기성품의 PVC 프레임을 그대로 사용, 알루미늄 기성 프레임을 사용
- **기대효과** : 외기에 노출이 되더라도 코팅이 벗겨지는 현상이 없음

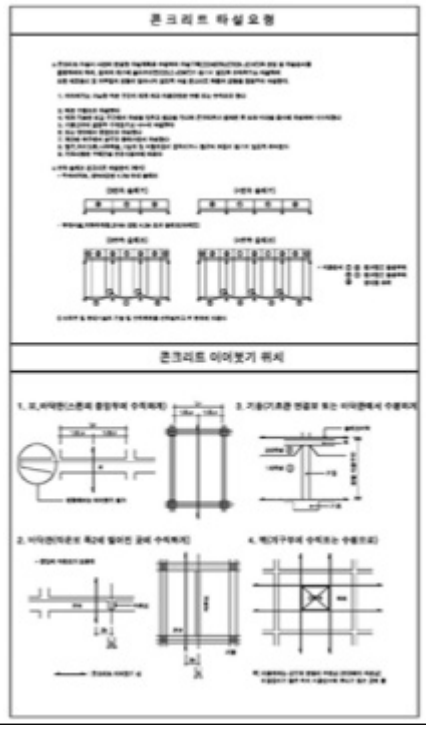
[표 2.3.96] 발코니 샷시 프레임 외부 도장 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 프레임 외부에 지정 색상으로 도장	〈변경 후〉 프레임 외부를 도장하지 않고 기성품을 사용
	

(3) 시공오류

① 바닥 레벨의 평준화

[표 2.3.97] 바닥 레벨의 평준화 개선(안)

〈변경 후〉 콘크리트 타설 요령


- **종합의견** : 바닥레벨의 수평화로 모듈러의 기밀효과가 극대화
- **설계의도** : 인필방식을 위한 구조체를 철근콘크리트구조(R.C조)로 적용 시공 함
- **문 제 점** : 바닥(SLAB)이 평탄하지 않기 때문에 모듈러 인필 시 기밀효과가 떨어지는 문제점이 발생
- **개선방안** : 콘크리트 타설 요령 및 시방을 준수하고 바닥(SLAB)의 레벨이 수평이 될 수 있도록 철저한 시공관리가 필요
- **기대효과** : 인필 후 모듈러 세팅 시간이 절약. 모듈러와 바닥이 밀착되어 모듈러의 기밀효과가 극대화

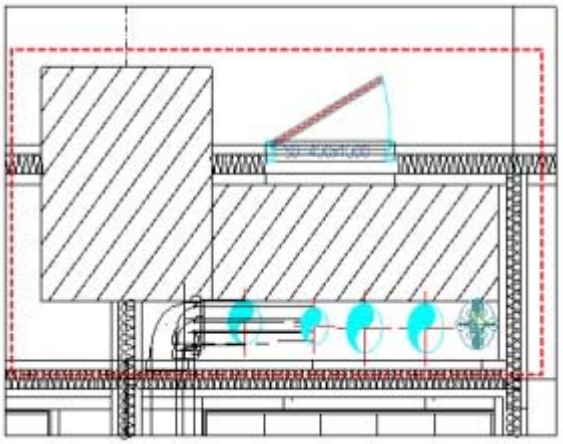
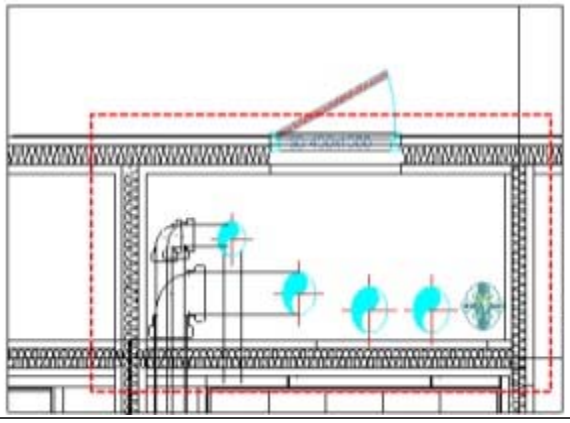
[표 2.3.98] 바닥 레벨의 평준화 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 바닥수평 레벨이 맞지 않아 물고임 현상 발생	〈변경 후〉 바닥 수평 시공이 잘 된 사진
	

(4) 구조 개선

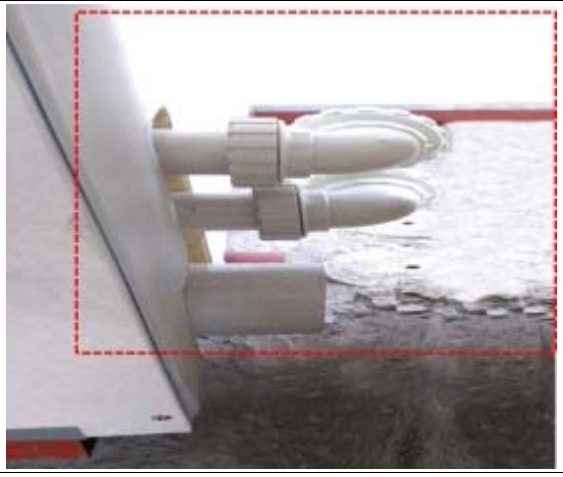
① 기둥의 위치

[표 2.3.99] 기둥의 위치 개선(안)

〈변경 전〉 PD내부에 있는 기둥 도면	〈변경 후〉 PD 내부에 기둥이 없도록 설계
	

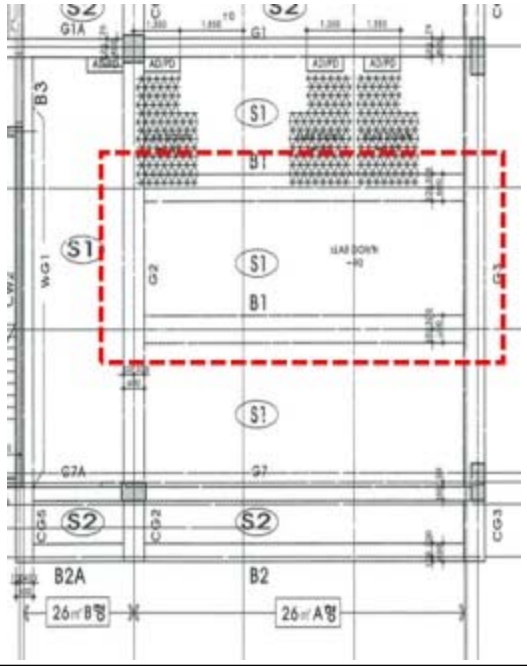
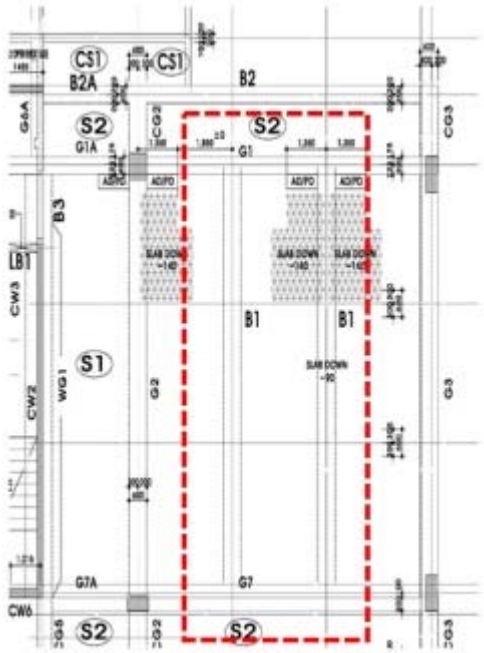
- **종합의견** : 기둥의 위치가 PD공간에 위치 하지 않도록 설계하여 배수배관의 여유공간 확보
- **설계의도** : PD 공간에 위치한 기둥
- **문 제 점** : PD공간 안에 기둥이 있어 모듈러 인필시 문제점 발생, 기둥과 모듈러 사이에 여유공간이 부족해 배수 배관의 설치 공간이 없는 문제점 발생
- **개선방안** : 정확한 구조계산을 바탕으로 기둥의 위치를 PD 외부로 변경
- **기대효과** :기둥의 위치에 방해를 받지 않고 인필 가능, 모듈러의 배수배관과 입상배관의 연결 공간을 확보하여 원활한 시공이 가능

[표 2.3.100] 기둥의 위치 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 기둥으로 인해 여유공간이 부족	〈변경 후〉 기둥이 없어 원활한 공간 확보가 가능
	

② 보의 방향

[표 2.3.101] 보의 방향 개선(안)

〈변경 전〉 보의 구조도면	〈변경 후〉 보의 방향을 변경
	

- **종합의견** : 기본 설계시 개선하여 모듈러 인필시 현장 시공성의 문제점 방지
- **설계의도** : 상부층 바닥 하중에 따른 구조계산에 의한 보의 시공 방향
- **문 제 점** : 모듈러의 인필 방향과 보의 방향이 엇갈려 인필시 모듈러의 상부가 보에 걸리는 문제점이 발생
- **개선방안** : 모듈러의 인필 진입 방향과 같은 방향으로 구조계산 재 검토 및 보 춤(B1)을 G2,G3 보다 작게 설계하는 방안
- **기대효과** : 모듈러 인필 시 보 상부가 걸리는 문제점을 방지

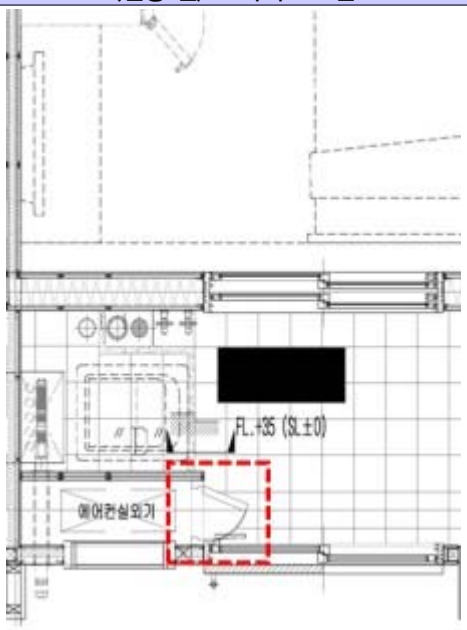
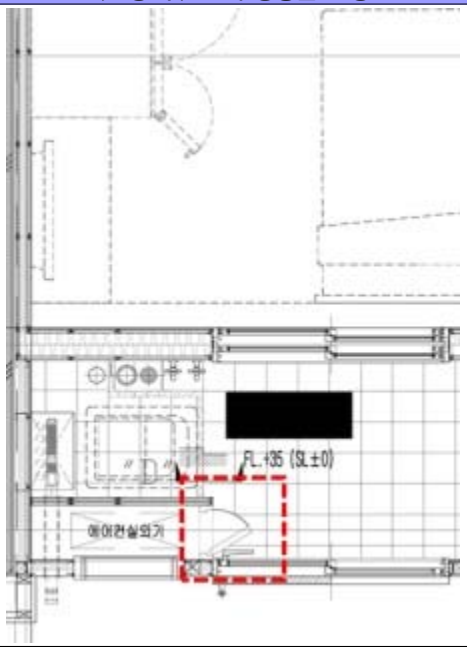
[표 2.3.102] 보의 방향 개선 관련 이미지

〈변경 전〉보의 방향이 인필방향과 엇갈린 사진	〈변경 후〉 보의 방향이 인필방향과 같은 사진
	

(5) 설계오류

① 에어컨 실외기실 도어

[표 2.3.103] 에어컨 실외기실 도어 개선(안)

〈변경 전〉 보의 구조도면	〈변경 후〉 보의 방향을 변경
	

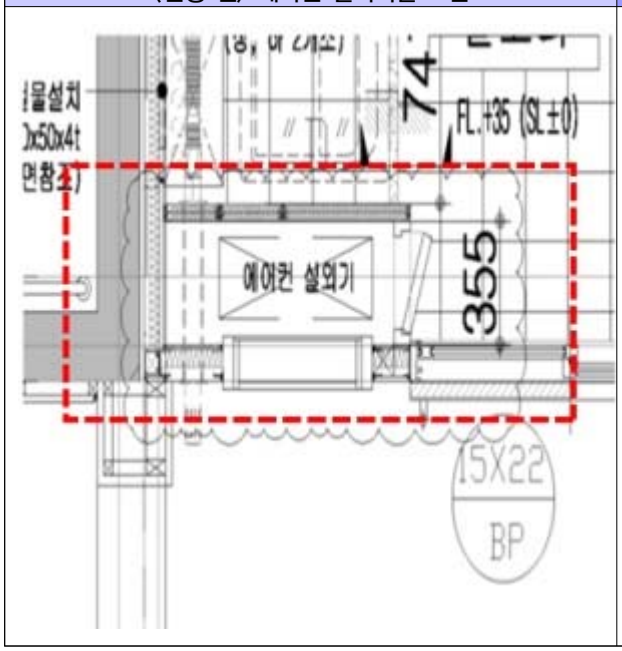
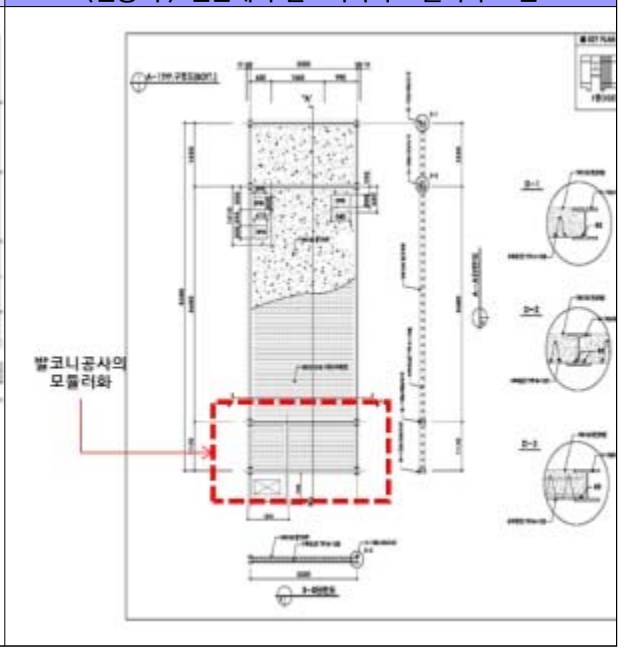
- **종합의견** : 실외기실 도어의 개폐방향을 변경하여 발코니창 손잡이와 간섭되는 문제점을 차단
- **설계의도** : 에어컨 실외기실 시공을 위한 도면
- **문 제 점** : 실외기실 도어가 열리면서 발코니 창의 손잡이와 간섭이 되는 문제가 발생
- **개선방안** : 에어컨 실외기실 도어의 개폐방향을 반대로 설계하는 개선방안
- **기대효과** : 반대로 열리는 도어 방향으로 인하여 발코니창의 손잡이와 간섭이 되는 문제를 방지

[표 2.3.104] 에어컨 실외기실 도어 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 도어와 발코니창 손잡이가 간섭	〈변경 후〉 개폐방향을 수정한 사진
	

② 에어컨 실외기실

[표 2.3.105] 에어컨 실외기실 개선(안)

〈변경 전〉 에어컨 실외기실 도면	〈변경 후〉 현관에서 발코니까지 모듈러화 도면
	

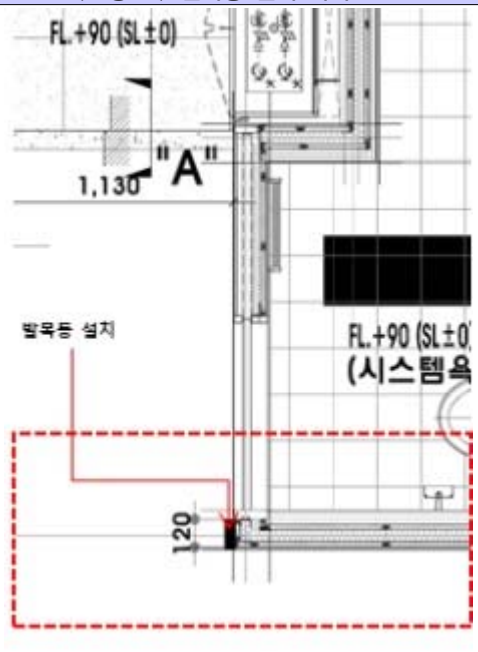
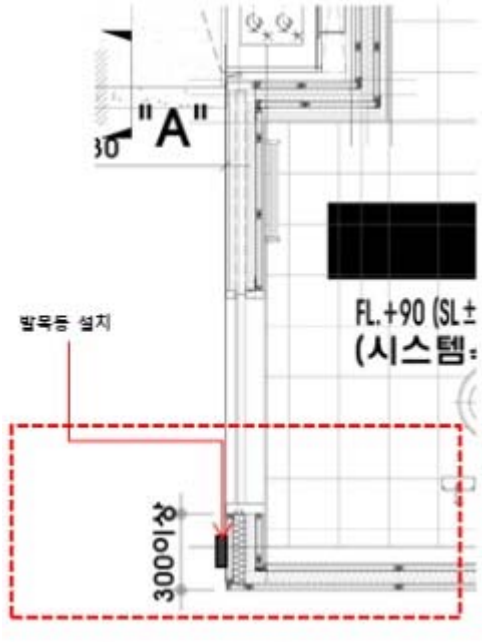
- **종합의견** : 모듈러 업체가 발코니 공사까지 모듈러화 하여 비 계획적인 변경사항으로 생기는 혼선을 방지
- **설계의도** : 공사 시공중에 실외기실의 제작 설계 변경이 이루어진 도면
- **문 제 점** : 발코니에 에어컨 실외기실을 만들어야 하는 비 계획적인 설계 변경으로 인해 현장 시공시 혼선이 발생
- **개선방안** : 모듈러 업체가 발코니 공사까지 모듈러화 하여 인필하는 개선방안
- **기대효과** : 비 계획적인 변경사항도 공장에서 적용하여 현장 시공의 혼선을 방지

[표 2.3.106] 에어컨 실외기실 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 발코니 공사를 현장에서 시공	〈변경 후〉 공장에서 발코니 공사를 시공
	

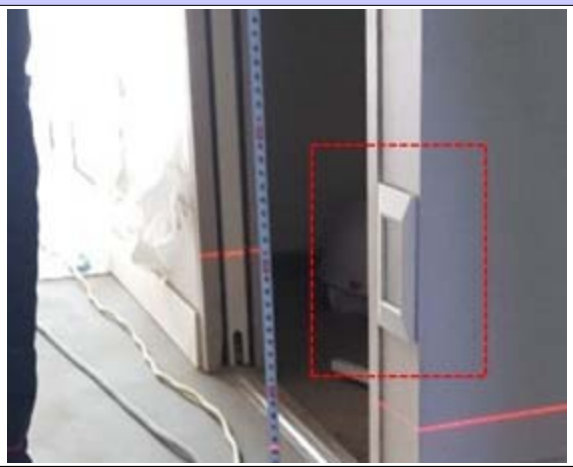
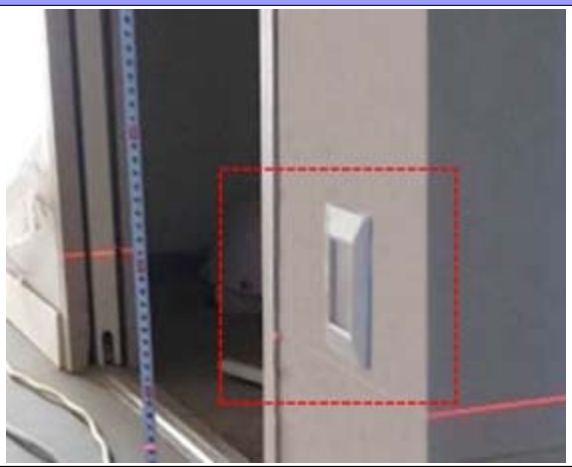
③ 발목등

[표 2.3.107] 발목등 개선(안)

〈변경 전〉 발목등 설치 위치 도면	〈변경 후〉 발목등의 설치 공간에 여유를 주는 도면
	

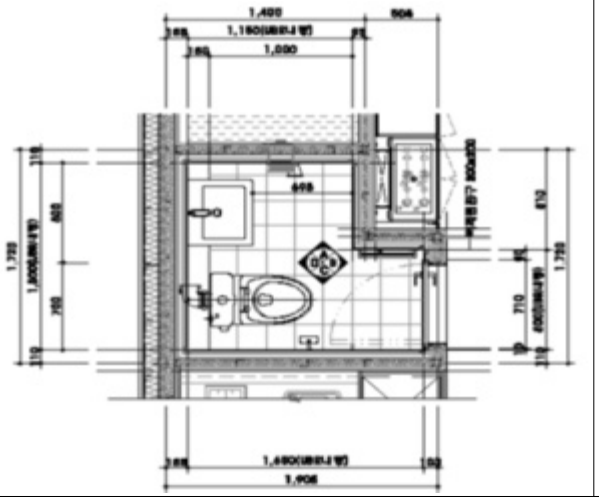
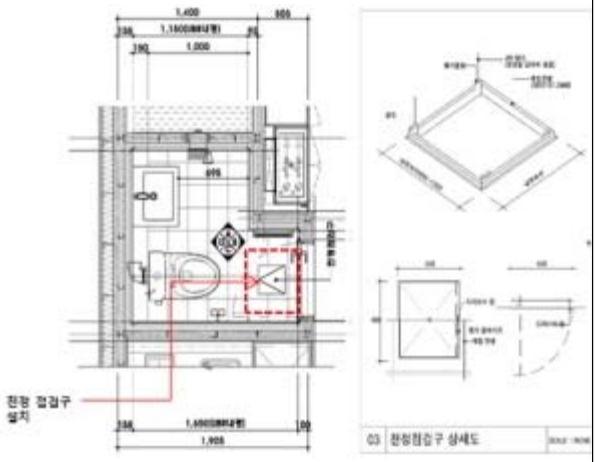
- **종합의견** : 발목등의 설치 공간에 여유를 주어 직접적 충격을 피하여 성능저하를 방지.
- **설계의도** : 주거약자세대에 발목등을 설치하는 도면.
- **문 제 점** : 발목등 설치 위치에 여유공간이 없어서 화장실 문틀에 발목등이 접촉되어 있으므로 인해 화장실 문을 닫을때 마다 진동 및 충격이 발목등에 전해져 발목등의 성능 저하를 발생.
- **개선방안** : 발목등의 설치 공간에 여유를 두는 설계로 개선.
- **기대효과** :발목등 설치 위치에 여유공간이 있어 화장실문을 닫을때의 진동 및 충격이 발목등에 직접적으로 전달되지 않기 때문에 발목등의 성능저하를 방지

[표 2.3.108] 발목등 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 발목등 설치 공간에 여유가 없음	〈변경 후〉 발목등의 설치 공간에 여유가 있음
	

④ 화장실 천정 점검구

[표 2.3.109] 화장실 천정 점검구 개선(안)

〈변경 전〉 천정 점검구가 없는 화장실 평면	〈변경 후〉 천정 점검구의 위치 및 상세도
	

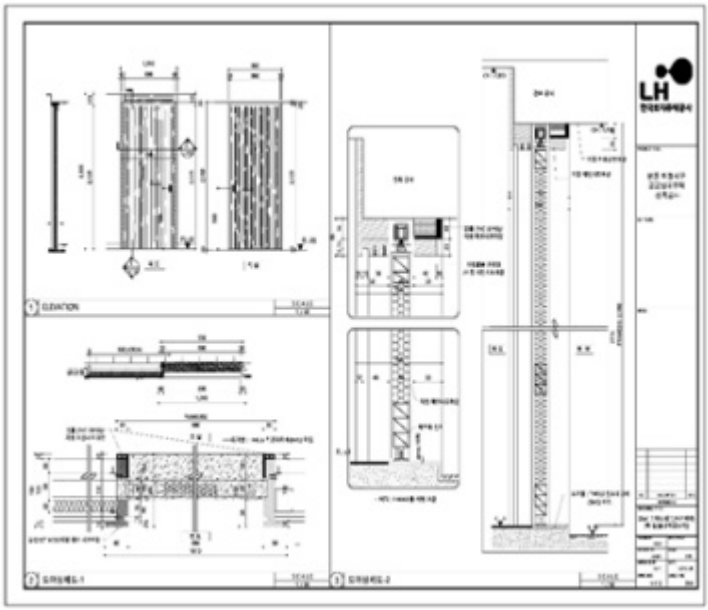
- **종합의견** : 천정 점검구 설치로 유지 보수가 가능
- **설계의도** : 화장실 도면에 천정 점검구가 없음
- **문 제 점** : 화장실의 천정 점검구가 없어서 점검구를 통한 화장실 상부의 유지 보수가 불가능한 문제점 발생
- **개선방안** : 천정 점검구 위치 및 상세도를 설계시 반영하여 공장에서 제작하는 개선방안
- **기대효과** : 화장실 내부에서 천정 점검구를 통한 유지 보수가 가능

[표 2.3.110] 화장실 천정 점검구 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 천정 점검구가 없는 사진	〈변경 후〉 천정 점검구가 있는 사진
	

⑤ 주거약자세대 욕실물

[표 2.3.111] 주거약자세대 욕실물 개선(안)

〈변경 전〉 천정 점검구가 없는 사진	〈변경 후〉 천정 점검구가 있는 사진
	

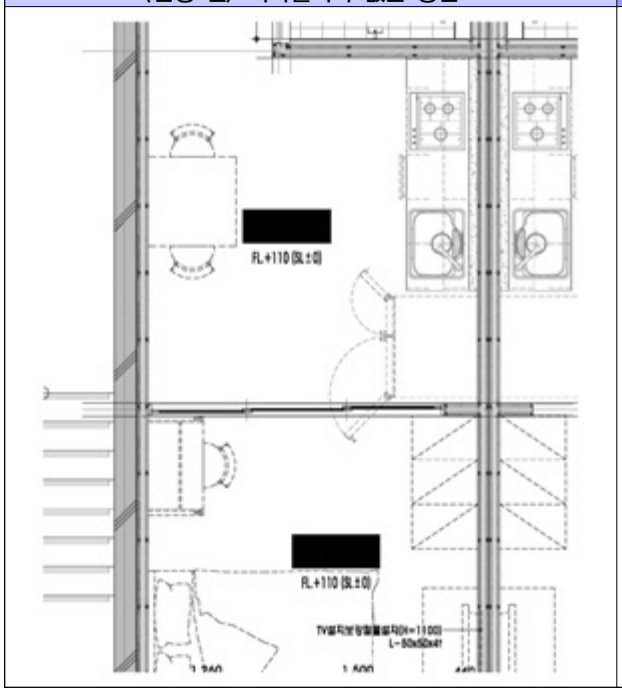
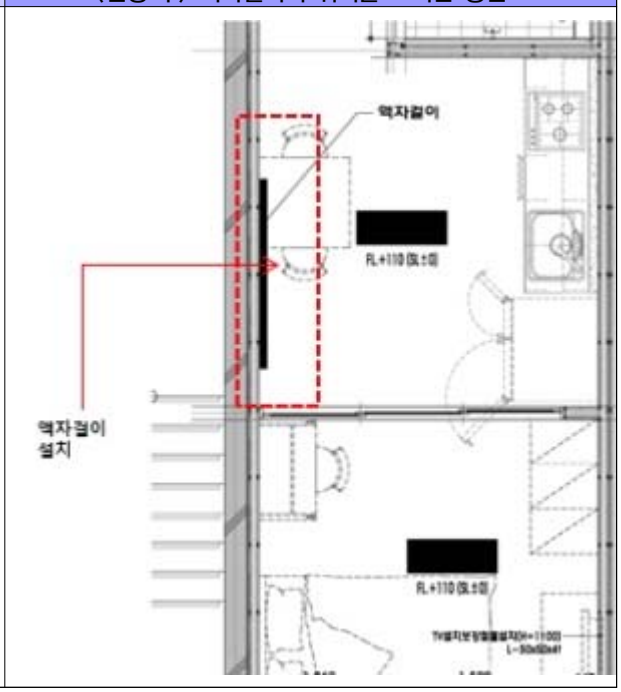
- **종합의견** : 욕실문의 표준 상세도 확보 및 적용으로 제작,설치시 품질 성능 극대화.
- **설계의도** : 욕실문의 사양과 도면 내용이 부실
- **문 제 점** : 욕실문의 정확한 사양 및 도면이 부족함으로 제작사의 시간 및 비용이 가중되는 문제점 발생, 상세도면이 없이 현장경험으로만 설치시 반복적인 설치로 인하여 욕실문의 성능저하 우려
- **개선방안** : 설계 단계에서부터 사양을 검토하고 도면에 적용
- **기대효과** : 상세한 사양 및 도면으로 인해 가중되는 비용 및 시간을 절감할 수 있음, 상세도면으로 욕실문의 반복적인 설치가 없는 것이 가능하고 그로 인한 욕실문의 성능 저하를 방지

[표 2.3.112] 주거약자세대 욕실물 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 상세도 없이 현장경험으로만 설치	〈변경 후〉 상세도대로 설치중인 사진
	

⑥ 액자걸이

[표 2.3.113] 액자걸이 개선(안)

〈변경 전〉 액자걸이가 없는 평면도	〈변경 후〉 액자걸이의 위치를 표시한 평면도
	

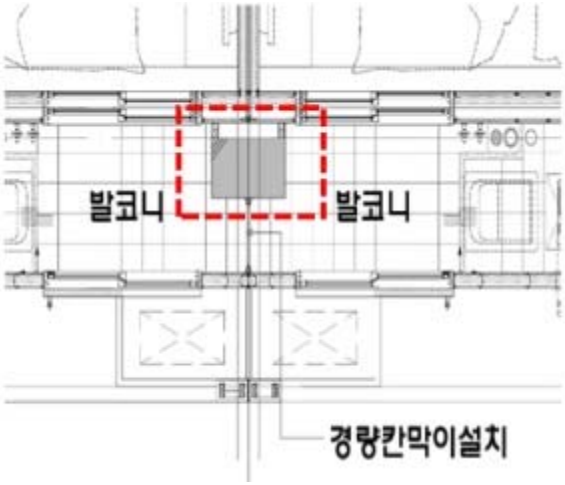
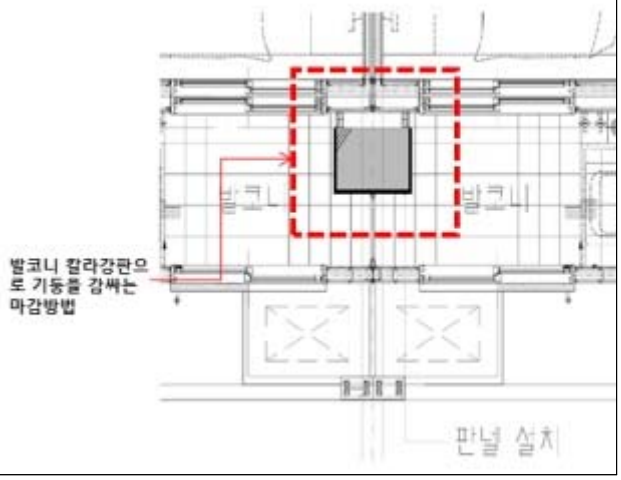
- **종합의견** : 모듈러 제작시 액자걸이를 설치해서 입주자의 민원 발생을 미리 방지
- **설계의도** : 액자걸이에 대한 사양 및 도면이 부족
- **문 제 점** : 인필 방식의 벽체 구조상 입주자가 무작위로 액자걸이를 설치하는것은 모듈러의 내구성을 저하시키고 입주자의 민원이 발생하는 문제점
- **개선방안** : 설계 단계에서부터 사양을 검토하고 도면에 적용
- **기대효과** : 모듈러 제작시 액자걸이를 설치함으로써 입주자의 민원 발생을 미리 방지

[표 2.3.114] 액자걸이 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 액자걸이가 없는 사진	〈변경 후〉 액자걸이가 설치 된 사진
	

⑦ 발코니 기둥

[표 2.3.115] 발코니 기둥 개선(안)

〈변경 전〉 습식기둥 마감의 설명이 부족한 도면	〈변경 후〉 습식기둥에 칼라강판으로 마감
	

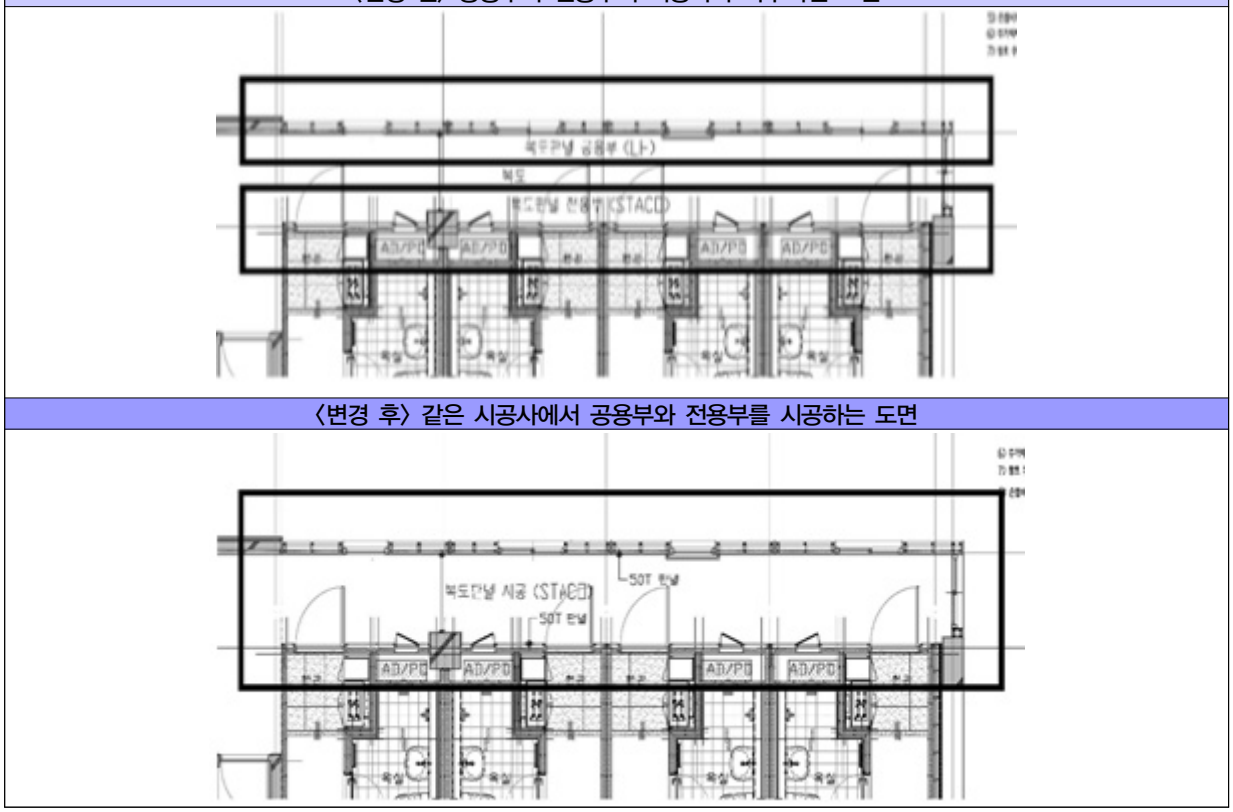
- **종합의견** : 습식공법의 기둥을 모듈러 기본자재인 칼라강판으로 마감하여 발코니 내부마감 효율을 극대화
- **설계의도** : 발코니 기둥에 대한 마감 설명이 부족
- **문 제 점** : 인필공법의 모듈러와 습식공법의 차이로 발코니의 골조 마감부분이 융화되지 않아서 내부 마감수준이 미흡한 문제점 발생
- **개선방안** : 습식공법의 기둥을 발코니 칼라강판으로 감싸는 방법으로 마감하는 개선방안
- **기대효과** : 이질감 없는 발코니 내부마감 효과를 기대

[표 2.3.116] 발코니 기둥 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 습식기둥	〈변경 후〉 칼라강판으로 습식기둥 마감
	

⑧ 복도 판넬 공사

[표 2.3.117] 복도 판넬 공사 개선(안)

〈변경 전〉 공용부와 전용부의 시공사가 나누어진 도면

〈변경 후〉 같은 시공사에서 공용부와 전용부를 시공하는 도면

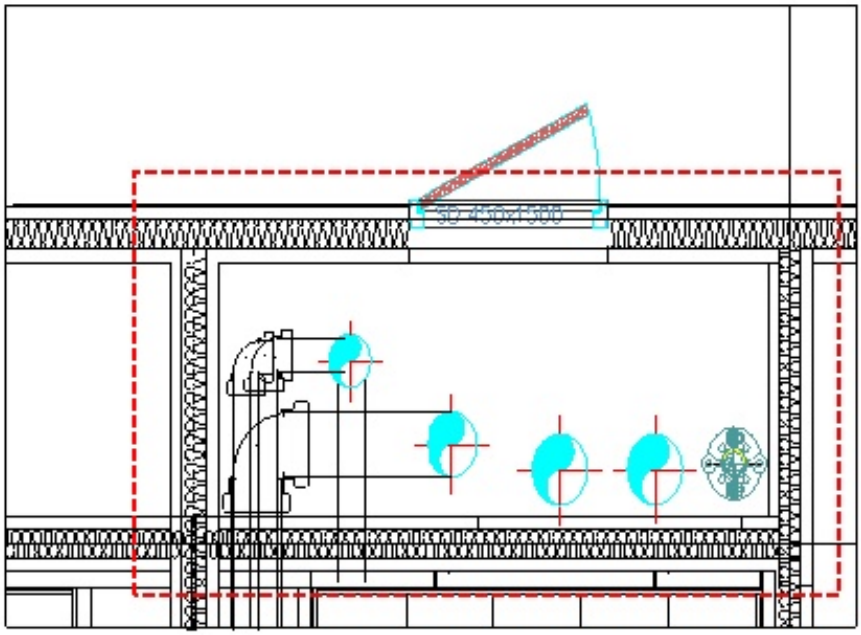
- **종합의견** : 단일업체로 업무영역을 합리적으로 구분하여 제작 및 설치 성능 효율 극대화.
- **설계의도** : 복도 판넬의 공용부와 전용부의 시공사가 다름.
- **문 제 점** : 복도판넬의 공용부의 마감자재와 전용부의 마감자재의 자재사양 및시공방법이 달라 마감부에서 이질감이 느껴지는 문제점 발생.
- **개선방안** : 공용부와 전용부의 시공을 같은 시공사에서 진행.
- **기대효과** : 동일한 마감효과를 기대

[표 2.3.118] 복도 판넬 공사 개선 관련 이미지

〈변경 전〉 2개의 시공사가 시공한 복도 마감	〈변경 후〉 같은 시공사가 시공한 복도 마감
	

⑨ 설비배관

[표 2.3.119] 설비배관 개선(안) 및 개선 관련이미지

〈변경 후〉 각 연결부 위치 파악



- **종합의견** : 모듈러 전용부 배관과 공용부 배관 연결 시 제작사배관 반영설계, 현장 시공사와의 사전 협의로 불필요한 자재 및 인력 투입 방지
- **설계의도** : 모듈러 전용부 배관 (오배수)을 현장 공용부에 세대별 각 배관을 효율적으로 원활히 연결하기 위함
- **문 제 점** : 모듈러 전용부 배관 (오배수)을 공용부에 연결 도면의 모듈 제작사의 설비배관 이 적용 검토 반영이 안된 설비도면으로 인해 현장 배관 시공자와의 현장배관 연결시 시공성 저하 및 불필요한 자재 및 인력 투입에 대한 공사비 상승 요인
- **개선방안** : 공용부 배관설계 전 제작사 배관 위치가 반영된 설계도면 작성, 시공사와도 사전 협의가 필요
- **기대효과** : 작업성이 용이하고 불필요한 추가자재 및 인력 투입에 대한 공사비 증가를 막을 수 있음

(6) 모듈러 인필 (IN-FILL)

- **종합의견** : 모듈러 인필 방식으로 현장설치 시 발생되는 문제점
- **설계의도** : 기존의 습식 공법에 비해 공기 단축의 효과를 가진 모듈러 공법의 인필 방식을 채택하여 시행
- **문 제 점** : 현장 본 구조체가 형성이 된 후 모듈러를 인필하는 방식이기에 당시 현장 주변상황(인양장비 설치 및 인양 시 주변 건물과의 간섭 등)을 고려해야 하는 문제, 본 구조체의 현장 시공성에 따라 모듈러 인필 시 구조체 등과의 간섭 문제, 최초 평면계획 시 모듈러 인필구간 을 고려하지 않는 문제(이동거리 및 구조체와 간섭 등)
- **개선방안** : 사전에 현장 주변건물에 대한 피해 또는 민원 발생 소지에 대한 검토 및 협의가 필요함, 모듈러는 공장제작품으로 오차범위가 ±5mm 내외이고 현장습식공법의 오차범위는 ±10~20mm 내외를 감안한 평면계획 또는 시공관리 및 현장품질관리가 필요함, 모듈러 인필구간을 가급적 중앙에 위치하여 이동거리를 최소화
- **기대효과** : 모듈러 인필 시 발생되는 민원을 처리하는 데 소요되는 시간절약으로 공기 단축에 기여, 현장 셋팅시 발생하는 문제들에 대한 사전 해소, 이동거리를 최소화 함으로서 인건비 및 시간을 절약하여 원가절감 효과에도 기대

[표 2.3.120] 모듈러 인필 관련 이미지

〈변경 전〉 인필을 위한 장비 투입	〈변경 후〉모듈러 인필
	

[표 2.3.121] 모듈러 인필 관련 이미지

인필시 상부 구조체(보)와 여유공간부족	모듈러 이동거리 최소화 (인력 및 장비절약)
	
	

(7) 천안 두정동 인필공법의 생산 제작 모니터링 결과

❍ RC구조체와의 접합부 개선 필요

- 천안 두정동 인필공법의 생산 제작 모니터링 결과 상당한 부분의 하자 부분이 기존의 RC구조체와의 접합부에서 문제가 발생한 것으로 나타남. 위생배관, 보일러 배관 그리고 난방배관 등 대부분의 배관과 구조체의 인터페이스에 대한 명확한 상세도가 불명확한 것에서 기인한 것으로 보임

❍ 구조체와의 치수정합 필요

- 그리고 구조체의 주요구조부로서 기둥과 보의 위치 등이 인필박스 등과 치수적으로 정합되지 않아 데드 스페이스 등이 발생하고 기능을 저해하는 문제가 발생하고 있음

❍ 설계업체와 제작 시공업체와의 연계성 부족

- 적층방식과 같이 구조체와 인필 박스와의 보다 세심한 연계방안이 강구되어야 하며, 사업추진상 문제로 인해 시공업체가 상이한 까닭에 상당한 문제 등이 발생하는 바, 향후 시공업체와 설계업체를 통합하여 발주 및 시공하는 방안이 필요할 것으로 판단됨. 다음의 표는 모니터링결과를 요약 정리한 것임

No	공정	문제점	개선방향
1	**위생배관**	위생배관의 연결 부위에서 누수가 발생할 수 있는 문제점이 발생	공장에서 모듈러 내부에 분배기를 설치하고 위생배관을 연결 후 인필하여 현장 위생배관을 분배기에 연결하는 개선 방안
2	**보일러배관**	슬라브에 매립한 온수관은 향후 유지보수가 어려움	모듈러 업체에서 발코니 부분까지 제작하여 보일러 온수배관을 구조체와 별도 분리하는 방식
3	**3연동 슬라이딩 도어**	1. 3연동 슬라이딩 도어의 사이즈가 크기 때문에 문틀을 잡아주는 판넬의 면적이 좁아짐 2. 진동 및 흔들림으로 문틀의 탈락위험이 생길 수 있음	3연동 슬라이딩 도어가 아닌 양개도어를 사용하여 판넬의 면적을 넓히는 개선방안
4	**바닥 난방 배관**	바닥 난방 배관이 일직선으로 시공이 되면 난방수가 한 방향으로만 흐르게 되어 난방효과가 저하되는 문제점 발생	주방/거실과 방의 난방배관을 따로 분리하고 배관을 나선형으로 설치

5	**발코니 샷시 프레임 외부도장**	PVC 프레임에 도장을 하게 되면 시간이 지난 후 햇빛 및 날씨의 영향으로 도장 코팅이 벗겨지는 문제점이 발생	1. 도장하지 않고 기성품의 PVC 프레임을 그대로 사용 2. 알루미늄 기성 프레임을 사용
6	**바닥 레벨의 평준화**	바닥(SLAB)이 평탄하지 않기 때문에 모듈러 인필 시 기밀효과가 떨어지는 문제점이 발생.	콘크리트 타설 요령 및 시방을 준수하고 바닥(SLAB)의 레벨이 수평이 될 수 있도록 철저한 시공관리가 필요.
7	**기둥의 위치**	1. PD공간 안에 기둥이 있어 모듈러 인필시 문제점 발생 2. 기둥과 모듈러 사이에 여유공간이 부족해 배수 배관의 설치 공간이 없는 문제점 발생	정확한 구조계산을 바탕으로 기둥의 위치를 PD 외부로 변경.
8	**보의 방향**	모듈러의 인필 방향과 보의 방향이 엇갈려 인필시 모듈러의 상부가 보에 걸리는 문제점이 발생	모듈러의 인필 진입 방향과 같은 방향으로 구조계산 재 검토 및 보 춤 (B1)을 G2,G3 보다 작게 설계하는 방안
9	**에어컨 실외기실 도어**	실외기실 도어가 열리면서 발코니 창의 손잡이와 간섭이 되는 문제가 발생	에어컨 실외기실 도어의 개폐방향을 반대로 설계하는 개선방안
10	**에어컨 실외기실**	발코니에 에어컨 실외기실을 만들어야 하는 비 계획적인 설계 변경으로 인해 현장 시공시 혼선이 발생	모듈러 업체가 발코니 공사까지 모듈러화 하여 인필하는 개선방안
11	**발목등**	발목등 설치 위치에 여유공간이 없어서 화장실 문틀에 발목등이 접촉되어 있으므로 인해 화장실 문을 닫을때 마다 진동 및 충격이 발목등에 전해져 발목등의 성능 저하를 발생	발목등의 설치 공간에 여유를 두는 설계로 개선
12	**화장실 천정 점검구**	화장실의 천정 점검구가 없어서 점검구를 통한 화장실 상부의 유지 보수가 불가능한 문제점 발생	천정 점검구 위치 및 상세도를 설계시 반영하여 공장에서 제작하는 개선방안

13	**주거약자 세대 욕실물**	1. 욕실문의 정확한 사양 및 도면이 부족함으로 제작사의 시간 및 비용이 가중되는 문제점 발생 2. 상세도면이 없이 현장경험으로만 설치시 반복적인 설치로 인하여 욕실문의 성능저하 우려	설계 단계에서부터 사양을 검토하고 도면에 적용
14	**액자걸이**	인필 방식의 벽체 구조상 입주자가 무작위로 액자걸이를 설치하는 것은 모듈러의 내구성을 저하시키고 입주자의 민원이 발생하는 문제점	설계 단계에서부터 사양을 검토하고 도면에 적용
15	**발코니 기둥**	인필공법의 모듈러와 습식공법의 차이로 발코니의 골조 마감부분이 융화되지 않아서 내부 마감수준이 미흡한 문제점 발생	습식공법의 기둥을 발코니 칼라강판으로 감싸는 방법으로 마감하는 개선방안
16	**복도판넬 공사**	복도판넬의 공용부의 마감자재와 전용부의 마감자재의 자재사양 및 시공방법이 달라 마감부에서 이질감이 느껴지는 문제점 발생	공용부와 전용부의 시공을 같은 시공사에서 진행
17	**설비배관**	모듈러 전용부 배관 (오배수)을 공용부에 연결 도면의 모듈 제작사의 설비배관이 적용 검토 반영이 안된 설비도면으로 인해 현장 배관 시공자와의 현장배관 연결시 시공성 저하 및 불필요한 자재 및 인력 투입에 대한 공사비 상승 요인	1. 공용부 배관설계 전 제작사 배관 위치가 반영된 설계도면 작성 2. 시공사와도 사전 협의가 필요
18	**모듈러인필**	1.현장 본 구조체가 형성이 된 후 모듈러를 인필하는 방식이기에 당시 현장 주변상황(인양장비 설치 및 인양 시 주변 건물과의 간섭 등)을 고려해야 하는 문제 2.본 구조체의 현장 시공성에 따라 모듈러 인필 시 구조체 등과의 간섭 문제, 최초 평면계획 시 모듈러 인필구간을 고려하지 않는 문제 (이동거리 및 구조체와 간섭 등)	1. 사전에 현장 주변건물에 대한 피해 또는 민원 발생 소지에 대한 검토 및 협의가 필요함 2. 모듈러는 공장제작품으로 오차범위가 ±5mm 내외이고 현장습식공법의 오차범위는±10~20mm 내외를 감안한 평면계획 또는 시공관리 및 현장품질 관리가 필요함 3. 모듈러 인필구간을 가급적 중앙에 위치하여 이동거리를 최소화

라) 인필식 모듈러 캐빈 개선(안)

(1) 기술개발 배경

- 모듈러 주택은 적층-라멘 타입(ramen type), 적층-벽식 타입(wall type), 인필타입(infill type)의 3가지 공법으로 크게 구분됨



[그림 2.3.49] 구조방식에 따른 모듈러 공법의 분류

- 이중 인필타입은 캐빈(cabin)이라는 비구조체 박스를 공장에서 제작(창호, 배관, 배선, 욕실, 싱크대, 각종 마감재)하여, 현장으로 운송 후 건물 구조체 내부에 삽입함으로써 건물을 완성하는 공법임
- 천안두정 모듈러실증단지은 적층식, 인필식이 모두 적용되었음



[그림 2.3.50] 인필캐빈 구조체 삽입 프로세스

- 건물 구조체에 캐빈을 삽입한 후 건축물의 적정위치에 이동시키고, 이때 주요 구조부인 기둥과 보를 피해 이동 설치를 시작함, 특히 캐빈 높이는 보 밑으로 이동해야 하므로 최종 설치 후 슬래브와 캐빈사이 데드 스페이스 발생



[그림 2.3.51] 인필캐빈 설치시 데드스페이스 발생 구역

(2) 기술개발 내용

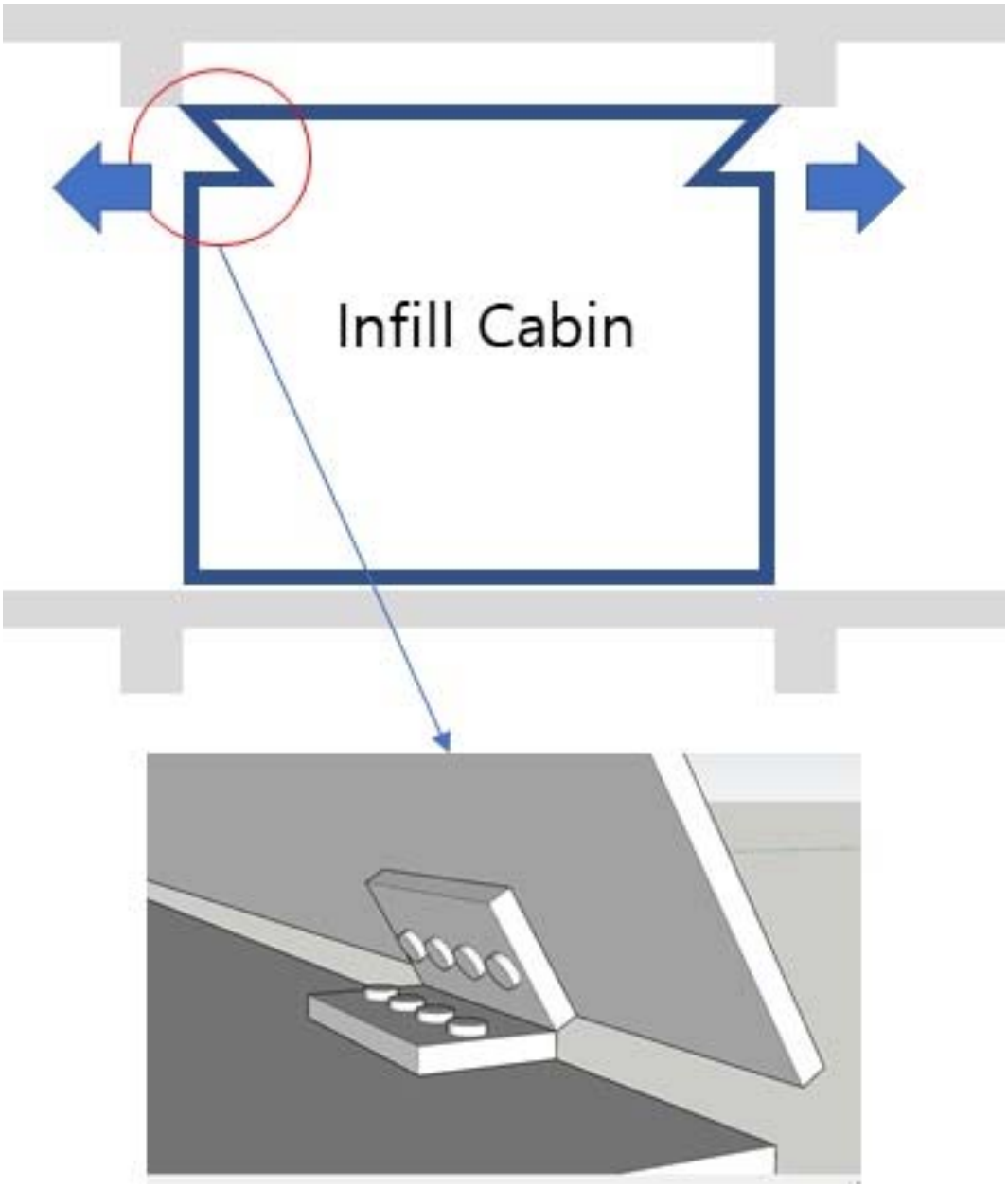
① 아이디어 도출

㉠ 캐빈 개선(안) 도출 조건

- 기존 인필캐빈과 같이 양중, 이동, 설치시 보와의 간섭 방지
- 설치 이후 데드스페이스 발생 방지
- 인필캐빈은 구조체가 아니므로, 기존 인필캐빈 무게와 비교하여 추가 무게 최소화

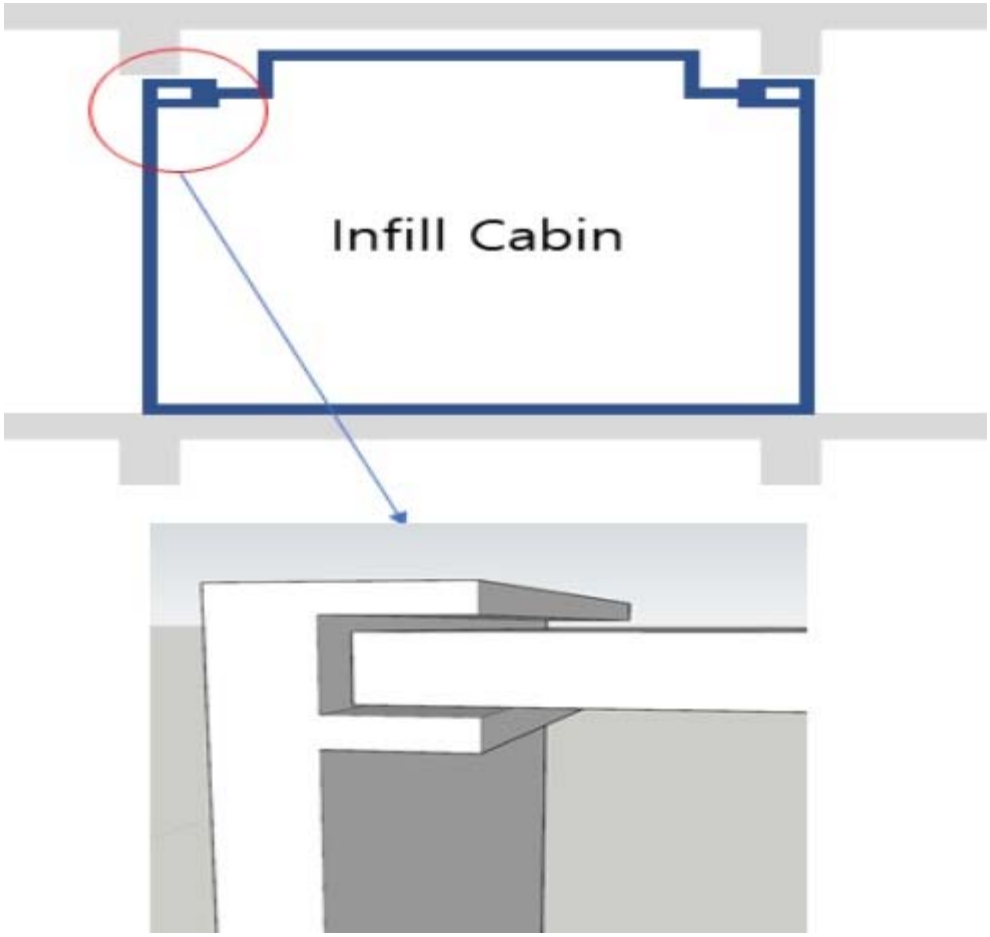
㉡ 확장, 전개형 인필 캐빈 도출(안)

- 경첩을 활용한 단면 폴딩제안, 캐빈의 높이를 일시적으로 줄이기 위한 방안으로 경첩을 활용하여, 일부 단면이 접히는 방식 제안

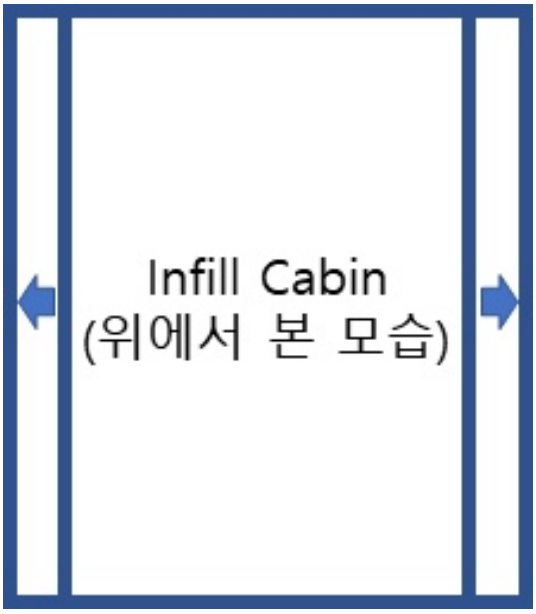


[그림 2.3.52] 경첩을 활용한 단면 폴딩

- “ㄷ형태”의 단면 형태를 제안, 인필캐빈의 폴딩, 확장시 천장부의 지지와 슬라이딩 부분을 구동하기 위하여 단면 형태 제안



[그림 2.3.53] ㄷ형태의 단면(벽체)



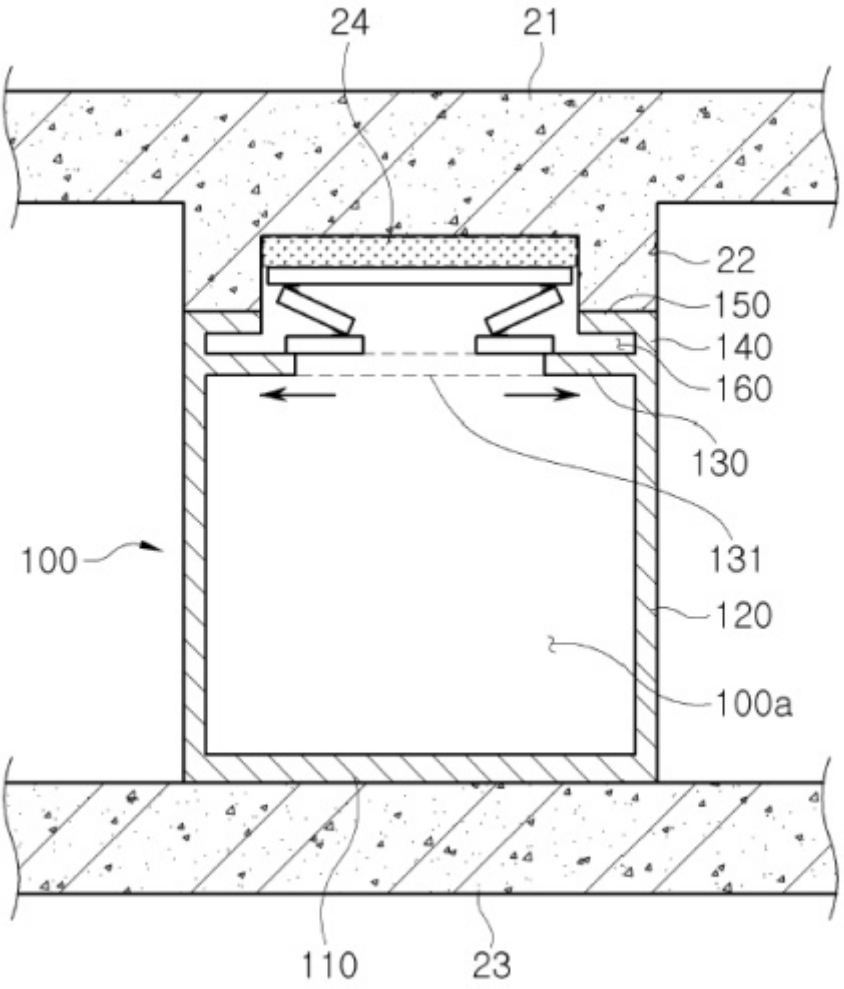
[그림 2.3.54] 인필캐빈 확장 개념

② 최종 특허출원 내용

- 인필 캐빈이 건축물에 삽입된 후 천장슬래브에 구축된 보와 보사이의 데드 스페이스 방향으로 펼쳐지는 확장장치를 포함하는 단면확장이 가능한 모듈러 인필박스

❍ 부호설명

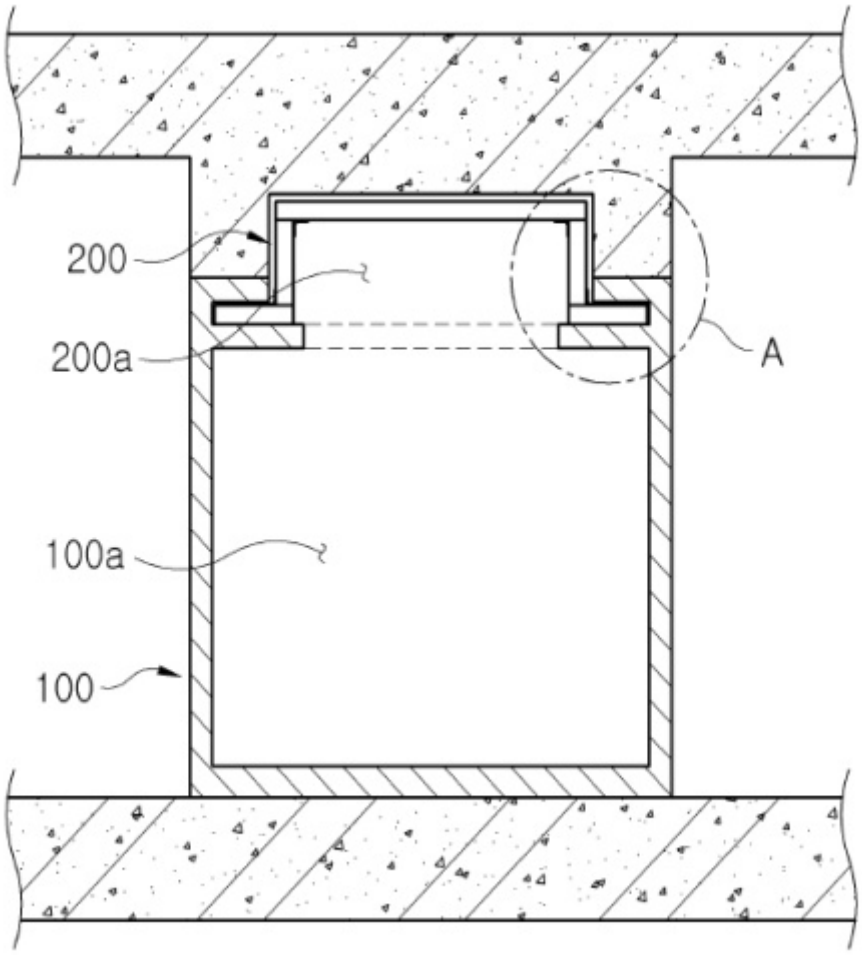
- 천장슬래브(21), 보(22), 바닥슬래브(23), 데드스페이스(24), 인필캐빈본체(100), 바닥부(110), 측면부(120), 천장부(130), 개구부(131), 제1연장부(140), 제2연장부(150), 삽입공간부(160), 내부공간(100a), 확장장치(200), 확장판(210), 가동판(230), 제1경첩(240), 슬라이딩판(250), 확장공간(200a)



[그림 2.3.55] 단면확장이 가능한 모듈러 인필박스-폴딩

❍ 구성

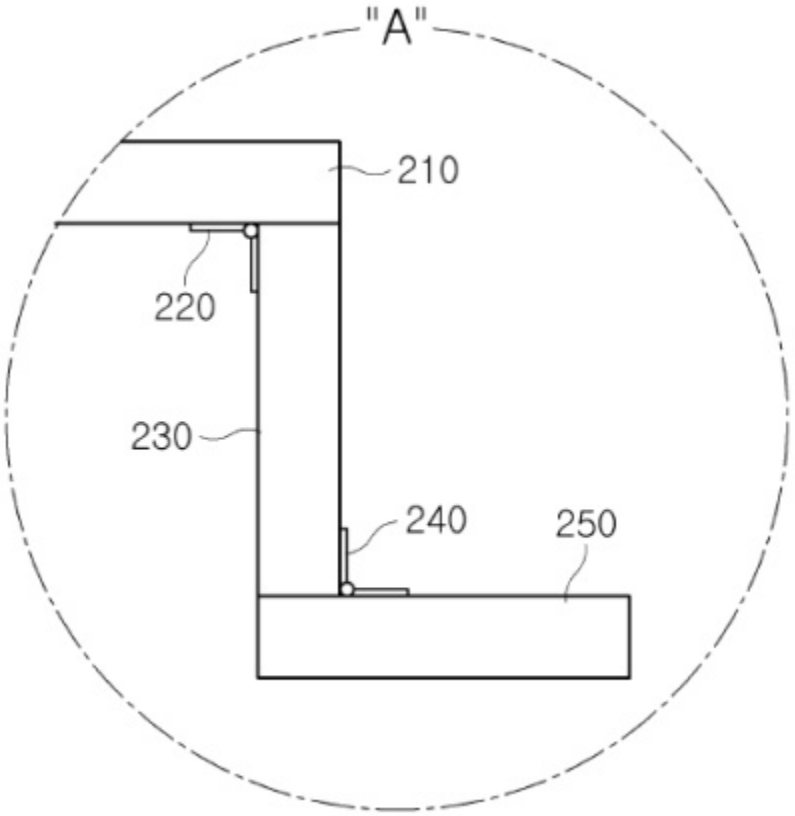
- 인필캐빈 본체는 천장부에서 상 방향으로 연장되는 제1연장부와 제1연장부와 수직을 형성하기 위하여, 제1연장부 일단에서 개부구 방향으로 연장되는 제2연장부, 그리고 삽입공간부로 구성됨



[그림 2.3.56] 단면확장이 가능한 모듈러 인필박스-확장

❍ 전개 방식

- 확장장치는 판 형태로 서로 이웃하는 한 쌍의 보 사이에 위치하는 확장판과, 확장판의 제1경첩과 슬라이딩판의 구동을 통해 전개함. 확장판이 수직으로 세워지면서, 슬라이딩판이 삽입공간부로 위치하여 인필캐빈의 내부공간이 확장됨



[그림 2.3.57] 경첩을 활용한 전개형 단면

③ 기대효과

- 단면확장이 가능한 모듈러 인필박스는 확장공간만큼의 활용공간이 넓어져 공간의 효율성이 높아지고 천장높이가 높아져 주거환경의 질을 높이는 효과를 발휘함

- 모듈러 주택 거주후 평가 결과 중 수납공간에 대한 불편사항과 설비시스템의 표준화를 통해 합리적인 공간 구획이 가능할 것으로 판단됨

결 론 POE 및 모니터링을 통한 종합 해결 설계 Proto-Type 개발(KICT)

■ 2개의 모듈러 업체와 1개의 RC업체가 혼재

- 천안두정동은 가양동과 다르게 2개의 공법이 1개의 단지에 RC코아를 중심으로 20세대씩 건축되었고, RC코아도 지역 시공업체가 참여하여 결국 3개의 별도 시공업체가 혼재되어 건축이 진행된 특이한 사례임. 당초 인필과 적층공법은 서울 수서동에 건축될 예정으로 각각 별동으로 건축될 예정이었으나, 현지 지역민원에 의하여 천안두정으로 급하게 부지가 변경된 사례임. 그리고 설계도 당초 R&D의 공동기관인 설계사무소가 참여가 불가하여 입찰에 의하여 설계의 경험이 부족한 업체가 참여하게 되어 전반적인 협업이 매우 어려운 사업이 되었음

■ 시공업체간의 인터페이스에서 문제발생

- 이에 공장제작 및 시공모니터링을 실시한 결과 이러한 시공업체간의 인터페이스 부분에서 문제점이 상당 부분 발생한 것으로 나타났으며, 이는 사업 초기 단계에서 충분한 상호의견 및 조정기간이 필요했음에도 공기에 밀려 상대적으로 소홀한데 기인한 것으로 판단됨

■ 모듈러 전용의 시방기준이 필요

- 그러나 이외의 부분에서도 문제점이 발생한 바, 이는 크게 모듈러 공법 자체에 대한 문제라기 보다는 아직 기존의 공동주택의 시공방법에 익숙하고 모듈러 제작에 숙련도가 부족한 것에 서 상당부분 기인한 것으로 판단됨. 아울러 발주기관의 시공기준이 기존의 공동주택을 전제로 작성되어 모듈러와 상충되는 경우도 발생하고 있는 것으로 나타나 모듈러 공법을 위한 시방기준의 제정이 필요한 것으로 나타남

■ MC를 고려한 인필박스 설계필요

- 한편 인필 공법의 경우에는 라멘조의 구조체에 인필공법이 적용되어 상당한 부분에서 데드 스페이스가 발생하였고, 치수적으로 정합되지 않는 문제가 발생하였음. 본 사업의 특성상 불가피한 경우일 수 있으나 향후 라멘조에도 적용할 수 있는 인필박스의 개발이 필요함
- 이에 제안된 라멘구조체용 인필박스 개발은 특허 출원되어 등록이 진행중에 있음. 본 모니터링의 결과는 시공 및 제작 매뉴얼에 첨부되어 실무에 보급될 예정으로 특히 모듈러 업체의 경우 이를 고려하여 향후 제작 시공되는 사업에 적용할 필요가 있음

3) 천안 실증단지 내진성능 평가(동양구조이앤알)

(1) 선형해석

① 예비평가 결과

㉠ 비정형성 평가

- 천안 실증단지를 대상으로 내진성능 예비평가를 실시함
- 비정형성 평가에서는 비틀림비정형, 강성비정형, 강도비정형이 나타남
- 따라서 상세평가 수행이 필요함

[표 2.3.122] 비틀림 비정형 평가

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Average Value of Extreme Points		Maximum Value		Remark
				Story Drift (m)	1.2*Story Drift (m)	Node	Story Drift (m)	
RX(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0047	0.0056	638	0.0053	Regular
RX(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0054	0.0064	465	0.0063	Regular
RX(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0058	0.0069	355	0.0070	Irregular
RX(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0057	0.0069	245	0.0072	Irregular
RX(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0049	0.0059	100	0.0062	Irregular
RX(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0033	0.0040	634	0.0036	Regular
RX(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0058	0.0070	524	0.0061	Regular
RX(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0084	0.0100	414	0.0086	Regular
RX(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0095	0.0114	304	0.0098	Regular
RX(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0107	0.0129	154	0.0109	Regular
RX(RS)+R	1F	0.00	3.30	0.0015	0.0018	49	0.0018	Irregular
RX(RS)+R	B1	-4.30	4.30	0.0001	0.0002	48	0.0002	Irregular
RX(RS)-RX	6F	16.60	3.25	0.0046	0.0055	638	0.0052	Regular
RX(RS)-RX	5F	13.35	3.25	0.0052	0.0062	528	0.0059	Regular
RX(RS)-RX	4F	10.10	3.25	0.0055	0.0066	418	0.0062	Regular
RX(RS)-RX	3F	6.85	3.25	0.0054	0.0064	308	0.0061	Regular
RX(RS)-RX	2F	3.30	3.55	0.0046	0.0055	100	0.0053	Regular
RX(RS)-RX	6F	16.60	3.25	0.0035	0.0042	627	0.0039	Regular
RX(RS)-RX	5F	13.35	3.25	0.0059	0.0071	517	0.0064	Regular
RX(RS)-RX	4F	10.10	3.25	0.0085	0.0102	407	0.0089	Regular
RX(RS)-RX	3F	6.85	3.25	0.0096	0.0116	297	0.0101	Regular
RX(RS)-RX	2F	3.30	3.55	0.0108	0.0130	147	0.0112	Regular
RX(RS)-RX	1F	0.00	3.30	0.0015	0.0018	49	0.0017	Regular
RX(RS)-RX	B1	-4.30	4.30	0.0001	0.0002	48	0.0002	Regular
RY(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0038	0.0046	638	0.0053	Irregular
RY(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0046	0.0056	528	0.0065	Irregular
RY(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0052	0.0062	418	0.0074	Irregular
RY(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0052	0.0063	308	0.0075	Irregular
RY(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0044	0.0053	158	0.0064	Irregular
RY(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0032	0.0039	591	0.0037	Regular
RY(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0037	0.0044	481	0.0042	Regular
RY(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0040	0.0048	371	0.0047	Regular
RY(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0040	0.0048	261	0.0046	Regular
RY(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0040	0.0048	154	0.0047	Regular
RY(RS)+R	1F	0.00	3.30	0.0011	0.0013	49	0.0015	Irregular
RY(RS)+R	B1	-4.30	4.30	0.0001	0.0002	80	0.0002	Irregular
RY(RS)-R	6F	16.60	3.25	0.0036	0.0043	638	0.0048	Irregular
RY(RS)-R	5F	13.35	3.25	0.0043	0.0051	528	0.0058	Irregular
RY(RS)-R	4F	10.10	3.25	0.0047	0.0056	418	0.0065	Irregular
RY(RS)-R	3F	6.85	3.25	0.0047	0.0056	308	0.0065	Irregular
RY(RS)-R	2F	3.30	3.55	0.0040	0.0048	158	0.0055	Irregular
RY(RS)-R	6F	16.60	3.25	0.0033	0.0039	627	0.0033	Regular
RY(RS)-R	5F	13.35	3.25	0.0037	0.0045	517	0.0038	Regular
RY(RS)-R	4F	10.10	3.25	0.0041	0.0049	407	0.0042	Regular
RY(RS)-R	3F	6.85	3.25	0.0040	0.0048	297	0.0041	Regular
RY(RS)-R	2F	3.30	3.55	0.0041	0.0049	101	0.0042	Regular
RY(RS)-R	1F	0.00	3.30	0.0010	0.0012	81	0.0013	Irregular
RY(RS)-R	B1	-4.30	4.30	0.0001	0.0002	80	0.0002	Irregular

[표 2.3.123] 강성 비정형 평가

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Story Drift (m)	Story Shear Force (kN)	Story Stiffness	Upper Story Stiffness		Story Stiffness Ratio	Story Drift Angle Ratio	Remark
							0.7Ku1	0.8Ku123			
RX(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0040	360.37	817.21	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0044	679.08	743.68	572.05	0.00	1.300	1.099	Regular
RX(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0045	864.51	722.72	520.57	0.00	1.388	1.029	Regular
RX(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0043	1033.20	754.46	505.91	608.96	1.239	0.958	Regular
RX(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0037	1195.05	969.09	528.12	592.23	1.636	0.779	Regular
RX(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0032	41.09	1004.39	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0057	109.11	567.65	703.07	0.00	0.807	1.769	Irregular
RX(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0083	164.13	393.45	397.36	0.00	0.990	1.443	Irregular
RX(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0094	204.33	345.06	275.42	524.13	0.658	1.140	Regular
RX(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0107	0.00	331.98	241.54	348.31	0.953	1.039	Regular
RX(RS)+R	1F	0.00	3.30	0.0014	1346.20	2422.84	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)+R	B1	-4.30	4.30	0.0001	1346.20	32528.20	1695.99	0.00	19.180	0.074	Regular
RX(RS)-RX	6F	16.60	3.25	0.0041	360.37	795.91	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)-RX	5F	13.35	3.25	0.0045	679.08	724.81	557.13	0.00	1.301	1.098	Regular
RX(RS)-RX	4F	10.10	3.25	0.0046	864.51	707.24	507.37	0.00	1.394	1.025	Regular
RX(RS)-RX	3F	6.85	3.25	0.0044	1033.20	741.04	495.06	594.12	1.247	0.954	Regular
RX(RS)-RX	2F	3.30	3.55	0.0037	1195.05	954.87	518.73	579.49	1.648	0.776	Regular
RX(RS)-RX	6F	16.60	3.25	0.0034	41.09	969.89	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)-RX	5F	13.35	3.25	0.0058	109.11	557.00	678.92	0.00	0.820	1.741	Irregular
RX(RS)-RX	4F	10.10	3.25	0.0084	164.13	389.09	389.90	0.00	0.998	1.432	Irregular
RX(RS)-RX	3F	6.85	3.25	0.0095	204.33	342.11	272.36	510.93	0.670	1.137	Regular
RX(RS)-RX	2F	3.30	3.55	0.0107	0.00	331.34	239.48	343.52	0.965	1.033	Regular
RX(RS)-RX	1F	0.00	3.30	0.0014	1346.20	2399.30	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RX(RS)-RX	B1	-4.30	4.30	0.0001	1346.20	34473.01	1679.51	0.00	20.526	0.070	Regular
RY(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0020	254.31	1590.27	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0030	533.53	1092.55	1113.19	0.00	0.981	1.456	Irregular
RY(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0034	795.61	962.08	764.79	0.00	1.258	1.136	Regular
RY(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0035	1038.74	935.73	673.46	971.97	0.963	1.028	Regular
RY(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0030	1233.47	1177.59	655.01	797.43	1.477	0.795	Regular
RY(RS)+R	6F	16.60	3.25	0.0032	68.32	1015.86	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)+R	5F	13.35	3.25	0.0036	213.26	893.59	711.10	0.00	1.257	1.137	Regular
RY(RS)+R	4F	10.10	3.25	0.0040	329.61	815.10	625.52	0.00	1.303	1.096	Regular
RY(RS)+R	3F	6.85	3.25	0.0039	407.19	826.69	570.57	726.55	1.138	0.986	Regular
RY(RS)+R	2F	3.30	3.55	0.0040	0.00	890.49	578.68	676.10	1.317	0.928	Regular
RY(RS)+R	1F	0.00	3.30	0.0007	1440.88	4635.59	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)+R	B1	-4.30	4.30	0.0001	1440.88	61148.59	3244.92	0.00	18.844	0.076	Regular
RY(RS)-R	6F	16.60	3.25	0.0017	254.31	1886.51	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)-R	5F	13.35	3.25	0.0025	533.53	1316.83	1320.56	0.00	0.997	1.433	Irregular
RY(RS)-R	4F	10.10	3.25	0.0028	795.61	1168.79	921.78	0.00	1.268	1.127	Regular
RY(RS)-R	3F	6.85	3.25	0.0028	1038.74	1148.98	818.15	1165.90	0.985	1.017	Regular
RY(RS)-R	2F	3.30	3.55	0.0024	1233.47	1454.47	804.29	969.23	1.501	0.790	Regular
RY(RS)-R	6F	16.60	3.25	0.0032	68.32	1019.47	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)-R	5F	13.35	3.25	0.0036	213.26	894.41	713.63	0.00	1.253	1.140	Regular
RY(RS)-R	4F	10.10	3.25	0.0040	329.61	815.65	626.08	0.00	1.303	1.097	Regular
RY(RS)-R	3F	6.85	3.25	0.0039	407.19	827.21	570.96	727.87	1.136	0.986	Regular
RY(RS)-R	2F	3.30	3.55	0.0040	0.00	893.61	579.05	676.61	1.321	0.926	Regular
RY(RS)-R	1F	0.00	3.30	0.0006	1440.88	5360.05	0.00	0.00	0.000	0.000	Regular
RY(RS)-R	B1	-4.30	4.30	0.0001	1440.88	47962.49	3752.03	0.00	12.783	0.112	Regular

[표 2.3.124] 중량 비정형 평가

Load Case	Story	Level (m)	Story Height (m)	Story Weight (kN)	Adjacent Story Weight		Story Weight Ratio	Story Drift Angle Ratio	Remark
					1.5M(Upper) (kN)	1.5M(Lower) (kN)			
RX(RS)	Roof	19.85	0.00	2375.427	0.000	5289.612	0.449	0.000	Regular
RX(RS)	6F	16.60	3.25	3526.408	3563.141	5367.259	0.990	0.000	Regular
RX(RS)	5F	13.35	3.25	3578.173	5289.612	5367.259	0.676	1.098	Regular
RX(RS)	4F	10.10	3.25	3578.173	5367.259	5509.255	0.667	1.027	Regular
RX(RS)	3F	6.85	3.25	3672.837	5367.259	8951.142	0.684	0.956	Regular
RX(RS)	Roof	19.85	0.00	310.037	0.000	1191.241	0.260	0.000	Regular
RX(RS)	6F	16.60	3.25	794.161	465.055	1248.747	1.708	0.000	Regular
RX(RS)	5F	13.35	3.25	832.498	1191.241	1250.151	0.699	1.755	Regular
RX(RS)	4F	10.10	3.25	833.434	1248.747	1143.374	0.729	1.437	Regular
RX(RS)	3F	6.85	3.25	762.249	1250.151	8951.142	0.610	1.139	Regular
RX(RS)	2F	3.30	0.00	5967.428	0.000	0.000	0.000	0.000	Regular
RX(RS)	1F	0.00	3.30	0.000	8951.142	0.000	0.000	0.000	Regular
RX(RS)	B1	-4.30	4.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	Regular
RY(RS)	Roof	19.85	0.00	2375.427	0.000	5289.612	0.449	0.000	Regular
RY(RS)	6F	16.60	3.25	3526.408	3563.141	5367.259	0.990	0.000	Regular
RY(RS)	5F	13.35	3.25	3578.173	5289.612	5367.259	0.676	1.445	Regular
RY(RS)	4F	10.10	3.25	3578.173	5367.259	5509.255	0.667	1.132	Regular
RY(RS)	3F	6.85	3.25	3672.837	5367.259	8951.142	0.684	1.023	Regular
RY(RS)	Roof	19.85	0.00	310.037	0.000	1191.241	0.260	0.000	Regular
RY(RS)	6F	16.60	3.25	794.161	465.055	1248.747	1.708	0.000	Regular
RY(RS)	5F	13.35	3.25	832.498	1191.241	1250.151	0.699	1.138	Regular
RY(RS)	4F	10.10	3.25	833.434	1248.747	1143.374	0.729	1.096	Regular
RY(RS)	3F	6.85	3.25	762.249	1250.151	8951.142	0.610	0.986	Regular
RY(RS)	2F	3.30	0.00	5967.428	0.000	0.000	0.000	0.000	Regular
RY(RS)	1F	0.00	3.30	0.000	8951.142	0.000	0.000	0.000	Regular
RY(RS)	B1	-4.30	4.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.092	Regular

[표 2.3.125] 강도 비정형 평가

Module	Story	Level (m)	Story Height (m)	Angle1 ([deg])	Story Shear Strength1 (kN)	Upper Story Shear Strength1 (kN)	Story Shear Strength Ratio1	Remark1	Angle2 ([deg])	Story Shear Strength2 (kN)	Upper Story Shear Strength2 (kN)	Story Shear Strength Ratio2	Remark2
Angle = 0 [Deg]													
Input angle and press 'Apply' button to change angle.				0.00	Apply								
PC	6F	16.60	3.25	0.00	4512.0505	0.0000	0.0000	Regular	90.00	11093.2009	0.0000	0.0000	Regular
PC	5F	13.35	3.25	0.00	4512.0505	4512.0505	1.0000	Regular	90.00	11093.2009	11093.2009	1.0000	Regular
PC	4F	10.10	3.25	0.00	4512.0505	4512.0505	1.0000	Regular	90.00	11093.2009	11093.2009	1.0000	Regular
PC	3F	6.85	3.25	0.00	4882.4772	4512.0505	1.0843	Regular	90.00	11093.2009	11093.2009	1.0000	Regular
PC	2F	3.30	3.55	0.00	4882.4772	4882.4772	1.0000	Regular	90.00	11093.2009	11093.2009	1.0000	Regular
MO	6F	16.60	3.25	0.00	11754.7755	0.0000	0.0000	Regular	90.00	12778.2237	0.0000	0.0000	Regular
MO	5F	13.35	3.25	0.00	11337.3000	11754.7755	0.9645	Regular	90.00	11337.3000	12778.2237	0.8872	Regular
MO	4F	10.10	3.25	0.00	11337.3000	11337.3000	1.0000	Regular	90.00	11337.3000	11337.3000	1.0000	Regular
MO	3F	6.85	3.25	0.00	11337.3000	11337.3000	1.0000	Regular	90.00	11337.3000	11337.3000	1.0000	Regular
MO	2F	3.30	3.55	0.00	10530.0000	11337.3000	0.9288	Regular	90.00	10530.0000	11337.3000	0.9288	Regular
Base	1F	0.00	3.30	0.00	10720.0780	15422.4772	0.6951	Irregular	90.00	18595.2425	21623.2009	0.8600	Regular
Base	B1	-4.30	4.30	0.00	18749.7914	10720.0780	1.7490	Regular	90.00	19319.0011	18595.2425	1.0390	Regular

Module	Story	Level (m)	Story Height (m)	Angle1 ([deg])	Story Shear Strength1 (kN)	Upper Story Shear Strength1 (kN)	Story Shear Strength Ratio1	Remark1	Angle2 ([deg])	Story Shear Strength2 (kN)	Upper Story Shear Strength2 (kN)	Story Shear Strength Ratio2	Remark2
Angle = 45 [Deg]													
Input angle and press 'Apply' button to change angle.				45.00	Apply								
PC	6F	16.60	3.25	45.00	11034.5791	0.0000	0.0000	Regular	135.00	11034.5791	0.0000	0.0000	Regular
PC	5F	13.35	3.25	45.00	11034.5791	11034.5791	1.0000	Regular	135.00	11034.5791	11034.5791	1.0000	Regular
PC	4F	10.10	3.25	45.00	11034.5791	11034.5791	1.0000	Regular	135.00	11034.5791	11034.5791	1.0000	Regular
PC	3F	6.85	3.25	45.00	11303.5813	11034.5791	1.0244	Regular	135.00	11303.5813	11034.5791	1.0244	Regular
PC	2F	3.30	3.55	45.00	11303.5813	11303.5813	1.0000	Regular	135.00	11303.5813	11303.5813	1.0000	Regular
MO	6F	16.60	3.25	45.00	17347.4501	0.0000	0.0000	Regular	135.00	17347.4501	0.0000	0.0000	Regular
MO	5F	13.35	3.25	45.00	16033.3634	17347.4501	0.9242	Regular	135.00	16033.3634	17347.4501	0.9242	Regular
MO	4F	10.10	3.25	45.00	16033.3634	16033.3634	1.0000	Regular	135.00	16033.3634	16033.3634	1.0000	Regular
MO	3F	6.85	3.25	45.00	16033.3634	16033.3634	1.0000	Regular	135.00	16033.3634	16033.3634	1.0000	Regular
MO	2F	3.30	3.55	45.00	14891.6688	16033.3634	0.9288	Regular	135.00	14891.6688	16033.3634	0.9288	Regular
Base	1F	0.00	3.30	45.00	20729.0619	26195.2501	0.7913	Irregular	135.00	20729.0619	26195.2501	0.7913	Irregular
Base	B1	-4.30	4.30	45.00	26919.2670	20729.0619	1.2986	Regular	135.00	26919.2670	20729.0619	1.2986	Regular

㉡ 성능 수준 평가 결과

- 요구량(Demand)/저항능력(Capacity)의 비(DCR)에 의해 구조물의 성능수준 판정결과를 평가함
- 성능수준평가 결과, 붕괴위험 수준으로 나타남

[표 2.3.126] KISTEC 2013 관련조항, 철근 콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준(한국시설안전공단 2013)

DCR의 범위	성능수준
DCR≤0.5	거주가능
0.5<DCR≤0.75	인명안전
0.75<DCR≤1.0	붕괴방지
1.0<DCR	붕괴위험

[표 2.3.127] 성능수준 평가 결과

Module	Story	Elev. (m)	Sds	Effective Weight (kN)	γ	Demand (kN)	Dμ	X-Direction					Y-Direction				
								Cf (kN)	Cs (kN)	Capacity (kN)	DCR	Performance	Cf (kN)	Cs (kN)	Capacity (kN)	DCR	Performance
PC	Roof	19.85	0.380000	3578.17	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PC	6F	16.60	0.380000	833.43	0.24	2351.86	2.00	0.00	5119.64	5119.64	0.46	IO	0.00	14195.00	14195.00	0.17	IO
PC	5F	13.35	0.380000	3578.17	0.28	2809.97	2.00	0.00	5119.64	5119.64	0.55	LS	0.00	14195.00	14195.00	0.20	IO
PC	4F	10.10	0.380000	3672.84	0.44	4391.70	2.00	0.00	5119.64	5119.64	0.86	CP	0.00	14195.00	14195.00	0.31	IO
PC	3F	6.85	0.380000	762.25	0.56	5620.02	2.00	0.00	5595.17	5595.17	1.00	Collapse	0.00	14195.00	14195.00	0.40	IO
MO	Roof	19.85	0.380000	310.04	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO	6F	16.60	0.380000	2375.43	0.02	205.78	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
MO	5F	13.35	0.380000	3626.41	0.15	1509.47	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
MO	4F	10.10	0.380000	794.16	0.31	3068.31	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
MO	3F	6.85	0.380000	832.50	0.33	3333.91	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid	0.00	0.00	0.00	0.00	Invalid
Base	2F	3.30	0.380000	5967.43	0.93	9315.65	2.00	0.00	5595.17	5595.17	1.66	Invalid	0.00	14195.00	14195.00	0.66	Invalid
Base	1F	0.00	-	-	1.00	9967.71	2.00	0.00	11620.40	11620.40	0.86	CP	445.18	22218.90	22533.30	0.44	IO
Base	B1	-4.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STRUCTURE PERFORMANCE																	
												Performance					Performance
												Invalid					Invalid

- 천안 실증단지를 대상으로 예비평가한 결과 비틀림 비정형, 강성비정형, 강도비정형이 나타났고, 성능수준평가는 붕괴위험으로 상세평가를 수행함

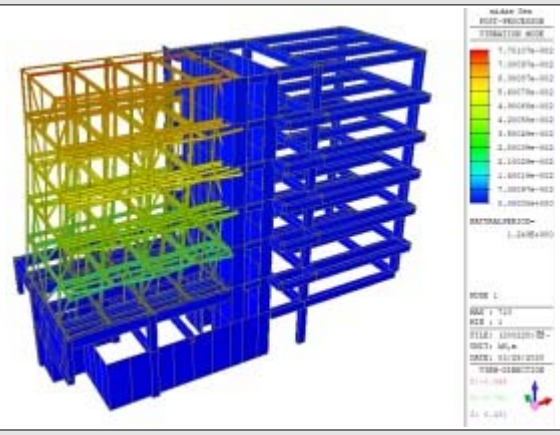
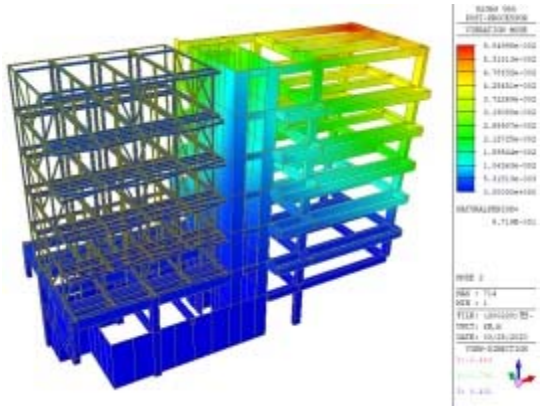
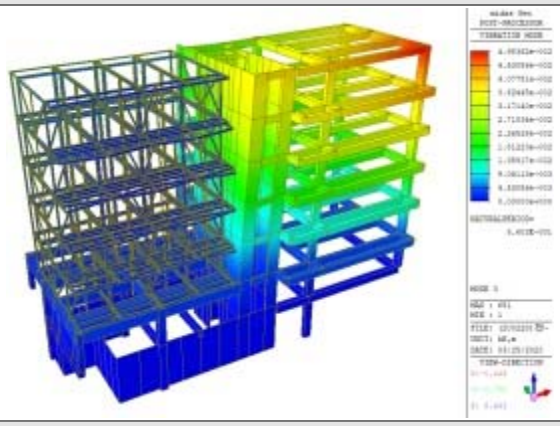
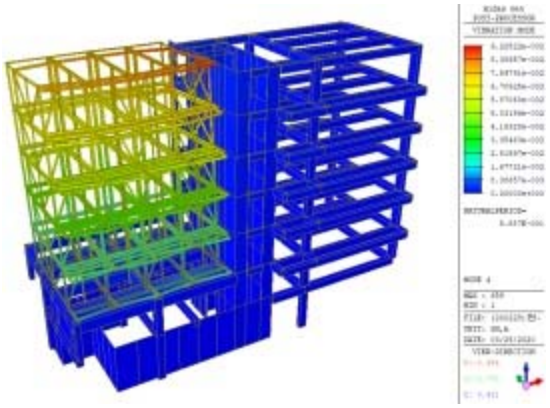
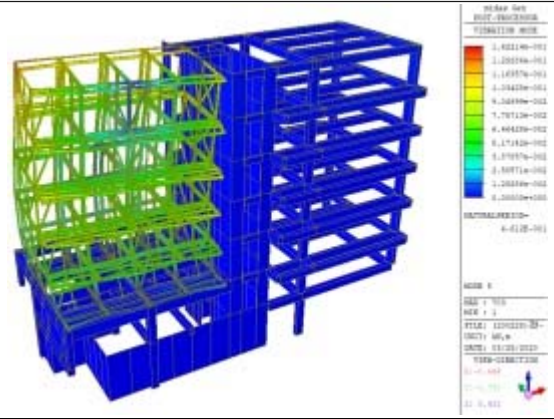
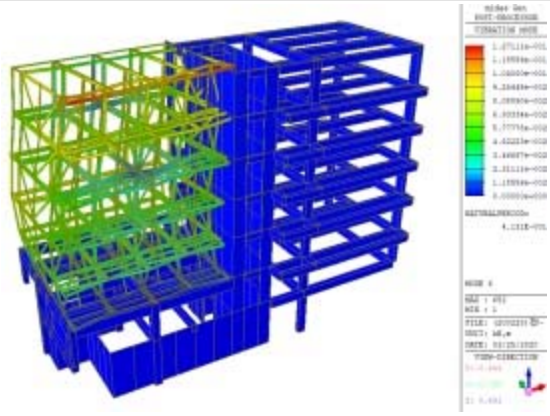
② 1단계 내진성능 상세평가 결과

㉠ 고유치해석 결과

[표 2.3.128] 모듈러 천안 실증단지 고유치 해석

Mode	UX	UY	UZ	RX
EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency		Period	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	5.0544	0.8044	1.2431	0.0000e+000
2	6.4650	1.0289	0.9719	0.0000e+000
3	7.3031	1.1623	0.8603	0.0000e+000
4	10.6725	1.6986	0.5887	0.0000e+000
5	13.6242	2.1684	0.4612	0.0000e+000
6	15.2112	2.4209	0.4131	0.0000e+000
7	22.8128	3.6308	0.2754	0.0000e+000
8	23.3341	3.7137	0.2693	0.0000e+000
9	25.0493	3.9867	0.2508	0.0000e+000
10	28.5959	4.5512	0.2197	0.0000e+000
11	30.4396	4.8446	0.2064	0.0000e+000
12	34.8297	5.5433	0.1804	0.0000e+000
13	37.0083	5.8901	0.1698	0.0000e+000
14	46.8243	7.4523	0.1342	0.0000e+000
15	51.5257	8.2006	0.1219	0.0000e+000
16	59.0812	9.4031	0.1063	2.6355e-313
17	66.8764	10.6437	0.0940	8.4414e-302
18	74.4160	11.8437	0.0844	1.0193e-291
19	84.1863	13.3987	0.0746	7.6474e-278
20	88.3174	14.0561	0.0711	4.9643e-271
21	90.2889	14.3699	0.0696	3.7393e-269
22	94.2763	15.0045	0.0666	1.0720e-264
23	100.7192	16.0300	0.0624	4.1364e-259
24	104.7493	16.6714	0.0600	4.1724e-255
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT				

㉡ 모드형상

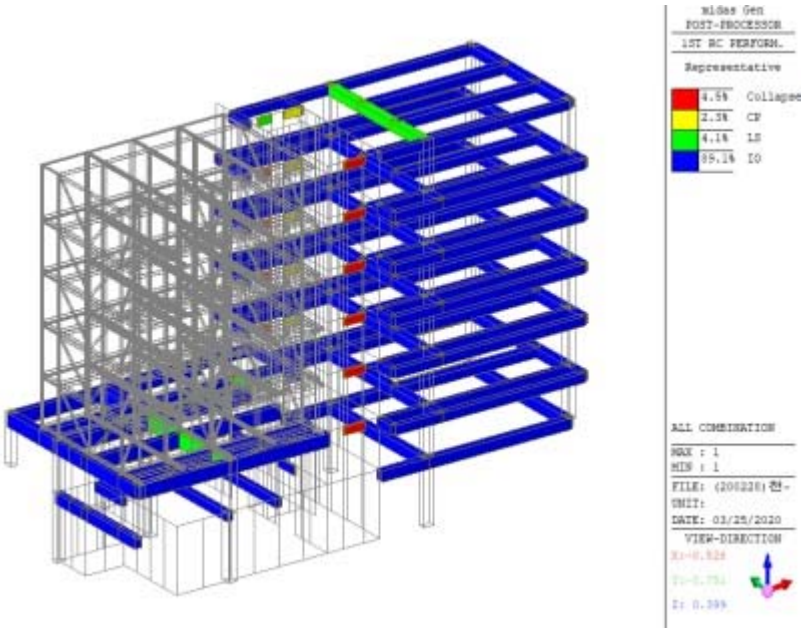
1차모드	2차모드
	
3차모드	**4차모드**
	
5차모드	**6차모드**
	

1차모드	주기 : 1.2431초
2차모드	주기 : 0.9719초
3차모드	주기 : 0.8603초
4차모드	주기 : 0.5887초
5차모드	주기 : 0.4612초
6차모드	주기 : 0.4131초

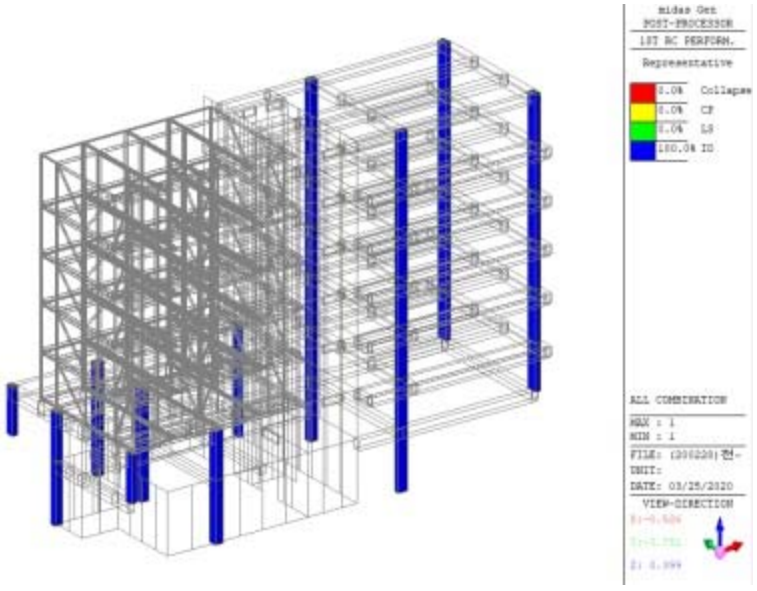
[그림 2.3.58] 모듈러 천안 실증단지 모드형상

㉣ 부재 검토 결과

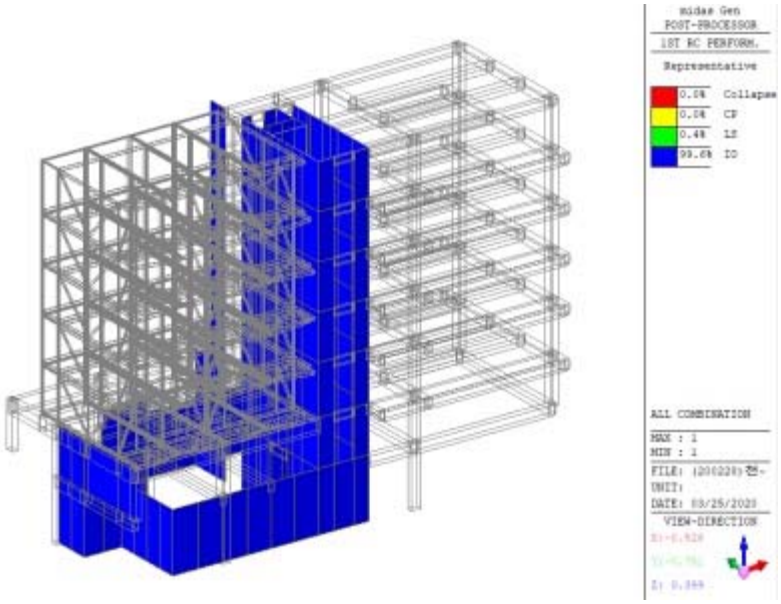
- 하중조합별, 전체 부재별로 성능평가 결과를 그래픽으로 확인
- 부재검토 결과, 목표성능인 LS(Life Safety, 인명안전) 수준을 만족하는 비율은 RC보 99.2%, RC 기둥 100%, RC 벽체 93.3%로 나타났다. CP인 부재는 AW4(3층/2층), AW5(3층), AW6(1층)이며, Collapse인 부재는 AW4(1층)임
- 철골보와 철골 기둥은 LS 목표성능 100% 만족함



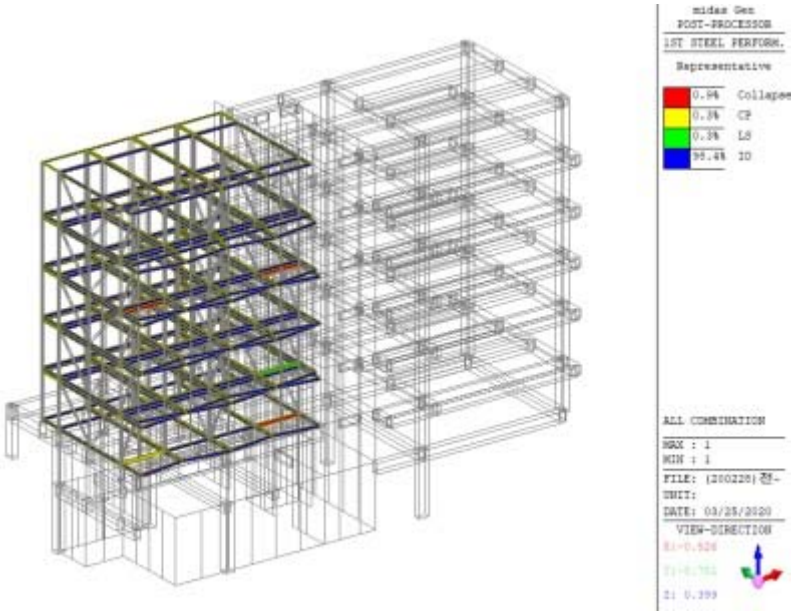
[그림 2.3.58] 보 성능평가 검토



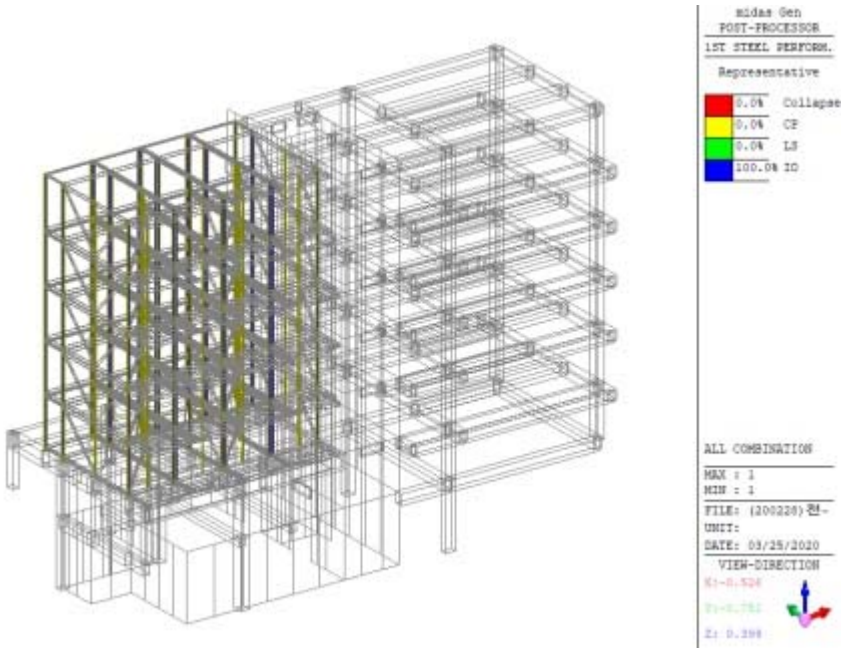
[그림 2.3.59] 기둥 성능평가 검토



[그림 2.3.60] 벽체 성능평가 검토



[그림 2.3.60] 철골 보 성능평가 검토



[그림 2.3.61] 철골 기둥 성능평가 검토

㉣ 수직하중 분담비율에 따른 성능수준

- 층별로 수평부재와 수직부재에 대해 각각 수직하중 분담비율이 80%를 초과할 때의 성능수준을 최종 결정함
- 수직하중 분담비율에 따른 성능수준은 LS로 평가됨

[표 2.3.129] 수직하중 분담비율

Module	Story	Level (m)	Load	Horizontal Member Ratio				Vertical+Inclined Member Ratio			
				IO	LS	CP	Performance	IO	LS	CP	Performance
Vertical Load factor for Calculating Acceptance Performance criteria = 1DL, 0.25LL											
Load Combinations for Performance status = ALL											
Scale Up of m Factor for DCR Calculation of Deformation-Controlled Action = 1											
PC	Roof	19.85	ALL	0.73	0.96	0.97	LS	-	-	-	-
PC	6F	16.60	ALL	0.98	0.98	0.99	IO	1.00	1.00	1.00	IO
PC	5F	13.35	ALL	0.98	0.98	0.99	IO	1.00	1.00	1.00	IO
PC	4F	10.10	ALL	0.98	0.98	0.99	IO	1.00	1.00	1.00	IO
PC	3F	6.85	ALL	0.98	0.98	0.99	IO	1.00	1.00	1.00	IO
MO	Roof	19.85	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	-	-	-	-
MO	6F	16.60	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
MO	5F	13.35	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
MO	4F	10.10	ALL	0.96	0.96	0.96	IO	1.00	1.00	1.00	IO
MO	3F	6.85	ALL	0.98	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
Base	2F	3.30	ALL	0.78	0.99	0.99	LS	1.00	1.00	1.00	IO
Base	1F	0.00	ALL	1.00	1.00	1.00	IO	1.00	1.00	1.00	IO
Base	B1	-4.30	ALL	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	IO
STRUCTURE PERFORMANCE											
							Performance				Performance
							LS				IO

㉤ 층간 변위각에 따른 성능수준

- 구조시스템별로 층간 변형각의 크기에 층별로 성능수준을 판정하고, 가장 낮은 성능수준을 전체 구조물의 성능수준으로 판정함
- 층간 변위각은 X방향에 대해 Collapse(붕괴위험), Y방향 대해 CP(붕괴방지), X/Y방향에 대해서 LS(인명안전)로 나타남

[표 2.3.130] 구조시스템 및 성능수준별 허용층간 변형각

구조시스템	내진설계된 경우			내진설계 되지 않은 경우		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP
RC 모멘트골조	0.01	0.02	0.04	0.005	0.01	0.02
조적채움벽이 있는 RC 모멘트 골조	0.007	0.014	0.024	0.0035	0.007	0.012
전단지배형 전단벽 시스템	0.0025	0.005	0.01	0.0012	0.0025	0.005
휨지배형 전단벽 시스템	0.005	0.01	0.02	0.0025	0.005	0.01
철골골조	0.007	0.025	0.05	0.0055	0.02	0.04
가새가 있는 철골골조	0.005	0.015	0.02	0.004	0.012	0.016
조적조	0.004	0.0067	0.01	0.004	0.0067	0.01

[표 2.3.131] X/Y방향 층간 변형각에 따른 성능수준

STRUCTURE PERFORMANCE		
Performance	Performance	Performance
Collapse	CP	LS

③ 소결

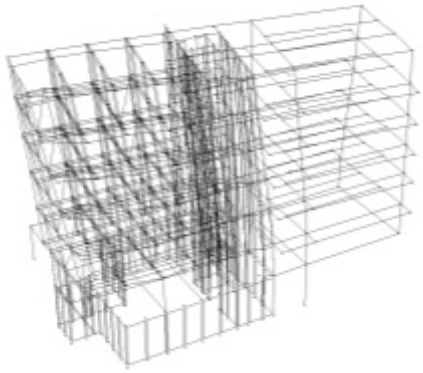
- 예비평가결과 비틀림비정형, 강성비정형, 강도비정형을 가진 것으로 나타나 상세평가를 수행함
- 1단계 상세평가 결과, RC 보 부재는 LS 목표성능에 99.2% 만족, 기둥 부재는 LS 목표성능에 100% 만족, RC 벽체 부재는 LS 목표성능에 93.3% 만족하는 것으로 나타남
- 철골보와 철골 기둥은 LS 목표성능에 100% 만족함
- LS 목표성능에 대한 층간 변위각은 X방향에 대해서 Collapse, Y방향에 대해서는 CP, X/Y 방향에 대한 값은 LS로 나타남

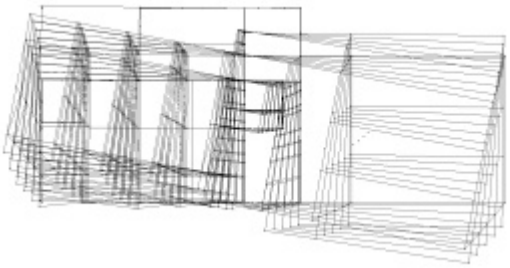
(2) 비선형해석

① 모드해석결과

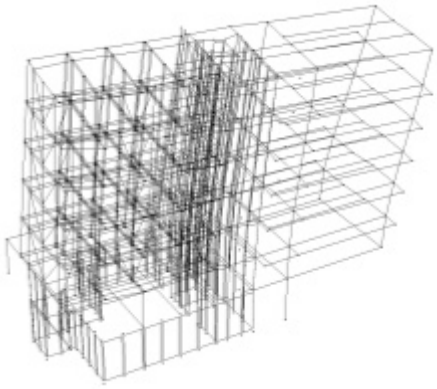
㉠ 모드 형상

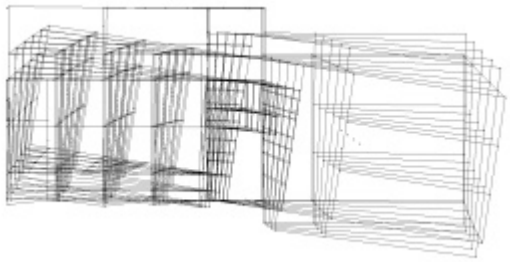
1차 주기 : 0.900 sec



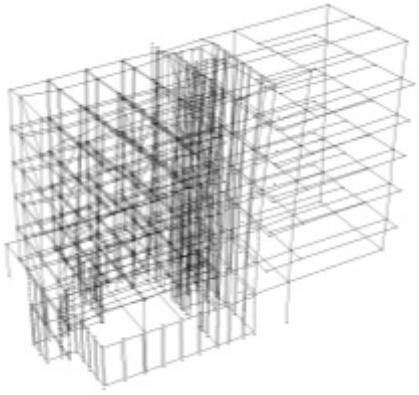


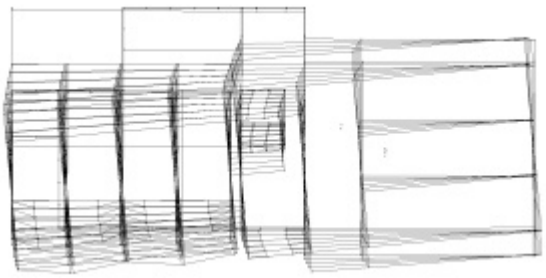
2차 주기 : 0.880 sec





3차 주기 : 0.299 sec





㉡ 고유주기

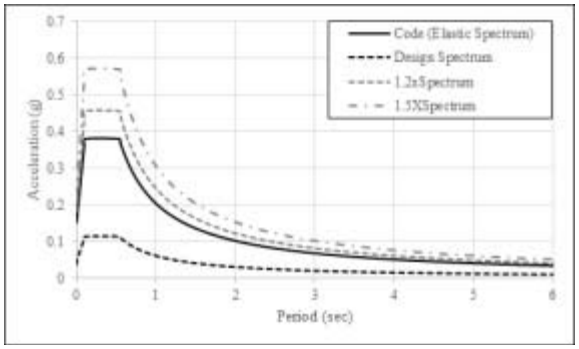
[표 2.3.132] 각 모드에 따른 모델별 주기 및 질량참여율

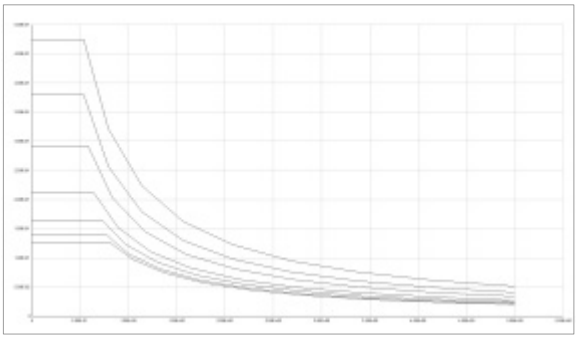
Mode	Linear Model							Nonlinear Model					
	Period (sec)	Mass Participation (sum)						Period (sec)	Mass Participation (sum)				
		Tran-X MASS	Tran-X SUM	Tran-Y MASS	Tran-Y SUM	Rot-Z MASS	Rot-Z SUM		Tran-X MASS	Tran-X SUM	Tran-Y MASS	Tran-Y SUM	Rot-Z (%)
1	1.241	13.70	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.900	30.29	30.29	9.20	9.20	0.00
2	0.838	15.52	29.22	24.43	24.44	23.56	23.57	0.880	40.25	70.54	11.49	20.69	0.00
3	0.758	41.39	70.61	9.76	34.19	10.67	34.23	0.299	0.75	71.29	57.02	77.71	0.00
4	0.581	0.00	70.61	13.13	47.32	18.95	53.18	0.228	0.28	71.57	2.19	79.91	0.00
5	0.459	0.53	71.14	0.01	47.33	2.21	55.39	0.206	17.15	88.72	0.61	80.52	0.00
6	0.412	0.64	71.79	0.00	47.33	1.35	56.74	0.115	0.00	88.72	1.01	81.53	0.00
7	0.269	0.54	72.33	0.00	47.33	0.01	56.75	0.098	5.73	94.44	0.01	81.54	0.00
8	0.241	0.11	72.44	30.17	77.50	3.44	60.19	0.082	0.04	94.48	5.87	87.41	0.00
9	0.226	0.40	72.84	1.03	78.53	9.76	69.94	0.069	0.01	94.49	7.46	94.87	0.00
10	0.207	0.91	73.75	0.01	78.54	0.00	69.95	0.064	3.38	97.87	0.16	95.03	0.00
11	0.195	14.45	88.20	0.13	78.68	0.12	70.06	0.061	0.03	97.90	1.54	96.57	0.00
12	0.180	0.01	88.21	0.00	78.68	0.00	70.06	0.055	0.07	97.97	0.14	96.71	0.00
13	0.169	0.02	88.22	2.20	80.87	4.23	74.29	0.047	1.57	99.54	0.00	96.71	0.00
14	0.134	0.00	88.22	0.00	80.88	1.21	75.50	0.036	0.46	100.00	0.03	96.74	0.00
15	0.114	0.03	88.25	0.95	81.83	4.06	79.57	0.032	0.00	100.00	2.44	99.19	0.00
16	0.097	7.97	96.22	0.03	81.86	0.01	79.57	0.022	0.00	100.00	0.66	99.85	0.00
17	0.094	0.08	96.29	0.98	82.84	1.65	81.22	0.017	0.00	100.00	0.13	99.98	0.00
18	0.081	0.01	96.30	2.71	85.55	2.82	84.05	0.015	0.00	100.00	0.02	100.00	0.00
19	0.074	0.01	96.31	0.25	85.80	0.01	84.05	–	–	–	–	–	–
20	0.071	0.01	96.32	1.59	87.39	1.65	85.70	–	–	–	–	–	–

② 비선형 정적해석

㉠ 적용스펙트럼가속도

[표 2.3.133] 적용 응답스펙트럼 (비선형프로그램)





㉡ 적용 하중

- 비선형 정적해석을 위한 중력하중은 고정하중의 1.0배와 활하중의 0.25배를 적용함. 성능점 산정은 비선형 정적해석 시 요구스펙트럼과 구조물의 역량스펙트럼의 교차점이며, 해당 위치에서의 비선형 변위는 작용 지진하중에 대한 건축물의 변형 및 손상 정도를 나타냄

❍ 질량참여율 검토

- 모드해석에서 질량참여율이 가장 큰 순서대로 3가지 모드를 1차모드±2차모드±3차모드 총 4가지 조합으로 적용하여 성능점 검토를 통해 가장 불리한 Pushover Curve로 평가함

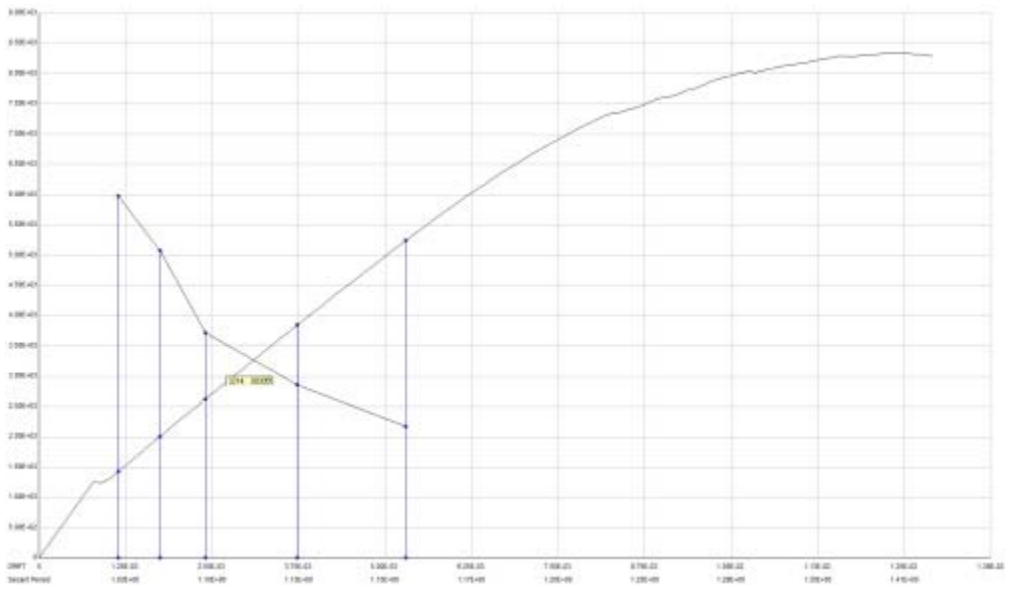
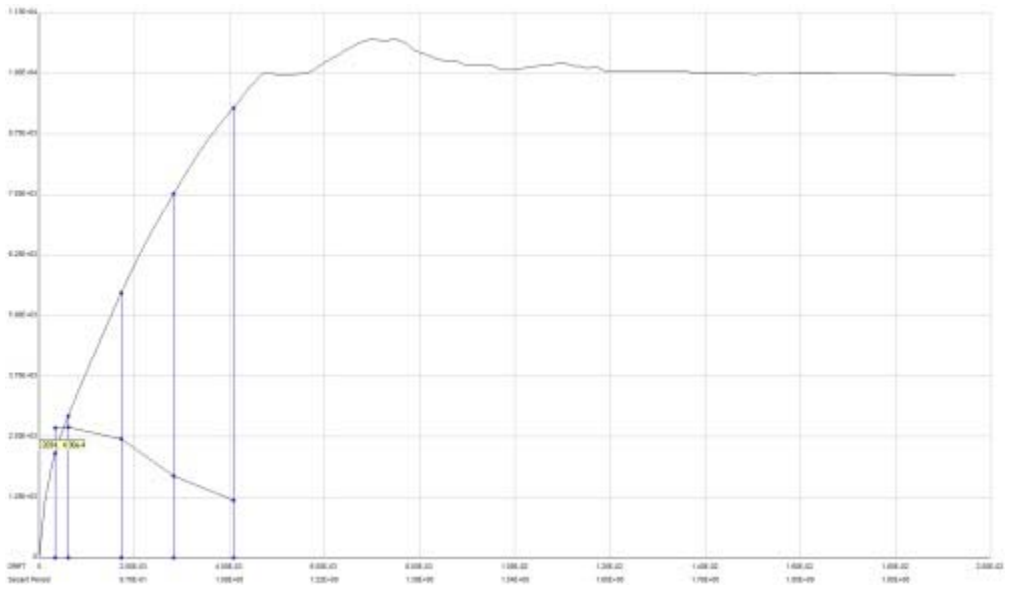
[표 2.3.134] 질량참여율

구분	Mode No.	Period	질량참여율	
			%	SUM
X-Dir	1	0.90	30.29	87.69
	2	0.88	40.25	
	5	0.21	17.15	
Y-Dir	1	0.90	9.20	77.71
	2	0.88	11.49	
	3	0.30	57.02	

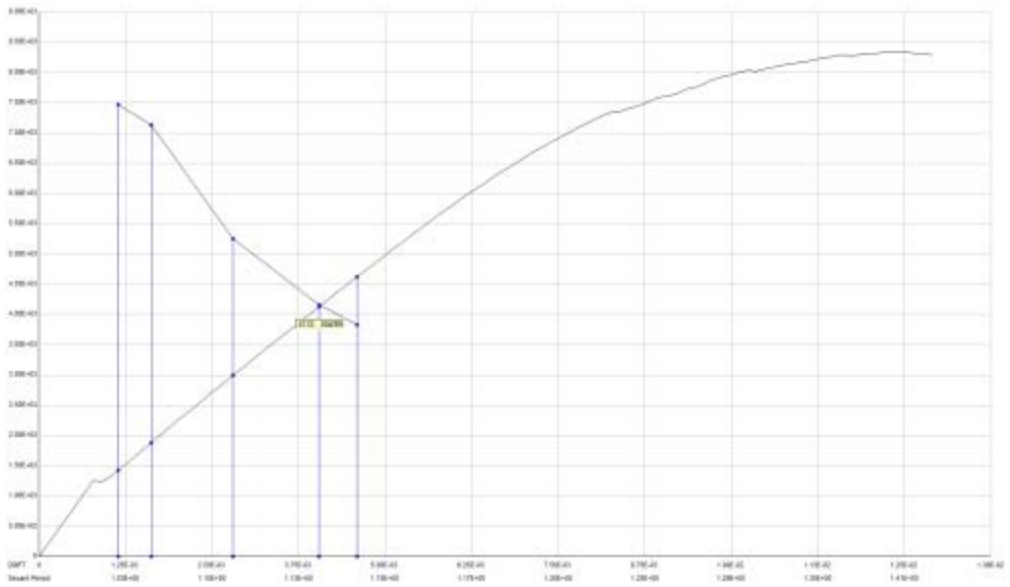
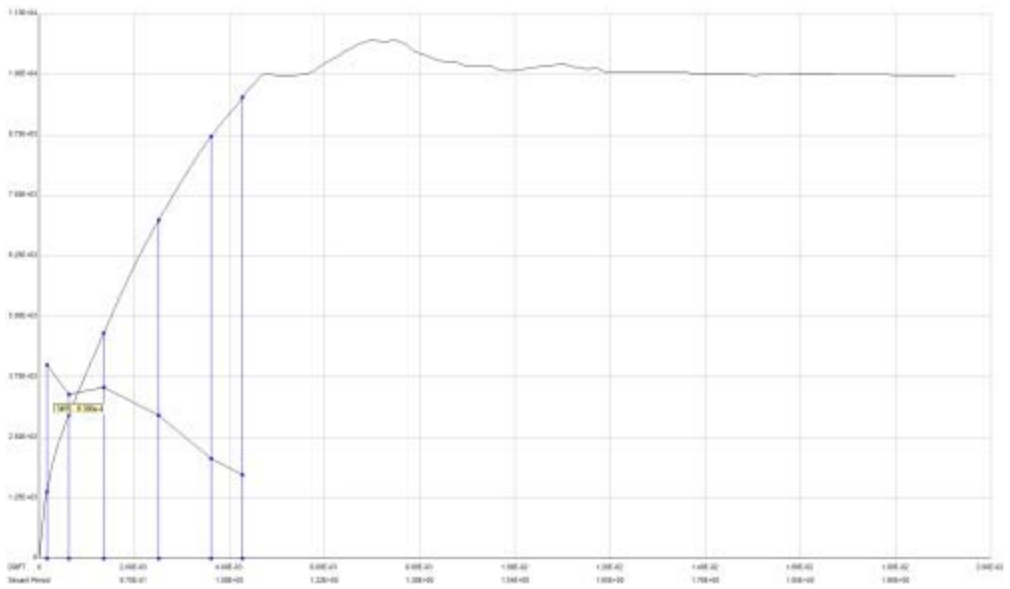
-

㉣ 성능점 검토

❍ 성능점 산정 (인명안전수준)

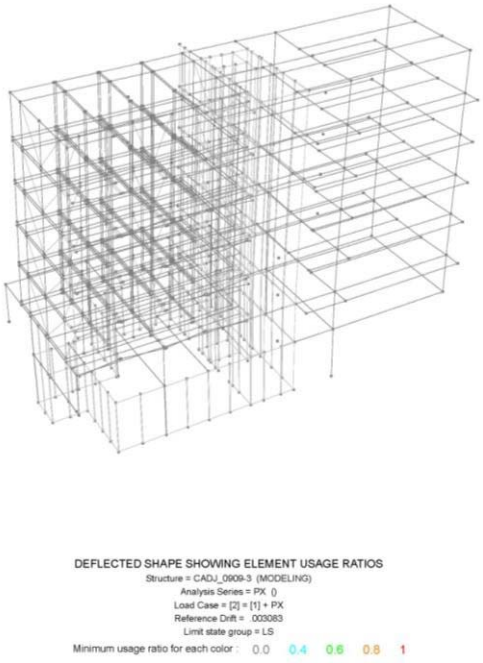
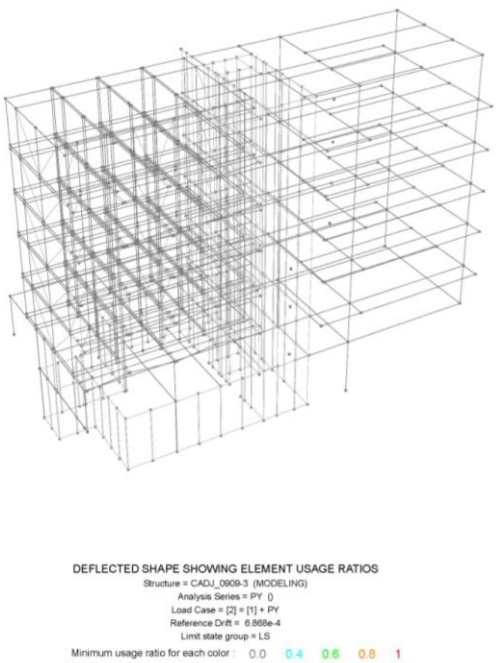
<table>
<tr><th></th><th colspan="8">형상</th></tr>
<tr><td>Px</td><td colspan="8">  </td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">성능점</td><td colspan="4">최대성능</td></tr>
<tr><td>V (kN)</td><td>3214</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.003055</td><td>V (kN)</td><td>8348</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.012908</td></tr>
<tr><td>Py</td><td colspan="8">  </td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">성능점</td><td colspan="4">최대성능</td></tr>
<tr><td>V (kN)</td><td>2694</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.000498</td><td>V (kN)</td><td>10708</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.019248</td></tr>
</table>

❍ 성능점 산정 (붕괴방지수준)

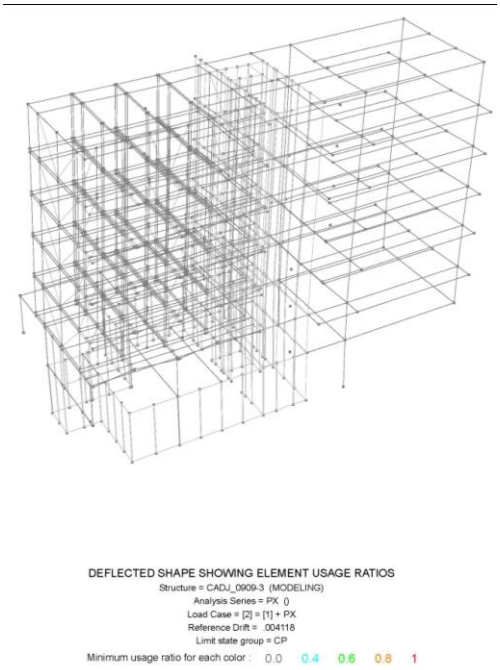
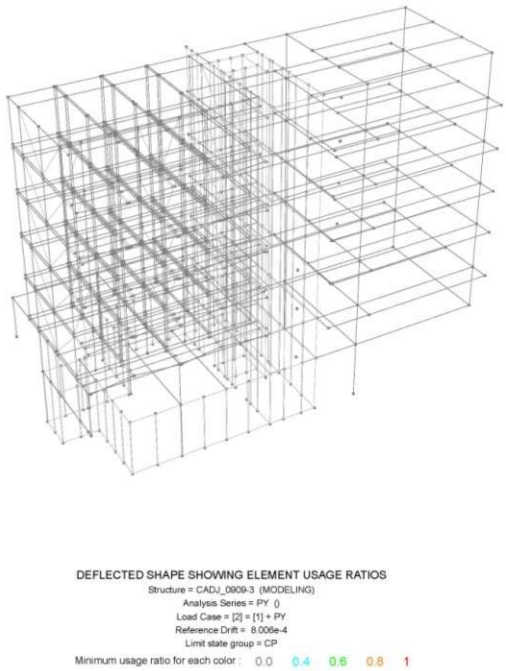
<table>
<tr><th></th><th colspan="8">형상</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Px</td><td colspan="8">  </td></tr>
<tr><td colspan="4">성능점</td><td colspan="4">최대성능</td></tr>
<tr><td>V (kN)</td><td>4133</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.004055</td><td>V (kN)</td><td>8348</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.012908</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Py</td><td colspan="8">  </td></tr>
<tr><td colspan="4">성능점</td><td colspan="4">최대성능</td></tr>
<tr><td>V (kN)</td><td>3455</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.000839</td><td>V (kN)</td><td>10708</td><td>Sd(변위비)</td><td>0.019248</td></tr>
</table>

㉣ 성능점에서의 구조물 형상

❍ 인명안전수준

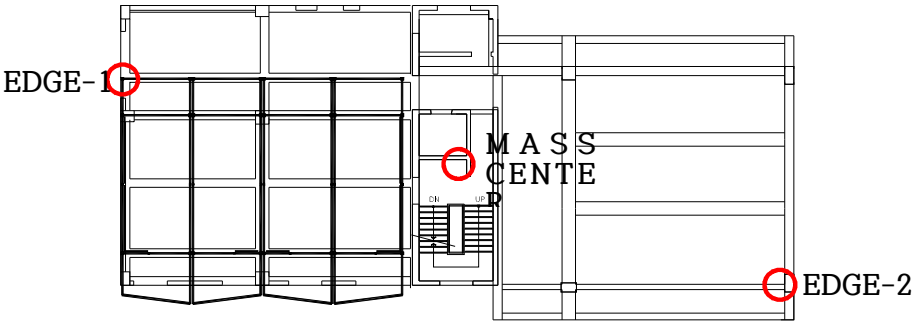
PX	PY
	

❍ 붕괴방지수준

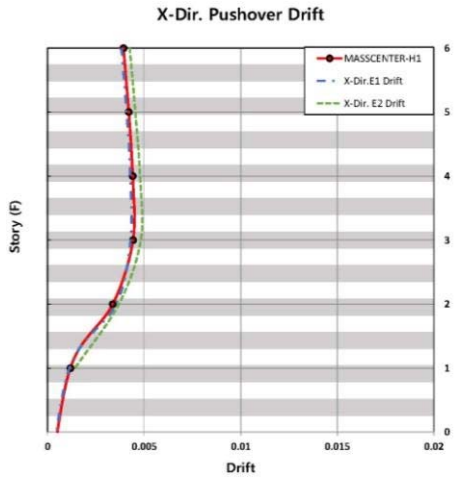
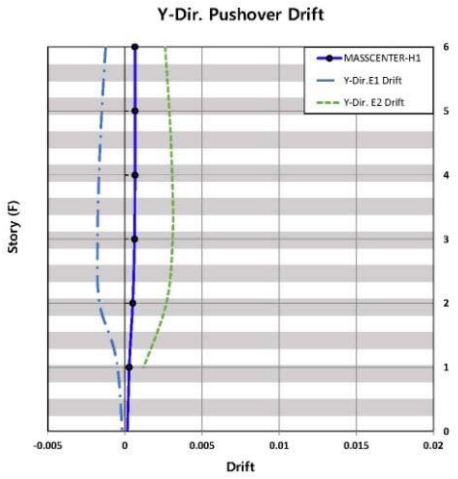
PX	PY
	

㉤ 층간변위비 검토

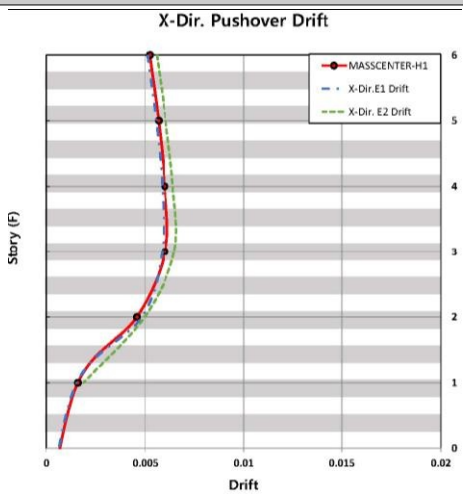
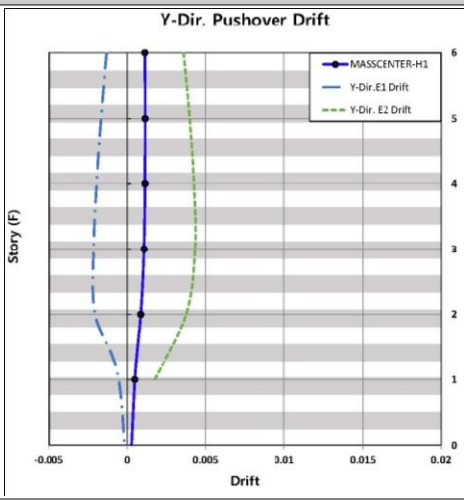
- 비선형 정적해석에 의한 층간변위비는 성능곡선 상의 성능점 위치에서의 층간변위를 나타냄



❍ 인명안전수준

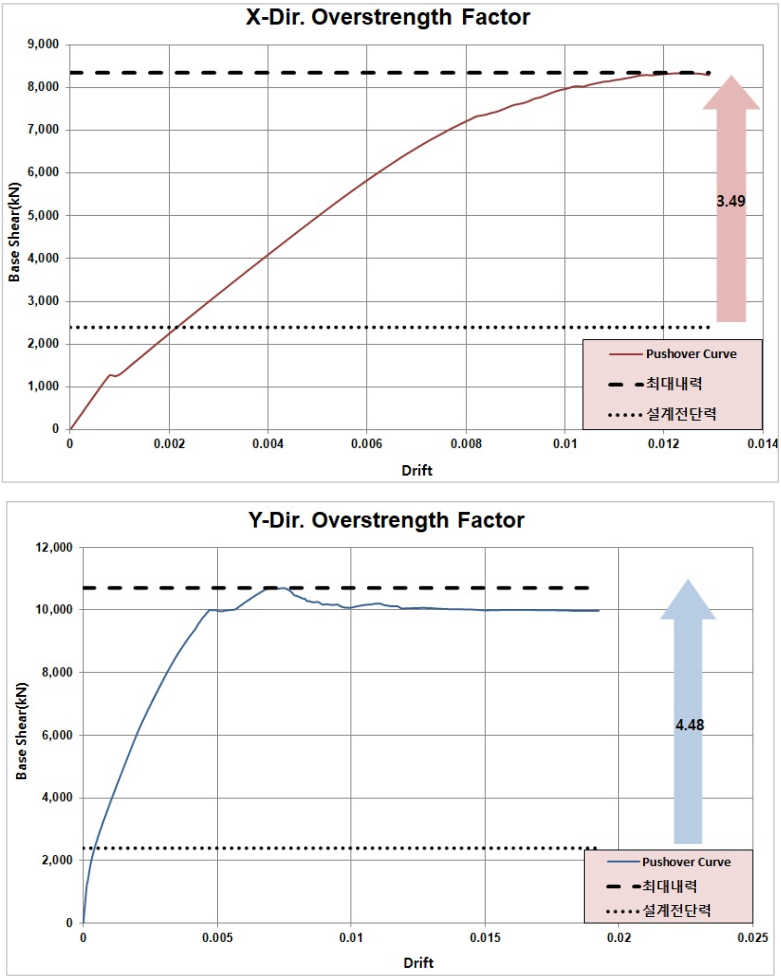
PX	PY
	
0.0048 〈 0.015-----OK	0.0031 〈 0.015-----OK

❍ 붕괴방지수준

PX	PY
	
0.00649 〈 0.020-----OK	0.00434 〈 0.020-----OK

㉤ 최소강도기준 검토

- 최대 층간변위 검토뿐만 아니라 전체 구조물에 대한 비선형정적해석 평가 항목으로써 최소강도기준을 검토할 수 있음
- 구조물에 대한 기본설계 시 산정한 설계 밑면전단력 대비 성능곡선 상의 최대 강도를 초과강도계수(Over Strength Factor, Ω)로 나타낼 수 있으며, 허용값을 초과할 경우 강도의 여유를 확보한 구조물로 판단할 수 있음
- 천안 실증단지의 경우 초과강도계수 허용값은 **"공동주택 성능기반 내진설계 지침"**을 참조하여 1.5로 산정함



[그림 2.3.62] 최소강도기준 검토

- 위의 그래프에서 얇은 점선은 기본설계 시의 설계 밑면 전단력을 나타내며, 굵은 점선은 성능곡선 상의 최대 강도를 나타냄
- X방향 성능곡선의 최대강도는 8348kN이며, 기본 설계 밑면 전단력은 2392.25kN으로 초과강도계수(Ω)는 3.49로 나타남
- Y방향 성능곡선의 최대강도는 10708kN이며, 기본 설계 밑면 전단력은 2392.25kN으로 초과강도계수(Ω)는 4.48로 산정됨
- 따라서 X방향, Y방향 모두 초과강도계수의 허용값 1.5 이상으로 검토됨

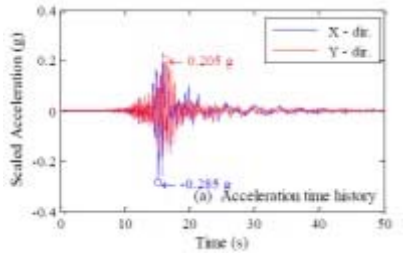
③ 비선형 동적해석

㉠ 지반운동별 부재 해석 결과

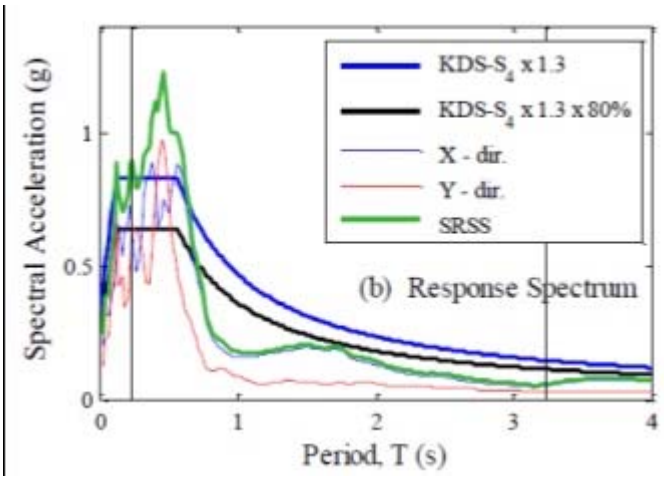
❍ Earthquake 1

- 지반운동

No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rrup(km)	VS,30
7	Tottori	2000	SMNH10	6.61	15.6	967

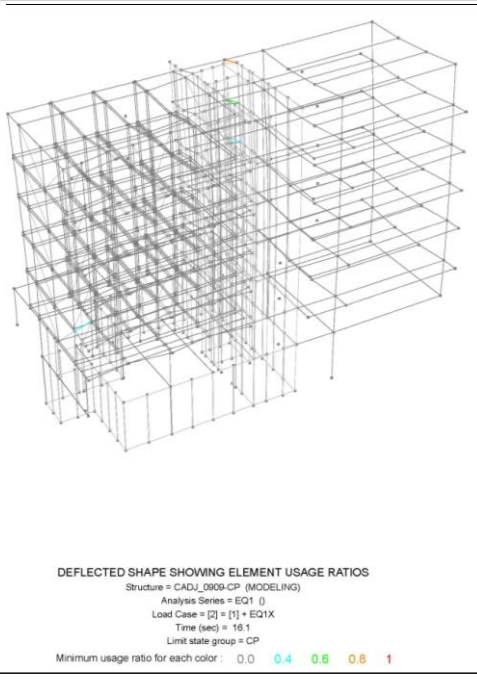
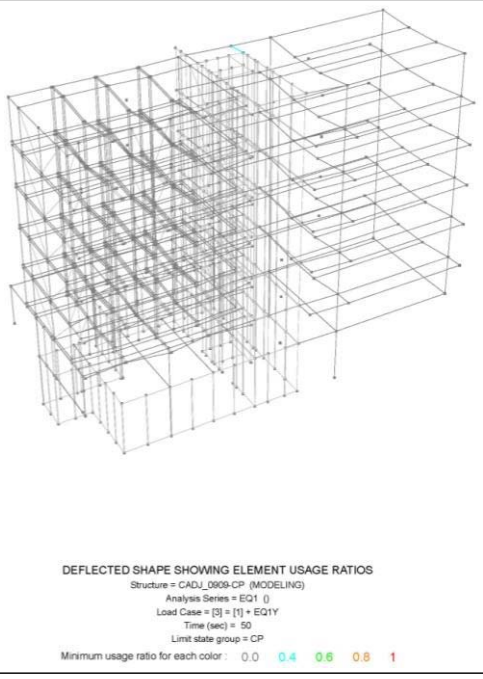


지반운동



지반운동 스펙트럼 가속도

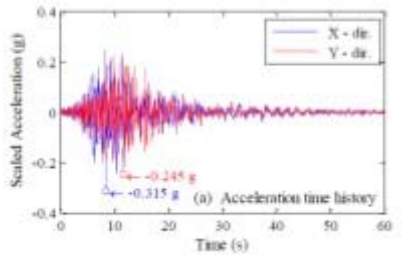
- 구조물 전체 형상(붕괴방지수준)

EQ1X	EQ1Y
	
DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ1 () Load Case = [2] = [1] + EQ1X Time (sec) = 16.1 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1	DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ1 () Load Case = [3] = [1] + EQ1Y Time (sec) = 50 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1

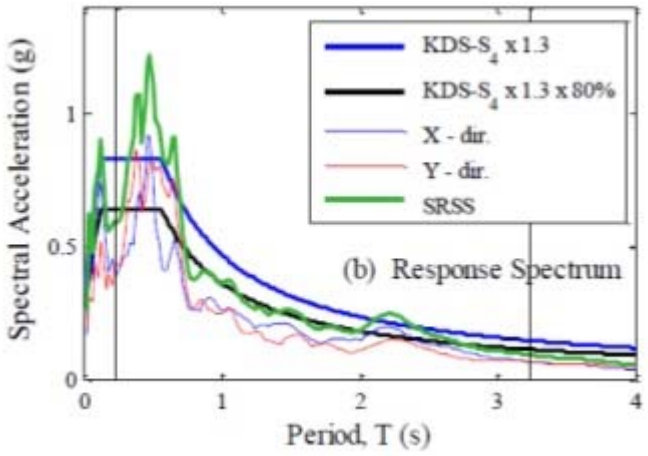
❍ Earthquake 2

- 지반운동

No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rrup(km)	VS,30
17	IWATE	2008	IWT010	6.90	16.3	826

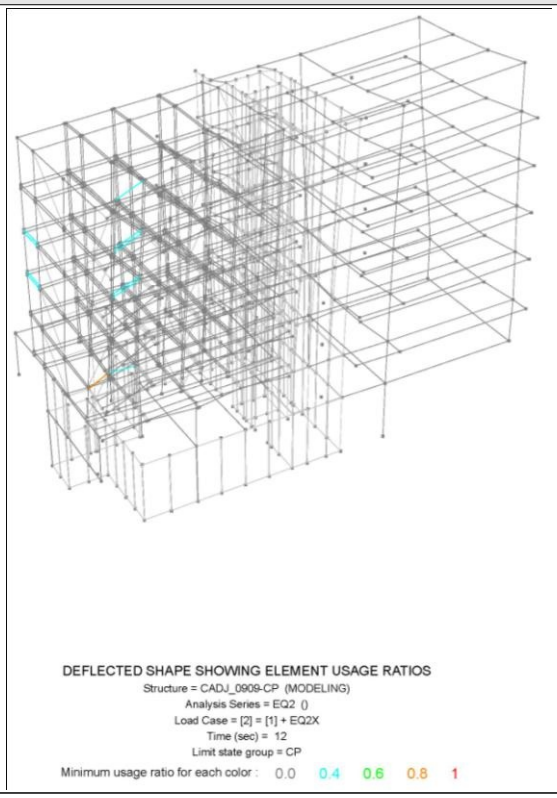
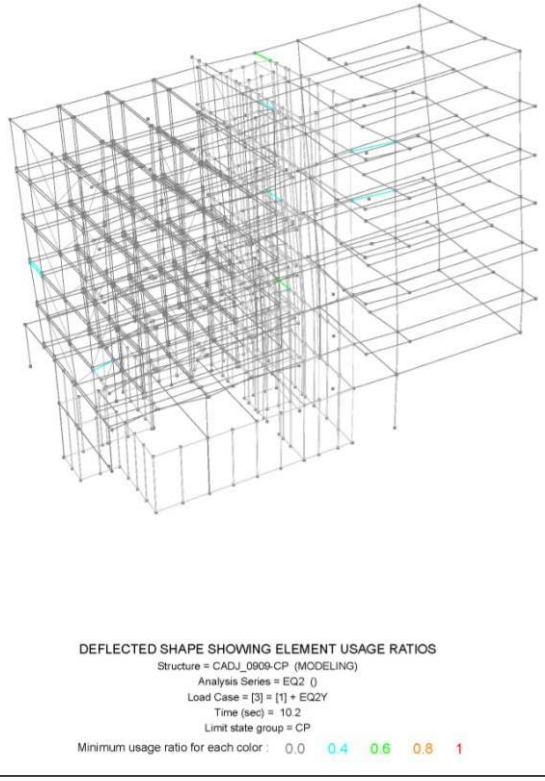


지반운동



지반운동 스펙트럼 가속도

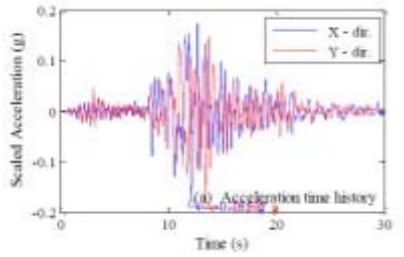
- 구조물 전체 형상(붕괴방지수준)

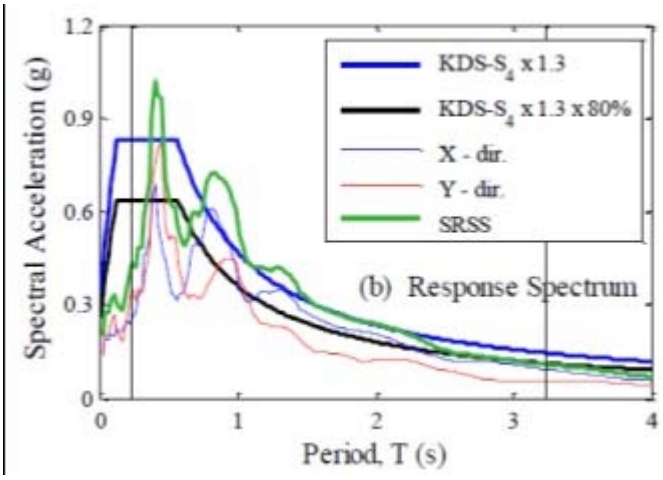
EQ2X	EQ2Y
	

❍ Earthquake 3

- 지반운동

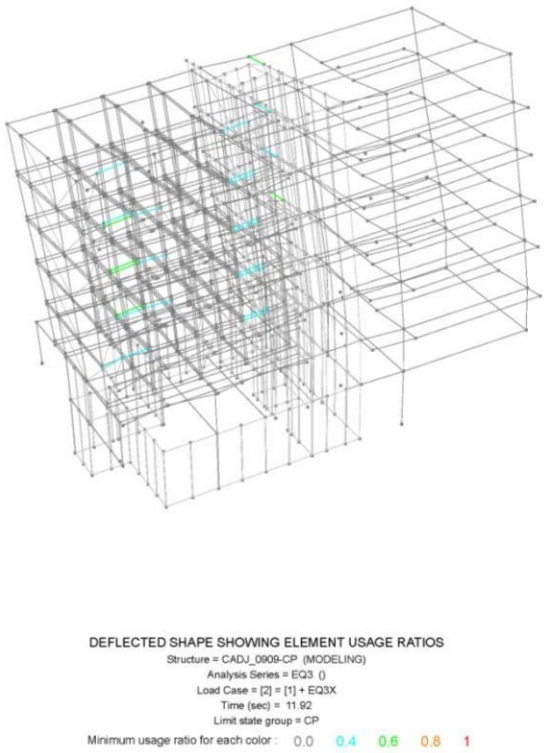
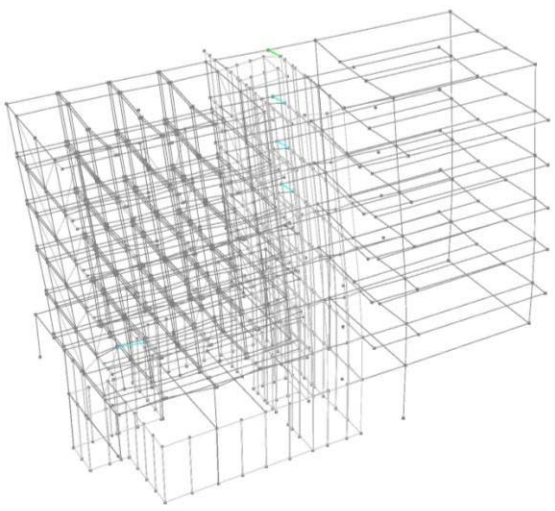
No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rrup(km)	VS,30
24	Loma Prieta	1989	SF-Pacific Heights	6.93	76.1	1250





지반운동	지반운동 스펙트럼 가속도

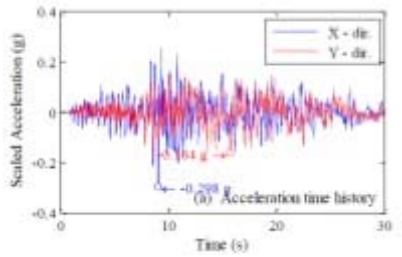
- 구조물 전체 형상(붕괴방지수준)

EQ3X	EQ3Y
	
DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ3 () Load Case = [2] = [1] + EQ3X Time (sec) = 11.92 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1	DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ3 () Load Case = [3] = [1] + EQ3Y Time (sec) = 12.04 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1

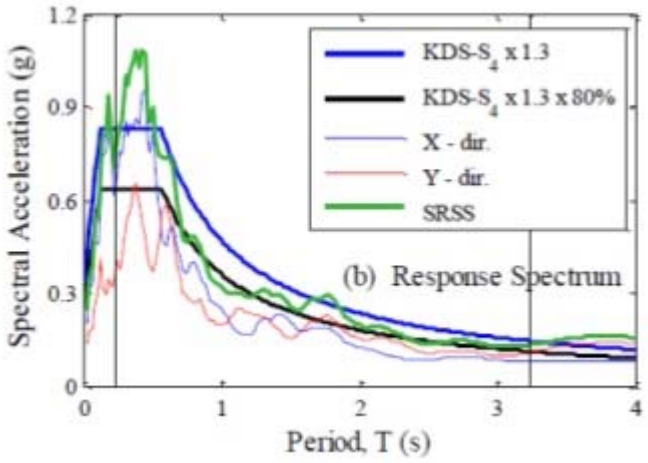
❍ Earthquake 4

- 지반운동

No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rrup(km)	VS,30
29	Duzce	1999	Lamont 1060	7.14	25.9	782

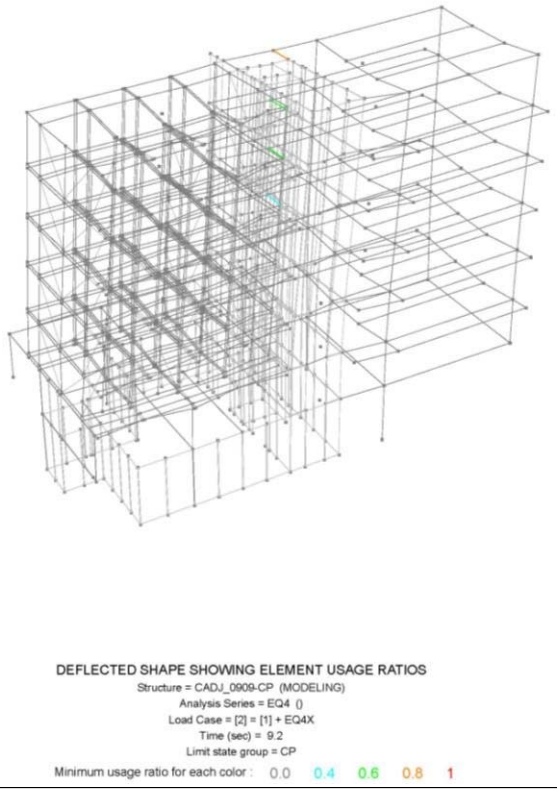
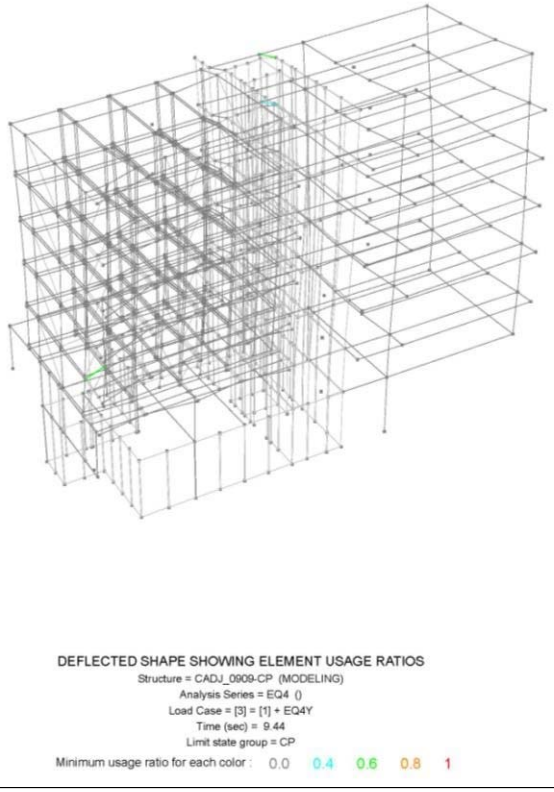


지반운동



지반운동 스펙트럼 가속도

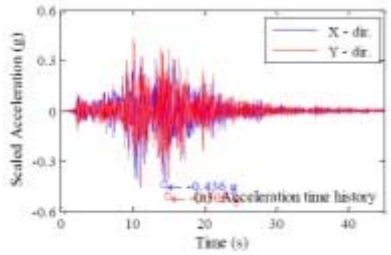
- 구조물 전체 형상(붕괴방지수준)

EQ4X	EQ4Y
	

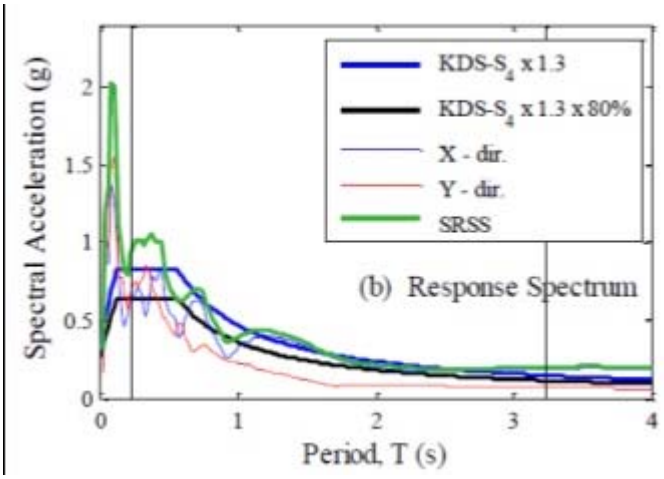
❍ Earthquake 5

- 지반운동

No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rrup(km)	VS,30
30	Landers	1992	Lucerne	7.28	2.2	1369

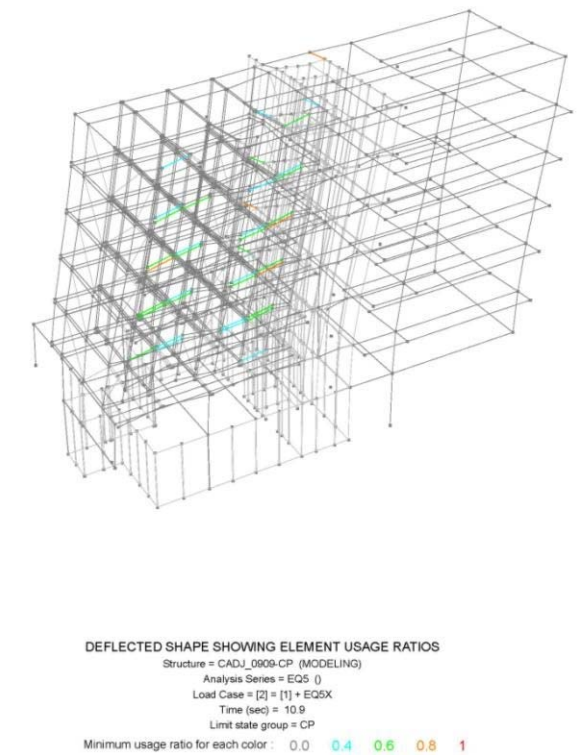
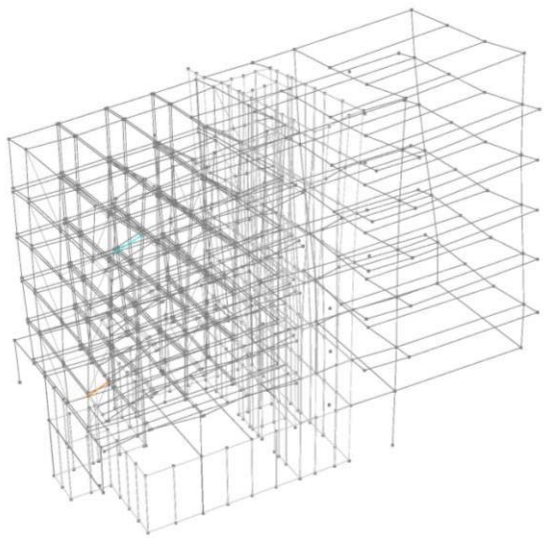


지반운동



지반운동 스펙트럼 가속도

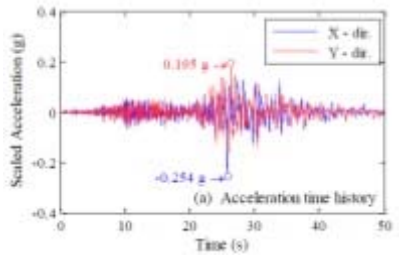
- 구조물 전체 형상(붕괴방지수준)

EQ5X	EQ5Y
	
DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ5 () Load Case = [2] = [1] + EQ5X Time (sec) = 10.9 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1	DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ5 () Load Case = [3] = [1] + EQ5Y Time (sec) = 10.82 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1

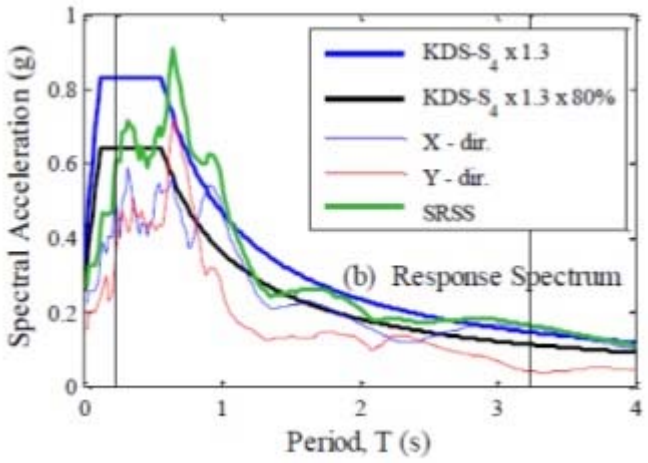
❍ Earthquake 6

- 지반운동

No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rrup(km)	VS,30
39	Chi-Chi	1999	TAP046	7.62	118.3	817

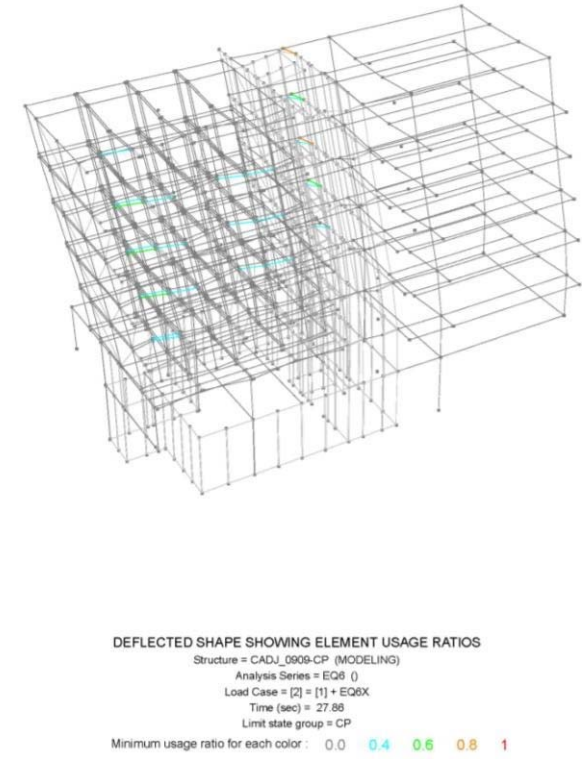
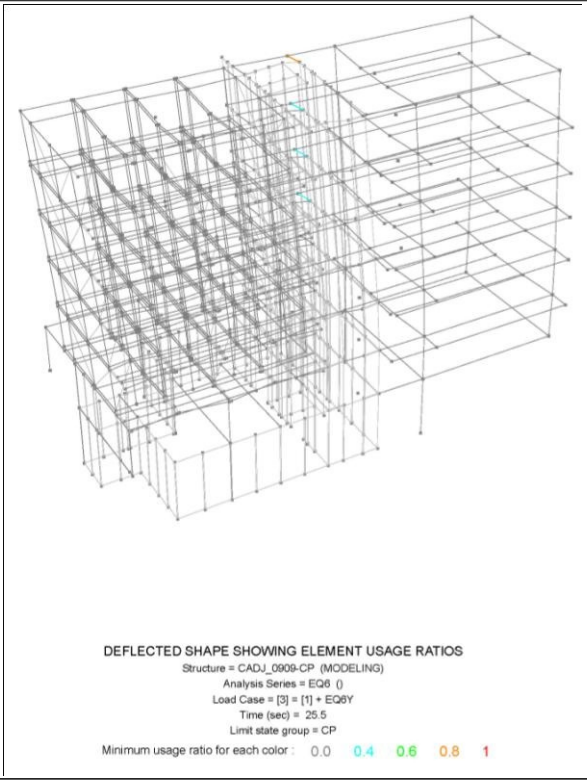


지반운동



지반운동 스펙트럼 가속도

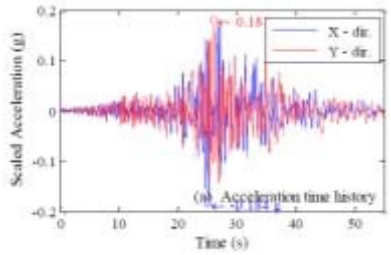
- 구조물 전체 형상(붕괴방지수준)

EQ6X	EQ6Y
	

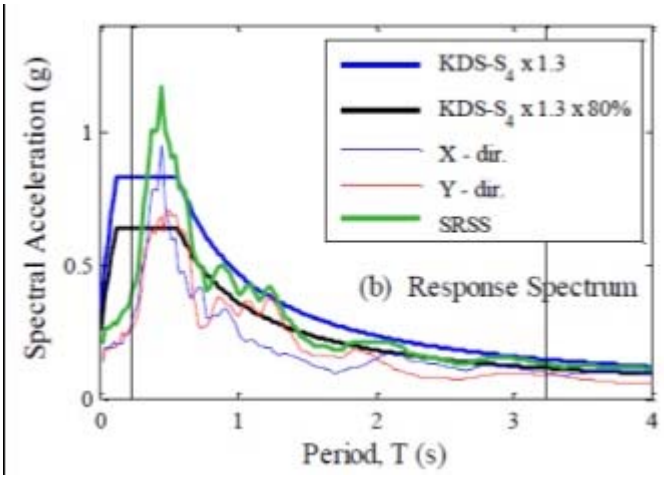
❍ Earthquake 7

- 지반운동

No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Rrup(km)	VS,30
41	Chi-Chi	1999	TAP046	7.62	97.4	808

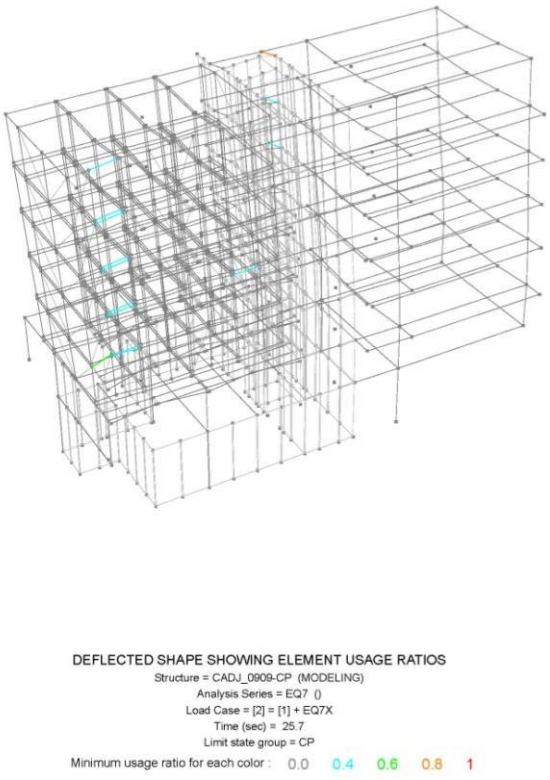
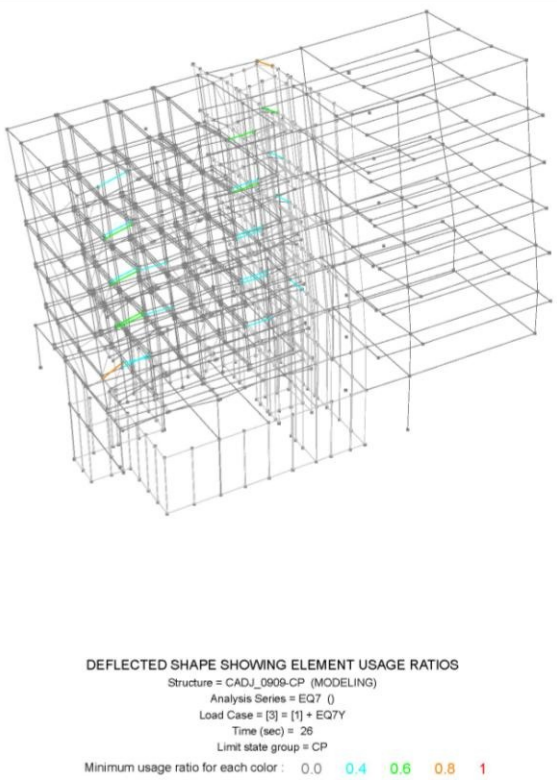


지반운동



지반운동 스펙트럼 가속도

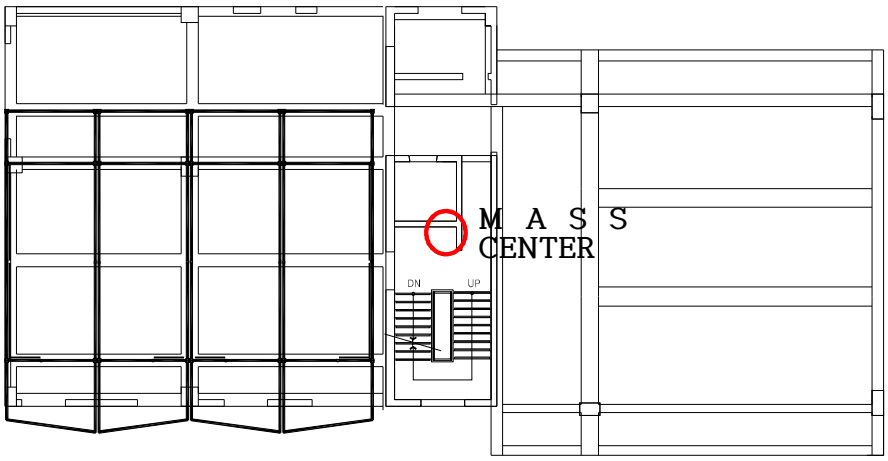
- 구조물 전체 형상(붕괴방지수준)

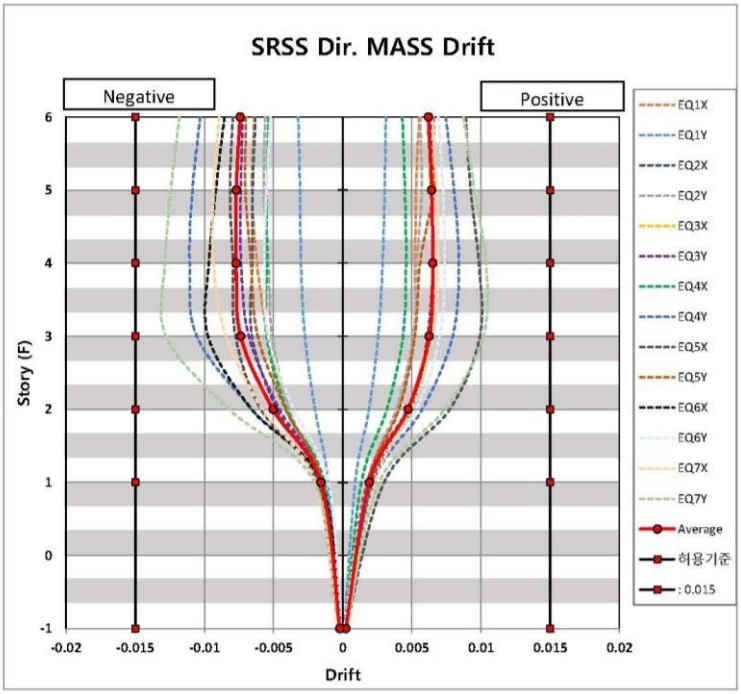
EQ7X	EQ7Y
	
DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ7 () Load Case = [2] = [1] + EQ7X Time (sec) = 25.7 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1	DEFLECTED SHAPE SHOWING ELEMENT USAGE RATIOS Structure = CADJ_0909-CP (MODELING) Analysis Series = EQ7 () Load Case = [3] = [1] + EQ7Y Time (sec) = 26 Limit state group = CP Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.4 0.6 0.8 1

㉡ 층간변위비 검토

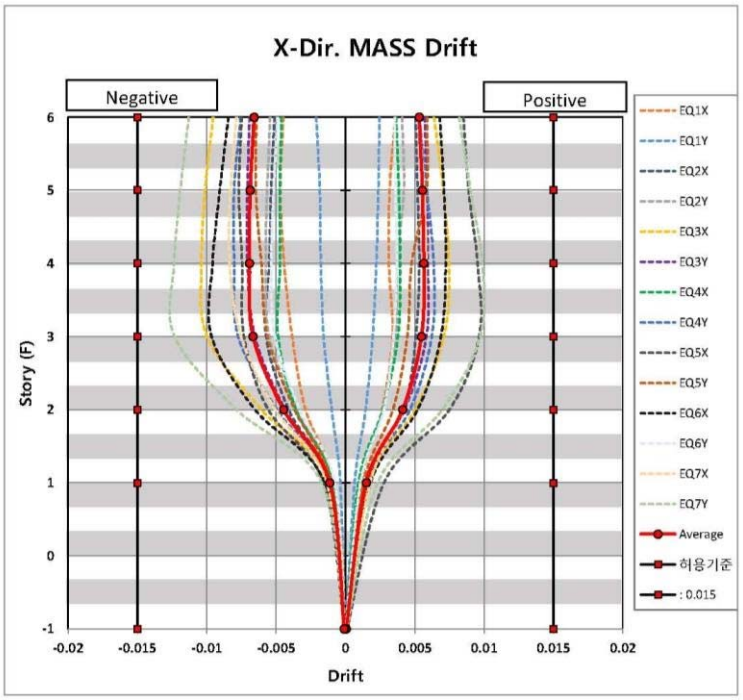
- 층간변위비 검토 지점은 RC부분과 모듈러 부분의 각각의 질량중심점으로 설정함
- 지점별 층간변위비는 X·Y 양방향 SRSS 조합으로 그래프를 나타냈고, 7 Case의 평균 층간변위비 수치를 나타냄

❍ 질량 중심 (인명안전수준)

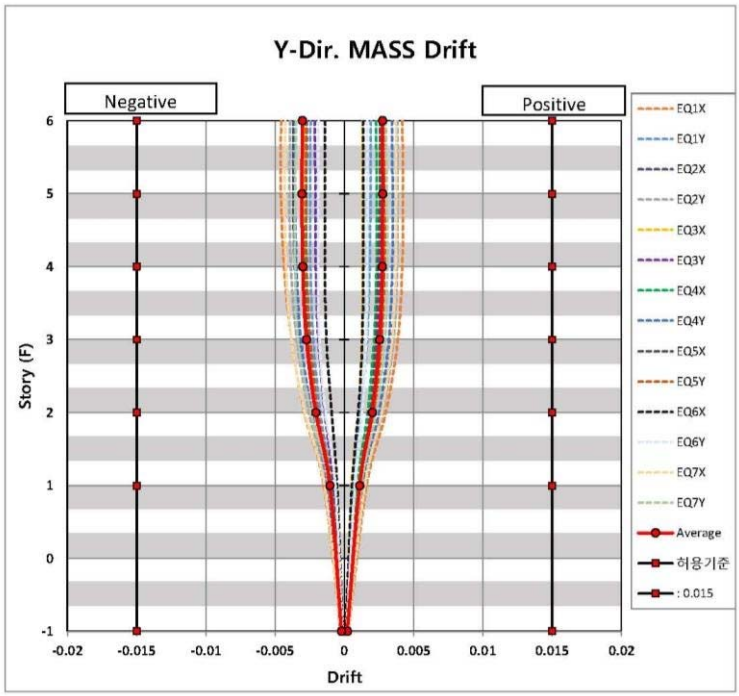




SRSS : 최대 층간변위 0.0077 〈 0.015 ——— OK

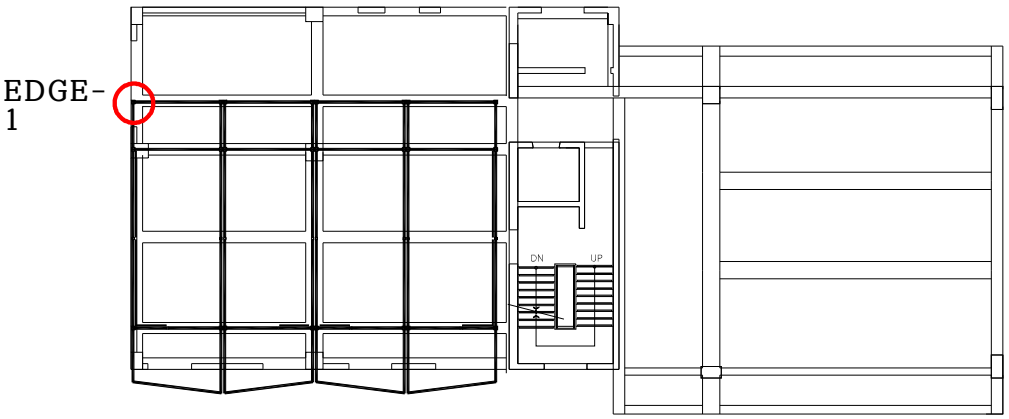


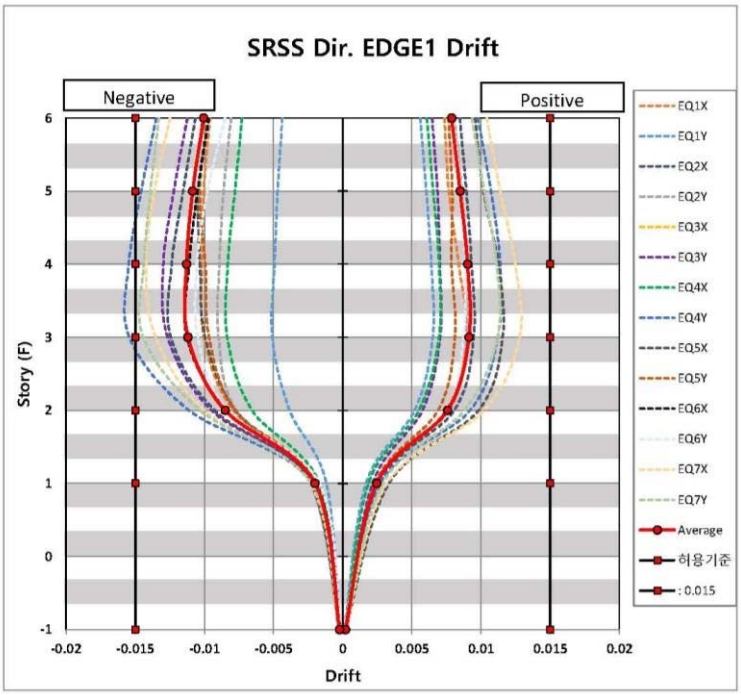
X-DIR : 최대 층간변위 0.0069 〈 0.015 ———— OK



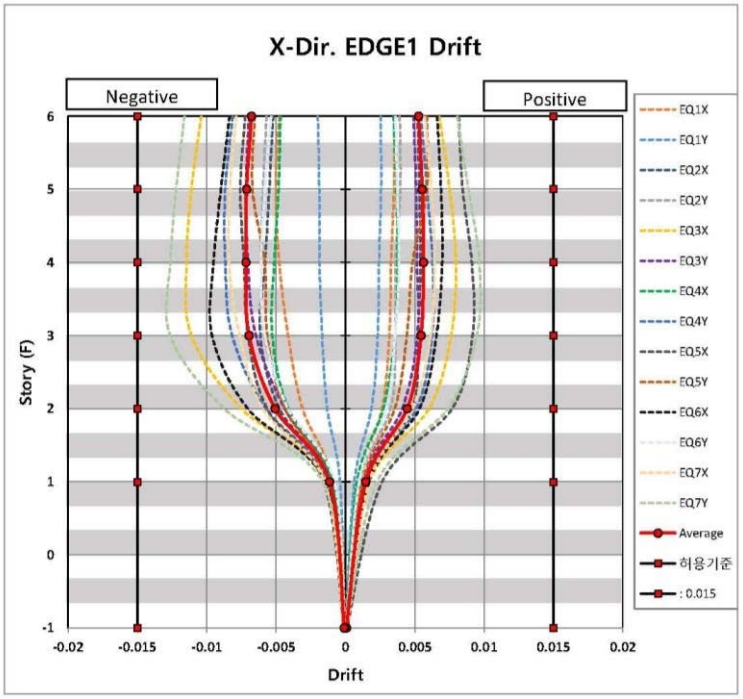
Y-DIR : 최대 층간변위 0.00305 〈 0.015 ———— OK

❍ 모서리지점-1 (인명안전수준)

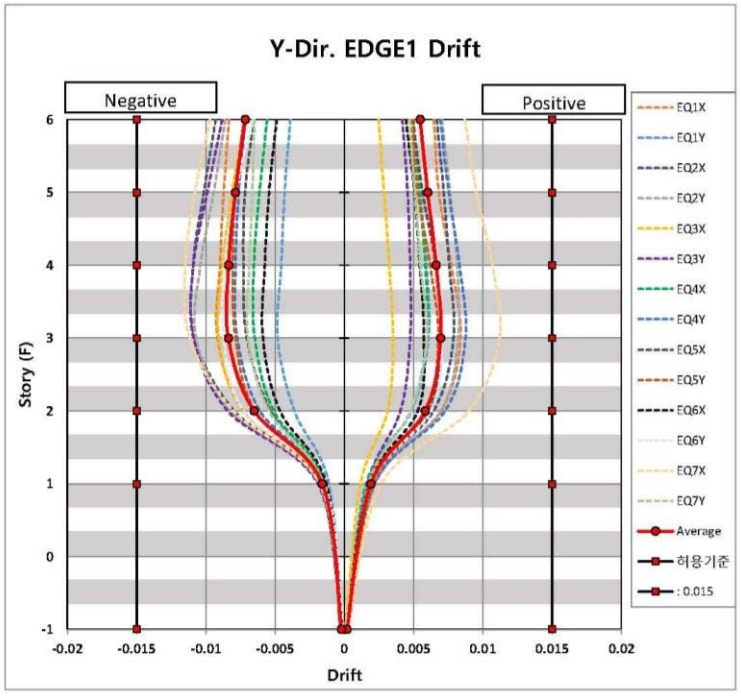




SRSS : 최대 층간변위 0.01128 〈 0.015 ——— OK

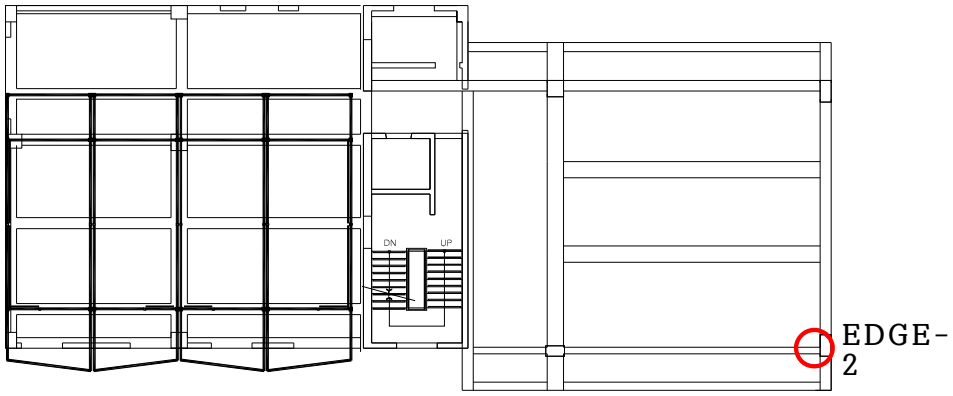


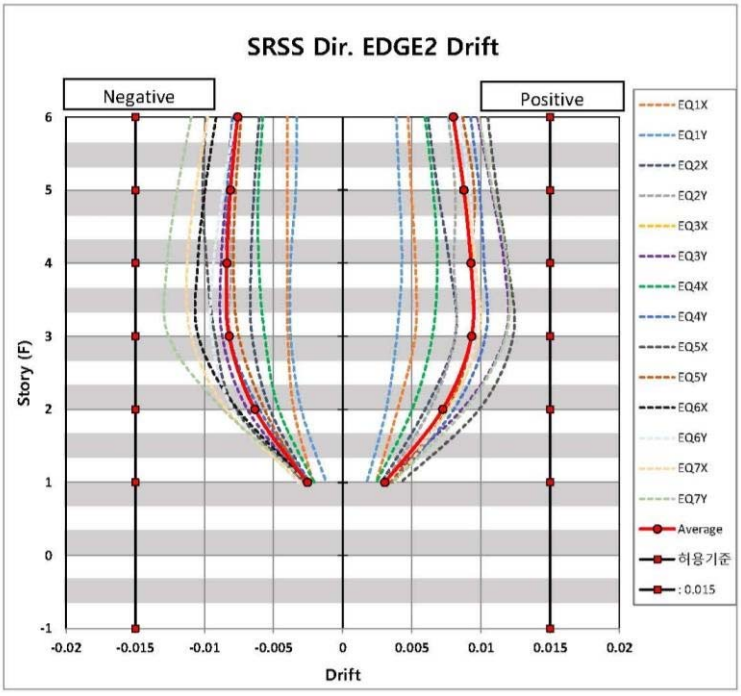
X-DIR : 최대 층간변위 0.00717 〈 0.015 ——— OK



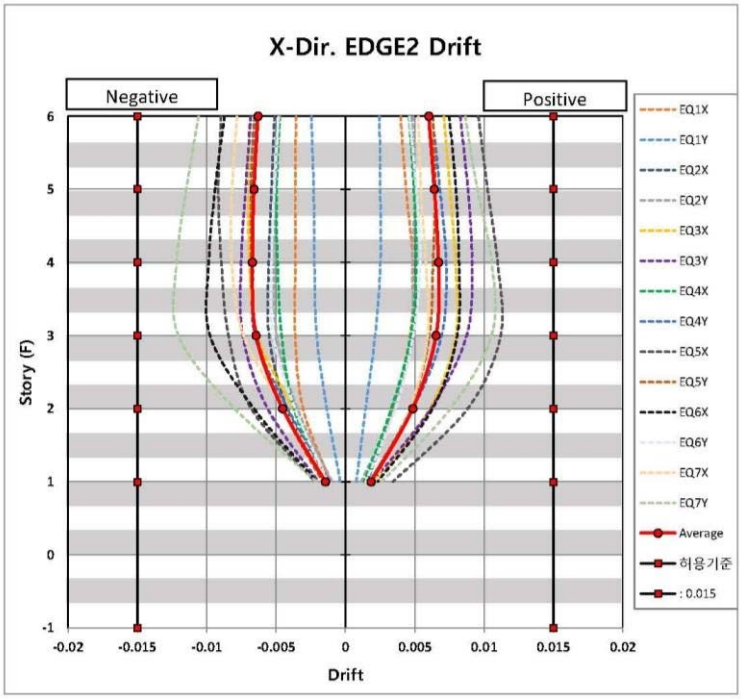
Y-DIR : 최대 층간변위 0.00836 〈 0.015 ——— OK

❍ 모서리지점-2 (인명안전수준)

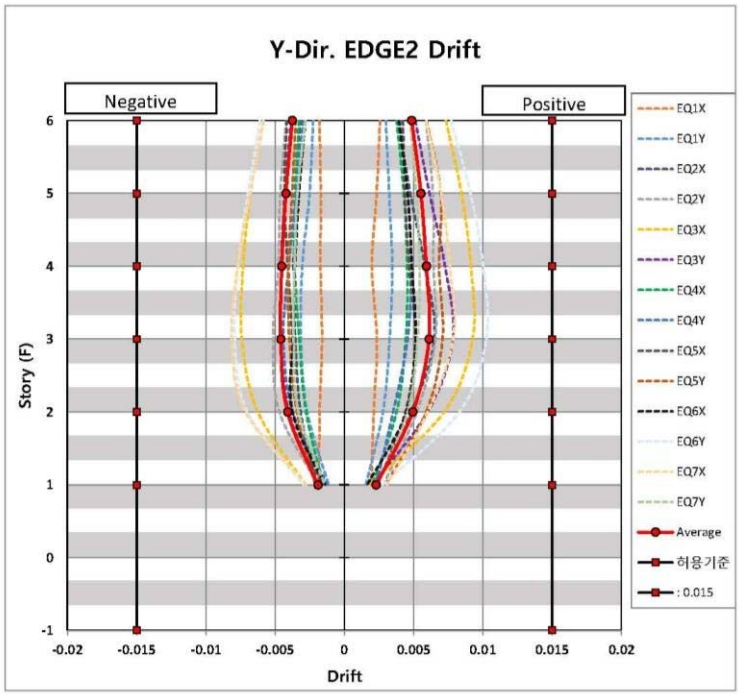




SRSS : 최대 층간변위 0.00932 〈 0.015 ------ OK

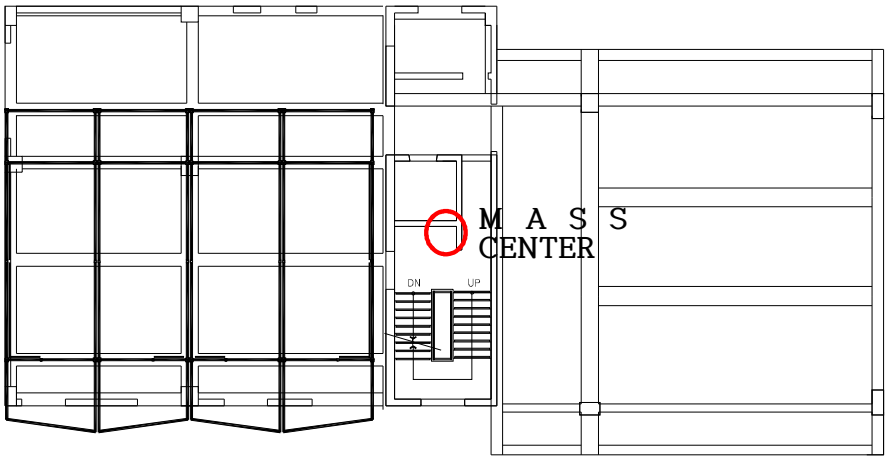


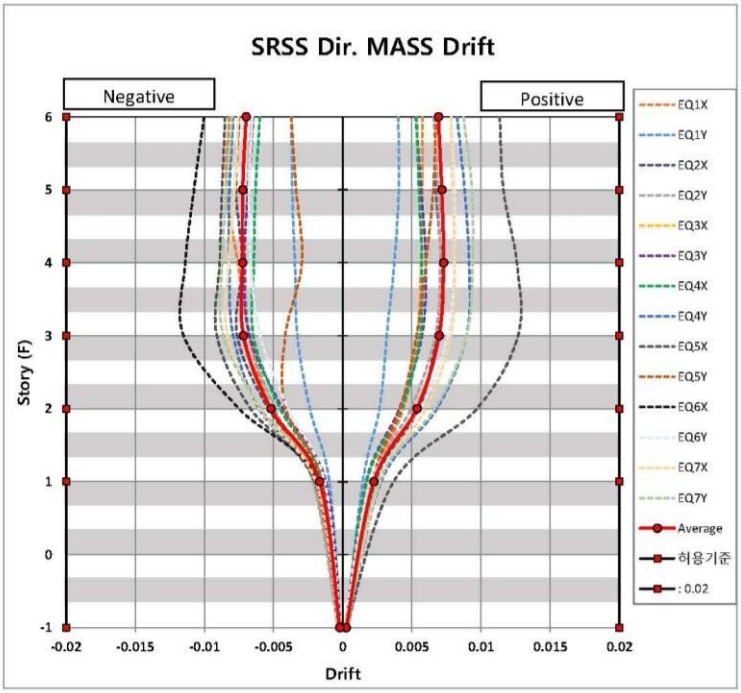
X-DIR : 최대 층간변위 0.00671 〈 0.015 ——— OK



Y-DIR : 최대 층간변위 0.00612 〈 0.015 ——— OK

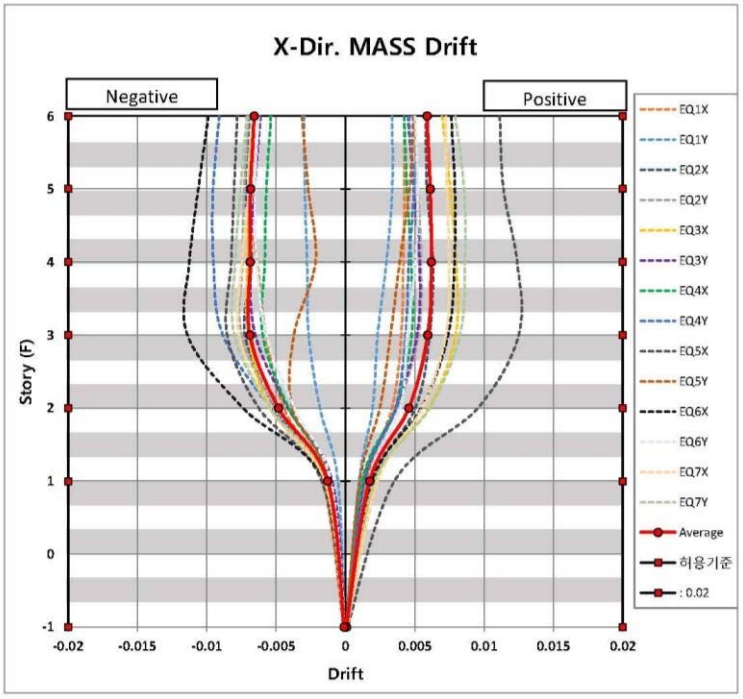
❍ 질량 중심 (붕괴방지수준)



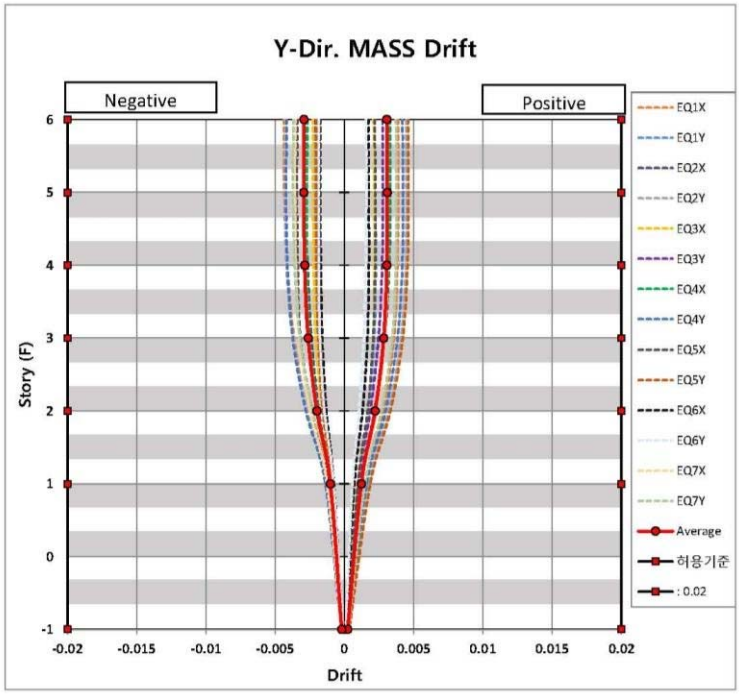


SRSS : 최대 층간변위 0.00729 〈 0.020 ——— OK

❍ 질량 중심 (붕괴방지수준)

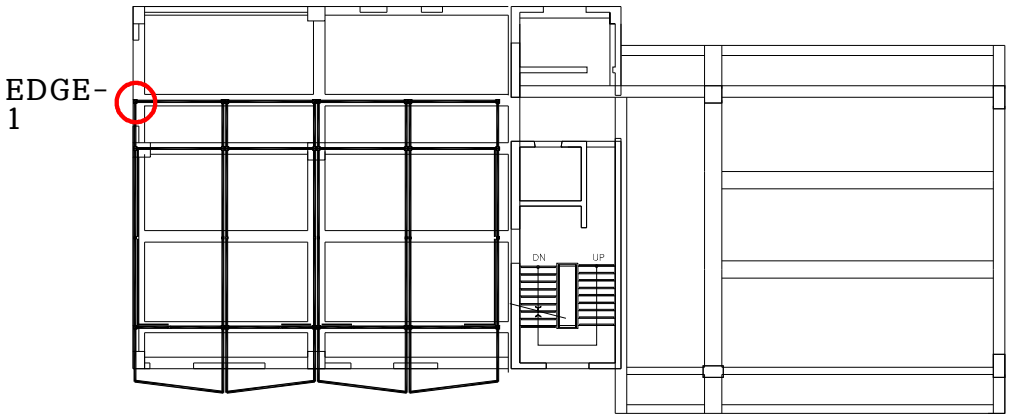


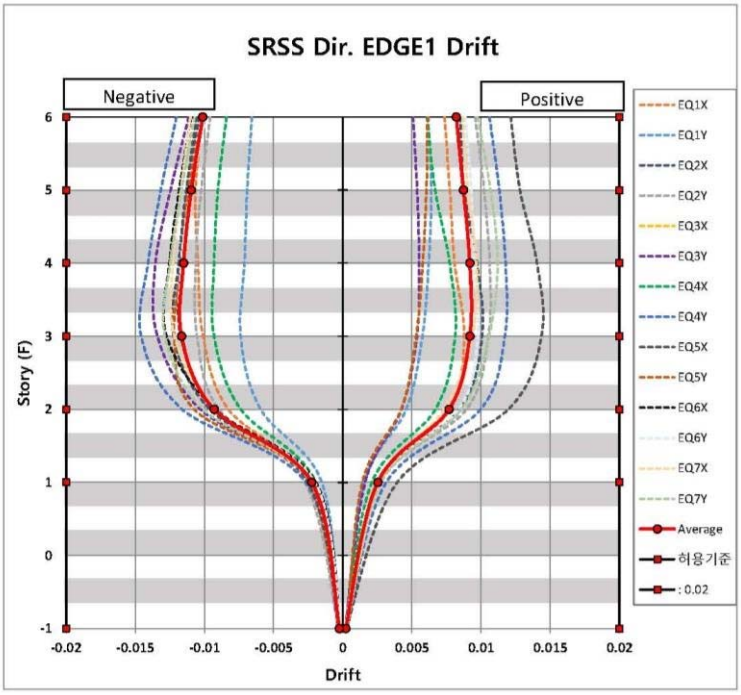
X-DIR : 최대 층간변위 0.0069 〈 0.020 ——— OK



Y-DIR : 최대 층간변위 0.00311 〈 0.020 ——— OK

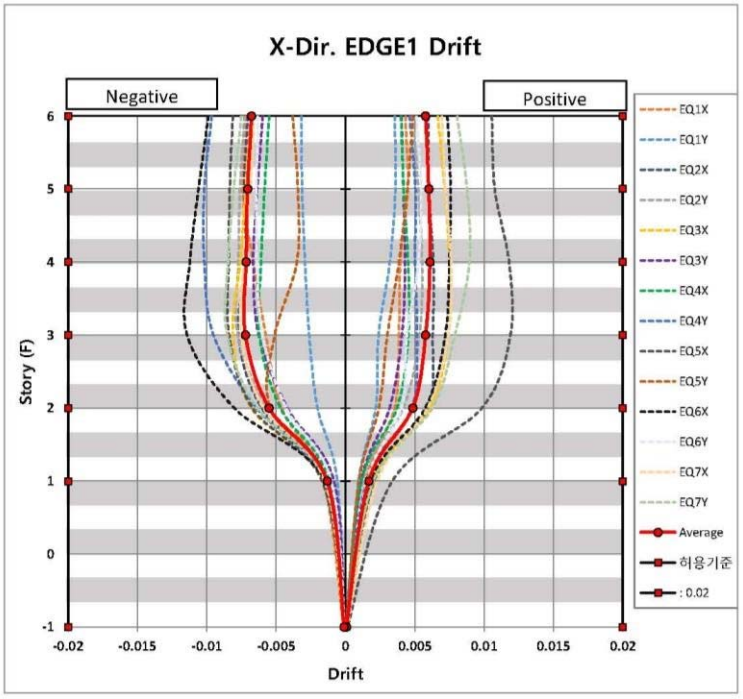
❍ 모서리지점-1 (붕괴방지수준)



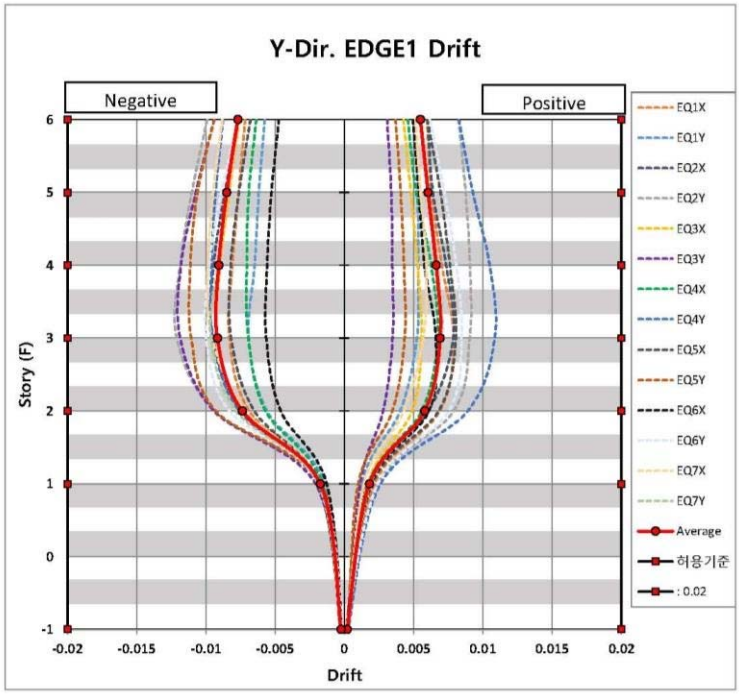


SRSS : 최대 층간변위 0.0116 〈 0.020 ------ OK

❍ 모서리지점-1 (붕괴방지수준)

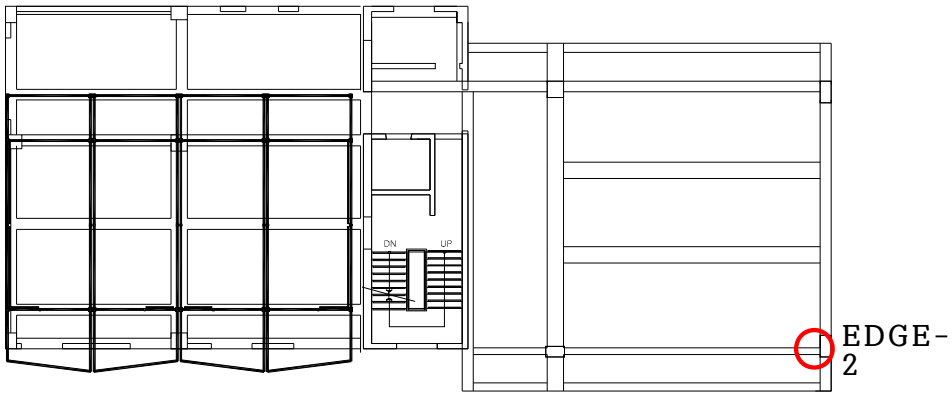


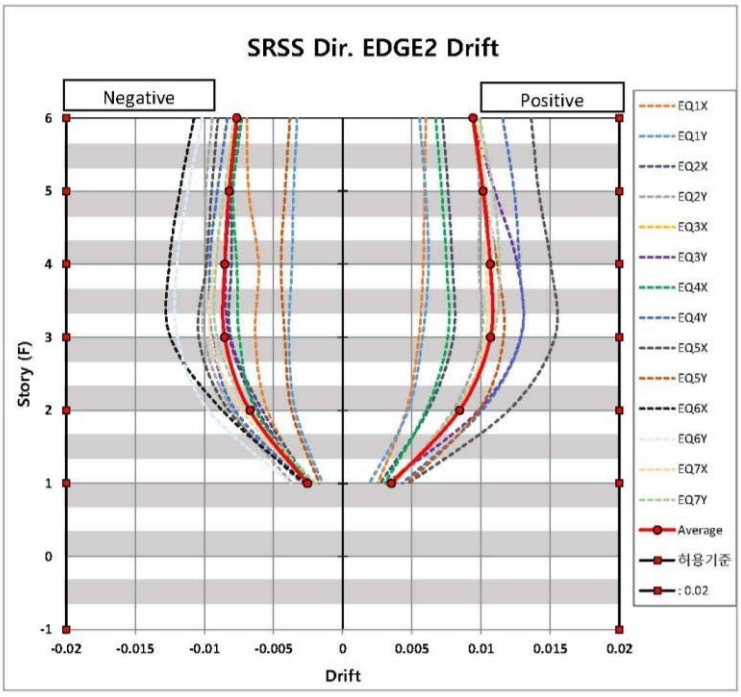
X-DIR : 최대 층간변위 0.00719 〈 0.020 ——— OK



Y-DIR : 최대 층간변위 0.00915 〈 0.020 ——— OK

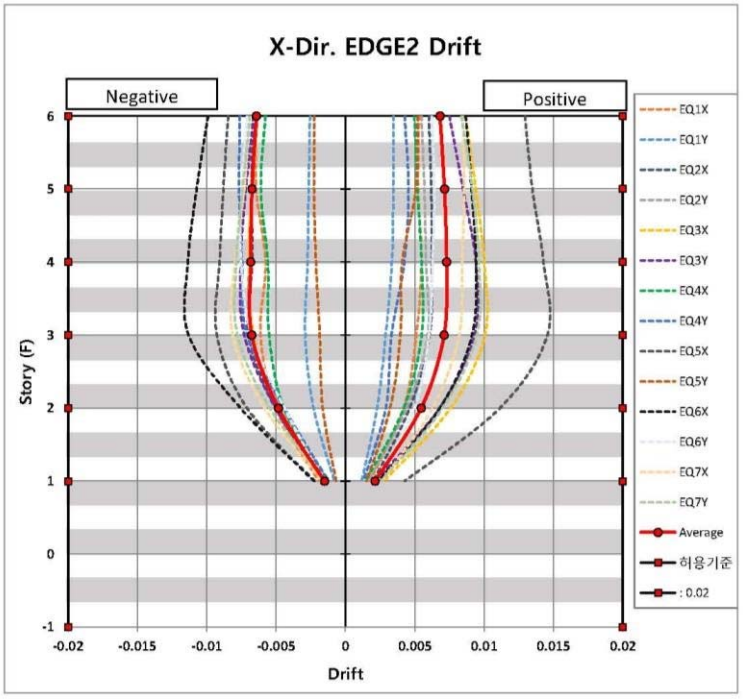
❍ 모서리지점-2 (붕괴방지수준)



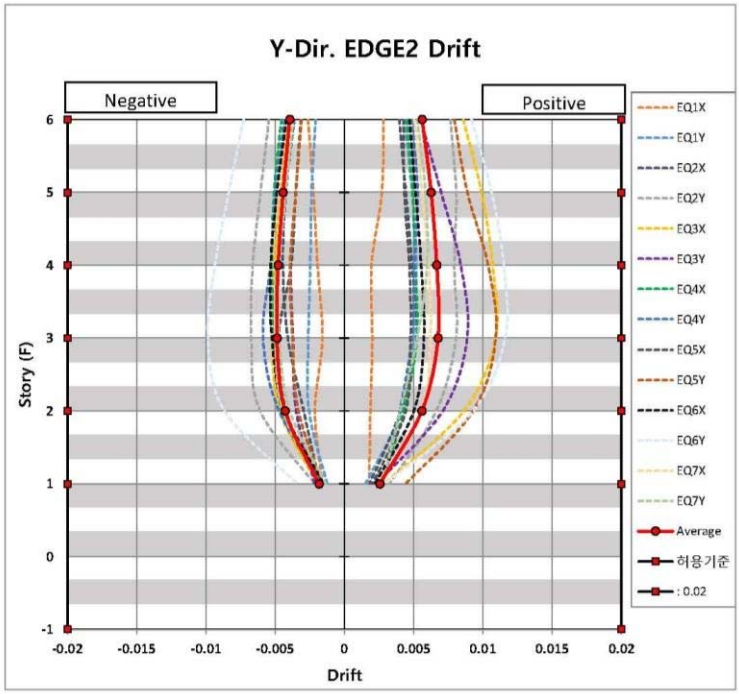


SRSS : 최대 층간변위 0.00853 〈 0.020 ——— OK

❍ 모서리지점-2 (붕괴방지수준)



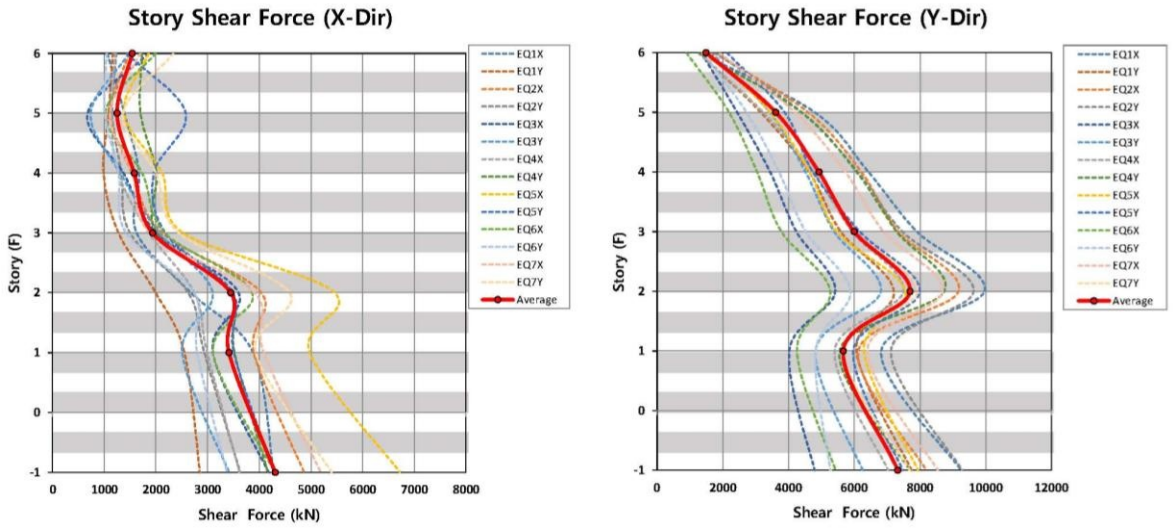
X-DIR : 최대 층간변위 0.00730 〈 0.020 ——— OK



Y-DIR : 최대 층간변위 0.00677 〈 0.020 ——— OK

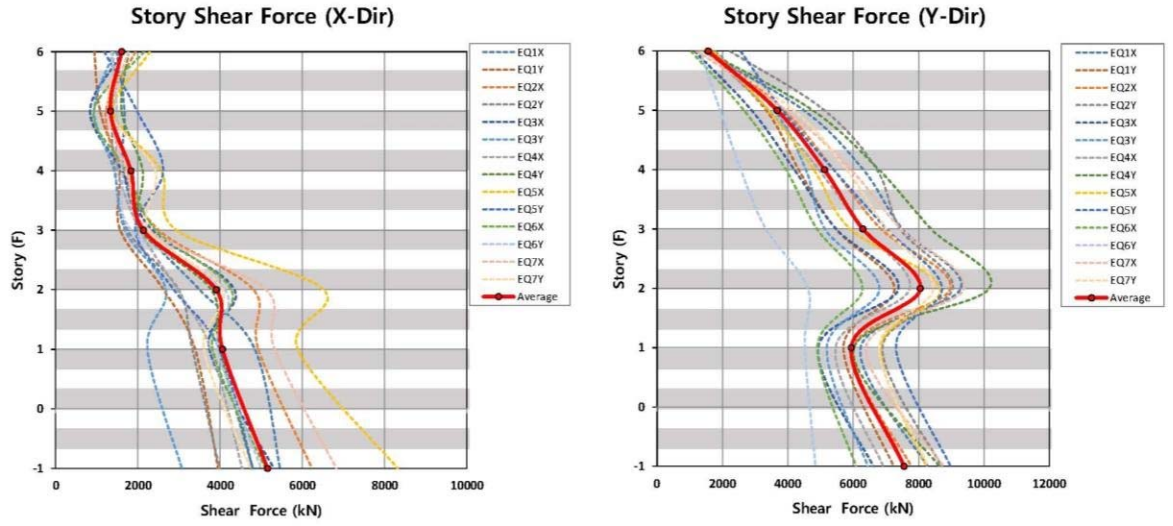
㉢ 층전단력 검토

❍ 인명안전수준



X방향 층전단력 검토 (밑면전단력 = 4307.82kN)
Y방향 층전단력 검토 (밑면전단력 = 7694.99kN)

❍ 붕괴방지수준



X방향 층전단력 검토 (밑면전단력 = 5150.26kN)
Y방향 층전단력 검토 (밑면전단력 = 8053.22kN)

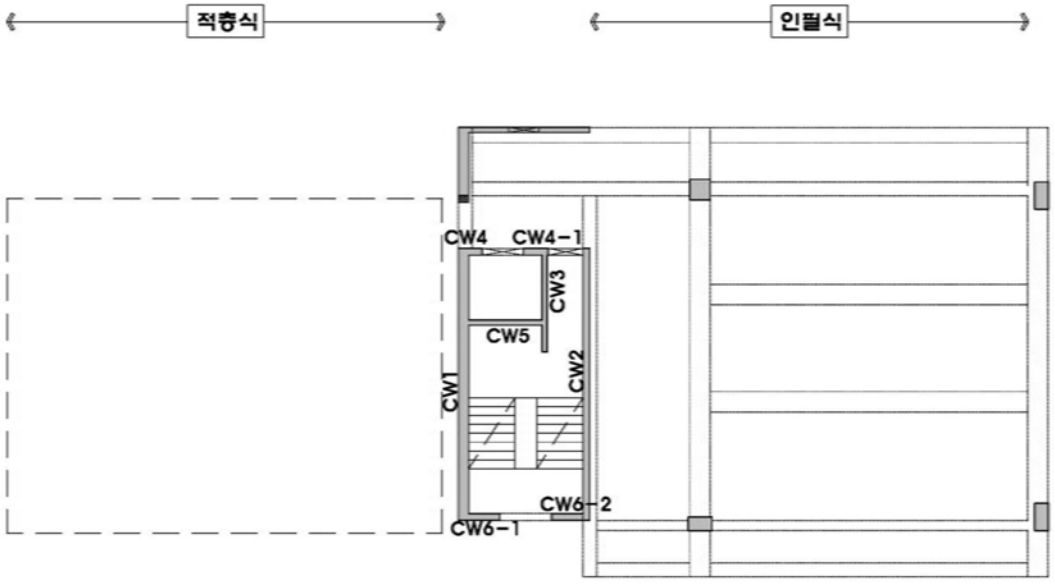
㉣ 벽체 전단 검토

- 벽체의 전단력 검토는 내력벽에 대해서만 수행함
- 내력벽의 모든 위치를 선정하여 층별로 지진파 7 Case로 계산된 평균 전단강도(V_u)의 1.2배와 벽체의 공칭 전단강도(V_n)을 비교함
- 기본설계에 의한 수평철근배근 적용, 상세한 검토를 위해 부재명을 임의로 구분하여 개별 벽체의 DCR을 검토함
- DCR 1.0을 초과하는 벽체는 보강을 계획하였으며, 벽체 전단 검토에서 그래프와 표로 나타냄
- 보강이 필요한 층은 노란색으로 표시하였고 수평철근 배근을 기입해 둠
- 벽체 전단 검토결과, 전단내력이 모든 층에서 만족하여 별도의 보강은 필요하지 않은 것으로 검토됨
- 철근콘크리트 벽체의 전단력 검토

$$1.2V_u \le \phi V_n = V_c + V_s$$

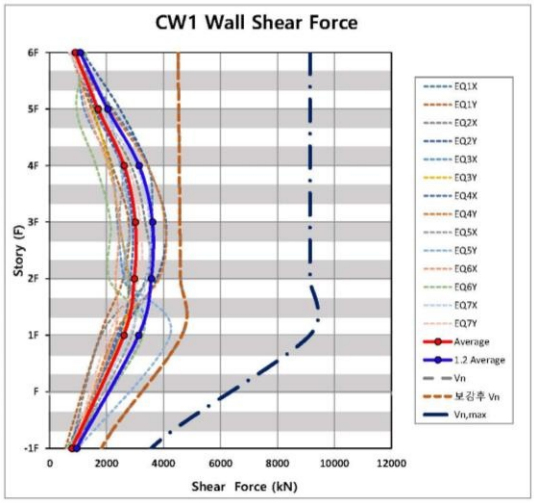
여기서, V_u : 비선형 동적해석에 의한 부재의 전단강도
V_n : 재료의 설계기준강도를 기반으로 하는 전단강도
V_c : 콘크리트에 의한 전단강도 기여분
V_s : 전단철근에 의한 전단강도 기여분
ϕ : 1.0 (공칭강도)

❍ 벽체 전단 검토 결과

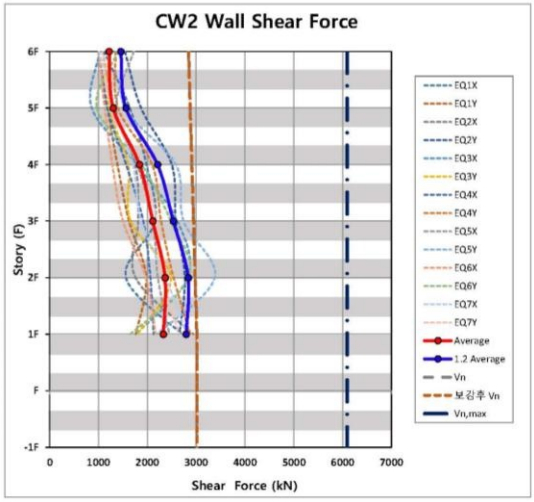


CW1, CW2, CW3 벽체 전단 검토

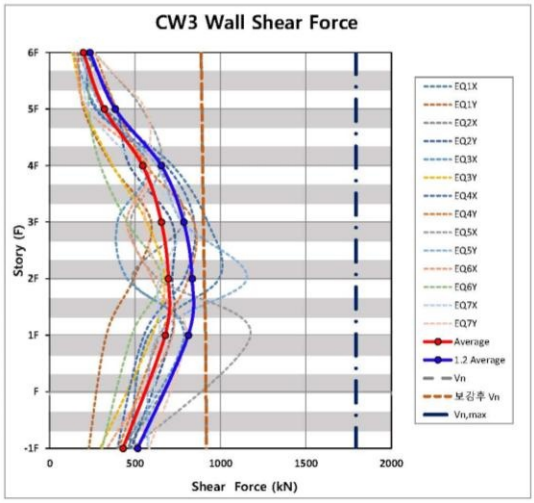
Story	Height	CW1								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	7955	30	300	400	D10@150	300	30	400	D10@150
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85									
2F	3.3									
1F	0									
-1F	-4.3	3120								
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW1								



Story	Height	CW2								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	7955	30	200	400	D10@250	200	30	400	D10@250
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85									
2F	3.3									
1F	0									
-1F	-4.3									
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW2								



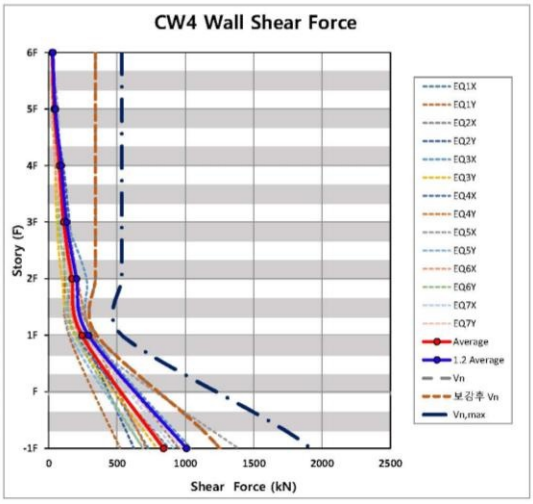
Story	Height	CW3								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	3120	30	150	400	D10@300	150	30	400	D10@300
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85									
2F	3.3									
1F	0									
-1F	-4.3									
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW3								



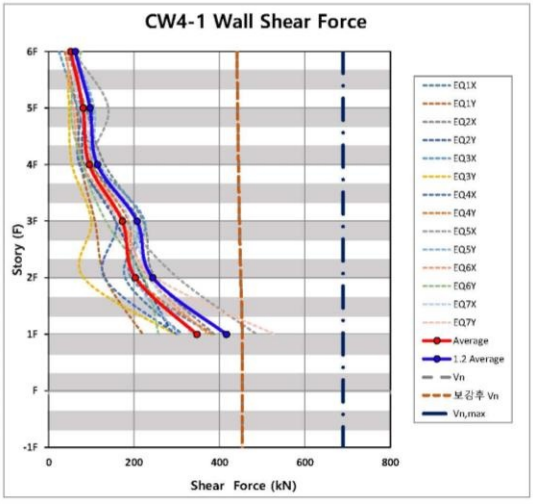
전단내력이 모든 층에 대하여 만족함

CW4, CW4-1, CW5 벽체 전단 검토

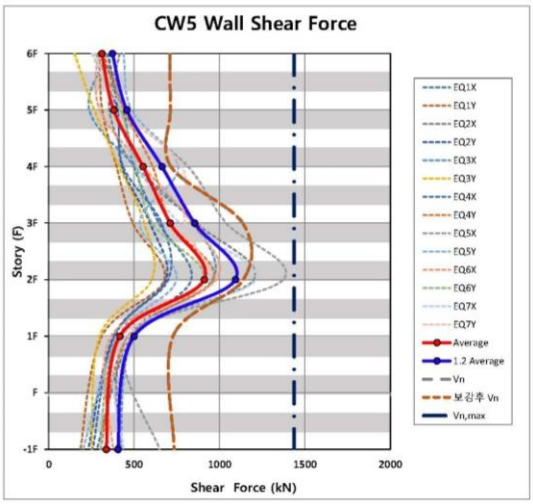
Story	Height	CW4								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	700	30	200	400	D10@150	200	30	400	D10@150
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85									
2F	3.3									
1F	0									
-1F	-4.3	2500								
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW4								



Story	Height	CW4-1								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	900	30	200	400	D10@150	200	30	400	D10@150
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85									
2F	3.3									
1F	0									
-1F	-4.3									
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW4-1								



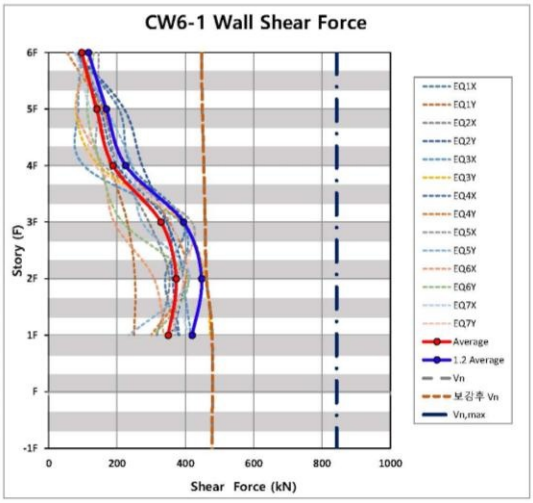
Story	Height	CW5								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	2500	30	150	400	D10@300	150	30	400	D10@300
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85				400	D10@150			400	D10@150
2F	3.3									
1F	0				400	D10@300			400	D10@300
-1F	-4.3									
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW5								



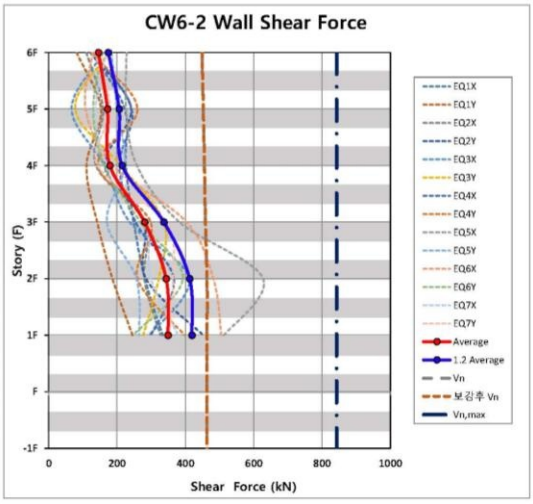
전단내력이 모든 층에 대하여 만족함

CW6-1, CW6-2 벽체 전단 검토

Story	Height	CW6-1								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	1100	30	200	400	D10@200	200	30	400	D10@200
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85									
2F	3.3									
1F	0									
-1F	-4.3									
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW6-1								



Story	Height	CW6-2								
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
6F	16.6	1100	30	200	400	D10@200	200	30	400	D10@200
5F	13.35									
4F	10.1									
3F	6.85									
2F	3.3									
1F	0									
-1F	-4.3									
Story	Height	Length	fck	thk.	fy	Hor.	thk.	fck	fy	Hor.
		Elastic Design Result					After reinforcing			
		CW6-2								



전단내력이 모든 층에 대하여 만족함

(3) 소결

① 비선형 정적해석 결과

- Push-over 해석을 통해 성능점을 산정하고 성능점에서의 구조물 밑면전단력 및 층간변위, 구조물 최대 밑면전단력에 따른 최소강도기준을 평가함
- 인명안전(LS)수준에 대해 설계스펙트럼의 1.2배로 비선형 정적해석을 수행함
- 성능점 검토 결과, X방향과 Y방향 모두 성능점이 형성되었으며, 허용 층간변위에 대해서도 인명안전 수준 0.015hn를 만족하는 것으로 검토됨
- 붕괴방지(CP)수준에 대해 설계스펙트럼의 1.5배로 비선형 정적해석을 수행함
- 성능점 검토 결과, X방향과 Y방향 모두 성능점이 형성되었으며, 허용 층간변위에 대해서도 인명안전 수준 0.02hn를 만족하는 것으로 검토됨
- 구조물의 초과강도계수 검토 결과, X방향의 초과강도계수 Ω를 3.49, Y방향 초과강도계수 Ω를 4.48로 산정되었으며, 초과강도계수 허용값 1.5이상으로 초과강도계수 기준을 만족함

② 비선형 동적해석 결과

- 비선형 동적해석은 7개의 지진파를 선정하여 각 항목별 검토 시 평균값을 적용함
- 최대 층간변위는 질량중심 위치와 단부 두 지점을 설정해 검토하였으며, 인명안전수준(LS) 1.5%와 붕괴방지수준(CP) 2.0%를 모두 만족하는 것으로 확인됨

③ 벽체 검토

- 기본설계에 의한 수평철근배근을 사용하여 벽체 검토를 수행하였으며, 상세한 검토를 위해 부재명은 임의로 구분
- 벽체의 전단강도 검토는 내력벽에 대해서만 수행함
- 층별로 7개의 지진파로 계산된 평균 전단강도의 1.2배와 벽체의 공칭전단강도를 비교하여 보강여부를 결정하였고 그 비율에 따라 보강량을 결정함
- 벽체 전단 검토결과, 전단내력이 모든 층에서 만족하여 별도의 보강은 필요하지 않은 것으로 검토됨

- 따라서, 천안 실증단지의 비선형 내진성능평가 결과, **목표성능수준인 인명안전(LS) 수준과 붕괴방지(CP)수준을 만족**하는 것으로 검토됨

결 론 천안 실증단지 내진성능평가

1. 천안 실증단지 내진성능평가

㉠ 선형 정적해석

- 예비평가결과 비틀림비정형, 강성비정형, 강도비정형을 가진 것으로 나타나 상세평가를 수행함
- 1단계 상세평가 결과, RC 보 부재는 LS 목표성능에 99.2% 만족, 기둥 부재는 LS 목표성능에 100% 만족, RC 벽체 부재는 LS 목표성능에 93.3% 만족하는 것으로 나타남
- 철골보와 철골 기둥은 LS 목표성능에 100% 만족함
- LS 목표성능에 대한 층간 변위각은 X방향에 대해서 Collapse, Y방향에 대해서는 CP, X/Y 방향에 대한 값은 LS로 나타남
- 좀 더 상세한 평가를 위해 비선형해석을 수행함

㉡ 비선형 해석 결과

- 비선형 정적해석에 의한 층간변위비 검토 결과, 설계스펙트럼의 1.2배의 지진하중에 대한 목표성능수준인 인명안전 수준을, 설계스펙트럼의 1.5배의 지진하중에 대한 목표성능수준인 붕괴방지 수준을 만족하는 것으로 평가됨
- 비선형 정적해석에서 구조물의 초과강도계수 검토 결과, X방향의 초과강도계수 Ω를 3.49, Y방향 초과강도계수 Ω를 4.48로 산정되었으며, 초과강도계수 허용값 1.5이상으로 초과강도계수기준을 만족함
- 비선형 동적해석에서 최대 층간변위는 질량중심 위치와 단부 두 지점을 설정해 검토하였으며, 인명안전수준(LS) 1.5%와 붕괴방지수준(CP) 2.0%를 모두 만족하는 것으로 확인됨
- 비선형동적해석에서 벽체 전단 검토결과, 전단내력이 모든 층에서 만족하여 별도의 보강은 필요하지 않은 것으로 검토됨

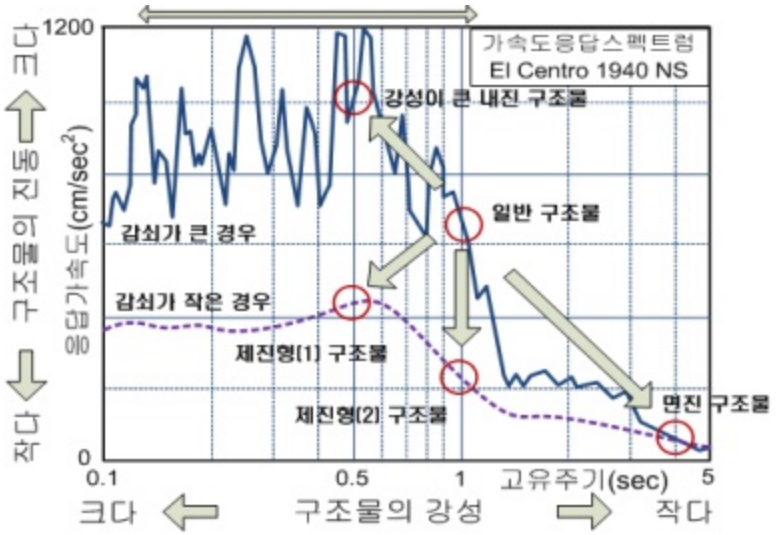
- 따라서, 천안 실증단지의 비선형 내진성능평가 결과, **목표성능수준인 인명안전(LS)수준과 붕괴방지(CP)수준을 만족**하는 것으로 확인됨

4) 주거용 모듈러 건축물 내진보강 및 진동 저감 기술 개발(동양구조이앤알)

(1) 주거용 모듈러 건축물의 진동저감기술

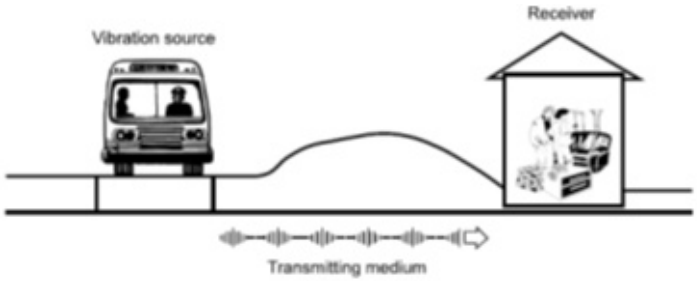
① 진동 저감의 일반사항

- 내진은 구조물이 진도에 견딜 수 있도록 튼튼하게 설계하는 것이고, 면진은 진동을 흡수하지 않고, 구조물의 동적특성을 통해 진동을 반사할 수 있도록 설계하는 것이며, 제진은 입사하는 진동에 대항하여 반대방향의 진동을 가하거나 감쇠장치를 이용하여 에너지를 소산하는 능동적 개념의 설계이고, 방진은 진동이 구조물에 도달하기 이전에 차단 또는 억제하는 방법의 설계임



[그림 2.3.63] 구조물의 진동과 강성

- 진동을 억제 또는 감소시키기 위한 방법은 방진대책이 수립되는 위치에 따라 ① 진동원 대책, ② 전파경로 대책, ③ 수신부 대책의 3종류로 나누어 볼 수 있음
- 이 3가지 방법들은 각각 나름대로의 장·단점을 가지고 있기 때문에 현장여건이나 진동의 동적특성 등을 잘 고려하여 가장 적절한 방법을 선택하는 것이 중요함
- 진동방지 대책 중 가장 효율적인 것은 ① 진동원 및 ③ 수진부에서 방진장치 등을 사용하여 대책을 시공당시부터 수립하는 것임
- 그러나 진동원과 수진부가 시공된 후에 발생되는 진동은 전파경로 상에서 진동 방지 대책을 세울 수밖에 없음. 즉, ② 진동전파 경로상의 대책은 진동원 및 수진부 대책이 불가능한 경우 또는 이 2가지 방법으로는 충분하지 못한 경우에 사용될 수 있음
- 진동이 지반을 통하여 전파되어 가는 과정에서 다른 지층의 경계면이나 구조물과의 경계부에서 반사, 굴절, 간섭 등이 생겨 파형이 복잡하게 되는 것은 잘 알려진 현상으로서, 이 현상을 이용하여 지반 중에 방진구나 방진벽 등과 같은 차단벽을 설치하면 진동을 감소시킬 수 있음



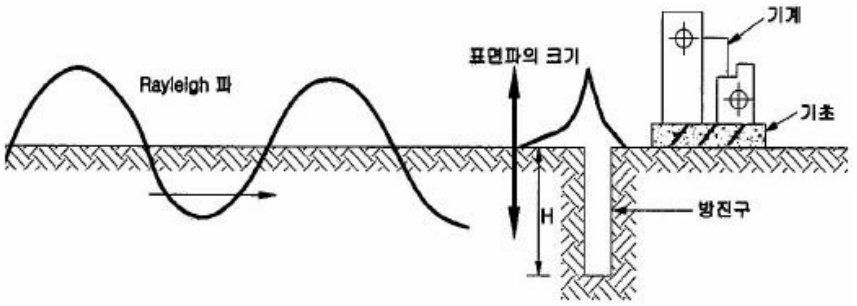
[그림 2.3.64] 교통진동의 전파경로

② 진동원 및 수진부에서의 대책

- 진동원 대책은 본질적으로 진동을 일으키는 기진체 자체의 기계적 특성을 개선하거나, 기진체 자체 또는 접지구조체와 지반의 동적 상호작용 특성을 개선하여 지반에 최종적으로 전달되는 동적하중의 크기를 낮추고 진동수 특성을 개선시키는 데 있음. 주로 사용되는 방법 : 기진체 바닥에 방진패드를 사용하거나, 지반굴착 및 말뚝박기 작업 시 이른바 저진동 또는 무진동 공법의 사용, 그리고 지하철의 경우 터널 및 박스 구조체의 질량 및 강성도를 크게 하는 방법 등
- 수진부 구조물 대책 : 구조물의 기초를 보강하여 기초의 임피던스를 증가시킴으로써 입력 지반진동에너지 자체를 경감시키는 방법, 기초 및 지하벽체 등과 상부구조의 접속부에 고무패드, 스프링-댐퍼 등의 면진시스템을 두는 방법 등

③ 진동전파경로상의 대책

- 진동 전파경로상의 대책 : 진동원과 수진부 구조물 사이에 놓인 지반에 방진구, 방진벽, 방진슬래브, 방진 블록 등과 같이 지반진동의 전파 자체를 억제 또는 차단할 수 있는 각종 지중 방진구조물을 설치하여 수진부 구조물로 전달되는 지반진동의 강도를 저감시키는 대책
- 전파경로 상의 방진대책은 진동원에 가까운 영역에 설치할 수도 있으며, 수진부 구조물에 가까운 영역에 설치할 수도 있음
- 진동원에 가까운 영역에 설치 : 진동원으로부터 발생된 진동이 주변으로 확산되게 하여 진동을 저감시키는 방법. 지반진동 특성이 진동원의 가진 특성에 의해 크게 영향을 받음
- 수진부 구조물에 가까운 영역에 설치 : 가진원의 특성에 따른 영향을 거의 받지 않는 원격지반 영역에서의 대책으로 일반적으로 많이 사용함
- 방진구나 방진벽 : 일반적으로 사전 설계단계에서는 수치해석적인 방법에 의한 컴퓨터 시뮬레이션이 많이 사용되며, 시공 후 실측에 의한 방진효율을 검증하는 방식으로 적용됨
- 방진구 : 가장 대표적인 지반진동 방진구조물로서 지반 내에 공기라는 이질적인 매질 층을 수직으로 설치하여 지반진동의 수평적 전달을 차단하는 방법
- 지반진동은 주로 지표면을 따라 전달되므로 전파경로 상에 일정 깊이의 방진구를 파두면 상당한 양의 진동이 더 이상 전파되지 못하고 감쇠하게 됨



[그림 2.3.65] 전파경로 상의 대책(방진구)

- 방진벽 : 슬러리액 충진 방진벽, 연성·경량재 충진 방진벽, 주열식 방진벽, 공기튜브 매트 방진벽, 고체 방진벽, PC wall Pile 등

④ 방진벽의 재질에 따른 방진효과

- 방진벽과 같은 진동 전파경로 상의 방진대책은 진동이 지반을 통하여 전파되어 가는 과정에서 다른 지층의 경계면이나 구조물과의 경계부에서 반사, 굴절, 간섭 등이 생겨 파형이 복잡하게 되는 현상을 이용함. 진동 전파경로 상의 흙 또는 암반과 특성이 다른 이질 매질층을 인공적으로 형성하여 방진효과를 얻는 방법
- 가양/천안 실증단지는 파동의 전달매체가 지반인 경우 지반특성 임피던스($\alpha = \rho c$[밀도 · 진동전달 속도])와 다른 매질층을 설치함으로써 그 경계에서의 반사로 투과에너지를 감소시키는 효과를 얻을 수 있음
- 진동 절연층에 사용되는 재료 : 발포폴리에틸렌, 경질발포스틸렌, 연질발포스틸렌 등

[표 2.3.135] 재질별 폭에 따른 진동저감량(dB)

재질 / 폭	발포폴리에틸렌	경질발포스틸렌	연질발포스틸렌
50mm	6	6	7
100mm	8	6	9
150mm	10	7	14

⑤ 주거용 모듈러 건축물의 진동저감방안

- 가양 및 천안 실증단지의 바닥진동분석 결과 인접도로의 차량통행에 의한 진동이 가장 큰 가진원으로 나타남
- 모듈러 건축물의 바닥진동 저감을 위해서는 차량운행으로 인한 교통진동의 억제 또는 차단이 필요함
- **차량운행 시와 같이 진동원이 긴 선(線)의 형태로 존재하거나 수진부의 규모가 큰 경우에는 방진구나 방진벽과 같은 진동전파 경로상의 대책이 효과적임**
- 방진효율 측면에서는 방진구의 설치가 가장 효과적이나, 공공주택임을 고려하면 유지관리의 편이성을 위해 방진벽이 적절함
- 방진벽을 설치할 경우 **철, 연질발포스틸렌, EPS 등의 재질을 사용**하는 것이 콘크리트벽체보다 차단효과가 크게 나타남

(2) 주거용 모듈러 건축물의 내진보강 방안

① 내진보강계획

㉠ 강도 및 강성증가

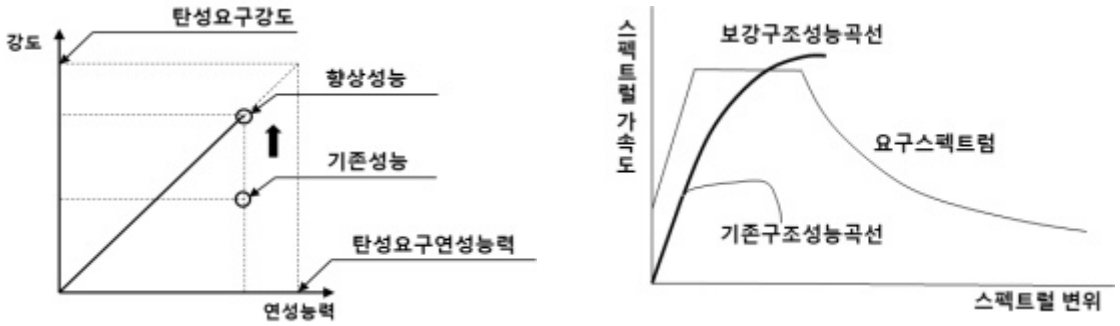
- 일반적인 건축재료를 사용하여 보강하는 방법
- 강도가 부족한 경우 각 부재를 보강하거나 구조시스템을 신설
- 강도의 증가는 강성의 증가를 수반하여 지진하중을 증가시킬 수 있으므로 이에 대한 효과 검토
- 부재를 신설하는 방법 또는 기존 부재를 보강하는 방법을 사용가능
- 부재 신설방법 :시스템보강 또는 집중보강

㉡ 연성증가

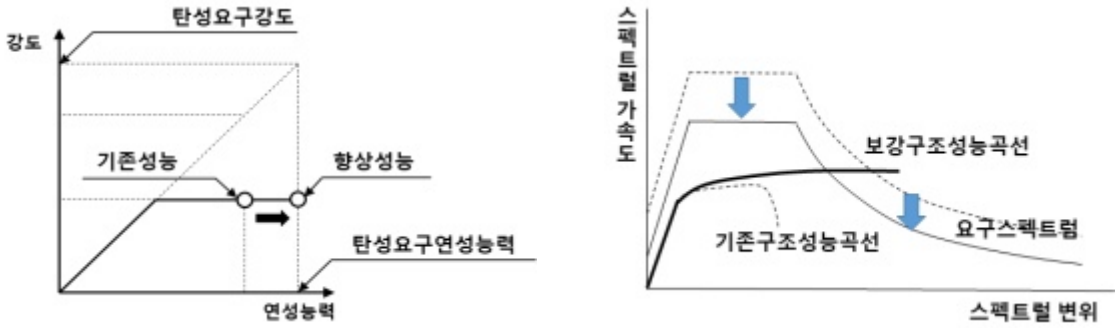
- 변형능력을 향상시킴으로써 요구하중의 크기를 감소시키는 방법
- 기둥과 보에 대한 연성증가방법 : 섬유보강공법, 철판보강공법, 철근콘크리트 환형고리 감싸는 보강공법 등

㉢ 내진요구 저감

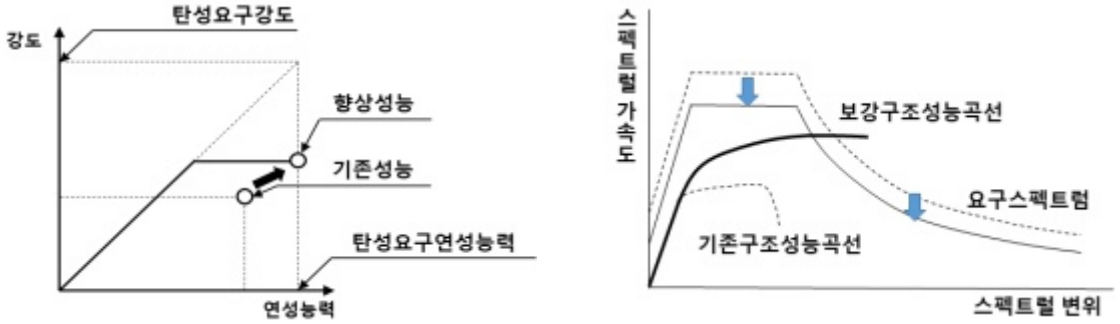
- 지진하중의 직접적인 원인과 경로를 차단 또는 저감하는 방법
- 질량을 저감하거나 제거하여 관성에 의한 지진하중을 저감하는 방법
- 일부 부재를 제거하여 강성을 낮추고 주기를 증가시키는 방법
- 감쇠장치 또는 면진장치를 설치하여 감쇠 또는 면진에 의해 하중을 저감하는 방법



[그림 2.3.66] 내진성능 향상방법 : 강도향상



[그림 2.3.67] 내진성능 향상방법 : 연성능력 향상



[그림 2.3.68] 내진성능 향상방법 : 강도와 연성능력 향상

② 내진보강방법

㉠ 전단벽 신설

- 기둥 사이에 새로운 벽을 신설하거나 기존 벽에 덧대어 벽체를 증설하여 일체형 전단벽을 구성하는 보강공법
- 벽체의 수직철근은 필요한 위치에서 기초까지 연속되어야 하며, 수평철근은 필요시 기존 수직재에 정착되어야 함
- 벽체는 축력, 휨모멘트, 전단력에 저항하도록 설계하며, 필요한 철근량을 배치
- 신설 또는 증설되는 벽체는 기존 구조에 연결재로 연결하여 일체화
- 전단벽의 추가로 인해 생기는 휨모멘트에 저항하기 위해 기초의 안전성 검토 필요

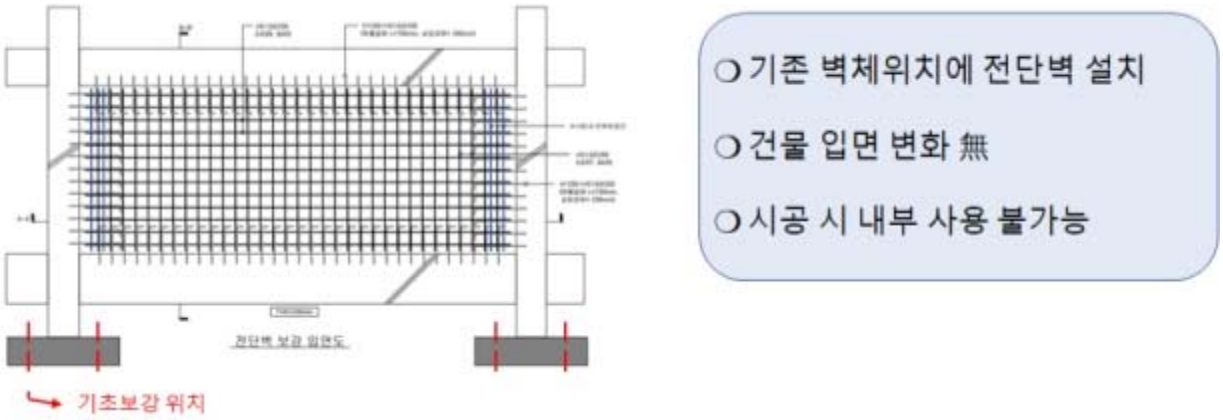
㉡ 철골 가새

- 기존의 철골골조에 가새를 설치하여 강도 및 강성을 증가시키는 공법
- 가새는 형강 또는 강관 등 사용
- 가새의 설치는 전단벽에서와 같이 건축평면계획을 충분히 고려하고, 평면 또는 입면상 균형있게 배치
- 가새의 설치로 인해 부재력이 증가되는 기존 골조부재에 대해서도 지진력에 대한 안전 확인

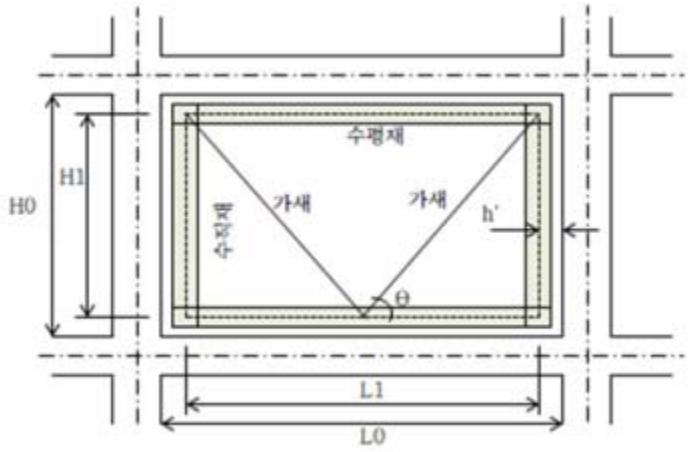
- 가새골조를 형성 하는 가새, 보, 기둥, 거셋플레이트와 접합부를 검토하고, 전단벽에서와 같이 지진하중이 가새에 집중되므로 기초구조에 대해 검토한 후 필요시 보강

㉣ 철골 끼움골조(외부부착형, 벽체매입형)
- 기존 철골골조의 면내에 공장에서 제작된 일체형의 철골프레임을 현장용접과 고력볼트로 접합하는 보강방법
- 추가되는 내진골조에 전달되는 수평력을 지지하기 위한 접합부를 검토
- 추가되는 골조의 보와 기둥에는 국부변형이 생기지 않도록 스티프터 등으로 보강하고, 시공시 모재에 손상을 주지 않도록 주의.
- 신설된 골조의 양측의 기존 기둥에 축력이 증가되므로 기초를 포함한 하부구조에 대해 검토

㉤ 감쇠장치 보강
- 감쇠장치와 충분한 강성을 가진 설치용 구조재를 연결한 형태로 기존 구조체의 상하 또는 골조에 접합시키는 형태
- 점탄성 댐퍼는 감쇠장치에 면내 전단변형이 주로 발생하는 경우에 효과적으로 적용이 가능
- 감쇠장치의 물성치는 실험결과를 바탕으로 인증된 제품을 사용함



[그림 2.3.69] 전단벽 신설



❍ 기존 철골 벽, 창호 철거 후 설치

❍ 건물 입면 변화 無

❍ 시공 시 내부 사용 불가능

[그림 2.3.70] 철골가새보강

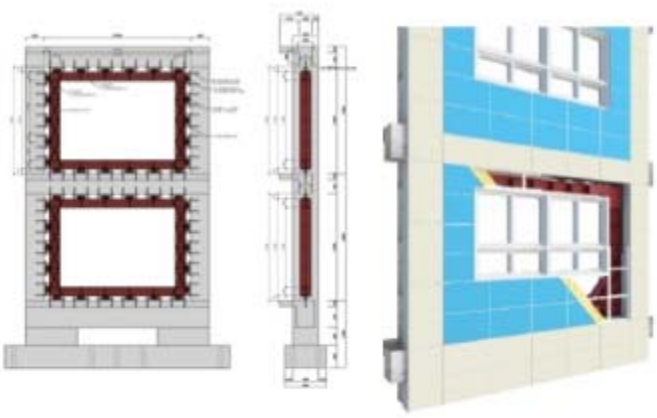


❍ 보, 기둥 외측면에 부착
(기존 창호 유지)

❍ 건물 입면 변화 有 (외부 돌출)

❍ 시공 시 내부 사용 가능
(미장 및 마감 철거 제외)

[그림 2.3.71] 철골끼움골조(외부부착형)

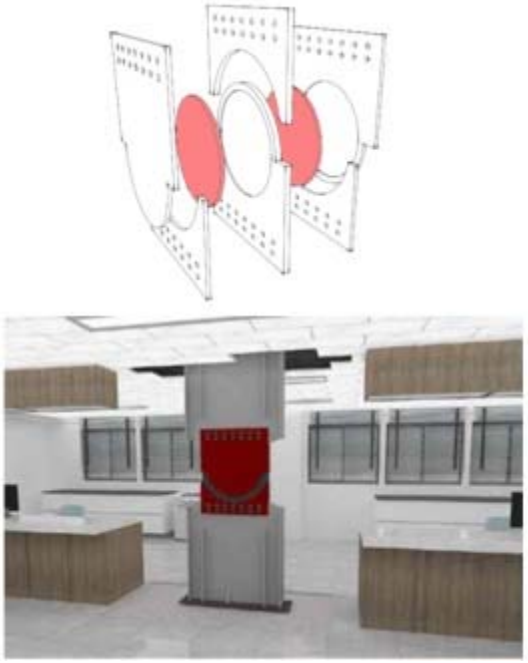


❍ 보, 기둥 내면에 부착 설치
(신설 창호 사용)

❍ 건물 입면 변화 無

❍ 시공 시 내부 칸막이 설치
(소음 발생 多)

[그림 2.3.72] 철골끼움골조(벽체매입형)

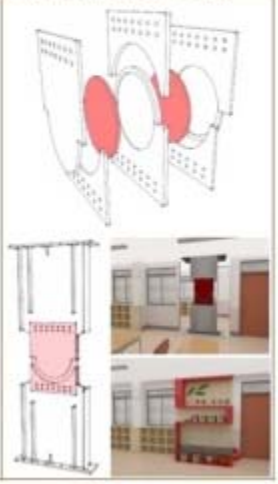


❍ 건물 내부 보 사이에 끼움 설치

❍ 건물 입면 변화 無

❍ 시공 시 내부 이용 가능
(주말 시공)

[그림 2.3.73] 감쇠장치 보강

구 분	재래식 공법 (1)	재래식 공법 (2)	외측 설치 보강 공법	내측 설치 보강 공법	벽면 설치 보강 공법
명 칭	전단벽 보강 공법	철골 가새 보강 공법	창호 외부 내진 시스템	창호 내부 내진 시스템	원형 고강성고무를 이용한 점탄성 댐퍼
공 법 개 요	기존 조적조를 철거 후 전단벽을 후시공하여 보강하는 공법	기존 구조물의 골조에 가새가 추가된 철골 프레임을 설치하여 구조를 보강하는 공법	슬릿이 형성된 철골을 이용한 창호 외부 내진 시스템	슬릿이 형성된 철골을 이용한 창호 내부 내진 시스템	기존 건물의 내측면 X축, Y축에 시공하는 내진보강공법
설 치 위 치	기존 비내력벽 구간	골조(기둥과 보의 내면)에 적용 형식으로 설치	골조(기둥과 보의 외측면)에 부착하는 형식으로 설치	골조(기둥과 보의 내면)에 적용 형식으로 설치	- 실내 벽면 X축, Y축에 설치 - 건물 내부 보 사이에 적용 형식으로 설치 - 보 하단에 전단벽이 있는 경우에도 설치가능
도 면 or 이미지					

명 칭	전단벽 보강 공법	철골 가새 보강 공법	창호 외부 내진 시스템	창호 내부 내진 시스템	원형 고강성고무를 이용한 점탄성 댐퍼
시 공 성	- 철근 조립 작업 및 거푸집 설치 등의 업무로 인해 시공성이 좋지 않음. - 습식 공법이므로 동절기 및 하절기 (우기)에는 시공이 불가능함.	- 철골을 이용한 창호 내측면 설치 가새공법으로 시공이 매우 복잡함. - 창호설치가 완벽하지 않음. - 사계절 시공이 가능함.	- 창호 면외공법으로 시공이 복잡함. - 사계절 시공이 가능함.	- 창호 면내공법으로 시공이 어려움. - 사계절 시공이 가능함.	- 건축물의 내측면에 설치하는 공법으로 시공이 매우 용이함. - 계절과 날씨에 상관없이 시공이 가능함.
일 조 권 및 조 망 권	X축 설치 시, 일조권 및 조망권을 관망할 수 없음.	X축 시공 설치 시, 일조권 및 조망권에 일부 방해가 됨.	일조권 및 조망권에 장애를 주지 않음.	일조권 및 조망권에 장애를 주지 않음.	일조권 및 조망권에 전혀 관계가 없음.
시공 시 일상업무 가능 여부	전혀 불가능함.	시공부위 일부 제외하고 업무 가능.	시공부위 일부 제외하고 업무 가능.	시공부위 일부 제외하고 업무 가능.	주말을 이용한 시공이 가능하므로, 업무에 지장을 주지 않음.
폐기물 및 소음, 분진 발생 여부	많이 발생됨. (기존 조적벽 철거)	많이 발생됨. (기존 벽체 및 창호 철거)	조금 발생됨. (마감면 및 마감면 철거)	많이 발생됨. (창호 및 하리벽 철거)	조금 발생됨. (내측벽면 시공 시 일부 철거)
설치 조건	방향에 관계없이 설치가능.	X축에 설치 가능.	X축에 설치 가능.	X축에 설치 가능.	방향에 관계없이 설치가능.
철거 및 마감비 (1개소 기준)	약 500만원 철거 및 건축 마감비가 많이 발생됨.	약 700만원(창호공사 포함) 철거 및 건축 마감비가 아주 많이 발생됨.	약 600만원 철거 및 건축 마감비가 많이 발생됨.	약 700만원(창호공사 포함) 철거 및 건축 마감비가 아주 많이 발생됨.	약 200만원 시공 부위 일부 철거로 인해 철거 및 건축 마감비가 조금 발생됨.
기초보강	기존 기초에 대한 검토 및 보강 필요.	기존 기초에 대한 검토 및 보강 필요.	내진 성능 등급 및 토질 조건에 따라 기초보강 여부가 결정됨.	내진 성능 등급 및 토질 조건에 따라 기초보강 여부가 결정됨.	기초보강 필요 없음.

여러 가지 조건들을 조합해볼 때,

- ❍ 건물 외부 미관 변화 최소화
- ❍ 내부공사 중 사용 가능
- ❍ 기초보강이 필요치 않은 공법

댐퍼를 사용한 기존벽면설치 공법

(3) 소결

① 바닥진동저감방안

- 가양 및 천안 실증단지의 바닥진동분석 결과 인접도로의 차량통행에 의한 진동이 가장 큰 가진원으로 나타남
- 모듈러 건축물의 바닥진동 저감을 위해서는 차량운행으로 인한 교통진동의 억제 또는 차단이 필요함
- **차량운행 시와 같이 진동원이 긴 선(線)의 형태로 존재하거나 수진부의 규모가 큰 경우에는 방진구나 방진벽과 같은 진동전파 경로상의 대책이 효과적임**
- 방진효율 측면에서는 방진구의 설치가 가장 효과적이나, 공공주택임을 고려하면 유지관리의 편이성을 위해 방진벽이 적절함
- 방진벽을 설치할 경우 **철, 연질발포스틸렌, EPS 등의 재질을 사용**하는 것이 콘크리트벽체보다 차단효과가 크게 나타남

② 내진성능향상방안

- 가양 및 천안 실증단지는 내진성능평가 결과 목표성능인 LS(인명안전) 수준을 만족하므로 내진보강이 필요하지 않음
- 가양 실증단지 : 강구조 라멘 형식의 적층형 모듈러 시스템으로 강구조 골조에 접합이 용이한 철골가새, 철골끼움골조, 감쇠장치 등 적용가능
- 천안 실증단지 : 적층형 모듈러와 RC라멘의 인필식 모듈러가 적용된 형식으로 전단벽 신설, 철골끼움골조, 감쇠장치 등의 적용가능
- 모듈러 건축물의 특성 상 소규모이고 공간제약이 많아 부재신설 방법은 제약이 많이 발생
- 평/입면변화 및 기초보강을 최소화하고, 공사기간 중 사용이 가능한 **감쇠장치를 사용한 공법**을 추천함

결 론

주거용 모듈러 건축물 내진보강 및 진동 저감 기술 개발(동양구조이앤알)

1. 주거용 모듈러 건축물의 바닥진동 저감방안

- 가양 및 천안 실증단지는 인접도로의 차량통행에 의한 진동이 가장 큰 가진원으로 나타나므로 교통진동의 억제 또는 차단이 필요함
- **차량운행 시와 같이 진동원이 긴 선(線)의 형태로 존재하거나 수진부의 규모가 큰 경우에는 방진구나 방진벽과 같은 진동전파 경로상의 대책이 효과적임**
- 방진구는 유지관리의 문제가 있으므로, **철, 연질발포스틸렌, EPS 등의 재질을 사용한 방진벽** 콘크리트벽체보다 차단효과가 크게 나타남

2. 주거용 모듈러 건축물의 내진성능향상 방안

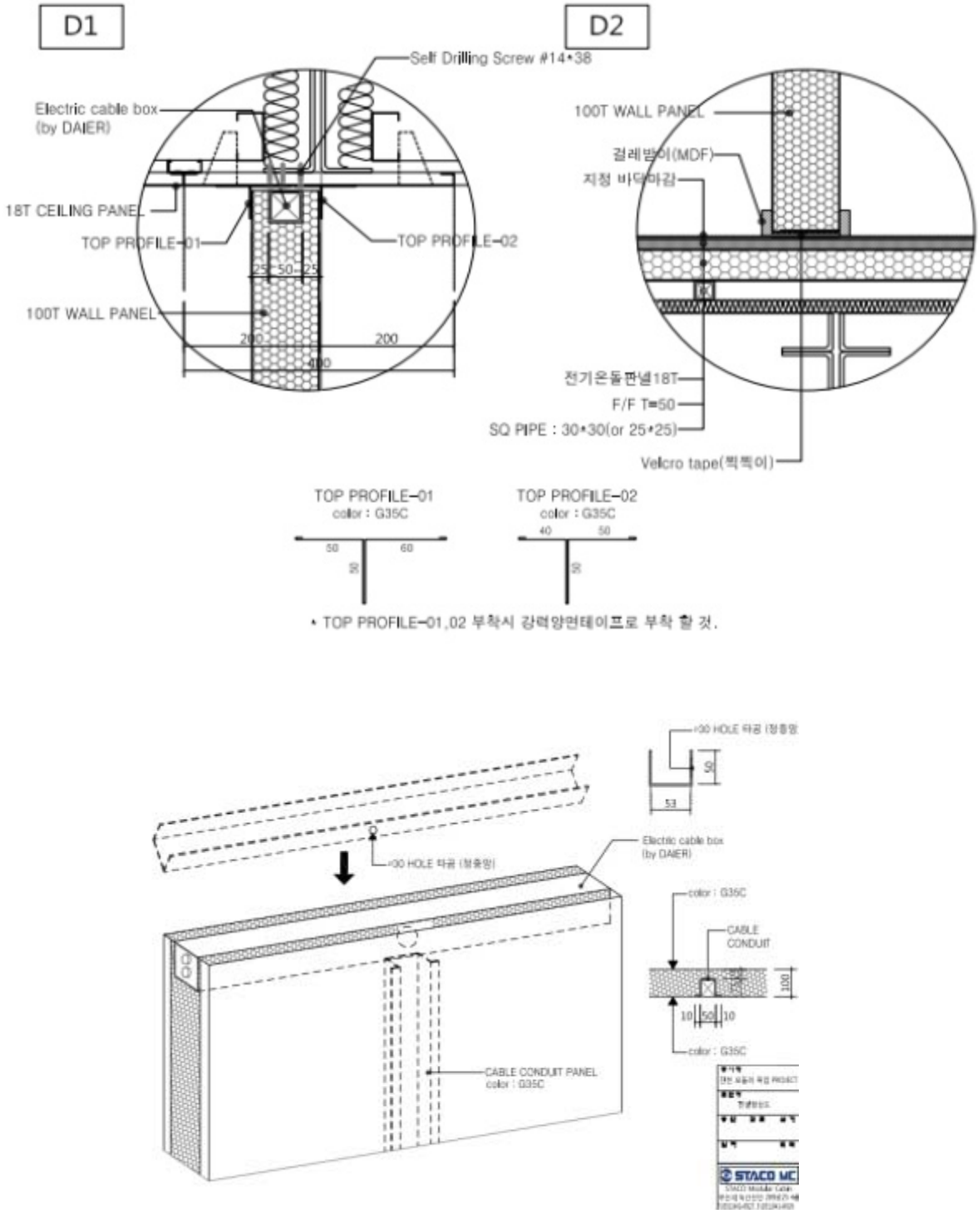
- 가양 및 천안 실증단지는 내진성능평가 결과 목표성능인 LS(인명안전) 수준을 만족하므로 내진보강이 필요하지 않음
- 가양 실증단지 : 강구조 라멘 형식의 적층형 모듈러 시스템으로 강구조 골조에 접합이 용이한 철골가새, 철골끼움골조, 감쇠장치 등 적용가능
- 천안 실증단지 : 적층형 모듈러와 RC라멘의 인필식 모듈러가 적용된 형식으로 전단벽 신설, 철골끼움골조, 감쇠장치 등의 적용가능
- 모듈러 건축물의 특성 상 소규모이고 공간제약이 많아 부재신설 방법은 제약이 많이 발생
- 평/입면변화 및 기초보강을 최소화하고, 공사기간 중 사용이 가능한 **감쇠장치를 사용한 공법**을 추천함



5) 세대 내 간막이 벽체 상용화 검토 및 시작품 제작(동양)

가) 세대 내 간막이 벽체 설계

- 설계주안점 : 모듈러 전용 간막이 벽체, 방통위에 설치하여, 언제든지 해체 및 이동이 용이하도록 설계 되었음



[그림 2.3.74] 세대 내 간막이 벽체 설계 주안점

나) 세대 내 간막이 벽체 제작 및 목업 설치

벽체판넬 생산		
	1. Shearing : 원자재(coil)을 치수에 맞게 절단	2. Formig : 치수에 맞게 절단된 coil을 가공성형
		
	3. Bonding : 판넬 심재를 부착	4. Inspection : 치수 및 육안검사

❍ 진천모듈러 MOCK-UP Smart wall 공사

천정판넬 생산



1. Shearing : 원자재(coil)을 치수에 맞게 절단



2. Formig : 치수에 맞게 절단된 coil을 가공성형





3. Bonding : 단열재 부착



5. Inspection : 치수 및 육안검사

❍ 진천모듈러 MOCK-UP Smart wall 공사

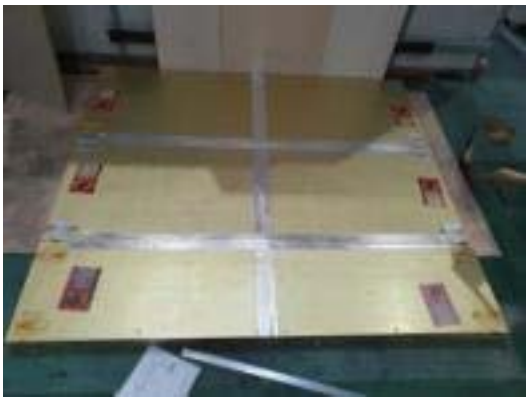
MOCK-UP (스타코공장)



1. 플로팅플로아 설치



2. 전기온돌판넬 설치



3. 전기온돌패널 고정마무리(테이핑)작업



4. 장판깔기



5. 벽체판넬 세우기



6. 천정판넬 설치하기 위한 소조립

❍ 진천모듈러 MOCK-UP Smart wall 공사

MOCK-UP (시타코공장)



7. 천정판넬 설치-01



7. 천정판넬 설치-02





8. MOCK-UP 완성

❍ 진천모듈러 MOCK-UP Smart wall 공사

진천모듈러 현장 설치



1. 플로팅플로아 설치전 하지작업



2. 플로팅플로아 설치



3. 전기온돌패널 설치작업



4. 장판깔기



5. 천정판넬 설치



6. 천정판넬을 연결하기 위한 보강작업

❍ 진천모듈러 MOCK-UP Smart wall 공사

진천모듈러 현장 설치



7. 벽체판넬 설치위한 바닥면 벨크로 (찍찍이)테이핑



8. 벽체판넬 설치위한 판넬밑면 벨크로 (찍찍이)테이핑





9. 벽체판넬 설치작업





10. 상부몰딩(TOP PROFILE) 설치

❍ 진천모듈러 MOCK-UP Smart wall 공사

진천모듈러 현장 설치



11. 천정판넬 설치중 기존 천정틀과 간섭으로 인한 사전 처리작업



12. 잔여 천정판넬 설치





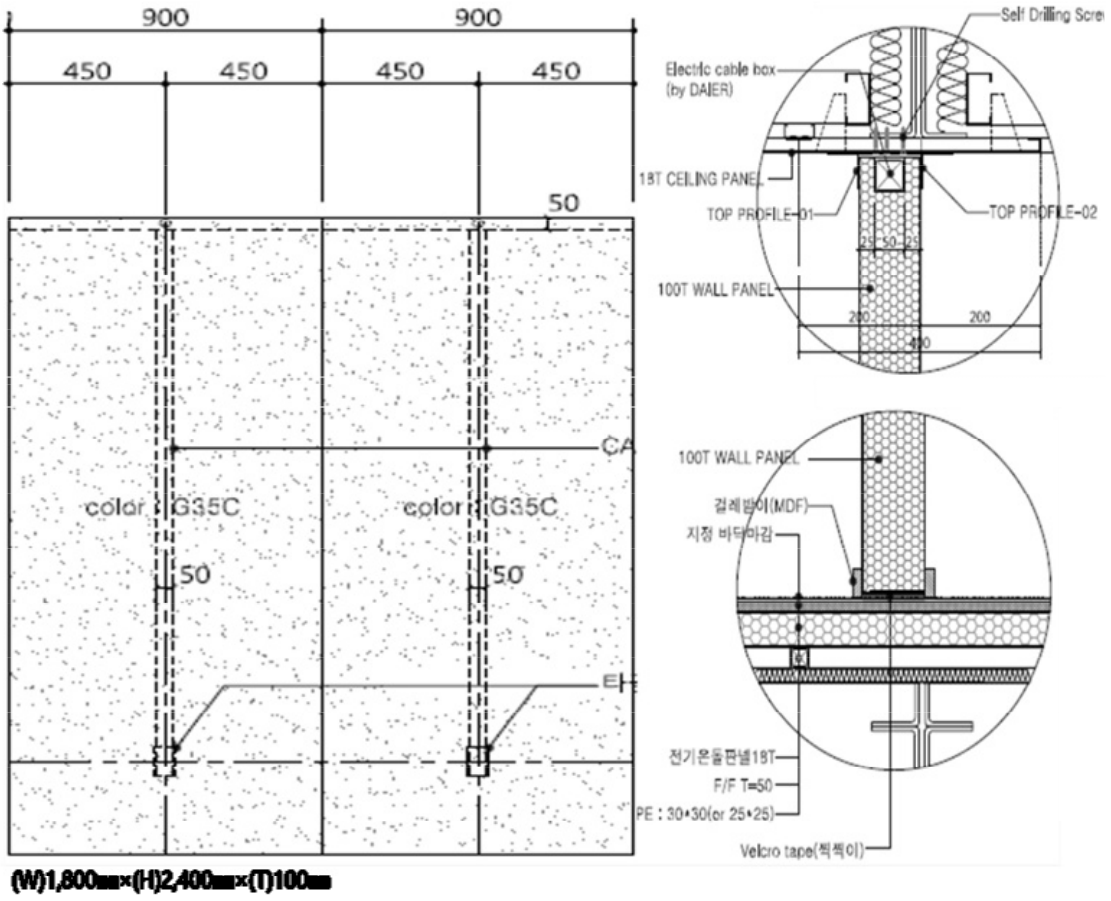
13. 완 료

다) 세대 내 간막이 벽체 상용화 검토(내충격 실험)

- 본 연구는 진천모듈러 MOCK-UP 현장에 설치된 시험벽체에 대하여, KS F 2613에 규정되어 있는 “연질 충격체에 의한 내충격성 시험”을 실시하고, 그 결과를 토대로 시험벽체의 구조적 안전성을 평가하는 것을 목적으로 함

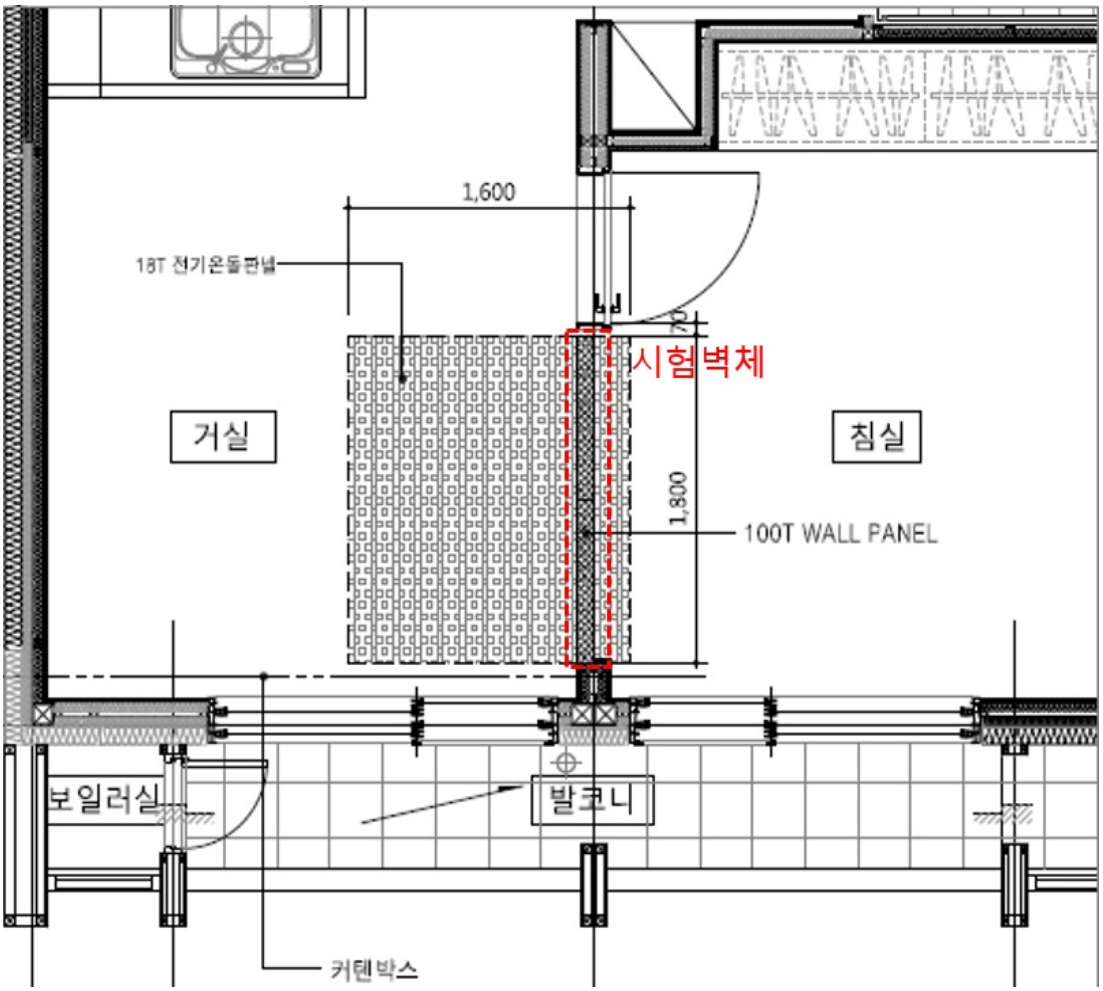
(1) 시험벽체

- 시험벽체는 진천 모듈러 MOCK-UP 현장 내에 시공되어있는 거실과 침실 사이의 모듈러(판넬) 칸막이벽 1개소이며, 시험벽체의 개요는 [그림 2.3.75]과 같음
- 시험은 2020년 11월 12일에 “연질 충격체에 의한 내충격성 시험”을 실시하였으며, 시험 중의 기후조건은 오전 10시 기준으로 6.9℃/55% 이었음
- 시험벽체의 설치 전경을 [그림 2.3.76]에 나타냄



[그림 2.3.75] 시험벽체의 개요

(단위 : ㎜)







[그림 2.3.76] 시험벽체의 설치 전경

(2) 내충격성 시험

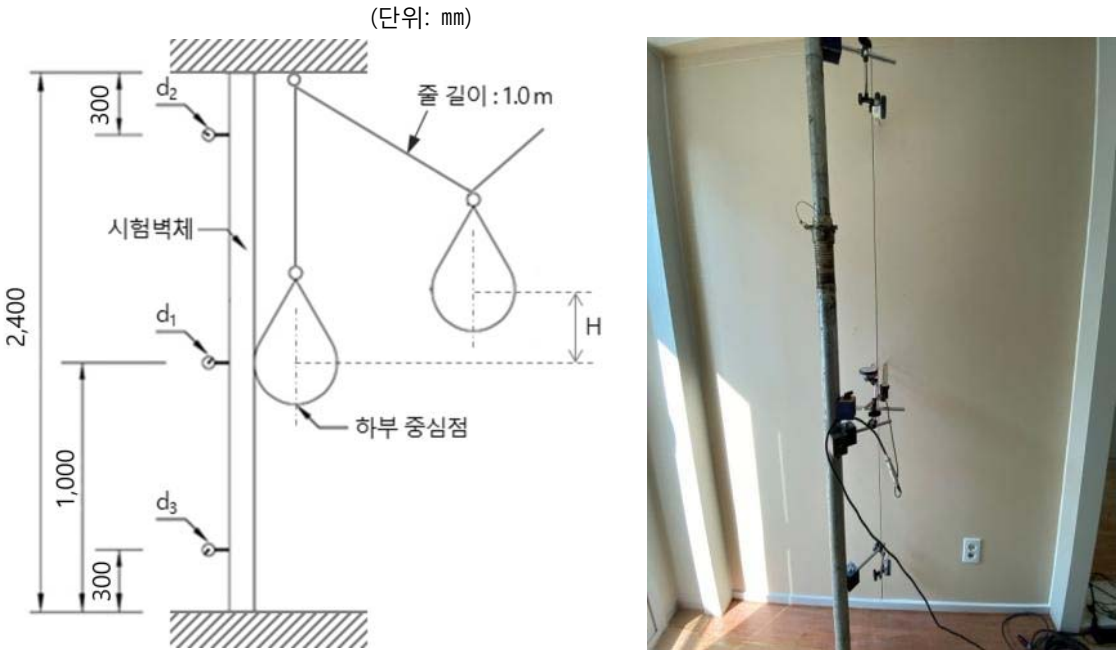
- KS F 2613:2020 (건축용 비내력 경량벽체의 성능 시험방법)에서 규정하고 있는 “연질 충격체에 의한 내충격성 시험방법”의 시험절차는 다음과 같음
- 연질 충격체에 의한 내충격성 시험방법의 개요를 ([그림 2.3.77], [그림 2.3.78])에, 가격하는 충격에너지의 크기(낙하높이)를 [표 2.3.136]에 각각 나타냄
- 본 연구에서는 시험벽체에 가하는 충격에너지의 크기(낙하높이)를 세대 내 칸막이벽 등에 적용하는 가력단계(성능등급)인 200N·m (H=0.4m)로 설정함

- 시험벽체의 하단으로부터 수직으로 1,000㎜ 떨어진 시험벽체 중앙부의 단단한 곳에 충격을 가할 수 있도록 연질 충격체를 설치

- 시험벽체 뒷면의 중앙부에 수직 방향으로 변위 측정 장치(d1, d2, d3)를 설치

- 시험벽체의 사용 조건에 부합하는 가력 하중(충격에너지)을 [표 2.3.137]에서 선정하고 그 크기에 해당하는 낙하높이에서 연질 충격체를 자유 낙하시킴. 이때 연질 충격체는 한 번만 가격하도록 하며, 연질 충격체는 하부 중심점이 항상 수직 방향으로 향하도록 매달아서 낙하시킴

- 가격 후에는 시험벽체를 5분간 정치하고 나서, 시험벽체의 표면 손상, 구조적 손상, 구성 부품의 변형 혹은 탈락 등의 여부를 조사한 후, 잔류변형을 KS Q 5002에 따라 ㎜ 단위로 측정하고 소수점 이하 1자리로 끝맺음 함. 또한 잔류변형은 각 변위 측정 장치(d1, d2, d3)로 측정한 값 중 최댓값으로 함



[그림 2.3.77] 연질 충격체에 의한 내충격성 시험의 개요1





[그림 2.3.78] 연질 충격체에 의한 내충격성 시험의 개요2

[표 2.3.136] 가력하는 충격에너지 및 낙하높이

충격에너지 (N·m)	낙하높이 H (m)	벽체 용도(설치 장소)의 예
300	0.6	(주거시설) 세대 간 경계벽, (숙박시설) 객실 간 경계벽, (교육시설) 교실 간 칸막이벽, 외벽 등
200	0.4	(주거시설) 세대 내 칸막이벽, (의료시설) 병실 간 칸막이벽 등
100	0.2	(업무시설) 사무실 칸막이벽, (상업시설) 상점 간 경계벽, 가동식 칸막이벽 등

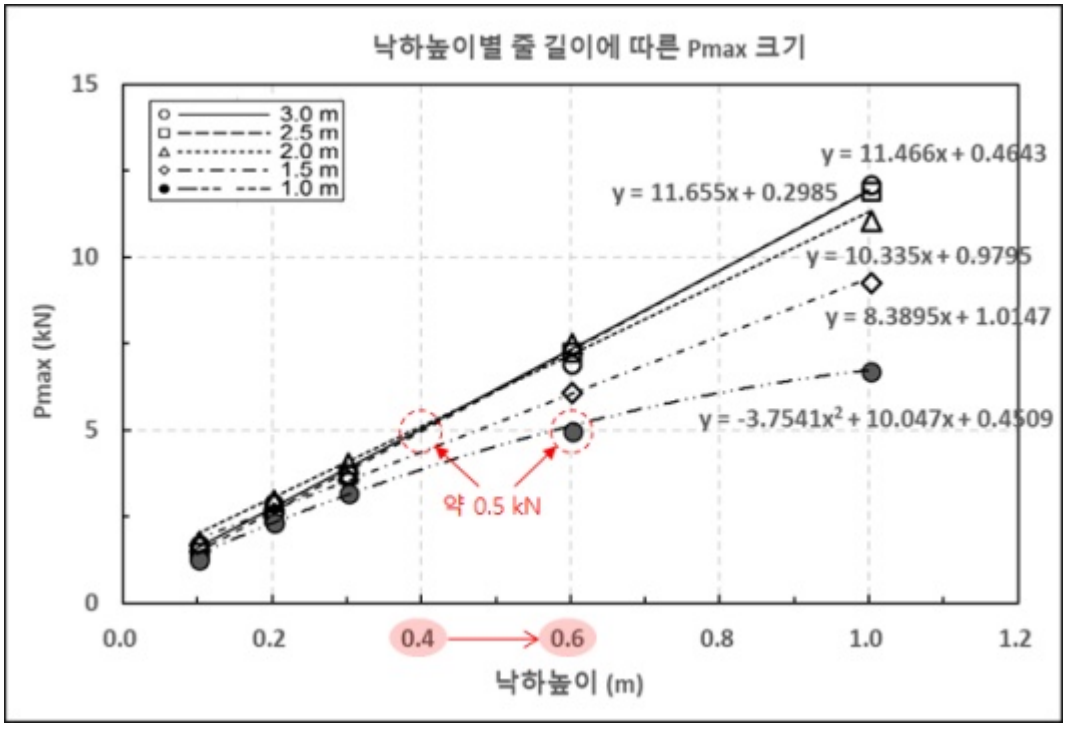
- 연질 충격체에 의한 내충격성 시험에서 충격체를 매다는 줄의 길이가 2.5m보다 짧으면 벽체에 가해지는 하중(Pmax)의 크기가 작아짐([그림 2.3.79] 참조)[10)]

- 낙하높이 0.4m의 경우, [그림 2.3.80]에서와 같이 줄 길이가 1.0m인 경우에는 줄 길이 2.5m에 비해 약 78%의 하중 밖에 작용하지 않음

- 따라서 시험벽체에 당초 설정한 하중과 동등한 하중을 가하기 위해서는 낙하높이를 증가시켜 줄의 길이 단축에 따른 하중의 감소분을 보정할 필요가 있음

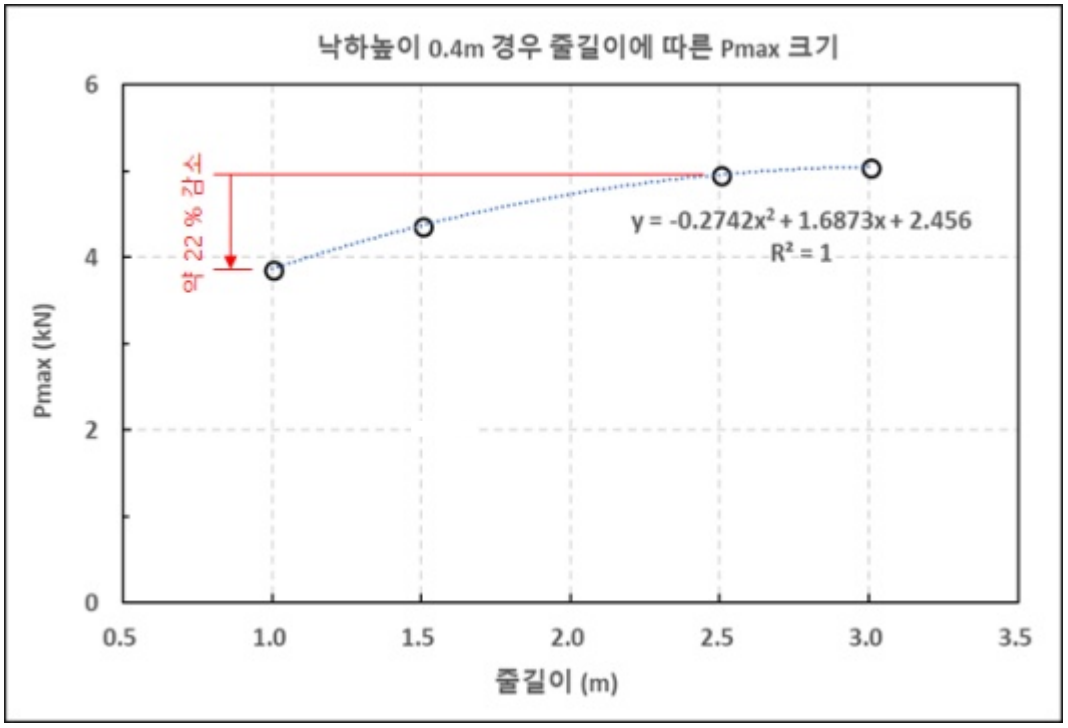
- 본 연구에서는 현장의 천장 높이(2.6m) 제약으로 인해 연질 충격체를 매다는 줄 길이를 1.0m 이상 확보하기 어려워 낙하높이를 당초 0.4m에서 0.6m로 상향 조정하여 시험벽체에 소정의 하중(약 5kN)을 가하기로 하였음

- 하중점 역시 줄 길이를 1.0m 확보하기 위해 시험벽체 하단으로부터 수직으로 1,000㎜ 떨어진 지점으로 설정함



[그림 2.3.79] 낙하높이별 줄 길이에 따른 적재 하중(Pmax)의 크기

10) S.K. Choi, Y.H. Kang, Y. Yokoyama, T. Mikami. Load characteristics based on loading conditions of large soft body used for impact resistance testing of lightweight wall. Construction and Building Materials. 2016 Oct;123:8-14.



[그림 2.3.80] 낙하높이 0.4 m 경우의 줄 길이에 따른 적재 하중(Pmax)의 크기

(3) 시험결과 및 고찰

- 비내력벽(Partition)의 연질 충격체에 의한 내충격성 성능기준으로서 BS 5234-2:1992에서는 “잔류변형 2㎜ 이하일 것”으로 규정하고 있음. 이 기준은 일반적으로 벽체의 영구 휨 변형이 2㎜ 이상일 경우 육안으로 식별이 가능하다는 점을 참고한 것으로 판단됨. 본 연구에서는 이 성능기준에 준해서 판정하기로 함

- 시험벽체의 하단으로부터 수직으로 1,000㎜ 떨어진 벽체 중앙부에 충격에너지 200N·m (상정되는 충격하중 : 약 5kN)으로 재하한 연질 충격체에 의한 내충격성 시험결과를 [표 2.3.137]에 나타냄

- 시험벽체에 [그림 2.3.81]와 같이 충격으로 인해 접합부에서 패널이 서로 엇갈려 단차 등의 손상이 발생함. 또한, 벽체 상부 및 하부의 접합부(몰딩)에서는 눈에 띄는 손상이 관찰되지 않음

- 벽체 변위의 경우에는, 상부(d2) 및 하부(d3)에서는 변위가 너무 커서 측정이 불가하였으며, 중앙부(d1)에서는 최대변위 17.5㎜, 잔류변형 7.4㎜로 나타남



[그림 2.3.81] 시험벽체의 손상 전경

[표 2.3.137] 연질 충격체에 의한 내충격성 시험결과

충격에너지 (N·m)	잔류변형 (㎜)		벽체 상태
200	d1	7.4	패널간 접합부 균열, 단차 발생 판정기준 : 잔류변형 2㎜ 이하
	d2	측정불가	
	d3	측정불가	

(4) 결 론

❍ 진천모듈러 MOCK-UP 현장 내에 시공되어 있는 모듈러(판넬) 칸막이 벽체를 대상으로 연질 충격체에 의한 내충격성 시험을 실시한 결과는 다음과 같음

- 시험벽체에 질량 50kg의 연질 충격체를 이용하여 200N·m의 충격에너지로 가격 시 패널간 접합부에서 엇갈림으로 인한 단차가 발생하였으며, 벽체 중앙부의 변위는 최대변위 17.5㎜, 잔류변형 7.4㎜로서, 세대내 칸막이벽의 내충격성 판정기준(잔류변형 2.0㎜ 이하)을 충족하지 못함

- 시험벽체의 상부 및 하부의 접합부에서는 충격에 의한 변형이 너무 커서 변위를 측정할 수 없었으며, 시험 후에 접합부(몰딩)의 손상은 관찰되지 않았음

- 이상에서, 시험벽체는 일상적인 충격하중(인체와의 충돌이나 신체 일부로 가격했을 때 발생하는 동적하중 등)에 대한 내력이 부족하므로, 세대내 칸막이벽으로 활용하기 위해서는 벽체의 강성을 개선할 필요가 있을 것으로 판단됨

결 론 세대 내 간막이 벽체 상용화 검토 및 시작품 제작(동양)

■ **향후 1Room을 탈피할 수 있는 기술개발 필요**

- 충북 진천의 모듈러 주택에 적용된 세대내 간막이 벽체는 원룸형태인 가양동이나 천안두정동에서 적용하기는 어려운 부품이라 할 수 있으나, POE조사 결과 원룸형 모듈러 공동주택에 대한 협소함에 대한 의견이 많았고, 향후 일반 공동주택과 동일한 규모의 평면을 공급하기 위해서는 세대내 간막이의 공급이 매우 중요함. 가양동의 경우 최상부 층에 신혼부부용의 2룸형태가 공급되어 이러한 세대에 적용할 수 있을 것이나, 당시 세대내 간막이 벽체가 개발되어 있지 않아 임시 간막이를 공장에서 설치하고 현장에서 이를 철거한 후 마감의 하부의 상부 구조체까지 고정되는 고정형 간막이를 적용한 바 있음. 이 경우 향후 가변성을 떨어질 것으로 예상됨

■ **고정 및 내구력이 보완된 세대내 간막이 개발 필요**

- 세대내 간막이는 바닥마감에서 천장마감 사이에 시공되어야 하는데 이는 향후 모듈러 주택의 가변성과 장수명 주택으로서의 기본요건이 될 수 있음. 이때 세대내 간막이의 경우 고정력이 매우 중요한데, 본 사업에서는 테이핑에 의한 고정을 시도하였음. 그러나 평가 결과 고정력에 다소 문제가 발생하였는 바, 바닥 마감재 하부로 고정하는 방안을 시도하거나 별도의 접합재료를 사용하는 방안이 필요할 것으로 판단됨. 세대내 간막이는 향후 스마트 월의 기능을 탑재하여 모듈러 주택이 스마트 홈으로 변환하는데 매우 중요한 부품으로 활용될 수 있어 이에 대한 개발도 필요하며, 성능평가의 결과에서 나타난 바와 같이 벽체의 강성을 향상시킨 후 부품으로서 상용화시키는 정책적 시도도 필요한 상황임

3.
목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 연구기관별 최종 연구목표

나. 목표 달성여부

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 연구기관별 최종 연구목표

구분	연구과제명	연구기관	최종 연구목표
모듈러 실증사업 POE를 통한 성능 경제성 향상 방안	■3대 실증 모니터링을 통한 문제 해결 솔루션 개발	KICT	■[기술성]실증단지 적용 기술의 문제점 분석 및 해결방안 도출
			■[경제성] 건축공사비 저감 및 경제성 확보방안 마련
			■[시공성] 실증 관련 제작공장 및 현장시공 공정 관리 상의 개선방안 마련
			■[사업성] 실증사업 수행을 통한 발주 관련 문제점 및 개선방안 제시
			■[POE] 가양동 실증사업 수행을 통한 발주 관련 문제점 및 개선방안 제시
			■가양 실증단지 진동성능 평가
	■천안두정 실증단지 입주자 대상 거주 후 평가	KICT	■천안두정 실증단지 거주 후 평가(POE)
			■외장마감 일체형 패널 개발
	■POE 및 모니터링을 통한 종합 해결 설계 Proto Type 개발	KICT	■종합 문제 해결 설계 Proto Type 개발
	■가양 및 천안두정 실증단지 내진/진동 성능평가	동양구조이앤알	■가양 및 천안두정 실증단지 내진성능 평가
			■천안두정 실증단지 진동성능 평가
	■주거용 모듈러 건축물 내진보강 및 진동 저감 기술 개발	동양구조이앤알	■주거용 모듈러 건축물의 내진보강 방안 제시
			■주거용 모듈러 건축물의 진동 저감을 위한 개선안 도출
	■외장마감 일체형 패널 상용화 검토 및 시작품 제작	동양, 듀칸	■외장마감 일체형 패널 설계
			■외장마감 일체형패널 Mock-up 제작
	■세대 내 간막이 벽체 상용화 검토 및 시작품 제작	동양	■세대내 간막이벽 Mock-up 제작
	■천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가	KCL	■천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 평가
			■천안두정 실증단지 음환경 및 기밀성능 개선기술 도출

나. 목표 달성여부

1) 최종 연구목표 달성여부

구분	년도	핵심성과	성과목표	목표치	가중치 (%)	평가기준	달성치
1차년	2018	3대 실증 모니터링 통한 문제해결 솔루션 개발 (KICT)	설계/제작/시공 단계별 기술적용 문제 및 해결방안	솔루션 도출	10	논문	100
			경제성 확보 방안	RC 동등 공사비	4	보고서	100
			공기지연 문제점 및 해결 방안	RC 대비 50% 이상 공기단축	4	보고서	100
		모듈러 공동주택 발주 개선 (KICT)	하부공사 일괄입찰 및 간접비 이중 계상방식	개선안 도출	2	보고서	100
2차년	2019	천안두정단지 POE(KICT)	POE 결과 도출	POE 결과 도출	10	논문	100
			일체형 외장 패널 개발	2시간 내화 만족	5	특허	100
		천안두정단지 구조안전성 평가 (동양구조이앤알)	내진 예비/상세평가	내진성능 목표 1등급	7.5	보고서	100
			진동 성능평가	AISC 가속도 제한치 만족	7.5	학술발표논문	100
		개발 기술 상용화 검토 및 시작품 제작 (동양, 듀칸)	시작품 제작	시작품 1건	5	시작품	100
		천안두정단지 환경성능 평가 (KCL)	음환경 성능평가 및 개선방안	중량 3등급	7.5	보고서	100
			기밀 성능평가 및 개선방안	ACH50 3.0	7.5	학술발표논문	100
3차년	2020	종합 해결 설계 프로토 타입 (KICT)	상용화 보급 모델 개발	개선방안 적용 설계(안)		설계도서 특허	50
		천안두정단지 구조안전성 평가	모듈러 공동주택 내진성능 향상	내진성능 목표 1등급		보고서	100
			모듈러 공동주택 진동성능 향상	AISC 가속도 제한치 만족		학술발표논문	100

		개발 기술 상용화 검토 및 시작품 제작	세대내 간막이벽	시작품 1건		시작품	100

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구 필요성 등)

구분	연구과제명	연구기관	미달성 원인 및 차후대책
2020년	종합 해결 설계 프로토타입(KICT)	KICT	특허출원은 완료되었으나, 허등록 1건 미달성, 21년 내 등록추진

4.
연구개발성과의 활용 계획 등

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

1) 사업화 모형 제시

가) 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 본 연구는 모듈러 실증사업의 성능평가와 모니터링 그리고 POE를 실시하여 핵심기술을 개발하고 객관적인 검증을 통하여 보급형 모듈러 주택의 프로터 타입을 개발하는 것임. 이에 모듈러 주택의 프로터 타입을 활용하여 듀칸의 기존기술을 접목시켜 사업화 모형을 개발하고자함. 즉 **본 연구의 모듈러 최종 개선기술로서 내진 및 진동 저감기술, 층간소음 저감기술, 모듈러 내장재 및 외장재 패널 기술을 적용하여 작지만 강하고 스마트한 주거모듈을 개발**

- 국내 도심 내 5층 이하 저층 건축물은 70~80년대 지어진 경우가 대부분으로 최근 노후화 및 불량화의 사회적 문제로 인식, 해결책이 논의되고 있음. 그러나 건축 산업은 타 산업에 비해 많은 자본과 인력을 투입해 완성되는 재화로 투자 수익에 대한 담보 없이 자발적인 건축행위를 통한 도심 재생을 유도하기 어려움. 특히 도심의 경우 공공 주도의 정책사업(휴먼타운, 마을만들기, 두꺼비하우스 등)에 의존도가 높아 자생력 있는 도심 재생 및 활성화는 역부족이라는 평가가 많음

- 지금까지 국내 건설시장은 아파트 중심의 대규모 개발 단위의 사업에 편중되어 도심 주택가의 경우 자발적인 건축사업을 통한 노후화 및 불량화 해결의 도심재생 효과를 기대하기 어려웠음. 그러나 최근 소규모 토지를 활용한 경제적인 건축행위가 가능한 땅콩주택, 완두콩주택 등 대안건축이 등장하면서 비아파트 형태의 저층주택이 새로운 블루오션으로 성장하고 있음

- 도심 주택가는 입지적 이점에도 불구하고 토지소유자는 건축비에 대한 부담이 크고, 건축주(사업자)는 높은 토지가에 대한 부담이 크고 재건축시 기존 세입자를 위한 대체 주거공간 마련 어려움 등 여러 가지 문제로 사업추진이 어려운 경우가 많음. 이에 도심 내 협소한 토지(80M2 이하)를 활용하여 저비용(Low Cost), 고효율(High Quality) 및 효율적인 자원활용(Efficient Material)이 가능한 '도심 내 협소한 주거환경 및 다양한 형태의 토지에 조립 및 해체, 이동 과정을 거쳐 재조립이 가능한 모듈러형 주거시설'을 개발함으로서 토지소유자와 사업자 간 일정기간 계약을 통해 토지소유자는 토지를 임대하고 건축주(사업자)는 건축비를 분담하는 '토지임대부'방식의 건축시스템을 개발하여 토지주에게는 일정한 수익을, 건축주(사업자)에게는 초기 건축비용 절감과 수익을, 소비자(세입자)에게는 저렴한 임대료를 제공함으로서 자발적인 건축사업이 가능한 틈새시장 선점을 위한 BM(Business Model)를 제안하고자 함

나) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 개요

- 본 사업화 대상 상품(서비스)은 본 연구결과 내용으로서 내화안전성/ 화재안전성/ 생활쾌적성을 보유하면서 동시에 '분리·해체·조립이 용이한 도심지 협소대지 대응 소형 모듈러형 주거개발'로서 기존 건축공간을 박스형의 유닛으로 제작하여 다양한 형태의 주택유형에 적용할 수 있는 새로운 건축 제품이자 서비스임

① 소형 모듈러형 주거개발

- 기존 건축공법의 문제점으로 지적되어 온 도심 내 높은 토지가와 공사비(인건비)로 인한 건축사업 추진 부담, 긴 공사기간 내 기존 세입자 임시주거문제, 재건축시 발생하는 지역민원 및 환경오염 등의 문제점을 해결하기 위해 공장에서 미리 제작된 큐브형의 주거유닛을 현장에서 레고식으로 조립하는 새로운 방식임. 특히, 좁은 골목길과 협소한 부지에서 건축 작업의 어려움이 있는 지역에서도 건축이 가능하며 운송비와 인건비 절감을 위해 국제운송규격 준수 및 결구식 조립공법을 적용

② 진행과정

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>건축설계</td><td>기초 토목공사</td><td>주거유닛 공장제작</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현장운반</td><td>현장조립</td><td>완공</td></tr>
</table>

- 현장운반 일정에 맞춰 기초 토목공사 및 주거유닛의 공장제작 병행
- 필요시 소형모듈주거 큐브주거 조립방식의 역순으로 분해하여 이축 및 재사용
- 완공 후 별도 '유닛 재사용(해체,이동,재조립)센터'를 통해 지속적인 유·무상 유지/관리 지원

③ 공법 비교

기존RC공법	모듈러건축공법			
	유닛방식	패널라이징	볼트식 조립	소형 모듈형 주거 큐브조립
				
공사기간:약60일 재사용률:0% 가변성 없음 건설폐기물:100% 이형/고층에 적합 100%현장공정	공사기간:약25일 재사용률:80% 수직/수평증축용이 건설폐기물:0% 중저층에 적합	공사기간:약30일 재사용률:50% 부분교체용이 건설폐기물:30% 경제성/효율성유리	현장용접/볼트조립 유닛 조립후 마감 현장인건비:200 유닛확장시 단열 및 결로 문제발생	- 화재안전성, 내진 및 진동 안전성, 층간소음해결 생활 쾌적성 장착형 모듈 - 연결부재 체결방식(결구식) - 공장에서 미리 내/외부마감 - 소형모듈로서 기존의 도심 및 도심재생사업에 적합

(2) 사업화 모형의 목표

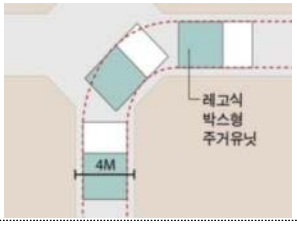
① 내화안전성/ 화재안전성/ 생활쾌적성을 확보하면서 작지만 다양함을 추구하는 3미터 이하

❍ 큐브형 유니트'

다양한 형태의 부지에서 다양한 주택유형을 구현할 수 있는 도심 주택가에 최적화된 가로, 세로, 높이 각 3미터 이하 박스형 유니트의 개발로 차량이동이 가능한 4미터 내외의 최소 도로 폭 및 협소한 주거 환경에서도 이동/설치가 가능







② b. 그저 작기만 한 게 아닌, 더 나은 디자인, 강소형 모듈러 주택

큐브를 단순하게 작게 만들어 건축물을 만드는 것은 어렵지 않으나, 작은 유니트를 조립식 트랜스포머 방식으로 쉽게 조립 및 분해, 이동 및 재조립이 가능한 최적의 건축성능을 확보하면서 재조립 과정에서 토지형태에 따라 다양한 유형의 형태로 이루어지고, 필요에 따라 공간을 확장시킬 수 있는 시스템을 만드는 것임

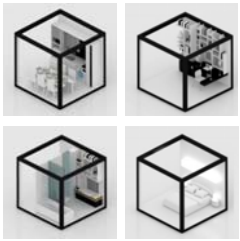




③ 저비용, 고효율, 자원의 효율적인 활용

내진안전성, 화재안전성, 생활쾌적성이 만족된 소형 모듈 큐브주거시스템은 다양한 주택유형에 적용으로 수요확보(대량생산 기반마련)를 통한 저비용 건축물이면서 조립 및 분해가 용이한 조립방식과 빈틈없는 연결부재 개발 등으로 고효율의 건축공간을 제공. 또한 토지를 임대하고 건축물을 별도로 설치하여 토지비와 건축비에 대한 부담을 경감시키고 지역환경 변화에 따른 이동/설치를 통해 자원의 효율적 공간활용이 가능	
	토지주 : 토지임대를 통한 수익확보 (CMA금리 : 약1.8~1.9% 〈 토지임대수익 : 약4%) 건축주 : 토지비 부담 경감 (기존 : 토지비+건축비 〉 소형모듈주거 주거모델 : 건축비) 거주자 : 저렴한 임대료 (주변 임대가의 약 80% 수준)

④ 개발하고자 하는 소형 모듈 큐브 주거시설의 종류

큐브형 단독주택	큐브형 다세대, 연립주택, 기숙사	어린이집, 공공시설	레고식 박스형 유닛
			

(3) 핵심 경쟁 요인

- **상용화 모델의 기본적인 성능은 본 연구를 통하여 모듈러 주택의 내화안전성/ 화재안전성/ 생활쾌적성을 보유하면서 동시에 소형 주거모듈의 조합 특성에 따라 다음과 같은 특징과 장점을 발휘할 수 있음**

① 큐브형 3미터 이하 소형 주거유닛

- 기존 모듈러 유닛방식은 3m x 6m의 유닛을 사용함. 이는 좁은 골목길과 협소한 작업환경이 대부분인 도심 서민주택가에 이동/설치가 어려우며 공간 확장의 제약이 있어 다양한 주택유형에 적용이 어려움. 반면 3미터 이하 소형유닛방식은 대상 토지의 크기나 형태에 크게 관계없이 원하는 주택유형과 디자인 구현이 가능하여 잠재적 수요확보 및 물량확보를 통한 공사비 절감에 유리

② 소형모듈 큐브의 조립공법

- 현장 유닛 조립시 볼트조립 방식을 사용할 경우 볼팅 결합 후 추가로 벽체 및 외부마감 공정이 필요이에 따라 현장 공정이 증가하여 인건비와 추가 공사기간이 소요될

수 있음. 반면, 제시하는 트랜스포머식의 조립방식은 공장에서 미리 제작된 유닛을 현장에서 별도의 조립부분의 벽체 공정 없이 프레임간 조립 가능한 '슬라이딩 락'방식으로 조립하여 일부 외 부마감 공정 외 추가공정이 필요치 않아 비용과 시간을 줄일 수 있음

③ 큐브간의 연결부재 표준화

- 건축물을 구성하는 주요 구조재, 연결부재 등을 표준화된 부재로 제작함으로서 벽체, 바닥, 천정 및 유닛 연결시에도 활용 가능하도록 하여. 유닛생산 및 현장 조립시 각 부재의 로스율 하락에 따른 비용절감과 생산성의 효율화를 통하여. 균일한 품질의 주택을 공급할 수 있음

다) 목표 시장 구조

(1) 목표시장 현황 및 전망

① 목표시장의 정의

- 목표시장은 도심 서민주택가의 5층 이하 단독주택, 다가구, 다세대, 연립주택, 기숙사, 근린생활시설 등의 신축이 필요한 건축사업과 토지임대수익이 필요한 토지주, 토지비 부담이 커 사업추진이 어려운 사업자, 보증금 부담에 임대가 어려운 임차인을 주요 타겟시장으로 설정.
- 서울(97.1%), 경기(99.6%), 제주(99.9%)를 제외한 대부분의 지역에서 주택보급률은 100%이상 형성되어 있지만 실제 주택 수요자가 원하는 주거환경은 여전히 부족한 상태임. 주택산업연구원의 “2020년 주택수요전망”보고서에 따르면 교육환경, 생활편의시설보다 교통환경이 자가 및 임차 수요자에게는 주거지 선정에 더 중요한 요소로 나타남. 또한, 주택 소유자 상당수는 가계자산 비중이 부동산에 편중되어 부동산침체 및 시설 노후화로 지속적인 임대수익 확보의 어려움이 발생
- 특히 도심 주택가의 노후주택을 대상으로 “주거 수요자”와 “노후주택 소유자”의 니즈(Needs)를 융복합화하여 기존 토지활용 및 토지임대 방식을 통한‘소형모듈주거 큐브주거시설’을 추진함으로서 도심재생을 통한 시장형성 및 잠재적 수요확보

② 목표시장의 규모 및 전망

〈 국내외 시장규모 현황 및 전망 (예) 〉

목표시장		연도별 시장규모					
		2010	2011	2012	2015	2020	성장률(%)
공업화 주택	국내시장	427억	1,000억	1,500억	3,800~ 7,500억	1조5천~ 3조5천억	100~300%
	해외시장	5.5조	6조	6.5조	8조	15조	10~30%
	소계	5조 5,427억	6조 1천억	6조 6,500억	8조 7,500억	18조 5천억	

* 출처 : 대한건설정책연구원, 2013년 / 대한건설협회 및 대한건축학회, 2014년

* 산출근거 : 국내시장의 경우 조립식 주택에 대한 사회적 관심증가와 급변하는 통일시대의 북한 주택 대량공급을 고려할 때 매년 50~100%의 성장률을 보이고 있으며 2015년 이후 3~500% 이상의 시장규모 성장을 예상하고 있으며, 해외시장은 영국을 중심으로 영국 건설시장 성장률이 2.1%인데 반해 그 중 매년 조립식 주택에 대한 성장률은 10% 이상 성장 중

라) 수익 확보 전략

(1) 목표 설정의 구체성

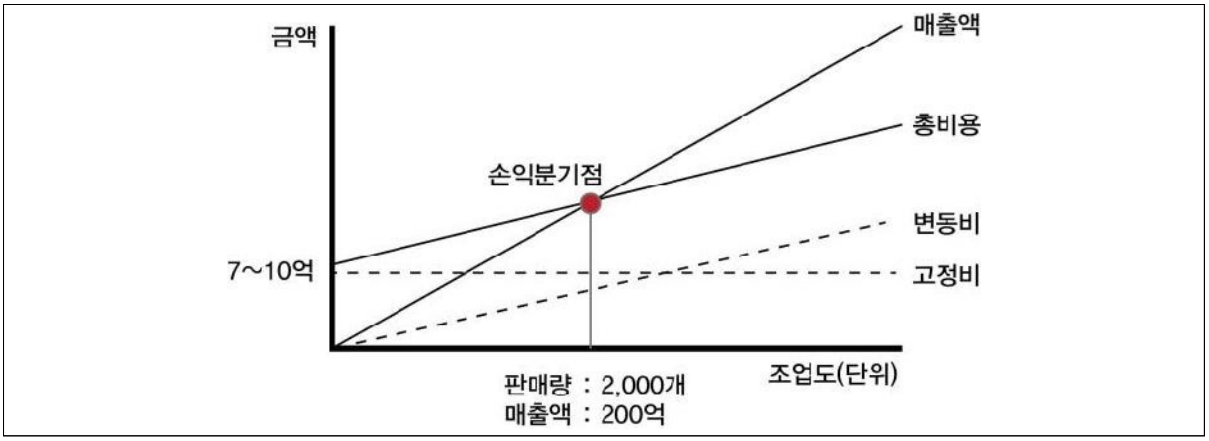
① 수익성 분석(수익전망, 손익분기점 분석 등)

구 분		사 업 화 년 도		
		(2019)년	(2020)년	(2021)년
매출액		10,000,000	20,000,000	30,000,000
매출원가		8,000,000	14,000,000	21,000,000
매출총이익		2,000,000	6,000,000	9,000,000
매출총이익률(%)		20%	30%	30%
판매관리비	인건비	500,000	500,000	500,000
	광고비	26,000	26,000	26,000
	임차료	74,000	74,000	74,000
	기술개발비	100,000	100,000	100,000
판매관리비 합계		700,000	700,000	700,000
영업이익(손실)		1,300,000	5,300,000	8,300,000
영업이익률(%)		13%	26.5%	27.7%

* 산출근거 : 도시형생활주택 40세대 기준 약 100개의 유닛 소요로 약 10억 매출 기대, 제품 출시 이후 도시형 생활주택 기준 약 10채 규모의 건축사업 추진을 전제로 손익 추정, 조립식 주택에 대한 시장 선점을 통해 수요 확보를 통한 매년 100~200% 성장률을 기준으로 산정

② 손익분기점 분석 (예)

- 산출근거 및 수익분석에 사용된 가정(판매건수, 비용추정 등)의 객관성 : 유닛 2,000개 판매시를 전제로 유닛 당 20~30% 이익을 전제로 산정



* 산출근거 : 기술개발, 사용화 및 기업화, 공장설립 등에 약 30억원 규모의 자금투자가 예상되며, 유닛 2,000개 / 도시형생활주택(100개) 기준 20채 건축시 손익분기점 달성

(2) 수익모델

① 비전 : 나는 어떠한 가치를 고객에게 전달할 것 인가?

- Easy & Simple : 모듈러건축의 생산, 조립, 시공 공정의 쉽고 간결한 프로세스
- Low cost, High Quality : 공사비는 저렴하게, 품질은 높게
- Fit service : 고객의 니즈(Needs)를 이해하는 고객 맞춤형 서비스 제공

② b.사업모델

- 건축물의 설계 및 타당성 분석 : BIM설계, CM, VE 등
- 소비자가 만족할 때까지 : 유지 / 관리의 지속적인 지원체계 구축(서비스센터)
- 분야별 전문기업 아웃소싱을 통한 재고물량 최소화
- 지속적인 제품 연구 및 개발을 통해 관련시장 트렌드 선도 기업으로 육성
- 지역 및 국가별 여건에 맞는 현지화를 통해 글로벌 시장 진출기반 마련

③ 주요 고객군

- 서민주택가 내 40~60평 정도의 토지를 소유한 토지주 또는 건축주
- 토지 임대를 통해 사업을 추진하고자 하는 임대사업자
- 국유지 또는 시유지를 활용하여 공공임대주택사업을 시행하고자 하는 정부 또는 지자체
- 섬 또는 산과 같이 자재수급이 어렵고 건축 작업환경이 열악한 토지를 소유한 건축주
- 빠른 철거 및 시공으로 경제적 효과를 희망하는 주택임대사업을 하고자 하는 건축주
- 부스 형태의 소자본 사업을 희망하는 창업 예정자

④ 마케팅 전략(영업, 유통, 광고 전략 등)

❍ 고객과의 관계

- 고객과의 관계 : 건축 기획에서부터 시공 및 유지/관리 전 과정 지원
- 상호작용 : 고객관리 및 사용만족도 조사를 통해 제품의 지속적 개선방안 모색

❍ 고객과는 어떠한 채널로 만날 것인가?

- 온라인 : 소셜네트워크(SNS), 웹사이트, 홈페이지
- 오프라인 : 본사 및 대리점, 샘플하우스, 고객센터

(3) 토지 임대 방식을 통한 다양한 유형의 사업성 검토

① 토지 임대 방식

- 건축사업 투자비 확보가 어려운 토지소유자가 건축주(사업자)에게 일정기간 토지를 임대
- 건축주(사업자)는 사업비를 부담하고 계약 기간동안 임대사업을 통해 초기투자비를 회수하고, 수익의 일부를 토지소유자에게 임대료로 지급
- 계약기간 만료 시 유닛 해체 및 매입, 재사용을 전담하는 서비스센터 별도 운용.
- 재건축시 최초 유닛 재사용으로 초기비용 절감 가능 (최초 건축사업 대비 약 50% 수준)

② 사업성 검토 예시

공공기숙사 (국공유지활용, 토지비부담 X)



구분	
부지위치	서울시 구로구 개봉동 311-2
부지면적	286㎡(86PY)
건축면적	185.09㎡
연면적	583.14㎡
건폐율	57.7% (법정 : 60%)
용적률	196.9% (법정 : 200%)
규모	지상5층
세대수	21세대

구분	품목	규격	수량	단가	금액
건축비	유니트	28세대	69개	950만원	6억5,550만원
	부대비용	기초 운반 조립		3,500만원	3,500만원
	소계				6억9,050만원
수입	월임대소득	2인 1실	56명	23만원	1,288만원 (보증금포함)
	연임대소득	2인 1실	12개월	1,288만원	1억 5,456만원
운영수익	순임대소득				1억 5,456만원
	투자금액			6억9,050만원	6억9,050만원
	연간 수입금액			1억5,456만원	1억5,456만원
	투자 회수기간			4.5년	4.5년





마) 수요처 발굴 및 마케팅전략

- 국내 양산과 동시에 자체 생산한 제품의 매출 확보가 가능할 것으로 예상됨. 이에 서민 주택용 공업화주택 유니트 제작 기술개발이 완료된 후 제품을 출시할 계획을 갖고 있으며, 노후화 주택 및 공공임대 주택을 원하는 수요층이 최우선 수요처(1차)가 될 것으로 예상됨. 이후 내수 판매를 통해 모듈러 주택의 안전성 확보 및 시장의 신뢰를 구축하며 내수시장을 점진적으로 확대해 나감과 동시에 국제시장 진출을 통해 응용 범위와 수요처들을 확대

목표 수요처

수요층	국가 명
도심지의 노후화 주택	대한민국
1~2인가구 및 소규모 가구	대한민국

제품의 주요 잠재 수요처

관련시설	잠재적 수요처	국가 명
교육기관	학교내의 임시시설(교구 보관장소, 실험실 등)	대한민국
임대시설	천재지변등에 따른 이재민 수요처	대한민국

자료: 동사 제시 자료

① 선택과 집중 전략

- 신청사는 하나의 연구를 일회적인 서비스 제공으로 끝내지 않고, 지속적인 연구 확장으로 연구적 범위를 넓힘으로써 시장에서 다른 시장으로 확장 이동하는 전략을 추진
- 그동안 쌓아온 기술 개발을 위한 특허 출원 및 공공기관 과제 제안의 실적을 통해 기술에 대한 신뢰성을 확보하고, 이를 계기로 고객들에게 먼저 시제품 평가 및 시장테스트를 통하여 제품을 홍보하는 전략을 추진

② 대외 홍보 전략

- 연구자들의 교류가 활발한 학회, 기술세미나 및 전시회 등에 전시부스를 추진하여 이를 통한 홍보 마케팅을 실시
- 프로그램을 직접 사용해 볼 수 있도록 프로모션을 실시하는 방법으로, 모듈러 샘플하우스를 이용하여 적극적인 홍보 및 체험으로 한 적극적인 홍보를 통한 맨투맨 영업 그리고 토지주 와의 토지 임대방식으로 통한 협업 임대사업을 판매 전략으로 수립

소형모듈형 큐브 주택 판매 전략

기본 판매전략(전)

▸ 일대일 컨설팅 전략

단계	내 역	활용자료
step1	기업소식 DM/mail 발송	제품홍보
step2	일대일 맞춤컨설팅	분석카다로그
step3	웹을 통한 제품 사후관리	웹서비스

▸ 대외홍보

구분	내 역	활용자료
part1	학회 부스 설치	부스 디자인

판매전략(후)

※ 기 수립한 판매전략을 통해 확보 가능한 거래처
(국립연구소/ 대학교/ 민간기업 연구소) 대상으로 제품 홍보 실시

- 본 연구의 기술개발 종료 후 연차별로 기존 고객들을 타겟으로 설정하고 제품성능 시현과 홍보에 주력하고, 국내외 홍보를 확대 설정하여 대외적인 응용분야까지 진출하고자하는 단계별 계획을 추진

5.
붙임. 참고문헌

5. 붙임. 참고문헌

[1] 임석호, 정준수, 설욱제, 백정훈(2019) 가양 모듈러 실증단지의 MC설계표준화 기준 적용 및 실태조사 연구. 대한건축학회 논문집: 계획계, Vol.35, No.5, pp. 89-94.

[2] 설욱제, 정준수, 임석호(2018) 모듈러 공동주택 POE를 통한 개선점 파악. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.38, No.2, pp. 157-158.

[3] 안화연, 이현민, 장옥연(2015) 모듈러주택의 거주 후 평가(POE) 결과 분석 –공릉동 및 천연동 기숙사를 중심으로 -. 한국생활환경학회지, 제22권, 제6호, pp. 898-911.

[4] 이정목, 장옥연, 김진솔(2014) 거주 후 평가를 통한 모듈러 주택에 대한 인식 및 만족도 연구. 한국주거학회논문집, Vol.25, No.5, pp. 63-71.

[5] 김성재, 양해술(2013) 도시형 생활주택의 거주 후 평가분석 및 활성화 대책. 디지털정책연구, 11(8), pp. 41-52.

[6] 유시은, 양승우(2013) 용도지역에 따른 도시형생활주택의 거주자 특성과 주거만족도 분석. 한국도시설계학회지, 14(4), pp. 83-92.

[7] 이창재, 임석호(2013) 모듈러 건축의 MC 설계 적용에 관한 연구. 생태환경건축, 13(6), pp. 121-128.

[8] 전병주(2013) 공영개발에 의한 이주민의 주거만족도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구. 디지털정책연구, 11(12) pp. 21-28.

[9] 정승우, 박지연, 강부성(2013) 거주성 지표에 따른 아파트와 오피스텔 거주자의 거주 후 평가 비교 연구. 한국주거학회 논문집, 24(2), pp. 53-60.

[10] 왕우철, 이창재, 임석호(2012) 모듈러 공법을 적용한 주택의 계획특성에 관한 연구. 한국주거학회 2012 추계학술발표대회 논문집, 24(2), pp. 195-198.

[11] 정금호(2006) 여수시 사택거주자에 대한 주거평가요소의 만족도와 중요도-성취도 분석. 대한건축학회지, 22(5), pp. 49-56.

[12] 강순주(2010) 아파트 단지 내 커뮤니티 시설의 운영 실태와 거주 후 평가. 한국주거학회 논문집, 21(4), pp. 111-120.

6.
부 록

가. 거주 후 평가 설문지

나. 주요 분석 결과(설문지 결과)

다. 설문조사 코딩 내역

6. 부록

가. 거주 후 평가 설문지

천안두정 행복주택 계획 및 정책수립을 위한
주거만족도 조사

연락처 ( )( )( )

안녕하십니까? KICT(한국건설기술연구원), LH공사, 에스큐빅디자인랩에서는 국토교통과학기술진흥원 국책과제인 「수요자 맞춤형 시스템 주택 기술개발 및 실증단지 구축」의 일환으로 시스템(모듈러) 주택 계획 및 정책을 수립하고자 주거만족도 조사를 실시하고 있습니다.

귀하께서 응답하신 내용은 추후 수요자 맞춤형 시스템(모듈러) 주택 실증단지 구축을 위한 소중한 자료로 활용될 것이오니, 바쁘시더라도 충실히 응답해 주시면 감사하겠습니다. 응답하신 내용은 **통계법 제33조**에 의거 **철저히 익명으로 처리**되며 오직 연구를 위한 자료로만 사용할 것을 약속드립니다. 감사합니다.

2020년 4월

에스큐빅 디자인랩, 30016, 세종특별자치시 조치원 세종로 2639
담당자 : 허준우 (010-9674-2033, packstudio@naver.com)

Ⅰ. 일반사항

성별 ( ) 연령 ( )

현 거주 주소를 동, 호수로 기입 바랍니다. ( )동 ( )호

귀하는 현 주택 입주 전 어떤 주택유형에서 거주하셨습니까?
① 아파트 ② 빌라/다세대 ③ 다가구 ④ 단독주택 ⑤ 오피스텔
⑥ 고시원 ⑦ 기타( )

귀하가 평균적으로 현 주택에서 보내는 시간은 몇 시간 정도입니까?
[주중]
① 5시간 미만 ② 5~7시간 미만 ③ 7~10시간 미만 ④ 10~12시간 미만
⑤ 12시간 이상
[주말]
① 5시간 미만 ② 5~7시간 미만 ③ 7~10시간 미만 ④ 10~12시간 미만
⑤ 12시간 이상

귀하가 평소에 집에서 주로 하는 활동은 무엇입니까?
[주중] ① 휴식 ② 자기개발 ③ 취미생활 ④ 가사 ⑤ 일 ⑥ 기타( )
[주말] ① 휴식 ② 자기개발 ③ 취미생활 ④ 가사 ⑤ 일 ⑥ 기타( )

천안 두정동 행복주택의 전반적인 만족도는 어느정도 입니까?

① 전혀 만족하지 못한다. ② 만족하지 못한다. ③ 보통이다. ④ 만족한다. ⑤ 매우 만족한다.

Ⅱ. 주택 성능 요소

【문1】 환기, 채광, 방음, 진동, 단열 등 전반적인 주택의 성능에 만족하십니까?

① 전혀 만족하지 못한다. ② 만족하지 못한다. ③ 보통이다. ④ 만족한다. ⑤ 매우 만족한다.

【문2】 다음은 주택 성능에 관한 질문입니다. 얼마나 만족하시는지 선택해 주시기 바랍니다.

항목		만족도				
		매우 불만족	불만족	보통	만족	매우 만족
환기	음식물 조리 후 환기가 잘 되는지					
	욕실샤워 후 발생하는 증기가 잘 없어지는지					
기밀	창문, 벽체 통해 바람(외풍)이 들어오는지					
결로	천장, 모서리 등 물이 새는 곳이 없는지					
	(겨울철) 창문에 결로가 발생하는지					
단열	단열 성능은 어떠한지 (따뜻한 정도)					
	(겨울철) 난방 요금이 적정한지					
채광	낮 시간동안 햇볕이 잘 들어오는지					
방음	윗 층 발자국, 가구를 끄는 등의 소음					
	윗 층 핸드폰 벨소리, 음악소리 등의 소음					
	화장실 물 내리는 소리 등의 소음					
	TV 소리 등 옆 세대에서 나는 생활소음					
	외부 도로에서의 차량 경적 등 외부소음					
	복도, 계단실에서 나는 발자국 소리 등의 소음					
	타세대 택배, 음식배달, 친구방문 등의 소음					
진동	세탁기 작동시의 진동(본인세대)					
	세탁기 작동시의 진동(타세대)					
	주방후드 사용으로 인한 진동					

【문3】 주택 성능과 관련한 기타 의견이 있으시면 말씀해 주십시오.

(예) 환기가 잘 안 되는 부분, 결로 발생 위치, 소음 및 진동 발생 위치 및 종류

Ⅲ. 주택 계획 요소

【문4】 주택의 내부 평면 및 시설에 만족하십니까?

① 전혀 만족하지 못한다. ② 만족하지 못한다. ③ 보통이다. ④ 만족한다. ⑤ 매우 만족한다.

【문5】 다음은 주택 계획 요소에 관한 질문입니다. 얼마나 만족하시는지 선택해 주시기 바랍니다.

항목	만족도				
	매우 불만족	불만족	보통	만족	매우 만족
주택 내부 평면(원룸 형태 등)					
내부 실의 규모					
내부 취사시설 및 취사 공간의 규모					
주택의 냉난방 시스템 (개별 난방)					
주택의 외관 디자인(외부 형태, 색채, 마감재 등)					
주택 내부 수납공간					

【문6】 주택 계획 요소와 관련한 기타 의견이 있으시면 말씀해 주십시오.

(예) 주방의 크기 및 시설이 적당한지, 임대료가 상승하더라도 가구 및 가전이 기본적으로 설치되는 것이 좋은지, 개별 주방과 욕실이 필요한지, 평면에서 바꾸고 싶은 부분 등

Ⅳ. 주변 환경 요소

【문7】 현재 주택의 주변 환경에 대해서는 만족하십니까?

① 전혀 만족하지 못한다. ② 만족하지 못한다. ③ 보통이다. ④ 만족한다. ⑤ 매우 만족한다.

【문8】 다음은 주택의 주변 환경에 관한 질문입니다. 얼마나 만족하시는지 선택해 주시기 바랍니다.

항목	만족도				
	매우 불만족	불만족	보통	만족	매우 만족
근린생활시설(음식점, 슈퍼마켓, 쇼핑시설 등)					
대중교통 이용의 편리성					
여가활동시설(영화관, 공원 등)					

【문9】 주택의 주변 환경과 관련한 기타 의견이 있으시면 말씀해 주십시오.

(예) 부족한 시설물은 무엇인지

Ⅴ. 모듈러주택에 대한 인식 및 사전 정보 충족도

※ 모듈러주택이란 공장에서 생산된 모듈을 사용하여 개개의 모듈을 조합, 적층시켜 건립되는 건축물의 생산 및 시공방식을 일컬음

【문10】 현 주택 입주 전 '모듈러주택'에 대해 알고 있었습니까?

① 예.　② 아니오.

【문11】 현재 입주한 천안두정 행복주택이 모듈러주택인지 알고 있었습니까?

① 알고 있었다.　② 모르고 있었다.

【문12】 입주자 모집 공고문에 게재된 '모듈러주택'에 대한 설명이 모듈러주택의 인지 및 이해를 돕는 정보로써 내용이 충분했다고 생각하십니까?

① 예.　② 아니오.　③ 내용을 보지 못했다.

【문13】 모듈러주택에 대한 장점은 어떤 것이라 생각하시는지 우선 순위에 따라 2개를 선택해 주세요. (1순위 :　　2순위 :　　)

① 짧은 공사 기간 ② 건축비 저렴 ③ 입지의 자유로움 ④ 부재 및 부품의 표준화
⑤ 개성있는 외관디자인 ⑥ 안전한 현장시공(대부분의 공정을 공장제작)
⑦ 친환경적 건축물 ⑧ 기타(　　)

【문14】 모듈러주택에 대한 단점은 어떤 것이라 생각하시는지 우선 순위에 따라 2개를 선택해 주세요. (1순위 :　　2순위 :　　)

① 임시주거 건축물 이미지 ② 방음 성능취약 ③ 단열성능 취약 ④ 구조적 불안감
⑤ 획일화된 외관디자인 ⑥ 기타(　　)

Ⅵ. 모듈러주택 발전방향

【문15】 천안두정 행복주택에 앞으로도 거주할 의향이 있으십니까? (혹은 주위사람에게 추천의향이 있으십니까?)

① 예. ② 아니오.

【문15-1】 천안두정 행복주택에 계속적인 거주를 원하지 않는다면 그 이유는 무엇인지 우선순위에 따라 2순위까지 선택해 주세요.

(1순위 : 2순위 :)

① 소음 문제 ② 단열 문제 ③ 진동 문제 ④ 평면 형태 ⑤ 실의 규모 ⑥ 외관디자인 ⑦ 공용시설 ⑧ 관리비 ⑨ 방범시스템 ⑩ 주변 환경 ⑪ 기타( )

【문16】 3~4인 가족 등 일반적인 가족이 생활하는 주택을 모듈러 공법으로 짓는다면 적합할 것으로 생각하십니까?

① 전혀 적합하지 않다. ② 적합하지 않다. ③ 보통이다. ④ 적합하다. ⑤ 매우 적합하다.

【문17】 모듈러주택 공급 확대를 위해 보완해야 할 것은 무엇이라고 생각하시는지 모두 골라주세요.

① 일반주택과 비교 시 특별히 개선될 점 없음 ② 층간소음 등 방음 성능 ③단열 성능 ④ 환기, 채광 등 ⑤ 모듈러 주택에 대한 이미지 ⑥ 관리비 절감
⑦ 외관 디자인 ⑧ 기타( )

나. 주요 분석 결과(설문지 결과)

성별

통계량

성별

N	유효	26
	결측	0

성별

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	여성	14	53.8	53.8	53.8
	남성	12	46.2	46.2	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

연령대

통계량

연령대

N	유효	26
	결측	0

연령대

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	20대	12	46.2	46.2	46.2
	30대	9	34.6	34.6	80.8
	70대	3	11.5	11.5	92.3
	80대	2	7.7	7.7	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

입주 전 거주유형

통계량

전거주유형

N	유효	26
	결측	0

전거주유형

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	아파트	9	34.6	34.6	34.6
	빌라다세대	3	11.5	11.5	46.2
	다가구	5	19.2	19.2	65.4
	단독주택	3	11.5	11.5	76.9
	오피스텔	4	15.4	15.4	92.3
	기타	2	7.7	7.7	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주중 체류시간

빈도표

주중체류시간

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	5시간미만	2	7.7	7.7	7.7
	5~7시간미만	2	7.7	7.7	15.4
	7~10시간미만	6	23.1	23.1	38.5
	10~12시간미만	10	38.5	38.5	76.9
	12시간이상	6	23.1	23.1	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주말 체류시간

주말체류시간

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	5시간미만	1	3.8	3.8	3.8
	5~7시간미만	2	7.7	7.7	11.5
	7~10시간미만	1	3.8	3.8	15.4
	10~12시간미만	9	34.6	34.6	50.0
	12시간미만	13	50.0	50.0	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주중 체류활동

주중활동_휴식

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	4	15.4	15.4	15.4
	휴식	22	84.6	84.6	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주중활동_자기개발

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	20	76.9	76.9	76.9
	자기개발	6	23.1	23.1	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주중활동_취미생활

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	22	84.6	84.6	84.6
	취미생활	4	15.4	15.4	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주중활동_가사

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	21	80.8	80.8	80.8
	가사	5	19.2	19.2	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주중활동_일

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	25	96.2	96.2	96.2
	일	1	3.8	3.8	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주말 체류활동

주말활동_휴식

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	9	34.6	34.6	34.6
	휴식	17	65.4	65.4	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주말활동_자기개발

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	21	80.8	80.8	80.8
	자기개발	5	19.2	19.2	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주말활동_취미생활

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	19	73.1	73.1	73.1
	취미생활	7	26.9	26.9	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주말활동_가사

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	20	76.9	76.9	76.9
	가사	6	23.1	23.1	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주말활동_일

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	20	76.9	76.9	76.9
	일	6	23.1	23.1	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

입주 전 모듈러주택 인지도 / 입주 후 모듈러 인지도 / 정보 충분도

입주전모듈러인지

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	예, 알고 있다.	13	50.0	50.0	50.0
	아니오, 모른다.	13	50.0	50.0	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

입주후모듈러인지

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	알고 있었다.	16	61.5	61.5	61.5
	모르고 있었다.	10	38.5	38.5	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

정보충분도

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	예, 충분하다.	13	50.0	50.0	50.0
	아니오, 충분하지 못하다.	1	3.8	3.8	53.8
	내용을 보지 못했다.	12	46.2	46.2	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

모듈러주택 장점

장점1순위

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	짧은 공사 기간	16	61.5	61.5	61.5
	건축비 저렴	3	11.5	11.5	73.1
	입지의 자유로움	3	11.5	11.5	84.6
	안전한 현장시공	3	11.5	11.5	96.2
	기타	1	3.8	3.8	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

장점2순위

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	짧은 공사 기간	2	7.7	7.7	7.7
	건축비 저렴	8	30.8	30.8	38.5
	입지의 자유로움	3	11.5	11.5	50.0
	부재 및 부품의 표준화	3	11.5	11.5	61.5
	개성있는 외관디자인	4	15.4	15.4	76.9
	안전한 현장시공	2	7.7	7.7	84.6
	친환경적 건축물	3	11.5	11.5	96.2
	기타	1	3.8	3.8	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

모듈러주택 단점

단점1순위

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	임시주거 건축물 이미지	4	15.4	15.4	15.4
	방음 성능 취약	14	53.8	53.8	69.2
	단열 성능 취약	4	15.4	15.4	84.6
	획일화된 외관디자인	1	3.8	3.8	88.5
	기타	3	11.5	11.5	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

단점2순위

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	임시주거 건축물 이미지	5	19.2	19.2	19.2
	방음 성능 취약	4	15.4	15.4	34.6
	단열 성능 취약	9	34.6	34.6	69.2
	구조적 불안감	6	23.1	23.1	92.3
	기타	2	7.7	7.7	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

향후 거주의향

통계량

향후거주의향

N	유효	26
	결측	0

향후거주의향

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	예, 거주 의향이 있다.	21	80.8	80.8	80.8
	아니오, 거주 의향이 없다.	5	19.2	19.2	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

불만사항

불만1순위

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	21	80.8	80.8	80.8
	소음 문제	1	3.8	3.8	84.6
	평면 형태	1	3.8	3.8	88.5
	실의 규모	3	11.5	11.5	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

불만2순위

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	21	80.8	80.8	80.8
	소음 문제	1	3.8	3.8	84.6
	실의 규모	2	7.7	7.7	92.3
	관리비	1	3.8	3.8	96.2
	주변환경	1	3.8	3.8	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

3~4인 가족 모듈러공법 적합도

모듈러적합도

N	유효	26
	결측	0

모듈러적합도

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	전혀 적합하지 않다.	4	15.4	15.4	15.4
	적합하지 않다.	4	15.4	15.4	30.8
	보통이다.	15	57.7	57.7	88.5
	적합하다.	2	7.7	7.7	96.2
	매우 적합하다.	1	3.8	3.8	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

모듈러주택 보완할 점

보완_개선사항없음

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	19	73.1	73.1	73.1
	해당	7	26.9	26.9	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

보완_방음성능

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	12	46.2	46.2	46.2
	해당	14	53.8	53.8	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

보완_단열성능

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	19	73.1	73.1	73.1
	해당	7	26.9	26.9	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

보완_환기채광

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	18	69.2	69.2	69.2
	해당	8	30.8	30.8	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

보완_모듈러이미지

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	19	73.1	73.1	73.1
	해당	7	26.9	26.9	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

보완_관리비절감

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	15	57.7	57.7	57.7
	해당	11	42.3	42.3	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

보완_외관디자인

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	26	100.0	100.0	100.0

보완_기타

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	해당없음	22	84.6	84.6	84.6
	해당	4	15.4	15.4	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주거성능

		성능만족도	음식물환기	욕실환기	기밀	누수결로	창문결로	단열성능	난방요금
N	유효	26	26	26	26	26	26	26	26
	결측	0	0	0	0	0	0	0	0
평균		3.38	3.35	3.54	3.65	4.23	4.08	3.38	3.27
평균의 표준오차		.185	.175	.186	.200	.115	.135	.242	.189
표준편차		.941	.892	.948	1.018	.587	.688	1.235	.962
분산		.886	.795	.898	1.035	.345	.474	1.526	.925

채광	발자국소음	음악소음	화장실소음	TV소음	외부소음	복도소음	타세대소음	본인진동	타세대진동	후드진동
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.81	3.62	3.69	3.69	3.19	3.54	2.85	3.23	3.96	3.92	3.77
.200	.215	.240	.198	.242	.169	.246	.231	.141	.135	.169
1.021	1.098	1.225	1.011	1.234	.859	1.255	1.177	.720	.688	.863
1.042	1.206	1.502	1.022	1.522	.738	1.575	1.385	.518	.474	.745

주택계획

통계량

		평면만족도	내부평면만족도	내부규모만족도	취사규모만족도	개별난방만족도	외관디자인만족도	수납공간만족도
N	유효	26	26	26	26	26	26	26
	결측	0	0	0	0	0	0	0
평균		3.50	3.46	3.27	3.31	4.08	4.08	3.04
평균의 표준오차		.186	.177	.232	.198	.166	.135	.225
표준편차		.949	.905	1.185	1.011	.845	.688	1.148
분산		.900	.818	1.405	1.022	.714	.474	1.318

주변환경

통계량

		환경만족도	근생시설만족도	대중교통만족도	여가시설만족도
N	유효	26	26	26	26
	결측	0	0	0	0
평균		3.88	4.04	3.58	3.31
평균의 표준오차		.187	.130	.149	.173
표준편차		.952	.662	.758	.884
분산		.906	.438	.574	.782

주거성능 만족도

성능만족도

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	만족하지 못한다.	5	19.2	19.2	19.2
	보통이다.	9	34.6	34.6	53.8
	만족한다.	9	34.6	34.6	88.5
	매우 만족한다.	3	11.5	11.5	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주택계획 요소 만족도

평면만족도

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	만족하지 못한다.	4	15.4	15.4	15.4
	보통이나.	9	34.6	34.6	50.0
	만족한다.	9	34.6	34.6	84.6
	매우 만족한다.	4	15.4	15.4	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주변환경 요소 만족도

환경만족도

		빈도	퍼센트	유효 퍼센트	누적퍼센트
유효	전혀 만족하지 못한다.	1	3.8	3.8	3.8
	만족하지 못한다.	1	3.8	3.8	7.7
	보통이다.	4	15.4	15.4	23.1
	만족한다.	14	53.8	53.8	76.9
	매우 만족한다.	6	23.1	23.1	100.0
	합계	26	100.0	100.0	

주거성능 요소 신뢰도분석

케이스 처리 요약

		N	%
케이스	유효	26	100.0
	제외됨[a]	0	.0
	합계	26	100.0

a. 목록별 삭제는 프로시저의 모든 변수를 기준으로 합니다.

신뢰도 통계량

Cronbach의 알파	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	항목 수
.913	.916	19

항목 총계 통계량

	항목이 삭제된 경우 척도 평균	항목이 삭제된 경우 척도 분산	수정된 항목-전체 상관관계	제곱 다중 상관관계	항목이 삭제된 경우 Cronbach 알파
성능만족도	64.77	121.865	.729	.896	.905
음식물환기	64.81	123.522	.685	.954	.906
욕실환기	64.62	130.326	.308	.821	.915
기밀	64.50	129.540	.316	.820	.915
누수결로	63.92	132.714	.358	.787	.913
창문결로	64.08	131.434	.379	.838	.913
단열성능	64.77	121.145	.560	.886	.909
난방요금	64.88	125.146	.550	.912	.909
채광	64.35	127.835	.391	.735	.913
발자국소음	64.54	120.818	.657	.954	.906
음악소음	64.46	118.498	.671	.977	.906
화장실소음	64.46	123.458	.597	.932	.908
TV소음	64.96	118.678	.658	.935	.906
외부소음	64.62	124.006	.687	.918	.906
복도소음	65.31	116.702	.723	.944	.904
타세대소음	64.92	117.914	.728	.936	.904
본인진동	64.19	125.522	.735	.896	.906
타세대진동	64.23	125.625	.765	.953	.906
후드진동	64.38	128.086	.464	.824	.911

주택계획 요소 신뢰도분석

신뢰도 통계량

Cronbach의 알파	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	항목 수
.853	.857	7

항목 통계량

	평균	표준편차	N
평면만족도	3.50	.949	26
내부평면만족도	3.46	.905	26
내부규모만족도	3.27	1.185	26
취사규모민족도	3.31	1.011	26
개별난방만족도	4.08	.845	26
외관디자인만족도	4.08	.688	26
수납공간만족도	3.04	1.148	26

항목 총계 통계량

	항목이 삭제된 경우 척도 평균	항목이 삭제된 경우 척도 분산	수정된 항목-전체 상관관계	제곱 다중 상관관계	항목이 삭제된 경우 Cronbach 알파
평면만족도	21.23	18.105	.713	.534	.819
내부평면만족도	21.27	18.045	.768	.648	.812
내부규모만족도	21.46	16.258	.743	.619	.813
취사규모만족도	21.42	18.094	.657	.458	.827
개별난방만족도	20.65	19.995	.537	.396	.844
외관디자인만족도	20.65	21.355	.461	.395	.853
수납공간만족도	21.69	18.622	.487	.351	.856

주변환경 요소 신뢰도분석

신뢰도 통계량

Cronbach의 알파	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	항목 수
.798	.816	4

항목 통계량

	평균	표준편차	N
환경만족도	3.88	.952	26
근생시설만족도	4.04	.662	26
대중교통만족도	3.58	.758	26
여가시설만족도	3.31	.884	26

항목 총계 통계량

	항목이 삭제된 경우 척도 평균	항목이 삭제된 경우 척도 분산	수정된 항목-전체 상관관계	제곱 다중 상관관계	항목이 삭제된 경우 Cronbach 알파
환경만족도	10.92	3.914	.505	.474	.812
근생시설만족도	10.77	4.425	.667	.474	.733
대중교통만족도	11.23	3.705	.838	.703	.639
여가시설만족도	11.50	4.100	.514	.458	.798

전체 주거만족도 신뢰도 분석

신뢰도 통계량

Cronbach의 알파	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	항목 수
.792	.792	3

항목 통계량

	평균	표준편차	N
성능만족도	3.38	.941	26
평면만족도	3.50	.949	26
환경만족도	3.88	.952	26

항목 총계 통계량

	항목이 삭제된 경우 척도 평균	항목이 삭제된 경우 척도 분산	수정된 항목-전체 상관관계	제곱 다중 상관관계	항목이 삭제된 경우 Cronbach 알파
성능만족도	7.38	2.806	.638	.409	.713
평면만족도	7.27	2.765	.647	.419	.703
환경만족도	6.88	2.826	.616	.380	.736

주거성능 요소 중요도

모형 요약[d]

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차	통계량 변화량					Durbin-Watson
					R 제곱 변화량	F 변화량	df1	df2	유의확률 F 변화량	
1	.729[a]	.532	.512	.657	.532	27.247	1	24	.000	
2	.805[b]	.648	.618	.582	.116	7.615	1	23	.011	
3	.875[c]	.766	.734	.485	.118	11.087	1	22	.003	2.022

a. 예측값: (상수), 복도소음

b. 예측값: (상수), 복도소음, 외부소음

c. 예측값: (상수), 복도소음, 외부소음, 채광

d. 종속변수: 성능만족도

계수[a]

모형		비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간		공선성 통계량	
		B	표준오차	베타			하한값	상한값	공차	VIF
1	(상수)	1.828	.325		5.627	.000	1.158	2.499		
	복도소음	.547	.105	.729	5.220	.000	.331	.763	1.000	1.000
2	(상수)	.723	.493		1.467	.156	-.297	1.743		
	복도소음	.389	.109	.519	3.570	.002	.164	.614	.724	1.380
	외부소음	.439	.159	.401	2.760	.011	.110	.769	.724	1.380
3	(상수)	-.255	.505		-.504	.619	-1.302	.793		
	복도소음	.236	.102	.315	2.321	.030	.025	.447	.577	1.732
	외부소음	.443	.133	.405	3.339	.003	.168	.718	.724	1.380
	채광	.367	.110	.398	3.330	.003	.139	.596	.743	1.346

a. 종속변수: 성능만족도

주택 계획 요소 중요도

모형 요약[b]

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차	통계량 변화량					Durbin-Watson
					R 제곱 변화량	F 변화량	df1	df2	유의확률 F 변화량	
1	.652[a]	.426	.402	.734	.426	17.792	1	24	.000	2.114

a. 예측값: (상수), 내부평면만족도

b. 종속변수: 평면만족도

계수[a]

모형		비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간		공선성 통계량	
		B	표준오차	베타			하한값	상한값	공차	VIF
1	(상수)	1.132	.580		1.952	.063	-.065	2.328		
	내부평면만족도	.684	.162	.652	4.218	.000	.349	1.019	1.000	1.000

a. 종속변수: 평면만족도

주변환경 요소 중요도

모형 요약[b]

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차	통계량 변화량					Durbin-Watson
					R 제곱 변화량	F 변화량	df1	df2	유의확률 F 변화량	
1	.651[a]	.423	.399	.738	.423	17.625	1	24	.000	2.126

a. 예측값: (상수), 대중교통만족도

b. 종속변수: 환경만족도

계수[a]

모형		비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간		공선성 통계량	
		B	표준오차	베타			하한값	상한값	공차	VIF
1	(상수)	.960	.712		1.349	.190	-.509	2.428		
	대중교통만족도	.818	.195	.651	4.198	.000	.416	1.220	1.000	1.000

a. 종속변수: 환경만족도

다. 설문조사 코딩 내역

1. 거주 후 평가 설문지일반사항

구분	전반적 만족도	성별	연령	연령대	동	호	전 거주 유형	주중 체류 시간	주말 체류 시간	주중체류활동					주말체류활동				
1	4	0	23	1	101	205	2	5	5	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
2	2	0	20	1	101	206	1	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	3	1	35	2	101	208	일	4	5	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
4	3	1	28	1	101	303	1	4	4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
5	4	1	32	2	101	305	1	3	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	3	0	23	1	101	306	4	5	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
7	3	0	21	1	101	307	1	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	5	0	33	2	101	308	3	4	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	5	1	72	3	101	401	3	4	4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
10	3	0	28	1	101	403	3	4	5	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
11	5	1	32	2	101	405	5	4	5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	4	1	36	2	101	406	1	4	4	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13	2	0	25	1	101	408	4	4	5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
14	2	0	81	4	101	501	1	5	5	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
15	4	1	72	3	101	502	4	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	4	1	36	2	101	503	3	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
17	3	0	24	1	101	504	5	2	5	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
18	3	0	20	1	101	505	1	3	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	3	1	33	2	101	506	5	4	5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
20	5	0	24	1	101	508	7	3	4	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
21	4	0	83	4	101	601	1	5	5	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
22	4	1	30	2	101	602	칠	3	5	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
23	2	0	72	3	101	603	3	5	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
24	3	1	37	2	101	604	5	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
25	4	0	23	1	101	606	2	5	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
26	3	1	29	1	101	607	2	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0

2. 거주 후 평가 설문지 – 주거 성능 요소

구분	성능 만족도	음식물 환기	욕실 환기	기밀	누수 결로	창문 결로	단열 성능	난방 요금	채광	발자국 소음	음악 소음	화장실 소음	TV 소음	외부 소음	복도 소음	타세대 소음	본인 진동	타세대 진동	후드 진동
1	4	3	4	5	4	4	3	3	5	3	3	3	4	3	3	3	4	4	2
2	2	3	4	4	4	4	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3
3	2	2	2	2	4	4	2	2	1	2	3	3	3	3	2	3	4	4	4
4	3	3	4	3	5	4	2	3	3	2	2	2	2	4	2	2	3	3	3
5	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4
6	3	3	4	3	5	4	2	3	4	3	1	3	2	2	1	1	3	3	3
7	3	2	2	2	4	4	2	2	5	3	4	5	5	3	3	4	4	4	4
8	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
9	5	5	2	1	4	4	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	3	3	4	4	4	4	3	2	3	4	4	4	2	4	1	3	4	4	4
11	5	4	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
12	4	3	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5
13	2	3	4	4	4	4	5	4	3	5	5	5	4	3	2	5	4	4	4
14	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	3
15	4	5	3	5	5	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5	4
16	3	3	4	4	5	5	4	4	4	3	4	4	2	4	2	2	4	4	4
17	3	4	3	4	4	2	4	2	4	4	5	4	1	4	3	3	4	4	4
18	2	2	2	3	4	4	2	3	2	5	5	5	2	3	1	1	4	3	4
19	2	3	4	4	4	4	2	2	3	3	3	3	2	3	2	3	4	4	4
20	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
21	4	4	4	4	4	4	4	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
22	4	3	3	4	4	5	4	4	4	5	5	4	4	4	3	4	3	4	5
23	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	4	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
25	4	5	3	5	5	3	5	3	4	4	4	4	3	5	2	3	5	5	5
26	3	3	2	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3

3. 거주 후 평가 설문지 – 주택 계획 요소 및 주변 환경 요소

구분	평면 만족도	내부 평면	내부 규모	취사 규모	개별 난방	외관 디자인	수납 공간	환경 만족도	근생 시설	대중 교통	여가 시설
1	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3
2	4	3	3	2	4	3	3	4	4	3	3
3	3	3	2	3	3	4	2	4	4	4	4
4	3	3	3	4	4	4	1	4	4	3	2
5	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4
6	3	3	4	2	4	4	2	3	3	3	3
7	4	3	3	3	3	3	2	4	4	3	3
8	5	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3
10	3	3	3	4	2	4	4	3	3	3	2
11	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5
12	3	3	1	3	5	5	1	5	5	5	5
13	3	3	4	4	5	5	3	1	5	3	4
14	2	2	2	3	4	3	2	3	3	3	3
15	4	5	5	4	5	5	3	5	4	3	3
16	4	3	2	4	5	4	4	4	5	4	4
17	3	4	4	4	5	3	4	4	4	3	2
18	4	4	3	2	5	5	2	4	4	4	2
19	2	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4
20	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
21	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4
22	4	2	4	3	4	4	5	4	4	3	2
23	2	2	1	2	3	4	2	2	3	2	3
24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
25	4	4	2	2	4	4	4	5	5	5	4
26	2	3	2	2	3	4	2	4	4	4	3

4. 거주 후 평가 설문지 – 모듈러주택에 대한 인식 및 발전방향-1

구분	전 모듈 러인지	후 모듈 러인지	정보 충 족도	장점 1순 위	장점 2순 위	단점 1순 위	단점 2순 위	향후거주 의향	불만 1순 위	불만 2순 위
1	2	2	3	1	2	3	2	1	0	0
2	1	1	3	1	2	2	3	1	0	0
3	1	1	1	2	1	2	3	1	0	0
4	2	2	3	1	2	3	2	1	0	0
5	1	1	1	1	2	2	1	1	0	0
6	1	2	3	2	1	2	3	1	0	0
7	2	2	3	2	5	2	1	1	0	0
8	1	1	1	1	5	2	3	1	0	0
9	1	1	1	3	4	2	3	1	0	0
10	2	1	3	1	4	3	6	2	5	8
11	2	2	3	3	2	5	1	1	0	0
12	1	1	1	1	6	2	3	2	5	1
13	1	1	1	1	3	2	3	1	0	0
14	1	1	2	1	5	6	4	2	4	5
15	1	1	1	1	5	3	4	1	0	0
16	2	1	1	1	6	2	4	1	0	0
17	2	1	1	1	3	1	2	1	11	1
18	1	1	1	6	7	2	4	1	0	0
19	2	2	3	6	4	2	1	1	0	0
20	1	1	1	6	7	2	1	1	0	0
21	2	2	3	1	2	1	3	1	0	0
22	2	2	3	1	3	1	2	1	4	7
23	2	2	3	8	8	6	6	2	5	10
24	2	2	3	3	7	1	4	1	0	0
25	1	1	1	1	2	6	4	1	5	1
26	2	1	1	1	2	2	3	2	1	5

5. 거주 후 평가 설문지 – 모듈러주택에 대한 인식 및 발전방향-2

구분	모듈러 적합도	보완 사항1	보완 사항2	보완 사항3	보완 사항4	보완 사항5	보완 사항6	보완 사항7	보완 사항8	설문지_ 문3	설문지_ 문4	설문지_ 문9
1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
3	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
5	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7	3	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
8	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
11	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
15	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
17	2	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
18	3	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
19	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
20	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
21	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
22	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
24	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
26	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0