보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

R&D / 17CTAP-C129718-01

1톤 미만 경량·구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구 -LMC 시스템 개발-

2019. 03. 11.

주관연구기관 / 충북대학교 산학협력단
공동연구기관 / 한국건설생활환경시험연구원
/ ㈜엑시아머티리얼스

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

1톤 미만 경량·구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구 R&D Report

제 출 문

국토교통부(국토교통과학기술진흥원장) 장관 귀하

'1톤 미만 경량·구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구'(연구개발 기간 : 2017. 04. 01 ~ 2018. 12. 31) 과제의 최종보고서(보완) 2부를 제출합니다.

2019 . 03 . 11 .

주관연구기관명 : 충북대학교 산학협력단 (대표자) 최 상 훈 (인)
공동연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원 (대표자) 윤 갑 석 (인)
: ㈜ 엑시아머티리얼스 (대표자) 진 양 석 (인)

주관연구기관책임자: 충북대학교 산학협력단 이병연 교 수
공동연구기관책임자: 한국건설생활환경시험연구원 이원학 선임연구원
: ㈜엑시아머티리얼스 조영준 책임연구원

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17CTAP-C129718-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2차년도
2018.01.01 ~
2018.12.31</td><td>단계구분</td><td>2/2</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="5">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="5">1톤 미만 경량・구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이병연</td><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 17 명
내부: 17 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 370,000천원
기업: 123,333천원
계: 493,333천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 17 명
내부: 17 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 370,000천원
기업: 123,333천원
계: 493,333천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">충북대학교 산학협력단/
한국건설생활환경시험연구원/
㈜엑시아머티리얼스</td><td colspan="2">참여기업명:</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명: (해당없음)</td><td colspan="2">상대국 연구기관명: (해당없음)</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: (해당없음)</td><td colspan="2">연구책임자: (해당없음)</td></tr>
</table>

요약문

연구의 목적 및 내용	구조일체형 다기능성 경량 복합 패널과 재난대응 주거시스템에 적용할 필수가구 및 설비가 일체화된 시스템(Compact Trasnformable Station)을 개발하여 전용 설계 기법으로 1톤 미만의 경량·구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템(Lite Multi Cube) 개발을 목표로 연구내용은 아래와 같다. 1. 재난대응 LMC 주거시스템 설계기법 개발 - 연구개발된 기술이 집합된 LMC 주거시스템의 계획 및 설계 - 주요 접합부 설계기법 및 보관관리 유형 개발 2. 재난대응 LMC 주거시스템 구조성능지표 개발 - 경량패널이 적용된 주거시스템의 부재 및 접합부의 구조성능 평가 - 재난임시주거에 적용할 수 있는 구조성능지표 개발 3. 재난대응 Compact Transformable Station 개발 - 접이식 기법을 활용하여 필요에 따라 가구 및 설비를 사용할 수 있는 일체화 시스템 개발 - 고정식 가구 및 설비대비 2배 이상 공간활용 가능한 일체화 가구 및 설비 시스템 4. 기능성 복합패널 및 주거시스템 목업 개발 - 구조일체형으로 별도의 철제 프레임 없이 건축물에 적용가능한 기능성 복합패널을 개발, 단기간에 설치할 수 있는 주거시스템 및 시공가이드라인 개발
연구개발성과	▮경량구호주거(재난임시조립식주택) 시스템과 설계기법 (국내논문 1편, 보고서 2식 외) - 구호주거 성능지표 개발 - LMC 주거시스템 표준모델 및 활용 확산 모델 개발 설계 - 접합부 개발 및 적용 설계도서 개발 ▮재난대응 LMC 시스템 구조성능지표 (등재논문 3편, 성능시험 4시험성적서 1건 외) - 일반패널, 개구부 포함 패널 분포암강도, 면내전단 분석 - 경량복합패널 유닛 ▮재난대응 Compact Transformable Station (특허출원 1건, 등재 논문 1 건 외) - 대공간용 재난대응 CTS 유닛 설계 - 임시 주거용 조립주택용 CTS 유닛 설계 - 재난대응 임시주거 비즈니스모델(조달제품 등록 등) 개발 ▮기능성 복합패널 및 시공시스템 (특허출원 1건, 시제품(접합부 시험 총 6 유형, 유닛 구조 성능 분석 목업 3개동, 환경성능 평가용 목업 1개동 제작 외) - 복합패널 구성소재 최적화 - 대면적 복합패널 제조시스템 확립 - 환경성능 확보 접합부 생산 시공 체계 구축
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	(재난대응)비상시 신속안전하게 대응하여 이재민의 2차 피해 방지 (기술력확보)관련 공간계획기법 및 시공기술 개발로 원천기술 축적 (높은활용성)유휴시 국가행사의 이벤트하우스 등으로 다양한 활용가능 (비지니스모델)조달제품 모색, 해외 현지 생산 국내 자재 기술제공 협력 모델 개발

국문핵심어 (5개 이내)	경량형 조립식주택	구조일체형 주거시스템	재난대응 주거시스템	다목적 가구시스템	고속시공 주거시스템
영문핵심어 (5개 이내)	Lightweight Prefab House	Structure Integrated House System	Refuge House	Multi Functional Furniture System	Rapid House Construction

〈 목 차 〉

제 1장. 연구개발과제의 개요 ····· 11

제 1절. 연구개발 목적

제 2절. 연구개발의 필요성

제 3절. 연구개발 내용

제 2장. 국내외 기술 개발 현황 ····· 19

제 1절. 구호주거시설 기술개발 현황

제 2절. 구호주거 성능지표(성능가이드) 관련

제 3절. 복합경량패널 구조성능평가 관련

제 4절. 공간활용 가구 및 설비 시스템

제 5절. 경량화 복합패널 관련 개발현황

제 3장. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 36

제 1절. 구호주거 성능지표 개발

1. 선행연구 고찰

2. 구호주거 성능지표 체계 개발

3. 구호주거 성능지표 중요도 분석

제 2절. LMC 시스템 개발

1. LMC 주거시스템 계획

2. LMC 주거시스템 접합부 공법 개발

3. LMC 주거시스템 설계대안 개발

4. 재난대응 LMC 주거시스템 표준 및 확장모델 개발

5. LMC 주거시스템 적치 및 조립 시스템 개발

6. 재난대응 LMC 주거시스템 환경성능 가상평가

제 3절. 재난대응 LMC 구조성능평가

1. 경량복합패널에 대한 구조성능 평가 - 분포압 강도

2. 경량복합패널에 대한 구조성능 평가 - 면내 전단 강도

3. 경량복합패널에 대한 구조성능 평가 - 시스템 성능(접합부)

4. 경량복합패널 적용 구호주거의 구조설계 및 구조안전성 평가방안
제 4절. 재난대응 CTS 컨셉 디자인 설계
1. 재난대응 주거 필수 가구 및 규모 산정
2. 재난대응 소요 설비 용량 산정
3. 재난대응 Compact Transformable Station 컨셉 설계
4. 재난대응 Compact Transformable Station 컨셉 디자인 설계
5. 재난대응 Compact Transformable Station 유닛 설계 및 자재·재질 선정
6. 재난대응 Compact Transformable Station 기본 설계 및 Mock-up 설계
7. 재난대응 Compact Transformable Station Mock-up 현장적용 및 작동성 평가
제 5절. 경량패널 구성소재 최적화
1. 복합패널 구성소재 최적화
2. 복합경량패널 제조
3. 복합패널 접합부 연구
4. 기초/바닥용 패널 시스템 제작 및 성능 평가
5. 기능성 내화 소재 개발
6. 구난용 창호 구조 제작 및 성능 평가
7. 구조일체형 주거시스템 목업 제작 및 설치
8. 주거시스템 목업 성능 평가
9. 신속 시공 가이드라인 제작 및 매뉴얼화
10. 복합경량패널 사업화 모델 및 추진 현황

제 4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도 ····· 278
제 1절. 목표 달성도
제 2절. 관련분야 기여도

제 5장. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 279
제 1절. 최종성과물 활용방안

붙임. 참고문헌 ····· 281

<표 차례>

표 1. 구호주거시설 사용 현황 ····· 22
표 2. 구호주거시설 연구 동향(관련논문) ····· 24
표 3. 국외 구호주거시설 사용 현황 ····· 25
표 4. 2015 재해구호계획 수립 지침 중 ····· 27
표 5. UNHCR Emergency handbook, Shelter solutions ····· 30
표 6. 복합패널과 기존 샌드위치 패널의 차이점 ····· 41
표 7. 재난대응 구호주거 성능지표 개발을 위한 기초연구 요약 ····· 43
표 8. Review of prior studies ····· 43
표 9. Performance factors selected by prior studies ····· 45
표 10. Primary Post-disaster Refugees Housing Performance Index system ····· 46
표 11. Post-disaster Refugees Housing Performance Index system ····· 46
표 12. Secondary Post-disaster Refugees Housing Performance Index system ····· 48
표 13. Hierarchy system of Secondary Post-disaster Refugees Housing Performance Index ···· 51
표 14. Result of AHP ····· 52
표 15. Final Post-disaster Refugees Housing Performance Index ····· 55
표 16. 일반적인 재난 지역 주거대책 절차 ····· 56
표 17. 인원수별 면적 기준 비교(주택법, UNHCR Emergency Handbook) ····· 56
표 18. 평면 구성 A ····· 58
표 19. 평면구성 B ····· 59
표 20. 평면구성 C ····· 60
표 21. 접합 유형별 장단점(에너지, 구조, 생산, 시공 성능 측면에서) ····· 61
표 22. 구성부재 규격화 목록표-1 ····· 149
표 23. 구성부재 규격화 목록표-2 ····· 150
표 24. 시뮬레이션 모델링 및 평면도 ····· 155
표 25. 시뮬레이션 기본 설정(건물 개요, 실내설정, 구조물성치, HVAC) ····· 155
표 26. 유형별 실내설정 ····· 156
표 27. Annual energy consumption ····· 156
표 28. ASHRAE55 90% Acceptability limits ····· 157
표 29. ASHRAE55 90% Acceptability limits (except, BATH) ····· 159
표 30. ASHRAE55 90% Acceptability limits (except, BATH) ····· 159
표 31. Input Range of Control Variables ····· 162
표 32. 경량 복합패널 구성 재료 물성 ····· 166
표 33. 분포압 강도 실험체 규격 ····· 167
표 34. 예상 파괴하중과 중앙부 예상 변위 ····· 171
표 35. TL-12-150 실험 결과 ····· 173
표 36. TL-14-150 실험 결과 ····· 174
표 37. TL-16-150 실험 결과 ····· 175
표 38. TL-12-200 실험 결과 ····· 177
표 39. TL-14-200 실험 결과 ····· 179
표 40. TL-16-200 실험 결과 ····· 181
표 41. 분포압 강도 실험 종합 결과 ····· 182
표 42. 최대하중에서 경계면 전단응력 ····· 184

표 43. 실험 변수 ····· 187
표 44. 실험체 예상 강성 ····· 192
표 45. Allowable shear stress ····· 201
표 46. 실험체별 횡하중 ····· 214
표 47. 재해지역 주거대책 절차 ····· 218
표 48. 국가별 지해지역 구호대책 규정 요약 ····· 219
표 49. 자재 및 재질의 특성 ····· 232
표 50. 단열재 열특성 ····· 244
표 51. 복합소재 시트의 물성 ····· 246
표 52. 3 종류 패널 시험 결과 ····· 250

<그림 차례>

그림 1. 핵심 키워드 동향 ····· 23
그림 2. 발행연도 ····· 23
그림 3. KS F 2273 축 방향 압축 시험 ····· 31
그림 4. KS F 2273 단순 굽힘 시험 ····· 32
그림 5. KS F 2273 면내 전단 시험 ····· 33
그림 6. Compressive Load Test in ASTM E72 ····· 34
그림 7. Transverse Load Test in ASTM E72 ····· 35
그림 8. Racking Load Test in ASTM E72 ····· 35
그림 9. 가구의 기능을 지닌 주방설비 ····· 36
그림 10. Ori system 1 ····· 36
그림 11. Ori system 2 ····· 36
그림 12 ····· 37
그림 13. Gary Chang ····· 37
그림 14. 폭 3.0m 섬유강화 복합소재 생산라인 및 제품 ····· 38
그림 15. 다기능성 복합패널 ····· 39
그림 16. 대면적 단일 패널 ····· 39
그림 17. 기존 금속 샌드위치 패널 및 이를 이용한 건축물 시공 모습 ····· 40
그림 18. AXIA Materials 복합패널을 이용한 건축물 시공 모습 ····· 41
그림 19. 패널과 방탄판을 일체화한 복합방탄패널 시공 모습(미육군) ····· 42
그림 20. Example of pairwise comparison ····· 50
그림 21. Weight of performance criterion by category(weight c) ····· 53
그림 22. LMC 평면도 ····· 63
그림 23. LMC 입면도 ····· 63
그림 24. 프로파일을 사용한 접합(모식도) ····· 64
그림 25. 프로파일을 사용한 접합(상세도) ····· 64
그림 26. 캠락(cam-lock) 구조물 모식도 ····· 65
그림 27. 패널간 캠락구조물을 사용한 접합(모식도) ····· 65
그림 28. 패널간 캠락구조물을 사용한 접합(상세도) ····· 66
그림 29. 패널간 PVC 프로파일을 사용한 접합(모식도) ····· 66
그림 30. 패널간 PVC 프로파일을 사용한 접합(상세도) ····· 67
그림 31. 여름테라스형 투시도 ····· 98

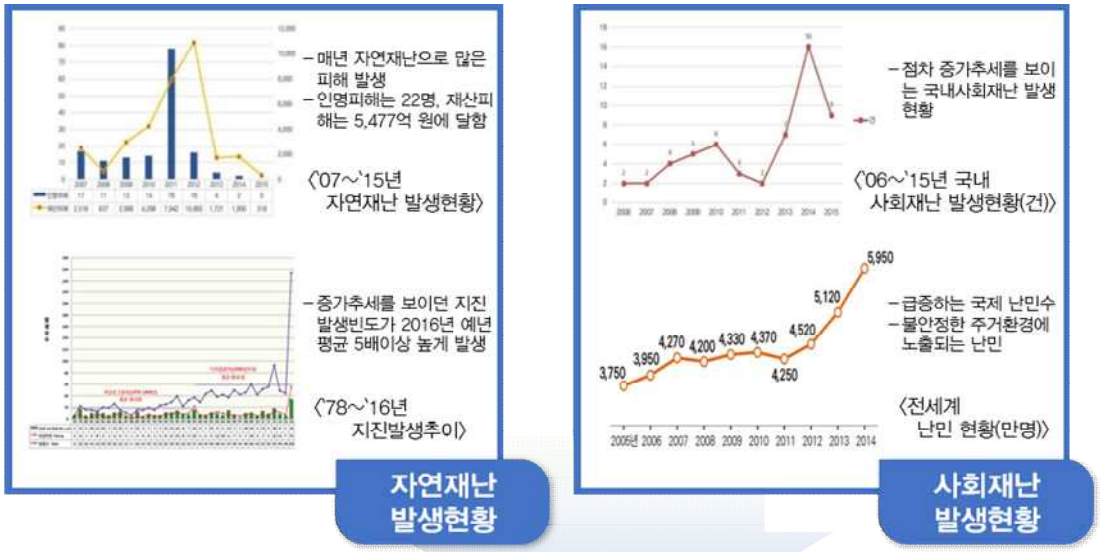
그림 32. 확장형 A 투시도 ····· 119
그림 33. 조립 전 ····· 152
그림 34. 기본형 10모듈 분량의 부재 ····· 152
그림 35. 조립 후 ····· 153
그림 36. 기본형 10모듈 ····· 153
그림 37. Adaptive comfort graph ····· 154
그림 38. HVAC + Natural ventilation graph ····· 157
그림 39. HVAC only graph ····· 157
그림 40. Natural ventilation graph ····· 158
그림 41. Prototype Plan of Proposed Refuge House ····· 160
그림 42. Prototype Elevation of ····· 161
그림 43. Flow Chart of Optimization for Refuge House ····· 161
그림 44. Parrallel Coordinates Chart among Variables ····· 163
그림 45. Pearson Corelation Chart among Variables ····· 163
그림 46. 경량 복합패널 구성도 ····· 165
그림 47. 분포압 강도 실험체 ····· 167
그림 48. 분포압 강도 실험 개념 ····· 168
그림 49. 분포압 강도 실험 하중 도표 ····· 169
그림 50. (유효 단면2차모멘트)에 대한 환산단면 ····· 170
그림 51. 분포압 강도 실험체 세팅 ····· 172
그림 52. TL-12-150 하중-변위 그래프 ····· 173
그림 53. TL-14-150 하중-변위 그래프 ····· 174
그림 54. TL-16-150 하중-변위 그래프 ····· 175
그림 55. TL-12-200 하중-변위 그래프 ····· 176
그림 56. TL-14-200 하중-변위 그래프 ····· 178
그림 57. TL-16-200 하중-변위 그래프 ····· 180
그림 58. 실험체 중앙에서의 휨 응력도 ····· 183
그림 59. 실험체 전단 응력도 ····· 183
그림 60. 재난 구호주거 평면도 ····· 186
그림 61. 재난 구호주거 입면도 ····· 187
그림 62. 구호주거의 개구부 ····· 188
그림 63. 실험체 단면 ····· 188
그림 64. 면내전단강도 실험 세팅 ····· 189
그림 65. 실험체 하부 고정 상세 ····· 189
그림 66. 휨에 대한 실험체 단순화 ····· 190
그림 67. 전단에 대한 실험체 단순화 ····· 190
그림 68. 실험체 세팅 ····· 192
그림 69. LVDT 설치 위치 ····· 193
그림 70. 실험체 1의 하중-변위 그래프 ····· 194
그림 71. 실험체 2의 하중-변위 그래프 ····· 195
그림 72. 실험체 3의 하중-변위 그래프 ····· 196
그림 73. 실험체 4의 하중-변위 그래프 ····· 197
그림 74. 실험체 5의 하중-변위 그래프 ····· 197

그림 75. 실험체 6의 하중-변위 그래프 ····· 198
그림 76. 실험체 1, 2, 3의 비교 ····· 199
그림 77. 실험체 1, 4, 5의 비교 ····· 200
그림 78. 실험체 1과 6의 비교 ····· 200
그림 79. 실험체 단면 ····· 203
그림 80. 실험체 크기 ····· 203
그림 81. 기본 실험체 접합부 상세 ····· 204
그림 82. F 실험체 접합부 상세 ····· 204
그림 83. 실험에서 사용된 캠락 ····· 205
그림 84. 캠락 실험체 접합 방식 ····· 205
그림 85. 캠락 실험체 접합부 디테일 ····· 206
그림 86. 실험 세팅을 위에서 본 모습 ····· 207
그림 87. A 방향에서 본 실험 세팅 ····· 207
그림 88. B 방향에서 본 실험 세팅 ····· 208
그림 89. 실험체 하단 고정 상세 ····· 208
그림 90. 실험체 세팅 ····· 209
그림 91. 기본 실험체의 하중-변위 그래프 ····· 209
그림 92. 기본 실험체의 실험 종료 후 모습 ····· 210
그림 93. F 실험체의 하중-변위 그래프 ····· 210
그림 94. F 실험체의 실험 종료 후 모습 ····· 211
그림 95. 캠락 실험체의 하중-변위 그래프 ····· 211
그림 96. 캠락 실험체의 실험 종료 후 모습 ····· 212
그림 97. CTS 유닛 컨셉(안) 적용 시 공간변화에 대한 개념도 ····· 220
그림 98. CTS 유닛 모듈 및 컨셉(안) 개념도 ····· 221
그림 99. 수납용 가구 평면 및 입면도 ····· 222
그림 100. 침대 및 책상 가구 평면 및 입·단면도 ····· 223
그림 101. Compact Transformable Station 설계도 ····· 224
그림 102. CTS 적용 후 침실공간 ····· 225
그림 103. 침실공간 구성 시 각 가구의 배치 및 이동거리 확인을 위한 조감 사진 ····· 225
그림 104. CTS 적용 후 거실공간 ····· 226
그림 105. CTS 적용 후 주방공간 ····· 226
그림 106. CTS 적용 후 작업공간 구성된 사진 ····· 227
그림 107. 접이식(Origami) 전개구조의 예 ····· 228
그림 108. 침대유닛의 신체치수 가이드라인 적용 ····· 229
그림 109. 책상유닛의 신체치수 가이드라인 적용 ····· 229
그림 110. 주방유닛의 신체치수 가이드라인 적용 ····· 230
그림 111. 침대 유닛의 Mock-up 설계도 ····· 230
그림 112. 침구 사용 유닛의 Mock-up 설계도 ····· 230
그림 113. 책상 유닛의 Mock-up 설계도 ····· 230
그림 114. 주방유닛의 Mock-up 설계도 ····· 231
그림 115. CTS의 Mock-up 1안 3D ····· 232
그림 116. CTS의 Mock-up 2안 3D ····· 232
그림 117. 초기대응시 칸막이 및 CTS Mock-up 적용(안) ····· 233

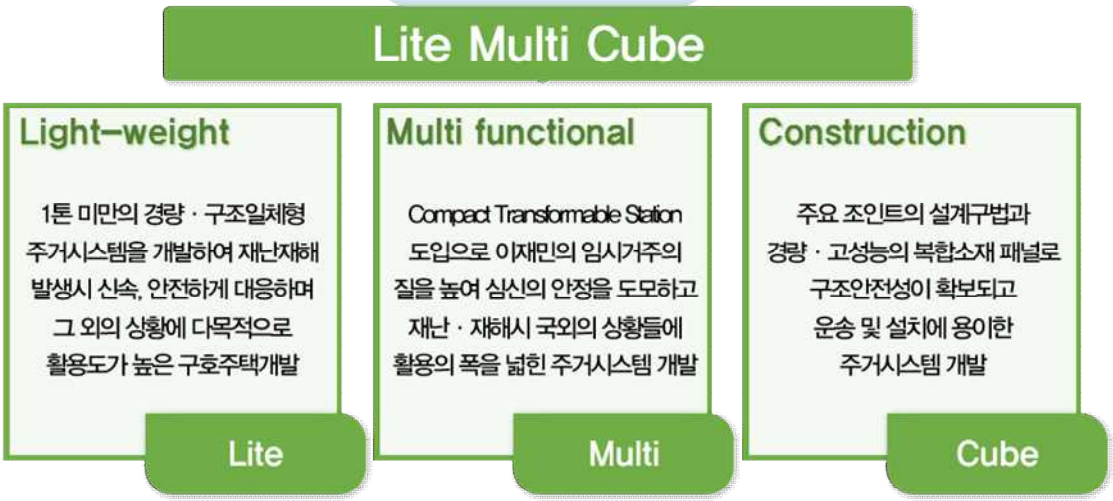
그림 118. 침구모듈 Mock-up ····· 234
그림 119. 책상모듈 Mock-up ····· 234
그림 120. 주방모듈 Mock-up ····· 235
그림 121. Mock-up 주택 및 CTS 설치 ····· 238
그림 122. CTS 적용성 및 사용성 평가 ····· 239
그림 123. 재난재해 초기대응시 CTS 적용성 평가 ····· 240
그림 124. 평직구조의 유리섬유 강화재 ····· 242
그림 125. EPS 단열재 ····· 243
그림 126. XPS 단열재 ····· 243
그림 127. 다양한 두께의 EPS core ····· 243
그림 128. 이액형 접착제 (좌)주제,(우)경화제 ····· 245
그림 129. Coil상 컴포지트 스킨 제품 ····· 246
그림 130. LiteTex G1230W2, G1240W2, G1258W2 샘플 ····· 247
그림 131. 인장 물성 비교 ····· 247
그림 132. 굴곡 물성 비교 ····· 247
그림 133. 금형 판 준비(좌) / 컴포지트 스킨 재단(우) ····· 248
그림 134. 스킨에 Glue 도포(좌) / EPS core에 glue 도포 및 적층(우) ····· 248
그림 135. 진공백 성형(좌) / 대면적 복합패널 완성(우) ····· 248
그림 136. 프레스 패널 생산 방식(좌) / 대면적 컴포지트-EPS 복합 패널(우) ····· 249
그림 137. ASTM E72 test set-up ····· 250
그림 138. L형 프로파일, 갈바(좌), PVC(중), Composites(우) ····· 251
그림 139. U형 프로파일(PVC) ····· 252
그림 140. 프로파일을 이용한 패널 체결 ····· 253
그림 141. Fastener 체결력 측정용 시험 장비 (좌) 시험 치구 (우) 시험 모습 ····· 254
그림 142. Screw 체결력 시험 결과 ····· 255
그림 143. 다양한 fastener 체결력 시험 ····· 255
그림 144. 허니컴 구조 ····· 256
그림 145. 허니컴 압축강도 시험 ····· 256
그림 146. 허니컴-복합소재 복합패널 압축강도 시험 ····· 257
그림 147. 압축한이 시험편보다 클 경우 패널 압축 거동 ····· 257
그림 148. 압축판이 시험편보다 작을 경우 패널 압축 거동 ····· 257
그림 149. 대면적 컴포지트-허니컴 복합 패널 ····· 258
그림 150. 다양한 PET foam board 및 이를 이용한 복합 패널 ····· 258
그림 151. 각종 foam core의 압축강도 결과 ····· 258
그림 152. 각종 foam core의 압축강도 결과 비교 ····· 258
그림 153. PET core의 방향 의존성 ····· 258
그림 154. 대면적 PET foam 복합 패널 ····· 258
그림 155. (좌) 난연필름 부착한 패널, (우) 일반 패널 ····· 260
그림 156. 페놀폼 board (두께 80mm) ····· 261
그림 157. (좌) Veil/LiteTex 접착, (우) PF/LiteTex 접착 ····· 262
그림 158. (좌) LiteTex/PF, (우) LiteTex/PF + 표면 내화도료 ····· 262
그림 159. 스킨재/EPS + 표면 내화도료 ····· 262
그림 160. 난연 EPS 및 컴포지트 복합 패널 ····· 263

그림 161. 열방출률 시험용 콘칼로리미터 ····· 263
그림 162. 열방출률 시험 장비 ····· 264
그림 163. 열방출율 시험 결과 ····· 265
그림 164. 가스유해성 시험 결과 ····· 265
그림 165. 창호 컷팅 공정 ····· 266
그림 166. 창호 설계에 맞게 재단된 대형 패널 ····· 266
그림 167. 샘플 하우스 설계 (12개의 패널) ····· 268
그림 168. 패널 재단 및 이송, 정렬 ····· 268
그림 169. 외벽 고정 및 조립 1 ····· 269
그림 170. 외벽 고정 및 조립 2 ····· 269
그림 171. 외벽 고정 및 조립 3 ····· 270
그림 172. 외벽 재조립 ····· 270
그림 173. 외벽-내벽 연결 조립 ····· 271
그림 174. 창호 설치 ····· 271
그림 175. 지붕 설치 ····· 272
그림 176. 완성된 샘플 하우스 ····· 272
그림 177. 주거시스템 목업 설계도면 ····· 273
그림 178. 패널 재단 도면 - 1 ····· 273
그림 179. 패널 재단 도면 - 2 ····· 274
그림 180. 패널 재단 도면 - 3 ····· 274
그림 181. 재단된 10개 패널의 총 무게 ····· 274
그림 182. 주거시스템 목업 제작 과정 ····· 275
그림 183. 완성된 주거시스템 목업 ····· 275
그림 184. 주거시스템의 총 무게 (철제 프레임 포함) ····· 276
그림 185.주거시스템 목업 해체 작업 ····· 276
그림 186. 누수시험 ····· 277
그림 187. 누수 시험 결과 ····· 278
그림 188. 패널 적재 및 포장 ····· 278
그림 189. 지게차를 이용한 패널 묶음 핸들링 ····· 278
그림 190. 패널에 수분 영향을 줄이기 위한 경사로 설치 ····· 279
그림 191. 패널 운반 방법 ····· 280
그림 192. 설치 부재 - Screw ····· 281
그림 193. 설치 부재 - Bracket ····· 281
그림 194. 외벽 간 연결 방법 - 코너부 ····· 282
그림 195. 외벽 간 연결 방법 - 평면부 ····· 282
그림 196. 외벽 간 연결 방법 - T shape ····· 283
그림 197. 외벽 간 연결 방법 - Wall to Roof ····· 283
그림 198. 바닥 기초부 연결 방법 (Panel to concrete) ····· 284
그림 199. 컴포지트 프로파일 연결 방법 ····· 285
그림 200. 패널 건축물 제작에 사용되는 각종 공구들 ····· 286
그림 201. 패널 건축물 제작에 사용되는 접착제류 ····· 286
그림 202. 시공 적용 예 1 ····· 287
그림 203. 시공 적용 예 2 ····· 288

제 1장. 연구개발과제의 개요







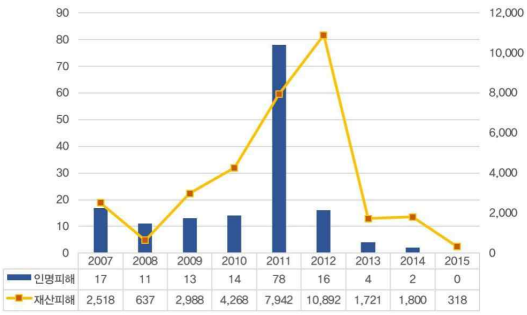
제 1절. 연구개발 목적

- 구조일체형 다기능성 경량 복합 패널과 재난대응 주거시스템에 적용할 필수가구 및 설비가 일체화된 시스템(Compact Transformable Station)을 개발하여 전용 설계기법으로 1톤 미만의 경량·구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템(Lite Multi Cube)개발을 목표로 한다.

제 2절. 연구개발의 필요성

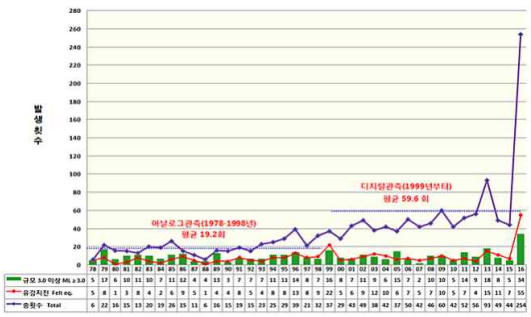
○ 국내외적으로 재해·재난사태 증가 추세

- 우리나라에서는 매년 호우, 태풍, 대설 등 자연재난으로 인하여 많은 피해가 발생하고 있으며 연평균('06~'15) 인명피해(사망·실종)는 22명, 재산피해는 5,477억 원(2015년도 환산 가격기준임)에 달한다.
- 특히 2016년 규모 2.0 이상 국내 지진발생횟수는 총 254회로 예년 평균 지진발생횟수인 47.6회보다 5배 이상 발생빈도가 높게 나타났고, 2016년에 발생한 국내 지진 중 가장 큰 규모의 지진은 9월 12일 경북 경주시 남남서쪽 8.7km 지역에서 발생한 규모 5.8의 지진으로 1978년 기상청의 계기지진 관측 이래 역대 최대 규모의 지진으로 기록되었으며 부상자 23명 및 9,368건의 재산피해를 발생시켰다. (출처: 기상청, 국민안전처)



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
인명피해	17	11	13	14	78	16	4	2	0
재산피해	2,518	637	2,988	4,268	7,942	10,892	1,721	1,800	318

<`07~`15년 자연재난 발생현황>
(출처: 국민안전처, 재해연보)



<`78~`16년 지진발생추이>
(출처: 기상청)

☞ **증가추세를 보이는 재해·재난환경에 적합한 임시거주공간 혹은 피난시설의 필요성 증대**

○ 재해·재난에 의한 이재민 구호주거 현황

- 일반적으로 많이 사용하는 기존의 컨테이너를 그대로 사용하는 방법은 거주자의 거주성이 현저히 떨어지며 제작에 사용되는 샌드위치 패널 내/외피재에 주로 사용하는 금속 도금강판은 무게, 비용 문제로 주로 0.5mm 이하의 얇은 박막 형태로 사용하기 때문에 굽힘 하중 등에 매우 취약하고 금속 강판은 하중지지의 구조체 역할은 없고 주로 표면을 보호하는 기능만을 가지고 있다.
- 이에 금속강판 패널로 건축물을 시공할 때는 하중 지지대 역할을 하는 H빔 등의 철제 프레임을 설치한 후 샌드위치 패널을 끼워 조립하는 방식을 채택하고 있는데 이 때 내/외피재 금속박막 표면, 철제 프레임 등 금속이 많이 사용되는 부분에서 많은 열손실이 발생하여 건축물의 단열효과가 떨어지며 누수, 결로의 원인으로 작용할

가능성이 있고 바닥을 평탄화하기 위한 시공, 양생, 철제 빔 설치 등의 공사로 공기가 늘어나게 된다.





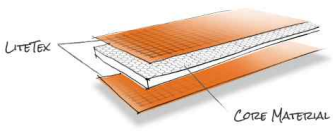
☞ **주거지 파괴에 달하는 피해를 입은 이재민의 2차 피해가 우려되는 상황**

☞ **기존의 유닛단위의 시스템에서 패널 구조물의 적치용이성을 높인 시스템 구법연구 필요**

☞ **기존의 임시거주시설보다 안전하고 거주성이 뛰어나 이재민의 심신안정과 빠른 일상 복귀를 도모하는 모델 개발의 필요성 증대**

○ 경량화 복합패널 관련 개발 현황

- 섬유강화 복합소재 제조에 사용되는 고분자 소재의 용융점도는 20mPa·s(cps)로 이는 통상의 열가소성 소재 대비 1/5,000 수준으로 낮으며, 이를 파우더로 만들어 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등의 섬유강화재에 분산도포한 후 열과 압력으로 함침시켜 복합소재를 제조하고 있다.
- 초고유동 소재를 함침하기 때문에 광폭의 섬유강화재에도 섬유 filament 내부까지 함침(micro impregnation)이 잘되어 우수한 물성을 얻을 수 있다.. 또한 생산 공정 중이나 최종제품에서 VOC 등의 유해 물질 발생이 전혀 없는 친환경 공정기술을 사용하고 있다.
- 최대 3.0 m 폭의 복합소재 연속생산라인을 직접 설계하고 설치하여 가동하고 있다.
- 고강도 고강성 복합소재 시트를 내/외피 스킨재로 하고 이를 EPS, XPS, PU, Honeycomb 등의 기능성 단열재 코어와 라미네이션하여 복합소재 패널을 개발하고 있다.






<다기능성 복합패널> <대면적 단일 패널>

☞ **경량화 복합패널 및 재난대응 주거시스템 개발로 국가적 사회안전망 구축과 고유 원천기술 축적**

○ 공간활용 일체형 가구 및 설비 시스템

- 1~2인 가구 증가와 공간활용도를 높이기 위한 컴팩트 가구 및 설비 시스템이 상품화되었다.
- 최근 신혼부부 혹은 작은 평형대의 집에서는 주로 조리의 기능인 주방이 거실의 기능 혹은 서재의 기능이 더해진 생활 중심형 공간으로 바뀌고 있는 추세이다.
- 특히 리빙 키친은 거실(Living)과 주방(Kitchen)을 결합한 구조로 시스템 수납장, 책상, TV장처럼 전혀 다른 공간의 가구들이 결합되어 '뭐든지 가능한 주방'이 가능한 것을 뜻하고 있다. 이런 트렌드로 인해 주방이 서재나 다른 공간을 대신하게 되니, 좁은 공간을 더 효율적으로 쓸 수 있게 되었다.
- MIT Media Lab과 Fuseproject에서 개발한 ORI는 24㎡ 미만의 마이크로 아파트에 적용할 수 있는 로봇 타입의 일체형 스마트 가구이다.
- MIT Cityhome 프로젝트를 통해 1인 가구를 위한 IT기술과 결합된 이동형 가구 시스템이 개발되었다.



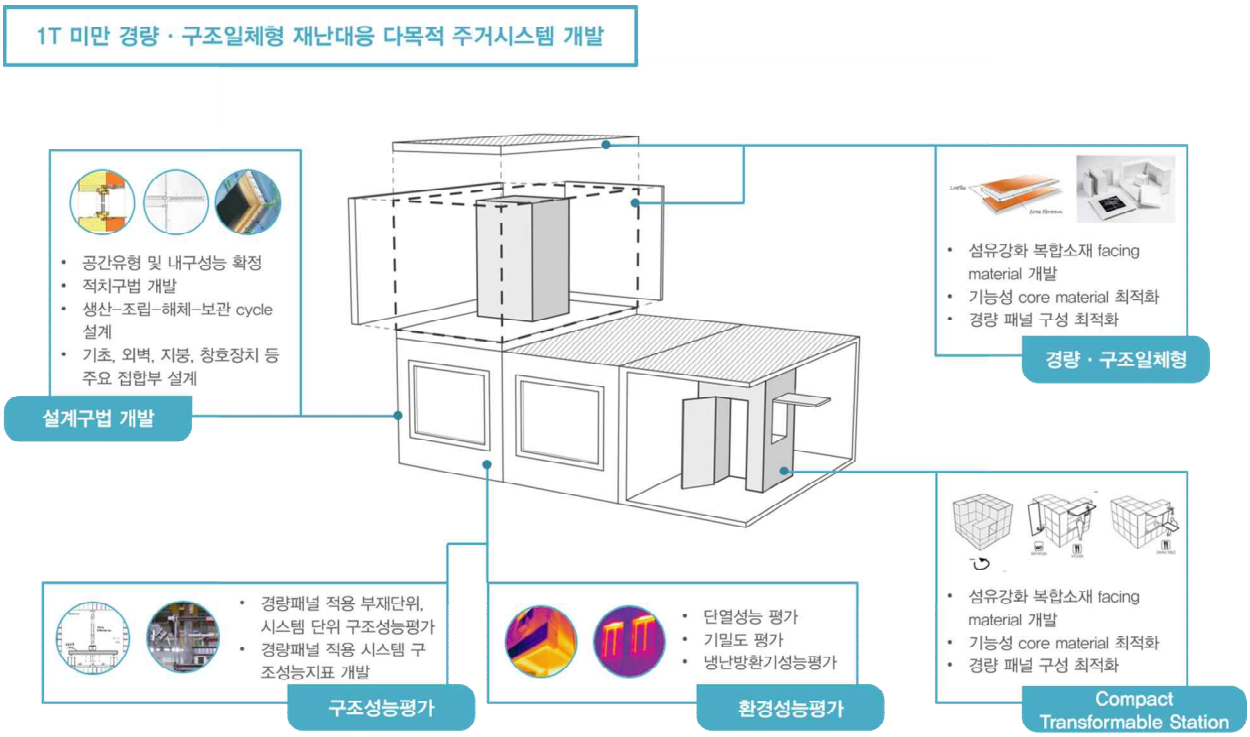


☞ **협소한 공간일 수밖에 없는 임시거주시설의 공간활용도 및 거주성 개선을 위해 관련 기술 개발 필요**

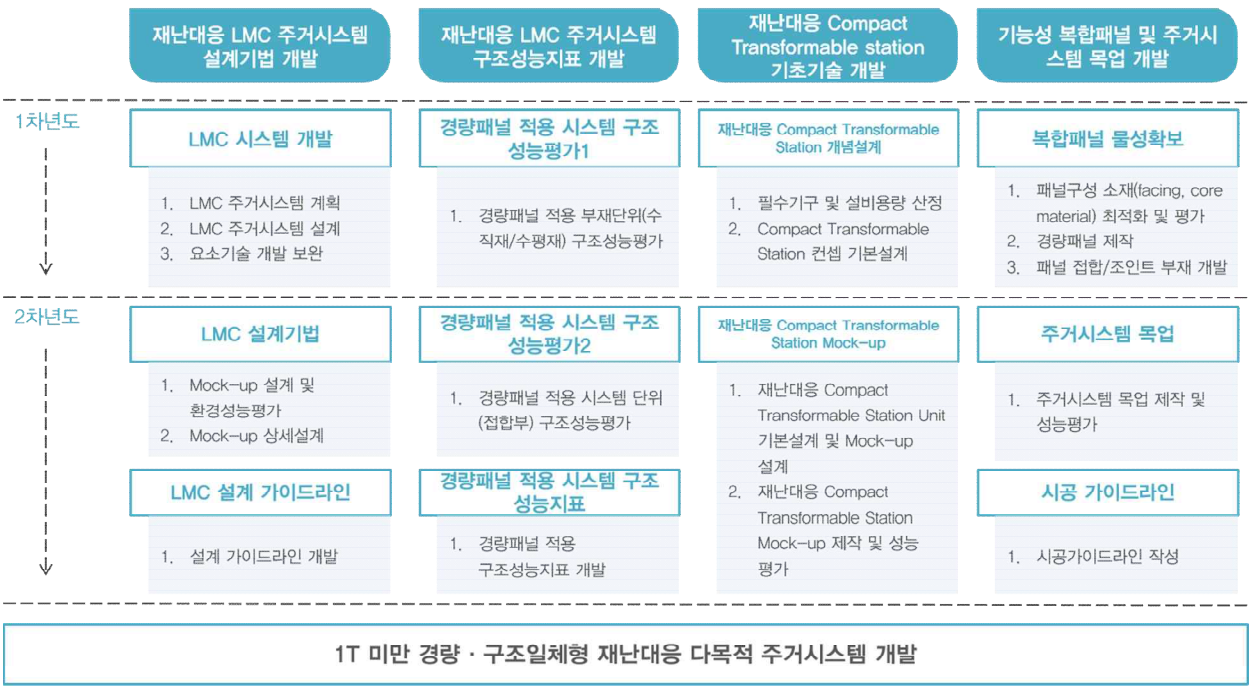
☞ **임시거주시설 외에도 다용도로 활용 가능한 시스템 개발 필요**

제 3절. 연구개발 내용

○ 전체 연구 내용 개념도는 다음과 같다.



○ 전체 연구 구성도는 다음과 같다.



(1) 재난대응 LMC(Lite Multi Cube) 주거시스템 설계기법

○ 1차년도에 LMC 주거시스템의 계획설계와 주요 구법·요소기술들을 개발하였고, 2차연도에는 1차년도의 결과물들로 목업 제작을 위한 상세설계를 진행하여 제작된 목업에 환경성능평가를 실시하였다.

○ 연구-모델제작-성능평가 단계별 진행으로 연구를 수행하였다.

연차	주요 연구활동	세부 연구내용
1차 년도	■ LMC 주거시스템 계획	-소요 공간 확정 -주요 구법 개발(적치가능) 내구 성능 확정(누수방지 등)
	■ LMC 주거시스템 설계	-공간유형 -주요 조인트(기초, 외벽, 지붕, 창호장치, 우수처리)
	■ 요소기술 개발 보완	-주요 조인트(plastic cap) 보완
2차 년도	■ Mock-up 설계 및 환경성능평가	-공간설계, 외벽설계 -창호설계(FRP, plastic 창호) -냉난방환기성능평가 -생산-조립-해체-보관 cycle 설게
	■ Mock-up 상세설계	-기초, 외벽, 지붕, 접합부 등
	■ LMC 설계가이드라인 개발	-설계 가이드라인 작성

(2) 재난대응 LMC 구조성능지표

○ 1차년도에는 경량패널이 적용된 부재단위(수직재/수평재)의 구조성능평가를 하였고, 2차년도에는 시스템 단위(접합부)의 구조성능평가를 진행하여 경량패널이 적용된 시스템의 구조성능지표를 개발하였다.

연차	주요 연구활동	세부 연구내용
1차 년도	■ 경량패널 적용 시스템 구조성능평가	-부재단위(수직재/수평재)의 구조성능평가 진행
2차 년도	■ 경량패널 적용 시스템 구조성능평가	-시스템 단위(접합부)의 구조성능평가 진행
	■ 경량패널 적용 시스템 구조성능지표 개발	-경량패널이 적용된 시스템의 구조성능 지표를 개발

(3) 재난대응 Compact Transformable Station 개발

○ 재난대응 Compact Transformable Station 컨셉 설계 및 모형을 제작하였다.

○ 재난대응 Compact Transformable Station Mock-up 설계 및 성능평가를 실시하였다.

연차	주요 연구활동	세부 연구내용
1차 년도	■ 선행연구 사례조사	-국내외 일체형 설비 및 가구 시스템 개발관련 선행연구 사례조사
	■ 목표성능 설정	-재난대응 주거 필수 가구 및 규모 산정 -재난대응 및 가구인원별 임시주거시 요구되는 설비(상·하수, 냉·난방, 환기, 전기, 통신) 종류 및 용량 산정
	■ 컨셉 모델 설계	-재난대응 Compact Transformable Station Unit 컨셉 설계 -Compact Transformable Station 컨셉 모형 제작
2차 년도	■ Unit별 설계	-Compact Transformable Station 유닛별 기본 설계도 작성
	■ Mock-up 설계	-Compact Transformable Station 유닛별 자재 및 재질 선정 -Compact Transformable Station Mock-up 제작도면 작성 및 제작
	■ Mock-up 성능 평가	-Compact Transformable Station Mock-up 작동 및 안정성 관련 성능평가

(4) 기능성 복합패널 및 주거시스템 목업 개발

○ 구조일체형으로 별도의 철제 프레임 없이 건축물에 적용가능한 기능성 복합패널을 개발하였다.

○ 단기간에 설치할 수 있는 주거시스템 및 시공가이드라인을 개발하였다.

연차	주요 연구활동	세부 연구내용
1차 년도	■ 패널 구성 소재(facing material, core material) 최적화, 평가	- 섬유강화 복합소재 facing material 개발 및 물성 평가 - 기능성 core material 최적화 및 물성 평가 - 경량 패널 구성 최적화 및 물성 평가
	■ 경량 패널 제작 및 구조 성능 평가	- 경량 패널 시작품 제조 및 성능 평가
	■ 패널 접합/조인트 부재 개발	- 패널 접합/조인트 부재 샘플 제조
2차 년도	■ 주거시스템 목업 제작 및 성능 평가	- 기초/바닥용 패널 시스템 제작 및 성능 평가 - 구난용 창호 구조 제작 및 성능 평가 - 구조일체형 주거시스템 목업 제작 및 설치
	■ 시공 가이드라인	- 시공 가이드라인 개발

○ 기술개발 성숙도는 다음과 같다.

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	■	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	□	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□	□	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	□	■	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	□	□	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	□	□	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	□	□	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	□	□	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	□	□	TRL 9 현장적용/사업화 단계

제 2장. 국내외 기술 개발 현황

제 1절. 구호주거시설 기술 개발 현황

1. 국내

가. 구호주거시설 사용 현황

기존의 조립식 주택 방식에서 모듈러 공법을 차용한 구호주거시설들이 개발되고 있다.

○ 모듈러 주택 공법

- 공장에서 유닛 모듈이라는 다수의 입방체로 구성되는 구조체로 내부에 각종 내장재, 기계설비, 전기배선 등을 미리 시공하고 이를 현장에 운반한 후 이를 단순 조립하여 완성이 가능하다.
- 일정한 사용기간 후에 다시 이를 해체하여 이동하며 수시로 관련 부품을 호환할 수 있는 주택으로 개보수가 용이하며 공사기간 및 인건비 절감이 가능하다.
- 건축 구성재의 표준화, 부품화로 자원의 유효 이용이 가능하여 폐기물 대량 배출을 억제하고 주요 구조부재의 재사용이 가능하다.

표 1. 구호주거시설 사용 현황

재해구호협회 임시주거시설 (연평도 피해주민 지원) 임시주거용 조립주택	 
재해구호협회·현대자동차그룹·현대엔지니어링·UNIBOX 이동식재해구호주택 (희망하우스) 모듈러 공법	 
*선행연구(재난·재해 대비 임시거주공간 시스템 개발 연구) 임시구호주택(MH) 유닛모듈공법	 

나. 연구개발 현황

국가과학기술정보센터(NDSL)에서 검색결과의 정확성을 높이기 위해 주제어(재해구호) OR 전체(“임시주거” OR “구호주택”)으로 검색한 결과 23건이 검색되었다.



그림 1. 핵심 키워드 동향

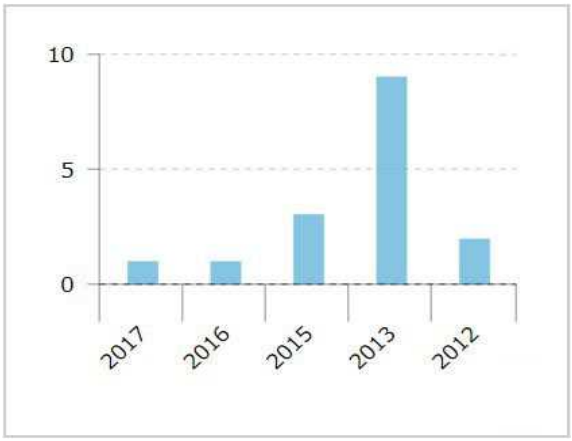


그림 2. 발행연도

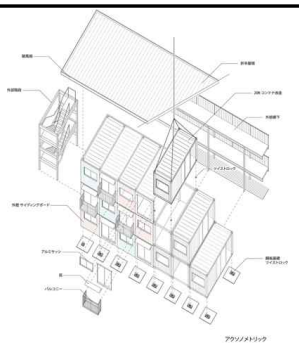
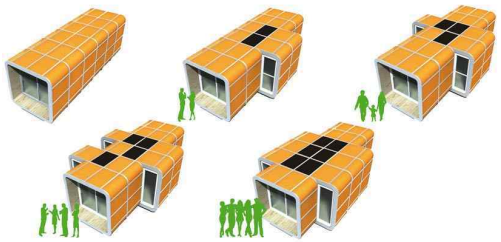
표 2. 구호주거시설 연구 동향(관련논문)

논문명	저자	발행기관	발행연도
지하철역의 조립식 임시주거 시공 매뉴얼 개발 연구	김은영; 장순각; 황은경	한국주거학회	2015
재해특성을 고려한 임시주거 계획에 관한 연구	왕우철; 이예지; 임석호	대한건축학회	2013
한국과 일본의 임시주거 비교분석을 통한 건축계획적 개선방안 연구	왕우철; 송영학; 임석호	대한건축학회	2012
재해 · 재난에 따른 임시주거 유형에 관한 사례연구	문정인; 이상호	대한건축학회	2006
유닛 모듈러 설계를 이용한 임시주거 계획에 관한 연구	송영학; 왕우철; 임석호	대한건축학회	2013
임시주거의 개발과 적용을 위한 컨테이너 활용 학생기숙사 사례연구 - 암스테르담의 학생기숙사 '키트보넨(Keetwonen)' 사례를 중심으로	문영아; 김미경	대한건축학회	2013
개선적인 임시주거를 위한 시제품 제작 및 제공시스템에 관한 연구	문정인; 이경남; 김홍용; 이강희;	대한건축학회	2008
재난 이후 임시주거의 공간특성 연구 - 아시아지역에서 발생한 자연재난을 중심으로 -	김사라; 남경숙	한국실내디자인학회	2015
3R 개념을 적용한 임시주거의 재사용 활용방안에 관한 연구	김은영; 왕우철; 임석호; 황은경	한국주거학회	2015
일시적인 주거수요 요구를 반영한 임시주거의 계획특성 연구	왕우철; 이창재; 임석호	대한건축학회	2013
대피시설의 1인당 적정 수용면적에 관한 연구	홍은기; 김민석; 엄태준; 박미진	한국재난정보학회	2017
돔형 임시주거시설의 냉난방 부하 및 열적 쾌적성 분석	윤혜지; 남유진; 이동운	대한건축학회	2013
경량목조공법을 적용한 모듈러주택 계획방안 연구	왕우철 ; 이예지 ; 임석호	대한건축학회	2013
국내 컨테이너 하우징의 실태조사를 통한 개선방향연구 - 수도권 지역의 12개 사례를 중심으로 -	유해연 ; 박연정 ; 윤중연	한국주거학회	2012

2. 국외

가. 구호주거시설 사용 현황

표 3. 국외 구호주거시설 사용 현황

일본 다층 컨테이너 가설주택 동일본 대지진 및 쓰나미 재난으로 인한 컨테이너 재난구호주택	 
영국 DH1 Disaster house 자작나무 합판패널을 사용한 조립식 재난주택	 
이탈리아 Gabriele aramu: Sliding Hub 유닛간 연결 및 단일분리가 가능한 박스유닛형 주거	 
UNHCR Better shelter, IKEA 강철프레임+패널, 모듈러 시스템	 

나. 국제 난민 구호시설의 현황

- ○ 국제구호단체(UNICEF)에서 시리아 등 난민을 위한 Camp는 천막형태의 구호시설을 구비하고 있다.
- ○ 기반시설이 마련되어 있지 않아 오폐수 시설이 구축되어 있지 않다.
- ○ 급수 및 화장실 등은 공동을 활용하고 있는 실정이다.
- ○ 냉난방시설 및 전기는 캠프에서는 설치 및 연결되어 있지 않아 개별적으로 사용하기 어렵고 구호를 위한 병원시설, 교육시설 등 공동시설에만 사용가능하게 되어 있다.
- ○ 공식 거주허가를 받기 전까지 매우 불안정한 주거 환경에 노출되어 있다.

다. 국내외 기존 구호주거시설과의 차별성

- ○ 기존 건축구법(철골조 및 목조 프리패브 방식) 대비 구조 외장 일체형으로 건설공기 단축 가능하여 이를 통한 전체 공사비 절감 가능
- ○ 기존 건축구법(철골조 및 목조 프리패브 방식) 대비 경량화를 이루어 설치시 설치를 위한 전문 기계류 및 전문 기술자와 민간인 협력 가능
- ○ 모듈형식 구호시설과 달리 해체하여 적치가능하므로 재난 대비를 위한 국가 및 지방자치단체 차원의 임시구호시설 수량 확보 가능
- ○ 경량화 방식 UNHCR-IKEA 모델의 경우 단열성능 확보가 되지 않아 옥외 온도변화에 민감하여 거주성이 저하되고 있으며, 생활소음 대응에 어려운데 반해, 본 시스템의 경우 단열성능 및 차음성능을 확보하여 거주 만족도를 높일 수 있음

제 2절. 구호주거 성능지표(성능가이드) 관련

1. 국내

○ 2015 재해구호계획 수립지침

- 재해구호법 제 5조(재해구호계획 수립)에 따라 수립되었다.

표 4. 2015 재해구호계획 수립 지침 중

1. 임시주거시설 지정 기준

□ 지정근거 :「재해구호법」 제4조의2

□ 지정주체 : 구호기관(시·도지사 및 시장·군수·구청장)

□ 임시주거시설 지정기준

○ 이재민수를 기준으로 지역 여건을 고려한 임시주거시설 규모·장소 지정

○ 수용면적은 1인당 3.3㎡ 이상을 원칙으로 함

○ 공공건물, 학교, 교회, 마을회관 등 수용이 용이하고 구조상 안전한 건물을 지정하되, 이재민 발생 가능성이 없는 지역은 가급적 지양

○ 급식 및 부대시설이 잘 갖추어지고, 구호차량 진입이 용이한 학교 등 우선 지정

○ 중앙행정기관, 공공기관, 지자체가 운영하는 숙박시설 또는 교육훈련시설·연수시설 내의 숙박시설을 임시주거시설로 지정('11.8.4, 재해구호법 개정)

○ 임시주거시설은 지진해일, 상습침수 등 재해로부터 안전한 고지대로 지정, 저지대 등 상습 재해발생지역내의 시설은 지정하지 아니함

○ 모든 방향에서 접근이 양호한 지역 선정

○ 건물소유자 또는 관리자와 사전협의하여 지정

○ (지진 발생시) 주변에 고층건물이 있을시 이격거리를 감안하여 대피 면적을 산출하고 모든 방향에서 접근이 용이한 장소 선정

※ (이격거리) 대피장소에 건축물이 있을 경우 건축물로부터 건축물 높이의 1.5배를 제외하고 대피 면적 산출

○ 천막 등 대규모 임시주거시설의 설치가 가능한 장소를 지정

※ 지진 피해가 발생하여 임시거주가 필요할 경우에는 기존의 임시주거시설 중 관공서 등 내진설계가 된 건축물이나 텐트 등을 활용

2. 임시주거시설 관리기준

○ 임시주거시설 및 대피장소는 관리책임자를 지정하여, 이재민 발생 즉시 수용 또는 대피가 가능하도록 관리 상태 수시 점검

○ 임시주거시설 및 대피장소 규모에 따라 이재민 수용계획을 수립하고 안내도 등 작성·비치

○ 환기·조명·보온 등 생활환경을 양호하게 유지하기 위한 설비 확보

○ 화장실, 간이목욕실, 급수시설 및 급수차량 확보대책 수립

○ 이재민 급식을 위하여 민간구호단체와 사전협의

○ 주민들이 임시주거시설의 위치 및 대피장소를 사전에 알 수 있도록 반상회 등을 통하여 홍보

○ 재해구호물자 통합정보시스템에 임시주거시설 지정현황 입력

3. 이재민 임시주거시설의 제공

○ 구호기관은 이재민 발생 즉시 지정된 임시주거시설 중 사용이 가능하고 가까운 곳으로 안내(안내요원, 방송 등)하여 신속히 보호 조치

※ 임시주거시설 안내도, 지정시설별 구호대상자 인적사항 작성·비치

※ 스마트폰 어플리케이션(재난안전정보센터)을 통해 재난발생 시 행동요령 및 가까운 임시주거시설 확인 가능

○ 화장실, 간이목욕실 등 부대시설 설치

○ 간이 급수시설 설치, 급수차량 운영으로 이재민의 불편 해소

○ 적절한 통풍유지 및 철저한 화재예방시설 완비

○ 다수 임시주거시설을 운영할 경우, 임시주거시설 간 편리성 등에서 현저한 차이가 발생하여 이재민들의 불만이 생기지 않도록 주의

4. 임시주거용 조립주택 지원

□ 기본방침

○ 지원기간은 12개월을 원칙으로 하고, 기간종료 후 임대 또는 매각함

※ 이재민이 지원기간 연장 등을 요청할 경우 기간 연장 가능

○ 주택피해자의 전·월세를 유도하되, 불가피한 경우 임시주거용 조립주택 지원

○ 임시주거용 조립주택 지원제도 정착을 위하여 컨테이너형 지원은 불가

○ 임시주거용 조립주택 지원기간 경과 시 회수하는 것을 원칙으로 함

○ 설치를 위한 운반비용은 재해구호기금으로 지원함

□ 지원·설치

○ 주택유실·전파 등 피해를 입은 신청자가 다음에 해당하는 경우 지원

- 산사태 등으로 매몰·파괴되어 이웃집·인근마을 등에 무상 또는 전·월세 등의 형태로 거주가 불가능한 경우
- 「국민기초생활 보장법」, 「의료급여법」, 「긴급복지지원법」 및 「장애인 복지법」에서 정하는 수급권자, 차상위자, 긴급지원대상자, 장애인 또는 독거노인, 청소년 가장 및 이에 준하는 자를 우선지원
- 그밖에 지방자치단체장이 피해·거주상황 등을 감안하여 임시주거용 조립주택 지원이 필요하다고 인정하는 경우

※ 풍수해보험(주택분야) 가입자는 12개월까지 지원 가능

○ 임시주거용 조립주택을 지원할 경우 의연금을 감액 지급함

- 주택전파 기준 의연금(500만원)의 25%인 125만원을 감액 지원

○ 임시주거용 조립주택은 1세대(2~3명 기준) 1동을 지원하는 것을 원칙으로 함

○ 자연재해 외에 산불·붕괴 등으로 인한 피해가 발생하여 임시주거용 조립주택의 지원이 필요하다고 판단하는 경우 지원

- 지원·설치 등 기준은 구호기관과 전국재해구호협회가 협의하여 결정

5. 임시주거용 조립주택 비축·관리

□ 임시주거용 조립주택 개요

○ 공인인증기관에서 단열·난연 성능 시험 등을 거치고 표준도에 따라 설치하여 이재민에게 제공되는 임시주택

□ 임시주거용 조립주택 비축 협약

○ 지자체 또는 전국재해구호협회는 임시주거용 조립주택을 선 제작 후 비축 가능

○ 지자체 또는 전국재해구호협회는 임시주거용 조립주택 제작업체와 협약 체결 후 제작·운반·설치·수리 등 관리 가능

○ 지자체는 부지확보, 상·하수도, 전기·통신 등 기반시설 설치

○ 지자체는 대규모 임시주거용 조립주택 단지 조성을 위해 재해로부터 안전한 공터, 공원, 캠프장, 운동장 등 사전에 설치 부지 지정

※ 국·공유지, 사유지 순으로 지정하도록 하고 사유지를 지정하는 경우 소유주와 사전에 재해발생 시 사용에 관한 협정 체결

□ 임시주거용 조립주택의 위탁(법 제33조제4호)

○ (제　　작) 지자체가 임시주거용 조립주택을 제작하기 어려운 경우 전국재해구호협회에 제작을 위탁할 수 있다.

○ (보관·이관) 지자체가 선 제작한 임시주거용 조립주택은 전국재해구호협회에 보관 또는 이관할 수 있다.

○ (기반시설) 지자체는 전국재해구호협회에 기반시설 설치를 위탁할 수 있고 비용은 지자체에서 부담

※ 지방자치단체 또는 전국재해구호협회는 재해발생 즉시 기반시설 및 기초공사 등 현장 시공이 가능하도록 건설사와 사전 협약 체결

⇒ 지자체는 임시주거용 조립주택의 제작, 보관·이관, 기반시설 설치 등에 대해 전국재해구호협회에 위탁하는 경우「재해구호법 시행령」제23조에 따라 협약서 체결

2. 국외

○ UNHCR Emergency handbook

- 유엔 난민기구에서 발행한 핸드북, 1982년 처음 발표하여 현재 2015년 4번째 발행되었다.
- 응급 상황에 대한 모든 측면, 난민 협력 모델 및 유엔 난민 고등판무관 협의회 등 현재의 기관 간 지도력 및 조정 시스템에 대해 안내하고 있다.
-

표 5. UNHCR Emergency handbook, Shelter solutions 1

Key point

- 쉘터는 격리할 수 없다. 모든 응답은 가구가 보호되고 있는 정착지 또는 상황을 고려해야 합니다.
- 바람직한 쉘터 솔루션은 상황에 맞는 구조 및 성능 요구사항을 기반으로 설계되어야 합니다.
- 쉘터 전략은 처음부터(대피 직후) 응급 쉘터 솔루션을 제공하고 시간이 지남에 따라 더 튼튼한 솔루션을 제공해야 합니다.
- 대피가 길어지는 경우 다양한 쉘터 옵션을 고려해야 합니다.
- 단기 대피 설계 기준은 위험 및 안전성, 적시성 및 건설 속도, 수명, 크기, 형태, 사생활, 안전 및 문화적 적합성, 환기 및 열적 쾌적성을 다루어야 한다. 환경, 고려 사항, 비용, 표준 및 건축 법규를 준수해야 합니다.
- 지역 건설을 장려하십시오.
- 필요한 경우 기술 이전을 통해 모범 사례를 개선하고 위험을 관리합니다. 지진 위험이 있는 지역과 강한 바람이 있는 지역에서 기술 지원을 받으십시오.
- 호스트 커뮤니티와 관심 있는 사람들을 초기 단계부터 참여시킵니다.
- 통합을 강화하고 지역 경제에 도움이 되는 보호소 전략을 지지하십시오.
- 적절한 쉘터 대응을 개발하는 것은 과정이며, 아이디어의 순서대로 제품을 전달하는 것이 아니라 사회적인 측면과 요구가 디자인 운전자가 되도록 보장해야 합니다.

표 6. UNHCR Emergency handbook, Shelter solutions 2

3. 기본 원칙 및 표준

- 수용시설지원은 여성(특히 여성, 어린이, 노인, 장애인 등)을 포함한 특정한 요구를 포함한 그룹별로 우선순위를 정해야 한다. 기준은 가장 도움이 필요한 사람들을 식별하는 데 도움이 되도록 개발되었다.
- 분산된 모집단은 필요한 조직 및 자재 지원을 통해 자신만의 대피소를 구축하고 수용 시설의 모든 단계에 참여할 수 있도록 권한을 부여해야 한다.
- 수용 시설 솔루션은 비용 효과적이어야 하며, 가능한 국지적인 재료를 사용하여야 하며, 관심 있는 사람들의 문화적 선호와 전통적인 라이프 스타일을 적절히 반영해야 한다.
- 수용 시설 솔루션은 자연 환경에 최소한의 영향을 미칠 수 있어야 한다. 환경 손상을 방지하기 위해 현지 자재 조달에 신중하게 고려해야 한다. 수용 시설은 필수 가구 및 생계 활동을 수행할 수 있도록 충분한 가구를 비치할 수 있는 충분한 거주 공간을 제공해야 한다.
- 설계는 기후, 지형, 위험 및 환경 위험, 국가 및 국제적 최소 기준, 생계비, 자재 및 인프라를 포함한 자원의 현지 가용성을 고려해야 한다.

"삶의 존엄성"을 보장하기 위해, SPHERE Standards and UNHCR Global Strategy for Settlement and Shelter 2014-2018 에서는 다른 유형의 대피소를 설계하고 난민의 권리를 유지하는 방법에 관한 실질적 조언을 제공한다.
비상사태가 시작될 때는 피난민들에게 다음과 같은 최소한의 최저 기준을 충족하는 최소한의 대피소를 건설할 수 있도록 충분한 자재를 제공해야 한다.

- 최소 면적 3.5㎡은 조리 시설이나 주방을 제외하고, 열대 또는 따뜻한 기후에서 1인당 주거 공간을 차지한다. (야외에서 요리하는 것으로 가정) 최저 높이 2m
- 4.5㎡에서 5.5㎡까지의 최저 면적은 주방 및 욕실을 포함한 추운 기후의 주거 공간에서 1인당 주거 공간을 커버한다. (조리, 식사, 생계) 난방공간을 줄이기 위해 높이는 2m로 지정
- 수용 시설의 설계는 가능한 개인의 필요에 맞춰 개조를 제공해야 한다.

제 3절. 복합경량패널 구조성능평가 관련

1. 국내

가. 패널의 구조 성능 평가는 일반 구조부재와 달리 이에 관련된 하중기준이나 성능에 관한 기준이 없다. 따라서 복합경량패널의 구조 성능 평가는 패널의 부재단위에 대한 성능을 알고 이를 통해 패널로 구성된 구조체에 대한 성능을 예측하는 방식으로 이루어진다. 국내에서 패널에 대한 성능 시험은 KS 기준을 따른다.

나. 패널의 구조 성능을 시험하는 방법에는 국내 KS 기준 KS F 2273이 있다.

(1) KS F 2273 : 조립용 판의 성능 시험방법

① KS F 2273은 판의 물리 시험, 강도 시험을 포함하고 있다.

㉮ 축 방향 압축 시험

○ 축 방향 압축 시험을 통해 패널의 축 방향 압축 강도를 측정할 수 있다.

- 시험체의 축방향에 압축 하중을 서서히 가하면서 변형량과 가압 하중을 측정한다.
- 하중-변형율 그래프에서 최대 하중의 2/3 값을 시편의 두께로 나눈 값을 축방향 압축강도로 하며 단위는 [N/m]이다. 건축 소재로 사용되기 위한 최저치는 4,900N/m 이다.

㉯ 단순 굽힘 시험

○ 단순 굽힘 시험을 통해 패널의 분포압강도를 측정할 수 있다.

- 시편 상부에 2선의 가압판을 설치하고 하부 두 곳을 롤러로 지지한 후 상부에 하중을 가하면서 변형량을 측정한다.
- 최대하중의 2/3 값을 시편의 폭과 하부 지지점 간의 거리로 나눈 값을 분포압 강도라 하며 단위는 [N/㎡]이다. 건축 소재로 사용되기 위한 최저치는 695N/㎡ 이다.

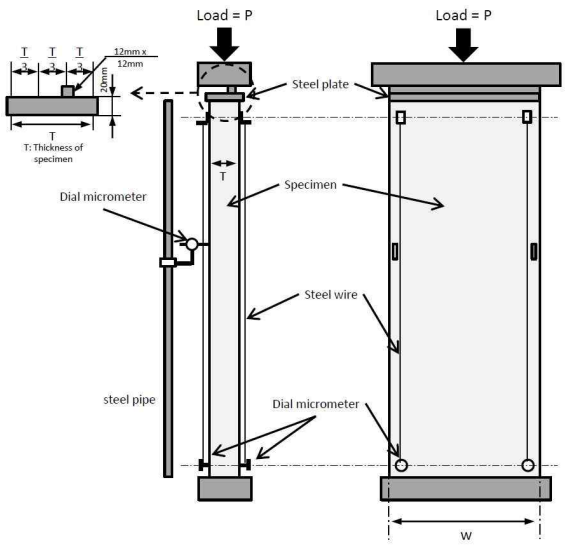


그림 3. KS F 2273 축 방향 압축 시험

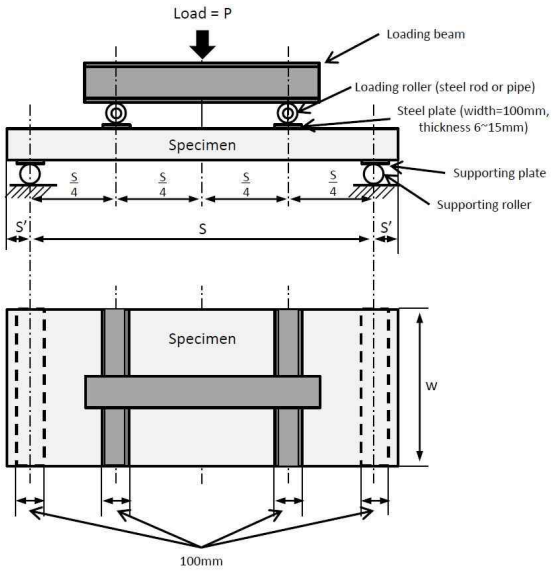


그림 4. KS F 2273 단순 굽힘 시험

㉰ 면내 전단 시험

○ 면내 전단 시험을 통해 패널의 면내 전단 강도를 측정할 수 있다.

- 시험체 밑면을 고정시키고 횡방향으로 전단하중을 가하면서 하중과 전단변형량을 측정한다.
- 최대하중의 2/3 값을 시편의 높이로 나눈 값을 면내 전단강도라 하며 단위는 [N/m]이다. 건축 소재로 사용되기 위한 최저치는 980N/m 이다.

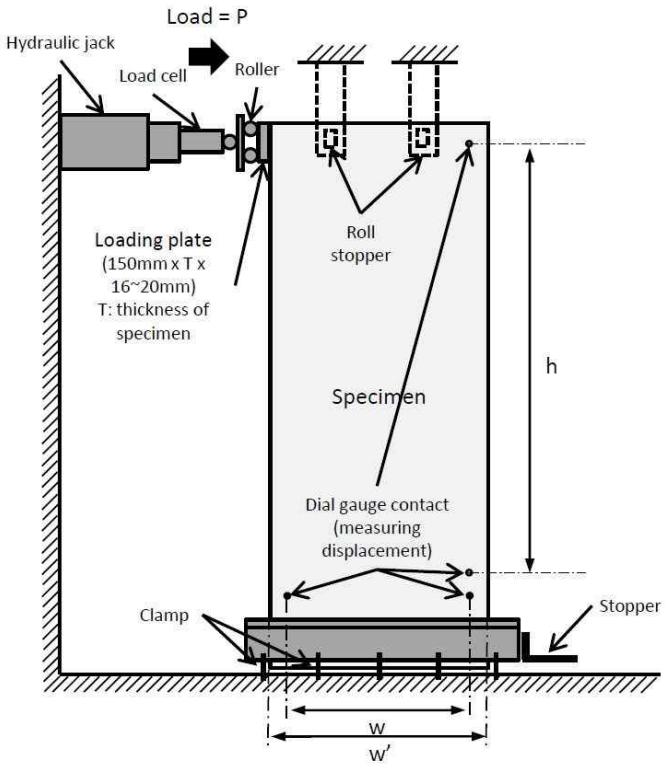


그림 5. KS F 2273 면내 전단 시험

다. 기계적 성능 요구 사항

기존 철제 패널의 경우 H빔 등 금속 프레임으로 지지대를 구성한 후 샌드위치 패널을 끼워 넣은 방식이라 대부분의 하중은 철제 프레임이 받게 된다. 반면 복합경량패널은 패널 자체가 구조재 역할을 해야 하기 때문에 기준치를 훨씬 초과하는 물성을 달성해야 한다. 따라서 최저요구 물성을 만족한 것 이상으로 기계적 물성을 올려야 할 필요가 있다. 복합패널 스킨재의 구성, 내열재 패널 구성 등의 조합으로 강도를 더 향상시키기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

2. 국외

가. 국내와 마찬가지로 국외에서 건축에 사용되는 패널 부재에 대한 구조 성능을 시험하는 방법은 미국 ASTM 기준이 있다. 이 기준은 국내와 마찬가지로 패널에 대한 시험을 통해 부재단위의 성능을 알아낼 수 있다.

나. 패널의 구조 성능을 시험하는 방법에는 ASTM 기준 ASTM E72가 있다.

(1) ASTM E72 : Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction

① ASTM E72는 건축 시공에 사용되는 패널에 대한 구조성능시험 방법이 포함되어있다.

㉮ Compressive Load Test

○ Compressive Load Test를 통해 패널의 축방향 압축 강도를 측정할 수 있다.

㉯ Transverse Load Test

○ Transverse Load Test를 통해 패널의 분포압강도를 측정할 수 있다.

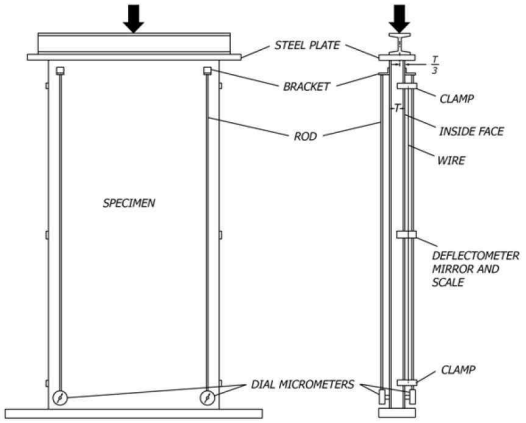


그림 6. Compressive Load Test in ASTM E72

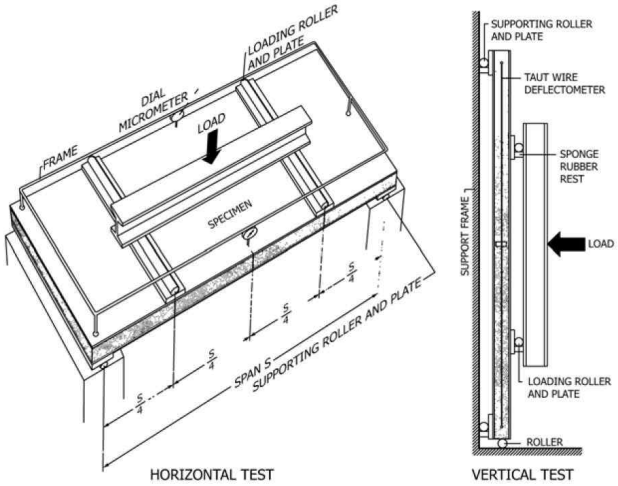


그림 7. Transverse Load Test in ASTM E72

㉰ Racking Load Test

○ Racking Load Test를 통해 패널의 면내 전단 강도를 측정할 수 있다.

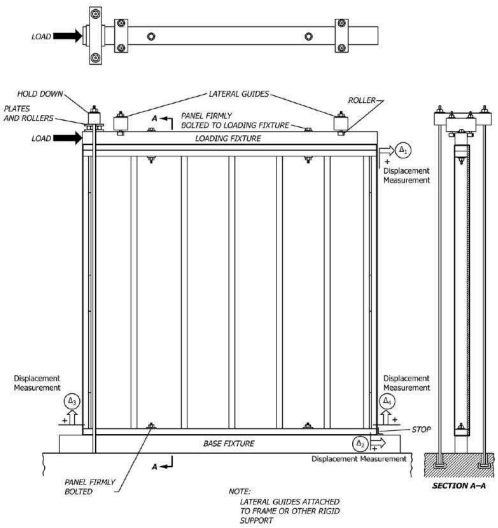


그림 8. Racking Load Test in ASTM E72

제 4절. 공간활용 가구 및 설비 시스템

1. 국내

○ 1~2인 가구 증가와 공간활용도를 높이기 위한 컴팩트 가구 및 설비 시스템이 상품화되었다.

○ 최근 신혼부부 혹은 작은 평형대의 집에서는 주로 조리의 기능인 주방이 거실의 기능 혹은 서재의 기능이 더해진 생활 중심형 공간으로 바뀌고 있는 추세이다.

○ 특히 리빙 키친은 거실(Living)과 주방(Kitchen)을 결합한 구조로 시스템 수납장, 책상, TV장처럼 전혀 다른 공간의 가구들이 결합되어 '뭐든지 가능한 주방'이 가능한 것을 뜻하고 있다. 이런 트렌드로 인해 주방이 서재나 다른 공간을 대신하게 되니, 좁은 공간을 더 효율적으로 쓸 수 있게 되었다.



그림 9. 가구의 기능을 지닌 주방설비

2. 국외

○ MIT Media Lab과 Fuseproject에서 개발한 ORI는 24㎡ 미만의 마이크로 아파트에 적용할 수 있는 로봇 타입의 일체형 스마트 가구이다.

○ MIT Cityhome 프로젝트를 통해 1인 가구를 위한 IT 기술과 결합된 이동형 가구 시스템이 개발되었다.



그림 10. Ori system 1

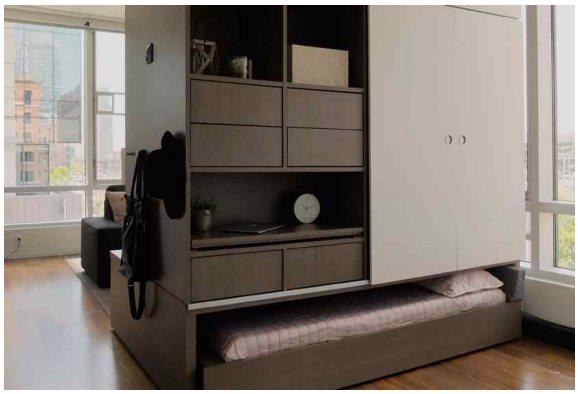


그림 11. Ori system 2

○ 도심 과열지구내 기숙사와 같이 주민들의 자신의 사적공간을 유지하면서 유틸리티를 공유하는 경우도 있지만, 기본적으로 마이크로 유닛이라고 하는 250 ~ 375 s.f. 정도의 크기를 토대로 Perkins Eastman의 350 s.f. 을 기본으로 한 시범사업을 진행하였다.



그림 12. Perkins Eastman의 Wharf 프로젝트의 마이크로 유닛

○ 중국 건축가인 Gary Chang은 자신의 344 s.f. 규모인 홍콩 아파트에 변형이 가능한 레이아웃을 통해 24개의 레이아웃을 도출할 수 있게 계획 후 적용하였다. 소형 주택에서 변화, 평면의 유연성 및 공간의 극대화를 추구하며 프로젝트를 구현하였다.



그림 13. Gary Chang

제 5절. 경량화 복합패널 관련 개발 현황

1. 국내

가. 섬유강화 복합소재 제조 기술 측면

○ 섬유강화 복합소재 제조에 사용되는 고분자 소재의 용융점도는 20mPa·s(cps)로 이는 통상의 열가소성 소재 대비 1/5,000 수준으로 낮으며, 이를 파우더로 만들어 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등의 섬유강화재에 분산도포한 후 열과 압력으로 함침시켜 복합소재를 제조하고 있다.

○ 초고유동 소재를 함침하기 때문에 광폭의 섬유강화재에도 섬유 filament 내부까지 함침(micro impregnation)이 잘되어 우수한 물성을 얻을 수 있다.. 또한 생산 공정 중이나 최종제품에서 VOC 등의 유해 물질 발생이 전혀 없는 친환경 공정기술을 사용하고 있다.

○ 최대 3.0 m 폭의 복합소재 연속생산라인을 직접 설계하고 설치하여 가동하고 있다.



그림 14. 폭 3.0m 섬유강화 복합소재 생산라인 및 제품

나. 복합패널 개발 기술 측면

○ 고강도 고강성 복합소재 시트를 내/외피 스킨재로 하고 이를 EPS, XPS, PU, Honeycomb 등의 기능성 단열재 코어와 라미네이션하여 복합소재 패널을 개발하고 있다.

○ 복합소재 패널은 다음의 장점을 가지고 있어 건축소재로 각광을 받고 있다.

- 고강성, 고충격강도, 저비중, 내부식성으로 인한 자재의 고기능화, 경량화

- 다양한 코어재를 이용하여 단열, 내열, 구조의 다기능성 부여가 가능하다.
- 높은 친환경성, 리사이클성을 가지고 있다.
- 모듈(Module)화 공법으로 빠른 시공기간 : 300㎡ 가량 시공 시 약 1일이 소요된다.

○ 단일패널로 세계 최대인 3m × 12m 크기로 제조가 가능하여 단일패널만으로도 벽체, 구조체, 단열재 역할을 동시에 수행할 수 있어 시공이 간단하며, 별도의 철골 지지구조를 필요로하지 않는다.

○ 복합소재 스킨과 두께 100mm EPS 코어를 사용한 3m × 12m 단일 패널 무게는 170kg에 불과해 성인 3-4명만으로 운반과 시공이 가능하다. 이는 같은 두께의 강판 내/외피재를 사용한 기존 금속강판 샌드위치 패널 무게의 1/2 이하 수준이다.

○ 현재 주로 사용되는 금속강판 패널 제품은 폭이 1.0m 내외로 제한적이어서 넓은 벽체 시공 시 여러 패널을 연결하여 시공을 해야 하기 때문에 접합부의 연결, 연결부 누수, 부식 등의 문제점이 있다.

○ 금속강판 패널 제품은 실제로는 매우 얇은 금속박막을 사용하는데, 금속박막은 단순히 패널을 보호하는 역할만을 주로 수행한다. 따라서 외부의 굽힘 하중, 충격에 약하기 때문에 구조체의 역할을 수행하지 못한다.



그림 15. 다기능성 복합패널

다. 건축소재 적용 측면

○ 현재 샌드위치 패널 내/외피재에 주로 사용하는 금속 도금강판은 무게, 비용 문제로 주로 0.5 ㎜ 이하의 얇은 박막 형태로 사용하기 때문에 굽힘 하중 등에 매우 취약하다. 금속 강판은 하중지지의 구조체 역할은 없고 주로 표면을 보호하는 기능만을 가진다.

○ 따라서 금속강판 패널로 건축물을 시공할 때는 하중 지지대 역할을 하는 H빔 등의 철제 프레임을 설치한 후 샌드위치 패널을 끼워 조립하는 방식을 채택하고 있다. 이때 내/외피재 금속박막 표면, 철제 프레임 등 금속이 많이 사용되는 부분에서 많은 열손실이 발생하여 건축물의 단열효과가 떨어지며 누수, 결로의 원인으로 작용할 가능성이 있다. 또한 바닥을 평탄화하기 위한 시공, 양생, 철제 빔 설치 등의 공사로 공기가 늘어나게 된다.



그림 16. 기존 금속 샌드위치 패널 및 이를 이용한 건축물 시공 모습

○ 복합패널 제품은 가벼우면서도 고강성, 고강도의 컴포지트를 내/외피재로 사용하기 때문에 표면 보호 역할뿐만 아니라 하중을 지지하고 전달하는 구조체 역할을 동시에 수행한다.
○ 패널 자체가 구조체 역할을 하기 때문에 별도의 철제 프레임 필요 없어 공기를 단축할 수 있고, 금속이 사용되지 않아 열손실이 최소화되기 때문에 단열효과, 열에너지 효율이 매우 높다.
○ 패널과 패널을 연결할 때는 시공 현장에서 특수 접착제와 플라스틱 프로파일만으로도 쉽게 연결이 가능하다.
○ 하중을 많이 받는 다층건물과 같이 철제 프레임이 필요한 구조에서도 프레임의 사용을 최소화할 수 있어 공사 기간, 비용 면에서도 유리하다.



그림 17. AXIA Materials 복합패널을 이용한 건축물 시공 모습

○ 복합패널은 특별한 공구 없이 일반 재단 공구만으로도 현장에서 손쉽게 재단이 가능하며, 창호, 도어, 배선 등 모든 필요한 설비를 시공하고 설치할 수 있다. 패널

벽면에 못, 리벳, 타카, 나사못 등을 체결하는 것도 문제가 없다.

○ 대면적 복합소재와 이를 이용한 대면적 복합패널 제품은 기존 제품의 보완/대체재가 아닌 신개념 제품이다. 따라서 기존 제품과의 직접적 비교는 어려우나 참고를 위해 현재 건축소재로 많이 사용되고 있는 금속강판 패널과의 차이점을 비교하였다.

표 7. 복합패널과 기존 샌드위치 패널의 차이점

복합패널	기존 샌드위치 패널
고강성의 섬유강화 복합소재 스킨(두께 0.5-1.0㎜) 내외피재와 단열재 코어를 라미네이션 시킨 기능성 복합패널	얇은 금속강판(0.05-1.0㎜) 내외피재 사이에 단열재 코어를 복합한 패널
- 복합소재는 경량이며(비중 1.8), 부식에 강하고 열에 대한 수축과 팽창 값이 작음 · 열전도도: 0.03W/mK · 열팽창계수: 10 x 10-6m/mK	- 금속강판은 부식을 방지하기 위해 아연, 알루미늄, 크롬 등으로 도금하여 사용함 - 금속 스킨과 코어재간 온도변화에 따른 길이 변화(수축, 팽창)가 커서 조인트부, 연결 이음새 등이 박리, 취약화의 우려 있다. · 강판 열전도도: 50W/mK · 강판 열팽창계수: 13 x 10-6m/mK
단일 패널의 최대 크기가 폭 3.0m x 길이 12m로 하나의 단일패널로 한 벽체 전체를 시공할 수 있다.	폭 1.0m x 길이 수m 로 폭이 제한적이어서 철제프레임을 사용해서 끼워 넣음

○ 복합패널과 아라미드 방탄판을 기능화/일체화하여 군사 시설물의 외벽을 대면적 방탄패널로 보호할 수 있으며, 건물 벽체와 방탄벽의 기능을 동시에 수행하여 작전지역 내에서도 단시간 내에 쉽게 설치할 수 있는 장점이 있다.



그림 18. 패널과 방탄판을 일체화한 복합방탄패널 시공 모습(미육군)

제 3장. 연구 수행 내용 및 성과

제 1절. 구호주거 성능지표 개발

표 8. 재난대응 구호주거 성능지표 개발을 위한 기초연구 요약

본 연구는 구호주거 성능기준 및 개발의 기반을 다지기 위해 구호주거 성능지표 체계를 개발하고 지표의 도입방안을 제시하는 것을 목표로 전문가 설문을 통한 계층적 분석 기법(Analytic Hierarchy Process)을 진행하였다. 구호주거 성능지표 체계를 구축하기 위하여 구호주거를 항구적 주택이 마련되기 전까지 일정 기간 사용되는 중장기 임시거주시설로 정의하고 안전성, 신속성, 재사용성, 거주성, 경제성을 주요 성능 요소로 도출하였고, 주요 성능 요소와 건축물의 전 생애주기를 연계하여 계층화된 성능지표 체계를 구축하였다. 개발된 구호주거 성능지표 체계의 항목별 중요도를 계층적 분석 기법에 따라 정량적으로 도출하였다. 마지막으로, 중요도 분석 결과를 바탕으로 종합 가중치 1 - 10 순위의 성능 기준과 각 범주별 1 순위의 성능 기준인 총 14 개의 성능 기준을 필수 성능 기준(반드시 충족), 그 외는 권장 성능 기준(선택적 충족)으로 분류하여 구호주거 개발의 모든 단계를 고려한 성능지표를 구축하였다.

1. 선행연구 고찰

본 연구의 내용과 관련된 구호주거 성능 관련 연구내용을 각 연구에서 정의 내린 용어와 주로 연구된 성능요소 혹은 계획요소를 중점적으로 정리하면 표 8과 같다.

- 일반적으로 임시거주시설은 일시적인 대피를 위한 장소의 개념이 아니라, 재난에 의해 발생된 이재민의 새로운 주택을 마련하기 전까지 필요에 따라 일정 기간만 사용되는 주거로 정의되었다[3,4,5,6,8,10].

표 9. Review of prior studies

Major subject	Definition
Primary performance factor	Primary design factor
A Study on the Methods of Temporary Housing for the Refugee Disastered[3]	Temporary housing: A residential building for temporary use as needed until a new residence is set up.
Rapidity, economy, Plenty, Eco-Friendly, High-Technology, Workability	Environment(Site, Climate, Layout, Daylight, Heating, Ventilation, Defense), Behavior(Emergency relief, Education, Society, Religion, Property habits, Lifestyle, Economy), Technology(Infrastructure, Eco-friendly, Structure, Materials, Equipment)
A Case Study on the Typology of Temporary Housing According to Disasters[4]	Temporary housing: Including the culture of the people, the residential environment including the residence for the temporary period only as needed until the new residence
Safety, Sanitation, Accessibility, Comfort, Location environment, Rapidity, Transport-Ability, Lightweight, Module, Eco-Frendly, Variable	_
A Study on the Residential Planning Factors for Emergency Shelter after Disaster[5]	Emergency shelter: Evacuation and residence of victims regardless of facility use
Safety, Sanitation, Accessibility, Comfort	Site standard, Minimum area, Additional facilities(Water drainage facilities, Sanitation facilities, Operation management facilities, Communication/electric facilities), Residential performance(Ventilation, Lighting, Insulation/Heating, Safety

	assurance, Privacy assurance, Consideration of persons with disabilities, etc.), Sustain-ability(Building Materials/Structure/ Construction)
A Research Study on Comparative Analysis of Architectural Planning Improvement on Temporary Housing of Korea and Japan[6]	Temporary housing for post-disaster: When a special situation called disaster occurs and a residential space is needed, a space with a residential function created for a temporary period
Habitability(Comfort), Transport-Ability, Rapidity, Sustain-Ability(Recycle)	Layout plan, The physical characteristics of the units(Location, Layout plan, Infrastructure, Unit), Temporary housing type, Foundation type of bond, Construction candidate site, Temporary housing assembly method, Post utilization plan
A study on the planning characteristic of temporary housing considering the needs of temporary residence[7]	Event facilities: The names of all the facilities that occur due to the nature of events
Temporary, Rapidity, Reuse-Ability, Transport-Ability	_
A Study on the Spatial Configuration of the Post-Disaster Refugees Housing[8]	Temporary accommodation facility(Temporary): Welfare facilities such as schools, churches, etc. Temporary housing facility(Short-term): Short-term housing concept within 30 days Medium and long-term relief Residential type(permanent): Mid-term residential concept over 60 days
Rapidity, Plenty, High-Technology, Workability, Planning, Variable, Eco-friendly, Industrialization, economy, Safety	Unit floor plan(Minimum required number of room, Minimum area), Type of unit plan(Room configuration)
A Study on the Emergency Relief Design with Consideration for Weak Person of Disaster - Focused on the Countermeasure Emergency Relief Design in Earthquake Disaster-[9]	Emergency relief design: Safety, Relief, Crisis management and Disaster prevention In the context of safety management concept, physical elements that may cause harm to the mind and body during a crisis caused by a disaster are blocked, In the case of damage, the compound concept of functional design that takes advantage of self-reliance and pursues reduction of damage with usability
Usability, Durability, Safety, Transport-Ability, Cognitive, Accessibility, Sanitation, economy	_
Current Status and Implication for the Planning of Emergency Shelter Considering User's Habitability[10]	Victim's emergency shelter: Not the concept of a place for temporary evacuation, temporary housing facility used for a certain period immediately after a disaster
Safety, Sanitation, Accessibility, Comfort	Safety(Defense, Safety assurance and prevention), Sanitation(Public health, Medical support, Light), Convenience(Ease of access, Community, Care for disaster weak person), Comfort(Area, Heat/Humidity, Privacy, Sound)

○ 본 연구에서는 재난 발생 직후 일시적으로 사용되는 공간에 대해서는 '응급대피시설'로 정의 하였으며, 대피 이후 항구적 주택이 마련되기 전까지 일정기간 사용되는 중장기 임시거주시설에 대해 '**구호주거(Post-disaster Refugees Housing)**'로 정의 하였다.

표 8은 선행연구에서 규정한 성능요소들을 정리한 것으로, 각 연구별 성능요소의 의미를 파악한 후 의미는 동일하되 사용된 용어가 다른 경우 빈도수가 더 높은 용어로 통일하여 표 9에서 성능요소별 빈도수를 확인하였다.

○ 이를 통해 선행연구에서 주로 고려된 성능요소로는 안전성, 신속성, 친환경성, 보건성, 편리성, 쾌적성, 이동성, 경제성임을 확인하였다.

- 안전성: 이재민이 외부환경으로부터 보호될 수 있는 환경과 안전
- 신속성: 빠르게 구호주거를 공급하는 것으로 제작과 해체까지를 포함
- 친환경성: 재난 발생 시 파괴된 건물에서 발생하는 폐기물과 사용된 구호주거의 재활용, 재사용
- 보건성: 위생관련 요소
- 편리성: 근린시설과 교통수단이용의 용이성
- 쾌적성: 면적 및 단열, 방습과 같은 건물 품질
- 이동성: 구조체가 이동 가능해야

표 10. Performance factors selected by prior studies

Performance factor	Meaning	Ref no.								sum
		3	4	5	6	7	8	9	10	
Safety	**Natural disaster, fire safety, life safety**		◎	◎			◎	◎	◎	**5**
Rapidity	**Fast supply, rapid production and disassembly**	◎	◎		◎	◎	◎			**5**
Eco-friendly	**Waste disposal(recycling, reuse)**	◎	◎		◎	◎	◎			**5**
Sanitation	**Specific factor such as sunshine, sewage**		◎	◎				◎	◎	**4**
Facility	**Neighborhood facilities, transportation accessability**		◎	◎				◎	◎	**4**
Comfort	**Area, building quality, hvac**		◎	◎	◎				◎	**4**
Transport-ability	**The structure must be movable**		◎		◎	◎		◎		**4**
economy	**Cost of construction/ refuse treatment/ reuse**	◎					◎	◎		**3**
Lightweight	Must be light		◎							1
Module	Must be modular		◎				◎			2
Variable	Space flexibility(expansion, reduction, transformation)		◎				◎			2
Plenty	Movable, sufficient supply of material	◎					◎			2
Planning	Meeting space demand						◎			1
High-technology	Such as lean construction	◎					◎			2
Workability	Usage of construction	◎					◎			2
Temporary	Residence for a certain period					◎				1
Usability	Reasonable and accurate functioning according to purpose							◎		1
Durability	Quality stable and robust							◎		1
Cognitive	Establish of information transmission system							◎		1

○ 본 연구에서는 선행연구에서 주로 고려된 성능요소들을 성능지표에 반영하되 유사성격을 띄는 이동성은 신속성에 포함시키고 보건성, 편리성, 쾌적성을 묶어 거주성으로 재편하였으며, 용어와 의미 간에 혼동이 우려되는 친환경성은 재사용성으로 용어를 변경하여 **안전성(Safety), 신속성(Rapidity), 재사용성(Reusability), 거주성(Habitability), 경제성(economy)**을 주요성능요소로 반영하여 구체적인 성능지표를 개발하였다.

2. 구호주거 성능지표 체계 개발

가. 1차 구호주거 성능지표 체계 개발

계획부터 시공, 사용, 사용 종료 후의 재사용 혹은 폐기까지 건축물의 전 과정을 고려해야하는 구호주거의 특성상 **건축물의 생애주기(Life cycle)**[1]관점에서 선행연구 고찰을 통해 도출된 **성능요소(안전성, 신속성, 재사용성, 거주성, 경제성)**와 연계하여 지표 체계를 구축하였다.

표 11. Primary Post-disaster Refugees Housing Performance Index system

Division	Category	Performance criterion	Performance factor
Design	Site plan	Placement	Safety, Habitability
	Building plan	Space plan	
	Structure plan	Structural safety	
		Structural usage	
	System plan	Heating and Cooling system	
		Ventilation system	
		Water supply·sewage disposal and Sanitation	
		Other equipment	
Construction	Production	Material performance	Rapidity, economy
		Lead time	
	Transportation	Transport means and total elapsed time	
		Packing	
		On-site handling availability	
	In-situ Construction	Assembly procedure	
		Workability	
		Initial installation cost	
Inhabitation	Use 1 stage (inhabitation)	Occupancy	Habitability, economy
		Occupancy cost	
	Use 2 stage (until next using)	Disassembly and Storage	Reusability, economy
		Large scale repair	
		Flexible use	
		Reuse	
	Use 3 stage (after durability)	Disposal	
		Recycle	
		Transportation/Storage/Disposal cost	

구호주거의 전 과정을 설계 단계부터 시공되고 사용되어 폐기되기까지의 단계를 설계-시공-거주 3단계로 구분한 후 각각의 구분에서 순차적으로 범주를 구분하고, 각각의 범주별로 성능기준들을 가지며 이는 세부지표들로 채워지는 체계로 구축하였다.(표 10)

표 12. Post-disaster Refugees Housing Performance Index system

Division 1	Category 1	Performance criterion 1	-Detail guide -and index
		Performance criterion 2	-Detail guide -and index

1) 기획·설계 및 건설공사를 지나 운용·관리 및 폐기·처분단계로 이어지는 일련의 과정

○ 설계는 안전성, 거주성을 고려하여 부지-건물-구조-시스템 계획으로 범주화하였으며 성능기준으로는 배치, 공간계획, 구조안정성, 구조사용성, 냉난방설비, 환기설비, 급배수/위생으로 구성하였다.
○ 시공은 신속성, 경제성을 고려하여 생산-운송-시공으로 범주화하였으며 성능기준으로는 재료성능, 납품기간, 운송수단 및 기간, 적재방법, 현장취급, 시공절차, 시공용이성, 초기설치비용으로 구성하였다.
○ 거주는 재사용성, 경제성을 고려하여 운용 1-2-3단계, 거주-다음사용까지-내구연한 사용 후로 범주화하였으며 성능기준으로는 운용, 운용비용, 해체/보관, 대규모 보수, 가변적 사용, 재사용, 폐기, 재활용, 운송/보관/폐기비용으로 구성하였다.

나. 구호주거 성능지표 체계 수정보완

앞서 정리한 표 11의 체계 및 내용의 적합성을 검토하고 성능기준의 보완을 위해 구호주거 관련 전문가들을 대상으로 의견조사(서면 자문)를 진행하였다.

○ 전문가들을 대상으로 의견조사를 진행한 결과이다.
- 설계: 성능기준의 세분화로 명확한 세부지표가 제시될 수 있도록 수정해야 하고, 재난 발생 시 인프라 도괴에 대한 상황을 가정할 필요가 있으며, 계획단계부터의 재사용성 고려가 필요하다.
- 시공: 단계별 비용 설정, 신속성이 강조된다.
- 거주: 단계별 비용 설정과 체계를 조정해야 한다. (설계, 시공의 범주와 같이 위계 조정)
- 전반적으로 사용되는 용어에 대해서도 일반적인 용어로 수정할 필요가 있다.

수렴된 전문가 의견을 반영하여 구호주거 성능지표 체계와 성능기준의 내용체계를 표 12와 같이 구분, 범주, 성능기준으로 계층화되며 총 33개의 성능기준을 갖는 구조로 재구축하였다.

○ 설계는 구호주거 설계의 전반적인 과정을 포함하도록 부지계획, 건축설계, 구조설계, 환경설비계획으로 범주화하였다.
- 부지계획은 설치부지, 배치 및 동선계획, 주차계획, 전기공급계획, 급수·오수처리시설과 같은 부지 배치계획과 인프라 구축의 내용으로 구성한다.
- 건축설계는 평입단면설계, 재사용계획으로 구호주거 설계 내용으로 구성한다.
- 구조설계는 구조안전성과 사용성, 환경설비계획은 냉난방, 환기, 조명, 소음으로 실내환경의 유지를 위한 설비 내용으로 구성한다.

표 13. Secondary Post-disaster Refugees Housing Performance Index system

Div	Category	Performance criterion	Contents of Performance criterion
Design	Site plan	01. Installation site	Status of the site to be installed and whether it is under construction
		02. Layout and Flow plan	layout by number of people, vehicle and pedestrian movement planning
		03. Parking plan	Minimum number of parking lots
		04. Electricity supply plan	Electricity entry plan
		05. Water supply·sewage disposal	Water supply, water collection, water storage, sewage treatment
	Building design	06. Floor design	Supply area, flat type, essential furniture list and capacity
		07. Elevation design	Finishing materials, clearstory area, shade
		08. Section design	Insulation plan, height standard, connection with foundation, roof plan
		09. Reuse plan	Planning for disassembly, movement, and assembly to facilitate reuse/storage
	Structure design	10. Structural safety	Stability of structures against wind, earthquake, weight of structure itself
		11. Structural usage	Structural deformation and vibration
	Environment and building system design	12. Air conditioning and Heating	The amount of energy required for heating and cooling facilities
		13. Ventilation	Natural/mechanical ventilation equipment, ensuring minimal ventilation
		14. Light	Indoor illumination
		15. Noise	Indoor noise level, noise level according to installation area
Construction	Manufacture	16. Material performance	Insulation, Durability
		17. Lead time	Period for ordering and delivery of materials
		18. Production cost	Total cost to supply(including equipment and essential furniture)
	Transport	19. Transport means	Domestic and international transportation
		20. Packing	How to load
		21. On-site handling availability	Can be transported without equipment in the field
	In-situ Construction	22. Build procedure	Proceed according to construction guidelines
		23. Workability	Difficulty of Construction
		24. Quality verification	Pre-residency quality check procedure after construction(checklist)
Inhabitation	Use	25. Indoor environment control	Temperature·illumination control, carbon dioxide concentration
		26. Defect response	Immediate response to defects(repair, replacement)
		27. Usage cost	Costs incurred while using the building
	Maintenance	28. Keeping	Transfer to storage, disassembly and storage
		29. Repair and Reuse	Maintenance for reuse(material replacement, repair, etc.)
		30. Maintenance cost	Costs incurred for maintenance and reuse
	Disposal	31. Usage period	Durability is low enough to make reuse difficult
		32. Recycling	Material recycling after dismantling
		33. Disposal cost	Cost of disposal process

○ 시공은 자재납품부터 구호주거 시공완료까지의 과정을 포함하도록 제작, 운송, 시공으로 범주화하였다.

- 제작은 자재성능, 납품기간, 생산단가로 자재의 주문부터 납품까지 성능과 기간, 비용을 포함하는 내용으로 구성한다.
- 운송은 운송수단, 적재방법, 현장취급 용이성으로 자재의 운송부터 현장에서의 운반까지의 내용으로 구성한다.
- 시공은 시공절차, 시공용이성, 품질확인으로 신속하고 균일화된 품질을 갖도록 하는 내용으로 구성한다.

○ 거주는 입주부터 퇴거 이후 최종적으로 폐기까지의 과정을 포함하도록 사용, 관리, 폐기로 범주화하였다.
- 사용은 실내환경조절, 하자대응, 운용비용으로 입주민(이재민)의 거주환경과 관련된 내용으로 구성한다.
- 관리는 보관, 보수/재사용, 관리비용으로 구호주거의 사용이 종료된 후 재사용을 위한 보수 및 보관 내용으로 구성한다.
- 폐기는 사용연한, 자재 재활용, 폐기비용으로 구호주거의 내구성 하락으로 재사용이 어려울 경우의 폐기와 관련된 내용으로 구성한다.

선행연구와 연구진, 전문가 의견들을 통해 구호주거 성능지표 체계를 구축하고 성능기준의 내용들에 대해 정리하였다. 이 중 우선적으로 도입이 필요한 성능기준을 도출해내기 위해 전문가를 대상으로 중요도 조사(AHP)를 진행하였다.

3. 구호주거 성능지표 중요도 분석

가. AHP 기법에 따른 전문가 설문조사

○ AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층적 분석기법)분석
- 1970년대에 미국 펜실베니아 대학의 Thomas L. Saaty 교수가 고안한 방법으로 계층적 구조를 구성하는 요소간의 쌍대비교를 통해 상대적 중요도(이하 가중치)를 도출하여 최적의 의사결정을 모색할 수 있도록 하는 다기준 의사결정방법이다.

(1) 설문조사 개요

설문조사는 계층화된 구호주거 성능지표를 구분, 범주, 성능기준 항목별 5점 척도(Fig. 1)의 쌍대비교 형식으로 일반사항을 제외한 총 56개 문항을 구성하여 진행되었으며, 계층화된 구조는 표 13과 같다.[2)]

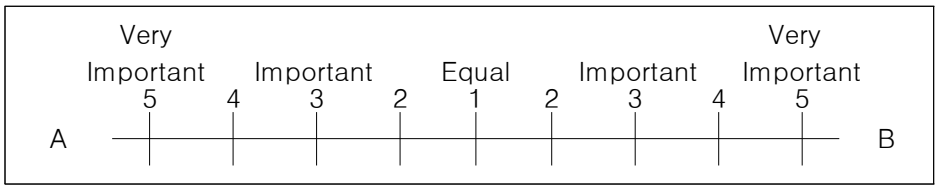


그림 19. Example of pairwise comparison

- 2017년 9월 19일부터 10월 16일까지 약 1달에 걸쳐 50여명의 설문 대상자에게 전자우편으로 설문링크를 발송하여 온라인 설문조사로 진행 21인이 응답했다.
- 일반사항으로는 전문분야와 경력을 확인하였다. 전문분야로는 건축방재, 재해구호, 건축, 건축구조, 건축재료 및 시공, 공업화 건축 등으로 응답되었으며, 경력은 7~30년까지 다양한 경력으로 평균 13년의 경력을 지닌 것으로 나타났다.

2) 성능지표의 명확한 규정을 위해 Table 6과 같이 각 성능기준의 설명 및 세부지표예시를 첨부하여 진행하였음

표 14. Hierarchy system of Secondary Post-disaster Refugees Housing Performance Index

Goal	Div	Category	Performance criterion
Post-disaster Refugees Housing Performance Index	Design	Site plan	Installation site
			Layout and Flow plan
			Parking plan
			Electricity supply plan
			Water supply·sewage disposal
		Building design	Floor design
			Elevation design
			Section design
			Reuse plan
		Structure design	Structural safety
			Structural usage
		Environment and building system design	Air conditioning and Heating
			Ventilation
			Light
			Noise
	Construction	Manufacture	Material performance
			Lead time
			Production cost
		Transport	Transport means
			Packing
			On-site handling availability
		In-situ Construction	Build procedure
			Workability
			Quality verification
	Inhabitation	Use	Indoor environment control
			Defect response
			Usage cost
		Maintenance	Keeping
			Repair and Reuse
			Maintenance cost
		Disposal	Usage period
			Recycling
			Disposal cost

(2) 일관성 평가

AHP 분석에서 사용되는 쌍대비교 형식에서는 전문가의 주관적인 판단을 요구하기 때문에 'A는 B보다 좋고, B는 C보다 좋고, C는 A보다 좋다'라는 모순된 판단이 자주 발생한다.

○ Saaty는 이를 위해 **일관성 지수(Consistency Index, CI)**를 제안하여 **CI≤0.1(10%)이면 일관성이 있다**고 판단하였다.

유의미한 가중치를 산출하기 위해 전문가 집단이 주관적으로 평가한 내용이 얼마나 일관성을 가지는지에 대해 일관성 지수를 구한 결과 CI>0.1인 2개의 응답 자료를 제외하고 분석을 진행하였다.

(3) 결과 및 분석

계층별 구분의 가중치(a), 범주의 가중치(b), 성능기준의 가중치(c)를 각각 도출한 후 계층별 가중치 값을 곱하여 성능기준별 종합가중치(t)를 표 14와 같이 산출하였으며, 각 계층별 가중치 순위와 종합가중치 순위를 나타내었다.

○ 설계, 시공, 거주 3개 구분에 대한 가중치(a) 결과는 각각 0.428, 0.267, 0.305로 설계(42.8%), 거주(30.5%), 시공(26.7%) 순으로 나타났다.

표 15. Result of AHP

LEVEL 1			LEVEL 2			LEVEL 3			TOTAL		
Division	Weight (a)	Ranking (a)	Category	Weight (b)	Ranking (b)	Performance criterion	Weight (c)	Ranking (c)	Weight (t=a*b*c)	Weight (%)	Ranking
Design	0.428	1	Site plan	0.241	3	01. Installation site	0.257	1	0.027	2.65%	18
						02. Layout and Flow plan	0.191	4	0.020	1.97%	26
						03. Parking plan	0.090	5	0.009	0.93%	33
						04. Electricity supply plan	0.216	3	0.022	2.24%	23
						05. Water supply·sewage disposal	0.246	2	0.025	2.54%	19
			Building design	0.268	2	06. Floor design	0.328	1	0.038	3.76%	8
						07. Elevation design	0.135	4	0.016	1.55%	29
						08. Section design	0.216	3	0.025	2.48%	21
						09. Reuse plan	0.322	2	0.037	3.70%	9
			Structure design	0.285	1	10. Structural safety	0.718	1	0.088	8.76%	1
						11. Structural usage	0.282	2	0.034	3.44%	12
			Environment and building system design	0.205	4	12. Air conditioning and Heating	0.379	1	0.033	3.33%	13
						13. Ventilation	0.251	2	0.022	2.21%	25
						14. Light	0.174	4	0.015	1.53%	30
						15. Noise	0.197	3	0.017	1.73%	28
Construction	0.267	3	Manufacture	0.361	2	16. Material performance	0.475	1	0.046	4.57%	4
						17. Lead time	0.277	2	0.027	2.66%	17
						18. Production cost	0.248	3	0.024	2.39%	22
			Transport	0.212	3	19. Transport means	0.310	2	0.018	1.75%	27
						20. Packing	0.193	3	0.011	1.09%	32
						21. On-site handling availability	0.496	1	0.028	2.81%	14
			In-situ Construction	0.427	1	22. Build procedure	0.235	3	0.027	2.68%	16
						23. Workability	0.459	1	0.052	5.22%	3
						24. Quality verification	0.306	2	0.035	3.48%	11
Inhabitation	0.305	2	Use	0.461	1	25. Indoor environment control	0.314	3	0.044	4.42%	5
						26. Defect response	0.289	2	0.041	4.07%	7
						27. Usage cost	0.397	1	0.056	5.59%	2
			Maintenance	0.338	2	28. Keeping	0.266	3	0.028	2.75%	15
						29. Repair and Reuse	0.396	1	0.041	4.08%	6
						30. Maintenance cost	0.338	2	0.035	3.49%	10
			Disposal	0.200	3	31. Usage period	0.363	2	0.022	2.22%	24
						32. Recycling	0.415	1	0.025	2.53%	20
						33. Disposal cost	0.222	3	0.014	1.36%	31

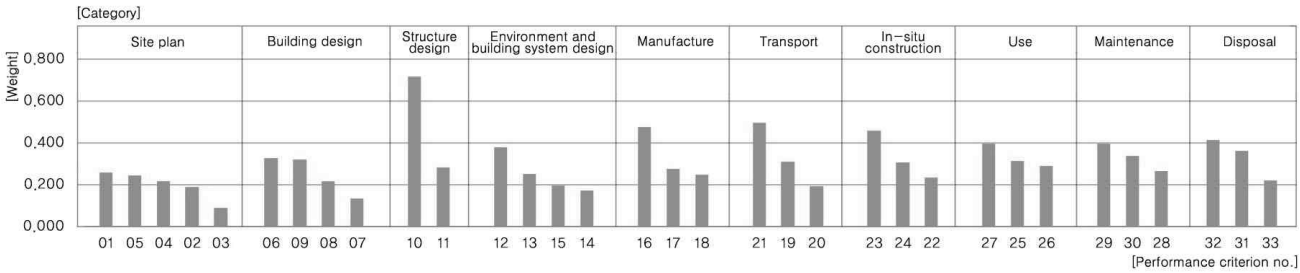


그림 20. Weight of performance criterion by category(weight c)

○ 설계의 범주별 가중치(b)는 구조설계(0.285), 건축설계(0.268), 부지계획(0.241), 환경설비계획(0.205) 순으로 비교적 고르게 나타났다.

- 각 범주의 성능기준별 가중치(c)는 부지계획(설계, 0.241, 3순위)에서는 설치부지(25.7%), 급수·오수처리시설계획(24.6%), 전기공급계획(21.6%), 배치 및 동선계획(19.1%), 주차계획(9.0%) 순으로 나타나 부지계획에서 설치기준의 중요도가 높지만 종합가중치 0.027, 2.65% 비중으로 비교적 낮은 종합가중치를 보이고 있다.
- 건축설계(설계, 0.268, 2순위)에서는 평면설계(32.8%), 재사용계획(32.2%), 단면설계(21.6%), 입면설계(13.5%) 순으로 건축설계에서 평면설계의 중요도가 높게 나타났으며 종합가중치 0.038, 3.76% 비중으로 비교적 높은 가중치를 나타낸다. 또한 재사용계획도 종합가중치 0.037, 3.70% 비중으로 평면설계의 바로 뒤이어 중요한 것으로 나타났다.
- 구조설계(설계, 0.285, 1순위)에서는 구조안전성(71.8%), 구조사용성(28.2%) 순으로 구조안전성의 중요도가 두 배 이상 높게 나타났으며 구조안전성은 종합가중치 0.088, 8.76% 비중의 가장 높은 중요도로 구조설계 범주에서 뿐만 아니라 구호주거 성능지표에서 가장 중요하게 인식되고 있다는 것을 의미한다.
- 환경설비계획(설계, 0.205, 4순위)에서는 냉난방(37.9%), 환기(25.1%), 소음(19.7%), 조명(17.4%) 순으로 환경설비계획에서 냉난방의 중요도가 높게 나타났으며 종합가중치 0.033, 3.33% 비중으로 범주의 낮은 가중치(b)에 비해 비교적 높은 종합가중치를 보이고 있다.

○ 시공의 범주별 가중치(b)는 시공(0.427), 제작(0.361), 운송(0.212)순으로 시공의 가중치가 높게 나타났다.

- 각 범주의 성능기준별 가중치(c)는 제작(시공, 0.361, 2순위)에서는 자재성능(47.5%), 납품기간(27.7%), 생산단가(24.8%) 순으로 자재성능의 중요도가 높게 나타났으며 종합가중치 0.046, 4.57% 비중의 4위로 구분과 범주의 낮은 가중치(a, b)에 비해 상대적으로 높은 종합가중치를 보이고 있다.
- 운송(시공, 0.212, 3순위)에서는 현장취급 용이성(49.6%), 운송수단(31.0%), 적재방법(19.3%) 순으로 현장취급 용이성이 상대적으로 높게 나타났으며 종합가중치 0.028, 2.81% 비중으로 중위권에 위치하였다.
- 시공(시공, 0.427, 1순위)에서는 시공용이성(45.9%), 품질확인(30.6%), 시공절차(23.5%) 순으로 시공용이성이 상대적으로 높게 나타났으며 종합가중치 0.052, 5.22% 비중의

3위로 구분과 범주의 낮은 가중치(a, b)에 비해 상대적으로 높은 종합가중치를 보이고 있다.

○ 거주의 범주별 가중치(b)는 사용(0.461), 관리(0.338), 폐기(0.200)순으로 사용의 가중치가 높게 나타났다.

- 각 범주의 성능기준별 가중치(c)는 사용(거주, 0.461, 1순위)에서는 운용비용(39.7%), 하자대응(28.9%), 실내환경조절(31.4%) 순으로 나타나 운용비용이 상대적으로 높게 나타났으며 종합가중치 0.056, 5.59% 비중의 2위로 구호주거 성능지표에서 구조안전성 다음으로 중요하게 인식되고 있다는 것을 의미한다.
- 관리(거주, 0.338, 2순위)에서는 보수/재사용(39.6%), 관리비용(33.8%), 보관(26.6%) 순으로 나타나 보수/재사용이 상대적으로 높게 나타났으며 종합가중치 0.041, 4.08% 비중의 6위로 높은 종합가중치를 보이고 있다.
- 폐기(거주, 0.200, 3순위)에서는 자재 재활용(41.5%), 사용연한(36.3%), 폐기비용(22.2%) 순으로 나타났으며 하위권의 종합가중치를 보이고 있다.

나. 구호주거 성능지표 도입방안

구호주거 성능지표에서 우선적으로 개발해야 할 항목에 대해 전문가 AHP 분석을 진행하여 표 15와 같이 정량적으로 도출하였다. 도출된 각 범주별 성능기준의 우선순위에 따라 다음 표 16와 같은 체계로 구호주거 성능지표의 성능기준 도입방안을 제시하고자 한다.

표 16. Final Post-disaster Refugees Housing Performance Index

Division	Category	Performance criterion	
		Essential performance criterion	Recommended performance criterion
Design	Site plan	01. Installation site	02. Layout and Flow plan 03. Parking plan 04. Electricity supply plan 05. Water supply·sewage disposal
	Building design	06. Floor design 09. Reuse plan	07. Elevation design 08. Section design
	Structure design	10. Structural safety	11. Structural usage
	Environment and building system design	12. Air conditioning and Heating	13. Ventilation 14. Light 15. Noise
Construction	Manufacture	16. Material performance	17. Lead time 18. Production cost
	Transport	21. On-site handling availability	19. Transport means 20. Packing
	In-situ Construction	23. Workability	22. Build procedure 24. Quality verification
Inhabitation	Use	25. Indoor environment control 26. Defect response 27. Usage cost	
	Maintenance	29. Repair and Reuse 30. Maintenance cost	28. Keeping
	Disposal	32. Recycling	31. Usage period 33. Disposal cost

○ 표 15에서 종합가중치 1-10순위의 성능기준과 각 범주별 1순위(Ranking c)의 성능기준인 부지계획의 설치부지(01), 건축설계의 평면설계(06), 재사용계획(09), 구조설계의 구조안전성(10), 환경설비계획의 냉난방(12), 제작의 자재성능(16), 운송의 현장취급 용이성(21), 시공의 시공용이성(23), 사용의 실내환경조절(25), 하자대응(26), 운용비용(27), 관리의 보수/재사용(29), 관리비용(30), 폐기의 자재 재활용(32) 14개 성능기준을 구호주거 개발의 모든 단계에서 고려될 수 있도록 구호주거 성능지표의 필수 성능기준으로 분류하여 반드시 충족될 수 있도록 하고, 그 외의 성능기준들은 상황에 따라 충족할 수 있도록 권장 성능기준으로 도입하는 구호주거 성능지표 체계를 제시하고자 한다.

제 2절. LMC 주거시스템 개발

1. LMC 주거시스템 계획

가. 공간유형 및 유형별 소요 공간

(1) 공간 유형의 정의

○ 본 연구에서는 구호주거시설로 LMC(Lite Multi Cube, 1톤 미만의 경량·구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템)을 개발하였다.

○ 재난발생시 주거파괴에 달한 피해를 입은 이재민이 응급대피시설로 대피 이후 항구적 주택이 마련되기 전까지 일정 기간(3개월; 90일) 거주하는 중장기 구호주택을 의미한다.

표 17. 일반적인 재난 지역 주거대책 절차

재난발생 - 응급대피시설 - 구호주거시설 - 항구적 주택시설(신축주택)

*응급대피시설: 재난 발생 직후 일시적으로 사용되는 공간(대피소, 임시수용시설)
*구호주거시설: 대피 이후 항구적 주택이 마련되기 전까지 일정시간 사용되는 중장기 임시거주시설
*항구적 주택시설: 신축주택 혹은 복구된 기존의 주택

(2) 기준 면적 정의

○ 국내 주택법의 최소주거면적 기준과 국제사회에서 일반적으로 통용되는 UNHCR Emergency Handbook의 구호주거 시설의 면적 기준을 인원별로 비교하면 다음 표 18과 같다.

표 18. 인원수별 면적 기준 비교(주택법, UNHCR Emergency Handbook)

기준 \ 인원수		2인	4인	6인
주택법, 최소주거면적		26㎡	43㎡	56㎡
UNHCR	온난기후: 주방제외 1인당 거주공간 3.5㎡	7㎡	14㎡	21㎡
	한랭기후: 주방 및 욕실 포함 1인당 거주공간 4.5~5.5㎡ (5.5㎡ 로 계산)	11㎡	22㎡	33㎡

- 재난에 대응하여 일정기간 사용되는 구호주거에 주택법의 최소주거면적 기준이나 UNHCR 기준을 그대로 적용시키기에는 무리가 있다.
- 두 기준을 적절히 충족하되 다목적 재난대응 주거시스템이라는 취지에 맞도록 설정하였다.

○ 소요 공간: 1세대(2인)[3] 기준, 최소 22㎡ 이상

○ 소요 공간 산출 근거

- UNHCR Emergency handbook, 주방 및 욕실 포함 1인당 거주 공간 4.5 ~ 5.5㎡

3) 2015 재해구호계획 수립 지침, 임시주거용 조립주택 지원

(5.5㎡로 계산)

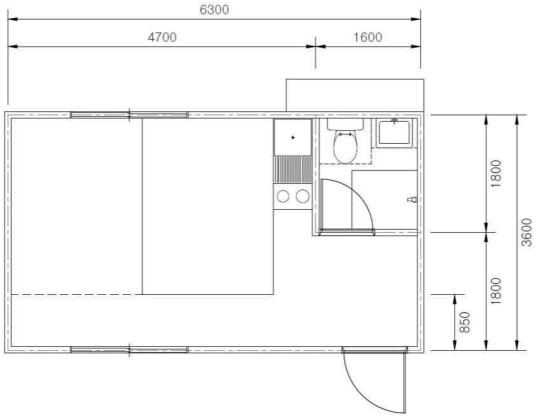
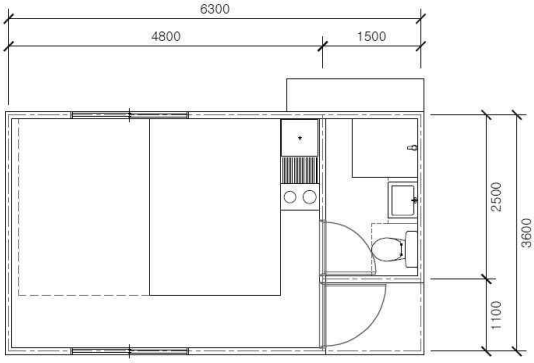
- 다목적 재난대응 주거시스템 구축을 위한 CTS 면적 10.8㎡
- 11㎡ (2인) + 10.8㎡ (CTS) = 21.8㎡ 을 충족하는 면적

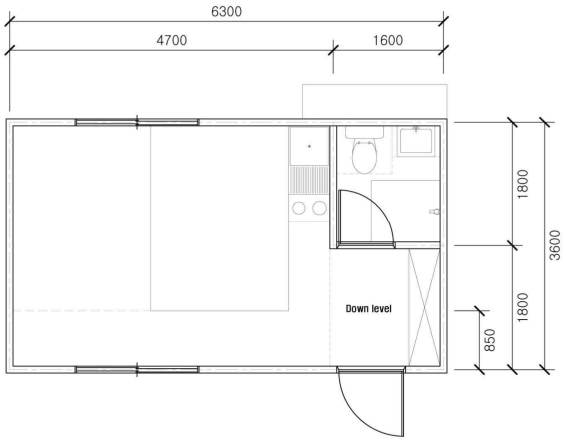
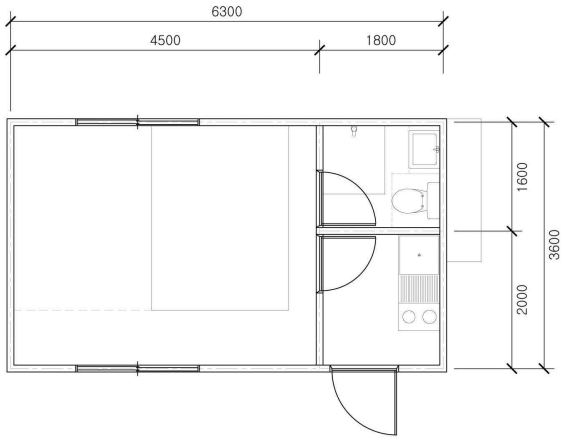
(3) 표준모델 개발 대안

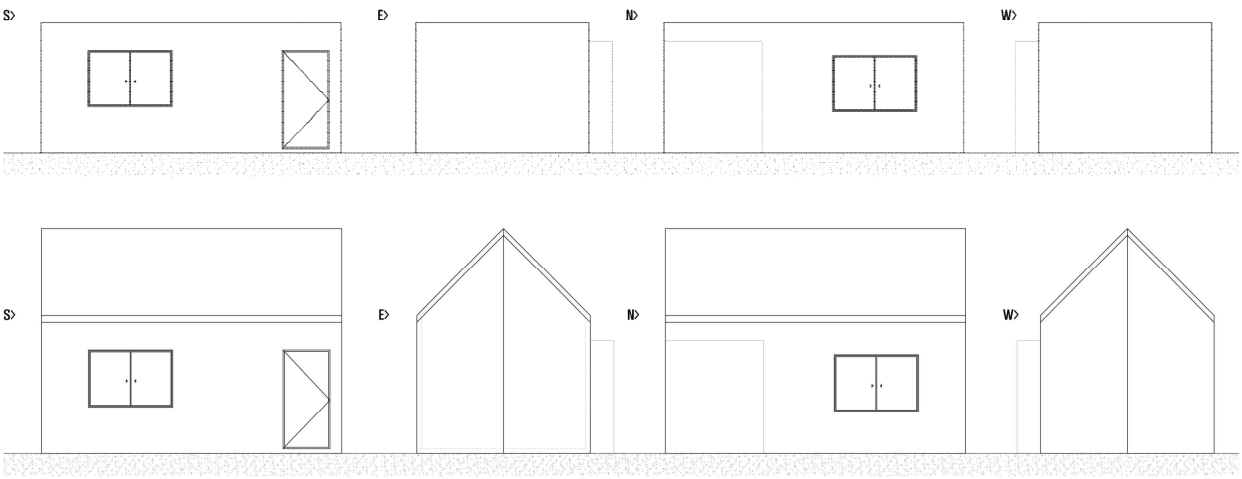
○ 설정한 1세대(2인) 기준 LMC의 평면구성 유형 정리

- 기본 실 구성은 주 생활공간과 욕실로 설정하였다.
- 4절의 '재난대응 CTS 컨셉디자인 설계' 에 따라 내부를 구성하였다.
- 주생활공간에는 CTS가 포함되어 거실, 침실, 수납공간으로의 기능을 수행한다.
- 욕실은 UBR(좌변기+세면대+샤워실)로 정방형, 장방형 두 가지 형태로 구성하였다.
- 주방, 현관을 주생활공간에 포함하거나 분리하는 형태로 평면 구성을 조정하였다.

표 19. 평면 구성 A

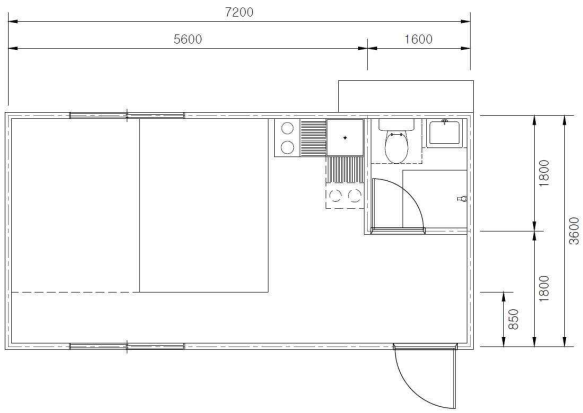
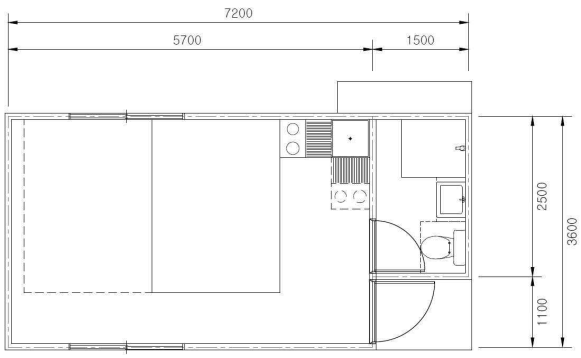
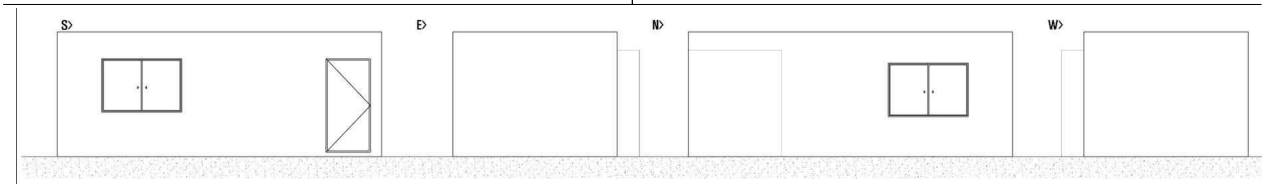
A	A-1
	
• 전체 면적: 6.3×3.6m, 22.68㎡ • UBR 면적: 2.88㎡ • CTS 면적 / 제외면적 : 5.4㎡ / 17.28㎡	• 전체 면적: 6.3×3.6m, 22.68㎡ • UBR 면적: 3.75㎡ • CTS 면적 / 제외면적 : 5.4㎡ / 17.28㎡

A-2	
	
• A와 면적 동일 • 주 생활공간과 단차로 현관 및 욕실 분리	• A와 면적 동일 • 주 생활공간, 욕실, 주방 및 현관으로 공간 분리 • 평지붕의 지붕 처짐 방지



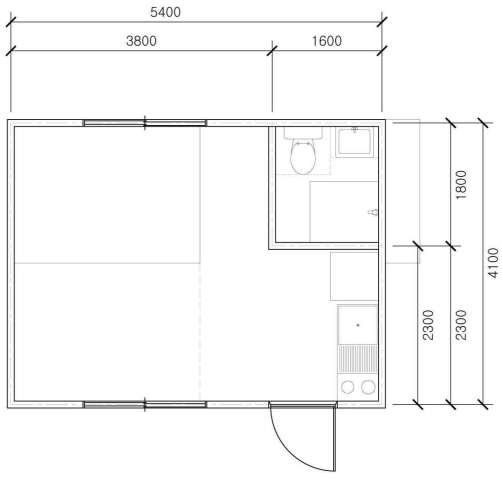
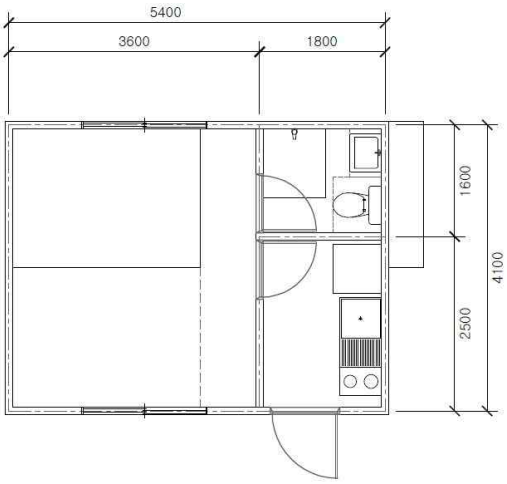
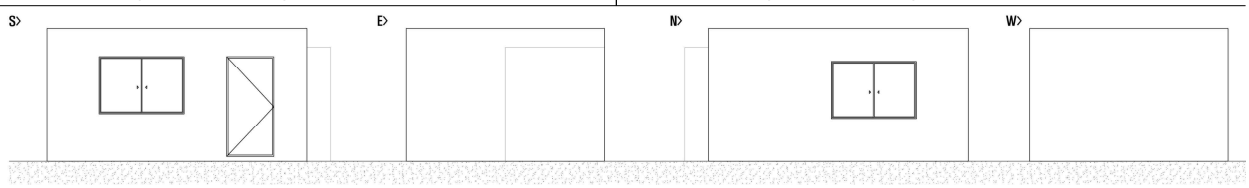
A 유형의 입면 형태(위: 평지붕, 아래: 경사지붕)

표 20. 평면구성 B

B	B-1
	
• 전체 면적: 7.2×3.6m, 25.92㎡ • UBR 면적: 2.88㎡ • CTS 면적 / 제외면적 : 5.4㎡ / 20.52㎡	• 전체 면적: 7.2×3.6m, 24.27㎡ • UBR 면적: 3.75㎡ • CTS 면적 / 제외면적 : 5.4㎡ / 18.87㎡
	

B 유형의 입면 형태

표 21. 평면구성 C

C	C-1
	
• 전체 면적: 5.4×4.2m, 22.14㎡ • UBR 면적: 2.88㎡ • CTS 면적 / 제외면적 : 5.4㎡ / 16.74㎡	• 전체 면적: 5.4×4.2m, 22.14㎡ • UBR 면적: 2.88㎡ • CTS 면적 / 제외면적 : 5.4㎡ / 16.74㎡
	

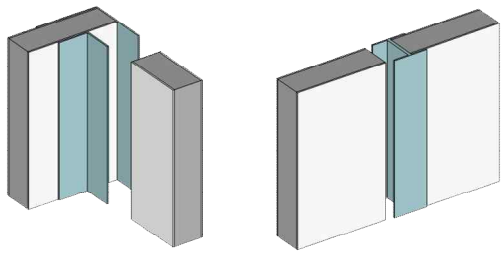
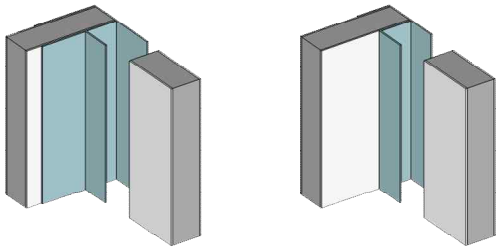
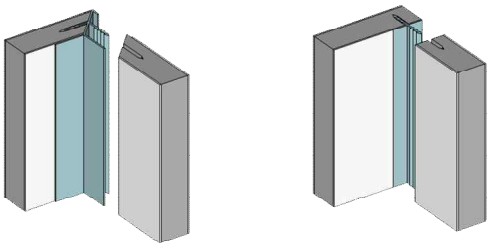
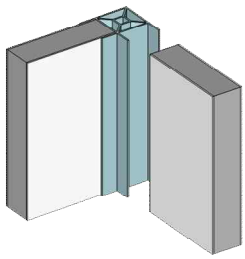
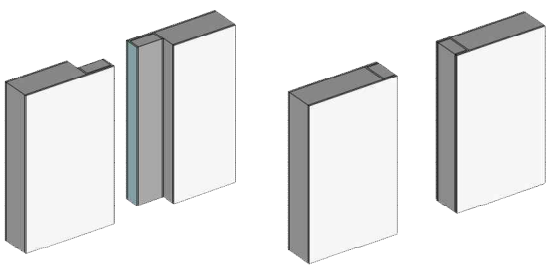
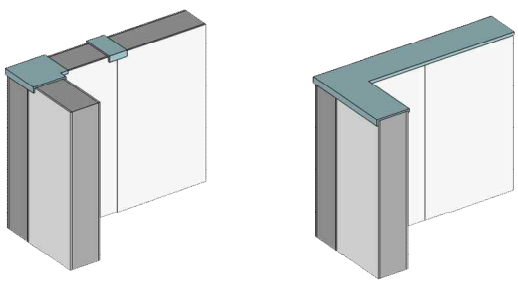
C 유형의 입면 형태

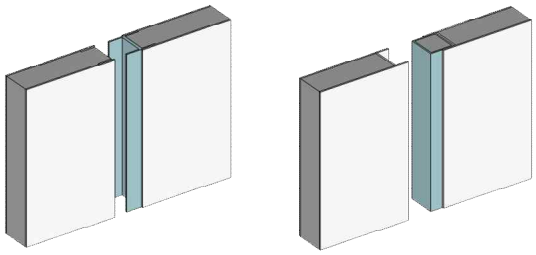
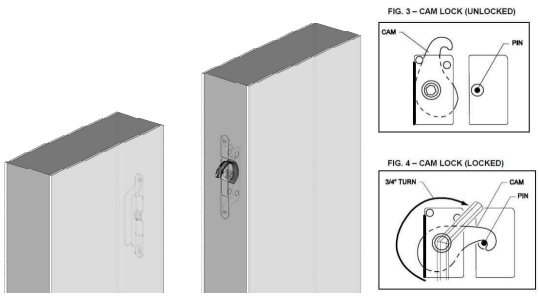
2. LMC 주거시스템 접합부 시스템 대안 개발

가. 접합부 공법 유형 분석

○ 통용되고 있는 부재 간 접합 유형에 대해 표 22과 같이 조사·분석하였다.

표 22. 접합 유형별 장단점(에너지, 구조, 생산, 시공 성능 측면에서)

<table>
<tr><th colspan="2">㉠ 외부 프로파일</th><th colspan="2">㉡ 교차 프로파일</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>에너지</td><td>외부 프로파일로 열손실 최소화 및 기밀성 강화</td><td>에너지</td><td>열교 발생</td></tr>
<tr><td>구조</td><td>구조 보완 어려움</td><td>구조</td><td>프로파일 재질에 따라 구조 보완 가능</td></tr>
<tr><td>생산</td><td>프로파일 추가제작</td><td>생산</td><td>프로파일 추가제작</td></tr>
<tr><td>시공</td><td>패널 세우고 외부 프로파일 덧대어 고정(못, 패스너 등 필요)</td><td>시공</td><td>프로파일에 패널 끼워 넣기(못, 패스너 등 필요)</td></tr>
<tr><th colspan="2">㉢ 내부 프로파일</th><th colspan="2">㉣ 코너 빔 프로파일</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>에너지</td><td>열교 발생</td><td>에너지</td><td>열교 발생</td></tr>
<tr><td>구조</td><td>구조 보완 어려움</td><td>구조</td><td>구조 보강 가능</td></tr>
<tr><td>생산</td><td>단열재의 추가 가공 필요</td><td>생산</td><td>코너재 추가 제작</td></tr>
<tr><td>시공</td><td>접착제 혹은 충진재를 패널 속에 채우고 내부 프로파일을 끼우는 형식(못, 패스너 등 필요)</td><td>시공</td><td>코너재에 패널 끼워넣기(못, 패스너 등 필요)</td></tr>
<tr><th colspan="2">㉤ 내장 구조 보강재(변형)</th><th colspan="2">㉥ 상하부 프로파일</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
</table>

에너지	열교 발생	에너지	열교 발생
구조	구조 보강 가능	구조	구조 보완 어려움
생산	패널 제작 시에 고려되어야 함(제작 어려움)	생산	상하부 프로파일 추가 제작
시공	제작된 단열재의 추가 접합 방식 필요	시공	바닥 하부 프로파일 설치, 패널 세우기, 상부 프로파일 설치, 천장 패널 고정
ㅅ 내장 구조 보강재		◎ 캠락(Cam-lock)	
			
에너지	열교 발생	에너지	기밀성 강화
구조	구조 보강 가능	구조	구보 보완 어려움
생산	단열재의 추가 가공 필요, 내부 빔 별도 제작	생산	단열재의 추가 가공 필요, 캠락 부품 별도 제작
시공	패널사이에 내부 빔 끼워넣기	시공	캠락이 설치된 패널을 조립(시공 용이)

○ 에너지와 구조성능 측면에서 보완이 가능하고, 재난현장에서 시공이 용이하며, 현실적으로 제작이 가능한 유형으로 외부 프로파일(㉠)유형 2종과 캠락(◎) 유형을 선정하여 진행하였다.

나. 접합부 설계

경량복합패널의 특성을 감안하여 품질확보 및 시공성을 감안하여 3가지 대안모델 개발

○ 복합패널 특성상 패널 간 접합 시 단면형상 변형보다 패널에 손상이 없는 면접합이 유리하다.

○ 단면형상 변형방법의 경우 사용된 내부 단열재(EPS)의 성형이 어렵다.

(1) 복합소재 외부 프로파일을 활용한 방법

- 패널의 접합부위 외부에 프로파일을 덧대는 방법을 사용한다.
- 패널 손상으로 인한 성능하락을 방지하고, 기밀성을 강화한다.
- 프로파일 설치 시 접착제 및 접합 철물(못, 리벳, 패스너 등) 사용으로 완전 결합하여 탈부착 시 패널 훼손으로 재사용률이 떨어진다.
- 프로파일 제작이 용이하다.

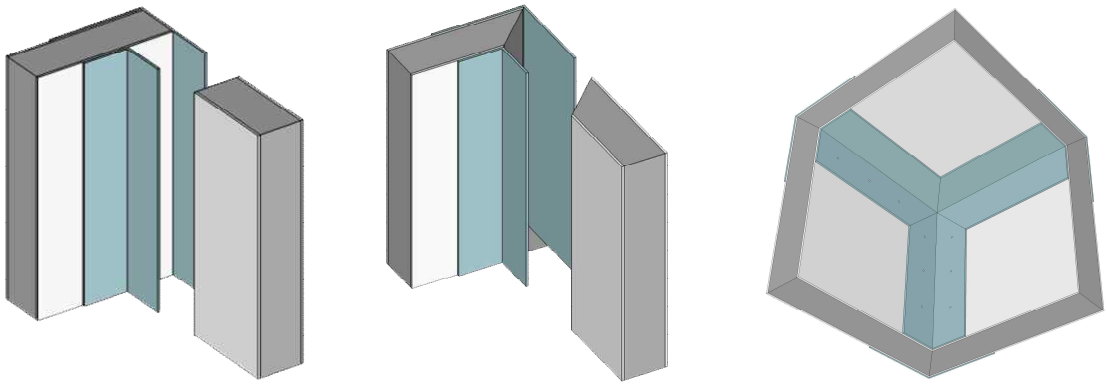


그림 21. 프로파일을 사용한 접합(모식도)

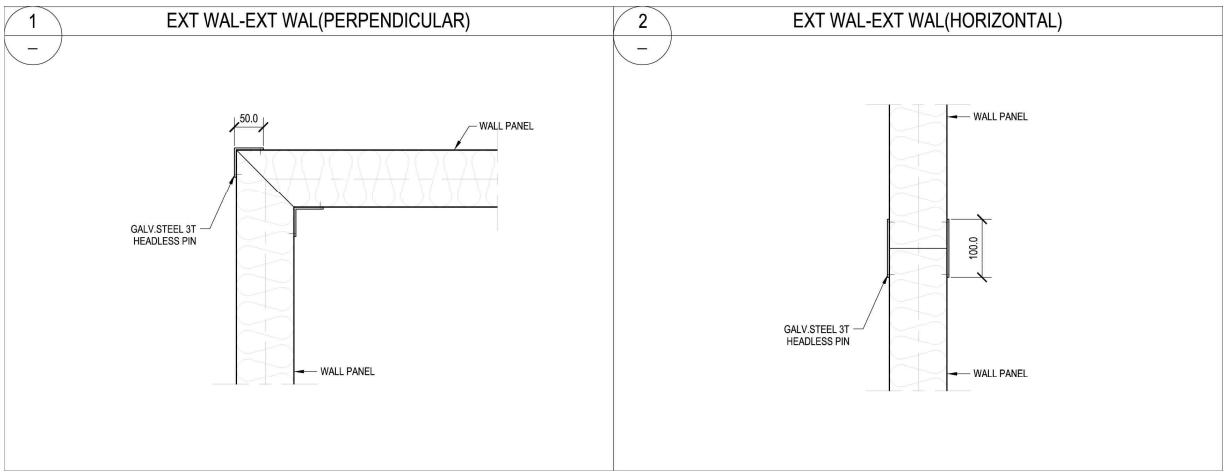


그림 22. 프로파일을 사용한 접합(상세도)

(2) 캠락(Cam-lock)을 활용한 방법

- 복합패널의 EPS 단열재 사용으로 단열재에 직접 부착하는 방식은 차용이 어렵다.
- 접합부위에 캠락이 고정된 철제(galvanized steel iron)를 덧씌워서 접합하는 방식으로 진행하였다.
- 패널 손상 없이 탈부착이 자유롭기 때문에 재사용률이 높고(패널에 직접적인 손상이 가해지지 않는 한 반복 사용 가능) 초기의 성능을 유지할 수 있다.
- 니즈에 따라 즉각적으로 대응해서 빠르게 조립이 가능하다.
- 패널 제작 난이도가 상승한다.
- 캠락 설치를 위한 별도 구조체(목재 또는 강재) 설치 필요
- 별도 구조물 설치에 의한 유닛 자중 증가

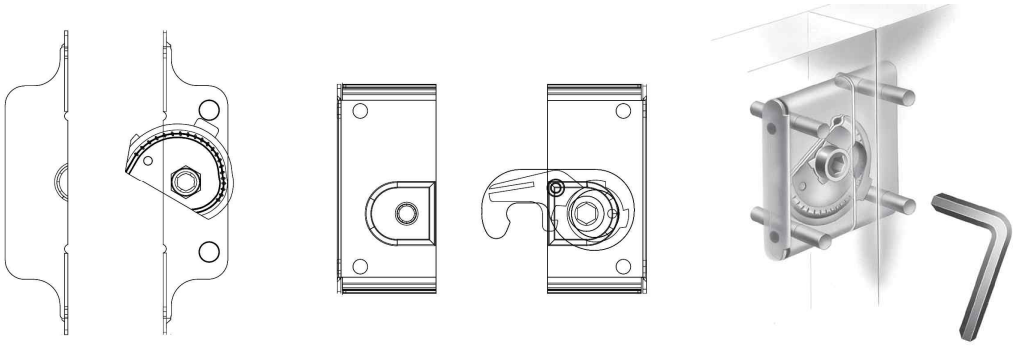


그림 23. 캠락(cam-lock) 구조물 모식도

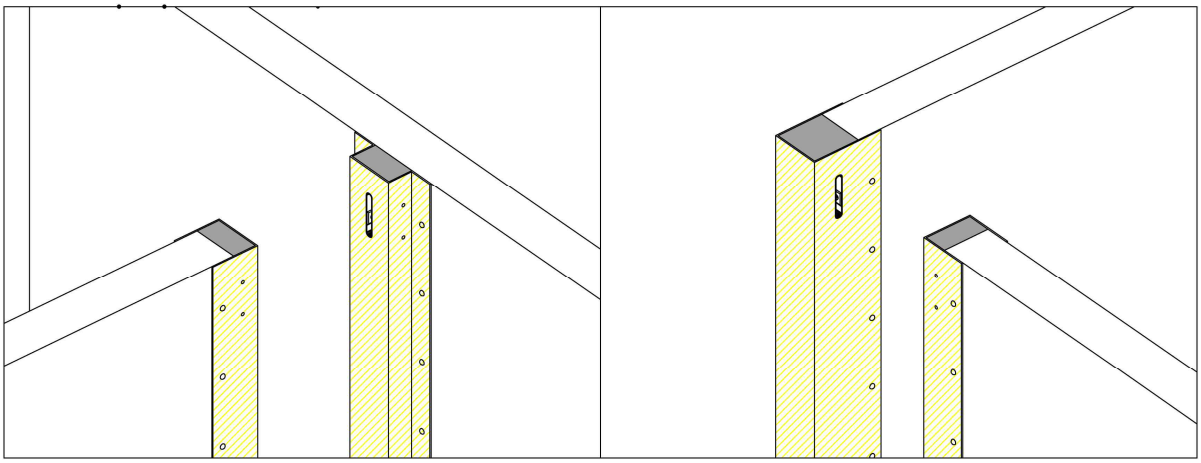


그림 24. 패널간 캠락구조물을 사용한 접합(모식도)
좌: 교차(내벽-외벽), 우: 직각(외벽-외벽)

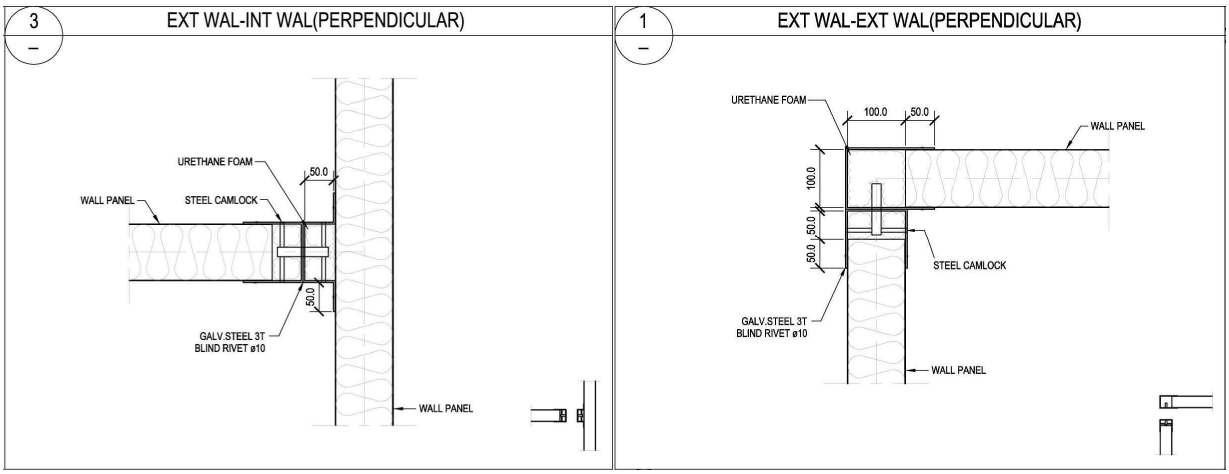


그림 25. 패널간 캠락구조물을 사용한 접합(상세도)

(3) PVC프로파일을 활용한 방법

- 창호 프레임 등에서 가장 널리 활용되고 있어 생산 시스템 구축에 유리
- 유닛의 경량화 유지에 유리
- 결합부 방수 성능 확보를 위한 고무 가스켓 등의 추가적인 기술 개선 필요
- 맞춤형 캐스트 제작을 위한 초기 투자비용 증대

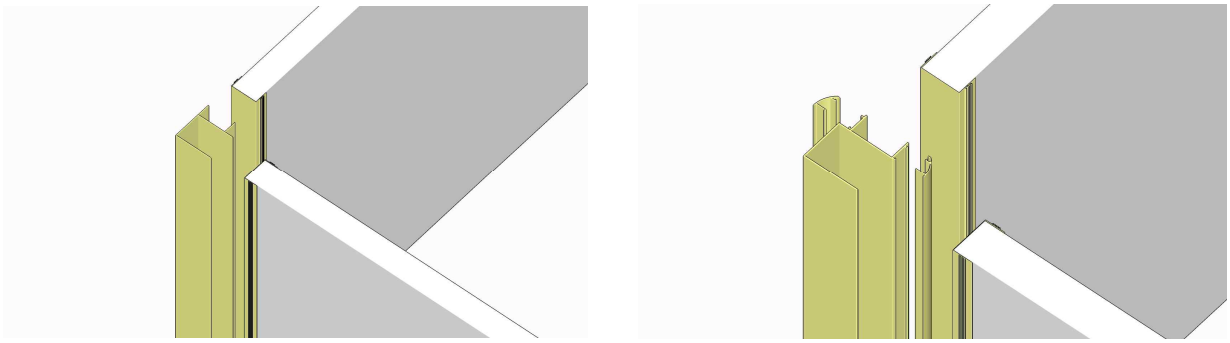


그림 26. 패널간 PVC 프로파일을 사용한 접합(모식도)
좌: 직각(외벽-외벽), 우: 직각(외벽-바닥)

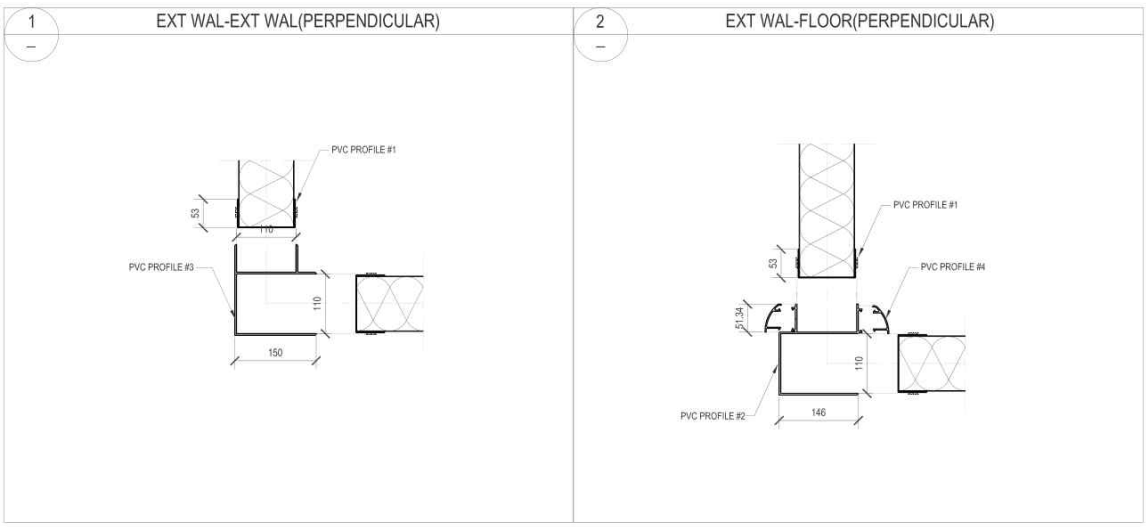
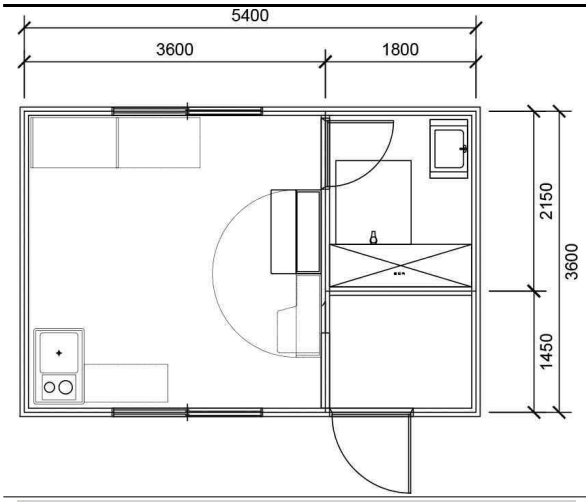
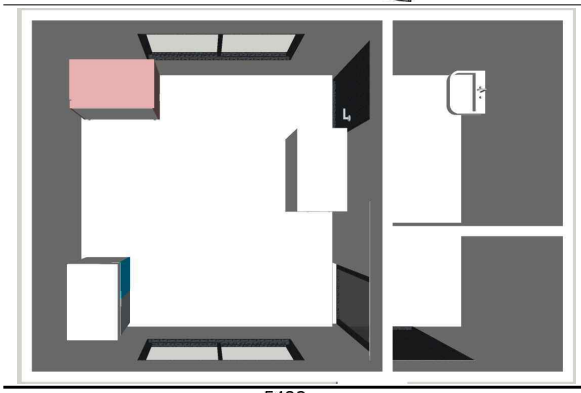


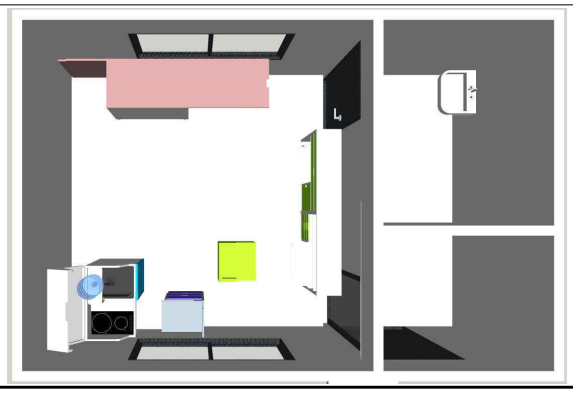
그림 27. 패널간 PVC 프로파일을 사용한 접합(상세도)

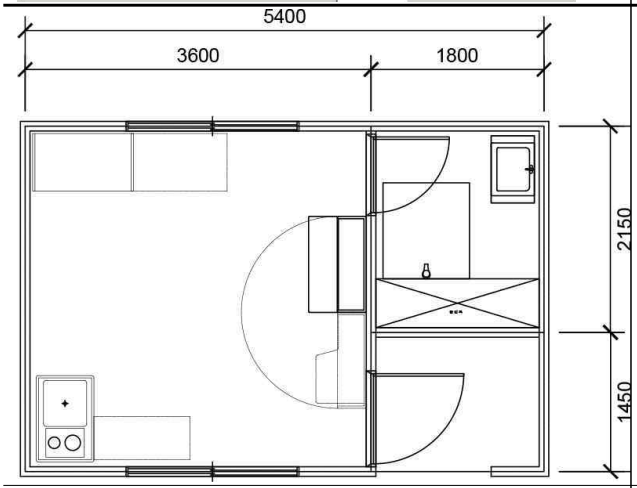
3. LMC 주거시스템 설계대안 개발



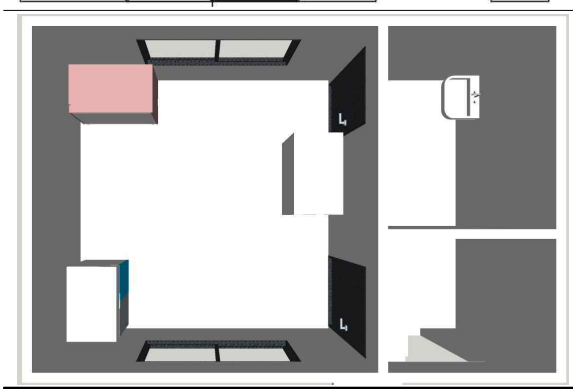
스튜디오형, 내부 발코니형, 샤워부스형



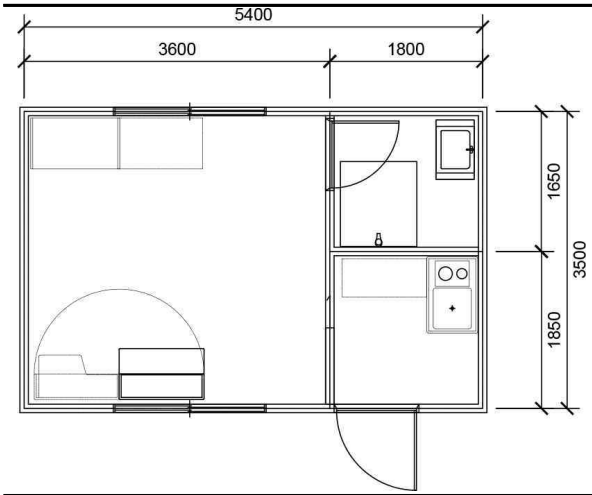
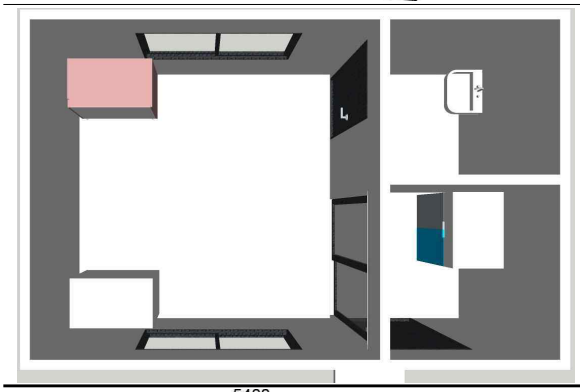
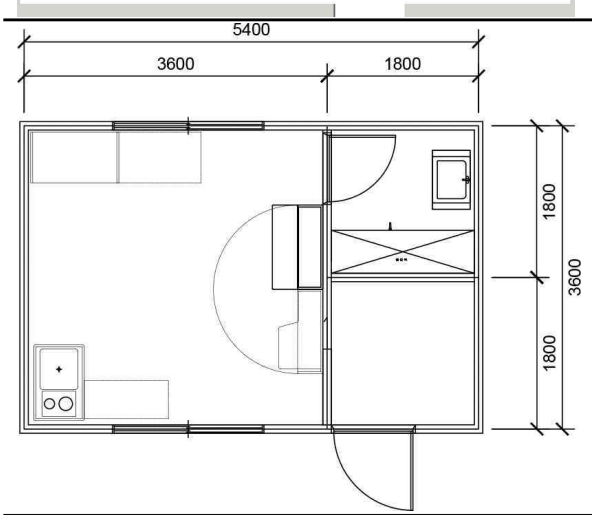
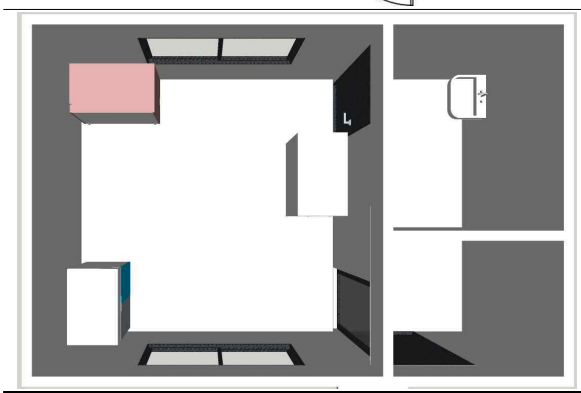
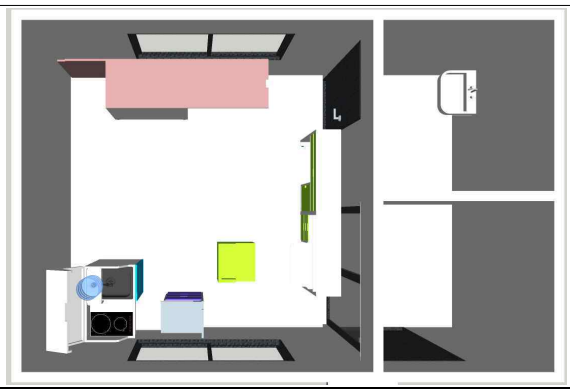


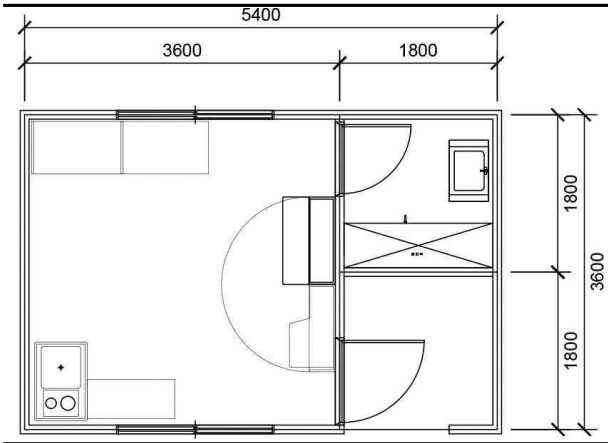


스튜디오형, 외부 발코니형, 샤워부스형

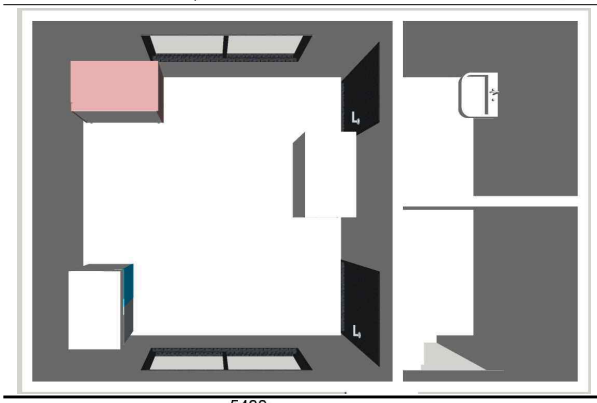


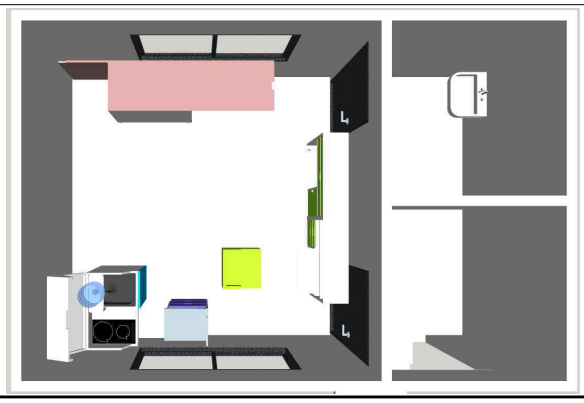


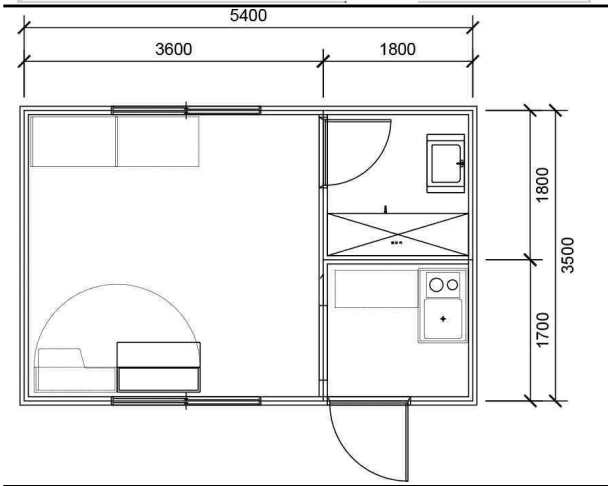
<table>
<tr><td> 
</td><td>부엌분리형, 내부 발코니형, 샤워부스형</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td> 
</td><td>스튜디오형, 내부 발코니형, 샤워호스 일체형</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>



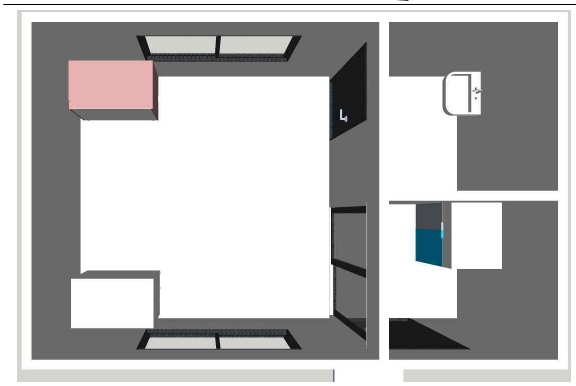
스튜디오형, 외부 발코니형, 샤워호스 일체형

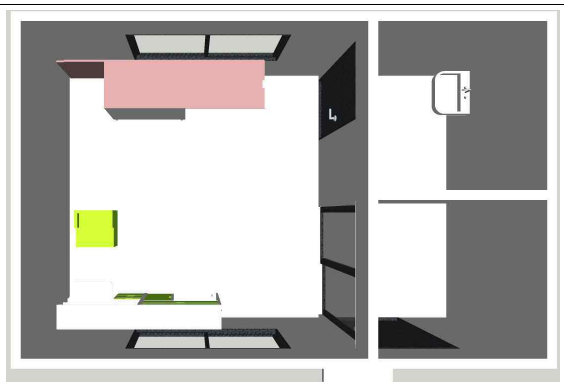






부엌분리형, 내부 발코니형, 샤워호스 일체형





4. 재난대응 LMC 주거시스템 표준 및 확장모델 개발

가. 개발 전략 및 개요

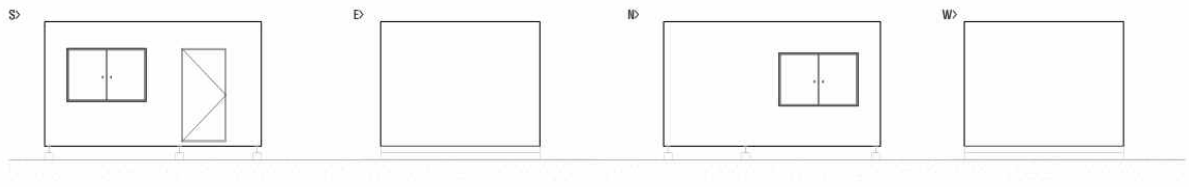
- ○ 재난 대응시 가구 구성에 따라 다종의 공간 유형과 모듈의 제공의 필요성이 있어서 이를 위해서 성인 2인 + 유아 2인의 최소 공간 기준에 의해서 계획된 기본형을 기반으로 확장모델 개발
- ○ 옥외공간제공을 위한 테라스형, 성인 1인 + 유아 1인을 위한 축소형
- ○ 성인 2인 + 청소년 2인을 위한 확장형 A, 기본형의 배치기본 유형인 확장형 B, 최소 커뮤니티 공간 확보를 위한 확장형 C
- ○ 지자체 등에서 평시 임시 전시, 판매 등을 위한 키오스크 공간으로 활용하다 재난상황 발생시 임시주거로 전용하여 사용할 수 있는 키오스크 형 개발
- ○ 배치 전략의 경우 커뮤니티, 공동 사용시설의 배치 등을 위한 추가적인 연구 필요

기본형



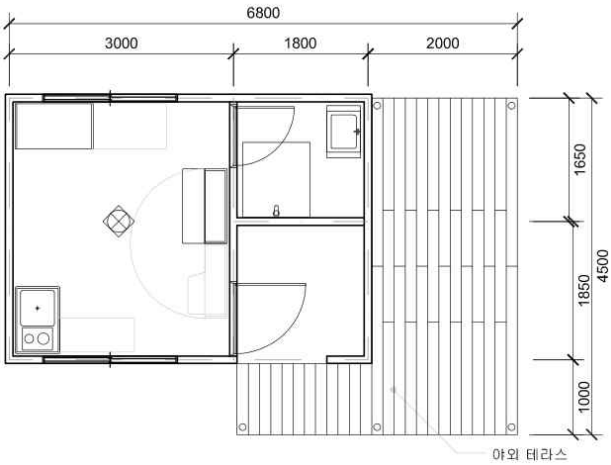


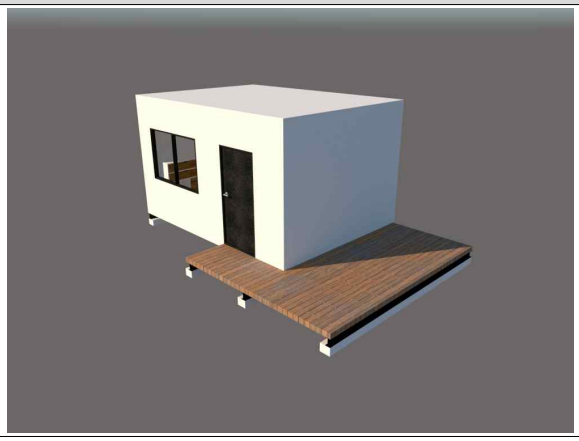
- 전체 면적: 4.8×3.5m, 16.8㎡
- 실거주면적 / CTS 면적 : 15.03㎡ / 1.77㎡
- 화장실 면적: 2.97㎡



기본형 유형의 입면 형태

테라스형



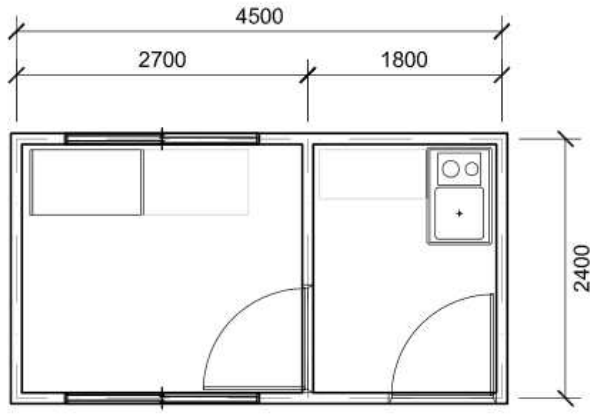


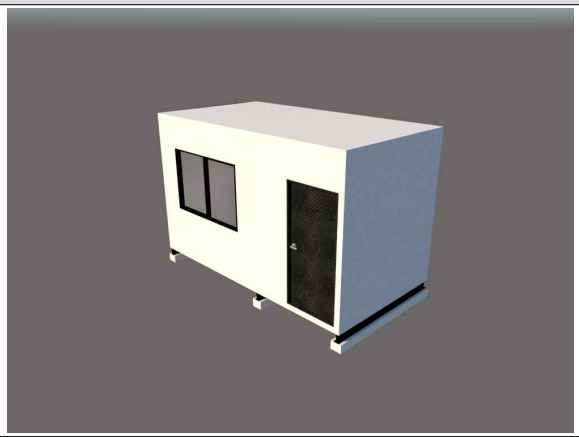
- 전체 면적: 4.8×3.5m, 16.8㎡
- 실거주면적 / CTS 면적 : 15.03㎡ / 1.77㎡
- 화장실 면적: 2.97㎡



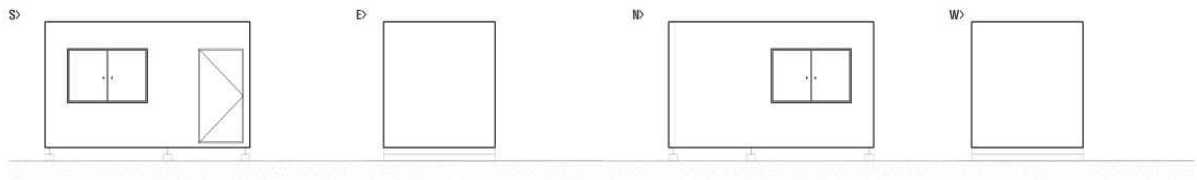
테라스형 유형의 입면 형태

축소형



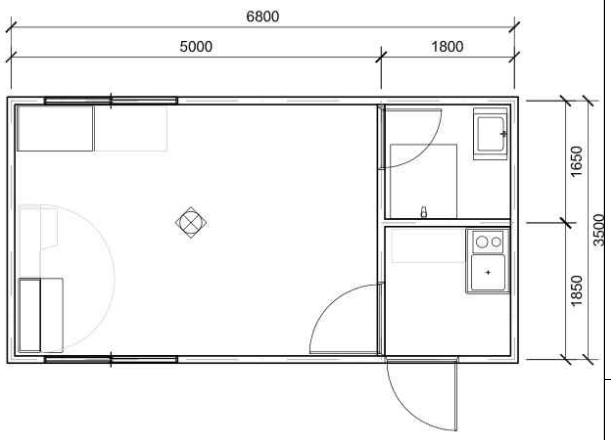


- 전체 면적: 4.5×2.4m, 10.8㎡
- 실거주면적 / CTS 면적 : 9.63㎡ / 1.17㎡
- 화장실 면적: -



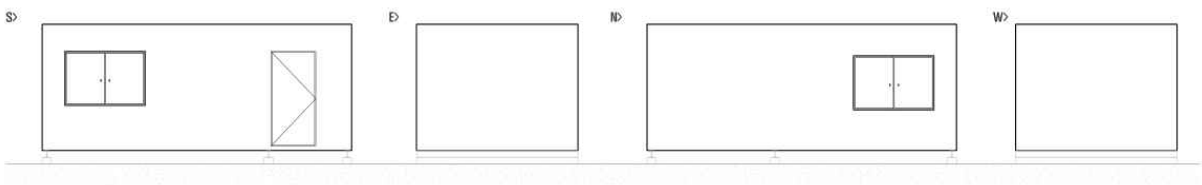
축소형 유형의 입면 형태

확장형A



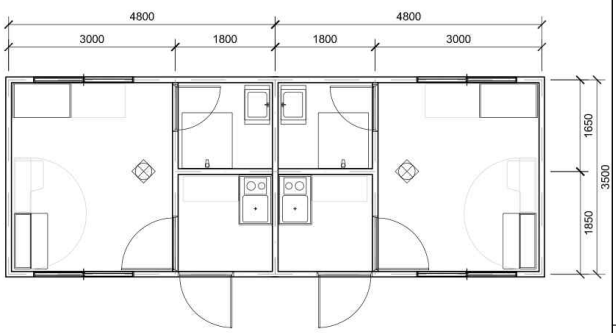


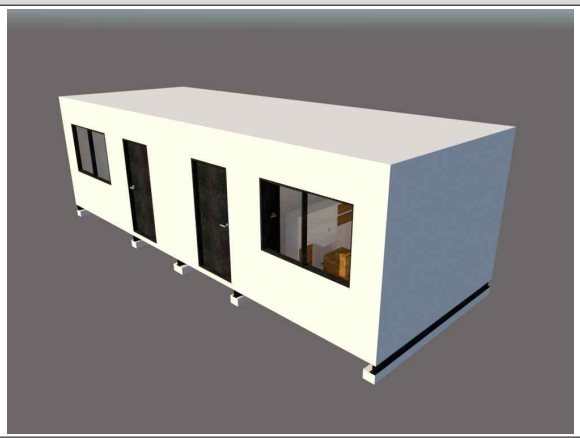
- 전체 면적: 6.8×3.5m, 23.8㎡
- 실거주면적 / CTS 면적 : 22.03㎡ / 1.77㎡
- 화장실 면적: 2.97㎡



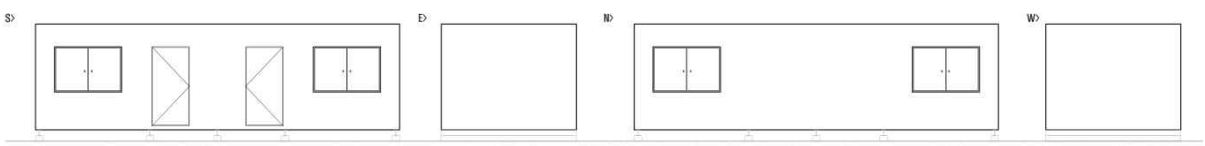
확장형A 유형의 입면 형태

확장형B



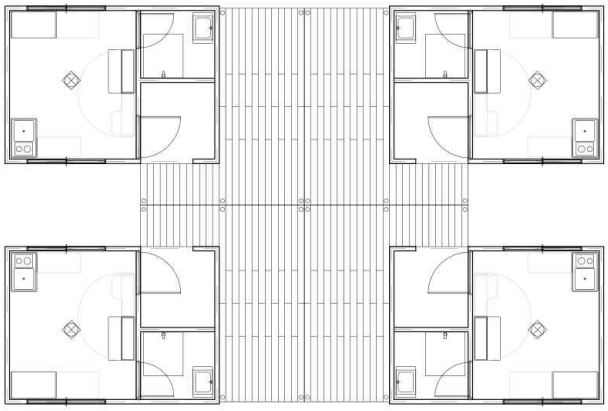


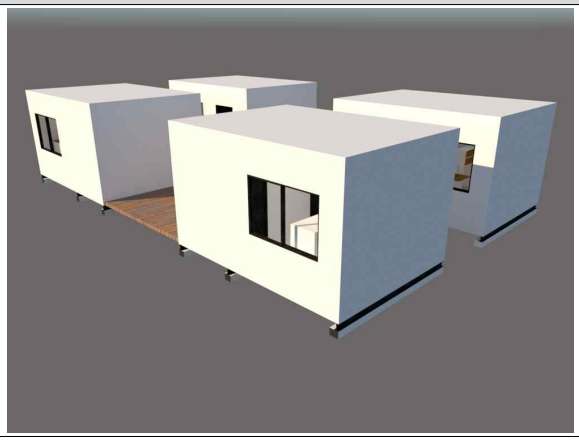
- 전체 면적: 9.6×3.5m, 33.6㎡
- 실거주면적 / CTS 면적 : 30.06㎡ / 3.54㎡
- 화장실 면적: 5.94㎡



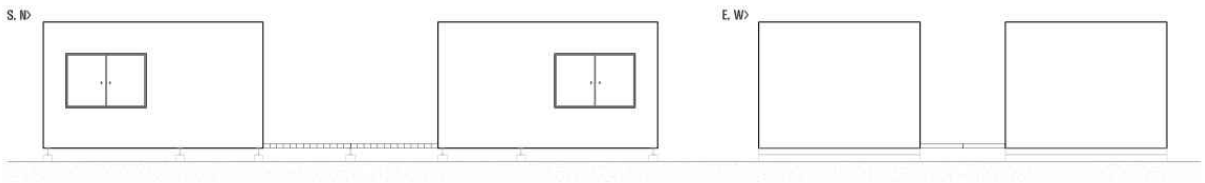
확장형B 유형의 입면 형태

확장형C





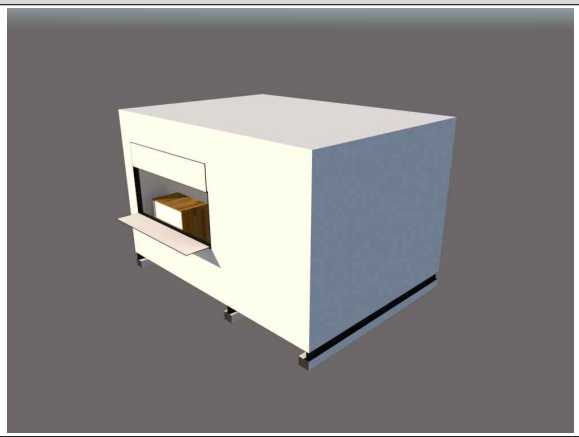
- 전체 면적: 4.8×3.5m×4, 67.2㎡
- 실거주면적 / CTS 면적 : 60.12㎡ / 7.08㎡
- 화장실 면적: 11.88㎡



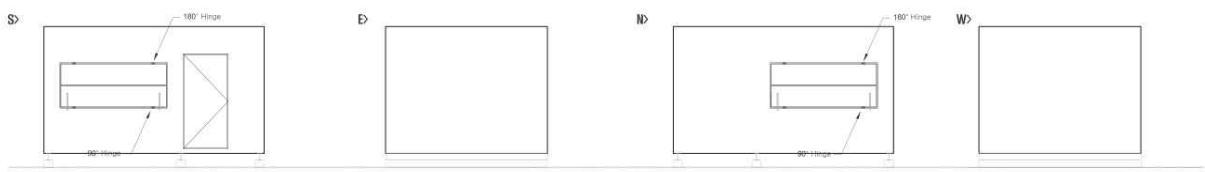
확장형C 유형의 입면 형태

키오스크형





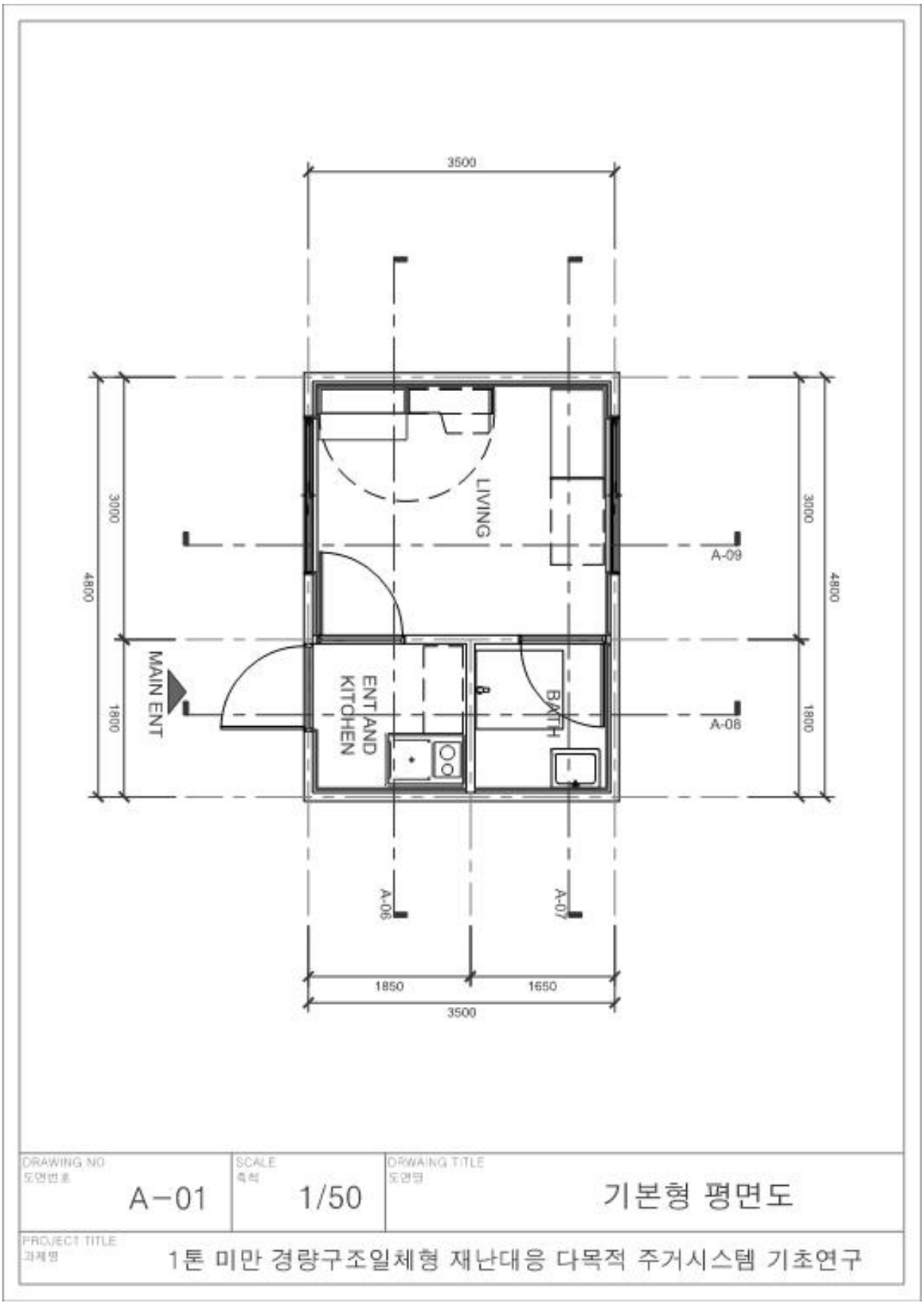
- 전체 면적: 4.8×3.5m, 16.8㎡
- 실거주면적 / CTS 면적 : 15.03㎡ / 1.77㎡
- 화장실 면적: 2.97㎡



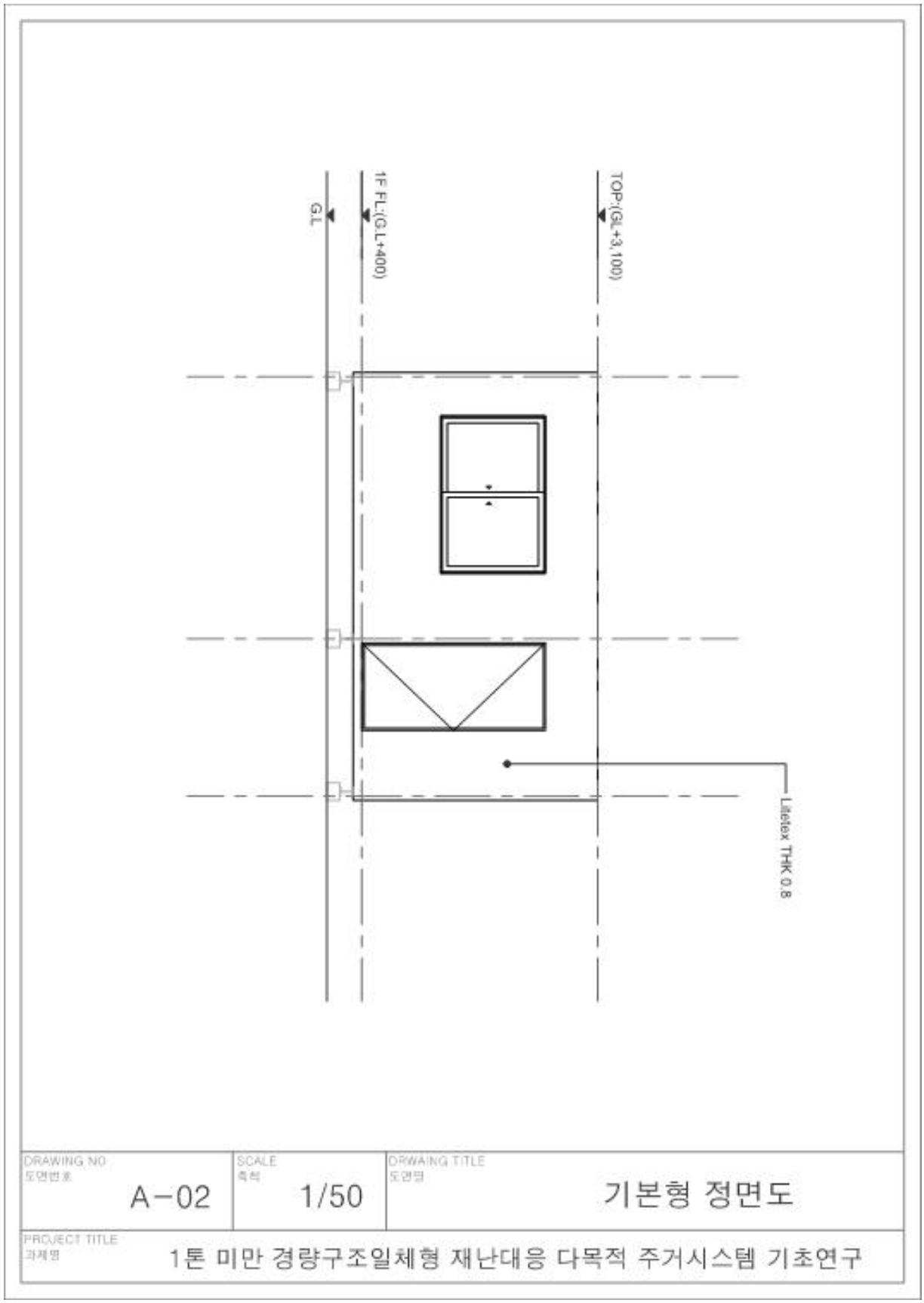
키오스크형 유형의 입면 형태

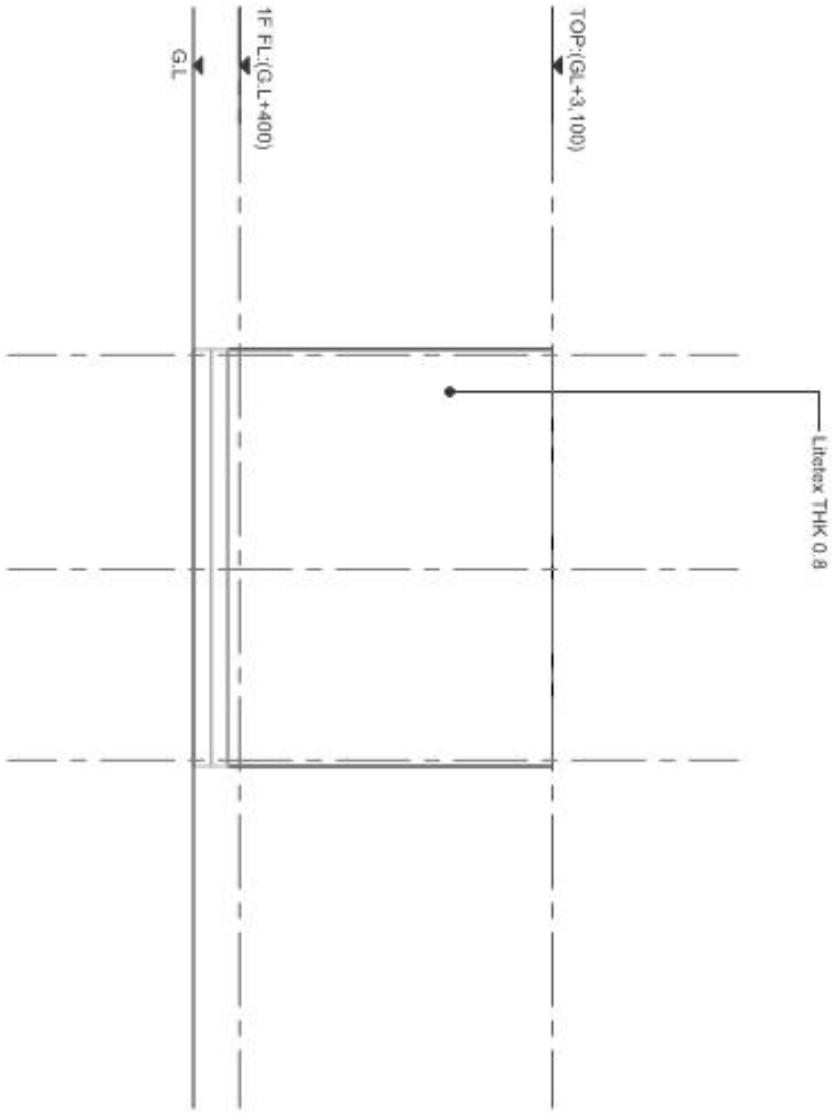
나. 기본형

(1) 평면도


3500
3000
4800
LIVING
A-09
MAIN ENT
ENT AND KITCHEN
BATH
A-08
1800
A-06
A-07
1850
1650
3500
DRAWING NO
도면번호
A-01
SCALE
축척
1/50
DRWAING TITLE
도면명
기본형 평면도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

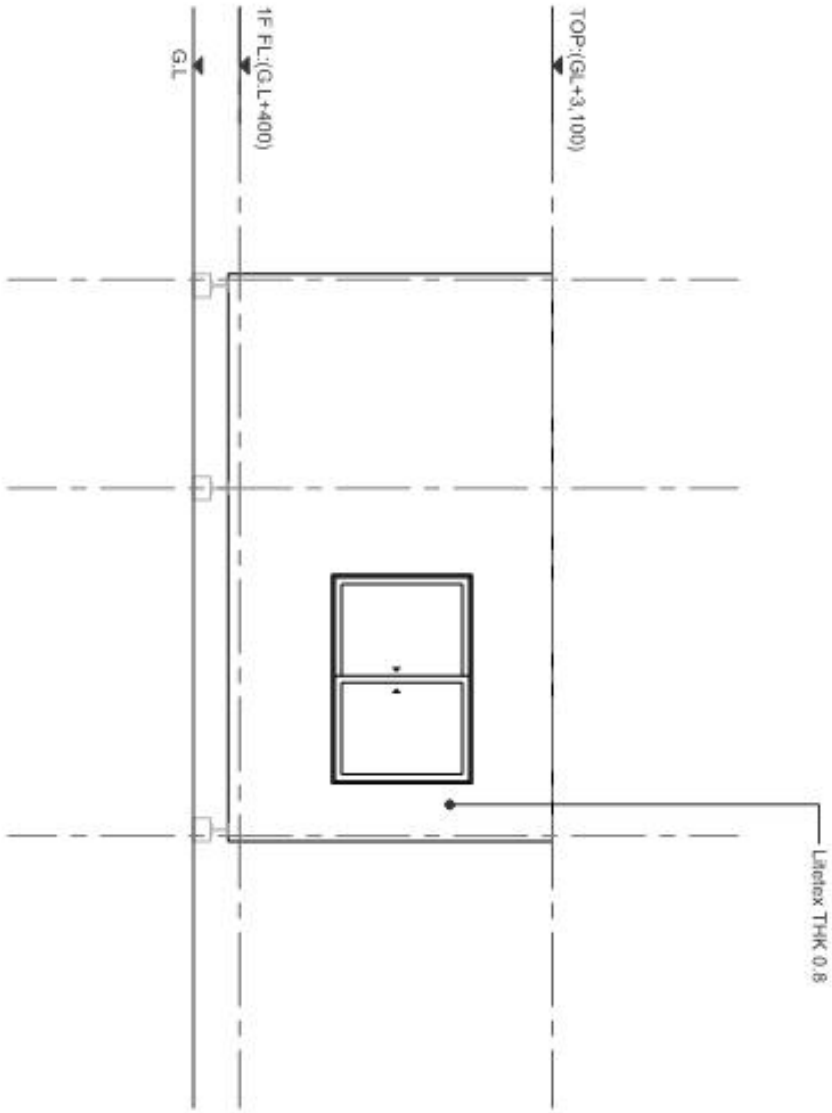
(2) 입면도 (정면도, 우측면도, 배면도, 좌측면도)





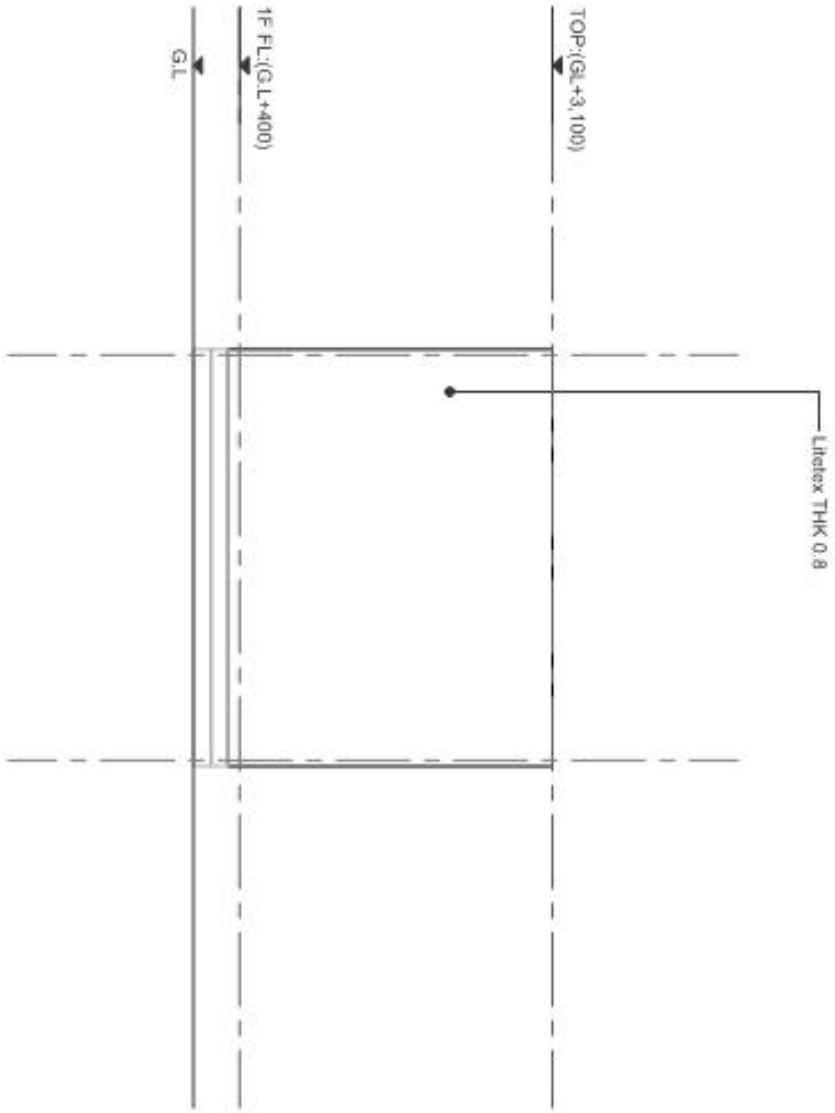
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-03	1/50	기본형 우측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-04	1/50	기본형 배면도

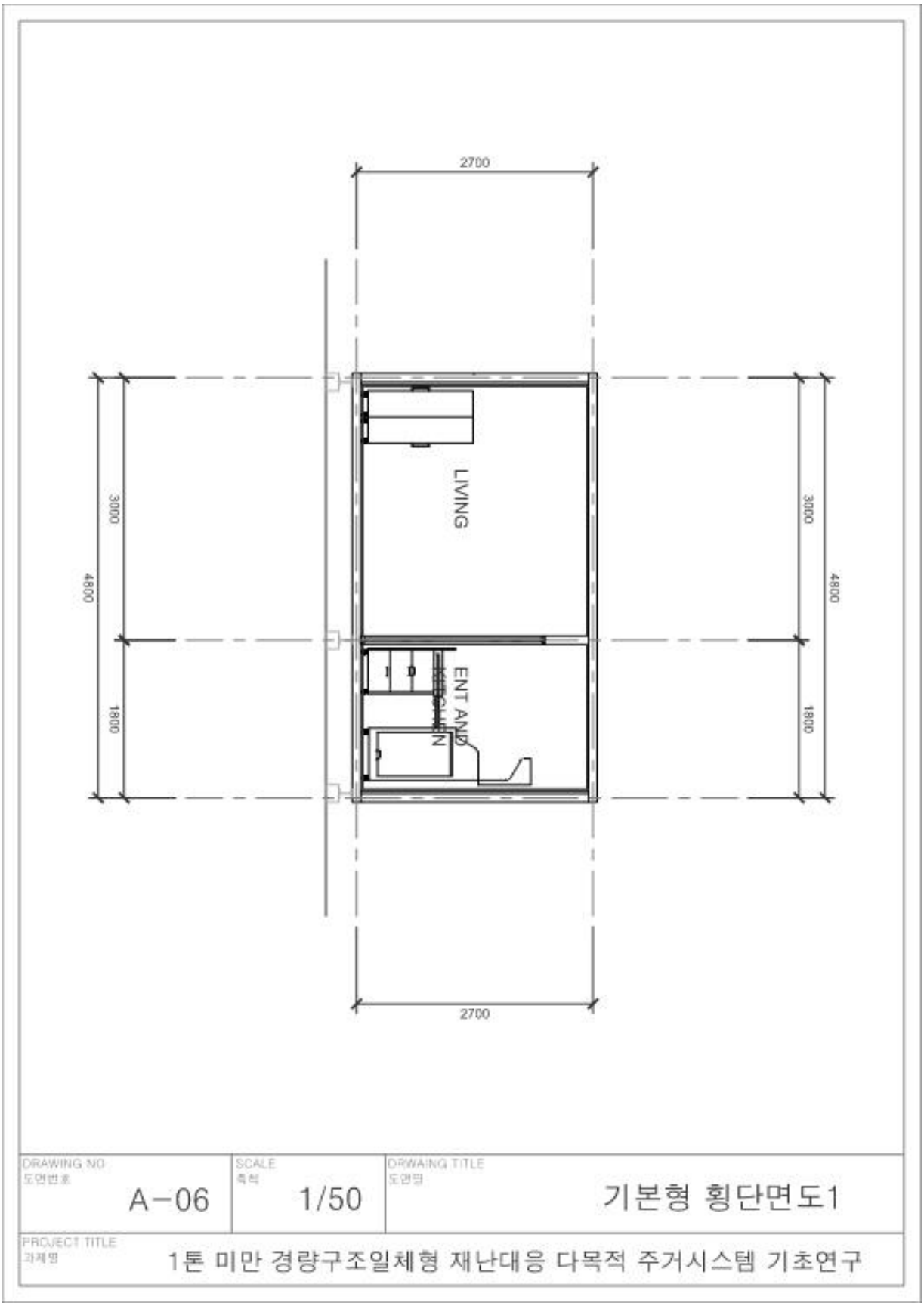
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

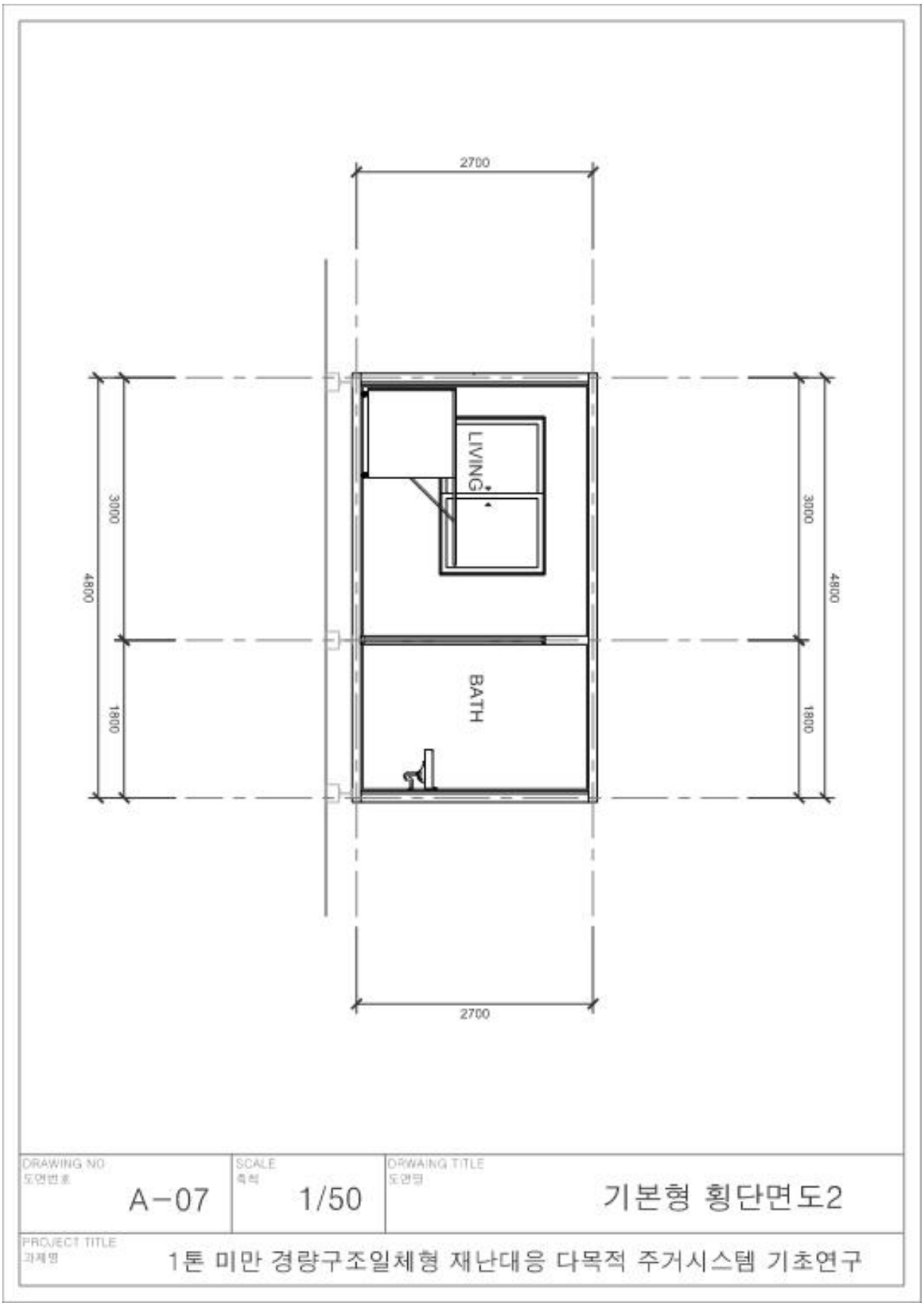


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-05	1/50	기본형 좌측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

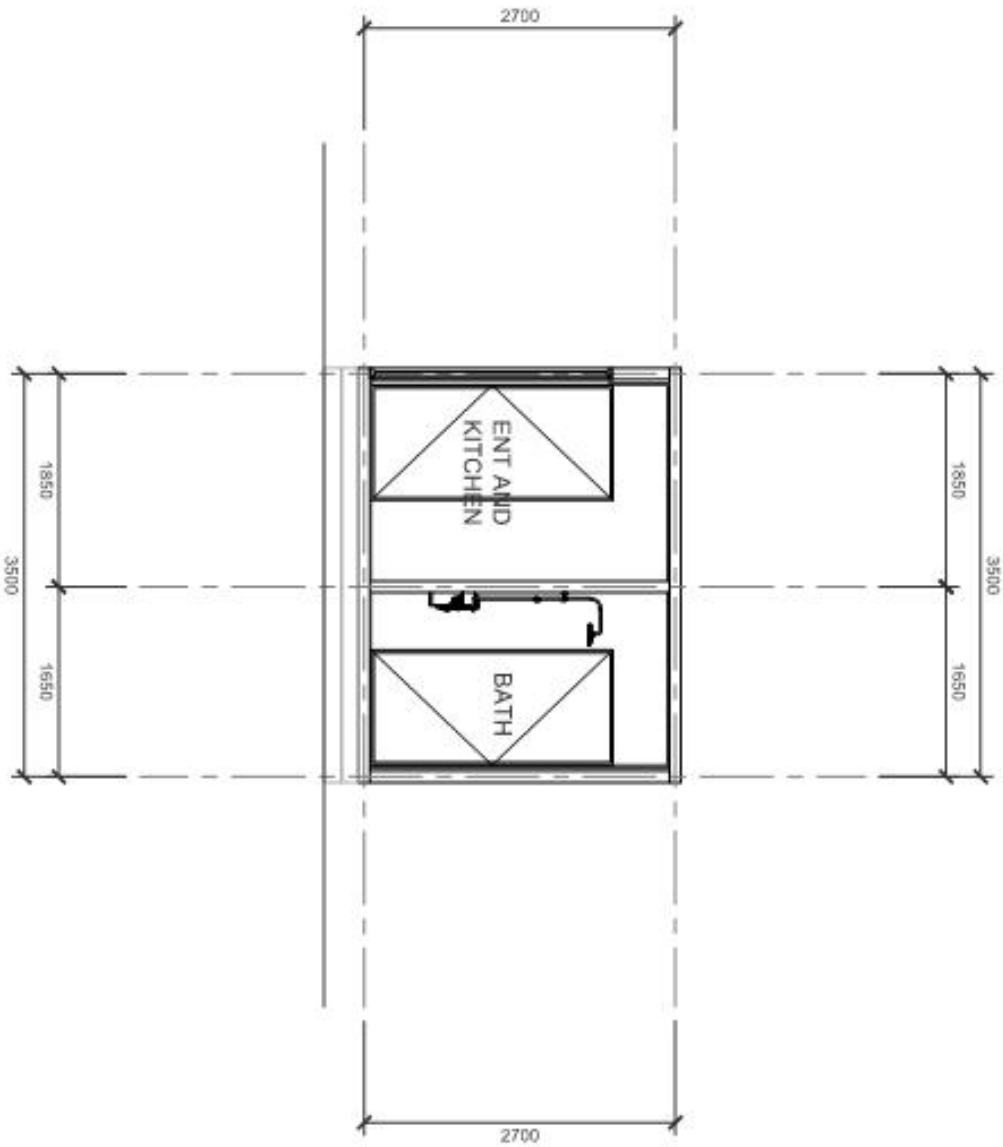
(3) 단면도 (횡단면도, 종단면도)





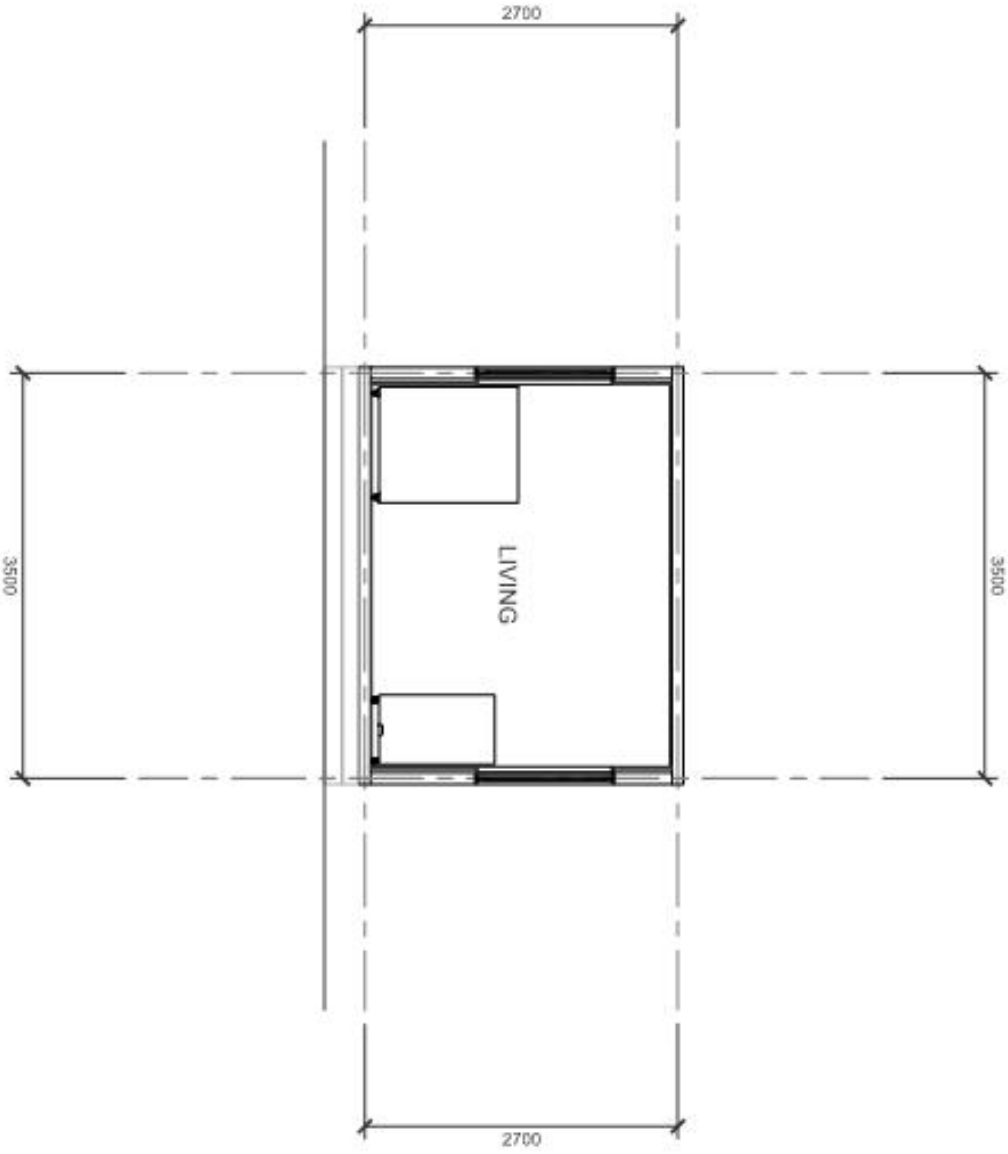
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-07	1/50	기본형 횡단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-08	1/50	기본형 종단면도1

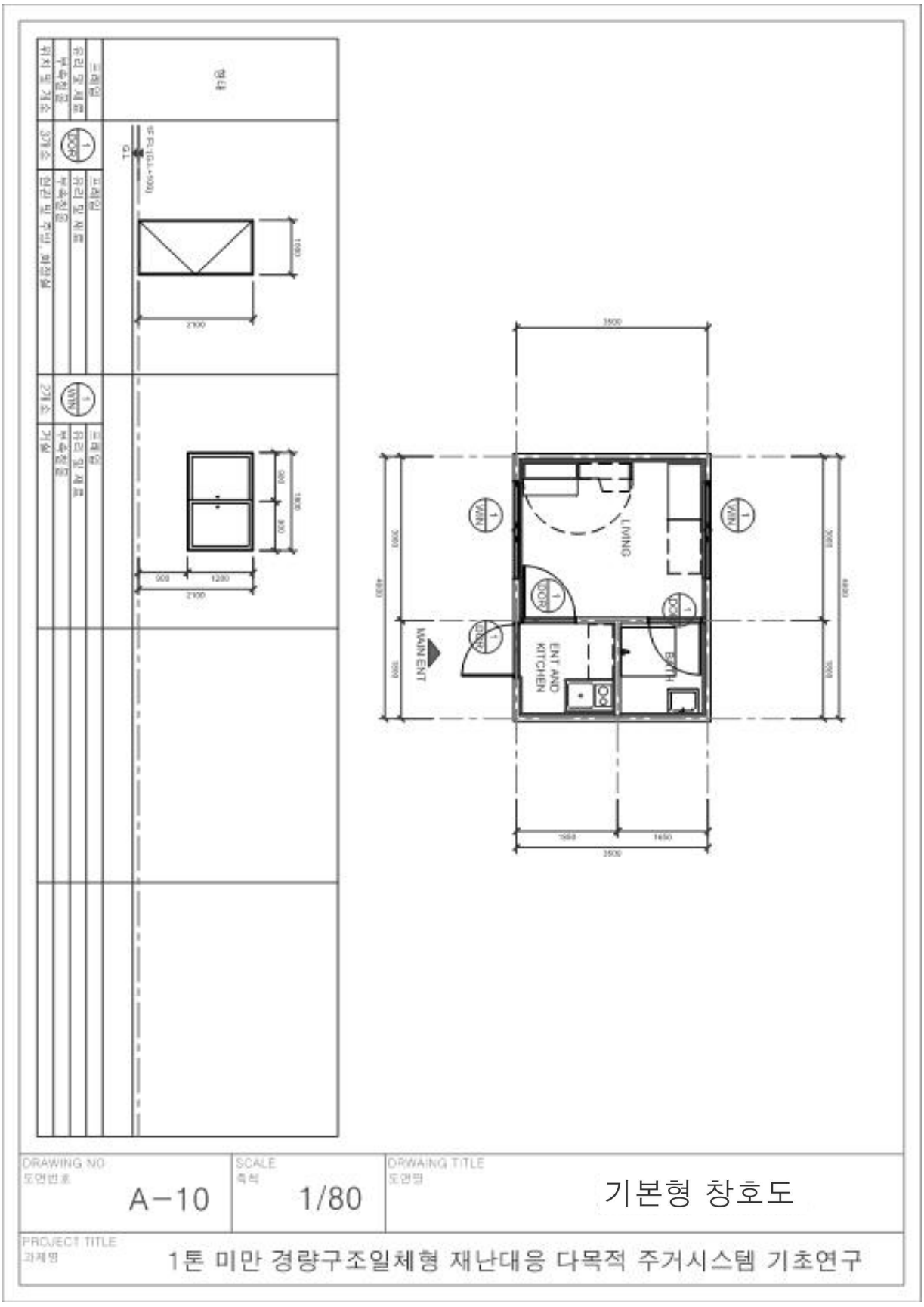
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



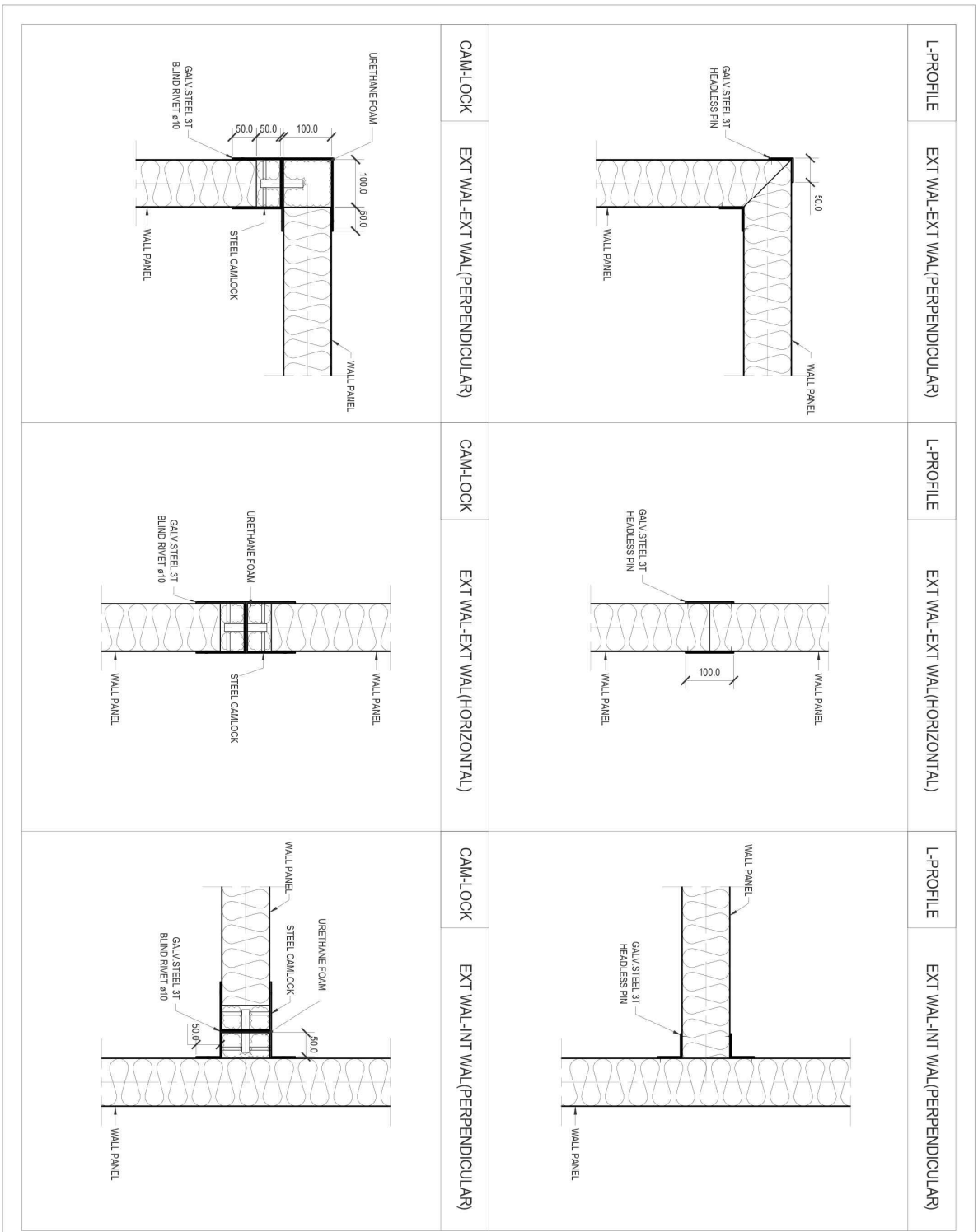
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-09	1/50	기본형 종단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(4) 창호도


LIVING
ENT AND KITCHEN
BATH
MAIN ENT
DRWAING TITLE
기본형 창호도
PROJECT TITLE
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(5) 접합부 상세도

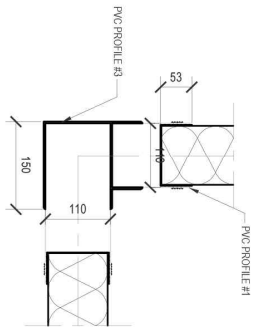


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-11	1/10	접합부 상세도1

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

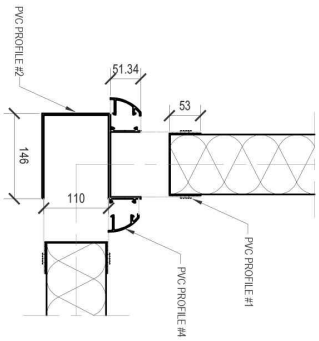
PVC-PROFILE

EXT WAL-EXT WAL(PERPENDICULAR)



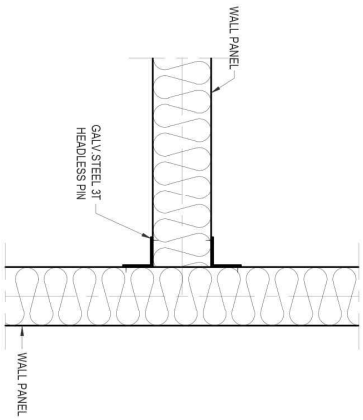
PVC-PROFILE

EXT WAL-FLOOR(PERPENDICULAR)



PVC-PROFILE

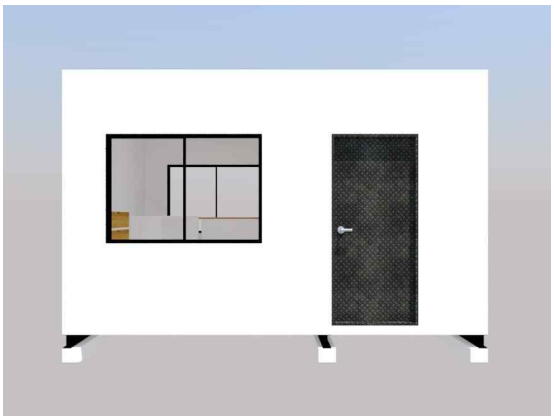
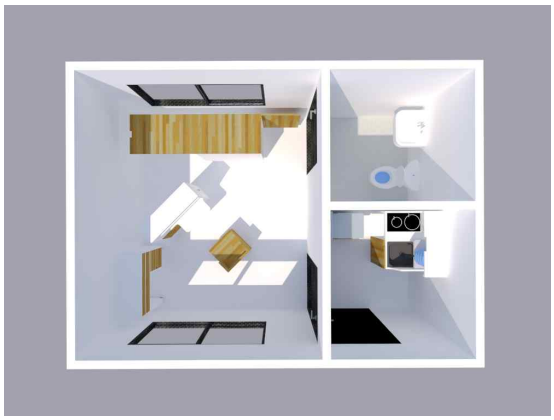
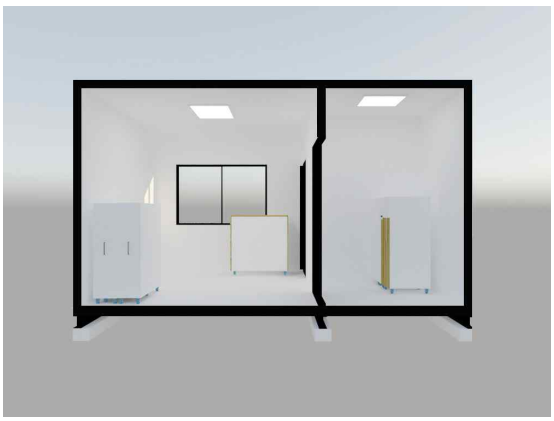
EXT WAL-INT WAL(PERPENDICULAR)

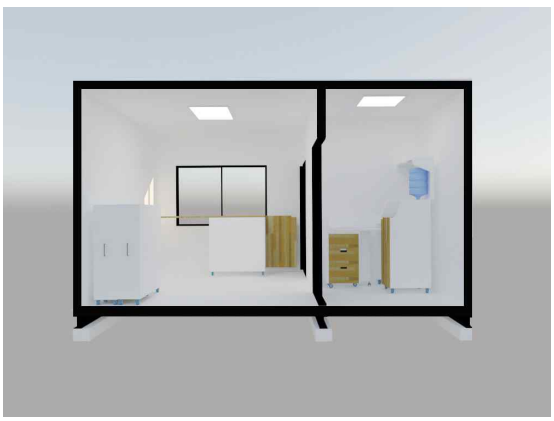


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-11	1/10	접합부 상세도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(6) 3D 모델링

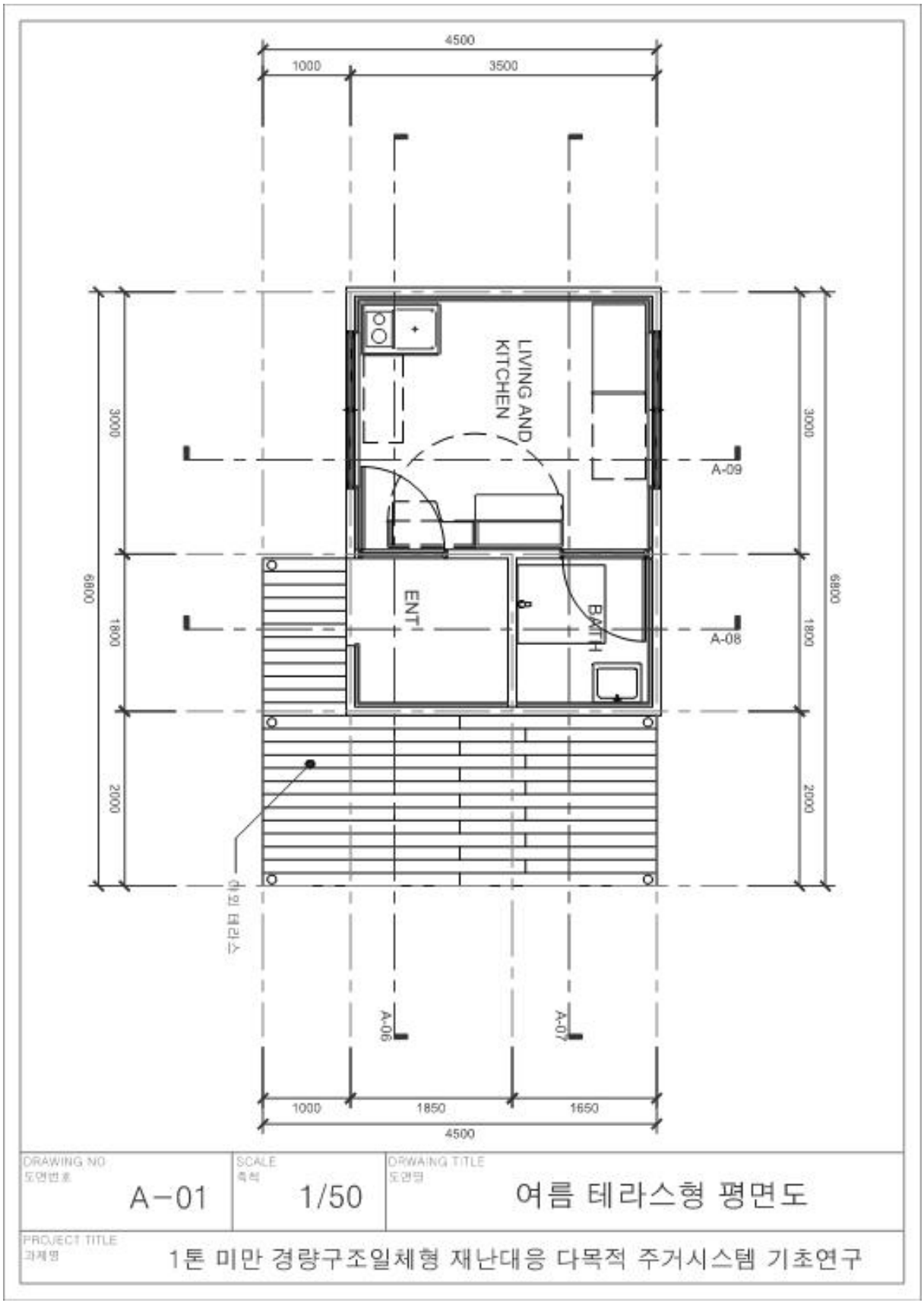






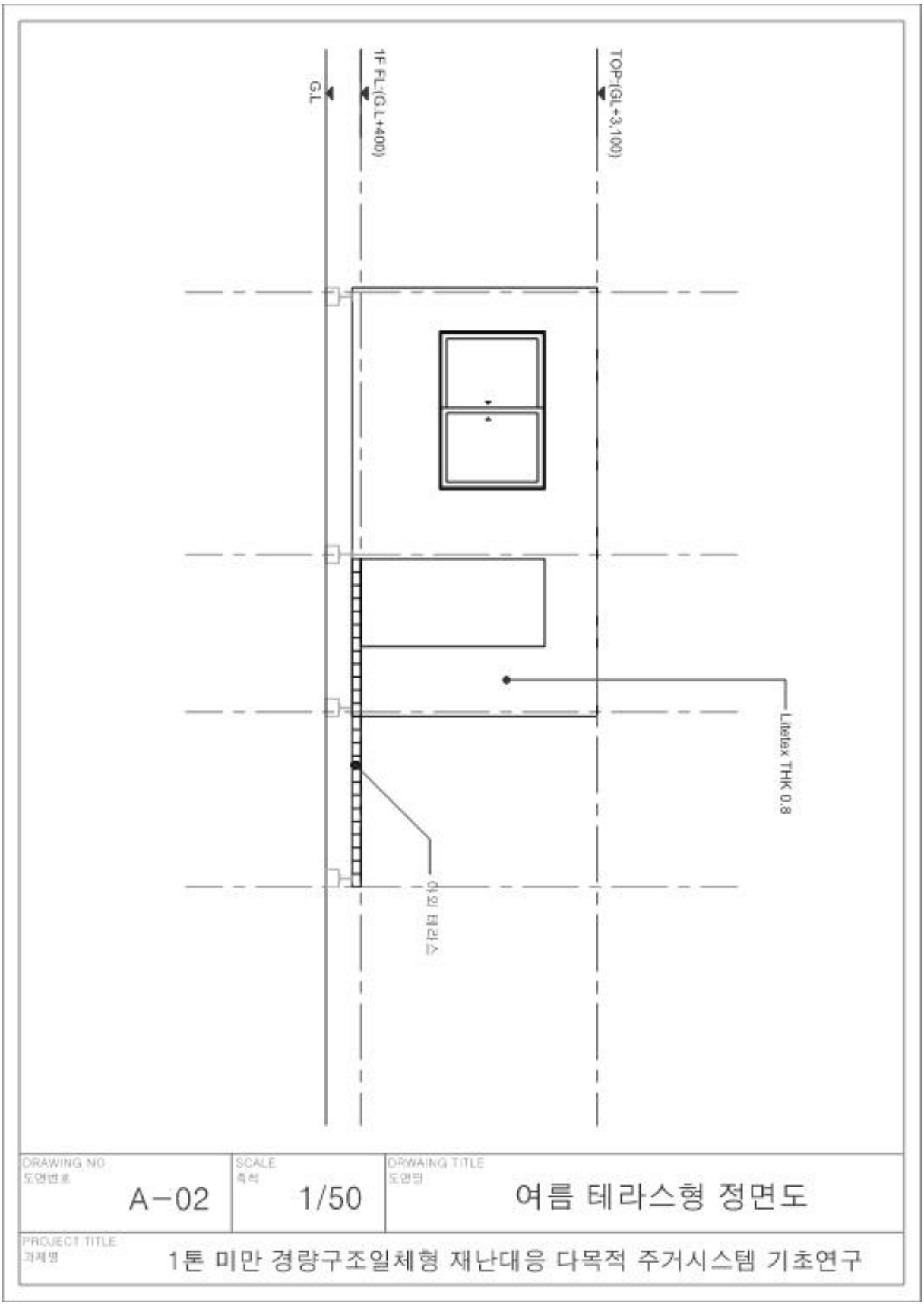


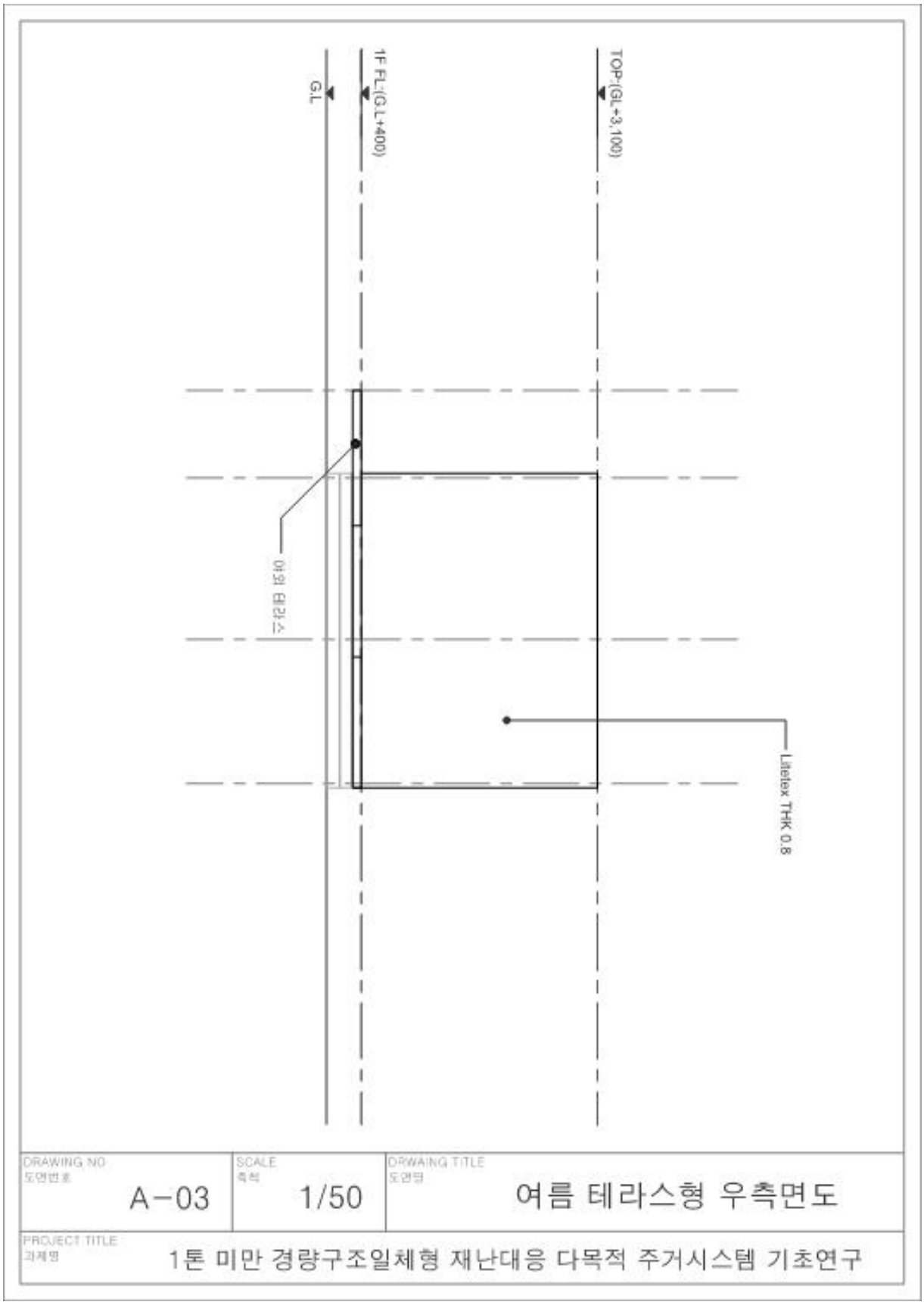

다. 여름 테라스형

(1) 평면도



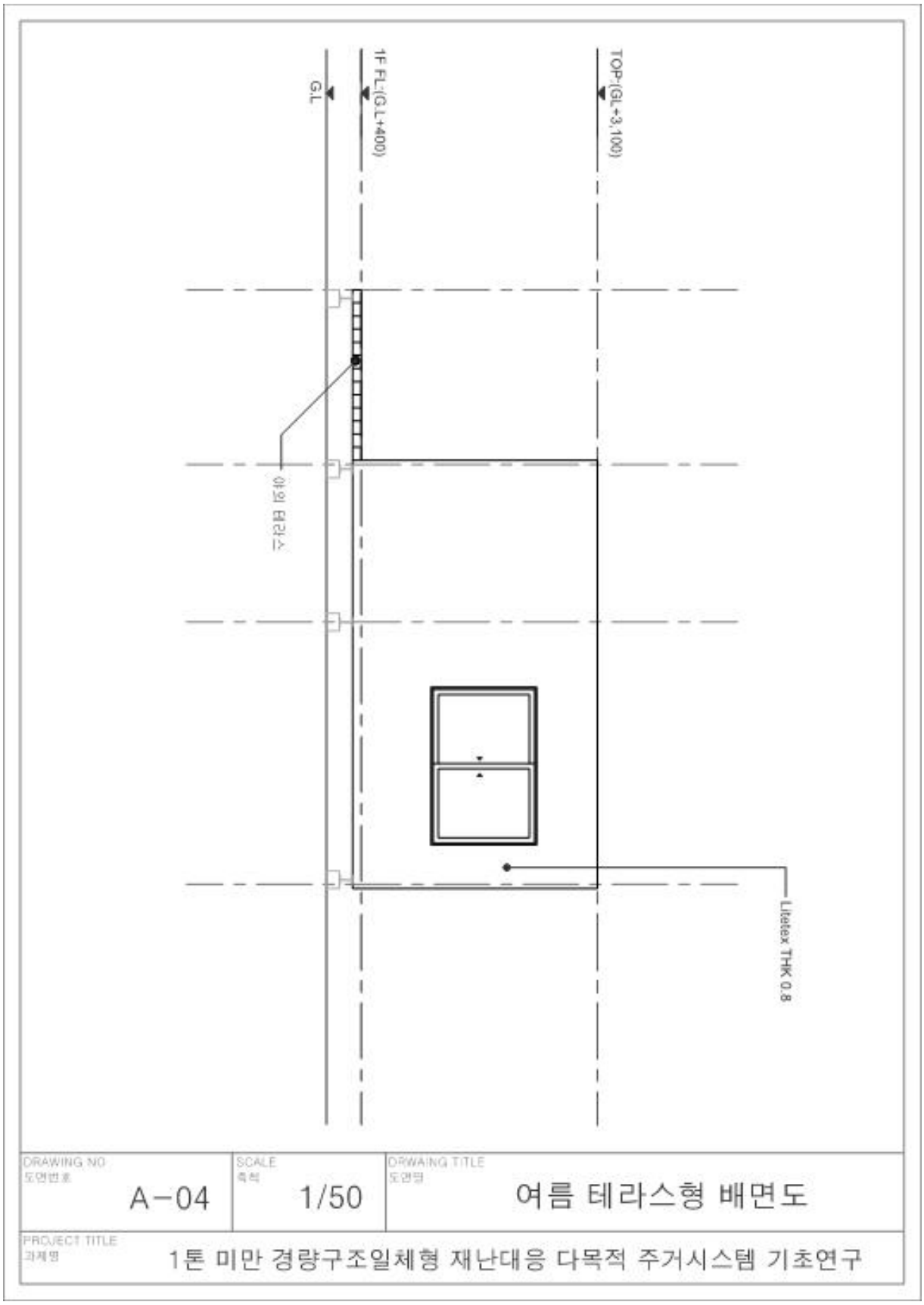
(2) 입면도 (정면도, 우측면도, 배면도, 좌측면도)





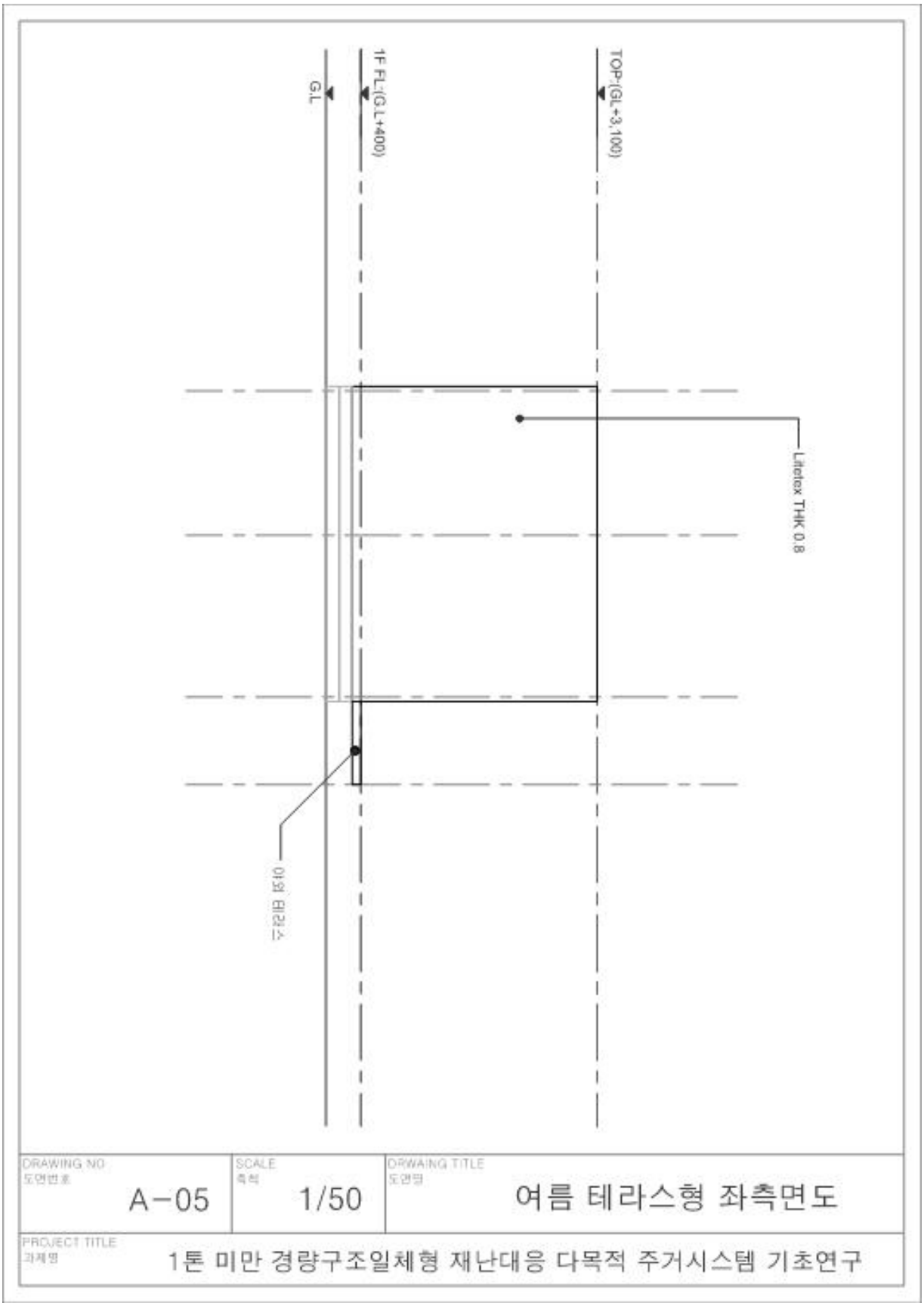
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-03	1/50	여름 테라스형 우측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-04	1/50	여름 테라스형 배면도

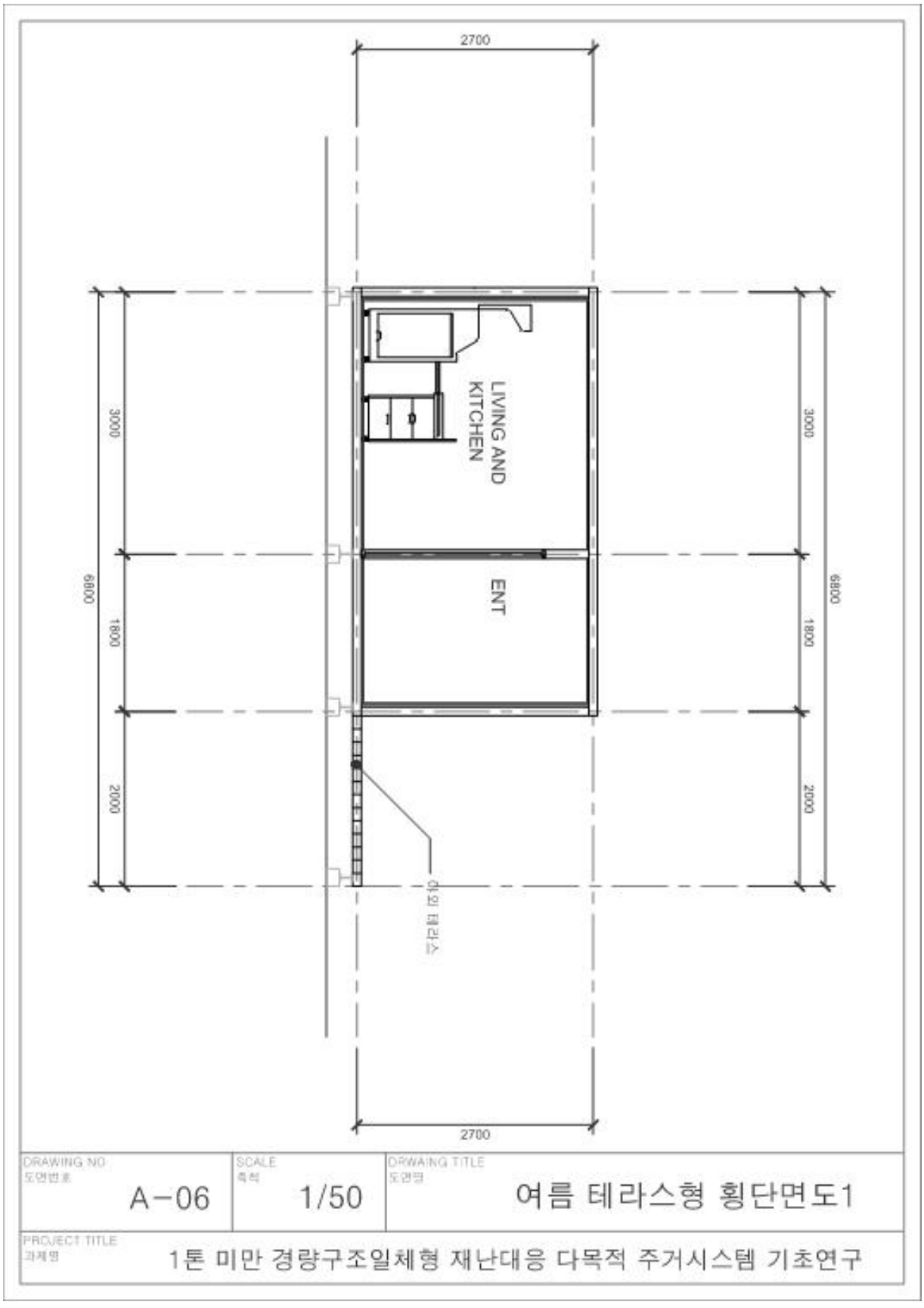
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

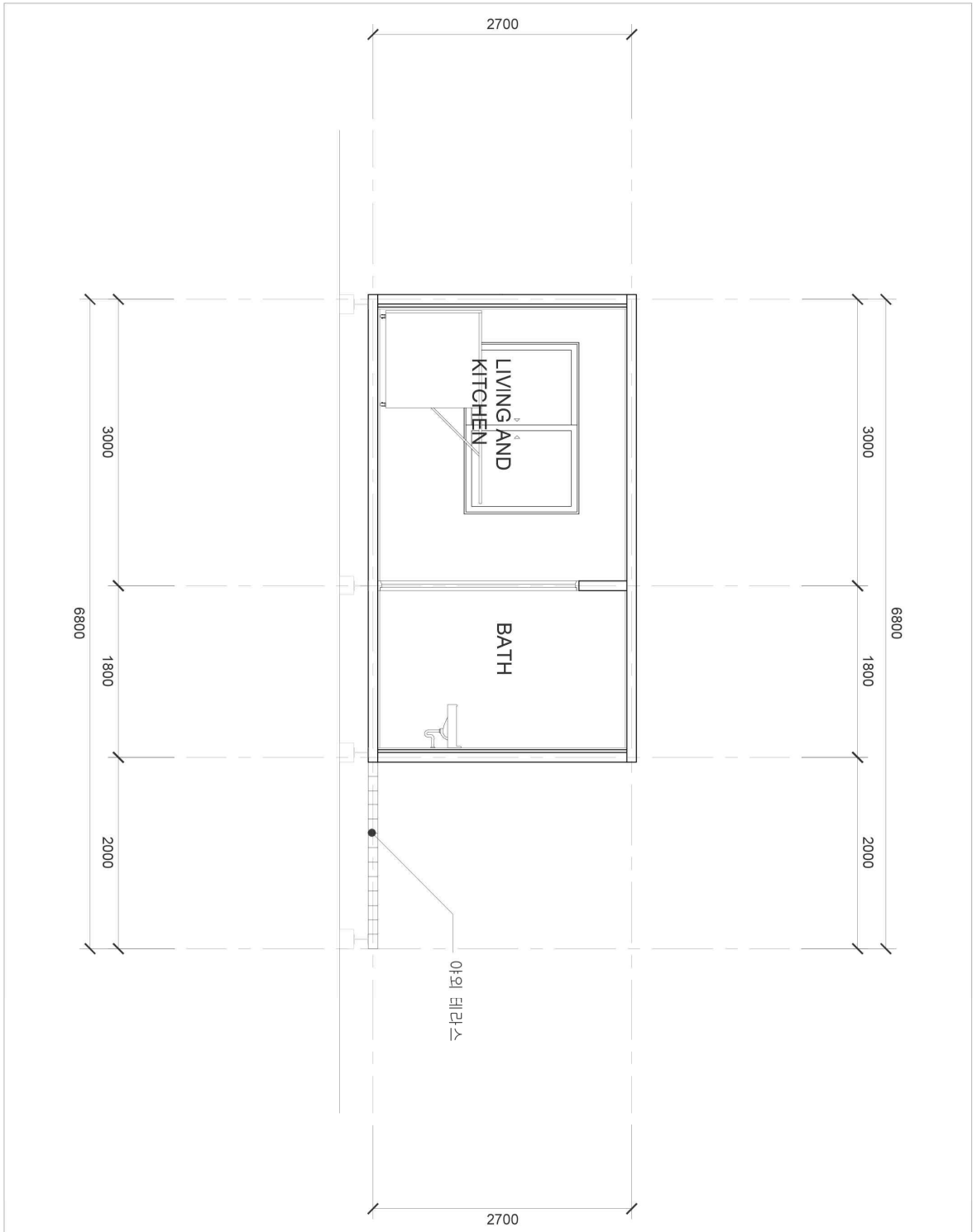


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-05	1/50	여름 테라스형 좌측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

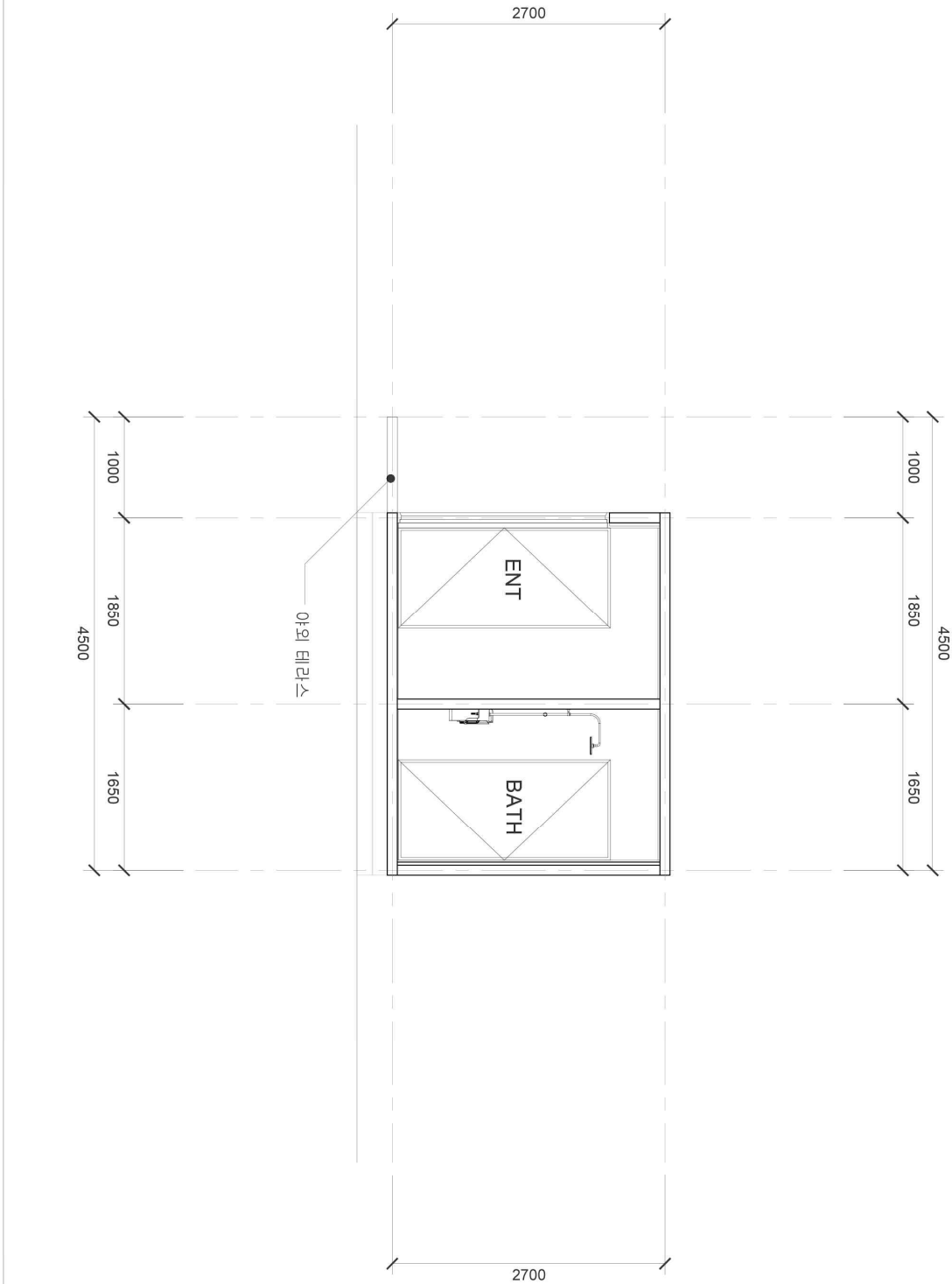
(3) 단면도 (횡단면도, 종단면도)





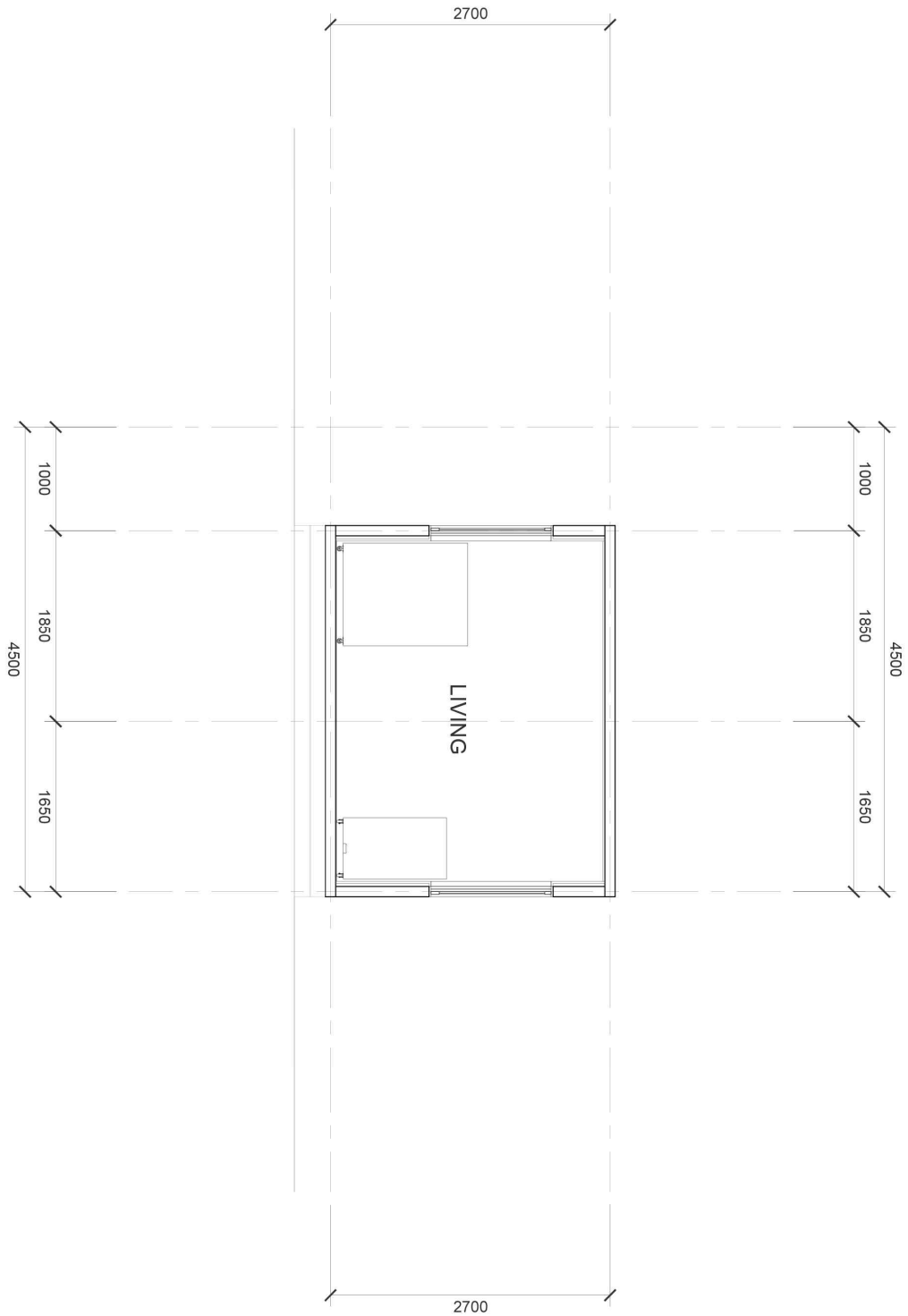
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-07	1/50	여름 테라스형 횡단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-08	1/50	여름 테라스형 종단면도1

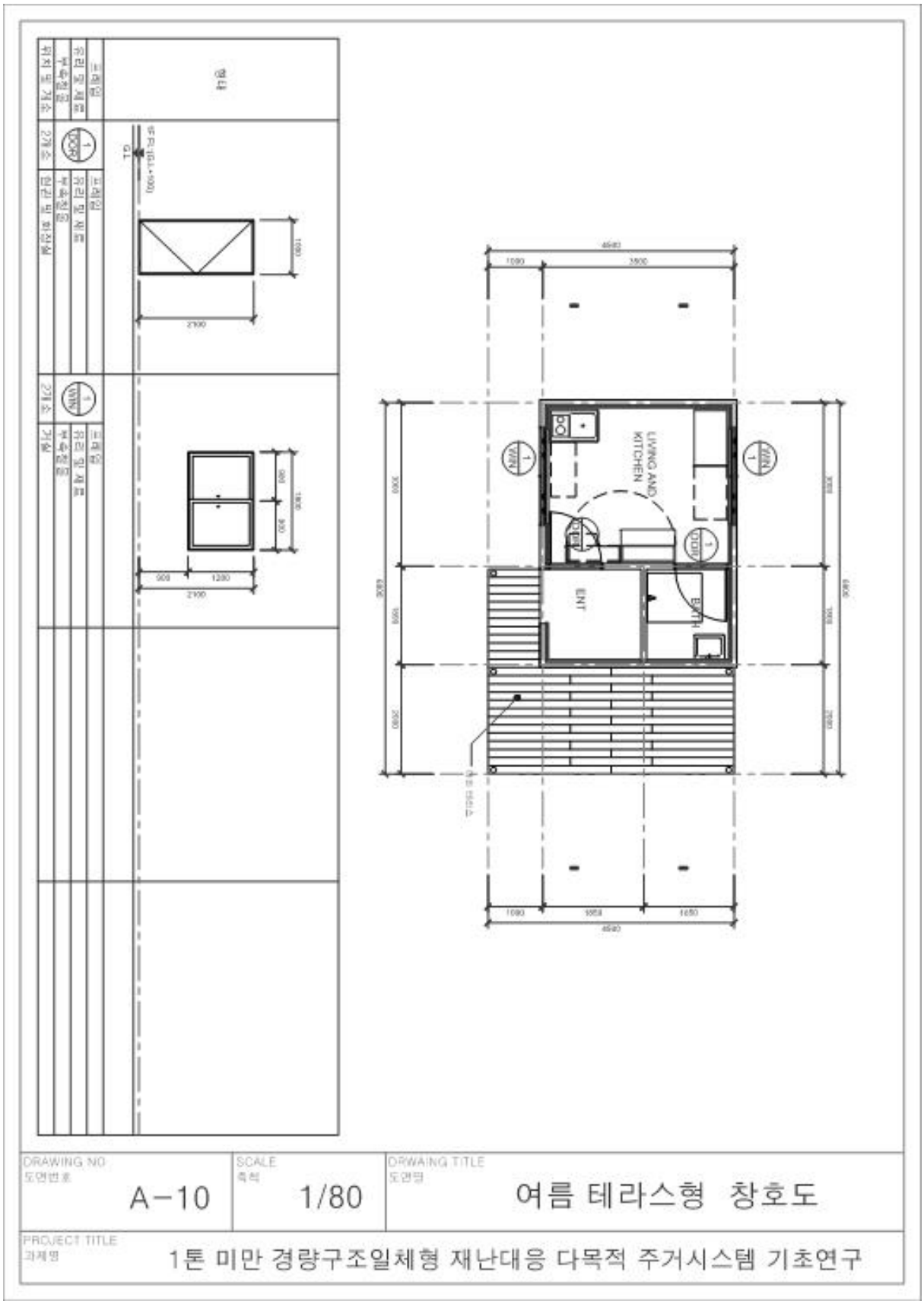
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-09	1/50	여름 테라스형 종단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(4) 창호도


LIVING AND KITCHEN
ENT
BATH
DOOR
WINDOW
DRAWING NO
도면번호
A-10
SCALE
축척
1/80
DRWAING TITLE
도면명
여름 테라스형 창호도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

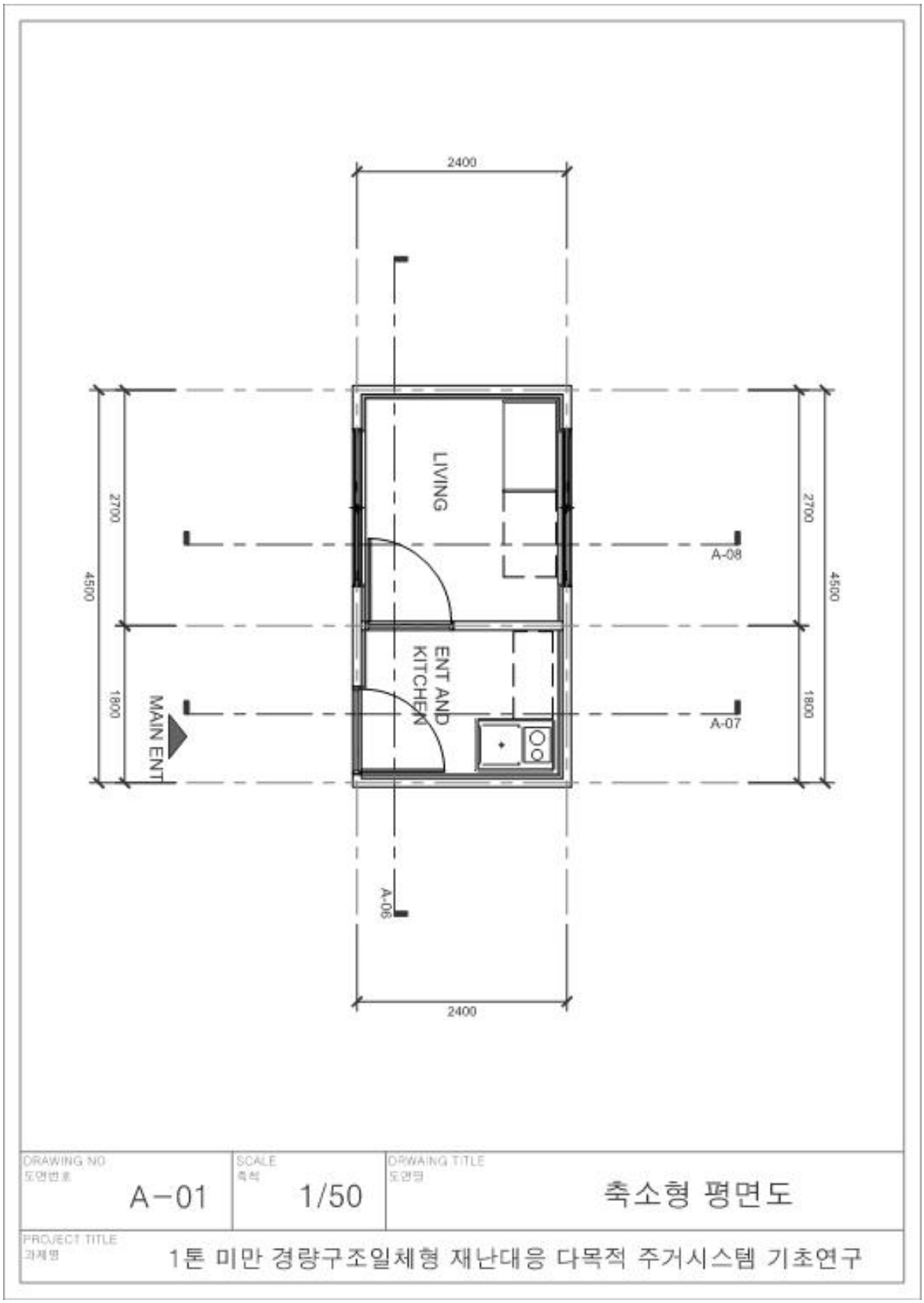
(5) 3D 모델링



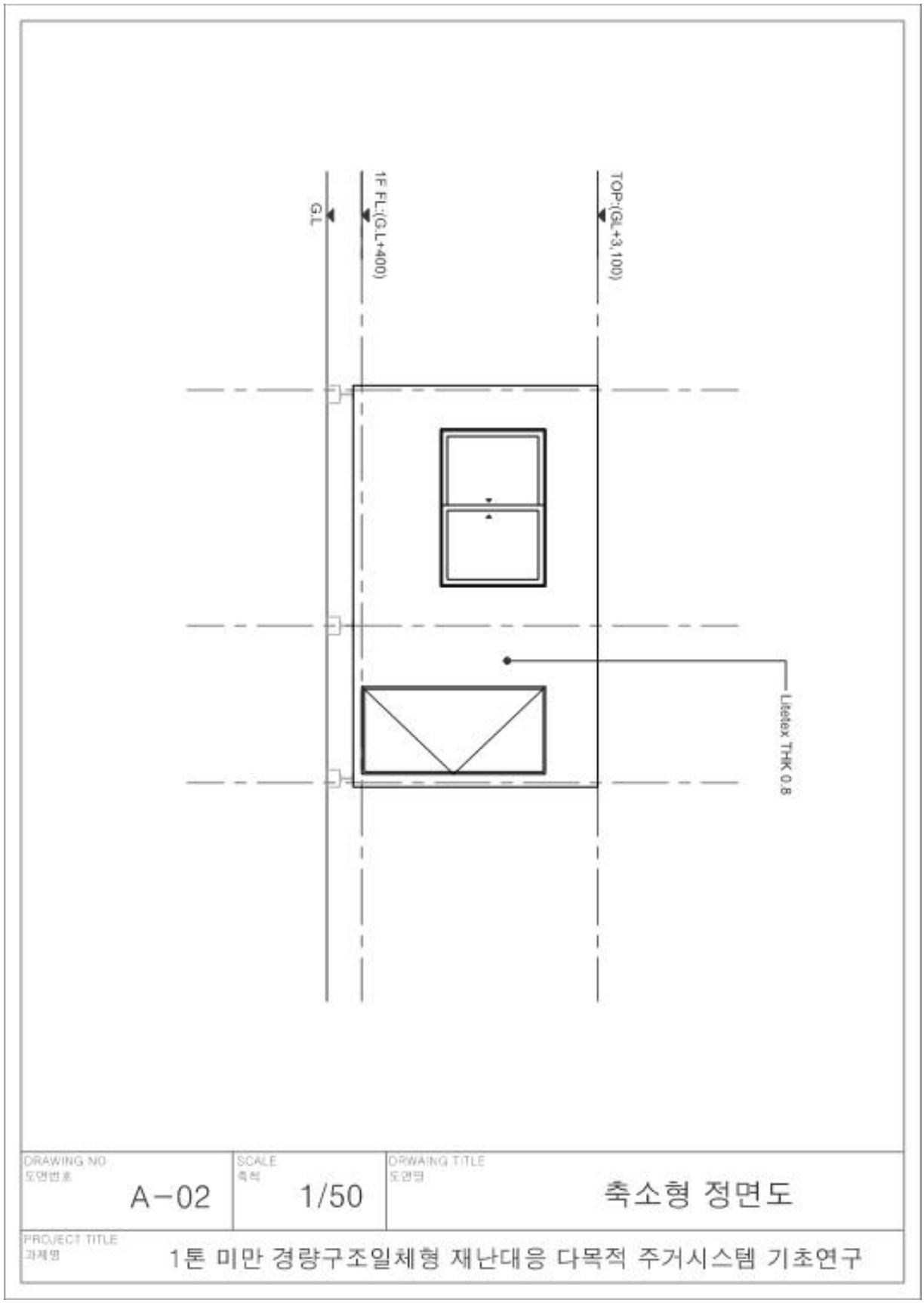
그림 28. 여름테라스형 투시도

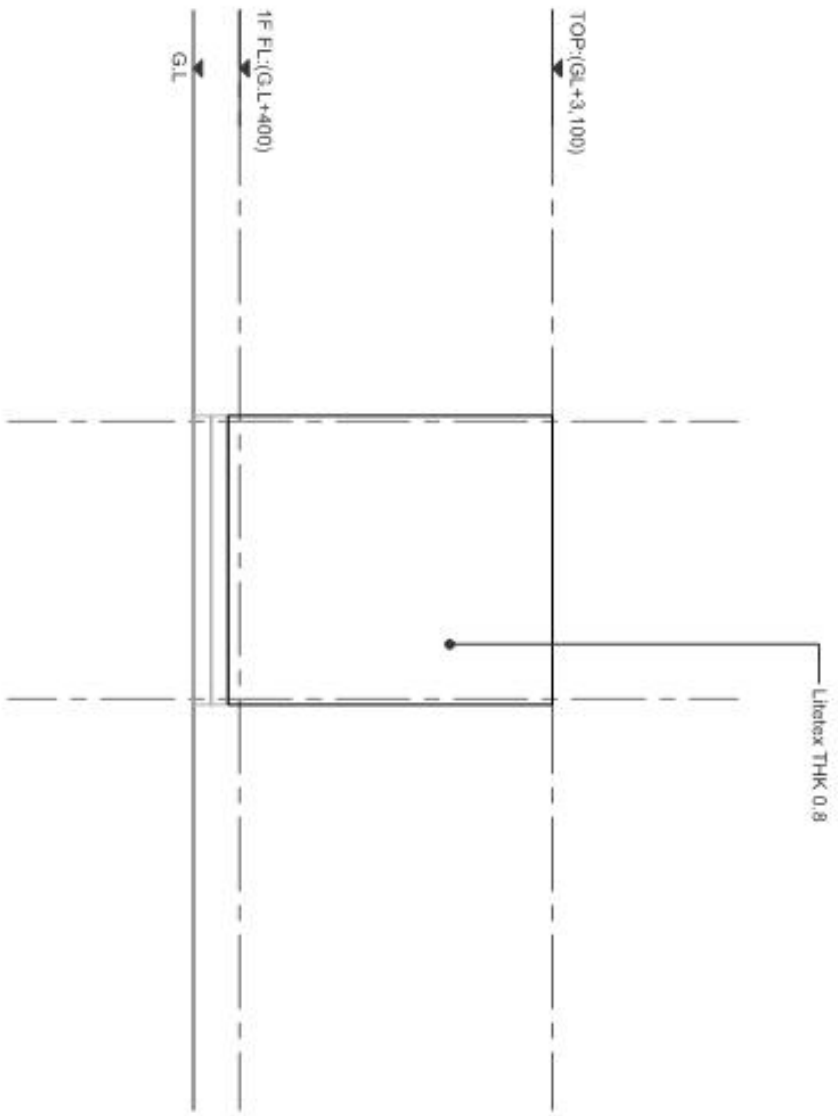
라. 축소형

(1) 평면도


2400
LIVING
ENT AND
KITCHEN
MAIN ENT
A-08
A-07
A-06
2700
1800
4500
2400
DRAWING NO
도면번호
A-01
SCALE
축척
1/50
DRWAING TITLE
도면명
축소형 평면도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

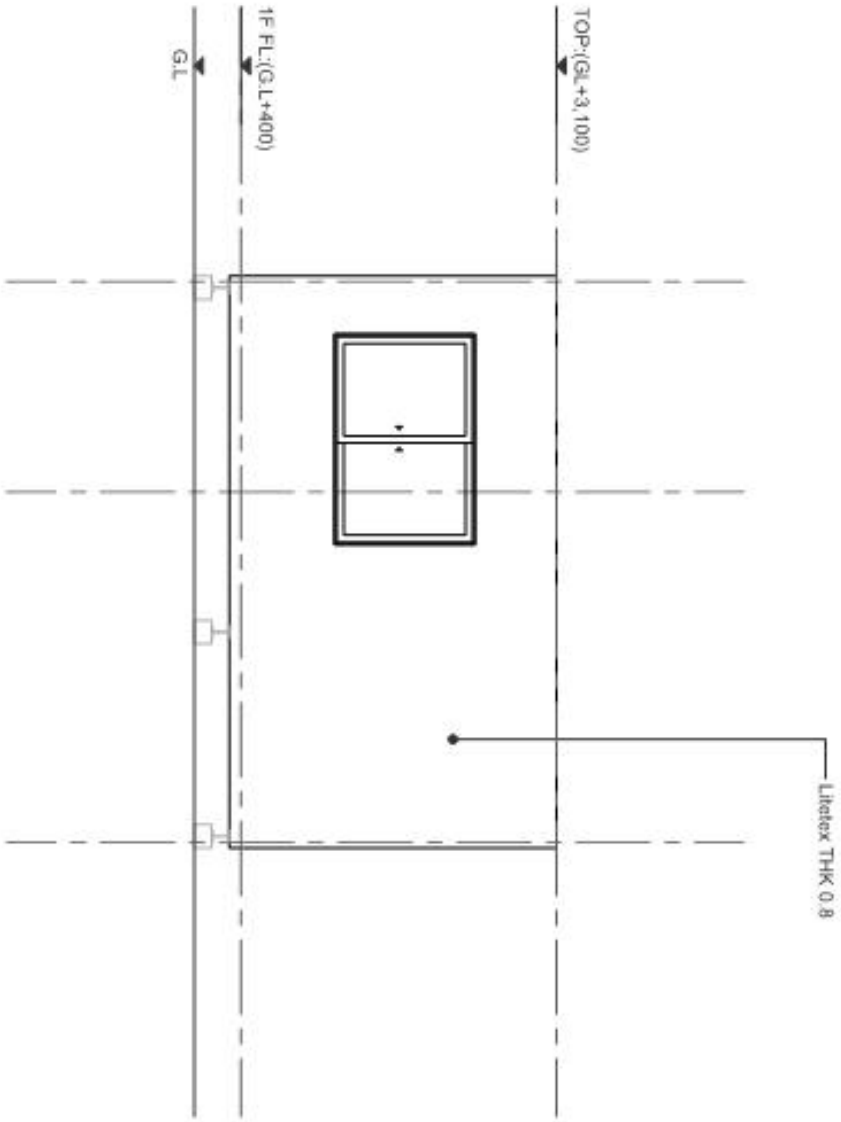
(2) 입면도 (정면도, 우측면도, 배면도, 좌측면도)





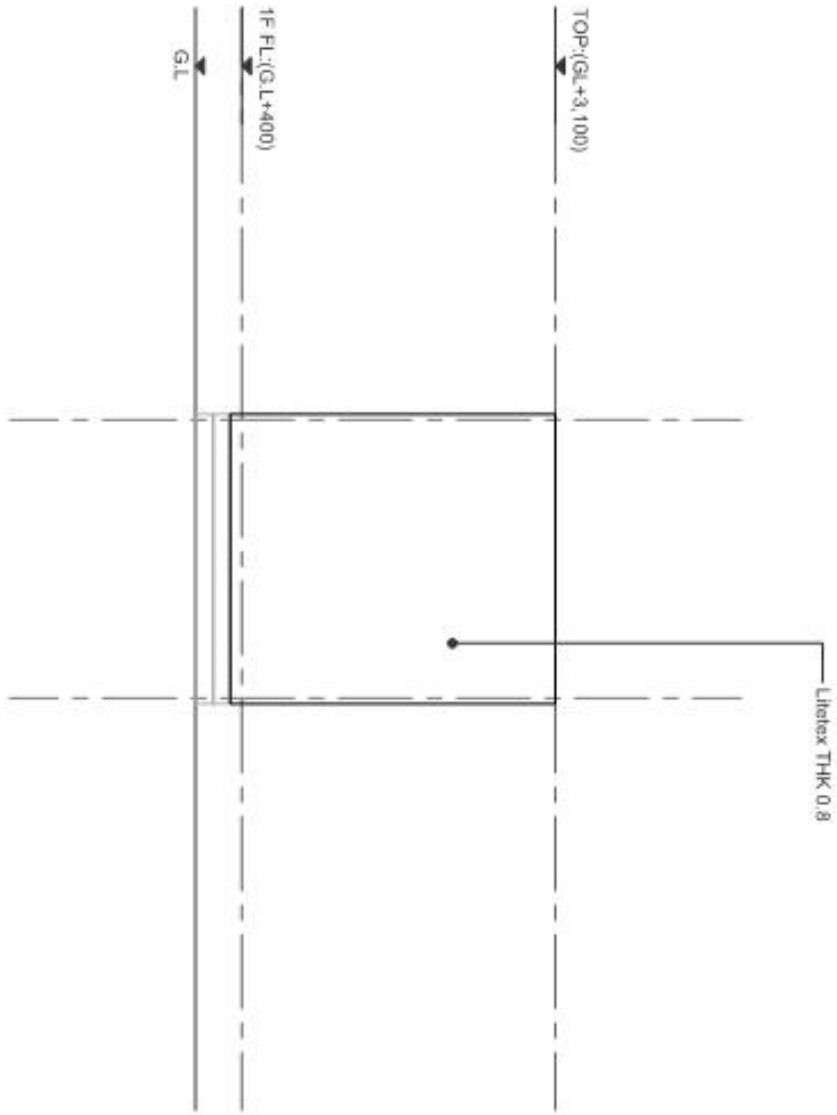
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-03	1/50	축소형 우측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-04	1/50	축소형 배면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

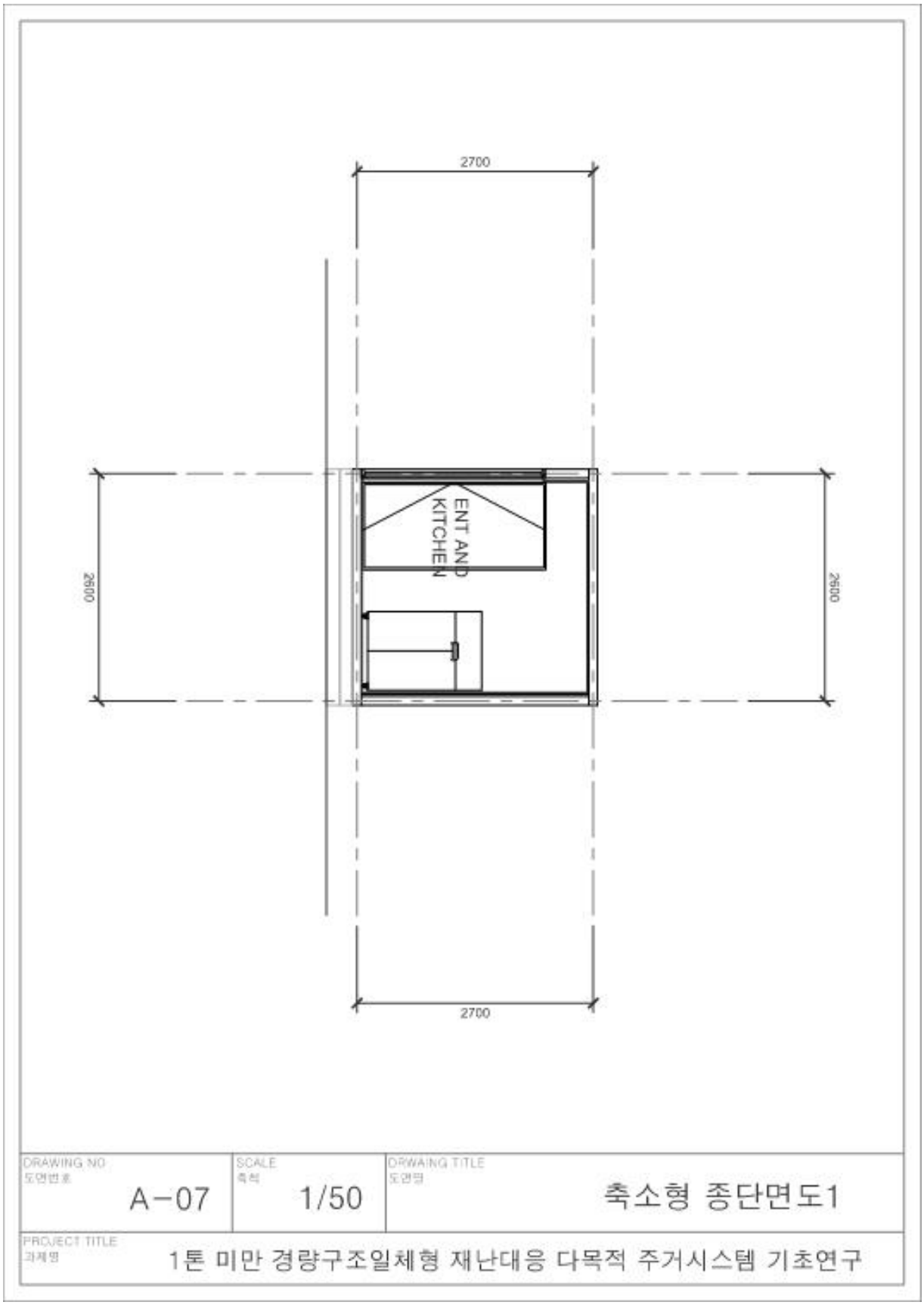


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-05	1/50	축소형 좌측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

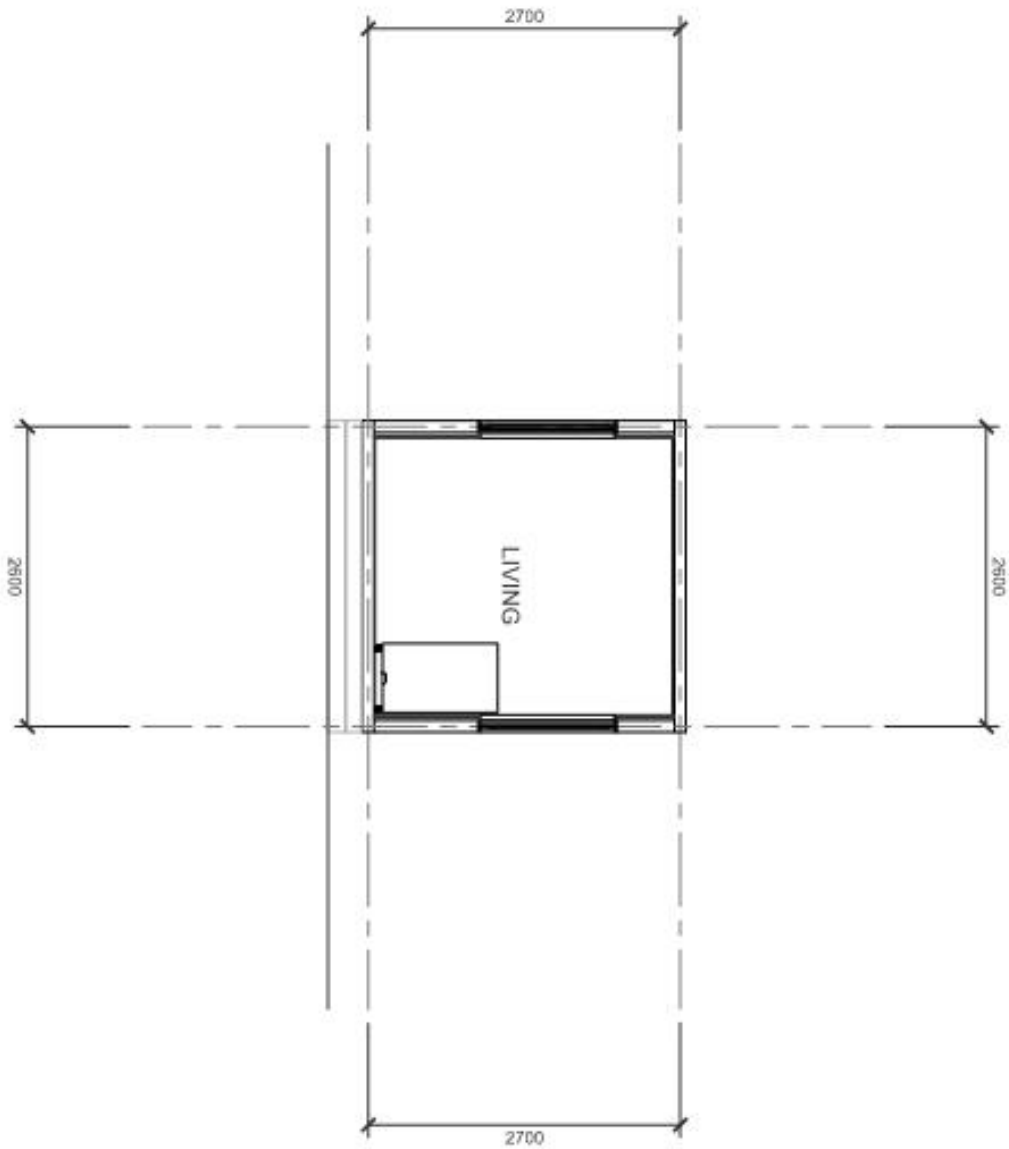
(3) 단면도 (횡단면도, 종단면도)





DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-07	1/50	축소형 종단면도1

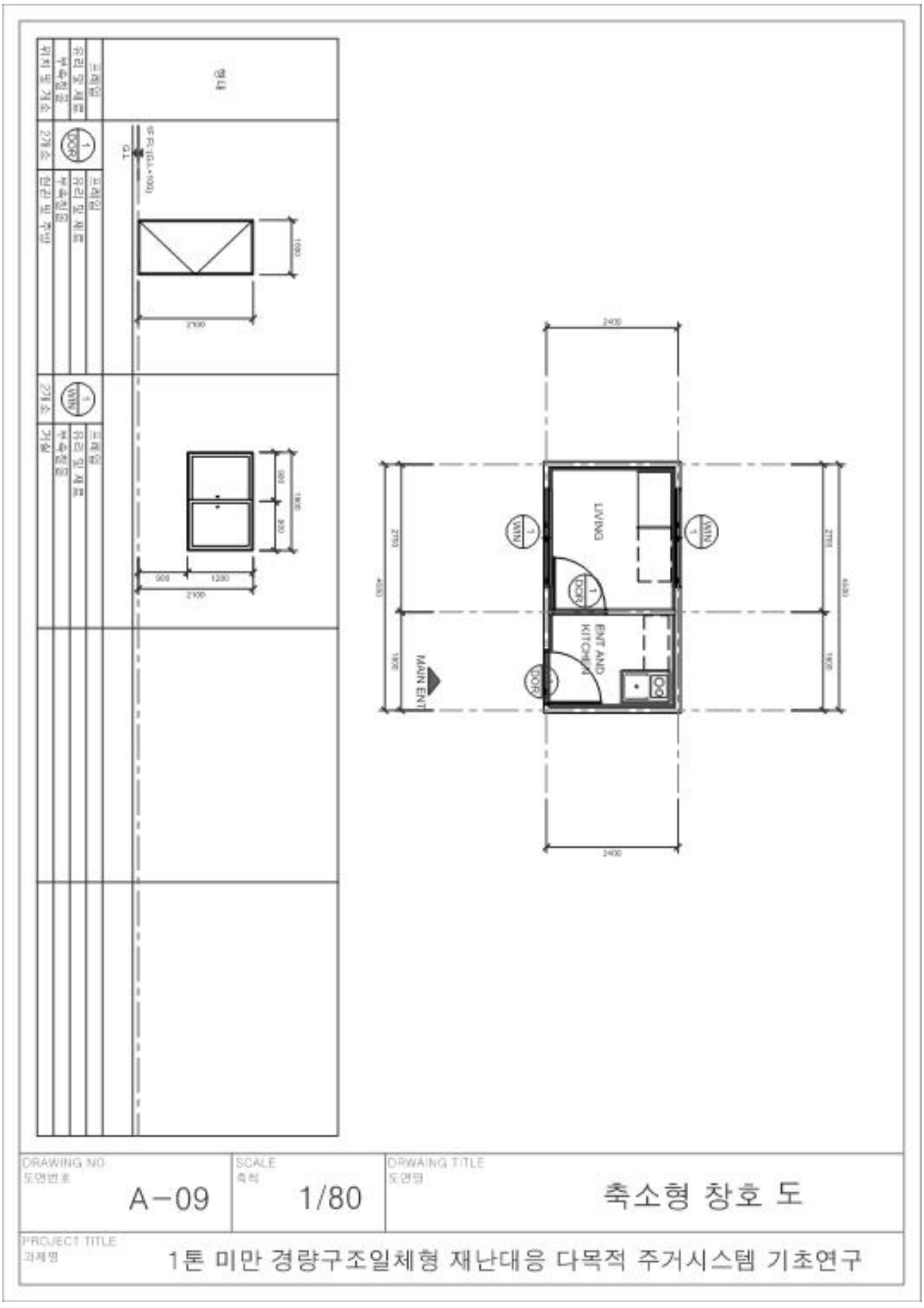
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-08	1/50	축소형 종단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(4) 창호도


LIVING
ENT AND KITCHEN
MAIN ENT
DOOR
WIN
2400
2700
1800
DRAWING NO
도면번호
A-09
SCALE
축척
1/80
DRWAING TITLE
도면명
축소형 창호 도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(5) 3D 모델링

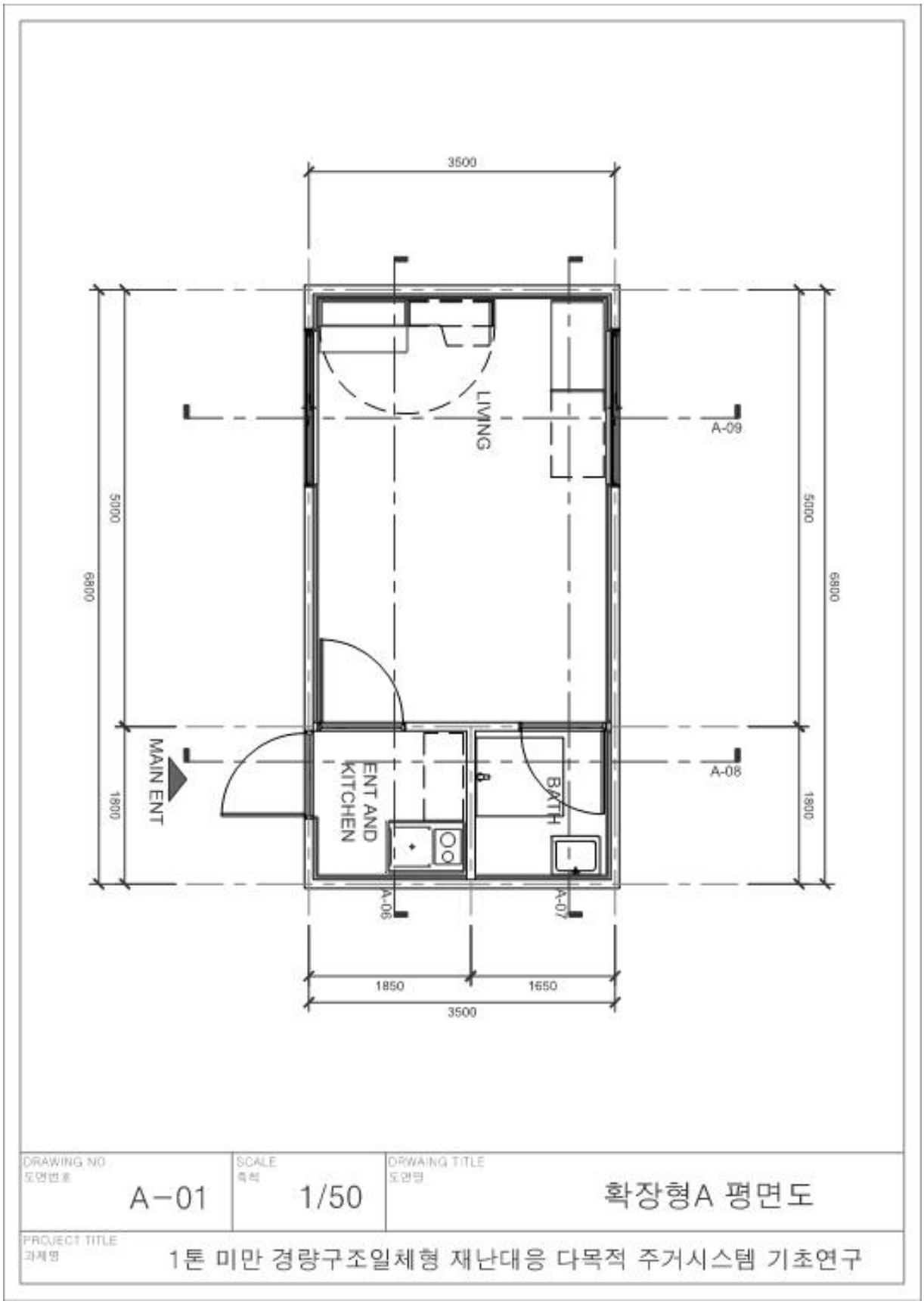




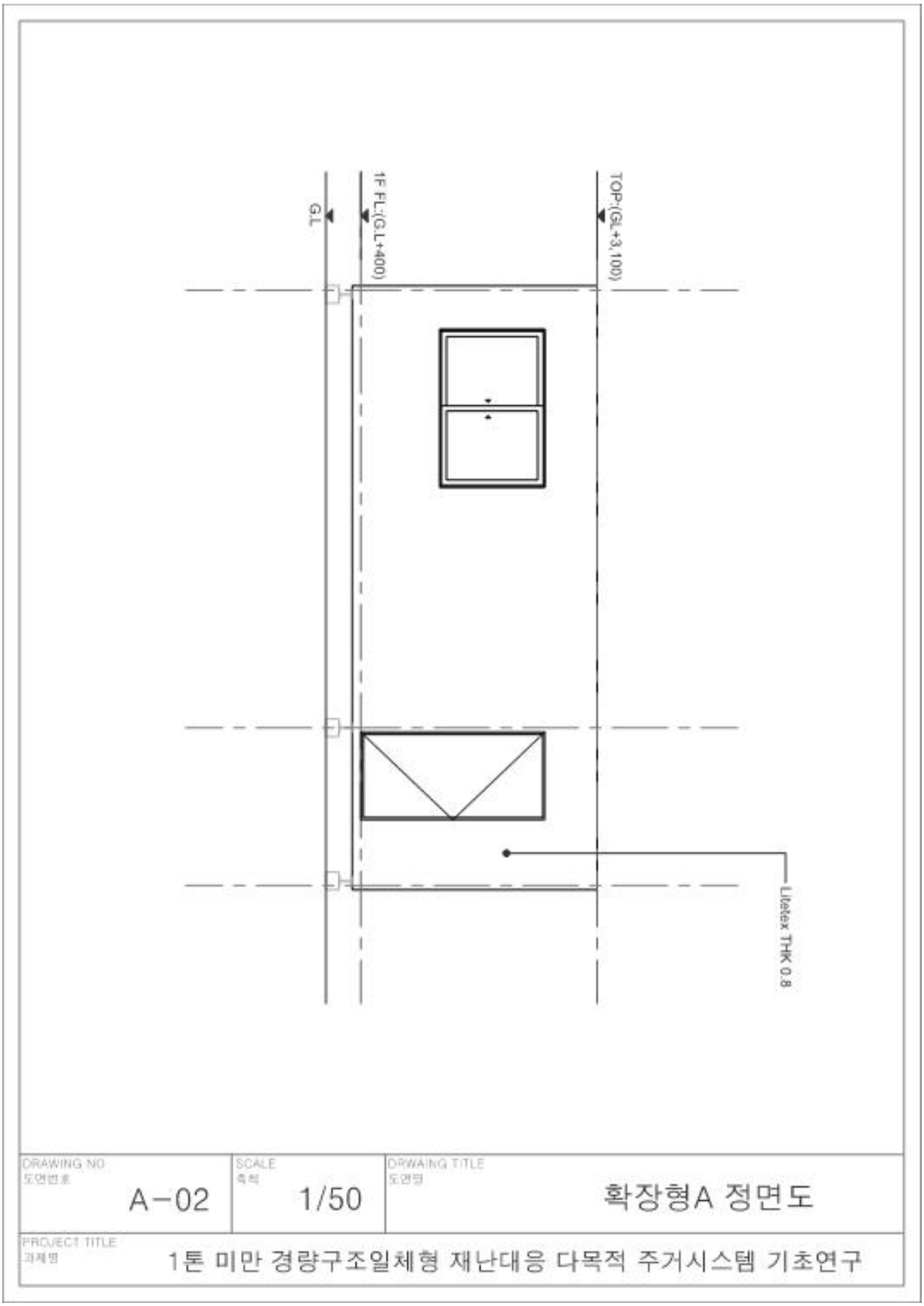


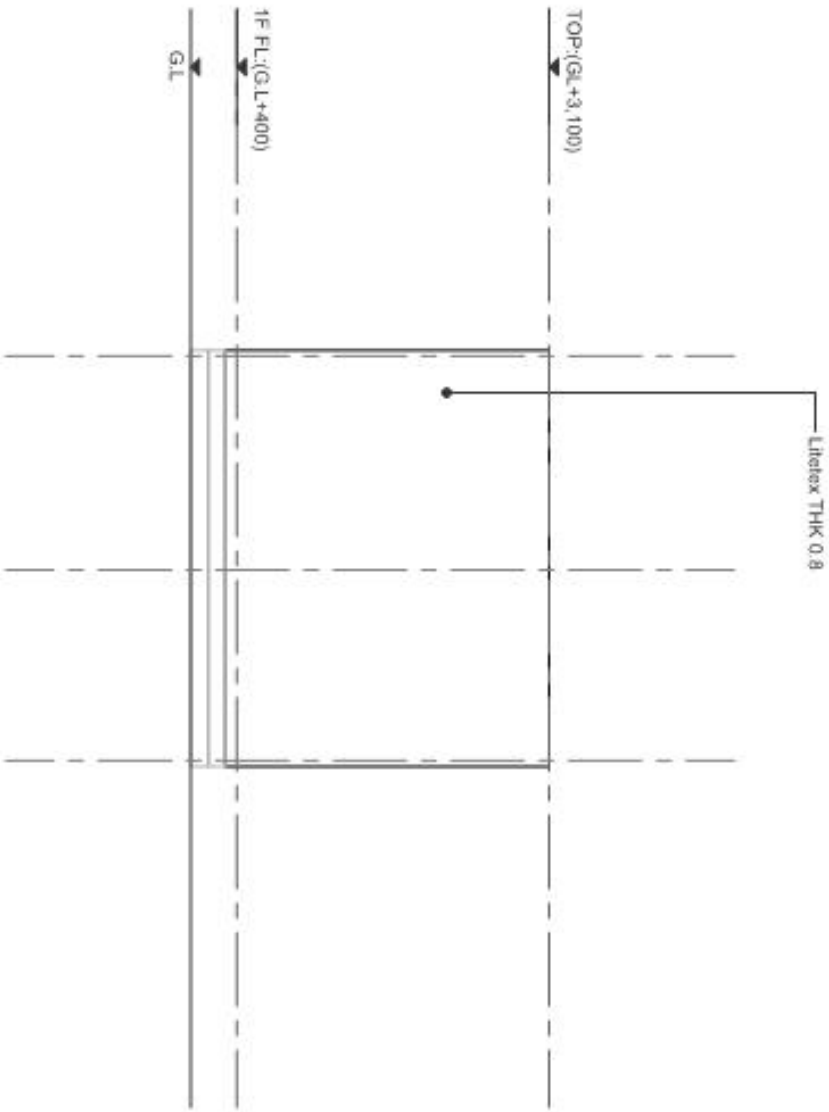

마. 확장형 A

(1)평면도


3500
LIVING
A-09
5000
6800
MAIN ENT
ENT AND KITCHEN
BATH
A-08
1800
A-06
A-07
1850
1650
3500
DRAWING NO
도면번호
A-01
SCALE
축척
1/50
DRWAING TITLE
도면명
확장형A 평면도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

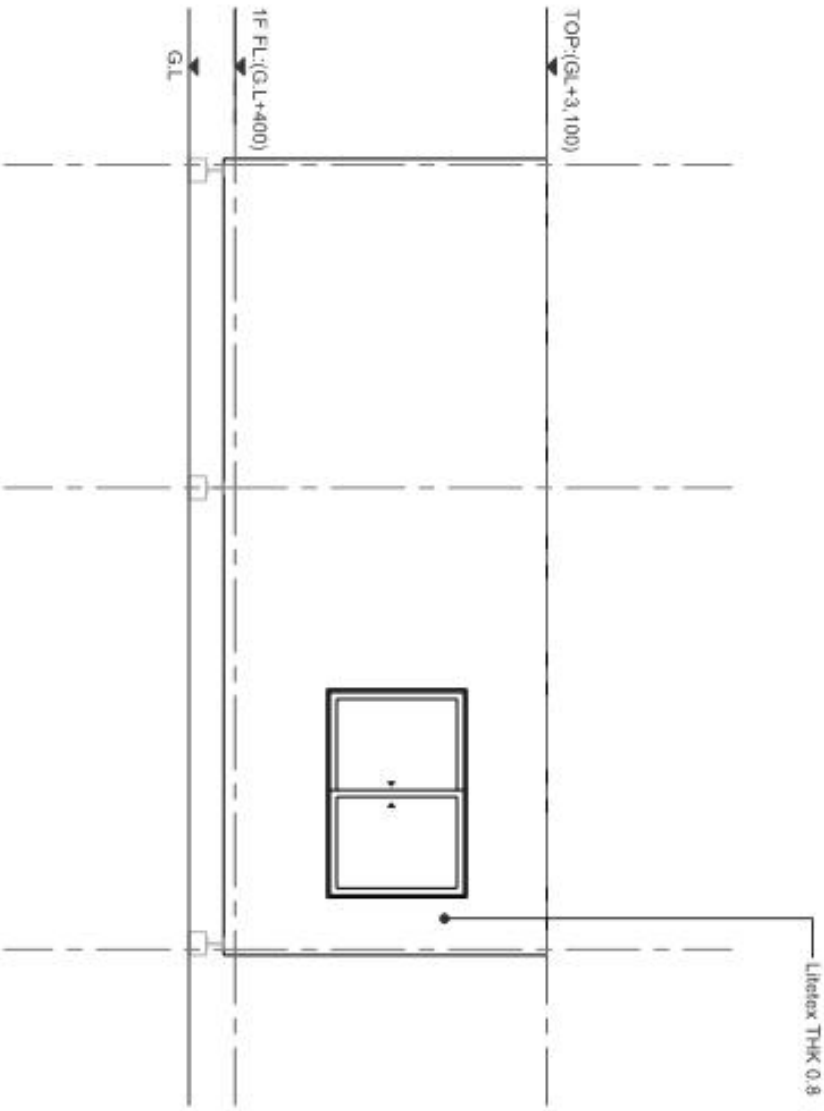
(2) 입면도 (정면도, 우측면도, 배면도, 좌측면도)





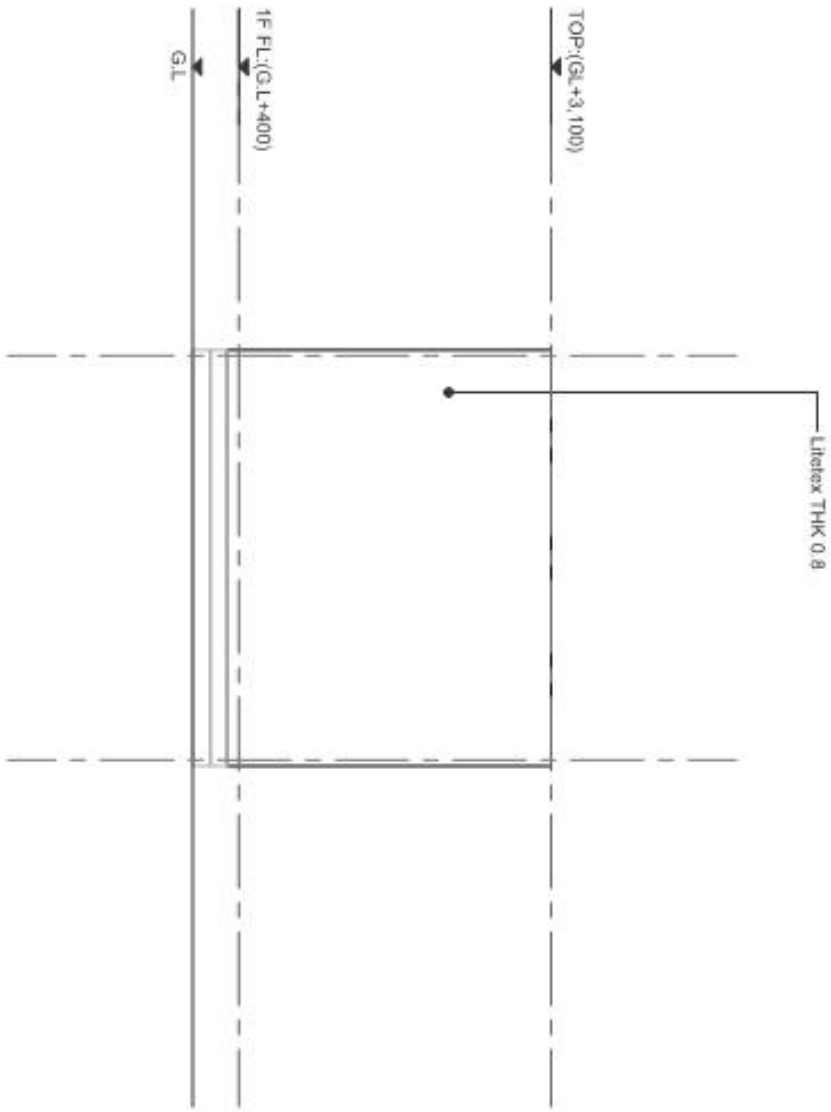
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-03	1/50	확장형A 우측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-04	1/50	확장형A 배면도

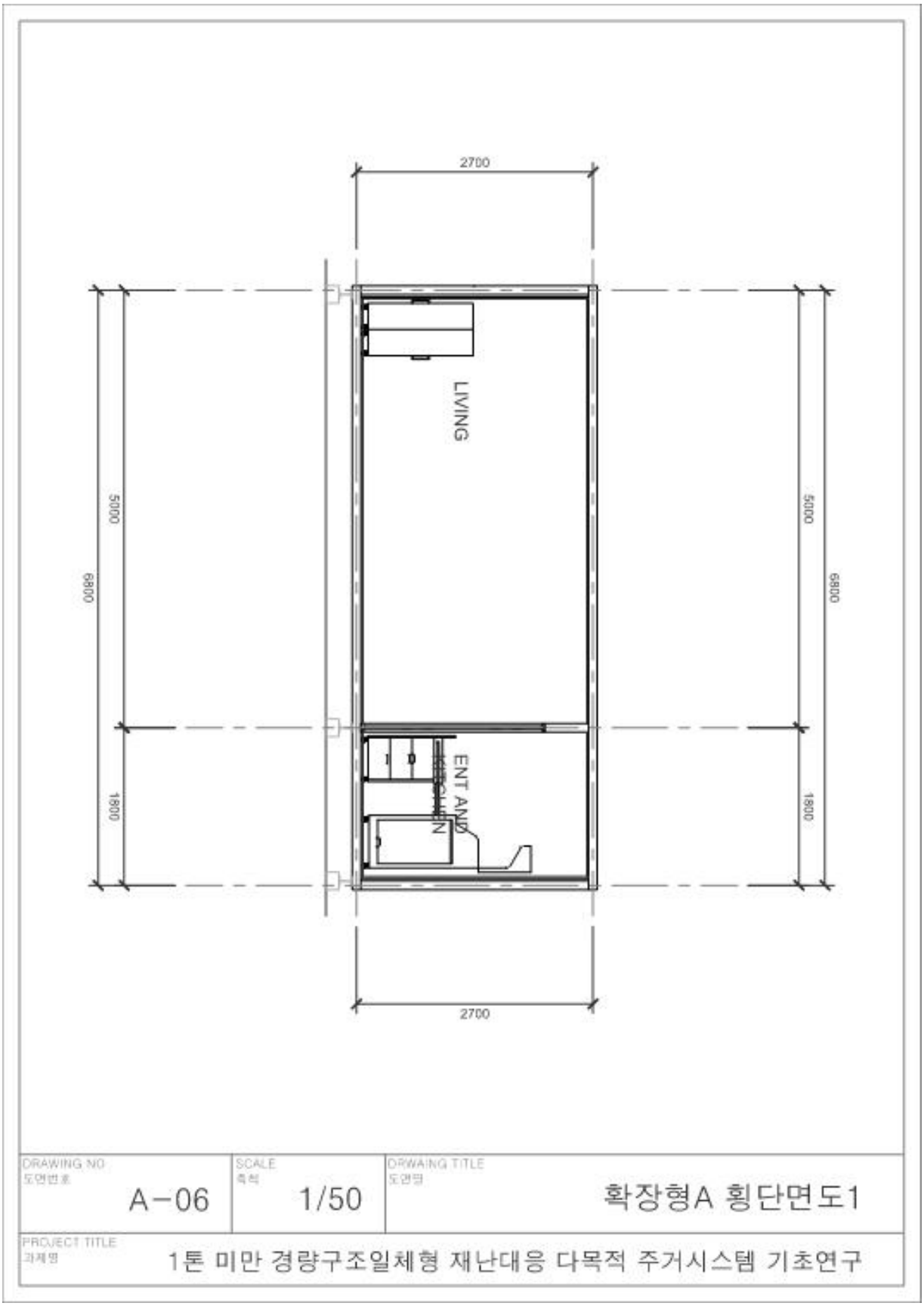
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

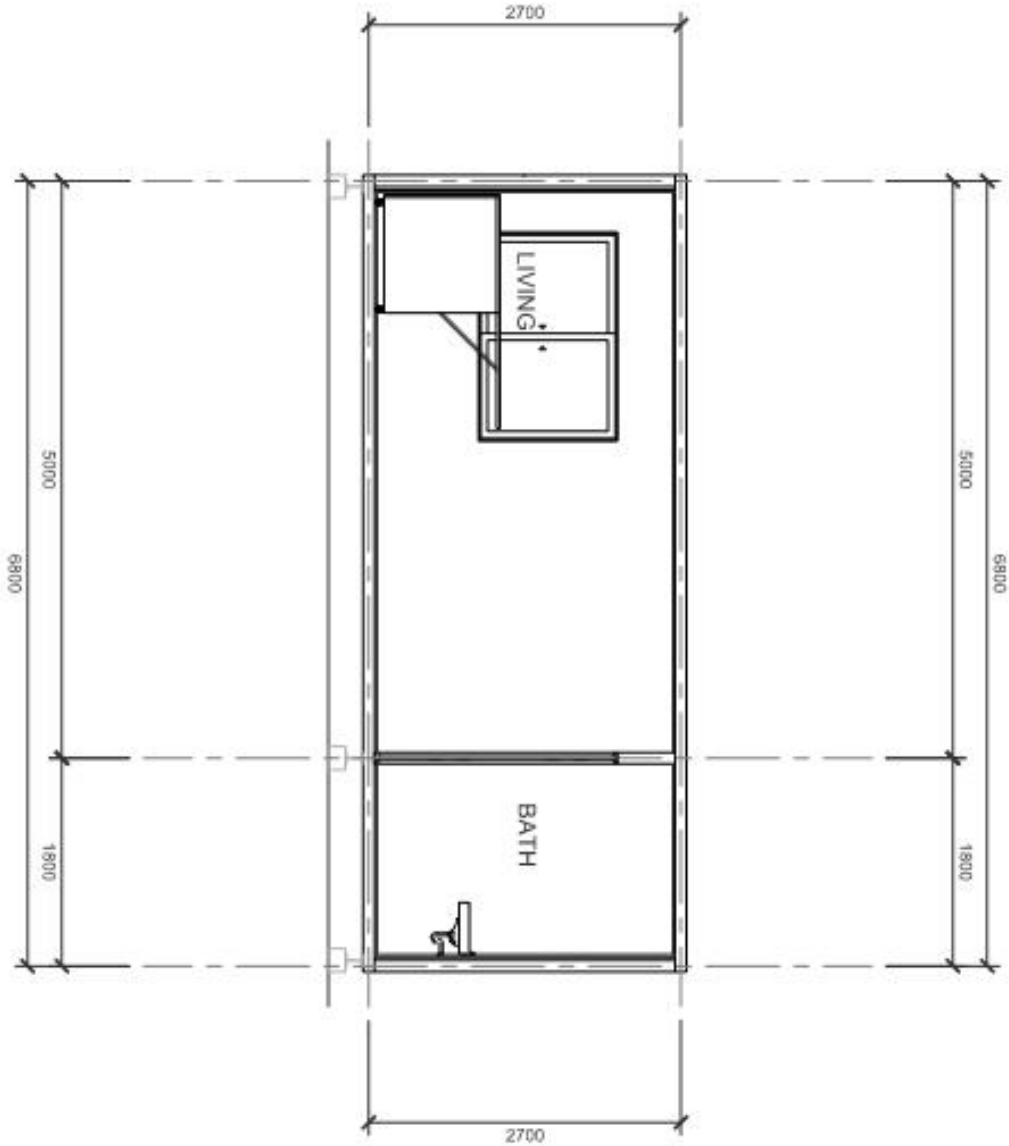


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-05	1/50	확장형A 좌측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

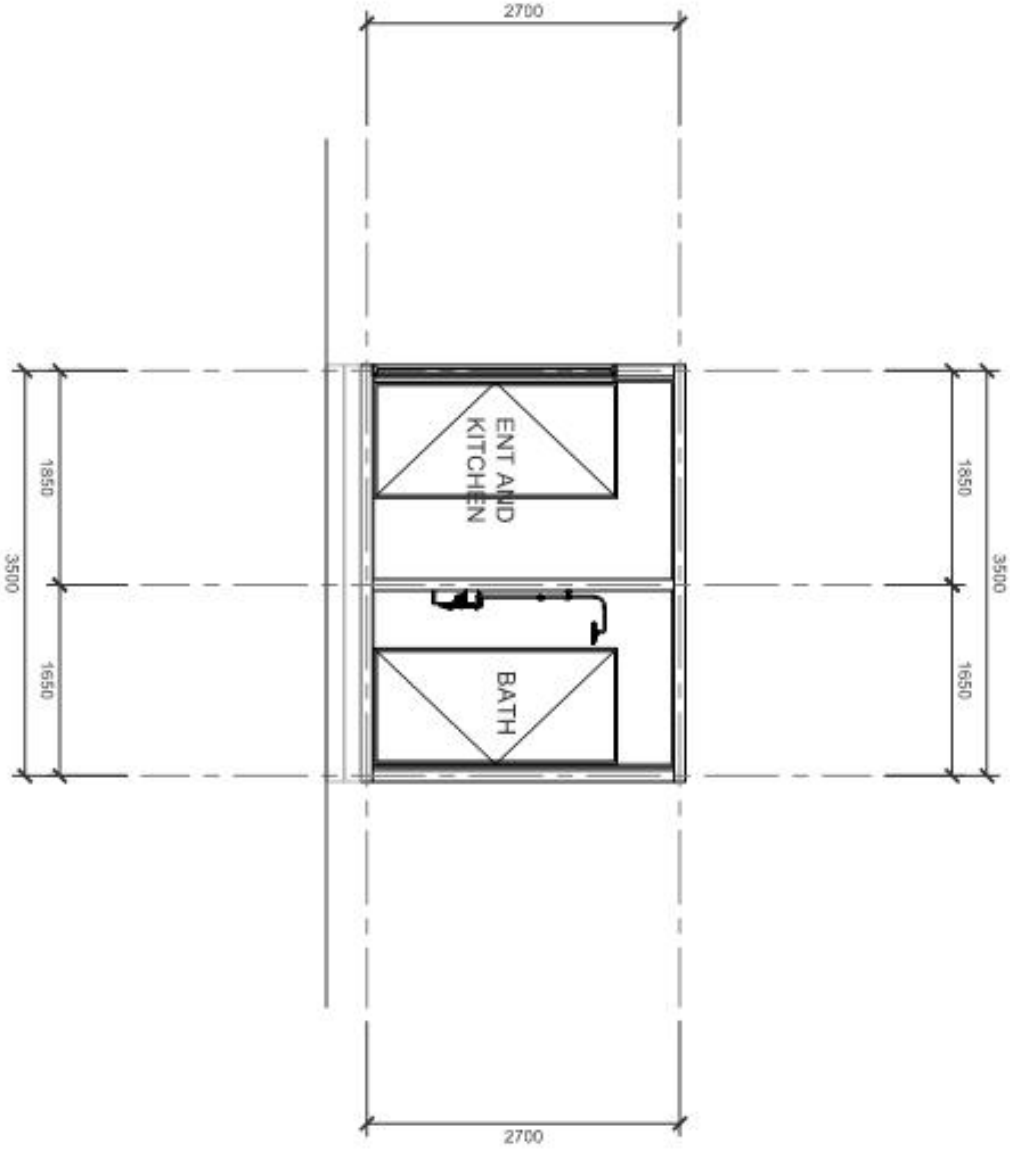
(3) 단면도 (횡단면도, 종단면도)





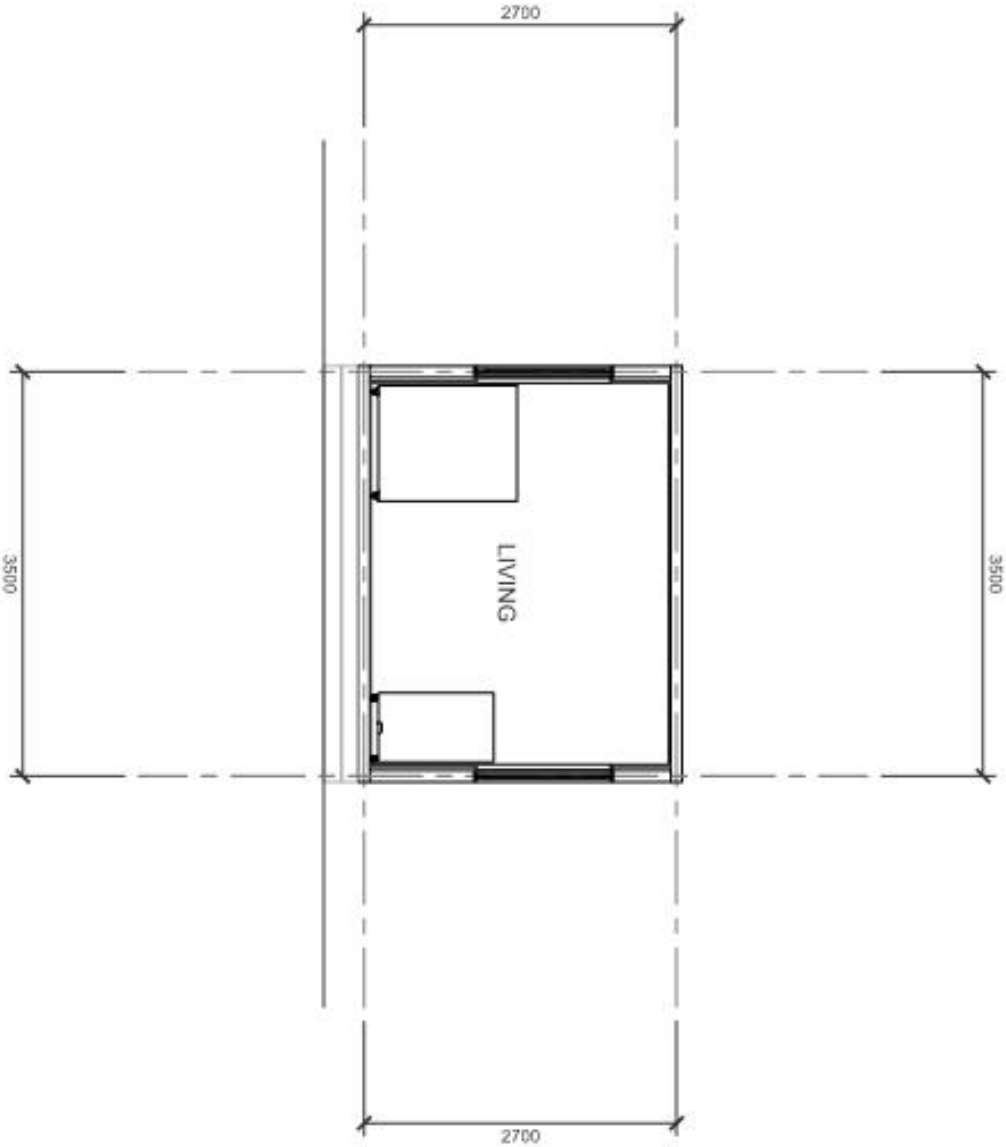
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-07	1/50	확장형A 횡단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-08	1/50	확장형A 종단면도1

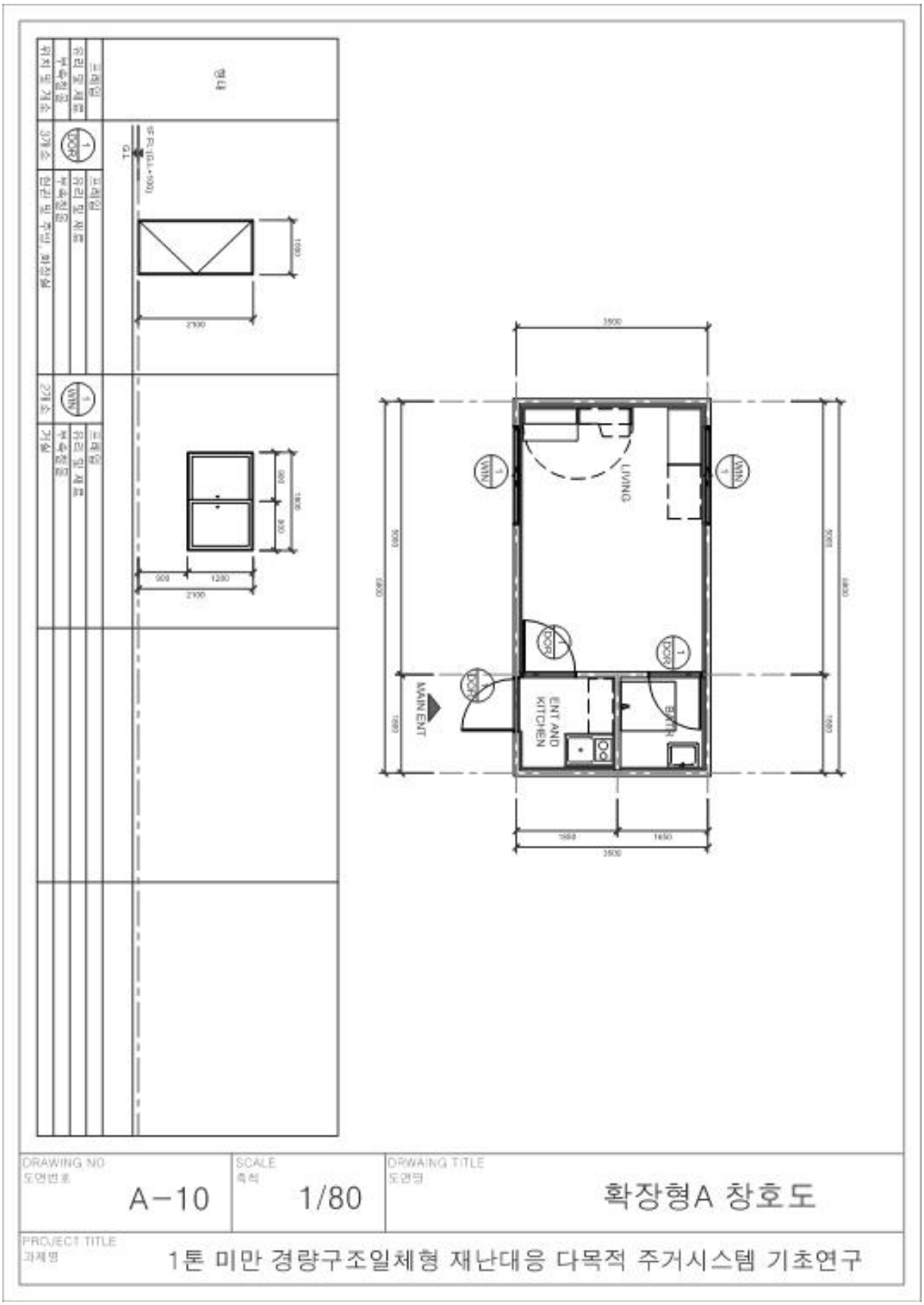
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-09	1/50	확장형A 종단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(4) 창호도



DRAWING NO 도면번호 A-10

SCALE 축척 1/80

DRWAING TITLE 도면명 확장형A 창호도

PROJECT TITLE 과제명 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

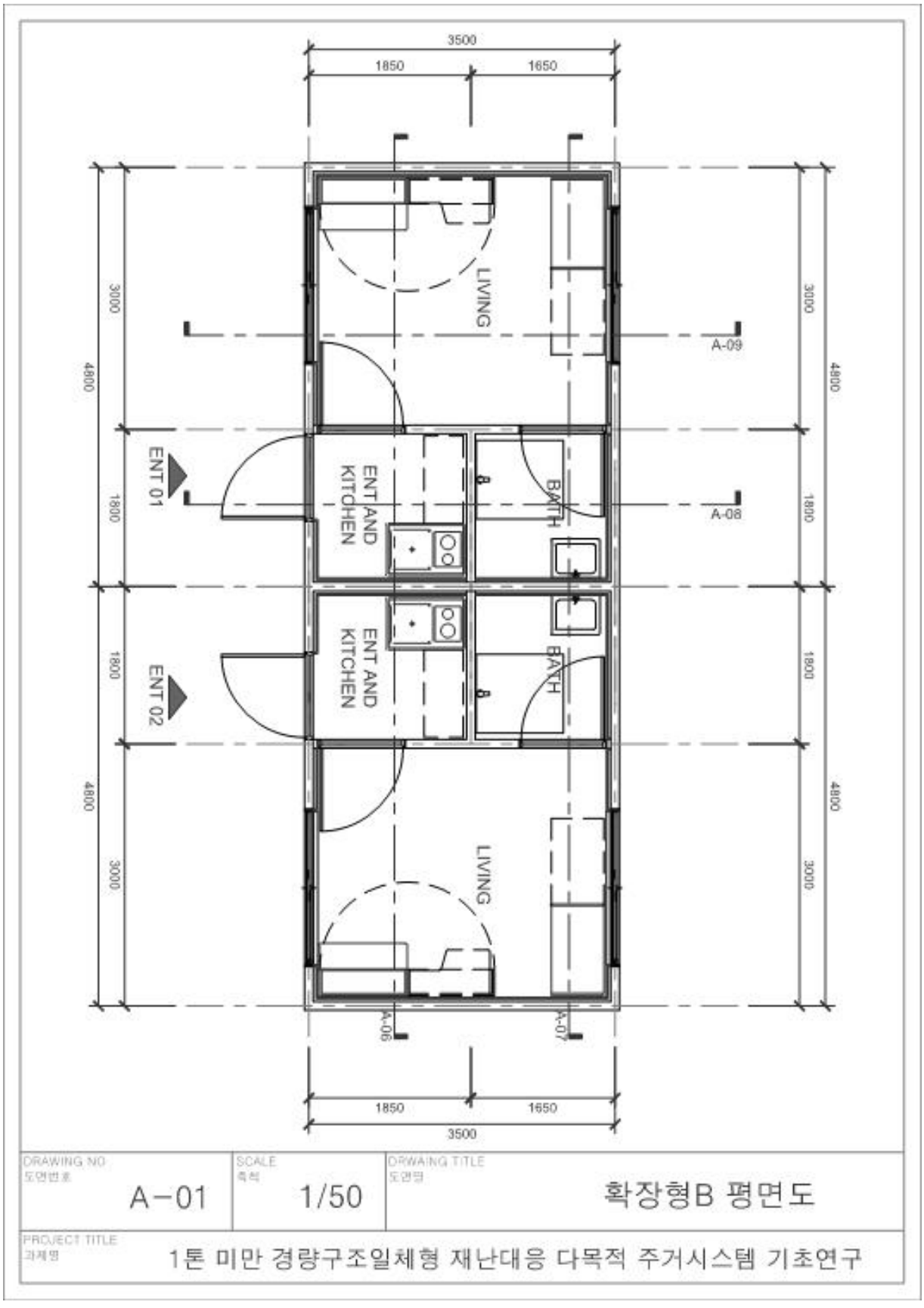
(5) 3D 모델링



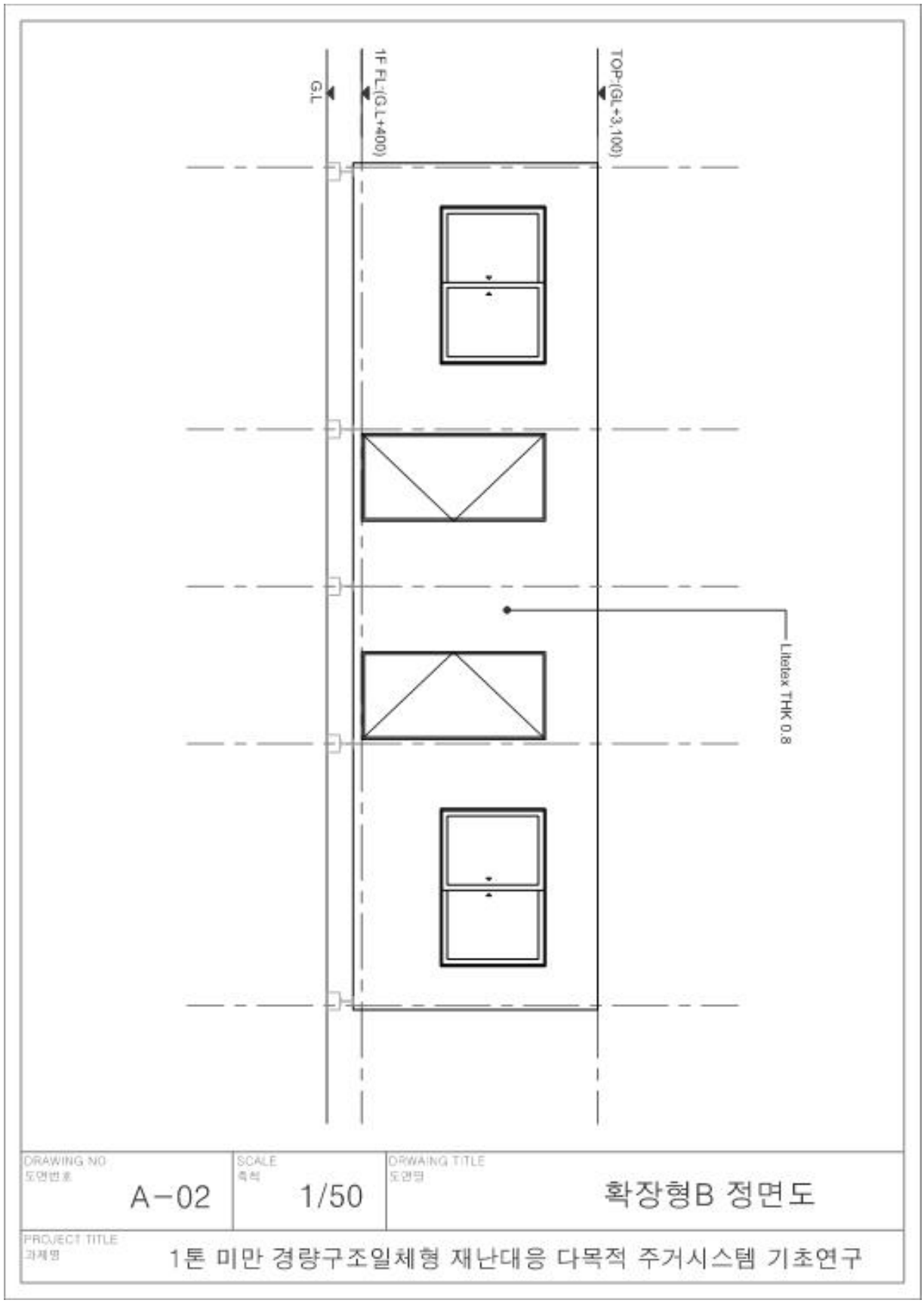
그림 29. 확장형 A 투시도

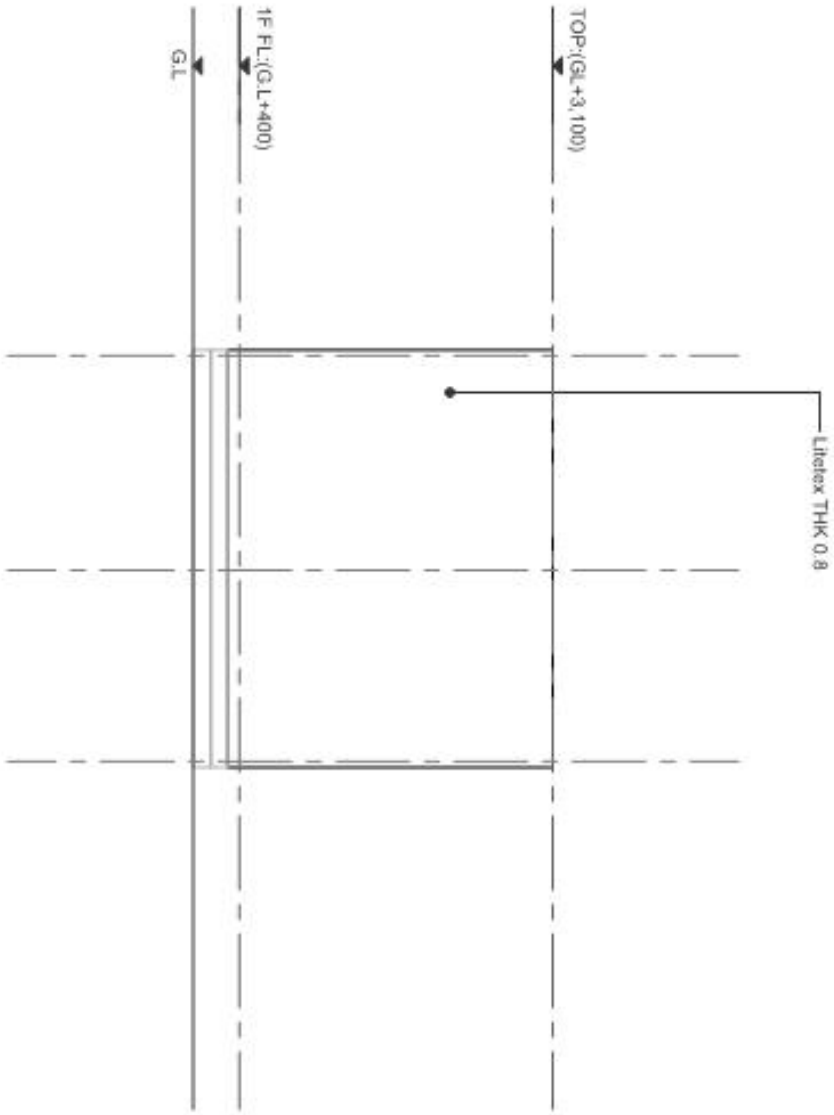
바. 확장형 B

(1) 평면도


3500
1850
1650
LIVING
A-09
ENT AND KITCHEN
BATH
A-08
ENT 01
ENT 02
ENT AND KITCHEN
BATH
LIVING
A-06
A-07
3000
1800
4800
DRAWING NO
도면번호
A-01
SCALE
축척
1/50
DRWAING TITLE
도면명
확장형B 평면도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

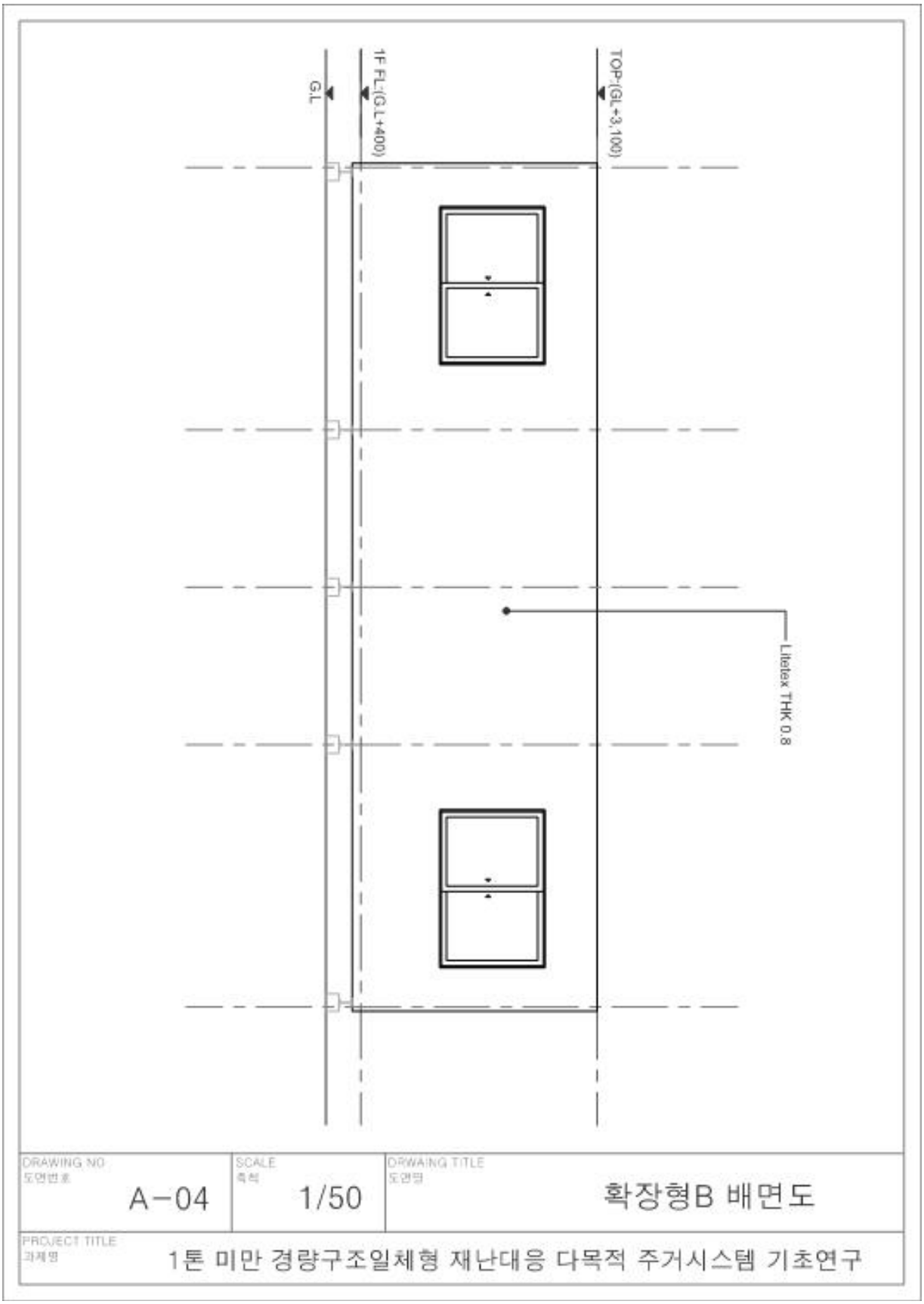
(2) 입면도 (정면도, 우측면도, 배면도, 좌측면도)





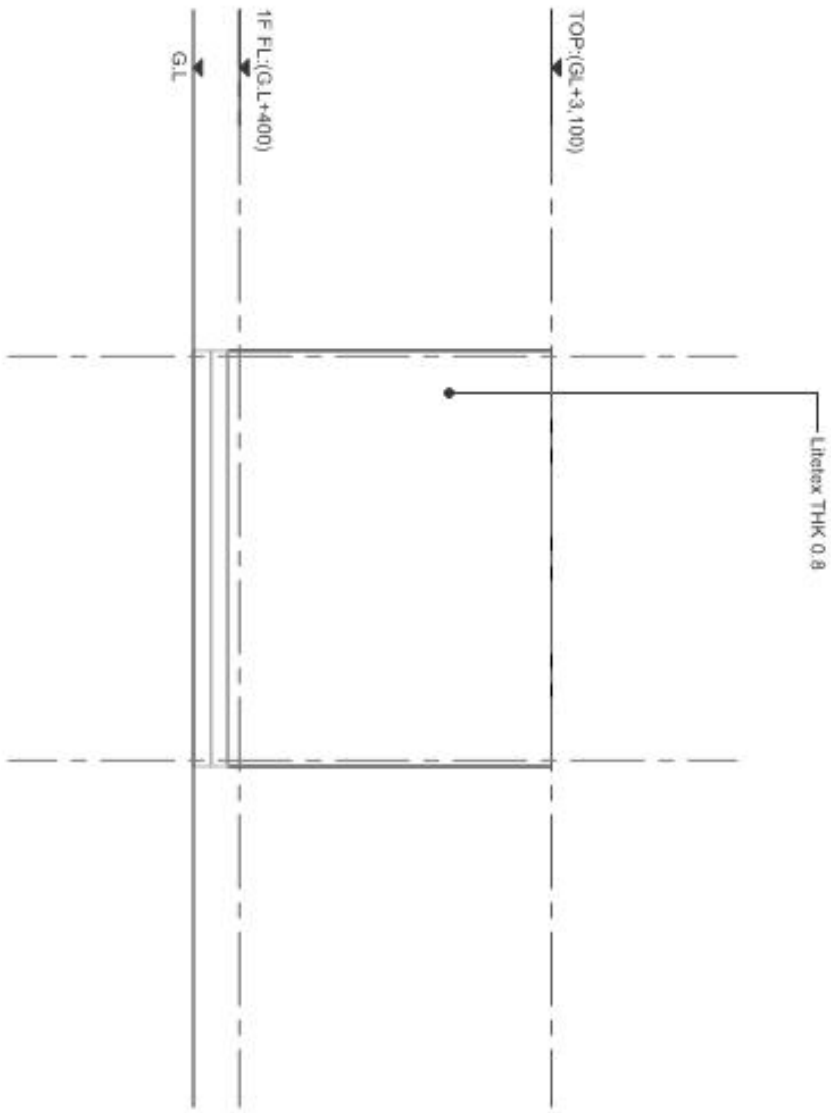
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-03	1/50	확장형B 우측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-04	1/50	확장형B 배면도

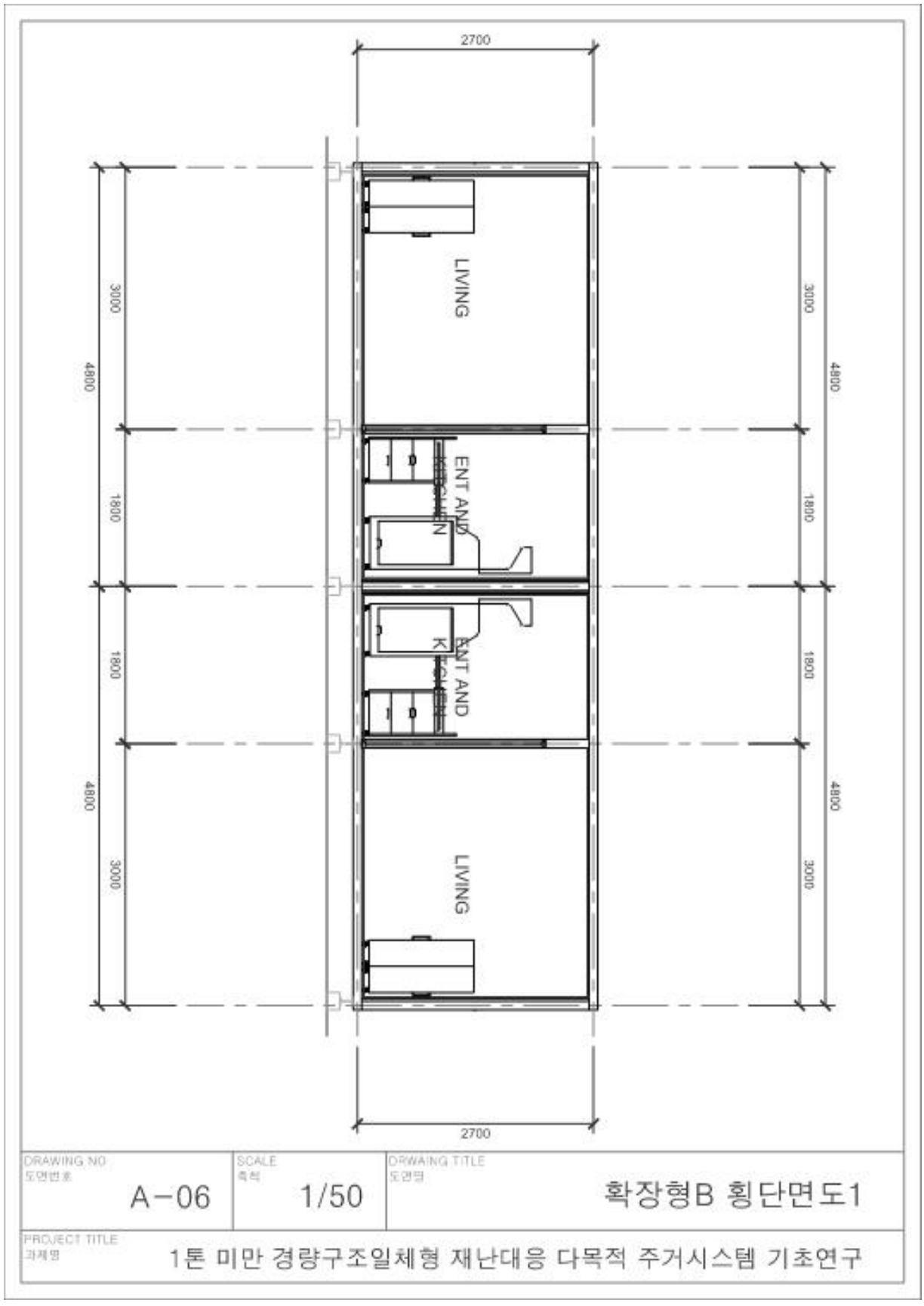
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

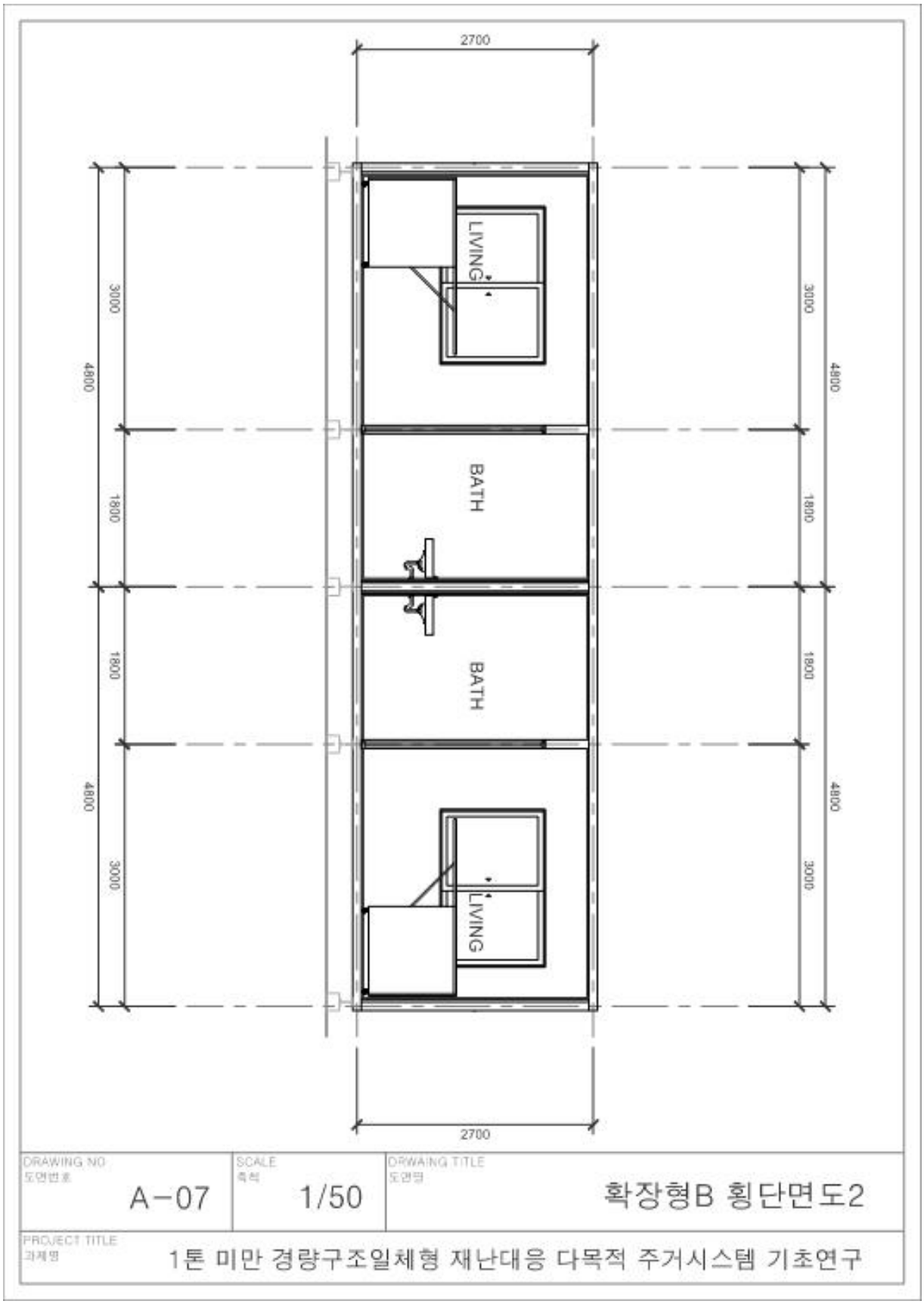


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-05	1/50	확장형B 좌측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

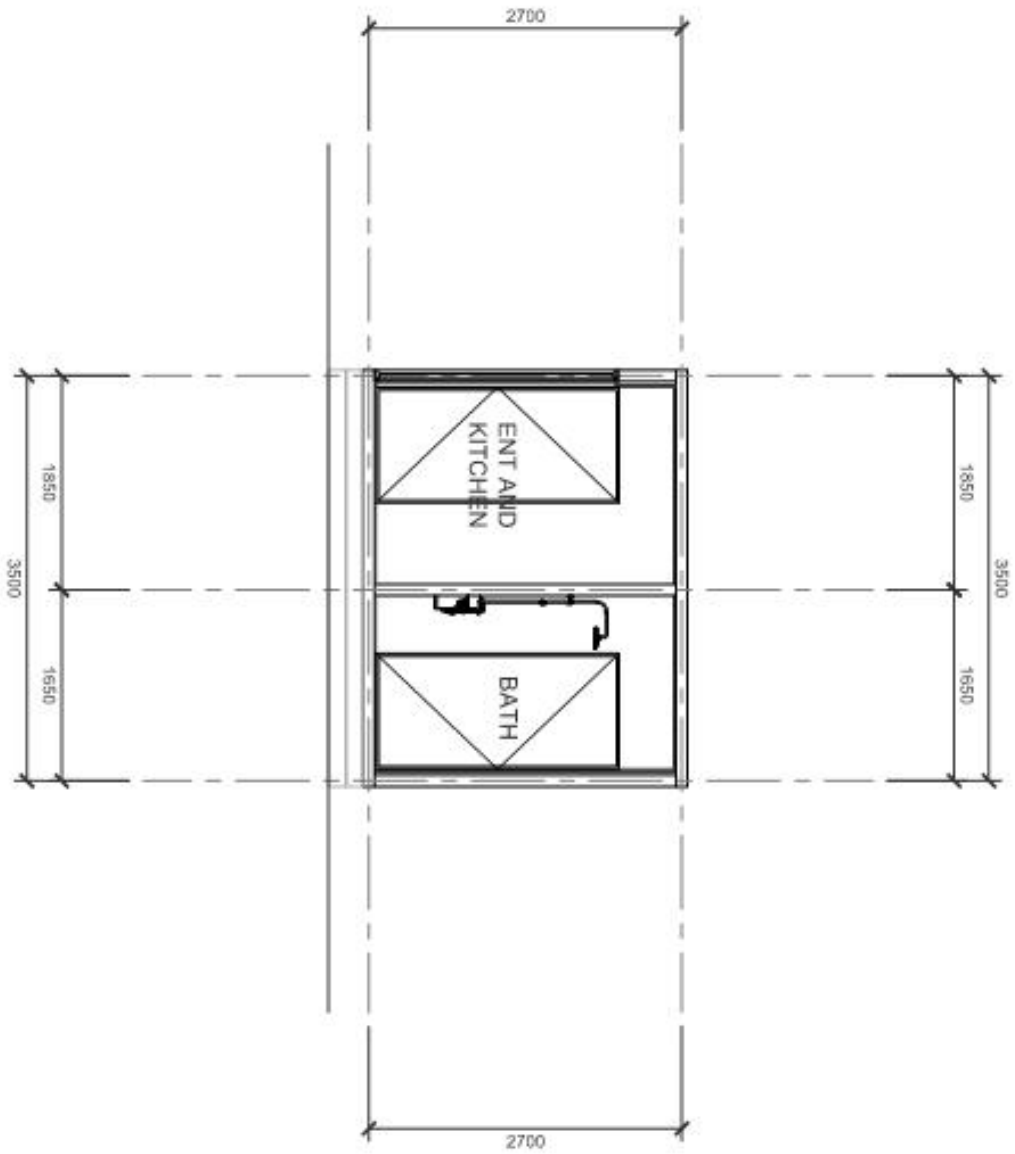
(3) 단면도 (횡단면도, 종단면도)





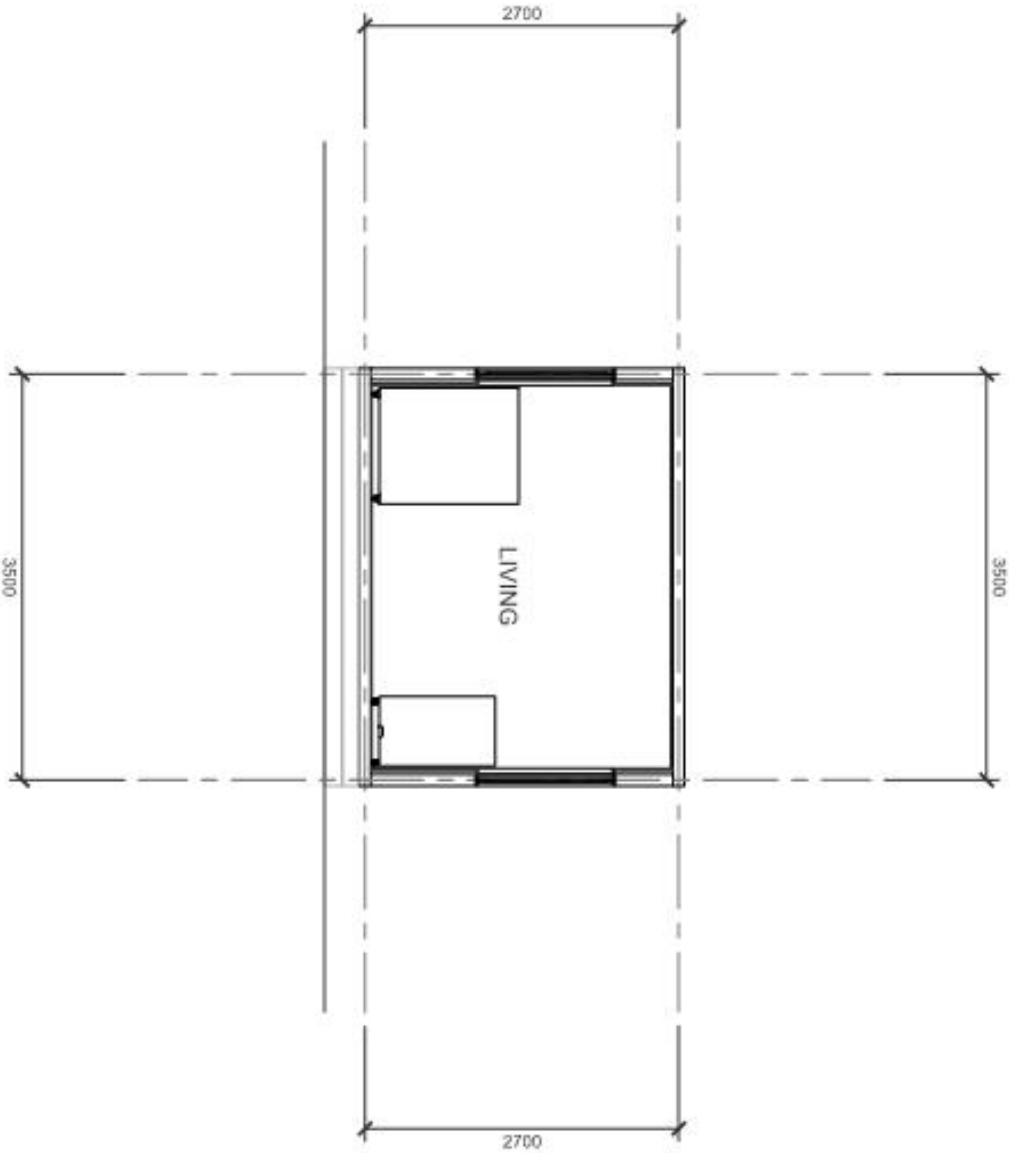
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-07	1/50	확장형B 횡단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-08	1/50	확장형B 종단면도1

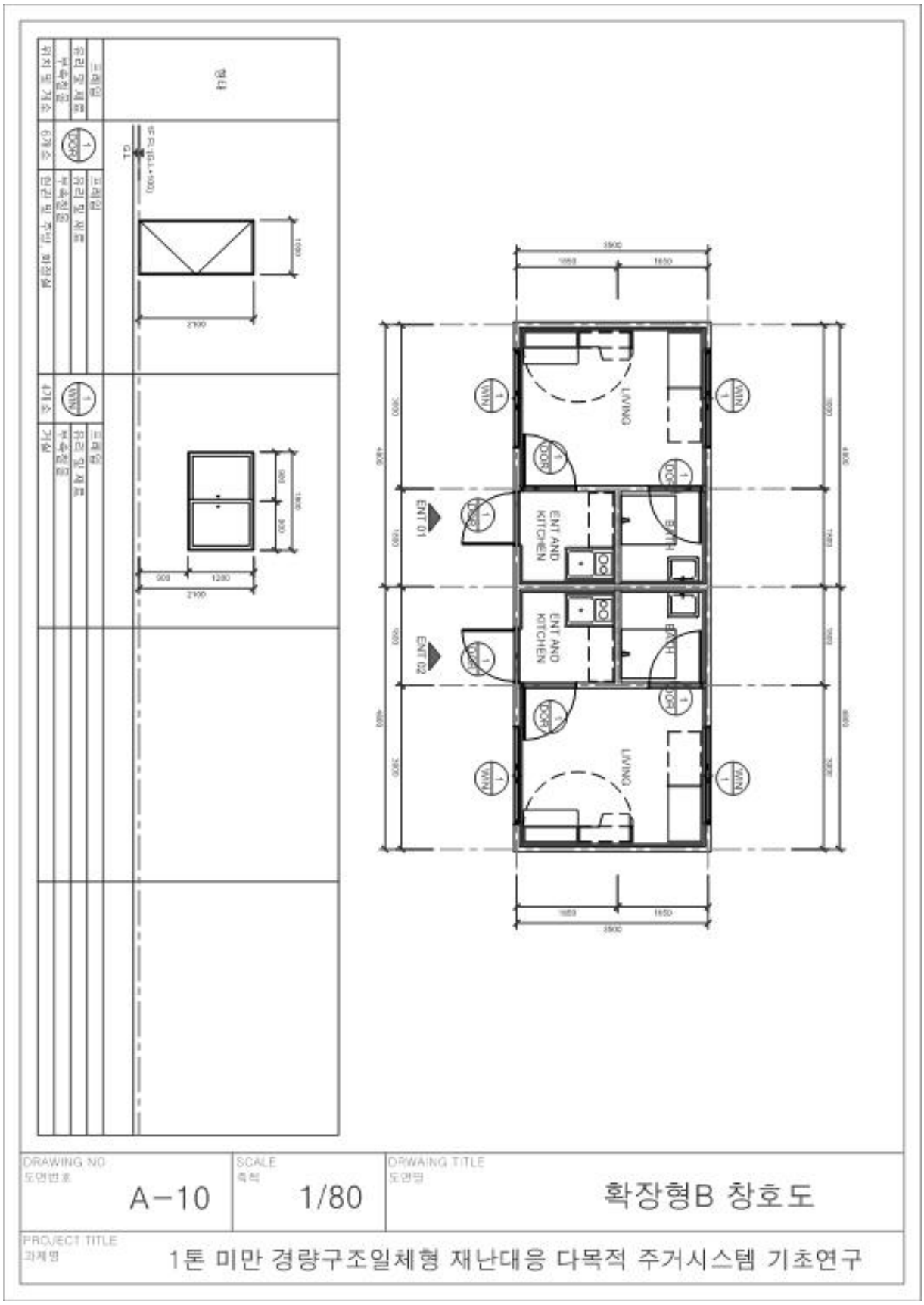
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-09	1/50	확장형B 종단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(4) 창호도

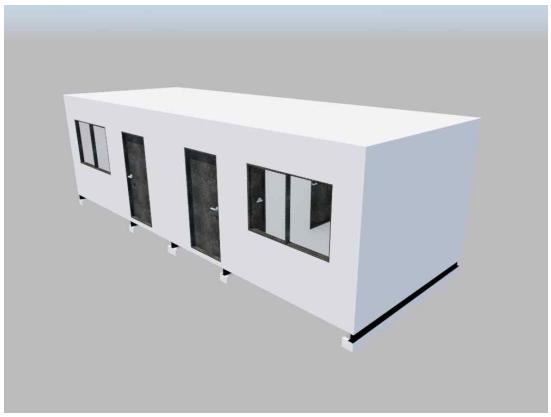

LIVING
ENT AND KITCHEN
ENT 01
ENT 02
BATH
WIN
DOOR
DRAWING NO
도면번호
A-10
SCALE
축척
1/80
DRWAING TITLE
도면명
확장형B 창호도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(5) 3D 모델링



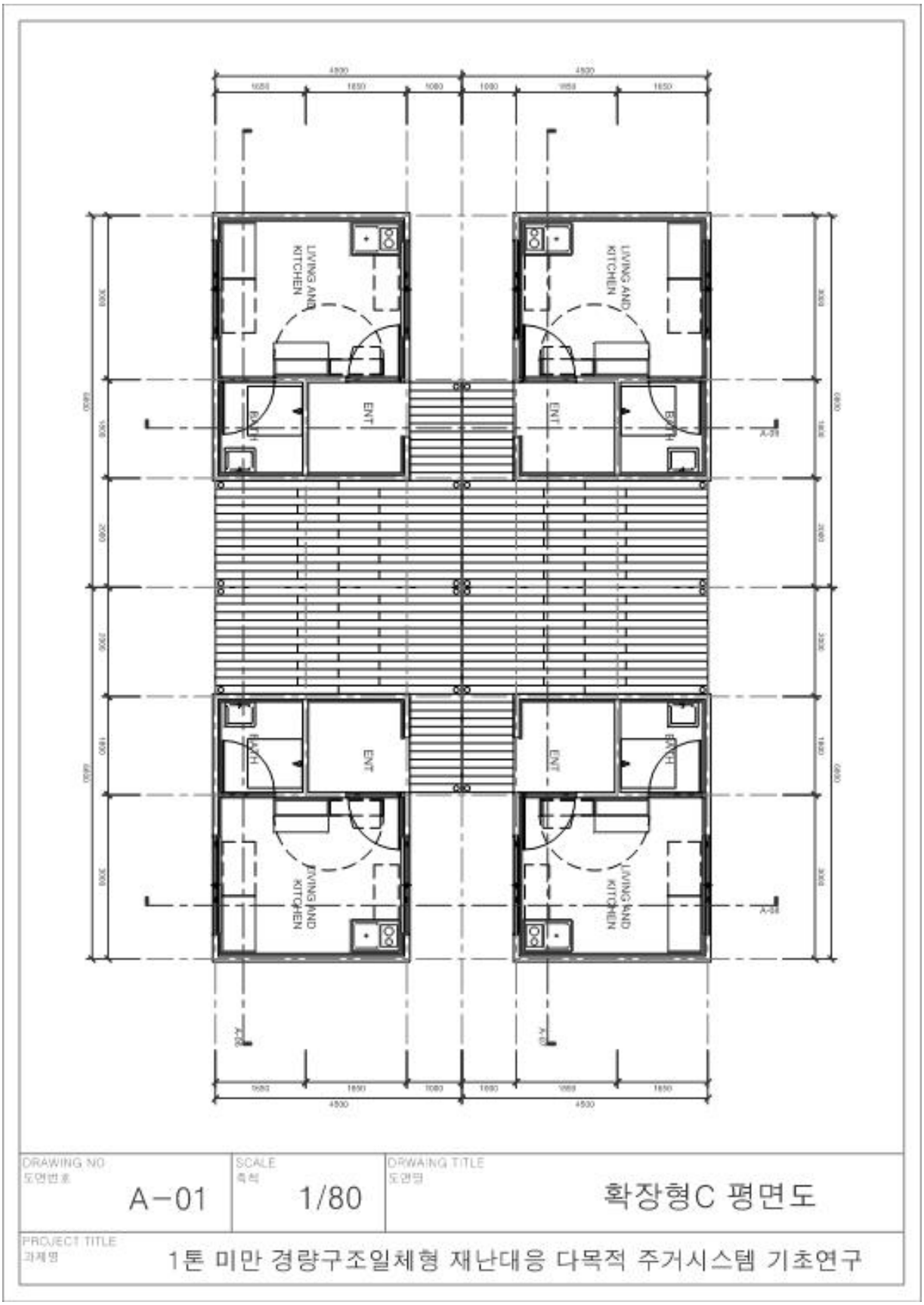




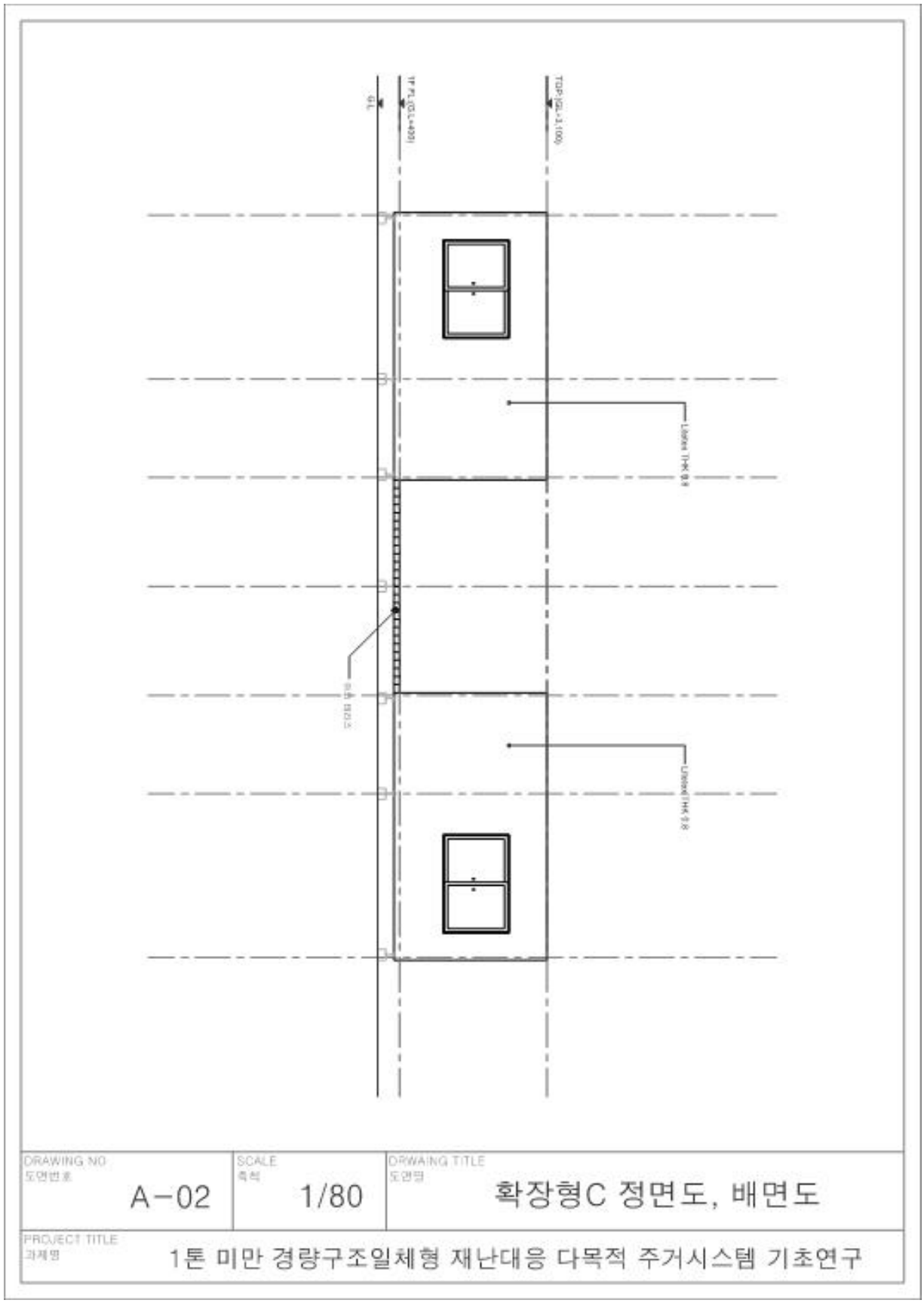


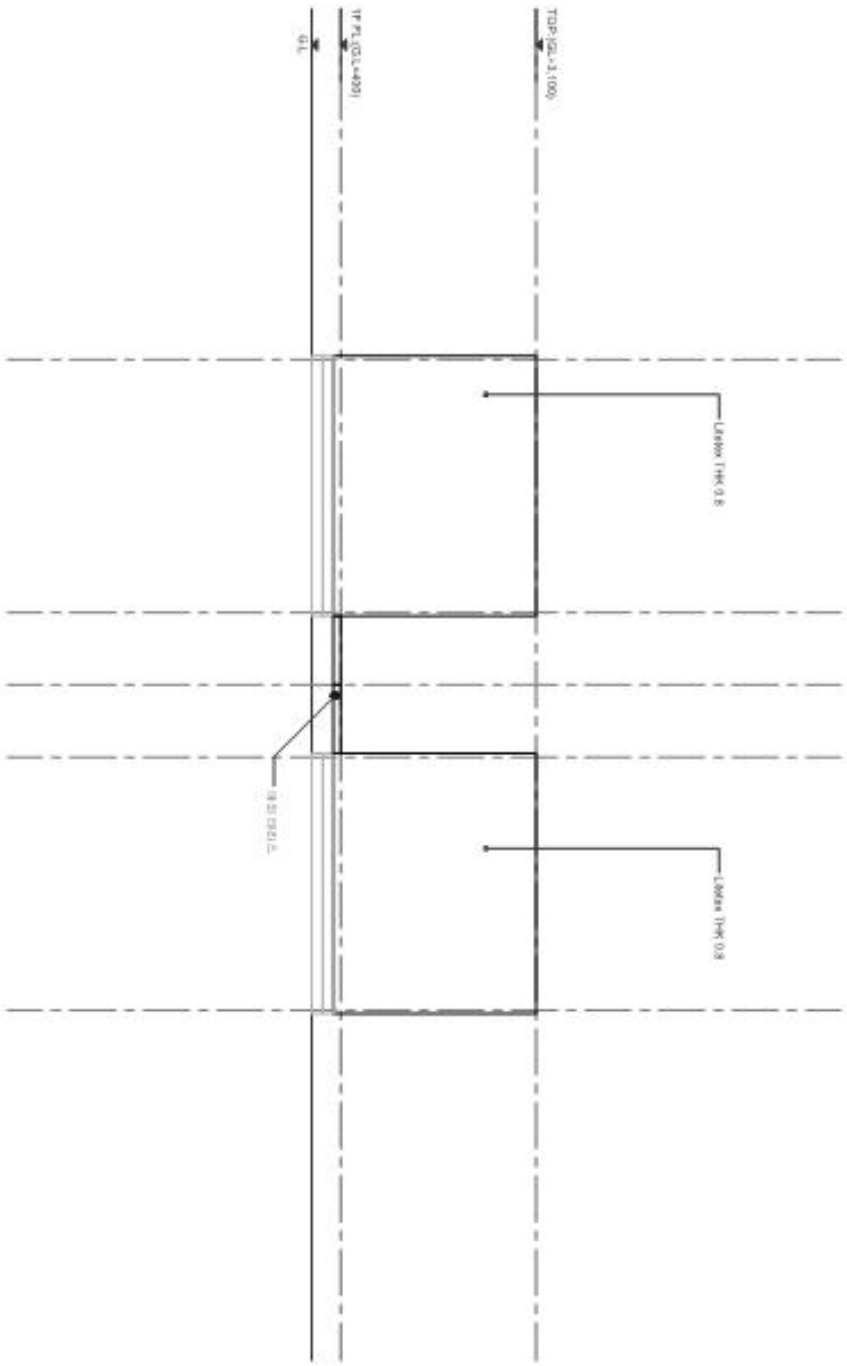
사. 확장형 C

(1) 평면도


LIVING AND KITCHEN
ENT
BATH
DRAWING NO
도면번호
A-01
SCALE
축척
1/80
DRWAING TITLE
도면명
확장형C 평면도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(2) 입면도 (정면도, 우측면도, 배면도, 좌측면도)

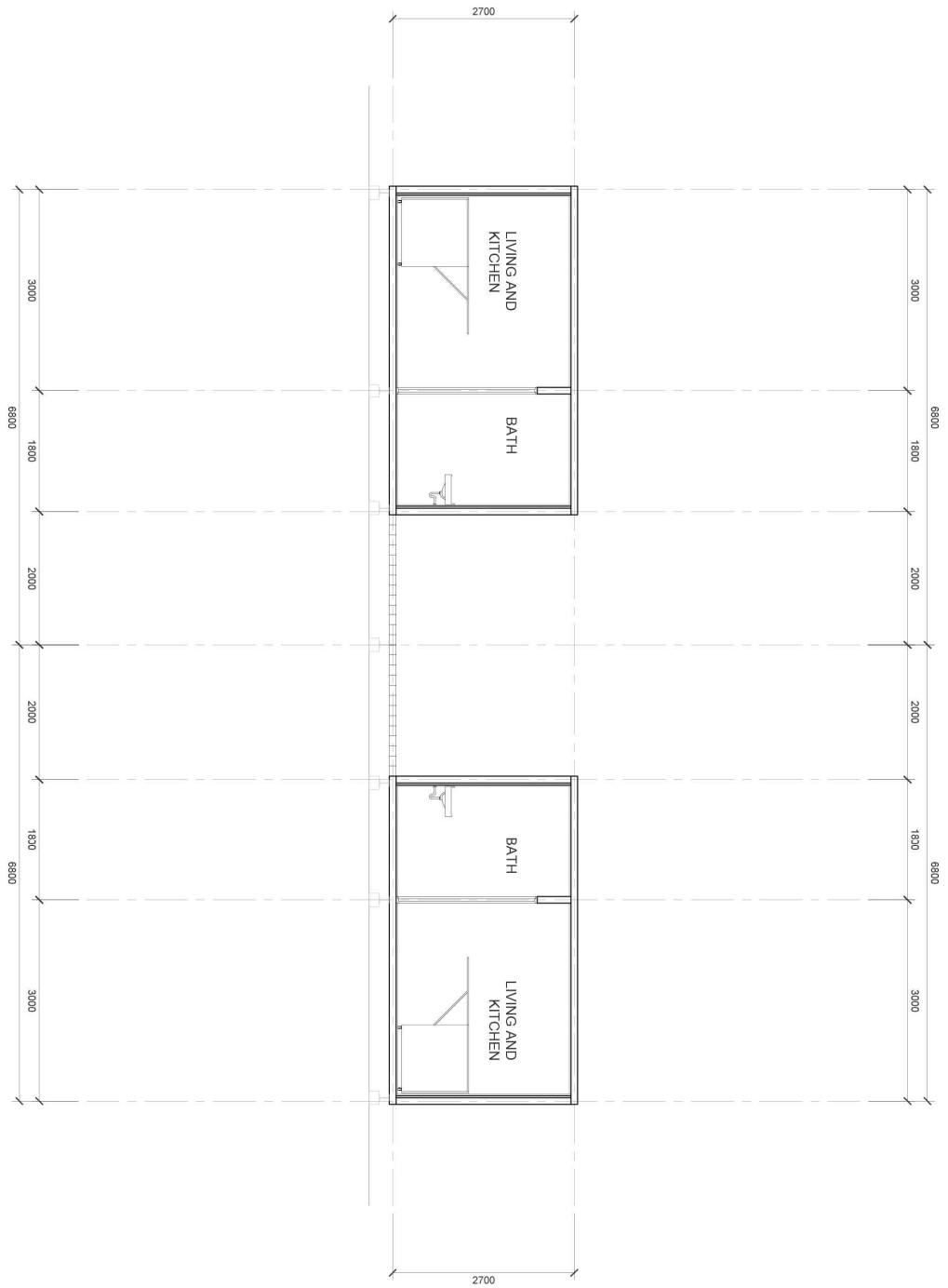




DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-03	1/80	확장형C 우측면도, 좌측면도

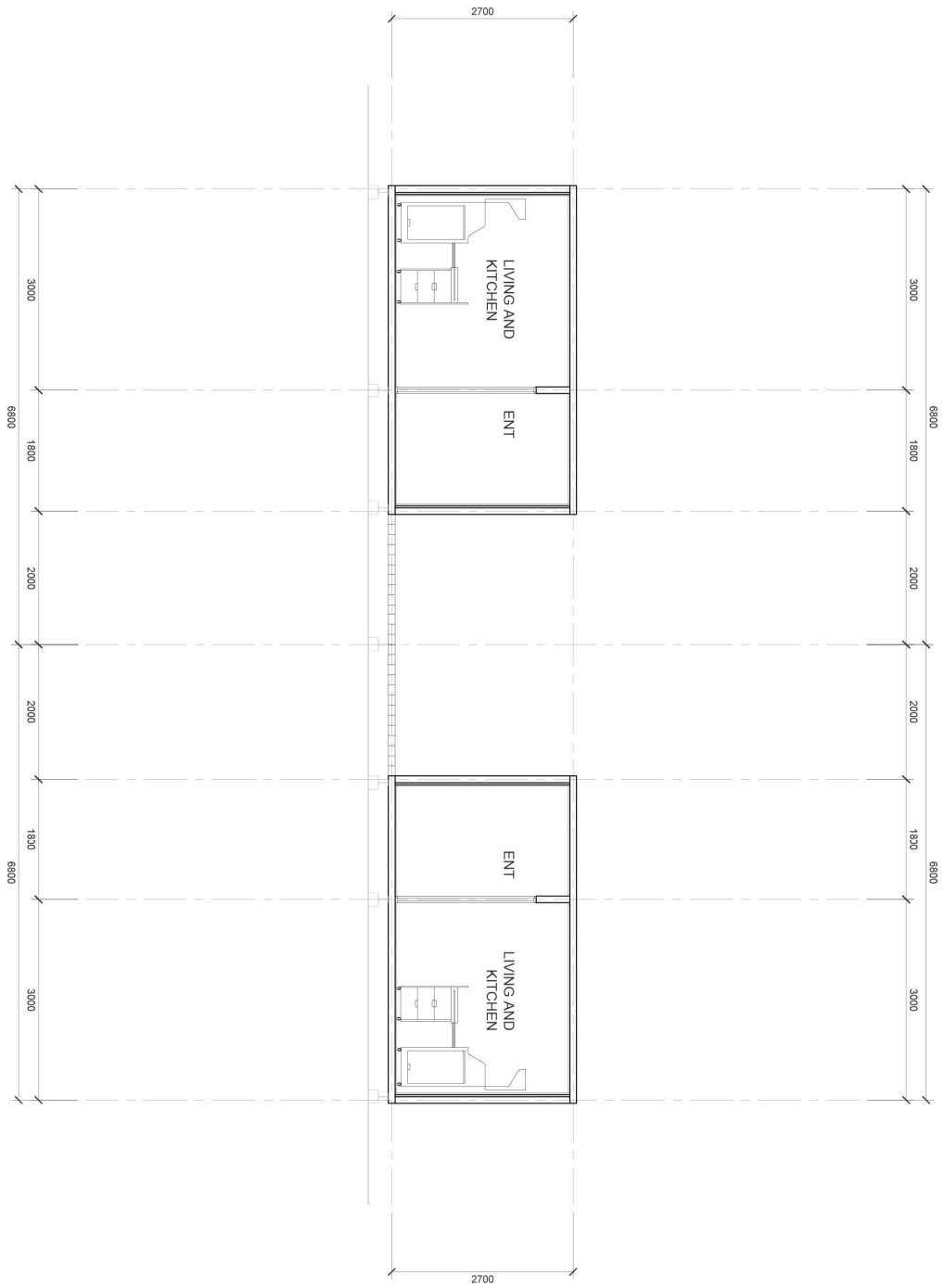
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(3) 단면도 (횡단면도, 종단면도)



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-04	1/80	확장형C 횡단면도1

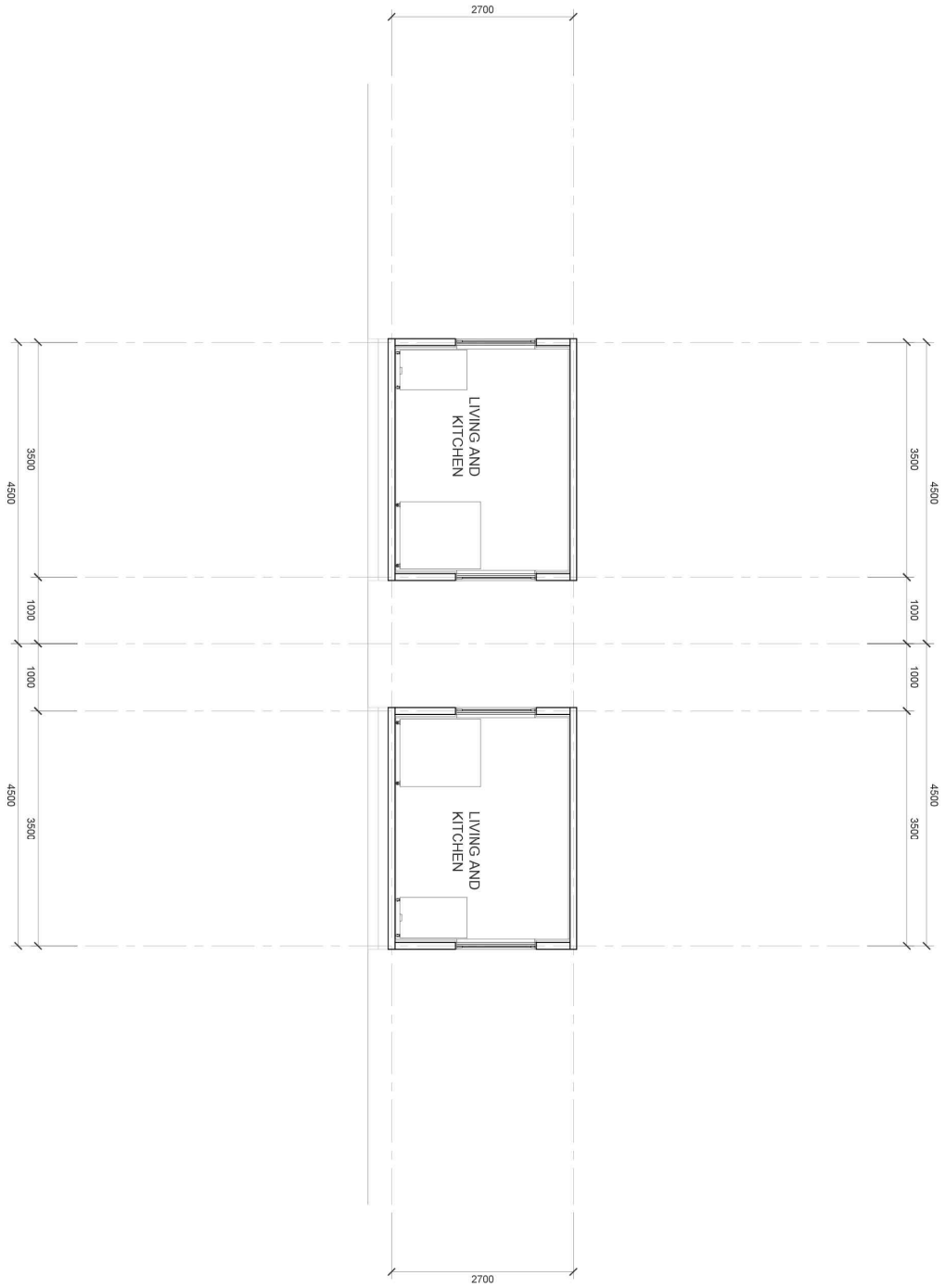
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-05	1/80	확장형C 횡단면도2

PROJECT TITLE 과제명

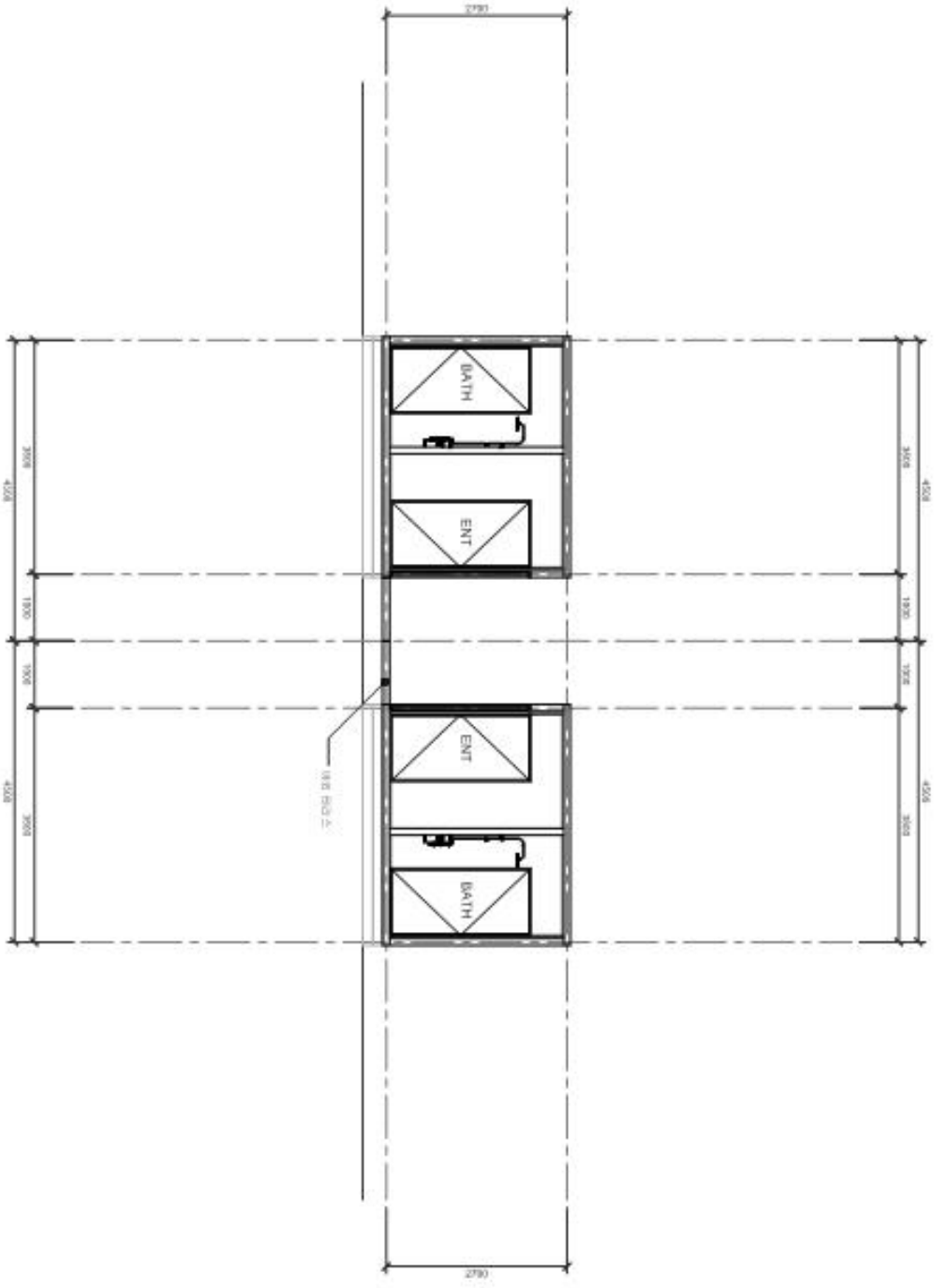
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-06	1/80	확장형C 종단면도1

PROJECT TITLE 과제명

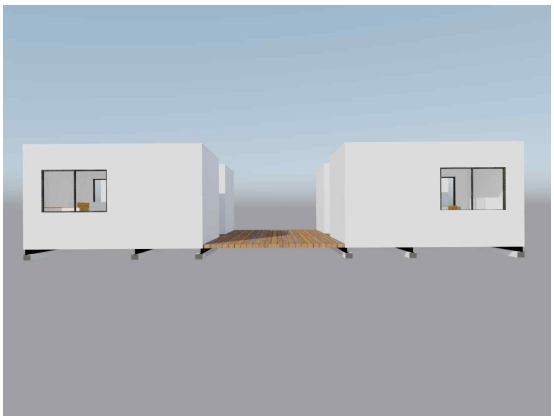
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

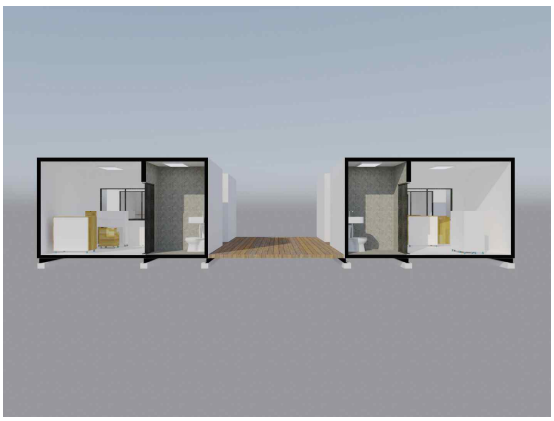


DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-07	1/80	확장형C 종단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(5) 3D 모델링

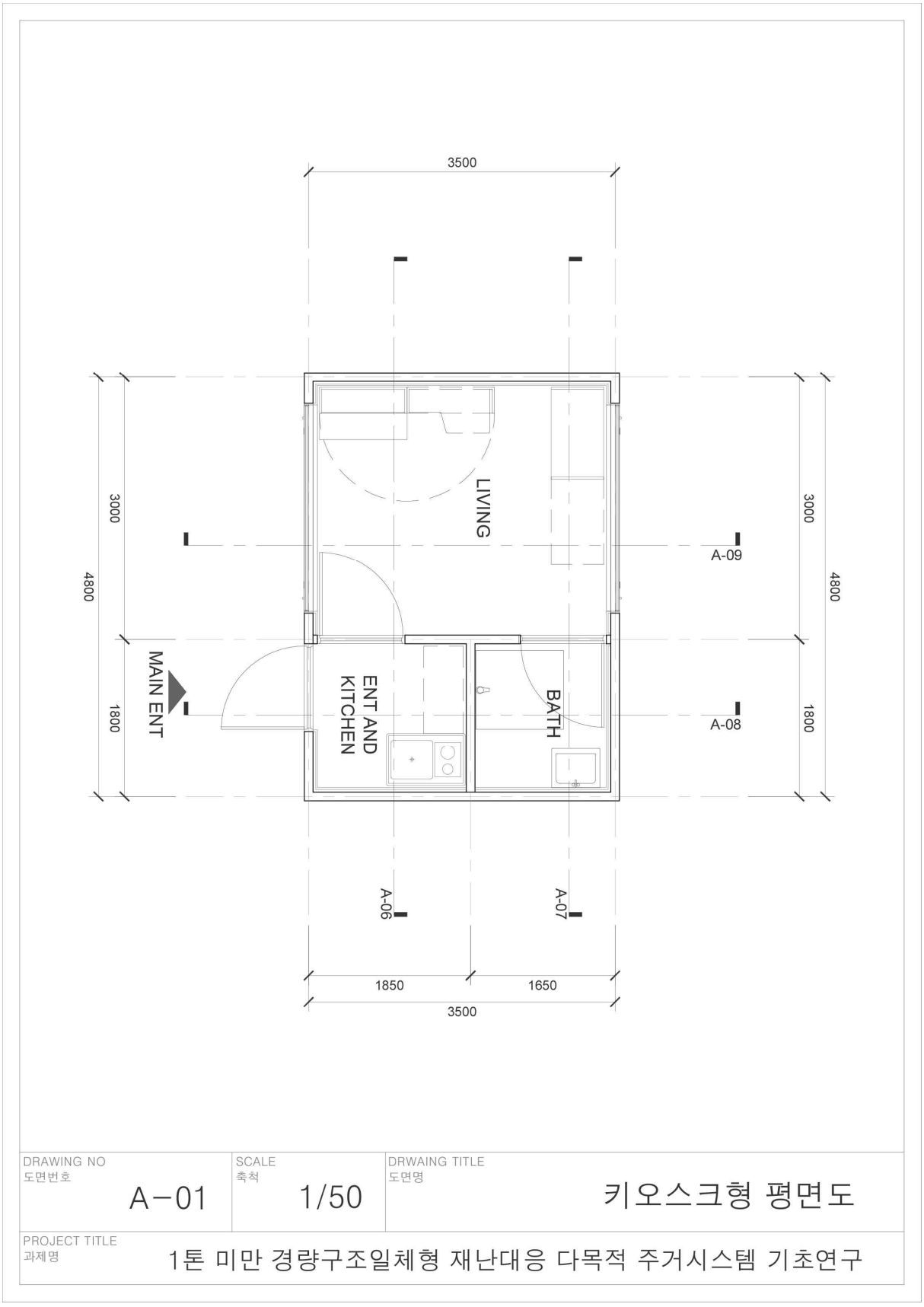




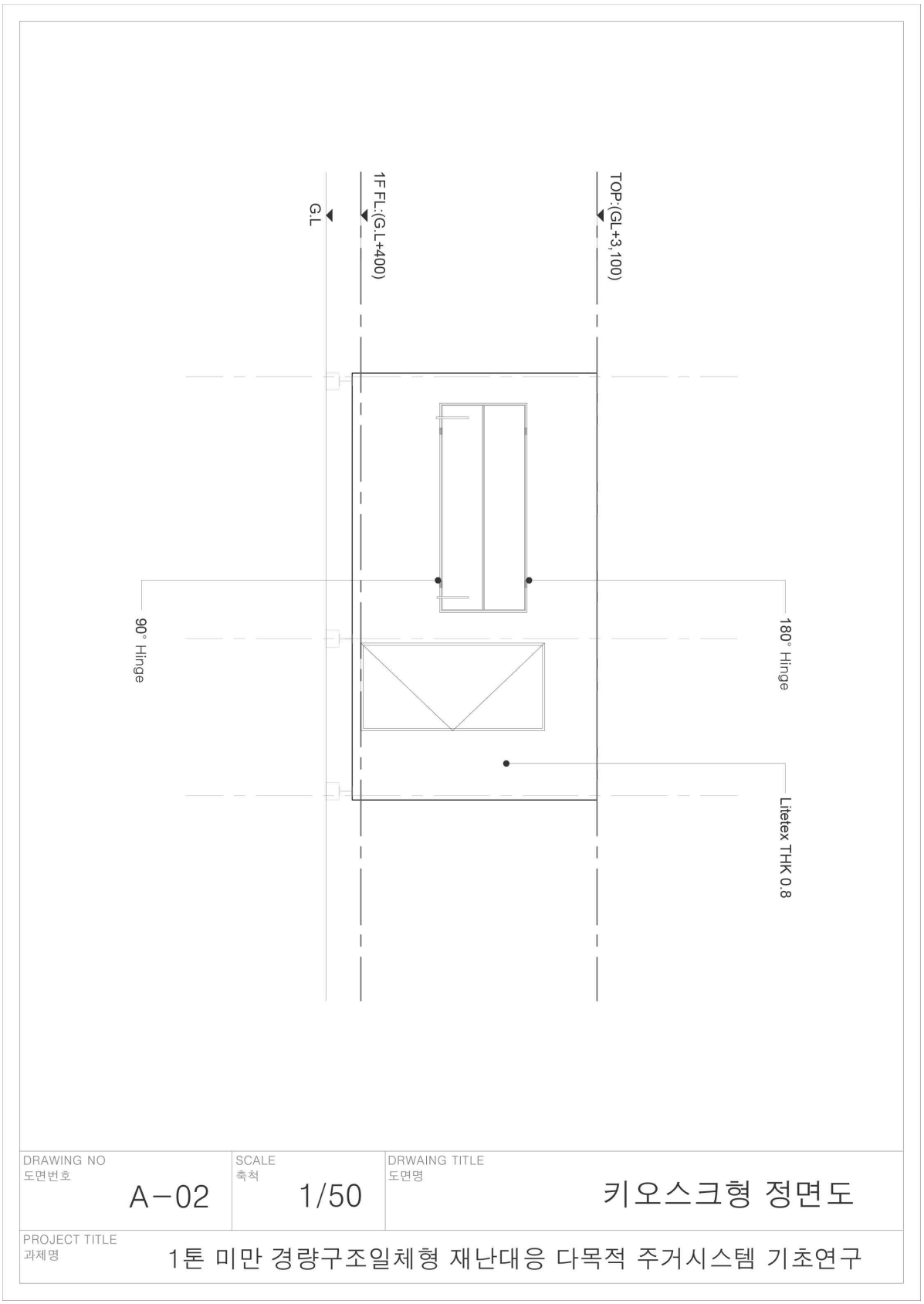


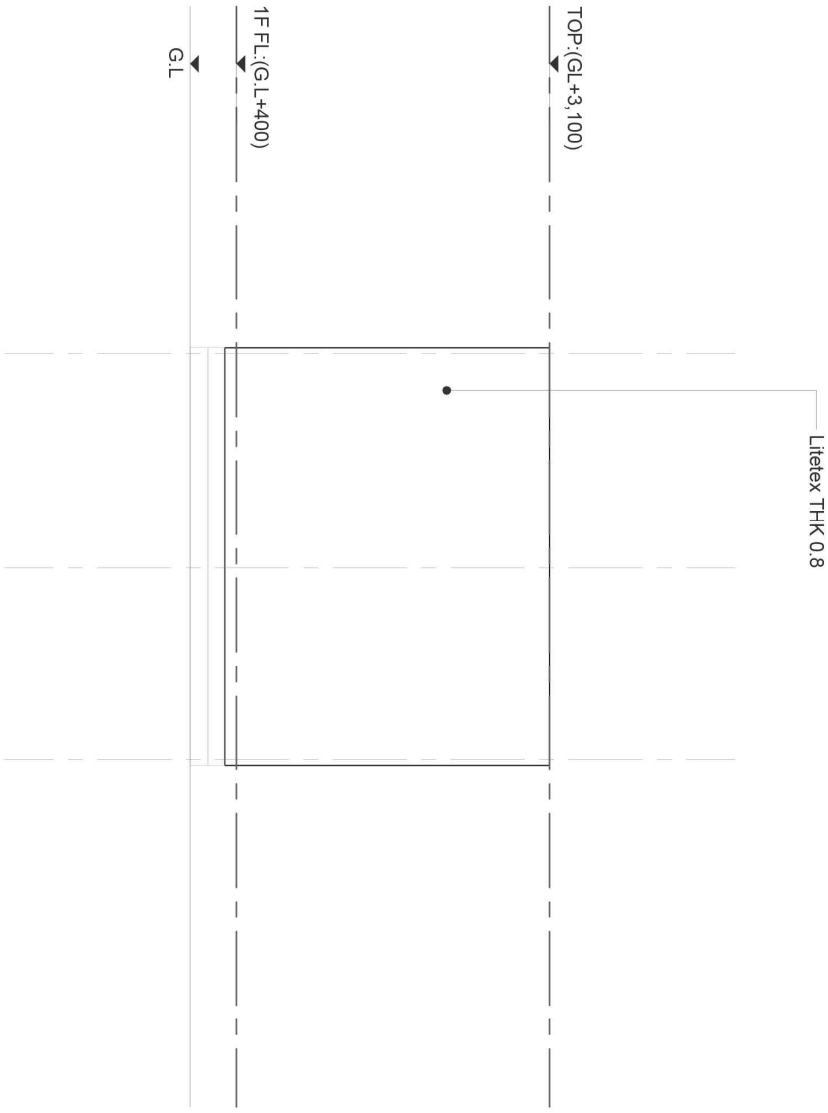

아. 키오스크형

(1) 평면도


3500
LIVING
A-09
3000
4800
MAIN ENT
1800
ENT AND
KITCHEN
BATH
A-08
A-06
A-07
1850
1650
3500
DRAWING NO
도면번호
A-01
SCALE
축척
1/50
DRWAING TITLE
도면명
키오스크형 평면도
PROJECT TITLE
과제명
1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

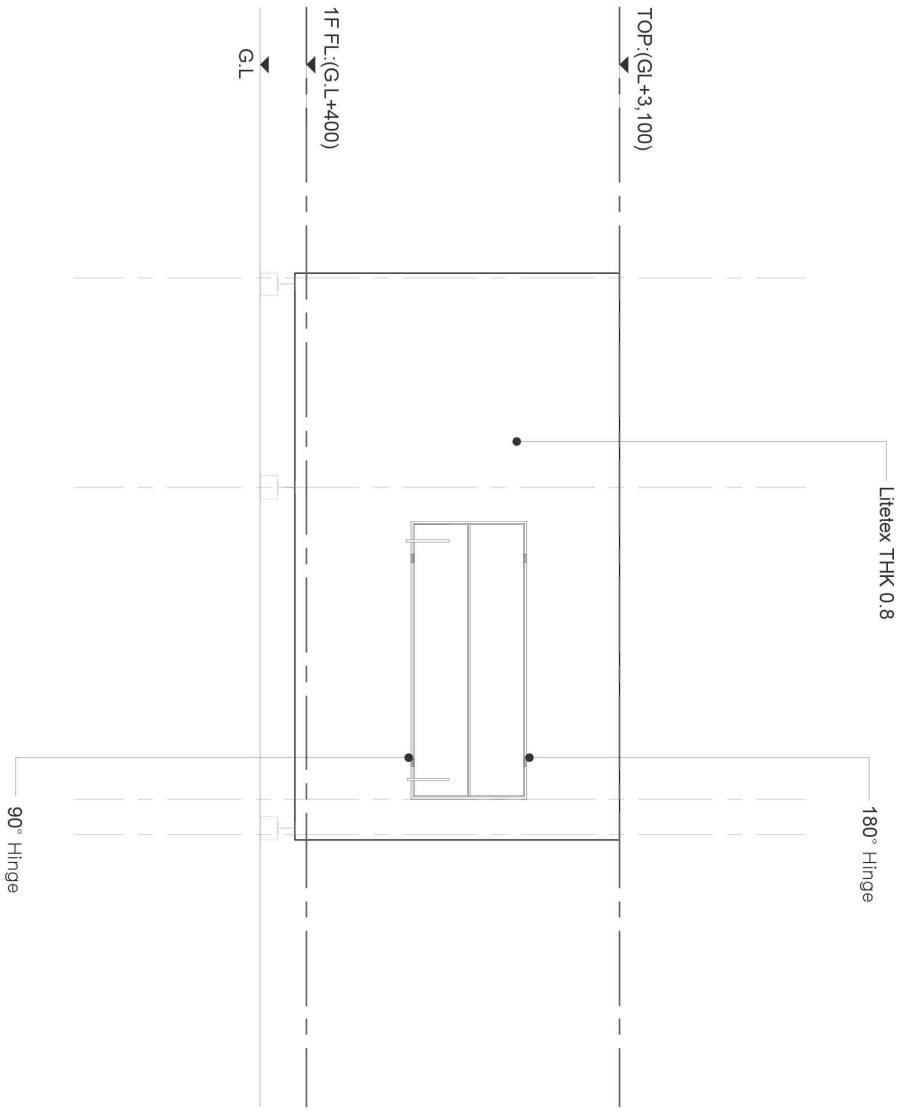
(2) 입면도 (정면도, 우측면도, 배면도, 좌측면도)





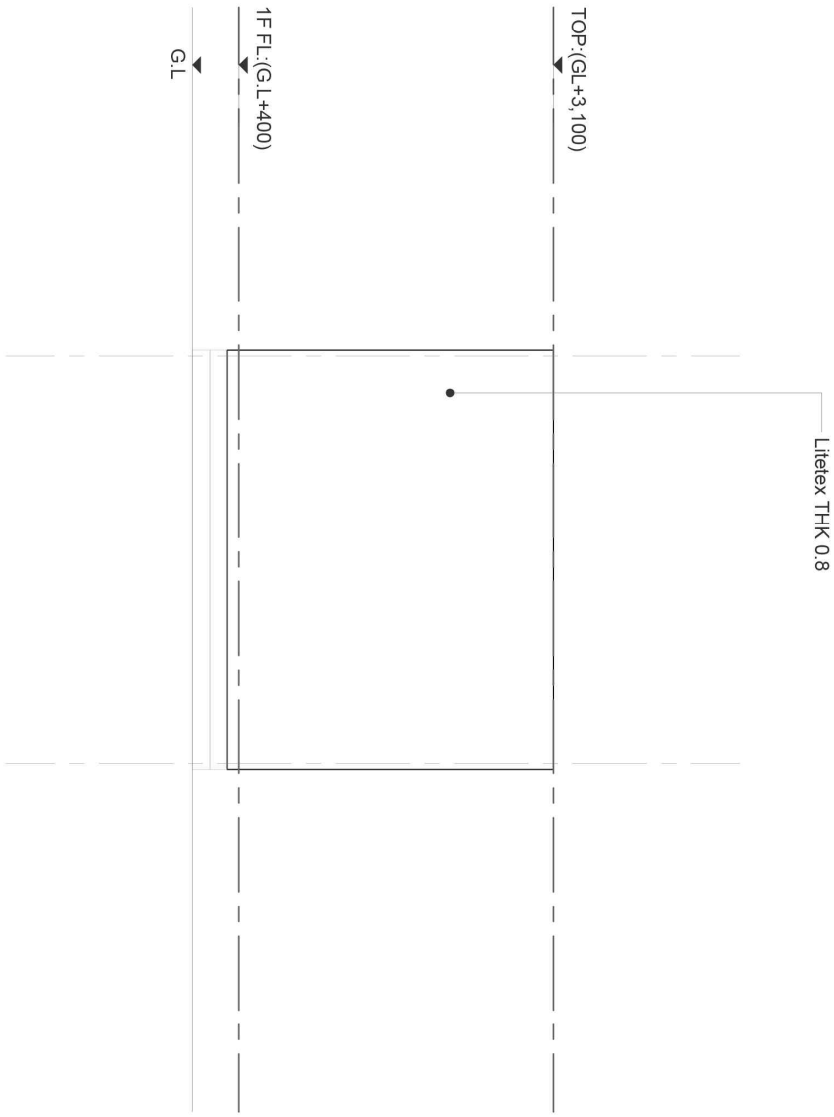
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-03	1/50	키오스크형 우측면도

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-04	1/50	키오스크형 배면도

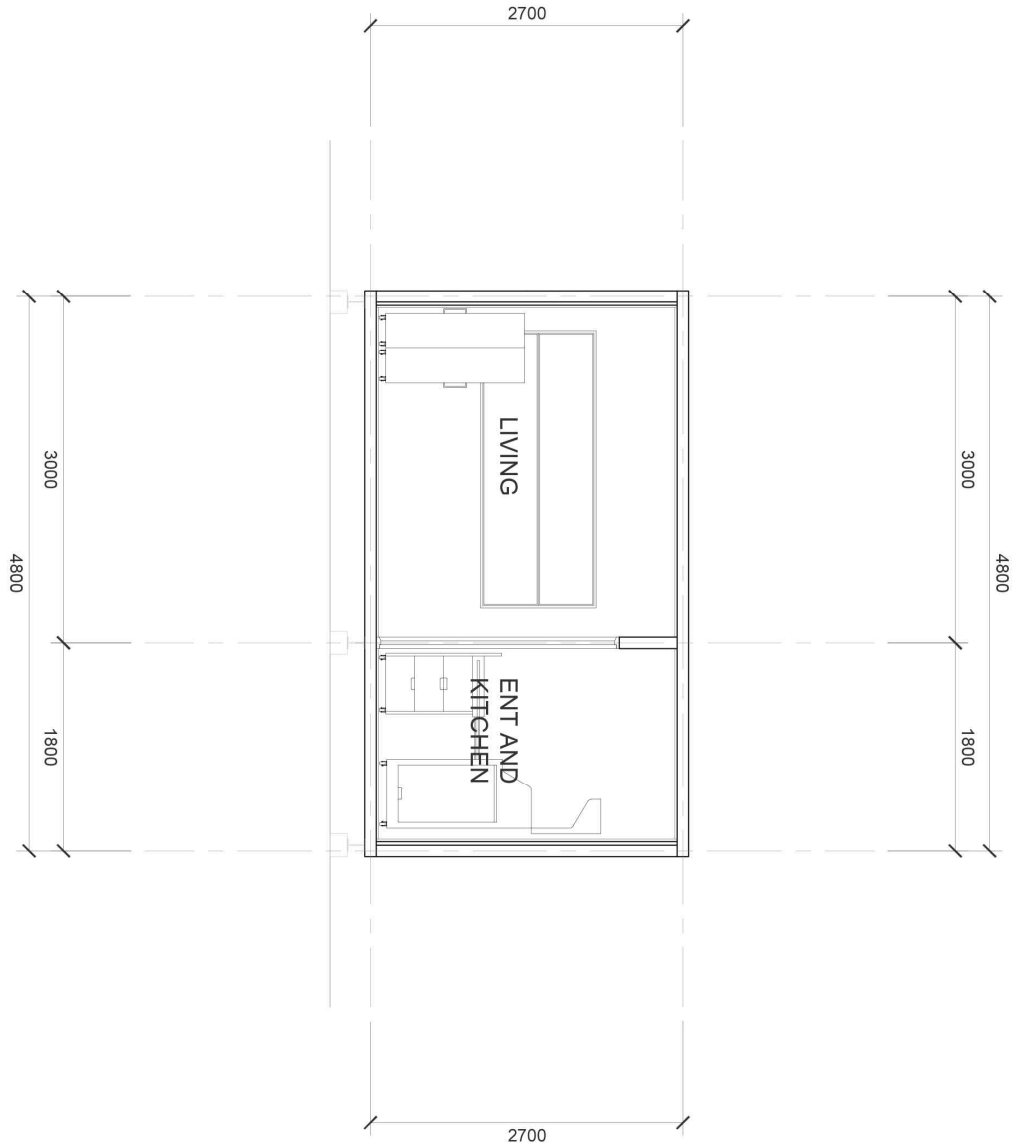
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-05	1/50	키오스크형 좌측면도

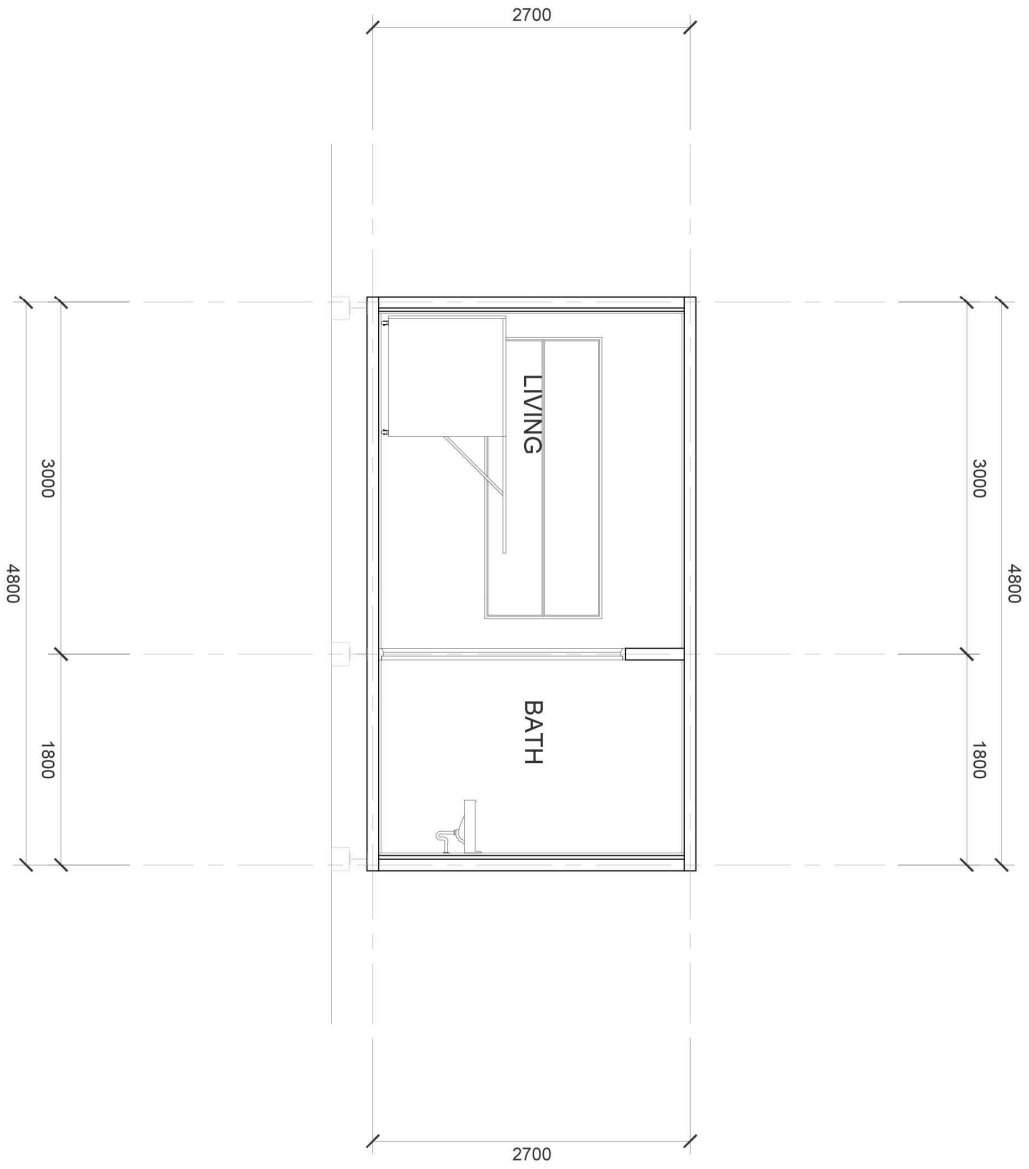
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(3) 단면도 (횡단면도, 종단면도)



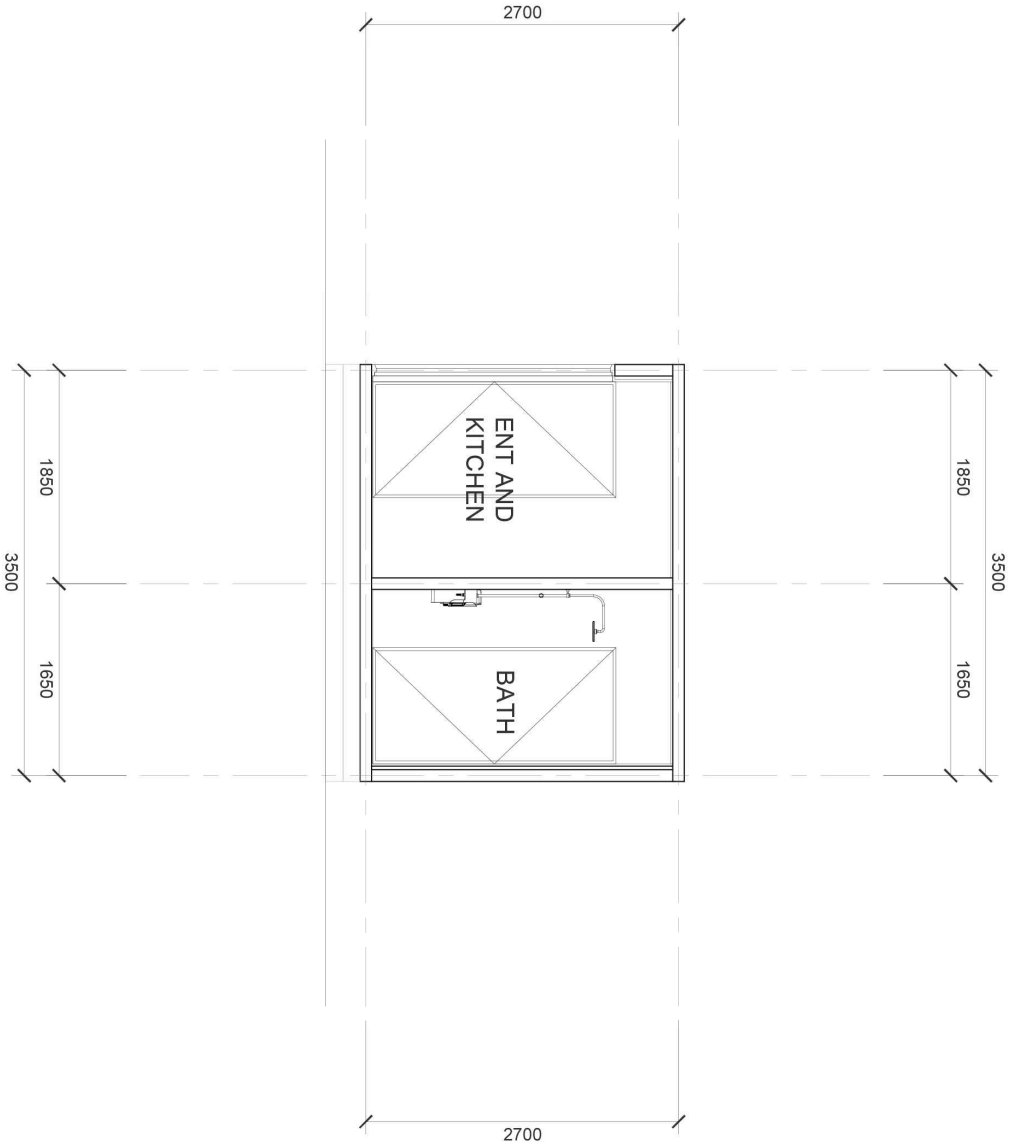
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-06	1/50	키오스크형 횡단면도1

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



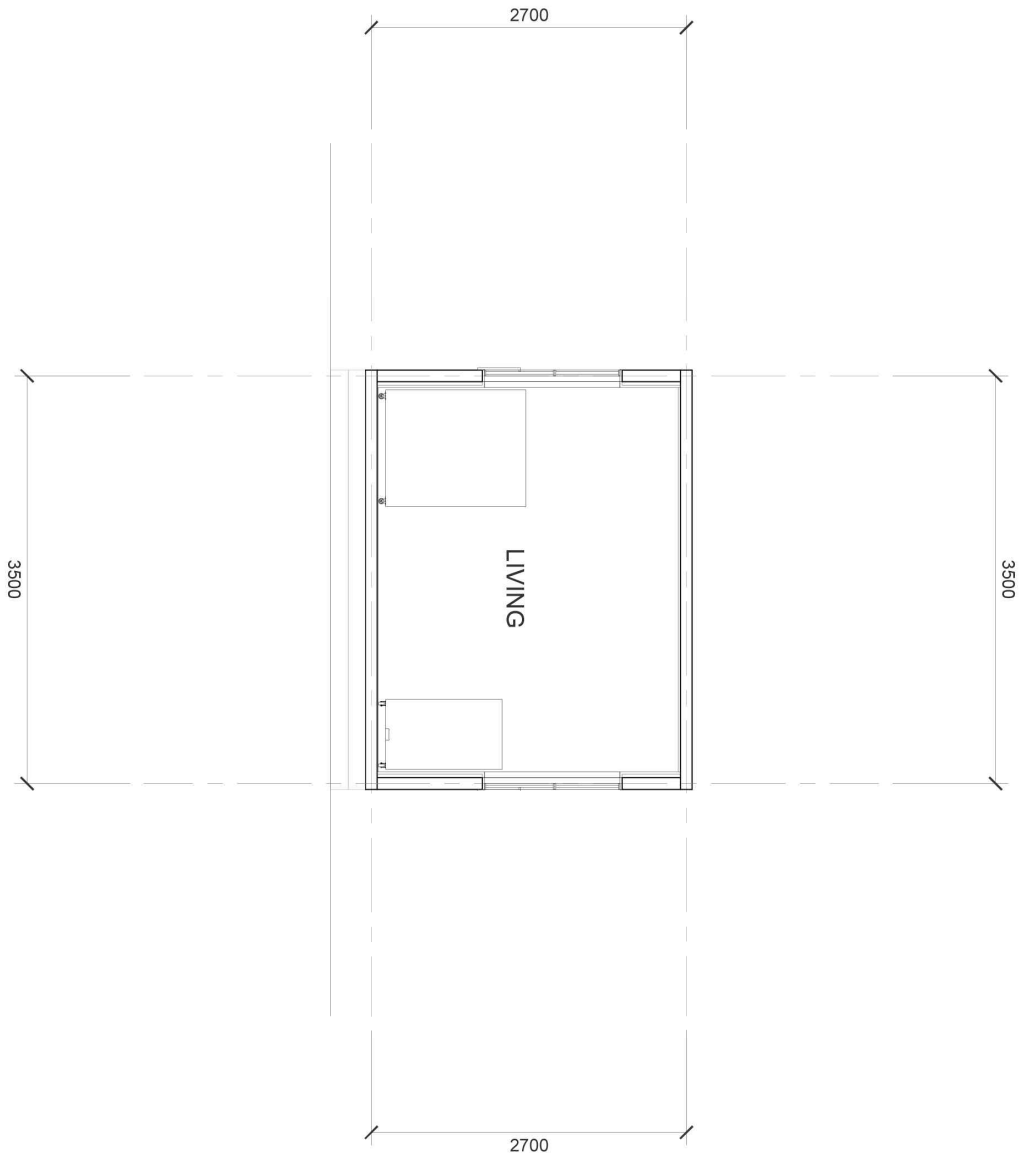
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-07	1/50	키오스크형 횡단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-08	1/50	키오스크형 종단면도1

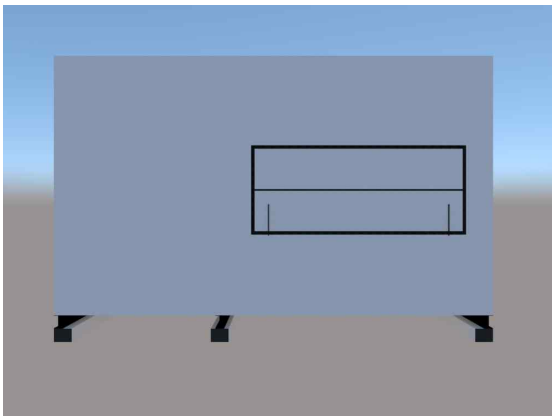
PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구



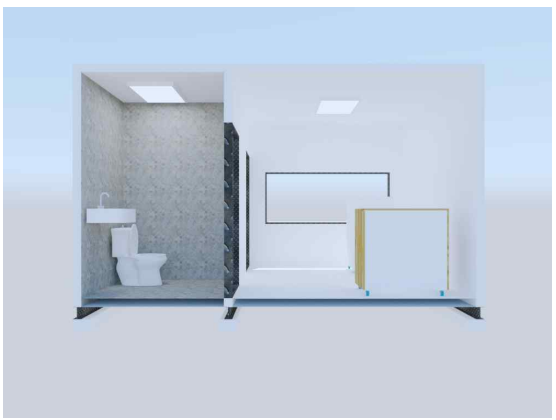
DRAWING NO 도면번호	SCALE 축척	DRWAING TITLE 도면명
A-09	1/50	키오스크형 종단면도2

PROJECT TITLE 과제명: 1톤 미만 경량구조일체형 재난대응 다목적 주거시스템 기초연구

(4) 3D 모델링

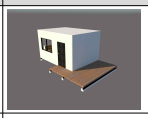
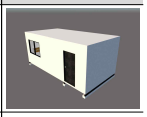




5. 재난대응 LMC 주거시스템 보관 체계

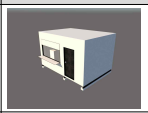
가. 부 재카탈로그

표 23. 구성부재 규격화 목록표-1

			기본형	테라스형	축소형	확장형A
						
부재	외벽패널	A. 4,800 × 2,800 (창 제외)	× 2	× 2		
		B. 3,500 × 2,800	× 2	× 2		× 2
		C. 4,500 × 2,800 (창 제외)			× 2	
		D. 2,400 × 2,800			× 2	
		E. 6,800 × 2,800 (창 제외)				× 2
	내벽패널	A. 3,500 × 2,800	× 1	× 1		× 1
		B. 1,800 × 2,800	× 1	× 1		× 1
		C. 2,400 × 2,800			× 1	
	지붕	A. 3,500 × 4,800	× 1	× 1		
		B. 4,500 × 2,400			× 1	
		C. 6,800 × 3,500				× 1
	방화내장	A. 4,800 × 2,800 (창 제외)	× 2	× 2		
		B. 3,500 × 2,800	× 2	× 2		× 2
		C. 4,500 × 2,800 (창 제외)			× 2	
		D. 2,400 × 2,800			× 2	
		E. 6,800 × 2,800 (창 제외)				× 2
		F. 3,500 × 2,800	× 2	× 2		× 2
		G. 1,800 × 2,800	× 2	× 2		× 2
		H. 2,400 × 2,800			× 2	
		I. 3,500 × 4,800	× 2	× 2		
		J. 4,500 × 2,400			× 2	
		K. 6,800 × 3,500				× 2
	바닥	A. 3,500 × 4,800	× 1	× 1		
		B. 4,500 × 2,400			× 1	
		C. 6,800 × 3,500				× 1
	기초	H빔	× 3	× 4	× 3	× 3
	창호		× 2	× 2	× 2	× 2
	문		× 3	× 2	× 2	× 3
제작공구	Circular saw with fine tooth carbide blade					
	Double bevel sliding compound miter saw kit with Blade					
	Multi cutter					
	Circular saw					
	Vertical saw					
	Cordless drill driver					

	Gravity levelers				
	Laser leveler				
	Suction cup				
	Rivet gun				
	Expandable PU foam gun				
	Grip clamp				
	Caulking gun				
	Tacker (Staple gun)				
부재료	3M finishing tape				
	Tyvek tape				
	Expanded tape				
	Adhesive caulk				
	Expandable PU foam				
	PU foam cleaner				
	PVC profile (두께 3.0 mm, 날개 길이 50 mm)				
	Composite profile (두께 0.8 mm, 날개 길이 50 mm)				
	River fastener (직경-Ø3.2 / 길이-11mm)				
	자유각 브라켓 (100mm*200m)				

표 24. 구성부재 규격화 목록표-2

			확장형B	확장형C	키오스크형	
						
부재	외벽패널	A. 4,800 × 2,800 (창 제외)	× 4	× 8	× 2	
		B. 3,500 × 2,800	× 2	× 8	× 2	
		C. 4,500 × 2,800 (창 제외)				
		D. 2,400 × 2,800				
		E. 6,800 × 2,800 (창 제외)				
	내벽패널	A. 3,500 × 2,800	× 3	× 4	× 1	
		B. 1,800 × 2,800	× 2	× 4	× 1	
		C. 2,400 × 2,800				
	지붕	A. 3,500 × 4,800	× 2	× 4	× 1	
		B. 4,500 × 2,400				
		C. 6,800 × 3,500				
	방화내장	A. 4,800 × 2,800 (창 제외)	× 4	× 8	× 2	
		B. 3,500 × 2,800	× 2	× 8	× 2	
		C. 4,500 × 2,800 (창 제외)				
		D. 2,400 × 2,800				
		E. 6,800 × 2,800 (창 제외)				

		F. 3,500 × 2,800	× 6	× 8	× 2	
		G. 1,800 × 2,800	× 4	× 8	× 2	
		H. 2,400 × 2,800				
		I. 3,500 × 4,800				
		J. 4,500 × 2,400				
		K. 6,800 × 3,500				
	바닥	A. 3,500 × 4,800	× 2	× 4	× 1	
		B. 4,500 × 2,400				
		C. 6,800 × 3,500				
	기초	H빔	× 5	× 7	× 3	
	창호		× 4	× 8		
	문		× 6	× 12	× 3	
제작 공구	Circular saw with fine tooth carbide blade					
	Double bevel sliding compound miter saw kit with Blade					
	Multi cutter					
	Circular saw					
	Vertical saw					
	Cordless drill driver					
	Gravity levelers					
	Laser leveler					
	Suction cup					
	Rivet gun					
	Expandable PU foam gun					
	Grip clamp					
	Caulking gun					
	Tacker (Staple gun)					
부재료	3M finishing tape					
	Tyvek tape					
	Expanded tape					
	Adhesive caulk					
	Expandable PU foam					
	PU foam cleaner					
	PVC profile (두께 3.0 mm, 날개 길이 50 mm)					
	Composite profile (두께 0.8 mm, 날개 길이 50 mm)					
	River fastener (직경-Ø3.2 / 길이-11mm)					
	자유각 브라켓 (100mm*200m)					

나. 적치계획

설치후 LMC 모듈의 보관방법은 공간을 유지하고 보관하는 방식과 해체후 패널형태 보관방식의 대안이 가능하다.

기존 형상을 유지하고 보관하는 경우 기본 10모듈을 보관하면 면적 172.8m2, 체적 535.7m3의 공간이 소요될 것으로 판단된다.

공간을 해체하고 패널형태로 수직적층보관하는 경우 유닛별 보관, 부재별 보관 방식으로 세분화할 수 있고, 면적을 최소화하는 부재별 보관방식의 경우 면적 38.4m2, 체적 134.4m3의 공간이 소요되는 것으로 분석되었다.



그림 30. 조립 후



그림 31. 기본형 10모듈

○ 보관 시 필요 용적 : 24m × 7.2m × 3.1m = 535.68m^3

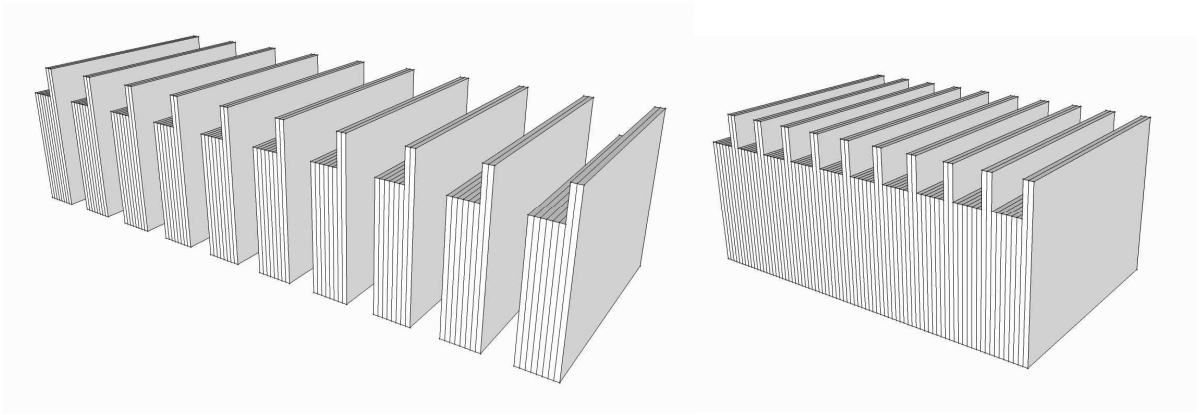


그림 32. 조립 전

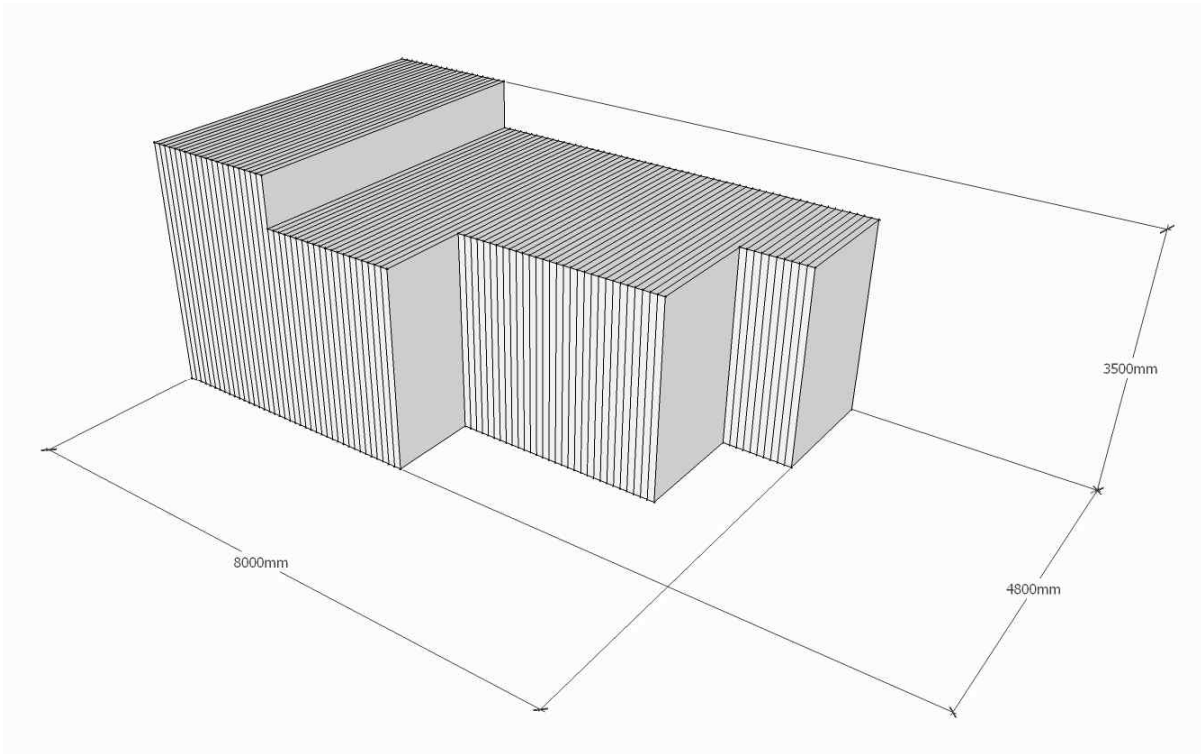


그림 33. 기본형 10모듈 분량의 부재

○ 보관 시 필요 용적 : 8m × 4.8m × 3.5m = 134.4m³

6. 재난대응 LMC 주거시스템 환경성능 시뮬레이션

가. LMC 주거시스템 환경성능평가 개요

향후 목업을 제작(2차년도)하여 환경성능을 평하기에 앞서 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 1차적으로 환경성능을 평가하였다. 평가기준은 LMC 주거시스템의 연간 에너지소비량과 Adaptive comfort를 검토하였다.

Adaptive comfort는 HVAC 시스템을 사용하지 않는 공간에서 사람들의 쾌적 지표를 말한다. HVAC을 사용하지 않는 건물에서는 쾌적한 실내온도의 범위가 외부기온과 기후에 따라 달라지며 이는 사람마다 느끼는 쾌적한 실내 조건이 기후적, 심리적 요인 등 많은 변수에 의해 달라질 수 있다는 걸 고려하여 만들어진 지표이다.[4)]

ASHRAE에서 Adaptive comfort를 수립하기 위해 사용한 데이터는 4개 대륙의 160개 건물에서 조사된 것으로 설문조사를 통하여 가장 최적화된 온도를 계산한 뒤 PMV에서 사용하는 착의량과 행위를 고려하 여 PMV 오차범위 0.5 안에 들어올 경우 90%, 0.85 안에 들어올 경우 80%가 Adaptive comfort 지표 안에서 쾌적하다고 느끼는 것으로 정의하고 있다. ASHRAE standard 55에서 규정하는 Adaptive comfort 온도는 다음과 같다.

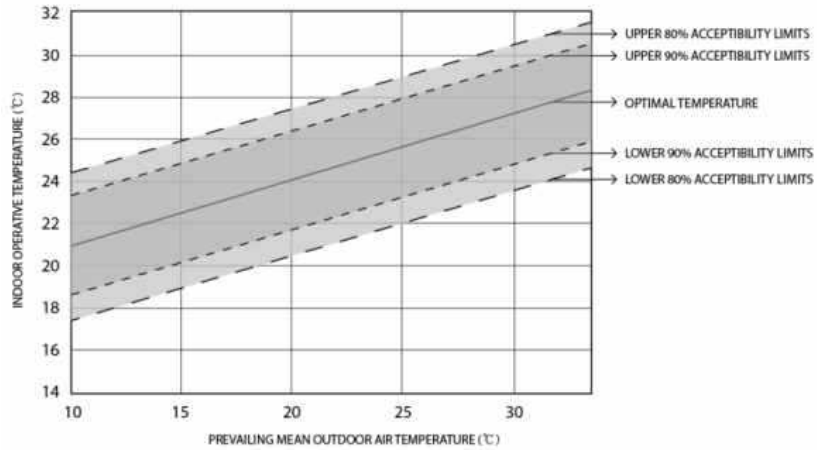


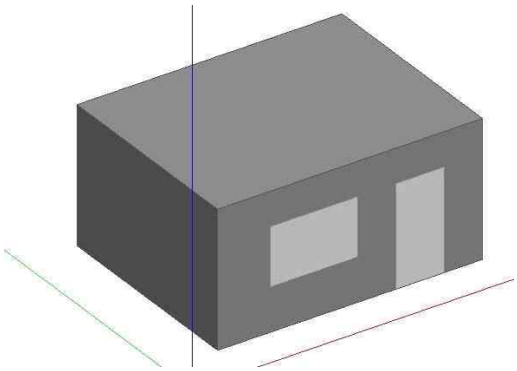
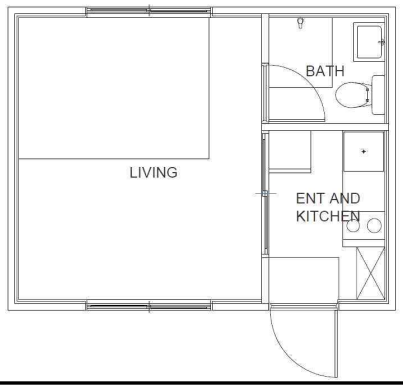
그림 34. Adaptive comfort graph

최적 온도:
T(comf)=0.31*T(pma,out)+17.8
90% 상한:
T(comf)=0.31*T(pma,out)+20.3
90% 하한:
T(comf)=0.31*T(pma,out)+15.3
80% 상한:
T(comf)=0.31*T(pma,out)+21.3
80% 하한: T(comf)=0.31*T(pma,out)+14.3

LMC 주거시스템의 연간 에너지 사용량과 Adaptive comfort를 분석하기 위해 Designbuilder와 Energyplus 에너지 성능분석 프로그램을 사용하였으며 설계안에 따라 표 22와 같이 모델링 하였다.

4) ASHRAE 55-2013(ASHRAE, American Society of Housing, Refrigerating and Air-Con. Engineers, 미국냉난방공조기술자학회)

표 25. 시뮬레이션 모델링 및 평면도

모델링	평면도
	

평지붕의 단층구조로 거실(주 생활공간), 욕실, 현관 및 주방 3개의 공간으로 구성하였으며 구조물성치 및 내부발열경보, 설비 시스템은 표 26과 같이 설정하였다.

표 26. 시뮬레이션 기본 설정(건물 개요, 실내설정, 구조물성치, HVAC)

건물 개요		
건물 유형(Type)		거주시설(1F)
연면적(Gross area)		23.1㎡
향(Orientation)		남향(0°)
건물 높이(Height)		2.8m
기후데이터(Weather data)		서울(.epw, Meteonorm weather data)
실내설정(Activity)		
재실밀도(Occupancy)		0.1126 people/㎡
실내 냉난방 설정 온도 (Internal environmental condition)		heating 22℃, set-back 20℃
		cooling 26℃, set-back 28℃
		natural ventilation min 22.5℃, max 25.5℃
내부발열(Internal gain)		7.88 W/㎡
조명(Lighting)		8 W/㎡
구조물성치(Construction)		
외벽 구성(Wall properties)		Composit SIP 100mm + Wood timber 30mm + Gypsum board 10mm*2 = 150mm
벽체 열관류율(Wall U-value)		0.230 W/㎡·K
침기량		0.300 ac/h
창호 성능	유형(Type)	Double LoE
	열관류율(U-value)	1.786 W/㎡·K
	일사획득계수(SHGC)	0.598

HVAC	
난방(Heating), 냉방(Cooling)	Air conditioning

설계안에 최대한 가깝게 모델링하였으며 실내 난방설정온도는 22℃(20℃ 이하로 떨어지면 가동), 냉방 설정온도는 26℃(28℃ 이상 올라가면 가동)로 맞추었고 22~26℃에는 자연환기로 실내환경을 조절하도록 설정하였다.

벽체는 본 연구에서 사용되는 복합 경량 패널을 적용하여 두께 150mm, 열관류율 0.230W/㎡·K 으로 구성하였고 이중창을 사용하였다.

기본설정 그대로 HVAC 시스템과 자연환기를 모두 적용한 모델과 HVAC 시스템만 적용한 모델, 자연환 기만 적용한 모델 3가지 유형을 시뮬레이션하여 연간 에너지 사용량과 Adaptive comfort의 변화를 비교분석하였다.

표 27. 유형별 실내설정

HVAC + Natural ventilation	HVAC only	Natural ventilation only
heating 22, set-back 20	heating 22, set-back 20	heating 0, set-back -20 (not working)
cooling 26, set-back 28	cooling 26, set-back 28	cooling 80, set-back 100 (not working)
natural ventilation min 22.5, max 25.5	no natural ventilation	natural ventilation min 22.5, max 25.5

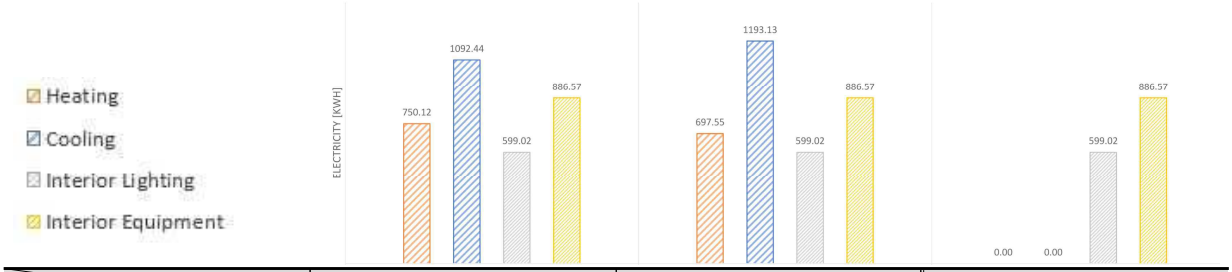
나. LMC 주거시스템 환경성능평가 결과

LMC 주거시스템이 연간 어느 정도의 에너지를 사용하는지 뿐만 아니라 Adaptive comfort의 차이를 비교분석 하였다.

① 연간 에너지 사용량[Electricity, kWh]

연간 에너지 사용량은 난방에너지, 냉방에너지, 기기에너지, 조명에너지의 연간 사용량을 합산하여 분석하였다.

표 28. Annual energy consumption



	HVAC+NV	HVAC	NV
Heating	750.12	697.55	0
Cooling	1092.44	1193.13	0
Interior Lighting	599.02	599.02	599.02
Interior Equipment	886.57	886.57	886.57
Total Use[kWh]	3328.15	3376.27	1485.59

HVAC > HVAC + Natural ventilation (except, Natural ventilation only)

연간 에너지 사용량 분석 결과, 자연환기만 적용한 모델을 제외하고 HVAC 시스템만 적용한 모델이 가장 많은 에너지를 사용하는 것으로 나타나 HVAC 시스템과 자연환기를 모두 적용한 모델이 연간 에너지 사용량 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다.
* HVAC 시스템과 자연환기로 실내 적정온도를 유지하는 모델의 단순 냉·난방 에너지 사용량으로 전기요금(일반 주택용 저압)을 계산해보면 월평균 153kWh(소수 이하 절삭), 12,710원으로 계산된다.

표 29. ASHRAE55 90% Acceptability limits

	HVAC+NV	HVAC	NV
LIVING	707.67	846.22	1786.33
ENT·KICHEN	419.18	527.93	1832.72
BATH	1442.95	1491.90	1823.03
Total[hours]	2569.80	2866.05	5442.08

Natural ventilation only > HVAC + Natural ventilation

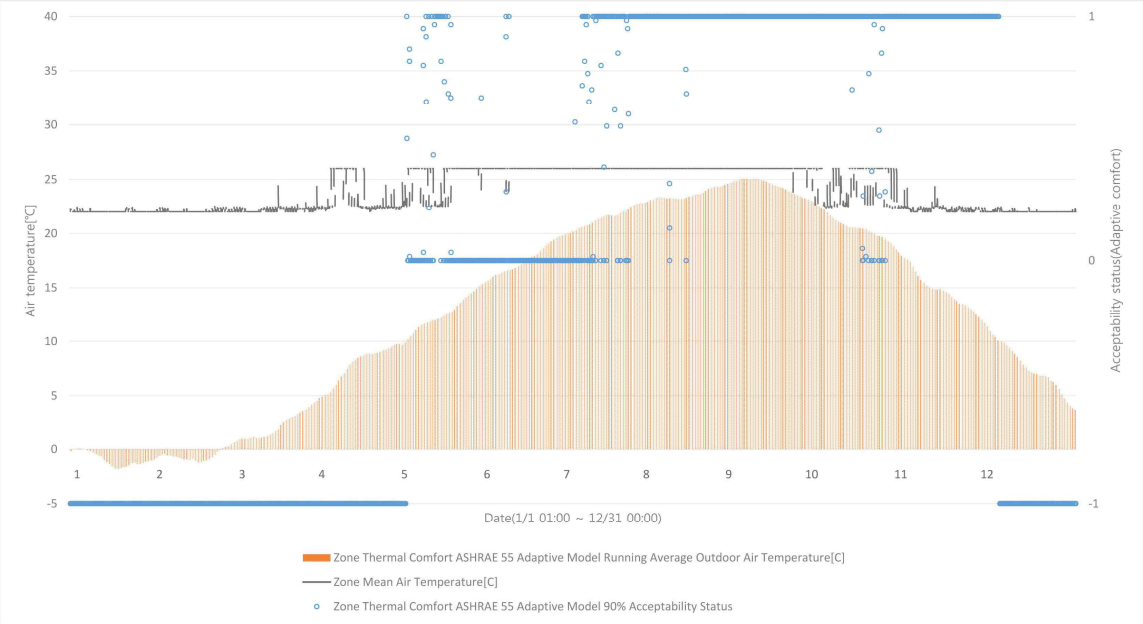


그림 35. HVAC + Natural ventilation graph

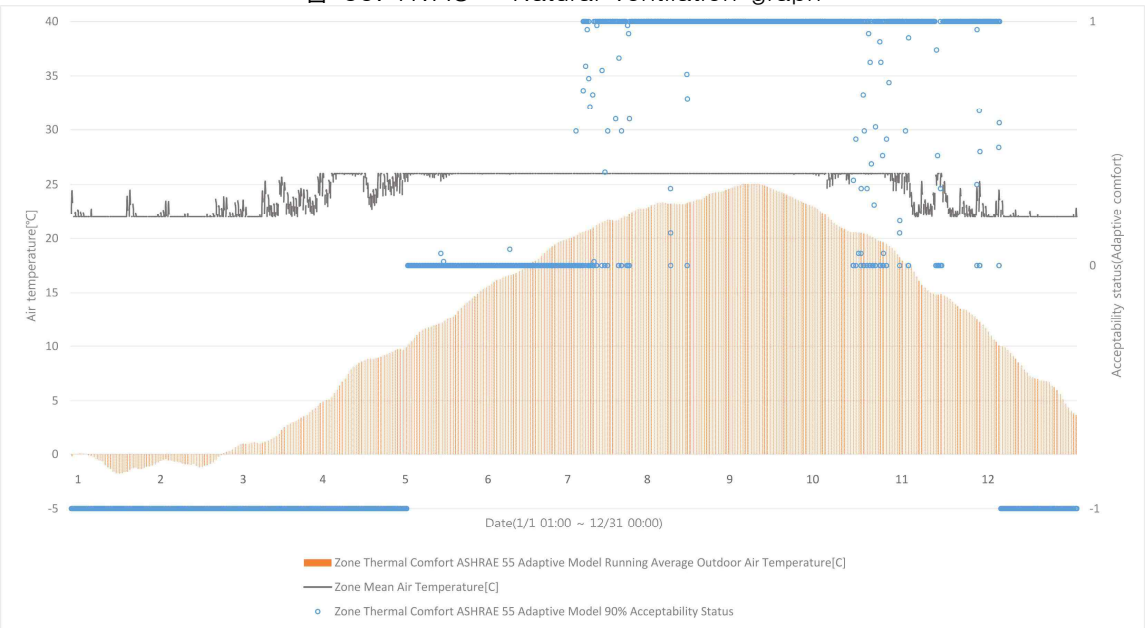


그림 36. HVAC only graph

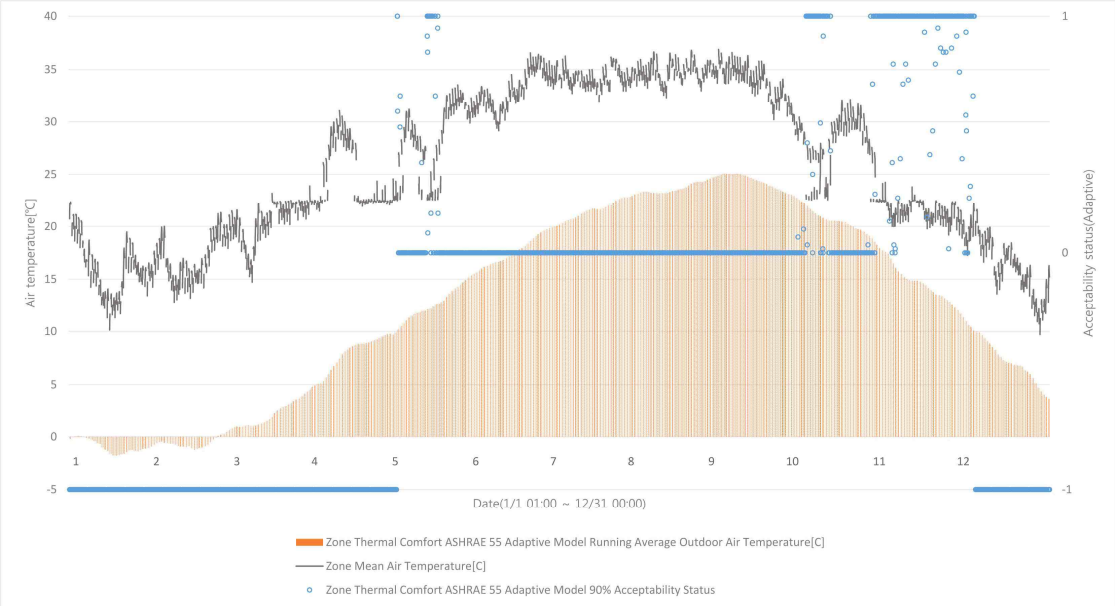


그림 37. Natural ventilation graph

Adaptive comfort 분석 결과, 자연환기만 적용한 모델의 허용기준 외 시간이 5442.08 시간으로 가장 높게 나타났으며 그 다음으로 HVAC 시스템만 적용한 모델이 2866.05 시간, HVAC 시스템과 자연환기를 모두 적용한 모델이 2569.8 시간으로 가장 낮게 나타났다. 이는 주생활공간과 현관 및 주방, 욕실의 허용기준 외 시간을 모두 합산한 값으로 냉난방 공조가 이루어지지 않는 욕실을 제외하면 표 27과 같다.

표 30. ASHRAE55 90% Acceptability limits (except, BATH)

	HVAC+NV	HVAC	NV
LIVING	707.67	846.22	1786.33
ENT·KICHEN	419.18	527.93	1832.72
Total[hours]	2569.80	2866.05	5442.08

마찬가지로 HVAC 시스템과 자연환기가 모두 적용된 모델에서 허용기준 외 시간이 1126.85 시간으로 가장 쾌적하며 그 다음으로 HVAC 시스템만 적용된 모델이 1374.15 시간, 자연환기만 적용된 모델이 3619.05 시간으로 가장 허용기준 외 시간이 많은 것으로 분석되었다.

실내온도로 단편적으로 살펴보면, HVAC 시스템과 자연환기가 모두 적용된 모델에서는 실내온도 최저 21.98℃, 최고 26.00℃, 표준편차 1.87℃로 연간 평균 실내온도가 23.98℃인 반면 자연환기만 적용된 모델의 경우 실내온도 최저 8.21℃, 최고 36.93℃, 표준편차 7.31℃로 연간 평균 실내온도가 25.82℃로 나타났다.

표 31. ASHRAE55 90% Acceptability limits (except, BATH)

	HVAC+NV	HVAC	NV
Minumum	21.98	22.00	8.21
-2SD	20.24	21.06	11.20
Mean	23.98	24.55	25.82
+2SD	27.72	28.05	40.44
Maximum	26.00	26.00	36.93
Standard Deviation	1.87	1.75	7.31

종합결과, 재난대응 LMC 주거시스템에서 HVAC 시스템과 자연환기가 모두 적용된 모델이 연간 에너지 사용량과 Adaptive comfort 모두 가장 우수한 것으로 평가되었다.
추후 LMC 주거시스템의 목업을 제적하여 환경성능평가를 진행할 예정이며 추가로 사용되는 기기의 정확한 사용량과 스케쥴을 반영하고 자연환기를 적극적으로 도입하면 더욱 쾌적한 성능을 나타낼 것으로 기대한다.

다. 에너지성능 최적화 분석

① 최적화 설정 조건

경량 복합패널로 최소 주거 면적 기준을 만족하는 실험체의 열환경을 확보하고자 개구부 최적화 평가를 진행하고 이를 통해 경량형 구호주거의 표준 프로토타입에 대한 냉난방조명에너지 최적화를 진행하였다. 구호주거는 성인 2인을 기준으로 가로 3.6m, 세로 4.2m 주거공간과 현관/주방 및 욕실을 부가적으로 제공하는 총 면적 22.68㎡ 유닛으로 남측 전면에 주 출입구와 채광창을 갖는 것을 대상으로 분석을 진행하였다.

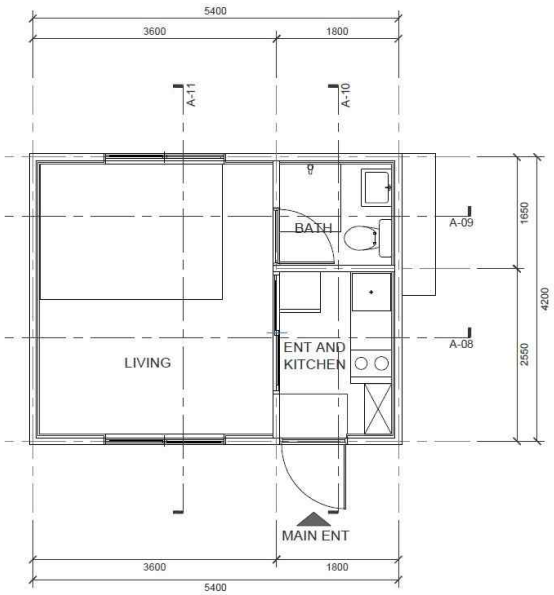


그림 38. Prototype Plan of Proposed Refuge House



그림 39. Prototype Elevation of
Proposed Refuge House

유닛의 형상 및 환경설정조건들은 디자인빌더(Design Builder)에서 입력하여 월별 환경성능 및 에너지사용량을 일차적으로 점검하고 확인하여 에너지플러스 입력 파일을 생성하였다. 최적화 알고리즘으로 입력 파일의 입력변수조합을 생성하고 결과를 분석하기 위하여 최적화 전문프로그램인 모드프론티어(Mode Frontier)를 활용하여 에너지플러스시뮬레이션 엔진과 연계 자동구동하였다.

유닛에서 최적화 대상은 난방에너지, 냉방에너지, 조명에너지를 합산한 총에너지요구량을 기준으로 주요 변수는 남측 창 개구부의 면적과 남측창 총일사취득율 선정하여 최적화를 실시하였다(그림 38).

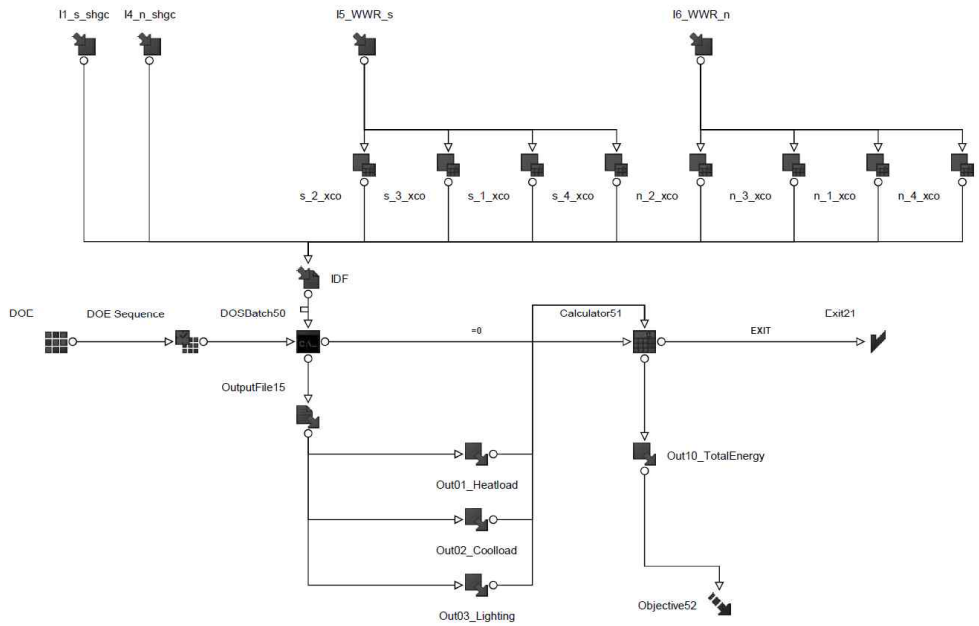


그림 40. Flow Chart of Optimization for Refuge House

남측개구부의 경우 사생활을 보호할 수 있는 창호 설치 최소 높이 80cm 상단으로 설치되어 가로로 확대되는 가정으로 최소 0.02, 최대 0.55의 범위로 설정하였고, 총일사취득율은

0.2에서 0.55사이 범위로 설정하였다. 실험군설정을 위해서 건축물최적화분석에서 최근 활용빈도가 높아지고 있는[9] Uniform Latic Hypercube 방식에 의한 총 800 케이스의 실험군을 설정하고 시뮬레이션을 진행하였다. 기본 외벽은 구조성능 실험에 사용된 100mm 두께의 경량복합패널을 사용하였으며, 주요 변수와 함께 시뮬레이션에 입력된 외피, 실내발열, 설비운전 관련 고정변수들은 표 32과 같다. 냉난방설정온도는 20~26℃이며, 조명운전은 자연채광량에 따라 조명을 적절하게 제어한다는 가정하에 실내조도 300lux를 목표로 선형 디밍제어를 실시하는 것으로 가정하였다.

표 32. Input Range of Control Variables

Elements	Variables(Unit)	Input Data
External Wall	U-value(W/m2K)	0.343
Floor	U-value(W/m2K)	0.343
Roof	U-value(W/m2K)	0.343
Occupancy	number of person	2
	schedule	24h
Lighting	target lus	300
	W/m2	7.5W
	Dimming Control	on
Equipment	W	3.58
Heating setpoint	Celsius	20
Cooling setpoint	Celsius	26
Infiltration	1/h	0.15
Fresh air	liter/person	10

② 에너지 최적화 결과

최적화를 위한 주요 입력변수인 남측 창면적비, 총일사취득율과 난방, 냉방, 조명 에너지를 포함한 전체 에너지 요구량간의 상관관계를 분석하였다(그림 46).

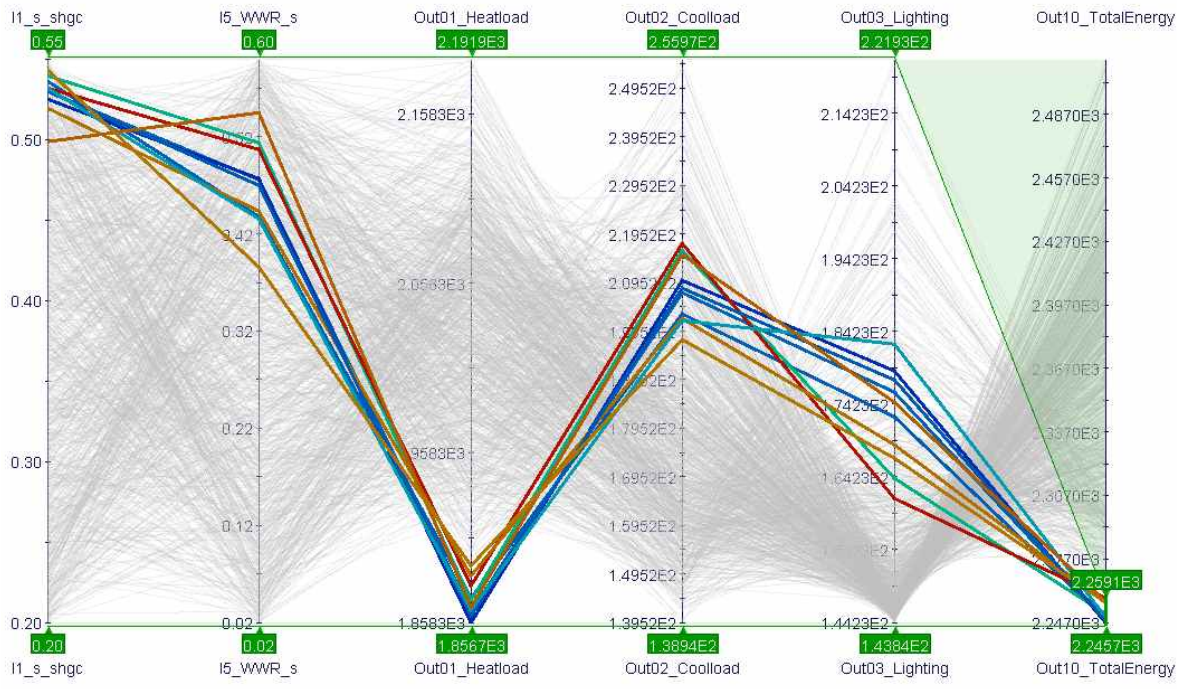


그림 41. Parrallel Coordinates Chart among Variables

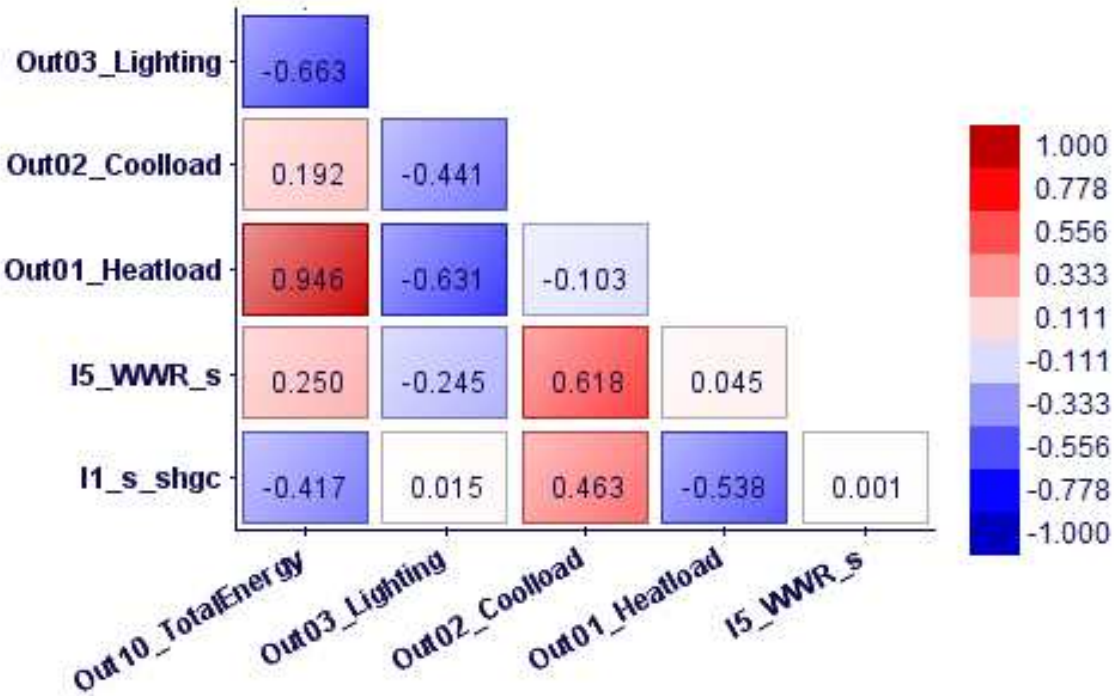


그림 42. Pearson Corelation Chart among Variables

강한 상관관계를 갖는 절대값 0.7이상의 결과는 총에너지-난방에너지(0.946)이고, 일정한 상관관계를 갖는 절대값 0.4-0.7 범위 값은 총에너지-조명에너지(-0.663), 난방에너지-조명에너지 (-0.631), 냉방에너지-창면적비 (0.618), 냉방에너지-창호총일사취득율(0.463), 냉방에너지-조명에너지(-0.441),

총에너지-창호총일사취득율(-0.417)의 상관관계를 나타내었다(그림 40).
이와 같은 상관관계를 토대로 구난주택의 총에너지에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 난방에너지이며, 난방에너지와 음의 상관관계를 보이는 총일사취득율을 가급적 높은 수준으로 확보하는 것이 가장 요구되는 전략이다. 다음 순으로 냉방-조명에너지를 최적화하여 절감하기 위한 적정 창면적비 선정이 필요할 것으로 판단된다.

③ 최적화 결과 및 에너지요구량

800개의 시험군의 분석결과 총에너지 요구량은 2,245kW-2,514kW의 범위를 갖고 있었으며, 총에너지요구량에 가장 밀접한 상관관계를 갖는 난방에너지요구량은 1,856kW-2,191kW 범위를 나타내었다. 총에너지사용량의 하위 5%에 해당하는 케이스를 선정하여 굵은 색상선으로 표기한 병렬 좌표분석(그림 39)을 보면, 에너지 최적화 전략은 창호 총일사취득율 0.52 이상, 창면적비 0.47 수준으로 확보하는 방안과 개구부를 통한 구조성능 저하를 최소화할 수 있는 창호 총일사 취득율 0.5 수준, 창면적비 0.38 수준으로 확보하는 방안으로 제안이 가능할 것으로 판단된다.

라. 환경성능 현장 실측 결과

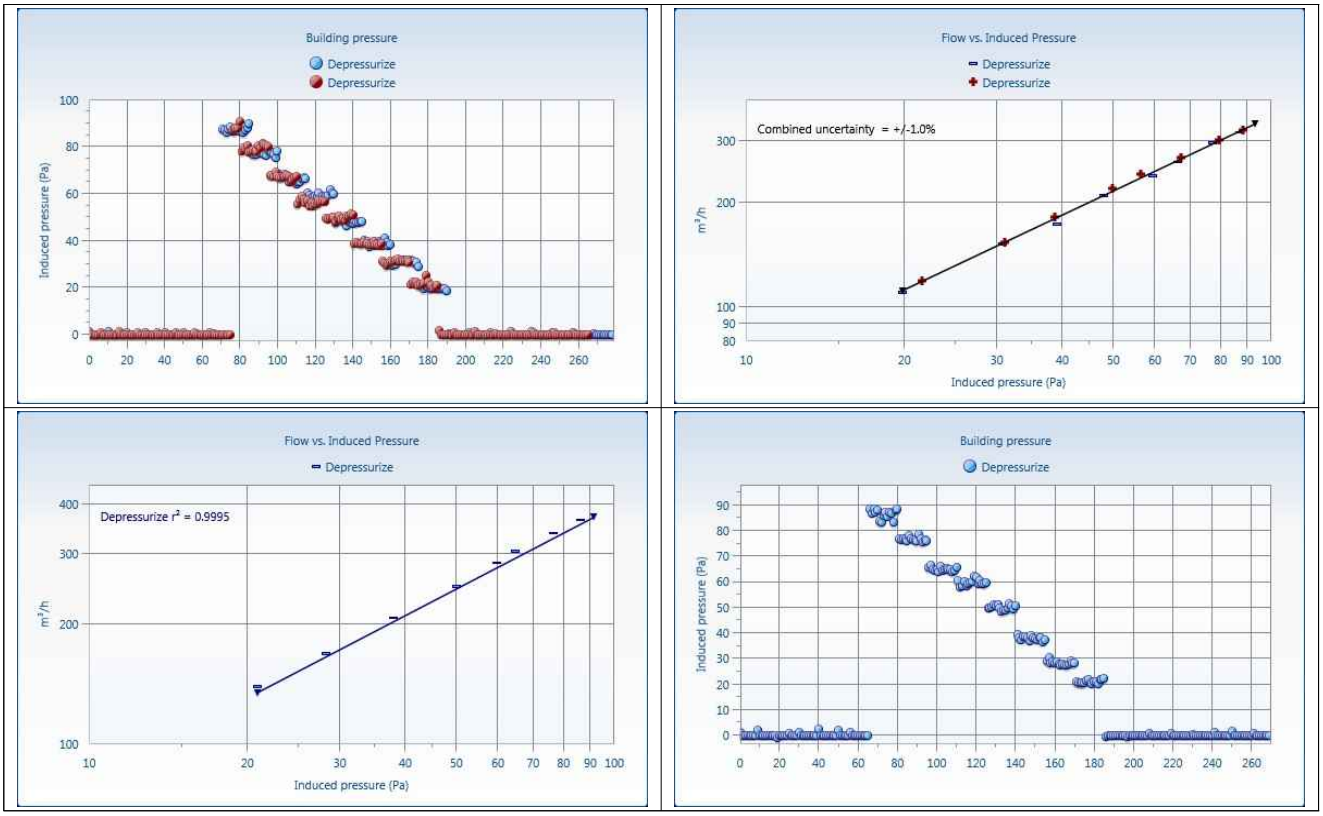
① 기밀

블로우 도어 기밀 테스트 결과 목업 시험동의 평균 기밀도는 8.5회로 기록되어 부재 접합부의 기밀성능 향상 요구된다.





Results	
Air flow at 50 Pa, [m³/h]	218.1
Air changes at 50 Pa, n_{50} [/h]	8.52
Flow per Envelope Area at 50 Pa, [m³/h/m²]	4.154
Flow per Floor Area at 50 Pa, [m³/h/m²]	22.029
Effective leakage area at 50 Pa, [cm²]	66.45
Equivalent leakage area at 50 Pa, [cm²]	108.0
Leakage per Envelope Area at 50 Pa, [cm²/m²]:	1.266
Leakage per Floor Area at 50 Pa, [cm²/m²]:	6.71



(2) 누수

○ 제작된 목업을 인공강우 실험실에서 강우를 모사하여 실내 누수성을 평가하였다.

○ 강우모사 조건 설정은 기상청의 기상특보 발표기준 중 '3시간동안 강우량이 90 ㎜ 이상 예상되거나, 12시간동안 강우량이 180 ㎜ 이상 예상될 때'에 호우경보를 발표하게 되어 있다. 따라서 기상청에서 발표하는 호우경보는 강우량이 시간당 (15 ~ 30) ㎜로 본 시험에서는 이보다 약 2배정도 가혹한 조건의 강우를 모사하여 시간당 60 ㎜로 설정하고 실내 누수여부를 판단하였다.

○ 누수시험은 한국건설생활환경시험연구원 기수환경실증센터에서 진행하였다.



그림 48. 누수시험

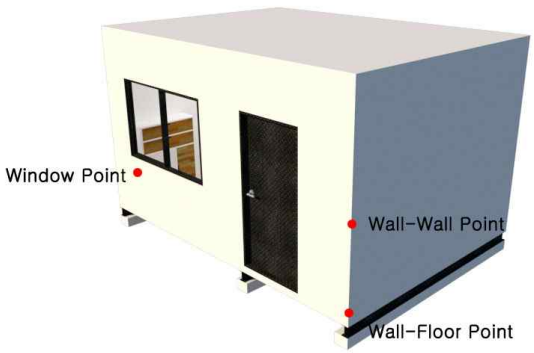
○ 1시간 동안의 강우시험이 끝나고 실내에 누수가 발생하였는지 확인하였다. 누수는 누수 취약부위라고 판단되는 패널간 연결부위인 코너부, 패널-창호 연결부위, 패널-문 결합부위를 중시으로 확인하였다.

○ 누수시험 결과 목업 내부에는 누수가 없는 것으로 확인되었다. 향후 경량 복합패널을 활용한 임시주거시설은 국내 호우경보에도 누수의 문제는 없는 것으로 판단된다.



그림 49. 누수 시험 결과

(3) 결로평가

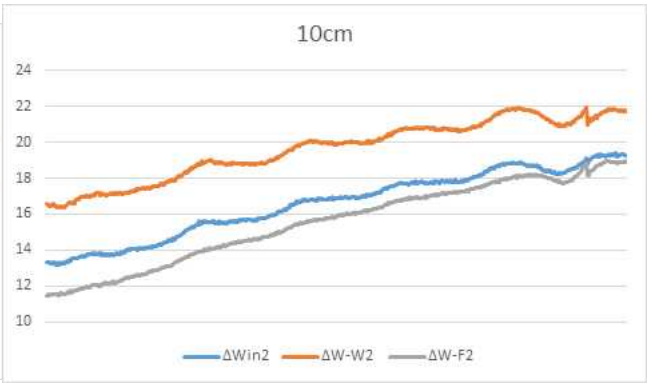


실험 방법

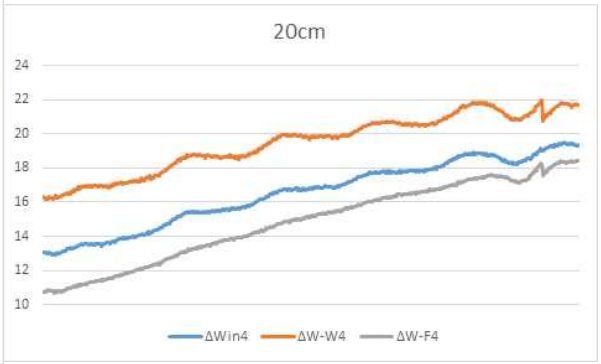
각기 다른 조건의 3개의 포인트를 지정하여, 목업 내외부에 포인트로부터 5, 10, 15, 20cm 씩 떨어진 지점의 표면온도를 측정. 같은 지점의 내외부 온도 차이를 비교 및 분석

4개의 지점 모두 Wall-Wall Point가 제일 높은 내외부 온도차를 보임. 가장 좋은 단열성능으로 판단됨. 그 다음으로는 Window Point가 좋은 단열성능으로 보임.


5cm
24
22
20
18
16
14
12
10
ΔWin1
ΔW-W1
ΔW-F1


10cm
24
22
20
18
16
14
12
10
ΔWin2
ΔW-W2
ΔW-F2


15cm
24
22
20
18
16
14
12
10
ΔWin3
ΔW-W3
ΔW-F3


20cm
24
22
20
18
16
14
12
10
ΔWin4
ΔW-W4
ΔW-F4

제 3절. 재난대응 LMC 구조성능평가

1. 경량복합패널에 대한 구조성능 평가 - 분포압 강도

가. 실험 목적

○ 경량 복합 패널에 대한 구조 성능 평가를 위해 분포압 강도에 대한 실험을 진행하였다. 구조 성능 중에서 분포압 강도는 패널을 이용해 재난대응 구호주거를 제작하였을 때에 풍하중에 대한 성능과 지붕 구조체로서의 성능에 대한 영향을 미치는 강도이기 때문에 분포압 강도에 대한 실험을 진행하였다.

나. 실험에 사용된 경량 복합패널

(1) 경량 복합패널 구성

○ 경량 복합패널은 아래 그림과 같이 내부 코어가 EPS(Expanded Polystyrene)로 구성되며 이를 고강성의 섬유강화 복합소재 스킨이 위 아래로 덮고 있는 형태로 구성된다. 코어와 스킨의 사이는 PU. Glue(Polyurethane Glue)를 이용하여 부착된다. 접합에 사용된 제품은 1액형 Glue이며, Ashland Isogrip 3030D 제품을 사용하였다. 이 접착제는 신뢰할 만한 내구성을 제공하며 신속한 부착이 가능한 100% 폴리에스테르 접착제이다. 접착제는 롤 코터, 압출기 또는 스패터 코팅 시스템을 사용하여 도포한다.

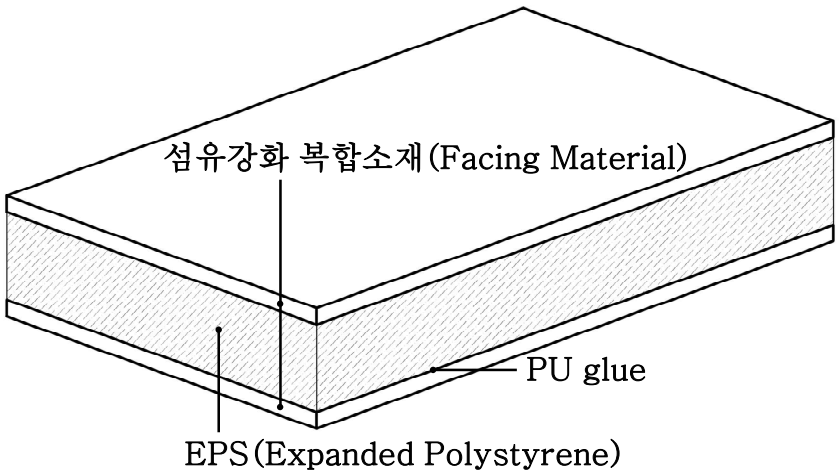


그림 55. 경량 복합패널 구성도

(2) 경량 복합패널 - 섬유강화 복합소재

○ 섬유강화 복합소재 제조에 사용되는 고분자 소재의 용융점도는 20mPa • s(cps)로 이는 통상의 열가소성 소재 대비 1/5,000 수준으로 낮으며, 이를 파우더로 만들어 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등의 섬유강화재에 분산도포한 후 열과 압력으로 함침시켜 복합소재를 제조하고 있다. 초고유동 소재를 함침하기 때문에 광폭의 섬유강화재에도 섬유 필라멘트 내부까지 함침이 잘되어 우수한 물성을 얻을 수 있다. 또한 생산 공정

중이나 최종제품에서 VOC(Volatile organic compound, 휘발성 유기 화합물) 등의 유해 물질 발생이 전혀 없는 소재이다. 사용된 경량 복합소재는 제조과정에서 친환경적일 뿐만 아니라 경량 소재를 사용하여 시공성이 우수할 것으로 예상된다.

다. 경량 복합패널 구성 재료의 물성

(1) 경량 복합패널 구성 재료의 물성

○ 경량 복합패널에 사용된 재료에 대한 물성은 아래 표에 나타나있다. 스킨재의 경량 복합패널 실험체 제작에 적용된 코어는 EPS(Expanded Polystyrene)로서 밀도는 25kg/m^{3}이다. 스킨재는 공칭두께 0.8mm인 섬유강화 복합소재를 사용하였다.

표 35. 경량 복합패널 구성 재료 물성

	Tensile Strength MPa	Elastic Modulus MPa	Shear Strength MPa	Shear Modulus MPa	Poisson's Ratio	Compre-ssive Strength MPa	Density kN/m^3 (kg/m^3)
Test Method	ISO 527		ASTM D3518				
Composites Skin (0.8 ㎜)	320	20x103	100	8.54x103	0.17	-	16.70 (1700)
Expanded Polystyrene (EPS)	0.137	2.34	0.20	3.3	-	0.124	0.245 (25)

라. 실험 계획

(1) 분포압 강도 실험체

○ 분포압강도 실험체는 아래 그림과 같이 실험 규격에 따라 1220mm의 폭을 유지하면서 패널의 길이를 변화시켰다. 실험체 코어의 폭은 150mm와 200mm 두 가지로 실험하였다.

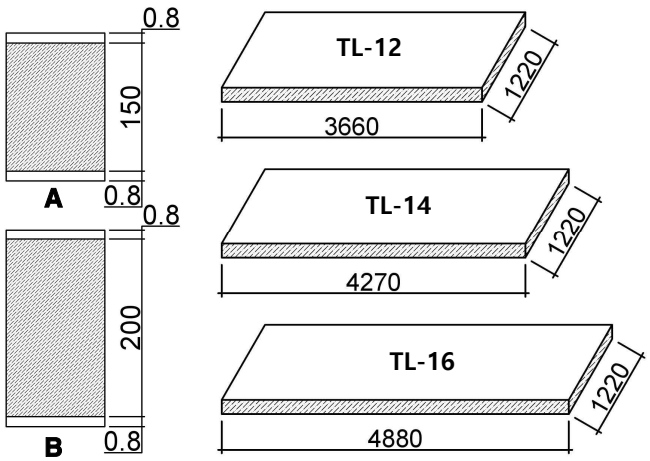


그림 56. 분포압 강도 실험체

○ 분포압강도 실험체의 규격은 아래 표와 같다. 여기서 말하는 스팬은 실험 시 지점간의 거리이며 실제 실험체 길이에서 1ft(304.8mm)를 제외한 값이다.

표 36. 분포압 강도 실험체 규격

실험체	스팬	폭	스킨	코어	수량
TL-12-150	3350mm	1220mm	0.8mm	150mm	각 3개
TL-12-200				200mm	
TL-14-150	3960mm			150mm	
TL-14-200				200mm	
TL-16-150	4570mm			150mm	
TL-16-200				200mm	

(2) 실험 방법

○ 분포압강도 실험방법은 주로 ASTM E72에 따라 수행하였으며 기준에서 제시한 분포압강도 실험 중 등분포하중을 가력할 수 있는 장치를 이용하여 실험을 진행하였다(아래 그림 참조). 등분포하중 실험 장치의 개념은 아래 그림에 나타나있다. 아래 그림에서 보이는 것처럼 실험체는 하부에 위치시키며 상부에는 강체 구조물을 단단하게 고정한다. 이 강체 구조물과 실험체 사이에 공기 튜브를 위치시킨 뒤, 공기 튜브에 공기를 주입하여 실험체에 전체적으로 균일한 압력을 가하는 방식이다.

○

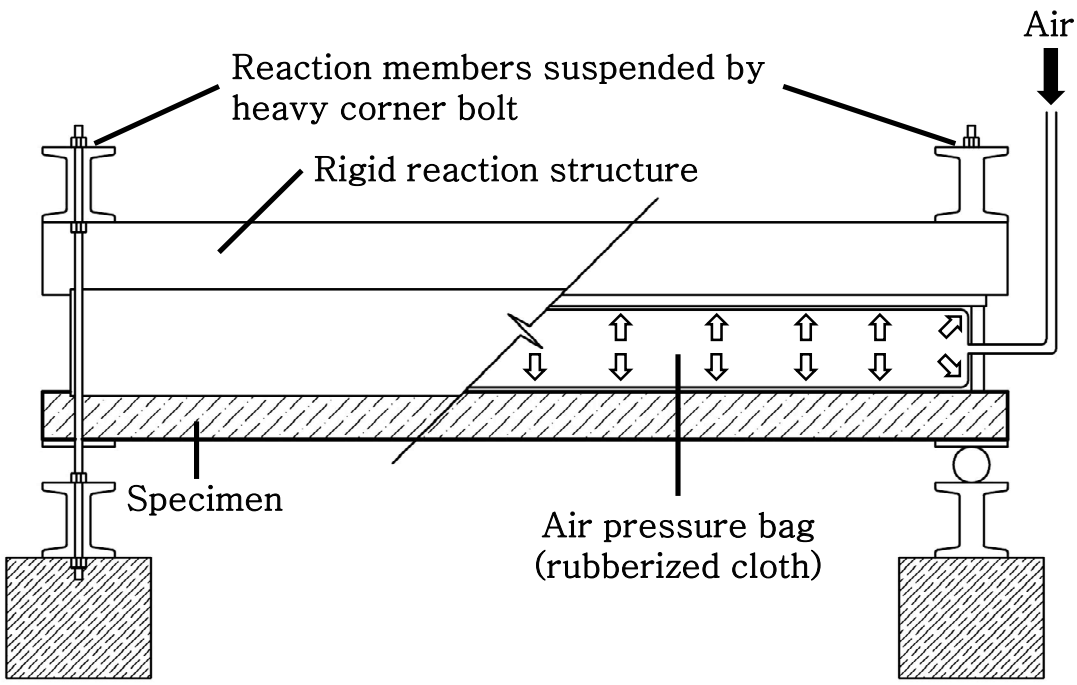


그림 57. 분포압 강도 실험 개념

마. 실험결과 분석

(1) 실험 결과 예측

○ 진행한 분포압 강도 실험을 간단히 도식하면 아래 그림과 같이 나타낼 수 있다.

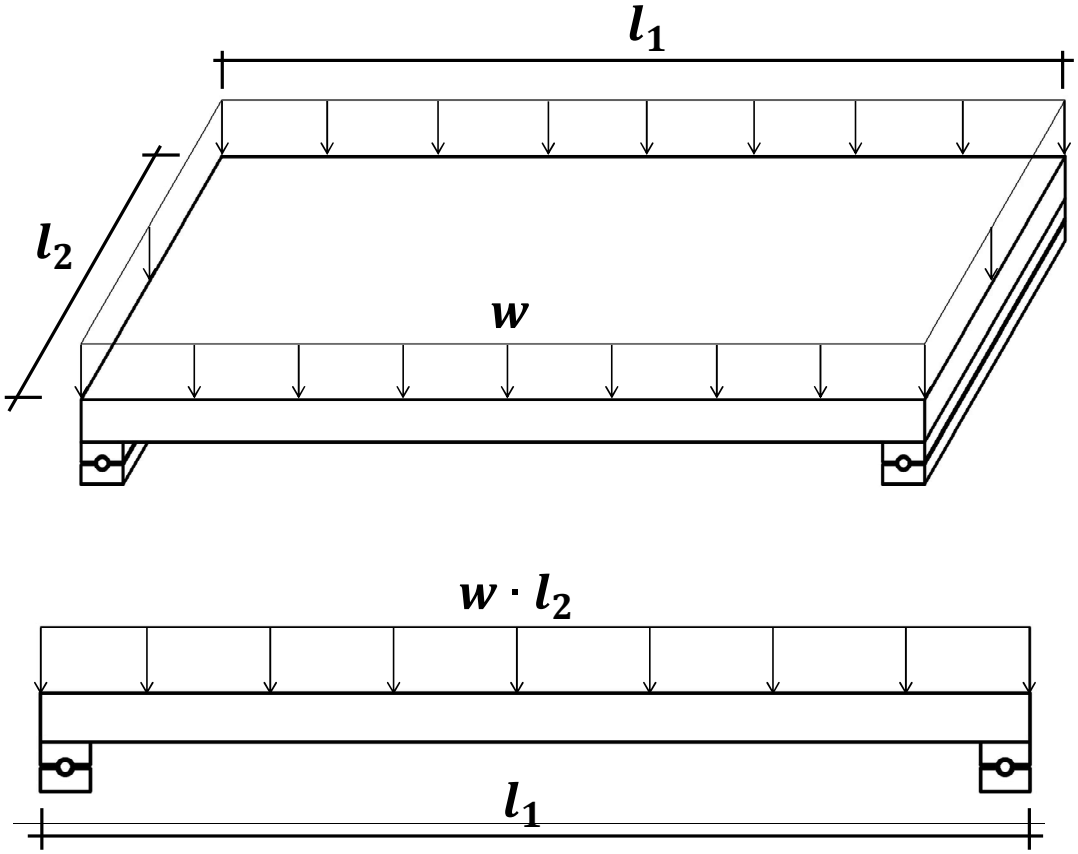


그림 58. 분포압 강도 실험 하중 도표

이 때 패널 중앙에서 발생하는 중앙부 처짐(δ)은 다음과 같다.

$$\delta = \frac{5 \times w l_2 \times l_1^4}{384 \times E_1 \times I_e} \quad - \text{식 (1)}$$

여기서, w = 단위면적당 등분포하중,

l_1 = 실험체 길이,

l_2 = 실험체 폭,

E_1 = 스킨재의 탄성계수,

I_e = 실험체의 유효 단면2차모멘트

이 때, $w l_2 l_1 = P$ (가해지는 하중) 이므로, 식 (1)은 다음과 같이 변경이 가능하다.

$$\delta = \frac{5 \times (w l_2 l_1) \times l_1^3}{384 \times E_1 \times I_e} = \frac{5 \times P \times l_1^3}{384 \times E_1 \times I_e} \quad - \text{식 (2)}$$

식 (2)로부터 하중과 중앙의 처짐 관계를 나타내면 다음과 같다.

$$P = \frac{384 \times E_1 \times I_e}{5 \times l_1^3} \delta \quad - \text{식 (3)}$$

식 (1)~(3)에서 I_e(유효 단면2차모멘트)의 값은 아래 그림과 같이 환산단면을 통해 구하게 된다.

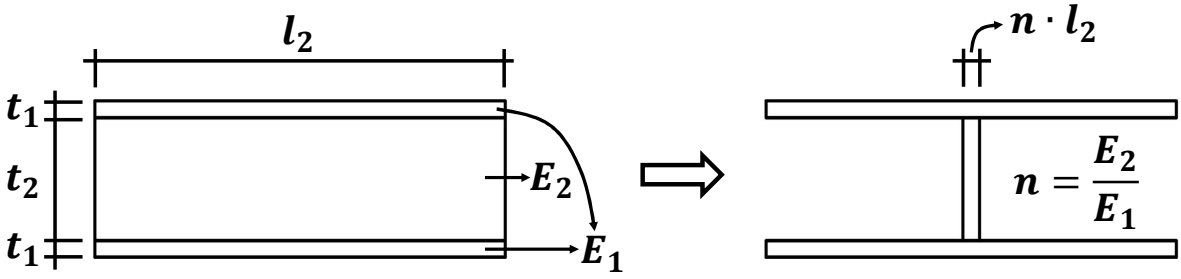


그림 59. I_e(유효 단면2차모멘트)에 대한 환산단면

환산단면은 위에서처럼 두 가지의 재료로 된 단면을 같은 탄성적 성질을 가지는 하나의 재료로 된 것으로 치환한 단면을 말한다. 여기에서는 스킨재의 성질을 가지는 단면으로 치환하기 위해 위와 같은 방법으로 환산단면을 계산했다. 이렇게 구해진 환산단면으로 I_e값을 다음 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$I_e = \frac{l_2 \times (2t_1 + t_2)^3}{12} - \frac{\left(1 - \frac{1}{n}\right) l_1 \times t_2^3}{12} \quad - \text{식 (4)}$$

여기서, n = 내부 EPS와 스킨재의 탄성계수비(E_2/E_1),

E_1 = 스킨재의 탄성계수,

E_2 = 내부 EPS의 탄성계수

다음으로 파괴하중을 산정하기 위해 휨 응력 식을 이용했다. 휨 응력에 대한 식은 다음과 같다.

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \quad - \text{식 (5)}$$

여기서, σ = 휨응력,

M = 휨모멘트,

I = 단면2차모멘트,

y = 중립축에서 구하고자 하는 휨응력까지의 거리

이 식을 이용하여 최대 응력이 작용할 때의 최대 모멘트를 구해보면

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times z}{I_e} \quad - \text{식 (6)}$$

여기서, σ_{max} = 실험체 단면에서의 최대 휨응력,

M_{max} = 실험체에서 발생하는 최대 휨모멘트,

I_e = 실험체의 유효 단면2차모멘트,

z = 중립축에서 단면 연단까지의 거리

여기에서 실험체의 최대 휨모멘트 M_{max}는 실험체 중앙에서 발생하게 되며 그 크기는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M_{\max} = \frac{wl_2 l_1^2}{8} \quad - \text{식 (7)}$$

여기에서 $wl_2 l_1 = P$ (가해지는 하중) 인데 휨모멘트가 최대일 때의 하중이므로 여기에서의 P는 $P_{\max}$(파괴하중)라고 할 수 있다. 그러므로 식 (7)을 다시 정리하면,

$$M_{\max} = \frac{wl_2 l_1 \times l_1}{8} = \frac{P_{\max} \times l_1}{8} \quad - \text{식 (8)}$$

라고 할 수 있다. 따라서 식 (6)~(8)을 정리하면

$$\sigma_{\max} = \frac{\frac{P_{\max} \times l_1}{8} \times z}{I_e} = \frac{P_{\max} \times l_1 \times z}{8 \times I_e} \quad - \text{식 (9)}$$

이며, 식 (9)를 $P_{\max}$에 대해 다시 정리하게 되면 실험체의 파괴하중 $P_{\max}$는 다음과 같다.

$$P_{\max} = \frac{\sigma_{\max} \times 8 \times I_e}{z \times l_1} \quad - \text{식 (10)}$$

식 (10)에서 $\sigma_{\max}$는 스킨재의 인장강도를 사용하였다. 따라서 식 (10)으로 예측된 최대강도는 스킨재의 인장파괴를 최종파괴 모드로 가정했을 때 예상되는 강도이다. 또한 앞에서의 식 (2)에서 P를 $P_{\max}$로 바꾸면 그 때의 처짐 δ는 $\delta_{\max}$이므로 정리하면 다음과 같다.

$$\delta_{\max} = \frac{5 \times P_{\max} \times l_1^3}{384 \times E_1 \times I_e} \quad - \text{식 (11)}$$

식 (11)을 이용하면 파괴하중이 작용할 때의 중앙에서의 변위를 계산할 수 있다. 식 (10)과 식 (11)을 이용해서 예상한 파괴하중과 그 때의 예상 중앙변위를 계산하였으며 아래 표에 나타내었다.

표 37. 예상 파괴하중과 중앙부 예상 변위

실험체	예상 파괴하중(kN)	중앙부 예상 변위(mm)
TL-12-150	112.11	247.17
TL-14-150	94.87	345.22
TL-16-150	82.22	459.61
TL-12-200	149.67	185.87
TL-14-200	126.64	259.60
TL-16-200	109.76	345.62

(2) 실험 수행

○ 분포압 강도 실험 세팅은 아래 그림과 같다. 앞의 실험 개념을 바탕으로 실험체를 구성하였으며, 변위를 측정하기 위해 중앙에 LVDT를 설치하였다. 양 단의 지지점을 롤러로 구성하여 실험을 진행하였다. 가력방법은 하중을 8단계로 구분하여 하중을 균일한 속도로 적용하였다. 8단계로 구분하기 위해 초기 실험체를 이용하여 파괴하중을 구한 뒤 그 값을 8단계로 나누어 하중 가력을 계획하였다. 다음 가력 단계시에는 하중을

제거한 후, 다시 재하하는 방법으로 실험체 파괴가 발생될 때까지 실험하였다. 하중은 적용 후 5분 동안 유지한 뒤 변위를 측정하였다. 결과값으로 기록된 변위는 실험체의 중앙에서 측정한 값이다.

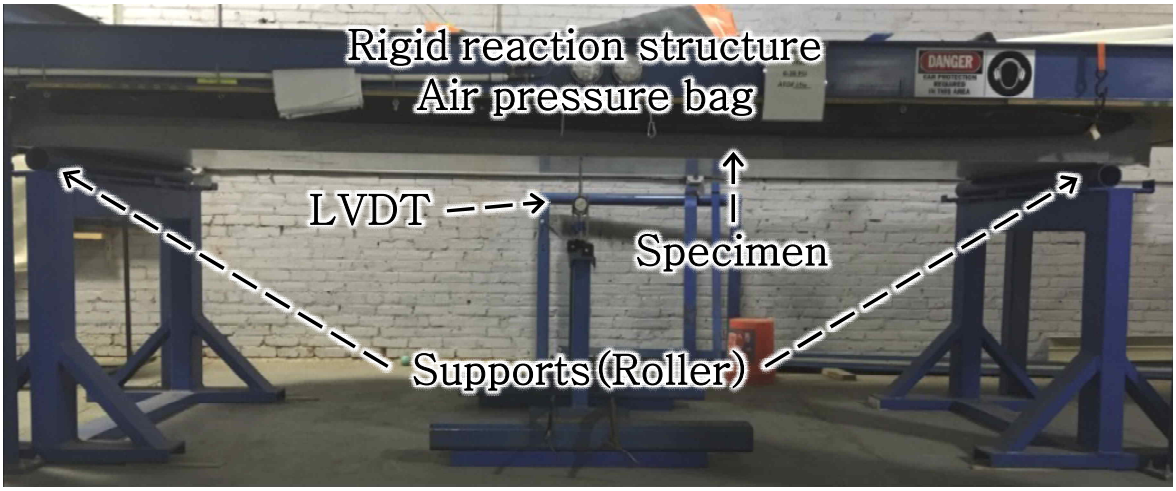


그림 60. 분포압 강도 실험체 세팅

(3) 실험 결과

① TL-12-150 실험체

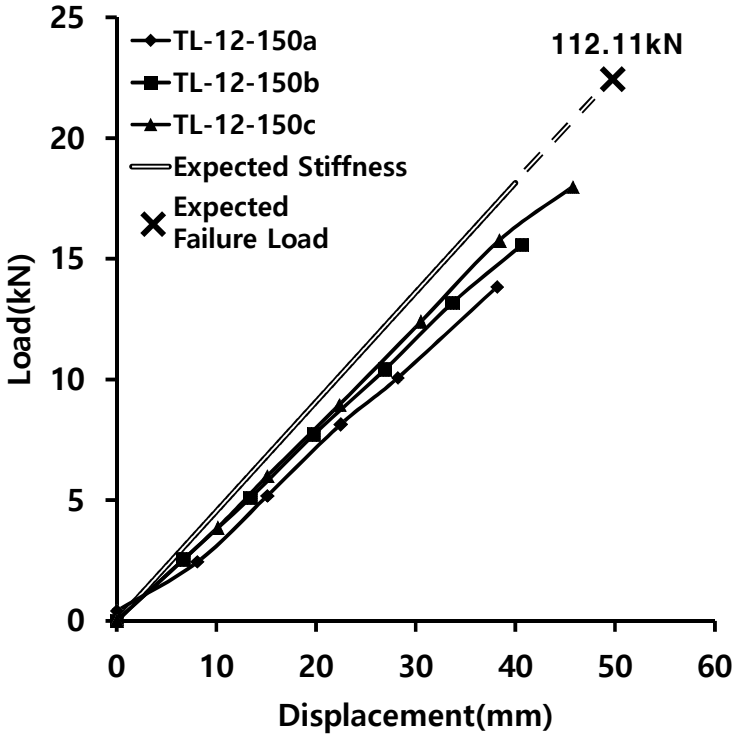


그림 61. TL-12-150 하중-변위 그래프

○ 위 그림은 TL-12-150의 하중-변위 그래프이다. TL-12-150은 스킨은 0.8mm, 코어가 150mm, 폭은 1220mm이며 길이가 3660mm인 실험체이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실험 전 실험체의 강성은 앞의 식 (3)에 의해 453.61N/mm로 예상되었다. 그래프에 나타난 바와 같이 실험결과 실험체 강성은 평균 396.95N/mm로 매우 유사하였으며 예상값 대비 88%의 강성을 발휘하였다. 실험에 대한 최대하중과 최대변위는 아래 표에 나타나있다. 예상한 파괴하중은 122.11kN이지만 실험 결과 예상 강도보다 매우 낮은 평균 16.47kN에서 실험체 길이방향 중앙부에서 코어와 스킨의 경계면이 탈락되면서 실험이 종료되었다.

표 38. TL-12-150 실험 결과

실험체	최대 하중(kN)	중앙부 최대변위(mm)
TL-12-150a	15.86	38.13
TL-12-150b	15.57	40.64
TL-12-150c	17.99	45.75
평균	16.47	41.50

② TL-14-150 실험체

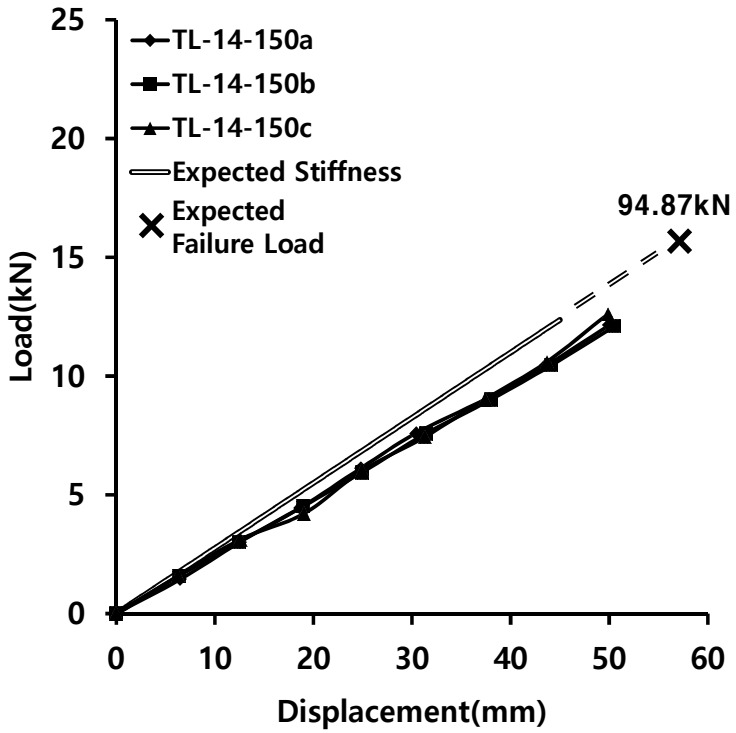


그림 62. TL-14-150 하중-변위 그래프

○ 위 그림은 TL-14-150의 하중-변위 그래프이다. TL-14-150은 스킨은 0.8mm, 코어가 150mm, 폭은 1220mm이며 길이가 4270mm인 실험체이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실험 전 실험체의 강성은 앞의 식 (3)에 의해 274.80N/mm로 예상되었다. 그래프에 나타난 바와 같이 실험결과 실험체 강성은 평균 244.95N/mm로 매우 유사하였으며 예상값 대비 89%의 강성을 발휘하였다. 실험에 대한 최대하중과 최대변위는 아래 표에 나타나있다. 예상한 파괴하중은 94.87kN이지만 실험 결과 예상 강도보다 매우 낮은 평균 12.28kN에서 실험체 길이방향 중앙부에서 코어와 스킨의 경계면이 탈락되면서 실험이 종료되었다.

표 39. TL-14-150 실험 결과

실험체	최대 하중(kN)	중앙부 최대변위(mm)
TL-14-150a	12.14	50.01
TL-14-150b	12.09	50.50
TL-14-150c	12.62	49.91
평균	12.28	50.13

③ TL-16-150 실험체

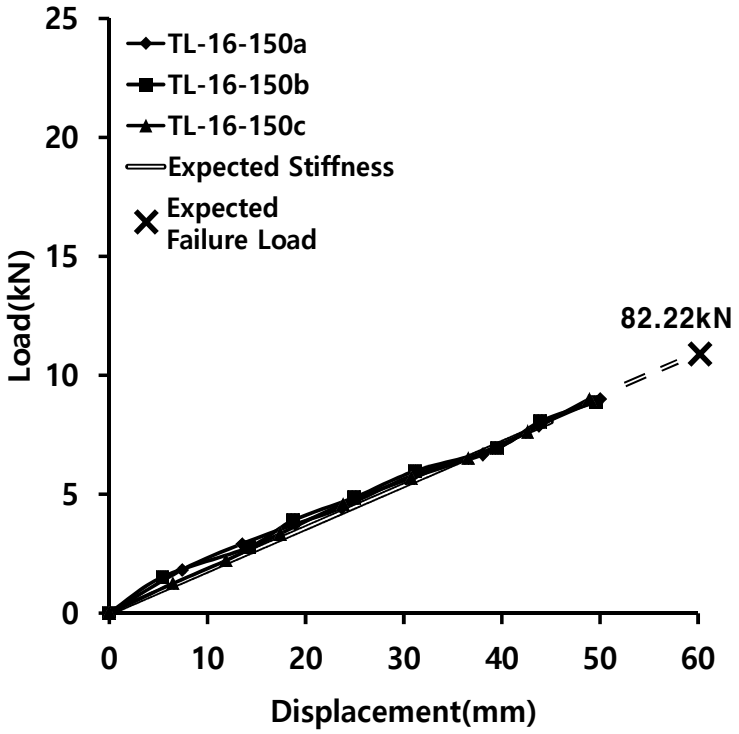


그림 63. TL-16-150 하중-변위 그래프

○ 위 그림은 TL-16-150의 하중-변위 그래프이다. TL-16-150은 스킨은 0.8mm, 코어가 150mm, 폭은 1220mm이며 길이가 4880mm인 실험체이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실험 전 실험체의 강성은 앞의 식 (3)에 의해 178.89N/mm로 예상되었다. 그래프에 나타난 바와 같이 실험결과 실험체 강성은 평균 181.08N/mm로 매우 유사하였으며 예상값 대비 101%의 강성을 발휘하였다. 실험에 대한 최대하중과 최대변위는 아래 표에 나타나있다. 예상한 파괴하중은 82.22kN이지만 실험 결과 예상 강도보다 매우 낮은 평균 8.97kN에서 실험체 길이방향 중앙부에서 코어와 스킨의 경계면이 탈락되면서 실험이 종료되었다.

표 40. TL-16-150 실험 결과

실험체	최대 하중(kN)	중앙부 최대변위(mm)
TL-16-150a	9.01	50.04
TL-16-150b	8.88	49.63
TL-16-150c	9.01	48.95
평균	8.97	49.54

④ TL-12-200 실험체

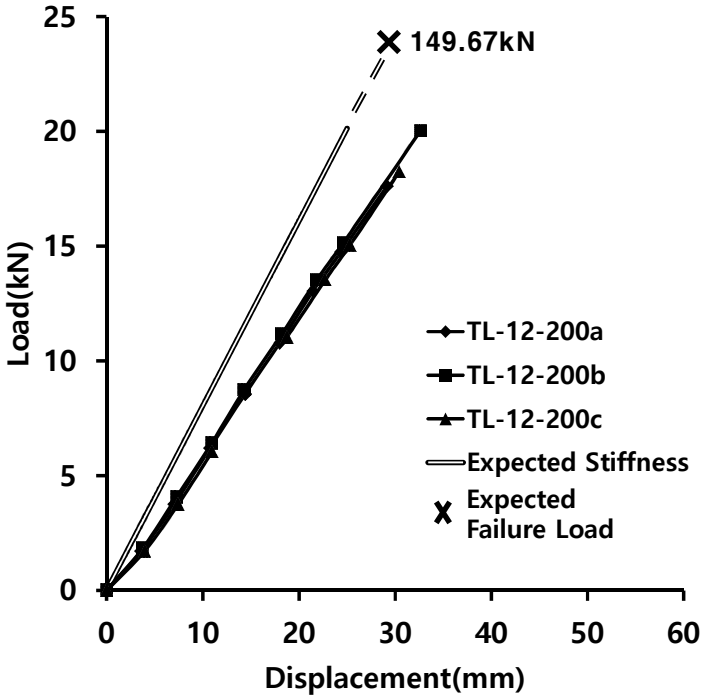


그림 64. TL-12-200 하중-변위 그래프

○ 위 그림은 TL-12-200의 하중-변위 그래프이다. TL-12-200은 스킨은 0.8mm, 코어가 200mm, 폭은 1220mm이며 길이가 3660mm인 실험체로 TL-12-150 실험체에서 코어의 두께만 변화시킨 실험체이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실험 전 실험체의 강성은 앞의 식 (3)에 의해 805.25N/mm로 예상되었다. 그래프에 나타난 바와 같이 실험결과 실험체 강성은 평균 606.05N/mm로 유사한 값을 보였으며 예상 값 대비 75%의 강성을 발휘하였다. 실험 결과 TL-12-150의 강성은 396.95N/mm로 TL-12-200 실험체는 TL-12-150 실험체의 비해 153%의 강성을 보였다. 실험에 대한 최대하중과 최대변위는 아래 표에 나타나있다. 예상한 파괴하중은 149.67kN이지만 실험 결과 예상 강도보다 매우 낮은 평균 18.63kN에서 실험체 길이방향 중앙부에서 코어와 스킨의 경계면이 탈락되면서 실험이 종료되었다. 이는 TL-12-150 실험체가 파괴된 16.47kN 보다 2.16kN 큰 값이다.

표 41. TL-12-200 실험 결과

실험체	최대 하중(kN)	중앙부 최대변위(mm)
TL-12-200a	17.60	29.13
TL-12-200b	20.03	32.64
TL-12-200c	18.25	30.43
평균	18.63	30.73

⑤ TL-14-200 실험체

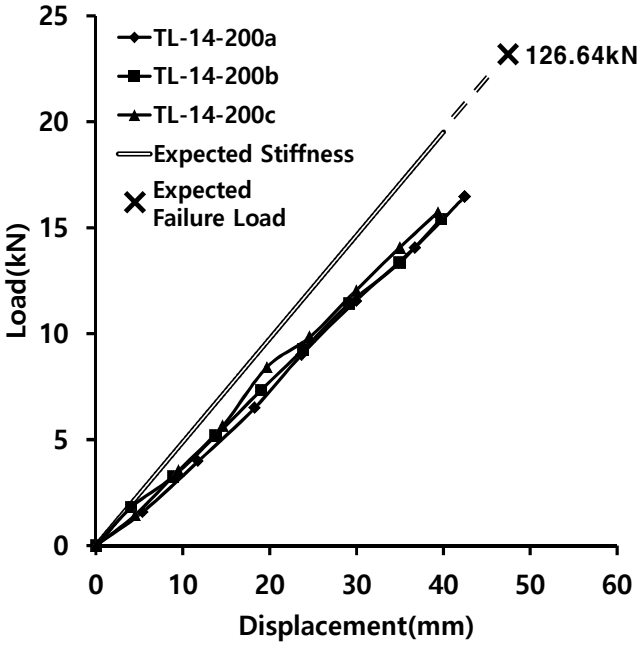


그림 65. TL-14-200 하중-변위 그래프

◦ 위 그림은 TL-14-200의 하중-변위 그래프이다. TL-14-200은 스킨은 0.8mm, 코어가 200mm, 폭은 1220mm이며 길이가 4270mm인 실험체로 TL-14-150 실험체에서 코어의 두께만 변화시킨 실험체이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실험 전 실험체의 강성은 앞의 식 (3)에 의해 487.84 N/mm로 예상되었다. 그래프에 나타난 바와 같이 실험결과 실험체 강성은 평균 391.59N/mm로 유사한 값을 보였으며 예상 값 대비 80%의 강성을 발휘하였다. 실험 결과 TL-14-150의 강성은 244.95N/mm로 TL-14-200 실험체는 TL-14-150 실험체의 비해 160%의 강성을 보였다. 실험에 대한 최대하중과 최대변위는 아래 표에 나타나있다. 예상한 파괴하중은 126.64kN이지만 실험 결과 예상 강도보다 매우 낮은 평균 15.86kN에서 실험체 길이방향 중앙부에서 코어와 스킨의 경계면이 탈락되면서 실험이 종료되었다. 이는 TL-14-150 실험체가 파괴된 12.28kN 보다 3.58kN 큰 값이다.

표 42. TL-14-200 실험 결과

실험체	최대 하중(kN)	중앙부 최대변위(mm)
TL-14-200a	16.46	42.44
TL-14-200b	15.39	39.70
TL-14-200c	15.74	39.40
평균	15.86	40.51

⑥ TL-16-200 실험체

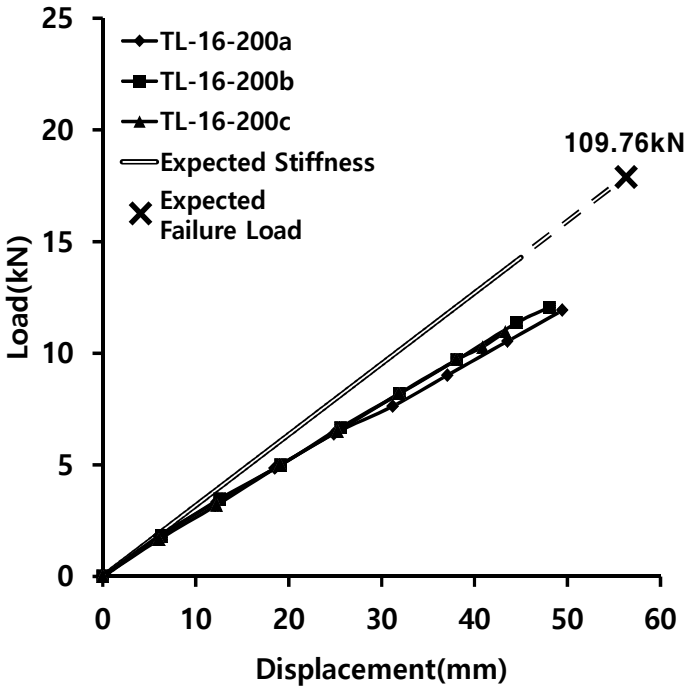


그림 66. TL-16-200 하중-변위 그래프

○ 위 그림은 TL-16-200의 하중-변위 그래프이다. TL-16-200은 스킨은 0.8mm, 코어가 200mm, 폭은 1220mm이며 길이가 4880mm인 실험체로 TL-16-150 실험체에서 코어의 두께만 변화시킨 실험체이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 실험 전 실험체의 강성은 앞의 식 (3)에 의해 317.56N/mm로 예상되었다. 그래프에 나타난 바와 같이 실험결과 실험체 강성은 평균 248.02N/mm로 유사한 값을 보였으며 예상 값 대비 78%의 강성을 발휘하였다. 실험 결과 TL-16-150의 강성은 181.08N/mm로 TL-16-200 실험체는 TL-16-150 실험체의 비해 137%의 강성을 보였다. 실험에 대한 최대하중과 최대변위는 아래 표에 나타나있다. 예상한 파괴하중은 109.76kN이지만 실험 결과 예상 강도보다 매우 낮은 평균 11.65kN에서 실험체 길이방향 중앙부에서 코어와 스킨의 경계면이 탈락되면서 실험이 종료되었다. 이는 TL-16-150 실험체가 파괴된 8.97 kN 보다 2.68kN 큰 값이다.

표 43. TL-16-200 실험 결과

실험체	최대 하중(kN)	중앙부 최대변위(mm)
TL-16-200a	11.92	49.48
TL-16-200b	12.06	48.06
TL-16-200c	10.96	43.33
평균	11.65	46.96

⑦ 결과 종합

○ 아래 표는 경량 복합패널에 대한 분포압강도 실험 종합 결과를 나타낸다. 종합한 최대하중 값은 실험체 별로 측정된 최대하중의 평균값을 하중이 가해지는 면적으로 나눈 값이다. 허용하중 값은 미국 합판 및 공학 목재협회 실험결과를 바탕으로 산정할 때 최대하중의 1/3 값으로 나타낼 수 있다. 스팬 값은 실험에서 지점 간의 거리를 나타낸다. 아래 표의 실험 결과를 보면 코어가 150 ㎜인 실험체는 스팬이 각각 3350mm, 3960mm, 4570mm일 때에 허용하중은 1.34kN/m2, 0.85kN/m2, 0.54kN/m2으로 판단되었다. 그리고 코어가 200mm인 실험체는 스팬이 각각 3350mm, 3960mm, 4570mm일 때에 허용하중이 1.52kN/m2, 1.09kN/m2, 0.70kN/m2으로 판단되었다. 실험 결과, 패널이 파괴된 하중은 계산을 통해 예상했던 파괴하중에는 크게 못 미치는 것을 알 수 있다.

표 44. 분포압 강도 실험 종합 결과

	최대 하중(kN/m2)	허용하중(kN/m2)	스팬(mm)
TL-12-150	4.03	1.34	3350
TL-14-150	2.54	0.85	3960
TL-16-150	1.61	0.54	4570
TL-12-200	4.56	1.52	3350
TL-14-200	3.28	1.09	3960
TL-16-200	2.09	0.70	4570

○ 6가지의 실험체 모두 예상파괴하중(스킨재의 인장파괴로 예측된 파괴하중)에 도달하기 이전에 실험체 길이방향 중앙부에서 코어와 스킨의 경계면이 조기에 탈락되면서 실험이 종료되었다. 이에 따라 본 연구에서는 코어와 스킨 경계면에 대한 추가 분석을 진행하였다. 앞에서 실험체의 최대하중을 알아보기 위해 계산하였던 식 (6)을 역으로 분석하여 코어와 스킨이 탈락될 때의 응력을 알아보았다. 우선 실험체가 파괴된 하중을 P_{max}라고 했을 때 식 (6)을 이용하여 그 때의 중앙에서 발생하는 휨 응력은 아래 그림과 같이 응력도로 표현할 수 있다.

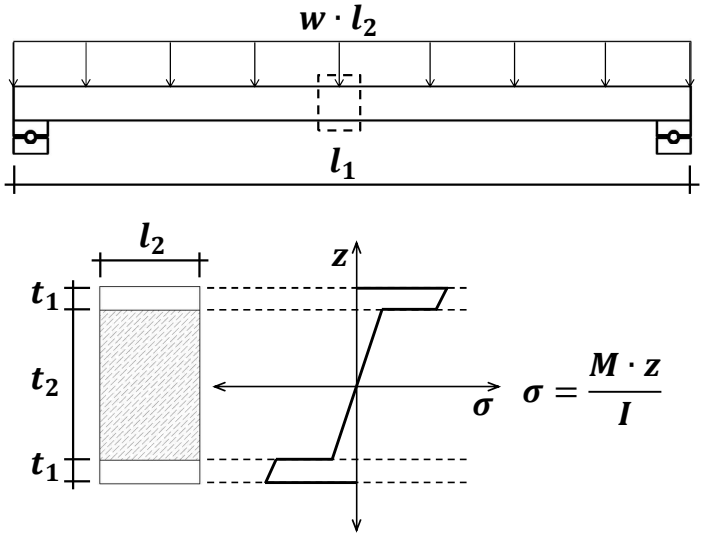


그림 67. 실험체 중앙에서의 휨 응력도

결국 스킨과 코어가 탈락한 것은 휨 응력에 의한 전단 파괴라고 할 수 있다. 스킨에 작용하는 평균 휨 응력을 σ_{aver}라고 하면 아래 그림과 같이 나타낼 수 있으며, 이 때 스킨 단면에는 압축력 P_c가 작용하게 된다. P_c는 다음과 같다.

$$P_c = \sigma_{aver} \times A_{skin} \quad \text{- 식 (12)}$$

여기서, P_c = 압축력,

σ_{aver} = 스킨에 작용하는 평균휨응력,

A_{skin} = 스킨 단면적

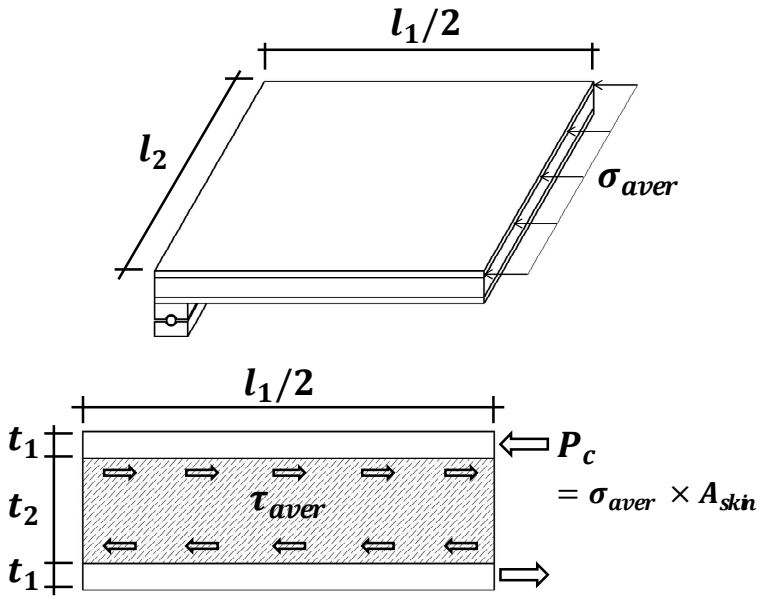


그림 68. 실험체 전단 응력도

위 그림에서처럼 P_c로 인하여 스킨과 코어의 접합면에 전단응력 τ가 발생하며, 전단응력이 패널 절반에 발생하고 있기 때문에 이 값을 패널 절반의 넓이로 나누어주게 되면 τ_{aver}를 구할 수 있다.

$$\tau_{aver} = \frac{P_c}{l_2 \times (l_1/2)} \quad - \text{식 (13)}$$

여기서, τ_{aver} = 평균 전단응력,

P_c = 압축력

따라서 식 (13)을 통해 구한 τ_{aver}가 스킨과 코어의 접합면이 탈락될 때 작용한 전단응력이라고 할 수 있다. 식 (13)에 의해 코어와 스킨이 탈락되는 경계면에서의 평균 전단응력을 계산하였으며 아래 표에 나타내었다.

표 45. 최대하중에서 경계면 전단응력

실험체	경계면에서의 전단응력 (MPa)	평균(MPa)
TL-12-150	0.0223	0.0170
TL-14-150	0.0166	
TL-16-150	0.0121	
TL-12-200	0.0189	0.0156
TL-14-200	0.0161	
TL-16-200	0.0118	

위 표에서 코어의 두께가 150mm일 때에 코어와 스킨의 경계면에서의 평균 전단응력이 최대 0.0223MPa, 최소 0.0121MPa인 것을 확인할 수 있다. 그리고 코어의 두께가 200mm일 때에는 코어와 스킨의 경계면에서의 평균 전단응력이 최대 0.0189MPa, 최소 0.0118MPa인 것을 확인할 수 있다. 또한 이 값들에 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 그리고 이를 통해 코어의 두께가 150mm일 때에는 경계면에서 평균 0.0170MPa의 전단응력을 받을 때에 코어와 스킨이 탈락되었고, 두께가 200mm일 때에는 경계면에서 평균 0.0156MPa의 전단응력을 받을 때에 코어와 스킨이 탈락되었다고 할 수 있다. 결과적으로 이 값을 이용한다면 실험체의 변수를 다르게 하더라도 파괴하중을 합리적으로 예측할 수 있다고 판단된다. 또한 코어와 스킨의 접합방법(PU. Glue)을 개선하여 경계면에서 받을 수 있는 응력을 증가시킬 수 있다면 경계면에서의 조기박리를 방지하여 경량복합패널의 분포압강도에 대한 구조적 성능을 보다 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

바. 실험 결론

(1) 코어가 150mm인 실험체의 분포압강도 실험결과, TL-12-150 실험체 평균 최대하중은 4.03kN/m^{2}이며, 허용하중은 1.34kN/m^{2}이다. TL-14-150 실험체 평균 최대하중은 2.54kN/m^{2}이며, 허용하중은 0.85kN/m^{2}이다. TL-16-150 실험체 평균 최대하중은 1.61kN/m^{2}이며, 허용하중은 0.54kN/m^{2}이다.

(2) 코어가 200mm인 실험체의 분포압강도 실험결과, TL-12-200 실험체 평균 최대하중은 4.56kN/m^2이며, 허용하중은 1.52kN/m^2이다. TL-14-200 실험체 평균 최대하중은 3.28kN/m^2이며, 허용하중은 1.09kN/m^2이다. TL-16-200 실험체 평균 최대하중은 2.09kN/m^2이며, 허용하중은 0.70kN/m^2이다.

(3) 앞에서 예상했던 결과값과 같이 스팬이 늘어남에 따라 허용하중은 줄어들었고 코어 두께가 늘어날수록 허용하중은 증가되었다.

(4) 모든 실험체는 가장 큰 하중과 응력을 받는 실험체 길이방향 중앙부의 코어와 스킨 경계면에서의 조기 탈락에 의해 중단되었으며 이로 인해 실험결과로 측정된 최대하중은 재료 물성을 통해 계산한 파괴하중에 크게 못 미치는 값이다.

(5) 코어가 150mm인 실험체의 최대하중에 대한 경계면의 평균 전단응력은 큰 차이 없이 평균 0.0170MPa의 응력에서 경계면의 탈락이 발생하였으며, 코어가 200mm인 실험체의 최대하중에 대한 경계면의 평균 전단응력은 큰 차이 없이 평균 0.0156MPa의 응력에서 경계면의 탈락이 발생했다. 이 값을 통해 실험체의 길이에 따른 파괴하중을 예측이 가능하다.

(6) 코어와 스킨의 접합방법을 개선한하여 접합면의 조기박리를 방지할 수 있다면 경량 복합패널의 분포압 강도 성능이 증가할 것으로 판단된다.

2. 경량복합패널에 대한 구조성능 평가 - 면내 전단 강도

가. 실험 목적

○ 경량 복합 패널에 대한 구조 성능 평가를 위해 면내 전단 강도에 대한 실험을 진행하였다. 단위 패널에 대한 면내 전단 강도 실험을 통하여 구호주거가 재난환경에서 횡하중에 대해 저항할 수 있는 성능을 알아보고자 하였다. 또한 구호주거에 계획되어 있는 창문, 문과 같은 개구부가 있을 경우의 패널의 면내 전단 성능에 대해서도 실험을 진행하였다.

나. 실험 계획

(1) 실험 방법

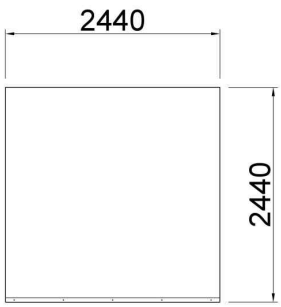
○ 경량 복합패널 실험을 위해 검토된 국내외 표준 실험 규격은 ASTM E72와 KS F 2273이다. 상기 표준 실험규격을 참고하여 패널에 대한 면내 전단 강도 실험을 진행하였다.

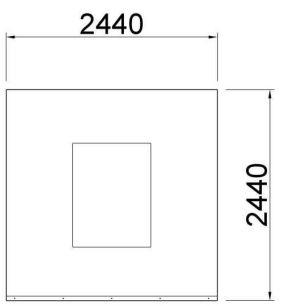
(2) 실험체 결정

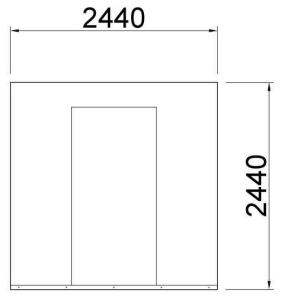
○ 면내전단강도 실험체는 아래에 나타나 있는 구호주거 계획을 바탕으로 결정되었다. 재난환경에서 이재민에게 적합한 환경을 제공할 수 있는 평면을 구성하였으며 이에

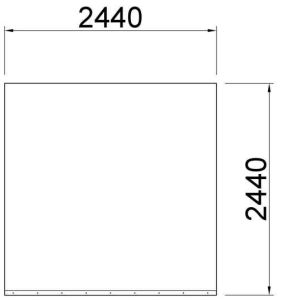
따라 구호주거를 구성하는 경량 복합패널의 면내전단강도를 측정하기 위해 아래의 실험 변수 표와 같이 실험체를 결정하였다.

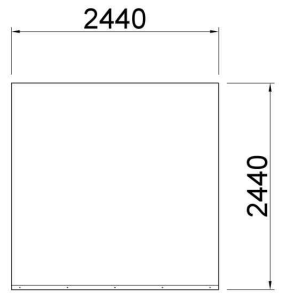
표 46. 실험 변수

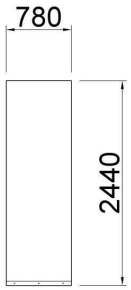
실험체 1		
	Size(mm)	2440x2440
	Opening (mm)	-
	Number of bolts(ea)	5
	Bolting interval(mm)	560
	Remarks	-

실험체 2		
	Size(mm)	2440x2440
	Opening (mm)	900x1200
	Number of bolts(ea)	5
	Bolting interval(mm)	560
	Remarks	-

실험체 3		
	Size(mm)	2440x2440
	Opening (mm)	1000x2100
	Number of bolts(ea)	5
	Bolting interval(mm)	560
	Remarks	-

실험체 4		
	Size(mm)	2440x2440
	Opening (mm)	-
	Number of bolts(ea)	9
	Bolting interval(mm)	280
	Remarks	-

실험체 5		
	Size(mm)	2440x2440
	Opening (mm)	-
	Number of bolts(ea)	5
	Bolting interval(mm)	560
	Remarks	No hold down No stopper

실험체 6		
	Size(mm)	780x2440
	Opening (mm)	-
	Number of bolts(ea)	3
	Bolting interval(mm)	290
	Remarks	-

○ 실험체 4는 실험체 하부 접합 부위의 볼트 간격을 280mm로 줄이고 볼트 개수를 9개로 늘려 하부 접합을 더 견고하게 한 실험체이다. 그리고 실험체 5는 기본 실험세팅에서 Hold-down과 Stopper를 제거하여 실험체만의 성능을 보기 위한 실험체이다. 또한 실험체 6은 개구부가 있는 실험체에서 개구부를 제외한 나머지 부분의 성능을 알아보기 위한 실험체이다.

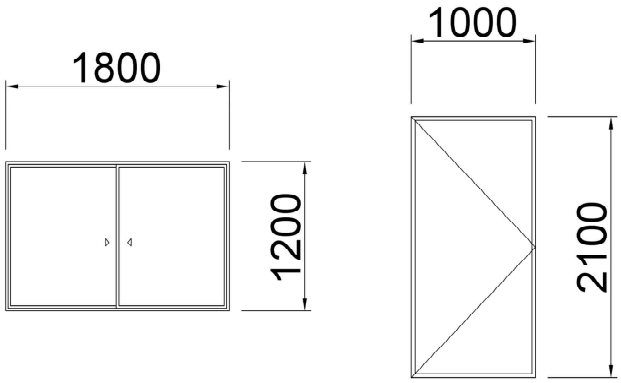


그림 69. 구호주거의 개구부

○ 실험체 2와 실험체 3은 위 그림에 나와있는 구호주거의 개구부를 적용한 실험체이다. 실험체 2는 기본 실험체 크기를 고려하여 창문의 절반 크기로 개구부를 두었으며, 실험체 3은 적용되는 문의 크기로 개구부를 뚫어 제작하였다.

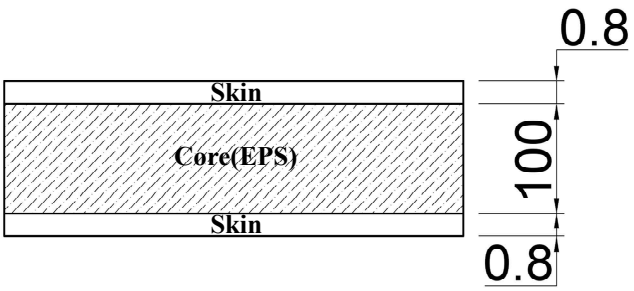


그림 70. 실험체 단면

○ 모든 실험체의 단면은 위 그림과 같다. 스킨재는 0.8mm이며, 코어의 EPS는 100mm로 구성되어 있다.

(3) 가력 방법

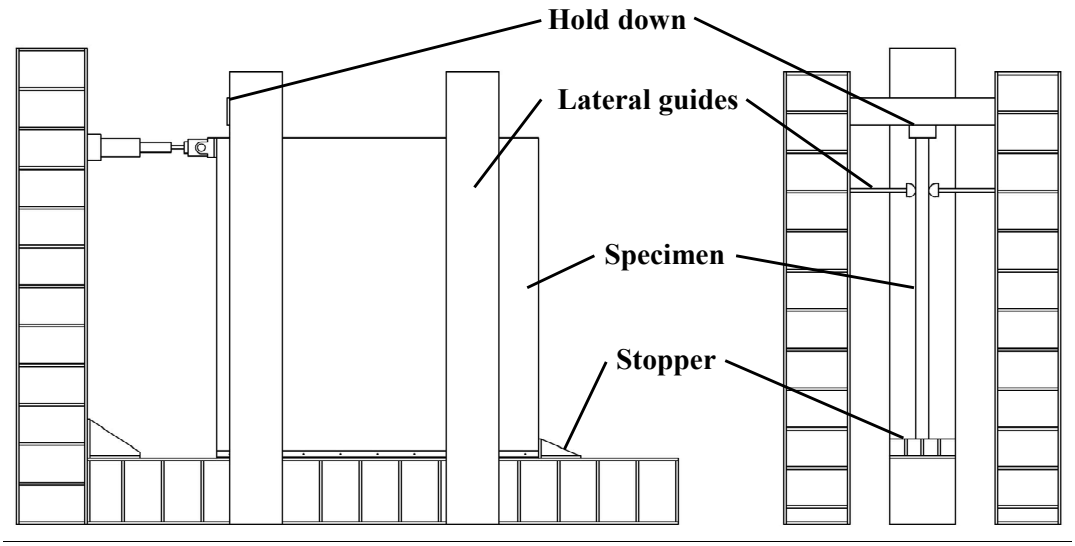


그림 71. 면내전단강도 실험 세팅

○ 면내전단강도 실험방법은 주로 ASTM E72에 따라 수행하였으며 실험세팅은 위 그림과 같다. 실험체의 상부를 가력하였으며 하부는 볼트로 고정하였다. 가력방향 외의 변위를 제어하기 위해 양 옆으로 철물을 설치하였고 하부에서 밀리는 변위를 제어하기 위해 실험체 하부에 철물을 설치하였다. 또한 실험체를 가력하는 동안 들리는 것을 잡아줄 수 있도록 상부에 Hold-down을 설치하였다.

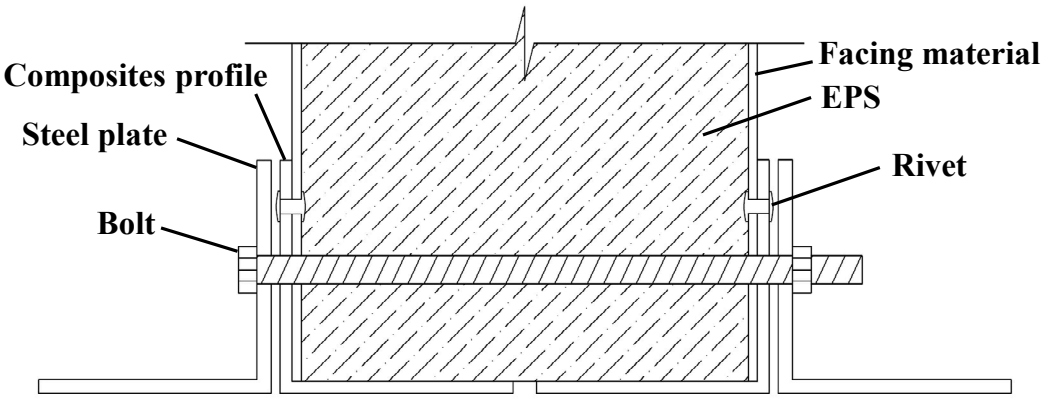


그림 72. 실험체 하부 고정 상세

○ 실험체 하단은 위 그림에 나타난 것처럼 실험실 바닥과 단단하게 고정된 L형 강판에 구멍을 뚫어 볼트를 관통하여 고정하였다. 그리고 실험체 하단부 볼트 접합부위에서 찢어지는 것을 방지하기 위하여 추가로 L형 프로파일을 패널 양 옆에 덧대어 부착하였다.

다. 실험결과 분석

(1) 실험체 강성 예측

○ 실험을 진행하기 이전에 실험체를 구성하는 재료들의 물성을 바탕으로 실험체에 대한 강성을 예측해 보았다. 강성을 계산하기 위해 실험을 단순화하여 휨 응력과 전단 응력에 대한 강성을 각각 계산하였다. 이 때, 휨 응력에 대해서 작용하는 힘을 P_a, 전단 응력에 대해서 작용하는 힘을 P_b라고 하였다.

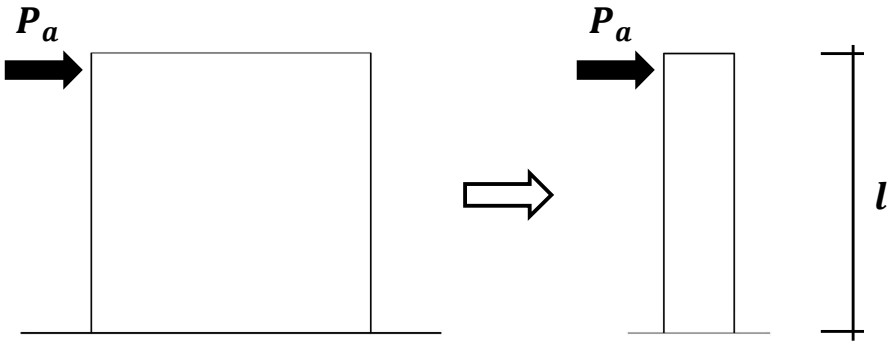


그림 73. 휨에 대한 실험체 단순화

우선 휨 응력에 대한 강성을 계산하기 위해 위 그림과 같이 실험체를 단순화하여 나타내었다. 실험을 단순화시켜 보면 오른쪽처럼 길이가 l인 캔틸레버와 같다고 볼 수 있다. 이 때, 작용하는 힘 P_a와 이로 인해 발생하는 변위 δ_a와의 관계는 식 (1)과 같다.

$$\delta_a = \frac{l^3}{3EI} P_a \quad - \text{식 (1)}$$

여기서, δ_a = 휨에 의해 발생한 변위

l = 실험체 높이

P_a = 가력 하중

E = 탄성계수

I = 단면2차모멘트

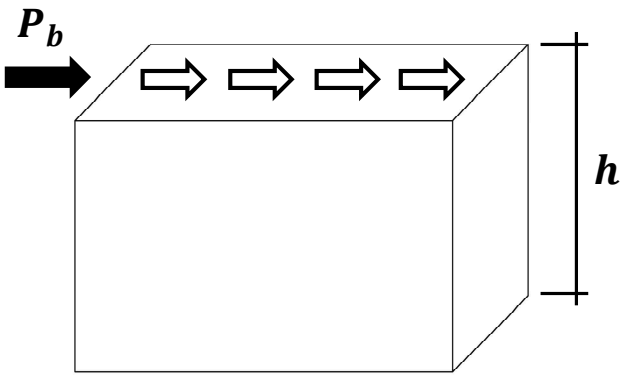


그림 74. 전단에 대한 실험체 단순화

위 그림은 전단 응력에 대한 강성을 계산하기 위해 본 연구에서 진행한 실험을 단순화한 그림이다. 여기서 작용하는 힘 P_b와 이로 인해 생기는 전단 변형을 δ_b라고 하였을 때 힘과 변형의 관계를 도출해 보았다.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad - \text{식 (2)}$$

여기서, τ= 평균전단응력
V= 전단력
A= 단면적

$$\tau = G\gamma \quad - \text{식 (3)}$$

여기서, τ= 전단응력
G= 전단탄성계수
γ= 전단변형률

$$\delta = \gamma h \quad - \text{식 (4)}$$

여기서, δ= 전단 변형
γ= 전단변형률
h= 변형 전 길이

위의 (2), (3), (4)를 종합하면 아래 식 (5)와 같이 정리할 수 있으며 힘과 전단 변형과의 관계를 나타낼 수 있다.

$$\delta_b = \frac{h}{GA} P_b \quad - \text{식 (5)}$$

여기서, δ_b= 전단력에 의해 발생한 변위
h= 실험체 높이
P_b= 가력 하중
G= 전단탄성계수
A= 단면적

식 (1)과 (5)에서 P_a 와 P_b는 같으며 두 변형량을 더하면 총 변형량으로 나타낼 수 있다.

$$\delta_{total} = \delta_a + \delta_b = \frac{l^3}{3EI} P_a + \frac{h}{GA} P_b \quad - \text{식 (6)}$$
$$= \left(\frac{l^3}{3EI} + \frac{h}{GA} \right) I$$

식 (6)을 힘에 대한 식으로 다시 정리하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다. 힘과 변위를 제외한 나머지 식을 K로 정리하였을 때, 이 K가 실험체의 강성이라고 할 수 있다.

$$P = \left\{ \frac{1}{\left(\frac{l^3}{3EI} + \frac{h}{GA} \right)} \right\} \delta_{total} \quad \text{- 식 (7)}$$
$$= K \times \delta_{total}$$

여기서, K= 강성

따라서 식 (7)에 따라 실험체의 강성을 예측하였다. 실험체 1~5는 크기가 같으므로 강성도 같다고 보았으며, 실험체 6의 강성은 따로 나타내었다.

표 47. 실험체 예상 강성

실험체	강성(N/mm)
실험체 1~5	5045.41
실험체 6	246.31

(2) 실험 수행 및 결과분석

○ 가력 방법

면내전단강도 실험 세팅은 아래 그림과 같다. 앞에서의 실험 계획과 동일하게 실험을 진행하였다. 실험 간 변위를 측정하기 위해 LVDT를 설치하였으며, 설치 위치는 아래와 같다.

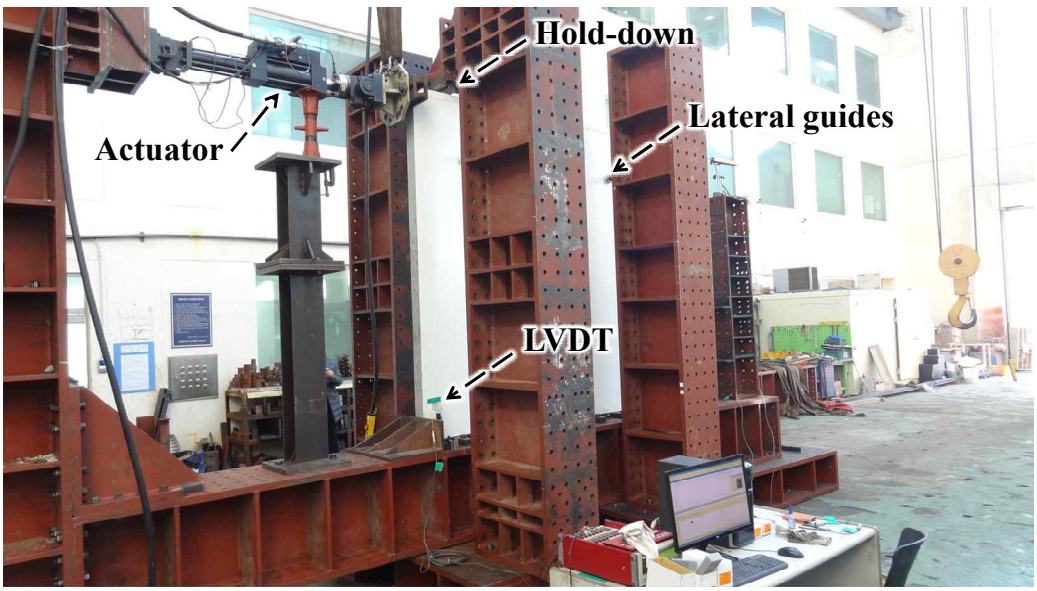


그림 75. 실험체 세팅

실험은 변위제어방식으로 진행되었으며 액츄에이터를 이용하여 분당 3mm의 속도로 가력하였다.

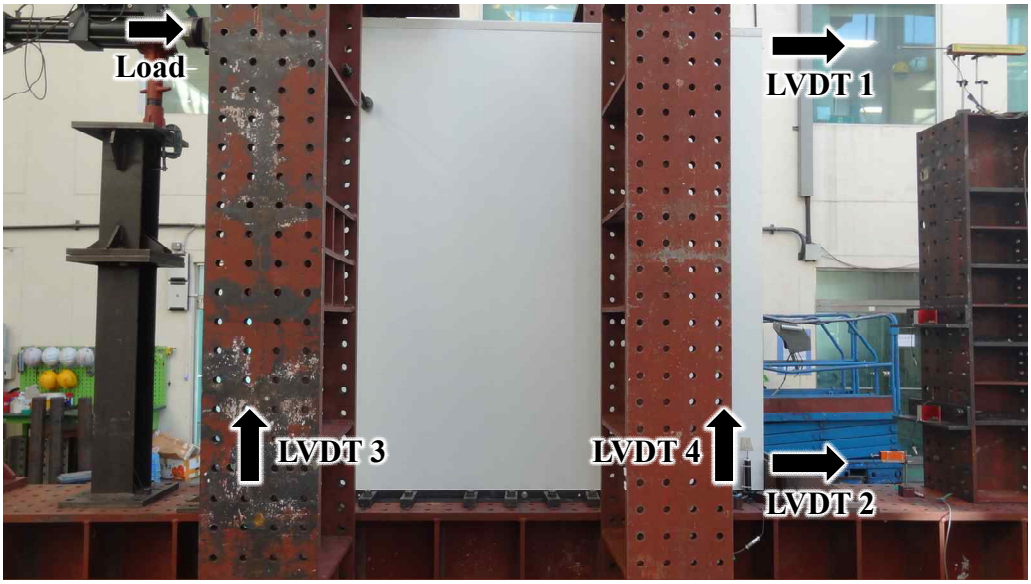


그림 76. LVDT 설치 위치

위 그림은 LVDT 설치 위치를 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 총 4개의 LVDT를 설치하였으며, 각각의 LVDT는 화살표 방향으로의 변위를 측정하였다. 실험 결과에서의 변위 값은 실험 간 실험체가 뜨는 변위와 회전하게 되는 변위를 뺀 값으로 아래 식 (8)과 같이 구한 값을 사용하였다.

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 - (\Delta_3 - \Delta_4) \quad \text{- 식 (8)}$$

여기서, Δ = 실제 변위

Δ_1 = LVDT1에서 측정된 변위

Δ_2 = LVDT2에서 측정된 변위

Δ_3 = LVDT3에서 측정된 변위

Δ_4 = LVDT4에서 측정된 변위

○ 실험 결과

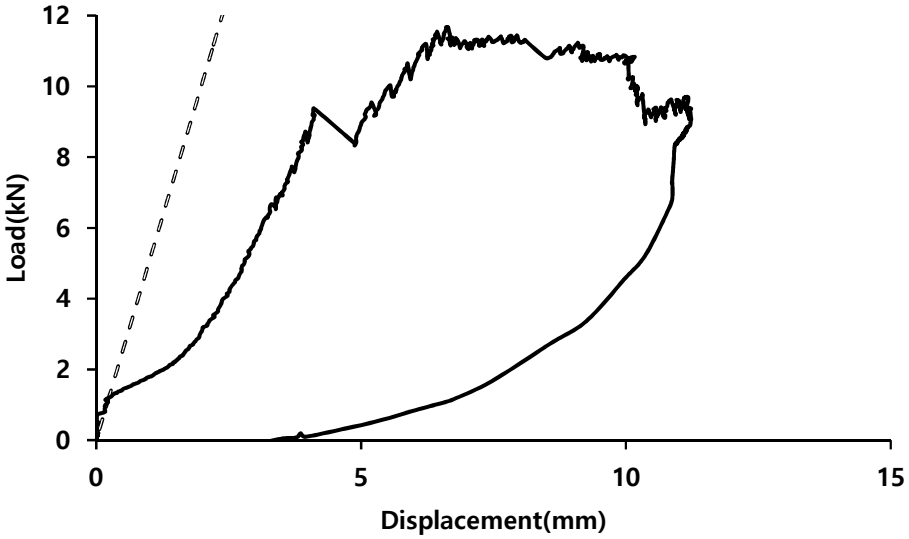


그림 77. 실험체 1의 하중-변위 그래프

위 그림은 실험체 1의 하중-변위 그래프이다. 실험체 1은 크기가 (2440 × 2440)mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 그리고 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 5개이다. 그래프에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 뒤로 갈수록 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 5mm부근에서 하중이 떨어지는 것을 확인할 수 있는데 이는 가력 부위에서 국부적인 파괴가 처음으로 발생한 시점이다. 실험체 1이 받은 최대하중은 11.67kN이며, 이때의 변위는 6.64mm이다.

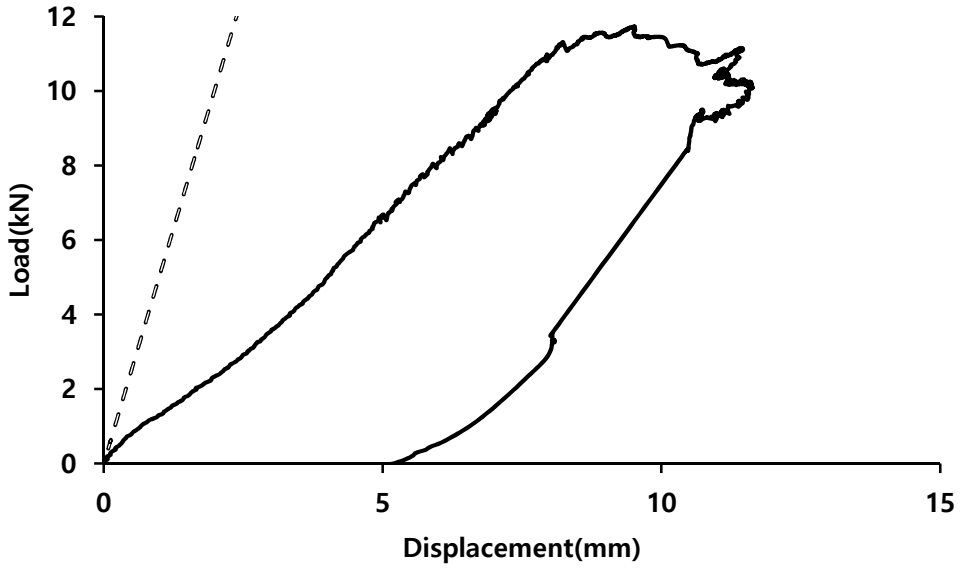


그림 78. 실험체 2의 하중-변위 그래프

위 그림은 실험체 2의 하중-변위 그래프이다. 실험체 2는 크기가 (2440 × 2440)mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 그리고 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 5개이다. 또한 (900 × 1200)mm의 개구부가 있는 실험체이다. 그래프에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 실험체 1과 달리 예상 강성과 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 개구부로 인하여 전체적인 변형이 발생하기 때문인 것으로 보인다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 2가 받은 최대하중은 11.73kN이며, 이때의 변위는 9.53mm이다.

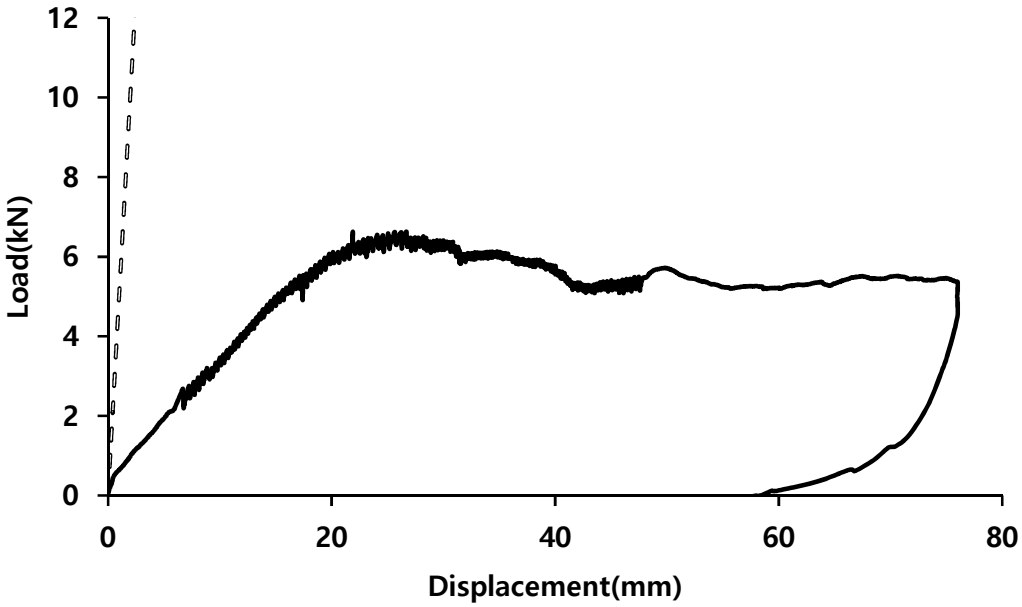


그림 79. 실험체 3의 하중-변위 그래프

위 그림은 실험체 3의 하중-변위 그래프이다. 실험체 3은 크기가 (2440 × 2440)mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 그리고 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 5개이다. 또한 (1000 × 2100)mm의 개구부가 있는 실험체이다. 그래프에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 실험체 3의 그래프를 보면 예상 강성과 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 개구부로 인하여 전체적인 변형이 발생하기 때문인 것으로 보인다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 3이 받은 최대하중은 6.63kN이며, 이때의 변위는 21.91mm이다.

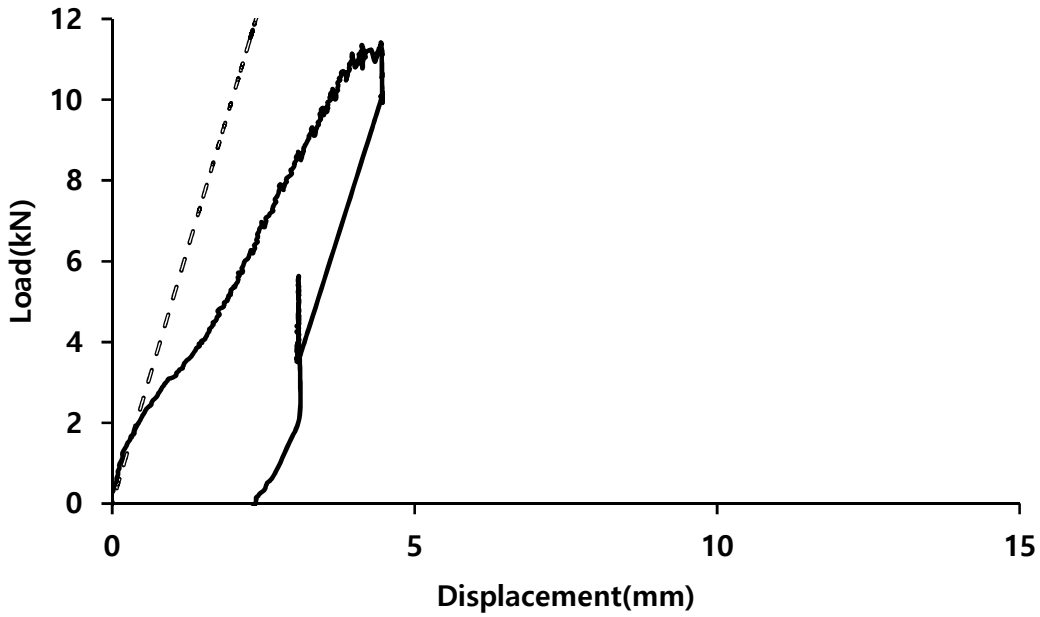


그림 80. 실험체 4의 하중-변위 그래프

위 그림은 실험체 4의 하중-변위 그래프이다. 실험체 4는 크기가 (2440 × 2440)mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 그리고 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 9개이다. 그래프에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 뒤로 갈수록 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 4가 받은 최대하중은 11.41kN이며, 이때의 변위는 4.44mm이다.

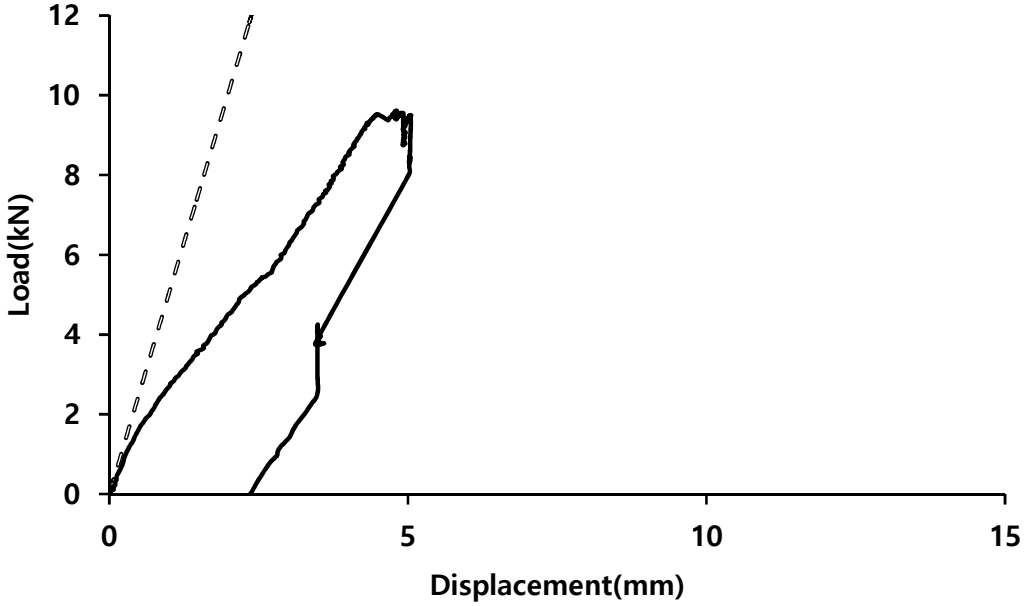


그림 81. 실험체 5의 하중-변위 그래프

위 그림은 실험체 5의 하중-변위 그래프이다. 실험체 5는 크기가 (2440 × 2440)mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 그리고 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 5개이며 다른 실험체와 다르게 실험체가 뜨는 것을 막아주는 철물과 뒤로 밀리는 것을 막아주는 철물을 제거한 실험체이다. 그래프에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 뒤로 갈수록 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 5가 받은 최대하중은 9.61kN이며, 이때의 변위는 4.81mm이다.

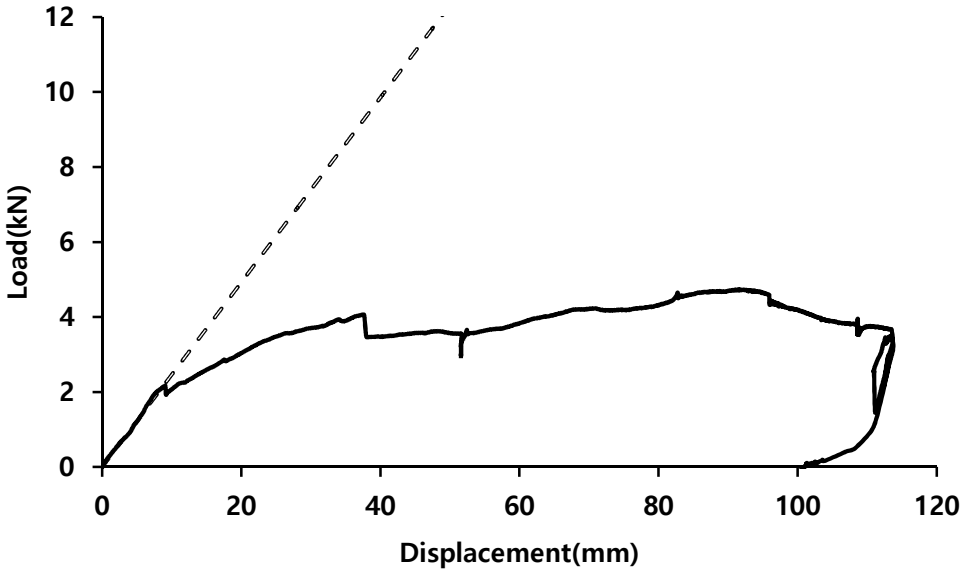


그림 82. 실험체 6의 하중-변위 그래프

위 그림은 실험체 6의 하중-변위 그래프이다. 실험체 6은 크기가 (780 × 2440)mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 그리고 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 3개이다. 그래프에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 뒤로 갈수록 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 6이 받은 최대하중은 4.74kN이며, 이때의 변위는 91.51mm이다.

○ 실험체별 비교 분석

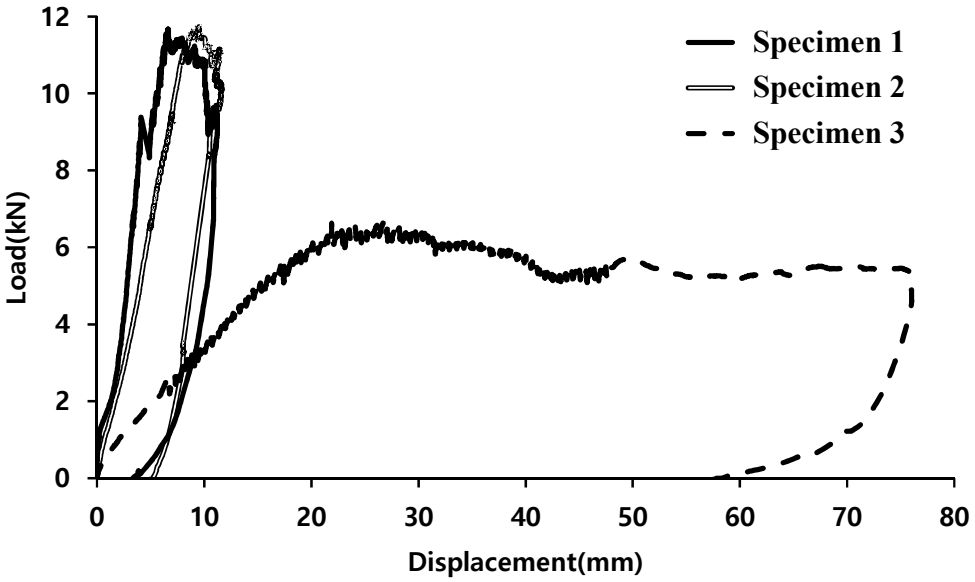


그림 83. 실험체 1, 2, 3의 비교

위 그림은 실험체 1, 2, 3의 하중-변위 그래프를 함께 나타낸 것이다. 이 실험체들은 모두 크기는 같으나 실험체 2는 (900 × 1200)mm의 개구부가 있으며, 실험체 3은 (1000 × 2100)mm의 개구부가 있는 실험체이다. 세 개의 실험체는 모두 실험체 가력부위에서 스킨이 찢어지면서 실험이 종료되었다. 실험체 1과 실험체 2의 최대 강도는 비슷하나 전체적인 강성은 실험체 1이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 실험체 3은 강성이 작으며 변형이 현저하게 크게 나타났는데, 이는 큰 개구부로 인해 실험체가 전체적으로 변형이 발생하였기 때문으로 볼 수 있다.

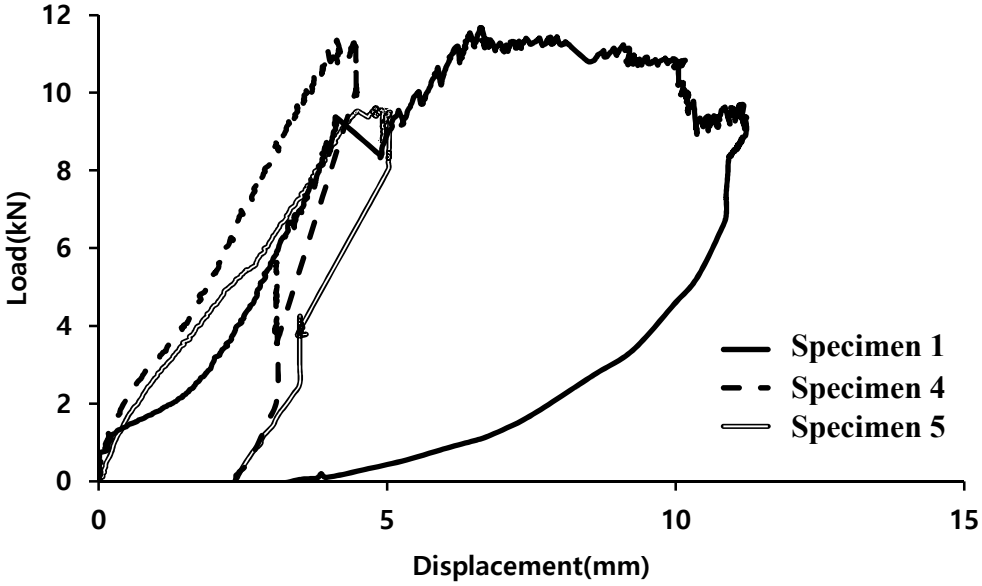


그림 84. 실험체 1, 4, 5의 비교

위 그림은 실험체 1, 4, 5의 하중-변위 그래프를 함께 나타낸 것이다. 이 실험체들은 모두 크기는 같으나 실험체 4는 실험체 1의 세팅에서 하단의 볼트 접합 개수를 5개에서 9개로 증가시킨 실험체이며, 실험체 5는 실험체 1의 세팅에서 Hold-down과 Stopper를 제거한 실험체이다. 세 개의 실험체는 모두 실험체 가력부위에서 스킨이 찢어지면서 실험이 종료되었다. 실험체 1과 실험체 4의 최대 강도는 비슷하나 전체적인 강성은 실험체 4가 더 크며, 변형은 실험체 1이 더 많이 발생한 것을 확인할 수 있다. 이와 비교하여 실험체 5는 실험체의 회전과 밀림을 막아주는 철물을 제거하였기 때문에 실험체 1, 4에 비하여 최대 강도가 더 작은 것을 볼 수 있다,

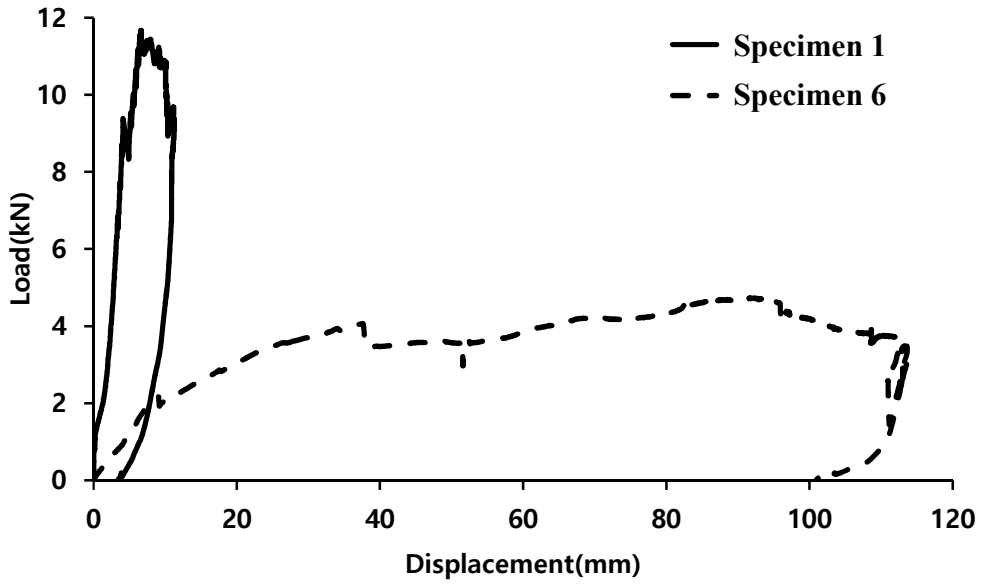


그림 85. 실험체 1과 6의 비교

위 그림은 실험체 1, 6의 하중-변위 그래프를 함께 나타낸 것이다. 실험체 1의 크기는 (2440 × 2440)mm이며, 실험체 6의 크기는 (780 × 2440)mm이다. 실험체 1의 크기는 실험체 6의 크기의 약 3배라고 할 수 있다. 실험체 1의 최대 강도는 11.67kN이며, 실험체 6의 최대 강도는 4.74kN이다. 실험체 1은 실험체 6에 비해 약 3배의 강도를 나타내었으며, 이는 실험체의 강도가 길이에 비례한다고 볼 수 있다.

모든 실험결과를 종합해 보면 실험체의 파괴하중에 기여하는 패널의 면적이 패널의 파괴하중과 비례한다고 할 수 있다. 이를 정량적으로 확인하기 위해 패널에 파괴하중 $P_{\max}$가 작용할 때 전단응력에 기여한 패널의 면적을 A라고 한다면 패널의 극한전단응력을 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ult} = \frac{P_{\max}}{A} \qquad \text{- 식 (9)}$$

여기서, τ_{ult} = 패널의 극한전단응력
$P_{\max}$ = 패널의 파괴하중
A = 전단응력에 기여한 패널 면적

식 (9)을 통해 실험체별 파괴하중과 전단응력에 기여한 패널 면적 그리고 극한전단응력을 산정하여 표 43에 나타내었다.

표 48. Allowable shear stress

실험체	Maximum Load (P, N)	Effective area (A, mm²)	Allowable shear stress (τ_{allow}, N/mm²)
실험체 1	11,670	244,000	0.048
실험체 2	11,730	244,000	0.048
실험체 3	6,630	144,000	0.046
실험체 4	11,410	244,000	0.047
실험체 5	9,610	244,000	0.039
실험체 6	4,070	77,000	0.053

표 43의 실험체별 극한전단응력을 보면, 모든 실험체가 0.039 ~ 0.053N/mm²으로 유사한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 경량 복합패널의 극한전단응력의 평균은 0.047N/mm² 이며 이는 오차가 매우 작아 유효한 값이라고 말할 수 있다. 따라서 이 값을 통해 패널의 면내전단강도를 합리적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

라. 실험 결론

(1) 실험 결과 모든 실험체는 가력 부분의 패널이 찢어지면서 실험이 종료되었다. 실험체의 초기 강성은 어느 정도 예측이 가능하였으나 패널의 특성상 국부적인 찌그러짐과 찢어짐 등

은 예측이 어려웠다.

(2) 실험체 1, 2, 3은 실험체에 개구부를 두었을 때의 성능을 알아보기 위한 실험체들이다. 개구부가 (900 × 1200)mm인 실험체는 개구부가 없는 실험체와 강도는 크게 다르지 않았으나 개구부 부분에서의 변형으로 인해 강성이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 개구부가 (1000 × 2100)mm로 커지게 되면 실험체의 강도가 크게 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 구호주거에서 개구부가 들어가게 되는 부위에는 추가적인 보강이 필요하며 국부적인 변형이 발생하는 것을 방지하기 위한 방안이 필요하다.

(3) 실험체 1, 4, 5는 모두 크기는 같으나 실험 세팅이 다른 실험체이다. 실험체 4는 하단 고정을 더 단단히 세팅하였으며 실험체 5는 Hold-down과 Stopper를 제거한 실험체이다. 이를 통해 패널의 하단을 더 단단히 고정할수록 강도는 달라지지 않으나 강성이 증가하며 변형이 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 회전이나 밀리는 변형을 잡아주지 않는다면 강도가 저하되는 것을 확인하였다. 따라서 패널을 설치할 때 실험체가 회전되거나 밀리는 것을 막을 수 있도록 단단히

고정시켜야 한다는 것을 확인하였다.

(4) 실험체 1, 6을 통해 실험체의 길이에 따른 강도를 확인할 수 있었다. 실험체 1의 길이는 실험체 6의 길이의 약 3배이며, 실험을 통해 측정된 강도 또한 약 3배로 나타났다. 이를 통해 경량복합패널의 강도는 실험체의 길이에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있었으며, 길이에 따른 실험체의 강도를 합리적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

(5) 모든 실험결과를 종합하여 패널의 최대하중과 그 하중이 작용하는 면적이 비례한다는 것을 확인하였다. 힘과 면적의 관계를 이용하여 각 실험체의 극한전단응력을 계산하였으며, 모든 실험체의 극한전단응력이 큰 차이 없이 일정한 값으로 계산되는 것을 확인하였다. 모든 실험체의 평균 극한전단응력은 0.047N/mm²이며, 이를 통해 패널의 면내전단강도를 합리적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 경량복합패널에 대한 구조성능 평가 - 시스템 성능(접합부)

가. 실험 목적

○ 본 실험에 앞서 단일 경량복합패널에 대한 분포압강도와 면내전단강도에 대한 실험을 진행했다. 따라서 본 실험에서는 경량 복합패널로 구성된 구조체의 횡하중에 대한 저항 성능을 알아보고자 하였다. 재난환경에 적합한 구호주거를 제공하기 위해 횡하중 가운데 풍하중과 지진하중에 대한 저항 성능을 알아보기 위해 실험을 진행하였다.

나. 실험 계획

(1) 실험체 결정

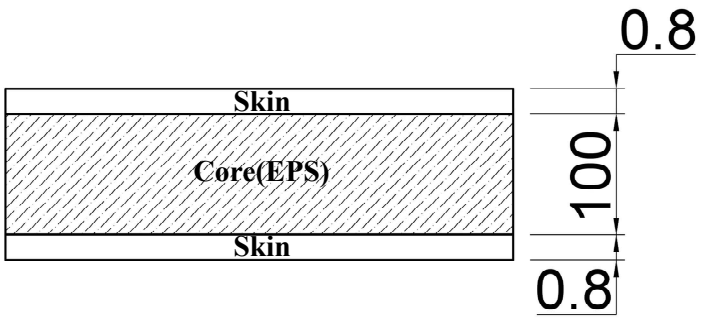


그림 86. 실험체 단면

○ 경량 복합패널로 구성된 실험체는 그림과 같이 코어의 EPS가 100mm, 스킨은 0.8mm인 패널을 이용하여 제작되었다.

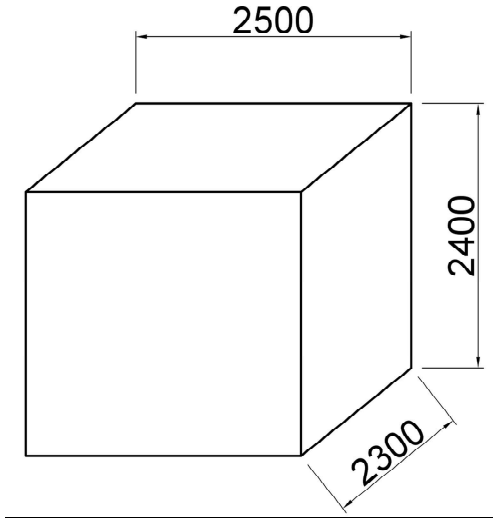


그림 87. 실험체 크기

○ 실험체는 모두 그림과 같이 크기가 (2500 × 2300 × 2400)mm이며 아래가 뚫린 직육면체이다. 실험체의 크기는 실험실의 여건을 고려하여 결정되었다.

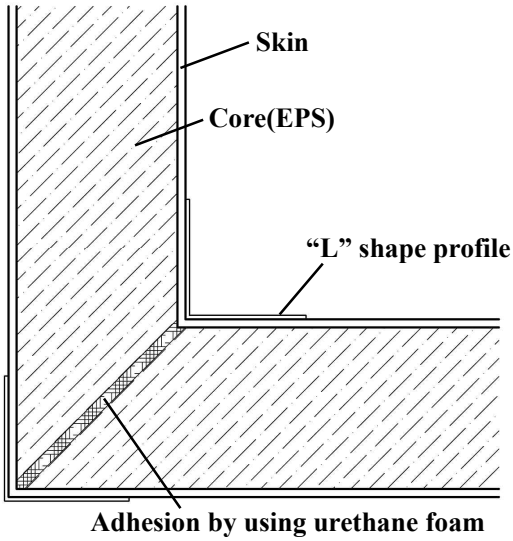


그림 88. 기본 실험체 접합부 상세

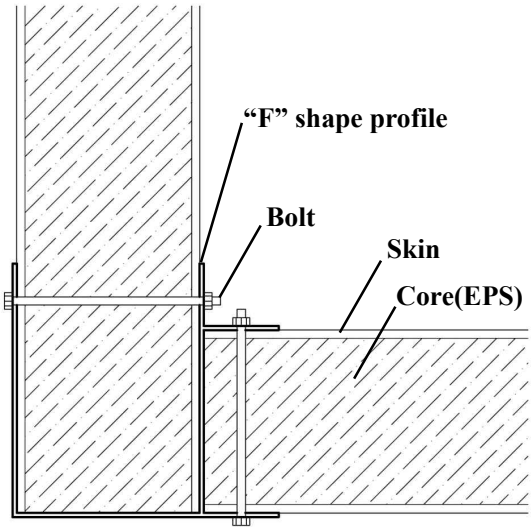


그림 89. F 실험체 접합부 상세

○ 실험체는 총 3개이며, 패널의 접합부를 변수로 하여 실험을 진행하였다. 기본 실험체는 패널을 사선으로 교차 접합시키며 그 사이에는 우레탄 접합제로 접착을 한 뒤, “L″형 프로파일을 내부와 외부에 덧대어 접합하는 방식이다. 접합 상세는 위 그림과 같다.

○ F 실험체는 패널들이 F자 모양의 프로파일을 이용하여 접합된다. 접합 상세는 위 그림과 같다.

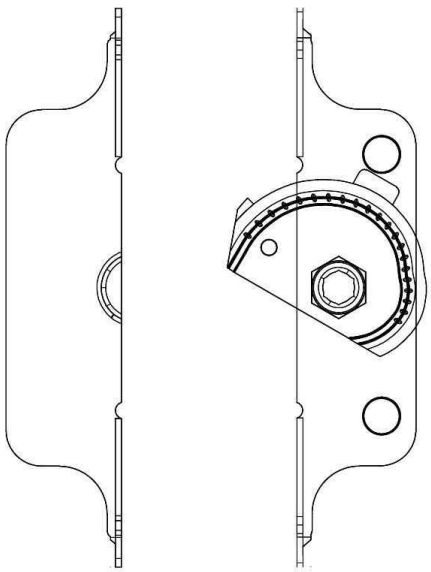


그림 90. 실험에서 사용된 캠락

○ 캠락 실험체는 패널들이 캠락을 이용하여 접합되는 실험체이다. 실험에 사용된 캠락은 위 그림과 같다.

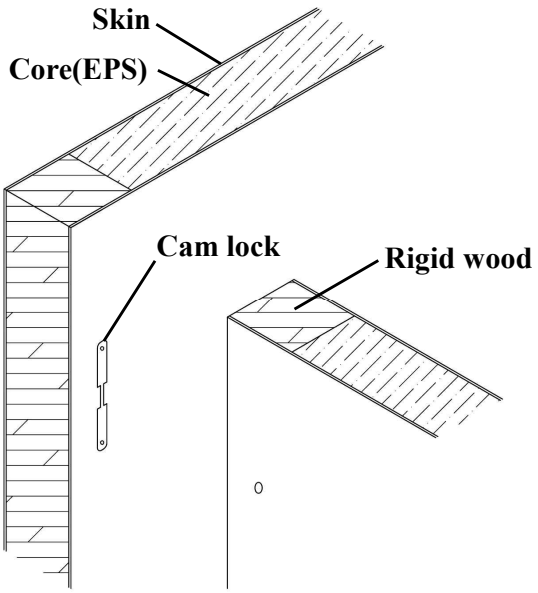


그림 91. 캠락 실험체 접합 방식

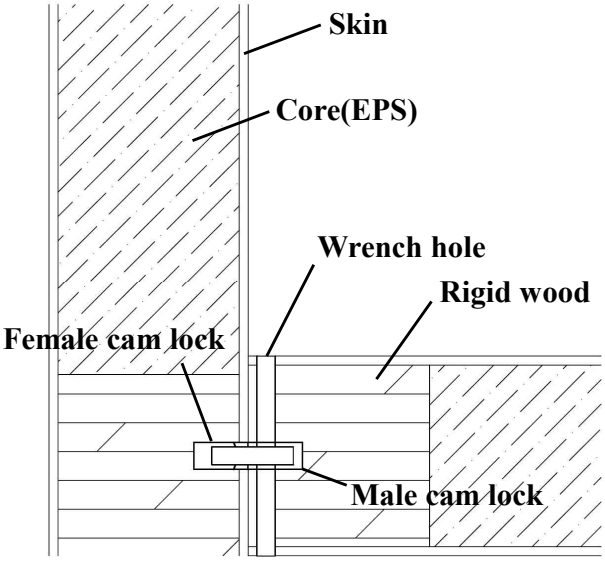


그림 92. 캠락 실험체 접합부 디테일

○ 위의 그림은 캠락 실험체의 접합 방법과 접합부에 대한 상세를 나타내고 있다. 위 그림에서 볼 수 있는 것처럼 패널 단부에 단단한 나무를 설치하고 내부에 캠락을 심는 방식으로 제작 되었으며 패널을 접합할 때에는 미리 뚫어놓은 렌치 구멍을 통해 고정하였다.

(2) 실험 방법

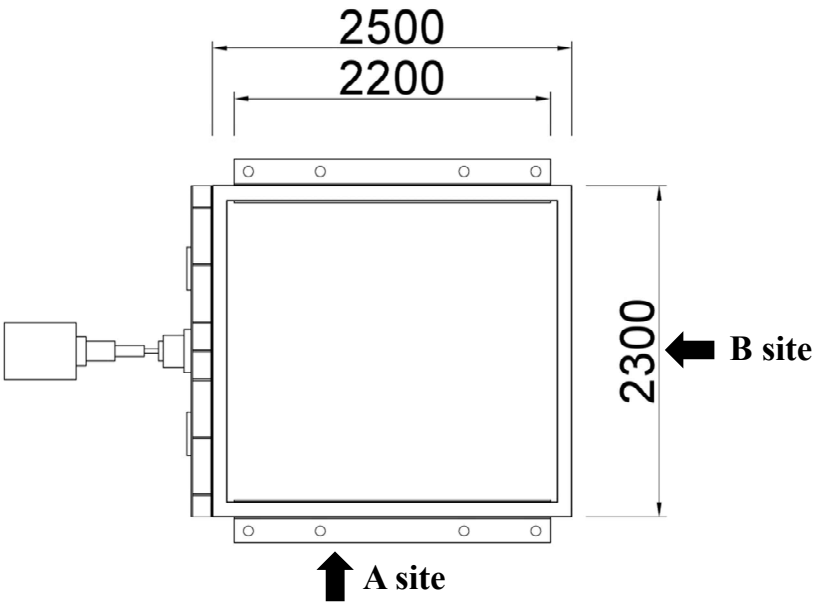


그림 93. 실험 세팅을 위에서 본 모습

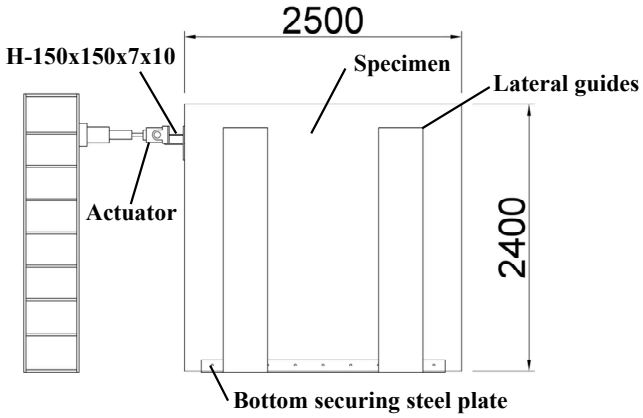


그림 94. A 방향에서 본 실험 세팅

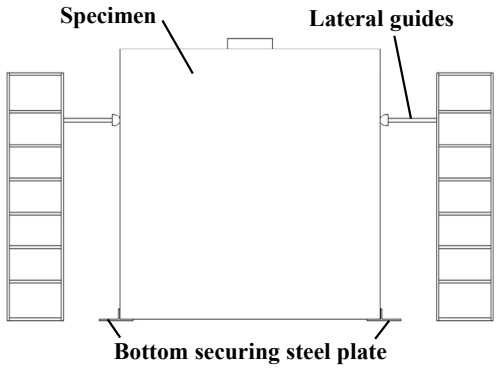


그림 95. B 방향에서 본 실험 세팅

○ 경량 복합패널로 구성된 복합체에 대한 횡력 가력 실험을 위해 위 그림과 같이 실험을 계획하였다. 실험체 H형강(H-150 × 150 × 7 × 10)을 통해 가력되며, 양 옆으로는 면 외 방향으로의 변위를 잡아주는 가이드를 설치하였다.

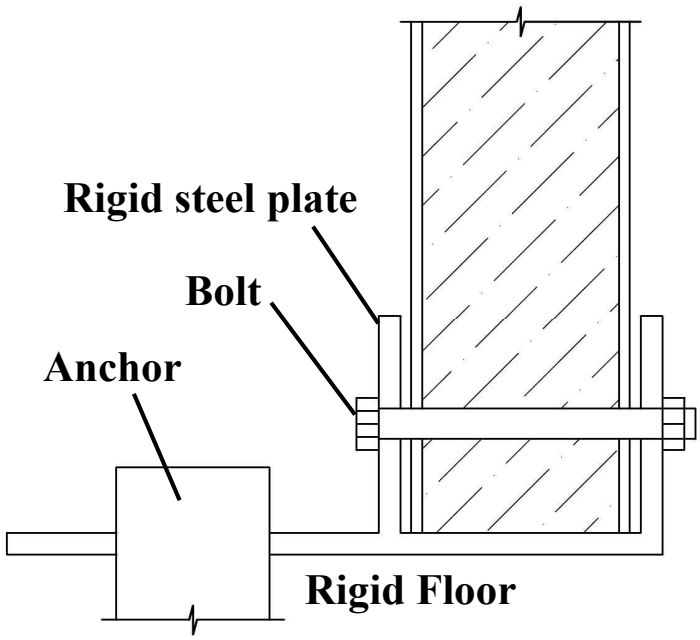


그림 96. 실험체 하단 고정 상세

○ 실험체는 아래가 뚫려 있는 직육면체 형태이며, 실험체 양쪽 하단은 제단한 철물을 이용해 실험실 바닥과 단단하게 고정하였다. 위 그림에 실험체와 실험실 바닥을 고정한 모습을 나타내었다. 기존에 실험실 바닥에 뚫려 있는 앵커 구멍과 제작한 철물을 앵커를 이용해 고정하였으며, 철물과 실험체는 볼트를 관통하여 체결하였다.

다. 실험 결과

(1) 실험 세팅 및 결과

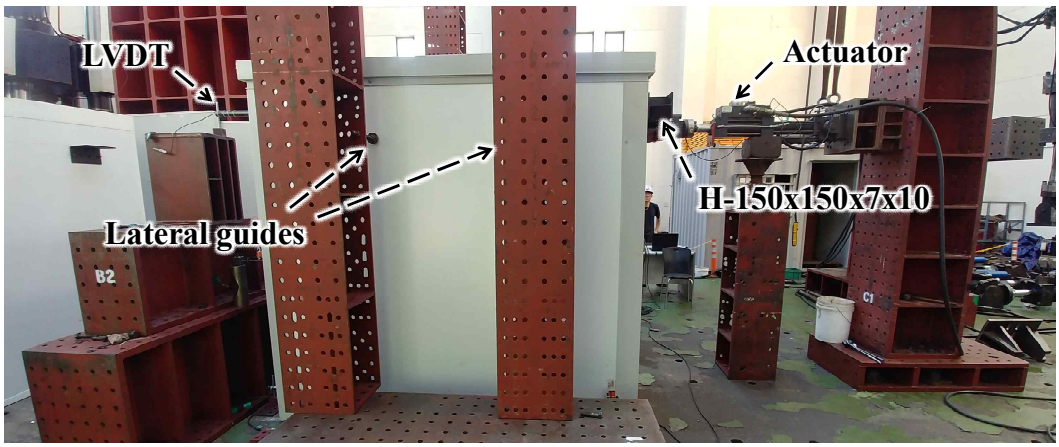


그림 97. 실험체 세팅

○ 실험 세팅은 위 그림과 같다. 앞에서의 상세를 따라 세팅되었다. 실험 간 변위를 측정하기 위해 상단 양쪽에 LVDT를 설치하였으며, 결과로 나타낸 변위 값은 두 개의 LVDT에서 측정된 상부 변위의 평균값이다.

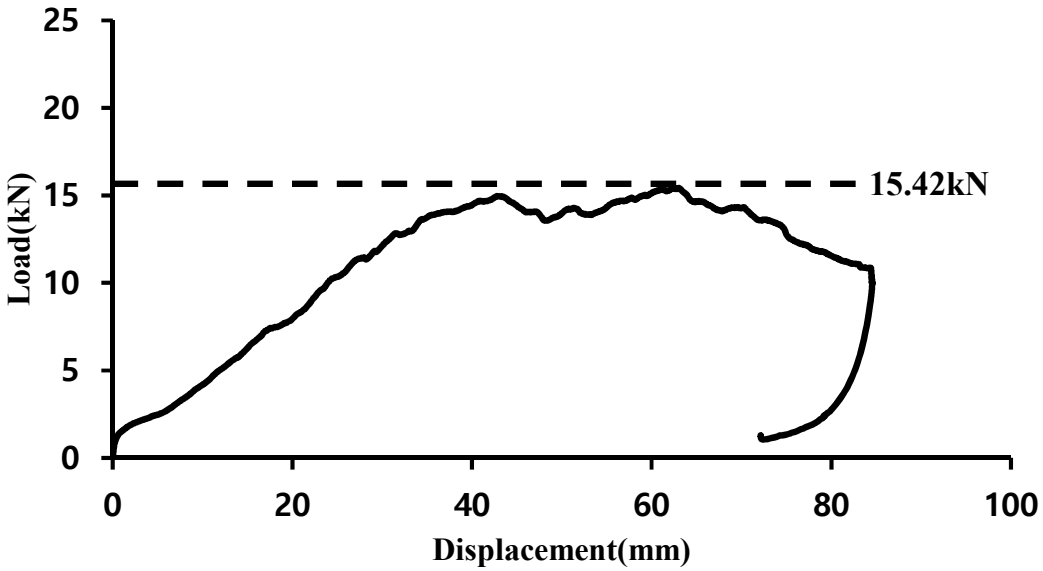


그림 98. 기본 실험체의 하중-변위 그래프

○ 위 그래프는 기본 실험체의 하중-변위 그래프이다. 기본 실험체는 패널을 사선으로 교차시켜 우레탄으로 접착하고 "L"형 프로파일을 내외부에 덧대어 접합한 실험체이며, 크기는 (2500 × 2400 × 2300)mm인 실험체이다. 실험결과 실험체가 받은 최대하중은 15.42kN이며, 이 때 실험체에 발생한 변위는 84.55mm이다. 실험체의 하단 고정

부분에서 볼트로 체결된 부분이 찢겨져 나가면서 실험은 종료되었다. 아래 그림은 실험이 종료된 후의 실험체 하단 모습이다.



그림 99. 기본 실험체의 실험 종료 후 모습

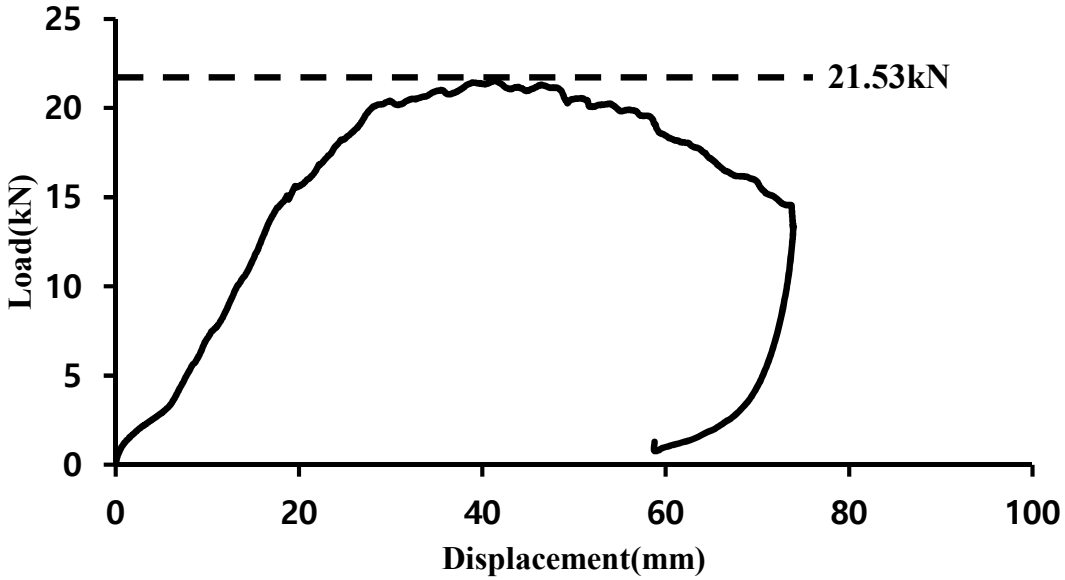


그림 100. F 실험체의 하중-변위 그래프

○ 위 그래프는 F 실험체의 하중-변위 그래프이다. F 실험체는 패널을 F자형 프로파일을 이용해 접합한 실험체이며, 크기는 (2500 × 2400 × 2300)mm인 실험체이다. 실험결과 실험체가 받은 최대하중은 21.53kN이며, 이 때 실험체에 발생한 변위는 73.91mm이다. 실험체의 하단 고정 부분에서 볼트로 체결된 부분이 찢겨져 나가면서 실험은 종료되었다. 아래 그림은 실험이 종료된 후의 실험체 하단 모습이다.



그림 101. F 실험체의 실험 종료 후 모습

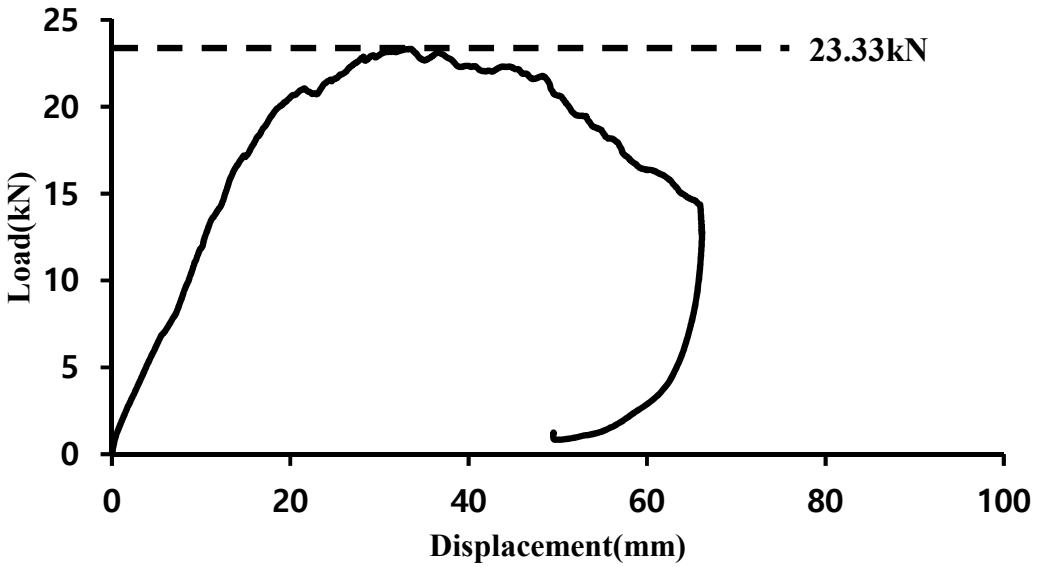


그림 102. 캠락 실험체의 하중-변위 그래프

○ 위 그래프는 캠락 실험체의 하중-변위 그래프이다. 캠락 실험체는 패널을 캠락을 이용해 접합한 실험체이며, 크기는 (2500 × 2400 × 2300)mm인 실험체이다. 실험결과 실험체가 받은 최대하중은 23.33kN이며, 이 때 실험체에 발생한 변위는 66.17mm이다. 실험체의 하단 고정 부분에서 볼트로 체결된 부분이 찢겨져 나가면서 실험은 종료되었다. 아래 그림은 실험이 종료된 후의 실험체 하단 모습이다.



그림 103. 캠락 실험체의 실험 종료 후 모습

(2) 실험체 횡하중 산정

○ 본 실험의 목적은 경량 복합패널로 구성된 결합체에 대한 횡하중 저항 성능을 평가하는 것이며, 이에 따라 실험체에 발생하는 횡하중을 산정하였다. 재난환경에서 발생할 수 있는 풍하중과 지진하중을 각각의 실험체에 따라 산정하였다.

○ 풍하중

각 실험체에 대한 풍하중은 KBC 2016 기준에 따라 산정하였다. KBC 2016에서는 작은 규모 건축물을 대상으로 한 간편법에 따른 풍하중 산정법을 제공하고 있다. 간편법을 적용할 수 있는 조건은 다음과 같다.

1) $H \leq 20m$
2) $H/\sqrt{BD} \leq 1.0$ 또는 $H/\sqrt{A_f} \leq 1.0$
3) 형상이 정형적이고, 단면은 대칭에 가까워야 함

여기서, $H=$ 건축물의 기준높이(m)
$B=$ 건축물의 대표폭(m)
$D=$ 건축물의 깊이(m)
$A_f=$ 건축물의 기준층 바닥면적(m^2)

실험체는 위의 조건을 만족하기 때문에 작은 규모 건축물을 대상으로 하는 간편법을 이용하여 풍하중을 산정할 수 있다. 간편법은 식 (1)과 같다.

$$W_{SF} = 0.25\, V_0^2 H^{0.44} C_e C_f A \quad - \text{식 (1)}$$

여기서, W_{SF} = 간편법에 따른 풍하중(N)

V_0 = 기본풍속(m/s)

H= 건축물의 기준높이(m)

C_e = 건설지 주변의 지표면 상황에 따라 정하는 환경계수로 통상 1.0을 사용하고, 장애물이 없는 평탄지인 경우에는 1.5, 해안가인 경우에는 2.0으로 한다.

$C_f = C_{pe1} - C_{pe2}$ = 풍력계수

A = 유효수압면적(m^2)

식 (1)에서 기본풍속 V_0는 우리나라에서 제주도와 울릉도를 제외하고 가장 큰 부산지역의 풍속인 $38m/s$로 계산하였으며, 환경계수 C_e는 해안가를 제외하여 1.5로 계산하였다.

○ 지진하중

각 실험체에 대한 지진하중은 KBC 2016 중 등가정적해석법에 따라 산정하였다.
등가정적해석법에 따른 밑면전단력은 식 (2)를 통해 산정된다. 산정 과정에서
지진구역계수는 지진이 큰 곳으로 가정하여 0.22g로 결정하였으며, 지반은 우리나라에 가장 많이 분포하고 있는 Sc 지반으로 결정하였다.

$$V = C_s W \quad \text{- 식 (2)}$$

여기서, C_s = 식 (3)에 따라 산정한 지진응답계수

W= 고정하중(유효 건물 중량)

식 (2)에서 지진응답계수 C_s는 식 (3)을 통해 산정할 수 있다.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left[\frac{R}{I_E}\right]T} \geq \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_E}\right]} \geq 0.01 \quad \text{- 식 (3)}$$

여기서, C_s = 지진응답계수

I_E = 건축물의 중요도계수

R= 반응수정계수

S_{DS} = 단주기 설계스펙트럼가속도

S_{D1} = 주기 1초에서의 설계스펙트럼가속도

T= 식 (4)에 따른 건축물의 고유주기

식 (3)에서의 건축물의 고유주기 T는 근사고유주기를 구하는 식 (4)에 의해 계산할 수 있다.

$$T_a = C_T h_n^{3/4} \quad - \text{ 식 (4)}$$

여기서, T_a = 근사고유주기

C_T = 0.085 : 철골모멘트골조

= 0.073 : 철근콘크리트 모멘트골조

= 0.049 : 그 외 다른 모든 건축물

h_n = 건축물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체높이(m)

○ 실험체 횡하중 종합

위의 과정을 통해 산정한 실험체 별 횡력은 다음 표와 같다. 지게차를 이용해 3개의 실험체의 중량을 측정하였다. 각 실험체의 지진하중은 이 중량을 반영한 값이다.

표 49. 실험체별 횡하중

Specimen	Wind load(kN)		Seismic load(kN)
Base specimen	Long	5.25	1.32
	Short	4.83	
"F" specimen	Long	5.25	1.37
	Short	4.83	
Cam lock specimen	Long	5.25	1.89
	Short	4.83	

산정한 횡하중은 각 실험체가 실험을 통해 받은 최대 하중에 비해 매우 작은 값임을 확인할 수 있다. 경량 복합패널로 구성된 실험체이기 때문에 질량이 작기 때문에 산정한 횡하중에서 풍하중이 지진하중보다 더 큰 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 경량 복합패널을 이용해 제작되는 재난 구호주거는 지진하중 보다는 풍하중에 더 큰 영향을 받으나, 패널의 횡하중 저항성능은 풍하중보다 더 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 패널의 하단 고정 방식을 개선하여 더 단단하게 고정할 수 있다면 보다 더 큰 성능을 발휘할 것으로 판단된다.

라. 실험 결론

(1) 실험 결과 모든 실험체는 하단 고정 부분에서 볼트로 접합된 부위가 찢겨져 나가면서 실험이 종료되었다. 실험체 크기는 (2500 × 2300 × 2400)mm로 모든 실험체가 동일하다. 기본 실험체는 접합부가 사선으로 우레탄 접착제를 통해 접합이 되며 내외부로 "L"형 프로파일을 덧댄 실험체로 최대 하중이 15.42kN이며 이 때의 변위는 84.55mm만큼 발생하였다. F 실험체는 “F”자형 프로파일로 접합한 실험체로서 최대 하중이 21.53kN이며 이 때의 변위는

73.91mm만큼 발생하였다. 캠락 실험체는 캠락을 이용하여 접합된 실험체로서 최대 하중이 23.33kN이며 이 때의 변위는 66.17mm만큼 발생하였다.

(2) 실험체별로 작용하는 횡하중에 대해 산정하였다. 횡하중은 재난환경에서 가장 크게 작용하는 풍하중과 지진하중에 대해서 산정하였다. 기본 실험체는 장변에 5.25kN, 단변에 4.83kN의 풍하중이 산정되었으며, 지진하중은 1.32kN으로 산정되었다. F 실험체는 장변에 5.25kN, 단변에 4.83kN의 풍하중이 산정되었으며, 지진하중은 1.37kN으로 산정되었다. 캠락 실험체는 장변에 5..25kN, 단변에 4.83kN의 풍하중이 산정되었으며, 지진하중은 1.89kN으로 산정되었다. 중량이 작은 구조체 이므로 지진하중 보다는 풍하중에 크게 영향을 받는 것을 확인하였다.

(3) 실험결과 각 실험체가 받는 최대하중은 산정된 횡하중 보다 큰 것을 확인하였다. 결과적으로 경량 복합패널을 이용하여 재난 구호주거를 제작하여도 안전하다고 볼 수 있다. 또한 패널의 하단부를 더 견고하게 고정할 수 있는 방안을 고안한다면 횡하중에 대해 더 나은 성능을 나타낼 수 있을 것으로 기대된다.

(4) F 실험체는 캠락 실험체에 비해 최대하중이 약 2N이 크게 나타났으며, 강성 또한 캠락 실험체에 비해 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 캠락으로 결합하기 위해 실험체를 구성하는 패널 양단에 설치된 목재가 횡력이 가력되는 동안 구조체로서의 역할을 했기 때문이라고 판단된다. 두 실험체 모두 횡하중에 대해서는 안전하다고 평가되나 더 안정적으로 설계를 하기 위해서는 캠락 방식이 적합하다고 볼 수 있다. 하지만 성능의 차이가 크지 않기 때문에 경량 복합패널의 장점을 살려 경량의 구조체로 설계하기에는 F자형 프로파일을 사용하는 것이 적합하다고 볼 수 있다.

4. 경량복합패널 적용 구호주거의 구조설계 및 구조안전성 평가방안

가. 구조설계 및 성능평가 방안

○ 경량복합패널을 적용한 구호주거의 구조안전성을 확보하기 위해서는 신뢰할 수 있는 구조설계방법과 성능평가방안이 필요하다. 다만, 현재 건축구조기준(KBC, Korean Building Coce)은 대부분의 경우, 장기간 지속 존치되는 건축물을 대상으로 구조기준이 정립되어 있다. 하지만 구호주거의 경우에는 짧은 존치기간 동안 확보하고자 하는 구조신뢰성 등이 건축구조기준에서 요구하는 성능과는 상이할 수 있다. 다만, 구호주거의 합리적인 구조설계에 대한 관련 연구가 미비한 관계로 본 연구에서는 경량복합패널 적용 구호주거의 구조설계 및 성능평가에 대해 보수적으로 건축구조기준에서 제시하고 있는 설계방법을 준용하여 사용하고자 한다.

○ 본 연구에서는 건축구조기준에서 사용하는 강도설계법과 마찬가지로 다음과 같이 안전성을 평가한다.

하중계수×사용하중≤강도감소계수×공칭강도 - 식 (1)

나. 하중계수와 하중조합 결정

○ 경량복합패널을 적용한 구호주거 경우, 구조체가 단층으로 이루어지고 구조체의 중량이 매우 가볍기 때문에, 중력하중에 대해서는 충분한 안전성 확보가 예상된다.

○ 다만, 풍하중이나 지진하중과 같은 횡력하중에 대해서는 충분한 안전성을 확보해야 한다.

○ 따라서 풍하중이나 지진하중에 대한 구조안전성을 확보하기 위해, 다음 식(2)~(5) 에 제시된 하중계수와 하중조합으로부터 구조물에 작용되는 모든 소요강도를 만족하도록 경량복합패널을 구조설계해야 한다.

U=1.2D+1.3W+0.5(S 또는 R) - 식 (2)

U=0.9D+1.3W - 식 (3)

U=1.2D+1.0E+0.2S - 식 (4)

U=0.9D+1.0**E** - 식 (5)

여기서, U=소요강도

D=고정하중

W=풍하중

S=적설하중

R=강우하중

E=지진하중

○ 구호주거에 작용하는 하중(고정하중, 풍하중, 적설하중, 강우하중, 지진하중 등)은 건축구조기준 제 3장(“설계하중”)을 통하여 구할 수 있다.

○ 구조부재(경량복합패널)에 주로 작용하는 면외하중과 면내전단력은 구조해석 프로그램을 사용하여 구하거나, 지붕층 부재의 다이어프램 거동을 가정하여 간략하게 산출할 수

있다.

다. 부재설계 및 안전성평가

○ 식 (1)에 의하여 경량복합패널의 안전성을 평가하기 위해서는 강도감소계수(ϕ)와 공칭강도(S_n)를 정의해야 한다.

○ 앞서 경량복합패널의 구조실험결과, 면외하중을 받는 경우의 최종파괴(최대강도발현시점)은 스킨과 코어의 접합면의 전단탈락에 의해 일어나며, 면내전단력을 받는 경우에는 극한전단에 의한 국부적인 찢어짐에 의해 파괴가 발생하였다. 두 파괴 모두 취성적인 파괴임을 감안할 때, 강도감소계수(ϕ)는 0.75로 사용하는 것을 권장한다.

○ 면외하중을 받는 부재의 성능(최대공칭강도)는 스킨과 코어의 접합면의 극한전단응력에 의해 구할 수 있다. 제 3절 1장의 구조실험에 의하면 스킨과 코어의 접합면의 극한전단응력은 0.00156MPa로 산정되었으며, 상기 극한전단응력을 사용하여 구조체의 면외강도를 산출하여 면외하중에 대한 안전성을 평가할 수 있다.

○ 면내전단하중을 받는 부재의 성능(최대공칭강도)는 부재단면에 대한 극한전단응력에 의해 구할 수 있다. 제 3절 2장의 구조실험에 의하면 부재단면에 대한 극한전단응력은 0.047MPa 로 산정되었으며, 상기 극한전단응력을 사용하여 구조체의 면내전단강도를 산출하여 면내전단하중에 대한 안전성을 평가할 수 있다.

제 4절. 재난대응 CTS 컨셉 디자인 설계

1. 재난대응 주거 필수 가구 및 규모 산정

○ 이명식의 연구(2014)에 따르면, 구호주거의 시계열 구분은 이재민의 피해복구에 따라 기간별 수요의 필요성과 주거를 중심으로 삶의 질적 향상을 위한 구호주거의 범위로 한정하였다.

○ 재해의 유형과 피해의 범위따라 복구의 시간이 달라짐. 따라서 구호주거는 임시, 단기, 중·장기적으로 건축적인 대응이 요구된다. 또한 가족구성에 따라 필요 면적 및 설비, 사용 가구의 유형 제안을 연구 범위로 한정하였다.

○ 이명식(2014), 김민경외 3인(2011) 연구에서 2003년 태풍 매미의 수해지역, 2005년 강원도 양양 산불지역, 2010년 태풍 곤파스 피해지역, 2011년도 전남 및 경남일대 태풍 무이파 피해지역에서 정부 및 지방자치단체의 구호주거대책에 대한 분석결과를 보면, 1단계로 학교, 마을회관 등으로 응급대피하고, 2단계로 구호주거시설을 마련해서 이주시키고 3단계로 항구적 주택으로 입주하는 절차로 진행되고 있다.

표 50. 재해지역 주거대책 절차

단계	1단계	2단계	3단계
	응급대피	구호시설 이주	항구 주택 입주
장소	학교, 마을회관, 동사무소 등 관공서	임시 주거시설 (대부분 컨테이너)	항구 주택 (신축 또는 복구 주택)
행위	- 주택피해조사 - 주택복구 작업시작	- 인프라 구축(수도, 전기, 냉난방 시설, 생활용품) - 안전점검	- 주택 신축 지역 결정 - 법령에 의한 위로금, 건축자금 지원

○ 기존 사례연구 결과에 따르면, 국내 임시 주거시설의 주거공간 활용성에 대한 고려보다는, 규모 및 최소면적, 1인당 거주면적에 대한 연구가 진행되었다.

○ 또한 국내 현행법상 공급되는 가구에 대한 고려가 없기 때문에, 현장에서 재난재해 피해자들이 스스로 구해서 사용해야하는 문제가 노출되어 있다.

○ 문정인외 3인의 논문에서 연평도 임시주거시설 실태조사를 실시하였는데, 실내공간에 대한 불만족도가 82%로 그 이유가 방의 크기, 수납공간의 부족, 기능적으로 구획이 불가능한 점이 그 이유가 되었다.

○ 기존 연구 및 조사의 결과에 따라 많은 수납공간 적용과 기능적으로 공간 구획을 컨셉으로 진행하였다.

○ 본 연구에서는 2단계 구호시설 이주에 따른 임시 주거시설에서 요구되는 가구 및 규모를 산정하였으며, 1차적으로 2인가구를 기준으로 평면계획을 진행하였다.

○ 필수가구를 선정하기 위해 가장 중요한 공간으로 침실이 될 수 있으며, 2인이 편하게 숙면을 취할 수 있는 더블침대의 크기인 (2000 × 2700)mm을 기본 크기로 선정하였다.

2. 재난대응 소요 설비 용량 산정

○ 김민경 외 3인의 논문에서 국가별 지해지역 구호대책 규정내용을 보면, 임시거주시설에 급·배수시설, 위생시설이 기본적으로 공급되게 되어 있다.

표 51. 국가별 지해지역 구호대책 규정 요약

	미국	호주	일본	UN	한국
관련 기구	연방 재난관리청	퀸즐랜드 열대태풍 조정위원회	지방자치단체	난민기구	소방방재청
부대 시설	-급배수시설 -위생시설 -커뮤니티시설	-위생시설 -커뮤니티시설	-급배수시설 -위생시설 -커뮤니티시설	-급배수시설 -위생시설 -운영관리시설	-급배수시설 -위생시설
거주 성능	-통풍/환기 -조명/환기 -비상전력 -장애인의 접근/이용	-환기 -방수/비바람 대응 -조명 -비상전력 -거주공간 칸막이설치 -장애인의 접근/이용	-통풍 -난방 -거주공간 칸막이설치 -탈의실 -장앤인의 접근/이용 -화재예방	-조명 -난방 -거주공간 칸막이설치	-통풍 -화재예방

○ 이에 따라, 본 연구에서 임시거주시설의 필수 설비인 급·배수시설, 위생시설에 대해 소요설비용량을 산정하고자 함. 본 연구에서 2인을 기본으로 하는 가족구성으로 산정하여, 설비용량도 이에 따라 산정하였다.

○ 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」, 「도시 및 주거환경 정비법 」, 「도시 및 주거환경 정비법 시행령」, 그리고 「건축법」 등의 검토 결과 정기기반시설이 도입되었다고 가정하였다.

○ 2017년도 한국수자원공사에서 발표한 1인당 하루에 사용하는 물 사용량은 약 282ℓ로 2인일 경우 약 564ℓ 정도의 물이 필요하다. 따라서 1가구당 KS 인증 원통형인 600ℓ 물탱크의 설치가 요구된다.

○ 상수도는 식수와 생활용수로 사용가능토록 1인 1일 282ℓ를 확보함이 바람직하며, 기존의 인프라를 이용할 경우와 지하수를 이용할 경우로 구분하여 급수공급대책을 수립하여야 한다. 또한 단지 내 급수가 용이하도록 저수조 등을 설치하도록 조치하여야 한다.

○ 하수도는 하루 처리용량이 500㎥이상 시, '하수저류시설'을 설치하여야 한다. 임시거주시설의 단지 구획 시 「하수도법」 제34조 제3항 및 같은 법 시행령 제24조 제5항, 같은 법 제35조 제2항에 따라 오수발생량을 산정하여 피해가구 수, 인원수에 따라 오수처리시설을 설치해야 한다.

○ 우수의 직접 유출억제를 위해 인위적으로 우수를 지하로 스며들게 하거나 지하에

가두는 우수 유출저감 시설을 설치하는 것이 바람직하다.

3. 재난대응 Compact Transformable Station Unit 컨셉 설계

○ 일반적으로 실내공간에서 가구들이 특정한 위치에 공간을 차지한 상태로 장기간 유지되어, 그 공간을 적극적으로 활용하기가 어려워 실내공간의 활용성을 떨어뜨리는 문제점이 있다.

○ 이를 해결하기 위하여, 재난대응 Compact Transformable Station Unit 컨셉의 목적은 공급되는 임시주거시설의 주거공간을 극대화하기 위함이다.

○ 재난대응 Compact Transformable Station Unit 컨셉을 성정하기 위한 방법으로는 일반적으로 주거공간에 고정적으로 배치되는 침대, 옷장, 서랍장, 책상 등의 가구를 일원화하고 사용 시에만 꺼내어 쓸 수 있는 접이식 방법을 채택하여 설계하였다.

○ Compact Transformable Station Unit을 적용하면 한 주거공간에서 거실, 침실, 주방, 작업공간으로 구분할 수 있으며, 아래 그림은 적용할 때의 공간변화에 대한 개념도이다.

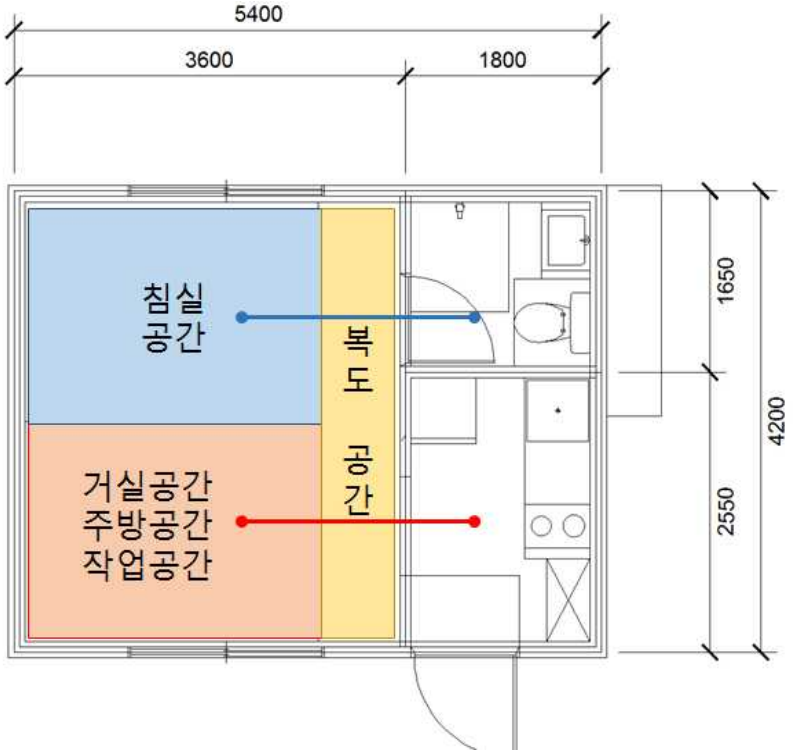


그림 104. CTS 유닛 컨셉(안) 적용 시 공간변화에 대한 개념도

○ Compact Transformable Station을 구성하기 위해 기본 평면크기는 2인용 침대 더블베드 크기인 (2000 × 2700)mm으로 설정하였다.

○ 선정한 평면 안에 침대, 옷장, 서랍장, 책상, 식탁을 배치하기 위해 기본 Unit 모듈은 (200 × 300)mm 모듈로 설정하였다.

○ 구획된 공간에 맞게 침실공간에는 침대 및 옷장, 침구장을 배치하고 거실, 주방, 작업공간에는 식탁, 책상을 배치하였다. 또한 이동공간과 공간의 변화를 극대화하기 위해 복도공간을 만들었으며, 복도공간에는 수납장을 배치하였다.

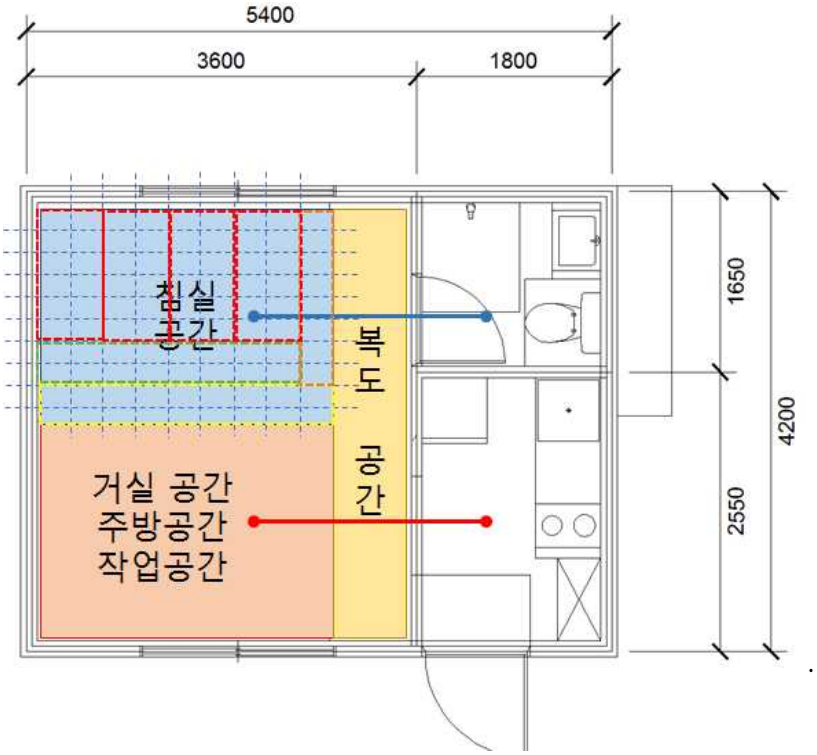


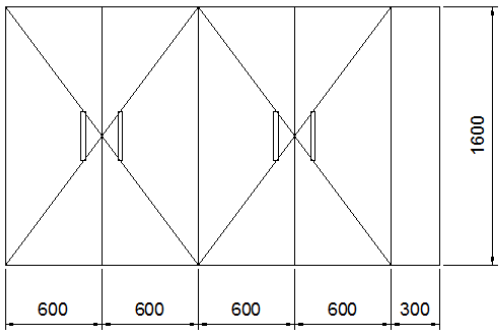
그림 105. CTS 유닛 모듈 및 컨셉(안) 개념도

4. 재난대응 Compact Transformable Station 컨셉 디자인 설계

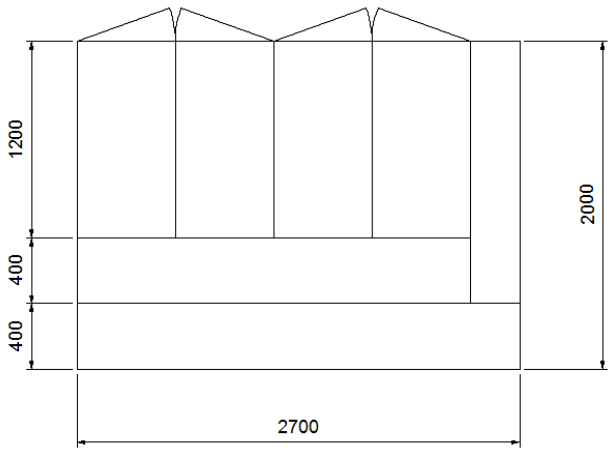
○ Compact Transformable Station 유닛 컨셉에 따라 더블베드 위에 각종 가구를 설치하고 사이 공간 안에 이동이 가능한 책상, 식탁을 넣는 방식으로 디자인을 설계하였다.

○ 각 가구는 기존 판매되고 있는 가구 중 본 연구에 적용 가능한 책상, 식탁, 옷장, 침구장 각각 10개 가구의 크기를 조사하였고 이를 토대로 가구의 넓이, 높이를 설정하였다.

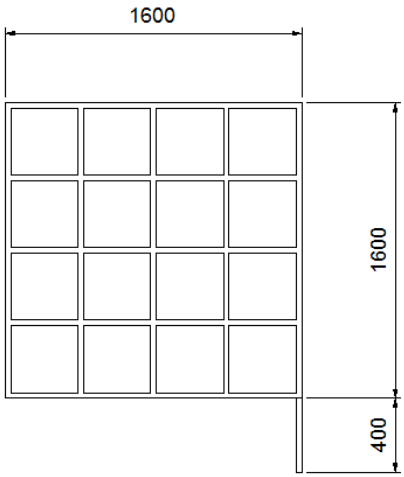
○ 이를 토대로 Compact Transformable Station 설계(안)은 아래 그림과 같다.



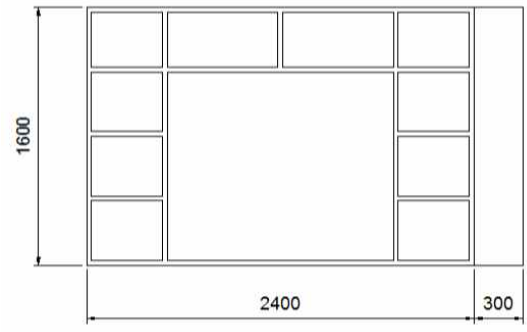
(a) 옷장 및 침구장 입면도



(b) 수납용 가구 평면도



(c) 복도 수납장 입면도



(d) 거실장 입면도

그림 106. 수납용 가구 평면 및 입면도

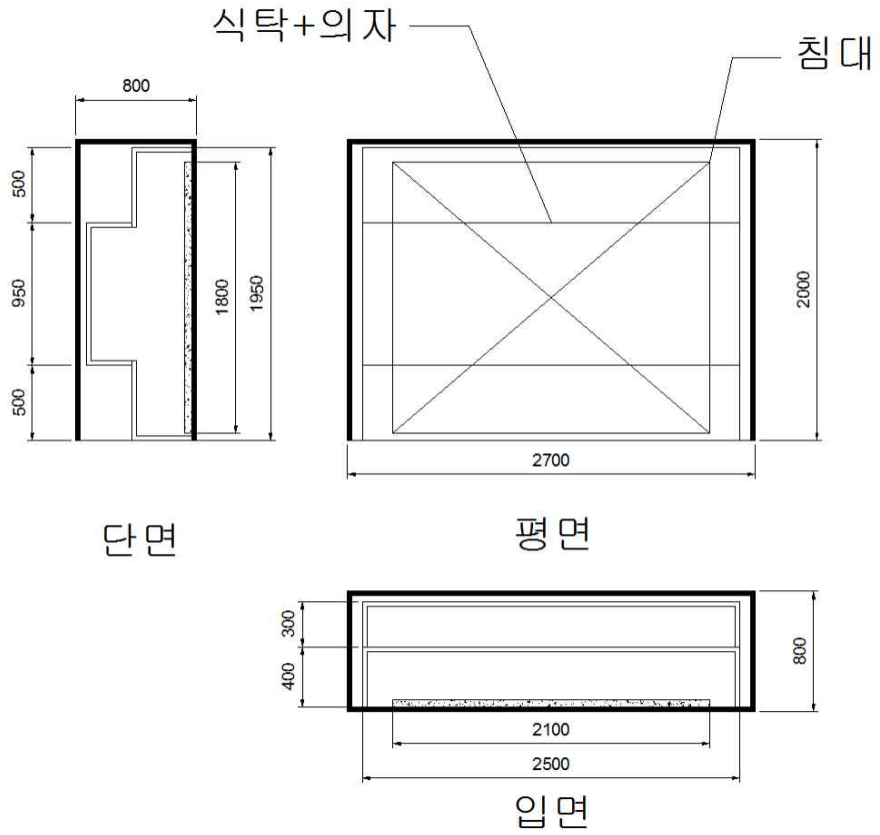


그림 107. 침대 및 책상 가구 평면 및 입·단면도

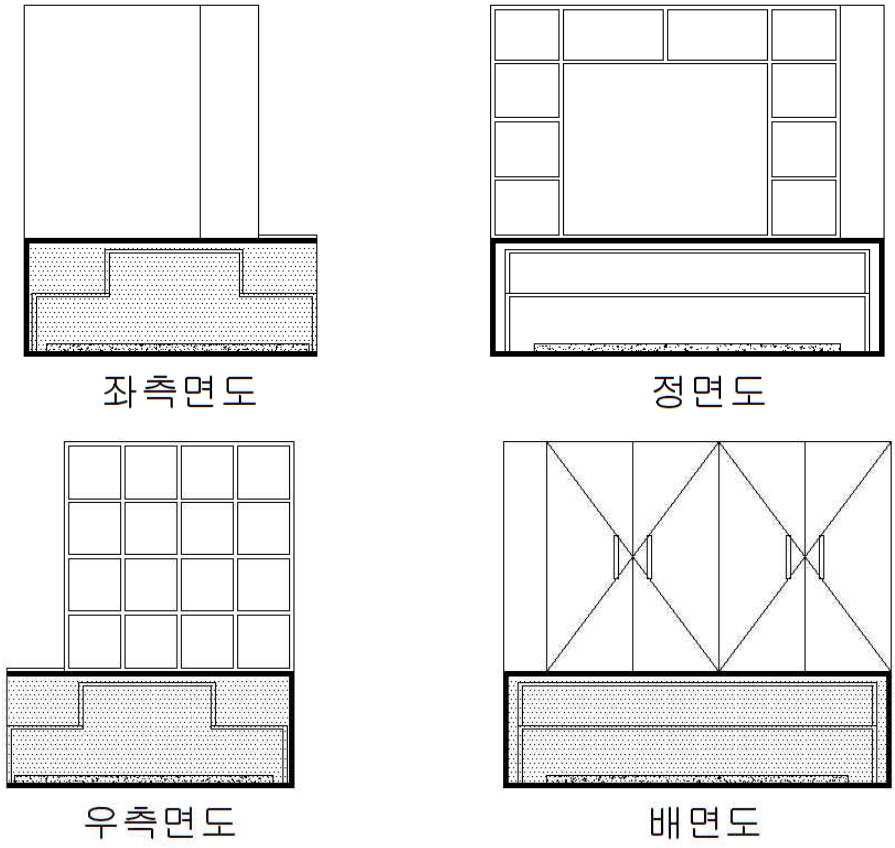
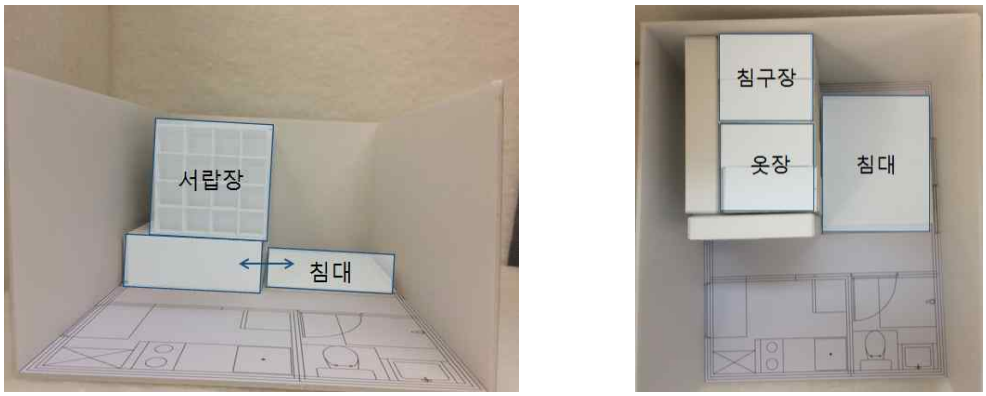


그림 108. Compact Transformable Station 설계도

○ 설계(안)대로 모형설계를 통해 공간의 변화를 확인하였다.
○ 침실공간을 구성하기 위해 아래 그림과 같이, Compact Transformable Station을 주방공간으로 밀어내고 침대를 나오게 되고 이를 통해 침실공간을 구성하였다.



(a) 침실공간 구성한 입면 사진 (b) 침실공간 구성한 평면 사진

그림 109. CTS 적용 후 침실공간

○ 침실공간이 구성되면, 아래 그림과 같이 화장실까지 가는 동선이 가장 짧게 되어 편의성을 확보할 수 있다.. 여기에 옷장과 침구장이 있어 침실에서 활동할 수 있게 구성하였다.

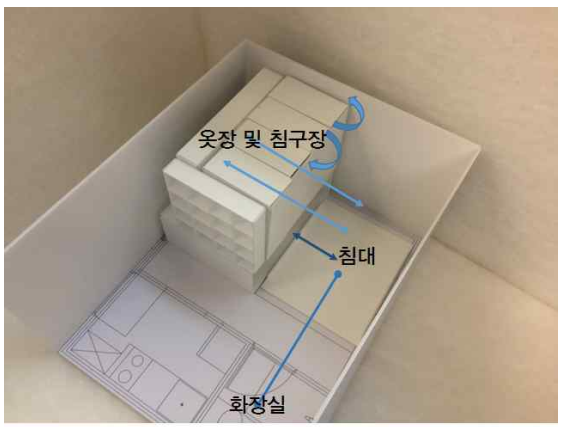
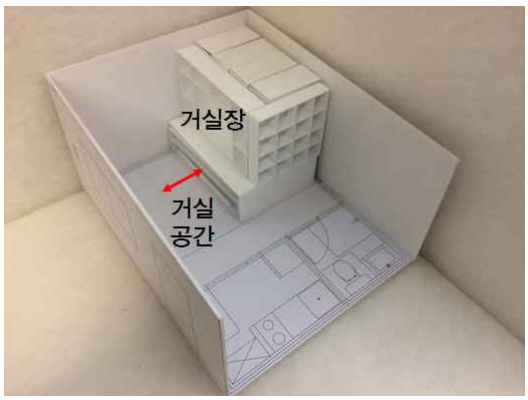
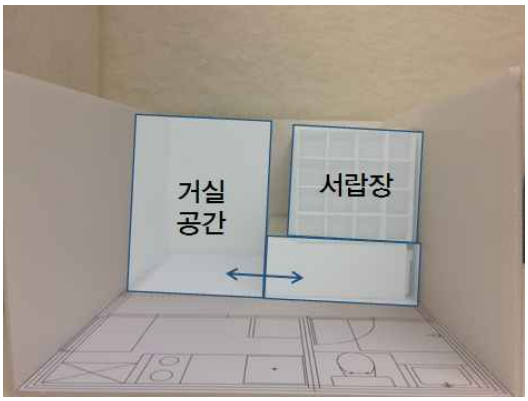


그림 110. 침실공간 구성 시 각 가구의 배치 및 이동거리 확인을 위한 조감 사진

○ 거실 및 주방공간을 구성하기 위해서 Compact Transformable Station를 침실공간으로 밀어내서 공간을 구성하였다.
○ 아래 그림과 같이 거실공간을 위해 의자를 추가적으로 꺼내어 사용할 수 있으며, 거실장을 배치함으로 TV와 수납이 가능한 공간을 구성하였다.



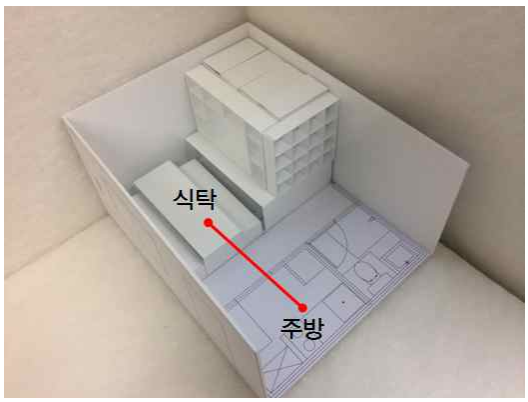
(a) 거실공간 구성한 조감 사진



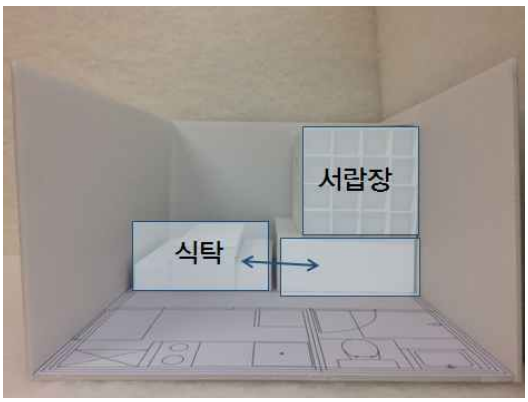
(b) 거실공간 구성한 입면사진

그림 111. CTS 적용 후 거실공간

○ 주방공간은 아래 그림과 같이 주방과 동선거리를 짧게 하고 식탁이 나와서 공간을 완성할 수 있다.



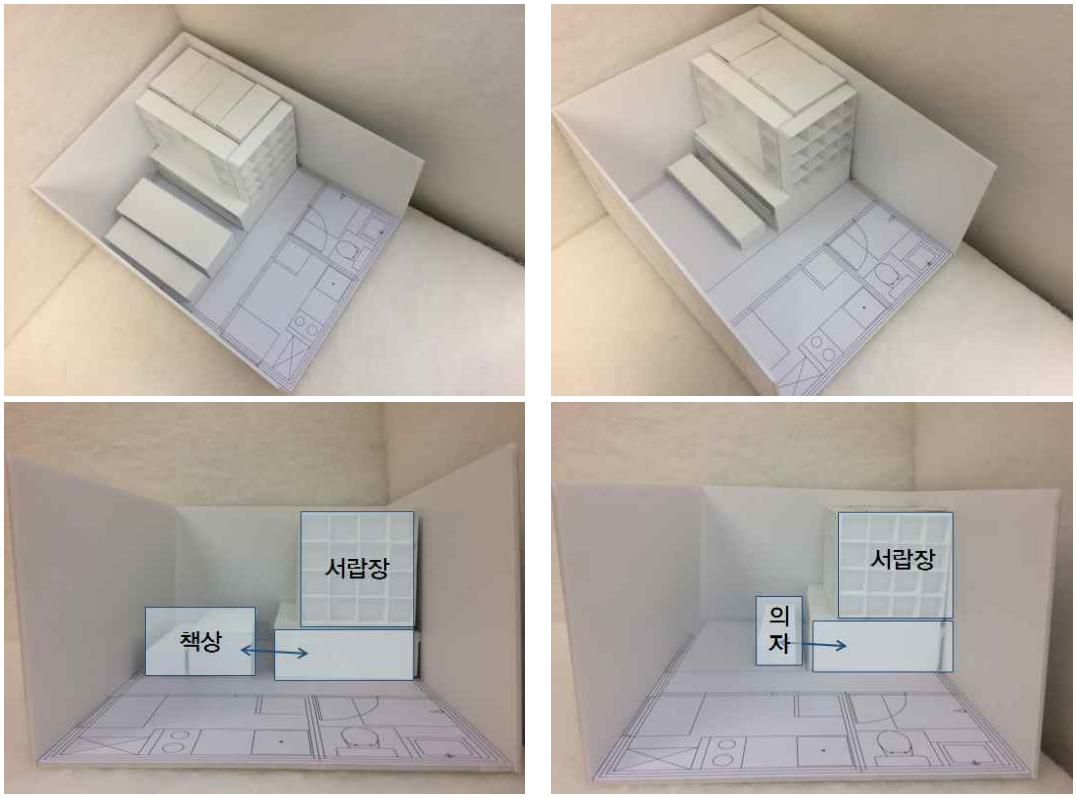
(a) 주방공간 구성한 조감 사진



(b) 주방공간 구성한 입면사진

그림 112. CTS 적용 후 주방공간

○ 작업공간은 아래 그림과 같이 책상 또는 의자만 꺼내어 공간을 구성할 수 있다.



(a) 책상배치를 통한 작업공간 구성사진 (b) 의자배치 작업공간 구성사진

그림 113. CTS 적용 후 작업공간 구성된 사진

○ 가구가 없는 주거공간 면적은 약 10.8㎡이다. 여기에 고정식 가구들은 설치한다면, 기능적으로 공간은 구분할 수 없고 사용공간이 현저히 줄어들 것이다.
○ 본 연구를 통해 Compact Transformable Station을 적극적으로 활용한다면, 침실공간 5.4㎡, 주방공간 5.4㎡, 거실공간 5.4㎡, 작업공간 5.4㎡를 기능적으로 부여할 수 있다.
○ 따라서 Compact Transformable Station 적용하면, 기존 공간인 10.8㎡에 비해 2배인 21.6㎡의 공간을 활용할 수 있다.

5. 재난대응 Compact Transformable Station 유닛 설계 및 자재·재질 선정

○ Compact Transformable Station 유닛을 정의하기 위해서 거주공간 구획을 통해 유닛을 구분하였다.
○ 재난시 임시 주거시설의 공간을 크게 침실공간, 주방공간, 거실공간, 욕실공간으로 구분할 수 있다. 본 연구의 Compact Transformable Station는 임시주거시설에서 공간활용적인 극대화하기 위한 가구시스템으로 기능적으로 취침, 취사, 작업의 기능을 갖고 있는 시스템을 개발하였다.
○ 따라서 Compact Transformable Station 유닛은 각각 취침, 취사, 작업기능을 보유한 이동가능하며, 접이식의 가구시스템으로 정의할 수 있다.
○ Compact Transformable Station 유닛의 기본 설계를 위해 공간활용이 극대화할 수 있는 접이식 설계를 도입하였다.

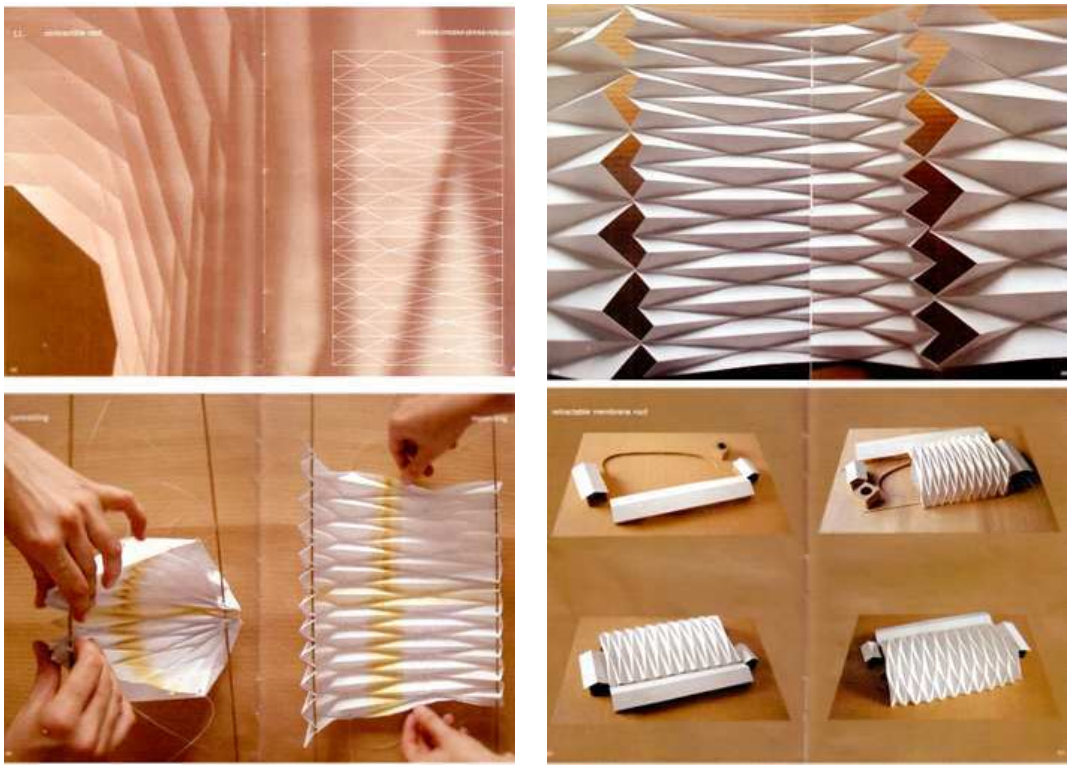
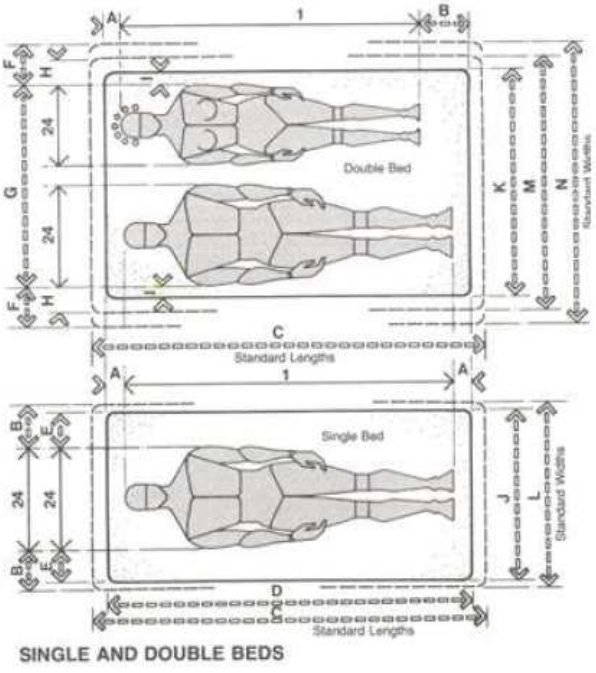


그림 114. 접이식(Origami) 전개구조의 예

○ Compact Transformable Station 유닛의 기본 설계는 인간치수를 기본으로 하고 기존 레퍼런스에서 중분위 이상의 치수를 적용하여 설계를 진행하였다.
○ 취침기능이 부여된 시스템의 기본설계는 신체치수를 기본으로 전체크기는 (2200 × 1100)mm 로 매트리스는 우선 싱글사이즈를 적용하여 (2130 × 991)mm 로 설계하였다.
○ 해당 유닛은 접이가 용이하게 1100mm에서 접히며 접혔을 때 고정이 가능한 기능을 추가하였다. 하중의 문제를 해결하기 위해 하부에 가이드를 설치하여 사람의 무게를 지탱할 수 있게 하였으며, 하부에 바퀴를 달아 이동이 가능하게 하였다.
○ 침대 유닛을 고정하고 벽면에 전기를 공급하면 취침등이 작동할 수 있게 설계하였다.
○ 또한 침대 유닛이 요구되지 않고 침구를 사용하였을 때의 유닛을 각각 구성하여 설계하였다. 침구는 재난재해 발생시 초기대응으로 체육관시설 등에 임시로 거주하였을 때 보급품으로 지급이 가능한 크기로 구성하였다.

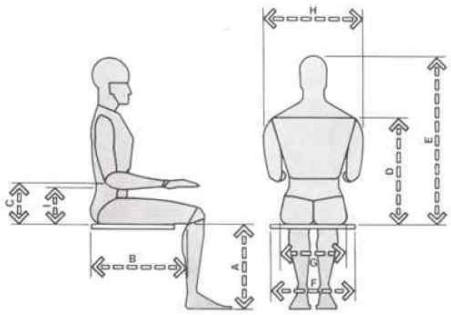


	cm
A	6.4
B	19.1
C	213.1
D	198.1
E	15.2
F	17.8 ~ 20.3
G	111.8 ~ 116.8
H	10.2 ~ 12.7
I	2.5 ~ 5.1
J	91.4
K	121.9
L	99.1
M	137.2
N	152.4
O	177.8
P	40.6
Q	55.9
R	76.2

그림 115. 침대유닛의 신체치수 가이드라인 적용

○ 재난 대피시 임시주거의 거실에서 간단한 작업이 가능한 유닛의 크기는 (1200 × 1100)mm 으로 하였다.

○ 기본 유닛이 되는 책상 높이는 약 700mm, 폭은 약 500mm이며 공간활용성을 위해 책상 하부에 의자가 삽입되게 하였다. 삽입되는 의자 크기의 의자 폭은 약 420mm, 바닥부터 엉덩이가 닿는 부분까지 약 546mm, 의자 깊이는 약 490mm로 하였다.



MEASUREMENT	MEN Percentile 5 in	MEN Percentile 5 cm	MEN Percentile 95 in	MEN Percentile 95 cm	WOMEN Percentile 5 in	WOMEN Percentile 5 cm	WOMEN Percentile 95 in	WOMEN Percentile 95 cm
A Popliteal Height	15.5	39.4	19.3	49.0	14.0	35.6	17.5	44.5
B Buttock-Popliteal Length	17.3	43.9	21.6	54.9	17.0	43.2	21.0	53.3
C Elbow Rest Height	7.4	18.8	11.6	29.5	7.1	18.0	11.0	27.9
D Shoulder Height	21.0	53.3	25.0	63.5	18.0	45.7	25.0	63.5
E Sitting Height Normal	31.6	80.3	36.6	93.0	29.6	75.2	34.7	88.1
F Elbow-to-Elbow Breadth	13.7	34.8	19.9	50.5	12.3	31.2	19.3	49.0
G Hip Breadth	12.2	31.0	15.9	40.4	12.3	31.2	17.1	43.4
H Shoulder Breadth	17.0	43.2	19.0	48.3	13.0	33.0	19.0	48.3
I Lumbar Height	See Note.							

그림 116. 책상유닛의 신체치수 가이드라인 적용

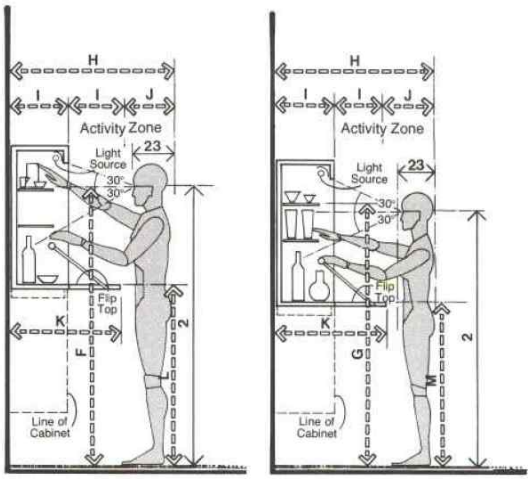
○ 취사 기능이 있는 주방유닛의 기본 설계는 전체 크기 (1000 × 600 × 900)mm로 하였다.

○ 내부의 싱크는 싱글사이즈로 (450 × 480)mm 로 하였으며, 위생을 위해 싱크대 하부에는 음식물 분쇄기를 설치할 수 있게 설계하였다. 오폐수 문제 해결을 위해 싱크대 하부에 오수 통을 설치하여 사용된 오수는 외부로 반출할 수 있게 하였다.

○ 조리대는 공간활용을 위해 따로 구성하지 않고 옆에서 들어 올려서 구성하였다.

○ 조리대는 전기를 사용하는 인덕션으로 설치하였으며, 크기는 싱글 사이즈로 (300 × 400)mm 이다.

○ 상부 덮개가 있어 사용하지 않을 때에는 닫을 수 있으며, 사용시 상부 덮개는 건조대 역할을 하는 것으로 하였다. 하부에 수납공간으로 설계하였다.



	in	cm
A	18–24	45.7–61.0
B	48–58	121.9–147.3
C	36–40	91.4–101.6
D	46–52	116.8–132.08
E	30–36	76.2–91.4
F	72	182.9
G	69	175.3
H	42–50	106.7–127.0
I	12–16	30.5–40.6
J	18	45.7
K	24–32	61.0–81.3
L	39–42	99.1–106.7
M	36–39	91.4–99.1

그림 117. 주방유닛의 신체치수 가이드라인 적용

○ 위와 같이 Compact Transformable Station 유닛은 침대 유닛, 책상 유닛, 주방 유닛으로 설계되었으며, 이를 바탕으로 진행된 Mock-up 설계도는 다음과 같다.

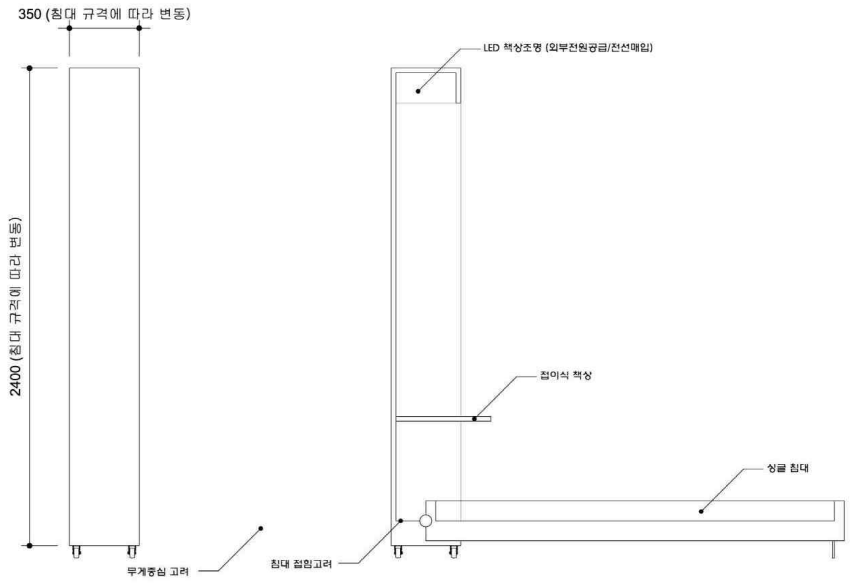


그림 118. 침대 유닛의 Mock-up 설계도

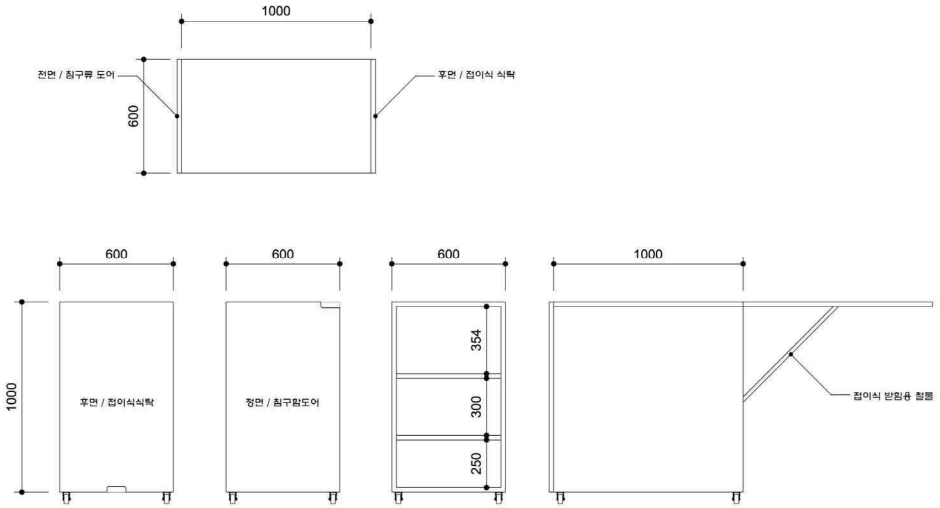
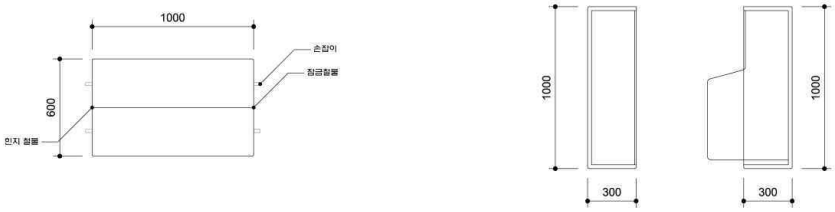


그림 119. 침구 사용 유닛의 Mock-up 설계도



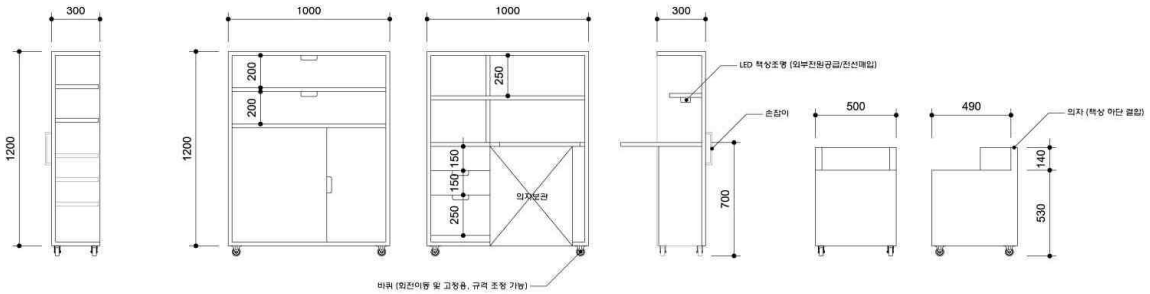


그림 120. 책상 유닛의 Mock-up 설계도

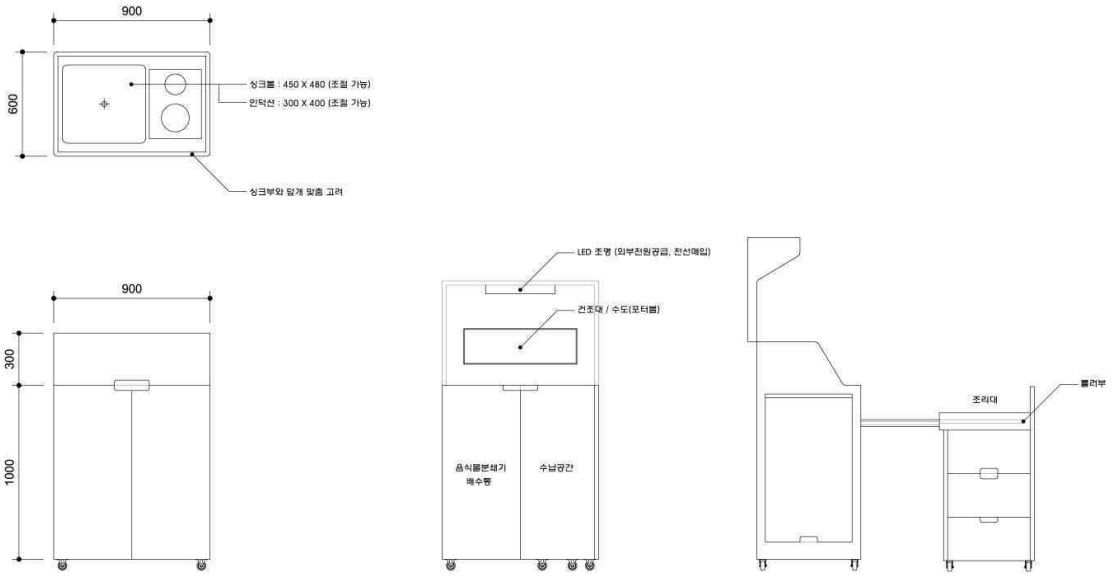


그림 121. 주방유닛의 Mock-up 설계도

○ 위와 같이 설계된 Compact Transformable station 유닛의 자재 및 재질 선정을 위해 아래 표와 같이 가구에서 사용되는 주요 자재 및 재질의 특성을 조사하였다.
○ 집성목은 직성 형태의 가공이 쉬우나 오염이 쉬운 단점이 있었고, MDF는 내구성이 약한 단점이 있어 이동 및 변형의 기능을 지닌 CTS에 적용하는데 문제가 있다.
○ 따라서 Compact Transformable station 유닛 Mock-up은 가공이 어렵고 다른 재료에 비해 무거운 점은 있지만, 내구성이 강하고 변형이 작은 합판으로 결정하였다.
○ 접이형 개폐식 부위에 사용되는 힌지는 KS F 4538 컵힌지 시험에 의해 통과된 제품으로 선택하여 사용하였다. 해당 힌지는 500회 개폐를 통해 이상없음이 확인된 제품이다.

표 52. 자재 및 재질의 특성

	집성목	합판	MDF, PB
재료의 특징	 · 나무 조각들을 나란히 이어 붙인 목재로 나무 조각을 이어 붙이는 방법과 옹이 포함 여부, 이어붙인 나무의 종류(미송, 고무나무, 멀바우, 나왕, 스프러스 등)에 따라 다름	 · 목재의 얇은 판을 나뭇결의 방향이 서로 직교하도록 접착제로 붙임 · 판을 만드는데 쓰는 박판을 베니어라 지칭함	 · 나무, 폐자재 부스러기들은 분쇄한 뒤 접착제와 혼합해 열과 압력으로 가공한 인공목재임 · 보드 자체로는 거의 사용하지 않고 양면에 시트지나 무늬목 같은 필름을 입혀 사용
장점	· 단순한 직선 형태가공 쉬움	· 내구성이 강하고 뒤틀림 등 변형이 작음	· 저렴한 가격과 가공이 쉬움
단점	· 이어붙인 나무가 사용 중 오염, 찍힘, 긁힘에 약함	· 가공이 어려움 · 무거움	· 내구성이 약함

6. 재난대응 Compact Transformable Station 기본 및 Mock-up 설계

○ 재난대응 Compact Transformable Mock-up 제작을 위해 3D 설계를 통해 검토하였다. Mock-up 기본 설계를 통한 3D 설계는 아래 그림과 같다.

○ 1안은 침대유닛을 사용하였을 때의 모습이며, 2안은 침구를 사용하였을 때의 모습이다.



그림 122. CTS의 Mock-up 1안 3D



그림 123. CTS의 Mock-up 2안 3D

○ 염태준 외의 눈문에 의하면, 「재해구호계획 수립지침」에서 실내 임시주거시설에 대한 정의가 없어 현재 초기대응시 칸막이 또는 텐트 등의 지급을 하고 있다.

○ 해당 논문에서 조사한 결과에 의하면 텐트 보급시에 면적이 협소하고 높이가 낮아 입식생활이 불가능한 단점과 텐트 안에 조명이 없어 어둡다는 결과가 도출되었다. 칸막이를 설치하였을 때는 텐트의 단점은 보완되나 소음과 같은 프라이버시가 해결이 어렵다는 단점이 있어 이를 해결하기 위해 실내환경을 개선해야한다는 조사결과가 도출되었다.

○ 기존 연구결과를 토대로 임시주거시설 이주전에 초기대응시 요구되는 것은 가변성, 확장성, 편리성을 토대로 다양한 공간구획 및 확장과 내부에서 생활이 용이한 가구 및 물품 보관기능이다. 따라서 본 연구에서 설계된 CTS를 초기대응시 적용한 사례를 아래와 같이 도출하였다.

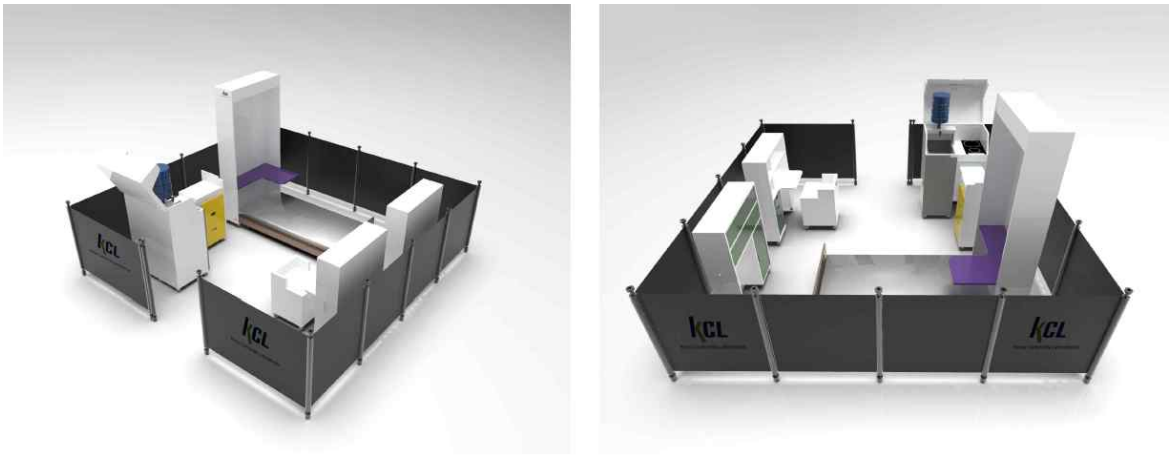


그림 124. 초기대응시 칸막이 및 CTS Mock-up 적용(안)

○ 침구모듈 및 책상모듈, 주방모듈의 Mock-up을 통해 그에 따른 작동성과 이동성, 적용성을 확인해고자 하였다. Mock-up의 재질은 합성목재를 사용하였고 작동성을 위해 경첩 및 하부 바퀴를 달았다.

○ 제작된 Mock-up의 모습은 아래와 같으며, 변형전과 후의 모습이다.



그림 125. 침구모듈 Mock-up



그림 126. 책상모듈 Mock-up

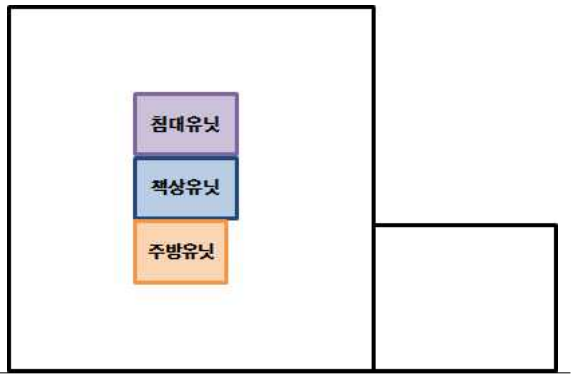
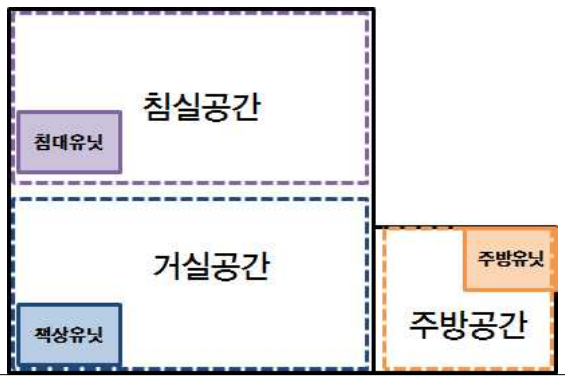
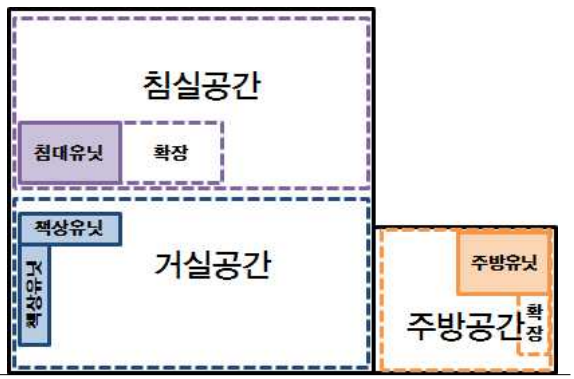
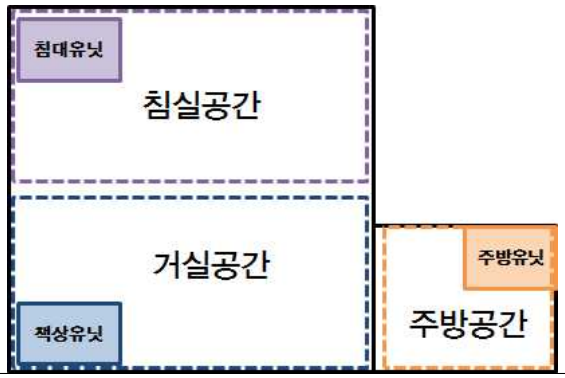
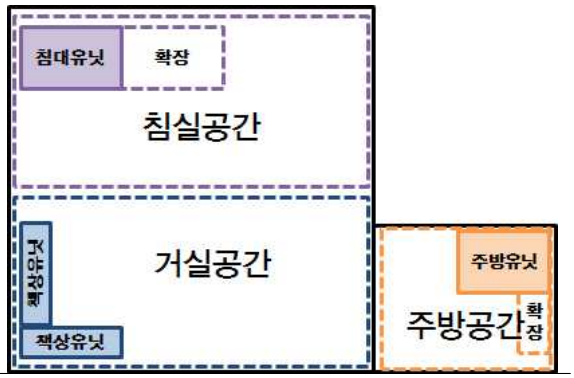


그림 127. 주방모듈 Mock-up

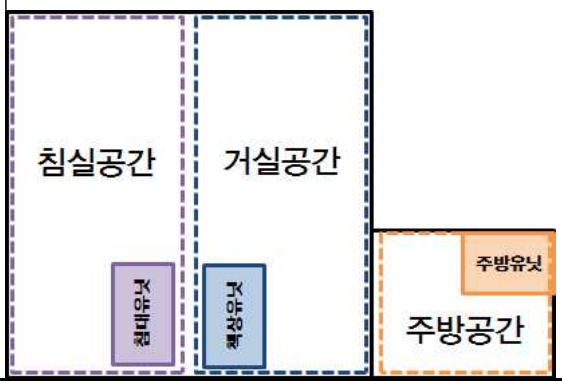
7. 재난대응 Compact Transformable Station의 배치 시나리오

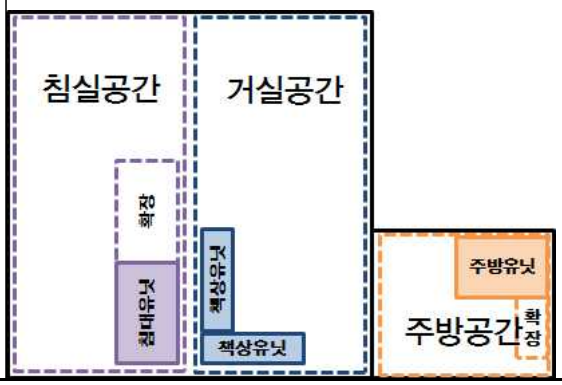
○ 가족의 확장과 축소와 같은 사용자의 필요의 변화에 따라 모듈의 증축 및 축소가 필요하며, 이재민의 생활 패턴에 따라 CTS의 배치를 다르게 할 수 있어야 한다.

○ 이에 따라 CTS의 조합가능한 배치 시나리오는 다음과 같이 정리할 수 있다.

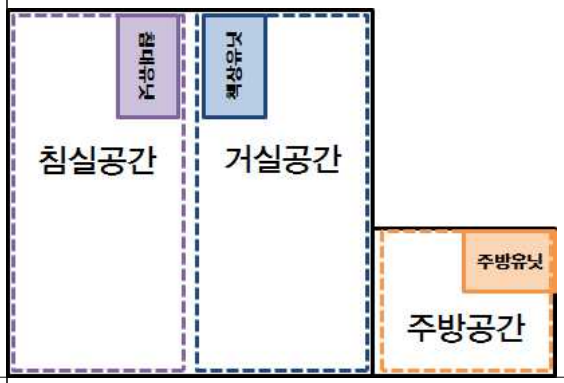
배치 형태	변형전	변형후
기본형	- 임시주택 Mock-up 거실부 	- 임시주택에 CTS 보급 
가로 공간 구획 (프라이버시형)	- 거실부를 가로방향 구획을 통해 침실과 거실공간으로 함 	- 확장을 통해 침실공간의 프라이버시를 확보하고 화장실과의 거리를 최소화함 
가로 공간 구획 (공간활용형)	- 거실부를 공간을 활용을 극대화를 위해 침대유닛과 책상유닛을 상하부로 이동 	- 거실부를 가로방향 구획을 통해 침실과 거실공간을 만들고 가운데 공간을 적극 활용함 

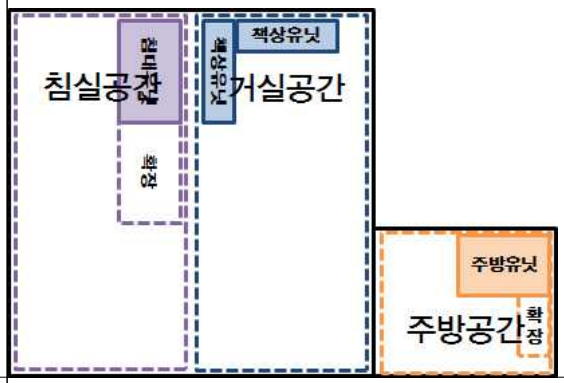
세로 공간 구획 (프라이버시형)	- 입구공간을 가구를 통한 시야를 막기 위해 출입구방향에 CTS 유닛을 배치	- 세로 공간구획을 통해 침실 및 거실공간을 나누고 입구방향에 가구를 배치하여 프라이버시 확보

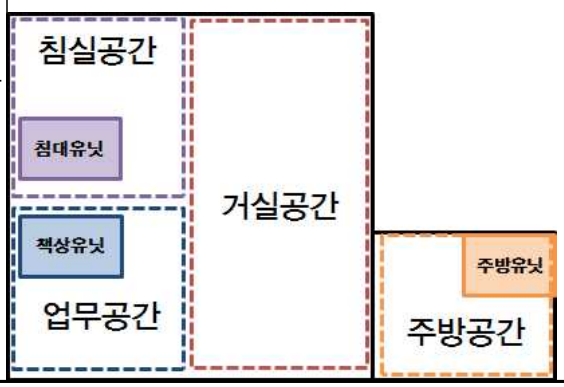


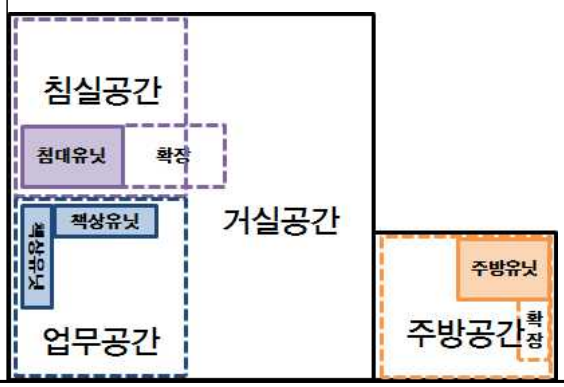


배치 형태	변형전	변형후
세로 공간 구획 (공간 활용형)	- 거실부 공간을 활용하기 위해 침대와 책상 유닛을 위로 보냄	- 침대와 책상 유닛을 위로 배치하여 주출입구 방향을 넓게 유지함
삼분할 공간 구획	- 삼분할로 공간을 침실과 업무공간, 거실공간으로 구획을 위해 CTS 유닛 배치	- CTS 유닛 배치 후 변형 형태를 유지하여 침실공간, 업무공간, 거실공간으로 나누어 활용









8. 재난대응 Compact Transformable Station Mock-up 현장적용 및 작동성 평가

○ 본 연구에서 최종적으로 Mock-up을 제작하였고 아래 그림과 같이 CTS Mock-up을 현장에 적용하여 평가하였다.



(a) Mock-up 임시주택 (b) CTS 가구 설치

그림 128. Mock-up 주택 및 CTS 설치

○ CTS의 배치에 따라 아래 그림과 같이 공간의 구획이 되고, 이를 통해 공간의 의미가 달라지는 것을 확인하였다. 또한 기존 고정적인 가구는 사용 유무와 상관없이 공간을 많이 요구하고 있었던 것과 달리 접이식 방법을 활용하면 좁은 평면일 경우 넓은 공간을 확보 할 수 있는 장점을 확인하였다.



(a) CTS 적용/배치전



(b) CTS 배치 후



(C) CTS 배치 후 사용-1



(d) CTS 배치 후 사용-2



(e) CTS 배치 변형-1



(f) CTS 배치 변형-2



(g) CTS 배치 변형-3



(h) 주방유닛 배치 및 사용상태

그림 129. CTS 적용성 및 사용성 평가

○ 재난재해 발생시 초기대응을 위해 대공간의 체육관 등에 이재민을 이주시켰을 때, CTS를 적용 및 그 활용도를 확인하여 보았다.

○ CTS를 보급품으로 적용하고 경량 칸막이를 설치하면, 개인 사생활 보호 및 기존 텐트에 비한 공간 활용도를 높일 수 있는 장점을 확인하였다.



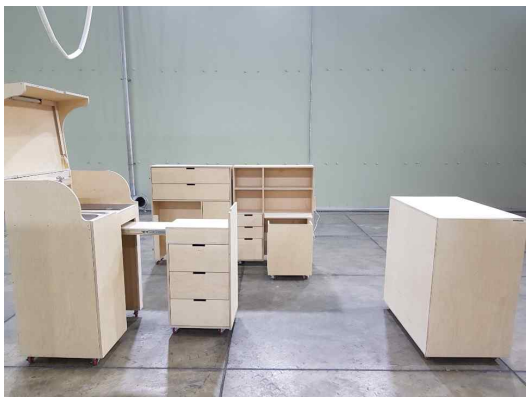
(a) 초기대응형 CTS 적용



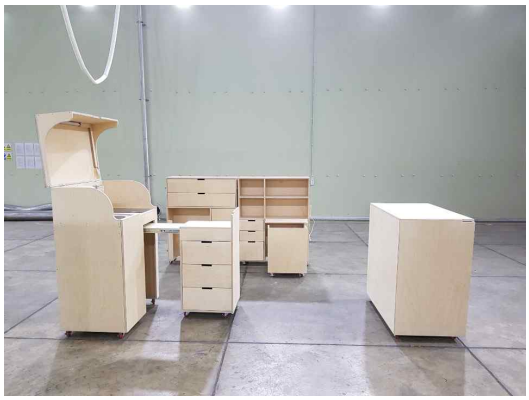
(b) 초기대응형 CTS 배치



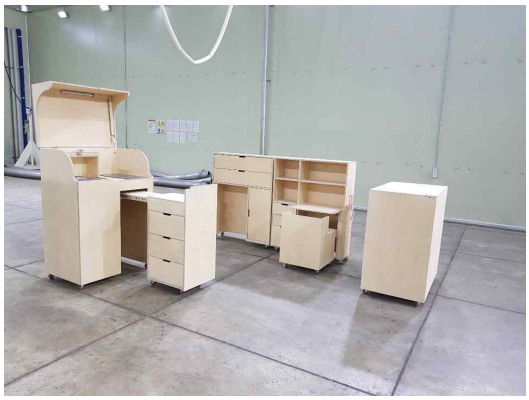
(c) 초기대응형 CTS 배치 변형-1



(d) 초기대응형 CTS 배치 변형-2



(e) 초기대응형 CTS 배치 변형-3



(f) 초기대응형 CTS 배치 변형-4

그림 130. 재난재해 초기대응시 CTS 적용성 평가

< 편집용 공백 >

제 5절. 구조일체형 경량복합패널 개발 및 주거시스템 목업

1. 복합패널 구성소재 최적화

복합패널은 시공이 간편하면서 단열성이 좋고, 방음, 방열효과가 좋아 건축자재로 많이 사용되고 있다. 주로 가건물이나 창고 시공에 많이 이용되고 있는데, 최근 일반 사무실, 주택으로 그 사용범위가 확대되고 있다. 코팅된 얇은 강판 사이에 스티로폼이나 글라스울같은 단열재를 넣어 만들기 때문에 샌드위치 패널이라고도 한다. 현재 사용되는 강판은 수분, 자외선 등으로부터의 부식을 방지하기 위해 아연(Zn), 알루미늄(Al), 구리(Cu) 등을 10-50㎛ 정도 도금한 강판을 사용하며 두께가 0.3-0.8mm 내외이다. 최근에는 외국산 칼라강판의 수입으로 도막 두께 및 아연 부착량의 감소로 내구성과 내식성이 떨어져 복합패널의 품질적인 문제가 발생할 수 있다는 우려가 제기되고 있다. 따라서 가벼우면서 내구성과 내식성이 우수한 컴포지트 복합패널에 대한 기대와 수요가 증가하고 있다.

컴포지트 소재를 복합패널에 사용하기 위해서는 우선 바람, 충격 등의 외부 환경으로부터 단열재를 보호할 수 있는 강도가 요구되며 수분, 자외선에 대한 저항성이 우수해야 한다. 또한 장기간 사용해도 성능저하가 일어나지 않는 내구성이 중요하다. 무엇보다 수분, 화학약품 등에 대한 내부식성이 필수적이다. 컴포지트 소재로 건축용 복합패널을 구성함에 있어서 요구되는 하중을 지지할 수 있도록 두께를 맞출 수 있는 강화재 선정과 적층 레이업 결정, 수지 선정은 무엇보다 중요하다. 그리고 외기 환경에 대응할 수 있는 마감처리도 해야 한다.

당 연구에서는 컴포지트 소재를 건축용 복합패널에 적용하기 위해 컴포지트 소재의 구성을 최적화하였고 단열재를 선정하였으며 이를 복합화하여 건축용 소재로의 적용을 검토하였다.

가. 컴포지트 구성요소 선정

(1) 섬유강화재

○ 복합패널의 스킨재로 사용될 컴포지트 소재를 만들기 위해 강화재로는 유리섬유 직물을 선정하였다. 유리섬유 직물은 600 Tex의 glass roving으로 제직한 평량 300g/m^2, 400g/m^2, 580g/m^2의 평직구조이다. 이 강화재를 2레이어로 적층하여 원하는 두께를 얻을 수 있도록 강화재를 구성하였다. 건축 소재에 대응하기 위해 직물은 2.0m 이상의 폭을 사용하였다. 섬유강화재는 컴포지트의 강도와 성형성을 고려하여 섬유 함유량을 45vol%로 설정하였다.

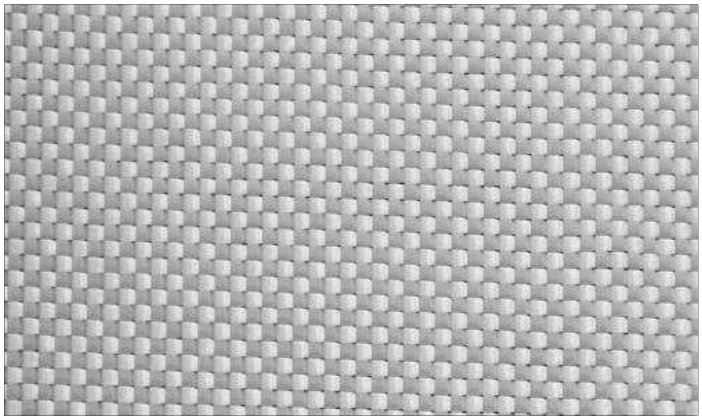


그림 131. 평직구조의 유리섬유 강화재

(2) 매트릭스 수지

○ 강화재를 함침시켜 컴포지트를 제조할 매트릭스 수지로 불투명 m-EP 수지를 선정하였다.

(3) 보호필름

○ 컴포지트 스킨을 자외선 등의 외부 환경에서 보호하고 외관면을 개선시킬 수 있도록 두께 50㎛, 무게 70g/m^2 백색 폴리에스터 필름을 부착하였다.

(4) 단열재 코어(core)

① 단열재 코어의 종류

○ EPS(Expanded Polystyrene): 발포폴리스티렌 등으로 불리며 부피의 98%가 공기이고 나머지 2%가 수지인 자원 절약형 소재이다. 그 밀도에 따라 등급을 구분할 수 있으며 통상 30kg/㎥이 가장 단단하며 열전도특성도 가장 뛰어나고 단열성능이 우수하여 가장 널리 사용된다. 단점은 열에 취약하고 화재 시 인체에 해로운 가스를 발생시키므로 내단열재로의 사용은 피해야 한다. 또한 흡수율이 약 2-4%대로 상대적으로 높으며 이에 따라 단열성이 급격이 저하될 수 있으므로 직접 물에 닿는 부위에 시공은 어려워 주로 지상층 외벽에 사용된다. 복합샌드위치패널 등의 형태로 건축용에 가장 많이 사용되는 단열재이다. 당 연구에서는 범용의 건축 소재에 적용하기 위해 EPS를 단열재로 선정하여 공정성, 물성 평가를 진행하였다.

○ XPS(Extruded Polystyrene): 압출법 보온판으로 불리며 통상적으로 흡수율이 거의 없다. 그러므로 직접 물에 닿는 부위에 적용하여도 단열성능을 보장받을 수 있기 때문에 지하층 외벽에도 적용이 가능하다. 동일한 밀도의 EPS보다 단열성능이 높으므로 벽체두께를 줄이거나 동일한 두께로 단열효과를 더 필요시 외벽 단열에 사용 할 수 있다. 그러나 프레온계 발포제 사용금지에 따라 점차 입지가 좁아지고 있다.

○ PUR(Polyurethane Foam):발포폴리우레탄으로 불리며 polyol과 isocyanate를 주원료로 하여 발포제, 촉매제, 안정제, 난연제 등을 혼합시켜 얻어지는 발포 생성물로서, 주로 고성능 단열재로 사용되고 있으며 특히 보냉용 단열재로 전 산업에 걸쳐 사용되고 있다. 폼의 겉보기 밀도를 비교적 자유롭게 조절할 수 있으며, 어디에서나 현장에서 간단히

발포시킬 수 있다. 그러나 가격경쟁력, 생산성이 저하돼 샌드위치 패널이 아닌 단열재로는 확대적용에 한계가 있다.



그림 132. EPS 단열재



그림 133. XPS 단열재

② EPS 단열재

○ 건축 소재로 사용되는 컴포지트-EPS 복합패널은 사용처와 용도에 따라 컴포지트, EPS 구성을 달리해야 한다. EPS의 경우 건축용은 일반적으로 밀도 15kg/m^3, 두께 100mm 또는 150mm 제품을 표준으로 사용하고 있으나 용도에 따라 요구되는 사항이 다양하다. 따라서 어떤 구조에 사용하는지에 맞게 두께를 선택해야 한다.

○ 해당 연구에서는 범용의 건축 소재에 적용하기 위해 밀도가 높은 25kg/m^3 EPS를 단열재로 선정하고 컴포지트 스킨재와 조합한 복합패널을 제조하여 공정성, 물성 평가를 진행하였으며 타 단열재에 대해서도 기초 연구를 진행하였다.

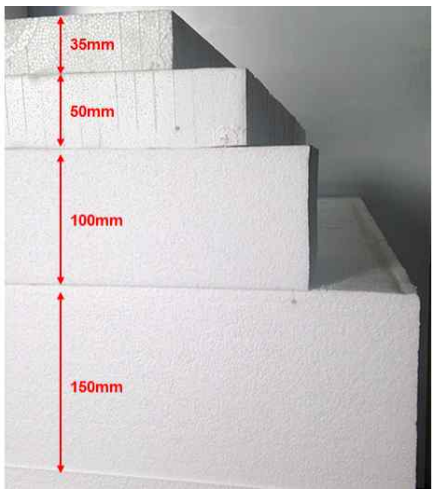


그림 134. 다양한 두께의 EPS core

③ EPS 코어의 열특성

○ 건축용 소재로 사용되는 코어재의 가장 중요한 특성은 단열성이다. EPS 단열재의 단열특성은 비드법 1호 단열재(열전도율 0.034W/mK)를 기준으로 한다.

○ 열전도율은 두께가 1미터인 재료의 열전달 특성이며 단위는 W/mK이다. 이는 두께 1m, 면적 1m^2인 재료의 앞쪽 표면에서 뒤쪽 표면으로 1℃ 온도차로 1시간 동안 전달되는 열량을 의미한다.

○ 두께가 1미터에서 줄어들거나 늘어날 경우에는 열관류율로 표현되며, 이는 단위두께에 대한 열적특성이라고 할 수 있다. (열관류율 = 열전도율/두께, 단위 W/m^2K)

○ 열관류율은 특정 두께를 가진 재료의 열전도 특성이며 숫자가 작을수록 단열성능이 높다. 단일소재가 아닌 복합소재일 경우 열관류율을 구하기 위해서는 열저항을 알아야 한다.

○ 열저항(R값)은 열관류율의 역수이며 단위는 W/m^2K이다. (열저항 = 두께/열전도율) R값은 열관류율의 역수이기 때문에 숫자가 클수록 단열 성능이 높다. 복합소재의 열관류율은 각각 재료의 열관류율을 합산하는 것이 아니라 열저항의 합계를 구한 후에 역수를 구해야 한다.

○ 아래는 대표적인 단열재의 열특성이다.

표 53. 단열재 열특성

재질	밀도	초기 열전도율	두께	열저항값(SI)
	kg/m3	W/(mK)	mm	(K·m2)/W
EPS 비드법1종2호	> 25	0.034	25	0.74
			50	1.47
			75	2.21
			100	2.94
			125	3.68
			150	4.41
			175	5.15
			200	5.88
			250	7.35
XPS 압출법1호	> 30	< 0.028	25	0.83
			50	1.67
			75	2.50
			100	3.33
			125	4.17
			150	5.00
			175	5.83
			200	6.67
			250	8.33
PUR/PIR 경질우레탄보드2종1호,2호	35 ~ 45	0.02	25	1.25
			50	2.50
			75	3.75
			100	5.00
			125	6.25
			150	7.50
			175	8.75
			200	10.00
			250	12.50
PUR/PIR	35 ~ 45	0.025	25	1.00

경질우레탄보드2종1호,2호			50	2.00
			75	3.00
			100	4.00
			125	5.00
			150	6.00
			175	7.00
			200	8.00
			250	10.00

○ EPS 단열재와 컴포지트 스킨을 라미네이션한 복합패널의 두께별로 열특성을 측정하였는데, 컴포지트 소재는 열을 전달하지 않으며 EPS 단열재와 복합화한 패널의 열저항 값도 순수 EPS 단열재와 거의 같음을 알 수 있었다.

(5) 패널 제조용 Glue

○ 접착용 glue는 1액형 타입과 2액형 타입으로 구분된다.

○ 1액형 타입은 주제(a제)와 경화제(b제)가 일체형으로 되어 있는 제품으로 일정온도로 가열하면 반응이 되어 경화(접착)가 일어나는 제품이다. 사용이 편리하다는 장점이 있으며 단점은 일정 온도 이상으로 가열해야 하며 개봉 후 접착성이 떨어져서 제품의 사용기간이 제한적이라는 단점이 있다.

○ 2액형은 주제와 경화제가 각각 분리포장 되어 있어 섞어서 사용하며 온도를 가열하지 않아도 상온에서 쉽게 경화가 일어날 수 있는 장점이 있다. 그러나 주제와 경화제를 섞어서 사용하기 때문에 공정이 다소 번거롭다.

○ 본 연구에서는 경화 속도, 성능 등에서 장점을 가지는 2액형 glue를 사용하였으며 이를 이용해 컴포지트-단열재 접착성을 평가하였다.



그림 135. 이액형 접착제 (좌)주제,(우)경화제

2. 복합경량패널 제조

가. 컴포지트 스킨 제조

○ Roll로 감겨있는 유리섬유 직물 2ply, 폴리에스터 필름으로 레이어를 구성한 후 분말상의 매트릭스 수지를 도포하였다. 이것이 heating zone을 통과하면서 수지가 용융되어 직물사이에 함침된다. 이어서 cooling zone을 통과하면 수지가 고상화(solidification)되어 컴포지트가 제조된다. 이 공정은 연속적으로 이루어지며 폭 2.0m 이상의 coil형태의 컴포지트 시트가 얻어진다.

○ 상기와 같이 제조된 컴포지트 시트의 물성을 평가하였다. 각 스킨의 섬유강화재 함유량은 45vol%이며 ISO 규격에 의해 인장, 굴곡 특성을 평가하였으며 결과는 아래 표와 같다.

표 54. 복합소재 시트의 물성

	Unit	G1258W2	G1240W2	G1230W2	Test Standard
Thickness	mm	1.15	0.75	0.60	-
Weight of Fabric	g/m2	580	400	300	
No. of Ply		2	2	2	
Weight of Skin	g/m2	1900	1360	1050	
Tensile Strength	MPa	370	320	380	ISO 527
Tensile Modulus	GPa	22	20	22	ISO 527
Flexural Strength	MPa	470	450	410	ISO 178
Flexural Modulus	GPa	16	18	18	ISO 178



그림 136. Coil상 컴포지트 스킨 제품



그림 137. LiteTex G1230W2, G1240W2, G1258W2 샘플

○ 스킨재의 물성을 타사 스킨과 비교한 결과 타사 대비 물성이 우수함을 확인하였고, 상기 구성의 컴포지트 스킨을 건축용 소재로 사용할 수 있다.

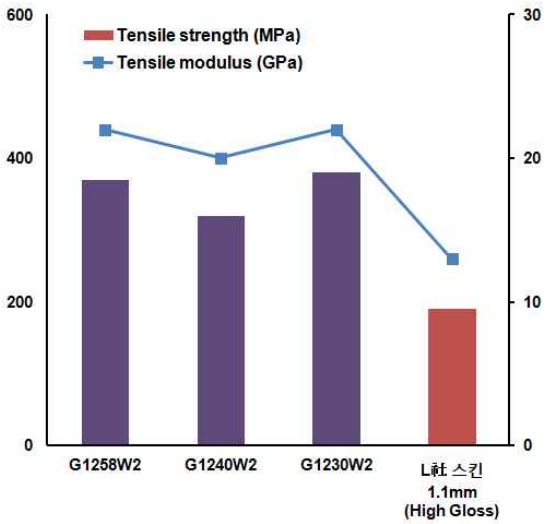


그림 138. 인장 물성 비교

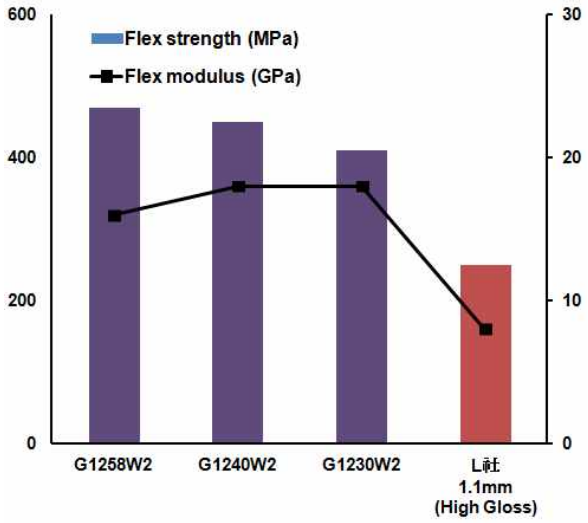


그림 139. 굴곡 물성 비교

○ 따라서 당 연구에서는 두께, 물성 면에서 최적인 G1240W2 스킨을 사용하여 복합패널을 제조하였다.

나. 대면적 복합패널 제조

○ 컴포지트 스킨과 EPS 코어를 glue를 이용하여 접합하여 복합패널을 제조하였다.

○ Glue는 주제와 경화제를 무게비로 5:1의 비율로 섞은 후 stirrer로 충분히 저어서 잘 혼합되도록 한다. 롤러를 이용하여 EPS 위아래 두 표면에 glue를 고르게 도포하였다. 접착제의 양은 m^2당 300g이 되도록 조절하였다. 접착제 도포 후 컴포지트 스킨을 EPS의 위아래에 올려놓고 경화제가 경화되어 굳어질 때까지 적당한 압력을 가하였다. 상온에서도 경화가 이루어지나 온도를 가하면 경화속도를 촉진시킬 수 있다.

○ 컴포지트-EPS 복합패널을 건축소재로 효과적으로 사용하기 위해서는 폭 2.0-3.0m, 길이 수 m의 대면적의 패널이 필요하다. 이를 위해 바탕으로 이를 대면적 공정에 적용할 수 있는 진공백 성형공정(Vacuum bagging method)을 개발하였고 공정은 다음과 같다.




그림 140. 금형 판 준비(좌) / 컴포지트 스킨 재단(우)

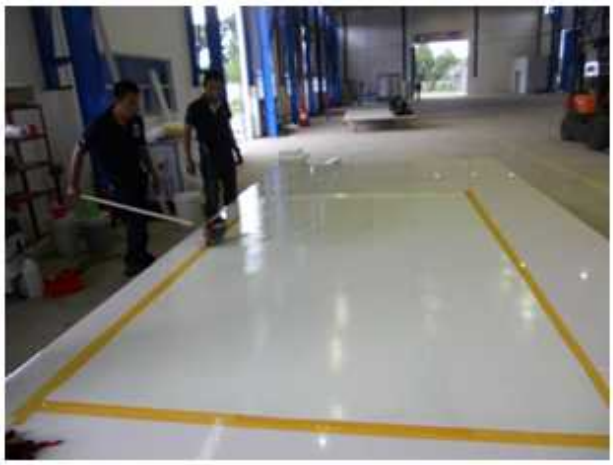



그림 141. 스킨에 Glue 도포(좌) / EPS core에 glue 도포 및 적층(우)




그림 142. 진공백 성형(좌) / 대면적 복합패널 완성(우)

○ 단시간에 대량의 패널을 생산할 수 있는 유압프레스 방식(hydraulic pressing method)도 개발하였다.

○ 상기에서 개발한 공정으로 아래와 같이 폭 2.0-3.0m, 길이 수 m의 복합패널을 효율적으로 제조할 수 있다. 대면적의 패널을 단독으로 사용할 수도 있고 필요에 따라 적당한 크기로 재단하여 사용할 수 있다. 대면적으로 제조함으로써 패널 제조에 소요되는 비용과 시간을 줄이고 대면적이 필요한 건축물의 외벽 등에 단일 패널로 능동적으로 대처할 수 있게 되었다.



그림 143. 프레스 패널 생산 방식(좌) / 대면적 컴포지트-EPS 복합 패널(우)

다. 패널 물성 평가

○ 복합패널에서 중요한 물성은 축방향 압축강도(axial compressive strength), 면내 전단강도(in-plane shear strength), 분포압 강도(pressure distribution strength)이다. 국내에서는 KS F 4724(Building component steel panel for wall) 규격으로 시험방법을 규정하고 있다. KS F 4724는 패널의 시험방법만을 규정할 뿐 기계적 물성의 만족 기준을 제시하지는 않는다.

○ 국제적으로는 ASTM E72 'Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction'이 패널 시험방법을 규정하고 있다. 이 규정에서도 Axial Compressive Load, Transverse Load, Racking Load를 정의한다. 그러나 ASTM에서도 시험규격만을 정의할 뿐 패널 기계적 물성의 만족기준을 제시하지는 않는다.

○ 제조한 복합경량패널을 ASTM 규격에 의거하여 Axial Compressive Load, Transverse Load, Racking Load 등 총 세 가지 물성을 평가하였다.

○ 시험은 미국내 인증시험소인 Applied Testing & Geosciences (www.appliedtesting.com)에서 진행하였다.

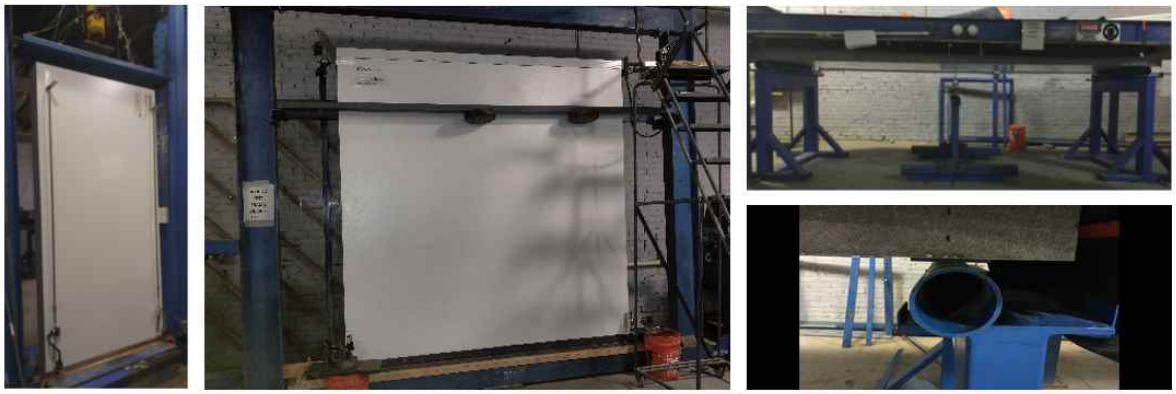


그림 144. ASTM E72 test set-up

○ 시험편 패널의 두께는 6인치(152mm)이며 스킨재는 역시 0.8mm 복합소재를 사용하였다.
○ 3 종류의 패널 시험 결과는 아래 표와 같다. Allowable load는 ultimate load를 safety factor 3으로 나눈 값이다. Transverse Load 시험보고서는 부록에 첨부하였다.

표 55. 3 종류 패널 시험 결과

Load condition	Panel Size (ft)	Panel Span Length (ft)	Allowable Load 6" Panel
Axial	8 x 4	-	781 lb/ft
Racking	8 x 8	-	84 lb/ft
Transverse	12 x 4	11	28.2 psf
	16 x 4	15	17 psf

3. 복합패널 접합부 연구

가. 패널-패널 연결 접합 공법 개발

○ 대면적 패널 하나만으로도 수 m의 벽은 연결부위 없이 설치할 수 있다. 그러나 패널과 패널이 만나는 코너부를 연결하기 위해서는 별도의 연결방법이 필요하다.
○ 당 연구에서 개발한 복합패널로 건축물을 지을 경우 별도의 철제 구조물을 사용하지 않기 때문에 복합 패널-패널을 효과적으로 접합하거나 패널과 다른 소재를 접합하기 위해 다양한 방법에 대해 연구개발을 진행하였다.
○ 패널을 접합(연결)하는 방법은 주로 프로파일(profile)을 사용하는 것이며, 프로파일의 재질에 따라 갈바(아연도금강판), PVC, composites 등으로 구분할 수 있다.
○ 또한 연결부의 형상에 따라 'L'형 프로파일, 'U'자형 프로파일 등으로 구분할 수 있다.
○ 패널과 프로파일을 연결할 때는 연결부위를 glue나 실링체로 충진하고 경우에 따라서는 체결 강도를 높이기 위해 나사못, 리벳, 볼트 등으로 체결한다.
○ 아래 그림은 개발한 다양한 프로파일 종류와 패널 연결 모습의 예이다.



그림 145. L형 프로파일, 갈바(좌), PVC(중), Composites(우)



그림 146. U형 프로파일(PVC)





그림 147. 프로파일을 이용한 패널 체결

나. 패널-Fastener 체결력 연구

○ 리벳, 스크류, 못 등 건축에 사용되는 각종 공구를 이용하여 복합소재 스킨과 패널을 체결할 때 충분한 체결력을 확보해야 한다. 이에 ASTM D1037에 의거하여 체결력을 정량적으로 측정할 수 있는 치구를 제작하여 시험을 진행하였다. Fastener 종류별로 체결력을 비교하였다.

○ 패널 시험편의 크기는 76mm × 152mm이며 패널 중앙에 4.2mm(직경) × 30mm(길이) screw를 체결하였다. UTM의 crosshead는 1.5mm/min의 속도로 시험하였다.

○ 복합소재는 두께가 0.8mm로 얇기 때문에 표면에 복합소재와 steel로 보강을 한 경우를 시험하여 비교평가하였다.

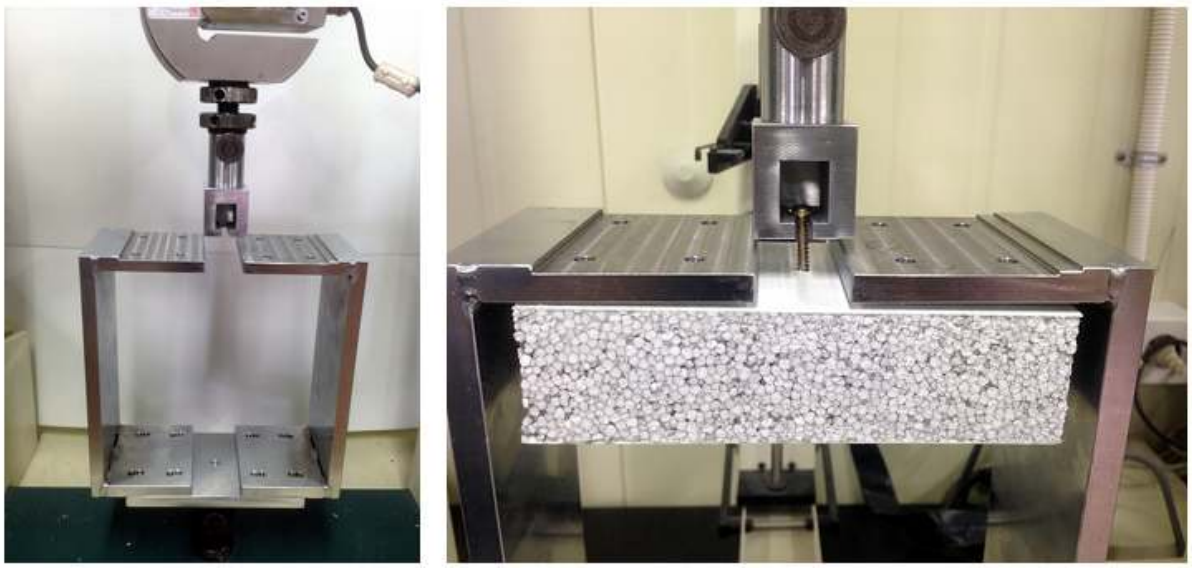


그림 148. Fastener 체결력 측정용 시험 장비 (좌) 시험 치구 (우) 시험 모습

○ 체결력 시험 결과는 아래와 같다. 복합소재 스킨(두께 0.8mm)만을 사용했을 경우, screw의 pull-out force는 266N이다. 즉 screw를 패널표면에 체결하면 266N (≒ 27kgf)의 힘을 가해야 screw를 뽑을 수 있다. Screw의 한 피치는 1mm 이상이며, screw를 패널에 체결하면 1 피치만 0.8mm 두께의 스킨에 걸리게 된다. 1 피치와 0.8mm 두께만으로 27kg의 힘을 지탱할 수 있다. 힘이 가해질수록 스킨재-screw 체결부분에서 스킨재가 늘어나는 변형을 하면서 hole이 넓어지며 screw가 뽑히게 된다. 스킨재 변형이 일어나지 않는다면 pull-out force가 증가한다.

○ 또한 주변에 screw를 여러 개 체결할 경우 최종 pull-out force는 screw 개수에 비례하여 증가한다.

Surface of panel EPS core	LiteTex only	LiteTex + LiteTex substrate (0.8mm)	LiteTex + Steel substrate (1.0mm)
Specimen		 LiteTex substrate(G1240W2) is attached to panel surface using glue and rivet.	 Steel substrate is attached to panel surface using glue and rivet.
Max. Load(Force)	266 N	510 N	1468 N

그림 149. Screw 체결력 시험 결과

○ 스킨재 표면에 동일 두께(0.8mm)의 스킨재를 보강한 후 screw 체결력을 시험한 결과 pull-out force는 510N(≒ 52kgf)이었다. 스킨재의 두께가 증가하면 pull-out force도 증가한다.

○ 스킨재 표면에 1.0mm 두께의 steel판을 보강한 후 screw 체결력을 시험한 결과 pull-out force는 1468N(≒ 150kgf)이었다. 이는 스킨재-screw 체결부분에서 hole 변형이 제한되어 pull-out force가 증가한다.

○ 필요에 따라 패널 스킨표면에 보강을 하게 되면 체결력을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

○ Screw 외에 리벳, 팸넛, 플라스틱 fastener 등 다양한 형태의 fastener로 체결력을 시험하였으며 실제 건축 환경에 맞는 접합 방법을 최적화하는 것이 필요하다.



그림 150. 다양한 fastener 체결력 시험

4. 기초/바닥용 패널 시스템 제작 및 성능 평가

주택 바닥은 지속적인 하중을 받기 때문에 압축물성이 우수한 소재를 사용해야 한다. 압축 물성 외에 bending 변형 등에도 저항성이 우수해야 한다. 무엇보다 주택 바닥에 사용하기 위해서는 시공성을 고려해서 가벼워야 하며 내구성, 내식성 뿐만 아니라 단열성도 우수해야 한다. 당 연구에서는 물성과 단열성이 우수한 EPS core재를 사용하고 있는데, 기초용/바닥재용 패널의 경우 다른 core재를 적용한 패널을 제조하여 바닥재료의 적용가능성을 검토하였다.

가. 허니컴 소개

- 고강도가 요구되는 건축, 토목 분야에 허니콤(Honeycomb, HC) 소재가 많이 이용된다. 특히 PP(Polypropylene) 허니콤은 높은 강도 때문에 하중이 많이 가해지는 구조재에 많이 이용되고 있다. 고강도의 컴포지트 소재와 허니콤의 조합에 따라 다양한 성능의 소재 디자인이 가능하기 때문에 건설용 소재로 효과적으로 사용될 수 있다.
- 허니콤은 sheet 모양의 금속, 수지 가공재, 종이 등으로 만든 육각형 세포 모양의 구조를 가리키며 상하면으로부터의 비압축강도가 매우 높은 것이 특징이다. 경량화를 목적으로 주로 샌드위치 패널의 core로 사용되며 플라스틱의 경우 PP honeycomb(이하 HC)이 일반적이다. PP 허니콤과 그 구조를 아래 그림에 나타내었다.
- PPHC는 cell size에 따라 6mm, 8mm, 10mm, 12mm 등이 있으며 cell size가 작을수록 밀도와 압축강도가 높아진다. Cell size에 따른 PPHC의 물성 변화를 분석하였고, 실험을 통해 확인하였다.

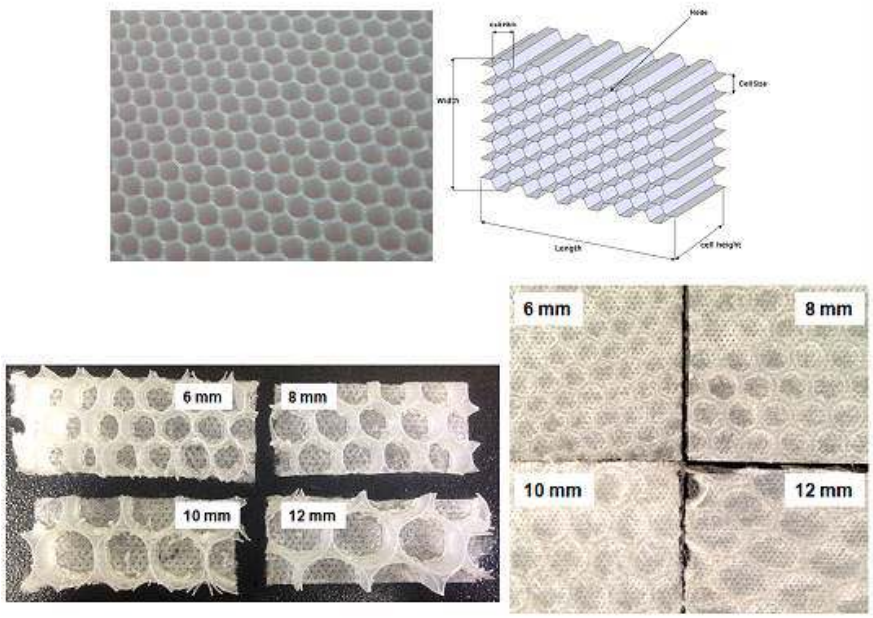


그림 151. 허니컴 구조

- 복합소재 스킨 종류별, PPHC 종류별 복합패널을 제조하였고, 압축물성을 측정하여



그림 152. 허니컴 압축강도 시험

성능을 평가였다. 이 때 압축이 가해지는 모드를 달리하여 실제 환경을 모사할 수 있도록 하였다.

○ 압축시험에서 압축판 크기를 달리하면, 다른 압축 환경(국부 집중 하중, 전체 균일 하중)을 모사할 수 있는 효과가 있다.

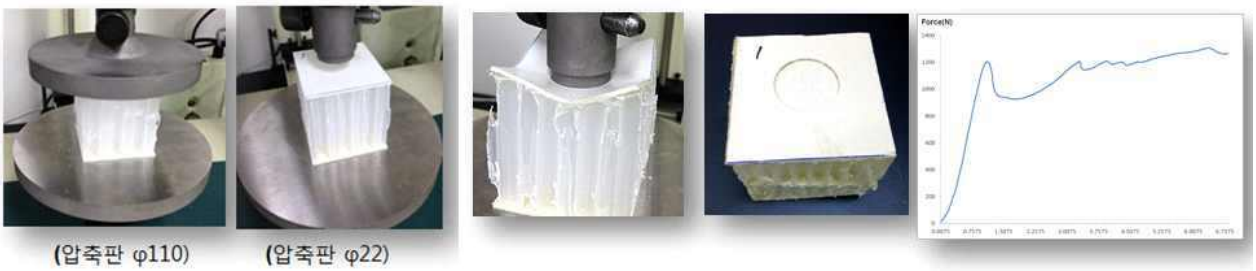


그림 153. 허니컴-복합소재 복합패널 압축강도 시험

○ 압축판 크기가 시편의 압축영역보다 클 경위 시편 전체에 균일 하중이 작용하는 환경을 모사할 수 있었다.

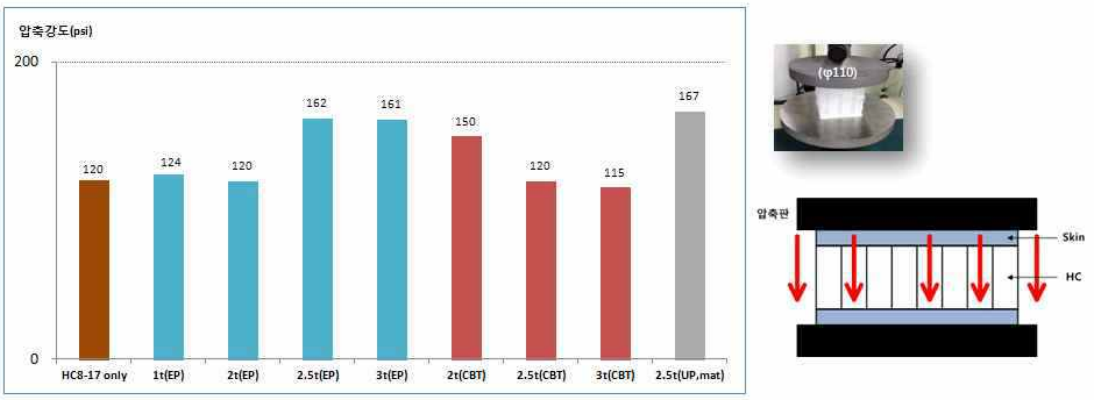


그림 154. 압축한이 시험편보다 클 경우 패널 압축 거동

○ 압축판의 압축영역이 시편보다 작을 경우 이는 국부 집중하중에 해당하며, 실제 환경과 유사하다고 볼 수 있다. 이 경우 표면 스킨재의 영향을 매우 큼을 확인하였다.

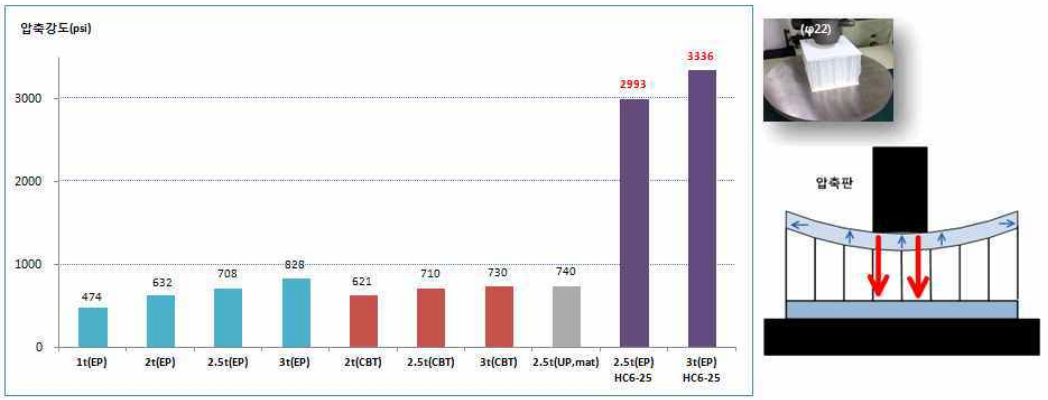


그림 155. 압축판이 시험편보다 작을 경우 패널 압축 거동

○ 복합소재와 허니컴을 결합하여 대면적 패널을 제조하였고 성능을 평가하였다. 패널의 압축강도는 매우 우수함을 확인하였으나, 소재 특성상 단열성은 보완해야 한다.



그림 156. 대면적 컴포지트-허니컴 복합 패널

나. PET foam Core

○ PET 소재로 만든 PET foam은 기계적 물성, 특히 압축강도가 매우 뛰어나다. 따라서 높은 구조안정성이 필요한 건축, 수송 분야로 용도가 확대되고 있다. 아직까지 밀도가 높고 단열성능이 EPS 대비 낮다는 단점이 있으나 이를 개선하기 위한 연구개발이 진행되고 있다.

○ 당 연구에서도 구조적인 안정성(특히 바닥재)을 높이기 위해 PET foam board를 이용한 패널을 제조하였고 물성 평가 및 적용성에 대해 연구를 진행하였다.



그림 157. 다양한 PET foam board 및 이를 이용한 복합 패널

○ 압축강도 시험에서 PET foam은 EPS 대비 높은 압축강도를 나타내었다. 그러나 PET는

샘플 재단 방향에 따라 압축강도 차이가 매우 큰 anisotropy성질을 나타내었다.

Foam	Density (kg/m3)	Thickness (mm)	방향	Compressive strength (kgf/cm2)		Compressive strength (psi)		Compressive strength (MPa)	
				@ 5% deformation	@ 10% deformation	@ 5% deformation	@ 10% deformation	@ 5% deformation	@ 10% deformation
EPS	20	98	두께	1.06	1.20	15.1	17.1	0.10	0.12
EPS	35	102	두께	2.39	2.58	34.0	36.7	0.23	0.25
EPS (FR)	30	100	두께	1.81	1.96	25.7	27.9	0.18	0.19
Phenol	40	80	두께	1.09	1.28	15.5	18.3	0.11	0.13
PET	70	100	1	9.24	8.98	131.4	127.7	0.91	0.88
			2	0.85	1.86	12.1	26.4	0.08	0.18
			3	2.53	2.97	35.9	42.2	0.25	0.29
		70	1	2.36	2.59	33.6	36.8	0.23	0.25
			2	1.63	2.02	23.2	28.7	0.16	0.20
			3	8.12	7.21	115.5	102.6	0.80	0.71

그림 158. 각종 foam core의 압축강도 결과

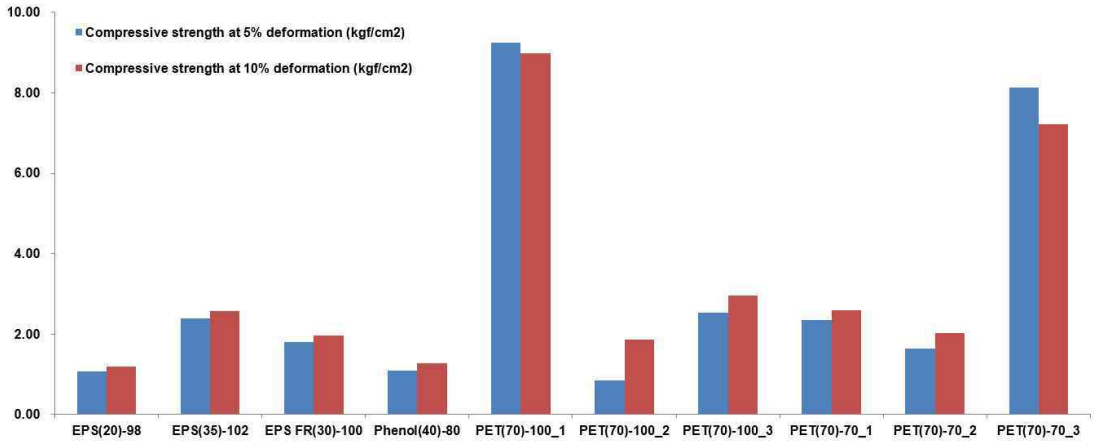


그림 159. 각종 foam core의 압축강도 결과 비교

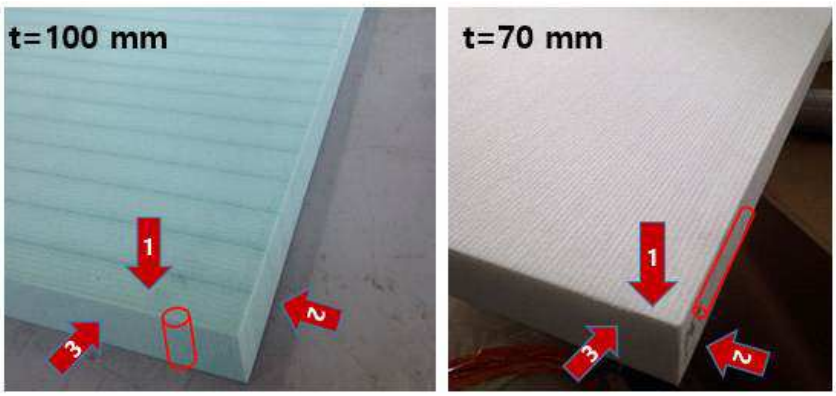


그림 160. PET core의 방향 의존성



그림 161. 대면적 PET foam 복합 패널

○ 따라서 PET foam을 core로 사용할 경우 사용 용도에 맞도록 방향성 고려해서 패널을 제조해야 한다. 압축강도가 매우 높기 때문에 바닥재로 적합하지만 무게가 EPS 대비 무거운 단점이 있다.

5. 기능성 내화 소재 개발

○ 건축소재에 사용되는 단열재는 그 기능에 따라 다양한 종류가 있다. 기본적인 단열성능을 갖추어야 하며 그 외에 내열, 난연, 내화 성능 등은 건축 소재에 필수적인 요구사항이다. 단열재로 가장 널리 사용되는 EPS는 단열성능은 우수하지만 내화, 난연 등 열적 특성은 취약한 단점이 있다. 따라서 열적특성을 보완할 수 있는 기능성 단열재의 개발이 시급하며 이에 대한 연구를 진행하였다.

가. 내화 필름

○ 스킨재의 내화 성능을 향상시킴에 있어 가장 효율적인 방법은 스킨재의 표면에 내화필름을 부착하는 것이다. 난연 필름 중 대표적인 것은 난연 PET 필름(두께 50㎛)이며 이 필름을 패널 표면에 부착하여 난연 성능을 평가해 보았다.

○ 시험편에서 화염원과의 거리를 10cm로 하고, 화염을 10초간 유지하였으며 결과는 아래와 같다.

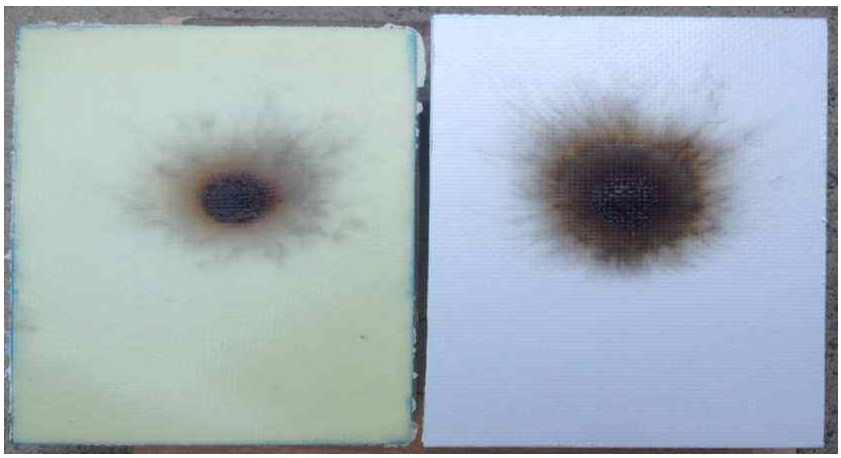


그림 162. (좌) 난연필름 부착한 패널, (우) 일반 패널

나. Phenol Foam(PE) board

○ 페놀수지로 제조된 페놀수지 발포폼(PF)은 열을 퍼트리는 열전도율 낮은데, 열전도율이 낮을수록 내부의 열이 외부로 빠져 나가는 것을 막아주어 단열 성능이 우수하다. 고온에서도 열변형이 거의 없고 화학작용과 용매에도 매우 강하다. 따라서 페놀폼은 불연성이 요구되는 다양한 실내외 장식 및 조형물 등에 이용 가능하며 철도차량이나 항공기 등의 구조재료로도 활용되고 있다.

○ 그러나 페놀폼은 깨지기 쉬운 구조 때문에 사용에 한계가 있어 단열재로 활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

○ 본 연구에서는 페놀폼을 이용하여 패널을 제조하고 이의 내화성능을 기존 패널과 비교하였다.

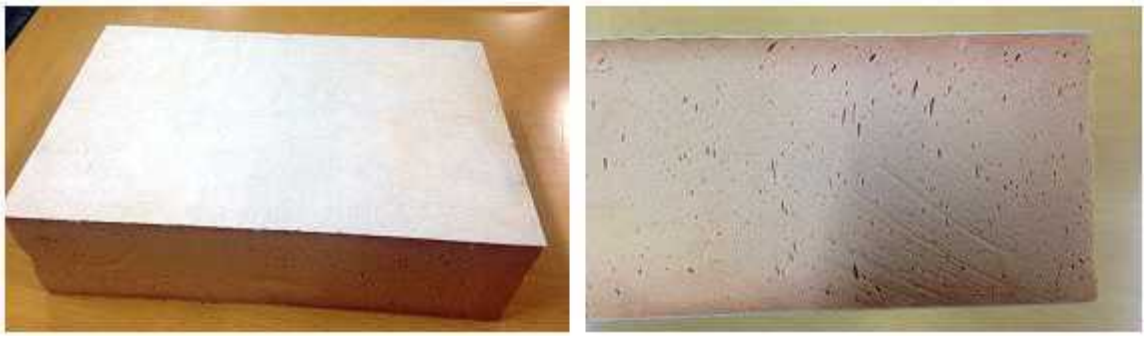


그림 163. 페놀폼 board (두께 80mm)

○ 페놀폼 표면에는 얇은 veil이 부착되어 있어 페놀폼의 표면을 보호하고 타 소재와 접착을 용이하게 해 준다. 그러나 페놀폼 자체와 veil의 접착력이 낮은 것으로 알려져 있다. 먼저 페놀폼과 veil과의 접착, veil과 컴포지트 스킨재와의 접착력을 평가해 보았다.
○ 페놀폼 한 쪽면에는 컴포지트 스킨재를 접착하고, 다른 면에는 페놀폼의 veil을 제거한 후 동일한 스킨을 접착하였다. 접착제는 기존 glue 시스템을 사용하였다.
○ 접착 후 스킨을 물리적으로 떼어내면서 접착면을 관찰하였다. 두 경우 모두 접착력이 약함을 확인할 수 있었다. 이는 페놀폼의 근본적인 문제로서 타소재와 접착할 때는 glue 외에 물리적인 조인트가 필요할 것으로 보인다.



그림 164. (좌) Veil/LiteTex 접착, (우) PF/LiteTex 접착

○ 패널에 화염을 3분간 노출하는 불꽃접촉 실험을 통해 내화성능을 평가하였다. 한 패널 표면에는 내화도료를 1mm 두께로 도포하여 동일 조건에서 평가를 진행하였다.

○ 시험 결과 페놀폼이 녹거나 불에 타지는 않으며 탄화되어 부서지는 것을 알 수 있었다. 내화도료를 도포한 패널은 온도가 높아질수록 표면에서 char가 형성되어 화염 전화를 차단하게 된다.

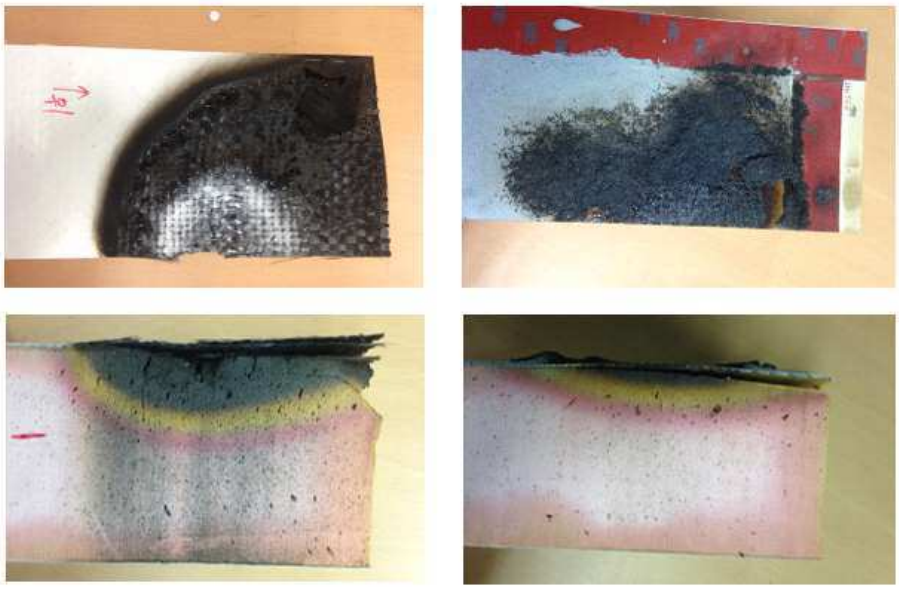


그림 165. (좌) LiteTex/PF, (우) LiteTex/PF + 표면 내화도료

○ 반면 일반 EPS와 내화도료를 사용한 패널의 경우 표면의 화염전파는 막아주지만 뜨거운 열이 그대로 전달되어 EPS가 녹아내리는 것을 알 수 있다. (아래 그림) 페놀폼이 열을 효과적으로 차단해 주어 내화성능을 높일 수 있다.



그림 166. 스킨재/EPS + 표면 내화도료

다. 난연 EPS

○ 난연 EPS는 EPS를 생산하는 과정에서 EPS 입자 알갱이에 난연코팅을 한 후 성형하거나, 성형된 EPS에 난연재를 주입하여 난연성능을 확보한 EPS를 말한다. EPS에 난연성을 부여하기 위한 제품 개발이 활발하며 이를 컴포지트와 라미네이션한 복합패널을 제조하여 내화 테스트와 적용성 평가를 진행하고 있다.

라. 준불연재료 시험

○ 건축소재로 사용하기 위해서는 일정 수준의 내화성능이 필요하며, 이에 시험규격에 맞는

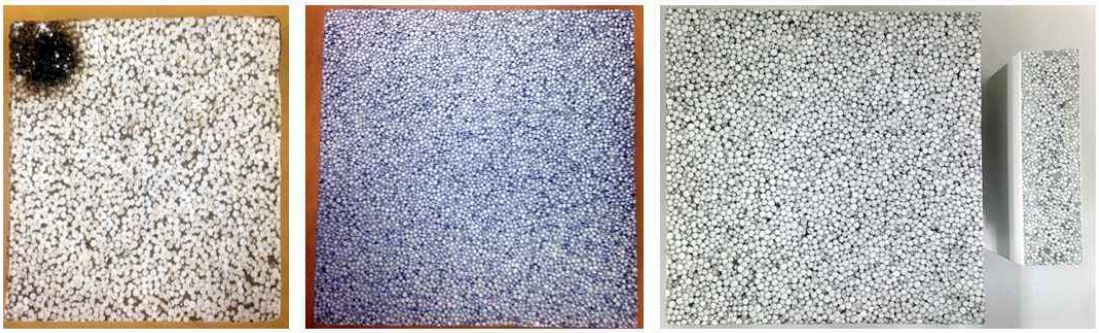


그림 167. 난연 EPS 및 컴포지트 복합 패널

내화시험을 진행하였다.

○ 국내 준불연재료에는 총 2가지 시험을 진행해야 한다.

(1) 열방출률 시험

○ 시험체의 규격은 100mm × 100mm × 50mm(이하)이며 시험장비는 다음과 같다.

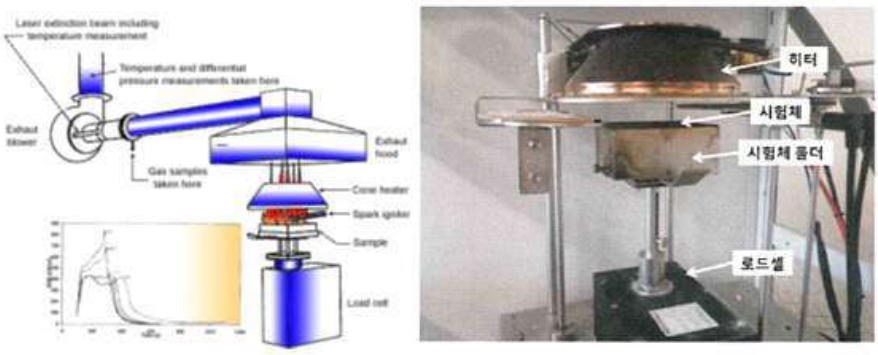


그림 168. 열방출률 시험용 콘칼로리미터

○ 시험방법은 다음과 같다.

- 콘히터의 복사열을 50kW/㎡ ± 1kW/㎡, 배출유량을 0.024㎥/s ± 0.002㎥/s로 설정한다.
- 시험체와 시험체 홀더를 질량측정 장치 위에 위치시킨다.
- 복사열 차단 장치를 제거한 후 5분(준불연재료시험은 10분)간 가열한다
- 최대열방출률과 총방출열량을 측정한다,
- 가열 종료 후 질량측정 장치에서 시험체 홀더를 제거하고 시험체를 관찰한다.

○ 이 시험의 성능기준은 KS F ISO 5660-1 [연소성능시험-열 방출, 연기발생, 질량 감소율-제1부: 열 방출률(콘칼로 리미터법)]에 따른다. 가열시험 개시 후 5분(준불연재료시험은 10분)간 총방출열량이 8MJ/㎡ 이하이며, 5분(준불연재료시험은 10분)간 최대 열방출율이 10초 이상으로 연속으로 200kW/㎡를 초과하지 않으며, 5분(준불연재료시험은 10분)간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 융용(복합자재의 경우 심재가 전부 융용, 소멸되는 것을 포함한다) 등이 없어야 한다.

(2) 가스유해성 시험

○ 시험체의 규격은 220mm × 220mm × 제품두께이며 시험 장비는 다음과 같다.

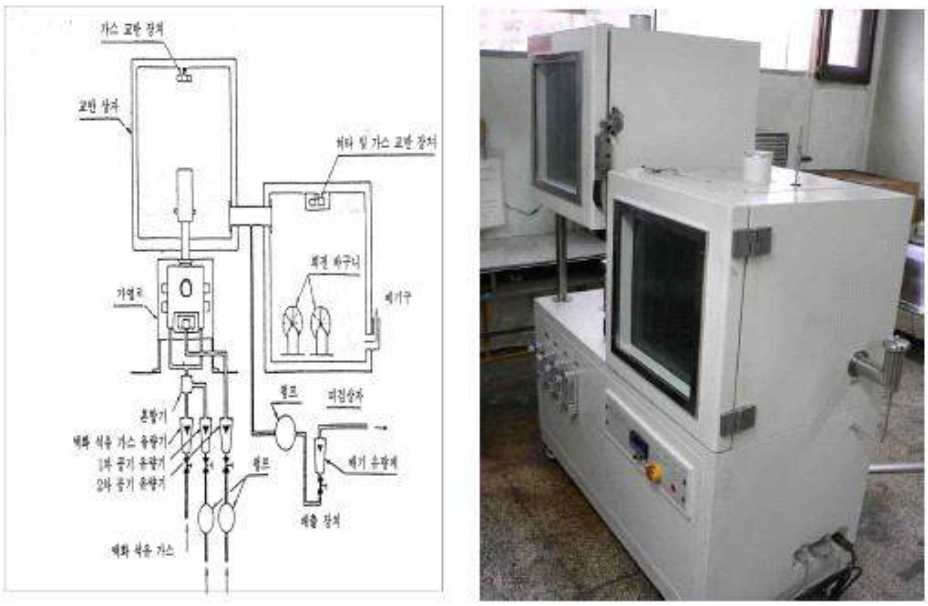


그림 169. 열방출률 시험 장비

○ 시험방법은 회전 바구니 속에 흰쥐(ICR계 암놈, 5주, 18~22 g)를 8마리 넣은 다음 가열로 속에 시험체를 넣고 6분간 (프로판 3분, 복사열 3분) 가열 후, 시험체가 타면서 나온 연소가스가 교반상자를 거쳐 회전바구니상자까지 가서 흰쥐에 끼치는 영향을 본다.

- 피검상자 내의 온도를 30℃로 유지시킨다.
- 실험용 흰 쥐를 1마리씩 넣은 회전바구니 8개를 피검상자 내에 투입한다.
- 시험체를 가열로 내에 투입한 후 6분간 가열한다.
- 가열 개시 후 15분간 개개의 실험용 흰 쥐의 행동정지시간을 측정한다.

○ 이 시험의 성능기준은 실험용 쥐의 평균 행동정지시간은 9분 이상이어야 한다.

○ 본 연구에서는 난연 컴포지트 스킨, PU접착제, PF board를 이용하여 준불연시험을 진행하였고 최적의 소재 조합을 찾는 연구를 진행하고 있다.



사진 1 시험 전



사진 2 시험 후

시험항목	성능기준	결과			비 고
		시험체 1	시험체 2	시험체 3	
열방출율 시험	총 방출열량 8 MJ/m² 이하 (MJ/m²)	7.7	8.4	8.2	-
	열방출율이 10 s 이상 연속으로 200 kW/m²를 초과하지 않을 것 (s)	0	0	0	
	시험체(복합자재인 경우 심재를 포함한다)를 관통하는 균열, 구멍 및 용융 등이 없을 것	없음	없음	없음	

그림 170. 열방출율 시험 결과



사진 3 시험체 1 시험 전



사진 4 시험체 1 시험 후

	시험체 1	시험체 2	성능기준	비 고
두께 (mm)	105.9	106.0	실험용 흰 쥐의 평균 행동 정지시간 9 min 이상	-
시험 전 무게 (g)	347.06	350.20		
시험 후 무게 (g)	316.63	318.99		
감 량 (g)	30.43	31.21		
행동 정지 시간	12 min 29 s	9 min 17 s		
표준편차	01 min 31 s	00 min 35 s		
평균 행동 정지 시간	10 min 58 s	8 min 41 s		

그림 171. 가스유해성 시험 결과

6. 구난용 창호 구조 제작 및 성능 평가

○ 1차년 연구에서 최적화한 공정으로 생산가능한 패널의 최대 크기는 2.8m × 12.0m이며 용도에 맞게 크기는 조절이 가능하다. 건축소재로 사용할 수 있는 최적의 크기로 패널을 빠른 시간 내에 생산할 수 있어 패널의 경제성을 확보하였다.

○ 또한 패널을 도면에 맞게 재단(cutting)하는 공정도 개발하였다. 특히 출입문, 창문 등 창호가 있는 경우 cutting 공정 개발을 통해 설계대로 패널을 절단할 수 있으며 재단된 패널을 현장에 수송하여 바로 창호를 조립/연결할 수 있어 건축에 소요되는 시간적, 공간적 제약요소를 상당부분 극복하였다.

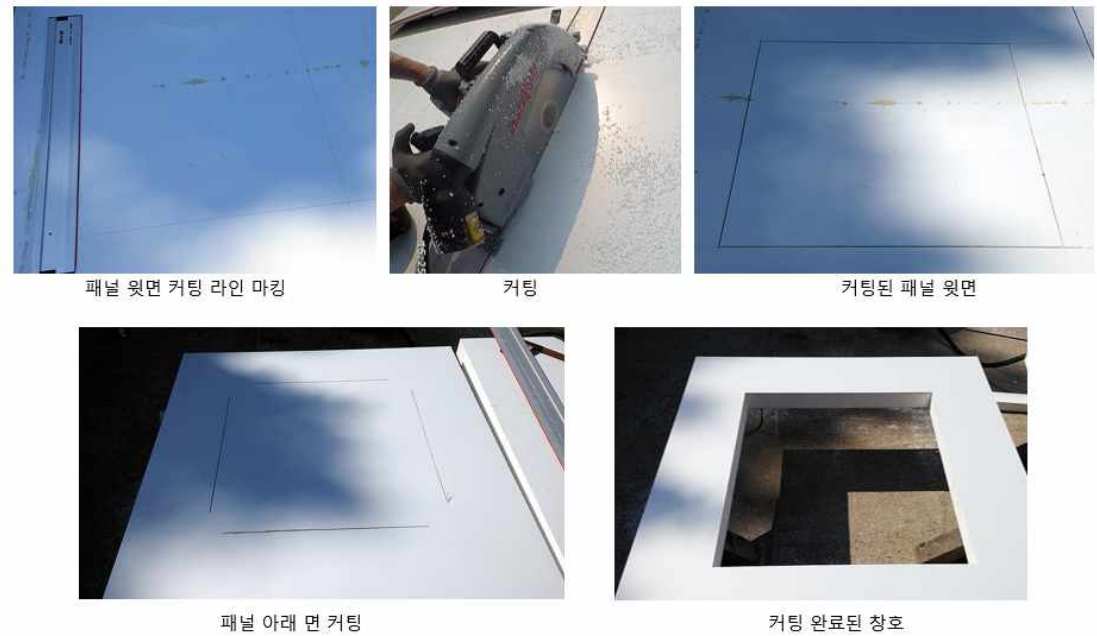


그림 172. 창호 컷팅 공정

○ 패널의 두께별로 다양한 cutting tool을 사용하며, 패널이 매우 두꺼울 때는 2단계 cutting을 통해 최종 재단하는 공법을 개발하였다.

○ 패널에 위 그림과 같은 개구부가 있을 경우에도 외부 힘에 의해 패널이 쉽게 파괴되지 않고 변형 정도만 커지며 이는 1차년도에 진행된 racking 구조시험에서 확인하였다.

7. 구조일체형 주거시스템 목업 제작 및 설치

○ 1차년과 2차년도 연구를 통해 다기능성 경량 복합패널을 개발하였고, 대면적 생산법도 최적화하였다. 또한 패널 접합부 연구를 통해 다양한 접합 방법을 개발하였고 평가를 진행하였다. 건축물의 사용용도에 맞게 패널 두께, 크기, 접합방법 등을 적용해야 한다.

○ 일련의 연구결과를 실제 건축물에 적용하기 위해 시제품용 주택을 설계하고 실제 제작/설치를 진행하였다.

가. 샘플 하우스



그림 173. 창호 설계에 맞게 재단된 대형 패널

○ 바닥, 벽, 지붕을 포함하여 총 12개의 패널로 샘플 하우스를 설계하고 개발한 공법에 따라 실제 건축을 진행하였다. 사용한 패널의 두께는 100mm의 단열재를 사용하였다.

○ 패널 제조, 패널 커팅, 이송, 고정, 접합 등의 모든 공정을 기록하였고 시공가이드로 정리하였다.



그림 174. 샘플 하우스 설계 (12개의 패널)



그림 175. 패널 재단 및 이송, 정렬



그림 176. 외벽 고정 및 조립 1



그림 177. 외벽 고정 및 조립 2



그림 178. 외벽 고정 및 조립 3



그림 179. 외벽 재조립



그림 180. 외벽-내벽 연결 조립



그림 181. 창호 설치



그림 182. 지붕 설치



그림 183. 완성된 샘플 하우스

○ 샘플 하우스 제작/설치에서 얻은 경험을 바탕으로 과제 참여 기관과 공동으로 과제 목적에 맞는 재난대응용 주거시스템 목업은 더 적은 인원으로, 손쉽게 설치할 수 있도록 최적화된 설계를 진행하였다.

나. 주거시스템 목업 제작

○ 본 과제의 목적인 1톤 미만 주거시스템을 제작하기 위해 16.8m^2 면적의 목업 주택을 설계하였고 이를 위한 패널을 제작하였다.

○ 패널은 2.8m × 8.8m 2장, 2.8m × 7.9m 2장, 2.8m × 6.3m 1장 등 총 5장의 대면적 패널을 제조하였다. 패널에는 밀도 25kg/m^3, 100mm 두께의 단열재를 용하였다.

○ 제조된 패널을 도면에 맞게 재단하였다. 바닥, 지붕, 내벽, 외벽 등 총 10개의 재단된 패널이 필요하며 재단 도면은 다음과 같다.

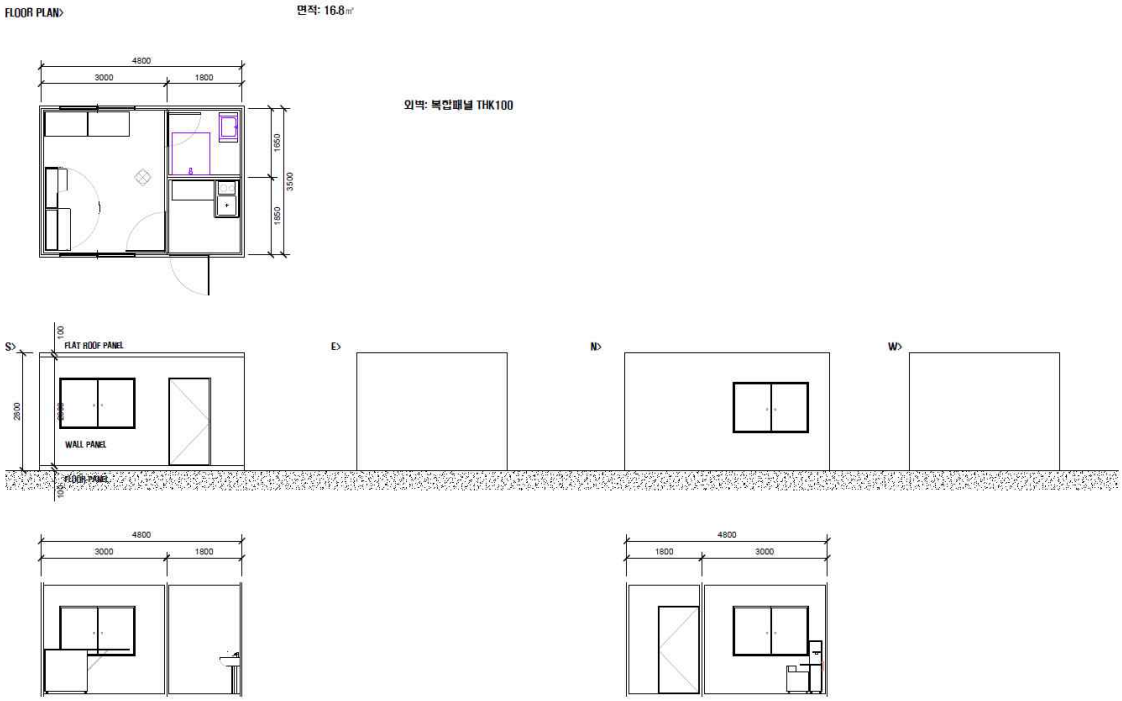


그림 184. 주거시스템 목업 설계도면

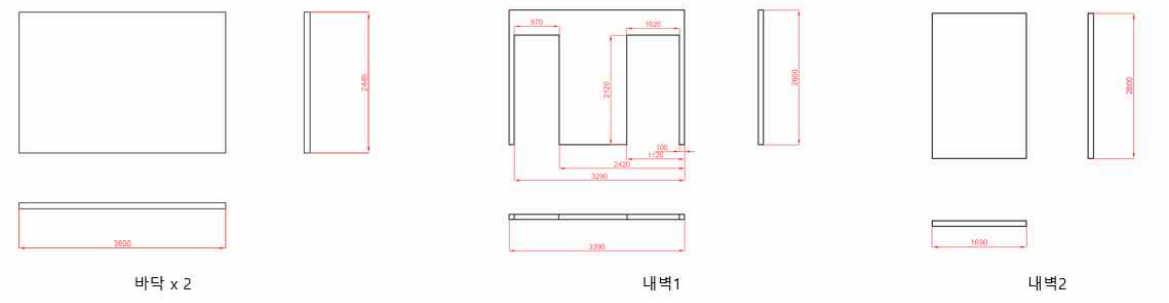


그림 185. 패널 재단 도면 - 1

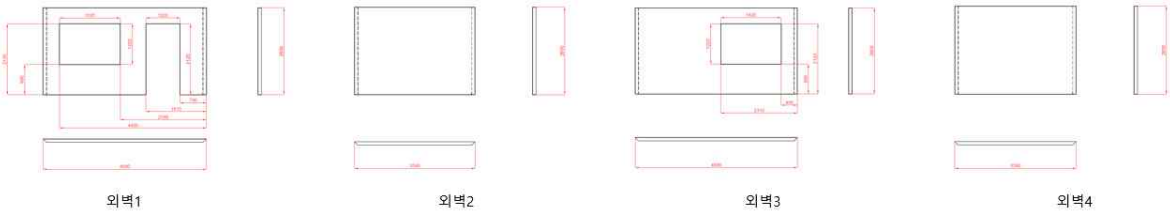


그림 186. 패널 재단 도면 - 2

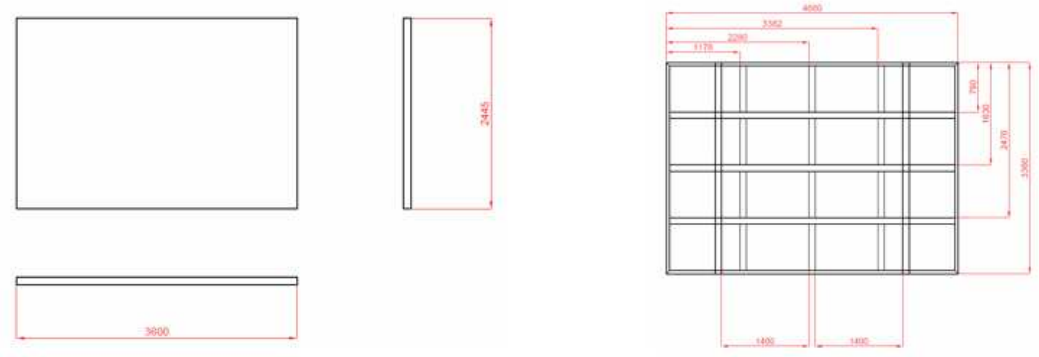


그림 187. 패널 재단 도면 - 3

○ 주거시스템 목업 양중을 위해 하부 철제 프레임(바닥 골조)을 설치하였으며 철제 프레임의 무게는 250kg으로 측정되었다. 만약 주거시스템을 현장에서 직접 시공한다면 철제 프레임에 해당하는 무게를 절감할 수 있다.
○ 재단된 10개 패널의 총 무게는 470kg으로 측정되었다.



그림 188. 재단된 10개 패널의 총 무게

○ 목업 제작은 총 4명의 인원이 진행하였으며, 별도의 골조없이 패널로 목업 골격을 완성하는데 1시간이 소요되어 시공용이성이 매우 높음을 확인하였다.



그림 189. 주거시스템 목업 제작 과정

○ 목업 골격 제작 후 창호를 설치하고 방수를 위한 내외부 마감 등을 거쳐 목업을 완성하였다. 목업의 총 무게는 950kg으로 측정되었으며, 하부 철제프레임 무게 250kg을 제외한 순수 무게는 700kg이다. 패널만의 무게가 470kg이며 창호, 마감재 등의 무게는 230kg이다. 본 과제의 1톤 미만 주거시스템 개발 목표를 달성하였으며 상당한 무게를 여유분으로 확보하였다.

○ 만약 현장에서 직접 시공한다면 철제 프레임 무게 절감 뿐만 아니라 패널을 평면으로 적재하여 운반할 수 있기 때문에 물류비 절감 효과도 얻을 수 있다.



그림 190. 완성된 주거시스템 목업



그림 191. 주거시스템의 총 무게 (철제 프레임 포함)

다. 주거시스템 목업 해체

○ 응급재난주택은 설치 용이성도 확보해야 하며, 응급상황이 해제되었을 때 용도가 없어진 주택을 해체하여 다음 응급상황에 사용하기 위한 해체용이성, 보관용이성도 확보해야 한다. 목업 설치 후 성능평가를 끝낸 주거시스템을 해체하여 해체용이성을 평가하였다.

○ 먼저 방수성을 위해 내외부에 부착한 프로파일을 사전에 제거하였다. Glue와 프로파일이 접착력이 강하기 때문에 커터칼 등을 이용해 접착부분을 제거하였다. 패널이 파손되지 않도록 접착부위만 제거해야 한다. 프로파일 제거 후 창호를 탈착하였다.

○ 목업 구조물 설치 때와 마찬가지로 해체에도 4명의 인원이 진행하였다. 패널은 연결부의 foam과 glue를 제거하면 쉽게 분리가 가능하다.

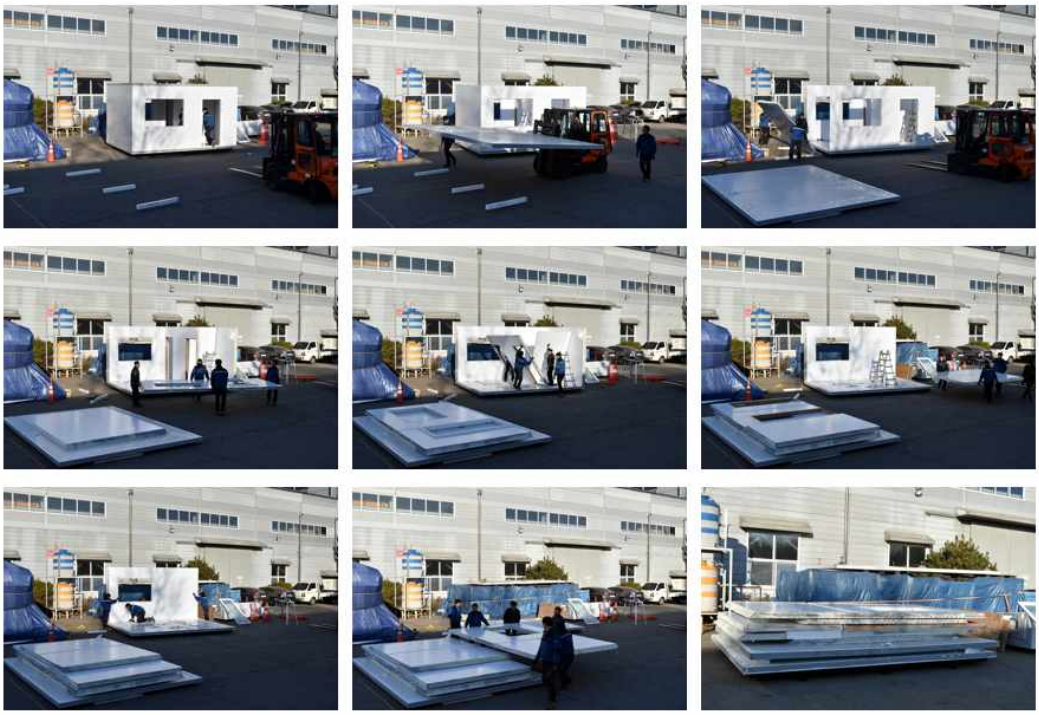


그림 192.주거시스템 목업 해체 작업

○ 주요 구조물 해체에는 30분이 소요되었으며 사전 해체작업까지 포함해도 2시간 내외에 해체가 가능하기 때문에 해체용이성도 확보하였다.

○ 해체된 10개의 패널은 평면 적재 후 보관할 수 있기 때문에 보관용이성도 확보하였다.

8. 주거시스템 목업 성능 평가

○ 만약 현장에서 직접 시공한다면 철제 프레임 무게 절감 뿐만 아니라 패널을 평면으로 적재하여 운반할 수 있기 때문에 물류비 절감 효과도 얻을 수 있다.

가. 목업 누수성 평가

○ 제작된 목업을 인공강우 실험실에서 강우를 모사하여 실내 누수성을 평가하였다.

○ 강우모사 조건 설정은 기상청의 기상특보 발표기준 중 '3시간동안 강우량이 90mm 이상 예상되거나, 12시간동안 강우량이 180mm 이상 예상될 때'에 호우경보를 발표하게 되어 있다. 따라서 기상청에서 발표하는 호우경보는 강우량이 시간당 (15~30)mm로 본 시험에서는 이보다 약 2배정도 가혹한 조건의 강우를 모사하여 시간당 60mm로 설정하고 실내 누수여부를 판단하였다.

○ 누수시험은 한국건설생활환경시험연구원 기수환경실증센터에서 진행하였다.



그림 193. 누수시험

○ 1시간 동안의 강우시험이 끝나고 실내에 누수가 발생하였는지 확인하였다. 누수는 누수 취약부위라고 판단되는 패널간 연결부위인 코너부, 패널-창호 연결부위, 패널-문 결합부위를 중심으로 확인하였다.

○ 누수시험 결과 목업 내부에는 누수가 없는 것으로 확인되었다. 향후 경량 복합패널을 활용한 임시주거시설은 국내 호우경보에도 누수의 문제는 없는 것으로 판단된다.



그림 194. 누수 시험 결과

9. 신속 시공 가이드라인 제작 및 메뉴얼화

○ 기존의 철제 샌드위치 패널을 대체할 수 있는 구조일체형의 경량·고성능의 복합소재인 복합패널은 전문적인 공구나 노동력 없이도 손쉽게 주거시스템을 시공할 수 있다.

○ 신개념의 소재이기 때문에 시공방법, 절차 등이 생소하기 때문에 이에 대한 자세한 안내와 설명이 필요하다.

○ 본 연구에서는 경량 복합패널을 이용하여 신속하게 건축물을 시공할 수 있도록 시공 전반에 걸친 가이드라인을 제작하였다.

○ 상세 시공모습은 상기 샘플하우스 제작 파트에 기술하였고, 여기에는 그 외 주의사항에 대해서 기술하였다. 상세 시공가이드는 별도로 메뉴얼을 작성하였다.

가. 패널 적재 및 포장

○ 패널은 평면 트레일로를 통해 현장에 운반되어야 하기 때문에 수평으로 포개어 적재한다. 패널은 이동 중 표면이 손상되지 않도록 보강밴드로 보호한다. EPS와 스킨재와 박리가 일어나지 않도록 덮개를 사용한다.

나. 지게차를 이용한 패널 이송

○ 9.5m 이하의 패널 패키징 이동시 권장되는 적재 방법은 묶음의 중앙 아래에 넓게 이력된 지게차를 이용하는 것이다. 지게차로 들어올리는 동안 패널이 손상되지 않도록 묶음을 하나씩 조심스럽게 들어 올려야 한다.

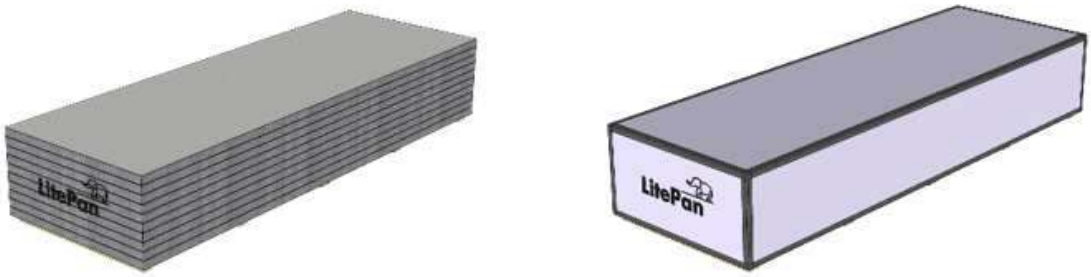


그림 195. 패널 적재 및 포장

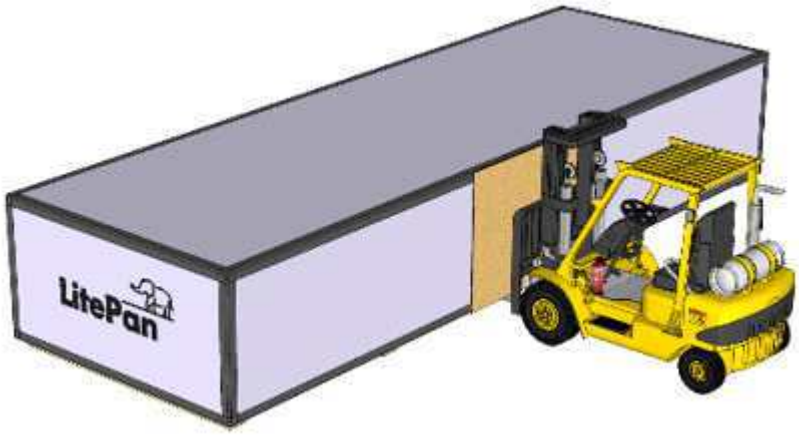


그림 196. 지게차를 이용한 패널 묶음 핸들링

다. 패널 보관

○ 패널을 보관하는 장소는 바닥이 평평하고, 단단하며, 깨끗하고 수분이 없어야 한다. 패널은 건조한 상태로 보관해야 한다. 보관장소에 수분이 있을 경우, 배송하기 전에 패널 검사를 실시해야 한다. 패널은 구부러지지 않도록 보관해야 한다. 빗물이나 습기가 패널 묶음에 영향을 줄 가능성이 있을 경우, 보호 커버를 약 2%의 경사로를 설치하여 물이 흘러내릴 수 있도록 해야 한다.

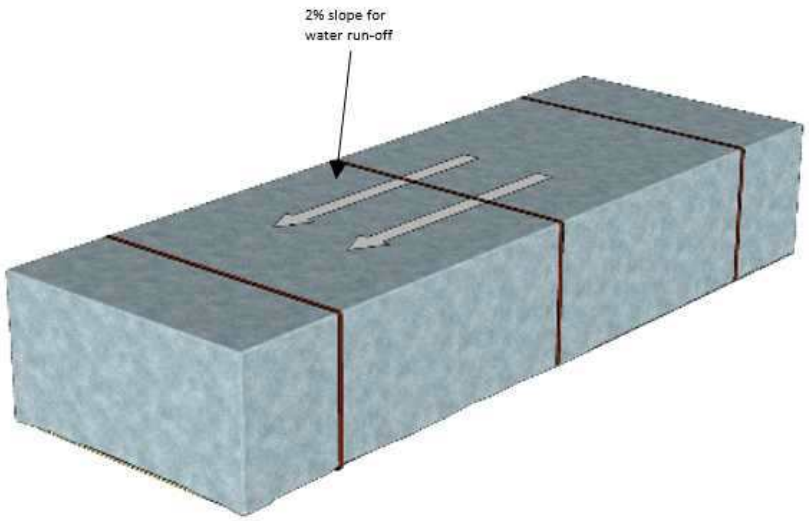


그림 197. 패널에 수분 영향을 줄이기 위한 경사로 설치

라. 패널 운반

○ 패널이 구부러지지 않도록 개별 패널은 평평하게 눕혀서 운반하지 않는다. 과도하게 굴곡이 발생하면 패널 core이 파열되어 영구적으로 표면 왜곡이 발생할 수 있다. 패널 운반시 가장자리를 보호하면서 여러 사람이 운반할 수 있도록 한다.

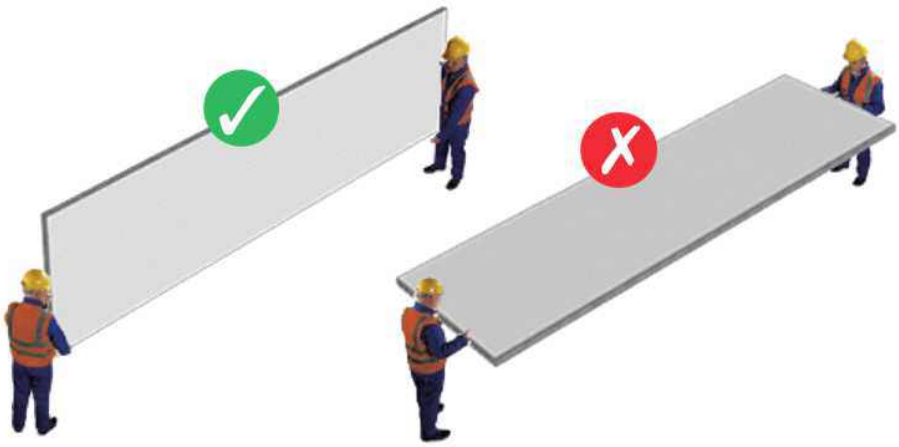


그림 198. 패널 운반 방법

마. 설치전 점검사항

○ 모든 패널이 규격에 맞게, 정해신 수량이 운반되었는지 확인한다.

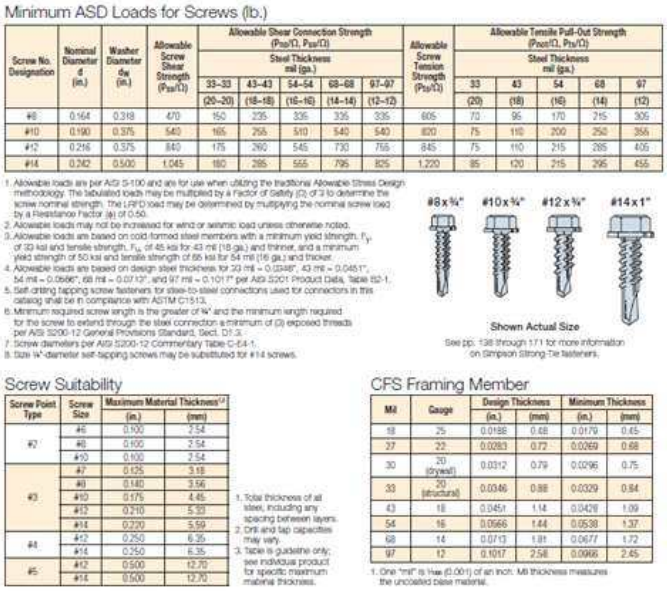
○ 패널의 재단(cutting) 면이 제대로 되었는지 확인한다. 수직, 수평면을 확인하기 위해서는 레이저 수준계 사용을 권장한다.

○ 현장에서 패널을 절단할 경우 호흡기, 눈 등을 보호하기 위해 작업자는 안전장치를 착용해야 한다.

○ 현장에서는 적절한 절단 공구를 사용해야 한다. 높은 열이 발생하는 커팅 장비(예를 들면 cutting disk, torch 등)는 사용하지 않는다. 미세 톱날의 carbide tip blade가 있는 원형 톱 사용을 권장한다. 적당한 금속 절단 칼날이 있는 band saw를 사용할 수 있다.

바. 설치 부재

○ Screw의 종류와 규격은 다음과 같다.



Minimum ASD Loads for Screws (lb.)

Screw No. Designation	Nominal Diameter d (in.)	Washer Diameter d_W (in.)	Allowable Screw Shear Strength (P_{ss}/Ω)	Allowable Shear Connection Strength (P_{no}/Ω, P_{ns}/Ω) Steel Thickness mil (ga.)					Allowable Screw Tension Strength (P_{ts}/Ω)	Allowable Tensile Pull-Out Strength (P_{no}/Ω, P_{ts}/Ω) Steel Thickness mil (ga.)				
				33–33 (20–20)	43–43 (18–18)	54–54 (16–16)	68–68 (14–14)	97–97 (12–12)		33 (20)	43 (18)	54 (16)	68 (14)	97 (12)
#8	0.164	0.318	470	150	235	335	335	335	605	70	95	170	215	305
#10	0.190	0.375	540	165	255	510	540	540	820	75	110	200	250	355
#12	0.216	0.375	840	175	260	545	730	765	845	75	110	215	285	405
#14	0.242	0.500	1,045	180	285	555	795	825	1,220	85	120	215	295	455

1. Allowable loads are per AISI S-100 and are for use when utilizing the traditional Allowable Stress Design methodology. The tabulated loads may be multiplied by a Factor of Safety (Ω) of 3 to determine the screw nominal strength. The LRFD load may be determined by multiplying the nominal screw load by a Resistance Factor (ϕ) of 0.50.
2. Allowable loads may not be increased for wind or seismic load unless otherwise noted.
3. Allowable loads are based on cold-formed steel members with a minimum yield strength, F_y, of 33 ksi and tensile strength, F_u, of 45 ksi for 43 mil (18 ga.) and thinner, and a minimum yield strength of 50 ksi and tensile strength of 65 ksi for 54 mil (16 ga.) and thicker.
4. Allowable loads are based on design steel thickness for 33 mil = 0.0346", 43 mil = 0.0451", 54 mil = 0.0566", 68 mil = 0.0713", and 97 mil = 0.1017" per AISI S201 Product Data, Table B2-1.
5. Self-drilling tapping screw fasteners for steel-to-steel connections used for connectors in this catalog shall be in compliance with ASTM C1513.
6. Minimum required screw length is the greater of ¾" and the minimum length required for the screw to extend through the steel connection a minimum of (3) exposed threads per AISI S200-12 General Provisions Standard, Sect. D1.3.
7. Screw diameters per AISI S200-12 Commentary Table C-E4-1.
8. Size ¼"-diameter self-tapping screws may be substituted for #14 screws.

#8 x ¾" #10 x ¾" #12 x ¾" #14 x 1"

Shown Actual Size

See pp. 138 through 171 for more information on Simpson Strong-Tie fasteners.

Screw Suitability

Screw Point Type	Screw Size	Maximum Material Thickness[1] (in.)	(mm)
#2	#6	0.100	2.54
	#8	0.100	2.54
	#10	0.100	2.54
#3	#7	0.125	3.18
	#8	0.140	3.56
	#10	0.175	4.45
	#12	0.210	5.33
	#14	0.220	5.59
#4	#12	0.250	6.35
	#14	0.250	6.35
#5	#12	0.500	12.70
	#14	0.500	12.70

1. Total thickness of all steel, including any spacing between layers.
2. Drill and tap capacities may vary.
3. Table is guideline only; see individual product for specific maximum material thickness.

CFS Framing Member

Mil	Gauge	Design Thickness (in.)	(mm)	Minimum Thickness (in.)	(mm)
18	25	0.0188	0.48	0.0179	0.45
27	22	0.0283	0.72	0.0269	0.68
30	20 (drywall)	0.0312	0.79	0.0296	0.75
33	20 (structural)	0.0346	0.88	0.0329	0.84
43	18	0.0451	1.14	0.0428	1.09
54	16	0.0566	1.44	0.0538	1.37
68	14	0.0713	1.81	0.0677	1.72
97	12	0.1017	2.58	0.0966	2.45

1. One "mil" is 1/1000 (0.001) of an inch. Mil thickness measures the uncoated base material.

그림 199. 설치 부재 - Screw

○ 연결 brack의 종류와 규격은 다음과 같다.

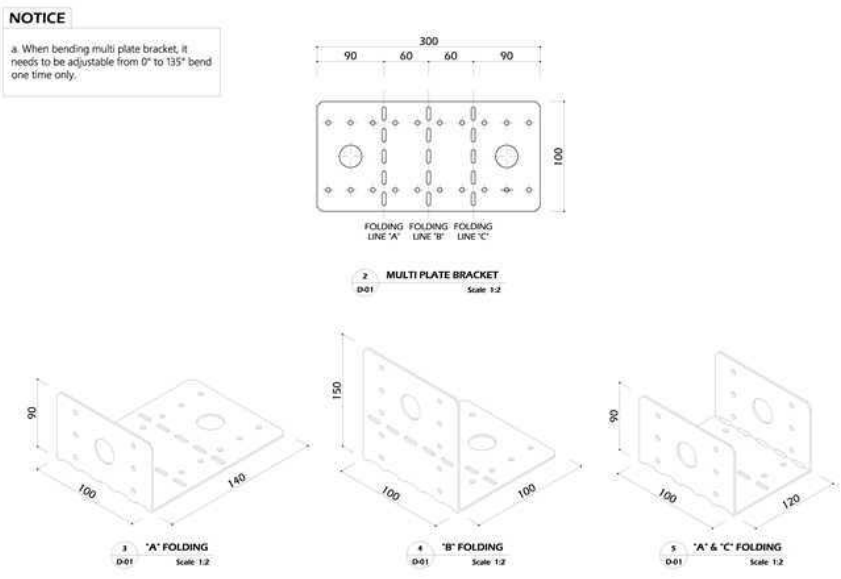


그림 200. 설치 부재 - Bracket

○ 외벽 간 연결 방법은 다음과 같다.

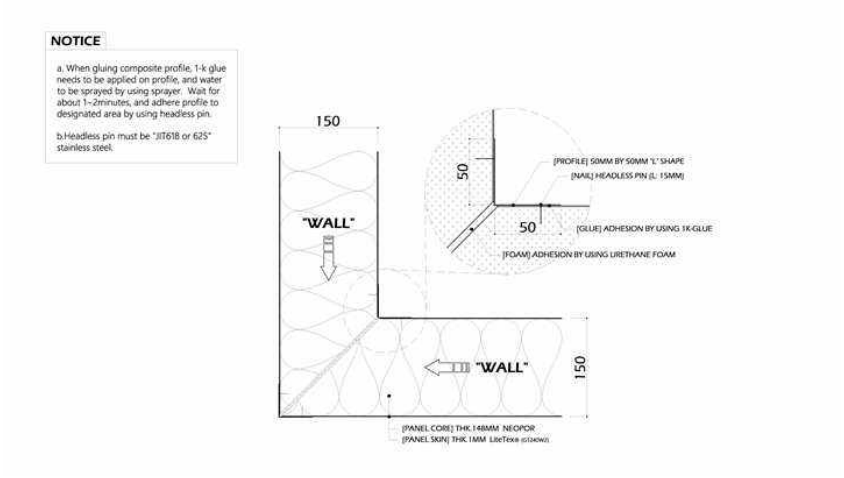


그림 201. 외벽 간 연결 방법 - 코너부

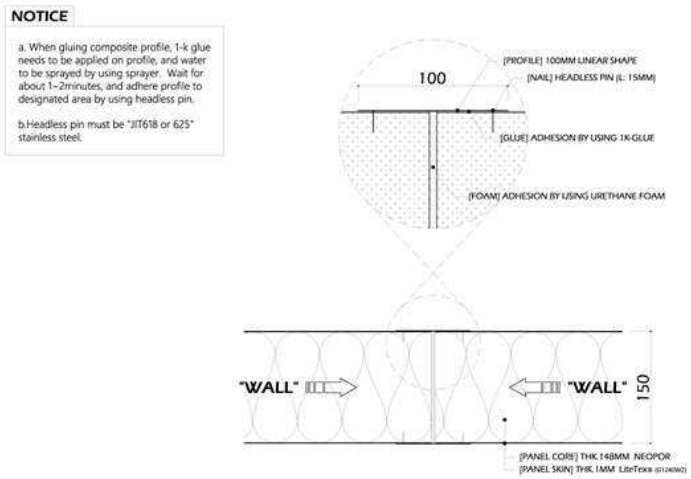


그림 202. 외벽 간 연결 방법 - 평면부

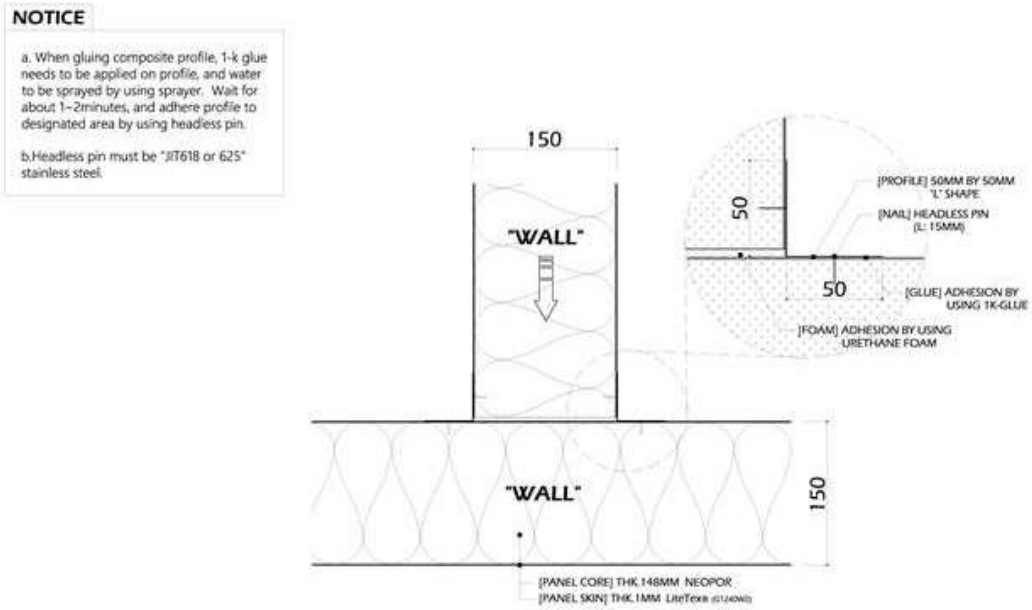


그림 203. 외벽 간 연결 방법 - T shape

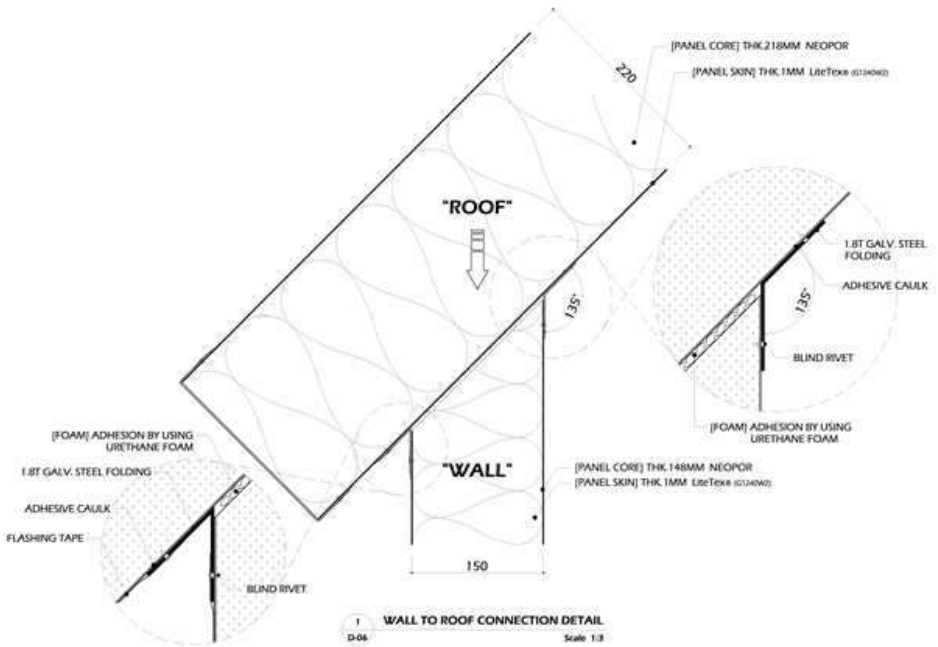


그림 204. 외벽 간 연결 방법 - Wall to Roof

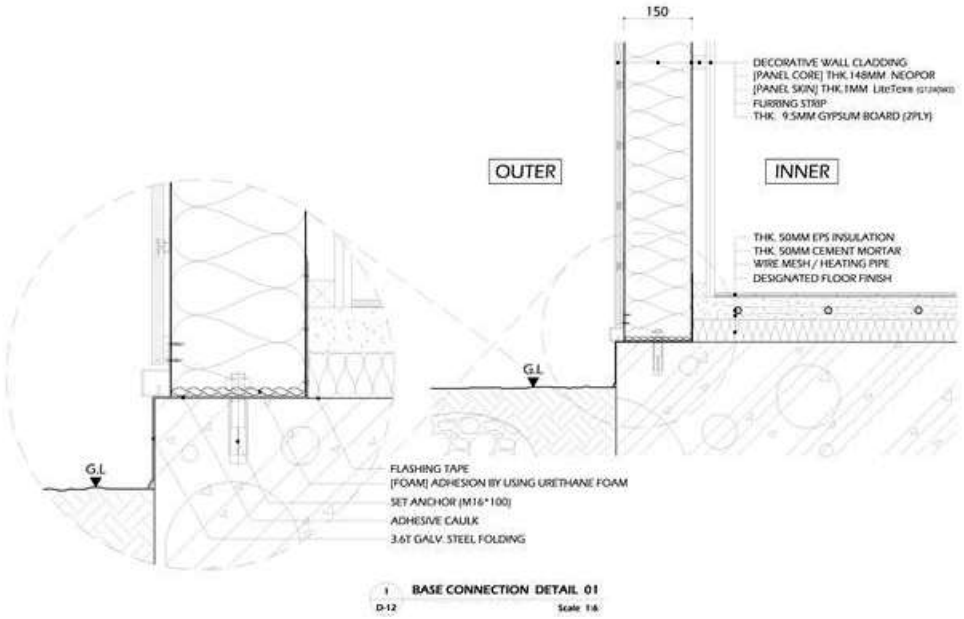


그림 205. 바닥 기초부 연결 방법 (Panel to concrete)

사. 접합 부재

○ 연결부의 패널과 패널은 접합할 때 사용하는 컴포지트 프로파일과 이의 접합 방법은 다음과 같다.

○ 1액형 glue를 팔레트와 롤러에 적당량을 묻히고, 'L'모양의 프로파일 또는 벽면에 glue를 도포한다. Glue 표면에 적당량의 물을 분무한다. 기포가 발생되고 경화가 시작될 때까지 10분간 기다린 후 프로파일을 벽에 위치시키고 driving nail을 이용하여 고정시킨다. 완전경화가 될 때까지 방치한다.



그림 206. 컴포지트 프로파일 연결 방법

아. 공구

○ 패널을 이용한 건축물 제작에 사용되는 각종 공구는 다음과 같다.



그림 207. 패널 건축물 제작에 사용되는 각종 공구들

○ 패널을 이용한 건축물 제작에 사용되는 각종 접착 재료는 다음과 같다.



그림 208. 패널 건축물 제작에 사용되는 접착제류

자. 적용 예

○ 패널을 이용한 건축물 제작에 사용되는 각종 공구 및 적용 예는 다음과 같다.



그림 209. 시공 적용 예 1

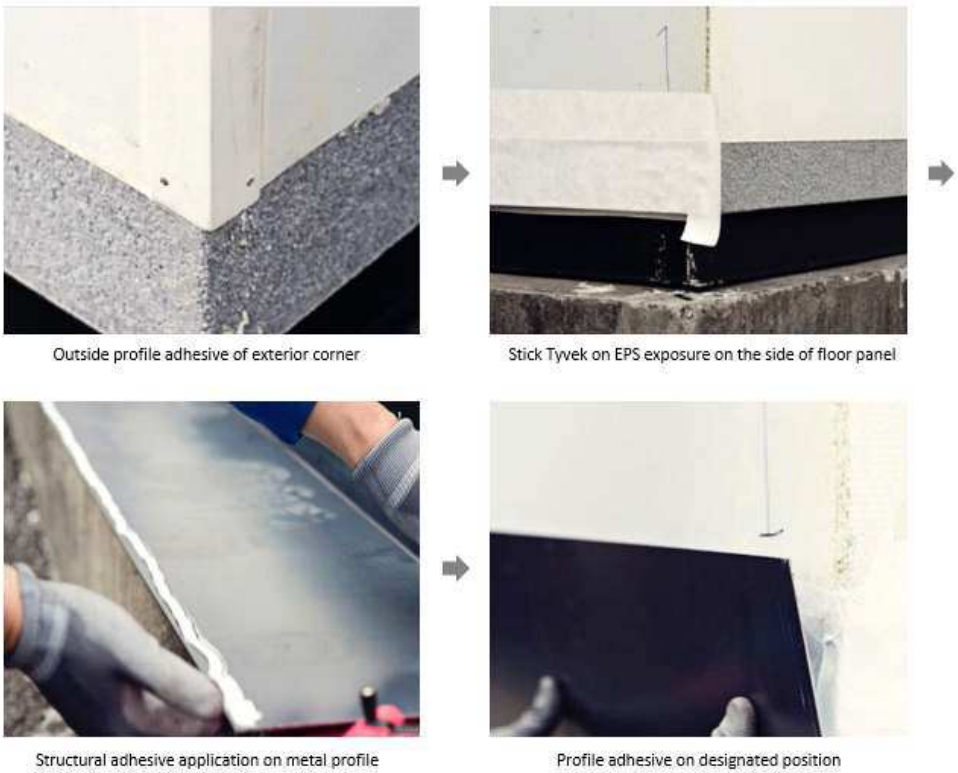
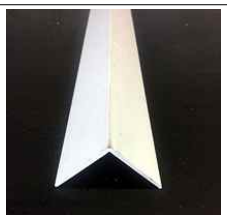


그림 210. 시공 적용 예 2

차. 공구 리스트

공구명	공구	공구명	공구
Circular saw with fine tooth carbide blade		Double bevel sliding compound miter saw kit with Blade	
Multi cutter		Circular saw	
Vertical saw		Cordless drill driver	
Gravity levelers		Laser leveler	
Suction cup		Rivet gun	
Expandable PU foam gun		Grip clamp	
Caulking gun		Tacker (Staple gun)	

카. 부재료 리스트

부재료명	부재료	부재료명	부재료
3M finishing tape		Tyvek tape	
Expanded tape		Adhesive caulk	
Expandable PU foam		PU foam cleaner	
PVC profile (두께 3.0 mm, 날개 길이 50 mm)		Composite profile (두께 0.8 mm, 날개 길이 50 mm)	
River fastener (직경-Ø3.2 / 길이-11mm)		자유각 브라켓 (100mm*200m)	

10. 복합경량패널 사업화 모델 및 추진 현황

○ 복합경량 패널을 이용한 건축 사업은 이미 시작되어 진행 중이며 다양한 시공사례를 통해 영역을 확장해 가고 있음.

가. 복합경량 패널 시공성

○ 복합경량패널 생산과 커팅은 전량 엑시아머티리얼스 화성공장에서 진행하고 있으며, 시공에 필요한 부자재와 공구는 시중에서 손쉽게 구할 수 있음.

○ 패널 접합과 연결부에 사용되는 프로파일도 엑시아머티리얼스에서 복합소재로 생산하고 있으며, 경우에 따라서는 PVC 프로파일도 사용할 수 있음. 이 역시 국내에서 쉽게 소싱할 수 있는 부자재임.

○ 과제 목업 주택(성인 2명 + 유아 2명 거주 기준, 면적 4.8 m x 3.5 m = 16.8m^2)에 사용된 대면적 패널은 모두 5장이며, 이를 도면 치수대로 총 10개의 패널로 재단하여

준비하였음.

- ○ 이 목업 크기의 주택에 필요한 패널을 현재 하루 표준 근로시간을 적용하여 생산할 경우 하루에 수 채 분량의 패널 생산이 가능함. 긴급상황 발생시 패널 생산량을 확대할 수 있음.
- ○ 생산된 대형 패널을 재단하여 공장에서 설치하여 완제품을 운송할 수 있음. 이 경우 완제품을 양중하기 위해 하부에 철제프레임이 필요함. 완제품 크기에 따라 다를 수 있지만 이때는 운송차량에 완제품 1개 정도만 적재할 수 있음.
- ○ 패널을 현장에 바로 운송하여 현장에서 직접 주택을 설치할 수도 있으며, 이 경우 패널은 평면으로 적재하여 여러 채 분량의 다량 패널을 동시에 신속하게 운송할 수 있어 운송비 절감 효과가 있음.
- ○ 현장에 운송된 패널은 평면 적재로 보관이 가능하기 때문에, 공간 활용의 효율성을 높일 수 있음.



그림 211. 주택 이송 (완제품)



그림 212. 패널 운송 (평면 적재)

- ○ 주택 설치 전이나 해체 후 패널을 보관할 경우에도 평면 적재가 가능하여 적재공간을

최소화할 수 있어 공간을 효율적으로 사용할 수 있음.



그림 213. 패널 평면 적재 보관

○ 이와 같이 자재 공급, 부자재 공급, 자재 운송, 보관 등의 장점이 있으며, 목업 주택 설치, 해체 과정에서 확인했듯이 무엇보다 시공 기간을 대폭 절감할 수 있어 시간, 비용면에서 경쟁력이 있음. 정량적으로 계산할 수 없는 무형의 경쟁력(예를 들면 시공의 안정성, 경량성, 유지보수의 편의성)을 갖추고 있음
○ 이런 이유로 복합경량패널에 대한 고객의 관심이 증가하고 있으며 현재 다양한 곳에서 본 패널을 적용한 시공이 진행되고 있음.

나. 복합경량패널 사업화
○ 복합경량 패널을 이용하여 주택 시공 시 기초 바닥 공사나 양생 절차를 최소화할 수 있으며 구조재로 사용되는 철제 프레임 작업이 필요없어 기존 소재 공사 대비 공기를 1/2 수준으로 단축할 수 있음. (자재 절감, 공기 단축으로 인한 시공비 절감)
○ 단열효과가 우수하여 에너지 효율 향상을 시켜 냉난방 등 유지비용을 줄일 수 있음.
○ 또한 시공법으로 시공시 중장비를 사용하지 않아도 됨.
○ 위와 같은 장점으로 임시 주택뿐만 아니라 소규모 영구주택분야에도 복합경량 패널을 적용한 주택 사업을 이미 시작하였음.
○ 패널 벽체로 내외장재 역할을 동시에 할 수 있으며 경우에 따라서는 단열성이 좋은 외장재만으로도 사용할 수 있음.
○ 샘플하우스, 소규모 농막, 펜션, 군인 막사 등에 국내외 시공 사례가 많으며, 이 분야를 포함하여 다방면으로 사업 모델을 확장하고 있음.
○ 경향하우징페어 등 국내 다수의 건축박람회에 참가하여 소재와 시공법, 제품 홍보도 활발히 진행하고 있음.
○ 향후 재해와 같은 응급상황 발생시 소재 측면, 시공기술 측면에서 이에 대처할 수 있는 기반을 확보하였으며, 시공법 개선, 신뢰성 확보, 인증 확보 등을 위해 유수의 기관과 함께 협력을 강화해 나가고 있음.

해외 사업화 시공 사례

스웨덴, 2층 빌라 (160m^2) 스웨덴과 덴마크 국경 지역 주택가 한가운데에서 작지 않은 규모의 공사를 1달 이내에 그것도 겨울에 마무리해야 하는 프로젝트. 독일 설계자, 스웨덴 시공팀, 당사 소재가 접목하여 별도의 골조없이 복합패널만으로 6주만에 까다로운 스웨덴의 내화, 구조 규격을 달성하였고 주변의 민원도 없이 완공을 하였음. 주변 주택 대비 약 33% 가량 향상된 에너지 특성, 30% 저감된 비용, 높은 단열 특성을 구현하였음.	
덴마크, 단층빌라 (175m^2) 덴마크 해변가 주택 지붕부에 복합패널을 적용한 프로젝트. 주요 골조가 Precast concrete로 결정되어 있었으나 설계자의 요구에 따라 창호부에 구조 유닛을 같이 시공할 수 없는 상황이었음. 당사의 250mm 두께 복합패널로 지붕 전면부를 담당하여 전체 구조 하중을 만족하고 일부 캔틸레버부의 안정적 시공을 마무리하였음.	
쿠웨이트, 미군 기지 KEEP (Kuwait Energy Efficiency Project)로 명명된 프로젝트이며 총 97개의 대형 기지를 당사 복합패널로 시공하였음. EEB(Energy Efficient Building)으로 명명된 기지는 외기 46 ℃ 에서도 실내 온도를 25 ℃ 이내로 유지해야 하는 높은 단열 특성, 1시간 구조 내화, 무골조 시공에 따른 구조 안정성, 20년에 7차례 기지 이동을 전제해야 하는 이동성/조립성 등이 요구되었음. 당사 복합패널 100mm 제품 외부에 미군이 개발한 내화재를 처방하는 방법으로 시공이 진행되었음. 2층 건물에도 어떠한 구조물 없이 순수한 복합패널만으로 모든 요구 사항 만족하였음. 전체 프로젝트에 적용된 모든 자재는 미군이 규정한 친환경 요건을 완벽히 만족하였음. 완공 이후 동 기지에 약 1주간 전력이 차단되는 상황에서도 일부 태양광에 연결된 에어컨만으로도 실내 온도를 26 ℃ 이내로 유지하는 등 초기 목표 이상의 성능을 나타내었음.	
이탈리아, 지진 복구 주택 2012년 이탈리아 지진 이후 긴급한 현장 복구를 위해 60m^2 규모의 단층 주택 유닛이 precut이 완료된 복합패널에 창호, 도어 프레임이 FRP로 장착된 형태로 공급이 되었음. 현장 시공은 총 12시간이 소요되었으며 이후 간단한 내외 마감 공정을 통해 초단기에 프로젝트가 완료되었음.	

국내 사업화 시공 사례

<table>
<tr><td> 
제주 월정리, 타운하우스(총 2.5층)</td><td> 
서울 창동역, 고가하부 문화공간</td></tr>
<tr><td> 
제주 신촌리, 단독주택</td><td> 
구미, 패시브 하우스</td></tr>
<tr><td> 
춘천, 방곡리 펜션</td><td> 
남양주, 개인주택</td></tr>
</table>

제 4장. 목표 달성도 및 관련분야 기여도

제 1절. 목표 달성도

○ 수요창출 및 시장성 확보를 위해

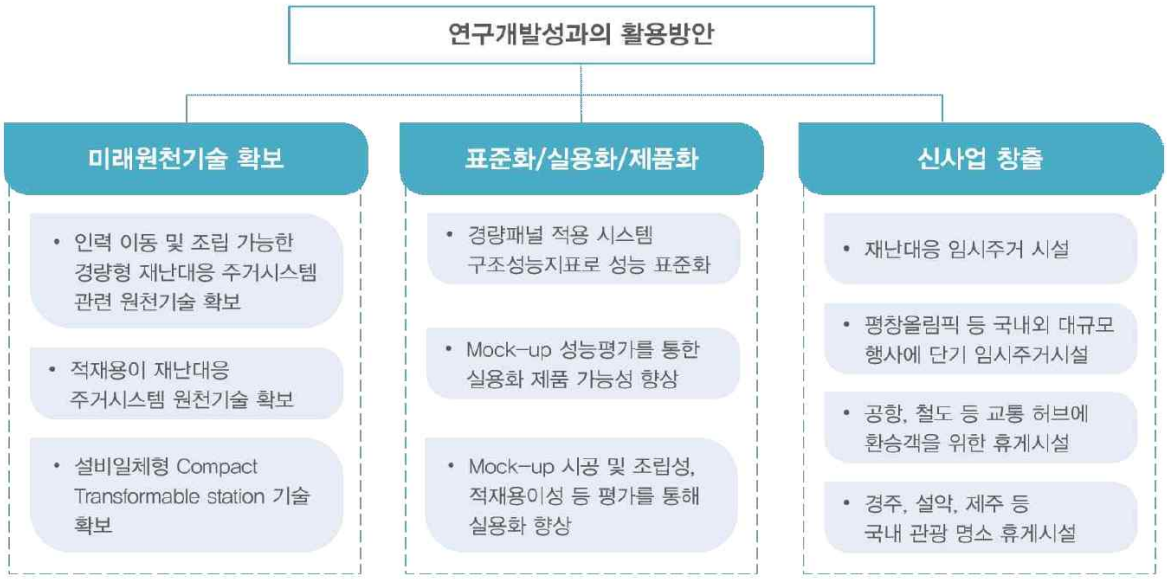
- 임시주거유형 개발 및 설계, 보관 가이드라인
- 구조안정성 기반 기술 축적
- 실내공간 생활의 질 확보를 위한 CTS 개발
- 바닥, 지붕용 대면적 패널, 구조성능 및 접합부 개발을 위한 다수 목업 개발로 신제품 개발 노하우 축적

○ 향후 제품 개발 기반 원천 기술 및 노하우 축적

세부 연구 목표 (연구 계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
LMC 시스템 개발 및 LMC 설계기법	30	115	국내논문 1편, 보고서 2식 외 - 구호주거 성능지표 개발 - LMC 주거시스템 표준모델 및 활용 확산 모델 개발 설계 - 접합부 개발 및 적용 설계도서 개발
재난대응 LMC 구조성능 평가	20	115	국내등재지 논문 3건, 구조 성능 지표 개발 외 - 일반패널, 개구부 포함 패널 분포암강도, 면내 전단 분석 - 경량복합패널 측면하중
재난대응 Compact Transformable Station 컨셉 디자인 설계	20	115	특허출원 1건 완료, 국내등재 논문 1 건 외 - 대공간용 재난대응 CTS 유닛 설계 - 임시 주거용 조립주택용 CTS 유닛 설계
기능성 복합패널 개발 및 주거시스템 목업 개발	30	115	특허출원 1건 완료, 시제품(접합부 시험 총 6 유형, 유닛 구조 성능 분석 목업 3개동, 환경성능 평가용 목업 1개동 제작 외) - 복합패널 구성소재 최적화 - 대면적 복합패널 제조시스템 확립 - 환경성능 확보 접합부 생산 시공 체계 구축

제 5장. 연구개발성과의 활용 계획

제 1절. 최종성과물 활용방안



가. 경량복합패널 활용 임시주택 마케팅 방안

○ 세계 최대 크기의 신개념 건축소재인 복합경량패널을 개발하였고 다양한 주택 솔루션 PixelHaus를 개발하였다. 미국, 유럽에서는 그린건축, 고에너지 효율 수요가 급증하고 있으며 이 수요에 최적화된 building용 Composite 제품인 LitePan으로 세계 시장에 진출하고 있다. 미국 MIT 및 연구기관, 미정부(DOE), ExxonMobil 등의 기업들과의 Composite-Building 부문 컨소시움(CIBI)을 구축하여 활발한 연구활동도 진행하고 있다.

○ 또한 미국 IBC (International Building Code)의 composites 소재 부분 세계 최초이자 유일한 인증 기업으로, 미국 건축소재 시장 진출을 더욱 가속화하고 있다.

○ 국내 건축소재 시장에서도 다양한 분야에 당사 소재 적용 사례가 증가하고 있으며 향후 저에너지 고효율화가 필요한 건축소재 분야에 확고한 지위를 차지할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

○ 복합경량패널은 건축소재로서 다음의 장점이 있다.

- 제조 시 스틸 대비 약 15%의 에너지만 사용한다.
- 내부식성 등 장기 수명 보유 -> 내부식성을 가지고 있어서 오래 사용할 수 있다.
- 고도의 구조 성능을 보유하며 내진, 내 허리케인 등에 유리하다.
- 낮은 열전도도로 고에너지 효율 주택 시공에 유리하다. (제로에너지 하우스, 패시브 하우스 등)
- 경량 소재이기에 구조성능 확보에 유리하다.
- 자체 방수가 되어 있어 추가 방수 가공 등이 필요하지 않다. (비용 및 시간 절감)
- 빠른 시간내 시공이 가능하여 대량의 주택의 단기 시공이 가능하다.
- 비 건설 전문 인력도 간단히 시공이 가능하다.

- 각 국가 및 지역에서 최소한의 투자로 간단히 제품 생산이 가능하다. (현지 고용율 상승 등)

나. 경량복합패널 임시주택 활용방안

○ 주택뿐만 아니라 복합패널과 아라미드 방탄판을 기능화/일체화하여 군사 시설물의 외벽을 대면적 방탄패널로 보호할 수 있다. 이는 건물 벽체와 방탄벽의 기능을 동시에 수행하는 장점이 있다.

○ 대규모 군사작전이 필요한 경우 해당 지역에 관련 시설물들을 단기간 내에 설치해야 한다. 특히 사막지역의 경우 낮과 밤의 일교차가 매우 크기 때문에 단열효과가 우수한 소재를 사용해야 한다. 또한 도로 사정이 여의치 않기 때문에 효과적인 운송을 위해 소재가 가볍고 취급이 용이해야 하기 때문에 복합패널을 이용하여 군 작전지역의 시설물을 단기간에 시공한 사례가 있다.

○ 이와 같이 복합패널은 긴급 재해재난 구조용 주택, 민간용 거주 주택 외에 군사용 건축소재로의 활용방안이 넓으며 용도를 계속 개발하고 있다.

○ 자연재해 및 인적재난 발생 시 이재민 또는 사고현장 관계자 등 현장 수습 시까지 사용가능한 임시주거시설로 활용이 가능하다.

○ 남북통일 등 사회적 급변상황 도래시 남하한 난민이 정착 전 임시 수용가능한 주거시설로 활용이 가능하다.

○ 2018 평창동계올림픽 등 국내외 대규모 행사시 진행관련 관계자, 기자 등 단기 임시주거시설로 활용이 가능하다.

○ 복리, 의료, 시설 등 다양한 용도의 재해재난 시설로서 활용이 가능하다.

○ 향후 급변하는 국제정세 속에서 급격한 남북한 통일에 대비한 주거모델로서 활용이 가능하다.

○ 농림부, 농촌공사에서 농촌 주택의 표준모델로 응용이 가능하다.

○ 후진국 또는 개발도상국의 난민 대상으로 임시 주택 모델로 활용이 가능하다.

○ 국가비상시 전쟁・재난환경에 적합한 임시거주공간 혹은 피난시설로 활용이 가능하다.

○ 국민안전처에서 임시주택에 대한 대상범위, 규모, 관리방안, 표준모델로 경제적인 모델로 활용이 가능하다.

○ 재난재해시 초기대응형 임시주거시스템 및 임시주택의 이재민 거주환경 확보를 위한 보급품으로 활용이 가능하다.

다. 경량복합패널 임시주택 사업화 일정

○ 유형 고도화, 시제품 제작, 성능 인증(2년) :
방수, 기밀, 열교차단 결합 프로파일 설계 제작 및 구조 성능 검증
상수탱크(내부) 및 외부 주입구, 하수 및 쓰레기 처리방식 고도화
거주센싱 및 전원 공급 자동 제어

○ 비즈니스 모델 다각화 및 조달 시장 등록 (1.5년)
관급공사: 조달제품 등록 및 지자체 구매 의향서

민간공사: 임시가설건축물, 건축신고대상건축물 확대

해외공사: 군부대 및 국제구호기구 협력 모델 개발

○ 생산판매 국제화 (1.5년)

국내 주요 부품생산 및 현지 조립 방식 비즈니스 모델 개발

주요 협력 국제 생산기지 확보 및 협력 프로토콜 개발

붙임. 참고 문헌

[1] Man-Guan Jun, 2016 Disaster annual report, Ministry of the Interior and Safety, 2016

[2] In-Young Park, 2015 Disaster annual report, Ministry of Public Safety and Security, 2016

[3] Hannah Lee, Kil-yong Park, A Study on the Methods of Temporary Housing for the Refugee Disastered, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA ACADEMIC CONFERENCE Planning & Design, 24, 2, 143-146, 2004

[4] Jung-In Moon, Sang-Ho Lee, A Case Study on the Typology of Temporary Housing According to Disasters, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, 22, 9, 2006

[5] Min-Gyeong Kim, Hyuk Moon, Hye-Jung Kim, Kyung-Sook Kim, A Study on the Residential Planning Factors for Emergency Shelter after Disaster, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, 27, 6, 93-102, 2011

[6] Woo-Chul Wang, Young-Hak Song, Suk-Ho Lim, A Research Study on Comparative Analysis of Architectural Planning Improvement on Temporary Housing of Korea and Japan, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, 28, 11, 29-37, 2012

[7] Woo-Chul Wang, Chang-Jae Lee, Suk-Ho Lim, A study on the planning characteristic of temporary housing considering the needs of temporary residence, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, 33, 1, 2013

[8] Myung-Sik Lee, A Study on the Spatial Configuration of the Post-Disaster Refugees Housing, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, 30, 12, 135-142, 2014

[9] Ho-Seung Lee, A Study on the Emergency Relief Design with Consideration for Weak Person of Disaster -Focused on the Countermeasure Emergency Relief Design in Earthquake Disaster-, Konkuk university master degree thesis, 2014

[10] Mi-Kyung Kim, Eun-Jeong Kim, Current Status and Implication for the Planning of Emergency Shelter Considering Users' Habitability, Journal of the Korean Institute of Interior Design, 25, 6, 2016

[11] Thomas L Saaty, What is the analytical hierarchy process?, 109-121, Springer, Berlin, Heidelberg 1988

[12] Ministry of the Interior and Safety, Disaster Yearbook(2016), p.18, Ministry of the Interior and Safety, 2017

[13] Korea Meteorological Administration, Earthquakes Occurring in Korea, 2017, http://www.kma.go.kr/weather/earthquake_volcano/domestictrend.jsp, (accessed Oct., 2017)

[14] Ashland Inc., Technical Datasheet Ashland Specialty Ingredients ISOGRIP™ SP 3030D Adhesive, Ashland Inc. 2010

[15] Axia Materials Co., Ltd., Structural Properties of LitePan® Panel, p.10-12, Axia Materials Co., Ltd., 2015

[16] ASTM International, Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction, ASTM E72, ASTM Books of Standards, 2017

[17] Korea Agency for Technology and Standards, KS F 2273 Methods of performance test for building construction panels, pp.23-26, 2009

[18] APA-The Engineered Wood Association, Tacoma, Washington, ANSI/APA PRS-610.1 Draft 4 , Standard for Performance-Rated Structural Insulated Panels in Wall Applications, pp.2-19, 2008

[19] 윤승현, 최진원, 조수연, BIM 기반 재난 대비 임시주거시설 설계 시스템 개발에 관한 연구, 2013

[20] 서정표, 조원철, 우리나라의 재해구호 실태와 발전방안에 관한 연구, 2013

[21] 송영학, 왕우철, 임석호, 유닛 모듈러 설계를 이용한 임시주거 계획에 관한 연구, 2013

[22] 서정표, 조원철 외 2인, 방재연구 - 재해구호의 실태와 발전방안에 관한 연구, 2013

[23] 이명식, 재난·재해 구호주거의 공간구성에 관한 연구, 2014

[24] 김사라, 남경숙, 재난 이후 임시주거의 공간특성 연구 - 아시아지역에서 발생한 자연재난을 중심으로 -, 2015

[25] 김은영, 왕우철 외 2인, 3R 개념을 적용한 임시주거의 재사용 활용방안에 관한 연구, 2015

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

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

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.