최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명		
공고번호	공고-제00호	총괄연구개발 식별번호		-	
		연구개발과제번호		20CTAP-C152105-02	
국가과학기술 표준분류	EI1102	50%	EI1103	30%	EI1105	20%

총괄연구개발명	국문	노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 및 바름형 FRM 적정기술 개발
	영문	Appropriate seismic retrofit technologies using FRM precast and plastering methods for old residential masonry buildings
연구개발과제명	국문	노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 및 바름형 FRM 적정기술 개발
	영문	Appropriate seismic retrofit technologies using FRM precast and plastering methods for old residential masonry buildings

주관연구기관	기관명	숭실대학교 산학협력단		사업자등록번호	108-82-06264
	주소	(우)서울특별시 동작구 상도로 369		법인등록번호	
주관연구책임자	성명		최경규	직위	정교수
	연락처	직장전화	02-820-0998	휴대전화	010-2914-3220
		전자우편	kkchoi@ssu.ac.kr	국가연구자번호	10118233

연구개발기간	전체 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (2년 8.4개월)
	1년차 2019. 04. 19 - 2019. 12. 31 (8.4개월)
	2년차 2020. 01. 01 - 2020. 12. 31 (1년)
	3년차 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31 (1년)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,010	180,000	-	-	-	-	62,010	180,000	800,010	-
1년차	134,400	4,470	40,200	-	-	-	-	138,470	40,200	178,670	-
2년차	140,000	4,670	42,000	-	-	-	-	144,670	42,000	186,670	-
3년차	326,000	10,870	108,670	-	-	-	-	336,870	97,800	434,670	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	인천대학교	박지훈	정교수	010-5493-6528	jhpark606@inu.ac.kr		
	㈜세진기술	김형균	대표이사	010-5288-8232	zeus6280@hanmail.net		
	㈜한울구조안전기술사사무소	김대호	대표이사	010-6599-2735	hwsc@hwgj.co.kr		
위탁연구기관							
연구기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명	박상현		직위	대학원생
	연락처	직장전화	-	휴대전화	010-2963-6940
		전자우편	sanghyun2006@naver.com	국가연구자번호	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 02월 22일

주관연구책임자 : 최경규 (서명)

주관연구기관의 장 : 숭실대학교 산학협력단 이진욱 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

본 서식은 「국가연구개발혁신법」 시행('21.01.01) 이전에 최종 협약하여 '21.01.01 이후에 최종평가를 시행하는 일반과제용 입니다.

< 요 약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통기술촉진연구사업</td><td>총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3"></td><td>연구개발과제번호</td><td colspan="3">20CTAP-C152105-02</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술 표준분류</td><td>EI1102</td><td>50%</td><td>EI1102</td><td>30%</td><td>EI1105</td><td>20%</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="6">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 및 바름형 FRM 적정기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(32.4개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 800,010 천원
(정부지원연구개발비 : 600,000 천원, 기관부담연구개발비 : 200,010 천원,
지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[✔]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준( )
종료시점 목표( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [✔] 자유공모 [ ]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구개발목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">노후화된 조적조 건물을 실용적으로 내진보강하기 위하여 (1) 날개벽형 고강도 FRM (건식/반건식 거푸집 겸용) 내진보강공법 실증 및 특허 추진 (2) 고강도 FRM 바름 일체성 향상 내진보강공법 실증 및 특허 추진 (3) 개발된 보강공법을 적용한 시작품 제작 및 관련 설계·시공 매뉴얼(안) 작성을 통해 거주 상태에서의 적용성을 실증하는 데 있음.</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">● 조적벽 내진보강 연결부 상세 개발 및 성능 실증
● 고강도 FRM 조성 및 두께에 따른 프리즘 압축, 인장, 전단강도 정량화 등 조적 벽체 소재 실험
● 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 개발 및 구조성능 실증
● 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 보강공법 개발 및 구조성능 실증
● 개발한 내진보강공법 시작품 제작 및 설계·시공 매뉴얼(안) 개발
● 조적벽 내진보강 연결부 상세 개발 및 성능 실증
① FRM 프리캐스트 패널 개발 및 모르타르의 배합비와 시방가이드 제시
② 프리캐스트 패널 정착부, 패널 간 연결부 소재성증 실증 위한 적합 실험방법 개발
● 고강도 FRM 조성 및 두께에 따른 프리즘 압축, 인장, 전단강도 정량화 등 조적 벽체 소재 실험
① 무보강 조적벽 표면 섬유혼입 모르타르바름 후 조적개체간 일체성 향상 및 단면증설 효과를 갖는 모르타르의 배합비와 시방가이드 제시
② 개발된 공법 적용 조적조 프리즘 시편의 압축, 휨인장, 사인장 전단강도 검증
● 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 개발 및 구조성능 실증
① 조적조 건물의 붕괴방지 성능확보를 위한 적정 보강목표 도출
② 프리캐스트 건식 패널 공법, 반건식 거푸집 겸용 패널 공법 개발 및 성능 실증
● 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 보강공법 개발 및 구조성능 실증
① 일체성향상 보강상세 개발, 증설단면-슬래브 간 수평전단력 전달 목적 정착상세 개발
② 개발 상세 적용 벽체의 내진성능실험 보고서: ACI 372.2R-13
● 개발한 내진보강공법 시작품 제작 및 설계·시공 매뉴얼(안) 개발
① 단부정착 상세의 시작품 제작
② 날개벽형 고강도 FRM 내진보강기술과 모르타르바름 일체성 향상 내진보강기술을 적용한 PC보강 시작품 개발
③ 특허출원을 통한 기술이전 및 보강설계·시공매뉴얼 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="6">● 주관연구기관 (숭실대학교): FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재 성능 실증
● 공동연구기관 1(인천대학교): 고강도 FRM 바름 적용 조적조의 소재 성능 실증
● 공동연구기관 2((주)세진 기술): 기존 내진보강공법 사례 조사를 통한 개발 공법의 적정성 검토
● 공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소): 기존 조적조 구조 상세 및 특성 조사를 통한 제안 공법 적정성 검토</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="6">● FRM 프리캐스트 패널 배합에 대한 기존 연구자료 수집 및 분석, 분석결과 기반 적정</td></tr>
</table>

			재료 선정 및 FRM 배합 개발, FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재 성능 실증 실험방법 제안, 프리캐스트 패널 정착부, 패널과 패널 간 연결부 성능 실증 소재실험 수행 ● 섬유혼입 및 바름 시공에 적합한 모르타르 배합비 도출 및 검증 실험, 재료의 조성 및 섬유의 종류 및 혼입량의 영향 실증, 일체성 향상 공법적용 조적조 프리즘 시편의 강도 증진 효과 검증 실험, 적용조건에 따른 보강효과 변수연구 ● FRP 부착 보강 공법 등 기존 내진보강공법 사례 조사, 경제성, 시공성의 지표를 바탕으로 개발 보강공법의 적정성 검토 ● 국내 기존 조적조 건물의 구조적 특성 조사 분석, 기존 조적조 구조상세에 기초한 개발 보강공법의 적정성 검토
	2년차	목표	● 주관연구기관 (숭실대학교): 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 보강상세 개발 및 구조성능 검증 실험 ● 공동연구기관 1(인천대학교): 고강도 FRM 바름 조적벽체-슬래브 연결상세 개발 ● 공동연구기관 2((주)세진 기술): 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진 및 전단 보강 설계 프로세스 제안 ● 공동연구기관 3(기관명칭 기입): 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허 추진 및 설계 프로세스 제안
		내용	● 프리캐스트 건식 패널 공법의 시공성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토, 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 보강상세 개발, 개발 상세에 대한 구조성능 검증 실험, 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진: (주)세진 기술과 특허를 추진함 ● 표준적 조적조 건물의 붕괴방지 성능확보를 위한 내진보강 요구성능 도출, 공인시험 기관을 통한 조적조 일체성향상 공법 소재성능 공인성적서 취득, 보강된 치장조적벽과 기존 횡력저항시스템 간 연결부 상세 개발, 연결부 상세 구조성능 검증실험, 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허 추진: (주)한울구조안전기술사사무소와 특허를 추진함 ● 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진, 프리캐스트 패널 보강공법 전단 보강 설계 프로세스 제안 ● 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 특허 추진, 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 설계 프로세스 제안
	3년차	목표	● 주관연구기관(숭실대학교 산학협력단): 날개벽형 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발 및 구조성능 검증 실험 ● 공동연구기관 1(인천대학교 산학협력단): 일체성 향상 공법 적용 조적벽 시스템 구조성능 검증실험 ● 공동연구기관 2((주)세진기술): 날개벽형 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법을 적용한 조적벽체 제품 개발/설계·시공 매뉴얼(안) 및 보강 설계 예제 작성 ● 공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소): 일체성 향상 공법 적용을 위한 연결상세 제품 개발/설계 가이드 및 보강 설계 예제 작성, 프로세스 제안
		내용	● 개발 상세에 대한 구조성능 검증 실험, 고강도 FRM 건식 패널 내진보강공법의 내진성능평가를 위한 지진 모사 실험 수행 여건 검토 및 실험 수행, 반건식 거푸집 겸용 패널 공법의 시공성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토, 소재 시험을 통한 현장 타설 FRM과 조적 벽체 간 부착 성능 실증, 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발, 개발 상세에 대한 구조성능 검증 실험, 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 시작품 개발(주)세진 기술과 시작품을 개발함 ● 연결부 상세 구조성능 검증실험, 연결부 상세 구조성능 검증실험, 슬래브 노출형 조적식 구조의 연결부 상세 실험(헌치형), 보강된 치장벽과 기존 횡력저항시스템의 연결방식별 표준 실험체 설계, 고강도 FRM 바름 보강공법이 치장벽에 적용된 조적벽 구조시스템 성능검증 실험, 실험결과에 기초한 비선형 구조해석 모델링 기술 개발, 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 보강 공법 공법 시작품 개발, 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 설계 프로세스 제안 ● 날개벽형 고강도 FRM 거푸집 겸용 패널 공법을 적용한 조적벽체 시작품 개발, 반건식 거푸집 겸용 패널 공법 설계·시공 매뉴얼(안) 및 보강 설계 예제 작성, 시장가능성을 검증하기 위해 국토교통기술대전 출전 ● 연결부 상세를 포함하여 고강도 FRM 바름 일체성향상 공법을 적용한 벽체 시작품 개발, 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 설계·시공메뉴얼 및 보강설계 예제 작성
연구개발성과			● 날개벽형 고강도 FRM (건식/반건식 거푸집 겸용) 내진보강공법 실증 및 특허 추진

	- 고강도 FRM 패널 배합 소재성능실험을 통한 패널 배합비(3건) 도출 - 고강도 FRM (건식/반건식 거푸집 겸용) 패널 상세 개발 및 패널 소재성능검증 완료 - 고강도 FRM (건식/반건식 거푸집 겸용) 내진보강공법 구조성능실험 수행 및 기존 조적조 부재 성능 대비 100% 개선 구조성능실증 완료 - 날개벽형 고강도 FRM (건식/반건식 거푸집 겸용) 내진보강공법 실증 및 특허 추진 (2건 특허출원) ● 고강도 FRM 바름 일체성 향상 내진보강공법 실증 및 특허 추진 - 고강도 FRM 바름 모르타르 배합비 도출 - 고강도 FRM 바름 모르타르 프리즘 실험을 통한 압축강도, 전단강도 목표 증진률(20%, 50%) 만족 - 기존 조적 치장벽체-기존 건물의 테두리보 연결 상세 개발 및 접합성능검증 완료 - 고강도 FRM 바름 조저족 일체성 향상 내진보강공법 휨지배/전단지배 구조성능 실험 수행 및 목표 강도증진율(150%) 달성 ● 개발된 보강공법을 적용한 시작품 제작(1건) 및 관련 설계·시공 매뉴얼(안) 작성 완료 ● 소프트웨어 개발 및 등록 완료(2건) < 예상되는 연구개발성과 유형 > <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서 원문</th><th rowspan="2">연구 시설・장비</th><th rowspan="2">기술요약 정보</th><th rowspan="2">소프트 웨어</th><th rowspan="2">화합물</th><th colspan="2">생명자원</th><th colspan="2">신품종</th></tr><tr><th>생명 정보</th><th>생물 자원</th><th>정보</th><th>실물</th></tr><tr><td>예상성과 (N/Y)</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr></table>
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	[활용방안] ● 수요처: 내진성능이 취약한 기존의 노후화된 조적조 건물의 보수·보강에 활용이 가능 ● 실용화/제품화 방안: 개발 공법을 이용하여 제품을 생산하고 시공할 수 있는 절차를 구축하고 제품화 및 사업화를 위한 기반을 마련함. 개발된 공법을 실제 건축물의 보강 시 활용할 수 있도록 설계 방법을 제공하여 현장 적용성을 높임 ● 현장 적용 방안: 개발상세 및 시공절차는 특허출원 및 기술 이전함. 기존 구조물에 개발 공법(시작품)을 정착할 수 있는 상세를 개발 및 제공함으로써 실용성을 높임 [기대효과] ● 시장성: 비내진설계된 우리나라 건물군 중 많은 비율을 차지하는 조적조 건물(주거 건물, 소방서 및 파출소 등)에 대한 내진보강이 필요한 실정임. 또한 모르타르 바름형 공법은 학교 건물 등 조적채움벽의 내진보강에도 적용 가능함, 개발 공법은 건축물의 구조보강 시 개발기술의 활용도가 매우 높을 것이며 국민주거 안전보장이라는 사회이슈해결에 부합함 ● 경제적 기대성과: 경주지진과 포항지진의 건물 피해사례로 인해 민간인들이 내진에 대한 요구가 증가하고 있기 때문에 구조보강 시장의 활성화가 될 것으로 기대됨. 개발기술은 다른 공법에 비해 시공성과 경제성이 우수해 경쟁력이 있을 것으로 예상됨 ● 국민 복지 및 안전: 개발 기술은 공법이 간단하며 경제성이 있는 보강방법으로 소규모 민간건물에 대해 적용성이 우수함. 따라서 저층 조적조 주택에 보강이 필요한 경우 적절한 공법으로 국민 안전 측면에서 반드시 개발이 필요함
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	11	3	10	-	6	2	-	-	-	-	-	-

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호
	-	-	-	-	-	-	-	-	-

국문핵심어 (5개 이내)	조적조 내진보강	프리캐스트 패널	모르타르 바름	적정 보강기술	시작품
영문핵심어 (5개 이내)	Masonry seismic retrofit	Precast concrete panel	Mortar plastering	Appropriate retrofit technology	Pilot product

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 01
  1) 연구개발과제의 최종 목표 ····· 01
  2) 연구개발과제의 년차별 목표 ····· 01
  3) 연구개발과제의 개발성과 목표 설정 ····· 08

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 14
  1) 1차 연도 ····· 14
  2) 2차 연도 ····· 21
  3) 3차 연도 ····· 33

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 42
  1) 연구수행 결과 ····· 42
    (1) 정성적 연구개발성과 ····· 42
    (2) 정량적 연구개발성과 ····· 91
    (3) 세부 정량적 연구개발성과 ····· 92
    (4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 ····· 100
  2) 목표 달성 수준 ····· 101

4. 목표 미달 시 원인분석 ····· 106

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 108

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 111

별첨자료 ····· 113
1. 참고문헌
2. 총 연구개발기간 성과점검 기준표 및 증빙자료
3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

노후화된 조적조 건물을 실용적으로 내진보강하기 위하여
(1) 날개벽형 고강도 FRM (건식/반건식 거푸집 겸용) 내진보강공법 실증 및 특허 추진
(2) 고강도 FRM 바름 일체성 향상 내진보강공법 실증 및 특허 추진
(3) 개발된 보강공법을 적용한 시작품 제작 및 관련 설계·시공 매뉴얼(안) 작성을 통해 거주 상태에서의 적용성을 실증하는 데 있음

2) 연구개발과제의 년차별 목표

1) 1차 연도

① 개발 목표

○ **주관연구기관 (숭실대학교):** FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재 성능 실증

○ **공동연구기관 1(인천대학교):** 고강도 FRM 바름 적용 조적조의 소재 성능 실증

○ **공동연구기관 2((주)세진 기술):** 기존 내진보강공법 사례 조사를 통한 개발 공법의 적정성 검토

○ **공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소):** 기존 조적조 구조 상세 및 특성 조사를 통한 제안 공법 적정성 검토

② 개발 내용 및 범위

○ **주관연구기관 (숭실대학교):**

● FRM 프리캐스트 패널 배합에 대한 기존 연구자료 수집 및 분석
- 국내외 학계 연구 자료와 기업의 제품자료를 조사
- 기존 FRM 배합의 프리캐스트 패널 적용성 분석

● 분석결과 기반 적정 재료 선정 및 FRM 배합 개발
- 형상비, 길이, 강도 등 고려하여 적정 강섬유 검토 및 선정
- FRM 배합의 목표배합강도, 슬럼프, 공기량 선정 및 이를 확보하기 위한 시멘트 물성, 잔골재 입도 결정 (그림 1)



(a)비정질 강섬유

구분	비정질 강섬유
비중(g/cm^3)	7.2
섬유두께(μm)	24
섬유길이(mm)	15
형상비	86
인장강도(MPa)	1600
형태	Straight Type



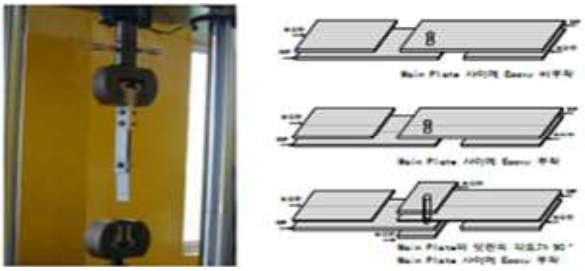
(b)일반 강섬유

구분	일반 강섬유
비중(g/cm^3)	7.85
섬유두께(μm)	직경 0.2mm
섬유길이(mm)	13
형상비	65
인장강도(MPa)	2650
형태	Straight Type

<그림 1-1> 적정 재료 검토를 위한 강섬유 기본 물성치

● FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재 성능 실증 실험방법 제안
- 연결부 소재 성능을 실증하기 위한 실험법이 부재하므로 기존 ASTM, KS 규격의 관련 실험방법 분석
- 분석 결과를 바탕으로 프리캐스트 패널 조적벽 정착부 성능 실증 적합 실험방법 제안
- ASTM D 5961을 준용하여 패널과 패널 간 스크류 관통 연결부 성능 실증 적합 실험방법 제안

● 프리캐스트 패널 정착부, 패널과 패널 간 연결부 성능 실증 소재실험 수행
- 스크류, 앵커 인발 시험 등 자체 성능 실증 및 벽체 관통 시 모체 손상 여부 검토
- ASTM D 961을 준용한 실험법 등 적합 실험 수행을 통한 프리캐스트 패널 앵커 정착부와 패널과 패널 간 스크류 연결부 안전성 확보



<그림 1-2> ASTM D 5961를 준용한 연결부 소재 성능 실험 예시 (Seo, 2012)



<그림 1-3> 스크류, 앵커 인발 시험 예시

○ 공동연구기관 1(인천대학교):

● 섬유혼입 및 바름 시공에 적합한 모르타르 배합비 도출 및 검증 실험

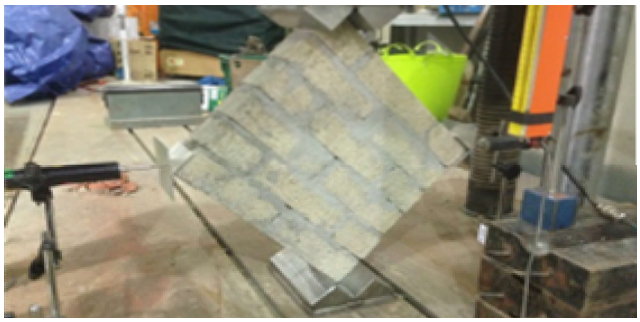
· 바름 시공에 적합한 FRM 배합비 관련 기존 연구 조사

· 섬유 분산을 위해 요구되는 고유동성 및 바름 시공을 위한 유동성 조절을 위한 혼화제 배합비 도출(에폭시 모르타르 적용성 검토)

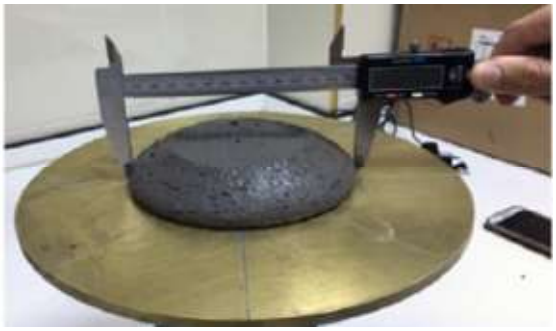
● 재료의 조성 및 섬유의 종류 및 혼입량의 영향 실증

· 테이블 플로우 시험을 통한 시공성 검증

· 조적벽체 내진보강 성능분석을 위한 모르타르 기초 소재시험(압축 및 인장강도 시험)



<그림 1-4> 사인장 전단시험 (ASTM E519)



<그림 1-5> 모르타르 플로우 시험 예

● 일체성 향상 공법적용 조적조 프리즘 시편의 강도증진 효과 검증 실험

· 표면에 모르타르 조성별로 조적조에 바름 시공한 프리즘 시편 제작

· 일체성향상 공법이 적용된 프리즘 시편의 압축 및 전단 강도증진 효과를 각각 ASTM C 1314 및 ASTM E519를 준용하여 실험 검증

● 적용조건에 따른 보강효과 변수연구

· 보강공법의 최적화를 위해 다양한 변수를 고려하여 프리즘 시편 제작 및 실험

· 보강효과 검증에서 고려할 변수 : 조적개체 종류, 모르타르 배합비, 모르타르 두께, 섬유의 종류 및 혼입량 등

○ 공동연구기관 2((주)세진 기술):

● FRP 부착 보강 공법 등 기존 내진보강공법 사례 조사

● 경제성, 시공성의 지표를 바탕으로 개발 보강공법의 적정성 검토

· 기존 내진보강공법 자료 조사 결과를 바탕으로 경제성, 시공성 등 목표 선정

· 개발될 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법의 적정 성능목표 검토
· 유사 선행 연구의 전단보강절차 및 시공 절차 분석

○ **공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소):**

● 국내 기존 조적조 건물의 구조적 특성 조사 분석
· 공간 쌓기 형식 조적벽체의 재료 및 구조적 특성 조사 분석
· 치장조적벽과 상하부 슬래브와의 연결 상세 조사 분석
· 고강도 FRM 바름 일체성향상 공법에 활용 가능한 조적조 보수보강 시공기술 조사 분석

● 기존 조적조 구조상세에 기초한 개발 보강공법의 적정성 검토
· 구조상세조사를 토대로 보강공법(안)의 구조성능 및 시공성 검토 및 개선 방향 제시

2) 2차 연도

① 개발 목표

○ **주관연구기관 (숭실대학교):** 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 보강상세 개발 및 구조성능 검증 실험

○ **공동연구기관 1(인천대학교):** 고강도 FRM 바름 조적벽체-슬래브 연결상세 개발

○ **공동연구기관 2((주)세진 기술):** 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진 및 전단 보강 설계 프로세스 제안

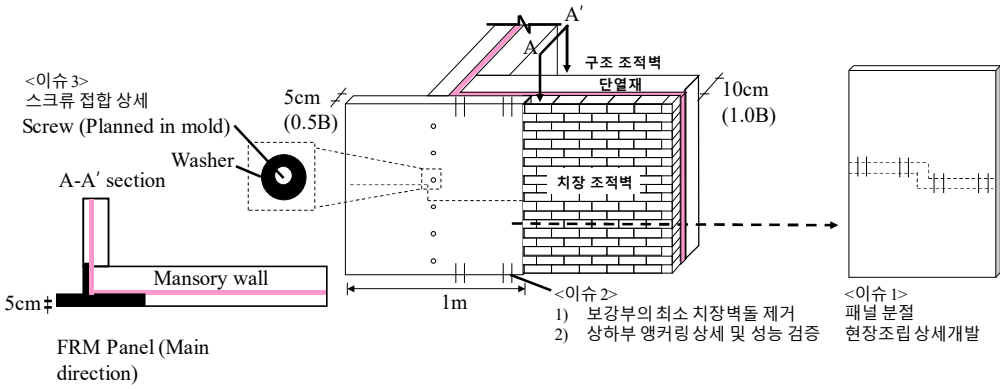
○ **공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소): 조**적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허 추 진 및 설계 프로세스 제안

② 개발 내용 및 범위

○ **주관연구기관 (숭실대학교):**

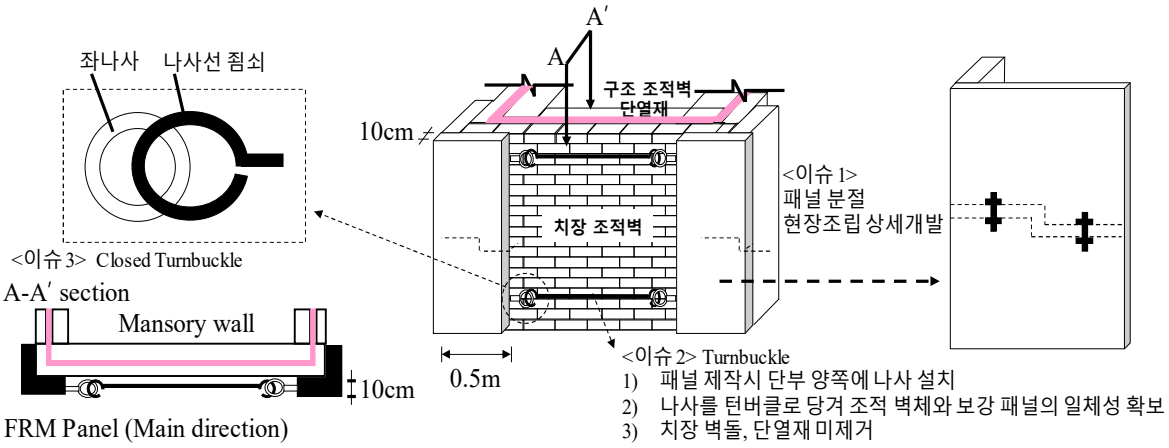
● 프리캐스트 건식 패널 공법의 시공성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토
· 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널의 보강성능 확보를 위하여 FRM 패널 및 기존 조적벽체 전단응력성능 검토(노후화 정도, 개구부 유무 등 다양한 조건을 고려)
· 간편 시공성 확보와 거주 중 보강 가능성 등 요구조건 확보를 위하여 시공 현장과 벽체 배치 등 다양한 조건을 고려한 보강 상세(안) 검토

● 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 보강상세 개발
· 기술 개발 시 패널 중량을 고려한 분절 제작을 위하여 패널 분절 상세 개발
· 현장 조립성능 확보, 기존 모체 손상 최소화, 보강부의 치장벽돌 및 단열재 최소 제거를 고려한 보강 상세(안) 개발, 또한 기초부 최소 타설 및 보강안을 개발함
· 보강 상세안은 2종류를 제안함. 상세(1안)은 스크류 접합 상세, 상세(2안)은 턴버클을 이용한 상세로 각 상세를 아래 <그림 1-6>과 <그림 1-7>에 제시함
· 프리캐스트 패널 보강공법의 상세(1안)은 1차년도에 실증한 연결부 소재실험 결과를 토대로 FRM 패널 제작 시 거푸집에 와셔 상세를 기제작하여 삽입하는 보강 상세임



<그림 1-6> 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 보강상세 (1안)

· 치장 벽돌과 단열재를 부분 제거하고 벽체 단부에서 두 패널의 와셔 사이를 스크류로 접합하여 날개벽형으로 연결할 수 있도록 함, 보강 후 타일 등으로 외부 단열 계획



<그림 1-7> 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 보강상세 (2안)

· 프리캐스트 패널 보강공법의 상세(2안)은 1차년도에 실증한 연결부 소재실험 결과를 토대로 FRM 패널 간 턴버클을 연결하여 거동 일체성을 확보하는 보강 상세임

· 치장 벽돌을 제거하지 않으며, 두 패널에 기 설치된 나사/턴버클로 채결

● 개발 상세에 대한 구조성능 검증 실험

· 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 내진보강공법의 보강 상세를 이용하여 비내진상세 벽체의 단부를 보강한 후 목표 구조 보강 성능 달성 검증 기존부재 대비 100% 구조 성능 개선)

· 벽체 내부 보강, 외부 보강. 한측 단부 보강, 양단부 보강, 주방향 거동 패널 길이 등 다양한 실험변수 선정

· 추가하중가력구조실험을 수행함(ACI 374. 2R-13의 횡방향 변위제어 방식 반복 가력 실험)

● 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진: (주)세진 기술과 특허를 추진함

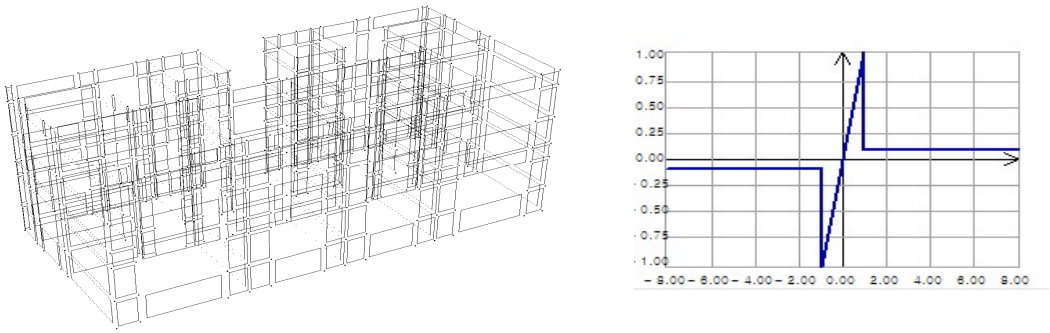
○ 공동연구기관 1(인천대학교):

● 표준적 조적조 건물의 붕괴방지 성능확보를 위한 내진보강 요구성능 도출

· 표준적 조적조 건물을 선정하여 부재 단면적에 기초한 내진성능 예비평가 및 비선형 해석에 기초한 내진성능 상세평가 수행.

· 취약부재 유형별로 파괴모드(Rocking, Toe Crushing, Sliding, Diagonal Tension)를 고려한 보강벽체 요구성능 도출

· 다양한 지역계수 및 지반조건에 대하여 붕괴방지 성능확보를 위한 내진보강 요구성능 도출 (S=0.14, 0.22, S1~S5 지반)



(a) 조적조 건물 3차원 모델 (b) 비선형 부재 모델링

<그림 1-8> 조적조 건물 3차원 비선형해석 모델

● 공인시험 기관을 통한 조적조 일체성향상 공법 소재성능 공인성적서 취득

· 표준적 건물에서 요구되는 성능의 확보가 가능한 표준적 보강안(모르타르의 두께, 강도, 섬유 혼입율 등) 제시

· 고강도 FRM 바름 일체성 향상공법의 표준보강안이 적용된 조적조 프리즘 시편 제작

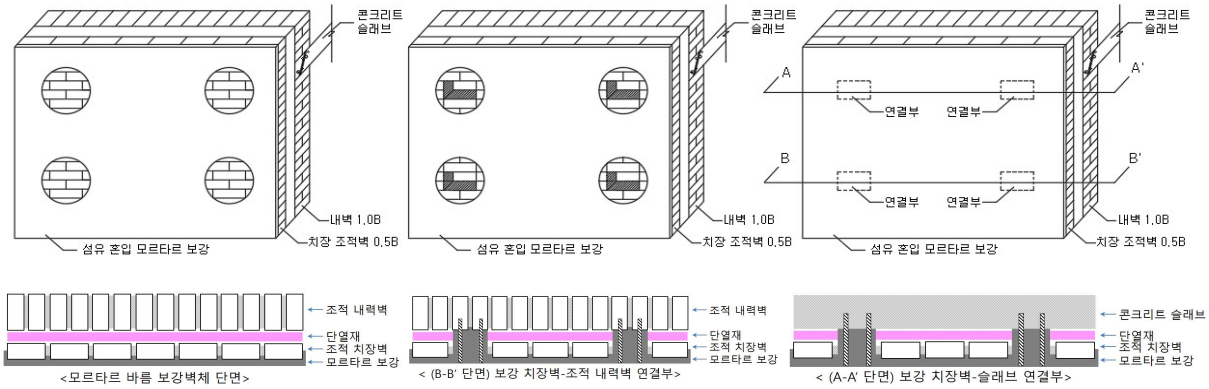
· 공인시험 기관을 통해서 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법이 적용된 시편의 소재 성능(전단강도 및 압축강도) 공인성적서 취득

● 보강된 치장조적벽과 기존 횡력저항시스템 간 연결부 상세 개발

· 보강된 치장조적조가 지진하중을 분담하기 위하여 기존 횡력저항시스템으로부터 지진력이 전달될 수 있는 강도와 강성을 가진 연결부 상세를 개발

· 치장 조적 개체를 선별적으로 제거하고 이를 통해 형성된 임시 개구부를 이용하여 앵커를 설치하고 섬유혼입 모르타르를 주입하여 연결부를 형성하는 공법 개발

· 조적조 및 섬유혼입 모르타르에 대한 앵커 정착성능 연구자료 조사 및 연결부 상세 실험체 설계에 반영



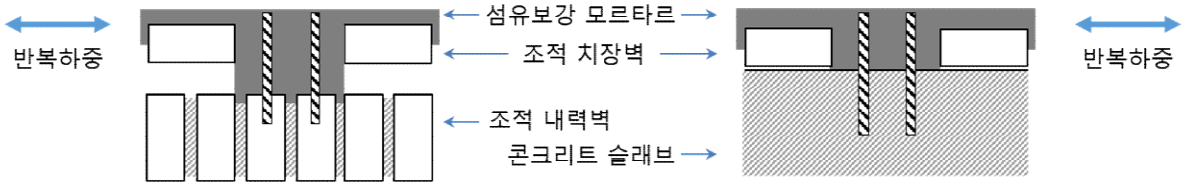
<그림 1-9> 조적조 일체성 향상공법의 고강도 FRM 바름 후 연결부 시공 및 마무리 시공 절차

● 연결부 상세 구조성능 검증실험

· 한 쪽 지지점은 모르타르 바름 치장 조적조에 연결되고 다른 쪽 지지점은 기존 횡력저항시스템 (콘크리트 슬래브 또는 조적 내력벽)에 연결되는 연결부의 구조성능 실험방법 제안

· 모르타르 섬유혼입량 및 적용 앵커 특성 및 수량에 따른 연결부 전단강도 및 강성 검증을 통하여 설계 프로세스 개발 기초데이터 확보

· 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허 추진: (주)한울구조안전기술사사무소와 특허를 추진함



<이슈> 1) 조적조의 앵커 전단 저항능력

2) 조적 내력벽 및 콘크리트 슬래브와 섬유보강 모르타르의 부착강도

<그림 1-10> 구조성능 검증실험 세팅

○ **공동연구기관 2((주)세진 기술):**

● 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진

· 1차년도에 수행한 구성요소 간 연결부 소재 실험과 2차년도에 수행된 구조 성능 실험 검증 결과를 반영한 프리캐스트 건식 패널 보강 상세 특허 추진: 주관기관과 추진

● 프리캐스트 패널 보강공법 전단 보강 설계 프로세스 제안

· 개구부 유무 및 재료 노후도 정도에 따른 조건을 반영한 강도 저하 계수 및 전단 보강설계 프로세스 제안

○ **공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소):**

● 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 특허 추진

· 1차년도에 소재실험과 2차년도에 수행된 연결부 구조성능 검증 실험 결과를 토대로 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 특허명세서 작성 및 특허출원 추진

· 공동연구기관 1(인천대학교)와 함께 특허를 추진함

● 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 설계 프로세스 제안

· 취약 벽체의 파괴모드에 따라 모르타르 증설부 및 기존횡력저항 시스템과의 연결부 설계 프로세스 제안

3) 3차 연도

① 개발 목표

○ **주관연구기관 (숭실대학교):** 날개벽형 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발 및 구조성능 검증 실험

○ **공동연구기관 1(인천대학교):** 일체성 향상 공법 적용 조적벽 시스템 구조성능 검증실험

○ **공동연구기관 2((주)세진 기술):** 날개벽형 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법을 적용한 조적벽체 제품 개발/설계·시공 매뉴얼(안) 및 보강 설계 예제 작성

○ **공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소):** 일체성 향상 공법 적용을 위한 연결상세 제품 개발/설계 가이드 및 보강 설계 예제 작성

② 개발 내용 및 범위

○ **주관연구기관 (숭실대학교):**

● 반건식 거푸집 겸용 패널 공법의 시공성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토

· 2차년도에 검토한 기존 조적 벽체 및 패널의 전단응력성능, 간편한 시공성, 거주 중 보강 가능성 등 제반 성능을 바탕으로 반건식 거푸집 겸용 패널 보강 시 시공 현장과 벽체 배치 등 다양한 조건을 고려한 보강 상세(안) 검토

● 소재 시험을 통한 현장 타설 FRM과 조적 벽체 간 부착 성능 실증

· 타설된 재료와 거푸집 겸용 패널 간의 부착성능을 확보하기 위한 반건식 거푸집 겸용 패널 표면 처리 상세 고려(전단키 및 V자 돌기 상세 등)

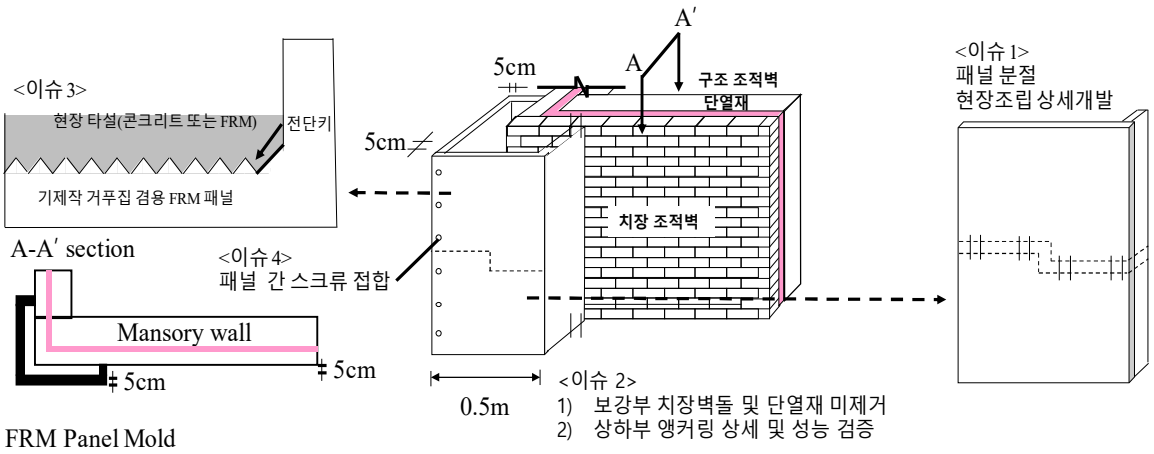
· KS F 2762에 따른 부착강도 실험을 통하여 현장 타설 FRM과 조적 벽체 간 부착 성능 실증

● 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발

· 아래 <그림 1-11>에 반건식 거푸집 겸용 패널 보강 상세(안)을 제시함

· 반건식 거푸집 겸용 보강공법의 상세(안)은 1차년도에 실증한 연결부 소재실험 결과를 토대로 ㄱ자형태의 거푸집 겸용 FRM 패널을 앵커를 이용하여 날개벽형으로 연결하는 보강 상세임

· 채결된 ㄱ자 거푸집 안에 현장치기를 진행하는 공법이며 치장 벽돌을 제거하지 않고 거푸집을 공용으로 이용할 수 있도록 상세 개발, 또한 기초부 최소 타설 및 보강안을 개발



<그림 1-11> 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 (안)

● 개발 상세에 대한 구조성능 검증 실험

· 날개벽형 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 내진보강공법의 보강 상세를 이용하여 비내진 상세 벽체의 단부를 보강한 후 전단응력성능 목표 구조 보강성능 달성 검증

· 하중가력 구조실험을 수행함(ACI 374. 2R-13의 횡방향 변위제어 방식)

● 날개벽형 고강도 FRM 내진보강공법 시작품 개발(주)세진 기술과 시작품을 개발함.

○ 공동연구기관 1(인천대학교):

● 슬래브 노출형 조적식 구조의 연결부 상세 실험(헌치형)

· 상부에 슬래브가 노출된 조적 치장벽의 고강도 FRM 바름 보강 시 모르타르 증타부와 슬래브의 연결을 위한 헌치형 상세 및 시공법 제안

· 고강도 FRM 바름 보강 조적벽과 슬래브 연결부 상세의 구조성능 검증을 위한 실험 방법 제안 및 실험 수행

● 보강된 치장벽과 기존 횡력저항시스템의 연결방식별 표준 실험체 설계

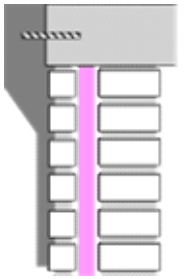
· 2차년도에 요구 내진성능을 도출한 표준적 조적조 건물을 대상으로 슬래브의 노출 여부 및 조적 내력벽과의 연결부 수량에 따른 다양한 보강설계 수행

· 벽체의 형상비에 따른 다양한 파괴모드를 고려한 실험대상 벽체 및 보강안 설계

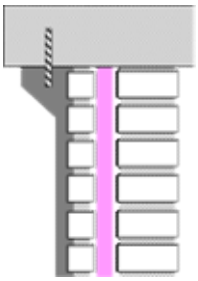
● 고강도 FRM 바름 보강공법이 치장벽에 적용된 조적벽 구조시스템 성능검증 실험

· 외부 치장벽에 고강도 FRM 바름 보강공법을 적용하고 제안된 상세로 기존 횡력저항시스템(콘크리트 슬래브 + 조적내력벽)과 연결한 통합 구조시스템 실험체 제작

· 기존 횡력저항시스템을 ACI 372.2R-13 프로토콜에 의해 반복가력하여 고강도 FRM 일체성향상 보강공법 적용에 의한 내진성능 검증



(a) 내민 슬래브



(b) 내밀지 않은 슬래브

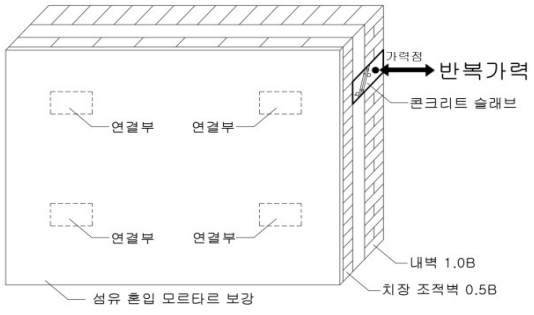
<그림 1-12> 보강 헌치형 연결상세

● 실험결과에 기초한 비선형 구조해석 모델링 기술 개발

· 제안된 공법을 적용한 내진성능평가 및 보강설계 매뉴얼 및 예제 작성을 위하여 고강도 FRM 바름 적용 조적벽 구조시스템의 비선형 구조해석 모델을 개발함

· 보강된 조적벽 구조시스템 실험체의 비선형해석 모델을 구축하고 반복가력 실험 결과와 비교하여 캘리브레이션 수행

● 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상보강공법 시작품 개발: ㈜한울구조안전기술사사무소와 시작품을 개발함.



<그림 1-13> 구조 실험 세팅 : 가력 부분과 비가력 부분의 구별

○ 공동연구기관 2((주)세진 기술):

● 날개벽형 고강도 FRM 거푸집 겸용 패널 공법을 적용한 조적벽체 시작품 개발

· 날개벽형 고강도 FRM 거푸집 겸용 패널 공법을 적용하여 현장타설을 수행한 PC 시작품 제작

· 주관연구기관(숭실대학교)과 함께 시작품을 개발함

· 현장 설치 및 시방가이드 제시

● 반건식 거푸집 겸용 패널 공법 설계·시공 매뉴얼(안) 및 보강 설계 예제 작성
· 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강공법 구조성능 실험 데이터 활용, 보강 상세 보완
· 설계 프로그램 및 보강 설계 예제를 작성하여 실무에서의 적용성 확보
● 시장가능성을 검증하기 위해 국토교통기술대전 등 출전

○ 공동연구기관 3((주)한울구조안전기술사사무소
● 연결부 상세를 포함하여 고강도 FRM 바름 일체성향상 공법을 적용한 벽체 시작품 개발
· 현장 시공방법의 시방서 작성을 위해 실제 시공방법을 적용하여 시작품 제작
· 시장 진출 가능성 파악을 위해 국토교통기술대전 등 출전
· 공동연구기관 1(인천대학교)와 함께 시작품을 개발함
● 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 설계가이드 및 보강설계 예제 작성
· 예비평가 수준의 약산식 사양기반 평가에 의해 간략 내진성능평가 및 보강량 산정이 가능한 설계 전산코드 구축/설계가이드 및 설계예제 작성을 통해서 실무 적용성 확보

3) 연구개발과제의 개발성과 목표 설정

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	[세부연구목표 1] FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재성능 실증	- FRM의 적정 섬유 선정(2가지) 및 FRM 프리캐스트 패널 배합비 도출(2건)	- 국내 : 강섬유 보강 SFRC/SFRM에 대한 연구만 다수 이루어짐 - 국외 : FRC/FRM에 대한 소재실험 연구가 진행되고 있으나 주로 한 종류의 섬유를 사용한 경우이며, 하이브리드 섬유로 구성된 FRC/FRM에 대한 연구는 실험실에서 수행된 수준임. 특히 PC 패널 개발 등 실제 적용을 위한 연구는 미흡함	- FRM 배합 시 성능개선 정량화 - 적정 섬유 및 FRM 배합 도출	- 조적벽체 보강에 적용하기 위하여, FRM 프리캐스트 패널에 적합한 섬유선정과 배합비 개발은 선결적임	4
		- FRM 프리캐스트 건식 패널 연결부 상세 제안(2건 이상) 및 연결부 소재성능 실험방법 제안(2건)	- 국내 : FRM 프리캐스트 패널 연결부 상세 및 관련 실험법이 존재하지 않음 - 국외 : 강재 프리캐스트 모듈에 대한 연구 등에 대한 실험방법은 존재하나 FRM을 이용한 PC 패널 연결부 소	- 연결부 소재성능 실증 실험방법 제안 - FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재성능 검증 보고서 - FRM 프리캐스트 패널 보강 상세 개발	- 현장적용성 확보를 위하여 FRM 프리캐스트 패널 분절이 필수불가결 요소임 - 보강용 프리캐스트 패널 연결부의 조기파단을 방지하기 위하여 모체성능 동등 또는 그 이상의 휨·전단성	9.3

			재실험 방법은 부재함		능이 필요함	
	[세부연구목표 2] 고강도 FRM 바름 적용 조적조의 소재 성능 실증	- 바름식 시공성 및 강도 확보를 위한 적정 FRM 배합비 도출(3건)	- 국내 : 바름식 시공에 적합한 시공성에 대한 연구는 이루어지지 않음 - 국외 : 대부분 별도의 메쉬를 설치한 상태에서 시공하는 방식이 사용됨	- 시멘트 모르타르 바름 표준시방서(KCS 41 16 02)에 따른 시공성	- 표준시방서에 따른 바름 횟수 및 1회 바름 두께로 시공하기에 적합한 배합비의 도출과 시공성 검증이 필요함	5.3
		- 목표강도증진율을 만족하는 적정보강안 도출(두께 및 섬유혼입율) (3건)	- 국내 : 조적벽 보강시 강섬유보다는 균열제어를 위한 유기질계 섬유를 사용하고 메쉬를 추가 설치. - 국외 : 대부분 별도의 메쉬를 설치하여 인장저항력을 높이는 방식 채택	- 압축강도 20% 증진 - 전단강도 50% 증진 - 목표강도증가율을 만족하는 90 분위수 이상의 보강안	- 압축강도는 횡하중을 받는 조적벽체의 잔류강도에 관련되어 요구가 크지 않은 반면 사인장전단강도는 수평줄눈파괴, 대각인장파괴, 보강후 휨파괴의 극한강도와 연관이 있음 - 이에 전단강도의 높은 개선목표와 보강안을 목표치로 설정함	7.9
	[세부연구목표 3] 기존 내진보강공법 사례 조사를 통한 개발 공법의 적정성 검토	- 조적조 건축물의 기존 내진보강공법 사례조사	- 국내 : 현장타설 콘크리트, 철골부재 등 적용재료 및 활용이 다양하지 않음 - 국외 : FRP, 프리캐스트 철근콘크리트, 강봉 및 강선 등 다양한 재료를 활용한 내진보강기법 활용	- FRM, 프리캐스트 패널을 활용한 내진보강공법 개발	- 경제성, 시공성을 고려한 내진보강공법 선정이 필요함	3.3
	[세부연구목표 4] 기존 조적조 구조상세 및 특성 조사를 통한 제안공법 적정성 검토	- 기존 조적조 건물의 구조특성 조사 분석(16건)	- 국내: 국내 조적조 주택을 중심으로 사례조사가 이루어짐 - 국외: 각국의 고유한 조적조 건물 양식을 대상으로 조사	- 3건 이상 조사분석	- 국내 조적조 건물에 적용하기 적합한 보강공법 개발	1.67
		- FRM 바름 보강공법 개선방안 제안	- 국내: 철골브레이스를 추가하거나 탄소섬유시트 또는 메쉬를 부착하고 모르타르 덧침 적용	- 시공성 및 경제성 분석	- 시공성, 경제성 측면에서 기존 내진보강공법을 적정성을 검토하고 이에 따른 개선방향 제시에	1.67

			- 국외: 보강재를 부착하고 모르타르를 덧치거나 또는 탄소섬유시트를 직접 부착		필요함	
2년차 (2020)	[세부연구목표 1] 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널 보강상세 개발 및 구조성능 검증 실험	- FRM 프리캐스트 건식 패널 연결부 상세 개발(2건 이상)	- 국내 : FRM PC 패널 연결부 상세 개발 및 실증이 부재함 - 국외 : 강재 프리캐스트 모듈에 대한 연구가 대다수 이며 콘크리트/모르타르를 활용한 프리캐스트 연구는 미흡한 상황임	- FRM 프리캐스트 건식 패널 연결부 상세 개발	- 현장적용성 확보를 위하여 FRM 프리캐스트 패널 분절이 필수불가결 요소임 - 보강용 프리캐스트 패널 연결부의 조기 파단을 방지하기 위하여 모체성능 이상의 휨·전단성능이 필요함	3.0
		- FRM 프리캐스트 건식 패널 내진보강공법 보강 상세를 이용한 조적벽체 목표 구조 보강 성능 달성 (기존부재 대비 100% 구조성능 개선)	- 국내 : 비구조체로써의 조적벽체 보강공법 연구가 대다수이며 구조체로써의 조적벽체 실용적 보강공법 연구는 미흡함 - 국외 : 조적벽체 보강공법으로 FRP 부착 보강공법, 철골보강 공법 등의 연구가 이루어지고 있으나 적용성 검증이 부족함	- FRM 프리캐스트 건식 패널 내진보강공법 구조성능검증 실험체 설계 - 구조성능 실험 계획 및 보고서 - FRM 프리캐스트 패널 보강 조적벽체 파괴 메커니즘 실증	- 조적벽체와 개발한 FRM 프리캐스트 패널의 부착성능 및 보강성능 검증이 필요함 - 목표 구조성능을 제시함. 해당 목표는 프로토타입 선정에 기반함	9.2
		- 특허 출원(1건)	- 국내, 국외 : 구조 조적벽체 보강용 날개벽형 FRM 프리캐스트 패널에 대한 특허 사항 존재하지 않음	- 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진	- 개발상세의 제품화·사업화를 위한 기술저작권 등 기반을 마련함	1
	[세부연구목표 2] 고강도 FRM 바름조적벽체-슬래브 연결상세 개발	- 표준적 FRM 바름식 보강안 소재성능공인성적서(1건)	- 국내: 주로 FRP나 유리섬유 계열의 내진보강 공법이 개발되고, 공법의 특성상 프리즘 요소를 대상으로 소재성능의 실험을 수행하기보다는 실물 또는 축소 규모의 조적벽체를 대	- 압축강도 20% 증진 - 전단강도 50% 증진	- 압축강도는 횡하중을 받는 조적벽체의 잔류강도에 관련되어 요구가 크지 않은 반면 사인장전단강도는 수평줄눈파괴, 대각인장파괴, 보강후 휨파괴의 극한강도와 연관이 있음	6.6

			상으로 실험 검증 수행 - 국외: 보강재를 부착하고 모르타르를 덧치거나 또는 탄소섬유시트를 직접 부착후 프리즘 요소에 대한 소재성능 실험 수행		- 이에 전단강도의 높은 개선 목표와 보강안을 목표치로 설정함	
		- FRP 바름식 보강 설계식 3건 제안(대칭보강 압축강도, 비대칭보강 압축강도, 사인장전단강도)	- 국내: 실물 또는 축소 규모의 벽체를 대상으로 보강 효과의 정도를 측정하는 연구 - 국외: 보강된 프리즘 요소의 실험 결과 및 역학적 이론을 토대로 설계식 개발	- 설계식의 오차 10% 이내	- 조적조 벽체의 내진성능평가시 압축강도, 전단강도가 강도결정 주요 변수이므로 보강시 이들 설계변수의 변화량을 결정하기 위한 식을 제시	1.3
		- 보강치장벽체-기존구조체 연결부 상세 특허 출원(0.5건)	- 국내, 국외: 조적 벽체 부재 자체를 보강하기 위한 공법을 주로 개발	- 시공성(연결부 형성을 위한 설치 용이한 거푸집)	- 거주중 시공을 위하여 기존 치장벽체를 철거하지 않고 내부의 구조체와 연결하기 위한 공법 필요	0.7
	[세부연구목표 3] 고강도 FRM 내진 보강공법 특허 추진 및 전단 보강 설계 프로세스 제안	- FRM 프리캐스트 건식 패널공법	- 국내외 : FRM 프리캐스트 패널에 대한 특허가 존재하지 않음	- 노후 조적조 건물 대상 FRM 프리캐스트 패널 내진 보강설계용 소프트웨어	- 경제성, 시공성을 고려하여 선정	3.3
	[세부연구목표 4] 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허 추진 및 설계 프로세스 제안	- 보강치장벽체-기존구조체 연결부 상세의 특허 출원(0.5건)	- 국내, 국외: 조적 벽체 부재 자체를 보강하기 위한 공법을 주로 개발	- 시공성(연결부를 포함한 보강공사 절차의 용이성)	- 거주중 시공을 위하여 기존 치장벽체를 철거하지 않고 내부의 구조체와 연결하기 위한 공법 필요	2.3
3년차 (2021)	[세부연구목표 1] 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발 및 구조성능 검증 실험	- FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발	- 국내 : 구조체로 작용하는 조적벽체에 대한 실용적 보강공법이 부재함 - 국외 : 강재 프리캐스트 모듈에 대한 연구가 대다수 이며 콘크리트/모르타르를 활용한 거푸집 겸용 반건식 패	- FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 실효성 검증	- 간편한 시공성, 거주 중 보강 가능성 등 제반 성능을 바탕으로 반건식 거푸집 겸용 패널 상세 검증이 필요함	1.67

			널 연구에 대한 검증은 부재함			
		- 현장 타설 반건식 FRM 보강 패널과 조적벽체 간 부착 성능 실증	- 국내 : 부착 성능 실험에 대한 규준이 존재하지 않음 - 국외 : 조적벽돌과 줄눈 사이의 부착성능 실험 규준이 존재하나 섬유보강모르타르(FRM)과 조적벽돌의 부착성능 규준이 마련되지 않음	- 조적벽체와 패널 간 부착강도 소재 성능 실증	- 조적벽체와 개발한 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널의 부착성능 검증이 필요함	4.2
		- FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강 공법 보강 상세를 이용한 조적벽체 목표 구조 보강 성능 달성 (기존부재 대비 100% 구조성능 개선)	- 국내 : 콘크리트 증타공법 등의 조적조 보강 연구가 이루어지나 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널로 보강한 조적벽체의 구조적 검증이 부족함 - 국외 : 조적벽체 보강공법으로 철근콘크리트 보강공법 등의 연구가 이루어짐	- 구조성능 실험 계획 및 보고서 - FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강 조적벽체 파괴 메커니즘 실증	- 조적벽체와 개발한 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널의보강성능 검증이 필요함	7.2
	[세부연구목표 2] 일체성 향상 공법 적용 조적벽 시스템 구조성능 검증 실험	- 조적조 일체성향상공법 시작품(4건)	- 국내, 국외: 보강 대상 벽체를 직접 보강하여 단독 실험. 대부분 개구부가 없는 단순한 벽체를 대상으로 함	- 휨지배형 조적벽의 강도 20% 향상 - 전단지배형 조적벽의 강도 50% 향상 - 치장벽과 내력벽의 2중 벽체로 구성된 실험체	- 휨지배형 조적벽은 비교적 세장한 벽체로서 횡하중 분담율이 크지 않은 반면에 전단지배형 벽체는 비교적 낮은 높이/길이 비율로 인해 강성이 크고 횡하중분담률 및 강도증가 요구량이 큼. - 치장벽체를 구조체로 활용하기 위한 보강 전략의 검증	5.2
		- 조적조 일체성향상공법 설계 및 시공 매뉴얼(1건)	- 국내, 국외: 보강된 벽체의 강도증가 효과를 확인하고 설계변수에 따른 보강효과를	- 설계 및 시공 매뉴얼을 포함한 보고서 작성	- 실험을 통해 검증된 설계 및 시공 절차를 문서화함.	7.8

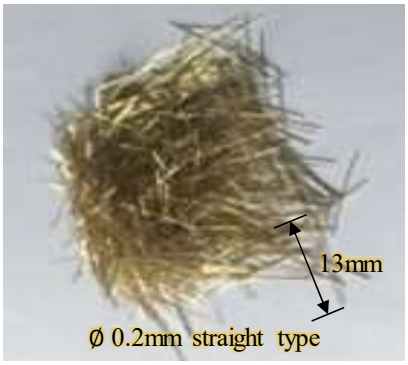
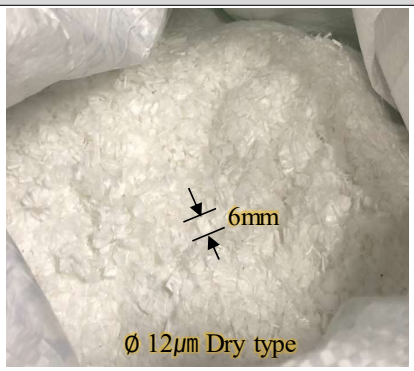
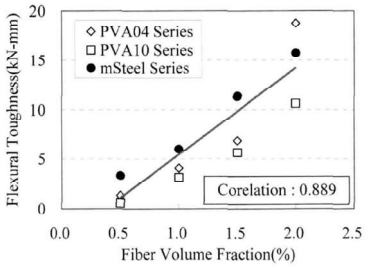
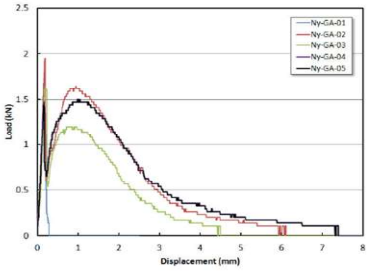
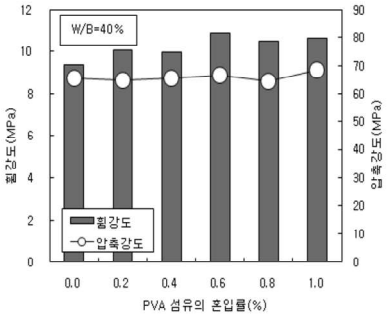
			비교			
	[세부연구목표 3] 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법을 적용한 조적벽체 제품 개발/설계·시공 매뉴얼(안) 및 보강 설계 예제 작성	- 고강도 FRM 프리캐스트 건식 패널공법을 적용한 제품개발	- 국내외 : FRM 프리캐스트 패널에 대한 특허가 존재하지 않음	- 노후 조적조 건물 대상 FRM 프리캐스트 패널 공법을 적용한 제품 개발	- 경제성, 시공성을 고려하여 선정	1.3
		- 설계·시공 매뉴얼 및 보강설계 예제작성	- 국내외 : FRM 프리캐스트 패널에 대한 활용이 존재하지 않음	- 설계·시공 매뉴얼 및 보강설계 예제작성	- 설계·시공성을 고려한 검증	1.9
	[세부연구목표 4] 일체성 향상 공법 적용을 위한 연결 상세 제품개발/설계 가이드 및 보강 설계 예제 작성	- 조적조 일체성향상공법 내진보강설계 프로그램(SW 1건) 및 설계 가이드(논문 1건)	- 국내, 국외: 조적조 건물의 내진보강 설계와 관련한 연구는 실험에 기초한 보강설계식 제안 또는 상용구조해석 프로그램을 이용한 내진성능평가 중심의 연구가 수행됨	- 간이내진성능평가 방식을 활용한 설계	- 조적조 건축물은 대부분 민간 주택이므로 고비용 상세 구조해석을 지양하여 신속하고 경제적인 평가 및 보강설계를 통해 내진보강 비율 제고	3.2

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 1차 연도

○ **주관연구개발기관(숭실대학교 산학협력단)**

● FRM 프리캐스트 패널 배합 선행 연구 자료 조사 및 FRM 재료성능 요구 목표 정량화

강섬유	나일론 섬유	PVA 섬유
		
- 강섬유는 모르타르 등 시멘트 복합재료에 투입했을 때 휨·인장 변형 성능을 개선하여 기존 모르타르의 취성적인 성질을 개선할 수 있어 고성능 보수재료, 내진보강재료 용도로 활용됨 - 강섬유와 이종의 섬유를 혼입한 하이브리드 섬유 혼입 모르타르 기술이 실험실 차원에서 수행되고 있음(Lee et al, 2011; Lee, 2011). 또한 시멘트 복합재료에서 강섬유는 조기 강도 발현에 기여함	- 나일론 섬유가 혼입된 모르타르는 나일론 섬유의 가교 효과로 인해 재료 내 균열 저항성이 증진되어 압축 인성이 일반 모르타르 대비 약 18 % 증진되는 것으로 보고됨 - 일반 모르타르 대비 재료의 휨 연성과 극한 내력 성능이 증진되어 극한 하중 상태에서 손상부의 파편이 탈락되지 않고, 측면의 손상부가 하중 가력 방향과 수직 방향으로 부풀어지면서 퍼져나가는 파괴 형태를 보이는 것으로 조사됨(Saverio S et al, 2015)	- PVA 섬유는 기존 재료의 염해, 탄산화, 동결융해 저항성 등 내구성을 증진시키며 균열 저항성이 높고 비중이 낮아 실용적인 보강 섬유로 보고됨 - 혼입률 0.6 %까지는 혼입률 증가에 따라 PVA 섬유 혼입 모르타르의 휨 강도가 향상되는 것으로 조사됨(Han et al, 2010)
		

· 서울시에 위치한 4개의 표준적 조적조 건물을 선정하여 “기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령”(시설안전공단, 2019)의 내진성능 예비평가 및 상세평가(비선형정적절차)를 적용하여 내진성능을 평가함: 공동연구개발기관인 인천대학교의 분석 결과를 간략화함

· 본 연구에서는 적정 보강량 산출을 위하여 2층 규모의 실 건물을 대상으로 프로토타입 해석을 선결 수행하였음. 이는 FRM 프리캐스트 패널 배합의 정량적 요구 목표로 사용될 것임

1) 작용 하중

5m × 2.5m 크기에 변장비(l/h)가 2이고, 두께가 1.0B인 조적 벽체 프로토타입에 작용하는 하중

· 벽체 자중 : 5m × 2.5m × 0.1m × 2.4 = 3Ton

· 벽체 이외 부가 하중 : 부착 물체와 건물 기타 하중을 고려한 부가 하중은 2Ton으로 가정

· 총 벽체 하중은 5Ton으로 계산되며 적정 내진 보강 성능을 계산하기 위하여 벽체 하중에 지반 증폭 계수 (F_y = 1.5)을 도입하면 프로토타입 조적 벽체가 요구하는 밑면 전단력은 총 1.85Ton

S_{DS} = 0.22g × 2.5 × F_y × $\frac{2}{3}$ = 0.55g × 5Ton = 3Ton (S_4 기준)

$V_{밑면전단력}$ = $S_{DS}/(R/I_E) \times W$ = 1.85Ton 여기서, I_E = 1.0, R = 1.5, W : 벽체 하중

2) 전단 응력 성능(프로토타입 조적 벽체)

· 강도 저감 계수 $\varnothing_1$를 0.7로, 재료 노후도 계수 $\varnothing_2$를 0.7을 가정

V_n = 0.1m × 2.5m × 0.1 MPa = 2.5Ton (τ = 0.1MPa, 개구부가 있는 경우)

$\varnothing_1 \varnothing_2 V_n$ = 0.7 × 0.7 × 2.5Ton ≒ 1.23Ton

3) FRM 보강 시 전단 응력 성능(프로토타입 조적조 건물 전체)

· FRM 패널 모체 전단강도를 5MPa로 가정 (개발목표로 선정)

V_c = 0.05 × 1 × 5MPa = 0.25MN = 25Ton

· 개발 보강공법을 건물 외곽에만 적용하는 것을 가정하여, 프로토타입 조적조 건물 전체의 요구 전단 보강량을 모두 충족할 수 있도록 (참고, 프로토타입 건물의 벽체는 20개) 보강량을 산출하였음. 본 연구에서 제안하는 고강도 FRM 날개벽 건식 · 반건식 보강 공법의 보강 성능은 프로토타입 조적조 건물 전체에서 25Ton이며 이는 조적조 벽체 단면 평균 1MPa 수준에 해당됨

· 조적조 건물의 기존 내진보강공법 사례 조사와 FRM 배합 선행 연구 조사를 바탕으로 본 연구에서 개발하는 FRM 프리캐스트 패널에서 가장 중요한 역학 성능은 전단 성능 및 항복 이후의 잔존 응력임. 이를 고려하여 FRM 프리캐스트 패널 배합의 요구 목표를 전단강도 5MPa 이상, 인장강도 3MPa 이상으로 정량화함

● 요구 목표 성능을 만족하는 적정 섬유 및 FRM 배합 도출 및 재료 실험 수행을 통한 개발 FRM 재료 성능 성능 검증

· 프리캐스트 패널 배합 시 시공성을 확보하기 위하여 모든 배합의 물-시멘트비는 55%로 설계하였으며 공기량은 4.5% (± 1.5%), 모르타르 플로우는 210mm (± 25mm)로 설계함. 모르타르 플로우 실험은 KS L 5111의 기준을 따라 수행하였고, 공기량 시험은 KS F 2421의 기준에 따라서 수행함

· 나일론 섬유를 혼입한 모르타르의 플로우는 일반 모르타르 대비 약 10 % 정도 감소되며, PVA 섬유를 혼입한 모르타르의 플로우는 PVA 혼입률이 증가할 때마다 감소하는 것으로 보고됨. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서 개발한 모든 배합의 모르타르 플로우와 공기량이 유사한 값을 가지도록 고성능 AE 감수제를 시멘트 중량의 0.2 ~ 0.4% 비율로 투입하였으며, 투입 비율은 반복 실험을 통해 조정함

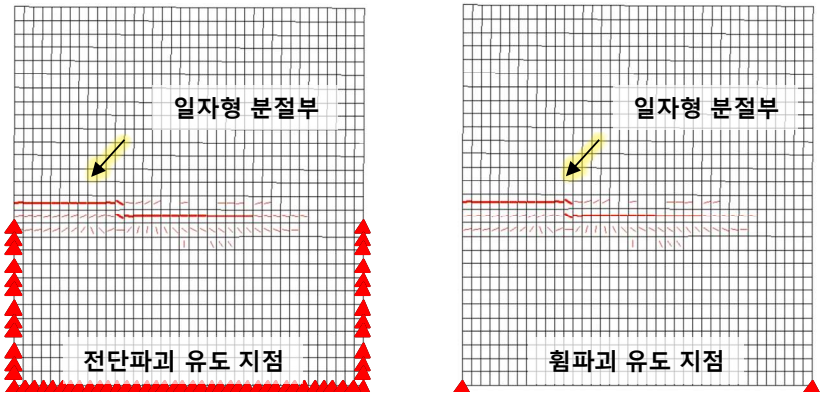
[표 2-1] FRM 배합 소재실험 변수

Mix-proportion	W/C (%)	Flow (mm)	Air contents (%)	Unit (kg)				Fibers			
				W	S	G	Admixture	Steel fibers weight (kg)	Nylon fibers weight (kg)	PVA fibers weight (kg)	Total fiber (%)
NFRM	55	205	4.7	330	600	1207	1.2	-	-	-	-
SF0.75	55	210	4.6	330	600	1188	1.2	58.88	-	-	0.75
SF1	55	200	4.1	330	600	1181	1.2	78.5	-	-	1
SF0.5-NY0.25	55	230	3.5	330	600	1188	2.4	39.25	2.9	-	0.75
SF0.6-NY0.15	55	225	4.0	330	600	1188	1.8	47.1	1.74	-	0.75
SF0.6-PVA0.15	55	225	4.4	330	600	1188	1.2	47.1	-	1.95	0.75
SF0.67-NY0.33	55	205	3.3	330	600	1181	1.8	52.6	3.8	-	1
SF0.33-PVA0.67	55	210	3.8	330	600	1181	1.2	25.9	-	8.71	1

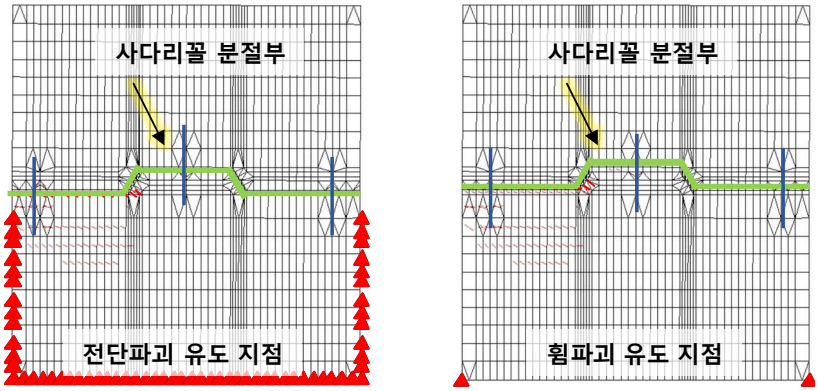
● FRM 프리캐스트 패널 연결부 상세 제안 및 패널 연결부 소재성능 실증 실험 방법 수립

· ASTM D 5961을 준용한 패널과 패널 간 스크류 관통 연결부 실증 적합 실험 방법을 조사하였고, 국내 현장에서 주로 사용되는 선정착된 앵커 및 스크류의 인발 시험 방법에 대해서 조사함

· Vector 2(Toronto 대학교 개발)를 사용하여 유한요소해석을 수행하였음. 해석 과정에서 요소의 크기는 20mm x 20mm의 정사각형으로 통일함. 분절부 실험체의 해석 모델은 1m x 0.75m (가로 x 높이)로 계획하였으며 두께는 실제 개발 예정 상세의 두께와 동일하게 50mm로 계획함. 해석 변수는 1) 일자형 분절부, 2) 사다리꼴 물림형 분절부임. 또한, 유한요소해석은 1) 전단 파괴 유도를 위하여 분절면 아래 양 측면과 모델 밑면을 모두 힌지로 구속한 것과 2) 휨 파괴 유도를 위하여 분절면 아래의 양 측면을 구조하지 않고 모델 밑면만을 힌지로 구속한 2가지 파괴모드 유도를 위한 지점조건으로 해석을 수행함



(a) 일자형 분절부 유한요소해석 모델



(b) 사다리꼴 물림 분절부 유한요소해석 모델

<그림 2-1> 패널 분절부 유한요소해석 모델

○ 공동연구개발기관(인천대학교 산학협력단)

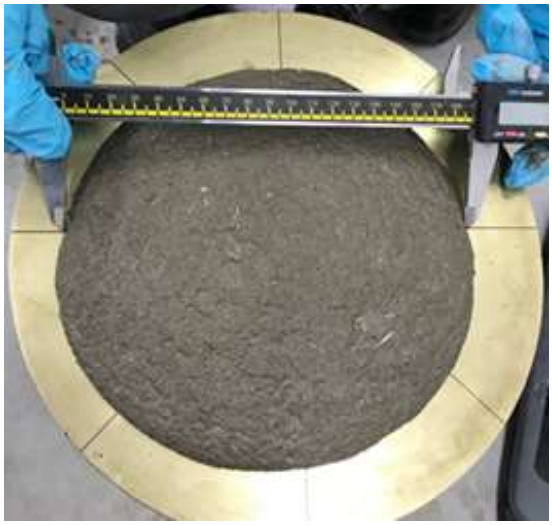
● 섬유혼입 및 바름 시공에 적합한 모르타르 배합비 도출 및 검증 실험

· FRM 배합비 관련 기존 연구 조사를 통해 바름 시공에 적합한 배합비 도출을 위한 배합설계 범위를 계획함. 물시멘트비, 섬유혼입율을 주요 시험변수에 포함하였으며, 섬유분산을 위해 유동성조절을 위한 혼화제를 시험 배합비에 포함

· 바름식 시공성 검증을 위해 각 배합비별로 굳지 않은 모르타르의 플로우테스트 및 점착력 시험 실시

[표 2-2] 배합범위 결정 (중량비 기준)

배합명	잔골재/시멘트	물시멘트비(%)	섬유 혼입율(%)	고성능감수제(%)
S/C20-W/C25-AD01	2	25	0 / 0.5 / 1 / 1.5 / 2	1
S/C20-W/C40	2	40	0 / 0.5 / 1 / 1.5 / 2	0
S/C20-W/C45	2	45	0 / 0.5 / 1 / 1.5 / 2	0
S/C20-W/C50	2	50	0 / 0.5 / 1 / 1.5 / 2	0
S/C20-W/C45	2	45	0 / 0.5 / 1 / 1.5 / 2	0
S/C20-W/C50	2	50	0 / 0.5 / 1 / 1.5 / 2	0



<그림 2-2> 유동성 측정을 위한 플로우테스트



<그림 2-3> 점착력 시험

● 재료의 조성 및 섬유의 종류 및 혼입량의 영향 실증

· 플로우테스트, 점착력 시험을 통해 시공 적정성이 확인된 배합비 3종을 1차 선별하였으며, 고성능 감수제는 바름식 시공에 적합하지 않음을 확인함

· 선별된 배합비를 대상으로 FRM 시편의 압축 및 인장강도 시험을 실시하여 시공성과 함께 두 가지 강도가 모두 우수한 배합비를 최종 도출함



<그림 2-4> 압축강도시험



<그림 2-5> 인장강도시험

● 일체성 향상 공법적용 조적조 프리즘 시편의 강도증진효과 검증 및 적용조건 변수연구 실험

· FRM 시공성 시험에서 도출된 최적배합비를 적용하여 바름식 보강된 조적조 단위구조체(프리즘)를 제작

· 보강공법의 최적화를 위해 조적개체의 종류, 섬유혼입량 및 보강면 수량을 고려한 조적프리즘 제작

· ASTM C 1314 및 ASTM E519 시험표준에 따라 보강전후 조적 프리즘의 압축강도시험 및 사인장전단강도 시험을 수행함. 실험결과를 통해 압축강도, 사인장전단강도, 탄성계수, 전단탄성계수를 측정함

· 시험결과를 토대로 목표성능(압축강도 20% 증가, 전단강도 50% 증가)에 부합하는 보강안 선정

[표 2-3] 단위구조체 실험체 일람표

벽돌종류	압축강도		사인장전단강도	
	실험체명	비고	실험체명	비고
중공 적벽돌	C-RP	비보강	S-RP	비보강
	C-RS3	강섬유혼입률 3.0%	S-RS3	강섬유혼입률 3.0%
	C-RS4	강섬유혼입률 4.0%	S-RS4	강섬유혼입률 4.0%
	C-RB0	강섬유혼입률 0%	S-RB0	강섬유혼입률 0%
	C-RB3	강섬유혼입률 3.0%	S-RB3	강섬유혼입률 3.0%
	C-RB4	강섬유혼입률 4.0%	S-RB4	강섬유혼입률 4.0%
무공 적벽돌	C-SP	비보강	S-SP	비보강
	C-SB0	강섬유혼입률 0%	S-SB0	강섬유혼입률 0%
	C-SB4	강섬유혼입률 4.0%	S-SB4	강섬유혼입률 4.0%
콘크리트 벽돌	C-CP	비보강	S-CP	비보강
	C-CS3	강섬유혼입률 3.0%	S-CS3	강섬유혼입률 3.0%
	C-CS4	강섬유혼입률 4.0%	S-CS4	강섬유혼입률 4.0%
	C-CB0	강섬유혼입률 0%	S-CB0	강섬유혼입률 0%
	C-CB3	강섬유혼입률 3.0%	S-CB3	강섬유혼입률 3.0%
	C-CB4	강섬유혼입률 4.0%	S-CB4	강섬유혼입률 4.0%
	C-CM4	강섬유혼입률 4.0%	S-CM4	강섬유혼입률 4.0%

B:단면보강, S:단면보강, P:무보강, M:1면일반몰탈마감, 1면 FRM 4% 단면보강
섬유혼입률은 중량비 기준



(a) 압축강도 시험 (b) 사인장 전단강도 시험

<그림 2-6> 조적 프리즘 실험

○ 공동연구개발기관((주)세진기술)

● 국내 조적조 현황 분석 및 내진보강 기법 조사

· 비보강 조적조 건축물에 대한 내진보강기법 적용 시 큰 범위에서의 국가 정책 기본 틀에서 기본계획이 수립되어져야 할 것임. 각 부처 및 지자체에서는 독거노인, 재난약자, 재난취약계층 그리고 재난취약시설 등에 대한 안전지원사업을 추진하고 있는 상황임. 재난취약시설 중 많은 비중을 비보강 조적조 건축물이

차지하고 있는 상황으로 이러한 국가정책을 활용한 내진보강 계획이 수립되어야 할 것임. 즉, 이러한 재난취약시설에 대한 안전지원사업 추진시 내진진단 수행을 통해 수요조사가 가능할 것으로 사료됨

· 기존 비보강 조적조의 지진피해 사례로부터 조적벽체의 벽량 부족 및 개구부의 취약성 등으로 조적조 건축물이 피해를 받은 것으로 나타났으며, 이와 관련하여 에너지빈곤층 해소 전략과 관련한 벽단열 공사 및 창호 공사에 있어서 내진보강 기법을 도입한 벽단열 공사 및 창호를 개발 할 경우 시너지 효과가 발생 할 수 있을 것으로 사료됨

· 이러한 내진보강의 적용을 위해서는 기존 비보강 조적조 건축물에 대한 내구연한 및 생애주기비용 등 내진보강 비용 분석을 통해 경제성을 고려할 수 있는 내진보강계획의 수립이 필요함. 따라서 본 연구에서는 구조체의 열화정도의 평가를 통해 보수 FRP, 등의 방법으로 기본적인 구조성능을 확보하며 사용용도별, 지역별, 구조특성별 조건에 따라 내진보강 기법을 선정하는 것이 중요함

· 다음은 조사결과에 기반한 내진보강 기법 선정에 대한 일반사항을 제시하고 있음

(1) 사용용도별

- 비보강 조적조 공공시설물에 대한 내진보강 우선 사업을 통해 사유시설에의 내진보강 전파
- 내진보강에 대한 계몽 및 홍보, 인센티브 부여방안 모색

(2) 지역별 (도심지, 농촌 및 어촌)

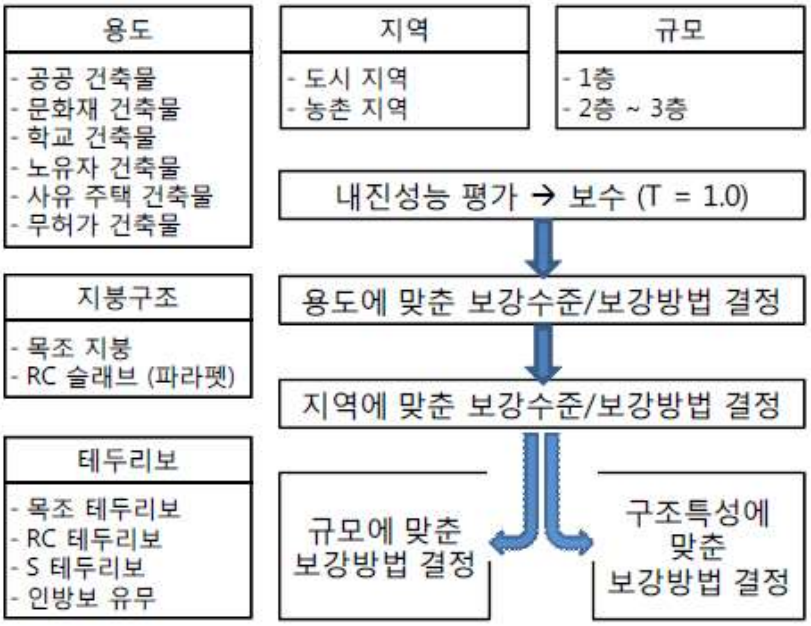
- 도심지 : 주변 대지의 여유가 없는 경우 FRP (Fiber Reinforced Plastic) 또는 강선 및 강봉 활용
- 농촌 및 어촌 : 주변 대지의 여유가 있는 경우 외부공간 활용이 가능함. 따라서 붙임벽 및 붙임기둥 등의 사용으로 경제성확보

(3) 구조특성별 (지붕구조 및 슬래브 재료, 테두리보 및 인방보 유무, 개구부)

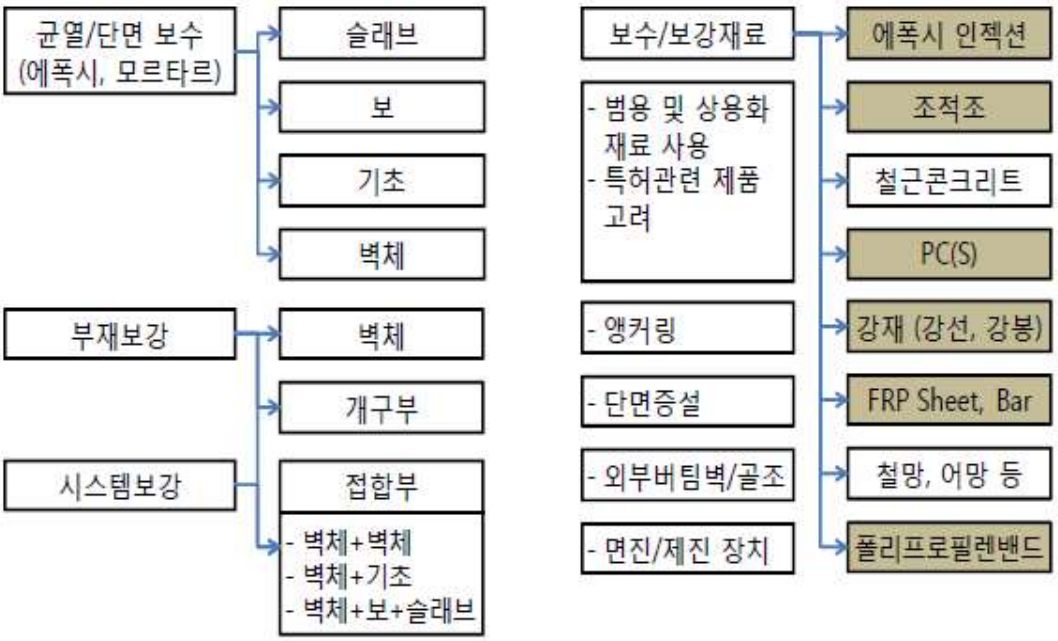
- 개구부 : FRP, 고강도 프리캐스트 철근콘크리트 개구부틀(고무사용, 피난및 화재시 개구부 개폐), 개구부 면내 방향 FRP 부착
- 접합부 : 고강도 프리캐스트 철근콘크리트 기둥(조적형태 외관의 L 형태)및 링빔
- 벽 체 : 수직 및 수평 강봉 및 강선, FRP
- 지 붕 : 테두리보 확보 및 목조 지붕의 경우 슬래브 지붕으로 또는 볼팅을 통한 바닥 고정
- 면외방향 취성적인 거동 제어를 위한 붙임기둥, 철망/어망/강선 망/PP band부착
- 중요건축물의 경우 면진, 제진 또는 면/제진 혼용의 방법 사용



<그림 2-7> 내진보강 계획시 고려사항



<그림 2-8> 내진보강 기법선정시 고려사항



<그림 2-9> 내진보강 기법선정

○ 공동연구개발기관((주)한울구조안전기술사사무소)

● 국내 기존 조적조 건물의 구조적 특징 조사 분석

· 연구목표인 3개동을 초과하여 총 16동의 조적조 주택 및 경찰서 건물을 대상으로 벽량, 형상비, 개구부율, 벽체의 구성 등 국내 조적조 건물의 구조적 특징을 분석함

· 공공건축물(주로 파출소)의 경우 도면 및 내진성능평가 보고서를 입수하여 벽체 및 연결부 상세를 파악함. 내부 구조벽체와 외부 치장벽체의 연결 철물 유무 및 기초의 상태 등을 파악함

[표 2-4] 국내 조적조 건물 조사 분석 기본사항

구분	용도	건물규모	건설년도 [년]	높이 [m]	연면적 [m²]
건축물 1	파출소	지상2층	1988	6.6	206
건축물 2	파출소	지상2층	1998	6.0	166.3
건축물 3	파출소	지상2층	1994	6.0	154.7
건축물 4	파출소	지상2층	1997	6.65	232.6
건축물 5	파출소	지상2층	1994	6.0	154.7
건축물 6	파출소	지상2층	미상	7.6	미상
건축물 7	파출소	지상3층	미상	11.15	미상
건축물 8	파출소	지상1층	미상	3.3	미상
건축물 9	파출소	지상3층	1998년	9.0	220.7
건축물 10	근린생활시설	지상2층	1976년	7.825	1150
건축물 11	근린생활시설	지상3층	1974년	8.1	147.4
건축물 12	근린생활시설	지상2층	1967년	6.6	66.1
건축물 13	단독주택	지상2층	1973년	6.1	143.7
건축물 14	다세대주택	지상3층	1991년	9.25	192.8
건축물 15	단독주택	지상1층	1974년	3.6	103.4
건축물 16	다세대주택	지상2층	1975년	7.8	304.5

● 기존 조적조 구조상세에 기초한 개발 보강공법의 적정성 검토

· 벽체에 탄소섬유시트를 부착하거나 철제프레임과 보강핀에 메탈라스를 부착하여 모르타르 마감하는 공법, 철골가새를 신설하는 공법 등 조적조 건축물을 대상으로 개발되거나 실제 적용된 보수·보강공법들을 조사함

· 단위면적당 보강비용 및 보강효율을 토대로 예상되는 보강비용을 산정하여 경제성을 비교함. 시공성 측면에서 개발 보강공법의 적정성을 검토하여 개선방향을 제시함

2) 2차 연도

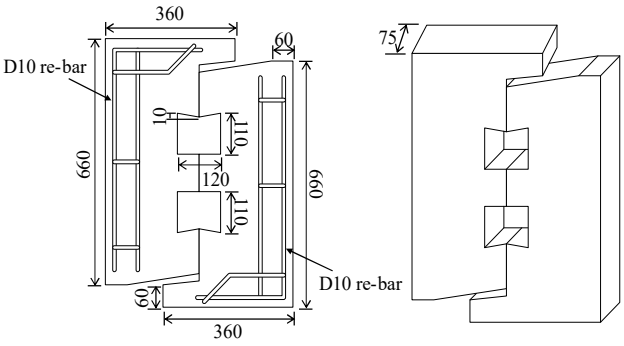
○ 주관연구개발기관(숭실대학교 산학협력단)

● 프리캐스트 패널 건식 접합 보강상세 개발 및 소재성능실증 실험을 통한 성능 검증

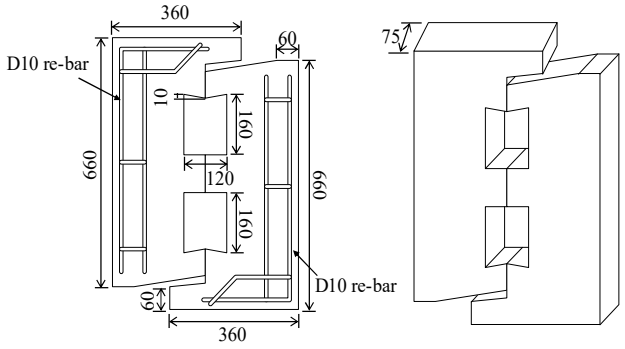
· 각각의 실험변수는 프리캐스트 패널 연결부 상세에 따라 계획하였으며 ① 전단키의 총 길이 및 개수, ② 연결방법(철근 삽입의 유무), ③ 분절부 모르타르에 함유된 섬유 부피를 변수로 두어 실험을 진행함

[표 2-5] FRM 프리캐스트 패널 연결부 상세 소재성능실증 실험 변수

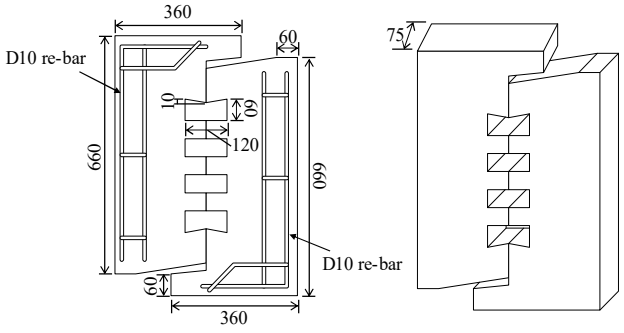
Test series	Test specimens	Total length of shear keys at the joint interface (mm)	Shear key configurations	Fiber volume fraction in joints (%)	Test parameters
1	S100-JM1	200	Cast-in-place keys	0.75	Volume fraction of steel fiber in joints
	S100-JM2	200	Cast-in-place keys	1.0	
	S100-JM3	200	Cast-in-place keys	1.5	
2	S100-N2	200	Cast-in-place keys	0.75	Number and length of shear key
	S50-N4	200	Cast-in-place keys	0.75	
	S150-N2	300	Cast-in-place keys	0.75	
3	S100-M	200	Cast-in-place keys	0.75	Shear key configurations
	S100-H	200	Cast-in-place keys + Vertical re-bar	0.75	
4	V80-JM1	-	Castellated keys + Transverse re-bar	0.75	Volume fraction of steel fiber in joints
	V80-JM2	-	Castellated keys + Transverse re-bar	1.0	



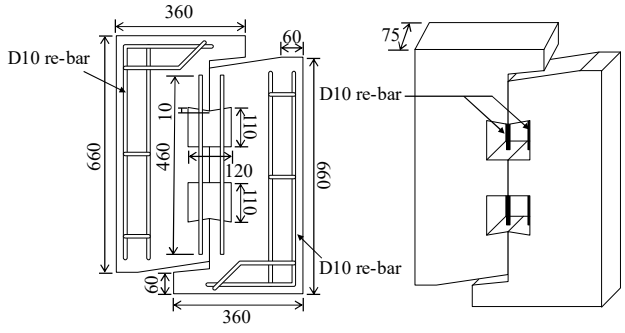
(a) S100-JM1, JM2, JM3 & S100-N2 & S100-M



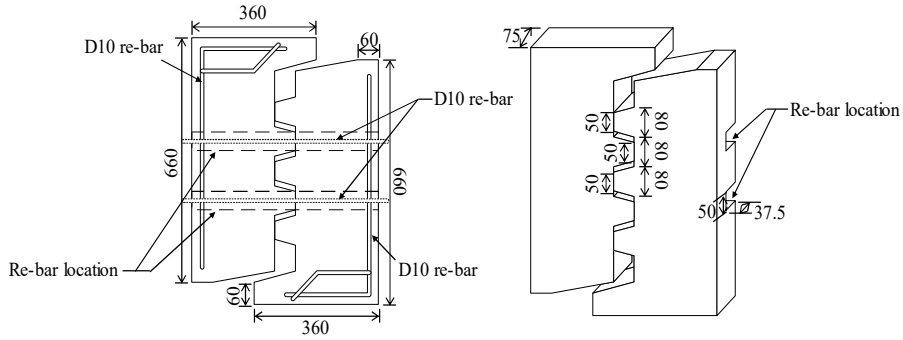
(b) S150-N2



(c) S50-N4

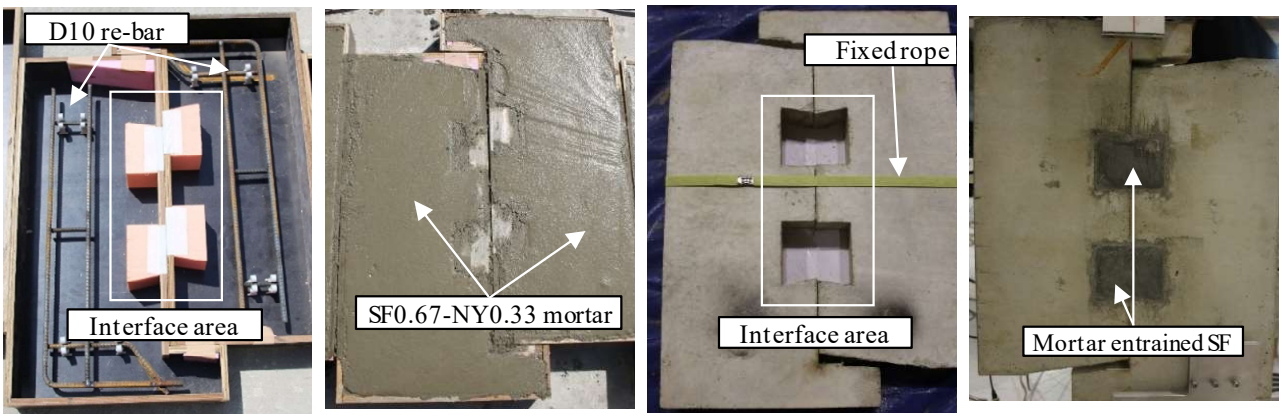


(d) S100-H



(e) V80-JM1, JM2

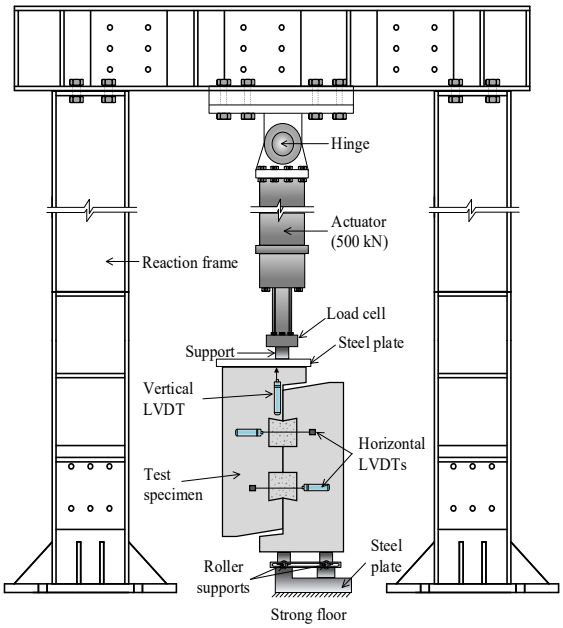
<그림 2-10> Z-Type push-off 실험체 상세 도면



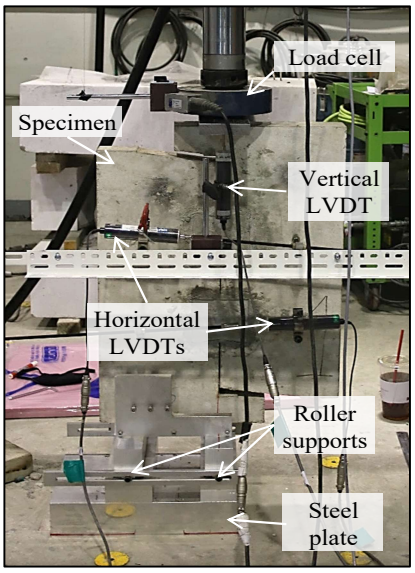
(a) 철근 조립 및 거푸집 준비 (b) 모체 1차 모르타르 타설 (c) 양생 및 연결부 타설 준비 (d) 연결부 2차 모르타르 타설

<그림 2-11> Z-Type push-off S100-JM1 실험체 제작 과정

· 면외 방향 전도 방지를 위하여 지점 조건을 힌지로 두고, L-Steel plate zig에 실험체를 고정함. 제작한 실험체를 500kN 용량의 액츄에이터를 사용하여 0.25mm/min의 속도로 변위제어 가력하였으며 3개의 변형측정자기센서(LVDT)를 설치하여 수평축 균열 너비와 수직축 균열 변위를 측정함



(a) Z-Type push-off 실험 도식도



(b) Z-Type push-off 실험 사진

<그림 2-12> Z-Type push-off 셋업

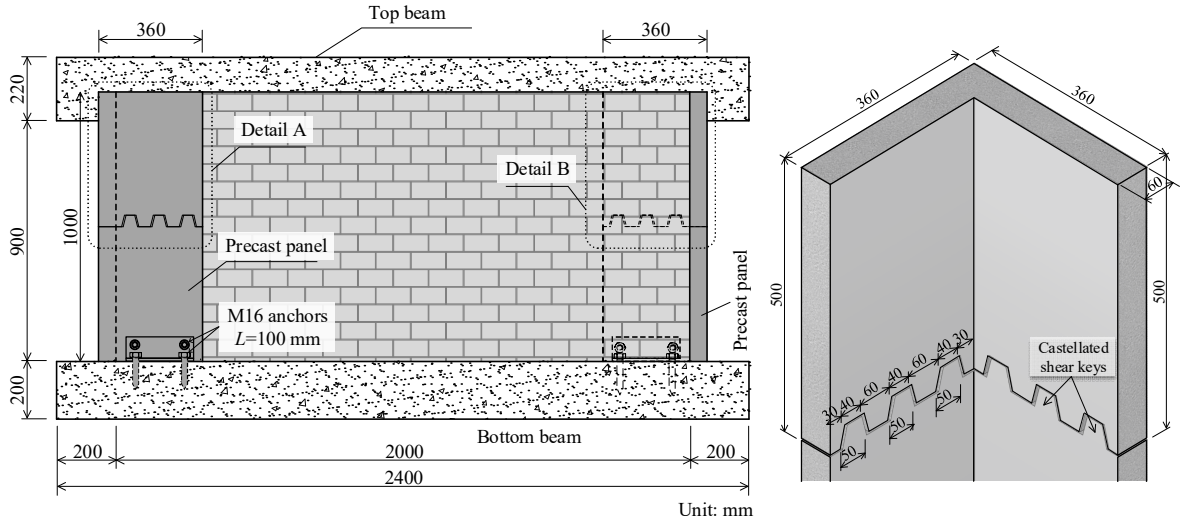
● 프리캐스트 패널 건식 스크류 접합 보강공법 구조성능검증 실험 계획

· 구조성능검증 실험에서는 ① 보강방법, ② 고강도 FRM PC 패널 연결부 상세 및 조적벽체와 보강 패널의 정착방법 등을 변수로 계획함

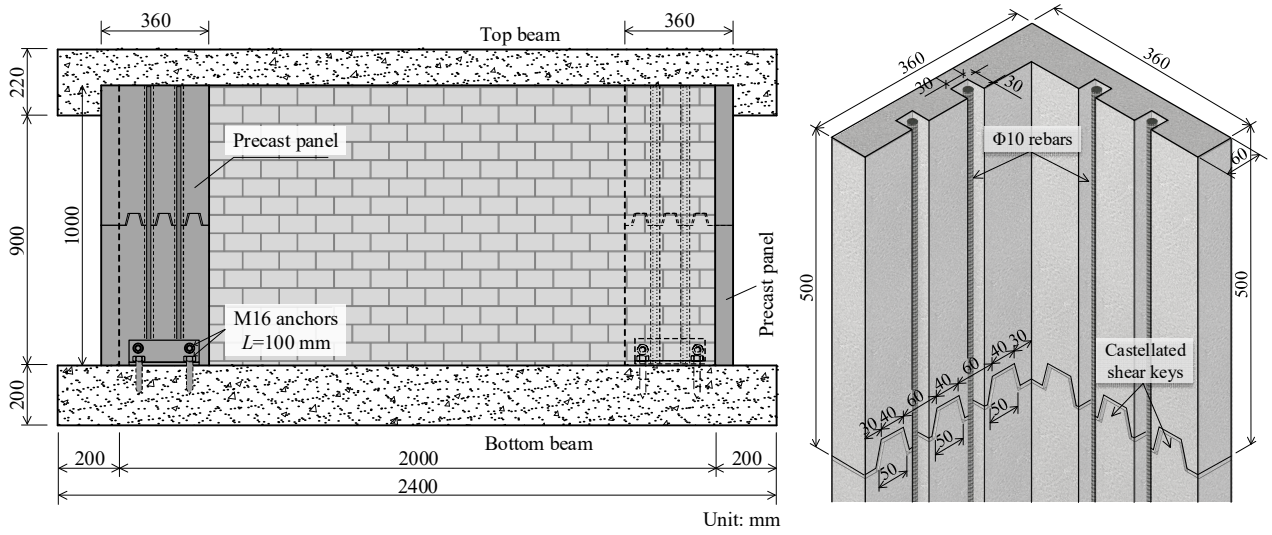
· 구조성능검증 실험체는 실제 조적벽체 크기의 1/2 scale로 제작하여 실험을 수행하였으며 이를 통하여 추후 연구개발성과의 활용 및 상용화를 위한 Mock-up Test를 통한 안전성 검증을 완료함

[표 2-6] 구조성능실험 변수

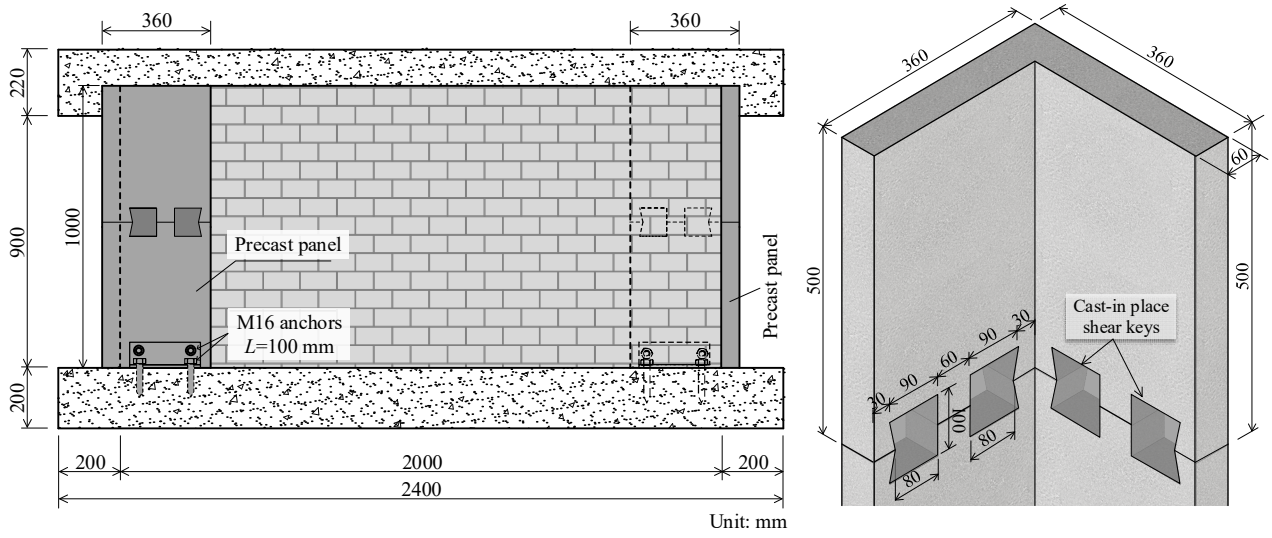
Test specimens		개구부 유무 (2 Type)	보강방법 (2 Type)	패널 연결부 상세 (1 Type)	정착방법 (3 Type)
1	URM	Closed	–	–	–
2	RM-S1	Closed	FRM PC Panel	Castellated keys	FRM + L-Plate
3	RM-S1-R	Closed	FRM PC Panel	Castellated keys + Transverse re-bar	FRM + L-Plate
4	RM-S2	Closed	FRM PC Panel	Cast-in-place keys	FRM + L-Plate
5	RM-S2-T	Closed	FRM PC Panel	Cast-in-place keys	FRM + L-Plate + Turnbuckle



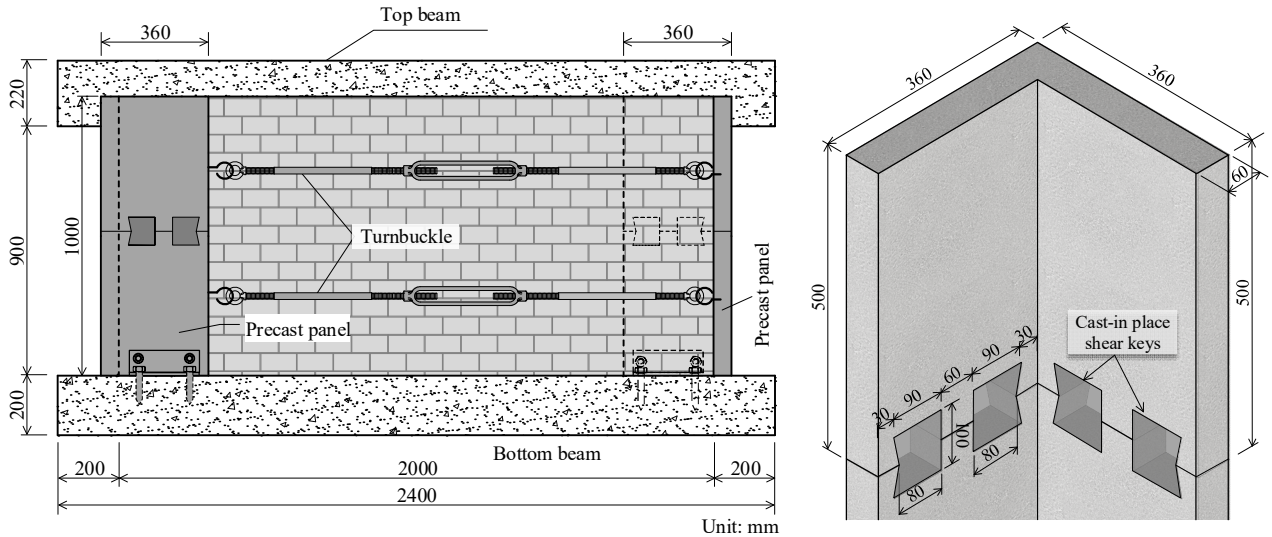
(a) RM-S1



(b) RM-S1-R



(c) RM-S2



(d) RM-S2-T

<그림 2-13> 구조성능실험 변수 상세 도면

· 프로토타입 비보강 조적조의 ASCE 41-17, FEMA 273&306에 따라 계산한 네 가지 파괴모드 결과를 도출하였으며 보강 조적조의 구조 성능은 고강도 FRM PC 패널의 성능에 따라 결정함. ① 패널에 철근이 삽입된 RM-M2, ORM-M2의 경우 보강 패널이 모체 파괴로 진행되기 때문에 SF0.67-NY0.33 패널 배합 기준으로 예상 강도를 계산함. ② RM-U, RM-U-T의 경우 보강 패널의 파괴모드인 연결부파괴를 기준으로 예상 강도를 계산함

· 프로토타입 비보강 조적조 파괴모드별 전단강도 도출 과정

① 조적벽의 크기 및 수직하중 도출

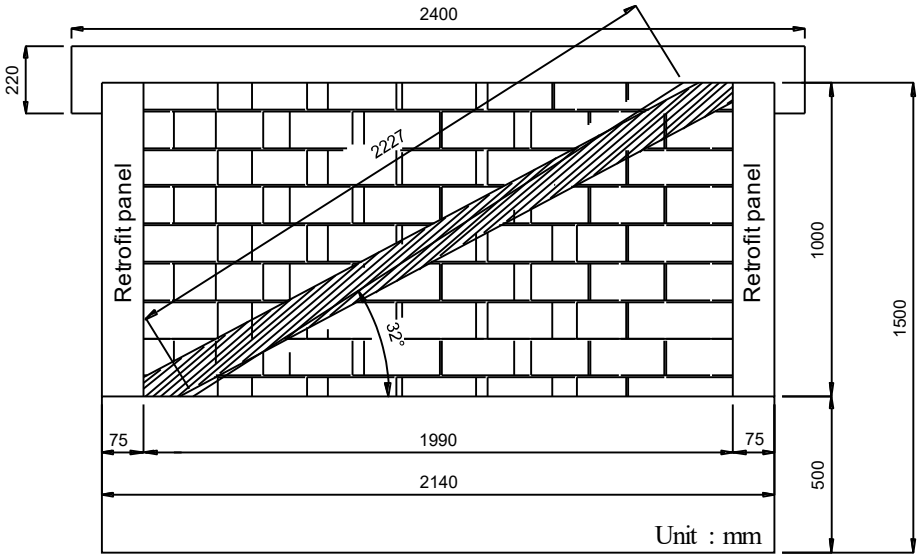
② 조적벽의 상태에 따른 압축강도, 초기전단강도, 쪼갬인장강도 등 가정

③ ASCE 41-17, FEMA 273&306 기준식에 따른 전단강도 산출

[표 2-7] 비보강 조적벽 파괴모드(Vm)

파괴모드	ASCE 41-17, FEMA 273&306	
	kN	
전도파괴 (Rocking)	$Q_{ce} = V_r$	
	126.04	
수평줄눈파괴 (Bed-joint sliding)	$Q_{ce} = V_{bjs1}$	$Q_{ce} = V_{bjs2}$
	212.52	70.02
압괴파괴 (Toe-crushing)	$Q_{CL} = V_{tc}$	
	139.81	
사인장파괴 (Diagonal)	$Q_{CL} = V_{dt}$	
	166.22	

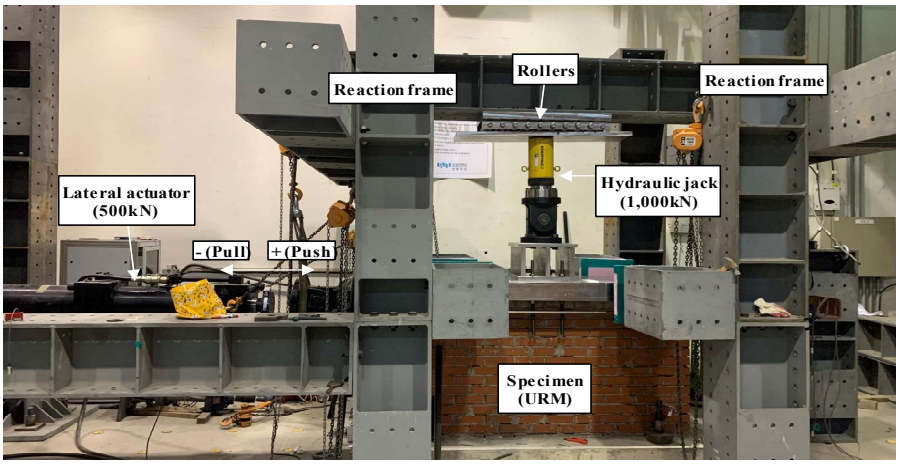
· PC 패널 보강 조적벽의 스트럿 모델링 및 해석을 수행함(Laura, et al. 2018)



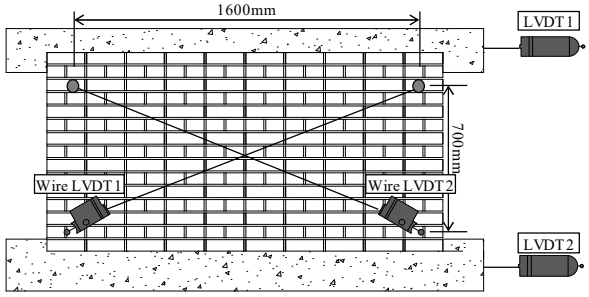
<그림 2-14> PC 패널 보강 조적벽 스트럿 모델링

● 프리캐스트 패널 건식 스크류 접합 보강공법 구조성능검증 실험(기존 부재 대비 구조성능 100% 개선)

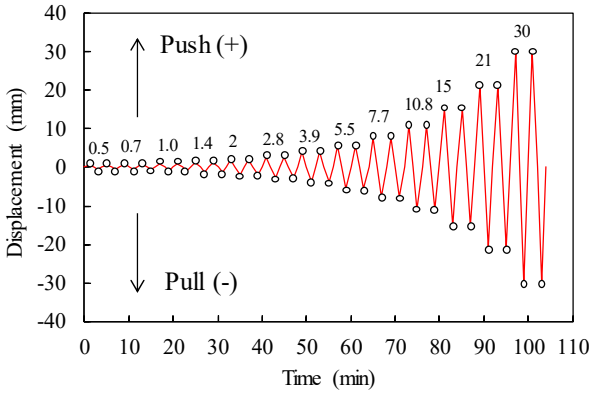
· 실제 지진하중 하에서 조적벽체의 축방향 및 횡방향 하중을 동시에 가력하여 실제 지진 거동을 모사함. 50ton 용량의 유압 액츄에이터를 사용하여 횡방향 반복 하중에 의한 변위를 묘사하는데 사용하였으며 100ton 용량의 유압잭을 이용하여 실험을 진행하는 동안 조적벽체에 일정한 축하중을 가력함. 전단 변형을 측정하기 위해 2개의 와이어 LVDT를 설치함. 또한, 유압 액츄에이터 반대 방향으로 2개의 LVDT를 설치하여 전체 횡방향 변위와 실험체 미끄러짐을 고려함



<그림 2-15> 구조성능검증 실험 셋업 사진



<그림 2-16> 구조성능검증 실험 계측계획



<그림 2-17> 구조성능검증 실험 가력계획

○ 공동연구개발기관(인천대학교 산학협력단)

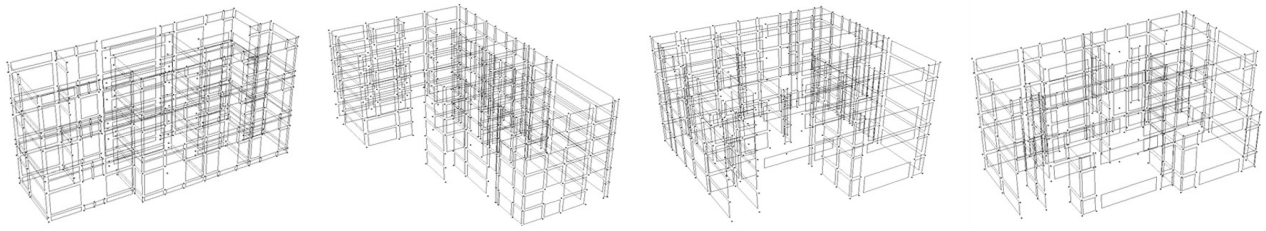
● 표준적 조적조 건물의 붕괴방지 성능확보를 위한 내진보강 요구성능 도출

· 서울시에 위치한 4개의 표준적 조적조 건물을 선정하여 “기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령”(시설안전공단,2019)의 내진성능 예비평가 및 상세평가(비선형정적절차)를 적용하여 내진성능을 평가함

· 비선형 정적해석을 통해 붕괴방지 성능목표에 미달되는 벽체를 식별하고 성능목표 달성을 위한 강도증가량을 도출함. 보강안의 적정성을 비선형 정적해석을 통해 검증함

[표 2-8] 해석 모델 정보

구분	층수	높이 [m]	연면적 [m²]	경과년수 [년]
model1	3F	7.35	195.12	31
model2	2F	7.8	312..4	44
model3	2F	6.1	124.22	46
model4	2F	6.25	131.57	41



(a) model1 (b) model2 (c) model3 (d) model4

<그림 2-18> 3D 해석모델

● 공인시험 기관을 통한 조적조 일체성향상 공법 소재성능 공인성적서 취득

· FRM 바름식 공법의 효과적인 표준보강안을 선정하기 위해 추가적인 FRM 배합비 실험을 실시함. 비정질 강섬유(SF) 이외에 PVA, PE, SF+PVA, SF+PE 등 유기계 섬유를 활용하는 방안을 시험함

· 고강도 FRM 바름 일체성 향상공법이 적용된 조적조 프리즘 시편을 제작하여 FRM 바름식 보강의 보강형태(단면보강 및 양면보강), 섬유혼입율(%), 보강 메쉬의 유무에 따른 영향을 검증하고 표준 보강안을 선정함

· 공인시험기관 (KCT-한국건설시험원)을 통해 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법이 적용된 시편의 소재성능(전단강도 및 압축강도) 공인성적서를 취득함. ASTM C 1314 및 ASTM E519 시험표준을 적용함

[표 2-9] 섬유종류에 따른 보강 모르타르의 압축 및 인장강도 실험계획

배합비 (시멘트:모래) (부피비)	물시멘트비 (W/C,%) (중량비)	섬유 종류	섬유혼입률 (%) (부피비)	실험체 수량
1:1	35	SF	2.0	3
	38	PVA		3
		PE		3
		SF + PVA		3
		SF + PE		3

SF:비정질 강섬유, PVA:폴리비닐알콜 섬유, PE:폴리에틸렌 섬유

[표 2-10] 점토벽돌 조적 프리즘의 실험체 계획

벽돌종류	실험종류	실험체명	비고
점토벽돌	압축 실험	RP	무보강
		R-SF2-20S	단면20mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2-30S	단면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2M-30S	단면30mm보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2-20B	양면20mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2-30B	양면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2M-30B	양면30mm보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%
	사인장 전단실험	RP	무보강
		R-NM-30S	단면30mm보강, 메쉬보강
		R-SF2-20S	단면20mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2-30S	단면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2A-30S	단면30mm보강, 앵커보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2M-30S	단면30mm보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-PE2M-30S	단면30mm보강, 폴리 에틸렌 섬유 혼입률 1.0%
		R-NM-30B	양면30mm보강, 메쉬보강
		R-SF2-20B	양면20mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2-30B	양면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2A-30B	양면30mm보강, 앵커보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		R-SF2M-30B	양면30mm보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%

섬유혼입률은 부피비 기준

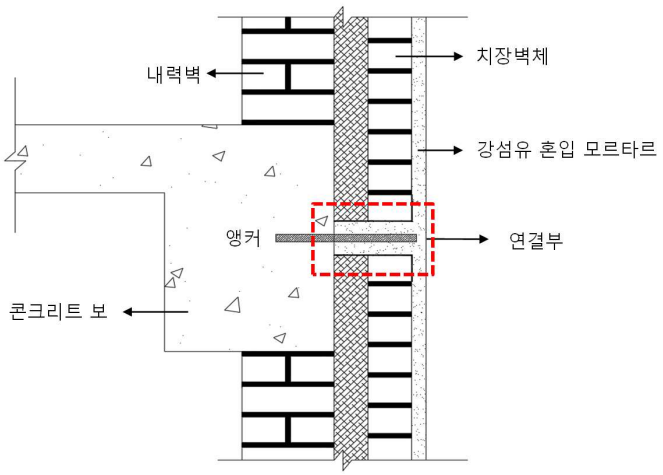
[표 2-11] 콘크리트벽돌 조적 프리즘의 실험체 계획

벽돌종류	실험종류	실험체명	비고
콘크리트벽돌	압축 실험	CP	무보강
		CG	콘크리트벽돌 1면 일반미장
		C-SF2-30S	단면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		C-SF2M-30S	단면30mm보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		CG-SF2-30S	콘크리트벽돌 1면 일반미장 단면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		C-SF2-30B	양면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		C-SF2M-30B	단면보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%
	사인장 전단실험	CP	무보강
		CG	콘크리트벽돌 1면 일반미장
		C-N-30S	단면30mm보강
		C-SF1-30S	단면30mm보강, 강섬유 혼입률 1.0%
		C-SF2-30S	단면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		C-SF2M-30S	단면30mm보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		CG-SF1-30S	콘크리트벽돌 1면 일반미장 단면30mm보강, 강섬유 혼입률 1.0%
		CG-SF2-30S	콘크리트벽돌 1면 일반미장 단면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		C-N-30B	양면30mm보강
		C-SF1-30B	양면30mm보강, 강섬유 혼입률 1.0%
		C-SF2-30B	양면30mm보강, 강섬유 혼입률 2.0%
		C-SF2M-30B	양면30mm보강, 메쉬보강, 강섬유 혼입률 2.0%

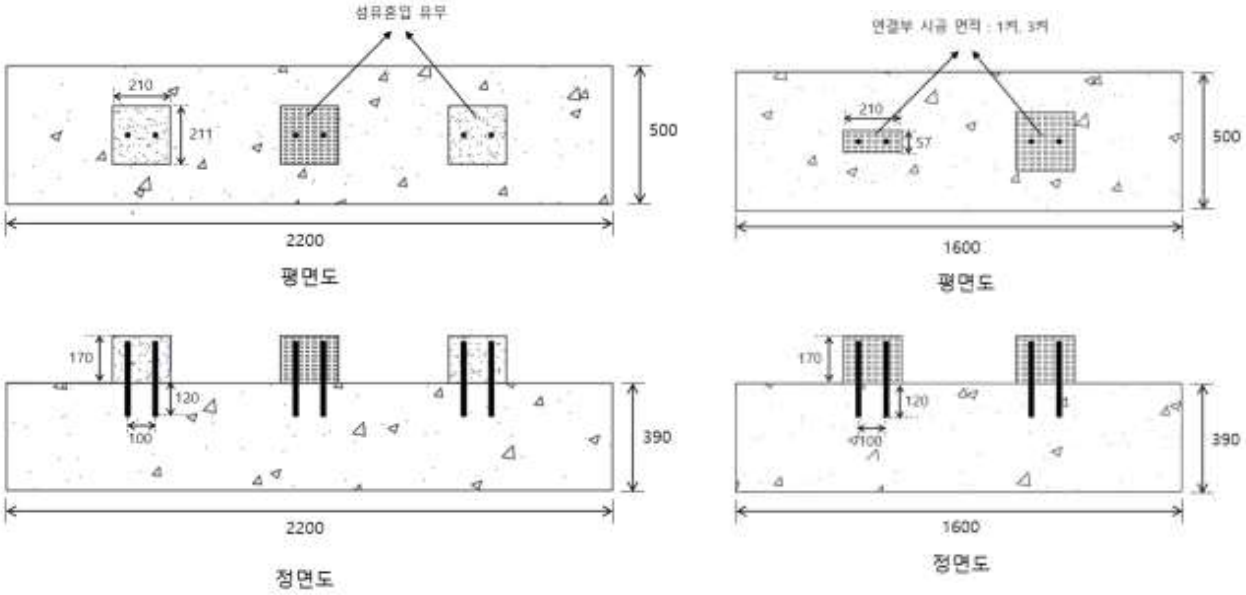
섬유혼입률은 부피비 기준

● 보강된 치장조적벽과 기존 횡력저항시스템 간 연결부 상세 개발

· 기존 조적조 건축물의 구조특성을 반영하여 치장 조적벽을 철거하지 않고 일부 개체만 부분적으로 제거하여 테두리보에 앵커를 설치하고 모르타르를 주입하여 형성되는 콘크리트보-보강벽체 연결부 상세를 제안함



<그림 2-19> 기존 조적 구조 특성을 반영한 연결부 상세단면도

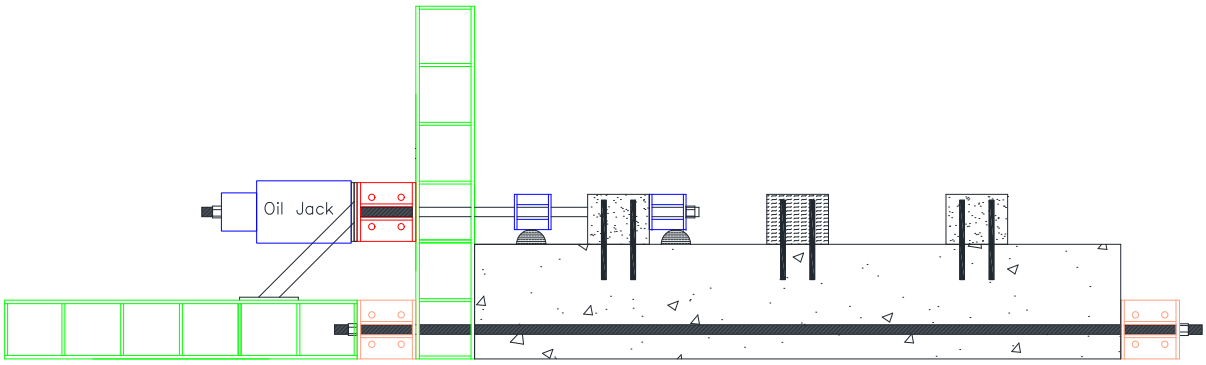


<그림 2-20> 콘크리트 – 보 연결부 형성 도면

● 연결부 상세 구조성능 검증실험

· 앵커를 이용한 섬유 보강 모르타르 연결부 실험체를 설계, 제작하여 성능검증 실험을 수행함. 보강 거푸집의 유무, 연결부 치수, 섬유 혼입 유무를 변수로 두어 시험체를 제작하고 구조성능 실험을 실시함

· 콘크리트 구조기준에 따른 연결부 설계 프로세스를 제시하고 실험결과와 시험체의 설계결과를 비교하여 검증함

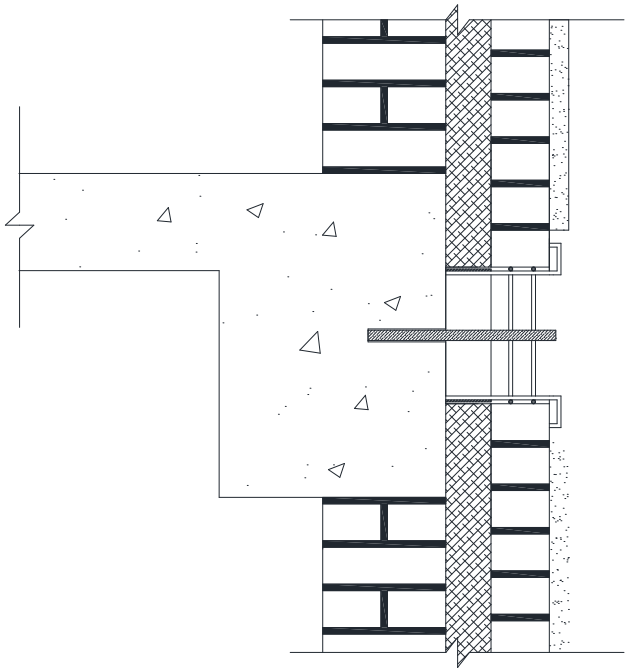


<그림 2-21> 콘크리트 – 보 연결부 실험 세팅 도면

● 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허 추진

· 치장벽체를 철거하지 않고 일부만 제거하여 내부의 구조체(테두리보)와 치장벽의 FRM 바름 보강면을 연결하는 연결부 형성 방법 및 구조상세를 제안함

· 고강도 FRM 바름 조적조 일체성 향상 내진보강공법의 연결부 시공을 용이하게 하며 콘크리트 구속효과를 갖는 강재 거푸집 상세를 제안하여 특허명세서를 작성함

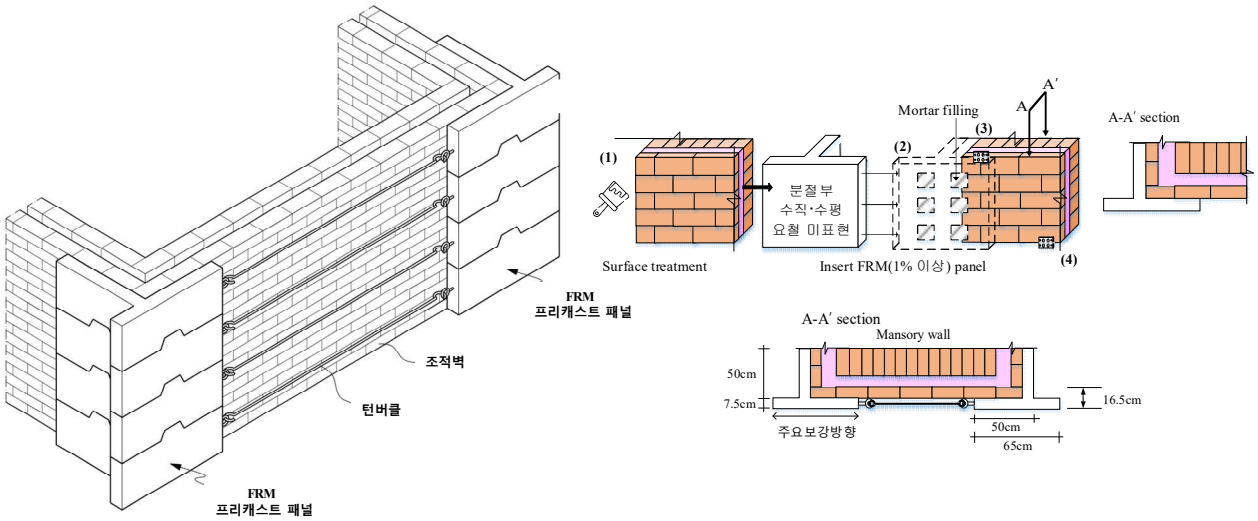


<그림 2-22> 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 연결부 특허 출원 상세도

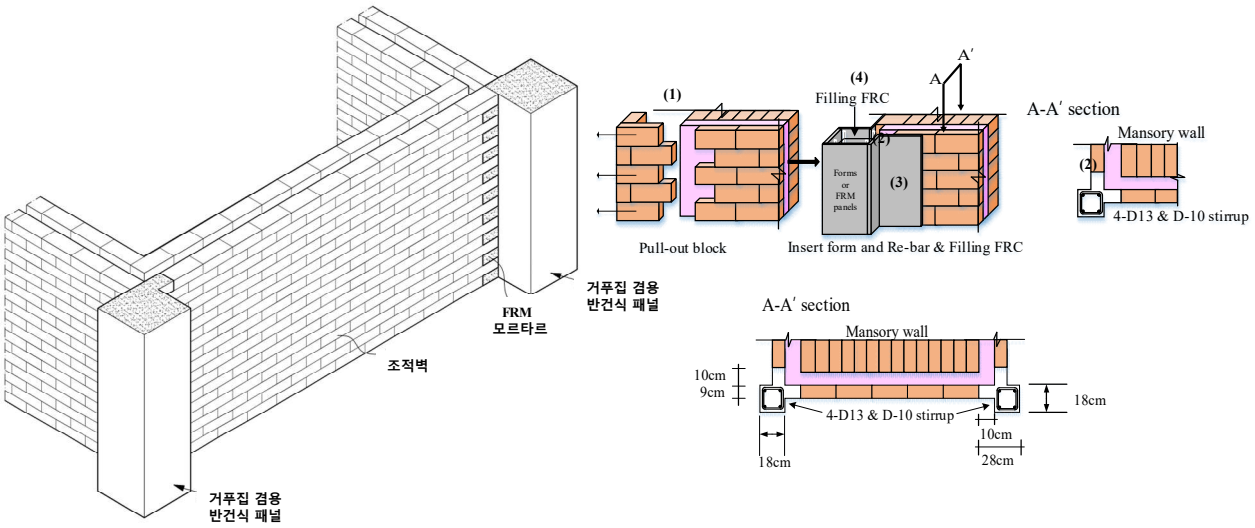
○ 공동연구개발기관((주)세진기술)

● 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 특허 추진

· 조적조 건물의 내진 보강 구조(①날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법, ② FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강공법) : 횡력저항성능이 낮은 조적벽체 전단보강을 위하여 저비용이면서도 거주 상태에서 보강이 가능하여 경제적이고 거주자의 미치는 영향을 최소화할 수 있는 조적조 건물의 내진 보강 구조를 제공함. 조적조 건물의 조적벽 모서리 외측에 수직 방향으로 코너 보강부재를 설치함으로써, 저비용으로 거주 상태에서 보강할 수 있어 경제적이고, 우수한 시공성, 공기 단축의 효과는 물론 횡력에 효율적으로 저항 가능한 조적조 건물의 내진 보강 구조에 관한 특허를 추진함. 본 특허에 따르면 노후화된 조적조 건물의 조적벽 모서리 외측에 수직 방향으로 코너보강부재를 설치하여 건물의 코너부를 지지하도록 함으로써, 양측 코너보강부재와 내부의 조적벽이 일체화된 구조체를 이루어 횡력에 효율적으로 저항함



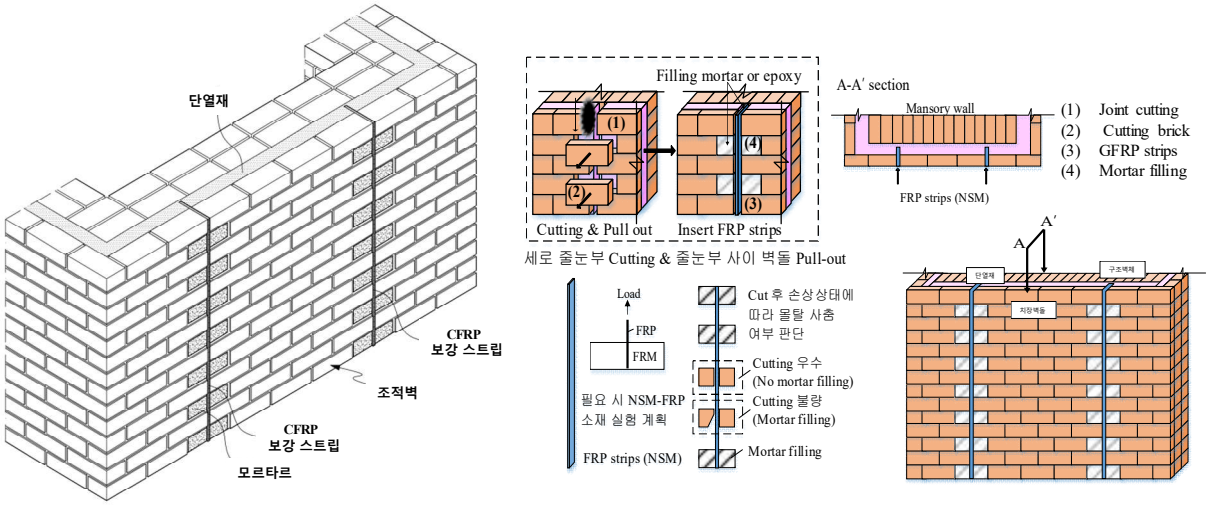
(a) 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법



(b) FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강공법

<그림 2-23> 패널을 이용한 조적조 건물의 내진보강공법

· 보강스트립을 이용한 조적조 건물의 내진 보강 방법: 노후 조적조 구조물의 내진보강을 위하여 저비용이면서도 거주 상태에서 보강이 가능하여 경제적이고, 공기가 짧으며, 시공이 간편한 보강스트립을 이용한 조적조 건물의 내진보강 방법을 제공함. 조적조 건물에서 수직 줄눈과 연통되게 조적벽을 커팅하 여 형성되는 수직홈에 보강스트립을 삽입한 후 충전재를 채워 보강함으로써, 기존 건물의 손상을 최소화하여 거주 상태에서 작업이 가능하면서도 횡력에 대한 저항성 을 높일 수 있는 조적조 건물의 내진 보강 방법에 대한 특허를 추진함. 본 특허에 따르면 조적조 건물에서 수직 줄눈과 연통되게 조적벽을 커팅하여 형성되는 수직홈에 보강스트립을 삽입한 후 충전재를 채워 보강함으로써, 구조적으로 취약한 수직 줄눈의 보강에 따라 조적벽 전체가 일체로 거동할 수 있어 횡력에 대한 저항성을 크게 향상시킴



<그림 2-24> 보강스트립을 이용한 조적조 건물의 내진보강공법

● 전단 보강 설계 프로세스 제안

· 조적 벽체의 구조 설계 시 사용되는 ① ASCE 41-17, FEMA 등 설계식과 ② 개발 FRM 프리캐스트 패널의 물성을 고려한 보강적용 시 전단설계식을 활용하여 간편하게 내진설계를 수행할 수 있도록 설계 프로세스 소프트웨어를 개발함

· 개발 소프트웨어의 주요 기능은 ① 비보강 조적조의 예측 전단강도 및 파괴모드 산정, ② 개발 FRM 프리캐스트 패널 보강 상세(4건) 적용 시 예측 전단강도 및 파괴모드 산정, ③ Force-Deformation curves 도출로 이루어짐

· 사용 매뉴얼

① Mlapp 파일을 실행 후, 비보강 조적벽체 도면 선택

② 비보강 조적 벽체의 Dimension 등 필요 물성을 입력

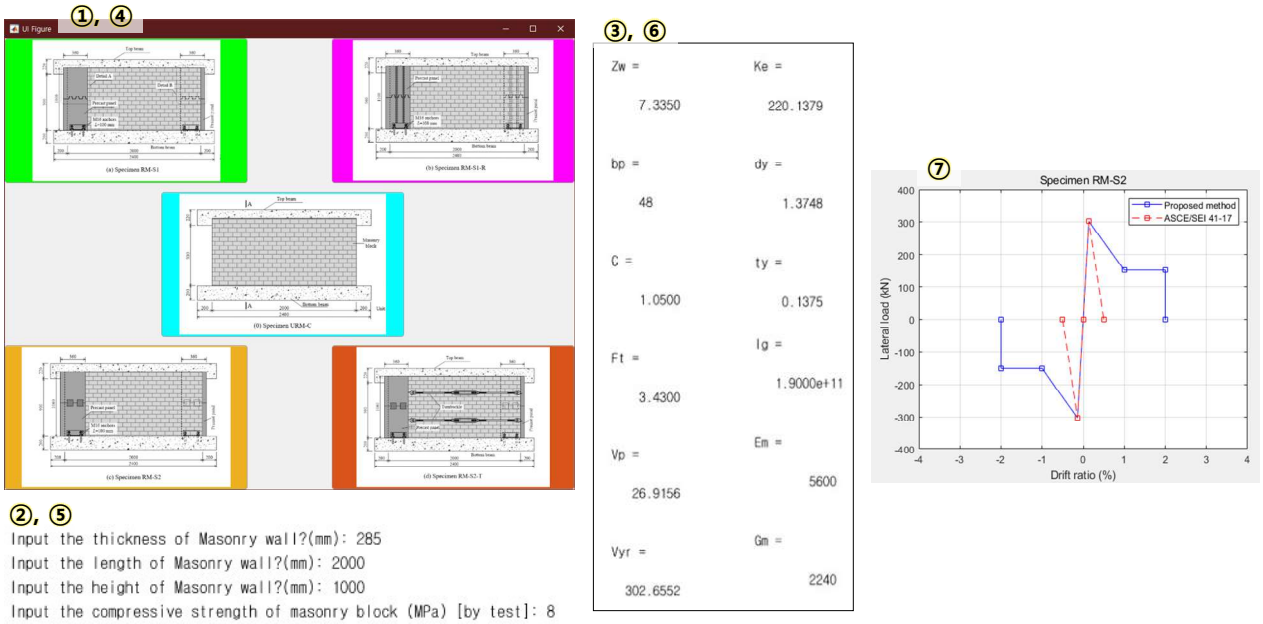
③ 비보강 조적 벽체의 전단강도 및 파괴모드를 확인

④ 보강 적용을 원하는 상세 도면을 선택

⑤ 보강 공법을 적용할 조적 벽체의 Dimension 등 필요 물성을 입력

⑥ 보강상세 적용 시 전단강도, 파괴모드 확인

⑦ 출력된 Force-Deformation curves를 확인



<그림 2-25> 노후 조적조 건물 대상 FRM 프리캐스트 패널 내진보강설계용 소프트웨어

○ 공동연구개발기관((주)한울구조안전기술사사무소)

● 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 특허 추진

· 치장벽체의 일부만 제거하여 내부의 구조체(테두리보)와 연결부를 형성한 뒤 섬유보강 모르타르를 바름 시공하여 치장벽체 전체를 일체화하는 보강공법 시공절차를 제안함

· 제안된 공법은 분진 및 소음을 최소화함으로써 거주 중 시공 가능성을 목적으로 함

● 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 설계 프로세스 제안

· 연결부 시공면적(치장벽체 벽돌 1켜 혹은 3켜 제거)에 따라 고강도 FRM 바름 일체성향상 치장벽체와 기존 구조체(테두리보) 연결부의 앵커설계 절차를 제안함

· 연결부에 발생할 수 있는 다양한 콘크리트브레이크아웃 파괴모드를 고려함

· 보강용 거푸집 유무 및 섬유 혼입에 따른 연결부 전단강도를 증가효과를 반영함

3) 3차 연도

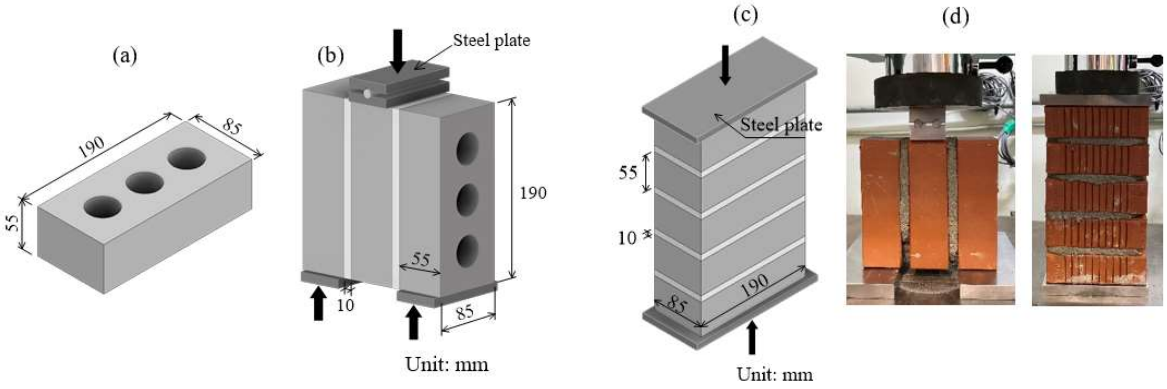
○ 주관연구개발기관(숭실대학교 산학협력단)

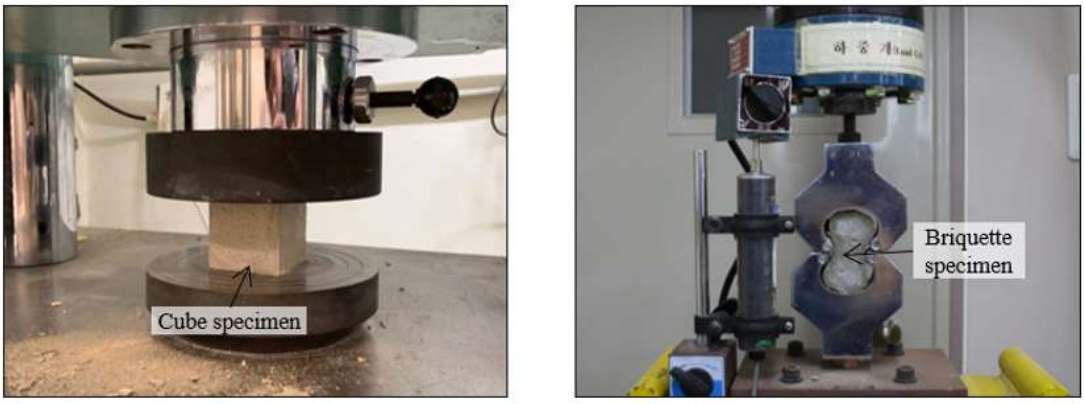
● FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강공법 부강강도 소재성능 실험(0.2MPa 이상 전단응력성능)

· 벽돌 공시체를 제작하여 ASTM 규준에 의거한 부착강도 실험, 공칭압축강도 실험 등을 수행하였고, FRM 타설 시 50 × 50 × 50 (mm)의 압축강도 큐브 공시체와 KS 모르타르 인장강도 실험 규준에 따른 인장강도 실험체를 같이 제작하여 소재성능을 규명함

[표 2-12] 구조성능검증 실험 변수

Test specimens		보강방법	정착방법
1	URM	–	–
2	RM-FRC	FRM Panel	철근 유닛 정착 & 타설
3	RM-FRP	FRP-NSM	줄눈 부분 절단 & 타설
4	RM-TRM	TRM jacket	CFRP 앵커 정착 & 타설





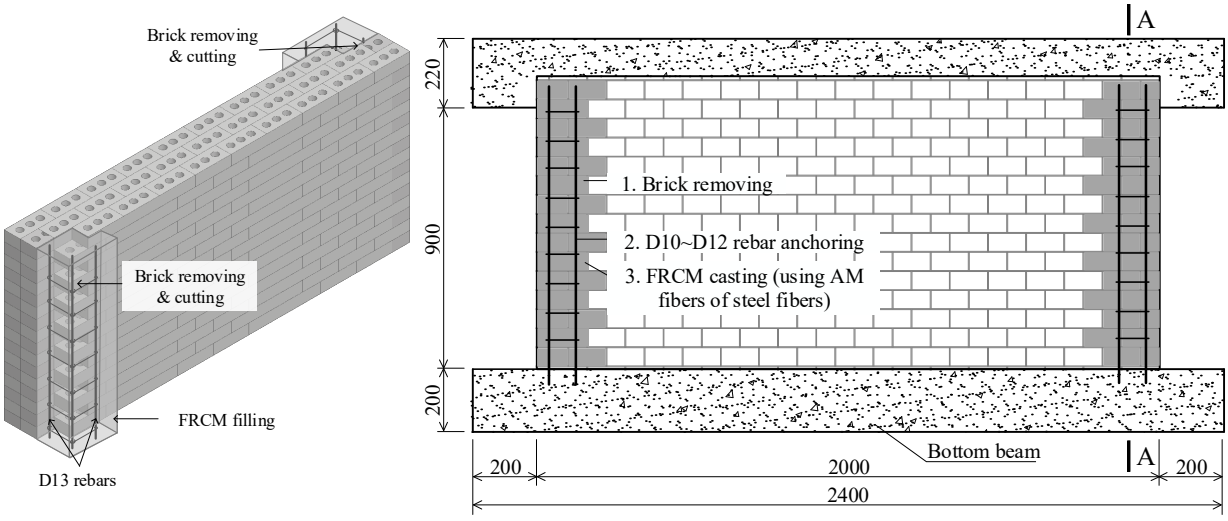
(a) Compressive test (b) Tensile test

<그림 2-26> FRM 보강 조적벽체 소재성능 실험

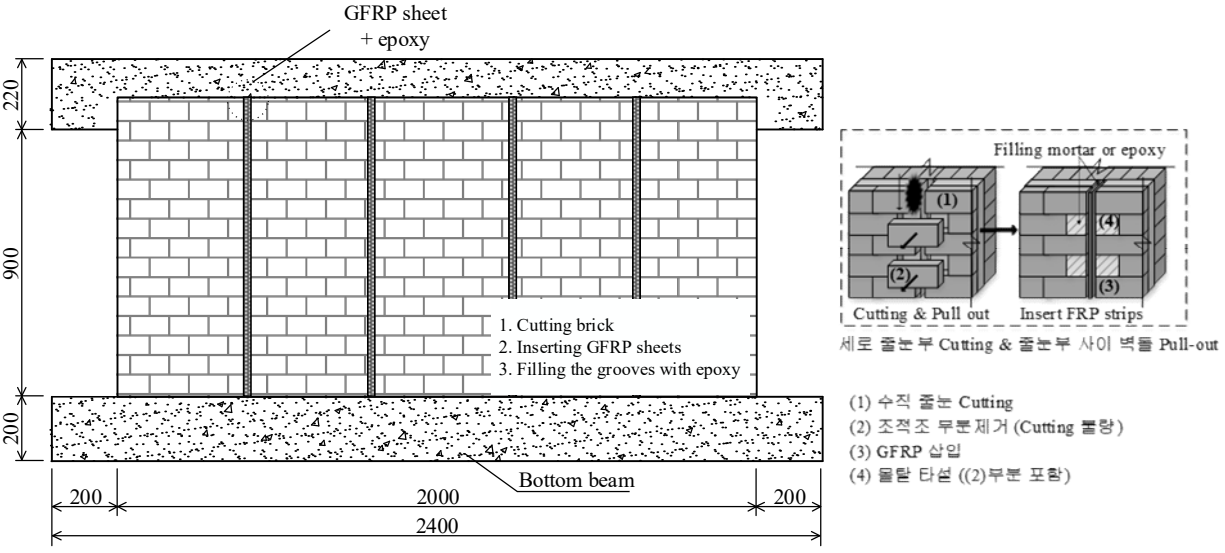
● FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강공법 구조성능검증 실험 계획(기존 부재 대비 구조성능 100% 개선)

· 구조성능검증 실험에서 변수는 반건식 공법은 크게 FRCM 타설, GFRP 스터럽 NSM 보강, CFRP Mesh TRM 보강의 3가지로 분류되며 각 보강공법을 적용한 조적 벽체 실험체를 3체 제작함

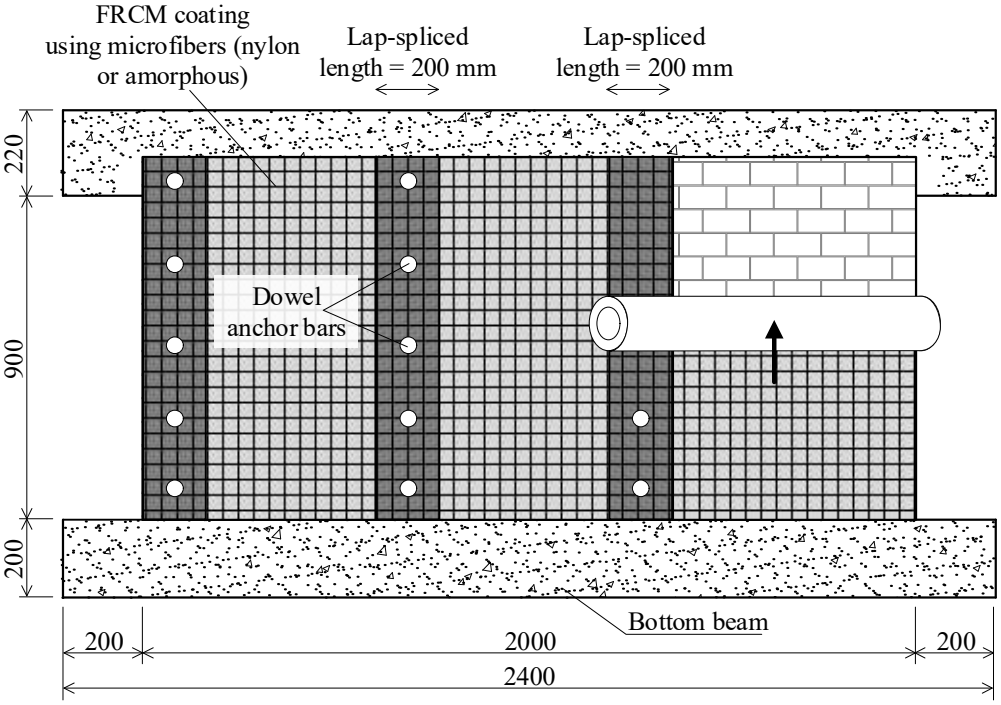
· 구조성능검증 실험체는 실제 조적벽체 크기의 1/2 scale로 제작하여 실험을 수행하였으며 이를 통하여 추후 연구개발성과의 활용 및 상용화를 위한 Mock-up Test를 통한 안전성 검증을 완료함



(a) RM-FRCM



(b) RM-GFRP



(c) RM-TRM

<그림 2-27> FRM 반건식 거푸집 겸용 반건식 패널 실험체 상세



<그림 2-28> FRM 반건식 거푸집 겸용 반건식 패널 실험체 제작 사진 (RM-FRP)

· 변수별 실험체의 전단성능평가 결과를 바탕으로 검토된 내진보강공법 구조성능검증 실험 방법을 제시함. 구조성능검증 실험은 숭실대학교 대학실험동에서 수행되었으며 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강공법 구조성능검증 실험 방법은 다음과 같음

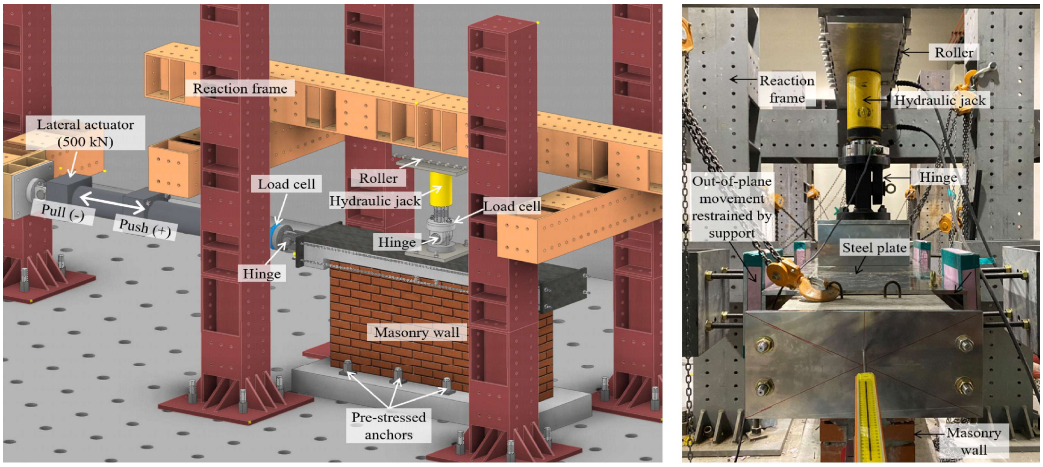
① 스크류를 사용하여 실험체(Top beam + Masonry + Bottom beam)와 바닥 연결 및 실험체 고정

② 조적벽과 보강 패널 정면에 변위 측정과 슬립 측정을 위한 변위측정자기센서(LVDT) 설치

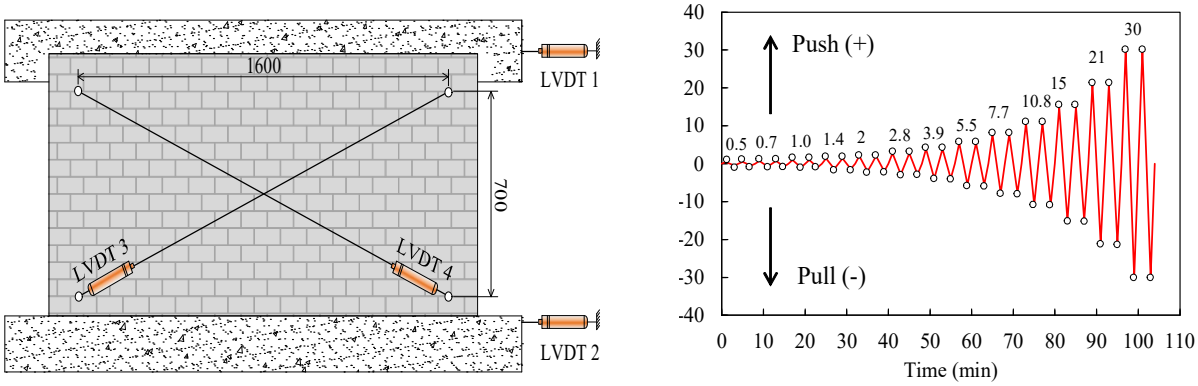
③ 조적벽과 보강 패널 측면에 변위 측정을 위한 변위측정자기센서(LVDT) 설치

④ 압력 펌프를 이용하여 축하중(P) 가력 : $P = 0.003 A_g f_m$
(내진성능평가 자료집 프로토타입 조적조 건물 하중 참고)

⑤ 500kN 용량의 액추에이터를 이용하여 변위 제어 – 반복 하중 가력 실시



<그림 2-29> 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강공법 구조성능검증 실험 set-up



<그림 2-30> LVDT 설치 계획 및 하중 가력 계획

○ 공동연구개발기관(인천대학교 산학협력단)

● 슬래브 노출형 조적식 구조의 연결부 상세 실험(헌치형)

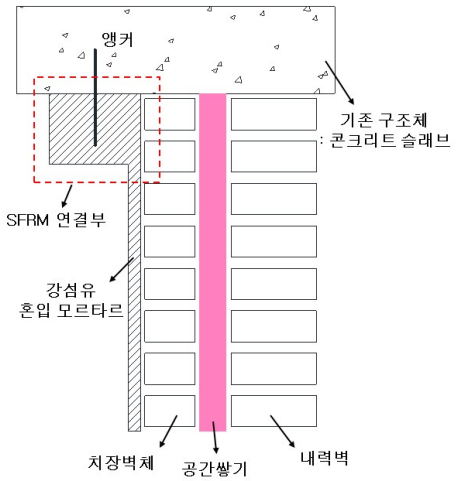
· 지진하중에 취약한 조적조 건축물의 내진보강을 위하여 기존 벽체에 바름 시공된 섬유보강모르타르(steel fiber-reinforced mortar, FRM)와 기존 구조체(테두리보 또는 슬래브)의 연결부 상세를 제시하고 구조성능 검증 실험을 실시함

· 실험 변수는 연결부 치수, FRM-기존구조체 접촉면 거친면 처리 유무, 섬유 혼입 유무, 앵커 간격 및 직경, 앵커 그룹 유무, 앵커 헤드 유무로 결정하였으며 각 변수별로 1개씩 제작하여 총 12개의 실험을 수행함

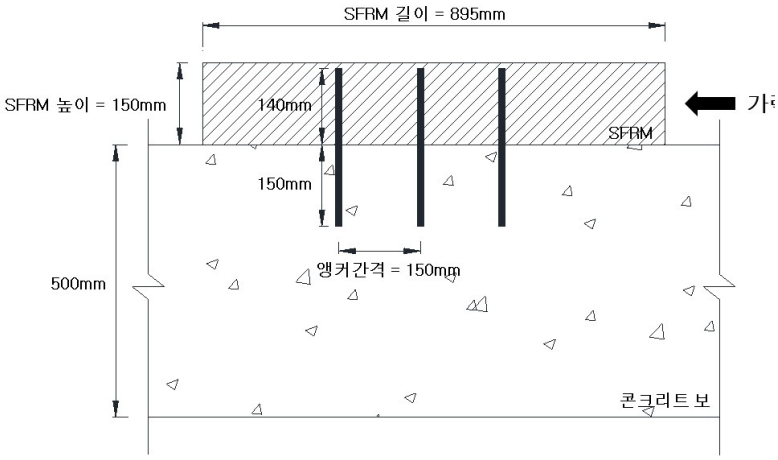
· 실험체 별로 파괴모드를 확인하고 현행 콘크리트용 앵커 설계기준(KDS 14 20 54)에 따른 연결부 설계 방법의 적용성을 검증함

[표 2-13] 기존 구조체 연결 상세 실험 계획

앵커그룹	섬유혼입	폭 [mm]	높이 [mm]	앵커간격 [mm]	앵커직경 [mm]	보강변수
단일앵커	X	200	150	150	12	-
	O	200	150	150	12	-
	O	200	150	150	16	-
그룹앵커	X	200	150	150	12	-
	O	200	150	150	12	-
	O	200	150	150	16	-
	O	250	150	150	12	-
	O	150	150	150	12	-
	O	200	100	150	12	-
	O	200	150	200	12	-
	O	200	150	150	12	거친면처리 너트로 헤드형성
	O	200	150	150	12	거친면처리



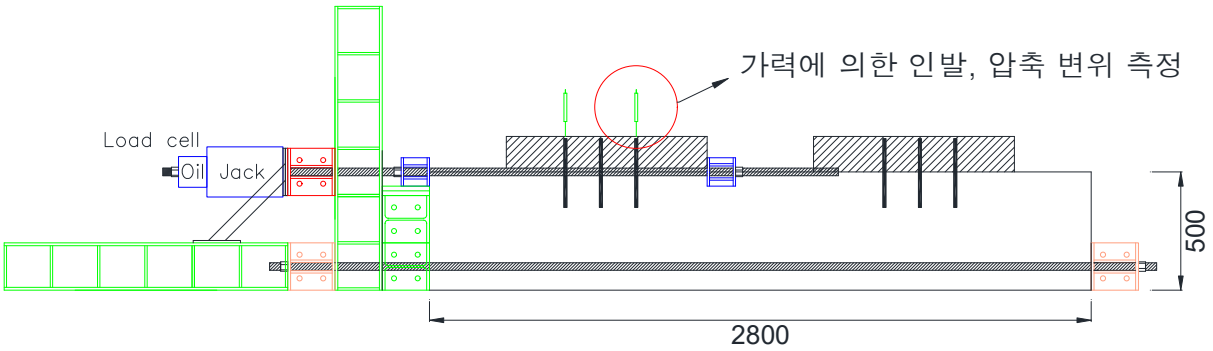
<그림 2-31> 기존 구조체-FRM 연결부



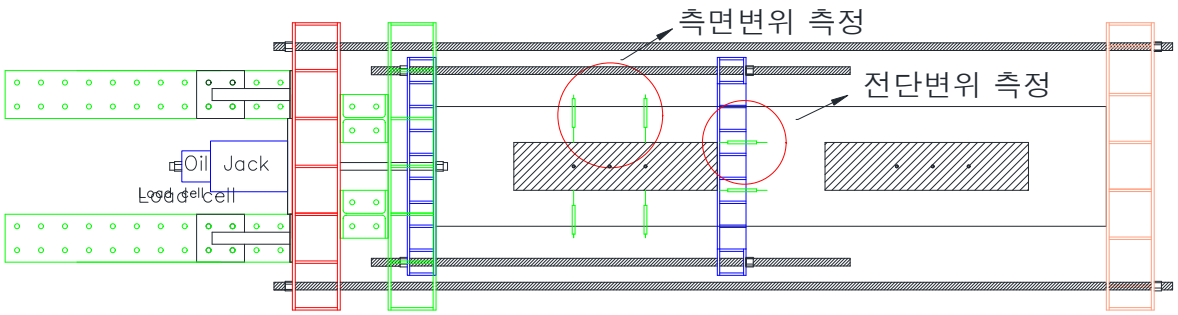
<그림 2-32> 연결부 상세 (측면도)

· 하중전달을 위한 전산볼트의 높이를 콘크리트 보와 FRM 연결부의 접촉면 높이에 위치시켜 전도모멘트의 발생을 방지함. 또한 가력 지그와 앵커 사이의 거리를 충분히 확보하여 앵커 파괴체 형성에 미치는 영향을 최소화함

· 전단하중에 의한 연결부의 수평변위, 앵커 인장에 의해 발생하는 연결부의 수직변위, FRM 측면 파괴에 의한 측면 변위를 측정하기 위하여 총 8개의 LVDT를 설치함



(a) 인발, 압축 변위 측정



(b) 전단변위 및 측면변위 측정

<그림 2-33> 연결부 실험 가력 및 계측계획

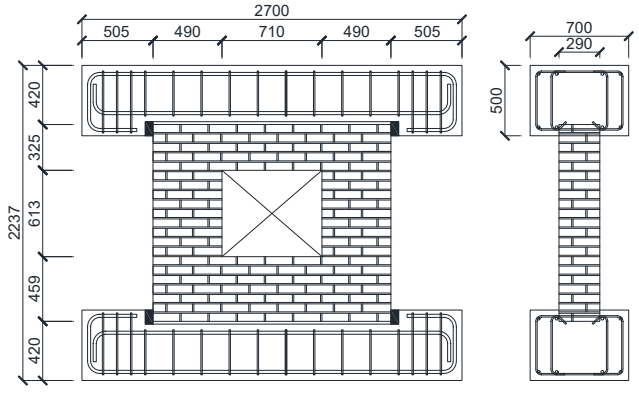
● 보강된 치장벽과 기존 횡력저항시스템의 연결방식별 표준 실험체 설계

· 외부 치장벽에 FRM 바름공법을 적용하고 기존 구조체와의 연결부 상세를 적용함에 따라 통합 구조시스템을 제작하여 내진성능을 검증하고자 함

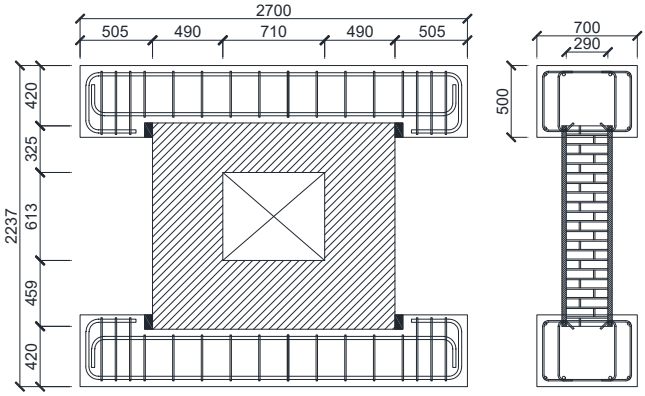
· 벽체의 형상비에 따른 다양한 파괴모드를 고려하여 강도증진 효과를 확인하고자 함. 이를 위하여 실험체는 크게 개구부를 두어 길이/높이 비율을 작게 해 Rocking을 유도한 실험체와 길이/높이 비율을 크게 해 Bed Joint Sliding을 유도한 실험체로 나누어짐

· 각각의 파괴유형 별로 1) 비보강 실험체, 2) 양면 30mm 바름 실험체, 3) 후설치 앵커로 보강한 치장벽이 조합된 실험체로 나누어짐

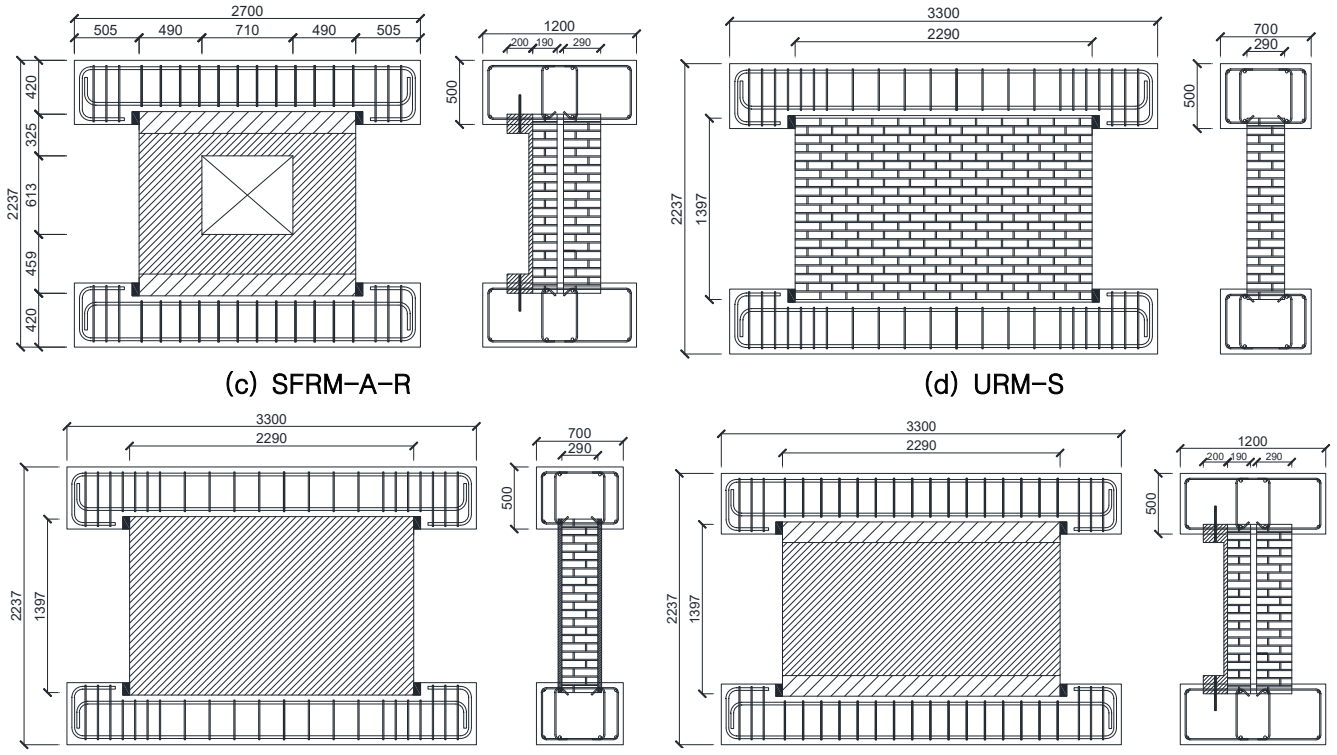
· 2차년도 소재실험을 통해 개발한 보강후 강도산정식과 ASCE 41-17의 조적벽체 기본 강도식을 조합하여 예상 전단강도 및 파괴모드를 결정하여 설계를 수행함



(a) URM-R



(b) SFRM-R



(c) SFRM-A-R (d) URM-S

(e) SFRM-S (f) SFRM-A-S

<그림 2-34> 실험체 도면

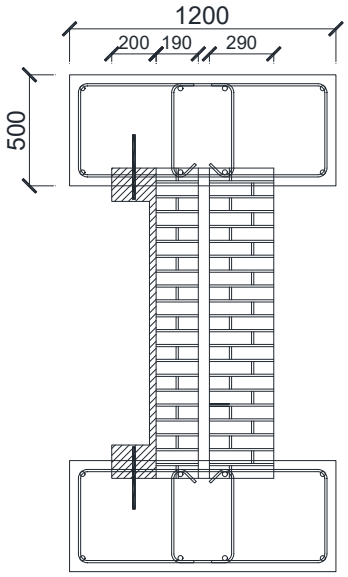
[표 2-14] 실험체 계획 및 예상강도

실험체 명칭	예상 파괴모드	보강 방식	치장벽 유무	예상 전단강도 [kN]
URM-R	Rocking	X	X	70.29
SFRM-R	Rocking	양면 30mm 바름	X	202.4
SFRM-A-R	Rocking	후설치 앵커	O	132.5
URM-S	Bed Joint Sliding	X	X	593.8
SFRM-S	Bed Joint Sliding	양면 30mm 바름	X	1040.2
SFRM-A-S	Bed Joint Sliding	후설치 앵커	O	798.9

● 고강도 FRM 바름 보강공법이 치장벽에 적용된 조적벽 구조시스템 성능검증 실험

· 외부 치장벽과 내력벽이 병렬로 시공된 실험체를 제작함. 외부 치장벽에만 고강도 FRM 바름 보강공법을 적용하고 헌치형 앵커 접합부를 통해 기존구조체와 연결한 통합 구조시스템 실험체를 제작함

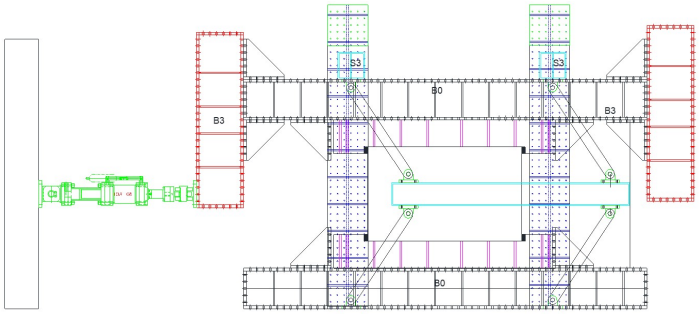
· 반복가력실험으로 고강도 FRM 일체성향상 보강공법 적용에 의한 강도증가효과 및 거동특성을 검증함



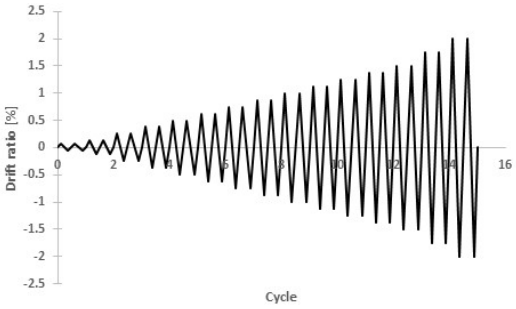
<그림 2-35> 기존 구조체-FRM 연결부 상세도



<그림 2-36> 기존 구조체-FRM 연결부 상세 제작 (SFRM-A-R, SFRM-A-S 실험체)



<그림 2-37> 실험체 세팅도



<그림 2-38> 하중 프로토콜

● 실험결과에 기초한 비선형 구조해석 모델링 기술 개발

· ASCE 41-17의 비보강조적벽 비선형 해석모델과 제안된 강도산정식을 활용하여 FRM 바름 일체성 향상 보강공법이 적용된 조적벽 구조시스템의 비선형 해석 모델을 제안하고 실험결과와 비교하여 검증함

· 제안된 강도산정식과 조적벽 구조시스템의 비선형해석모델을 반영하여 FRM 바름 일체성 향상 보강공법의 설계매뉴얼을 작성함

● 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 보강공법 시작품 개발

· 후설치앵커를 사용한 기존구조체-FRM 연결부 상세를 포함하여 고강도 FRM 바름 일체성향상 공법을 적용한 조적벽체 시작품을 제작함

· 시작품 제작과정을 반영하여 FRM 바름 일체성 향상 보강공법의 시공매뉴얼을 작성함

○ 공동연구개발기관((주)세진기술)

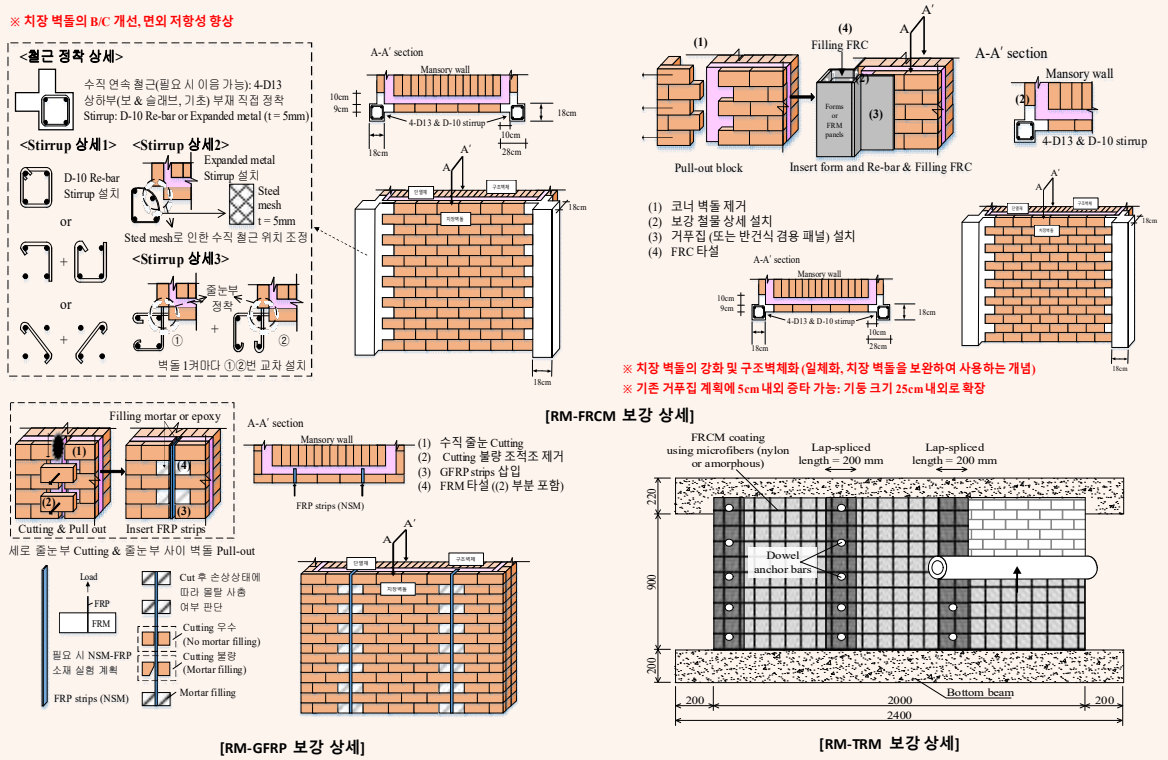
● 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법을 적용한 조적벽체 제품 개발/설계·시공 매뉴얼(안) 및 보강 설계 예제 작성

· 시제품 제작과정을 반영하여 고강도 FRM 건식/반건식 보강공법의 시공매뉴얼을 작성함(3장에 제시)

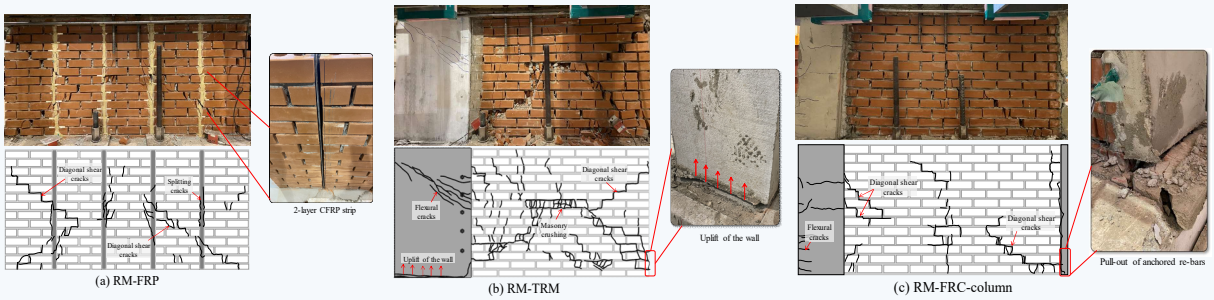
· ① ASCE 41-17, FEMA 등 설계식과 ② 개발 FRM 프리캐스트 패널의 물성을 고려한 보강적용 시 전단설계식을 활용하여 간편하게 내진설계를 수행할 수 있도록 개발한 설계 프로세스 소프트웨어를 활용하여 패널 종류에 따른 보강 설계 예제를 작성함(3장에 제시)

반건식 패널을 활용한 보강공법 기술요약정보

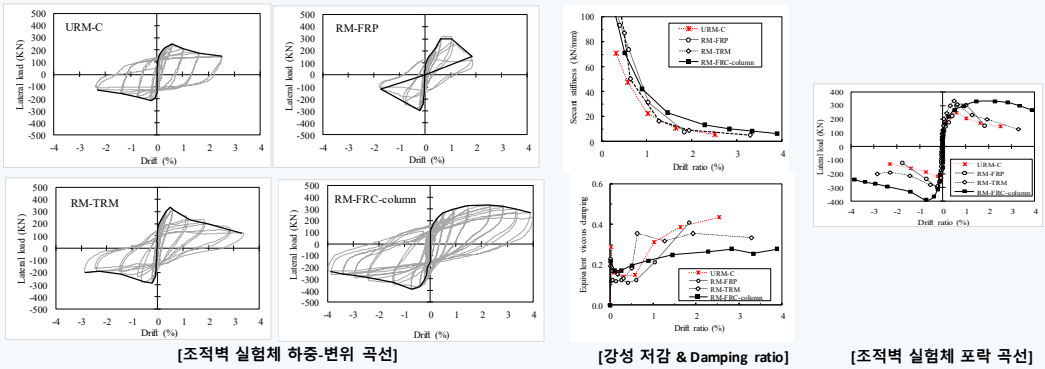
반건식 패널 조적벽체 보강 공법별 시공 상세



반건식 패널 보강 조적벽체 구조성능실험 결과



[조적벽 실험체 균열양상 및 파괴모드]



[조적벽 실험체 하중-변위 곡선] [강성 저감 & Damping ratio] [조적벽 실험체 포락 곡선]

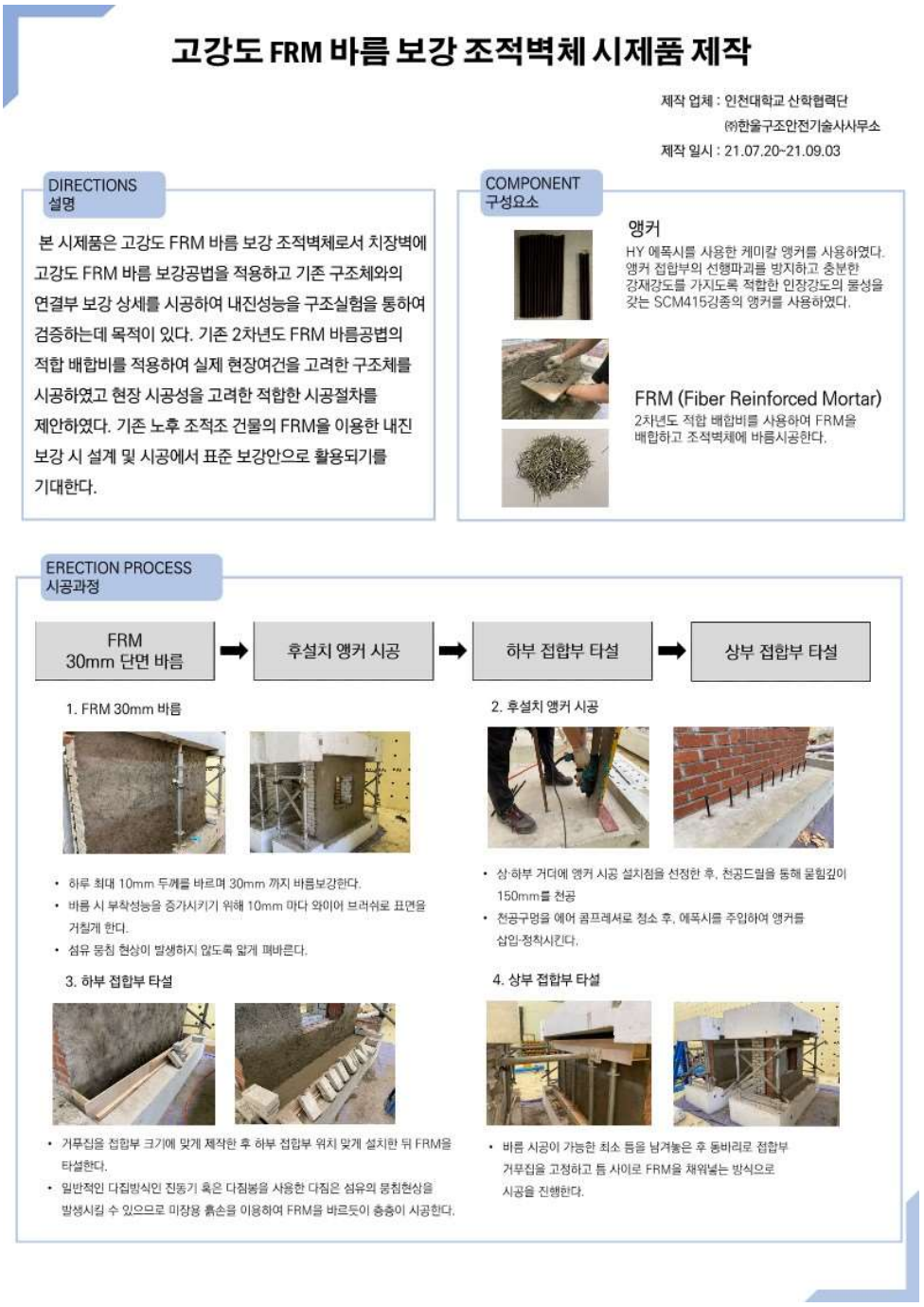
<그림 2-39> 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법 기술요약정보

○ 공동연구개발기관((주)한울구조안전기술사사무소)

● 연결부 상세를 포함하여 고강도 FRM 바름 일체성향상 공법을 적용한 시작품 개발

· 시작품 제작을 위해 기존구조체-FRM 연결부 상세 시공절차를 제안하고, 실제 제작과정을 홍보자료로 작성함

· 고강도 FRM 바름 보강 조적벽체 시제품 제작 홍보자료 : 고강도 FRM 바름 보강 조적벽체로서 치장벽에 고강도 FRM 바름 보강공법을 적용하고 기존 구조체와의 연결부 보강 상세를 시공하여 내진성능을 구조실험을 통하여 검증하는데 목적을 둠. 기존 2차년도 FRM 바름공법의 적합 배합비를 적용하여 실제 현장여건을 고려한 구조체를 시공하였으며 현장 시공성을 고려한 적합한 시공절차를 제안함



<그림 2-40> 고강도 FRM 바름 보강 조적벽체 시제품 제작 홍보 자료

● 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 설계가이드 및 보강설계 예제 작성

· 기존시설물(건축물) 내진성능 평가요령(시설안전공단, 2019)의 내진성능 예비평가 절차에 기초한 약산식 내진성능평가 및 보강량 산정용 Matlab 기반 전산코드를 인천대학교와 공동으로 개발하고 프로그램 저작권을 등록함

· 전산코드의 알고리즘과 활용방안 및 보강설계 예제를 인천대학교와 공동으로 작성하여 국내학술지에 발표함

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

1) 1차 연도

○ 주관연구개발기관(숭실대학교 산학협력단)

● FRM 프리캐스트 패널 배합 선행 연구 자료 조사 및 FRM 재료성능 요구 목표 정량화

· FRM 배합에서 가장 대표적으로 사용되는 강섬유, 나일론 섬유, PVA 섬유 혼입 모르타르 분야의 선행 연구 자료를 조사함

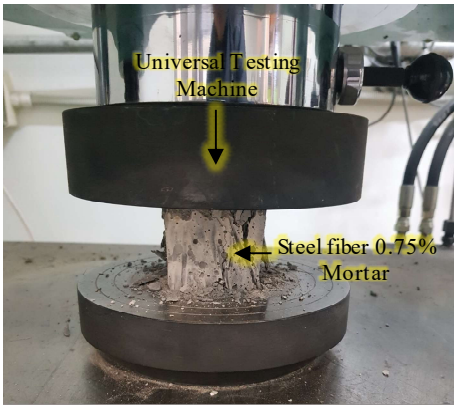
· 선행 연구 조사 결과 및 ㈜세진 기술에서 수행한 적정 보강공법 조건 도출결과를 바탕으로 FRM 배합 재료 성능 요구목표를 전단강도 5MPa 이상, 인장강도 3MPa 이상으로 정량화함

● 요구 목표 성능을 만족하는 적정 섬유 및 FRM 배합 도출 및 재료 실험 수행을 통한 개발 FRM 재료 성능 성능 검증

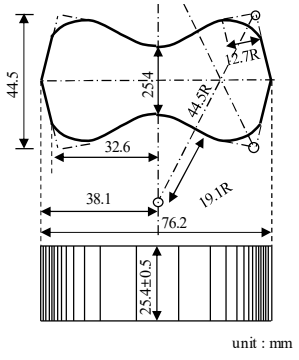
· 반복 실험 및 해석을 통해 적정 섬유 도출(강섬유, 나일론 섬유) 및 유사한 모르타르 플로우(210mm), 공기량(4.5%)을 갖는 7개의 FRM 배합을 도출함

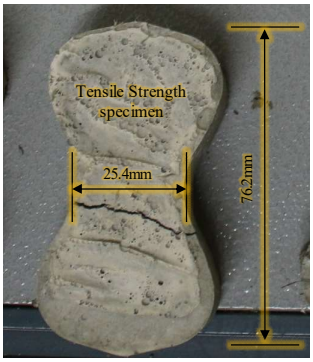
· KS 규격에 따라 압축강도, 인장강도 실험을 수행, ASTM 규격을 준용한 실험방법에 따라 전단강도 실험을 수행 및 재료 성능을 검증함(전단강도 5MPa 이상, 인장강도 3MPa 이상 달성). 실험 결과를 통하여 개발한 배합 중 SF0.75, SF1, SF0.67-NY0.33과 SF0.6-NY0.15 4종의 배합은 본 연구에서 제시한 재료 성능 요구 목표를 만족하는 것으로 검증함

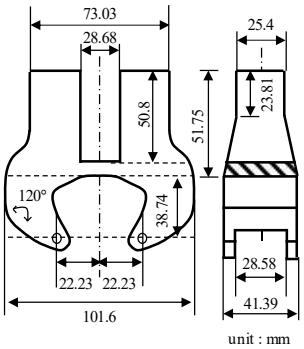


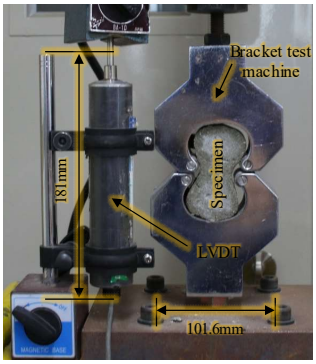


(a) 압축강도 실험 셋업 및 파괴모드(SF0.75)



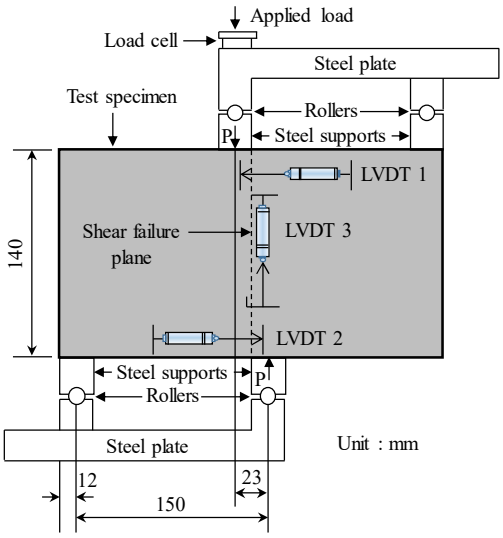






(b) 인장강도 실험 셋업





(c) 전단강도 실험 셋업

<그림 3-1> KS 규격에 따른 소재실험 셋업

[표 3-1] 압축강도 실험 결과

Mix proportion	Average of test results (MPa)
NFRM	37.7
SF0.75	53.0
SF1	34.2
SF0.5-NY0.25	39.0
SF0.6-NY0.15	42.0
SF0.6-PVA0.15	39.0
SF0.67-NY0.33	36.0
F0.33-PVA0.67	34.5

[표 3-2] 인장강도 실험 결과

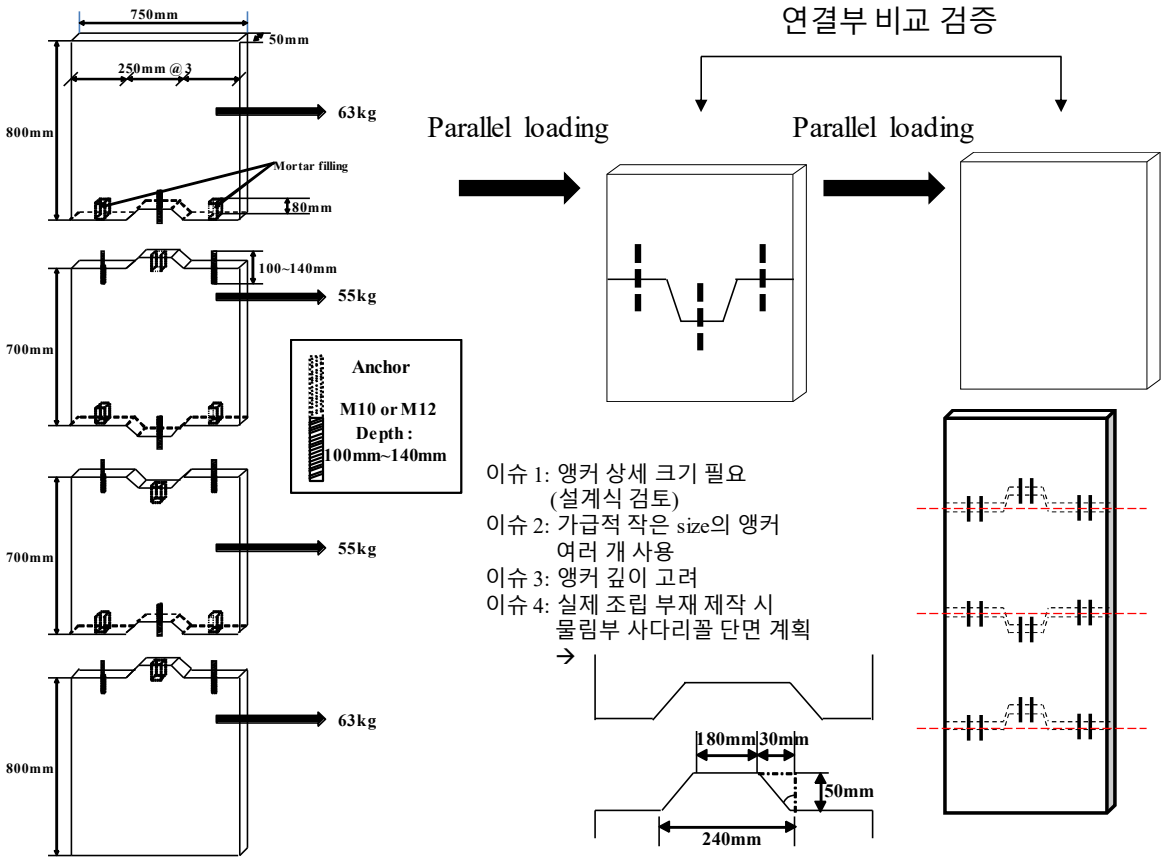
Mix proportion	Average of test results (MPa)
NFRM	4.9
SF0.75	4.44
SF1	5.5
SF0.5-NY0.25	3.85
SF0.6-NY0.15	3.6
SF0.6-PVA0.15	3.39
SF0.67-NY0.33	6.3
F0.33-PVA0.67	6.8

[표 3-3] 전단강도 실험 결과

Mix proportion	Average of test results (MPa)
NFRM	4.8
SF0.75	8.0
SF1	8.3
SF0.5-NY0.25	5.9
SF0.6-NY0.15	7.1
SF0.6-PVA0.15	5.7
SF0.67-NY0.33	7.2
F0.33-PVA0.67	6.0

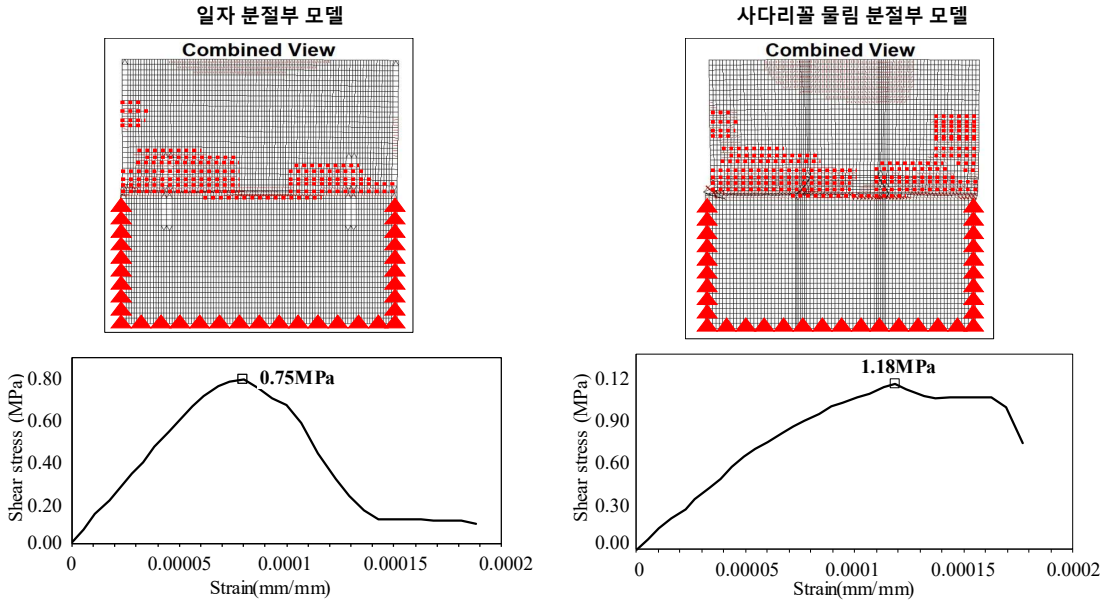
● FRM 프리캐스트 패널 연결부 상세 제안 및 패널 연결부 소재성능 실증 실험 방법 수립

· ㈜세진기술과의 의견 교환을 통해 패널 보강상세 연결부 상세 개선안을 결정하였으며 MCFR 기반 유한요소해석과 앵커 설계, 패널 분절부 강도 해석을 통하여 연결부 보강 요소 간 성능을 해석적으로 검증함



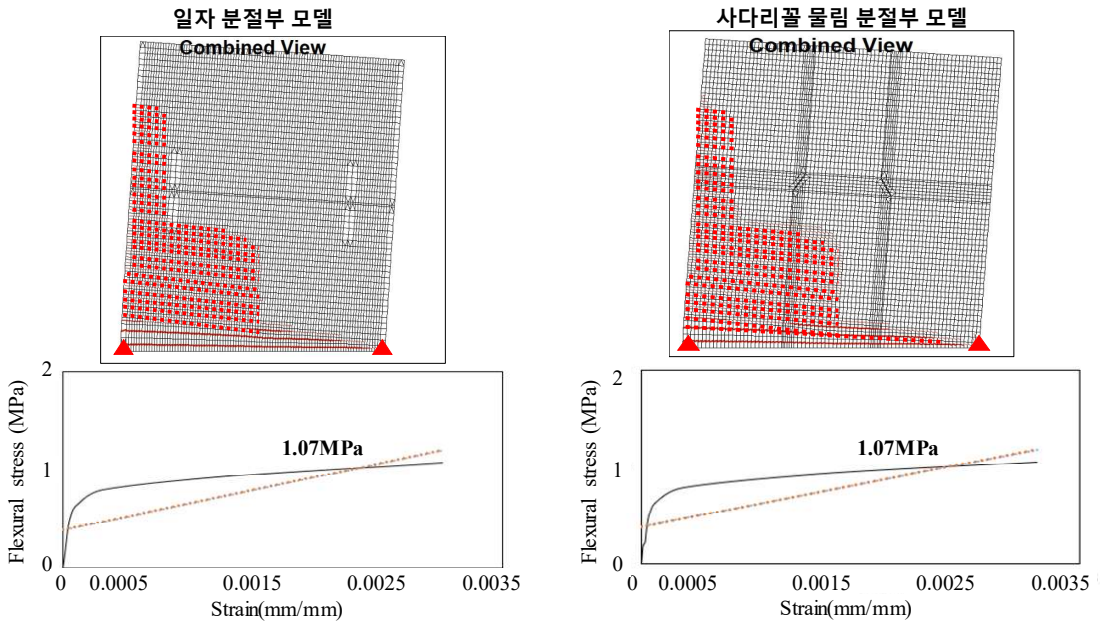
<그림 3-2> FRM 프리캐스트 패널 보강상세 제안(안)

· 전단 파괴 유도 실험 해석 결과, 파괴면은 동일하게 분절부에서 발생하였으며 각각 최대 전단응력은 일자 분절부 모델이 0.79MPa, 사다리꼴 물림 분절부 모델이 1.18MPa로 나타남. 해석 결과를 통하여 사다리꼴 물림 분절부의 베어링 작용 효과를 확인함



<그림 3-3> 전단 파괴 유도 실험 해석 결과

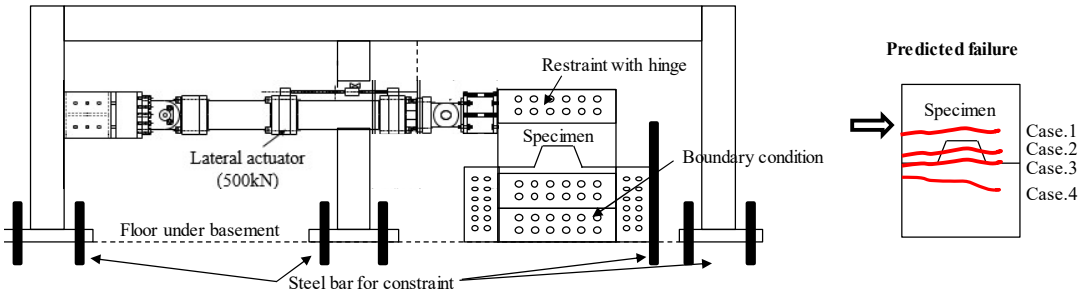
· 휨 파괴 유도 실험 해석 결과, 파괴 면은 동일하게 분절부 아래 패널 밑면 바로 위에서부터 찢어지는 형태로 발생하였으며 최대 휨 응력은 분절부 상세와 관계없이 1.07MPa로 동일하게 나타남. 이는 휨 파괴 유도 지점 조건 적용 시 파괴가 분절부 밑면에서 발생하므로 위의 분절부 상세와 관계없이 두 변수가 같은 모체 강도를 가지고 있으므로 같은 휨 항복 강도를 가지는 것으로 판단됨



<그림 3-4> 휨 파괴 유도 실험 해석 결과

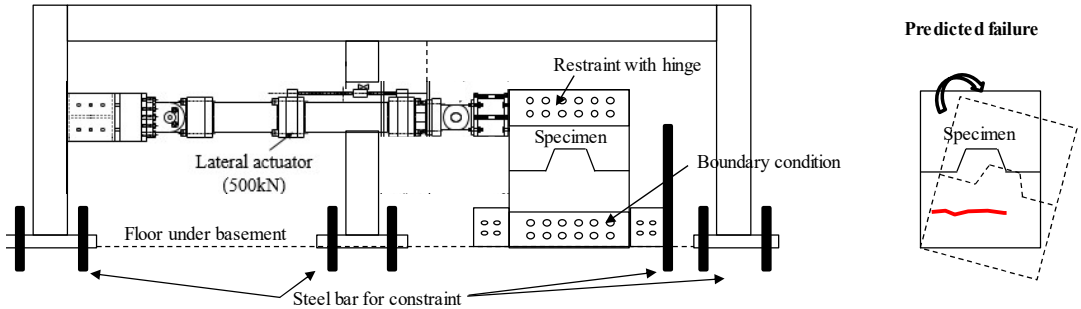
· FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재성능 실증 실험 셋업 및 계획 수립을 완료함. 분절부 소재 성능 실험은 두 가지 지점 조건(① 전단 파괴 유도 지점조건, ② 휨 파괴 유도 지점조건)으로 수행되도록 계획함. 유한요소해석 결과를 바탕으로 ① 전단 파괴 유도 지점조건의 경우 분절부 하단 패널의 측면과 밑면을 모두 Steel frame으로 구속하고 Steel frame이 미끄러지거나 움직이지 않도록 M42 장봉을 실험실 바닥과 결합하는 형태로 계획함. ② 휨 파괴 유도 지점조건은 분절부 하단 밑면을 Steel frame으로 구속하고, 전단 파괴 유도 지점과 마찬가지로 Steel frame이 미끄러지거나 움직이지 않도록 M42 장봉을 실험실 바닥과 결합하는 형태로 계획함

※ 전단파괴 구속 조건 모식도



<그림> 전단 파괴 유도 실험 셋업

※ 휨파괴 구속 조건 모식도



<그림 3-5> 휨 파괴 유도 실험 셋업

○ 공동연구개발기관(인천대학교 산학협력단)

● 바름식 시공성과 강도증진을 위한 적정 FRM 배합비 및 섬유혼입율 도출

(1) 바름 시공에 적합한 FRM 배합비 관련 기존 연구 조사

· 조사결과 KS규격 및 표준시방서에는 바름 모르타르의 재료 및 시공방법 등에 대해서만 제시하고 있는 상황이며 플로우와 점착력에 대한 자료는 부족한 실정임. 기존 선행연구에서는 바름 및 미장에 적합한 플로우로 180mm~210mm를 제시하였고 따라서 해당연구에서는 FRM 바름 시공에 적합한 목표 플로우를 180mm로 결정함

· 점착성능에 대한 조사 결과, 경화 후 부착강도 부분에 대한 실험방법 등은 제시하고 있지만 경화 전 시공에 적절한 바름 성능을 평가하기 위한 자료가 미흡함

· 배합범위에 대한 선행연구 조사 결과 고강도 섬유혼입 모르타르와 관련된 선행연구들에서는 시멘트와 모래의 부피비를 표준배합비 1:3과는 다르게 1:1~1:2를 적용하였으며 이는 재료의 강도를 증가시키기 위함으로 판단함

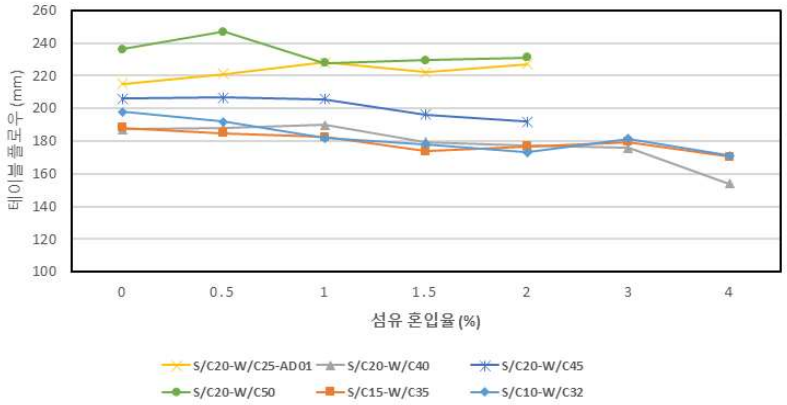
(2) 유동성시험

· 'KS L 5111 수경성 시멘트 모르타르 플로 테이블'에 따라 수행하였으며 FRM의 유동성 측정결과는 다음과 같음

- 배합별 FRM 대부분 섬유혼입율이 증가할수록 유동성이 낮아짐
- 고성능감수제가 들어간 S/C20-W/C25-AD01 배합과 물시멘트비가 상대적으로 높은 S/C20-W/C50 배합비는 목표했던 플로우값을 상당범위 초과함
- S/C20-W/C40, S/C15-W/C35, S/C10-W/C32 세 가지 배합이 목표한 플로우 180mm에 가장 근접



<그림 3-6> 유동성 측정을 위한 플로우테스트



<그림 3-7> FRM 배합별 섬유혼입율에 따른 플로우 결과

(3) 점착력시험

· FRM을 일정두께에 따라 벽돌에 바름으로써 점착성능을 측정하였으며 FRM의 점착력 측정 결과는 다음과 같음

· 양호 : 처짐없음, 불량 : 처짐 2mm이상, 매우불량 : 처짐 5mm이상

- 배합별 FRM 대부분 섬유혼입율이 증가할수록 점착성능이 낮아짐
- 고성능감수제가 들어간 S/C20-W/C25-AD01 배합과 물시멘트비가 상대적으로 높은 S/C20-W/C50 배합비는 5mm 이상 점착 시 부착상태가 불량
- S/C20-W/C40, S/C20-W/C45,S/C15-W/C35, S/C10-W/C32 네 가지 배합의 경우 10mm 두께 바름까지는 전반적으로 양호

[표 3-4] 시멘트:모래=1:1.5 물시멘트비=32%, 고성능감수제= 0% 배합에 대한 점착상태

배합명	섬유혼입율 (%)	부착상태 (○:양호, △:불량, X:매우불량)				
		5mm	7.5mm	10mm	12.5mm	15mm
S/C10 -W/C32	0	○	○	△	X	X
	0.5	○	○	○	○	△
	1	○	○	○	△	X
	1.5	○	○	○	△	X
	2	○	○	○	△	X
	3	○	○	△	X	X
	4	○	○	△	X	X

섬유혼입률은 중량비 기준

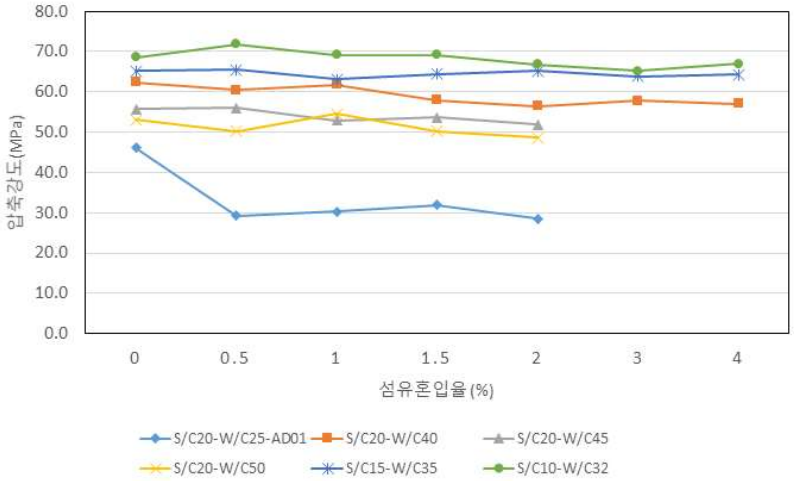
(4) 압축강도 시험

· FRM 압축강도 시험 결과

- 섬유혼입율에 따른 FRM의 압축강도는 영향이 없었음
- 시멘트비가 상대적으로 높은 S/C10-W/C32가 가장 높은 압축강도를 보임
- 고성능감수제가 들어간 S/C20-W/C25-AD01 배합의 경우 강도가 상대적으로 매우 낮아 고강도 FRM에 부적절하다고 판단



<그림 3-8> 압축강도 시험



<그림 3-9> 배합별 섬유혼입율에 따른 모르타르 평균압축강도

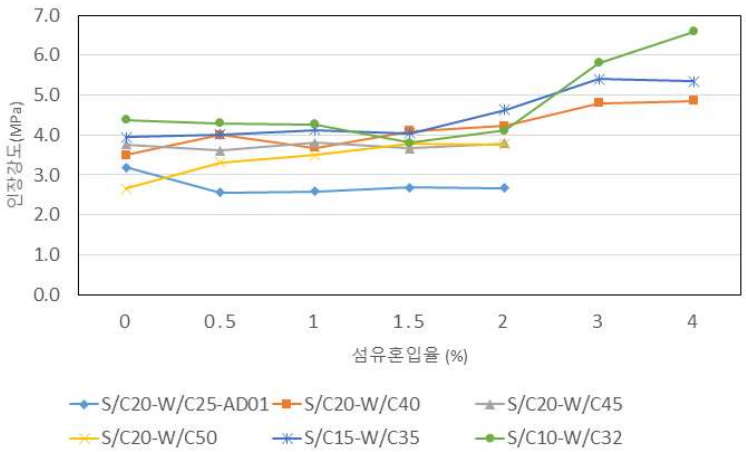
(5) 인장강도 시험

· FRM 인장강도 시험 결과

- 강섬유 2% 이하 혼입 시 FRM의 인장강도의 증진이 미흡하였지만 3%이상 혼입결과 강섬유 0% 혼입 대비 강도가 30%이상 증진
- 배합비에 따라 섬유혼입율에 따른 강도 증진 정도에 차이를 보였으며 모르타르 자체의 인장강도가 클수록 섬유혼입율에 따른 강도 증진이 클 것으로 기대
- 시멘트비가 상대적으로 높은 S/C10-W/C32의 인장강도와 강도증진율이 가장 우수



<그림 3-10> 인장강도 시험



<그림 3-11> 배합별 섬유혼입율에 따른 모르타르 평균인장강도

(6) 최종 배합비 도출

· 시공성 및 강도 평가 결과 네 가지 측정 항목 (유동성, 점착력, 압축강도, 인장강도)에서 가장 우수한 성능을 보인 S/C10-W/C32 (시멘트:모래=1:1, 물시멘트비:32%)의 배합을 FRM 바름 공법의 적합 배합비로 도출

● 조적프리즘 시험에 기초하여 목표 강도증진율을 충족하는 적정보강안 도출

[표 3-5] 조적 프리즘 실험범위

벽돌종류	압축강도 · 사인장전단강도
중공적벽돌	보강면수 / 강섬유 1% / 강섬유 1.3% / 강섬유 0%
콘크리트벽돌	보강면수 / 강섬유 1% / 강섬유 1.3% / 강섬유 0%

섬유혼입률은 부피비 기준



<그림 3-12> 조적프리즘 압축강도시험

[표 3-6] 점토벽돌 압축강도 시험 결과

Specimens	Average		Rate of Increase (%)
	Peak Load (kN)	Compressive Strength (MPa)	Compressive Strength
RP	244.6	14.5	-
RS1.0	305	18	25%
RS1.3	380.3	22.5	55%
RB0	296.9	17.5	21%
RB1.0	311.1	18.4	27%
RB1.3	394.9	23.3	61%

[표 3-7] 콘크리트 벽돌 압축강도 시험 결과

Specimens	Average		Rate of Increase (%)
	Peak Load (kN)	Compressive Strength (MPa)	Compressive Strength
CP	275.6	16.3	-
CS1.0	317.1	18.7	15%
CS1.3	323.6	19.1	17%
CB0	334.4	19.8	21%
CB1.0	319.9	18.9	16%
CB1.3	348.3	20.6	26%



<그림 3-13> 조적프리즘 전단강도시험

[표 3-8] 점토벽돌 전단강도 시험 결과

Specimens	Average		Rate of Increase (%)
	Load (kN)	Shear Strength (MPa)	Shear Strength
RP	60.4	1.5	-
RS1.0	101.4	2.4	68%
RS1.3	91	2.2	51%
RB0	100.2	2.4	66%
RB1.0	101.9	2.5	69%
RB1.3	143.7	3.5	138%

[표 3-9] 콘크리트 벽돌 전단강도 시험 결과

Specimens	Average		Rate of Increase (%)
	Load (kN)	Shear Strength (MPa)	Shear Strength
CP	120.2	2.4	-
CS1.0	137.1	2.8	14%
CS1.3	167.2	3.4	39%
CB0	170.0	3.4	41%
CB1.0	187.1	3.8	56%
CB1.3	201.2	4.0	67%

○ 공동연구개발기관((주)세진기술)

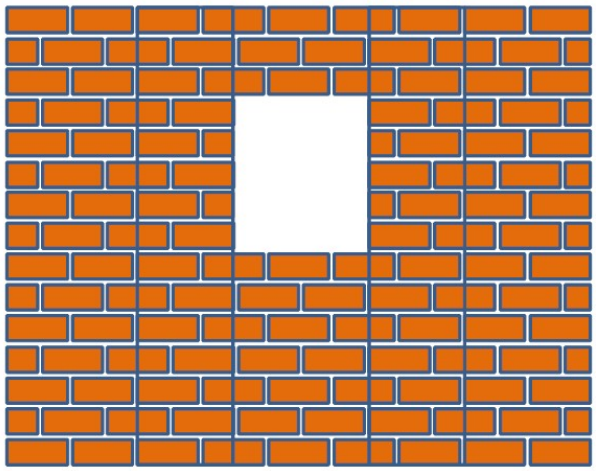
● 내진보강 기법 제시

· 기존 지진피해 사례 및 내진보강기법을 분석한 결과 개구부, 접합부 그리고 면외 방향 파괴가 두드러지게 나타난 것으로 사료됨

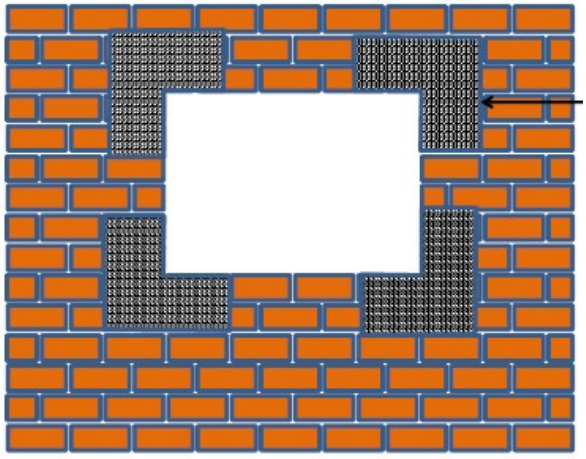
· 이에 따라 다양한 내진보강 기법이 개발 되고 있는 상황으로 본 연구에서는 고강도 프리케스트 콘크리트, 강봉/강선 보강, FRP 보강 방법을 제시함

· 먼저 개구부 보강에 있어서 기존 연구로부터 그림 2.4와 같은 FRP 개구부보강이 가능한 것으로 나타남. 본 연구에서는 그림 2.5에서 보는 바와 같이 개구부 주위 및 개구부 면내에 FRP 보강을 통해 보다 효율적으로 내진성능의 향상을 꾀할 수 있을 것으로 사료됨

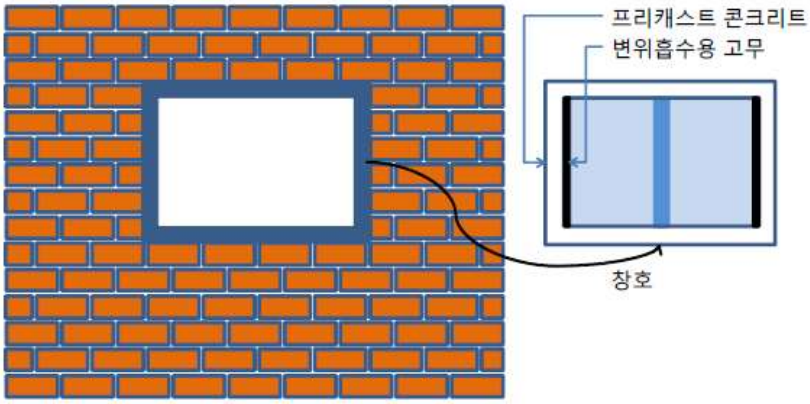
· 또한 그림 5.76에서 보는 바와 같이 개구부에 공장성형 고강도 프리캐스트 콘크리트가 활용될 수 있을 것으로 사료됨. 이때 창호 및 출입문의 변형을 막기 위해 중간에 고무 등의 필러를 삽입하면 지진 발생 시 대피와 더불어 화재발생 시 개구부의 개폐가 가능할 것으로 사료됨



<그림 3-14> FRP를 이용한 개구부 보강



<그림 3-15> FRP를 이용한 개구부 주위 및 면내보강

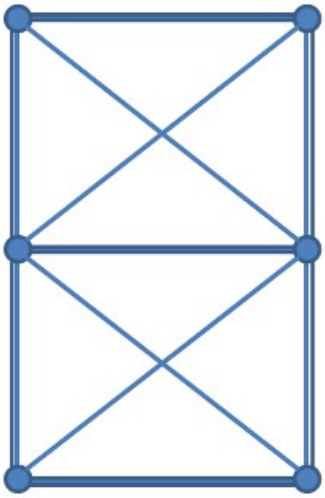


<그림 3-16> 프리캐스트 콘크리트 형틀을 이용한 개구부 보강

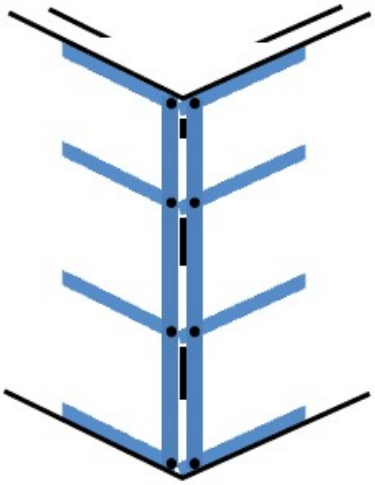
· 그림 2.7의 경우 강봉을 이용한 X 브레이싱으로 조적벽체의 보강이 가능하며, 또한 그림 2.8과 같이 강판을 이용한 접합부의 긴결이 가능할 것으로 사료됨

· 벽체 접합부의 보강과 관련하여 그림 2.9에서 보는 바와 같은 고강도 프리캐스트 콘크리트의 활용이 가능할 것으로 사료됨. 즉, 비보강 조적조 건축물의 내진성능을 평가해본 결과 강도지표의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며 이에 전단강도 성능을 효율적으로 향상시키기 위한 방법으로 현장타설 콘크리트 붙임 기둥 또는 붙임 벽체가 활용 될 수 있음. 하지만 도심지에서는 그 활용이 제한적이며 레미콘 등의 활용이 어려움. 철골 기둥의 경우 상대적으로 가격이 비싸며 외기에 노출 시 방청도장을 주기적으로 해줘야 하는 단점이 존재함

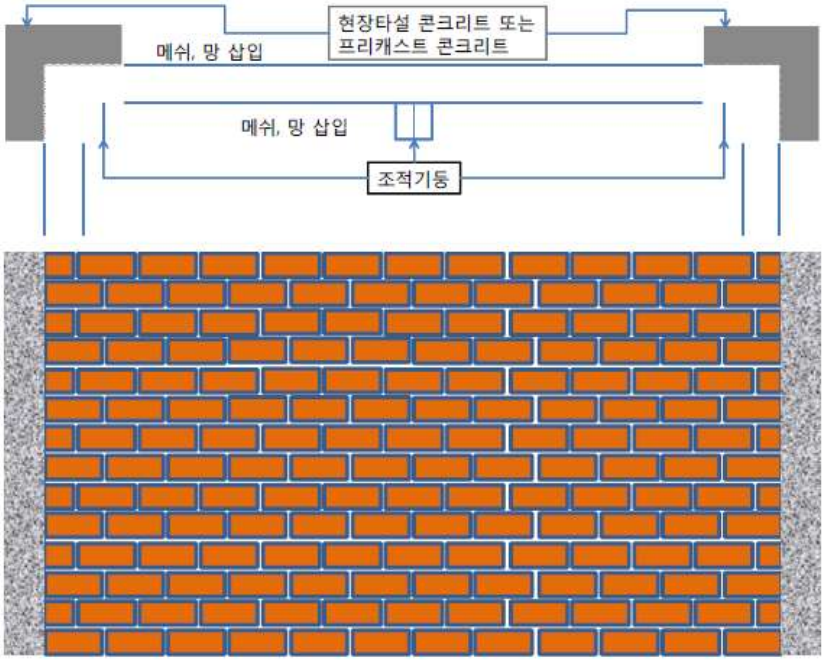
· 따라서 본 연구에서 제시하는 공장제작형의 프리캐스트 콘크리트를 사용할 경우 먼저 공장 제작으로 제작, 운반 그리고 시공이 용이하며 또한 외부면의 자유로운 성형이 가능하여 조적면의 디자인이 가능함. 또한 앵커 볼트를 통한 슬래브 및 테두리보와의 연결 역시 가능할 것으로 사료됨. 이러한 프리캐스트 콘크리트 앵글형 기둥의 경우 수직밴드의 역할을 수행할 수 있으며, 테두리보가 없는 경우에는 프리캐스트 콘크리트 보의 활용 또는 강선/강봉을 활용한 수평밴드의 설치 역시 가능할 것으로 사료됨. 한편, 국내 비보강 조적조 건축물의 경우 내부 칸막이 벽을 통해 면외 방향 파괴를 일정부분 막을 수 있을 것으로 사료되며, 연성의 확보를 위해 그림 2.9에서 보는 바와 같이 내외부에 PP-Band 또는 와이어메쉬의 활용이 적절함



<그림 3-17> 강봉/강선을 이용한 조적벽체 보강



<그림 3-18> 강판을 이용한 접합부 보강



<그림 3-19> 프리캐스트 콘크리트 이용한 접합부 보강

● 기존 조적조 구조상세에 기초한 개발 보강공법의 적정성 검토

· 위에서 제시한 기존 보강 공법 대시 본 연구에서 제안한 보강공법의 차별성을 다음과 같음

(1) 프리캐스트 패널 보강, 즉, 공장제작 공법으로서 현장에서 간편하고 신속하게 거주 중 보강이 가능함

(2) 건식/반건식 공법으로 활용도가 높아 공기가 단축되며 경제성이 확보됨

(3) 최소 부위 제거 및 보강을 통하여 공기 단축이 가능하고 모체 제반성능 활용을 최대화함

(4) 모체 코너부를 활용하여 건축 공간을 고려한 보강공법의 적용이 가능함

○ 공동연구개발기관((주)한울구조안전기술사사무소)

● 국내 기존 조적조 건물의 구조적 특징 조사 분석

(1) 구조적 특징 조사 분석

· 기존 조적조 건축물의 시공정도는 극히 열악한 것으로 판단되며, 벽량에 있어서도 주요 구조체의 벽두께는 평균 0.5B이고, 수직 줄눈의 사춤 상태와 벽체와 벽체의 접합 형식도 불량함

· 시공기준에는 테두리보와 인방보를 설치하도록 규정하고 있으나 대부분의 경우 테두리보가 없으며, 개구부 상부에도 드물게 목재 인방이 있을뿐, 적절한 인방보가 설치 되어있는 경우는 거의 없음

· 상하부 슬래브와의 결합상태는 일체화되었다고 보기 어려우며, 공간쌓기한 이중벽체의 경우 외벽과 내벽을

연결하여 주는 연결철물이 존치기간 증가에 의한 녹 발생으로 거의 없는 것으로 조사됨

· 별도의 기초공사가 없이 지하층 바닥 하부에 버림 콘크리트가 기초를 대체하고 있으며, 바닥슬래브의 두께 또한 10cm 내외임

· 기존 조적조 건축물은 시공 정밀도가 상당히 낮을 뿐 아니라, 구조적으로도 현행 기준에 미달하는 것으로 판단되어지며, 내진성능 향상을 위해서 상당한 보수·보강이 필요함



(a) 벽단면



(b) 인방보



(c) 벽체 교차부 01



(d) 벽체 교차부 02



(e) 기초



(f) 노후 조적조 보강

<그림 3-20> 보강방법에 따른 전단강도 및 강도 증진율

(2) 연결 상세 조사 분석

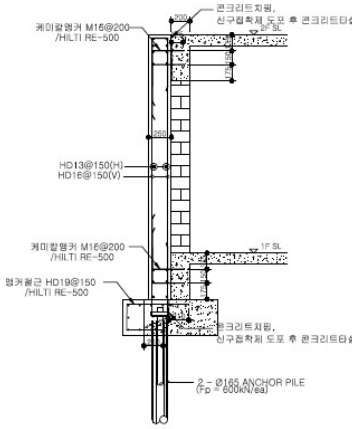
· 기존 조적조 건축물의 연결부를 분석하기 위하여 공공 건축물 10개동, 소규모 민간 건축물 6개동을 도면과 현장 조사를 기반으로 분석하였으며 분석 결과는 다음과 같음

· 치장벽돌과 슬래브의 형태는 외벽면 전체에 연결되어 있는 경우와 보가 있으며 슬래브를 기준으로 나눠져 있는 경우로 존재함

· 벽체의 경우 벽체 전체 두께는 230~350mm 공간쌓기를 한 경우 공간쌓기 간격은 평균 60mm임. 내력벽의 두께는 0.5~1.0B, 외부 치장벽은 0.5B로 조사됨. 보의 시공 유무는 16개동 중에서 9개동에서 보가 있는 것으

로 조사되었으며 보의 춤은 대부분 400mm이며, 보의 폭은 300~350mm임. 슬래브의 두께는 대부분 150mm로 조사됨





(a) 슬래브가 치장벽 전체에 연결되어 있는 예시 건물 (b) 분리된 치장벽과 슬래브의 형태 예시도면
<그림 3-21> 치장벽과 상하부 슬래브와의 연결부 형태 예시

[표 3-10] 조사 대상 건축물의 구조 상세 분석 결과

건축물명	벽체 두께		공간쌓기 간격 (mm)	전체 두께 (mm)	슬래브 두께 (mm)	보의 춤 (mm)	보의 폭 (mm)
	내력벽	치장벽					
건축물 (1)	1층 : 1.0B 2층 : 0.5B	0.5B	1층 : 50 2층 : 60	230~330	150	500	1층 : 230 2층 : 330
건축물 (2)	1.0B	0.5B	20~40	300~320	150	500	330
건축물 (3)	1.0B	0.5B	70	350	150	400	350
건축물 (4)	1.0B	0.5B	55	335	150	500	350
건축물 (5)	200mm	0	0	200	150	500	300
건축물 (6)	0.5B	0.5B	20~40	200~220	150	500	300
건축물 (7)	0.5B	0.5B	70	250	150	400	300
건축물 (8)	1.0B	0.5B	70	350	120	500	350
건축물 (9)	미상	미상	미상	미상	미상	미상	미상
건축물 (10)	미상	미상	미상	미상	미상	미상	미상
건축물 (11)	200mm	미상	0	200	미상	미상	미상
건축물 (12)	200mm	미상	0	200	미상	미상	미상
건축물 (13)	200mm	미상	0	200	미상	미상	미상
건축물 (14)	1.5B	미상	0	190	미상	미상	미상
건축물 (15)	300mm	미상	0	300	미상	미상	미상
건축물 (16)	1.5B	미상	0	190	미상	미상	미상

● 기존 조적조 구조상세에 기초한 개발 보강공법의 적정성 검토

(1) 시공성 검토

· 기초 보강을 지양하여 기존 기초위의 연결부 상세 및 신설이 불필요 하도록 여려 벽체에 분산 보강해야함

· FRM 바름 시공시 조적개체의 표면이 매끄러운 경우 모르타르의 탈락 발생에 유의해야함

· 치장벽돌에 직접 시공이 어려운 경우 타일 전체 철거 후 내부에 FRM 바름 시공 적용방안이 필요함

· 표면처리나 연결 철물 사용과 같은 부착력 증진에 대한 대안이 필요함

· 치핑 방법을 사용하여 매끄러운 조적조 표면에 거칠기를 일으켜 부착력을 증가 시킬 수 있음.
· 모래, 세라믹 분말, 플라스틱 파우더를 고압으로 표면에 분사하는 샌드 블라스트 공법을 사용하여 부착력을 증가 시킬 수 있음



(a) 매끄러운 표면의 조적벽체 01



(b) 매끄러운 표면의 조적벽체 02



(c) 조적 개체와 모르타르의 부착 불량



(d) 조적 개채와 모르타르의 탈락



(e) 콘크리트 벽체 치핑 시공 예



(f) 조적벽체 샌드블라스트 시공 예

<그림 3-22> 부착력 불량으로 인한 모르타르 상태 및 표면처리 예

(2) 경제성 검토

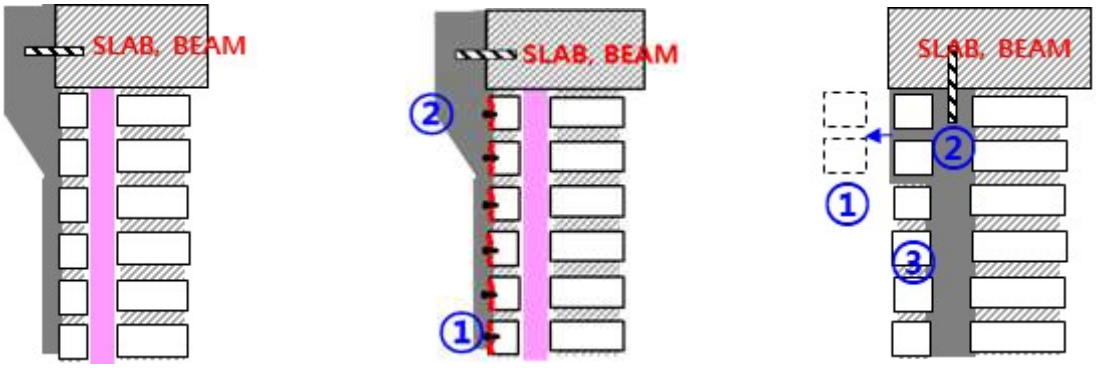
· '조적조 건축물의 취약부 보강을 통한 내진보강기법 개발(국립재난안전연구원, 2010)에 나타나 있는 기존 보강방법(메탈라스 보강공법, 허니컴 보강공법, 섬유 보강공법 등 벽면에 부착 또는 바름식 보강 공법)과 FRM바름 보강방법의 비용을 비교하기 위해서 기존 조적조 건축물을 선정하여 보강비용을 비교함
· FRM 바름식 공법을 적용하는 경우 기존의 보강공법과 비교하여 16~56% 수준으로 공사비가 낮아지는 것으로 나타남

[표 3-11] 기존보강공법-FRM 바름공법 보강 비용 비교

보강 공법	보강 면적(m²)	총 공사비용(천원)	공사비 비율(%)
메탈라스 보강공법	131.6	7,974	179
섬유 보강공법		10,039	226
허니컴 보강공법		27,008	607
FRM 바름공법		4,447	100

(3) 개선방향

· 부착력 불량과 조적조 건축물의 구조적 특성을 고려하여 FRM 바름식 보강의 구조성능 및 시공성 측면에서 적절한 개선방향을 제안함

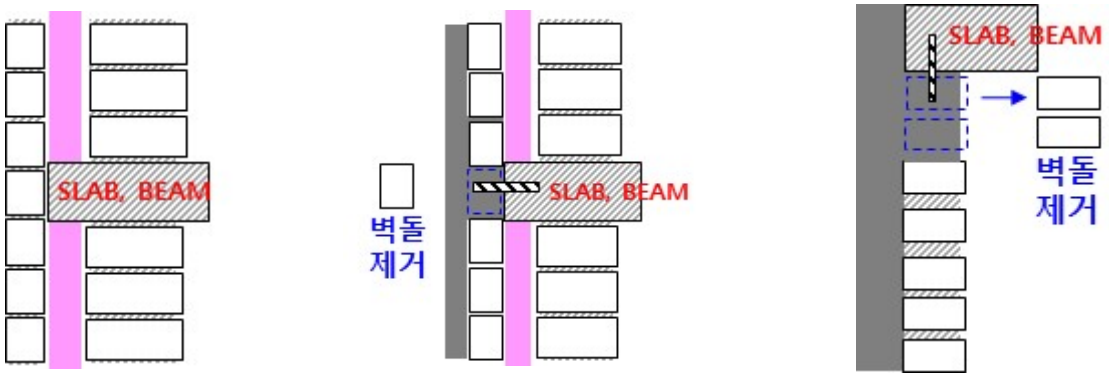


(a) 기존보강안

(b) 개선방안 01
① 표면처리
② 모르타르 시공

(c) 개선방안 02
① 마감재 부분 철거
② 모르타르 시공
③ 외벽 재시공

<그림> 부착력 불량에 따른 FRM 바름공법 개선 방안



(a) 조적조 기존 구조특성

(b) 구조특성 반영
개선방안 01

(c) 구조특성 반영
개선방안 02

<그림 3-23> 구조적 특성에 따른 FRM 바름공법 개선 방안

2) 2차 연도

○ 주관연구개발기관(숭실대학교 산학협력단)

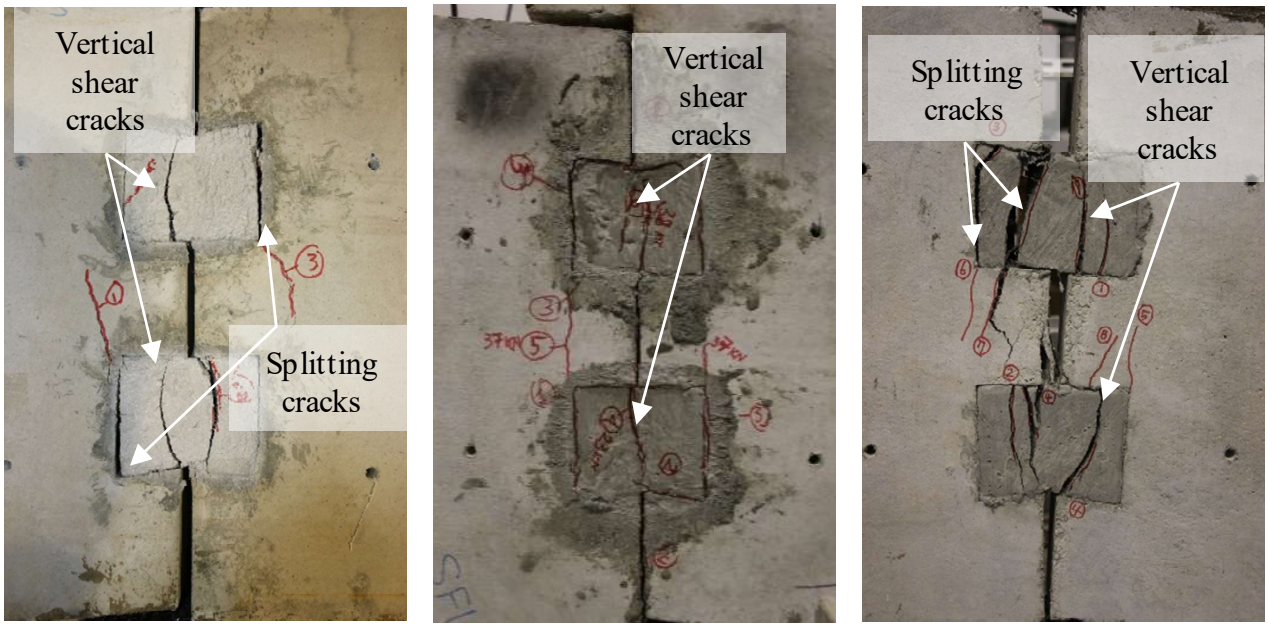
● 프리캐스트 패널 건식 접합 보강상세 개발 및 소재성능실증 실험을 통한 성능 검증

· 각각의 실험변수는 프리캐스트 패널 연결부 상세에 따라 계획하였으며 ① 전단키의 총 길이 및 개수, ② 연결방법(철근 삽입의 유무), ③ 분절부 모르타르에 함유된 섬유 부피를 변수로 두어 실험을 진행함

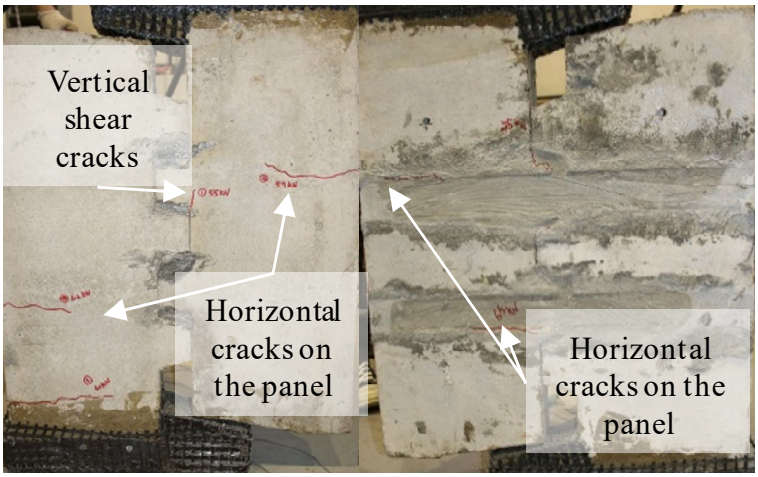
· 총 22개의 Z-type 연결부 실험체 제작 및 소재성능 실증실험을 통하여 개발 연결부 상세의 목표 전단성능을 검증함. 파괴모드 평가 수행 및 모체 역학성능 대비 목표성능인 90%를 초과하는 110% 성능 개선을 달성했으며 추가로 현장 적용성을 면밀히 검증하기 위한 시공성·경제성 평가를 수행함

· FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재성능실증 실험 결과, 전단키가 홈으로 이루어진 S시리즈는 균열 양상이 FRCM 전단에 집중되어 있는 것을 확인함. 또한, 전단하중 증가에 따라 인장 균열들이 상호 연결되어 수직 전단 균열을 형성하였으며 연결부와 모체 사이의 탈부착 형상으로 인한 균열 확대도 확인함. V시리즈의 경우 초기 수직 전단 균열은 전단키 하단 모서리에서 발생하였으며 전단 하중이 증가함에 따라 수직 균열이 모체방향으로 확산됨. 이는 V시리즈의 균열 발생 시 횡보강 철근이 전단키 균열 확산을 억제하여 실험체 모체에 수평

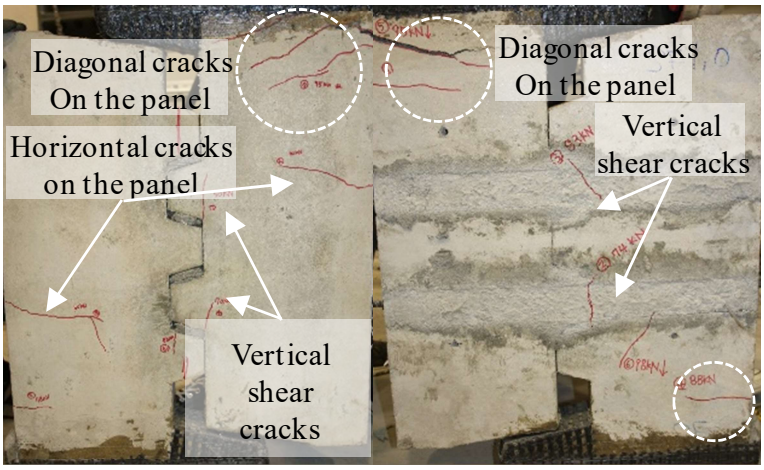
균열을 발생시킨 것으로 판단됨



(a) S100-JM1 (b) S100-JM2 (c) S100-H



(d) V80-JM1



(e) V80-JM2

<그림 3-24> Z-type push-off 실험변수별 파괴모드

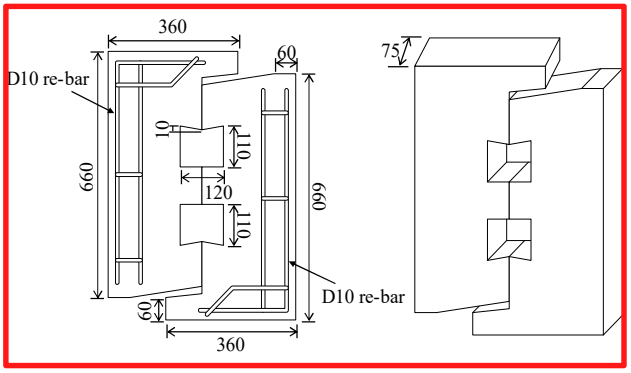
· S100-JM 시리즈 실험 결과, 전단키 타설 모르타르 내 섬유 부피량이 증가할수록(JM1<JM2<JM3) 균열하중과 최대 전단 하중이 개선된 값을 나타냄. 전단키 길이 변화는 전단키의 길이를 더 길게 사용했을 때(S50-N4와 S150-N2 비교), 최대 하중이 20% 증가한 것을 확인함. S시리즈(횡방향 철근 X, 직사각형 홈 형태 전단키)와 V시리즈(횡방향 철근 O, 사다리꼴 물림 형태 전단키)를 비교하였을 때, 횡방향 철근 삽입은 실험체의 다월

작용은 가장 높은 최대 하중을 나타냈었으며 V시리즈가 사다리꼴 물림 형태로 베어링 작용 효과를 유도하여 실험체 연결부의 구속력을 강화하였으며, 이는 실험체의 분절 현상을 방지함

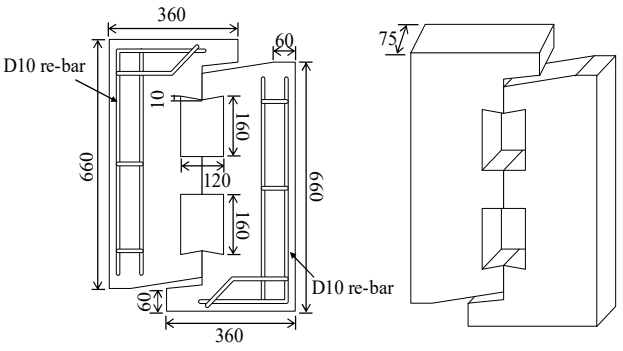
[표 3-12] FRM 프리캐스트 패널 연결부 상세 소재성능실증 실험 결과

Test specimens	Cracking load, Vcr (kN)	Peak shear load, Vp (kN)	Displacement at peak load (mm)	Crack opening at peak load (mm)	Vcr/Vp (%)
S100-JM1	52.02	83.86	4.83	3.86	62.03
	51.61	79.41	3.80	1.17	64.99
	47.64	78.10	4.77	2.59	61.00
S100-JM2	60.65	87.88	4.95	4.20	69.02
	61.61	90.57	5.21	2.76	68.02
	50.87	83.35	5.21	1.56	61.04
S100-JM3	67.46	93.70	4.97	1.86	72.00
	68.33	91.10	4.57	2.37	75.00
S50-N4	30.18	73.57	3.35	2.91	41.02
	25.94	78.60	3.10	1.42	33.00
S150-N2	70.59	96.65	3.81	0.49	73.04
	61.10	91.15	5.03	1.15	67.04
	68.24	98.93	4.65	0.44	68.98
S100-H	37.11	86.32	6.11	1.47	42.99
	52.54	83.35	5.52	1.64	63.04
	40.09	85.30	5.50	2.16	47.00
V80-JM1	72.09	96.12	4.74	0.71	75.00
	68.05	92.03	4.69	-	73.94
	62.06	96.97	5.44	0.02	64.00
V80-JM2	67.20	102.55	4.86	-	65.53
	64.87	90.13	4.10	0.12	71.98
	63.18	97.18	4.07	0.29	65.01

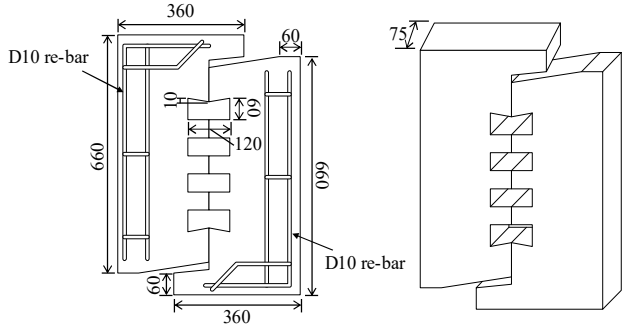
· 실험 결과와 시공성 및 경제성 평가를 바탕으로 FRM 프리캐스트 패널의 연결부 상세를 2건 제시하였으며 (S100-JM1과 V80-JM1) 이를 이용하여 특허 추진 및 구조성능검증 실험을 진행함



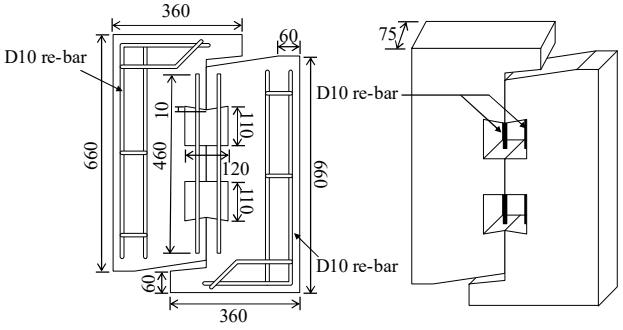
(a) S100-JM1, JM2, JM3



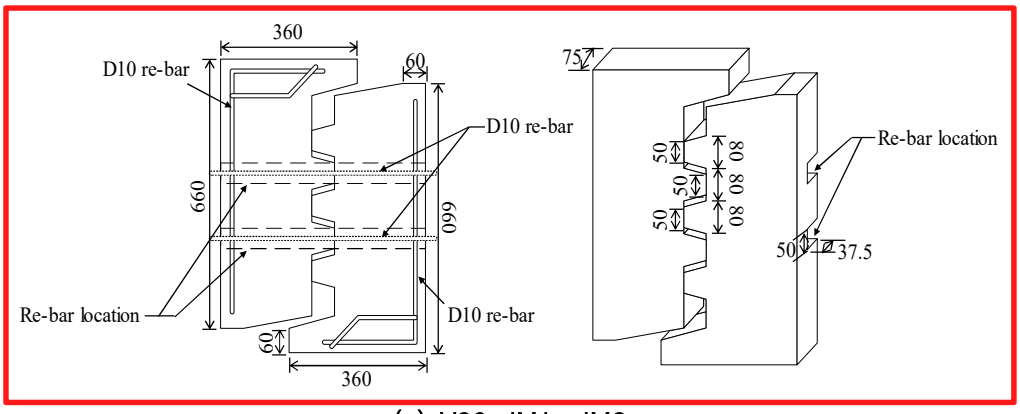
(b) S150-N2



(c) S50-N4



(d) S100-H



(e) V80-JM1, JM2

<그림 3-25> 프리캐스트 패널 연결부 소재성능실증 결과 바탕으로 선정된 상세

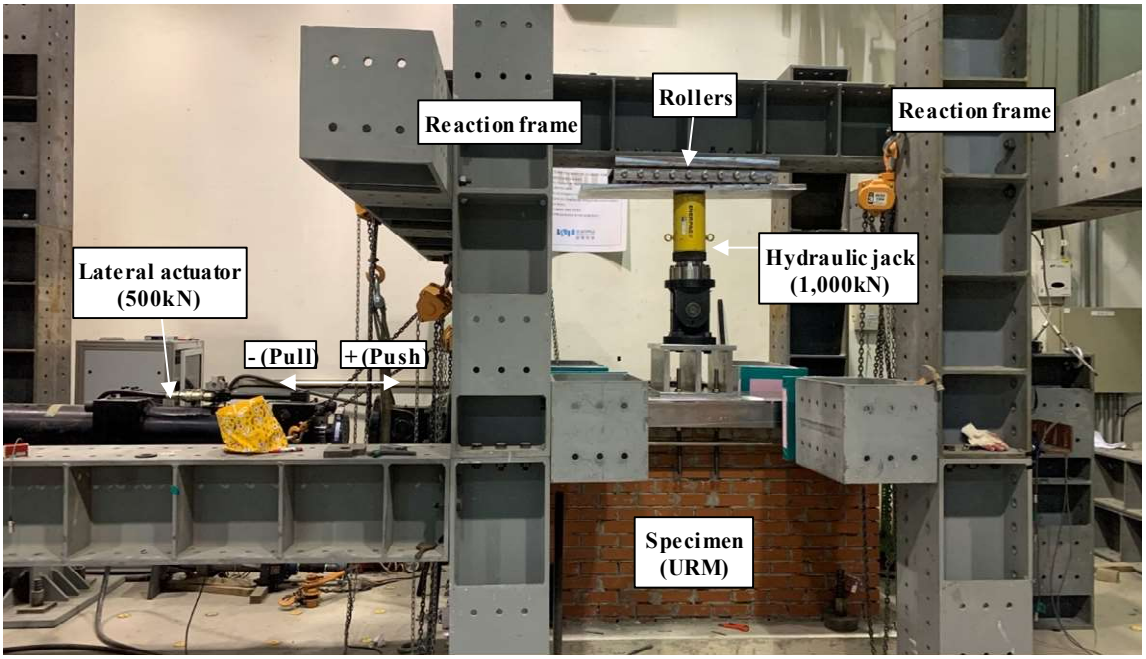
● 프리캐스트 패널 건식 스크류 접합 보강공법 구조성능검증 실험 계획

· ASCE 41-17, FEMA 273&306 등에 따라 프로토타입 비보강 조적조의 전단성능 평가 수행하였으며 기존 연구결과(지진공학회, 내진성능향상지침 예제집)에 기반하여 조적벽체 프로토타입을 선정하고 선형해석을 수행함. 주요 실험변수인 『 ①프리캐스트 패널, FRP 삽입, 추가철물 설치 등 보강방법, ②고강도 FRM PC패널 연결부 상세』에 따라 보강 조적조의 예상 강도를 산정하고 목표 구조성능에 부합함을 검토 완료함

[표 3-13] 구조성능검증 실험체 예상 강도

Test specimen		Vurm	Vretrofit	Vt	Vt/Vurm
1	URM	126	0	126	100%
2	RM-U	126	138.4	264.4	200%
3	RM-U-T	126	138.4	264.4	200%
4	RM-M1	126	129.8	255.8	190%
5	RM-M1-T	126	144.8	270.8	200%
6	RM-M2	126	144.8	270.8	200%
7	RM-FRP1	126	193.5	319.5	240%

· 일반적인 비보강 조적조벽체 파괴(전도파괴, 줄눈파괴) 특성에 부합하도록 선형해석결과에 기반하여 실험체를 설계하고 관련 시험방법을 제안함. 또한, 보강 조적조 벽체 실험체는 1차년도 실험 계획에 기반하여 대각인장 파괴가 유도되도록 설계하고 관련 실험방법을 제안함



<그림 3-26> 고강도 FRM 내진보강공법 구조성능검증 실험 셋업

● 프리캐스트 패널 건식 스크류 접합 보강공법 구조성능검증 실험(기존 부재 대비 구조성능 100% 개선)

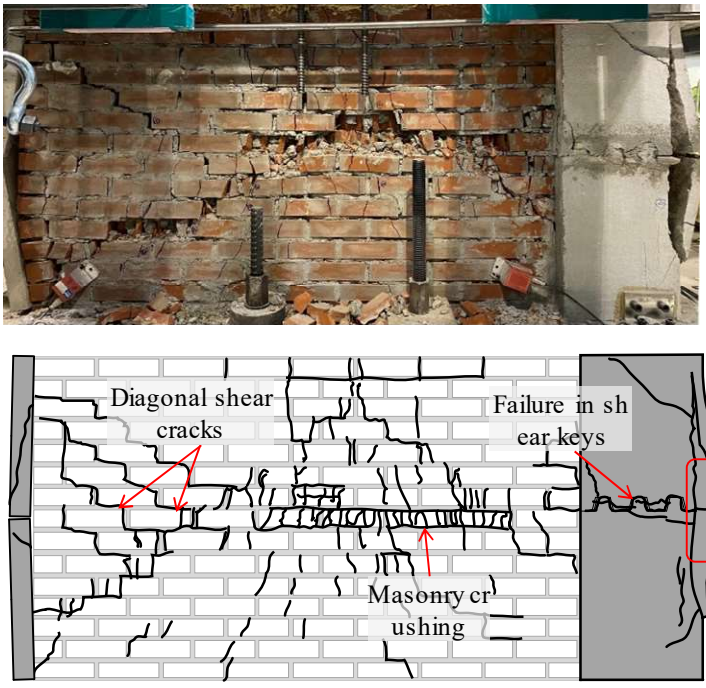
· 비보강 실험체의 경우 설계 시 예측되었던 Bed joint sliding failure와 달리, Toe crushing failure로 관측되었으며 항복 강도 도달 이후 하부 벽체와 슬래브 사이 벽돌에서부터 주 균열이 확장되는 형태로 파괴가 발생함. 보강 실험체 RM-S1, RM-S1-R, RM-S2는 보강 패널이 양 단부에서 조적 벽체를 구속하고, 유효 단면 손실을 최소화시킴으로 인해 파괴 모드가 Toe crushing failure에서 Diagonal tension failure로 변경된 것으로 분석됨. 보강 실험체 RM-S2-T는 변형능력이 가장 우수한 실험체로, 벽체 양단부의 패널이 턴버클로 구속됨에 따라 비보강 벽체의 내력이 최대치로 활용된 것으로 분석됨. 벽체 표면에는 거의 균열이 발생하지 않았으며 턴버클 항복 후 양 단부 패널의 연결부 부분에서 주 균열일 발생 후 패널이 먼저 탈락하는 형태의 파괴모드를 보임

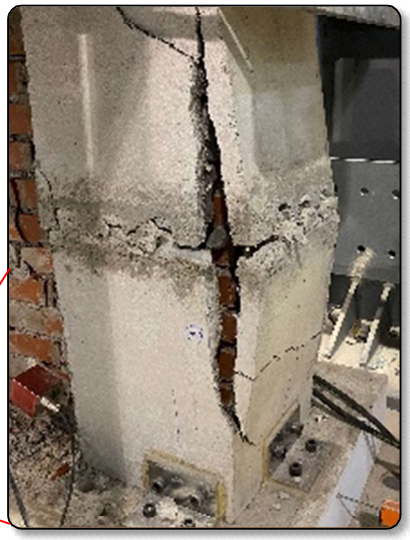




Masonry crushing at the bottom corner

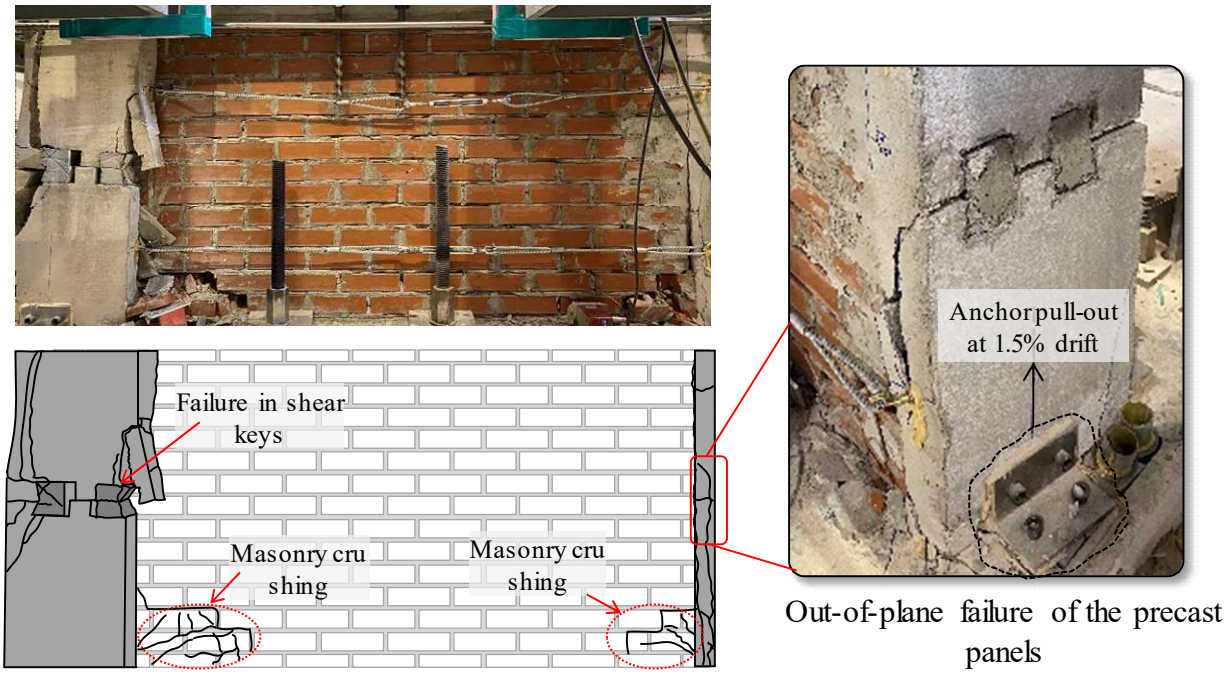
(a) URM 파괴모드





Out-of-plane failure of the precast panels

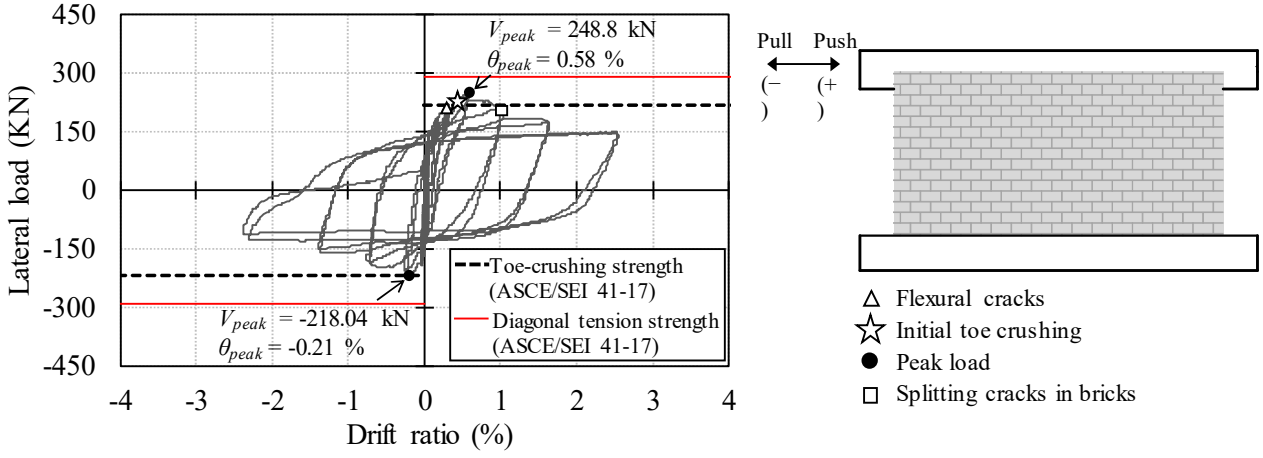
(b) RM-S1-R 파괴모드



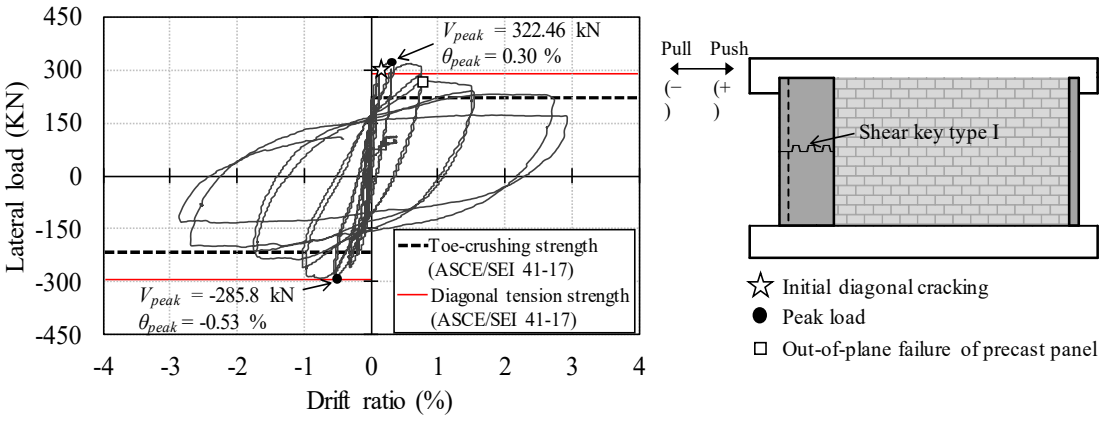
(c) RM-S2-T 파괴모드

<그림 3-27> 파괴 모드 및 균열 양상 분석

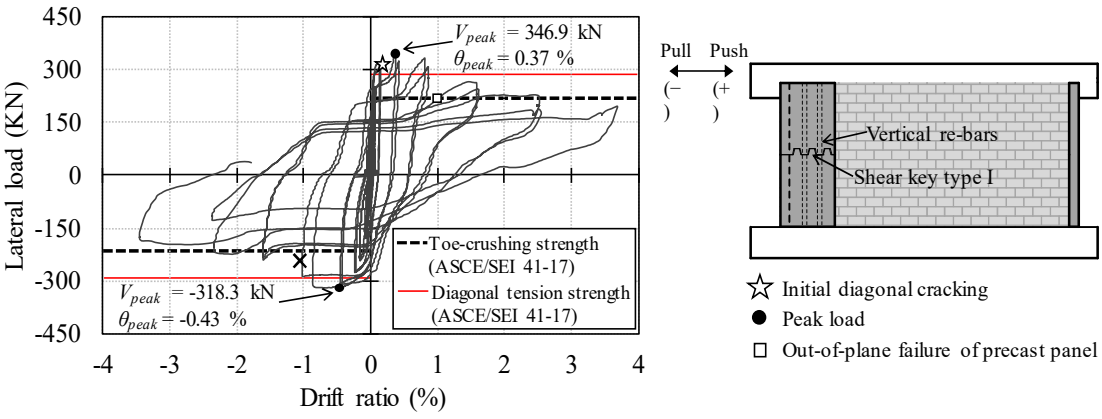
· FRM 프리캐스트 패널을 이용하여 조적벽체를 보강하였으며 반복가력실험을 수행하여 실험변수 별 전단성능 보강효과를 분석함. 모든 FRM 프리캐스트 패널 보강 조적벽체 실험체가 응력, 에너지소산능력, 강성, 감쇠비 측면에서 기존 비보강 조적벽체 대비 구조성능 100% 개선됨을 검증함. 하중 변위 곡선은 아래 그림과 같으며, 항복 강도와 ASCE 기반 각 실험체 파괴모드별 설계 예측 강도를 비교하였을 때, 앞서 제시한 관측 파괴 모드와 부합하는 것으로 판단됨. 비보강 실험체 대비 보강 실험체에서 강도, 변형 능력이 큰 수준으로 향상되었으며 특히 RM-S2-T 실험체의 경우 변형능력 및 항복 강도가 우수한 것으로 분석됨



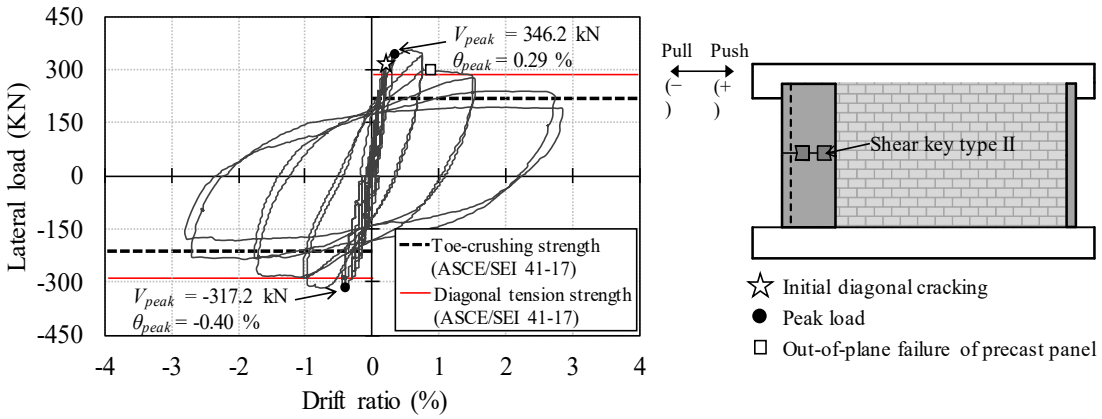
(a) URM



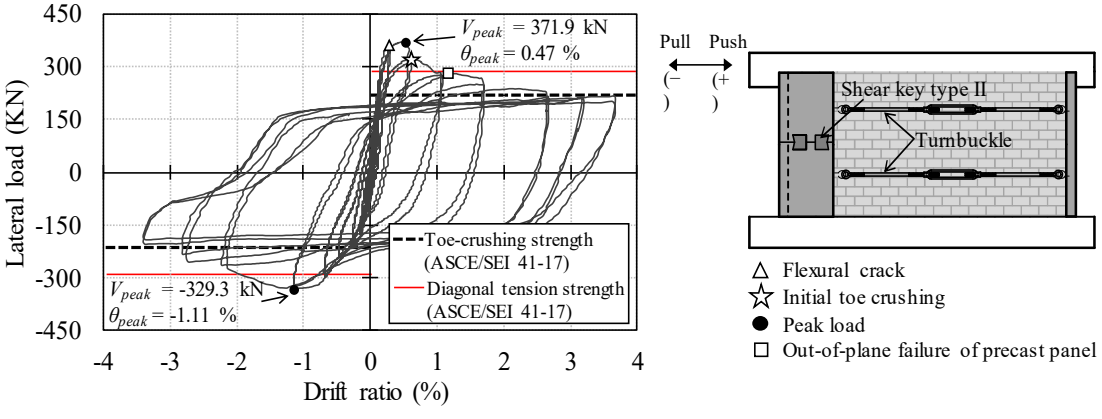
(b) RM-S1



(c) RM-S1-R

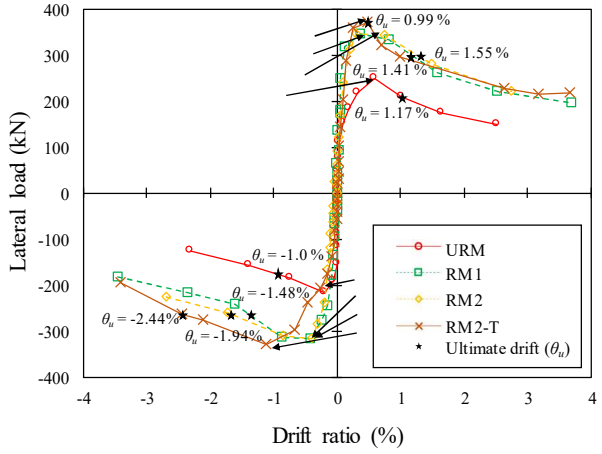


(d) RM-S2

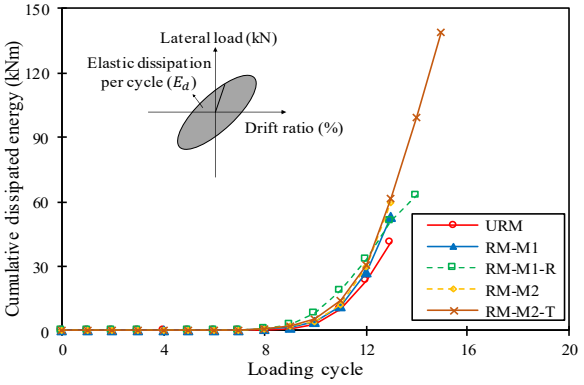


(e) RM-S2-T

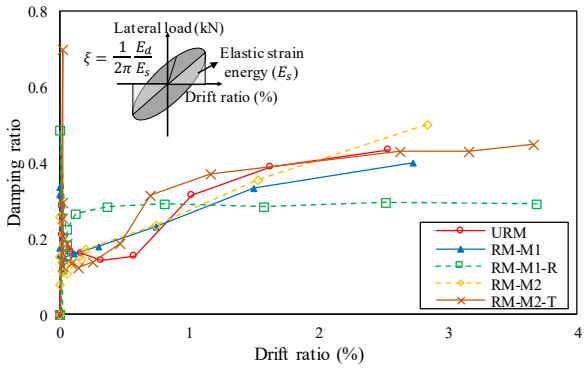
<그림 3-28> 실험변수 별 응력-변형률 이력곡선



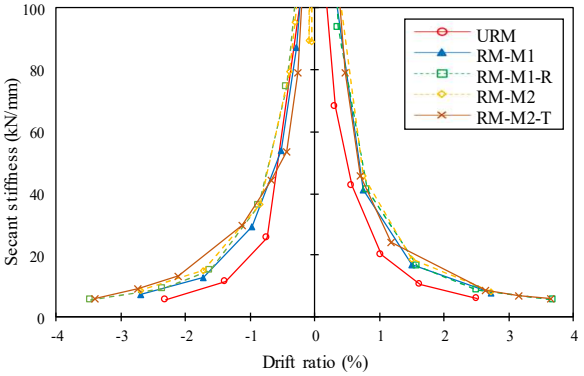
(a) 실험변수 별 포락곡선 비교



(b) 실험변수 별 에너지소산능력 비교



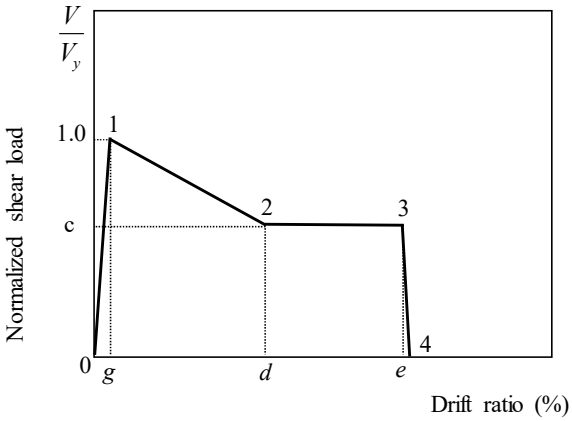
(c) 실험변수 별 감쇠비 비교



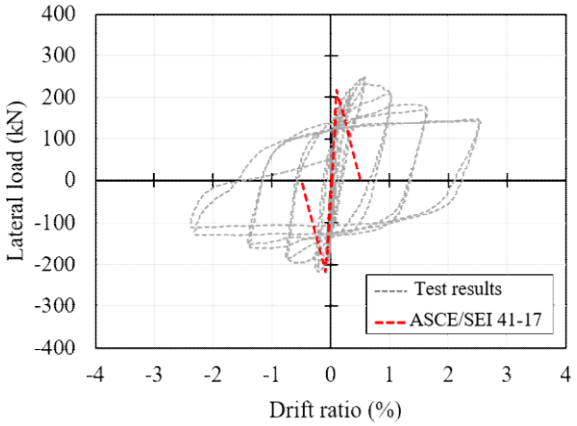
(d) 실험변수 별 강섬저감 비교

<그림 3-29> 구조성능검증 실험 결과

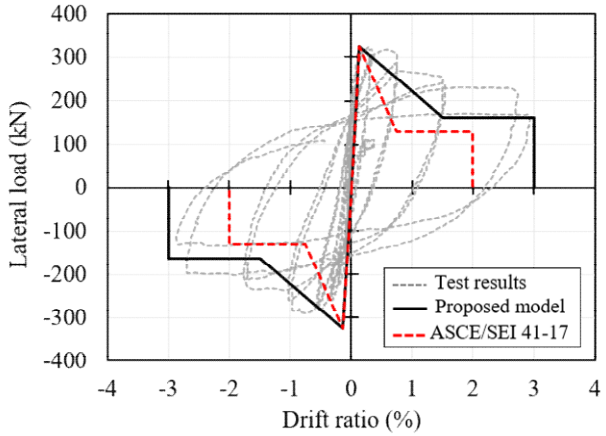
· 설계 전산화를 위한 ASCE 41-17 기반 강도 변형 모델식을 간략히 제시하였으며 실험 결과와 제안 모델을 비교 검증함



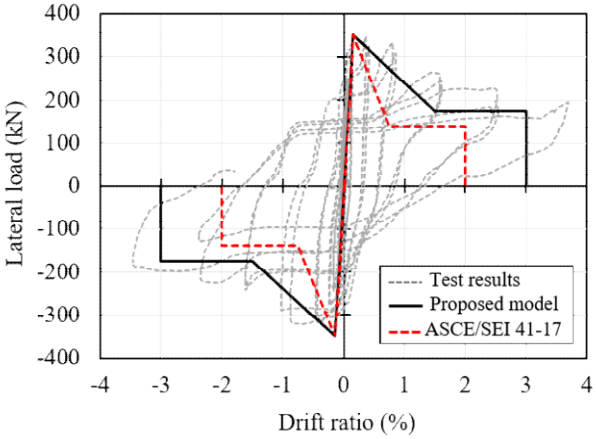
(a) ASCE 41-17 모델 스펙트럼



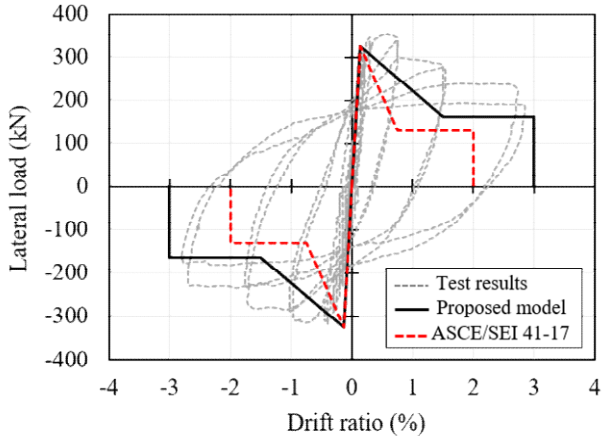
(b) URM 강도 변형 모델식



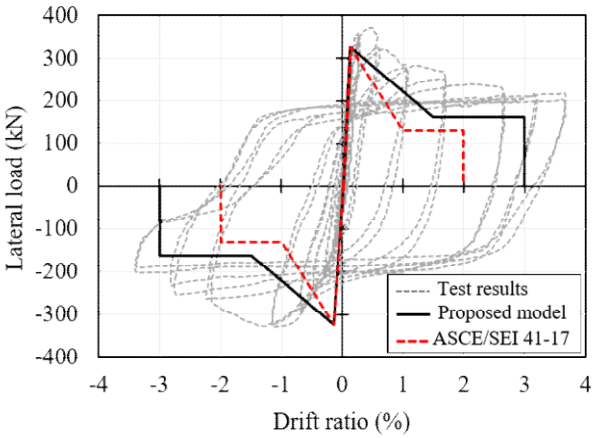
(c) RM-S1 강도 변형 모델식



(d) RM-S1-R 강도 변형 모델식



(e) RM-S2 강도 변형 모델식



(f) RM-S2-T 강도 변형 모델식

<그림 3-30> ASCE 41-17 기반 강도 변형 모델과 실험 결과 비교

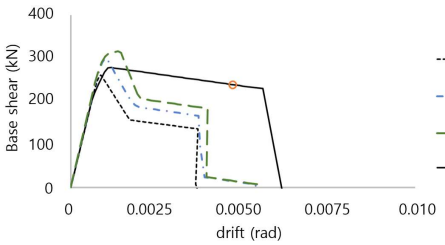
○ 공동연구개발기관(인천대학교 산학협력단)

● 표준적 조적조 건물의 붕괴방지 성능확보를 위한 내진보강 요구성능 도출

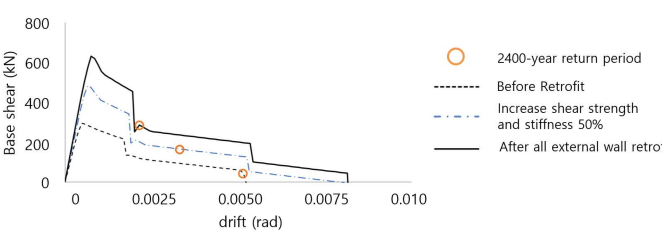
· 총 4가지 조적조 주택 모델에 대한 비선형정적해석을 실시하였고 FEMA 440의 변위계수법으로 성능점을 산정함. 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)의 성능목표 두 가지(1000년 재현주기에 대한 LS수준과 2400년 재현주기에 대한 CP수준)을 모두 만족하지 못함

· 파괴 위치는 주로 1층의 외부 벽체에서 발생하였고, 성능을 만족하지 못하는 주된 파괴 유형은 가로줄눈파괴가 대부분을 차지함

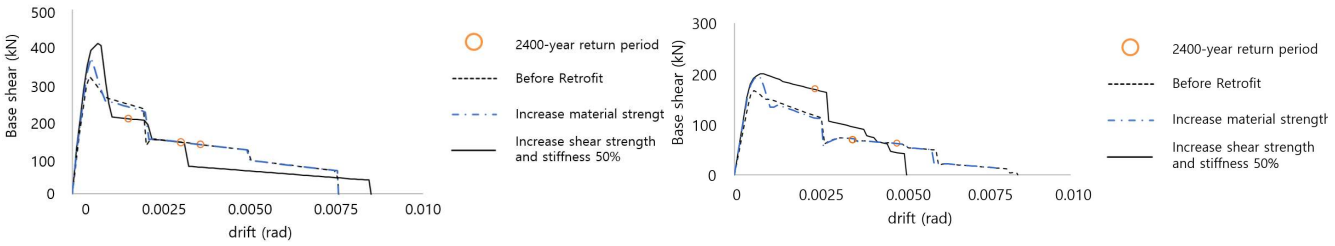
· 내진성능목표를 만족할 수 있도록 보강후 내진성능 평가를 수행함. 보강결과 강도가 증가하거나 손상되는 층이 바뀌면서 전체적인 변형능력이 증가함. 내진성능을 만족하기 위해 요구되는 보강량은 손상이 예상되는 벽체의 강도 및 강성을 50~100% 증가시키는 수준임



(a) model1 Y방향



(b) model2 X방향



(d) model3 Y방향 (f) model4 Y방향

<그림 3-31> 해석모델 별 보강 전 후 Pushover curve (S_4 지반조건)

[표 3-14] 내진성능 만족을 위한 조적조 건물 별 요구보강량

구분	내진성능 만족을 위한 요구보강량
건물 1	외부 전체 벽체에 대해 전단강도 및 강성 100% 증가
건물 2	손상 예측 벽체에 대해 전단강도 및 강성 100% 증가
건물 3	손상 예측 벽체에 대해 전단강도 및 강성 50% 증가
건물 4	손상 예측 벽체에 대해 전단강도 및 강성 50% 증가

● 공인시험 기관을 통한 조적조 일체성향상 공법 소재성능 공인성적서 취득

· 소재성능 실험을 위한 표준적 보강안 도출을 위해 일반적인 조적조 건축물의 시공상태를 모사한 조적조 프리즘을 제작함. 현장 시공 관행을 반영하여 가로줄눈만 시공하고 모르타르의 양은 내력벽(100% 면적)과 치장벽돌(50% 면적)을 달리 적용함

· 프리즘 압축시험 및 전단시험을 통해서 공인성적서 취득용 표준보강안을 선정함

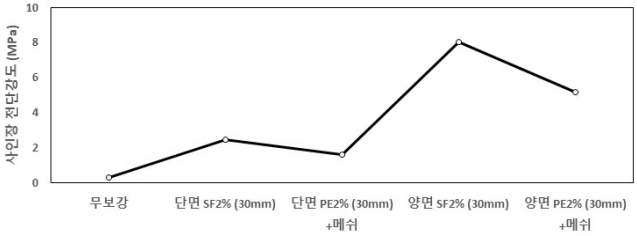


(a) 콘크리트 벽돌 가로줄눈 (b) 점토벽돌 가로줄눈

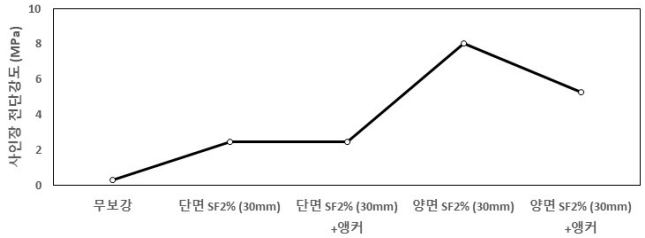
<그림 3-32> 조적프리즘 가로줄눈 시공과정

[표 3-15] 공인성적서 취득을 위한 보강안 도출

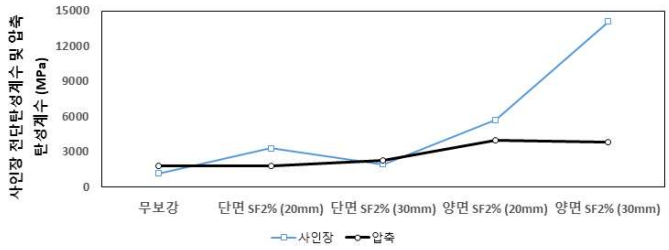
<table>
<tr><th>항목</th><th colspan="2">실험결과</th><th>최종보강안</th></tr>
<tr><td>FRM
배합비</td><td>1차년도 대비 섬유혼입량을 부피비 기준 1.4%에서 2.0%로 증가시킴에 따라 시공성 시험을 통해 배합비 변경(W/C 증가)</td><td> 
<그림> 플로우 테스트</td><td rowspan="4">・0.5B 치장벽
・시멘트:모래 = 1:1
・물시멘트비 = 35%
・부피비 = 2.0%
・비정질 강섬유 30 mm 양면보강
・전단연결재 미적용</td></tr>
<tr><td>섬유종류</td><td>대조군으로 유기계 섬유를 혼입한 모르타르의 인장강도 시험을 추가 수행하여 PE 섬유를 선정. 비정질 강섬유 적용시의 강도가 현저히 우위를 보임.</td><td>  
(a) PE 섬유 (b) SF 섬유
<그림> 모르타르 인장강도 시험</td></tr>
<tr><td>전단연결재</td><td>조적조 프리즘에 4개의 볼트를 설치한 후 FRM 바름을 실시하여 부착강도를 보완. 강도 증진효과는 나타나지 않음.</td><td> 
<그림> 보강철물 시공</td></tr>
<tr><td>바름두께</td><td>사인장전단강도는 두께에 비례하는 특성을 나타내나, 압축강도는 단면 보강시 증가효과가 크지 않음.</td><td>  
(a) SF 2.0% 단면 30mm바름 (a) SF 2.0% 양면 30mm바름
<그림> 사인장전단강도 실험</td></tr>
</table>



<그림> 섬유종류에 따른 사인장 전단강도
(SF:비정질강섬유, PE:폴리에틸렌 섬유)

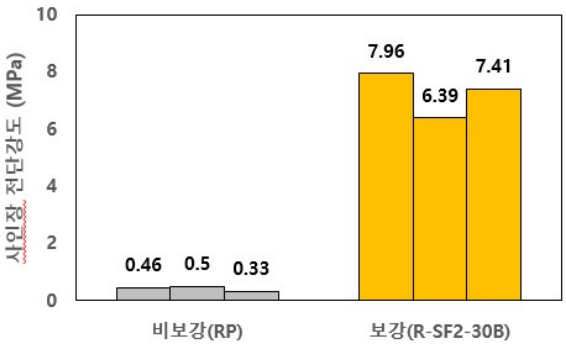


<그림> 앵커유무에 따른 사인장 전단강도
(SF:비정질강섬유)

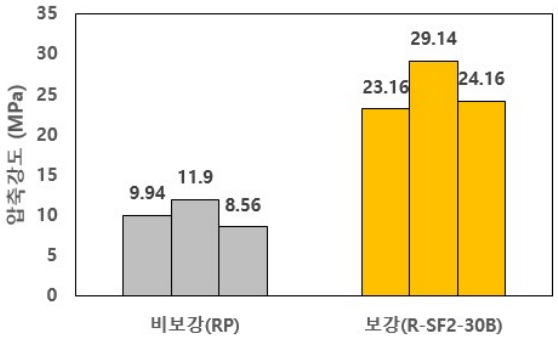


<그림 3-33> 바름두께에 따른 사인장 전단탄성계수 및 압축탄성계수 (SF:비정질강섬유)

· 표준 보강 시험체를 대상으로 ASTM C1314 및 ASTM E519에 따라 압축강도, 사인장전단강도 시험을 수행하여 공인시험성적서를 취득함. 평균 사인장 전단강도 증가율 1587% 및 평균 압축강도 증가율 152%를 획득하여 성과목표를 초과 달성함



(a) 사인장 전단강도



(b) 압축강도



KCT 시험성적서

업 체 명 : 인천대학교 산학협력단 접 수 번 호 : G-201005-01
주 소 : 인천광역시 연수구 송도동 아카데미로 119 인천대학교
시 료 명 : 조적 프리즘 압축 및 사인장 전단 실험
성 적 서 용 도 : 연구과제 성과물
시 료 채 취 장 소 : 인천광역시 연수구 송도동 아카데미로 119 인천대학교
시 험 기 간 : 2020년 08월 27일 ~ 2020년 09월 24일

귀하가 시험·검사를 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험 방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

- 결 과 -

시험종목	단위	시험방법	시험결과	비고
사인장 전단강도(RP-01)	MPa	ASTM E 519	0.47	비보강 조적 프리즘
사인장 전단강도(RP-02)			0.50	
사인장 전단강도(RP-03)			0.33	
압축강도(RP-01)		ASTM C 1314	9.94	• 벽돌 종류 : 중공적벽돌
압축강도(RP-02)			11.91	
압축강도(RP-03)			8.57	

* 공사명 : 노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 및 바름형 FRM 적정기술 개발
* 시료 채취일 : 2020년 08월 27일
* 시료 채취자 : 인천대학교 일반대학원 건축학과 석사과정 명 성 진

- 결 과 -

시험종목	단위	시험방법	시험결과	비고
사인장 전단강도(R-SF2-30B-01)	MPa	ASTM E 519	7.97	보강 조적 프리즘
사인장 전단강도(R-SF2-30B-02)			6.39	
사인장 전단강도(R-SF2-30B-03)			7.41	• 벽돌 종류 : 중공적벽돌 • 보강 방법 : 섬유보강 모르타르 바름 • 모르타르 두께 : 전후면 각각 30mm • 섬유 종류 : 비정질 강섬유 • 섬유 혼입량 : 부피비 2%
압축강도(R-SF2-30B-01)		ASTM C 1314	23.2	
압축강도(R-SF2-30B-02)			29.1	
압축강도(R-SF2-30B-03)			24.2	

* 공사명 : 노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 및 바름형 FRM 적정기술 개발
* 시료 채취일 : 2020년 09월 24일
* 시료 채취자 : 인천대학교 일반대학원 건축학과 석사과정 명 성 진

* 비고
1. 이 시험·검사 결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않습니다.
2. 확인자 및 시험·검사자의 성명과 서명이 없을 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.
3. 본 원과 사전 서면 동의없이 홍보, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

확 인	시 험 자	성 명	서 명	확 인 자	성 명	서 명
		구 성 원			최 원 호	

2020년 10월 15일
한국건설시험원장
전화번호 : 033)920-2771
주 소 : 강원도 강릉시 구정면 칠성로 46
QP-13-06
총 3 페이지 중 1 페이지

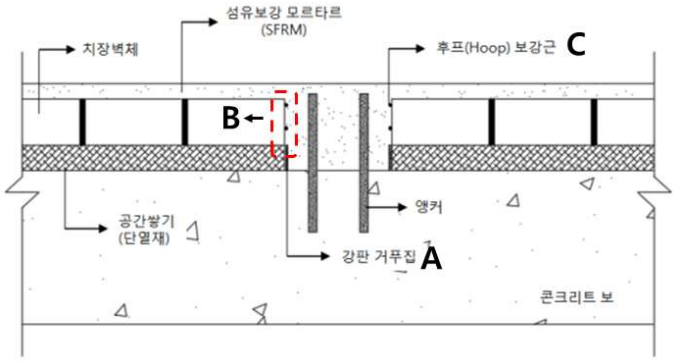
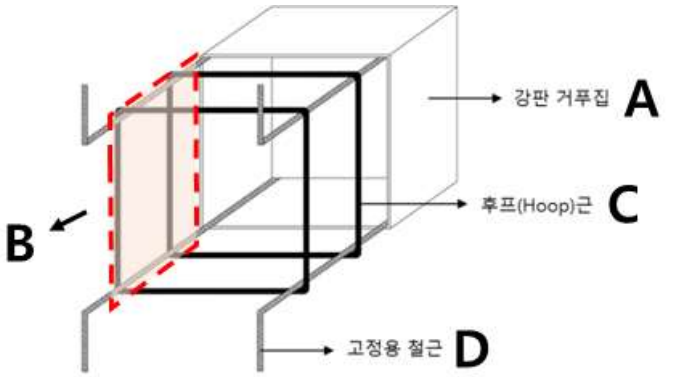
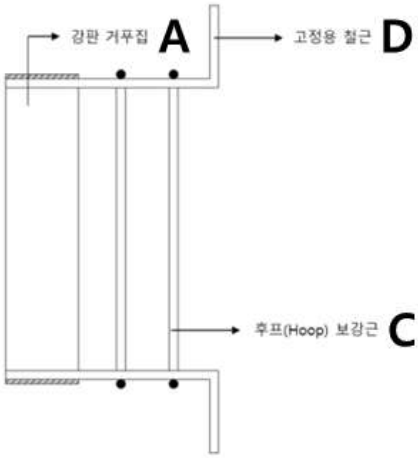
(c) 조적조 일체성향상 공법 공인 성적서

<그림 3-34> 공인성적서 시험체의 강도 증감률

● 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허 출원

(1) 보강된 외부 치장벽체와 내부 콘크리트 보를 연결하여 지진력을 효과적으로 전달할 수 있도록 하는 연결부 상세로서 횡보강 역할을 할수 있는 강재 거푸집을 특허 출원함

[표 3-16] 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 특허출원 정보

<table>
<tr><th colspan="2">특징</th><th>관련 도해</th></tr>
<tr><td colspan="2">섬유보강 모르타르와 이를 관통하는 후설치 앵커를 통하여 구조물에 작용하는 지진력을 보강된 치장벽체에 전달한다.</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>치장벽체와 내력벽 사이의 공간에 섬유보강 모르타르로 연결부를 조성하기 위하여 연결부의 4면을 둘러싸는 강판 거푸집을 제공한다.</td><td>A</td><td rowspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td>연결부가 치장벽체를 관통하는 부분은 거푸집 없이 섬유보강 모르타르가 직접 벽돌과 접촉하여 부착성능을 통해 일체화 되도록 한다.</td><td>B</td></tr>
<tr><td>연결부가 치장벽체를 관통하는 부분에 후프근을 설치하여 앵커의 전단력에 의한 발생하는 섬유보강 모르타르의 쪼개짐파괴를 방지하고 강도 증진을 유발하는 횡구속 효과를 제공한다.</td><td>C</td></tr>
<tr><td>거푸집에 부착되고 치장벽체 외부로 연장되는 갈고리 형태의 고정용 철근이 거푸집의 전도를 방지하며, 정착효과를 통해 연결부와 치장벽체 외부의 모르타르 사이의 접합강도 및 일체성을 향상시킨다.</td><td>D</td><td> 
</td></tr>
</table>

● 보강된 치장조적벽과 기존 횡력저항시스템 간 연결부 구조성능 검증실험

· 콘크리트 보에 시공되는 앵커과 FRM 연결부에 시공되는 앵커의 전단강도를 각각 산정함. 공칭강도 산정결과 보다 현저히 높은 강도가 측정됨

· 섬유 혼입유무의 영향: 1켜제거, 섬유 미혼입 실험체가 53kN이 발생하였고, 1켜제거, 섬유 혼입 실험체는 87k으로 약 60%의 증진률을 보임

· 보강용 거푸집의 적용 유무의 영향: 1켜제거, 섬유 미혼입, 보강용 거푸집 미적용 실험체가 53kN이 발생하였고, 1켜제거, 섬유 미혼입, 보강용 거푸집 적용 실험체는 74kN으로 약 40%의 증진효과를 보임.

· 섬유혼입과 보강거푸집 사용을 통해 벽돌 1켜 치수의 접합부는 143%, 3켜 치수의 접합부는 176% 증진 효과를 확인함

[표 3-17] SFRM 연결부의 예상강도와 실험강도 비교

실험체명	연결부 시공 면적	보강변수		예상 강도 (kN)	실험강도	실험강도/예상강도
		보강 거푸집 유무	섬유 유무			
R-SFRM-1	벽돌 1켜	O	O	41.6	129	3.1
R-URM-1		O	X	23.8	73	3.1
N-SFRM-1		X	O	34.7	87	2.5
N-URM-1		X	X	19.8	53	2.7
R-SFRM-3	벽돌 3켜	O	O	89.2	138	1.5
R-URM-3		O	X	51	84	1.6
N-SFRM-3		X	O	74.3	105	1.4
N-URM-3		X	X	42.5	50	1.2




<그림 3-35> N-URM-3 파괴양상
(쪼개짐파괴)



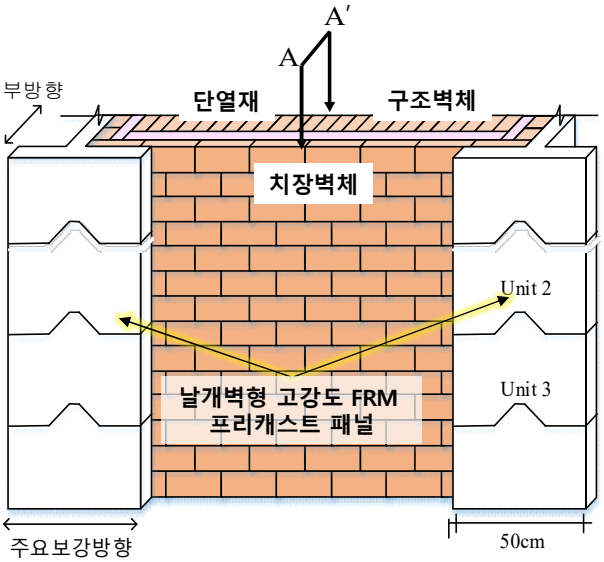

<그림 3-36> N-SFRM-3 파괴양상
(실험체 들림)

○ 공동연구개발기관((주)세진기술)

● 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 특허 추진

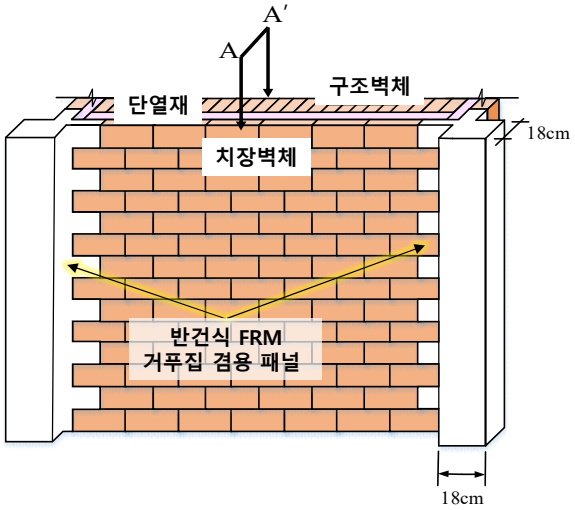
· 조적조 건물의 내진 보강 구조는 조적조 건물의 조적벽 모서리 외측에 수직 방향으로 코너보강부재를 설치함으로써, 저비용으로 거주 상태에서 보강할 수 있어 경제적이고, 우수한 시공성, 공기 단축의 효과는 물론 횡력에 효율적으로 저항 가능한 조적조 건물의 내진보강공법임

· 보강스트립을 이용한 조적조 건물의 내진보강공법은 조적조 건물에서 수직 줄눈과 연통되게 조적벽을 커팅하여 형성되는 수직홈에 보강스트립을 삽입한 후 충전재를 채워 보강함으로써, 기존 건물의 손상을 최소화하여 거주 상태에서 작업이 가능하면서도 횡력에 대한 저항성을 높일 수 있는 조적조 건물의 내진보강공법임





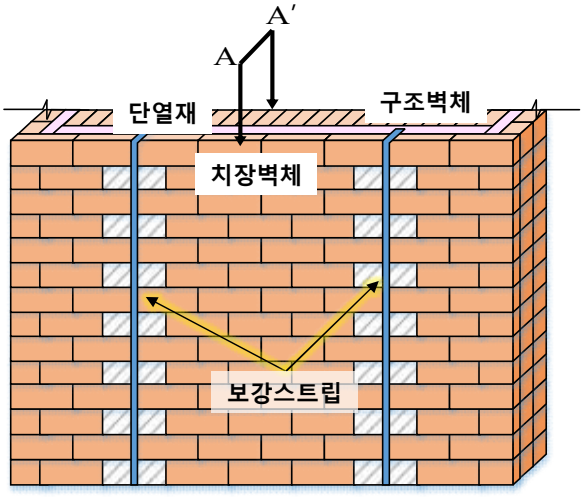
(a) 날개벽형 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법





(b) FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강공법

<그림 3-37> 조적조 건물의 내진 보강 구조





<그림 3-38> 보강스트립을 활용한 조적조 건물의 내진보강공법

관인생략

출원번호통지서

출 원 일 자 2020.10.15
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(P20078)
출 원 번 호 10-2020-0133393 (접수번호 1-1-2020-1090208-39) (DAS접근코드660B)
출원인 명칭 (주) 세진기술(1-2020-060406-1)
대리인 성명 김록배(9-2012-001129-5)
발명자 성명 최경규 박상현 김형균
발명의 명칭 조적조 건물의 내진 보강 구조

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

(a) 조적조 건물의 내진 보강 구조 특허출원 통지서

관인생략

출원번호통지서

출 원 일 자 2020.10.15
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(P20079)
출 원 번 호 10-2020-0133394 (접수번호 1-1-2020-1090209-85) (DAS접근코드546A)
출원인 명칭 (주) 세진기술(1-2020-060406-1)
대리인 성명 김록배(9-2012-001129-5)
발명자 성명 최경규 박상현 김형균
발명의 명칭 보강스트립을 이용한 조적조 건물의 내진 보강 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

(b) 보강스트립을 이용한 조적조 건물의 내진보강공법 특허출원 통지서

<그림 3-39> 특허출원 통지서

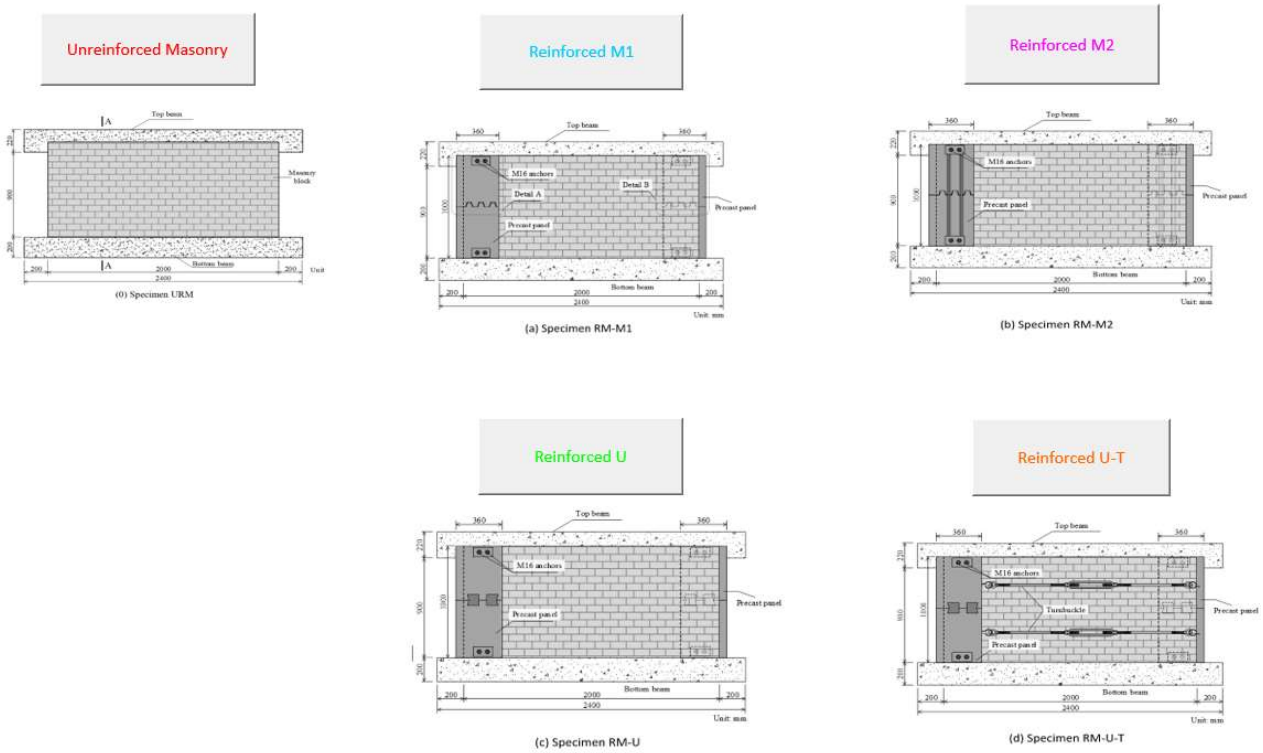
● 전단 보강 설계 프로세스 제안

· 창작명: 노후 조적조 건물 대상 FRM 프리캐스트 패널 내진보강설계용 소프트웨어

· 창작자: 최경규, 박상현, 김승희, 김형균(세진기술)

· 관련 연구과제 명: 노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 및 바름형 FRM 적정 기술 개발

· 본 연구에서는 개발한 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 종류에 따른 조적벽체 보강설계 프로세스를 제안하였으며 내진보강설계용 소프트웨어는 ① 원하는 내진보강공법 선택 후 기존 비보강 조적벽체의 ② 길이, ③ 두께, ④ 높이, ⑤ 조적개체의 압축강도를 입력하면 보강 전, 후의 각 파괴모드별 전단강도 및 해석상의 결과에 따른 응력-변형률 그래프와 ASCE 41-17 설계식에 따른 응력-변형률 그래프가 자동으로 산출되어 나타남



<그림 3-40> 개발 소프트웨어 내 내진보강공법 선택화면


제 C-2021-059013 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	노후 조적조 건물 대상 에프알엠(FRM) 프리캐스트 패널 내진보강설계용 소프트웨어
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>산업용 S/W>CAD/CAM/CAE 용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	숭실대학교 산학협력단 서울특별시 동작구 상도로
4. 생년월일(법인등록번호)	115071-0004435
5. 창작연월일	2021년12월15일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2021년12월28일
8. 등록사항	저작자 : 숭실대학교 산학협력단, 창작 : 2021.12.15, 공표 : 2021.12.15

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

※ 업무상 창작에 참여한 자 최경규(710226),박상현(940115),김승희(960704)

2022년 01월 10일

한국저작권위원회

<그림 3-41> 개발 소프트웨어 저작권등록증

○ 공동연구개발기관((주)한울구조안전기술사사무소)

● 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 특허 출원

· 다음과 같이 시공과정의 벽체 안정성을 고려한 연결부 상세 시공절차를 제안함

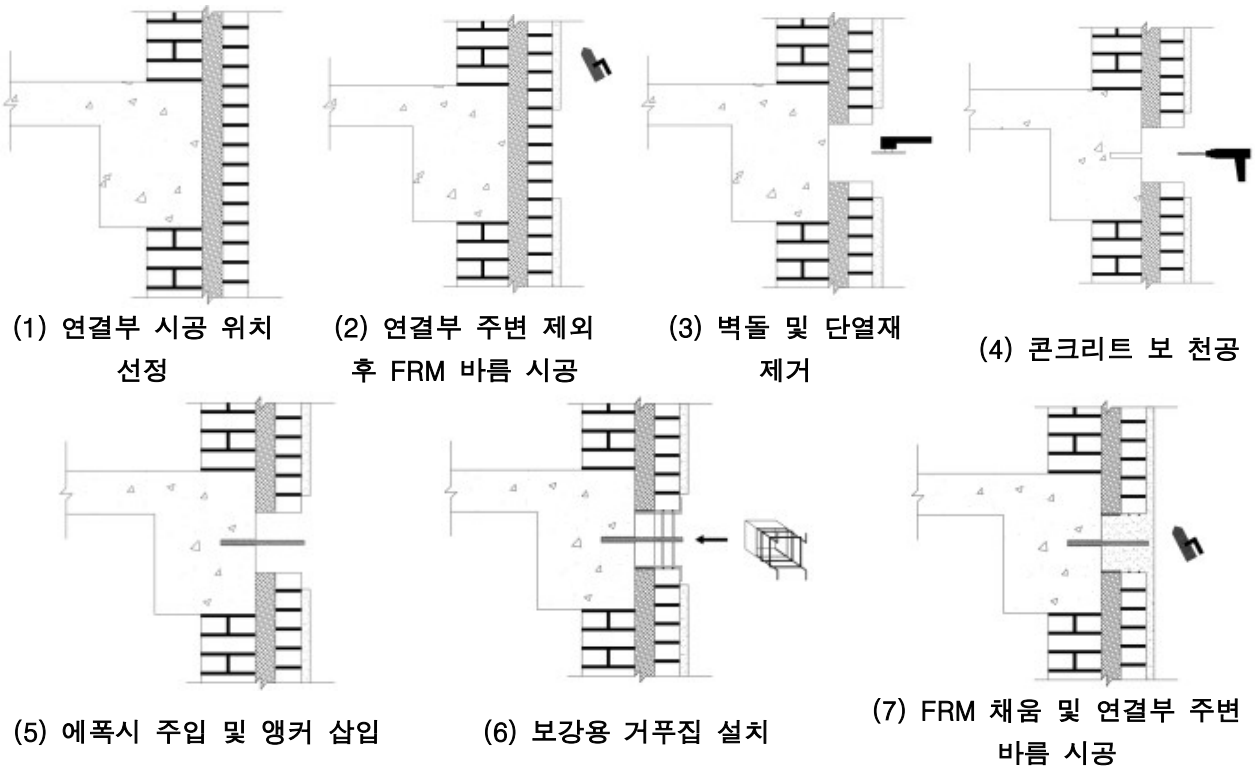
(1) 연결부 주변을 제외한 벽체에 FRM 바름보강 실시를 통해 시공 중 벽체의 탈락 및 손상 방지

(2) 콘크리트 보 위치에 적절한 영역의 조적개체 및 단열재 제거

(3) 노출된 콘크리트 보에 앵커 시공

(4) 제안된 강재 거푸집 설치

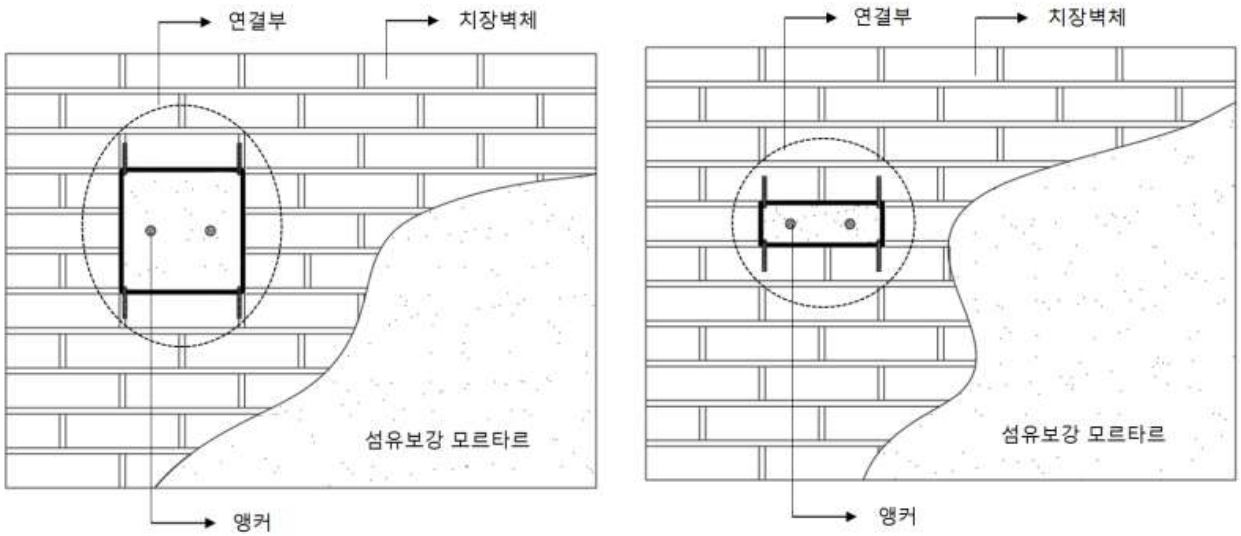
(5) 섬유보강 모르타르 채움 시공 후 연결부 모르타르 바름식 보강 완료



(1) 연결부 시공 위치 선정 (2) 연결부 주변 제외 후 FRM 바름 시공 (3) 벽돌 및 단열재 제거 (4) 콘크리트 보 천공

(5) 에폭시 주입 및 앵커 삽입 (6) 보강용 거푸집 설치 (7) FRM 채움 및 연결부 주변 바름 시공

<그림 3-42> 내진보강공법 연결부 형성 공정도



(a) 조적개체 3개 제거 (b) 필요시 적절한 영역의 조적개체 제거

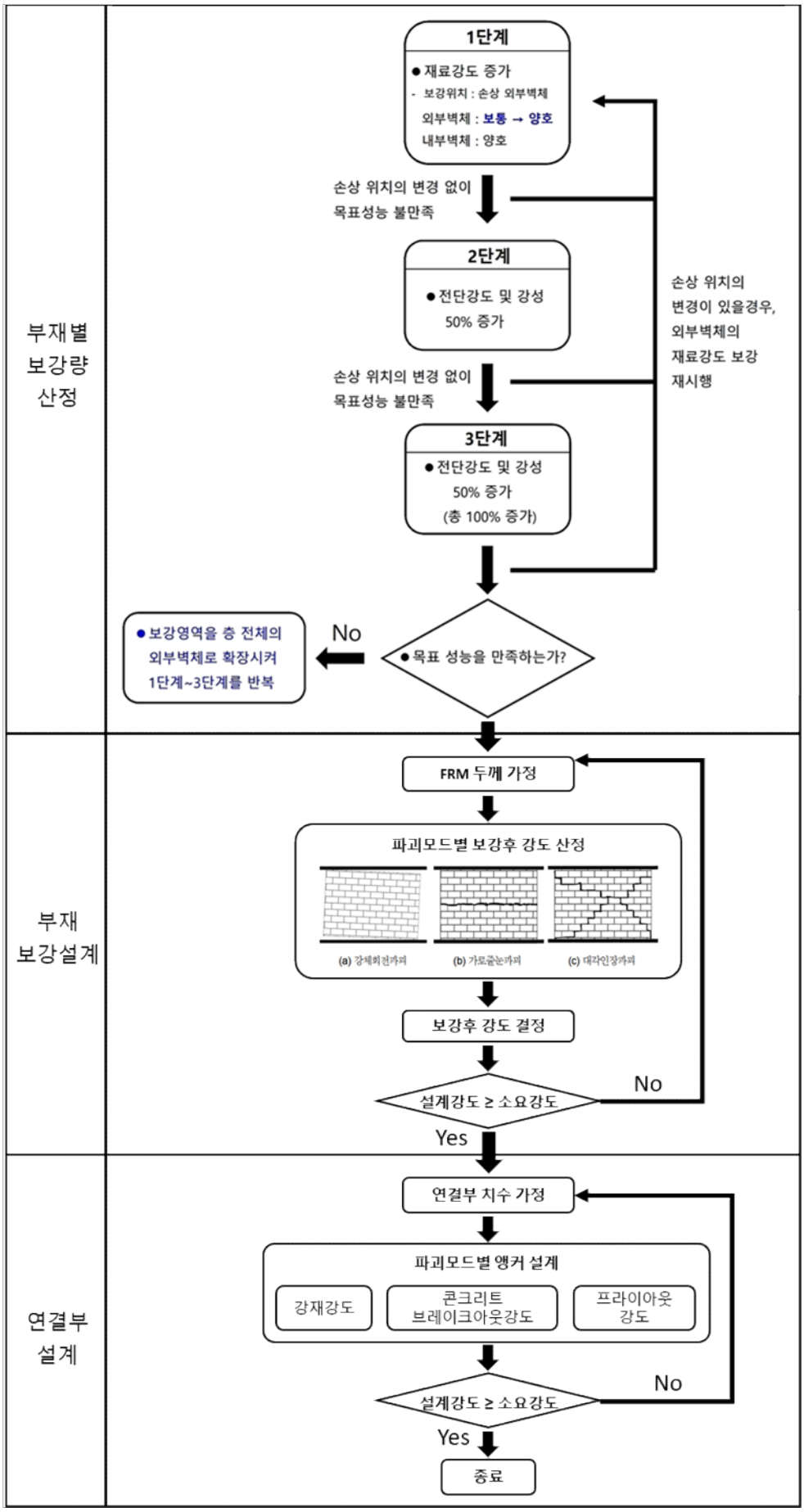
<그림 3-43> 시공면적에 따른 연결부 형성

● 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 설계 프로세스 제안

· 예비설계: 일반 모르타르 마감에 의한 강도증가 효과를 적용하고 부족한 경우 50%씩 강도를 증가시켜 가면서 취약부재를 보강후 성능목표를 만족할 때까지 재해석함

· 부재설계: 부재별 강도증가량을 확보하기 위한 부재설계 수행. 강체회전파괴, 수평줄눈전단파괴, 대각인장파괴를 고려함

· 접합부설계: 부재별 요구강도에 따른 접합부 앵커를 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커설계기준에 따라 설계. 예상되는 콘크리트 파괴면을 고려하여 공칭강도를 산정하였으며, 섬유혼입에 따른 인장강도 증가율 및 보강거푸집의 구속효과를 고려함



<그림 3-44> 고강도 FRM 바름 조적조 일체성향상 내진보강공법 설계 프로세스

3) 3차 연도

○ 주관연구개발기관(숭실대학교 산학협력단)

● FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발 및 보강상세 실효성 검증을 위한 벽체와 패널 간 부착강도 소재성능 실험 진행

· 비보강 조적조의 부착강도를 포함한 소재성능 실험은 강도설계식 제안, 설계 소프트웨어 개발 등 실험 결과 분석을 위하여 선결 수행되었으며 기계획되었던 부착강도 소재성능 실험과 더불어 KS 규준에 따른 벽돌 공칭 압축강도 실험, 줄눈 모르타르 압축강도 실험, 인장강도 실험 등을 함께 수행함. 각 소재성능 실험체는 최소 4개 이상의 실험체를 제작하여 가력하였음

· 실험 결과, 비보강 조적조에 사용된 줄눈 모르타르의 압축강도는 13.7 MPa으로 나타남. 그리고 부착강도는 0.31 MPa으로 비보강 조적조 벽체 전단성능인 0.2 MPa와 유사한 강도를 나타냄

· 조적벽돌의 공칭압축강도는 8.47 MPa으로 시방 규준에서 품질이 양호한 모르타르의 표준인 8.19 MPa와 유사한 강도를 발휘함

[표 3-18] 모르타르-조적벽 부착실험 결과

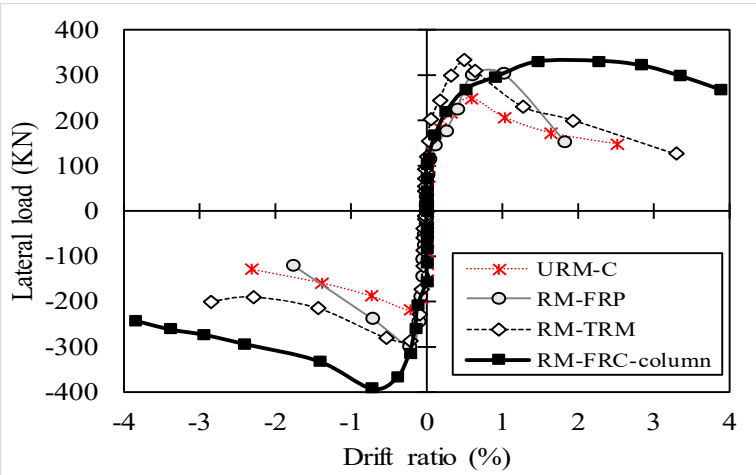
Parameters	No. of test specimens	Mean value (MPa)	Standard deviation
f_{mj} (Compressive strength of the mortar joint)	6	13.67	1.01
f_{vko} (Bond-slip strength of the masonry)	6	0.31	0.11
f_m (Compressive strength of the masonry)	4	8.47	2.77

● FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강공법 구조성능검증 실험 계획(기존 부재 대비 구조성능 100% 개선)

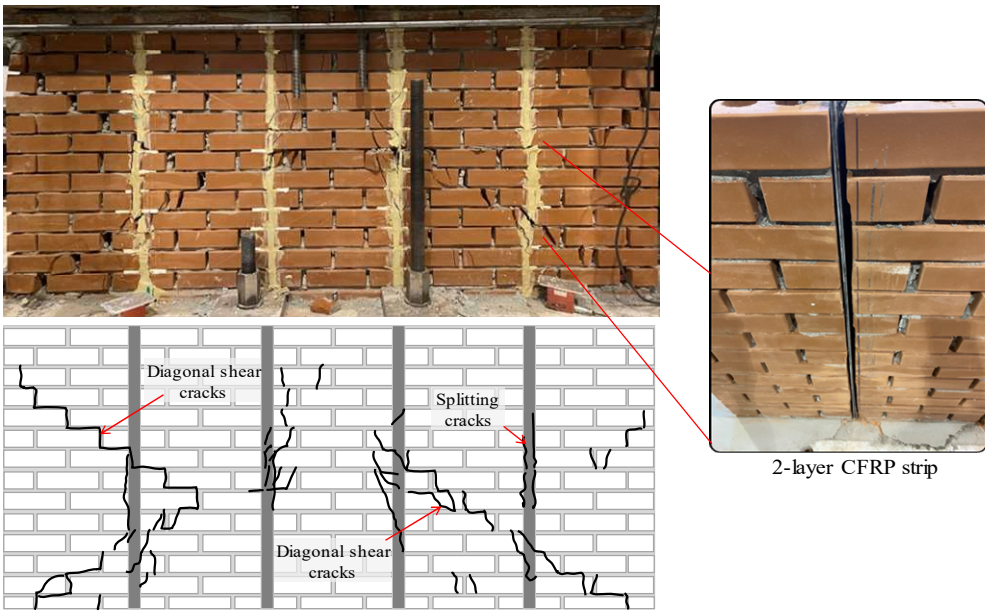
· 주요 실험변수인 ① 보강방법, ② 고강도 FRM PC 패널 연결부 상세 및 조적벽체와 보강 패널의 정착방법 등에 따라 보강 조적조의 예상 강도를 산정하고 목표 구조성능에 부합함을 검토 완료함

· 비보강 실험체의 경우 설계 시 예측되었던 Bed joint sliding failure와 달리, Toe crushing failure로 관측되었으며 항복 강도 도달 이후 하부 벽체와 슬래브 사이 벽돌에서부터 주 균열이 확장되는 형태로 파괴가 발생함

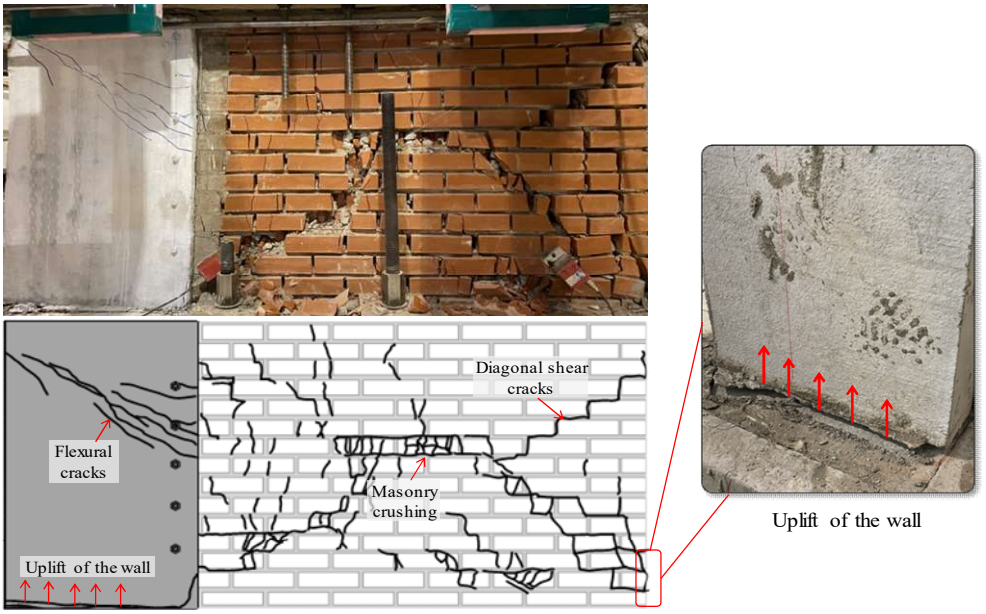
· 보강 실험체 RM-TRM, RM-FRP는 각 보강재의 응력 분담으로 인하여 줄눈 균열 확장을 방지하고 벽체의 내력을 최대치로 활용함으로서 파괴 모드가 Toe crushing failure에서 Diagonal tension failure로 변경된 것으로 분석됨. 또한, 각 보강재가 항복되면서 조적 벽체도 같이 파단되는 형태로 관측됨. 보강 실험체 RM-FRC는 변형능력이 가장 우수한 실험체로, 벽체 양단부의 FRM 기둥 및 전단 철근이 횡하중을 효과적으로 분담하고, 벽체 구속효과를 발생시켜 연성적인 거동을 발휘한 것으로 분석됨. 벽체 표면에 Diagonal tension 균열이 발생하였고, FRM 기둥은 항복하지 않았으나 FRM 기둥과 기초 슬래브 간 정착부가 탈락하면서 연성적으로 파괴되는 형태를 보임



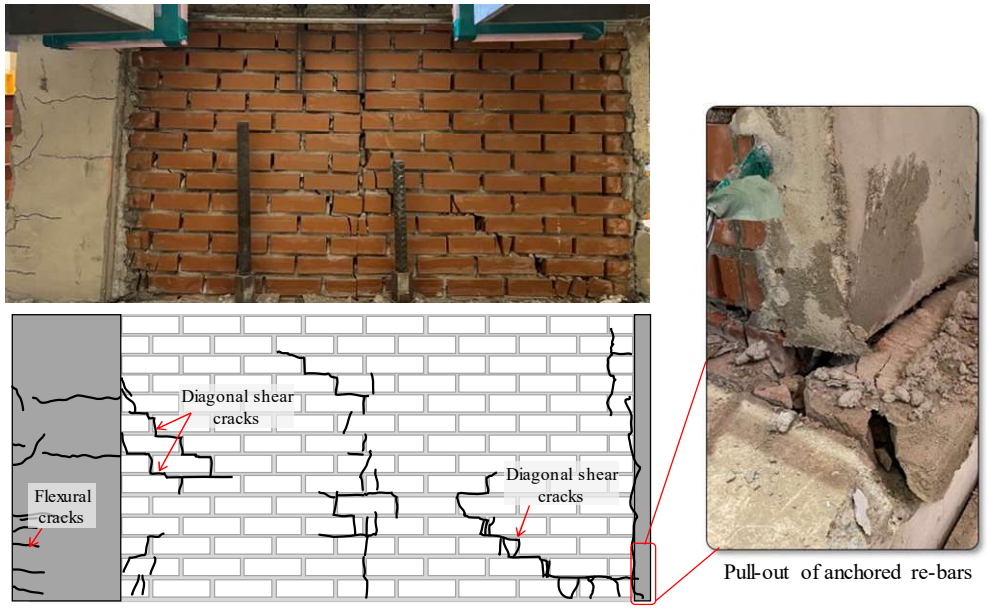
<그림 3-45> 조적벽 실험체 포락 곡선



(a) RM-FRP 파괴모드



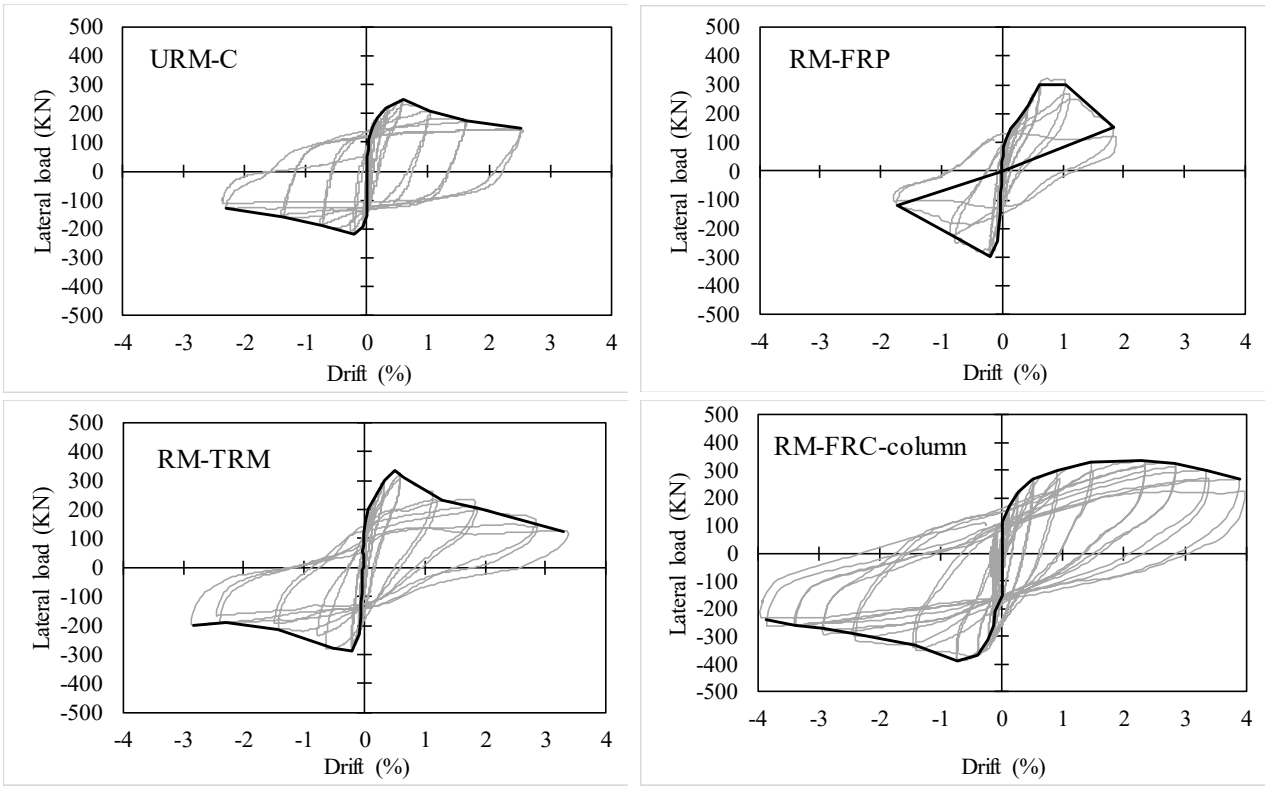
(b) RM-TRM 파괴모드



(c) RM-FRC 파괴모드

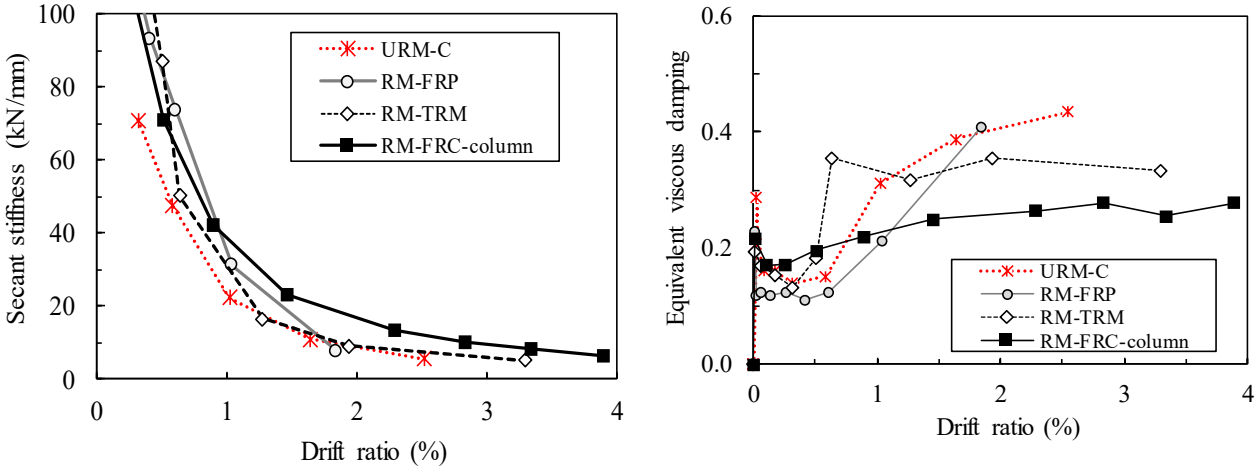
<그림 3-46> 파괴 모드 및 균열 양상 분석

· 항복 강도와 ASCE 기반 각 실험체 파괴모드별 설계 예측 강도를 비교하였을 때, 앞서 제시한 관측 파괴 모드와 부합하는 것으로 판단됨. FRP 실험체를 제외하고는 비보강 실험체 대비 보강 실험체에서 강도, 변형 능력이 향상되었으며 특히 RM-FRC 실험체의 경우 연성적인 파괴 거동을 보이며 변형능력 및 항복 강도가 우수한 것으로 분석됨



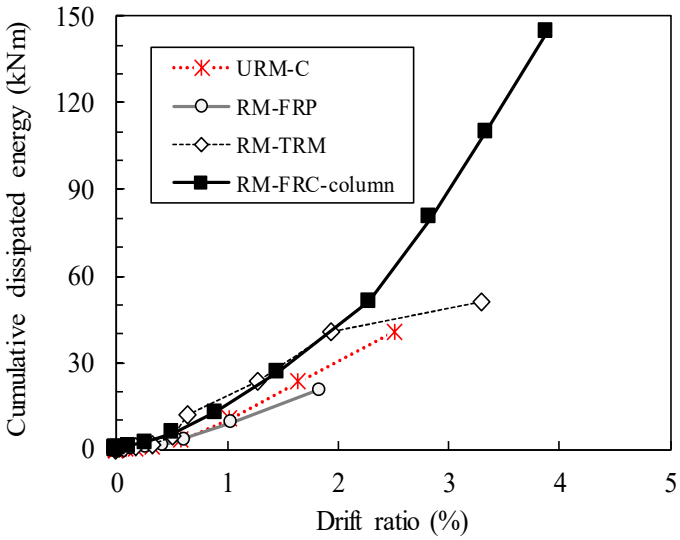
<그림 3-47> 조적벽 실험체 하중-변위 곡선

· 강성 저감 결과는 아래 그림과 같으며, 층간변위비 0.6 % 이후로 비보강 실험체 대비 보강 실험체에서 저감이 완화되는 것으로 분석됨. 보강 실험체 간 강성 저감의 차이는 크지 않음. Damping ratio는 RM-FRC를 제외하고 비보강과 보강 실험체 간 유사한 거동 차이가 크지 않은 것으로 분석됨



<그림 3-48> 강성 저감 & Damping ratio

· 각 실험체의 에너지 소산량은 아래 그림과 같으며 비보강 실험체와 보강 실험체에서의 에너지 소산 차이는 크지 않으나, RM-FRC 실험체의 에너지 소산 능력이 크게 증가함. RM-FRC 실험체는 FRM 기둥 및 전단철근이 벽체 양단부를 효과적으로 구속하고 상당부분 전단 응력을 분담하여 타 실험체 대비 월등히 우수한 에너지 소산 능력을 보이는 것으로 분석됨



<그림 3-49> 에너지 소산 능력

○ 공동연구개발기관(인천대학교 산학협력단)

● 슬래브 노출형 조적식 구조의 연결부 상세 실험(헌치형)

· FRM 연결부에 매설되는 앵커의 예상 전단강도를 콘크리트용 앵커설계기준(KDS 14 20 54)에 따라 산정하고 실험결과와 비교 분석함. 실험체 설계 시 콘크리트 브레이크아웃파괴가 지배적 파괴모드이지만 G-SF0-200-150-150-12-N 실험체를 제외한 모든 실험체에서 강재가 항복 후 파단되면서 실험을 종료함

· 모든 실험체의 실험강도가 공칭 콘크리트 브레이크아웃파괴강도보다 큰 반면에 강재강도보다는 낮게 나타남. 지압에 의해 앵커 구멍 주변이 확장된 후 앵커의 변형에 의해 인장력이 추가로 작용하면서 인장-전단 조합하중에 의해 순수 전단에 의한 강재강도보다 낮은 강도에서 앵커가 파단됨

· 따라서 강도의 여유가 크더라도 콘크리트 브레이크아웃파괴강도로 설계하는 것이 안전측임. 특히 앵커 간격과 연단거리가 증가하는 G-SF2-200-150-200-12-N 실험체의 경우 실험강도(강재 파단)와 콘크리트 브레이크아웃강도가 근접한 결과를 나타냄



<그림 3-50> 실험종료 후 G-SF0-200-150-150-12-N 실험체 (섬유 미혼입)



<그림 3-51> 실험종료 후 G-SF2-200-150-150-12-N 실험체 (섬유혼입)

[표 3-19] FRM 연결부의 예상강도와 실험강도 비교

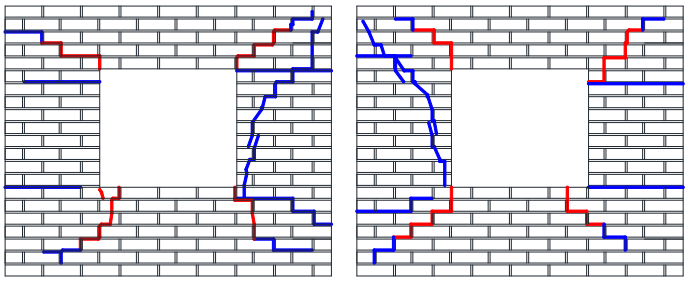
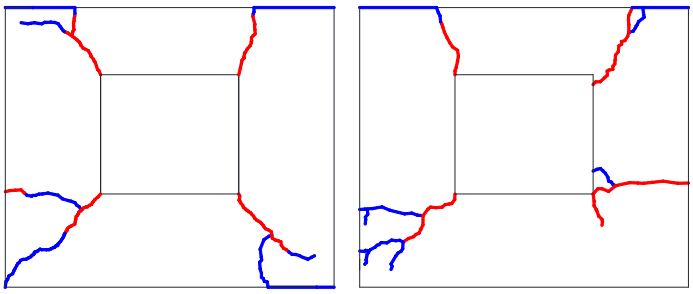
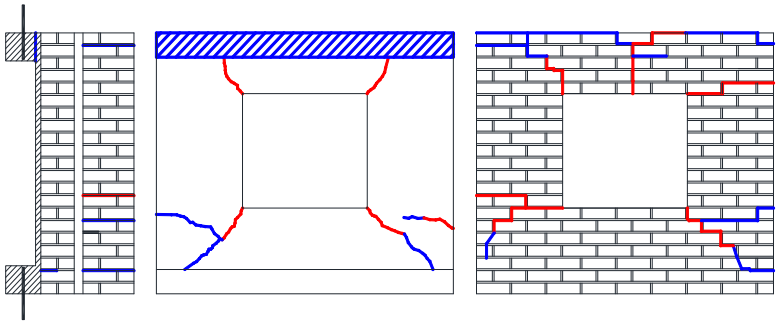
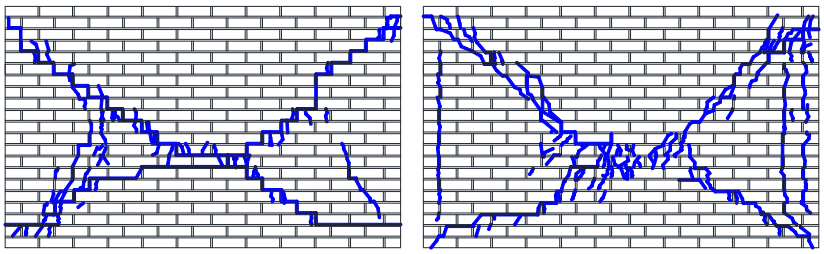
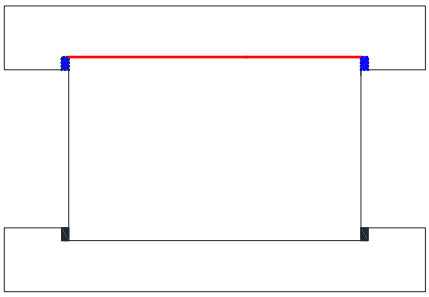
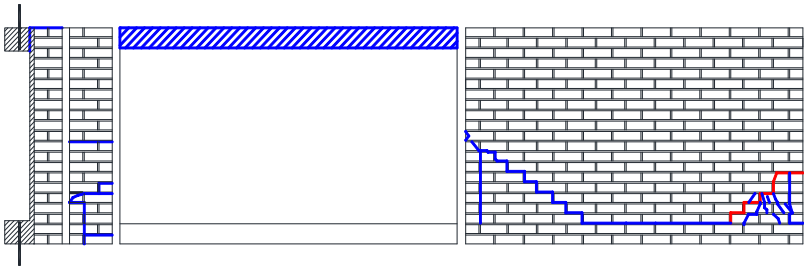
실험체	실험 파괴모드	예상강도 [kN]		실험강도 V_{test} [kN]	$\frac{V_{test}}{V_{cbg}}$	$\frac{V_{test}}{V_{sa}}$	비고
		강재강도 (V_{sa})	콘크리트 브레이크아웃 파괴강도 (V_{cbg})				
단일앵커 (D12)	강재파괴	58.36	16.94	38.69	2.28	0.66	·섬유 미혼입
단일앵커 (D12)	강재파괴	58.36	29.65	32.14	1.08	0.55	·섬유혼입
단일앵커 (D16)	강재파괴	101.09	34.23	84.22	2.46	0.83	·섬유혼입 ·앵커직경 D16
그룹앵커 (D12)	콘크리트브레이크아웃 파괴	175.07	50.82	111.29	2.19	0.64	·섬유 미혼입
그룹앵커 (D12)	강재파괴	175.07	88.94	119.92	1.35	0.68	·섬유혼입
그룹앵커 (D16)	강재파괴	303.28	102.70	200.57	1.95	0.66	·섬유혼입 ·앵커직경 D16
그룹앵커 (D12)	강재파괴	175.07	100.05	123.50	1.23	0.71	·섬유혼입 ·FRM폭 250mm
그룹앵커 (D12)	강재파괴	175.07	67.39	145.52	2.16	0.83	·섬유혼입 ·FRM폭 150mm
그룹앵커 (D12)	강재파괴	175.07	71.69	122.60	1.71	0.70	·섬유혼입 ·FRM높이 100mm
그룹앵커 (D12)	강재파괴	175.07	103.76	115.46	1.11	0.66	·섬유혼입 ·앵커간격 200 mm
그룹앵커 (D12)	강재파괴	175.07	97.83	168.43	1.72	0.96	·섬유혼입 ·거친면처리 ·너트로 헤드형성
그룹앵커 (D12)	강재파괴	175.07	88.94	122.01	1.37	0.70	·섬유혼입 ·거친면처리

● 구조실험을 통해 검증된 조적조 일체성향상 공법 시작품의 보강효과

· 조적조 일체성향상 공법의 내진성능을 검증하기 위하여 개구부로 인해 강체회전파괴(Rocking)가 예상되는 벽체와 수평줄눈파괴(bed-joint sliding)이 예상되는 조적벽체 각각에 대하여 FRM을 직접 바름 시공하거나 또는 병렬로 세워진 치장벽체에 FRM을 보강후 앵커접합부로 연결한 실험체를 설계하여 제작함

· 반복가력실험을 통하여 각 보강실험체의 강도 및 변형능력을 측정한뒤 무보강 실험체와 비교하여 목표 강도 증진율을 검증함

[표 3-20] 실험 결과 정리

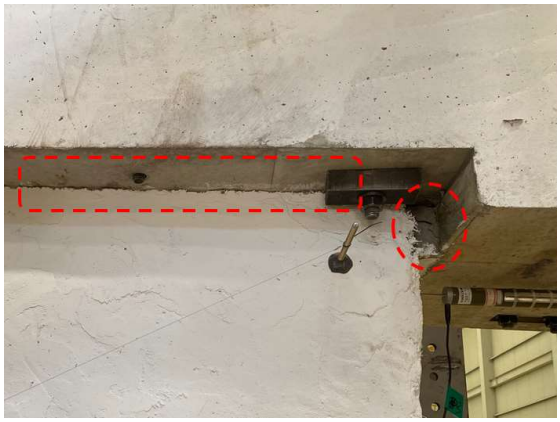
실험체명	실험조건	파괴모드	균열도
URM-R	비보강	Rocking, Diagonal tension	
SFRM-R	FRM 양면 30mm 바름	Rocking	
SFRM-A-R	기존 구조체-FRM 연결부 보강	Rocking	
URM-S	비보강	Sliding	
SFRM-S	FRM 양면 30mm 바름	Sliding	
SFRM-A-S	기존 구조체-FRM 연결부 보강	Sliding	

: 최대강도 이전

: 최대강도 이후

· 6개의 실험체 모두 예상되는 파괴모드를 보였고 Sliding 파괴 유도 실험체 중 SFRM-S (양면 30mm 바름)의 경우 벽체에는 손상이 없으나 FRM층과 기초와의 접촉면에서 균열이 발생하였고, 가력용 보의 전단키와 실험체 사이의 채움재가 파괴되면서 추가적인 Sliding이 발생함

· SFRM-A-S (기존 구조체-FRM 연결부) 의 경우 앵커매립용 FRM 헌치형 연결부와 보강용 FRM층 사이에 계면이 분리되었으며, 이는 시공 과정에서 두 부분 사이에 cold joint가 형성되었기 때문인 것으로 추정되며, 시공과정에서 유의해야할 사항임



<그림 3-52> FRM층-기초 접촉면 Sliding (SFRM-S)



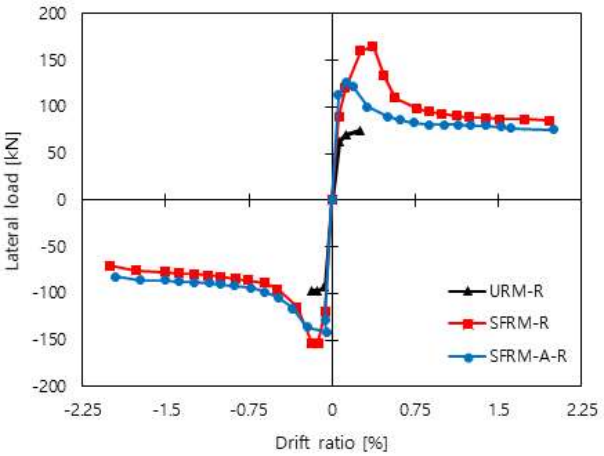
<그림 3-53> 앵커매립용 FRM 헌치-FRM층 분리 (SFRM-A-S)

· 각각의 실험체에는 예상 파괴모드를 유도하기 위해 수직하중이 재하됨. 지그와 상부 거더 하중을 포함하여 Rocking 유도 실험체에는 138.07kN, Bed Joint Sliding 유도 실험체에는 550kN의 하중이 재하됨

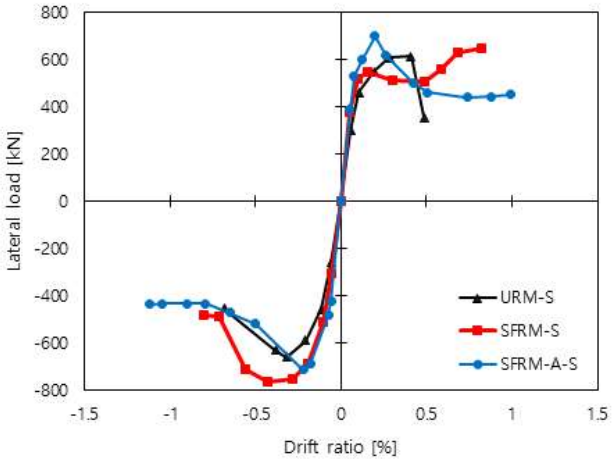
· 조적벽체의 강체회전파괴 강도와 수평줄눈파괴 강도는 모두 중력하중의 영향을 크게 받음. 보강 FRM 층과 치장벽이 상당량의 수직하중을 분담하므로 무보강 실험체와 강도를 비교하기 위해서는 무보강 실험체에 작용하는 수직하중을 보강실험체 내에서의 내력벽 수직하중 분담량으로 치환하여 보강전 강도를 보정해야 함

· 보다 정확한 보강효과를 산정하기 위해 실험체 별 수직하중 분배를 MIDAS GEN을 이용한 탄성해석을 통하여 산정함

· Rocking 파괴 유도 실험체의 경우 최대 250%의 강도증진효과를 보였으며 Bed Joint Sliding 실험체의 경우 최대 51.2%의 강도증진효과를 보였고 이는 목표 강도 증진율인 휨지배형 조적벽의 경우 강도 20%증진, 전단지배형 조적벽의 경우 강도 50%증진을 모두 만족함



(a) Rocking 파괴 유도 실험체 Backbone curve



(b) Bed Joint Sliding 파괴 유도 실험체 Backbone curve

<그림 3-54> 가력 사이클별 전단강도(비보강 조적벽체의 중력하중 분담량을 조정하지 않음)

[표 3-21] 실험체 강도증진 효과

실험체명	실험강도 [kN]		내력벽이 받는 수직하중 [kN]	보정된 비보강 벽체 예상 전단강도 [kN]	증진효과
	V_n^+	V_n^-			
URM-R	74.74	97.29	138.1	-	-
SFRM-R	165.7	154.3	94.3*	47.63	248%
SFRM-A-R	125.9	141.7	79.9*	40.54	250%
URM-S	613.7	660.8	550.0	-	-
SFRM-S	648.7	765.6	375.3*	506.4	51.2%
SFRM-A-S	700.4	712.8	311.7*	474.6	50.2%

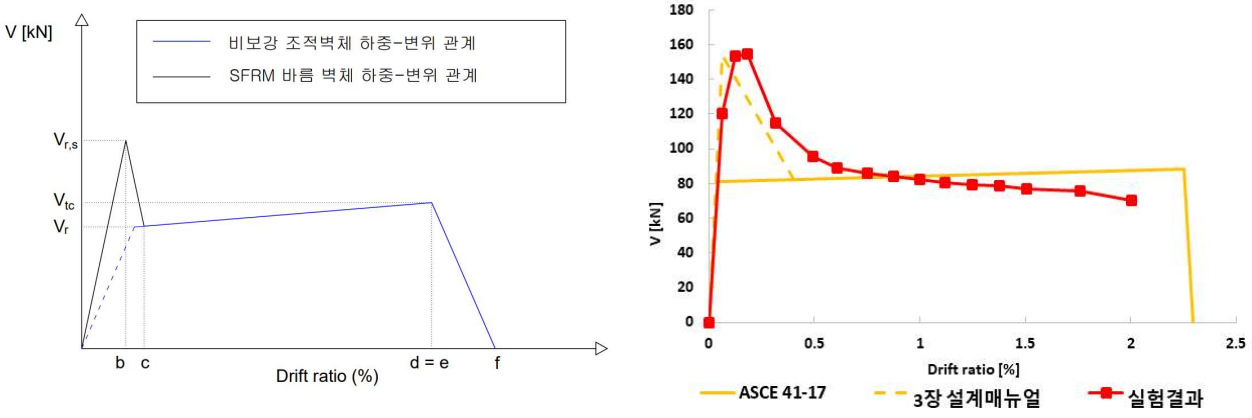
*구조해석에 의한 추정치

● 실험결과에 기초한 비선형 구조해석 모델링 기술 개발

· 무보강 벽체의 모델은 ASCE 41-17에 따르고 여기에 FRM 보강에 의한 강도 및 강성 증가효과를 반영하여 모델을 제시함.

· 강성은 FRM의 탄성계수를 반영하여 병렬 요소의 강성 합으로 표현. 강도는 제안된 설계매뉴얼의 FRM 보강 벽체의 강도산정식에 따름

· 최대강도에서 강도가 저감된 이후의 잔류강도는 무보강시의 잔류강도를 추종함



(a) 비선형 모델의 골격곡선 정의 (b) SFRM-R (부가력)

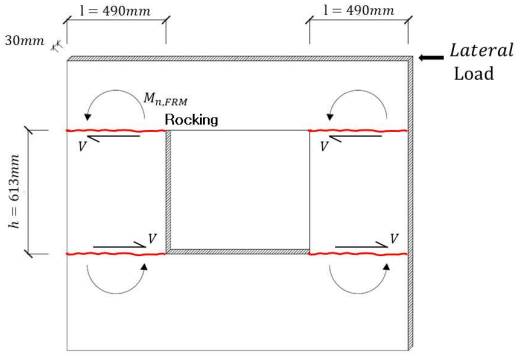
<그림 3-55> FRM 바름식 보강이 적용된 조적벽체의 비선형 모델(강체회전)

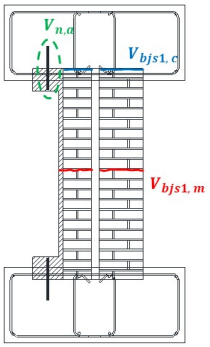
● 조적조 일체성 향상공법 시공 매뉴얼

· 일반사항, 재료, 시공 부분으로 나누어 조적조 일체성 향상공법의 전반적인 시공 방법을 기술함

· 특히 FRM바름의 경우, 1회 바름두께와 부착성능을 위한 거친면처리와 보강철물 시공이 중요하므로 유의하며 시공하여야 함

[표 3-22] 조적조 일체성 향상공법 설계 매뉴얼

<table>
<tr><th>설계 유형</th><th colspan="2">설계식</th></tr>
<tr><td>Rocking
($V_{r,FRM}$)</td><td>$V_{r,FRM} = \frac{2M_{n,FRM}}{h} \times 2$
· $M_{n,FRM}$: 보강 FRM층 면내 휨모멘트 강도 [kN·m]
· h : 벽체높이 [mm]
$M_{n,FRM} = \left(f_{b,FRM} + \frac{P_D}{A_{FRM}}\right) \times S_m$
· λ : 경량콘크리트 계수
· S_m : Rocking 발생 벽체(pier)의 단면계수 [mm³]
· P_D : 조적벽이 받는 수직하중 [kN]
· A_{FRM} : FRM 단면적</td><td> 

Rockimg ($V_{r,FRM}$) 설계 개념도</td></tr>
<tr><td>Sliding
($V_{bjs1,FRM}$)</td><td colspan="2">$V_{bjs1,FRM} = v_{me} A_n$
· $V_{bjs1,FRM}$: 가로줄눈파괴에 의한 전단강도 [kN]
· v_{me} : 줄눈전단강도 [MPa] $= \frac{0.75\left(f_{spe} + \frac{P_D}{A_n}\right)}{1.5}$
· f_{spe} : 조적 프리즘의 사인장 전단강도 [MPa]
· P_D : 벽체 상부에 작용하는 축하중 [kN]
· A_n: 벽체 면적 [mm²]
– FRM 바름 보강한 조적 프리즘의 사인장 전단강도 f_{spe}는 다음의 식을 따름
$S_{m+FRM} = S_m + n0.71\frac{b}{t}\tau_{aver}$
· S_{m+FRM}은 보강 실험체의 사인장전단강도[MPa]
· S_m : 비보강 프리즘의 사인장응력 [MPa]
· n : 부착면의 수
· t : 조적프리즘의 두께 [mm]
· b : 조적프리즘의 폭 [mm]
– 단, 다음의 상한식을 따른다.
$S_{m+FRM} = S_m + \frac{f_{t,FRM} A_{FRM}}{A_m}$
· S_{m+FRM} : 보강 실험체의 사인장전단강도 [MPa]
· $f_{t,FRM}$: 재료실험에 의한 FRM의 인장강도 [MPa]
· A_{FRM} : FRM 보강면적 [mm²]</td></tr>
<tr><td>앵커
접합부
($V_{n,a}$)</td><td colspan="2">$V_{n,a}$=min{ V_{sa}(강재강도), V_{cbg}(콘크리트브레이크아웃파괴강도), V_{cpg}(프라이아웃파괴강도)}
· $V_{n,a}$ 는 KDS 14 20 54 콘크리트용앵커설계기준을 따름.
단, FRM에 매설되는 부분 설계 시 인장강도와 비례하는 $\sqrt{f_{ck}}$를 섬유 보강효과를 고려하여 다음의 수정계수를 사용함.
· ψ_{FRM} : 섬유 보강효과에 대한 수정계수 (=1.75)</td></tr>
<tr><td>기존구조체
–FRM
연결부</td><td>· 다음의 식 중 최솟값을 사용함
min [앵커전단강도($V_{n,a}$)+접촉면 Bed Joint Sliding 강도($V_{bjs1,c}$), 중앙부분 Bed Joint Sliding 강도($V_{bjs1,m}$)
· 앵커전단강도 : 앵커접합부 설계식에 따름
· 접촉면 Bed Joint Sliding 강도, 중앙부분 Bed Joint Sliding 강도 : Sliding ($V_{bjs1,FRM}$) 설계식에 따름</td><td> 

기존 구조체–FRM 연결부 설계 개념도</td></tr>
</table>

○ 공동연구개발기관((주)세진기술)

● 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법을 적용한 조적벽체 제품 개발/설계·시공 매뉴얼(안) 및 보강 설계 예제 작성

· 고강도 FRM 프리캐스트 패널 공법 및 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법 적용한 조적벽체 설계·시공 매뉴얼(안)을 제시함

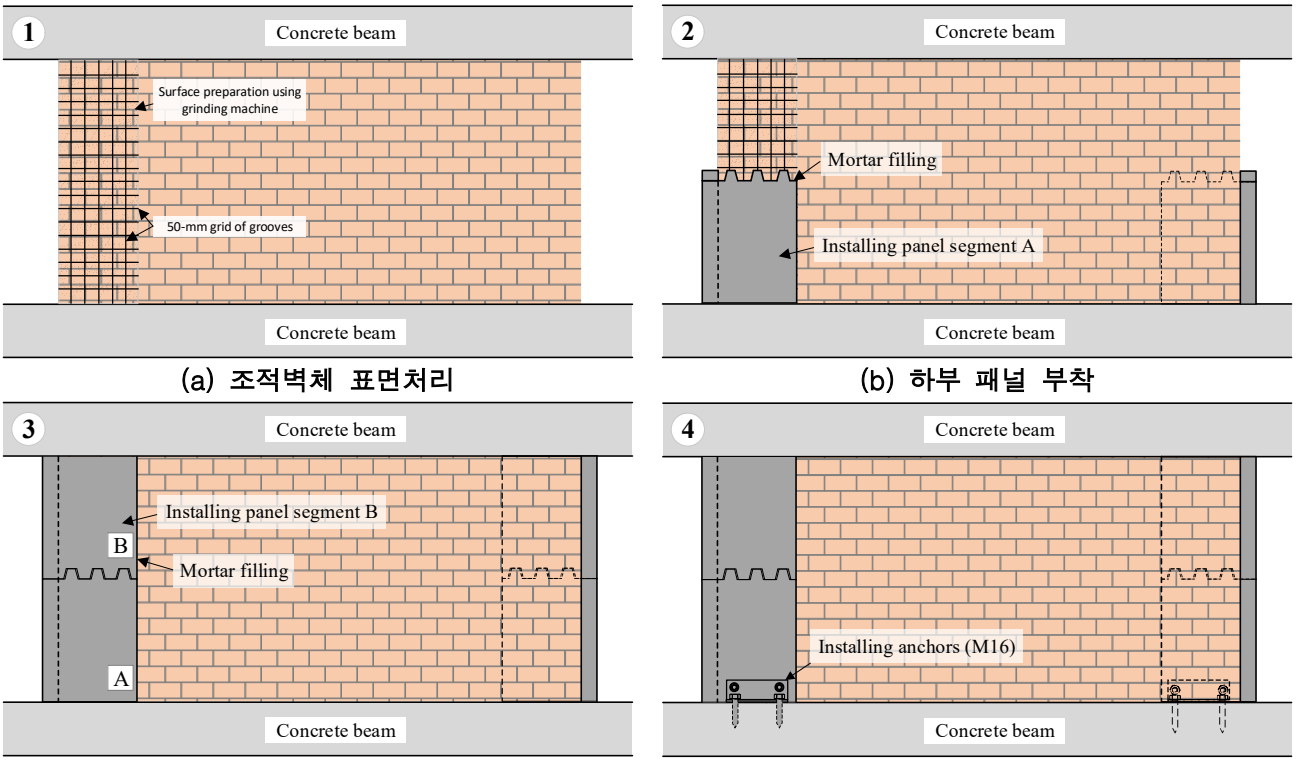
(1) 고강도 FRM 프리캐스트 패널을 적용한 조적벽체 설계·시공 매뉴얼(안)

① 고강도 FRM 프리캐스트 패널을 부착할 조적벽체 양단부에 부착성을 위한 표면처리를 진행

② 표면처리된 부위에 모르타르를 바른 후, 하부 패널(Segment A)를 부착

③ 표면처리된 부위에 모르타르를 바른 후, 상부 패널(Segment B)를 부착

④ 조적벽체와의 일체화를 위하여 패널과 하부 거더 L-plate를 활용한 Anchoring 진행



(a) 조적벽체 표면처리 (b) 하부 패널 부착

(c) 상부 패널 부착 (d) 앵커 시공

<그림 3-56> 고강도 FRM 프리캐스트 패널을 적용한 조적벽체 설계·시공 매뉴얼(안)

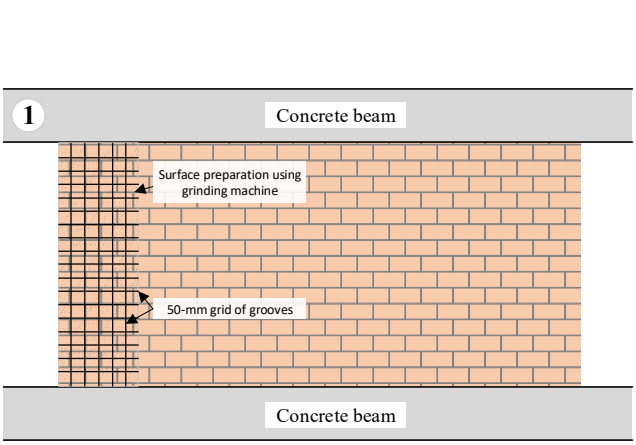
(2) 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널을 적용한 조적벽체 설계·시공 매뉴얼(안)

① 고강도 FRM 프리캐스트 패널을 부착할 조적벽체 양단부에 부착성을 위한 표면처리를 진행

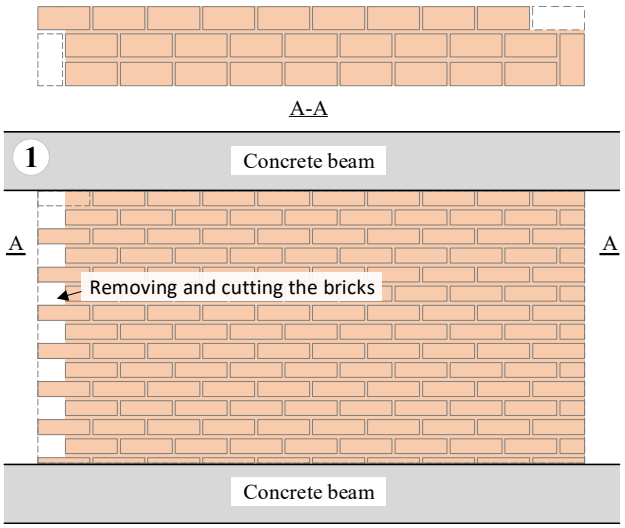
② 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널을 타설할 조적벽체 양단부에 조적개체 제거

③ 조적개체 제거한 자리(조적벽체 양단부)에 L 형태의 보강 철근 설치

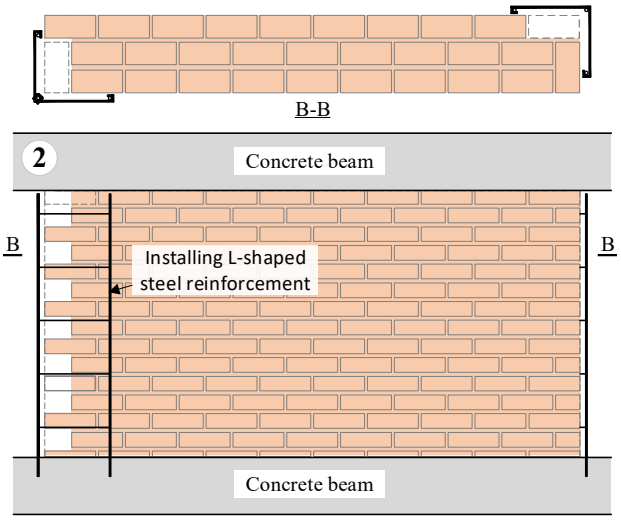
④ 거푸집 설치 및 고강도 FRM 타설



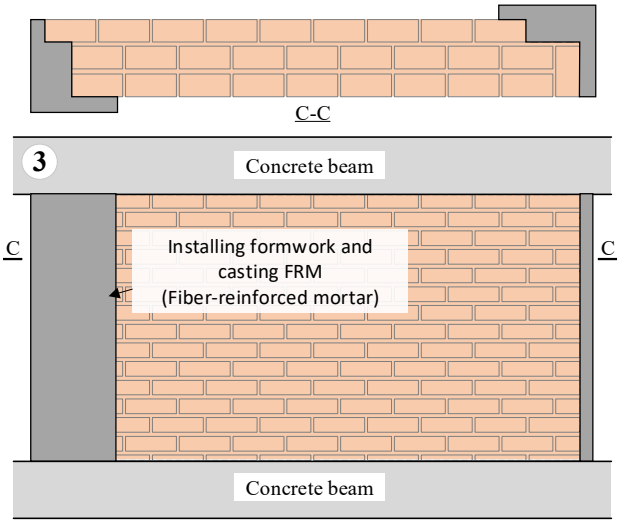
(a) 조적벽체 표면처리



(b) 조적개체 제거



(c) 보강 철근 설치

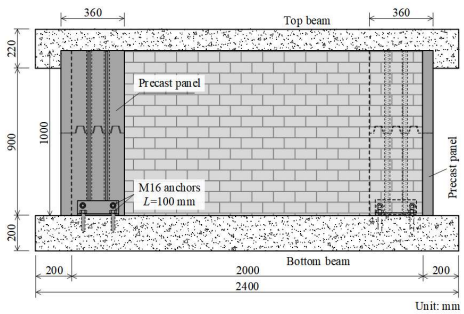


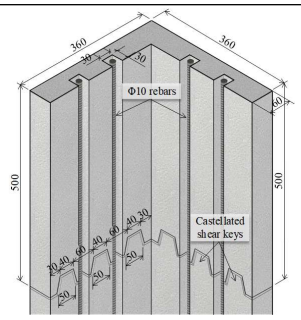
(d) 고강도 FRM 타설

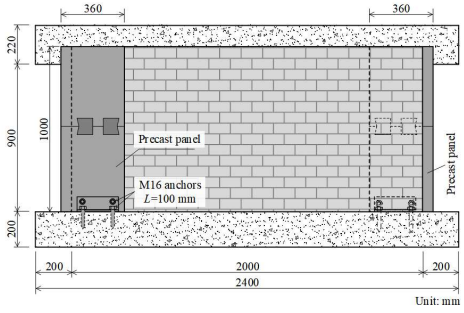
<그림 3-57> 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널을 적용한 조적벽체 설계·시공 매뉴얼(안)

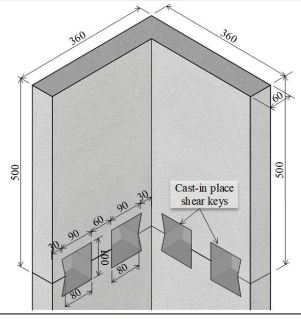
· 프리캐스트 패널을 적용한 조적조 보강공법 설계 매뉴얼

[표 3-23] 건식 패널을 적용한 보강공법 설계 매뉴얼 (SM-S1-R,SM-S2)

설계 유형	설계식	
V_{yr}	$V_{yr} = V_p + V_d + V_s$ • V_s : The shear contribution of embedded steel rebars = $N_r \times a_0 \times D_b^2 \times \sqrt{f_c \times f_y} \times 10^{-3}$ • f_y : The yield strength of the rebar = 490.6 • f_c : Compressive strength of FRCC = 31.6 • D_b : The diameter of the rebar = 10 • a_0 : The dowel bar coefficient suggested = 1.0 • N_r : The number of transverse reinforcing bars = 2 • The same as 3.1 part	 SM-S1-R 상세 도면

<table>
<tr><td></td><td></td><td> 

SM-S1-R 패널 상세 도면</td></tr>
<tr><td rowspan="2">V_{yr}</td><td rowspan="2">$V_{yr} = V_p + V_d$
• V_p : the shear contribution of precast panels = $\frac{F_t \times t \times b_p}{\tan c} \times 10^{-3}$ [kN]
• F_t : Tensile strength of FRCC used in precast panel = 0.34
• c : 1.05 rad (60 degree) was adopted in the model = 1.05
• b_p : 0.8-time actual width of the panel
• V_d : Lower-bound shear strength based on Diaonal Tension Stress
= $F_{dt} \times A_n \times b \times \sqrt{1 + \frac{F_a}{F_{dt}}} \times 10^{-3}$ [kN]
• F_{dt} : Lower-bound masonry diagonal tension strength = $0.75 \times \frac{0.75F_{vk} + F_a}{1.5}$ [MPa]
• F_{vk} : $F_{vk0} + 0.4F_a$ ($F_{vk0} = 0.31$) from Standard</td><td> 

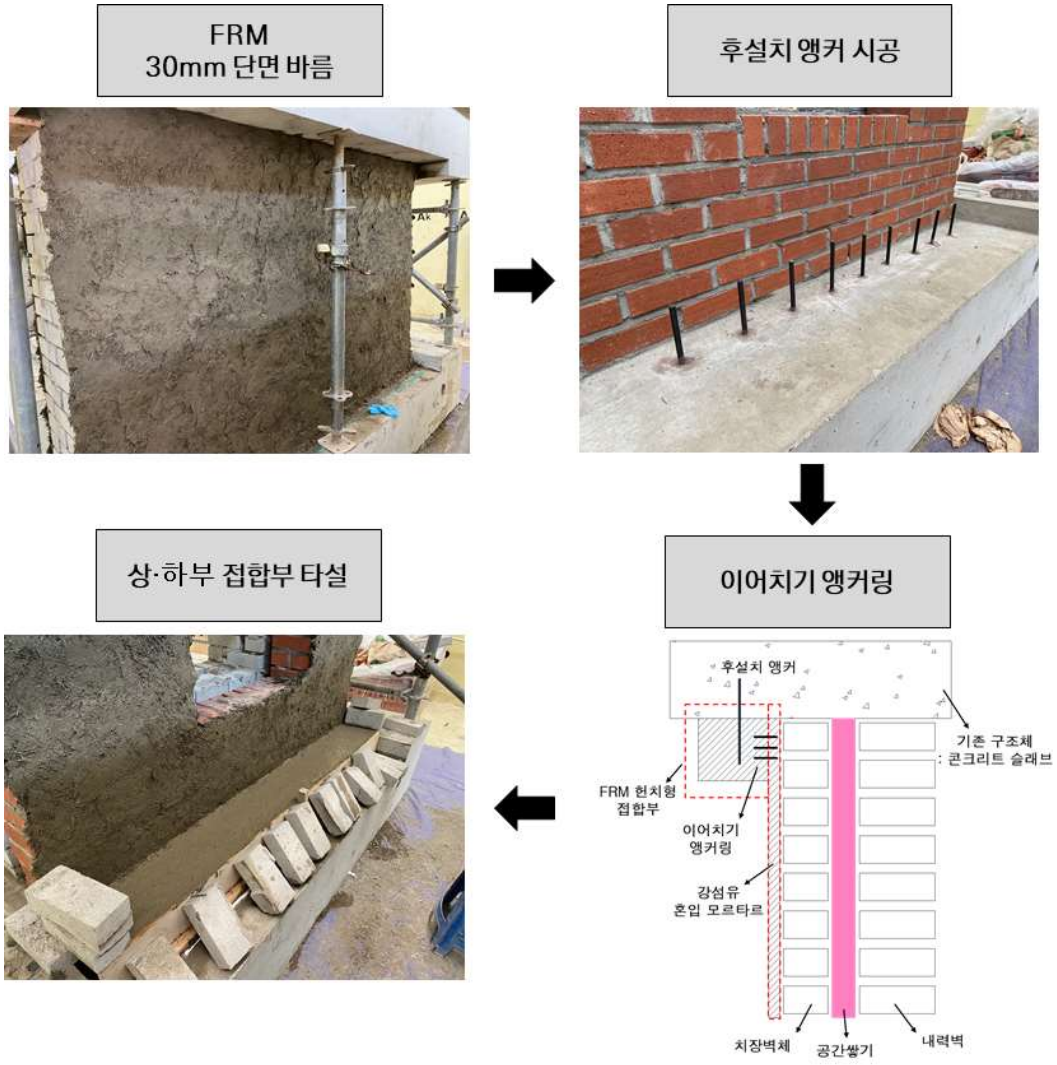
RM-S2 실험체 상세 도면</td></tr>
<tr><td> 

SM-S2 패널 상세 도면</td></tr>
<tr><td>V_u</td><td colspan="2">$V_u = (a \times P_d + 0.5 \times P_w) \times \frac{L}{h} \times \left(1 - \frac{F_a}{0.7 \times F_m}\right)$
-When $\frac{L}{h} > 1$, the coefficient : b=1
• a : 0.5 from Standard
• P_w : Self-weight of the wall pier = $(t \times h \times L \times 10^{-9} \times 20) + T_w \times Z_w$ [N]
• Z_w : $(Upper plate + Zig + Hinge + Oil jack + Oil plate) \times 0.01$ [kN]
○ $Upper plate = 7850 \times (1.8 \times 0.685 \times 0.015 + 1.8 \times 0.12 \times 0.015)$
○ $Zig = 7850 \times (0.4 \times 0.455 \times 0.025 \times 2 + 0.22 \times 0.03 \times 0.455 \times 3)$
○ $Hinge = 7850 \times 0.23 \times 0.415 \times 0.3$
○ $Oil jack = 7850 \times 0.5 \times \pi \times \frac{0.18^2}{4}$
○ $Oil plate = 7850 \times 1.5 \times 0.02 \times 0.3$
• T_w : Top beam weight = $((2.11 \times 0.12 \times 0.455) + (2 \times 0.145 \times 0.1 \times 0.455)) \times 2.6 \times 9.8$
• P_d : Superimposed dead load at the top of the wall under consideration
= $F_a \times t \times L \times 10^{-3}$ [N]
• F_a : Axial compression stress caused by gravity loads = $\frac{A_l}{100} \times F_m$ [MPa]
• A_l : 4.32 (%) from Standard
• A_n : Masonry cross section = $t \times L$ [㎟]
• t : Thickness
• L : Length
• h : Height
• F_m : compressive strength of each block</td></tr>
</table>

○ **공동연구개발기관((주)한울구조안전기술사사무소)**

● 연결부 상세를 포함하여 고강도 FRM 바름 일체성향상 공법을 적용한 벽체 시작품 개발

· 기존구조체-FRM 연결부 상세 시공절차를 제시하여 시작품 제작에 반영함



<그림 3-58> 시작품 제작 흐름도

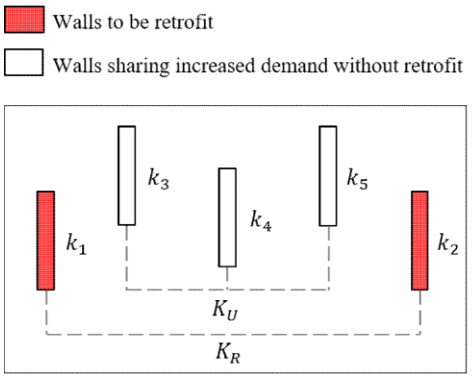
● 조적조 일체성향상 공법 내진보강설계 프로그램 및 설계 가이드

· 내진보강후 강성을 사전에 고려한 지진하중 재분배에 기초한 내진보강설계 방법을 제시함. 기존 비보강 부재의 여유강도를 활용함으로써 보강대상 부재의 보강량을 절감

· 비선형해석에 기초한 내진성능평가 및 약산식 예비평가에 모두 적용가능하며 지진하중 재분배 방법을 적용한 설계 예제를 통해 제안된 방법의 경제성을 확인함

· 개발된 설계 지침과 예제를 국내학술지에 게재하여 적정성을 검증받음

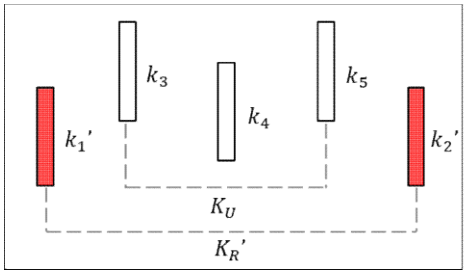
· 구조해석이 불필요한 약산식 예비평가(시설안전공단, 2019)에 따른 내진성능평가 및 보강설계 전산 프로그램을 개발하여 저작권위원회에 등록 완료함. 개발된 프로그램은 엑셀(Excel) 형태의 입력파일로부터 수행된 내진성능 평가 및 보강결과를 엑셀 형태의 파일로 출력하며, 신속한 평가와 보강설계에 적합함



$$V_{ni}' = V_{ni} + \frac{k_i}{K_R}\Delta V_d$$

보강대상 벽체의 보강전 강성 합: $K_R = \sum_{j=1}^{N_R} k_j$

(a) 보강전 강성에 기초한 보강량 분배

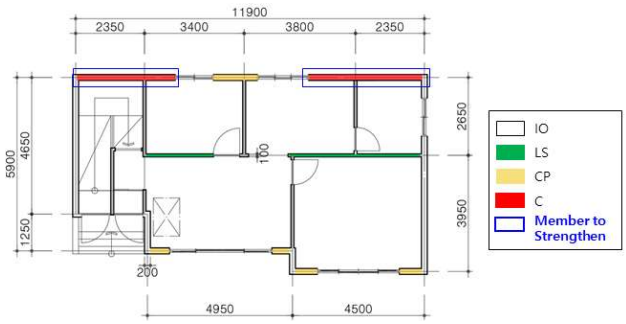


$$\sum_{j=1}^{N_R} V_{nj}' = \gamma(V_d + \Delta V_d) - \left(\frac{K_U}{\beta K_R}\right)\sum_{j=1}^{N_R} V_{nj}$$

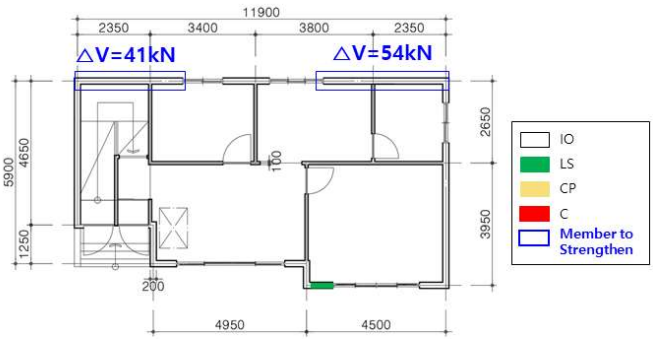
비보강대상 벽체 강성 합: $K_U = \sum_{j=N_R+1}^{N} k_j$

(b) 보강후 강성에 기초한 보강량 분배

<그림 3-59> 벽체의 보강 전후 예상 강성에 기초한 보강량 분배



(a) 보강전 벽체손상 분포(1층)



(b) 보강량 및 보강후 벽체손상 분포(1층)

<그림 3-60> 2층 조적조 주택의 내진보강 전후 성능평가 결과

	A	B	C
1	유효지반가속도(KDS 41 17), S(g)	0.22	
2	단주기지반증폭계수(KDS 41 17), Fa	1.36	
3	조적조 설계기준압축강도(국토안전관리원), f'm (Mpa)	8.06	
4	보강설계방법 ikr (=0: 보강부재에 분배, =1: 전체부재에 분배	0	
5	보강후강성/보강후강도 비율, beta	1.00	
6	높이에 따른 가속도분포지수(국토안전관리원), k	1	
7	건물 층수	2	
8	층번호(1층부터)	1	2
9	면적 (m^2)	71.40	60.17
10	층높이 (m)	3.25	6.25
11	단위면적당 중량 (kN/m^2)	9.81	7.14
12	비정형계수(국토안전관리원)	1.8	2
13	부재의 보강대상 여부 판정을 위한 DCR 하한치, X방향	1.2	1.2
14	부재의 보강대상 여부 판정을 위한 DCR 하한치, Y방향	1.2	1.2

(a) 일반정보 입력

	A	B	C
1	층번호	1	2
2	보강전 층별 DCR, X방향	2.234372	4.283768
3	보강전 층별 DCR, Y방향	1.351541	2.415468
4	보강후 층별 DCR, X방향	1	1
5	보강후 층별 DCR, Y방향	1	1
6	보강전 층별 역량(kN), X방향	262.85	74.20167
7	보강전 층별 역량(kN), Y방향	391.09	118.4352
8	보강후 층별 역량(kN), X방향	587.3047	317.8628
9	보강후 층별 역량(kN), Y방향	528.5742	286.0765
10	보강대상부재 강도비(=보강후/보강전), X방향	3.059572	4.91664
11	보강대상부재 강도비(=보강후/보강전), Y방향	1.620752	2.657587

(c) 보강결과 종합정보 출력

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	위치 정보				전단응력(Mpa) 및 보정계수				단면 정보	
2	층	평면 방향	일련번호	내외벽 구분	전단응력	경과년수	재료상태	개구부 제외 순장비율	높이(m)	두께(m)
3	1	1	1	외벽	0.1	0.7	0.85	1.9	3.25	0.2
4	1	1	2	외벽	0.1	0.7	0.85	1.65	3.25	0.2
5	1	1	3	외벽	0.2	0.7	0.85	2.65	3.25	0.2
6	1	1	4	내력	0.1	0.7	1	6.95	3.25	0.1
7	1	1	5	외벽	0.1	0.7	0.85	9.15	3.25	0.2
8	2	1	1	외벽	0.1	0.7	0.85	1.7	3.00	0.2
9	2	1	2	외벽	0.1	0.7	0.85	1.85	3.00	0.2
10	2	1	3	외벽	0.1	0.7	0.85	0.85	3.00	0.2
11	2	1	4	내력	0.1	0.7	1	7.65	3.00	0.1
12	2	1	5	외벽	0.1	0.7	0.85	7.4	3.00	0.2
13	1	2	1	외벽	0.2	0.7	0.85	4.85	3.25	0.2
14	1	2	2	내력	0.2	0.7	1	2.35	3.25	0.1
15	1	2	3	내력	0.1	0.7	1	2.75	3.25	0.1
16	1	2	4	외벽	0.2	0.7	0.85	1.45	3.25	0.2
17	1	2	5	내력	0.2	0.7	1	2.75	3.25	0.1
18	1	2	6	내력	0.2	0.7	1	2.75	3.25	0.1
19	1	2	7	내력	0.1	0.7	1	3.05	3.25	0.1
20	1	2	8	내력	0.2	0.7	1	1.80	3.25	0.1
21	1	2	9	외벽	0.1	0.7	0.85	5.50	3.25	0.2
22	2	2	1	외벽	0.2	0.7	0.85	4.85	3.00	0.2
23	2	2	2	내력	0.2	0.7	1	1.45	3.00	0.1
24	2	2	3	내력	0.2	0.7	1	2.75	3.00	0.1
25	2	2	4	내력	0.2	0.7	1	2.75	3.00	0.1
26	2	2	5	내력	0.1	0.7	1	2.35	3.00	0.1
27	2	2	6	내력	0.2	0.7	1	1.8	3.00	0.1
28	2	2	7	외벽	0.1	0.7	0.85	4.8	3.00	0.2
29	*평면방향 1 = X방향 벽체, 평면방향 2 = Y방향 벽체									
30	*재료상태 = 보통									
31	*경과년수 = 41년									

(b) 부재정보 입력

	A	B	C	D	E	F	G
1	층	평면방향	일련번호	보강전 DCR	보강전 강도(kN)	보강후 강도(kN)	강도 증가량(kN)
2	1	1	1	0.72	22.61	22.61	0.00
3	1	1	2	0.57	19.64	19.64	0.00
4	1	1	3	0.60	63.07	63.07	0.00
5	1	1	4	3.05	48.65	148.85	100.20
6	1	1	5	3.43	108.89	333.14	224.26
7	2	1	1	1.16	7.69	7.69	0.00
8	2	1	2	1.33	8.37	41.15	32.78
9	2	1	3	0.41	4.30	4.30	0.00
10	2	1	4	5.55	20.36	100.10	79.74
11	2	1	5	5.47	33.48	164.62	131.13
12	1	2	1	1.41	115.43	187.08	71.65
13	1	2	2	0.60	32.90	32.90	0.00
14	1	2	3	1.50	19.25	31.20	11.95
15	1	2	4	0.27	34.51	34.51	0.00
16	1	2	5	0.75	38.50	38.50	0.00
17	1	2	6	0.75	38.50	38.50	0.00
18	1	2	7	1.72	21.35	34.60	13.25
19	1	2	8	0.39	25.20	25.20	0.00
20	1	2	9	3.11	65.45	106.08	40.63
21	2	2	1	2.53	43.89	116.64	72.75
22	2	2	2	0.52	7.72	7.72	0.00
23	2	2	3	1.40	14.64	38.90	24.26
24	2	2	4	1.40	14.64	38.90	24.26
25	2	2	5	2.26	6.25	16.62	10.37
26	2	2	6	0.75	9.58	9.58	0.00
27	2	2	7	5.01	21.72	57.72	36.00

(d) 부재별 보강결과 출력

<그림 3-61> 내진보강설계 프로그램 입출력 정보 (저작권위원회 등록번호: 제 C-2021-060439 호)

4) 연차별 개발목표에 따른 성과 달성 지표



(a) 1차년도


2차년도 개발 목표 대비 성과 달성
FRM 프리캐스트 패널 개발 및 구조성능 검증 실험
FRM 프리캐스트 패널 보강 상세 개발
FRM 프리캐스트 패널 보강공법 구조 성능 실증
FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 특허 추진
고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진 및 설계 프로세스 제안
고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진
프리캐스트 패널 보강공법 전단 보강 설계 프로세스 제안
고강도 FRM 바름 상세 개발 및 구조성능 검증 실험
고강도 FRM 바름 일체성 향상 공법 개발
보강 벽체-기존 구조체 연결 상세 조적조 구조성능 실증
보강 벽체-기존구조체연결 상세특허 추진
고강도 FRM 바름 일체성 공법 특허 추진 및 설계 프로세스 제안
고강도 FRM 바름 조적조 일체성 향상 내진보강공법 특허 추진
고강도 FRM 바름 조적조 일체성 향상 내진보강공법 설계 프로세스 제안
논문
[증빙 1-가] SCI 논문
[증빙 1-나] SCI 논문
[증빙 1-다] SCI 논문
[증빙 1-라] SCI 논문
[증빙 1-마] 지진공학회 논문
[증빙 1-바] 지진공학회 논문
보고서
[증빙 3-가] CTE-2-A-3,4 보고서
[증빙 3-나] CTE-2-B-3,4,5 보고서
[증빙 3-다] CTE-2-C-3 보고서
학술
[증빙 2-가] 학술대회 발표 논문
[증빙 2-나] 학술대회 발표 논문
[증빙 2-다] 학술대회 발표 논문
[증빙 2-라] 학술대회 발표 논문
기술
[증빙 4-가] 기술요약정보
[증빙 4-나] 기술요약정보
특허
[증빙 6-가] 특허 출원서
[증빙 6-나] 특허 출원서
[증빙 6-다] 특허 출원서

(b) 2차년도



(c) 3차년도

<그림 3-62> 연차별 개발목표에 따른 성과 달성 지표

(2) 정량적 연구개발성과

<연차별 정량적 연구성과 목표>

구분		1차년도				2차년도				3차년도				계
		숭실대	인천대	세진	한울	숭실대	인천대	세진	한울	숭실대	인천대	세진	한울	
국외논문 게재	SCI	1	0	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0	5
	계	1				3				2				5
국내논문 게재	비SCI	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	5
	계	1				2				2				5
특허출원	국내	0	0	0	0	1	0.5	1	0.5	0	0	0	0	3
	계	0				3				0				3
특허등록	국내	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.5	1	0.5	3
	계	0				0				3				3
인력양성	석사	1	1	0	0	3	3	0	0	1	1	0	0	8
	계	2				6				2				8
기술이전	계약 건수	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
설계·시공 매뉴얼	기고서제출	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	2
	기고서채택	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	2
등록·기타 대상 성과물	보고서원문	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	6
	기술요약정보	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	6
	소프트웨어	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	2
기타	시작품	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	2
	성과 홍보	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
	일자리창출	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4

<연구성과 정량적 달성 정도>

구분		1차년도				2차년도				3차년도				계
		숭실대	인천대	세진	한울	숭실대	인천대	세진	한울	숭실대	인천대	세진	한울	
국외논문 게재	SCI	1	0	0	0	2	1	0	0	3	1	0	0	8
	계	1				3				4				8
국내논문 게재	비SCI	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3
	계	1				1				1				3
특허출원	국내	0	0	0	0	1	0.5	1	0.5	0	0	0	0	3
	계	0				3				0				3
특허등록	국내	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5	1
	계	0				0				1				1
인력양성	석사	1	1	0	0	3	3	0	0	1	1	0	0	8
	계	2				6				2				8
기술이전	계약 건수	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
설계·시공 매뉴얼	기고서제출	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	기고서채택	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
등록·기타 대상 성과물	보고서원문	3	2	0	0	1	2	0	0	1	1	0	0	10
	기술요약정보	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	6
	소프트웨어	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	2
기타	시작품	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0	0.5	2
	성과 홍보	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
	일자리창출	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Direct Shear Behavior of Cementitious Mortar Reinforced by Carbon Fiber Textile	Construction and Building Materials	최경규	249	-	Construction and Building Materials	SCI	2020.03	0950-0618	100%
2	Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns Retrofitted by Textile-Reinforced Mortar Jackets	Structure and Infrastructure Engineering	최경규	-	United Kingdom	Structure and Infrastructure Engineering	SCI	2019.12	1573-2479	100%
3	Experimental Study on the Seismic Performance of RC Columns Retrofitted by Lap-spliced textile-reinforc-ed Mortar Jackets after High Temperature Expo-sure	Composite Structures	박상현	-	Nederland	Composite Structures	SCI	2020.10	0263-8223	50%
4	Investigation of Steel Fiber-Reinforced Mortar Overlay for Strengthening Masonry Walls by Prism Tests	Applied Sciences	유지훈	-	-	Applied Sciences	SCI	2020.09	2076-3417	100%
5	외부벽체 강도증진형 보강이 적용된 비보강 조적조 건물의 내진성능평가	한국지진공학회 논문집	설윤정	134	한국	한국지진공학회	비SCI	2020.03	-	100%
6	강섬유보강 모르타르 바름에 의한 콘크리트 조적 프리즘의 압축 및 사인장 강도 증진 효과	한국지진공학회 논문집	유지훈	139	한국	한국지진공학회	비SCI	2021.01	-	100%
7	Effect of Dispersed Micro-Fibers on Tensile Behavior of Uncoated Carbon Textile-Reinforced Cementitious Mortar after High-Temperature Exposure	Cement and Concrete Composites	최경규			Cement and Concrete Composites	SCI	2021.01	0958-9465	50%
8	Investigation of Reinforced Concrete Inclined Shear Plane Strengthened by U-Wrapped TRM jacket with Different Anchorage Details using Modified Push-off Tests	Research Article-Civil Engineering	최경규			Research Article-Civil Engineering	SCI	2021.06	2193-567X	50%

9	Investigations of direct shear characteristics of cementitious mortar reinforced with steel and nylon fibres	European Journal of Environmental and Civil Engineering	박상현			European Journal of Environmental and Civil Engineering	SCI	2021.06	1964-8189	50%
10	Compressive and Diagonal Tension Strengths of Masonry Prisms Strengthened with Amorphous Steel Fiber-Reinforced Mortar Overlay	Applied Sciences	유지훈	-	-	Applied Sciences	SCI	2021.06	2076-3417	100%
10	변위계수법 및 약산식 내진성능평가에 기초한 비보강 조적조 건물의 내진보강 요구강도 산정	한국지진공학회 논문집	설윤정	145	한국	한국지진공학회	비SCI	2022.01	-	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2019년도가을한국콘크리트학회 학술대회	섬유 종류 및 혼입률에 따른 섬유 보강 모르타르(FRM)의 역학 특성 비교	박상현/최경규	2019.11.07	변산 대명리조트	대한민국
2	2019 2nd International Conference on Advanced Nanomaterials and Nanodevices	An Experimental Investigation of the Effect of Nanomaterials on Tensile Properties of CFRP Composites	최경규	2019.10.24	상하이 대학교	중국
3	2019년 한국지진공학회 Workshop 및 학술발표회	비보강 조적조 건물의 비선형 정적해석에 기초한 내진성능 평가 및 보강 계획	설윤정	2019.09.20	제주대학교 아라컨벤션홀	대한민국
4	2019년도가을한국콘크리트학회 학술대회	FRM 바름을 적용한 조적 프리즘의 보강 효과	설윤정	2019.11.08	변산 대명리조트	대한민국
5	2020년도 가을 한국콘크리트학회 학술대회	섬유보강 모르타르(FRCM) 프리캐스트 패널의 연결부 전단 특성 평가	박상현	2020.11.04	대구 EXCO 컨벤션센터	대한민국
6	2020년도 가을 한국콘크리트학회 학술대회	강섬유와 나일론 섬유를 혼입한 섬유보강 모르타르(FRCM)의 전단 거동 특성에 관한 실험적 연구	김승희/김형균	2020.11.04	대구 EXCO 컨벤션센터	대한민국
7	2020년도 가을 한국건설순환자원학회 학술대회	섬유보강 모르타르(FRCM) 프리캐스트 패널의 연결부 전단 거동 특성에 관한 실험적 연구	최경규	2020.10.22	소노캄 제주	대한민국
8	2020년도 한국지진공학회온라인 Workshop 및 학술발표회	강섬유 혼입 모르타르에 의한 조적벽체의 압축 및 전단 보강 효과	유지훈	2020.09.25	온라인 발표	대한민국
9	2021년도 봄 한국콘크리트학회 학술대회	FRM 프리캐스트 패널로 보강된 조적벽체의 내진성능 실험검증	박상현	2021.05.14	여수 EXPO 컨벤션센터	대한민국
10	2021년도 봄 한국콘크리트학회 학술대회	Textile Reinforced Mortar(TRM)로 보강된 RC의 전단 보강 성능 실험적 연구	김승희	2021.05.14	여수 EXPO 컨벤션센터	대한민국
11	2021년도 가을 한국콘크리트학회 학술대회	강섬유 혼입 모르타르 바름시공에 의한 조적벽체의 전단강도 증진 효과	곽병훈	2021.11.05	경주 화백 컨벤션센터	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식
1	2019	FRM 프리캐스트 패널 분절부 상세 요약 정보	FRM 프리캐스트 패널 분절부 소개 및 시공 방안 제시	100%	S2022000086	O	-	미정	기술협력, 기술지도
2	2019	고강도 FRM 바름을 적용한 조적조 내진보강 요약 정보	고강도 FRM을 적용한 조적조 내진보강공법 시공방법 및 보강효과	100%	-	O	-	미정	기술협력, 기술지도
3	2020	프리캐스트 패널을 활용한 건식 보강공법 기술요약정보	프리캐스트 패널형 건식 보강공법 소개 및 시공 방안 제시	100%	S2022000078	O	-	미정	기술협력, 기술지도
4	2020	고강도 FRM 바름 조적벽체-기존 구조체 연결상세 특허 요약 정보	보강 치장벽체-기존 구조체 연결상세 특허상세 및 시공법	100%	-	O	-	미정	기술협력, 기술지도
5	2021	반건식 패널을 활용한 보강공법 기술요약정보	반건식 패널 조적벽체 보강 공법 제시 및 구조성능실험 결과 요약	100%	S2022000031	O	-	미정	기술협력, 기술지도
6	2021	기존 구조체-FRM 연결부 상세를 적용한 조적벽체 내진보강 시작품 요약 정보	내진보강 시작품 시공법과 구조성능 및 보강효과	100%	-	O	-	미정	기술협력, 기술지도

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2019	FRM 프리캐스트 패널 배합 개발 및 성능 검증 보고서	2019.10.01	CTE-1-A-1&C-1
2	2019	연결부 소재 성능 실증 실험방법 제안 보고서	2019.10.04	CTE-1-A-2-①
3	2019	패널 분절부 소재 성능 실험 검증 보고서	2019.10.10	CTE-1-A-2-②&③
4	2019	고강도 FRM 바름 적용 조적조의 소재 성능 실증 실험 보고서	2019.10.09	CTE-1-B&B-2
5	2019	국내 기존 조적조 건축물 구조특성	2019.10.09	CTE-1-C-①&②
6	2020	프리캐스트 패널 보강상세 개발 및 내진보강공법 구조성능검증 실험 계획 보고서	2020.09.28	CTE-2-A-3,4
7	2020	고강도 FRM을 이용한 조적조 건물 내진보강공법 표준보강안 및 연결상세 실험보고서	2020.10.07	CTE-2-B-3,4,5&C-4
8	2020	조적조 건축물의 내진보강기법 개발 보고서	2020.10.13	CTE-2-C-3
9	2021	프리캐스트 패널 보강상세 개발 및 내진보강공법 구조성능검증실험 계획 보고서	2020.12.26	CTE-3-A-7
10	2021	고강도 FRM 바름보강 조적벽체 내진성능 및 연결상세 실험보고서	2021.12.30	CTE-3-B-6,7

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	조적조 건물의 내진 보강 구조	대한민국	숭실대학교 산학협력단, ㈜세진기술	2020. 10.15	10-2020-0133393	-	-	-	100	미정
2	특허	보강스트립을 이용한 조적조 건물의 내진 보강 방법	대한민국	숭실대학교 산학협력단, ㈜세진기술	2020. 10.15	10-2020-0133394	-	-	-	100	미정
3	특허	조적조 건축물의 치장벽체를 활용한 내진보강공법 및 연결부 상세	대한민국	인천대학교 산학협력단 ,㈜한울구조안전기술사사무소	2020. 10.14	10-2020-0132758	인천대학교 산학협력단 ,㈜한울구조안전기술사사무소	2021. 09.03	10-2300604-0000	100	미정

ㅇ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	노후 조적조 건물 대상 FRM 프리캐스트 패널 내진보강설계용 소프트웨어	2021년12월15일	최경규, 김형균, 박상현, 김승희	등록 예정	등록 예정	최경규, 김형균, 박상현, 김승희	100%
2	조적조 건축물 내진성능평가 및 보강설계 프로그램	2021년12월12일	인천대학교 산학협력단 ㈜한울구조안전기술사사무소	2021년12월31일	C-2121-060439	인천대학교 산학협력단 ㈜한울구조안전기술사사무소	100%

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

ㅇ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	FRCM 패널 보강 조적벽체	2021.09	숭실대학교	숭실대학교 구조실험실	조적벽체 내진보강공법	연구종료 후 ~3년 이내	-	-
2	보강용 강판 거푸집	2021.04	인천대학교	인천대학교 구조실험실	조적벽체 내진보강공법	연구종료 후 ~3년 이내	-	-
3	고강도 FRM 바름 보강 조적벽체	2021.09	인천대학교	인천대학교 구조실험실	조적벽체 내진보강공법	연구종료 후 ~3년 이내	-	-

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2021년	
1	노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 FRM 적정기술 개발	㈜세진기술	1	1	2
2	노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 바름형 FRM 적정기술 개발	㈜한울구조안전기술 사사무소	1	1	2
합계			2	2	4

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	4
		생산인력	–
	개발 후	연구인력	6
		생산인력	–

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	㈜세진기술	2020.01.02	2020.01.02.~현재	1	1
2	㈜세진기술	2020.06.01	2020.06.01.~현재	1	1
3	㈜한울구조안전기술 사사무소	2020.02.03	2020.02.03.~현재	1	1
4	㈜한울구조안전기술 사사무소	2021.02.01	2021.02.01.~현재	1	1

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	Tran Hai Van	2020		1			1		1				
2	Dinh Ngoc Hieu	2020	1				1		1				
3	엄정우	2020		1			1		1				
4	김승희	2022		1				1	1				
5	김범석	2019											
6	전성하	2020	1				1		1				
7	박원호	2020		1			1		1				
8	설윤정	2020		1				1	1				
9	유지훈	2021		1			1		1				
10	신동현	2022		1			1		1				

□ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비

번호	구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
1									

[그 밖의 성과](해당 시 작성) : 해당사항 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 : 해당사항 없음

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ [A-1] FRM 프리캐스트 패널 배합에 대한 기존 연구자료 수집 및 분석 - FRM 배합 시 성능개선 정량화(1건 이상) - 적성 섬유 및 FRM 배합 도출(2건 이상)	○ [A-1] FRM 프리캐스트 패널 배합에 대한 기존 연구자료 수집 및 분석 - FRM 배합에서 가장 대표적으로 사용되는 강섬유, 나일론 섬유, PVA 섬유 혼입 모르타르 분야의 선행 연구 자료 조사 결과 및 ㈜세진 기술에서 수행한 적정 보강공법 조건 도출결과를 바탕으로 FRM 배합 재료 성능 요구 목표를 정량화함**(전단강도 5MPa, 인장강도 3MPa 이상,[1증빙1-가]SCI 논문, [1증빙2-가]학술대회발표논문, [1증빙3-가]보고서)** - 반복 실험 및 해석을 통해 적정 섬유를 도출함(강섬유, 나일론 섬유). FRM 프리캐스트 패널 배합의 시공성 및 경제성을 고려하고 KS 규격에 따른 압축강도, 인장강도 실험 결과 및 ASTM 규격을 준용한 전단강도 실험 결과를 반영하여 FRM 프리캐스트 패널 배합비를 도출함**(3건, SF0.75%, SF1.0%, SF0.33-NY0.67%,[1증빙2-나]학술대회발표논문, [1증빙3-가]보고서)**	*133%*
○ [A-2] FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재 성능 실증 실험 - 연결부 소재 성능 실증 실험방법 제안(2건) - 프리캐스트 패널 정착부 및 패널과 패널간 연결부 소재실험 수행(ASTM D 5961을 준용하여 제안된 실험법 1건) - 소재성능 검증 보고서(1건)	○ [A-2] FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재 성능 실증 실험 - 패널 분절 현장 조립 상세 개발을 위한 분절부 간 접합 상세 검증 및 보강 패널과 상하부 슬래브와의 앵커링 상세 및 성능검증을 위하여 ① 앵커 직접 인발 시험, ② 패널-패널 직접 인장 실험 방법을 제안함**(2건,[1증빙1-가]SCI논문, [1증빙3-나]보고서)** - 프리캐스트 패널 정착부 및 패널과 패널간 연결부 소재실험을 수행함**(ASTM D 5961을 준용하여 실험법 1건을 제안, [1증빙3-다]보고서)** - 소재성능 검증 보고서**(1건, [1증빙3-다]보고서)**	*100%*
○ [A-3] 프리캐스트 패널 건식 접합 보강상세 개발 - 보강상세 실효성 검증(상세 개선점 1건 이상) - 보강 상세 개발(연결부 상세 2건)	○ [A-3] 프리캐스트 패널 건식 접합 보강상세 개발 - 프리캐스트 패널 연결부 소재 성능을 검증하기 위하여 ①앵커 상세, ②앵커 깊이, ③연결부 상세를 중심으로 해석을 수행하여 실효성을 검증함**(상세 개선점 1건 이상,[2증빙1-다]SCI논문, [2증빙3-가]보고서)** - 프리캐스트 패널 연결부의 Vector 2를 활용한 해석 및 현장 적용의 시공성 등을 고려하여 연결부 보강 상세를 개발함**(연결부 상세 4건 이상, Cast-in-place keys, Castellated keys, Vertical re-bar, Transverse re-bar,[2증빙1-다]SCI논문, [2증빙3-가]보고서, [2증빙3-다]보고서)**	*167%*
○ [A-4] 프리캐스트 패널 건식 스크류 접합 보강공법 구조성능 검증 실험 계획 - 실험체 설계(조적벽체 프로토타입 설계 설계 및 해석 1건) - 구조성능 실험 계획 및 보고서(기존 부재대비 구조성능 100%	○ [A-4] 프리캐스트 패널 건식 스크류 접합 보강공법 구조성능 검증 실험 계획 - ASCE 41-17, FEMA 273&306의 조적벽체 설계 기준에 따라 프로토타입 실험체 전단성능 평가를 수행하였으며 이를 통해 비보강 조적벽 실험체를 설계함**(조적벽체 프로토타입 설계 설계 및 해석 1건, [2증빙3-가]보고서, [2증빙2-가]학술대회발표논문)**	*100%*

개선) - 보강부 파괴 메커니즘 실증(파괴 메커니즘 실증 및 강도 평가)	- 프리캐스트 패널 연결부 상세를 바탕으로 구조성능검증 실험 변수 구성 및 횡반복가력 실험을 계획하였으며 조적벽체의 스트럿 모델 해석을 기반으로 보강 조적벽체의 구조성능을 도출함**(기존 부재대비 구조성능 100% 개선, [2증빙3-가]보고서)** - 비보강 조적벽체의 4가지 파괴모드 결과를 바탕으로 보강부 파괴 메커니즘 실증**(파괴 메커니즘 실증 및 강도 평가, [2증빙3-가]보고서)**	
○ [A-5] 고강도 FRM 내진보강공법 기술저작권 추진 - 고강도 FRM 내진보강공법 특허 추진(1건)	○ [A-5] 고강도 FRM 내진보강공법 기술저작권 추진 - 조적조 건물의 조적벽 모서리 외측에 수직 방향으로 코너 보강부재를 설치함으로써, 저비용으로 거주 상태에서 보강할 수 있어 경제적이고 시공성이 우수하며 공기 단축이 가능한 간편 공법을 개발함. 해당 공법은 지진력 등 횡력을 재하받는 조적조 건물의 내진보강 시 효율적 공법임. 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 특허를 출원함**(1건, [2증빙6-가]특허출원서)**	*100%*
○ [A-6] FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발 - FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 실효성 검증(시공성, 경제성 평가) - 벽체와 패널간 부착강도 소재 성능 실증(전단응력성능 0.2MPa 이상) - 보강 상세 개발(2건 이상)	○ [A-6] FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발 - FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 실효성 검증**(시공성, 경제성 평가, [3증빙1-가]SCI논문, [3증빙1-나]SCI논문, [3증빙5-가]소프트웨어)** - 벽체와 패널간 부착강도 소재 성능 실증**(전단응력성능 0.2MPa 이상,[3증빙1-가]SCI논문, [3증빙1-나]SCI논문, [3증빙5-가]소프트웨어)** - 보강 상세 개발**(2건 이상, [3증빙1-가]SCI논문, [3증빙1-나]SCI논문, [3증빙5-가]소프트웨어)**	*100%*
○ [A-7] FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강공법 구조성능 실험 - 실험체 설계(5개 이상) - 구조성능실험 계획 및 보고서(기존 부재 대비 구조성능 100% 개선) - 보강부 파괴 메커니즘 실증(파괴 메커니즘 실증 및 강도 평가)	- ○ [A-7] FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강공법 구조성능 실험 - 실험체 설계**(5개 이상, [3증빙1-다]SCI논문, [3증빙2-가]학술대회발표논문, [3증빙3-가]보고서)** - 구조성능실험 계획 및 보고서**(기존 부재 대비 구조성능 100% 개선, [3증빙1-다]SCI논문, [3증빙2-가]학술대회발표논문, [3증빙3-가]보고서)** - 보강부 파괴 메커니즘 실증**(파괴 메커니즘 실증 및 강도 평가, [3증빙1-다]SCI논문, [3증빙2-가]학술대회발표논문, [3증빙3-가]보고서)**	*100%*
○ [A-8] 개발 보강 공법을 적용한 조적벽체 - 고강도 FRM 내진보강공법 상세 및 시작품 개발(1건)	○ [A-8] 개발 보강 공법을 적용한 조적벽체 - 고강도 FRM 내진보강공법 상세 및 시작품 개발**(1건, [3증빙4-가]시제품)**	*100%*
○ [B-1] FRM 시공성 시험보고서 - 기존 FRM 시공성 연구결과 조사 분석(1건) - 플로우 시공성 확보 - 점착력 시공성 확보	○ [B-1] FRM 시공성 시험보고서 - KS규격 및 표준시방서에는 바름 모르타르의 재료 및 시공방법 등에 대해서만 제시하고 있는 상황, FRM 바름 시공에 적합한 목표 플로우를 180mm로 결정**([1증빙3-라]보고서)** - S/C20-W/C40, S/C15-W/C35, S/C10-W/C32 세 가지 배합이 목표한 플로우 180mm에 가장 근접**([1증빙3-라]보고서)** - S/C20 - W/C40, S/C20 - W/C45, S/C15 - W/C35,	*100%*

	S/C10 - W/C32 네 가지 배합의 경우 10mm 두께 바름까지는 전반적으로 양호**([1증빙3-라]보고서)**	
○ [B-2] 단위구조체 보강성능 시험 보고서 - 압축강도 20% 증진 (1건) - 전단강도 50% 증진 (1건) - 적정보강안 선정 (섬유혼입율/두께,최고수준)	○ [B-2] 단위구조체 보강성능 시험보고서 - ASTM C1314에 따라 조적프리즘의 압축강도 시험을 실시한 결과 무보강 대비 목표 증진율 20%를 만족하는 보강안 확보: 중공적벽돌 (단면-1.0%, 1.3%, 양면-0%, 1.0%, 1.3%보강), 콘크리트 벽돌**(양면-0%, 1.3%보강) (섬유혼입률은 부피비기준) [증빙: 2020 국외논문] ([1증빙3-라]보고서, [1증빙1-나]비SCI논문)** - ASTM E519에 따라 조적프리즘의 사인장 전단강도 시험을 실시한 결과 무보강 대비 목표 증진율 50%를 만족하는 보강안 확보: 콘크리트 벽돌**(양면-1.0%, 1.3%보강), 중공적벽돌 (단면-1.0%, 1.3%, 양면-0%, 1.0%, 1.3%보강) (섬유혼입률은 부피비기준) [증빙: 2020 국외논문] ([1증빙3-라]보고서, [1증빙1-나]비SCI논문)**	*100%*
○ [B-3] 표준적 보강안 소재성능 공인성적서 - 형상비와 바름 두께 등에 따른 벽체 설계식 제안(1건) - 프리즘 압축강도 성적서 (20%증진) (1건) - 프리즘 전단강도 성적서 (50%증진) (1건)	○ [B-3] 표준적 보강안 소재성능 공인성적서 - 실험결과 바탕으로 주요변수(바름두께, 섬유혼입율)에 따른 보강 실험체의 압축 및 전단강도 설계식을 제안하였으며, 최대 7.8%의 오차율로 보강 실험체의 강도를 예측 **[증빙: 2021 국내논문] ([2증빙3-나]보고서)** - 섬유혼입율(부피비) 2% 양면바름 압축강도 실험에서 비보강 프리즘(10.13MPa) 대비 보강 프리즘(25.49MPa)의 강도가 152% 증진됨을 확인하여 목표 증진률 20%를 초과달성 **[증빙: 성적서] ([2증빙5-가]공인시험성적서)** - 섬유혼입율(부피비) 2% 양면바름 사인장 전단강도 실험에서는 비보강 프리즘(0.43MPa) 대비 보강 프리즘(7.25MPa)의 강도가 1587% 증진됨을 확인하여 목표 증진률 50%를 초과달성 **[증빙: 성적서] ([2증빙5-가]공인시험성적서)**	*167%*
○ [B-4] 보강치장벽체-기존구조체 연결상세 실험보고서 - 실험체 설계(8건) - 연결상세 전단강도(벽체 길이 1B당 2.5kN 이상)	○ [B-4] 보강치장벽체-기존구조체 연결상세 실험보고서 - 기존 조적구조 특성을 반영하여 보강된 치장벽체와 기존 건물의 테두리보를 연결하는 연결부 상세의 실험체 8종을 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커설계기준에 따라 설계 [증빙: 2차 보고서] ([2증빙3-나]보고서) - 실험 결과 앵커 접합부의 강도는 치장벽돌 1개를 제거한 공간에 설치시 129kN, 3개를 제거한 공간에 설치시 138kN으로서 1m 간격으로 설치시 조적벽 길이 1B당 24.51kN의 강도를 확보하여 목표치인 조적벽 길이 1B당 2.5kN를 초과 달성함 **[증빙: 2차 보고서] ([2증빙3-나]보고서)**	*100%*
○ [B-5] 보강치장벽체-기존구조체 연결상세 특허출원 및 등록 - 연결부 상세 제안 (0.5건) - 연결부 시공법 제안 (0.5건)	○ [B-5] 보강치장벽체-기존구조체 연결상세 특허출원 및 등록 - 보강된 외부 치장벽체와 내부 콘크리트 보를 연결하여 지진력을 효과적으로 전달하는 연결부 상세를 제공	*100%*

- 특허 명세서 작성 (0.5건) - 특허 등록(1건)	**([2증빙3-나]보고서)** - 치장벽과 기존 구조체 사이의 내부 공간에서 섬유보강 모르타르를 연결부 형태로 성형하는 동시에 횡보강 효과를 함께 갖는 강재 거푸집을 제안**([2증빙3-나]보고서)** - 특허 출원 및 등록 (특허명 : 조적조 건축물의 치장벽체를 활용한 내진보강공법 및 연결부 상세)**[증빙: 특허출원 명세서] ([2증빙6-다]특허출원서, [3증빙8-가]특허등록증)**	
○ [B-6] 조적조 일체성향상공법 시작품 - 설계 및 시공 매뉴얼 작성(1건) - 시공 방법을 적용한 실험체 제작 (실험체 4건, 시작품 1건)	○ [B-6] 조적조 일체성향상공법 시작품 - FRM 바름 조적조 일체성 향상 내진보강공법 설계 프로세스 제안 및 시공 매뉴얼 작성**[증빙: 3차 보고서] ([3증빙1-라]SCI논문, [3증빙1-마]비SCI논문, [3증빙3-나]보고서)** - 총 6개의 조적조 일체성향상공법 시작품 제작**(무보강 2건, 보강 4건)[증빙: 시제품 2건] ([3증빙4-나]시제품)**	*160%*
○ [B-7] 조적조 일체성향상공법 구조성능 실험보고서 - 휨지배형 조적벽의 보강효과(강도 20%향상) (1건) - 전단지배형 조적벽의 보강효과 (강도 50% 향상) (1건) - 치장벽체와 내부벽체로 구성된 실험체 구성 (2건)	○ [B-7] 조적조 일체성향상공법 구조성능 실험보고서 - 휨지배형 조적벽: 개구부 측면의 길이/높이비가 0.55인 실험체로서 중력하중을 고려한 무보강 벽체의 강도는 141.7kN, 보강후 강도는 40.54 kN으로서 250%의 강도 증진율을 확보하여 목표증진율 20%를 초과 달성 **[증빙: 3차 보고서, 학술발표 논문] ([3증빙3-나]보고서, [3증빙2-다]학술대회발표논문)** - 전단지배형 조적벽: 길이/높이비가 1.64인 실험체로서 중력하중을 고려한 무보강 벽체의 강도는 506.4kN, 보강후 강도는 765.6kN으로서 51.2% 강도증진율을 확보하여 목표증진률 50%를 달성 **[증빙: 3차 보고서, 학술발표 논문] ([3증빙3-나]보고서, [3증빙2-다]학술대회발표논문)** - 기존 조적조 건축물을 고려하여 치장벽체와 내력벽체로 구성된 2중벽체 실험체 제작(2건) **[증빙: 3차 보고서, 학술발표 논문] ([3증빙3-나]보고서, [3증빙2-다]학술대회발표논문)**	*100%*
○ [C-1] 요청기존내진보강공법과 사례조사를 통한 개발 공법의 적정성 검토	○ [C-1] 요청기존내진보강공법과 사례조사를 통한 개발 공법의 적정성 검토 - 기존 지진피해 사례 및 내진보강기법을 분석하여 기존의 다양하게 개발되고 있는 내진보강 공법을 제시하고(3Type 보강공법 제시), 개발 보강공법과 기존 보강공법을 비교하여 시공성 및 경제성 분석을 수행함 **([1증빙3-가]보고서)**	*100%*
○ [C-2] 국내 기존 조적조 건축물 구조특성 조사 분석 - 기존 조적조건물의 구조특성 분석(3개동) - 보강공법 개발방향 적정성 검토	○ [C-2] 국내 기존 조적조 건축물 구조특성 조사 분석 - 총 16동의 기존 조적조 주택 및 경찰서 건축물 구조특성을 치장벽체를 포함하는 벽체의 구성과 테두리보 및 슬래브와의 연결방식을 중심으로 분석함 **(목표치 3건을 초과달성함) [증빙: 1차 보고서] ([1증빙3-마]보고서)** - 조사된 국내 조적조 건축물 구조특성을 고려하여 보강공법 초안의 개선사항을 제시하고, 기존 보강공법 대비 경제성 분석을 수행함 **[증빙: 1차 보고서] ([1증**	*533%*

	빙3-마]보고서)	
○ [C-3] 개발 보강공법 특허 추진	○ [C-3] 개발 보강공법 특허 추진 - 조적조 건물의 조적벽 모서리 외측에 수직 방향으로 보강하는 프리캐스트 패널 상세 및 반건식 거푸집 겸용 패널 상세를 제안함 **([2증빙2-나]학술대회발표논문, [2증빙3-다]보고서)** - 기존 건물의 손상을 최소화 할 수 있도록 보강스트립을 활용한 내진보강공법을 제안함. 특허 출원 **(특허명 : 보강스트립을 활용한 조적조 건물의 내진보강공법 1건, [증빙]) ([2증빙6-나]특허출원서)**	*100%*
○ [C-4] 보강치장벽체-기존구조체 연결상세 특허출원 - 연결부 상세 제안 (0.5건) - 연결부 시공법 제안 (0.5건) - 특허 명세서 작성 (0.5건)	○ [C-4] 보강치장벽체-기존구조체 연결상세 특허출원 - 보강된 외부 치장벽체와 내부 콘크리트 보를 연결하기 위한 시공 용이한 연결부 상세를 제안함 - 치장벽체의 안정성을 확보하면서 일부를 제거하여 제안된 상세의 연결부를 설치하는 시공 절차를 제안함. 특허 출원 **(특허명 : 조적조 건축물의 치장벽체를 활용한 내진보강공법 및 연결부 상세)[증빙: 특허출원명세서] ([2증빙6-다]특허출원서)**	*100%*
○ [C-5] 개발 보강 공법을 적용한 조적벽체 제품 및 설계,시공매뉴얼 개발	○ [C-5] 개발 보강 공법을 적용한 조적벽체 제품 및 설계,시공 매뉴얼 개발 - 고강도 FRM 프리캐스트 패널 공법 및 고강도 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 공법 적용한 조적벽체 설계·시공 매뉴얼(안)을 제시함**([3증빙5-가]소프트웨어, [3증빙8-가]특허등록)** - 고강도 FRM 프리캐스트 패널 내진보강공법 종류에 따른 조적벽체 보강설계 프로세를 제안하여 MATlAB을 통한 소프트웨어 개발을 완료하였으며 SW 저작권 등록을 완료함**(1건, [3증빙5-가]소프트웨어, [3증빙8-가]특허등록)**	*100%*
○ [C-6] 조적조 일체성향상 내진보강설계 프로그램 - 간이 성능평가 기반 내진성능평가 및 보강 설계 가이드 (1건) - 내진보강설계 전산프로그램 (1건)	○ [C-6] 조적조 일체성향상 내진보강설계 프로그램 - 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(시설안전공단 2019)」의 내진성능 예비평가 절차에 적용할 수 있는 부재 강성기여도 기반 보강설계 방법을 제안하고 내진성능평가 및 보강설계 예제를 작성하여 학술지 논문으로 게재함 **[증빙: 2021 논문, 3차 보고서] ([3증빙1-마]비SCI논문, [3증빙5-나]소프트웨어)** - 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(시설안전공단 2019)」의 내진성능 예비평가 절차와 이에 기초한 개별 부재의 강성기여도 기반 보강설계 방법을 전산프로그램으로 작성하고 SW 저작권 등록을 완료함 **[증빙: SW저작권] ([3증빙1-마]비SCI논문, [3증빙5-나]소프트웨어, [3증빙8-나]특허등록)**	*100%*

4. 목표 미달 시 원인분석 :

● 목표 미달성 항목에 대한 원인분석

- 목표 성과 특허 등록 3건 중 1건의 특허 등록을 완료함. 달성하지 못한 특허 등록 2건의 미달성 사유는 다음과 같음. 원 제안서 계획상으로는 2차년도에 수행 예정이었던 고강도 FRM 건식 패널 내진보강공법 구조성능실험이 3차년도 일정으로 변경되면서 개발 고강도 FRM 건식/반건식 패널 구조성능 검증이 연기되었음. 이에 따라 3차년도에 수행된 개발 고강도 FRM 건식/반건식 패널 구조성능 검증이 완료된 직후에 우선 심사를 즉시 신청 (21.07)함. 본 기술은 실용기술(TRL=7)로써 참여 기업((주)세진기술)에서 기술 활용별 특허 등록을 추진 중이며 주관연구기관 및 공동연구기관이 지속적으로 특허 등록에 매진함

신규 특허출원 관련 구비서류 안내 및 비용 청구 2020-08-12 (수) 17:03

보낸사람 우진특허법률사무소 관리부<info@knkp.kr>
받는사람 박상현<sanghyun2006@naver.com>

박상현 박사님,
의뢰하신 신규 특허 2건 1.(가칭: 조적조 보강공법 1, Our ref.: P20078) 및
2.(가칭: 조적조 보강공법 2, Our ref.: P20079)의 추론과 관련하여 비용 청구서를 보내드리오니 확인 후 결제하여 주시기 바랍니다.
아울러 출원을 위한 출원인 및 발명자 정보 작성표 및 약정서를 보내드리오니 작성 후 회신하여 주시기 바랍니다.
또한, 1.(가칭: 조적조 보강공법 1, Our ref.: P20078)의 **우선심사시 ㈜세진기술의 기술혁신형 중소기업확인서 또는 벤처기업확인서가 필요하며, 상기 서류가 없을 경우 선행기술조사의뢰로 진행될 수도 있음을 알려드립니다.**

(a) 특허 등록 우선 심사 진행 요청 메일 증빙1

특허등록 우선심사 건 2021-07-22 (목) 11:12

보낸사람 박상현<sanghyun2006@naver.com>
받는사람 박지훈<jhpark606@inu.ac.kr>

박지훈 교수님께.
교수님 안녕하세요? 최경규 교수님 연구실 박사과정 박상현 연구원입니다.
저희 교수님께서 오늘 오전에 말씀하시 내용 관련하여 간단히 안내드리고자 메일 송부드립니다.
저희 조적조 연구 성과목표에 특허 등록이 3건이나 있는 관계로 기간안에 등록이 될까 우려스러워서 변리사님께 문의해본 결과 **우선심사로 변경**할 수 있는 방법이 있다고 들었습니다!

특허 등록 대상 기술의 실물사진 (보강 후 사진, 보강 패널 사진 등)이 있는 경우 60만원 정도의 가격으로 우선심사 변경이 가능하다고 합니다.

(b) 특허 등록 우선 심사 진행 요청 메일 증빙2
<그림> 특허 우선심사 신청 요청 메일 증빙

● **본 연구를 통한 초과 달성 결과**

- 본 연구에서는 특허 등록은 목표 대비 미달성하였으나 정량적/정성적 초과 달성하였음
- 정량적 성과의 주요 초과 달성은 다음과 같음

구분	목표	달성도	평가
논문SCI급	5	110%	- 목표 성과 SCI급 논문 5편 중 6편의 SCI급 논문을 출판하여 목표 성과 대비 110% 초과 달성함
보고서	6	170%	- 목표 성과 보고서 6편 중 10편의 보고서를 작성하여 목표 성과 대비 170% 초과 달성함
시제품	2	150%	- 목표 성과 시제품 2건 중 3건의 시제품을 개발하여 목표 성과 대비 150% 초과 달성함
학술대회발표	7	160%	- 목표 성과 학술발표대회 7건 중 11건의 학술발표대회를 진행해 목표 성과 대비 160% 초과 달성함

- 정성적 성과의 주요 초과 달성은 다음과 같음

구분	목표	달성도	평가
FRM 프리캐스트 패널 배합비 도출	2건	3건 (150%)	- 목표 성과 FRM 프리캐스트 패널 배합비 2건 중 소재실험 결과 및 시공성, 경제성을 고려하여 총 3건의 배합비를 도출함. 따라서 목표 성과 대비 150% 초과 달성함([1증빙3-가]보고서)
프리캐스트 건식 패널 보강 상세 개발	2건	4건 (200%)	- 목표 성과 FRM 프리캐스트 패널 보강 상세 개발 2건 중 유한요소해석 및 시공성 등을 고려하여 총 4건의 보강 상세를 개발함. 따라서 목표 성과 대비 200% 초과 달성함([2증빙3-가]보고서)
섬유 혼입률에 따른 프리즘 압축강도 및 전단강도 성적서	압축강도 20% 증진 전단강도 50% 증진	압축강도 51% 증진 전단강도 58% 증진 (167%)	- 섬유 혼입률에 따른 프리즘 압축강도 및 전단강도 실험 결과에 따른 목표 성과 압축강도 20% 증진 및 전단강도 50% 증진 중 압축강도 51% 증진 및 전단강도 58% 증진됨을 확인하여 목표 성과 대비 167% 초과 달성함([2증빙5-가]공인시험성적서)
조적조 일체성향상공법 실험체 제작 및 시작품 개발	실험체 4개 제작 시작품 1건 개발	실험체 6개 제작 시작품 2건 개발 (160%)	- 조적조 일체성향상공법 구조성능 검증에 대하여 목표 성과 실험체 4개 제작 및 시작품 1건 개발 중 실험체는 6개 제작하였으며 실험 결과의 우수성을 바탕으로 시작품 2건을 개발함. 따라서 목표 성과 대비 160% 초과 달성함([3증빙4-나]시제품)
국내 기존 조적조 건축물 구조특성 분석	3개동	16개동 (533%)	- 목표 성과 국내 기존 조적조 건축물 구조특성 3개동 분석 중 총 16개동을 분석하여 목표 성과 대비 533% 초과 달성함([1증빙3-가]보고서)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 1차년도

연구개발성과	국내·외 기술 개발 현황	관련 분야 기여 정도
- FRM의 적정 섬유 선정(2가지) 및 FRM 프리캐스트 패널 배합비 도출(2건)	- 국내 : 강섬유 보강 SFRC/SFRM에 대한 연구만 다수 이루어짐 - 국외 : 한 종류의 섬유를 사용한 FRC/FRM에 대한 소재실험 연구는 활발히 진행되나 두 종류의 섬유를 사용한 하이브리드 FRC/FRM에 대한 연구는 미흡한 상황임	- 국내 조적조 건물의 보강에 필요한 재료 성능요구 및 목표를 정량화제시 - 조적조 보강을 위한 다른 연구개발시 적정 보강공법 조건 도출, 내진보강기법 제시에서 활용이 가능함
- FRM 프리캐스트 건식 패널 연결부 상세 제안(2건 이상) 및 연결부 소재성능 실험방법 제안(2건)	- 국내 : 프리캐스트 패널 연구는 대부분 토목분야에서만 이루어지고 있으며 건축분야에서 활용도가 낮음 - 국외 : 강재 프리캐스트 모듈에 대한 연구가 대다수 이며 콘크리트/모르타르를 활용한 프리캐스트 연구는 미흡한 상황임	- 시공성, 경제성을 확보한 프리캐스트 건식 패널 연결구 상세 제안 - 프리캐스트 제품, 2차 제품 등의 연결시 상세로 차용이 가능함
- 바름식 시공성 및 강도 확보를 위한 적정 FRM 배합비 도출(3건)	- 국내 : 바름식 시공에 적합한 시공성에 대한 연구는 이루어지지 않음 - 국외 : 대부분 별도의 메쉬를 설치한 상태에서 시공하는 방식이 사용됨	- 별도 메쉬 없이 모르타르 미장 방식으로 외부 치장벽체에 직접 시공하여 거주중 내진보강이 가능하므로 내진보강 비율 제고에 기여
- 목표강도증진율을 만족하는 적정보강안 도출(두께 및 섬유혼입율) (3건)	- 국내 : 조적벽 보강시 강섬유보다는 균열제어를 위한 유기질계 섬유를 사용하고 메쉬를 추가 설치. - 국외 : 대부분 별도의 메쉬를 설치하여 인장저항력을 높이는 방식 채택	- 일반 미장 마감의 두께 범위로 시공하여 높은 내진보강 효과를 발휘

○ 2차년도

연구개발성과	국내·외 기술 개발 현황	관련 분야 기여 정도
- FRM 프리캐스트 건식 패널 연결부 상세 개발(2건 이상)	- 국내 : 프리캐스트 패널 연구는 대부분 토목분야에서만 이루어지고 있으며 건축분야에서 활용도가 낮음 - 국외 : 강재 프리캐스트 모듈에 대한 연구가 대다수 이며 콘크리트/모르타르를 활용한 프리캐스트 연구는 미흡한 상황임	- 경제성, 시공성에 유리한 프리캐스트 콘크리트 패널을 활용하여 프리캐스트 건식 패널의 시공성을 확보함 - 개발 공법의 실용화에 기여함
- FRM 프리캐스트 건식 패널 내진보강공법 보강 상세를 이용한 조적벽체 목표 구조 보강성능 달성(기존부재 대비 100% 구조성능 개선)	- 국내 : 비구조체로써의 조적벽체 보강공법 연구가 대다수이며 구조체로써의 조적벽체 연구는 다소 부족한 상황임 - 국외 : 조적벽체 보강공법으로 FRP 부착 보강공법, 철골 보강 공법 등의 연구가 이루어짐	- 거주상태에서 보강이 가능한 건식, 반건식 보강공법으로 조적벽체와 보강재료의 이질성을 확보한 연결부상세가 개발됨 - 타 프리캐스트 제품의 개발시 연결부 상세로 차용 가능함

- 특허 출원(1건)	- 국내, 국외 : 구조 조적벽체 보강용 날개벽형 FRM 프리캐스트 패널에 대한 특허 사항 존재하지 않음	- 조적조 건물의 내진보강을 위한 FRM 프리캐스트 패널 등 소재갑라과 관련 기술의 활성화에 기여함
- 표준적 FRM 바름식 보강안 소재성능공인성적서(1건)	- 국내: 주로 FRP나 유리섬유계열의 내진보강 공법이 개발되고, 공법의 특성상 프리즘 요소를 대상으로 소재성능의 실험을 수행하기보다는 실물 또는 축소 규모의 조적벽체를 대상으로 실험 검증 수행 - 국외: 보강재를 부착하고 모르타르를 덧치거나 또는 탄소 섬유시트를 직접 부착후 프리즘 요소에 대한 소재성능 실험 수행	- 공인 성적서를 통해 표준배합비 적용한 설계시 강도증가 효과를 실무 보강설계에 직접 활용 가능
- FRP 바름식 보강 설계식 3건 제안(대칭보강 압축강도, 비대칭보강 압축강도, 사인장전단강도)	- 국내: 실물 또는 축소 규모의 벽체를 대상으로 보강 효과의 정도를 측정하는 연구 - 국외: 보강된 프리즘 요소의 실험 결과 및 역학적 이론을 토대로 설계식 개발	- 표준배합비를 적용한 실무 보강설계시 부재단위 설계 및 보강후 내진성능평가에 직접 활용 가능
- 보강치장벽체-기존구조체 연결부 상세 특허 출원(0.5건)	- 국내, 국외: 조적 벽체 부재 자체를 보강하기 위한 공법을 주로 개발	- 내부 구조체가 노출되지 않는 경우에 외부 치장벽체를 철거하지 않고 내부 구조체와 효과적으로 연결할 수 있는 용이한 시공절차와 구조상세를 제공

○ 3차년도

연구개발성과	국내·외 기술 개발 현황	관련 분야 기여 정도
- FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 보강상세 개발	- 국내 : 프리캐스트 패널 연구는 대부분 토목분야에서만 이루어지고 있으며 건축분야에서 활용도가 낮음 - 국외 : 강재 프리캐스트 모듈에 대한 연구가 대다수 이며 콘크리트/모르타르를 활용한 프리캐스트 연구는 미흡한 상황임	- 조적조 건물의 모체 특성과 시공공간 등 다양한 조건에서 반건식 공법이 효율적으로 사용됨 - 거푸집 겸용으로 효율성이 높음
- 현장 타설 반건식 FRM 보강 패널과 조적벽체 간 부착 성능 실증()	- 국내 : 부착 성능 실험에 대한 규준이 존재하지 않음 - 국외 : 조적벽돌과 줄눈 사이의 부착성능 실험 규준이 존재하나 섬유보강모르타르(FRM)과 조적벽돌의 부착성능 규준이 마련되지 않음	- 타 연구에서 패널과 조적벽체 간의 부착성능을 검증하는 방법으로 사용될 수 있음
- FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강공법 보강 상세를 이용한 조적벽체 목표 구조 보강성능 달성(기존부재 대비 100% 구조성능 개선)	- 국내 : 비구조체로써의 조적벽체 보강공법 연구가 대다수이며 구조체로써의 조적벽체 연구는 다소 부족한 상황임 - 국외 : 조적벽체 보강공법으로 철근콘크리트 보강공법 등의 연구가 이루어짐	- 개발된 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 내진보강공법 보강상세의 구조성능 달성으로 실용화에 기여함

- 조적조 일체성향상공법 시작품(4건)	- 국내, 국외: 보강 대상 벽체를 직접 보강하여 단독 실험. 대부분 개구부가 없는 단순한 벽체를 대상으로 함.	- 별도 메쉬 없이 모르타르 미장 방식으로 외부 치장벽체에 직접 시공하여 거주중 내진보강이 가능함을 실증
- 조적조 일체성향상공법 설계 및 시공 매뉴얼(1건)	- 국내, 국외: 보강된 벽체의 강도증가 효과를 확인하고 설계변수에 따른 보강효과를 비교	- 조적조 건물의 실무 보강설계시 부재단위 설계 및 보강후 내진성능평가에 직접 활용 가능

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

구분	연구개발성과	연구개발성과의 관리 추진체계 및 활용방안
[연구 개발 세부 목표 1] 조적벽 내진보강 연결부 상세 개발 및 성능 실증: 프리캐스트 패널 정착 부, 패널-패널 간 연결부 소재 성능 실험 (구조체의 목표 보강성능 달성, 적합한 실험 방법 제시)	○ 정성적 성과 - FRM 배합 재료 성능 요구목표를 전단강도 5MPa 이상, 인장강도 3MPa 이상으로 정량화함 - 배합 소재실험 결과를 통하여 SF0.75, SF1.0, SF0.67 - NY0.33과 3종의 배합을 도출함 - FRM 프리캐스트 패널 연결부 보강 요소 간 성능을 해석적으로 검증함 - FRM 프리캐스트 패널 연결부 소재성능 실증 실험 셋업 및 계획을 수립함 ○ 정량적 성과 - SCI 논문 게재 : 3건 - 학술대회 발표 : 5건 - 보고서 : 4건 - 기술요약정보 : 2건 - 특허 출원 : 2건	- 연구개발성과의 관리 추진체계 : 배합 개발에 필요한 모델 개발, FRM 소재성능평가, 특허 출원 등 기술 저작권 확보 - 활용방안 : FRM 소재성능에 대한 설계 매뉴얼 및 전단모델 정립 시 활용
[연구 개발 세부 목표 2] 고강도 FRM 조성 및 두께에 따른 프리즘 압축, 인장, 전단강도 정량화 등 조적 벽체 소재 실험: 고강도 FRM 바름 보강 조적조 압축강도 20% 향상, 전단강도 50 % 향상(ASTM C 1314, ASTM E 519 등 실험 규격 사용)	○ 정성적 성과 - FRM 바름식 보강을 통해 사인장전단강도 1572% 향상 및 압축강도 152% 향상 효과를 시험성적서로 확인함. - 바름식 시공에 적합하고 압축 및 인장강도가 우수한 FRM 표준배합비를 도출함 ○ 정량적 성과 - 논문(SCI) : 1건 - 공인성적서 : 1건 - 논문(비SCI) : 1건 - 보고서 : 2건 - 학술대회 발표: 1건 - 특허 출원: 1건	- 연구개발성과의 관리 추진체계: 바름시공에 적합한 FRM 배합비의 특허등록 등 기술저작권 추가 확보 - 활용방안: 참여기업의 조적조 공공건축물 내진보강사업 수주 시 FRM 바름식 일체성 보강공법의 보강설계에 적용
[연구 개발 세부 목표 3] 날개벽형 고강도 FRM 내진보강 공법개발 및 구조성능 실증 : 프리캐스트 건식 패널/반건식 거푸집 겸용 패널 개발 (표준 조적조 건물의 붕괴방지 성능 확보를 위한 적정 보강 목표 도출 및 검증, 보강 후 구조성능 약 100% 개선)	○ 정성적 성과 - 소재성능 실증실험을 통하여 FRM 프리캐스트 패널 개발 연결부 상세의 목표 전단성능을 검증함(모체 역학성능 대비 110% 성능 개선) - FRM 프리캐스트 패널을 이용하여 조적벽체를 보강하였으며 반복가력실험 결과 목표 구조성능을 검증함(대비 구조성능 100% 개선) - 간편한 시공성, 거주 중 보강 가능성 등 제반 성능을 바탕으로 FRM 반건식 거푸집 겸용 패널 상세를 개발 및 조적벽체와 FRM 반건식 거푸집 겸용	- 연구개발성과의 관리 추진체계 : 시공성, 경제성 분석, 보강 패널 종류 별 시공 매뉴얼 작성, 조적벽체 보강 성능 매뉴얼 저작권 등록 및 특허 등록 등 기술 저작권 확보 - 활용방안 : MOCK-UP 등을 통해 공법에 대한 안전성이 검증되고 난 이후부터 기술 상용화 실시 예정 연구개발완료 이후부터 건물에 적용 예정(연구종료 후 3년 이내)

	패널 부착성능을 검증함() - FRM 반건식 거푸집 겸용 패널을 이용하여 조적벽체를 보강하였으며 반복가력실험 결과 목표 구조성능을 검증함(대비 구조성능 100% 개선) ○ 정량적 성과 - SCI 논문 게재 : 3건 - 학술대회 발표 : 4건 - 보고서 : 1건 - 기술요약정보 : 1건 - 소프트웨어 개발 및 저작권 등록: 1건	
[연구 개발 세부 목표 4] 조적벽체 고강도 FRM 바름 일체성 향상 보강공법 개발 및 구조성능 실증 (강재 활용 등 기존 공법과의 비교를 통하여 붕괴방지 성능 확보를 위한 적정공법 개발 보강목표 도출, 외부 치장벽돌에 적용한 목표성능 검증)	○ 정성적 성과 - FRM 바름식 일체성 향상 보강공법의 시작품을 외부 치장벽체 보강을 포함하여 4건 제작 - 시작품의 구조성능 실험을 통해 휨지배 벽체의 강도 250% 증가 및 전단지배벽체의 강도 50.2% 증가를 확인하였으며 각각의 목표치 20% 및 50%를 일부 초과달성 - 기존 FRP, 강재 브레이스 등 보강 공법과의 비교를 통해 경제성 확보 - 기존 조적조 건물의 비선형 내진성능평가를 통해 2400년 재현주기 지진에 대한 붕괴방지 성능목표 확보를 위해 손상된 벽체의 강도 증진 목표가 50% 내외임을 확인하였으며, 실험을 통해 확보됨을 실증 ○ 정량적 성과 - 시작품 : 2건 - 논문(SCI) : 1건 - 논문(비SCI) : 1건 - 보고서:: 1건 - 학술대회 발표: 1건 - S/W:: 1건 - 특허 등록: : 1건	- 연구개발성과의 관리 추진체계: 시작품 제작 및 실험을 통해 검증된 표준상세의 추가 연구 수행을 통해 설계 매뉴얼의 보완 및 기술표준화 추진 - 활용방안: 참여기업의 조적조 공공건축물 내진보강사업 수주시 FRM 바름식 일체성 보강공법의 표준상세를 보강설계에 적용

< 별첨 >

별첨 자료
1. 참고문헌
2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '노후 조적조 건물의 거주 중 내진보강을 위한 건식 및 바름형 FRM 적정기술 개발' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

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