

19CTAP-
C130221-
03

고내화성
내진보강
용 NSM-
FRP 매립
형 및 TR
M-FRP
패널형 복
합공법의
개발과 실
용화

최
종
보
고
서

2019

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

보안 과제(), 일반 과제(○)/ 공개(○), 비공개()
국토교통기술촉진연구 사업 제3차 연도 최종 보고서

R&D / 19CTAP-C130221-03

고내화성 내진보강용 NSM-FRP 매립형 및 TRM-FRP 패널형 복합공법의 개발과 실용화

최종보고서

2020. 01. 31.

주관연구기관 / 한국교통대학교
공동연구기관 / 숭실대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

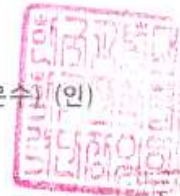
제 출 문

국토교통부 귀하

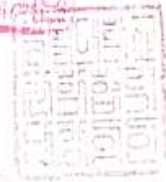
'고내화성 내진보강용 NSM-FRP 매립형 및 TRM-FRP 패널형 복합공법의 개발과 실용화'
(연구개발 기간 : 2017.04. ~ 2019.12.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 01. 31.

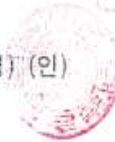
주관연구기관명 : 한국교통대학교 산학협력단 (전문수)(인)



공동연구기관명 : 숭실대학교 산학협력단 (김주용) (인)



참여기관명 : (주) 대흥종합건설 (김갑영) (인)



참여기관명 : (주) 허브구조엔지니어링 (김형만) (인)



주관연구기관책임자: 서 수 연

공동연구기관책임자: 최 경 규

참여기관책임자: 박 종 태

참여기관책임자: 김 상 우

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C130221-03	해당 단계 연구 기간	2017-04-01~ 2019-12-31	단계구분	1차년도- 3차년도
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	고내화성 내진보강용 NSM-FRP 매립형 및 TRM-FRP 패널형 복합공법의 개발과 실용화			
연구책임자	서 수 연	해당단계 참여연구원 수	총: 17명 내부: 17명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부:200,000 천원 민간: 67,400 천원 계:267,400 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 30명 내부: 30명 외부: 0명	총 연구비	정부:600,000 천원 민간:201,400 천원 계:801,400 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국교통대학교 산학협력단			참여기업명 (주)허브구조엔지니어링, (주)대흥종합건설	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	해당사항 없음
-------------------------	---------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허 등록	특허 출원	보고 서 원문	연구시 설·장 비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합 물	생명자원		신품종	
									생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	10(3)	1	3	1	-	-	1	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약	보고서 면수	91
----	--------	----

<연구목표>

- 본 연구는 기존의 FRP 보강공법의 문제점을 개선할 수 있는 고내화성 내진보강용 TRM-FRP 보강 패널을 개발하여 FRP 표면매립공법 개발 및 적용의 기술 선진화를 목적으로 함

<연구내용>

- 무기계 내화 접착 모르타르를 개발하고 부착강도, 내열성능, 연간 강도 및 질량변화율에 대해 실험을 진행하여 요구 성능을 검증하고 시공용이성을 고려한 시제품을 개발함
- 보강재가 고온에 직접적으로 노출되지 않도록 하는 NSM-FRP 공법과 내화단열 상재를 개발하고 실험을 통해 구조적 성능을 검증함. 이에 대한 설계프로세스 및 보강 설계법을 개발함
- 준습식 공법으로 시공 가능한 TRM-FRP 패널형 PC 보강공법을 개발, TRM-FRP 패널의 주요성능을 실험적으로 검증하고 기둥부재에 적용하여 개발 공법의 실효성을 검증함. TRM-FRP 보강공법의 설계 예제 및 설계법 전산화를 통한 기술이전과 제품양산 방안을 제공함

요약문

연구의 목적 및 내용	본 연구는 기존의 FRP 보강공법의 문제점을 개선할 수 있도록 고내화성 내진보강용 NSM-FRP 매립형 및 TRM-FRP 패널형 복합공법의 개발과 실용화를 목적으로 하며 연구 목표를 달성하기 위하여 다음과 같이 3가지 핵심 연구목표를 제시함 - 고온환경에서 내열성 및 고부착성을 갖는 FRP 무기계 내화 접착 모르타르를 개발 - 기존 FRP 보강공법 대비 구조 보강성능과 내화성능이 향상된 NSM-FRP 내진보강 공법을 개발 - 고내화성을 갖는 내진보강용 TRM-FRP 패널형 PC 보강 제품을 개발하고 전산화함				
연구개발성과	고성능 무기계 내화 접착 모르타르 개발: -알루미노 실리케이트계 내화물을 이용한 무기계 접착제를 개발하고 부착강도, 내열성능, 열간강도 및 질량변화율을 실험적으로 검증하였음 -개발한 무기계 접착제를 시공의 용이성을 고려하여 시제품으로 개발함 NSM-FRP 매립형 공법 개발: -FRP를 내화 접착 모르타르를 활용해 매립하는 NSM-FRP 공법과 내화단열 상세를 개발하였으며 실험을 통해 구조적 성능을 검증함 -개발공법에 대한 설계프로세스 및 보강 설계법을 개발 및 제안함 TRM-FRP 패널형 PC 보강공법 개발: -현장에서 준습식으로 시공 가능한 TRM-FRP 패널형 PC 보강공법을 개발하고 TRM-FRP 패널의 주요성능을 실험적으로 검증하였음 -개발한 TRM-FRP 패널을 기둥부재에 적용하여 개발 공법의 실효성을 실험적으로 검증함 -개발공법의 설계 예제 및 설계법을 전산화하여 실무로의 기술이전과 제품양산 방안을 제안함 주요 연구성과: 논문 13편, 특허 4출원, 1등록, 시제품 2건, 소프트웨어 1건, 인력양성 2명 임				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	기술적 측면 -화재가 빈번하게 발생하는 건축물에서 FRP를 활용한 구조보강시 항상 대두되는 문제는 내화성능의 확보임 -이와 같은 문제를 개선함으로써 건축물의 구조보강시 개발기술의 활용도는 매우 높을 것으로 사료됨 경제적·산업적 측면 -2017년 포항지진 이후, 건축물의 안전에 대한 경각심이 높고 구조보강이 요구되는 건물이 기하급수적으로 증가하고 있기 때문에 구조보강 시장의 활성화가 될 것으로 기대됨 -개발기술은 FRP보강시 낮은 보강효율과 낮은 내화성을 개선한 기술이기 때문에 활용도가 높으며 이에 따른 경제적 기대성고가 높을 것으로 예상되며 여러 공정을 거쳐 양생되는 제품을 제작하므로 새로운 일자리 창출에 기여할 것으로 예상됨 사회적 측면 -개발기술은 보강효과가 높고 우리나라에서 건축물에 발생하는 재해 중 가장 빈도수가 높은 화재에 대하여 보강효과를 지속시킬 수 있으며 일반적인 보강공법인 강판보강 대비 30% 수준의 가격으로 구조물을 보강할 수 있으므로 국민복지와 안전의 측면에서 반드시 개발효과가 큼 -본 과제는 기업과의 공동연구로서 시작품 제작 단계까지 수행되는 연구이므로 일반적인 기초 기술개발보다 시장에서 유통되는 FRP 제품의 기계적 성질을 고려하여 수행해야 하며 화재발생이라는 특수 상황을 다루므로 고온조건을 고려한 설계 전산화 및 제품화를 통해 연관 협회 및 보강시공업체에 기술보급될 수 있을 것임				
국문핵심어 (5개 이내)	내화	무기계 내화 접착 모르타르	표면 매립공법	직조보강 모르타르공법	프리캐스트 패널
영문핵심어 (5개 이내)	Fire Resistance	Inorganic Fire Resistance Bond-Mortar	Near Surface Mounted Method	Textile Reinforced Mortar Method	Precast Concrete Panel

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구개발의 개요	1
나. 연구개발의 필요성	2
다. 연구개발의 최종 목표	3
라. 연차별 연구개발 내용 및 범위	4
2. 연구수행내용 및 성과	13
가. 연구내용, 연구개발 추진 및 일정	13
나. 연구개발 성과	22
다. 연구결과	61
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	75
가. 연도별 연구목표	75
나. 연구개발 목표 및 달성도	75
4. 연구개발 성과의 활용 계획 등	81
가. 추가연구의 필요성	81
나. 타 연구에의 응용	82
다. 사업화 추진 방안	82
붙임. 참고 문헌	
00. 최종평가 자료제출 공문	
01-1. 자체평가의견서	
01-2. 집행실적대비표	
02. 성과점검기준표(총괄, 연차별)	
03. 성과증빙자료집	
03-1. 연구성과 목록	
03-2. 연구목표대비 연구성과 비교표	
03-3. 주요연구내용 및 최종 성과물	
04. 연구개발성과활용계획서	
05. 발표자료(PPT)	
06. 전자파일(CD 등)	

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 개요

(1) FRP 재료를 이용한 건축물 내진보강공법의 수월성

- 구조엔지니어링 실무에서는 일반보강 또는 내진보강 목적으로 강판보강공법과 섬유강화폴리머(Fiber reinforced Polymer, 이하 FRP)보강공법을 광범위하게 사용하고 있음. FRP 보강공법은 강판보강에 비해 경량이고 고강도발현, 저부식성의 장점으로 현장작업 시 효율적이고 지속가능한(내구성) 보강재료로 인식되고 있음
- FRP 보강공법은 크게 외부부착공법과 표면매립형으로 나뉨. FRP 외부부착공법은 FRP 시트 또는 FRP 플레이트를 에폭시 접착제로 부재의 외부에 함침·부착하여 보강하는 공법으로 시공이 간편하므로 실무에서 가장 널리 쓰이는 보강공법임

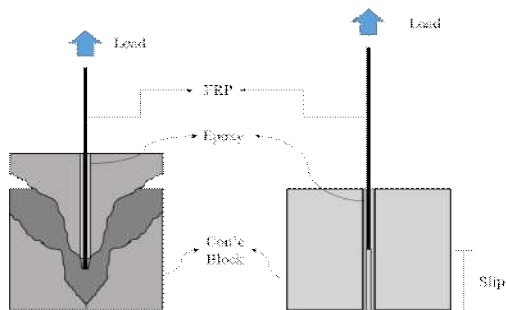
(2) FRP 보강공법의 주요 이슈 및 동향

- FRP 보강공법은 실무에서 광범위하게 사용되고 있으나 아래와 같은 3가지 측면의 개선이 요구됨
- 콘크리트 표면과 FRP 보강재의 부착과괴: 두 이질적인 재료 사이에 큰 수평전단력이 재하될 때 FRP 보강재의 끝 부분부터 벗겨지면서 부착과괴가 발생하며, 이는 FRP 보강재의 성능저하를 초래하는 대표적인 요인임(Teng et al. 2002)(그림 1)
- FRP 보강재료의 장기적 성능 및 내구성 저하: 장기적으로 지속되는 하중을 재하받는 경우, FRP와 콘크리트 크리프 특성 차이로 인하여 콘크리트 표면에서 응력 재분배 또는 응력집중으로 인하여 크리프 유발 콘크리트-FRP 부착과괴가 발생할 수 있음(Choi et al., 2007; Meshgin et al., 2009; Reda Taha et al., 2010)(그림 2)

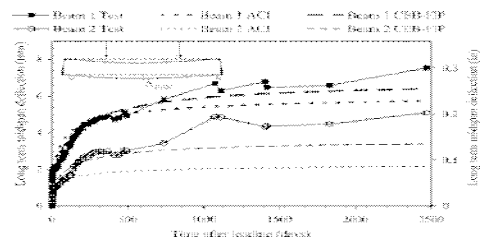
High-stress zone

Crack Propagation

<그림 1> 콘크리트 표면과 FRP 보강재의 부착과괴 (Teng et al. 2002)



<그림 3> 고온노출시 FRP 부착성능의 변화 (고온노출 전/노출 후)



<그림 2> FRP 보강 콘크리트 보의 장기하중 거동 (Reda Taha et al. 2010)

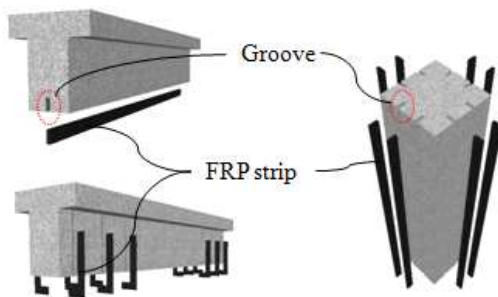
<그림 4> 화재발생 시 FRP 보강 보부재의 파괴

- 화재 또는 고온 노출시 FRP-콘크리트 부착성능 저하: FRP 재료의 가장 큰 약점으로 유리전이온도(T_g) 이상의 고온 노출시 재료의 상변환으로 인한 기계적 성능 저하로 보강성능 자체가 완전히 유실될 수 있음(Foster et al. 2008)(그림 3, 4)

나. 연구개발의 필요성

(1) FRP 외부부착공법의 취약점을 보완할 수 있는 FRP 표면매립공법

- FRP 재료 및 공법에 대한 분석결과, (1)FRP 보강재-콘크리트 부착, (2)장기성능저하, (3)화재취약성이 핵심이슈이며, 따라서 (1)은 고부착성의 함침모르타르 개발, (2)개발 함침모르타르와 FRP 계면의 장기변형 최소화 검증, (3)은 개발된 함침모르타르를 적용한 FRP 표면매립공법 개발 및 적용으로 기술선진화가 가능함
- FRP 외부부착공법의 취약점을 보완한 FRP 표면매립공법은 부재의 피복내부에 FRP를 부착하고 함침제를 이용하여 부재와 FRP를 일체화하는 공법으로 FRP가 외부환경에 노출되지 않아 고온에 대한 저항성이 향상되며 장기적으로 외부환경에 노출되지 않아 FRP가 부재로부터 탈락할 가능성이 낮아 장기성능이 유지됨. FRP 표면매립공법은 FRP의 형태와 매립방법에 따라 NSM-FRP(Near Surface Mounted-FRP)공법과 (그림 5(a)) TRM-FRP(Textile Reinforced Mortar-FRP)공법으로(그림 5(b)) 나뉨



(a) NSM FRP 공법



(b) TRM FRP 공법 (Papanicolaou, 2005)

<그림 5> 다양한 표면매립공법의 종류

(2) 내화성을 갖춘 내진보강공법인 FRP 표면매립공법의 필요성

- FRP 보강공법의 화재 취약성은 함침제와 FRP 재료의 발화성에 기인하는데, 현재 실무에서 적용되는 두 가지 함침제 중 하나인 에폭시 접착제는 부착성능은 우수하나 높은 발화성 및 고온노출 시 부착탈락을 야기하고 다른 함침제인 모르타르는 고온저항성은 우수하나 부착성능이 에폭시 접착제에 비해 좋지 않아 부착파괴를 야기함
- 그러므로 고부착성능을 지니며 고온저항성을 개선한 내화모르타르를 개발 및 검증하여 FRP 표면매립공법에 적용이 필수적임

(3) FRP 표면매립공법의 실무적용을 위한 제품화 및 상업화 필수

- FRP 표면매립공법은 여러 장점에도 불구하고 FRP 외부부착공법에 비하여 시공방법이 익숙하지 않고 설계방법 및 기성제품의 부재로 인해 상대적으로 덜 채택됨
 - KS 규격에 따른 내화성 기준을 만족하며 FRP 재료와 부착성능이 우수한 고부착 내화성 함침 모르타르와 이를 적용한 내화단열 상재를 개발하여 제품화 단계로 발전하는 것이 사업화에서 필수적임
-

다. 연구개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	기존 내진보강용 FRP 공법의 화재에 대한 취약성을 극복하기 위하여 1) 고성능 무기계 내화 접착 모르타르 개발, 2) 스트립형태의 FRP를 기존 부재의 표면에 보강하는 NSM-FRP 끼움형 공법 개발, 3) 양방향으로 직교직조된 FRP 매쉬를 기존 부재의 표면에 부착하여 매립하는 TRM-FRP 공법 PC 패널의 개발 및 실용화
세부 목표	- 연구목표 1: 고온환경에서 내열성 및 고부착성을 갖는 FRP 무기계 내화 접착 모르타르 개발(1시간가열후, 부착강도 변화: 가열전 대비 30% 이내, 내열성능: 이면온도400℃, 질량변화: 30%이내, 시공성능: 가사시간 2시간 내외) - 연구목표 2: 기존 공법 대비 구조보강성능과 내화성능이 향상된 NSM-FRP 내진보강기술 개발(20% 구조성능개선, 30% 내화성능개선) - 연구목표 3: TRM-FRP 패널형 PC 보강 제품 개발



<그림 6> 연구의 전체목표와 세부목표

라. 연차별 연구개발 내용 및 범위

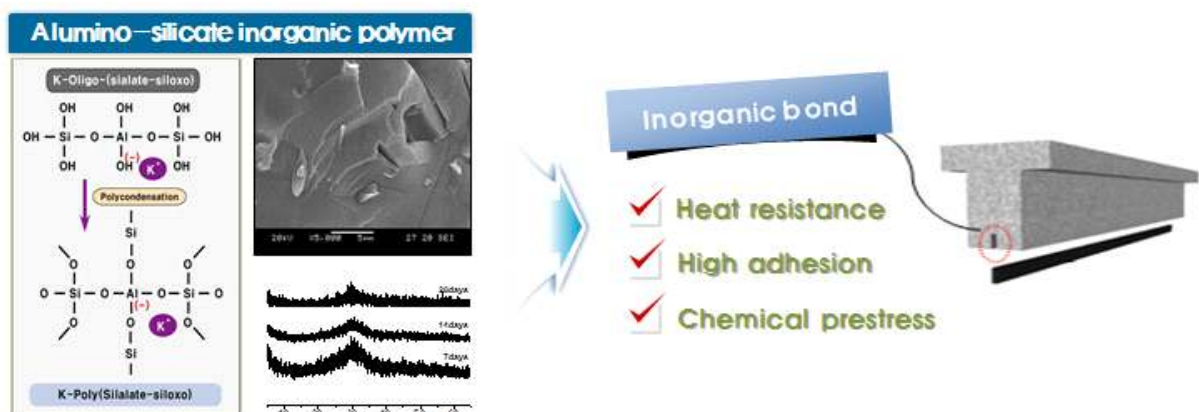
(1) 1차 연도

(가) 개발 목표

- ① 주관연구기관(한국교통대학교): 화재 시 고온환경에서 내열성 및 고부착성을 갖는 FRP 무기계 내화 접착 모르타르 개발 / 철근콘크리트 구조부재의 보강을 위한 내부 매립형 NSM-FRP 내화단열 보강상세 개발 / 휨 성능이 향상된 내부 매립형 FRP 내화단열 보강기술 성능 검증
- ② 공동연구기관((주)대흥종합건설): 기존 FRP보강기술 조사분석 및 내부 매립형 NSM-FRP 내화단열 보강공법 시공성개선
- ③ 공동연구기관(숭실대학교): 개발 내화 접착 모르타르 적용 TRM-FRP 패널형 상세의 부착성능 및 내화성능 검증 / TRM-FRP 공법 적용 기둥부재의 실온조건 구조성능 검증
- ④ 공동연구기관((주)허브구조엔지니어링): 고부착 내화성 모르타르 적용 TRM-FRP 패널형 상세 개발

(나) 개발 내용 및 범위

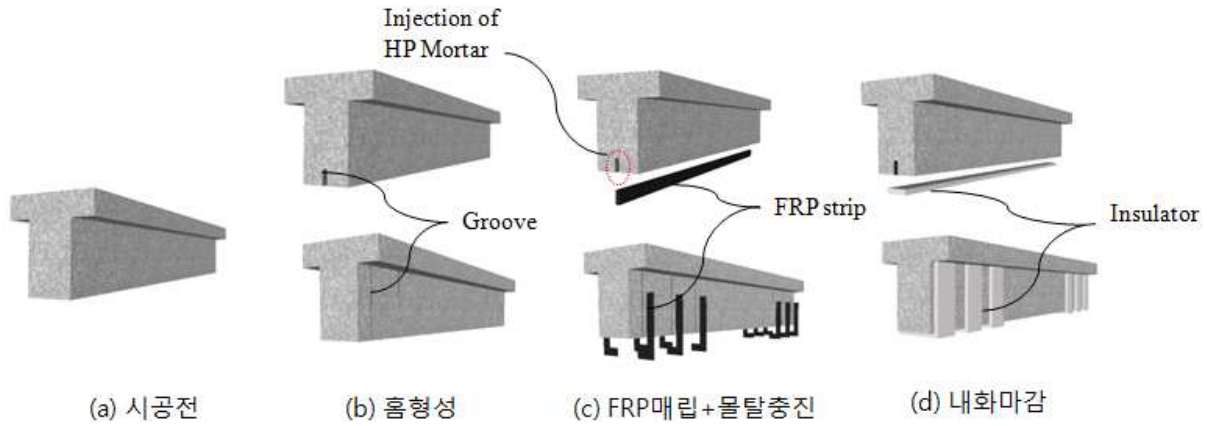
- ① 주관연구기관(한국교통대학교):
 - ㉠ FRP 보강용 무기계 내화 접착 모르타르 개발
 - 국내외 무기계 내화 접착 모르타르에 대한 자료조사
 - 원천소재별 성능비교
 - 내열성 및 고부착성 확보를 위한 재료의 최적화
 - ㉡ 개발 재료의 안정성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토
 - 실험을 통한 부착강도 및 내열성능 검토 (KSF2257-1)
 - 길이변화율 검토 및 제품의 품질 확보



<그림 7> FRP 보강용 무기계 내화 접착 모르타르 개발

㉔ 내부 매립형 FRP 내화단열보강상세 개발

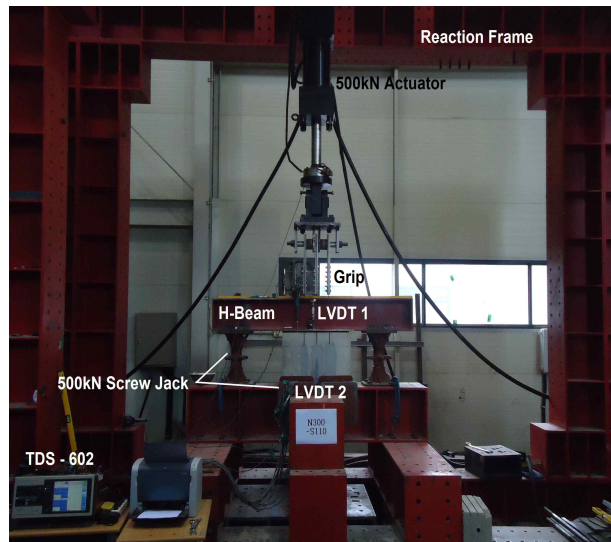
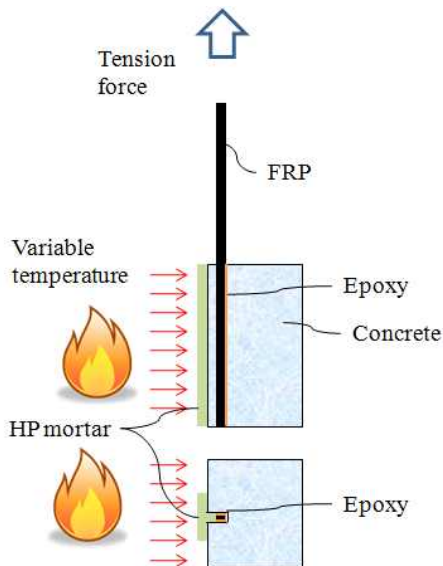
- 시공성 및 구조성능을 고려한 내화단열 보강상세 개발
- 부착강도 및 내화성 향상을 위한 핵심기술 정립



<그림 8> 내화 NSM FRP 휨 및 전단보강 상세 개발(안)

㉕ 개발 상세에 대한 FRP 부착성능 및 내화성능실험

- 개발 상세에 대한 무기계 내화 접착 모르타르의 FRP부착전단실험을 통한 보강성능 검증
- 실험결과 분석을 통한 부착강도 산정식 및 고온에 따른 강도저하 계수 제안



<그림 9> NSM FRP 내화 보강 상세 부착실험

㉖ 개발 기술의 구조부재 휨 보강성능 검증실험

- 개발 기술의 구조부재 휨 보강 시 구조실험을 통한 성능 검증

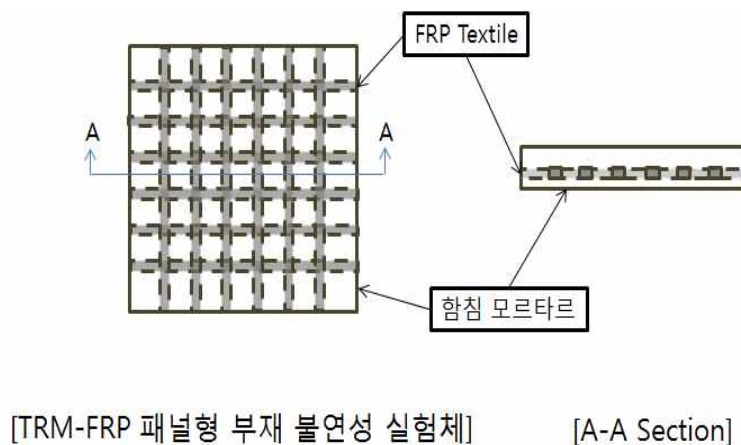
② 공동연구기관((주)대흥종합건설): 기존 FRP보강기술 조사분석 및 시공성 개선 및 시공절차 분석

- 국내외 매립보강기술 및 설계법에 대한 자료조사 및 분석
- 고온에 대한 FRP 특성 및 내화단열기술에 대한 자료조사
- 고내화성 FRP 매립보강기술 시공법 개발
- 기존기술의 휨 개발기술의 시공 절차분석

③ 공동연구기관(숭실대학교):

㉔ 개발 TRM-FRP 패널형 부재의 내화성 실험

- 개발된 TRM-FRP 패널형 상세의 내화성능 검증
- 판형 부재에 대한 내화성 실험은 부재하프로 KS F ISO 1182 차용
- 직교직조된 FRP Textile을 개발된 모르타르 사이에 함침시켜 판형으로 제작한 패널형 TRM-FRP 상세 부재의 내화성능을 확인하기 위해 KS규격에서 제시하는 내화성능 실험을 수행함. 750℃의 고온에서 20분간 가열한 후 질량감소율이 30%이하이면 내화재료의 조건에 부합함



[TRM-FRP 패널형 부재 불연성 실험체]

[A-A Section]

<그림 10> TRM-FRP 패널형 부재 내화성 실험체



<그림 11> 내화성 실험

㉕ 개발 TRM-FRP 패널형 부재의 판부착실험

- 개발된 TRM-FRP 패널형 부재와 기존 콘크리트 부재와의 부착성능을 평가함
- 콘크리트 블록 2개의 위,아래면에 1차년도에 개발한 뿔칠용 모르타르를 뿔칠 타설한 후 개발한 TRM-FRP 상세의 패널을 부착하여 이중전단실험을 수행
- TRM-FRP 상세 내화성능 분석 : 부착길이는 아래의 식(2)로 산정한 유효부착길이(L_e)의 규명을 위해 $L_e \pm 40\text{mm}$ 범위에서 다양한 변수에 대해 부착실험 실시(Chen and Teng(2001))
- 개발상세의 부착성능에 대한 Bayesian learning 기반 변수 영향분석 및 파괴확률과 취약도 곡선 (fragility curves) 분석

④ 공동연구기관((주)허브구조엔지니어링):

㉠TRM-FRP 패널형 공법 상세 개발

- 선행연구의 TRM-FRP공법의 내화성능 및 피복제의 두께에 대한 자료조사
- 특허분석을 통한 기개발 상세와의 기술중복성 검토
- 내화성이 확보된 모르타르를 적용한 TRM-FRP 상세 개발

(2) 2차 연도

(가) 개발 목표

- ① 주관연구기관(한국교통대학교): 개발 무기계 내화 접착 모르타르의 내열성 및 물리적 성능 확보를 통한 프로토 타입 제품 개발 및 전단성능이 향상된 내부 매립형 FRP 내화단열 보강기술 성능 검증
- ② 공동연구기관((주)대흥종합건설): 기존 기술과 개발기술의 상세에 따른 시공공정 개발
- ③ 공동연구기관(숭실대학교): TRM-FRP 공법 적용 기둥부재의 고온노출 후 구조성능 검증
- ④ 공동연구기관((주)허브구조엔지니어링): TRM-FRP 공법 적용 PC제품 상세 및 시공법 개발

(나) 개발 내용 및 범위

① 주관연구기관(한국교통대학교):

- ㉠ 고온 가열에 따른 FRP 보강용 내화 접착 모르타르의 내열성 및 물리적 성능확보
 - 개발 내화 무기 접착 모르타르의 고온 가열 후 내열성능 및 부착성능 검증
- ㉡ 개발제품의 현장시공의 용이성을 고려한 성능 개선
 - 현장시공의 용이성을 고려한 프로토 타입의 제품 개발
 - 현장 사용을 위한 제품에 대한 사용가이드 라인 제시



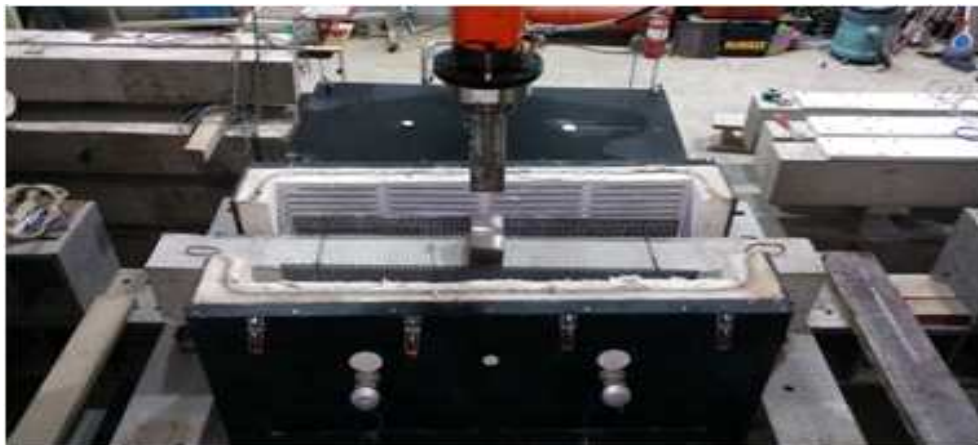
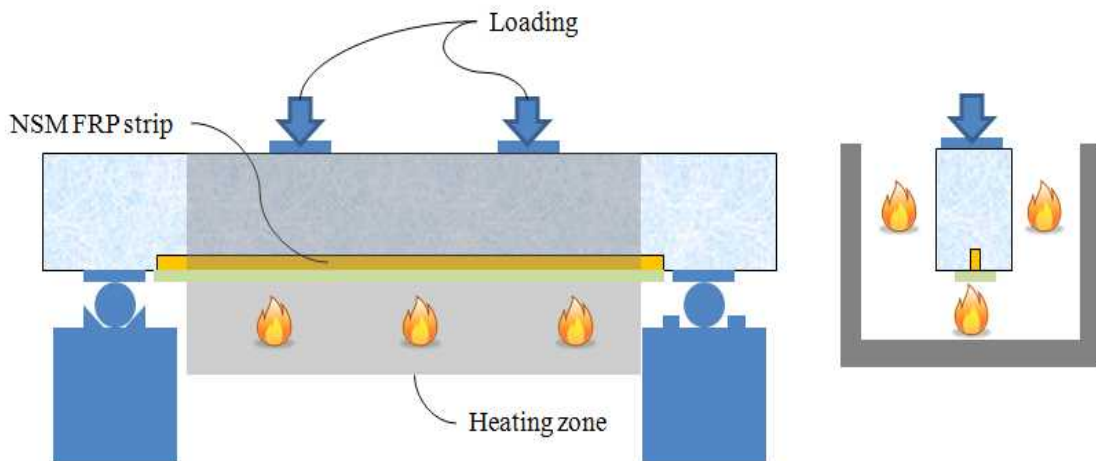
<그림 12> 내화 접착 모르타르의 내열성 및 물리적 성능 확보

㉔ 개발 기술의 구조부재 전단보강성능 검증실험

- 개발 기술의 구조부재 전단보강시 구조실험을 통한 성능 검증
- 개발 기술의 구조부재 의 휨 및 전단보강 적용 휨 부재를 선정하여 KS규격 표준 화재 시간-온도곡선에 따라 가열하여 공인시험기관 시험성적서를 획득함
- NSM-FRP와 TRM-FRP 복합공법에 대한 성능 검증 실험
- 기존 기술과의 비교를 통한 개발기술의 효용성 검증

㉕ 고온조건을 반영한 휨 보강설계 프로세스 제안

- 유한요소해석을 통한 다양한 조건에 대한 분석
- 고온조건을 반영한 휨 보강설계 프로세스 제안



<그림 13> NSM FRP 휨 및 전단성능 실험

② 공동연구기관((주)대흥종합건설):

㉔ 기존기술의 휨 및 전단보강절차와 개발기술의 시공절차 분석(계속)

- 기존기술의 휨 및 전단보강절차와 개발기술의 시공 절차분석
- 보강기술 적용에 따른 구조안전성 및 경제성 분석

③ 공동연구기관(숭실대학교):

㉓ TRM-FRP PC제품 적용 기둥부재 구조성능 검증

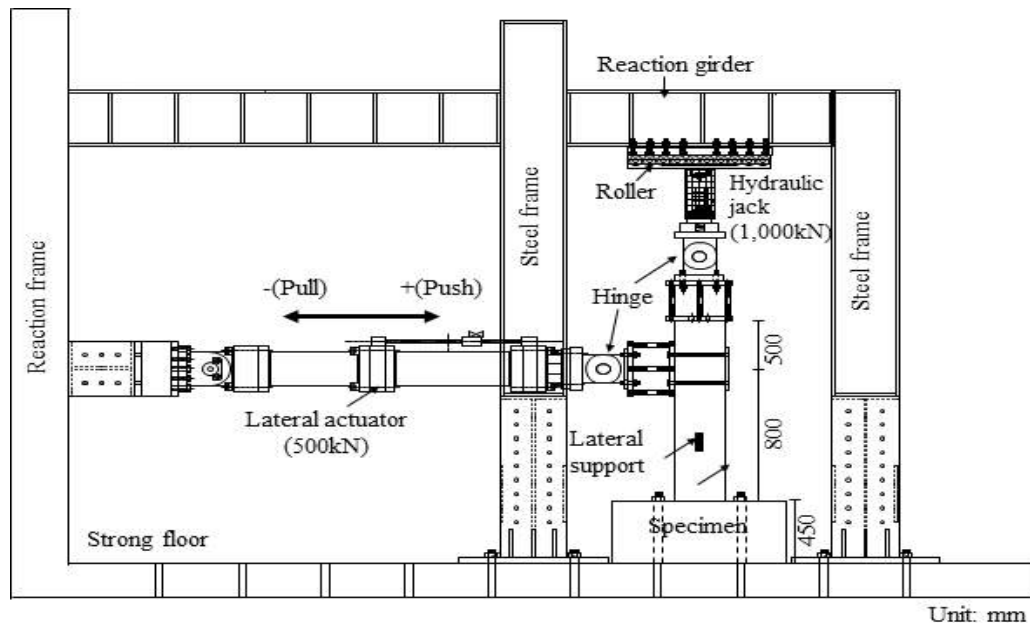
- TRM-FRP 공법의 PC제품 상세를 이용하여 비내진상세 기둥부재의 단부를 보강한 후, 기존부재 대비 30% 이상의 구조성능 보장 검증
- 구조성능 실험은 ACI 374.2R-13 기준에 준하여 수행함

㉔ TRM-FRP PC제품 상세의 고온노출 후 부착강도 검증

- 개발 TRM-FRP PC제품 상세를 적용하여 Double Shear test Specimen을 제작하고 이를 내화성 실험과 같은 조건에서 고온에 노출한 후 부착강도가 실온에서의 부착강도 대비 70% 이상 발휘 검증

㉕ TRM-FRP PC제품 적용 기둥부재의 고온노출 후 구조성능 유지 검증

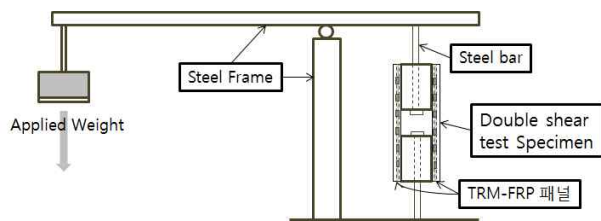
- 실온에서의 구조성능 검증(계속)(기존 부재 대비 30%이상 구조성능 향상)
- 개발 공법을 이용한 휨 및 전단보강적용 기둥부재를 선정하여 KS 규격과 표준 화재 시간-온도곡선의 화재가혹도(Fire Severity)에 따라 60분 동안 가열함
- 하중가력실험을 수행하여 보강성능이 고온 노출 전 성능대비 80%이상의 유지 여부를 검증함(KS F 2257 차용)



<그림 14> 기둥부재 실험 셋업

㉖ 개발공법의 장기 판부착성능 검증

- 1차년도에 수행한 부착실험 실험체와 동일한 상세의 실험체를 최대부착강도의 10, 20, 30, 40%에 해당하는 하중을 6개월 이상 가력하여 장기적으로 부착성능이 유지되는지 검증함
- 6개월이상 장기하중이 가해진 실험체의 부착강도와 양생 직후의 단기 부착강도를(1차년도 부착강도실험 결과) 비교하여 장기성능이 양생 직후의 단기 판부착강도 대비 90%이상을 유지함을 검증

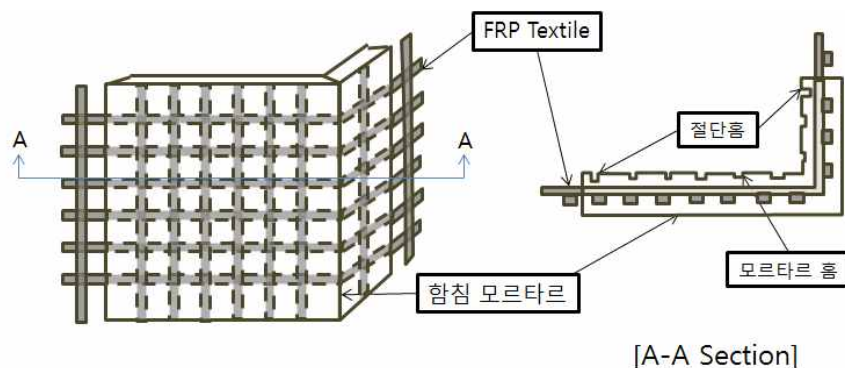


<그림 15> 장기성능 실험 Set-Up

④ 공동연구기관((주)허브구조엔지니어링):

㉓ TRM-FRP 공법 적용 PC제품 상세 개발 및 시공법 개발

- 상세안 설명 : 1차년도에 수행한 부착실험과 내화실험 결과를 반영한 TRM-FRP 공법의 PC제품 상세를 개발함.
- 상세안은 2종류를 제안함. 상세안 1은 판형, 상세안 2는 코너형으로 기둥부재에 각 상세를 적용하여 비교·분석함
- TRM-FRP PC패널의 각 상세안은 판형 또는 코너형으로 제작한 FRP Textile을 1차년도 개발 모르타르와 일체화하여 PC제품화 한 것으로 부재와 맞닿는 부분은 부착강도의 확보를 위해 모르타르 홈을 만듦. 또한 제품 양 끝에 절단홈을 만들어서 현장에서 부재가 제품보다 작은 경우 양단을 쉽게 손으로 부러뜨려 사용할 수 있도록 함. TRM-FRP PC제품의 시공순서는 아래와 같음
- (1) 표면처리 및 모르타르 뿔칠 : 기존 기둥부재의 피복을 얇게 박리해 표면에 요철을 만들고 모르타르를 뿔칠함
- (2) 개발 TRM-FRP PC제품 부착 : TRM-FRP 판형 또는 코너형 PC제품을 부재에 부착하고 판형제품은 FRP Textile 양단을 구부려 부재에 밀착하여 부착길이를 확보함
- (3) 외부 재뿔칠 : 판형 제품의 경우 FRP Textile이 노출되어 있는 코너에, 코너형 제품일 경우 제품사이에 모르타르를 집중적으로 뿔칠하여 부재와 제품사이의 공극을 최소화함



<그림 16> TRM-FRP 공법 제품 상세안

(3) 3차 연도

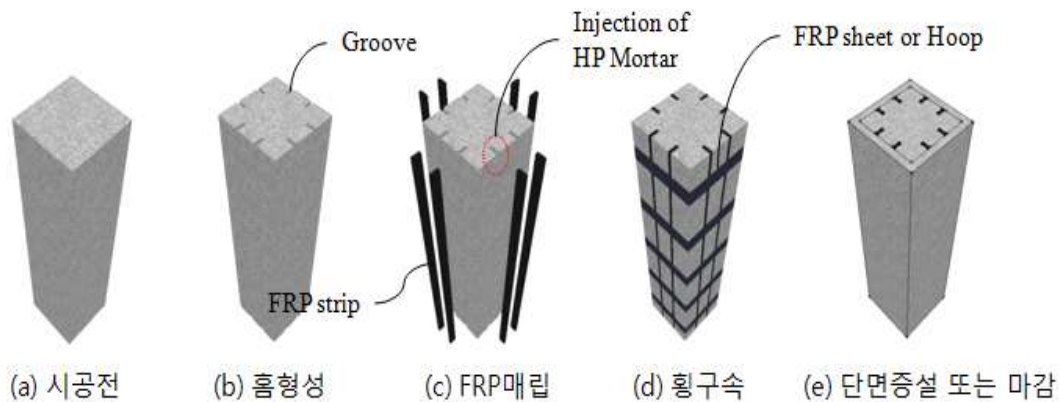
(가) 개발 목표

- ① 주관연구기관(한국교통대학교): 기둥 보강상세 개발 및 성능 검증을 통한 설계절차 구축
- ② 공동연구((주)대흥종합건설): 개발기술의 시공절차 완성 및 현장검증
- ③ 공동연구기관(숭실대학교): TRM-FRP 패널형 PC보강제품개발 및 설계법 전산화
- ④ 공동연구기관((주)허브구조엔지니어링): 개발기술을 활용한 특허출원 및 사업화 계획

(나) 개발 내용 및 범위

① 주관연구기관(한국교통대학교):

- ㉠ 기둥 보강시 보강상세 개발 및 구조성능 검증실험
 - 기둥 보강시의 보강상세 개발
 - 개발기술로 보강된 기둥의 구조성능 실험을 통한 성능 검증
- ㉡ 개발기술의 고온조건을 고려한 보강설계법 완성
 - 기둥보강상세에 대한 다양한 조건에서의 거동분석
 - 개발기술의 고온조건을 고려한 보강설계법 완성



<그림 17> 내화 NSM FRP 기둥보강 상세 개발(안)

② 공동연구기관((주)대흥종합건설):

- ㉠ 기둥보강상세에 대한 개발기술의 시공절차 완성 및 현장검증
 - 기존의 기둥보강기술과 개발기술의 시공절차 비교분석
 - 기둥보강상세에 대한 개발기술의 시공절차 완성 및 현장검증

③ 공동연구기관(숭실대학교):

㉠ 개발공법의 장기 판부착성능 검증

- 2차년도에 이어서 장기 판부착성능 검증을 위한 장기성능실험을 수행하며 장기 판부착성능이 단기 판부착강도 대비 90%이상 유지함을 검증함

㉞ PC패널 시제품 개발 및 설계법 전산화

- 본 연구는 창의도전과제이며 목표 TRL은 7단계임. TRL 7단계는 실제 환경 시제품 데모 단계를의미함. 따라서 본 연구에서는 이를 위하여 현장적용의 방안으로 아래와 같이 연구를 추진함
- 시공성을 개선하여 현장적용이 가능한 TRM-FRP PC패널 시제품을 개발
- 1,2,3차년도 실험결과를 바탕으로 설계방법을 실무에 적용 가능한 프로그램 Code로 작성하여 전산화함
- 실무자에게 기술이전을 위해 설계예제 작성

④ 공동연구기관((주)허브구조엔지니어링):

㉞ 특허출원 및 사업화

- 기술이전을 위해 특허를 출원하고 실무적용 방안 및 기술과 제품양산 방안을 제시함
 - 구조물 보수·보강시장에서 적용되는 타 공법 대비 경제성 검토 및 분석
 - 시장가능성을 검증하기 위해 국토교통기술대전에 출전계획
 - 시장성 확보를 위해 FRP 구조보강시공 업체의 구매의사서를 획득
-

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구내용, 연구개발 추진 및 일정

(1) 연구내용

(가) 1차 연도 연구내용

연구 범위		연구내용	이론적·실험적 접근방법
FRP 보강용 무기계 내화접착 모르타르 개발	내열성 및 고부착성 확보를 위한 재료의 최적화	- 무기계 내화 접착제에 대한 선행연구분석 및 문헌조사를 통해 재료의 기초적 특성 파악(1-1-①) - 고내열성 확보를 위한 무기계 바인더의 종류 및 최적 Al:Si 몰비 검토(1-1-②,③)	- 무지접착제 원천소재조사 분석 - 원재료별 성능비교 - 개발 접착 모르타르의 최적배합 도출 - KS 외 규격 준수 - 논문작성
	개발 재료의 안정성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토	- 가열온도조건에 도달한 실험체의 부착성능(KS F 4043)과 내열성능(KS F 2257-1) 검증(1-2-①, 1-2-②) - 기초적 물성으로 길이변화율 측정(1-2-④)	- 부착강도 측정 - 내열성능 검증 - 길이 변화율 측정 - 개발제품 품질 확보 - KS 규격 준수 - 개발제품제시안의 적합성 검증 - 논문작성 - 특허 출원
NSM- FRP 매립형 공법 개발	내부매립형 FRP 내화단열 보강상세 개발	- 시공성 및 구조성능을 고려한 내화단열 보강상세 개발(2-1-①) - 부착강도 및 내화성 향상을 위한 핵심기술 정립(2-1-②) - 국내외 매립보강기술 및 설계법에 대한 자료조사 및 분석(2-1-③) - 고온에 대한 FRP 특성 및 내화단열기술에 대한 자료조사(2-1-③) - 고내화성 FRP 매립보강기술 시공법 개발(2-1-④)	- 보강상세 개발 - 핵심기술정립 - 기존 기술 및 설계법 조사분석 - 시공법 개발 - 개발기술 및 시공법 제시안의 적합성 검증 - 논문작성 - 특허출원
	개발 상세에 대한 FRP 부착성능 및 내화성능 실험	- 개발 상세에 대한 무기계 내화 접착 모르타르의 FRP부착전단실험을 통한 보강성능 검증(2-2-①) - 실험결과 분석을 통한 부착강도 산정식 검토 및 강도저하 결정요인 파악(2-2-②)	- 보강성능 및 내화성능 검증 - 부착강도 산정식 제안 - 부착강도, 내화실험 진행 - 논문작성

	개발 기술의 구조부재 휨 보강성능 검증실험	• 개발 기술의 구조부재 휨 보강시 구조실험을 통한 검증(2-3-①) • 내화모르터 유무에 따른 내화단열성능을 파악(2-3-①) • 내화보드의 두께에 따른 내화단열 성능과 FRP보강 보의 휨강도 변화 파악(2-3-①) • 기존기술의 휨보강을 위한 개발기술의 시공 절차분석(2-3-③)	• 실험강도 측정 • 보강의 효용성 검증 • 실험결과 분석 • 구조성능평가 • 특허출원
TRM-FRP 패널형 PC보강 시작품 개발	TRM-FRP 패널형 공법 상세 개발	• TRM-FRP PC 패널형 부재 판부착강도실험(double shear test)을 통한 CFRP-모르타르 간 부착성능 검증(1-5-①,②) • 선 수행된 실험을 기반으로 하여 패널성능발현을 위한 CFRP-모르타르 간 단부정착상세 개발(1-5-①,②) • 개발된 TRM-FRP 패널형 상세별 판부착강도/내화성능 검증(1-5-①,②) • 개발된 TRM-FRP 패널형 상세별 패널인장성능 검증(1-5-①,②) • 단부정착상세 별 인장성능 실험결과를 바탕으로 한 부착길이 산정식 제안(3-1-①) • 이음상세, 이음길이에 따른 패널 이음실험수행(3-1-①)	• 판부착강도 측정 • 내화성능 검증 • 부착길이 산정식 제안 • 실온에서의 구조성능 검증 • Double Shear Test • 논문작성 • 특허출원
	개발공법 적용 기동부재 실온과 고온에서의 구조성능 검증실험	• 건식 TRM-FRP 구조부재 보강상세 기술조사 및 실험결과를 바탕으로 한 아이디어 도출 (3-1-②, 3-2-①) • 1차 구조성능실험결과를 바탕으로 한 개발 건식 TRM-FRP 공법 구조성능 검증(3-2-①)	

(나) 2차 연도 연구내용

연구 범위		연구내용	이론적·실험적 접근방법
FRP 보강용 무기계 내화접착 모르타르 개발	고온가열에 따른 FRP 보강용 내화 접착 모르타르의 내열성 및 물리적 성능 확보	- 가열 후 부착강도 측정을 통한 감소정도 확인(1-3-①) - 가열 후 이면온도 측정실험을 통한 실험체의 내열성 검증(1-3-②) - 가열 후 질량변화율 측정을 통한 실험체의 내열성 및 물리적 성능 검증(1-3-③)	- 실험체 가열 후 부착강도 측정 - 실험을 통한 내열성 검증 - 가열 후 실험체 질량감소를 측정 - KS규격 준수 - 실험결과 비교 - 논문작성
	현장시공의 용이성을 고려한 제품의 성능개선	- 플로 테스트를 통한 워커빌리티 및 표준관 입저항시험을 통한 가사시간 측정(1-4-①) - 모르타르 시작품 및 가이드라인 제작(1-4-②)	- 시공성능 검증 - 설계반영을 위한 사용가이드 라인제시 - 실험결과 비교 - 가이드라인 작성여부 - 논문작성 - 보고서 작성
NSM-FRP 매립형 공법 개발	개발 기술의 구조부재 전단보강 성능 검증실험	- T형보 FRP 표면매립 휨보강 및 전단보강 후 성능검증 실험(2-3-①,②) - FRP보강된 T형보의 내화단열 후 보강의 효용성평가(2-3-③) - 수행된 실험결과를 바탕으로 내화단열보강 및 시공절차 분석(2-3-③) - 제시한 내화단열보강 프로세스의 경제성 확보(2-3-④)	- 휨, 전단 강도 측정 - 보강의 효용성 검증 - 실험결과 분석 - 구조성능 평가 - 시공절차 분석 적합성 - 경제성 확보 - 내화단열보강 프로세스 제시안의 적합성 검증 - 특허출원 - 논문작성
	고온조건을 반영한 휨 보강설계 프로세스 제안	- FRP로 표면부착 또는 표면매립보강된 RC보의 고온노출시 보강효과 검증실험 및 해석(2-4-①) - 내화보드 보강시 내화접착모르타르의 사용유무에 따른 차열성능 검증실험을 통해 내화단열 보강설계 프로세스 제안(2-4-②)	- 실험분석 및 해석의 적합성 검증 - 설계프로세스의 적합성 검증 - 실험결과 비교 - 논문작성
	개발 모르타르 적용	수행된 실험결과를 바탕으로 한 건식 TRM-FRP 패널형 공법 적용을 위한 이음부 상세 개발(1-6-①)	- 실험체 가열 후 부착강도 측정 - Double Shear Test

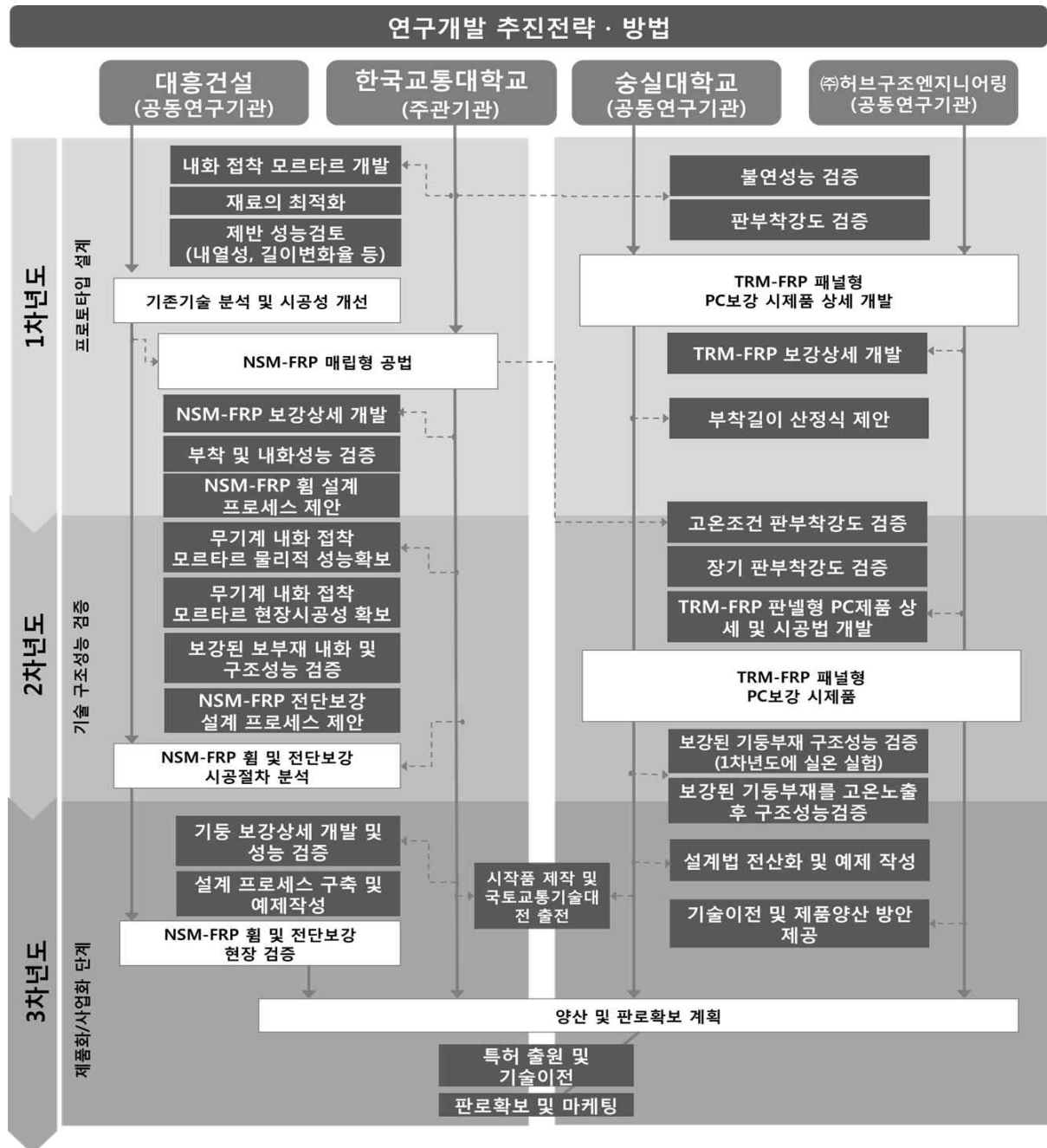
TRM-FRP 패널형 PC보강 시작품 개발	TRM-FRP 공법 상세의 고온조건 부착강도 검증	개발 TRM-FRP 패널형 공법 이음부 상세의 실온 및 고온조건에서의 부착강도 성능 검증(1-6-①)	논문작성
	TRM-FRP 판형 장기판부착 성능 검증	- 건식 TRM-FRP 구조부재 보강상세 기술조사 및 실험결과를 바탕으로 한 장기판부착성능실험 적정하중수준 아이디어 도출 및 실험셋업 확정(1-7-①) - 개발상세가 적용된 건식 TRM-FRP 판형 장기판부착성능 검증(1-7-①)	- 장기부착강도 실험 및 측정 - Shear Creep Test - Double Shear Test - 논문작성
	개발공법 적용 기둥부재 실온과 고온에서의 구조성능 검증실험	- 패널인장실험, 겹이음 실험 결과를 통해 검증된 상세를 적용하여 TRM-FRP 보강 구조성능검증 실험 계획(3-2-①, 3-2-②) - 각 파괴모드(전단, 휨 항복 후 전단 파괴)별 철근콘크리트 기둥 실험체를 4개씩 제작하고 개발된 TRM-FRP 보강상세를 적용하여 구조성능실험 수행 및 실험결과분석(3-2-①)	- 실온에서의 구조성능 검증 - KCI 2012, KS규격 준수 - 특허출원
	현장적용 가능한 시제품 제작 및 판로확보	- 수행된 실험결과를 바탕으로 한 건식 TRM-FRP 패널형 공법 적용을 위한 이음부 상세 개발(3-4-①) - 각 상세에 따른 TRM-FRP 공법의 시공프로세스, 특이사항 등 체크리스트 작성(3-4-①)	- TRM-FRP 판넬형 PC 제품 상세 및 시공법 개발 - 실험결과 비교 및 분석 - 특허출원

(다) 3차 연도 연구내용

연구 범위		연구내용	이론적·실험적 접근방법
NSM-F RP 매립형 공법 개발	기둥 보강 시 보강상세 개발 및 구조성능 검증실험	- 기둥 보강시의 보강상세 개발 및 보강을 위한 보강재 제품화(2-5-①) - 보강후 편심축력을 받는 기둥에 대한 구조성능 검증실험 실시 (2-5-②)	- 보강상세 개발 - 실험을 통한 구조성능 검증 - 논문 작성
	개발기술의 고온조건을 고려한 보강 설계법 완성	- 내화보강후 고온노출에 따른 보강된 기둥의 구조성능 평가(2-6-①) - 보강 후 설계법과 고온 노출에 따른 온도상승을 고려한 설계법 제시(2-6-②)	- 변수별 보강성능 검증 - 보강설계법 개발 - 실험결과 비교 - 논문작성
	시공절차 완성	- 기존의 기둥보강기술과 개발기술의 시공절차 비교분석(2-5-③) - 기둥보강상세에 대한 개발기술의 시공절차 완성 및 현장적용 지침 구축(2-5-④)	- 시공절차 적합성 검증 - 현장검증 및 현장적용
TRM-F RP 패널형 PC보강 시작품 개발	개발공법 적용 기둥부재 실온과 고온에서의 구조성능 검증실험	실온에서의 구조성능실험결과를 바탕으로 검증된 상세를 적용한 TRM-FRP 공법 고온노출 후 구조성능실험 수행 및 실험결과 분석(3-2-②)	- 실험체 가열 후 실험을 통한 구조성능 검증 - ACI 규격 준수 - 특허출원
	개발 TRM-FRP 패널형 PC보강제품 설계법 전산화	- 소프트웨어 프로그램을 이용하여 TRM-FRP 보강설계의 프로세스를 전산화 (3-3-①) - 실험체 설계 시 적용한 TRM-FRP 패널 보강설계를 바탕으로 설계예제를 작성 (3-3-②)	- 설계법 전산화 프로그램 Code 작성 - 설계 예제 제시 - 실험결과 비교 및 분석
	현장적용 가능한 시제품 제작 및 판로확보	- 기술이전 및 제품양산 방안을 제공하기 위해 시제품을 제작 및 시제품제작 보고서 작성(3-4-②) - TRP-FRP 패널 보강공법의 시장성을 증명하고 시장에서의 판로를 확보하기 위하여 기업의 구매의사서를 획득(3-4-③)	- 기술이전 및 제품양산 방안 제공 - 시장성 증명 및 판로 확보 - 제품양산모델 제시 - 구매의사서 획득

(2) 연구개발 추진전략 · 방법

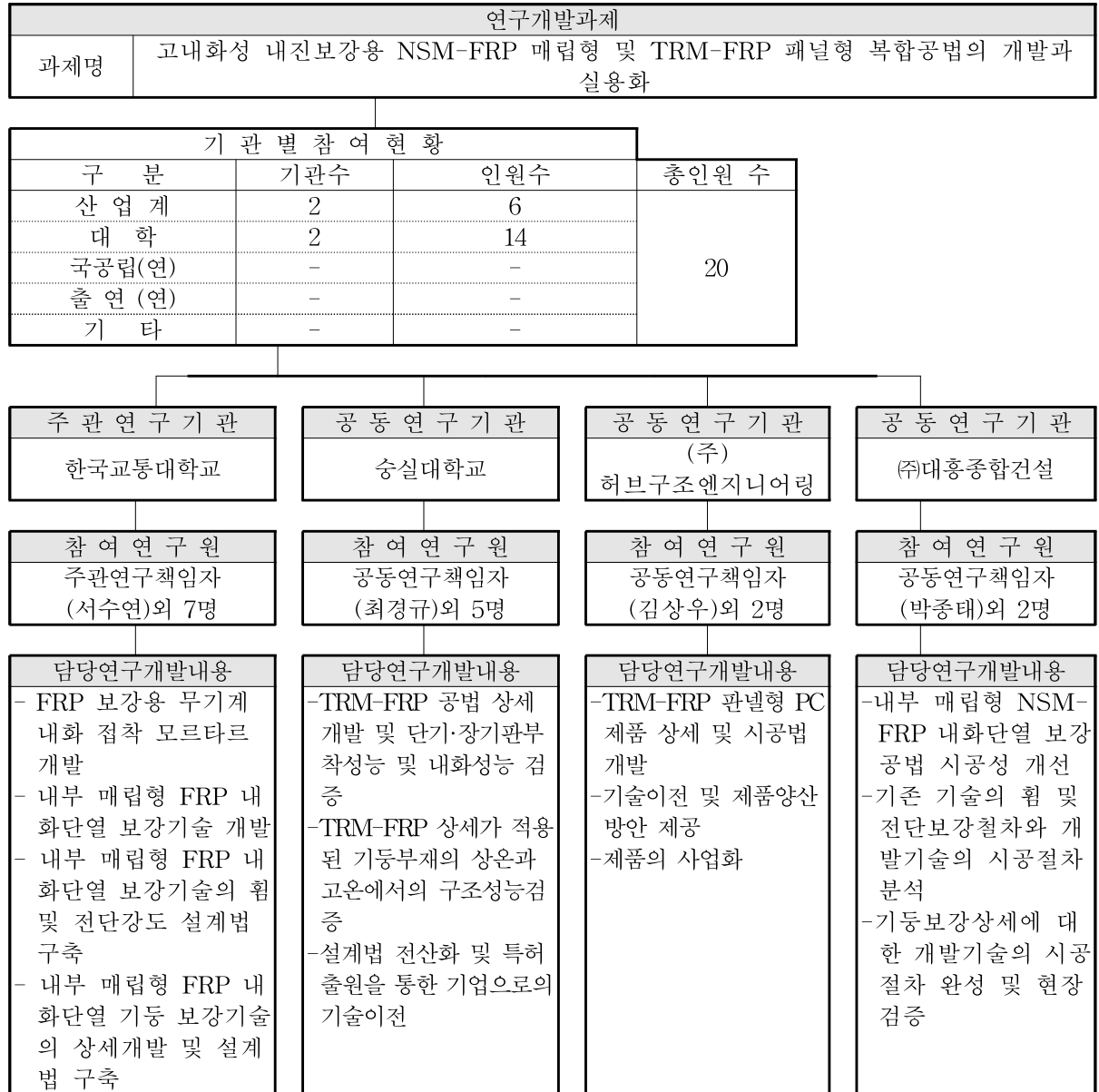
- 본 연구에서는 주관기관인 한국교통대학교가 핵심성과1인 [무기계 내화 접착 모르타르]와 핵심성과3인 NSM-FRP 매립형 공법개발을 주관하며 공동연구기관인 숭실대학교는 핵심성과1인 [무기계 내화 접착 모르타르] 중 일부인 내화성능 검증 및 판부착강도 검증과 핵심성과3인 [TRM-FRP 패널형 PC보강 시제품]을 주관함. 핵심성과물에 따른 각 기관별 주요 연구활동은 아래의 <그림 18>에 제시함



<그림 18> 연구개발 추진전략 및 방법

(3) 연구개발 추진체계

○ 연구수행 체계도



(4) 추진일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도			
		핵심 성과	단위 성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
총괄																			
주관	내열성 및 고부착성 을 갖는 F RP 무기계 접착 모르타르 개발	1	1-1	1-1-①	자료조사 및 분석	논문	1												
				1-1-②	원천소재별 성능 비교	논문	1												
				1-1-③	무기계 접착제 원재료의 배합 성능 검증 및 배합 최적화	논문	10												
				1-1-④	개발 재료의 안정성 및 제반 성능 검토	논문	1												
			1-2	1-2-①	개발재료의 가열전 부착성능 평가	논문	1												
				1-2-②	고온가열 후 내열성능 평가	논문	2												
				1-2-③	고온 가열후 길이변화를 검증	특허 출원	2												
				1-2-④	개발제품 품질확보	특허 출원	2												
			1-3	1-2-①	1시간 가열후 부착강도 검증	논문	5												
				1-2-②	1시간 가열후 내열성능 검증	논문	10												
				1-2-③	1시간 가열후 질량변화를 검증	논문	5												
			1-4	1-4-①	개발제품 시공성능 평가	논문	5												
				1-4-②	제품 가이드라인제시	보고서	5												
	NSM-F RP 내화 단열 보 강기술 개발 및 구조성능 검증	2	2-1	2-1-①	보강상세 개발	특허 출원	2												
				2-1-②	핵심기술 정립	논문	16												
			2-2	2-2-①	부착성능 검증	논문	30												
				2-2-②	부착강도 산정식 평가	논문	20												
			2-3	2-3-①	휨 강도 검증	논문	33												
				2-3-②	전단강도 검증	논문	17												
				2-3-③	보강의 효용성 평가	논문	20												
			2-4	2-4-①	해석을 통한 구조성능 검증	논문	20												
				2-4-②	설계프로세스 정립	논문	19.9												
			2-5	2-5-①	기동 보강상세 개발	논문	13.4												
				2-5-②	실험을 통한 성능 검증	논문	40												
			2-6	2-6-①	보강된 기동의 구조성능 평가	논문	25												
				2-6-②	보강설계법의 완성	논문	15												
공동 (승실 대)	TRM-FR P 공법의 PC화 및 소재성능 , 구조성능 검증	1	1-5	1-5-①	판부착강도 검증	논문	6												
				1-5-②	내화성능 검증	논문	6												
			1-6	1-6-①	고온조건에서의 부착강도 검증	논문	10												
				1-7-①	장기판부착강도 검증	논문	10												
		3	3-1	3-1-①	부착길이 산정식 제안	논문	5												
				3-2-①	실온조건 기동부재 구조성능 검증	특허	14												
			3-2	3-2-②	고온조건 기동부재 구조성능 검증	논문	14												
				3-3-①	설계법 전산화 프로그램	프로그램	5												

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도			
		핵심 성과	단위 성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
					Code 작성	Code													
				3-3-②	설계예제 제시	설계예제	4												
공동 (주)허브 구조엔 지니어 링)	TRM-FRP공법의 상세 및 시공법 개발 및 시장화	3	3-1	3-1-②	보강상세 개발	특허	5												
			3-4	3-4-①	PC제품 상세개발 및 시공법 개발	특허	3												
				3-4-②	제품양산 방안 제공 및 기술이전	모델 제시	2												
				3-4-③	사업화	구매의사 서	2												
공동 (주)대흥 종합건 설)	NSM-FRP 내화단 열 보강 기술 개 발 및 구 조성능 검증	3	2-1	2-1-③	기존기술 및 설계법 분석	논문	3												
				2-1-④	시공법 개발	논문	2												
			2-3	2-3-③	시공절차 분석	특허	5												
				2-3-④	시공상의 경제성 확보	특허	5												
			2-5	2-5-③	시공절차의 완성	현장적용	4												
				2-5-④	기술의 현장적용을 통한 검증	현장적용	6												

나. 연구개발 성과

(1). 논문게재 성과

(가) 알루미노 실리케이트계 고내화성 모르타르의 부착성능 평가

-논문정보: 조현서, 이건철, “알루미노 실리케이트계 고내화성 모르타르의 부착성능 평가”, 건축시공학회 논문집, 제18권 6호, 2018, pp. 569-576

-논문내용: In modern society, the majority of buildings are being constructed with RC structure. Structural instability due to natural factors such as earthquakes, typhoons, and other anthropogenic factors such as construction defects, errors in the design stage, and many other repair and reinforcement methods are being implemented. In the reinforcement method, the organic epoxy adhesive used in the FRP reinforcing method is abruptly damaged when exposed to high temperature, which is directly connected to the fall of the reinforcing material. Therefore, the present study was conducted to develop inorganic refractory mortar with a certain level of adhesion ability to reduce the heat transferred to FRP reinforcement when exposed to high temperatures. As a result of the test, it showed high adhesion strength at room temperature condition with the inclusion of EVA resin, and showed no performance deterioration up to about 300°C even under heating conditions. Also, it was confirmed that the backside temperature was lower as the thickness increased, and converged to a constant temperature of about 780°C after 2 hours of heating.

-관련 연구 단위성과: 1-1-①, 1-1-②, 1-1-③

-성과증빙자료집의 “증빙-1-1-논문”으로 제출함

(나) FRP 보강용 무기계 내화 접착제의 기초적 특성에 관한 연구

-논문정보: 이건철, 박동철, “FRP 보강용 무기계 내화 접착제의 기초적 특성에 관한 연구”, 건축시공학회 논문집, 제19권 1호, 2020, 게재예정

-논문내용: In the case of aging structures, maintenance and reinforcement will be implemented to improve existing performance and extend durability. The FRP near surface mounted method, which is a repair and reinforcement method, uses a groove in the tensile part of the RC structure and fills it with an epoxy adhesive and FRP plate. It is proposed as a method with high efficiency, excellent durability and fire resistance. However, since the surface reclamation method and the epoxy resin are used as the adhesive, it is expected that a sudden loss of adhesive force due to fire exposure can occur. In order to supplement these problems, the need for an inorganic refractory adhesive having excellent fire resistance and proven adhesion performance has been raised. In this study, basic properties and heat resistance of aluminosilicate refractory adhesives were studied to develop inorganic refractory adhesives applicable to the near surface mounted method of FRP. As a result of the experiment, the adhesive strength was higher than that of an organic adhesive such as an epoxy resin under a high temperature condition.

- 관련 연구 단위성과: 1-3-①, 1-3-②, 1-3-③
- 성과증빙자료집의 “증빙-1-3-논문”으로 제출함

(다) CFRP로 보강된 철근콘크리트 휨부재의 내화성능 개선을 위한 실험

- 논문정보: 임종욱, 서수연, 송세기, “CFRP로 보강된 철근콘크리트 휨부재의 내화성능 개선을 위한 실험” 대한건축학회 논문집, 제33권 12호, 2017, pp. 19-27
- 논문내용: This paper is a study to improve the fire-resistance capacity of reinforced concrete (RC) members strengthened by fiber-reinforced-polymer (FRP). The fire resistance of the RC members strengthened by FRP was evaluated through high temperature exposure test. In order to improve the fire resistance of the FRP reinforcing method, a fire-proof board was attached to the reinforced FRP surface and then the high temperature exposure test was carried out to evaluate the improvement of the fire resistance performance. It was confirmed that the resistance to high temperature of NSMR could be improved somewhat compared with that of EBR from the experiment that exposed to high temperature under the load corresponding to 40% of nominal strength. When 30 mm thick fire-resistance (FR) board is attached to the FRP surface, the surface of the reinforced FRP does not reach 65°C, which is the glass transition temperature (GTT) of the epoxy until the external temperature reaches 480°C. In particular, when a high performance fire-proof mortar was first applied prior to FR board attachment, the FRP portion did not reach the epoxy glass transition temperature until the external temperature reached 600°C.
- 관련 연구 단위성과: 2-1-①, 2-1-②
- 성과증빙자료집의 “증빙-2-1-논문”으로 제출함

(라) 표면매립 보강된 FRP의 내화성능 향상을 위한 내화보강방안에 관한 연구

- 논문정보: 임종욱, 서수연, “표면매립 보강된 FRP의 내화성능 향상을 위한 내화보강방안에 관한 연구”, 대한건축학회지회연합회 논문집, 제20권, 1호, 2018, pp. 141-148
- 논문내용: Recently, retrofit by using fiber reinforced polymer (FRP) has been widely applied to building structure. However, the retrofit contribution of FRP may be disappeared under high temperature such as fire loading because of the low glass transition temperature of FRP and epoxy. In this manner, this paper presents a research for improving fire resistant capacity of FRP retrofit system. Heat transitions of two types of fire proofing materials (board type and spray type) were verified by performing high temperature loading test and heat transfer analysis. As a result, it was found that the board made of calcium silicate and alumino silicate had higher resistance on the heat transition than the sprayed finish. By using the analytical approach, it is possible to properly estimate the heat transfer of fire-proofing with board under high temperature environment for fire-resistance design of reinforced FRP.
- 관련 연구 단위성과: 2-2-①, 2-2-②
- 성과증빙자료집의 “증빙-2-2-논문”으로 제출함

(마) FRP로 보강된 철근콘크리트 보의 열전도해석 및 내화성능 평가

-논문정보: 임종욱, 박종태, 김정우, 서수연, “FRP로 보강된 철근콘크리트 보의 열전도 해석 및 내화성능 평가”, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제22권 6호, 2018, pp.1-8

-논문내용: The object of this paper is to find the characteristics of fire proof materials through an analytical method and to suggest a proper approach for fire-proof design of reinforced concrete beam strengthened with fiber reinforced polymer (FRP). Heating tests for fire-proof materials were conducted and the thermal conductivities and specific heats of them were simulated through finite element analyses. In addition, a finite element analysis on the beam specimen strengthened with FRP under high temperature, which was conducted by previous researchers, was performed and the analytical result was compared with test result. And then the compatibility of the analytical approach was evaluated. Finally, the heat resistance characteristic of RC beam strengthened with FRP was analyzed by the proposed analytical method and the strength decrease of the beam due to the high temperature was evaluated. From the comparison with analytical and test result, it was found that the heat transfer from outside to inside through the fire-proof materials can be suitably simulated by using the proposed analytical approach.

-관련 연구 단위성과: 2-1-③, 2-1-④, 2-3-③

-성과증빙자료집의 “증빙-2-3-1-논문”으로 제출함

(바) 콘크리트에 표면매립보강된 FRP의 내화단열방법에 따른 부착성능

-논문정보: 임종욱, 김태완, 서수연, “콘크리트에 표면매립보강된 FRP의 내화단열방법에 따른 부착성능”, 대한건축학회 논문집, 제35권 1호, 2019, pp.3-10

-논문내용: The purpose of this paper is to find the fire-protection method for keeping on the bond capacity of Near-Surface-Mounted (NSM) FRP under high temperature. Experiments have been carried out to evaluate the bond capacity of NSM FRP by using CFRP-plates and to confirm the heat transfer to the concrete block when the refractory insulation is attached to the surface of NSM FRP. Bond test of NSM FRP under room temperature was conducted to obtain the maximum bond strength. And then a heating tests were carried out with keeping the bond stress of 30% of the maximum bond strength. As a result, the bond capacity of NSM FRP was disappeared when the temperature at epoxy reached to its glass transition temperature (GTT). In order to secure the bond capacity of the NSM FRP, it is necessary to protect the front as well as side by using insulation materials.

-관련 연구 단위성과: 2-3-①, 2-3-②

-성과증빙자료집의 “증빙-2-3-2-논문”으로 제출함

(사) 콘크리트내 표면매립보강된 FRP의 내화단열방법과 연단거리에 따른 온도변화

-논문정보: 임종욱, 서수연, “콘크리트내 표면매립보강된 FRP의 내화단열방법과 연단 거리에 따른 온도변화”, 대한건축학회 논문집-구조계, 제35권 11호, 2019, pp. 137-146

-논문내용: Recently, the Near-Surface-Mounting method using Fiber reinforced

polymer (FRP) has been developed and applied to the reinforcement of many concrete structural members. However, as a part of the fire resistance design, there is a lack of research related to fire insulation for the areas reinforced with FRP. In case of NSM reinforcement, there is a difference in the transferred temperature from the external surface to the groove corresponding to the location of the groove where the FRP is embedded, and the effect of this should be reflected in the fireproof insulation design. Therefore, in this study, after forming grooves for surface embedding in concrete blocks, fireproof insulation reinforcement was performed using Calcium Silicate (CS) fireproof board and an experiment to evaluate the temperature transfer was performed. By observing the temperature at these groove positions, the reduction of temperature transfer according to fireproof insulation detail was studied. As a result, when the NSM-FRP is properly fire-insulated using the CS-based fireproof board, the epoxy inside the groove does not reach its glass transition temperature until the external temperature reaches 800°C.

-관련 연구 단위성과: 2-4-①, 2-4-②

-성과증빙자료집의 “증빙-2-4-논문”으로 제출함

(아) Evaluation on the Bond Capacity of the Fire-Protected FRP Bonded to Concrete under High Temperature

-논문정보: Seo, S., Lim, J. and Jeong, S. “Evaluation on the Bond Capacity of the Fire-Protected FRP Bonded to Concrete under High Temperature”, International Journal of Concrete Structures and Materials 2020 (심사중)

-논문내용: In this study, fire resistance insulation performances were evaluated by high temperature exposure tests after performing fire protection on the surface of concrete blocks strengthened with externally bonded (EB) FRP and near-surface-mounted (NSM) FRP. In particular, by gradually increasing the exposure temperature in a state where a constant tensile stress is applied to the reinforced FRP, the temperature at which the bond strength of the FRP is lost is determined according to the fire protection detail. In addition, a finite element analysis was performed to predict the temperature of the reinforced epoxy by increasing the external exposure temperature after fire protection and the results were compared with the experimental results. As a result of the test, despite the same fire protection, near-surface-mounted retrofit (NSMR) was able to resist 1.54 ~ 2.08 times higher temperature than externally bonded retrofit (EBR). It is necessary to consider the heat transfer from the sides according to the edge distance as well as the heat transferred to the face with FRP when fire protection is performed to FRP reinforced in concrete. As a result of the FE analysis, the case of the fire protection of both sides as well as the face with FRP showed good correlation between the analysis and test results.

-관련 연구 단위성과: 2-6-①, 2-6-②

-성과증빙자료집의 “증빙-2-6-논문”으로 제출함

(자) Laminated element analysis to predict the shear strength of concrete beams under

distributed and concentrated loads

-논문정보: Kim, J. C., Choi, K. K, “Laminated element analysis to predict the shear strength of concrete beams under distributed and concentrated loads”, Engineering Structure, 2017

-논문내용: In the present study, an advanced analytical method was developed to evaluate the shear strength of slender concrete beams under distributed and concentrated transverse loads. The concrete shear capacity of the concrete beams is mainly provided by the compression zone of intact concrete since the tension zone of the concrete beams is severely damaged by flexural cracks before shear failure. The concrete shear capacity is evaluated based on concrete material failure criteria addressing combined compressive normal and shear stresses in the compression zone along the critical shear crack surface. For complete analysis, laminated elements are applied to take into account the stress variation in each location of the compression zone. The proposed analytical method can be used not only to predict the shear strength, but also the location and the angle of the critical shear crack. The shear strength is predicted using the proposed method, and the results are compared to those of an experiment, covering a wide range of design parameters. In addition, analytical studies were performed for analytical beam models subjected to distributed and concentrated loads. Based on the analysis results, the effect of various parameters including the loading type (distributed and concentrated transverse loads) on the shear strength and the critical shear crack was investigated.

-관련 연구 단위성과: 1-5-①, 1-5-②

-성과증빙자료집의 “증빙-1-5-논문”으로 제출함

(차) GFRP 표면매립공법으로 보강된 RC보의 고온노출 후 휨 성능

-논문정보: 김희승, 이해학, 최경규, “GFRP 표면매립공법으로 보강된 RC보의 고온노출 후 휨 성능”, 대한건축학회 논문집, 제34권 제4호, 2018, pp. 35-42

-논문내용: This study evaluated the fire resisting capacity and post-fire serviceability of the concrete beams retrofitted by near surface mounted method(NSM) using GFRP plates. Main parameters in the test are grout materials and fire exposure. For the test, two types of grout materials between concrete substrate and GFRP plate were used; flame resisting epoxy and filling mortar. Four RC beam specimens were made and two of them were exposed to fire according to real scale fire curve proposed KS F 2257. After the fire exposure test, flexural test were performed to investigate the flexural performance of concrete beams including strength and deformation. From the test results, it was found that the beam retrofitted by NSM-GFRP presented higher flexural strength than that of the beam without retrofit, which indicates NSM-GFRP retrofit technologies is effective to maintain flexural strength even after fire exposure. In addition, the specimens grouted by epoxy showed good performance in strength but bad performance in ductility.

-관련 연구 단위성과: 1-6-①, 1-7-①

-성과증빙자료집의 “증빙-1-6-논문”으로 제출함

(카) Tensile Properties of Carbon Fiber Textile Reinforced Mortar (TRM) Characterized by Different Anchorage Methods

-논문정보: Kim, H. S., Truong, G. T., Park, S. H., Choi, K. K., “Tensile Properties of Carbon Fiber Textile Reinforced Mortar (TRM) Characterized by Different Anchorage Methods”, International Journal of Concrete Structures and Materials, 2018

-논문내용: In the present study, tensile tests were carried out to investigate the tensile behaviors of textile reinforced mortar (TRM) composite specimens. The TRM specimens were composed of one layer of carbon fibers, as the reinforcement, and aluminum cement-based mortar, as the matrix. The primary parameter of the test specimens was the anchorage method, which was newly developed to improve the tensile behavior of the composite: spreading the ends of fiber filaments, reinforcing the ends of fiber filaments using glass fiber reinforced polymer tabs or steel rebars, and coating the ends of fiber filaments with aluminum oxide powder. From the test results, it was found that most TRM specimens using developed anchorage methods exhibited ductile behavior. Moreover, the use of the developed anchorage methods could increase the cracking strength and peak strength of the composite specimens up to 66.1 and 97.9%, respectively. The failure mode of the test specimens was governed by a partial rupture of carbon fibers, except for the BASE specimen and specimen reinforced with steel rebars. Finally, the tensile stress - strain relationship of TRM specimens was idealized as bilinear stress - strain response curves following the guidance specified in ACI 549.4R-13.

-관련 연구 단위성과: 3-1-①

-성과증빙자료집의 “증빙-3-1-논문”으로 제출함

(타) Tensile Behaviors of Lap-Spliced Carbon Fiber-Textile Reinforced Mortar Composites Exposed to High Temperature

-논문정보: Truong, G. T., Park, S. H., Choi, K. K., “Tensile Behaviors of Lap-Spliced Carbon Fiber-Textile Reinforced Mortar Composites Exposed to High Temperature”, Materials, 2019

-논문내용: The tensile behaviors of textile-reinforced mortar (TRM) composites made with carbon fiber textile and alumina cement-based mortar were investigated through direct tensile tests. Three different surface treatment details in the lap splice area were used to improve the tensile behaviors of the TRM composites: carbon fiber textile impregnated by epoxy, carbon fiber textile coated with aluminum oxide powder following epoxy impregnation, and carbon fiber textile coated with aluminum oxide powder following both carbon fiber fabric attachment and epoxy impregnation. Three different lap splice lengths were used 180, 200, and 220 mm. In addition, the tensile properties of TRM composites following exposure to high temperature were investigated as well. In this test, TRM test specimens were exposed to two different temperature histories with maximum values of 250 and 350 C. The results of the test specimens according to the test parameters were analyzed in terms of initial stiffness, cracking

strength, corresponding strain at cracking, modulus of elasticity in the cracked stage, peak strength, and ultimate strain. The influence of lap splice length on the tensile behaviors of the TRM composites was analyzed and discussed. The surface treatment in the overlapping region showed ductile behavior and resulted in a significant improvement of the peak strength and ultimate strain over the untreated lap splice textile. Following exposure to high temperature, the TRM composites showed a reduction of tensile responses compared to those cured at room temperature. In addition, a prediction model developed in the previous study was used to predict the tensile behaviors of the lap-spliced carbon fiber-textile reinforced mortar composites exposed to high temperature, and the prediction by the model showed a good agreement with the experimental results.

-관련 연구 단위성과: 3-3-①, 3-3-②

-성과증빙자료집의 “증빙-3-3-논문(1)”으로 제출함

(파) Tensile Characteristics of Carbon Fiber-Textile Reinforced Mortar with Aluminum Oxide Treated Anchorage Surfaces

-논문정보: Ngoc, H. D., Park, S. H., Choi, K. K., “Tensile Characteristics of Carbon Fiber-Textile Reinforced Mortar with Aluminum Oxide Treated Anchorage Surfaces”, Advanced Composite Materials, 2020

-논문내용: This study investigated the tensile characteristics of carbon fiber textile-reinforced mortar (TRM) with aluminum oxide treated anchorage surfaces. The main test parameters of this study include the thickness of TRM, the volume content of carbon fiber mesh, and the content of impregnated epoxy resin used in anchorage zones. The experimental results indicate that the tensile characteristics of TRM specimens in the pre-cracking stage are dominated by the mechanism of the mortar matrix; meanwhile the tensile characteristics of TRM specimens in the cracked stage are governed by the volume content of carbon fiber mesh, and the content of epoxy resin used in the anchorage zones. Moreover, an idealized model for predicting the tensile force-strain curve of TRM test specimens with aluminum oxide treated anchorage surfaces was developed based on ACI 549.4R-13, and its prediction showed reasonable agreement with the test results.

-관련 연구 단위성과: 3-3-①, 3-3-②

-성과증빙자료집의 “증빙-3-3-논문(2)”으로 제출함

(나) 특허출원: 내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물

-영 문 명: FRP reinforced concrete structure with fire resistance

-출원일자: 2018.10.29.

-출원번호: 10-2018-0129746

-출 원 인: 한국교통대학교산학협력단

-발 명 자: 서수연

-출 원 국: 대한민국

-특허내용: 본 발명의 목적은, 열에 취약한 보강재인 FRP 및 접착용 에폭시를 외부 열로부터 효과적으로 차폐하여 콘크리트 구조물에 대한 구조적 안정성을 고온 환경에서도 일정수준 담보할 수 있고, 신설되거나 기설치된 콘크리트물에 모두 적용될 수 있으며, 대규모의 설비를 동원하지 않고 콘크리트물에 대한 외부 작업만으로 손쉽게 보강공법이 이루어질 수 있는 내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물에 관한 것이다. 본 발명에 의하면, FRP보강재가 위치하는 장홈이 일체로 성형되거나 장홈이 추후 절삭가공 등으로 형성된 콘크리트물에 대하여 모듈형태로 제작된 FRP 보강재가 이를 둘러싸는 형태로 모듈화되어 장홈 내에 압입고정되는 내열소재인 장형 내화부재와 함께 견고히 고정됨에 따라, 콘크리트물 자체가 구조적으로 보강됨은 물론, 장형내화부재를 통해 콘크리트의 구조적 안정성이 고온 환경에서도 일정수준 담보될 수 있고, 최적화된 구조와 최소화된 구성으로 콘크리트물에 대한 신설, 기설치 여부를 불문하고 손쉽게 적용되는 범용성과, 대규모의 설비 동원이나 과도한 작업공수를 요하지 않고 콘크리트물에 대한 단순 외부 작업만으로 손쉽게 보강 및 내화처리가 동시에 이루어지는 작업성과, 이로 인한 시공시간 단축 및 비용단축 등이 도모될 수 있는 효과가 있다.

-관련 연구 단위성과: 2-1-①, 2-1-②, 2-3-①, 2-3-②

-성과증빙자료집의 “증빙-2-1-특허출원”으로 제출함

관 인 생 학
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2018.10.29

특 기 사 항 실시청구(유) 공개선행(무) 참조번호(72209)

출 원 번 호 10-2018-0129746 (접수번호 1-1-2018-1065850-97)

출 원 인 명 칭 한국교통대학교산학협력단(2-2004-013537-5)

대 리 인 성 명 특허법인 남연도남(9-2012-100182-6)

발 명 자 성 명 서수연

발 명 의 명 칭 내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물

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 통보된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
우 납부자번호: 0131(가산코드) <접수번호>

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고려번호 정보변경(광명), 장형선고사]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
우 특허대(guest) 주소: <명세서(주소)로> 특허법 시행규칙 별표 제5호 제1항

4. 특허(실용신안특권)출원인 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의결서 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 의결에서 인정하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정할 수 있습니다.
우 제도 안내: <http://www.kipo.go.kr/특허/마드리드/마드리드>
우 우선권 인정기간: 특허·실용신안일 12개월, 상표·디자인일 6개월 이내
우 의무특허상표청의 등록비용 기초로 무관나경에 우선권주장출원 시, 선출권이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미공개상표청에 [전자특허청구서(PTO-SB39)]를 제출하거나 무관나경에 우선권 주장서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
우 특허출원 10-2018-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 출원인이 착오수령공통에서 개발한 발명을 사자(지가인)가 명확하게 증명하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 특허이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 통보된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

2018-10-29

【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【참조번호】	72209
【출원구분】	특허출원
【출원인】	
【명칭】	한국교통대학교산학협력단
【특허고려번호】	2-2004-013537-5
【대리인】	
【명칭】	특허법인 남연도남
【대리인번호】	9-2012-100182-6
【지정된변리사】	남상선
【도출원일특별번호】	2016-109872-3
【발명의 국문명칭】	내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물
【발명의 영문명칭】	FRP REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH FIRE RESISTANCE
【발명자】	
【성명】	서수연
【성명의 영문표기】	SEO, Soo Yeon
【주민등록번호】	630126-1XXXXXX
【우편번호】	27353
【주소】	충청북도 충주시 연수동삼로 12, 107동 1703호 (연수동, 연수리수빌아파트)
【출원언어】	국어

54-1

<그림 19> 특허 출원서(10-2018-0129746)

(다) 특허출원: 내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물

-영 문 명: FRP reinforced concrete structure with fire resistance

-출원일자: 2018.10.29.

-출원번호: 10-2018-0129748

-출 원 인: 한국교통대학교산학협력단, (주) 대흥종합건설

-발 명 자: 서수연, 추명철

-출 원 국: 대한민국

-특허내용: 본 발명은 내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 신설되거나 기설치된 콘크리트물에 대하여 외부 단순 작업만으로 손쉽게 보강공법이 이루어지고, 보강재로 사용되는 열에 취약한 FRP와 에폭시를 외부 고열로부터 효과적으로 차폐할 수 있는 내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물에 관한 것이다. 본 발명에 의하면, FRP보강재가 위치하는 장홈이 일체로 성형되거나 장홈이 추후 절삭가공 등으로 형성된 콘크리트물에 대하여 모듈형태로 제작된 FRP 보강재가 이를 장홈 내에 접합고정시키는 고내화성 에폭시에 의해 견고히 고정됨에 따라 콘크리트물 자체가 구조적으로 보강될 수 있다. 또한, 장홈을 포함한 보강면에 전면 마감되는 내열소재의 차폐모르타르 및 차폐모르타르의 전면에 밀착고정되는 내화보드를 통해 FRP보강재와 고내화성에폭시에 대한 열적 차단이 중첩적으로 이루어짐에 따라 콘크리트의 구조적 안정성이 고온 환경에서도 일정수준 담보될 수 있고, 최적화된 구조와 최소화된 구성으로 콘크리트물에 대한 신설, 기설치 여부를 불문하고 손쉽게 적용되는 범용성과, 대규모의 설비를 동원하지 않고 콘크리트물에 대한 외부 작업만으로 손쉽게 보강 및 내화 처리가 이루어지는 작업성과, 이로 인한 시공시간 단축 및 비용단축 등이 일거에 도모될 수 있는 효과가 있다.

-관련 연구 단위성과: 2-3-③, 2-3-④

-성과증빙자료집의 “증빙-2-2-특허출원”으로 제출함

관 인 생 략
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2018.10.29

특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(72210)

출 원 번 호 10-2018-0129748 (접수번호 1-1-2018-1065839-07)

출 원 인 명 칭 한국교통대학교산학협력단(2-2004-013337-5) 외 1명

대 리 인 성 명 특허법인 남앤드남(9-2012-100182-6)

발 명 자 성 명 서수연 추명철

발 명 의 명 칭 내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물

2018-10-29

【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【참조번호】	72210
【출원구분】	특허출원
【출원인】	
【명칭】	한국교통대학교산학협력단
【특허고객번호】	2-2004-013337-5
【출원인】	
【명칭】	(주) 대흥종합건설
【특허고객번호】	1-2018-064458-9
【대리인】	
【명칭】	특허법인의 남앤드남
【대리인번호】	9-2012-100182-6
【지정된변리사】	남상선
【포괄위임등록번호】	2016-109972-3
【발명의 국문명칭】	내화마감된 FRP보강 복합콘크리트물
【발명의 영문명칭】	FRP REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH FIRE RESISTANCE
【발명자】	
【성명】	서수연
【성명의 영문표기】	SEO, Soo Yeon
【주민등록번호】	630126-1XXXXXX
【우편번호】	27353

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 기재한 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.

주 납부자번호: 0131(가과코드)+접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 【특허고객번호 정보변경(명칭), 정정신청서】를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.

주 특허법(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스 > 다운로드 > 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.

주 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마포-PCT(마드리드)
주 우선권 인정기간 : 특허·실용신안권 12개월, 상표·디자인권 6개월 이내
주 미국특허상표청의 실용특허 기조로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미국계상표이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO-SB339)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.

주 특허출원 10-2018-0000000, 상표등록출원 40-2018-0000000

7. 종합법이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 공개하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허가 불결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 등록된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

<그림 20> 특허 출원서(10-2018-0129748)

(라) 특허출원: 고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법

-영 문 명: High fire resistance seismic strengthening unit and seismic strengthening method using the same

-출원일자: 2019. 11. 06(최중)

-출원번호: 10-2019-0140911

-출 원 인: 주식회사 허브구조엔지니어링 외 1명

-발 명 자: 최경규, 김형만, 김상우

-출 원 국: 대한민국

-특허내용: 본 발명은 고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 콘크리트 구조물에 부분적 손상을 발생시키지 않고 시공을 신속하게 완료할 수 있어 우수한 내화성을 가지면서도 시공성 및 경제성을 향상시키는 고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법에 관한 것이다. 본 발명은 시공성 및 경제성을 향상시키는 고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법을 제공하는데 목적이 있다. 목적을 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상으로서는 섬유강화제로 이루어지며 콘크리트 구조물에 형성된 각각의 모서리에서 양측면으로 연장되어 끝단이 서로 겹쳐지는 겹침부가 형성된 시트와, 상기 콘크리트 구조물과 시트 사이에 마련되어 상기 시트를 상기 콘크리트 구조물의 표면에 고정하는 충진재 및 상기 시트의 겹침부에 마련되어 상기 시트를 일체적으로 상기 충진재에 고정하는 고정재를 포함하는 것을 특징으로 하는 고내화성 내진보강유닛에 의해 달성된다.

-관련 연구 단위성과: 3-2-①, 3-2-②, 3-4-①

-성과증빙자료집의 “증빙-3-1-특허출원”으로 제출함

관 인 생 령		2019-11-06	
출 원 번 호 통 지 서		【서지사항】	
출 원 일 자	2019.11.06	【서류명】	특허출원서
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)	【출원구분】	특허출원
출 원 번 호	10-2019-0140911 (접수번호 1-1-2019-1138348-13)	【출원인】	
출 원 인 명 칭	주식회사 허브구조엔지니어링(1-2016-058856-4) 외 1명	【영칭】	주식회사 허브구조엔지니어링
대 리 의 성 명	특허법인(유한) 해달(9-2015-100041-6)	【특허고려번호】	1-2016-058856-4
발 명 자 성 명	최경규 김형만 김상우	【출원인】	
발 명 의 명 칭	고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법	【영칭】	송실대학교산학협력단
특 허 청 장		【특허고려번호】	2-2006-027849-9
<< 안내 >>		【대리인】	
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(가관코드) + 접수번호 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시(특허고려번호 정보변경(경정), 정정 신고서)를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다. ※ 특허료(patent.go.kr) 검색 > 민원서비스다문로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식 4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서와 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 선출원용 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선권부인 15개월 이내의 미국특허상표청에 [전자특허출원서(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 10-2019-0000000, 상표등록출원 40-2019-0000000 7. 출원인이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 영활하게 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.		【발명의 국문명칭】	고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법
		【발명의 영문명칭】	High fire resistance seismic strengthening unit and seismic strengthening method using the same
		【발명자】	
		【성명】	최경규
		【성명의 영문표기】	CHOI, Kyoung Kyu
		【주민등록번호】	710228-1XXXXXX
		【우편번호】	06276

<그림 22> 특허 출원서(10-2019-0140911)

(마) 특허등록: 콘크리트 구조물 보강용 내화 모르타르 조성물

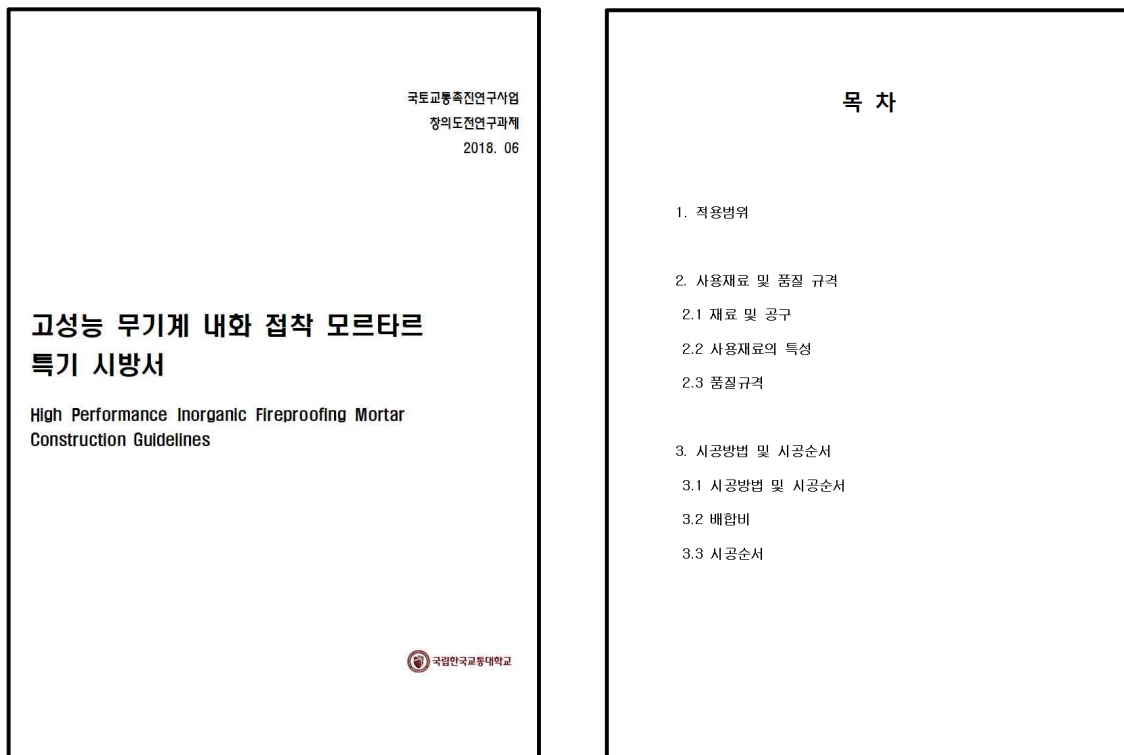
- 영 문 명: FRP reinforced concrete structure with fire resistance
- 등록일자: 2019.08.14
- 등록번호: 10-2012655
- 출 원 인: 한국교통대학교산학협력단
- 발 명 자: 이건철, 서수연, 조현서
- 출 원 국: 대한민국
- 특허내용: (다)항과 동일
- 관련 연구 단위성과: 1-2-①, 1-2-④
- 성과증빙자료집의 “증빙-1-2-특허등록”으로 제출함



<그림 21> 특허 등록서(10-2012655)

(3) 보고서

- 보고서 제목 : 고성능 무기계 내화 접착 모르타르 특기 시방서
- 보고서 연도 : 2018. 6
- 보고서 구분 : 시공 방법 특기 시방서
- 보고서 발간일 : 2018. 6
- 보고서 내용 : FRP 표면 매립공법 시공 시 시공방법과 시공순서를 정하고 사용재료의 특성에 맞는 규격제품을 규정하기 위해 작성함. 본 가이드라인에서는 1) 적용범위, 2) 사용재료 및 품질규격, 3) 시공방법 및 시공순서, 4) 시공시 주의사항에 대하여 기재함으로써 안정적인 품질관리를 위해 작성함.
- 관련 연구 단위성과: 1-4-②
- 성과증빙자료집의 논문분야 “증빙-1-보고서”으로 제출함



<그림 24> 고성능 무기계 내화 모르타르 시공가이드라인 보고서 표지 및 목차

(4) 소프트웨어

- 프로그램 명칭 : 콘크리트 기둥 내진 보강용 TRM jacketing 공법적용을 위한 해석 및 설계 방법
- 프로그램 연도 : 2020년
- 프로그램 구분 : 응용 소프트웨어
- 프로그램 등록·기탁 번호 : 제C-2020-002753호
- 프로그램 특징 : 본 프로그램은 TRM jacketing을 이용하여 내진보강 시 보강성능 검증 및 보강성능 유무 확인 등 설계를 위하여 개발됨. 특히 TRM 패널형 PC제품 개발 및 설계 시 활용할 수 있음

-프로그램 기능 : 본 프로그램은 국내 콘크리트구조기준(KCI) 외 미국콘크리트학회 ACI 440.2R-02 설계기준 및 절차에 의거하여 콘크리트 기둥의 내진보강 시 증가되는 강도 및 곡률을 계산할 수 있도록 개발하였으며 구속효과로 인한 구속응력 및 강도를 계산하여 전단보강 기여도를 검토할 수 있도록 개발함

-관련 연구 단위성과: 3-3-①, 3-3-②

-성과증빙자료집의 “증빙-3-3-소프트웨어”으로 제출함



<그림 25> 프로그램 저작권 등록증 및 원본

(5)시제품

(가) 고내화성 무기계 내화 접착 모르타르

-시제품명: 고내화성 무기계 내화 접착 모르타르

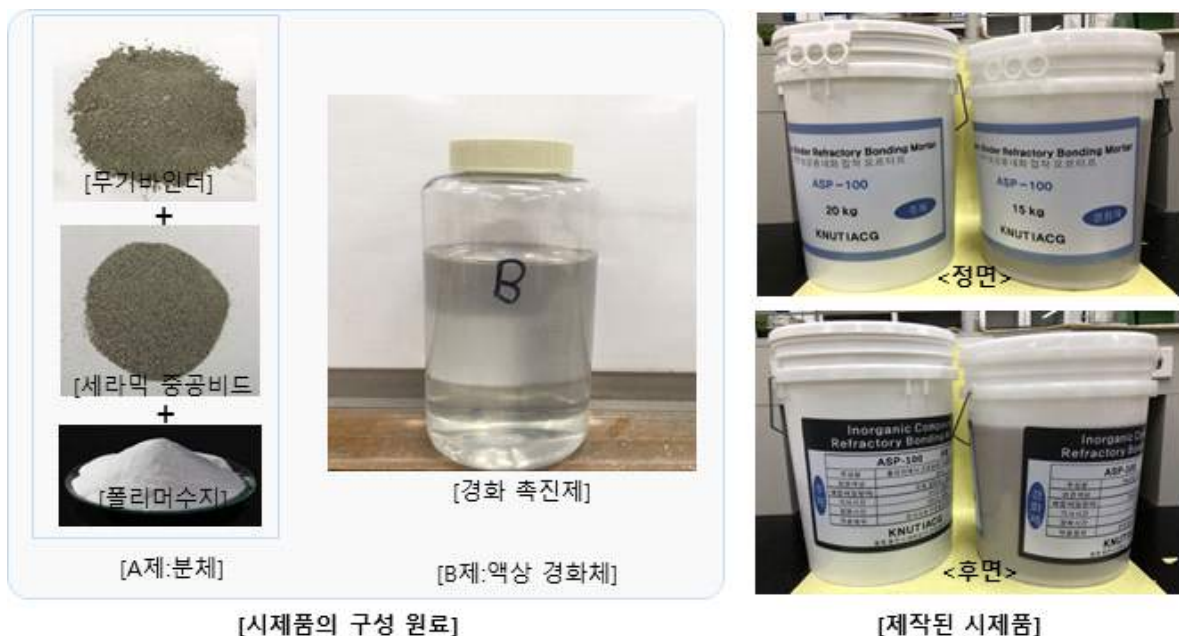
-시제품내용:

- 본 시제품은 보강재로 사용되는 열에 취약한 FRP와 에폭시를 외부 고열로부터 효과적으로 차폐할 수 있는 내화마감용 콘크리트 모르타르임
- 모듈형태로 제작된 FRP 보강재가 표면매립을 위하여 형성된 홈 내에 접합고정시키는 고내화성 에폭시에 의해 견고히 고정됨에 따라 콘크리트물 자체가 구조적으로 보강될 수 있음
- 본 시제품은 보강면에 전면마감되는 내열소재의 차폐모르타르 및 차폐모르타르의 전면에 밀착고정되는 내화보드를 통해 FRP보강재와 고내화성에폭시에 대한 열적 차단이 중첩적으로 이루어짐에 따라 콘크리트의 구조적 안정성이 고온 환경에서도 일정수준 담보될 수 있음
- 대규모의 설비를 동원하지 않고 본 시제품의 외부 작업만으로 손쉽게 보강 및 내화 처리가 이루어지는 작업성과, 이로 인한 시공시간 단축 및 비용단축 등에 효과가 있음

-관련 연구 단위성과: 1-4-①

-성과증빙자료집의 “증빙-1-4-시제품”으로 제출함

-시제품원본



<그림 26> 고내화성 무기계 내화 접착 모르타르

(나) FRP 매립형 보강재

-시제품명: PD-NSMR 보강재

-시제품내용:

- 본 시제품은 표면매립용 스트립 및 앵글형 FRP 보강재와 FRP 판에 내화보드를 일체화한 내화보강재임. 앵글형은 모서리 부분의 보강에 활용됨
- 내화용 보강재는 콘크리트구조물의 보강후 FRP를 내화처리하지 않고 보강과 동시에 내화처리가 될 수 있도록 한 일체형 보강재임
- FRP 부분은 콘크리트 내에 매립부착되기 때문에 에폭시가 도포되고 내화보드 부분은 고내화 모르타르를 도포한 뒤, 콘크리트 부재내에 부착됨
- 본 제품은 고내화 FRP 보강을 위한 보강재 유닛이며, 내화단열이 필요한 FRP 보강부에 활용될 수 있음

-관련 연구 단위성과: 2-1, 2-3, 2-5

-성과증빙자료집의 “증빙-2-1-시제품”으로 제출함

-시제품원본



앵글형 L-50×120×1.2×30-전단보강용



앵글형 L-50×120×3.6×16-전단보강용



스트립 일자형 I-3.6×16-휨보강용



<그림 27> 내화단열처리된 FRP 매립형 보강판

(다) TRM-FRP 패널형 PC 보강 시제품

-시제품명: TRM-FRP 공법적용 고내화성 내진보강 패널

-시제품내용:

- 본 시제품은 고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법을 적용한 것으로, 콘크리트 구조물에 부분적 손상을 발생시키지 않고 시공을 신속하게 완료할 수 있으며 프리캐스트 패널로 보강되는 준습식 공법으로써 TRM-FRP 습식공법 대비 공기단축이 가능하므로 시공성 및 경제성에 있어 우수성을 갖음
- 본 제품은 고내화성 내진보강 유닛 및 이를 이용한 내진보강공법의 프리캐스트화 및 제품화 방안을 제시하는데 그 목적이 있음

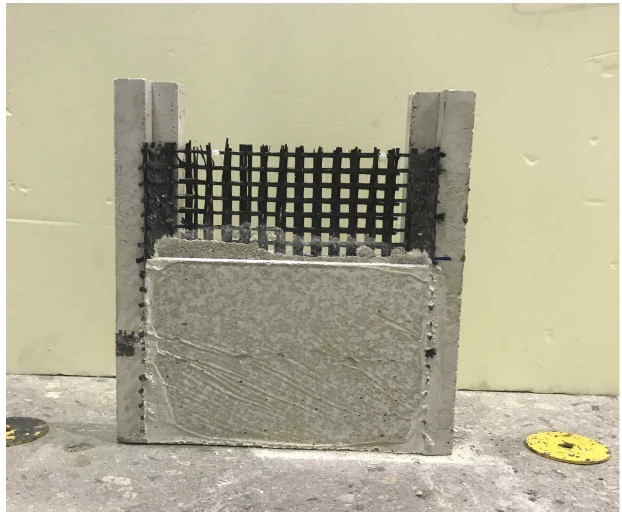
-관련 연구 단위성과: 3-3-①, 3-3-②

-성과증빙자료집의 “증빙-3-3-시제품”으로 제출함

-시제품원본



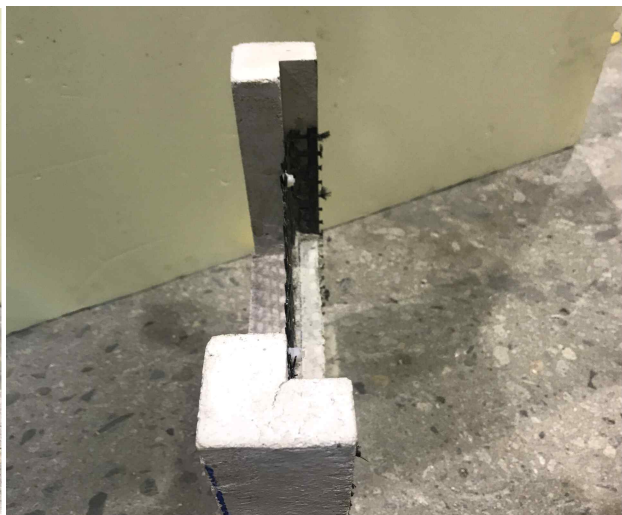
정면



후면



측면



측면

<그림 28> 시제품 원본

(6) 구매의사서

- 구매의사협약: 본 연구의 공동기관인 (주)허브구조엔지니어링(이하 갑)과 (주)엠플러스건설(이하을)의 협약을 체결함
- 구매의사협약 내용: 갑과 을은 갑의 기술개발품을 구매하여 사업화하는 것과 관련하여 상호 공동이익 증진을 도모하기 위하여 협력관계를 갖는 것을 목적으로 하며, 갑의 기술개발품을 을이 구매할 수 있도록 기술개발품의 성능 및 품질에 대한 최종평가가 요구수준을 만족토록 함을 구매조건으로 함
- 관련 연구 단위성과: 3-4-②, 3-4-③
- 성과증빙자료집의 “증빙-3-4-구매협약서”으로 제출함

기술개발품 구매협약서

“(주)허브구조엔지니어링”(이하 “갑”이라 한다)과 “(주)엠플러스건설”(이하 “을”이라 한다)은 “갑”의 기술개발품(고내화성 내진보강유닛 및 이를 이용한 내진보강공법, 출원번호 10-2019-0140911)에 대한 사업화를 위하여 존경과 신뢰를 바탕으로 다음과 같은 업무제휴 협약을 체결한다.

제1조 (목적)
본 협약은 “갑”의 기술개발품을 구매하여 사업화 하는 것과 관련하여 “갑”과 “을”의 업무상 상호 공동이익 증진을 도모하기 위하여 협력관계를 갖는 것을 목적으로 한다.

제2조 (기술개발품의 구매)
“(갑)”은 기술개발품의 성능 및 품질에 대한 최종 평가결과가 요구수준을 만족하는 경우 “을”에게 통보하여 기술개발품을 “을”이 구매할 수 있도록 하여 한다. 단, 구매와 관련된 구체적인 사항은 “갑”과 “을”간의 구매계약에 의한다.

제3조 (협약의 변경 및 기간)
① 본 협약의 협약 기간은 체결일로부터 1년으로 하며, 협약 기간 중이라도 협약 내용의 변경 사유가 있을 경우 “갑”과 “을”은 상호 합의에 의하여 변경할 수 있다.
② 본 협약을 종료하고자 하는 협약의 일방 당사자는 협약 기간 만료일로부터 1개월 이전 까지 이와 같은 의사를 포함한 서면을 상대 당사자들에게 발송하여야 한다. 이 의사 표시로 본 협약은 협약기간 만료일에 종료한 것으로 본다.
③ 협약 기간 만료일로부터 1개월 이전까지 협약 당사자의 종료 의사 표시가 없는 경우, 본 협약은 매 1년간 자동으로 갱신된 것으로 본다. 단, 협약 기간이 3년을 넘기거나 별도의 구매계약이 체결되는 경우에 이 협약은 종료한 것으로 본다.

제4조 (분쟁 해결)
본 약해각서의 해석이나 적용에 관한 분쟁은 당사자 간의 상호협력에 의하여 우호적으로 해결하며, 제3자의 개입을 허용하지 않는다.

제5조 (의무 사항)
“갑”과 “을”은 본 협약의 내용을 신의에 따라 성실하게 이행하여야 한다.

제6조 (기밀 유지)
“갑”과 “을”은 업무제휴를 통하여 취득한 정보 등을 상대방의 동의 없이 상호간의 공동 사업 추진 외의 목적에 사용하거나 외부에 누출 및 누설하여서는 아니 되며, 계약 종료 이후에도 동일하다.

제7조 (협약 변경 및 해지)
① 본 협약은 양 기관의 합의 하에 협력사항을 변경할 수 있다.

“갑”과 “을” 상호간에 발생한 것이 객관적으로 볼 수 있다.

사업 운영을 하며, 상호간 기업 이미지를 승간의 이익이 있거나 또는 평가되지 않은 사과 “을”은 협약서를 작성, 날인하여 각각 1부

1월 일

담당 2층 (인)

“을” ㈜엠플러스건설
서울시 서초구 동광로 15길3, 201호
대표이사 강철한 (인)

<그림 29> 기술개발품 구매협약서

(7)인력양성

-본 과제의 지원을 받아 각 기관별로 양성한 인력은 다음과 같음

구분	년도	소속	이름
석사취득	2018	한국교통대학교	김설기
		숭실대학교	박성호
	2019	한국교통대학교	신기돈, 임종욱, 김태완, 송세기
학사취득	2018	한국교통대학교	김영수,
	2019	한국교통대학교	김현우, 박정훈, 유영재, 이종현

-관련 연구 단위성과: 2-3-①, 2-3-②, 3-2-①

-성과증빙자료집의 논문분야 “증빙-2-3-인력양성(1)~(10)”으로 제출함

제 호

학 위 증 명 서

성 명 : 임종욱

생 년 월 일 :

대 학 명 : 일반대학원

학 과 : 건축공학과

전 공 : 건축구조

학위 수여일: 2019년 2월 21일

학 위 종 별 : 공학석사

학위등록번호:

(논문 : FRP로 보강된 철근콘크리트 부재의 내화단열 방안에 대한 연구)

위 사실을 증명합니다.

2020 년 1 월 21 일

한 국 교 통 대 학 교 총 장



* 본 증명서는 자동발급기에서 발급된 것입니다.

본 증명서는 www.c-tech.kr에서 부.임도 검증프로그램을 다운로드한 후 확인하실 수 있습니다. You can check the authenticity of the document by downloading a verification program from www.c-tech.kr.

<그림 30> 졸업증명서(석사예시)

제 C2020-15249 호

졸업증명서

성명: 유영재
 생년월일: 1994년 8월 9일
 졸업학과: 건축공학과
 졸업년월일: 2019년 2월 21일
 학위명: 공학사
 학위등록번호: 한국교통대2018(학)0811

위 사실을 증명합니다.

2020년 1월 21일

한국교통대학교 총장 

* 본 졸업서는 가톨릭대학교에서 발급된 것으로 인정됩니다.

<그림 31> 졸업증명서(학사예시)

문서파일명: 00000000-0000-0000-0000-000000000000

석사학위수여증명서

제 2019- 호

성명: 박성호
 생년월일:
 소속: 대학원
 과명: 건축학과
 전공명: *****
 학위명: 공학석사
 수여일: 2019년 02월 15일
 학위수여번호:
 1897

위의 사실을 증명함.

2019년 07월 09일

승실대학교 총장 

<그림 32> 졸업증명서(석사예시)

(8)현장적용

- 개발된 기술의 현장적용은 노후건물의 보강 또는 리모델링 등에 따른 구조보강 등과 같은 현장에 적용될 계획임
- 원천기술을 소유한 (주)대흥종합건설과 한국교통대학교는 기술의 현장적용 및 기술지원을 위하여 기술협약을 체결함
- 협약의 주내용은 콘크리트 구조보강을 위하여 FRP계 보강을 실시하는 경우, 본 기술을 적용할 수 있으며 이때, 기술지원과 기술향상 등을 위한 연구개발시 공동으로 진행함을 상호간에 신뢰를 가지고 협약을 함
- 관련 연구 단위성과: 2-5-③ , 2-5-④
- 성과증빙자료집의 논문분야 “증빙-2-5-기술협약서”으로 제출함

기술협약서

(주)대흥종합건설과 한국교통대학교 (책임연구자 서수연교수)에서 공동으로 개발한 내화 마감된 PD-NSM FRP보강 기술을 콘크리트 구조물의 보강과 내화보강에 활용함에 있어서 (주)대흥종합건설, 한국교통대학교, 그리고 (주)대흥토건은 아래와 같이 기술협약을 체결한다.

- 1) (주)대흥종합건설과 한국교통대학교는 (주)대흥토건에서 실시하는 철근콘크리트 구조물의 보강에 상기기술의 적용시 기술지원 및 보강후 유지관리를 지원한다.
- 2) (주)대흥토건에서 진행하는 구조물의 리모델링시 필요한 철근콘크리트 구조부재의 보강시에는 상기기술을 우선 적용하도록 노력한다.
- 3) 개발기술의 현장적용시 소요되는 제반경비 일체는 통용되고 있는 유사기술과의 비용비교를 토대로 산정하도록 하고, 개발기술을 활용함으로써 나타나는 구조성능의 개선과 유지관리의 효율성 등을 종합적으로 판단하여 상호 협의를 통하여 정하도록 한다.
- 4) 개발기술의 기술향상과 성능개선을 위한 연구를 진행할 경우, (주)대흥종합건설과 한국교통대학교, (주)대흥토건은 상호간의 기술협력을 기반으로 하여 공동 진행하도록 노력한다.

2019. 12. 19

(주)대흥종합건설

김 갑 영 (서명)

한국교통대학교 건축학부 교수 서 수 연 (서명)

(주)대흥토건

김 광 현 (서명)

<그림 33> 기술협약서 원본

(9) 기타

설계예제

-설계예제명 : TRM-FRP 패널형 보강공법

-설계예제 내용

- 본 설계예제는 TRM-FRP 패널형 보강 공법을 이용한 RC기둥의 전단 내진보강 설계 절차와 결과를 제시함
- 주어진 기둥을 TRM-FRP 패널을 보강 할 경우 구속효과와 휨 압축상관관계, 패널의 전단기여도를 고려하여 전단강도를 평가하는 절차와 결과를 제시함
- 본 과업에서 개발한 소프트웨어(콘크리트 기둥 내진 보강용 TRM jacketing 공법적용을 위한 해석 및 설계 방법)를 이용하여 설계를 수행할 경우 설계를 간편하게 수행할 수 있음

-관련 연구 단위성과: 3-3-①, 3-3-②

-설계예제 제시

설계 예제

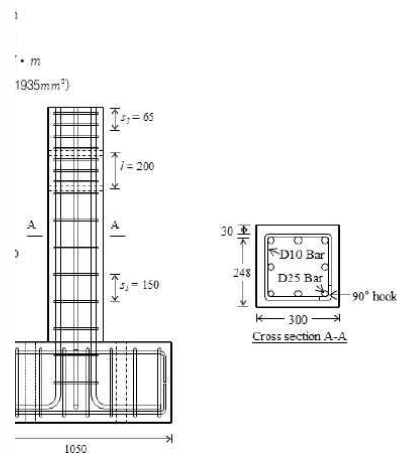
TRM-FRP 패널형 보강공법을 이용한 RC기둥의 내진 보강

2019.12

송 실 대 학 교

TRM-FRP 패널형 보강공법을 이용한 RC기둥의 전단 보강

기둥의 폭은 300mm, 높이는 300mm, 그리고 유효길이는 60mm이며 전 19 인장철근과 두께 5mm의 GFRP bar로 보강되어 있다. Fig 1과 Table 설계 휨강도를 계산하여라.



[그림 1. 기둥실험체 규격 및 단면상세]

철근의 하나당 단면적	645mm ²
의 최대 인장강도 f_y^{max}	1725N/mm ²
마단 변형률 ϵ_y^{max}	0.013mm/mm
FRP의 E_f	132,700N/mm ²

- 1 -

<그림 34> 설계예제 표지 및 원문

(10) 기술 요약 정보

(가) FRP 보강용 무기계 내화 접착 모르타르

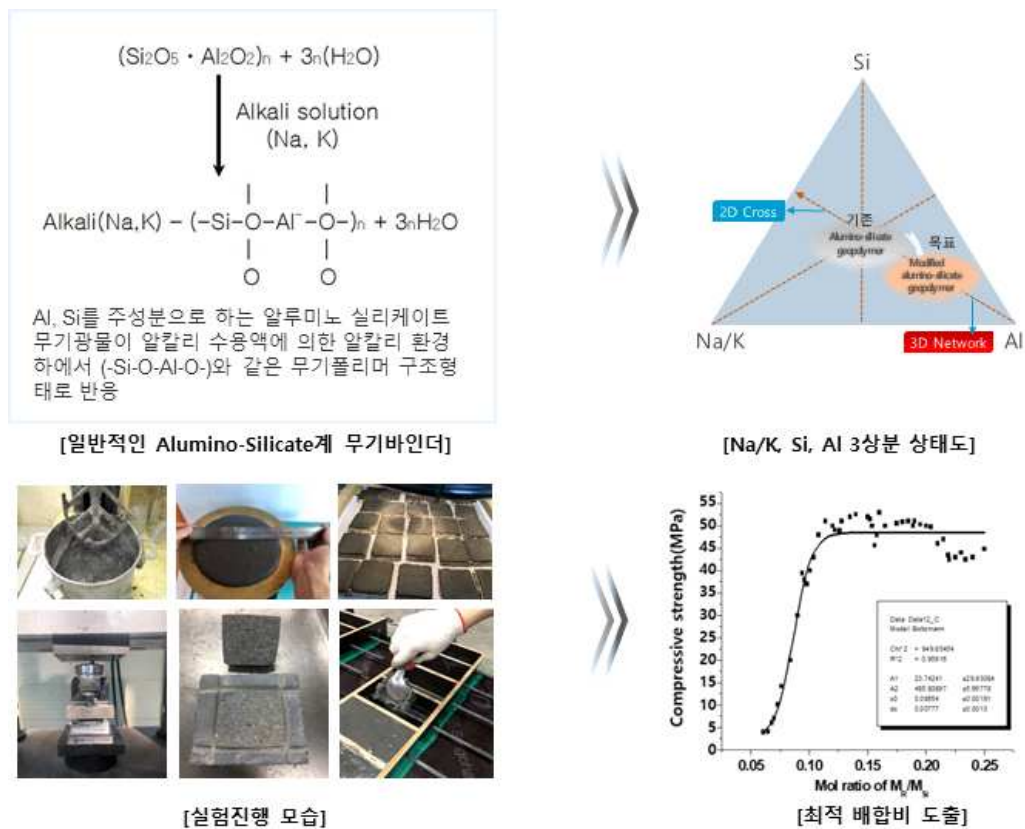
① 기술명 : 내열성 및 고부착성 확보를 위한 재료의 최적화

-수행연도: 1차년도

-요약내용: FRP를 이용하여 건축구조물의 보수보강을 실시함에 있어 에폭시 등과 같은 유기계 접착제를 이용할 경우 화재 시 접착제의 내열성 저하로 보강효과가 급격히 저하하는 문제점을 가지고 있다. 내열성 및 열간 부착성능이 우수한 무기계 FRP 접착 모르타르를 개발하여 구조 보강용 접착제로서 요구성능을 검증하고, 현장시공의 용이성을 고려한 프로트 타입으로 제품을 개발하고자 한다. 무기계 바인더로써 검토 범위는 시멘트 페이스트, 알루미나 시멘트, 알루미노 실리케이트 계열의 페이스트 및 모르타르 타입을 검토 대상으로 하였다. 실험결과, 시멘트 계열의 바인더는 가열조건 상승에 따라 부착강도가 저하하여 내열성 확보에 어려움이 있었으며, 최종적으로 알루미노 실리케이트 계열의 바인더를 선정하였다. 또한, 무기바인더의 배합은 내열성 및 부착성을 고려하여 최적의 Al : Si 몰비를 선정하였다.

-기술완성도: 기술 개발 완료.

-증빙자료 : “ 증빙-1-1-논문 ”으로 제출함



<그림 35> 무기계 내화 모르타르 개발

(1)알루미노실리케이트 무기 바인더의 배합 최적화 검토 범위

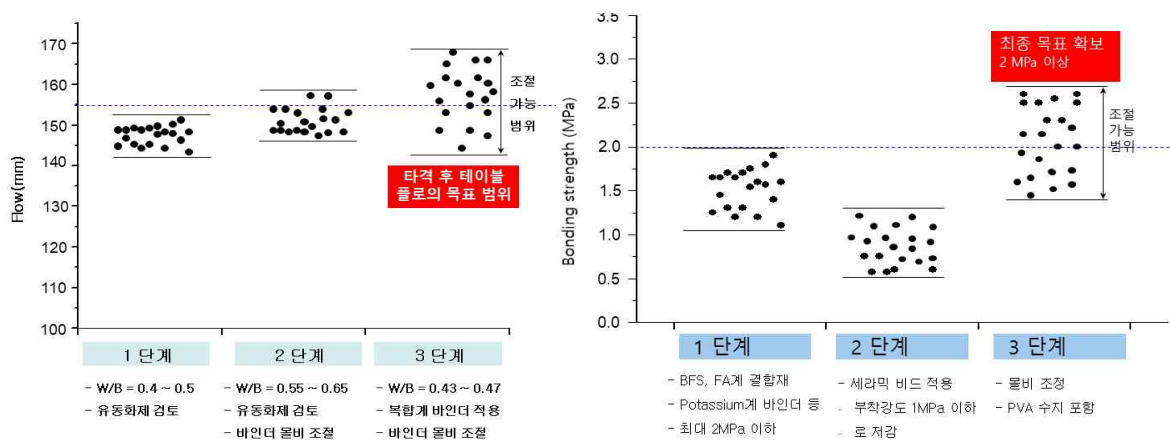
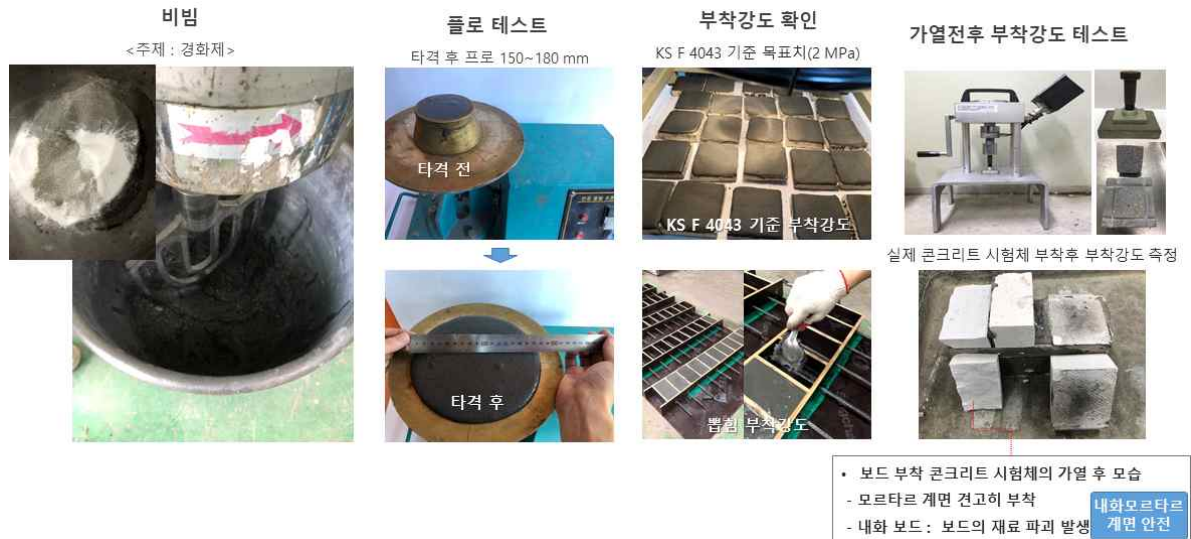
- 알루미노 실리케이트계 무기바인더: 35~65%, 알칼리 실리케이트계 경화제: 30~

9.5%, 경량 세라믹 골재: 0~1.2%, EVA수지: 0~19%

- 알루미늄 실리케이트계 무기물은 고로슬래그 미분말, 플라이애시 및 실리카흄(최적비 = 8:1.5:0.5), 알칼리 실리케이트계 경화제는 규산나트륨(Na_2SiO_3), 규산칼륨(K_2SiO_3), 수산화나트륨(NaOH)을 혼합사용(최적비 = 5 : 3 : 2)사 SiO_3 용하여 물비를 조정함.

(2) 검토범위 (목표: 플로 150~180 mm, 부착강도 2 MPa 이상)

- 목표 프로 : 목표치 확보하기 위한 W/B의 검토를 진행함. 물비 농도에 따른 유동성 확보의 어려움 있어 유동화제 첨가를 검토하였으나, 알칼리환경에서 유동화제의 효과가 나타나지 않음. 2단계에서 분체계 유동화제 및 물비조정을 통한 플로 확인후 최종 분체 바인더비 및 물비 조정을 통한 플로 결정.
- 부착강도 : 1단계 실험에서 알루미늄실리케이트 플레인 상태의 부착강도는 1~ 2 MPa 범위에서 오차가 크게 발생함. 2단계에서 열전도율 향상 시키기 위한 경량 세라믹 비드 혼입으로 강도가 저하하는 현상을 나타냄, 3단계 실험에서는 부착강도 향상을 위한 배합실험을 실시하였으며, 2MPa의 강도를 확보함.



<그림 36> 무기계 내화 모르타르 배합의 최적화

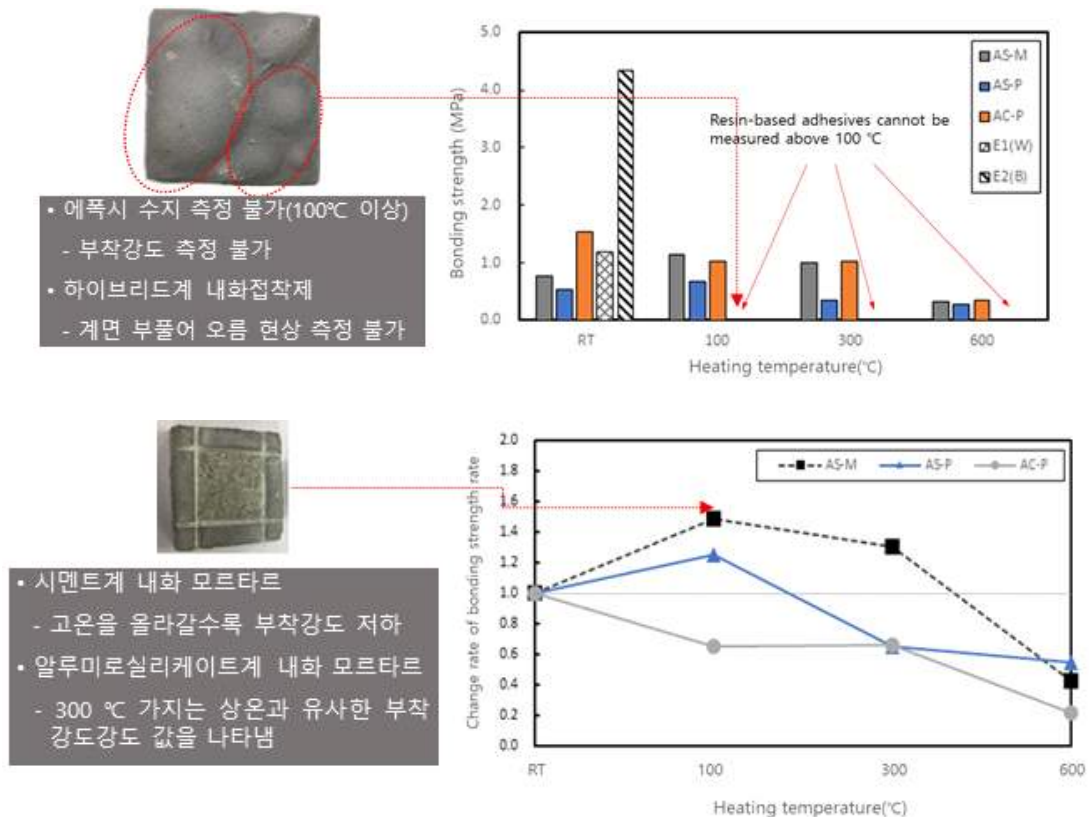
② 기술명 : 개발 재료의 안정성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토

-수행연도: 1차년도

-요약내용: 본 재료의 물리적 성질 및 역학적 성질은 KS F 4043(콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지 모르타르)와 유사함. 본 연구에 적용할 내화 접착모르타르의 목표 성능을 KS F 4043 보다 다소 상향 조정된 부착강도 2 MPa 이상, 가열후 질량감소율을 2% 이내, 길이변화 $\pm 0.15\%$ 이내 로 설정하였음. 1시간 내열성능 기준 설정은 예비실험 및 내화보드 제품성적기준을 기반으로 내화보드에 도달하는 이면온도를 확인후 설정하였으며, 내화 접착 모르타르에 요구되어 지는 조건을 1시간 가열후 보드 이면온도를 400℃ 이내로 설정하였음.

(1)부착강도(목표: 2.0 MPa 이상, 달성수준: 1.6 MPa 확보)

- 에폭시 수지및 에폭시 수지와 분체가 혼합되어 있는 하이브리드 타입 내화접착제의 부착강도 비교실험 결과 유기계 에폭시의 경우 상온에서는 4 MPa이상의 높은 부착강도를 나타내었으나, 100℃ 에서는 측정이 불가능하였음. 특히 하이브리드 타입의 경우 계면 부풀어 오름 현상으로 측정이 불가능 했음
- 알루미늄 실리케이트계 내화 모르타르의 경우 100℃ 까지는 온도가 증가할수록 부착강도가 증가하였으며, 300℃전후에서는 상온상태와 유사한 값을 나타냄



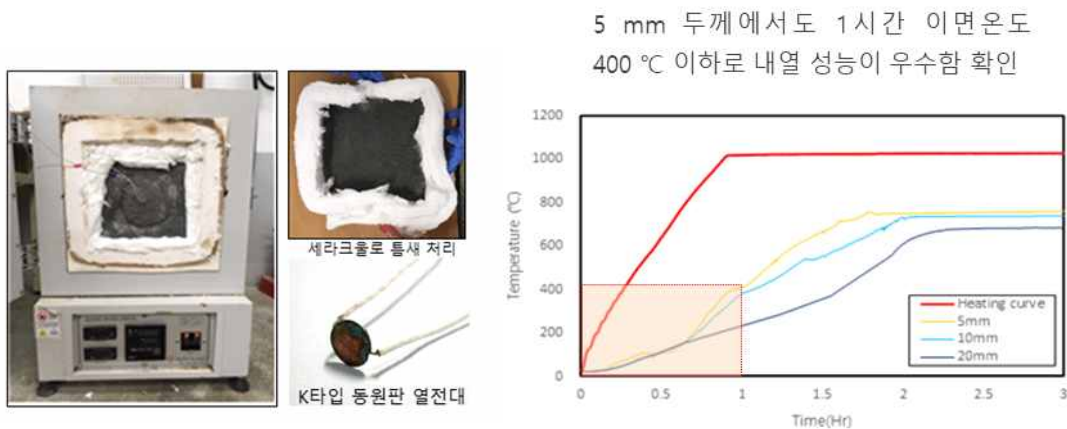
<그림 37> 무기계 내화 모르타르 부착강도 검토

(2) 내열성능 및 길이변화(목표: 1시간 이면온도 400℃ 이내, 길이변화 ±0.15% 이내)

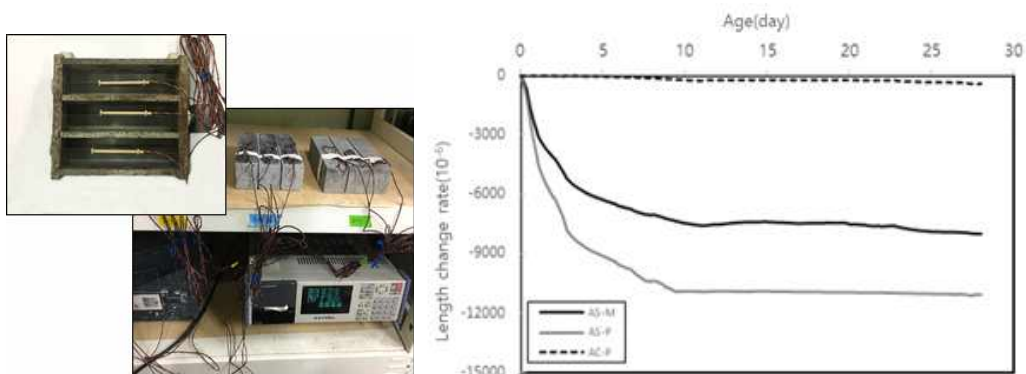
- 내화 모르타르 도포 두께를 5 mm, 10 mm 및 20 mm로 제작하여 K타입 동원판 열전대를 이용하여 이면온도 측정을 실시함
- 전반적으로 도포 두께가 두꺼울수록 이면온도가 낮은 것으로 나타났는데, 가열 후 40분에서 2시간 구간이 두께별 차이를 나타내었으며, 5 mm 도포 두께에서도 1시간 이면온도는 400℃ 이하로 우수한 내열성능을 보유하고 있을 것을 확인함. 이후 구간에 있어서는 최대 780 ℃의 온도 이하로 수렴되는 것으로 나타남
- 본 시험조건의 경우 3시간 1000℃ 일면 가열 조건에서 균열 또는 폭렬 현상 등은 발생하지 않음
- 길이변화의 경우 일반 콘크리트 등에 비해 비교적 큰 수축을 나타내고 있음. 경화제에 포함되어 있는 물량, 배합수 등의 증발로 인해 발생한 것으로 판단되며, 본 공법이 이용되는 구간에서 수축이 영향은 크지 않을 것으로 판단됨

-기술완성도: 기술 개발 완료.

-증빙자료 : “증빙-1-1-특허출원, 증빙-1-2-특허등록”으로 제출함



[전기가열로를 이용한 내화 모르타르의 이면온도 측정]



[매립형 게이지를 이용한 길이변화 측정]

<그림 38> 무기계 내화 모르타르의 내열성능 및 길이변화 검토

③ 기술명 : 고온 가열에 따른 FRP 보강용 내화 접착 모르타르의 내열성 및 물리적 성능 확보

-수행연도: 2차 년도

-요약내용: 1차년도 연구결과에 만족하지 못했던 목표치 확보를 위한 성능 확보 실험. 이 배합 조건으로 내열성 및 물리적 성능 확보 여부를 검토함. 내화 모르타르의 부착성 및 내열성능을 보다 향상시키기 위한 방법으로 다공성 세라믹 경량 필러 및 재유화형 EVA수지 혼입 영향에 대하여 검토함

(1)부착강도(목표: 2.0 MPa 이상, 달성수준: 2.4 MPa 확보)

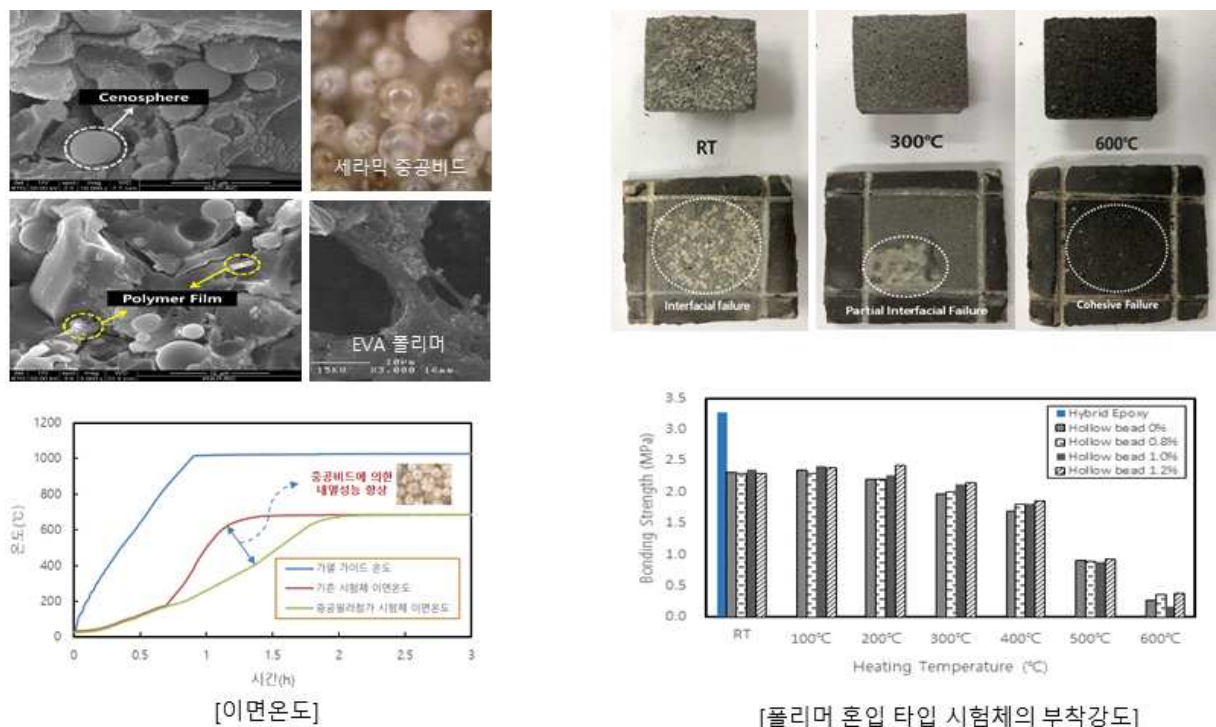
- 알루미노실리케이트계 무기 접착제는 1.5MPa 전후의 높은 부착강도를 나타냄. 또한, EVA 폴리머 수지 혼입여부에 따라서는 수지 10% 혼입 시 혼입되지 않은 시료에 비해 약 35 %의 부착강도 증가되는 것으로 나타남.

(2) 내열성능(목표: 1시간 이면온도 400℃ 이내)

- 1차년도 연구결과에서 5 mm 도포 두께에서도 1시간 이면온도는 400℃ 이하로 우수한 내열성능을 보유하고 있을 것을 확인하였음. 2차년도에서는 다공성 세라믹 경량 필러를 이용하여 내열성능을 보다 향상시킴. 다공성 경량 세라믹 필러가 혼입됨으로 인해 1시간 이면온도가 약 200 ℃ 정도의 우수한 내열성능을 확보할 수 있었음.

-기술완성도: 기술 개발 완료.

-증빙자료 : “증빙-1-3-논문”으로 제출함



<그림 39> 내열성 및 물리적 성질 만족

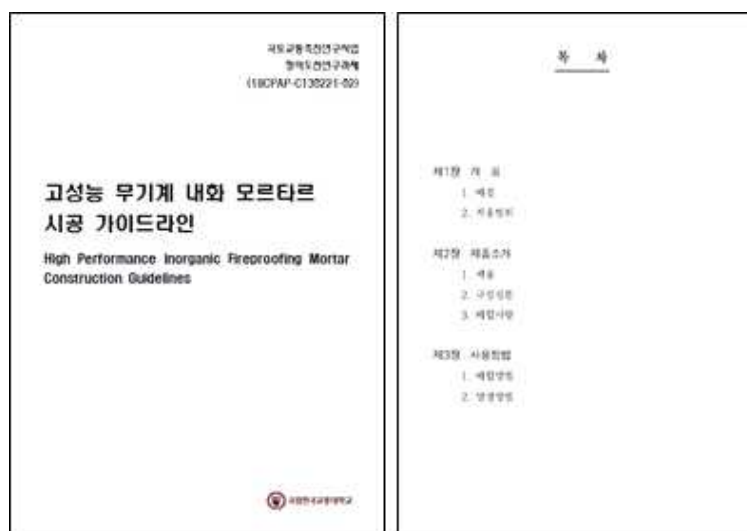
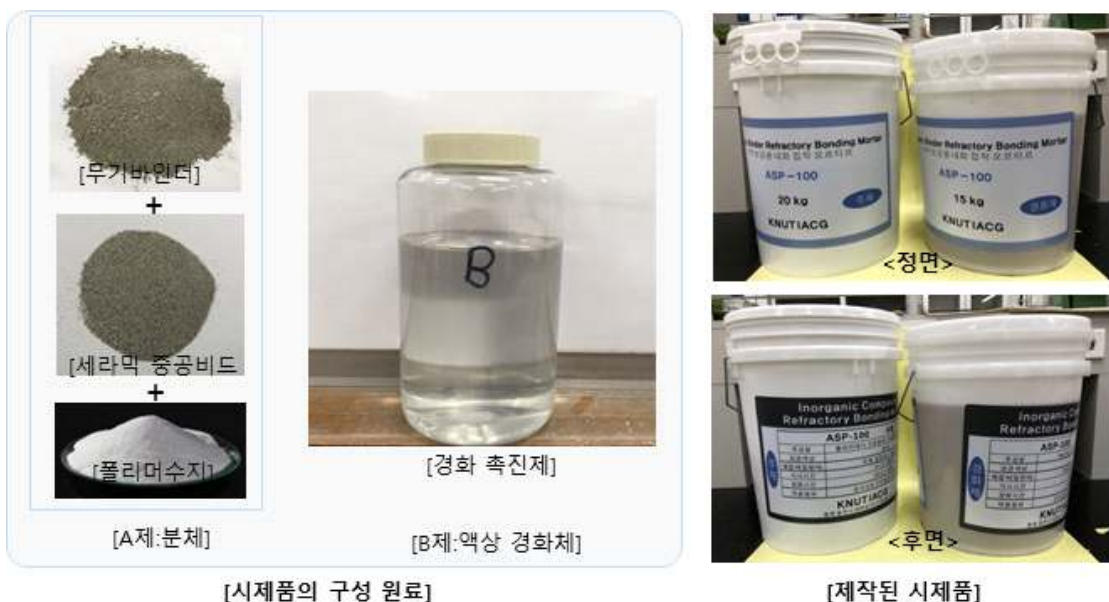
④ 기술명 : 현장시공의 용이성을 고려한 제품의 성능 개선

-수행연도: 2차년도

-요약내용: 배합 최적화 과정에서 도출된 알루미늄 실리케이트계 무기 바인더의 비율은 플라이애시, 고로슬래그 미분말 및 실리카폼의 비율이 8 : 1.5 : 0.5이고, 경화촉진제가 Na_2SiO_3 50%, K_2SiO 30%, NaOH 20% 정도로 구성되어 있다. 또한, 내열성 확보를 위하여 Si, Al이 주성분이 세라믹 중공비드를 포함하도록 하였으며, 부착성 향상을 위해 적정량의 분말 폴리머 수지를 포함하고 있다. 이러한 조건에서 현장시공성을 고려하여 목표 플로 및 가사시간을 설정하였으며, 목표 플로 180mm 전후의 값을 나타내었으며, 가사시간으로 종결은 약 90분정도의 값을 나타내었다.

-기술완성도: 실용화 단계.

-증빙자료 : “증빙-1-4-시제품(1), 증빙-1-보고서”으로 제출함



[고성능 무기계 내화 모르타르 시공 가이드라인(표지/목차)]

<그림 40> 무기계 내화 모르타르 시제품 개발 및 시공가이드라인

⑤ 기술명 : 개발 모르타르 적용 FRP 재료의 내화성능 검증

-수행연도: 1차, 2차 년도

-요약내용:

(1)판부착강도(목표: 1.5MPa 이상, 달성수준: 2.2MPa 확보)

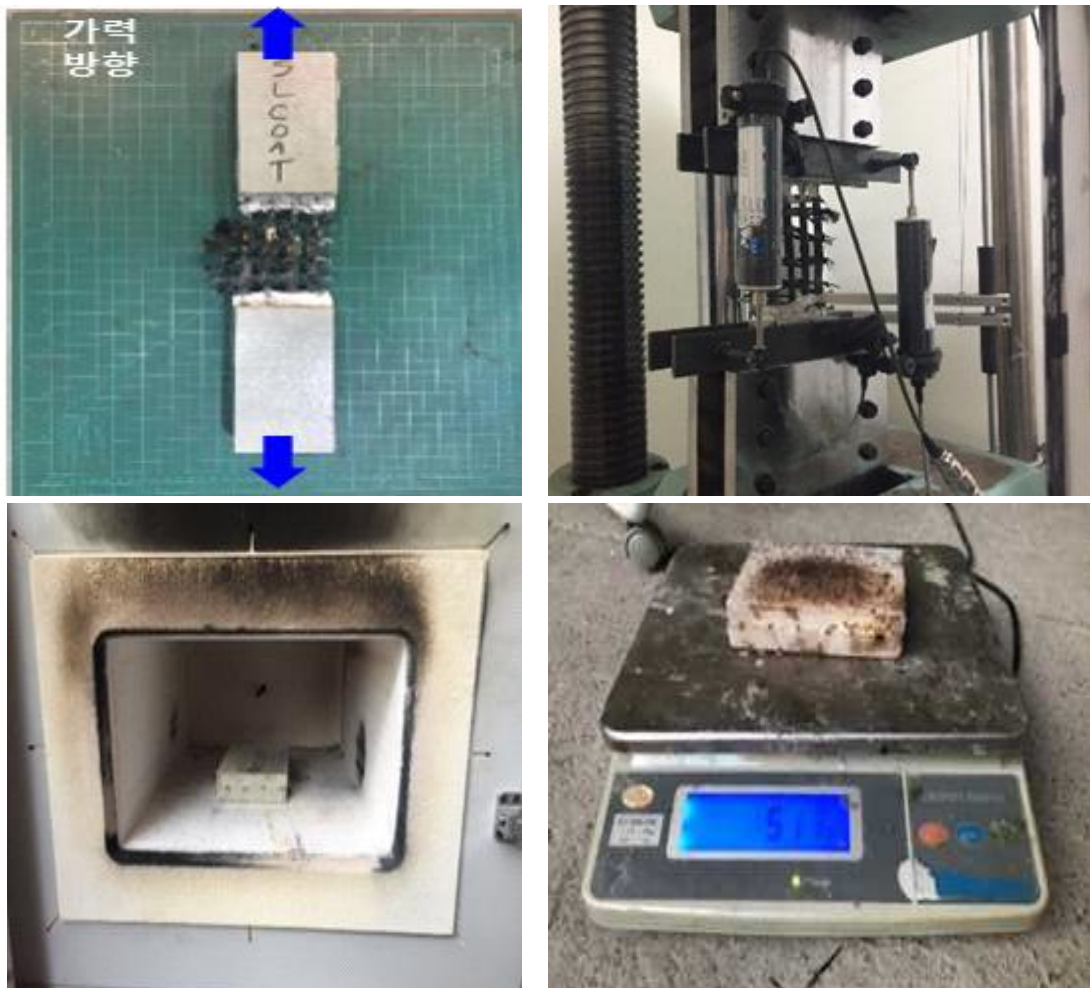
- 이음상세 변수별 기초재료 시험을 수행하여 분석함
- ACI 549.2R-13에 준하여 이중전단시험(Double shear test)을 수행, CFRP Mesh-내화 모르타르 간 부착성능을 검증함
- 탄소섬유메쉬 단부 정착상세에 따라 부착강도가 1.67MPa에서 2.15MPa로 증가함을 실험적으로 검증함

(2)내화성능(목표: 질량감소율 30% 이하, 달성수준: 16.5%이하)

- TRM-FRP 패널 단부 정착상세 별 내화성능 검증
- KS F 1182에 준하여 실험체 가열 후 질량감소율 측정
- 실험결과 모든 실험체에서 질량감소율은 평균 16.5%로 KS F 1182에서 제시하는 질량감소율 30%이하 조건을 만족함

-기술완성도: 기술 개발 완료

-증빙자료 : “증빙-1-5-논문”으로 제출함



<그림 39> 부착강도 실험체 및 실험세트업, 내화성능 실험체 및 실험체 가열결과

⑥ 기술명 : 개발 모르타르 적용 TRM-FRP 공법 상세의 고온조건 부착강도 검증

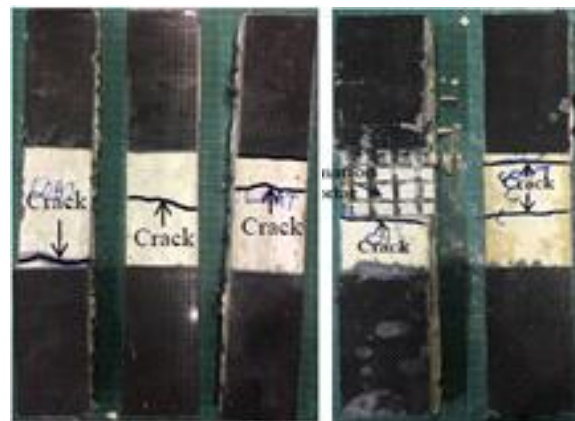
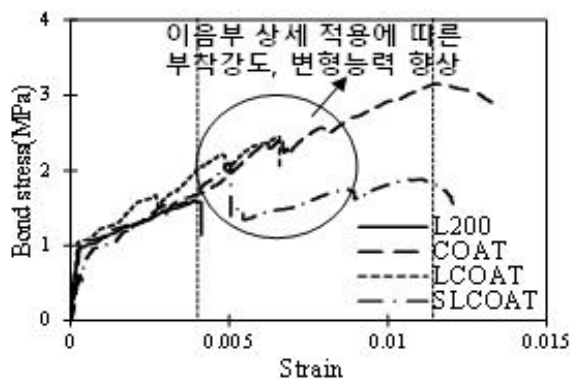
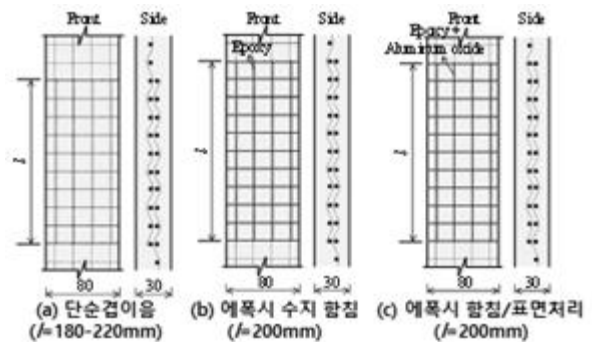
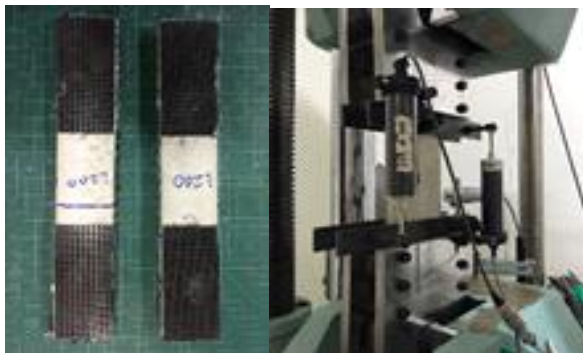
-수행연도: 1차년도

-요약내용:

- 해당 연구성과 목표는 1.5MPa 이상 부착강도 검증이며 2.2MPa 확보함
- 본 연구는 내진보강용 고내화성 TRM-FRP 복합공법 개발이 목표이며 본 공법 개발의 성공을 위해서는 기존 실험 분석결과 1)TRM-FRP 패넬형 이음부 성능 발현, 2)고내화성 확보가 주된 관건임
- 탄소섬유메쉬의 겹이음 길이를 180mm-220mm로 조절하여 기준 겹이음길이를 도출함
- ACI 549.4R-13에 준하여 이중전단시험(Double shear test)을 수행함
- 구조성능과 시공성을 고려하여 3종의 TRM-FRP 이음부 상세를 개발하여 실험체를 제작하였고 실온과 고온(250℃, 350℃, 20분간 가열 후 자연냉각)에서의 TRM-FRP 부착강도를 실험적으로 검증함
- 실온에서의 실험결과 상세 적용에 따라 강도, 변형능력 측면 각각 최대 75.3%, 116.3% 향상됨
- 고온노출 후 평균 2.2MPa로 목표 부착강도를 만족함

-기술완성도: 기술 개발 완료

-증빙자료 : “증빙-1-6-논문”으로 제출함



<그림 40> 고온가열 후 부착강도 측정결과

⑦ 기술명 : TRM-FRP 판형 장기판부착성능 검증

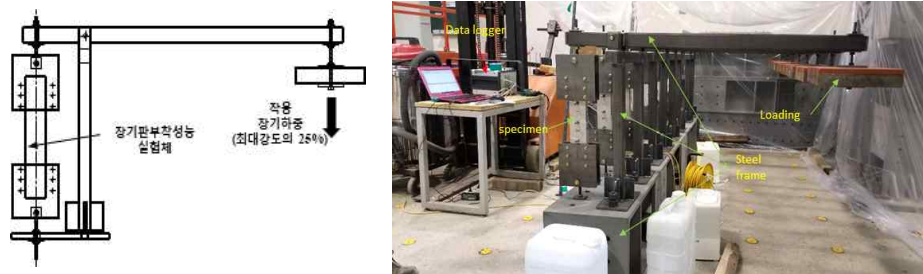
-수행연도: 2,3차 년도

-요약내용

- 해당 연구성과 목표는 기존대비 90%이상의 장기부착성능 확보이며 기존대비 90%이상 만족하여 목표치를 달성함
- 해수조건: 3.5% NaCl, 온도: 15~20℃, 습도: 50~60%의 외부환경을 유지함
- ACI 549.4R-13 에 준하여 TRM-FRP 패널 이음부 상세별 장기판 부착성능을 60일 동안 실험하여 검증함
- 실험결과 실험변수별 2.9MPa, 4.8MPa, 3.9MPa로 기존대비 90% 이상의 장기부착성능을 만족함

-기술완성도: 아이디어 창안

-증빙자료 : “증빙-1-6-논문”으로 제출



<그림 41> 장기성능 실험 Set-Up

(나) NSM-FRP 매립형 공법

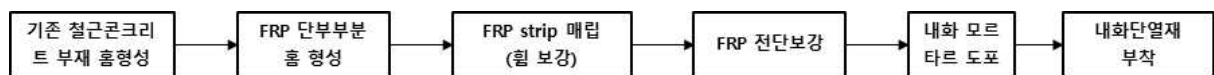
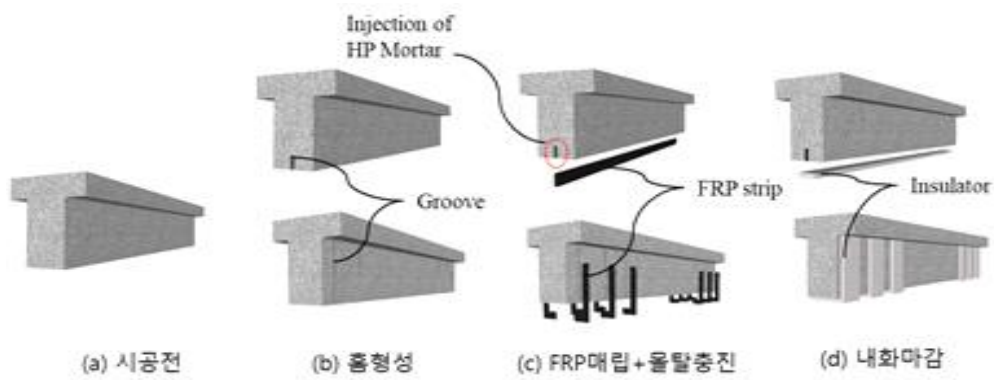
① 기술명 : 내부 매립형 FRP 내화단열 보강상세 개발

-수행연도: 1차년도

-요약내용: 철근콘크리트 부재의 보강을 위해 사용되는 바 또는 스트립 형태의 FRP가 고온(에폭시의 유리전이 온도인 65℃ 부근)에 노출될 경우, 부착력이 상실되어 보강효과가 없어진다. 따라서, 화재저항 성능을 향상시키기 위해 콘크리트 부재에 홈을 형성한 후 FRP를 홈에 삽입한 뒤, 내화단열재를 합성시킨 내화보강재를 FRP 외부에 고정함으로써 고온에 대한 저항성과 보강효과를 유지할 수 있는 보강상세를 개발하였다. 특히 이 상세는 유리전이온도가 높은 에폭시로 내화처리된 FRP를 콘크리트와 일체시키며 또는 와이어 등으로 보드를 고정하여 내화단열재를 부재에 일체화 시킬 수 있다.

-기술완성도: 실용화 단계

-증빙자료 : “증빙-2-1-특허출원, 증빙-2-1-논문, “증빙-3-3-시제품” 으로 제출함



<그림 42> 내부 매립형FRP 내화단열 보강상세 개발

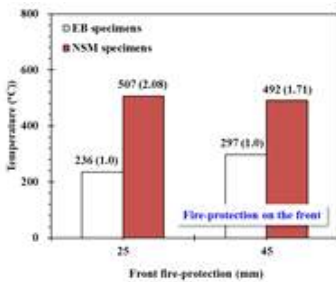
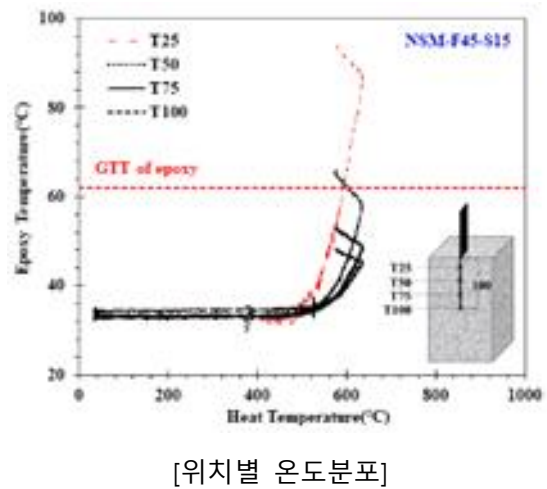
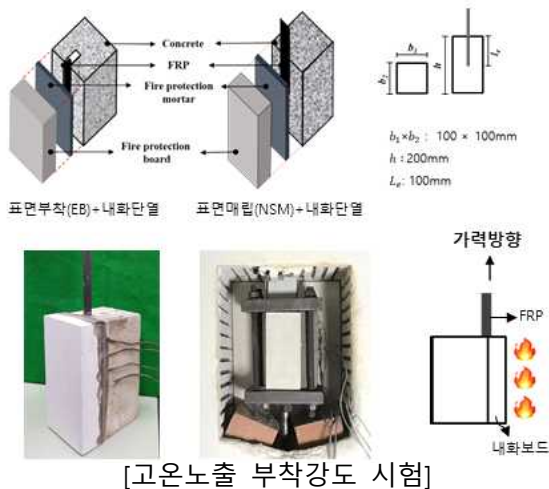
② 기술명 : 개발 상세에 대한 FRP 부착성능 및 내화성능 실험

-수행연도: 1, 2차년도

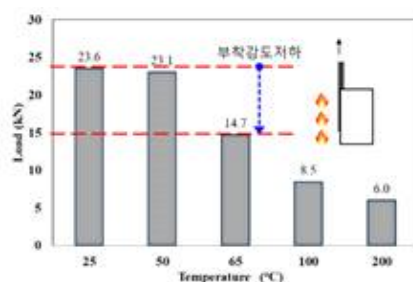
-요약내용: 개발된 NSM-FRP 내화단열 보강 상세별 부착실험을 통하여 전단부착보강성능을 검증하였다. 내화처리되지 않은 FRP의 고온노출 부착실험결과, 에폭시 유리전이 온도인 65℃ 부근에서 부착강도가 상실되고 기존 표면부착보강에 비하여 개발하는 표면매립보강의 내화성능이 우수함을 확인하였다. 기존 표면부착보강에 비하여 표면매립보강이 부착강도는 1.5배이고 내화성능은 1.7배 우수한 것으로 나타났다. 기존 부착강도식이 강도산정에 유효함을 확인하였고 GTT 도달시까지 강도저하는 고려할 필요는 없는 것으로 확인되었다. FRP 고온노출 부착실험을 통하여 노출온도 증가에 따른 부착강도 저하가 발생하지만, 내화단열된 FRP는 노출온도 633℃까지 부착강도가 유지되는 것으로 나타났다.

-기술완성도: 실용화 단계

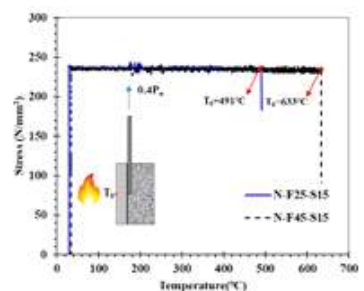
-증빙자료 : “증빙-2-2-논문”으로 제출함



[EB과 NSMR의 비교]



[노출온도에 따른 보강효과 감소]



[내화보강에 따른 노출온도]

<그림 43> 실험을 통한 개발 상세에 대한 FRP 부착성능 및 내화성능 검증

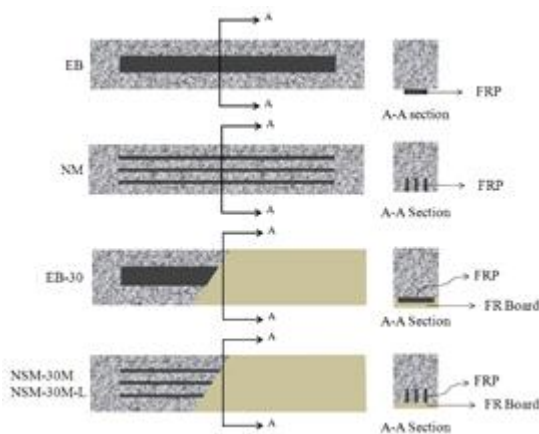
③ 기술명 : 개발 기술의 구조부재 휨 및 전단보강성능 검증실험

-수행연도: 1, 2차년도

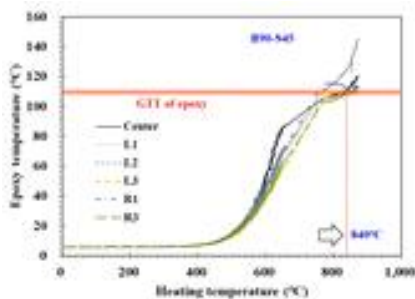
-요약내용: RC 보에 내화접착모르타르 10mm, 내화단열재30mm의 두께로 보강 후 고온 (600℃) 노출 후 잔존강도 실험결과, 보강 전 대비 50% 강도가 향상되었다. 일반 에폭시 (유리전이온도 65℃)로 FRP 보강후 내화단열재 두께25mm와 45mm로 보강시, 각각 노출온도 490℃와 633℃에서부착강도가 상실된 반면에 고내화 에폭시 (유리전이 온도 100℃) 보강후 내화보드 90mm 두께로 보강하였을 때 노출온도 836℃ 에서 에폭시 유리전이온도에 도달하였다.

-기술완성도: 기술 개발 완료

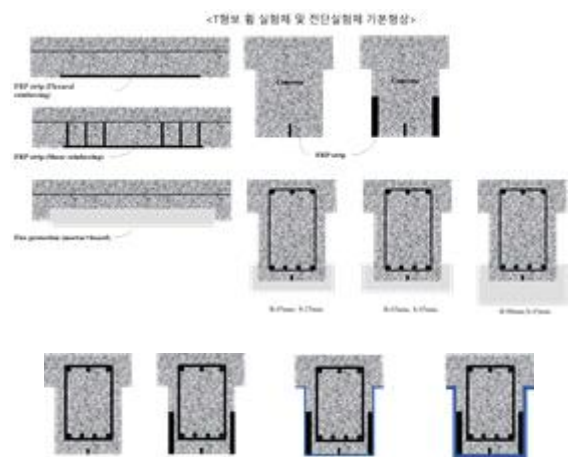
-증빙자료 : “증빙-2-3-1-논문, 증빙-2-2-특허출원, “증빙-3-3-시제품”, 증빙-2-3-1,2 인력양성”으로 제출함



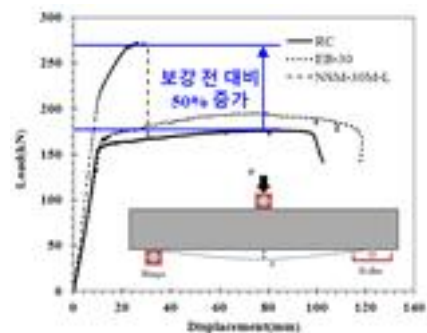
[1차년도-구형보 시험]



[사용하중 고온노출시험]



[2차년도-T형보 시험]



[고온노출후 잔존강도 시험]

<그림 44> 구조부재 휨 및 전단보강성능 검증 실험

④ 기술명 : 고온조건을 반영한 휨 보강설계 프로세스 제안

-수행연도: 2차년도

-요약내용: 내화처리유무에 따른 NSM FRP보강 보의 휨강도 검증실험 결과, 외부온도 600℃까지 휨강도가 유지됨을 확인하였다. 또한 내화처리된 NSM FRP보강 보의 외부온도에 따른 예폭시 손상을 반영한 유한요소해석을 실시한 결과, 실험최대하중(278.44kN)과 해석최대하중(293.06kN)은 5%의 오차를 보이며 연구개발계획서상의 목표인 15%이내를 만족하였다. 내화단열방법에서 측면 보강의 유무, 연단거리 따른 실험결과 측면보강과 연단거리에 따라 내부온도 차이가 나타나며 이를 근거로 내화단열방법에 따른 실험을 실시한 후 NSM FRP로 휨 보강된 부위의 내화단열 보강설계를 하는 프로세스를 제안하였다.

-기술완성도: 기술 개발 완료

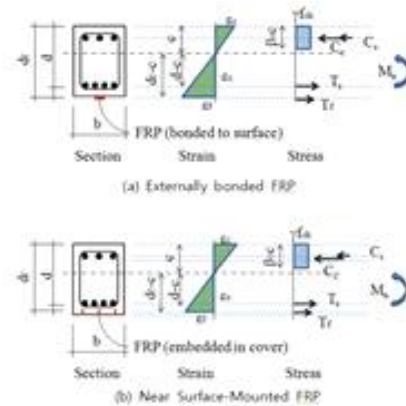
-증빙자료 : “증빙-2-4-논문”으로 제출함

$$\begin{aligned} T < 400^\circ\text{C} & \quad F_{y(T)} = 1.00 \\ 400^\circ\text{C} \leq T < 500^\circ\text{C} & \quad F_{y(T)} = -2.2 \times 10^{-3} T + 1.88 \end{aligned} \quad (1)$$

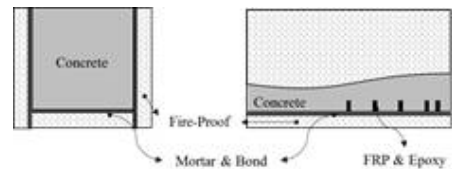
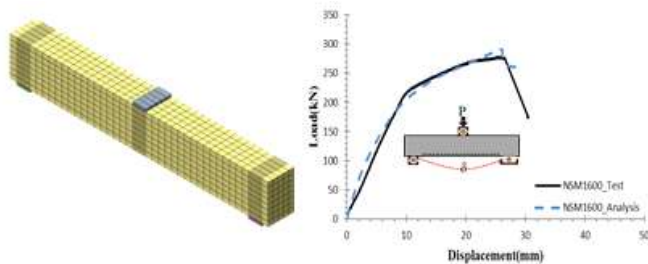
$$\begin{aligned} T < 100^\circ\text{C} & \quad E_{y(T)} = 1.00 \\ 100^\circ\text{C} \leq T < 500^\circ\text{C} & \quad E_{y(T)} = -0.001 T + 1.1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sigma_{c(T)} = \gamma_{cT} \cdot f_{ck} \cdot \frac{\epsilon_c(T)}{\epsilon_d(T)} \cdot \frac{3}{2 + \left(\frac{\epsilon_c(T)}{\epsilon_d(T)}\right)^3} \quad (3)$$

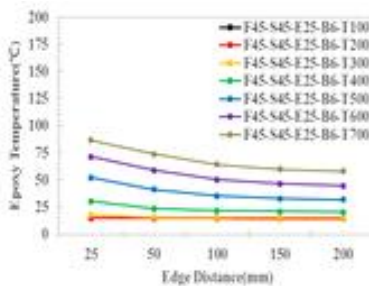
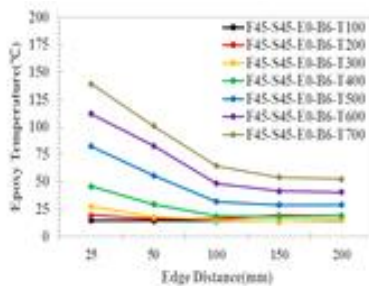
$$M_n = A_s' F_y (d - d') + (A_s - A_s') f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2}\right) + k_m A_f f_f \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2}\right) \quad (5)$$



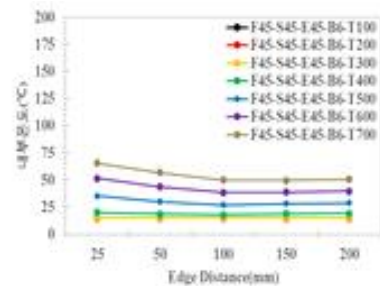
[FRP 휨보강설계 프로세스]



[FE 해석을 통한 온도에 따른 강도저감 고려]



[내화단열시 위치별 온도분포]



[내화단열시 위치별 온도분포]

<그림 45> 고온조건을 반영한 휨 보강설계 프로세스

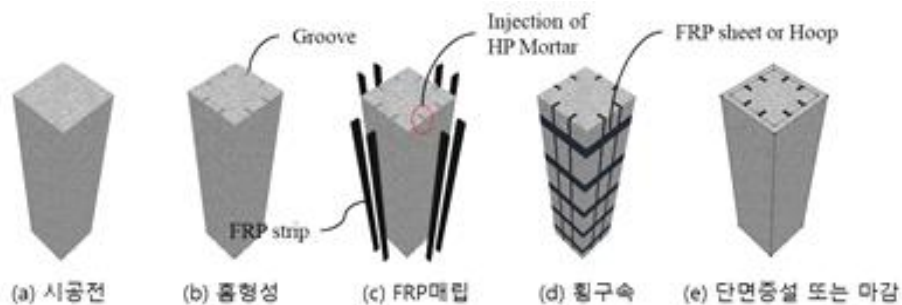
⑤ 기술명 : 기둥 보강 시 보강상세 개발 및 구조성능 검증실험

-수행연도: 3차년도

-요약내용: 기둥의 휨보강을 위한 표면매립보강과 횡구속보강을 위한 앵글형 보강재 상세 개발 및 시제품을 제작하였으며 또한 내화보강을 위한 내화보드와 FRP 판을 결합한 상세개발 및 시제품을 제작하였다. 개발한 보강공법에 따라 기둥을 보강하고 중심축력 및 편심축력 시험을 실시하여 구조성능을 검증하였다. 그 결과, 개발된 공법으로 보강시 휨내력이 향상되었다. 또한 제시하는 내화단열 보강공법으로 보강된 기둥부재를 내화단열 후 고온노출실험을 실시하여 고온에 대한 저항성능을 검증함. 실험을 통하여 파악한 기둥 휨보강근에 의한 구조내력상승을 설계에서 반영할 수 있도록, M-N상관관계를 정립하고 설계법을 구축하였다.

-기술완성도: 아이디어 창안, 기술 개발 완료

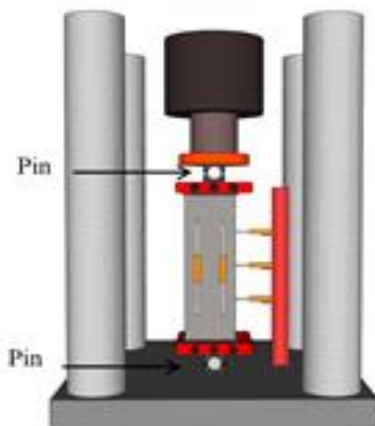
-증빙자료 : “증빙-3-3-시제품” 으로 제출함



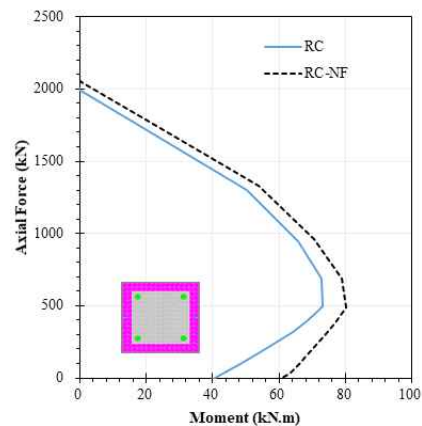
[RC기둥의 FRP 보강]



[FRP 보강기둥의 내화보강후 고온노출 시험]



[편심압축시험, $e=D/6$]



[FRP 보강후 M-N곡선]

<그림 46> 보강상세별 기둥의 휨-압축성능 검증

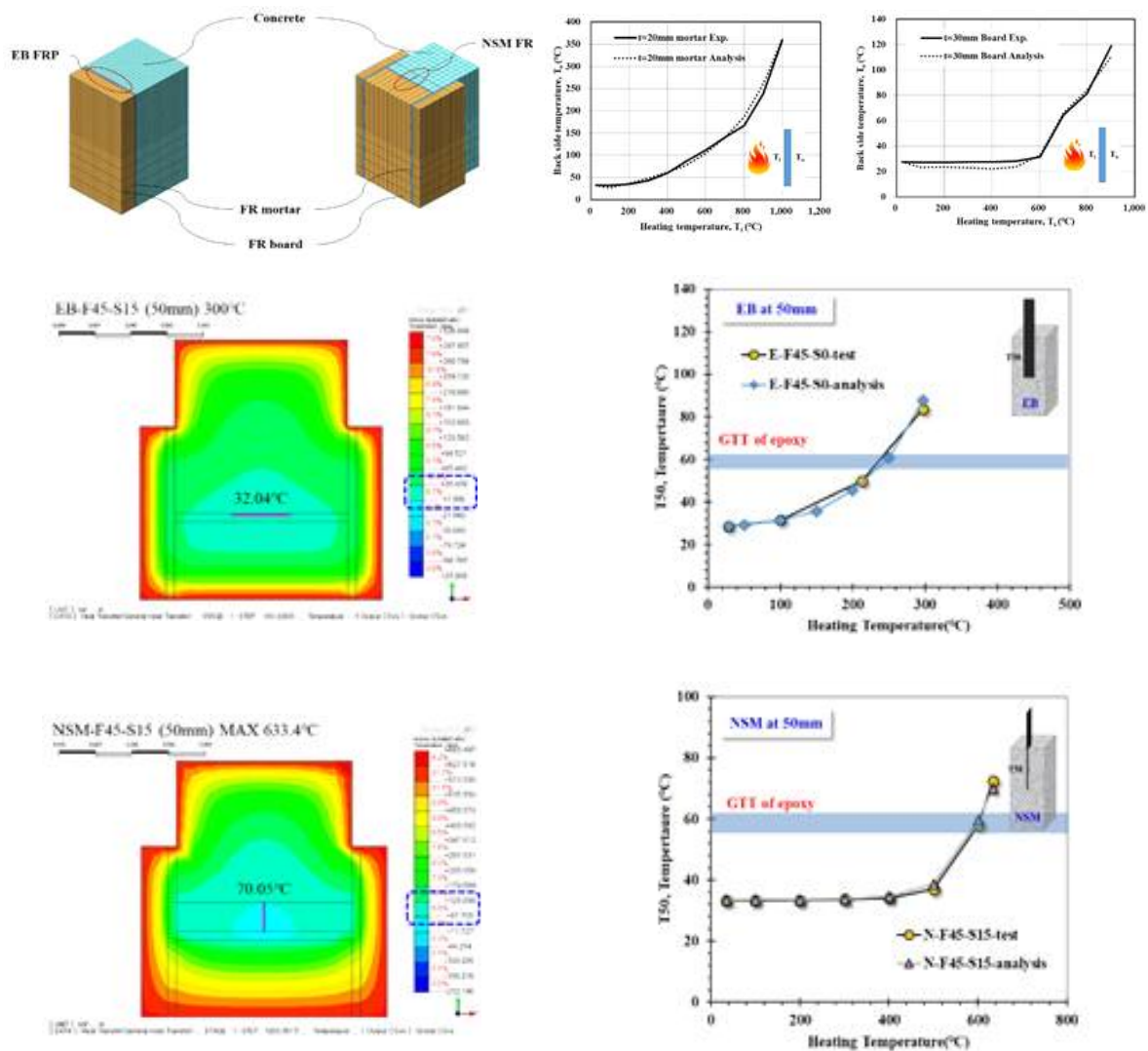
⑥ 기술명 : 개발기술의 고온조건을 고려한 보강설계법 완성(교통대 작성)

-수행연도: 3차년도

-요약내용: 실험을 통하여 파악한 기둥 휨보강근에 의한 구조내력상승을 설계에서 반영할 수 있도록, M-N상관관계를 정립하고 설계법을 구축함. 고온노출시 보강재가 유리전이온도에 도달하지 않도록 내화단열을 실시하고 이를 설계할 수 있는 설계법을 구축함. 고온노출에 따른 FRP의 온도를 예측하고 이를 설계에 반영하며, FRP의 온도는 FE 해석을 수행하여 예측함. 해석에 FP 모르타르와 보드의 열전도계수를 제안된 관계로 모델링하여 해석을 수행한 결과 실제 실험결과와 유사한 온도예측이 가능함.

-기술완성도: 기술 개발 완료

-증빙자료 : “증빙-2-6-논문”으로 제출함



[FE 해석에 의한 내화보강 FRP의 온도예측]

[내화보강된 FRP의 예측모델 적합성]

<그림 47> 고온조건을 고려한 보강설계법 완성

(다) TRM-FRP 패널형 PC보강 시작품

① 기술명 : TRM-FRP 판넬형 공법 상세 개발

-수행연도: 1차년도

-요약내용

(1)판부착강도 결과에 따른 부착길이 산정식 제안

(목표: 산정식 제안, 달성수준: 산정식 제안 및 검토)

- 본 연구는 내진보강용 고내화성 TRM-FRP 복합공법 개발이 목표이며 본 공법 개발의 성공을 위해서는 기존 실험 분석결과 1)TRM-FRP 패널형 이음부 성능 발현, 2)고내화성 확보가 주된 관건임
- 실온에서의 패널 인장성능 발현을 위한 핵심요소기술은 1)패널인장성능, 2)탄소섬유 메쉬 이음부 성능임
- 고온에서의 패널 인장성능 확보를 위한 핵심요소기술은 1)고온 노출 후 패널의 질량 감소율, 2)고온노출 후 하중지지력임
- ACI 549.2R-13에 준하여 이중전단시험을 수행함
- 구조성능과 시공성을 고려하여 5종의 단부정착상세를 개발하여 실험체를 제작하고 TRM-FRP 패널인장실험을 수행함
- 실험결과 인장강도 측면에서 기준실험체 대비 균열발생 이후 최대 99.6% 증가하였으며 CFRP-모르타르간 슬립과파괴가 CFRP 부분적 파단으로 개선됨
- FRP Bar의 부착과파괴 메커니즘과 실험결과를 분석하여 ACI440.1R-03에서 제시하는 부착길이 산정식을 개선하여 제안함

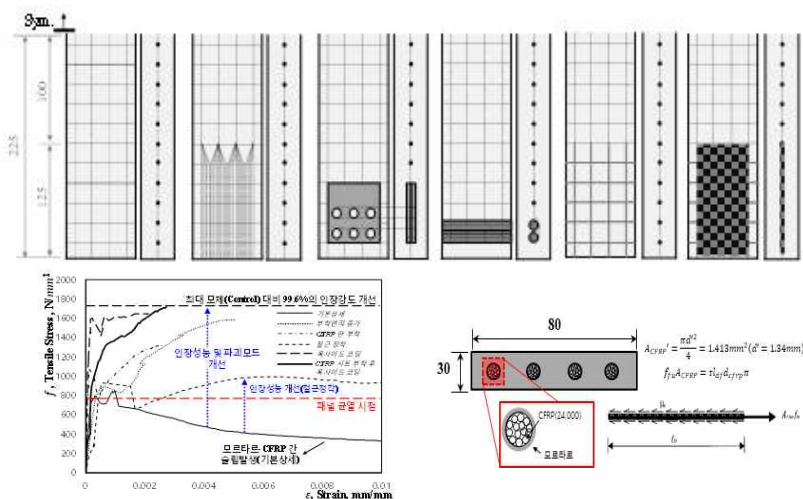
(2)보강상세 개발

(목표: 보강상세 제안, 달성수준: 상세안 제시)

- 1,2차년도의 구조실험과 소재실험결과를 바탕으로 RC 기둥 보강에 적합하도록 TRM 패널 이음상세를 개발함
- 보강상세에 대한 시공순서를 제안함
- 해당 보강상세 개발 및 보강법에 대한 특허 출원

-기술완성도: 기술 개발 완료

-증빙자료 : “증빙-3-1-논문”으로 제출함



<그림 48> 부착상세 및 실험결과

② 기술명 : 개발공법 적용 기둥부재 실온과 고온에서의 구조성능 검증실험

-수행연도: 2차, 3차 년도

-요약내용

- 해당 연구성과 목표

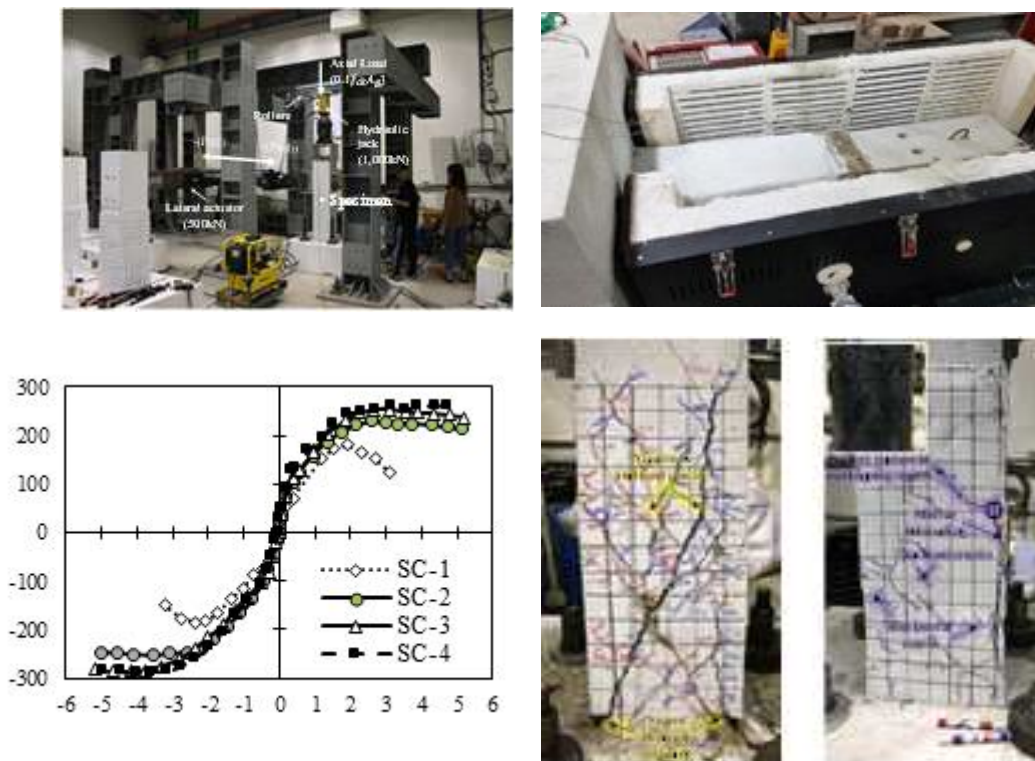
(1)실온(목표: 기존대비 구조성능 30% 향상, 달성수준: 변형능력 측면에서 최대 74.5% 향상)

(2)고온(목표: 실온실험대비 구조성능 80% 유지, 달성수준: 실온에서의 실험결과 대비 변형능력 측면에서 97% 보강 성능을 유지함)

- 실험변수는 TRM-FRP 이음구간 상세, 탄소섬유매쉬 겹수임
- 파괴모드(전단파괴, 휨 항복 후 전단파괴)별 RC 기둥의 TRM-FRP 보강에 따른 보강 성능을 실험적으로 검증함
- 보강에 따라 파괴모드가 개선되며 실온 실험 대비 구조성능 목표치인 80% 이상 달성
- 기둥보강 시 활용된 TRM-FRP 패널 보강의 시공순서 및 절차는 다음과 같음
 - 1) 그라인더로 표면처리와 모서리 라운딩 작업을 진행
 - 2) 레진과 프라이머를 도포함
 - 3) 재단한 FRP 섬유를 에폭시를 함침하여 겹이음 부착하고 알루미늄 옥사이드를 도포함
 - 4) 격자형 패널을 모서리부에 부착 후 이음부를 몰탈로 마감함

-기술완성도: 기술 개발 완료

-증빙자료 : “증빙-3-2-논문”으로 제출함



<그림 49> 가력시험 셋업 및 결과, 기둥 실험체 가열

③ 기술명 : 개발 TRM-FRP 패널형 PC보강 제품 설계법 전산화

-수행연도: 3차 년도

-요약내용

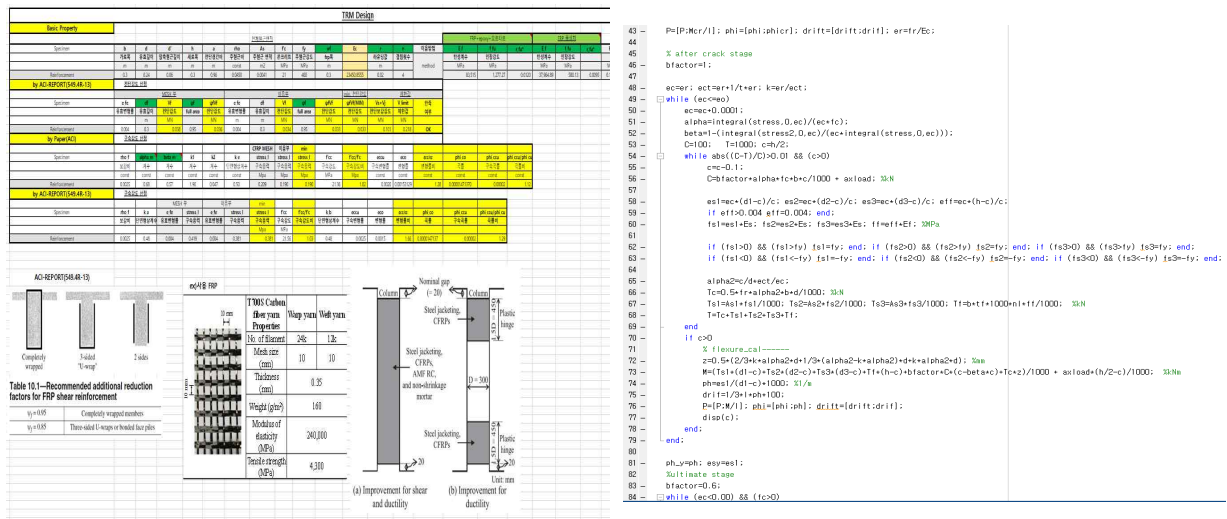
• 해당 연구 성과 목표

(목표: 설계법 프로그램화 및 예제 제시, 달성수준: S/W 저작권등록 및 예제 작성)

- 1,2,3차 년도의 연구 및 실험수행 결과를 바탕으로 설계방법을 실무에 적용 가능한 프로그램 Code로 작성하여 전산화함
- 비내진 상세가 적용된 철근콘크리트 기둥 설계부터 개발한 TRM-FRP 패널 설계 시 변수(탄소섬유량)등을 산정할 수 있으며, 보강 적용 후 파괴모드 개선 유무와 보강 후 최대 전단 강도 검토가 가능함

-기술완성도: 기술 개발 완료

-증빙자료: “증빙-3-3-소프트웨어”, “증빙-3-3-논문”으로 제출함



<그림 50> 설계 Code 및 Excel

④ 기술명 : 현장적용 가능한 시제품 제작 및 판로확보

-수행연도: 3차 년도

-요약내용:

- .해당 연구성과 목표

(목표: 시제품 제작 및 구매의사서 획득, 달성수준: 시제품 제작 및 보고서 작성, 구매의사서 획득)

- 구조실험시 적용한 TRM-FRP 보강법을 프리캐스트화한 패널 형태로 시제품을 제작하고 시제품 결과 보고서를 작성하여 현장적용이 가능하게 함
- 특허출원을 통하여 TRM-FRP 패널 공법의 적용 방법 및 패널의 프리캐스트화를 제시하였으며 해당 특허에 대한 기업의 구매협약서를 확보하여 개발공법의 시장성을 증명하고 판로를 확보함

-기술완성도: 기술 개발 완료

-증빙자료 : “증빙-3-3-시제품”, “증빙-3-4-구매협약서”으로 제출함



기술개발품 구매협약서

「(주)에스구조엔지니어링(이하 「에」라 함)」과 「(주)엔솔라스엔지니어링(이하 「솔」이라 함)」은 「갑」의 기술개발품(고내충성 내진보강판) 및 「을」(이하 「을」)의 내진보강판, 특허번호 10-2019-0140311(이하 「특」)의 사용권을 위하여 본공과 신원을 바탕으로 다음과 같은 업무협약 체결함을 합의한다.

제1조 (목적)

본 협약은 「갑」과 「을」의 기술개발품을 구매하여 사용하자는 것과 관련하여 「갑」과 「을」의 업무협약 체결을 목적으로 체결하며, 합의한 사항을 준수할 것을 목적으로 한다.

제2조 (기술개발품의 구매)

「갑」은 기술개발품의 성능 및 품질에 대한 최종 평가결과 요구수준을 만족하는 경우 「을」에게 해당 기술개발품을 「을」이 구매할 수 있도록 할 것이다. 단, 구매할 관련법 구매제한 사항은 「갑」과 「을」과의 구매계약에 의한다.

제3조 (협약의 변경 및 기각)

- ① 본 협약의 협약 기간은 체결일로부터 1년으로 한다. 협약 기간 종료라도 협약 내용이 변경 사유가 있을 경우 「갑」과 「을」은 상호 합의에 의하여 변경할 수 있다.
- ② 본 협약을 종료하고자 하는 협약의 일방 당사자는 협약 기간 만료일로부터 1개월 이전까지 이와 같은 의사를 통한 서면을 상대방 당사자에게 발송하여야 한다. 이 의사 표시로 본 협약은 협약기간 만료일에 종료된 것으로 본다.
- ③ 협약 기간 만료일로부터 1개월 이전까지 협약 당사자의 동인 의사 표시가 없는 경우, 본 협약은 매 1년간 자동으로 갱신된 것으로 본다. 단, 협약 기간이 3년을 넘지거나 별도의 구매계약에 체결되는 경우에 이 협약은 종료된 것으로 본다.

제4조 (분쟁 해결)

본 구매협약서 및 협약이나 적용에 관한 분쟁은 당사자 간의 상호합의에 의하여 우선적으로 해결하며, 제3자의 개입을 허용하지 않는다.

제5조 (비밀 사항)

「갑」과 「을」은 본 협약의 내용을 상호간에 비공개 및 비밀하게 이행하여야 한다.

제6조 (기타 유의)

「갑」과 「을」은 업무협약을 통하여 취득한 정보 등을 상대방의 동의 없이 제3자와의 공동 사업 추진 외의 목적에 사용하거나 외부에 누출 및 누설하여서는 아니 되며, 계약 종료 이후에도 동일하다.

제7조 (협약 변경 및 해지)

① 본 협약은 양 기관의 합의 하에 협약사항을 변경할 수 있다.

<그림 51> 시제품 상세 및 구매의사서 원본

다. 연구결과

(1) 연차별 연구결과

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용(관련성과지표)	연구 결과
1차 년도 (2017)	FRP 보강용 무기계 내화접착 모르타르 개발	내열성 및 고부 착성 확보를 위한 재료의 최적화	- 무기계 내화 접착제에 대한 선행연구분석 및 문헌조사를 통해 재료의 기초적 특성 파악 (1-1-①) - 고내열성 확보를 위한 무기계 바인더의 종류 및 최적 Al:Si 몰비 검토(1-1-②, ③,④)	- 무기계 내화 접착 모르타르의 개발을 위한 필수조건으로 1) 고내열성, 2) 고부착성으로 정의하였음 - 무기계 바인더로써 검토 범위는 시멘트 페이스트, 알루미늄 시멘트, 알루미늄 실리케이트 계열의 페이스트 및 모르타르 타입을 검토 대상으로 함 - 시멘트 계열의 바인더는 가열조건 상승에 따라 부착강도가 저하하여 내열성 확보에 어려움이 있었으며, 최종적으로 알루미늄 실리케이트계의 바인더를 선정하였으며, 고내열성을 확보할 수 있는 몰비 선정 - 증빙-1-1-논문
		개발 재료의 안정성 및 요구 조건 확보를 위한 제반 성능 검토	- 가열온도조건에 도달한 실험체의 부착 성능(KS F 4043)과 내열성능(KS F 2257-1) 검증 (1-2-①,②) - 기초적 물성으로 길이변화율 측정(1-2-③,④)	- 가열전후 부착성능 검증실시: 상온 조건 및 100, 300, 600℃가열후 부착강도 측정(측정방법: KS F 4043) - 유기계 접착제(에폭시계 및 하이브리드계)는 상온에서는 높은 부착성을 나타내었으나, 100℃온도 조건에서 부착강도는 측정 불가했음. 한편, 무기계 바인더의 시험체는 전반적으로 0.8MPa ~ 1.4MPa 구간의 부착강도를 나타내었음 - 이면온도 측정결과 1시간 가열후 이면온도는 약 400~450℃ 정도를 나타냈으며, 두께 조건에 따라서는 두께 두꺼울수록 이면온도가 낮아짐. - 증빙-1-2-특허출원
	NSM-FRP 매립형 공법 개발	내부 매립형 FRP 내화 단열	- 시공성 및 구조성능을 고려한 내화단열 보강상세 개발(2-1-①) - 부착강도 및 내화성	- 내화단열 보강 관련 법규, 기준, 제도를 검토하고 기존의 내화단열보강상세에 대한 국내외 기술조사 및 분석을 통한 아이디어 도출 - 구조성능과 시공성을 확보하고 내

		보강 상세 개발	향상을 위한 핵심기술 정립(2-1-②) • 국내외 매립보강기술 및 설계법에 대한 자료조사 및 분석(2-1-③) • 고온에 대한 FRP 특성 및 내화단열기술에 대한 자료조사(2-1-③) • 고내화성 FRP 매립보강기술 시공법 개발(2-1-④)	화단열성능발현을 위해 내화접착모르타르를 이용한 내화단열보강상세를 개발함 • NSM-FRP보강공법에 대한 국내외 기술조사 결과를 바탕으로 NSM-FRP의 휨 및 전단보강 시 내화단열성능 향상을 위한 아이디어 도출 및 유리전이온도가 높은 에폭시가 확인됨 • 내화단열재의 내화성능파악을 위한 이면온도 실험을 실시하고 그 결과를 바탕으로 내화보강상세와 내화단열재 두께에 따른 내화성능을 해석으로 예측 • 내화모르타르 및 내화보드의 이면온도 실험결과를 통해 해석으로 예측시 내화단열재만으로 성능발현이 어려움을 확인함 • 현행 내화단열기술에 대한 시공법을 분석하고 시공성과 내화단열성을 고려한 내화단열보강 프로세스 구축 • 증빙-2-1-특허출원, 논문(1),(2)
		개발 상세에 대한 FRP 부착 성능 및 내화 성능 실험	• 개발 상세에 대한 무기계 내화 접착 모르타르의 FRP부착전단실험을 통한 보강성능 검증(2-2-①) • 실험결과 분석을 통한 부착강도 산정식 검토 및 강도저하 결정요인 파악(2-2-②)	• 내화처리되지 않은 FRP의 고온노출 부착실험을 통하여, 에폭시 유리전이온도인 60℃부근에서 부착강도가 상실됨을 확인함 • 일반 에폭시 (유리전이 온도 60℃)를 사용 하고 내화처리된 FRP의 고온노출 전단부착실험결과, 내화단열재 두께(25mm, 45mm)별 고온조건 490℃, 633℃에서 부착강도가 상실됨을 확인함 • 표면부착에 비하여 표면매립 보강시 부착강도 1.5배, 내화성능은 1.7배 이상 우수 • 표면부착 및 표면매립시 기존 부착강도식의 유효성 확인. GTT도달시까지 강도저하 고려할 필요 없음 • 증빙-2-2-논문

		개발 기술의 구조부재 휨보강 성능 검증 실험	- 개발 기술의 구조부재 휨보강시 구조실험을 통한 검증(2-3-①) - 내화보강유무에 따른 고온에서의 FRP 보강 효과의 검증(2-3-①) - 내화보드의 두께에 따른 내화단열 성능과 FRP보강 구형보의 휨강도검증을 통한 보강의 효용성 파악(2-3-①) - 보강 및 시공절차 분석(2-3-③)	- 선 수행된 연구를 기반으로 하여 내화성능발현을 위한 NSM-FRP 보강상세에 대한 성능개선방안 수립 - 보강상세 및 보강두께에 따른 내화단열 보강기술 성능 검증 - 내화처리되지 않은 FRP보강 보는 외부온도 60℃부근에서 에폭시의 부착성능 상실로 휨강도가 저하됨을 확인 - 개발된 NSM-FRP 내화단열 보강상세에 따라 휨부재에 내화접착모르타르 10mm, 내화단열재 30mm의 두께로 보강 후 고온(600℃) 노출 후 잔존강도 실험결과 보강 전 대비 50% 강도가 향상됨 - 내화모르타르 및 보드에 대한 이면 온도 실험과 이를 반영한 유한요소 해석을 실시하여 시공절차를 고려한 FRP 보강 보의 거동을 예측함 - 증빙-2-3-논문, 인력양성
TRM-FRP 패널형 PC보강 공법 개발	TRM-FRP 판넬형 공법 상세 개발	- TRM-FRP PC 패널형 부재 판부착강도실험(double shear test)을 통한 CFRP-모르타르 간 부착성능 검증(1-5-①,②) - 선 수행된 실험을 기반으로 하여 패널 성능발현을 위한 CFRP-모르타르 간 단부정착상세 개발(1-5-①,②) - 개발된 TRM-FRP 패널형 상세별 판부착강도/내화성능 검증(1-5-①,②) - 개발된 TRM-FRP 패널형 상세별 패널 인장성능 검증(1-5-①,②) - 단부정착상세 별 인장성능 실험결과를	- 기존 실험분석결과, TRM-FRP PC 제품 개발을 위한 핵심요소기술은 1)패널인장성능, 2)탄소섬유 이음부 성능 두가지로 분석됨 - TRM-FRP PC 패널형 부재 판부착강도 실험(double shear test)을 통해 단부정착상세가 유효하지 않은 경우 목표성능인 판부착강도 2MPa를 만족하지 못하며 균열 후 모르타르-CFRP 간 슬립 발생으로 인해 패널성능발현이 되지 않는 것으로 분석됨 - TRM-FRP 패널 판부착강도 성능 수준 향상 및 인장성능발현을 위해 시공성 및 구조성능을 고려한 총 5종의 탄소섬유메쉬 단부정착상세를 고유하게 개발함 - 개발된 5종의 단부정착상세 별 부착강도(최대하중/판면적) 및 내화성능(질량감소율)실험결과 부착강도 2.2MPa, 질량감소율 평균 16.5%로 연구개발계획서에 제시한 목표성능	

			바탕으로 한 부착길이 산정식 제안(3-1-①) 이음상세, 이음길이에 따른 패널 이음 실험 수행(3-1-①)	을 모두 만족함을 확인함 - 추가적으로, 개발된 총 5종의 탄소 섬유메쉬 단부정착상세가 적용된 TRM-FRP 패널의 인장성능실험 결과, 기본상세대비 최대 99.6%의 인장성능 개선 효과를 나타내는 것을 확인함 - 수행된 실험을 바탕으로, 현행 FRP Bar 부착길이 기준(ACI 440.1R-03)을 분석하여 상세 별 부착상세 보정계수를 통한 부착길이 산정식을 제안함 - 이음상세, 이음길이를 변수로 하는 패널 이음실험결과를 통해 부착길이 산정식을 검증함 - 증빙-1-5-논문, 증빙-3-1-논문
		개발 공법 적용 기둥 부재 실험과 고온에서의 구조 성능 검증 실험	- 건식 TRM-FRP 구조부재 보강상세 기술조사 및 실험결과를 바탕으로 한 아이디어 도출(3-2-①) 1차 구조성능실험결과를 바탕으로 한 건식 TRM-FRP 공법 구조성능 검증(3-2-①)	- 패널인장실험, 이음길이실험 결과를 통해 검증된 상세를 적용한 기둥부재 1차 년도에 일부 구조성능검증 실험을 수행함(실험변수: 보강범위, 보강량, 이음상세) - 이를 바탕으로 2차년도에 PC 패널 상세 확정 및 구조성능 검증실험을 수행함(실험변수: 이음상세 및 길이, 축력비) - 증빙-3-2-인력양성
2차년도 (2018)	FRP 보강용 무기계 내화접착 모르타르 개발	고온 가열에 따른 FRP 보강용 내화 접착 모르타르의 내열성 및 물리적 성능 확보	가열 후 부착강도 측정을 통한 감소정도 확인(1-3-①)	- 가열후 부착강도 측정 결과 OPC 시멘트 및 알루미늄 시멘트계는 가열온도가 상승할수록 부착강도가 감소함. 알루미늄 실리케이트 계 바인더의 경우 상온보다 100℃의 온도에서 부착성능이 증가하는 경향을 확인함 - 증빙-1-3-논문
			가열 후 이면온도 측정실험을 통한 실험체의 내열성 검증(1-3-②)	- 가로세로 300×300mm 시험체를 두께(5, 10, 20mm)별로 제작 이면온도를 측정함(KS F 2257-1의 표준 가열곡선과 다소 차이는 있으나, 1시간동안 1000℃ 상승 후 3시간동안 유지조건) - 알루미늄 실리케이트계 바인더의 이면온도를 감소시키기 위한 방안

				으로 중공필러를 혼입 사용하였으며, 1시간 이면온도가 250~300℃ 범위로 약 35%정도 감소하였으나, 이면온도를 낮출 수 있는 반면 부착강도가 저하하는 문제가 발생하였으며, 이에대한 해결방안으로 EVA 폴리머를 혼합사용함. • 증빙-1-3-논문
			• 가열 후 질량변화율 측정을 통한 실험체의 내열성 및 물리적 성능 검증(1-3-③)	• 가열 후 표준가열곡선에 따라 1시간 가열 후 실험체의 질량변화율을 측정하였으며 8.2%, 7.5%, 7.2%, 6.8%의 질량변화율 측정 • 증빙-1-3-논문
			현장 시공의 용이성을 고려한 제품의 성능 개선 • 플로우 테스트와 관입저항시험을 통하여 시공성능 검증(1-4-①) • 모르타르 시작품 및 가이드라인 제작(1-4-②)	• 플로테스트를 통해 약 180mm의 플로를 측정하였음 • 표준관입저항시험을 통해 약 1시간 전후로 가사가 완료되는 것을 확인하였음 • 증빙-1-4-보고서 • 시중에 판매되는 일반모르타르와 동일하게 제품형식의 포대 제작하며, 모르타르 사용 시 필요한 설명서 및 가이드라인 제시 • 증빙-1-4-시제품
	NSM-FRP 매립형 공법 개발	개발 상세에 대한 FRP 부착 성능 및 내화 성능 시험	• 고온에 노출된 에폭시의 전단부착강도에 대한 검증 실험(2-2-①,②)	• 일반에폭시로 보강된 FRP에 내화단열재 두께(25mm, 45mm)에 따라 고온에 노출된 에폭시의 전단부착강도의 실험실시한 결과, 내화보강은 전면뿐만아니라 측면보강도 필요함 • 고온에 노출된 에폭시의 전단부착강도에 대한 실험결과 내화단열재의 두께별(25mm, 45mm) 고온조건 490℃, 633℃에서 부착성능이 감소되는 것을 확인 • 증빙-2-1-특허출원, 증빙-2-1-논문
		개발 기술의 구조 부재 전단 보강 성능 검증	• T형보 FRP 표면매립 휨보강 및 전단보강 후 성능검증 실험(2-3-①,②) • FRP보강된 T형보의 내화단열 후 보강의 효용성평가(2-3-③)	• T형보에 대한 구조실험을 통하여, NSM-FRP 휨 보강은 효과적이지만 전단 보강에는 효과가 불명확함을 확인함. • 증빙-2-3-논문 • 고내화 에폭시 (유리전이 온도 100℃)로 표면매립 보강후 내화보강 (내화보드 90mm 두께)시, 노출

		실험	수행된 실험결과를 바탕으로 내화단열보강 및 시공절차 분석(2-3-③)	- 온도 840 °C에서 에폭시 유리전이 온도에 도달함을 확인 - 선행연구 결과를 바탕으로 현행 내화단열기술에 대한 시공법을 분석하고 내화단열성을 고려한 현장적용 적합성과 시공편의성을 고려한 내화단열보강 프로세스 구축 - 증빙-2-3-특허출원
			제시한 내화단열보강 프로세스의 경제성 확보(2-3-④)	- 제시한 내화단열보강 프로세스의 현장적용에 대한 1차 경제성 분석 수행결과 고온노출(600℃)후 보강전 내력실험결과 내력이 150%증가함을 확인함으로서 보강재로서의 기능을 확보할수 있으므로 경제성을 확보함. - 증빙-2-3-특허출원
		고온 조건을 반영한 휨 보강 설계 프로세스 제안	FRP로 표면부착 또는 표면매립보강된 RC보의 고온노출시 보강효과 검증실험 및 해석(2-4-①)	- 내화처리유무에 따른 변수로 NSM FRP보강 보의 고온노출 후 FRP보강에 의한 휨강도 검증실험 결과, 일반에폭시 사용시에는 외부온도 600℃까지 휨강도 유지성능검증 - 내화처리된 NSM FRP보강 보의 외부온도에 따른 에폭시 손상을 반영한 유한요소해석을 위해 단위부재의 실험을 통하여 재료별(내화단열재, 내화모르타르) 유한요소해석을 실시하여 재료의 물성을 구하였으며, 실험최대하중(278.44kN)과 해석최대하중(293.06kN)은 5%의 오차를 보이며 연구개발계획서상의 목표인 15%이내를 만족함을 확인함 - 증빙-2-4-논문
			내화보드 보강시 내화접착모르타르의 사용유무에 따른 차열성능 검증실험을 통해 내화단열 보강 설계 프로세스 제안(2-4-②)	- 선행실험결과 측면 보강의 유무, 연단거리(25mm, 50mm, 100mm, 150mm, 200mm)에 따른 영향이 나타나며 이를 변수로 한 내화단열보강실험결과 45mm의 내화보드 및 모르타르로 내화보강 시 측면보강의 효과와 연단거리에 따른 내부온도의 차이가 나타남을 검증함 - 선행실험결과를 통하여 NSM FRP로 휨 보강된 부위의 내화단열 보

				강설계 프로세스를 제안함 증빙-2-4-논문
	TRM-FRP 패널형 PC보강 공법 시작품	개발 모르 타르 적용 TRM-FRP 공법 상세의 고온 조건 부착 강도 검증	- 수행된 실험결과를 바탕으로 한 건식 TRM-FRP 패널형 공법 적용을 위한 이음부 상세 개발 (1-6-①) - 개발 TRM-FRP 패널형 공법 이음부 상세의 실온 및 고온조건에서의 부착강도 성능 검증 (1-6-①)	- 건식 TRM-FRP 패널형 이음부 시공을 위한 총 3종의 탄소섬유메쉬 이음부 상세를 고유하게 개발함 - 탄소섬유메쉬 겹이음 길이(180, 200, 220mm)를 변수로 하는 실온조건에서의 TRM-FRP 공법 상세의 부착강도(최대하중/부착면적) 실험결과, 탄소섬유메쉬의 겹침이음길이가 180-220mm로 증가함에 따라 최대강도 측면에서 1.50MPa-1.57MPa로 큰 차이가 발생하지 않았으며 이에 기준 겹침이음길이를 200mm로 설정함 - 개발된 총 3종의 탄소섬유메쉬 겹이음 상세가 적용된 TRM-FRP 패널의 부착강도(최대하중/부착면적) 실온조건에서의 실험결과, 기준 실험체 대비 극한 시강도, 변형률 측면에서 최대 75.3%, 116.3%의 성능을 개선함 - 개발된 총 3종의 탄소섬유메쉬 겹이음 상세가 적용된 TRM-FRP 패널의 고온 노출(최대온도 250℃, 350℃에 약 20분 간 노출 후 냉각) 후 부착강도 실험결과, 최대 2.20MPa로 연구개발계획서에서 목표한 성능인 1.5MPa를 만족함을 확인함 - 증빙-1-6-논문
		TRM-FRP 판형 장기판 부착 성능 검증	- 건식 TRM-FRP 구조부재 보강상세 기술조사 및 실험결과를 바탕으로 한 장기판 부착 성능 실험 적정하중수준 아이디어 도출 및 실험셋업 확정(1-7-①) - 개발상세가 적용된	- 기존 문헌조사, 선행 실험결과를 바탕으로 장기판부착성능 적정하중수준 아이디어 도출 및 실험셋업을 확정함(최대강도의 25%) - 개발한 3종의 탄소섬유메쉬 겹이음 상세(겹이음 200mm, 에폭시 함침, 에폭시 함침+ 알루미늄 옥사이드도포)별 각각 부착강도 2.9MPa, 4.8Mpa, 3.9Mpa로 기존대비 90%

			건식 TRM-FRP 판형 장기판부착성능 검증(1-7-①)	이상의 장기부착성능을 만족함 (실험변수: 적용상세, 모르타르 종류, 외부환경노출(해수조건: 3.5% NaCl, 온도: 50℃±5℃, 습도: 95%±5%)) 증빙-1-6-논문
		개발 공법 적용 기둥 부재 실온과 고온에 서의 구조 성능 검증 실험	- 패널인장실험, 겹이음 실험 결과를 통해 검증된 상세를 적용하여 TRM-FRP 보강 구조성능검증 실험 계획(3-2-①, 3-2-②) - 각 파괴모드(전단, 휨 항복 후 전단 파괴) 별 철근콘크리트 기둥 실험체를 4개씩 제작하고 개발된 TRM-FRP 보강상세를 적용하여 구조성능실험 수행 및 실험결과분석(3-2-①)	- 각 파괴모드(전단, 휨 항복 후 전단 파괴) 별 전단경간비 3.96의 철근콘크리트 기둥 단곡률 실험체를 4개씩 제작하고 파괴모드 개선, 전단강도증진, 변형능력증진에 초점을 맞추어 개발된 TRM-FRP 보강상세를 적용하여 구조성능실험 수행함 - 실제 지진 시 철근콘크리트 기둥의 거동을 모사하고 정-부 방향 내진 저항성능을 파악할 수 있도록 축력을 재하한 채 정적 반복횡가력 실험을 수행함 - 개발된 TRM-FRP 상세를 적용하여 보강된 철근콘크리트 기둥 반복가력실험 결과를 기반으로 보강 전/후 강도, 변형능력증진 측면에서 최대 28.1%, 74.5% 성능을 개선하였으며 이는 연구개발계획서 상 목표한 30% 이상임 - 구조성능실험결과를 바탕으로 각 적용상세 별 비선형 모델링 계수를 개발함 - 증빙-3-1-논문, 증빙-3-2-인력양성
		현장 적용 가능한 시제품 제작 및 판로확 보	- 수행된 실험결과를 바탕으로 한 건식 TRM-FRP 패널형 공법 적용을 위한 이음부 상세 개발(3-1-②) - 각 상세에 따른 TRM-FRP 공법의 시공프로세스, 특이사항 등 체크리스트 작성(3-4-①)	- 준습식 TRM-FRP 패널형 이음부 시공을 위한 총 3종의 탄소섬유메쉬 이음부 상세를 고유하게 개발함 - 특히 출원시 반영키 위해 철근콘크리트 기둥 실험체 TRM-FRP 공법 보강과정을 바탕으로 적용 상세 별 현장 적용 적합성, 시공편의성을 검토함 - 증빙-3-1-논문, 증빙-3-4-특허출원
3차년도 (2019년)	NSM-FRP 매립형 공법	기둥 보강 시	기둥 보강시의 보강상세 개발 및 보강을 위한 보강재 제품화	기둥의 휨보강을 위한 표면매립보강과 횡구속보강을 위한 앵글형 보강재 상세 개발 및 시제품을 제작

		보강 상세 개발 및 구조 성능 검증 실험	(2-5-①)	합. 또한 내화보강을 위한 내화보드와 FRP 판을 결합한 상세개발 및 시제품을 제작함 증빙-2-5-논문.
			보강후 편심축력을 받는 기둥에 대한 구조성능 검증실험 실시 (2-5-②)	- 개발한 보강공법에 따라 기둥을 보강하고 중심축력 및 편심축력 시험을 실시하여 구조성능을 검증함. 또한 제시하는 내화단열 보강공법으로 보강된 기둥부재를 내화단열 후 고온노출실험을 실시하여 고온에 대한 저항성능을 검증함. - 증빙-2-5-논문
			기존의 기둥보강기술과 개발기술의 시공절차 비교분석 (2-5-③)	- 개발한 보강공법으로 기둥의 구조성능 향상을 위한 시공법을 정립함. 기존공법과의 시공절차를 비교하여, 기존공법은 매립을 위한 흙작업이 필요없지만, 전체단면에 대한 면정리 작업이 필요함에 따라, 실내작업이 많은 건축물의 기둥보강에는 개발한 공법이 유리함. - 증빙-2-5-특허등록
			기둥보강상세에 대한 개발기술의 시공절차 완성 및 현장적용 지침 구축(2-5-④)	- 기둥보강 및 내화단열을 위한 시공절차를 완성하고 현장적용을 위한 지침을 구축함. (시공지침서 참조) - 증빙-2-5-특허등록
		개발 기술의 고온 조건을 고려한 보강 설계법 완성	내화보강후 고온노출에 따른 보강된 기둥의 구조성능 평가 (2-6-①)	- 실험을 통하여 파악한 기둥 휨보강근에 의한 구조내력상승을 설계에서 반영할 수 있도록, M-N상관관계를 정립하고 설계법을 구축함. - 증빙-2-6-논문
			보강 후 설계법과 고온노출에 따른 온도상승을 고려한 설계법 제시(2-6-②)	- 고온노출시 보강재가 유리전이온도에 도달하지 않도록 내화단열을 실시하고 이를 설계할 수 있는 설계법을 구축함. - 증빙-2-6-논문
	TRM-FRP 패널형 PC 보강 시작품	개발 공법 적용 기둥 부재 실온과 고온에 서의	실온에서의 구조성능실험결과를 바탕으로 검증된 상세를 적용한 TRM-FRP 공법 고온노출 후 구조성능실험 수행 및 실험결과 분석 (3-2-②)	보강 시 적용한 TRM-FRP 상세를 준부재실험으로 고온노출 (250℃, 350℃) 후 실온대비 성능비교실험결과, 강도측면에서 최대 94.5%, 최소 80.1%의 성능을 유지하였으며 이는 연구개발계획서 상 목표한 실온대비 80% 성능유지를 만족함을 확인함

		구조 성능 검증 실험		• 실온에서 진행한 실험과 동일한 기 등 실험체를 고온에 노출(250℃,2h) 후 자연건조하여 정적 반복횡가력 실험을 수행함 • 고온에 노출 된 실험체의 실험수행 결과로 보강 전/후 강도, 변형능력 측면에서 최대 60.0%, 117.0% 성능 이 개선됨을 확인하였으며, 실온에 서의 실험결과와 비교하였을때 강 도, 변형능력 측면에서 각각 최대 97%, 130% 보강 성능을 유지함 • 증빙-3-2-인력양성
		개발 TRM- FRP 패널형 PC보강 제품 설계법 전산화	• 설계프로세스의 프 로그램화를 통한 설 계법 전산화 (3-3- ①) • 기술이전을 위한 시 제품 제작 및 설계 예제작성(3-3-②)	• 설계 시 작성한 프로그램(Matlab code)의 활용 및 저작권등록을 통 한 설계법 전산화를 수행함 • 구조실험 시 적용한 TRM-FRP 보 강법을 프리캐스트화한 패널 형태 로 시제품을 제작하고 시제품 결과 보고서를 작성함 • 증빙-3-3-논문(1),(2), 증빙-3-3-시 제품, 증빙-3-3-소프트웨어
		현장 적용 가능한 시제품 제작 및 판로 확보	• 기술이전 및 제품양 산 방안을 제공하기 위해 시제품을 제작 및 시제품제작 보고 서 작성(3-4-②) • TRP-FRP 패널 보 강공법의 시장성을 증명하고 시장에서 의 판로를 확보하기 위하여 기업의 구매 의사서를 획득(3-4- ③)	• 현장적용을 위한 실무로의 기술이 전과 개발한 공법의 실용화 및 제 품화를 위하여 시제품을 제작하고 시제품제작 보고서 작성을 통하여 제품양산 방안을 제시함 • 개발한 TRM-FRP 패널 보강 공법 으로 출원한 특허에 대해 기업에게 서 기술개발품 구매 협약서를 획득 함 • 증빙-3-4-특허출원, 증빙-3-4-구매 의사서

(2) 기술적 성과

핵심성과		개발기술의 기술적 성과
1	고성능 무기계 내화 접착 모르타르 개발	(기존기술 현황) - FRP를 이용한 보수보강 기술에서 사용되는 유기계 접착제(ex. 에폭시)는 유리전이온도가 낮아 화재 발생 시 보강효과가 급격히 저하됨 - 국내·외에서 시멘트 기반 무기계 접착제를 개발하여 적용하고자 하는 시도가 있었으나, 부착성능이 낮아 앵커와 같은 별도의 정착장치가 요구됨 (기술개발 성과) - 알루미늄 실리케이트계 내화물을 이용한 무기계 접착제를 개발하여 내열성을 확보하고 열간 부착성능을 확보 - 무기계 내화 접착 모르타르로써 요구성능(부착강도, 내열성능, 열간 강도 및 질량변화율)을 검증하고 시공용이성을 고려한 시제품을 개발
2	NSM-FRP 매립형 공법 개발	(기존기술 현황) - FRP 외부부착공법은 우수한 시공성으로 현장에서 다양하게 활용되고 있으나 화재취약성, FRP-콘크리트 간 부착파괴, 장기성능저하 등 문제점을 가지고 있음 - FRP 보강공법의 화재 취약성은 접착제와 FRP재료의 발화성에 기인하므로 공법의 내화성을 확보하기 위해서는 재료적·공법적 접근이 필요 (기술개발 성과) - 구조부재 피복에 흠을 파 FRP를 내화 접착 모르타르를 활용해 매립하는 NSM-FRP 공법을 개발 - 보강재가 고온에 직접적으로 노출되지 않도록 하는 내화단열 상재를 개발 하고 실험을 통해 구조성능 실증완료 - 설계프로세스 및 보강설계법 구축
3	TRM-FRP 패널형 PC보강공법 개발	(기존기술 현황) - FRP Textile를 활용한 TRM-FRP 습식공법은 함침용 모르타르로 기존 부재와 일체화하는 보강공법으로써 FRP와 함침용 모르타르 간 부착성능이 보강공법의 성능을 결정하는 핵심성능임 - 현장에서 시공되는 습식형 공법은 실무자의 시공역량과 외부환경의 영향으로 최적설계가 불가하며 공법에 대한 설계법도 부재함 (기술개발 성과) - TRM-FRP 습식공법을 PC 제품화하여 현장에서 준습식 공법으로 시공 가능한 TRM-FRP 패널형 PC 보강공법을 개발 - TRM-FRP 패널의 주요성능을 실험적으로 검증하고 기둥부재에 적용하여 개발공법의 실효성을 검증 - TRM-FRP 보강공법의 설계 예제 및 설계법을 전산화

(3)경제적성과

핵심성과		개발기술의 경제적 성과
1	고성능 무기계 내화 접착 모르타르 개발	(개발기술/제품을 통한 생산성 향상) ■ 시공성, 내열성 및 부착성능을 만족하는 무기계 FRP 접착 모르타르의 개발로 고온에서 부착성능이 저하되는 유기계 접착제를 사용하는 경우 보다 보수보강의 횟수 및 비용이 절감될 것으로 예상됨 ■ Alumino-Silicate계 초경량 중공필터가 내열성능에 관여하는 수준을 파악하여 데이터 구축 ■ FRP 내화단열보강성능 향상으로 개발기술의 활성화 (실용화 및 현장적용) ■ FRP공법에 적절한 내열성능과 부착성능을 만족하는 모르타르의 제품화 ■ 무기계 내화 접착 모르타르로써 요구성능(부착강도, 내열성능, 열간 강도 및 질량변화율)을 검증하고 시공용이성을 고려한 프로토타입 제품을 개발함
2	NSM-FRP 매립형 공법 개발	(개발기술/제품을 통한 생산성 향상) ■ NSM-FRP보강기술이 개발되면 장기적인 보강유지효과로 인한 건물의 생애주기비용 절감효과 ■ 개발기술의 안전성 확보를 위한 보강설계프로세스 구축 및 표준화 (실용화 및 현장적용) ■ 강관보강공법에 비해 경량이므로 보강 시 중장비가 필요없어 건물의 보강비용 절감효과 ■ 고온조건을 고려한 개발공법의 제품화를 통한 기술보급 ■ 개발 공법의 제품화와 시공절차 구축을 통한 제품화 및 사업화를 위한 기반 마련
3	TRM-FRP 패넬형 PC보강공법 개발	(개발기술/제품을 통한 생산성 향상) ■ PC 패넬로 보강되는 준습식 공법으로써 TRM-FRP 습식공법 대비 현장 시공성이 편리하기 때문에 공기단축이 가능하므로 경제성이 있음 ■ 고온조건을 고려한 개발공법의 제품화를 통한 기술보급 (실용화 및 현장적용) ■ TRM-FRM PC 공법설계법이 개발되면 신뢰성 높은 보수보강으로 건물의 생애주기비용 절감효과 ■ 개발 공법의 제품화와 시공절차 구축을 통한 제품화 및 사업화를 위한 기반마련
시장 및 산업기여도		■ 국내·외 특허추진을 통한 해외시장 경쟁력 제고 ■ 개발기술의 기술지도/이전 및 사업화시 기술 지원 ■ 1)CFRP 시장규모는 2020년 58조원, 2030년 145조원으로 성장할 전망, ■ 2)국내 내진보강 공사 규모는 평균 6000억원 이상이며 계속 성장할 전망 ■ 3)2020년 이후 30년 이상 경과된 노후 건축물이 증가해 보강공사 수요가 급증할 것으로 예상 ■ 시장현황과 전망으로 보아 본 개발공법의 기술진입 및 정착 단계, 실용화 시 시장점유율, 매출액, 산업기여도 측면에서 지속적인 성장세를 예상할 수 있음

1) 박의성(한국은행), 2016, “탄소산업 현황과 향후 과제”, 18p

2) 정희훈, “내진보강공사 2년 연속 6000억원대 기록”, 건설경제, 2019.01.21

3) 이홍일(한국건설산업연구원), 2017, “향후 국내 건설시장 패러다임 변화의 주요특징”, 10p

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 연도별 연구목표

- 연도별 연구목표는 다음표와 같으며 구체적 연구개발 성과는 본 보고서 2.나 에 제시됨
- 논문, 특허 등 모든 연구성과는 목표대비 달성과 같음

구분	논문	특허		보고서	S/W	시제품	구매 의사서	인력 양성	현장 적용
		출원	등록						
1차연도	6	2	-	-	-	-	-	-	-
2차연도	4	2	-	1	-	1	-	2	-
3차연도	3	-	1	-	1	1	1	-	1
총 목표	13	4	1	1	1	2	1	2	1
계 달성	10(3)	4	1	1	1	3	1	11	1

*논문성과의 경우 10편이 출판되고 등재논문 1편 게재예정, SCI 2편 심사중

나. 연구개발 목표 및 달성도

- 양적성과는 논문 13편, 특허 5건(출원:4, 등록:1), 보고서 1건, S/W 1건, 구매의사서 1건, 현장적용(기술개발품구매협약서) 1건을 달성, 시제품 3건과 인력양성 11건으로 각각 200%, 550%초과 달성함
- 연구 개발의 연도별 연구성과와 달성도 성과점검기준표에 따라서 제시하였음

(1) 1차년도 성과점검기준표

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수(목표)
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가 중 치	
주관 (교통대)	1	FRP 보강용 무기계 내화 접착 모르타르	1-1	내열성 및 고부착성 확보를 위한 재료의 최적화	① 무기 접착제 원천소재 조사 분석	요구 성능 확보	요구 성능 확보	재료별 성능 비교	논문	1	논문 1건
					② 원천소재별 성능비교	요구 성능 확보	요구 성능 확보	KS 외	논문	1	
					③ 개발 접착 모르타르의 최적배합 도출	요구 조건 만족	요구 조건 만족	KS 외	논문	1.5	
			1-2	개발 재료의	① 부착강도	2MPa	1.47Mpa	KSF 4043	논문	1.5	특허출원 1건

				안정성 및 요구조건 확보를 위한 제반 성능 검토	②	1시간 내열성 능	이면 온도 400℃	만족	KSF 2257-1	논문	1.5	
					③	길이 변화율	±0.1 5% 이내	±0.1 5% 이내	KSF 4043	논문	1.5	
					④	개발제 품 품질확 보	제안 치	만족	제시안 의 적합성	특허 출원	2	
	2	NSM- FRP 매립형 공법	2-1	내부매립 형 FRP 내화단열 보강상세 개발	①	보강상 세 개발	상세 제안	내화 보강 상세 개발	제시안 의 적합성	특허 출원	10	<u>특허출원 05 건</u> <u>논문 1건</u>
					②	핵심기 술 정립	기술 정립	핵심 기술 정립	제시안 의 적합성	논문	5	
			2-2	개발 상세에 대한 FR P 부착성능 및 내화성능 실험	①	보강 및 내화성 능	요구 강도 확보	요구 강도 확보	강도/ 내화 실험	논문	5	<u>논문 1건</u>
					②	식 제안	신뢰 성확 보	프로 세스 제안	실험 비교	논문	10	
			2-3	개발 기술의 구조부재 휨 및 전단보강 성능 검증실험	①	실험 강도	요구 강도 확보	요구 강도 확보	강도 평가	특허 출원	5	<u>특허출원 05 건</u>
					②	보강의 효용성	보강 효과	보강 효과 검증	구조 성능 평가	특허 출원	2	
	1	FRP 보강용 무기계 내화 접착 모르타 르	1-5	개발 모르 타르 적용 FRP 재료 의 내화성 능 검증	①	판부착 강도	2MPa 이상	22Mpa 확보	KS F 4716 차용	Double s hear test	6	<u>논문 1건</u>
					②	내화성 능	질량감 소율 3 0% 이하	질량 감소율 16.5% 이하	KS F I SO 118 2	논문	6	
공동 (송실대)	3	TRM-F RP 패널 형 PC보 강 시작 품	3-1	TRM-FRP 판넬형 공 법 상세 개 발	①	판부착 강도 결 과에 따 른 부착 길이 산 정식 제 안	수정 부착길 이 산정식 제안	수정 부착길 이 산정식 제안	실험 결과 비교	논문	8	<u>논문 1건</u>

			3-2	개발공법 적용 기둥 부재 실온과 고온에서의 구조 성능 검증 실험	①	실온에서의 구조 성능 검증 보고서	기존 부재 대비 30% 구조 성능 향상	기존 부재 대비 30% 구조 성능 향상	KCI 2012, ACI 318-14 KS F 2257	특허	10	-
공동 ((주) 허브 구조 엔지니어링)	3	TRM-FRP 패널형 PC보강 시제품	3-1	TRM-FRP 판넬형 공법 상세 개발	②	보강상세 개발	상세 제안	5종의 탄소섬유매쉬 정착상세 개발	실험 결과 비교	특허	10	-
공동 ((주) 대흥 종합 건설)	2	NSM-FRP 매립형 공법	2-1	내부매립형 FRP 내화단열 보강상세 개발	③	기존 기술 및 설계법 조사 분석	문제점 제시	문제점 제시	제시안의 적합성	논문	10	논문: 05건
					④	시공법 개발	절차 제안	시공법 제안	제시안의 적합성	논문	2	
			2-3	개발 기술의 구조부재 휨 및 전단보강 성능 검증 실험	③	분석 적합성	절차 제시	시공 절차 제시	제시안의 적합성	논문	1	논문: 05건
계											100	특허: 출원 2건 논문: 6건

(2) 2차년도 성과점검기준표

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수(목표)
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	
주관 (교통대)	1	FRP 보강용 무기계 내화 접착 모르타	1-3	고온 가열에 따른 FRP 보강용 내화 접착 모르타	①	1시간가열후 부착강도	가열 전 대비 30% 이내	가열 전 대비 23% 감소	KSF 2257-1	논문	3	논문: 1건
					②	1시간가	이면 온도	1시간가열후	KSF 2257-1	논문	3	

공공 (승실대)	2	르		르의 내열성 및 물리적 성능 확보		열 후 내열성 능	400℃	이면 온도 380℃					
				③	1 시간가 열 후 질량변 화율	30% 이내 감소	질량변 화율 8. 2% 감소	실험 비교	논문	2			
			1-4	현장시 공의 용이성 을 고려한 제품의 성능 개선	①	시공성 능	가사 시간 2시간 내외	가사 시간 1시간 30분	실험 비교	논문	1	시제품: 1건	
				②	설계반 영을 위한 사용가 이드라 인제시	제안	제안	작성 여부	보고 서	1	보고서 1건		
		NSM- FRP 매립형 공법	2-3	개발 기술의 구조부 재 및 전단보 강성 증실 검	①	실험 강도	요구 강도	요구 강도 확보를 위한 실험	강도 평가	논문	8	논문: 1건 인력양장 석사1명	
				②	보강의 효용성	보강 전 대비 20% 강도 향상	보강 전 대비 20% 강도 향상	구조 성능 평가	논문	9			
			2-4	고온조 건을 반영한 휨 보강설 계 프로세 스 제안	①	해석의 적합성	실험 대비 15% 내외 오차	실험 대비 5% 오차	실험 결과 비교	논문	10	논문: 1건	
				②	설계 프로세 스 적합성	제안	보강 설계 프로세 스 제안	실험 결과 비교	논문	10			
	1	FRP 보강용 무기계 내화 접착 모르타 르	1-6	개발 모르타르 적용 TRM-F RP 공법 상세의 고온조건 부착강도 검증	①	고온조건 에서의 부착강도	1.5MPa 이상	2.2Mpa 확보	Double Shear test	논문	10	논문: 1건	
			1-7	TRM-F RP 판형 장기판부 착성 검증	①	부착강도	기존 대비 90% 이상의 장기 부착 성능	기존 대비 90% 이상의 장기 부착 성능 검증	Shear creep test Double shear test	논문	10		
		TRM-F RP 패널	3-2	개발공법 적용 기둥부재	①	실온에서 의 구조 성능 검	기존 부재 대비	기존 부재 대비	KCI 2012, ACI	특허	10	특허출원.05건 인력양장 석사 1명	

		형 PC보 강 시작 품		실온과 고온에서 의 구조성능 검증실험		증보고서	30% 구조 성능 향상	변형 능력 측면 74.5% 성능 향상				
					②	고온조건 에서의 구조성능 검증보고 서	동일 상세보 강 기동 대비 80% 이상 성능 유지	강도, 변형률 측면 최대 97% 130% 성능 유지	318-14 KS F 2257		13	
공동 (주) 허브 구조 엔지 니어 링)	3	TRM-F RP 패넬 형 PC보 강 시작 품	3-4	현장적용 가능한 시제품 제작 및 판로확보	①	TRM-F RP 판넬 형 PC제 상세 시공 및 방법 개발	상세 및 시공법 제시	총 3종의 탄소 섬유 매쉬 접이음 상세 개발 각상세 에따른 시공법 제시	실험 결과 비교	특허	10	특허출원 0.5건
공동 (주) 대흥 종합 건설)	2	NSM- FRP 매립형 공법	2-3	보강 및 시공 절차 분석	③	분석 적합성	절차 제시	보강 법에 대한 절차 제시	제시 안의 적합 성	특허 출원	2	특허출원 1건
					④	경제성 확보	기존 대비 20%	경제성 분석 결과 기존 대비 부재 력 50% 향상	분석 결과	특허 출원	8	
계											11 0	특허출원 2건 논문: 4건 보고서: 1건 시제품: 1건 인력양성: 석사2명

(3) 3차년도 성과점검기준표

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수(목표)
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가 중 치	
주관 (교통대)	2	NSM-F RP 매립형	2-5	기동 보강시 보강상세	①	상세 개발	상세 개발	시제 품제작	개발 여부	논문	10	특허 등록 1건 논문: 1건

		공법		개발 및 성능 검증 실험	②	실험을 통한 구조 성능	보강 효과	15% 구조 성능 향상	구조 성능 평가	논문	10	논문 1건
			2-6	개발 기술의 고온 조건을 고려한 보강 설계법 완성	①	다양한 조건의 분석	해석 신뢰 확보	5%내의 오차	실험 결과 비교	논문	10	
					②	보강 설계법 완성	설계법 구축	설계법 구축	실험 결과 비교	논문	10	
공동 (승설대)	3	TRM-FRP 패널형 PC 보강 시제품	3-3	개발 TRM-FRP 패널형 PC보강 제품 설계법 전산화	①	설계법 전산화 프로그램 Code 작성	프로그램화	저작권 등록증	실험 결과 비교	프로그램 Code 제시	20	논문: 1건 시제품: 1건 S/W: 1건
					②	설계 예제 제시	예제	예제/시제품 제작	예제	설계 예제 제시	20	
공동 ((주)허브구조엔지니어링)	3	TRM-FRP 패널형 PC 보강 시제품	3-4	현장 적용 가능한 시제품 제작 및 판로 확보	②	기술이전 및 제품 양산 방안 제공	예제 및 제품 양산 모델	특허 출원	제품 양산 방안	제품 양산 모델 제시	10	구매의사서: 1건
					③	시장성 증명 및 판로 확보	국토교통 기술 대전 출전 및 기업의 구매의사서	구매의사서 확보	국토교통 기술 대전 출전	기업의 구매의사서 획득		
공동 ((주)대흥종합건설)	2	NSM-FRP 매립형 공법	2-5	시공 절차 완성	③	절차의 적합성	절차 제시	시공성 확보	제시안의 적합성	현장 적용	2	현장 적용: 1건
					④	현장 검증	기존 대비 20%	진행 중	검증 결과	현장 적용	8	
계											100	특허등록 1건 논문: 3건 (국내) 시제품: 1건 S/W: 1건 구매의사서: 1건 현장 적용: 1건

4. 연구개발 성과의 활용 계획 등

가. 추가연구의 필요성

(1) 실제 Mock up 실험에 의한 구조성능 검증 필요

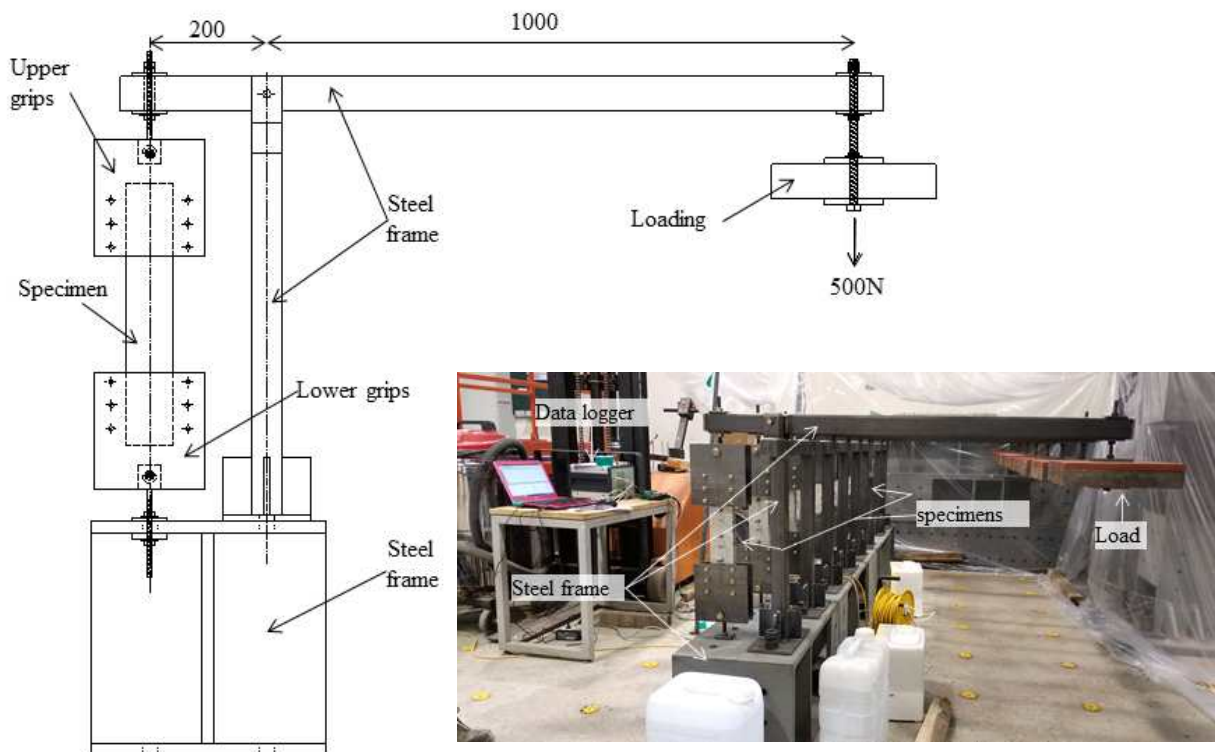
- 실제 화재시험시설에서 제안공법의 실물실험을 통한 구조성능 검증이 필요함.
- 이번 연구는 화재와 같은 고온노출에 따른 구조성능 저하를 방지하기 위한 것이 주된 연구이었지만, 실제 지진하중을 주된 인자로 하여 반복횡력과 같은 주기하중시의 거동을 집중적으로 연구할 필요가 있음.
- 기존 콘크리트 부재에 홈을 형성하는 표면매립공법의 경우, 실제 현장에서의 시공에 대한 애로사항이 발생할 가능성이 있으므로 이에 대한 현장검증이 필요.

(2) 장기계축을 통한 보강성능 지속성 검증을 위한 연구진행 필요

- FRP 보강 부재에서 에폭시의 장기응력 작용시 부착성능을 검토하기 위한 연구 필요
- 특수환경조건을 고려한 보강성능의 지속성 연구 필요

(3) 다양한 부재에 적용할 수 있는 기술로 확장하기 위한 연구의 필요

- 국내의 많은 벽식아파트 건물의 경년이 증가함에 따라 리모델링 수요가 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 슬래브와 벽 등과 같은 면부재에 적용하기 위한 일련의 연구가 필요함.



<그림 52> 장기계축 실험 셋업(예시)

나. 타 연구에의 응용

(1) 기타 구조부재의 내화보강에 활용

- FRP는 다른 재료들에 비하여 유리전이 온도가 매우 낮아서 온도하중에 특히 취약함. 화재에 취약한 목구조 등과 같이 다양한 건설구조물의 내화보강에 활용될 수 있음.
- 노후된 조적구조의 구조보강 및 내화단열 보강에 활용할 수 있음.

(2) 외부 환경에 노출되는 토목구조부재의 구조 및 내화보강에 활용

- 보강된 면이 외부에 노출됨에 따라 기상 조건의 영향을 많이 받게 되어 장기거동에 매우 취약하게 되는 토목구조부재의 FRP보강에 활용하여 장기적인 저항성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨.

다. 사업화 추진 방안

(1) 기술수요

- 철근콘크리트 슬래브, 보, 기둥 등에 대한 보강에 활용이 가능하므로 내진성능이 미달되는 구조부재를 보수·보강하는 기업에서 활용이 가능

(가) 기술적 측면

- 화재가 빈번하게 발생하는 건축물에서 FRP를 활용한 구조보강시 항상 대두되는 문제는 내화성능의 확보임.
- 문제를 개선함으로써 건축물의 구조보강시 개발기술의 활용도는 매우 높을 것으로 사료됨

(나) 경제적·산업적 측면

- 2016년 경주지진 이후, 건축물의 안전에 대한 경각심이 높고 구조보강이 요구되는 건물이 기하급수적으로 증가하고 있기 때문에 구조보강 시장의 활성화가 될 것으로 기대됨.
- 개발기술은 FRP보강시 낮은 보강효율과 낮은 내화성을 개선한 기술이기 때문에 활용도가 높으며 이에 따른 경제적 기대성고가 높을 것으로 예상되며 여러 공정을 거쳐 양생되는 제품을 제작하므로 새로운 일자리 창출에 기여할 것으로 예상됨

(다) 사회적 측면

- 개발기술은 보강효과가 높고 우리나라에서 건축물에 발생하는 재해 중 가장 빈도수가 높은 화재에 대하여 보강효과를 지속시킬 수 있으며 일반적인 보강공법인 강판보강 대비 30% 수준의 가격으로 구조물을 보강할 수 있으므로 국민복지와 안전의 측면에서 반드시 개발이 필요함
- 본 과제는 기업과의 공동연구로서 시작품 제작 단계까지 수행되는 연구이므로 일반적인 기초 기술개발보다 시장에서 유통되는 FRP 제품의 기계적 성질을 고려하여 수행해야 하

며 화재발생이라는 특수 상황을 다루므로 고온조건을 고려한 설계 전산화 및 제품화를 통해 연관 협회 및 보강시공업체에 기술보급될 수 있을 것으로 예상됨.

2) 사업화 방안

- 현장적용 방안 : 개발 공법을 제품화하고 시공할 수 있는 절차를 구축함으로써 제품화 및 사업화를 위한 기반을 마련함. 개발된 제품을 건축물 보강시 실제 현장에 활용될 수 있도록 설계방법을 전산화하여 예제와 함께 제공하는 등 여러 방면으로 기업에 기술을 지원하여 현장 적용성을 높임. 다만, 기존 콘크리트 부재에 흠을 형성하는 표면매립공법의 경우, 흠의 형성에 따른 구조내력저하가 크게 발생하게 되는 경우 적용상의 한계를 고려하여 사업화진행을 할 계획임. 현장적용을 위한 구체적인 계획은 다음과 같음.
 - ① 연구를 통하여 개발된 기술 (특허등록, 시제품 등)을 활용하여 콘크리트 구조부재의 보강을 위한 기술로 현장적용
 - FRP 표면매립 내화단열 보강기술 : 휨부재인 슬래브와 보의 보강에 활용
 - TRM-FRP 패널 보강기술 : 휨 부재 및 기둥, 벽과 같은 수직부재에 활용
 - ② 관련기업과의 구매계약서와 기술협약서를 기반으로 내화단열이 요구되는 건물의 보강기술로 활용
 - ③ 구조설계회사가 구축된 설계법에 따라 설계를 실시하고 보강효과를 충분히 예측할 수 있도록 기술지원을 실시함.
- 실용화 · 제품화 방안 : 개발된 시제품과 특허등록 된 시공기술을 실용화하고 개발된 내화단열 보강재는 모듈화하여 제품화 할 계획임. 특히 설계단계에서 시제품가격과 보강설계에 따른 공사비용을 산정하고 이를 평가함으로써 보강효율을 고려한 설계가 될 수 있도록 할 계획임.
- 사업화 방안: 참여기업인 (주)대흥종합건설의 건축물의 보강 및 유지관리사업 수행시 다양한 구조물의 보수 · 보강기술로 활용할 계획이며 (주)허브구조엔지니어링의 구조보강설계기술의 하나로서 사업화를 진행할 계획임. 특히 (주)대흥토건에서 현재 계획중인 상가건물 리모델링 사업에서 콘크리트 구조부재 내화보강기술을 핵심기술로 활용함으로써, 기존 건물 리모델링시 보강기술로 사업화가 될 수 있도록 할 계획임.

붙임. 참고문헌

1. Triantafillou, T.; Papanicolaou, C.C.G. Innovative applications of textile-based composites in strengthening and seismic retrofitting as well as in the prefabrication of new structures. *Adv. Mater. Res.* 2013, 639, 26 - 41.
2. Triantafillou, T.C. Composites: A new possibility for the shear strengthening of concrete, masonry and wood. *Compos. Sci. Technol.* 1998, 58, 1285 - 1295.
3. Angelillo, M.; Babilio, E.; Cardamone, L.; Fortunato, A.; Lippiello, M. Some remarks on the retrofitting of masonry structures with composite materials. *Compos. Part B Eng.* 2014, 61, 11 - 16.
4. Mostofinejad, D.; Kashani, A.T. Experimental study on effect of EBR and EBROG methods on debonding of FRP sheets used for shear strengthening of RC beams. *Compos. Part B Eng.* 2013, 45, 1704 - 1713.
5. Ganga Rao, H. Infrastructure Applications of Fiber-Reinforced Polymer Composites. In *Applied Plastics Engineering Handbook*; William Andrew Publishing: Norwich, NY, USA, 2017; pp. 675 - 695.
6. Saleem, M.U.; Qureshi, H.J.; Amin, M.N.; Khan, K.; Khurshid, H. Cracking Behavior of RC Beams Strengthened with Different Amounts and Layouts of CFRP. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1017.
7. D'Antino, T.; Papanicolaou, C. Comparison between different tensile test set-ups for the mechanical characterization of inorganic-matrix composites. *Constr. Build. Mater.* 2018, 171, 140 - 151.
8. Bournas, D.A.; Lontou, P.V.; Papanicolaou, C.G.; Triantafillou, T.C. Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP confinement in reinforced concrete columns. *ACI Struct. J.* 2007, 104, 740 - 748.
9. De Santis, S.; De Felice, G. Tensile behaviour of mortar-based composites for externally bonded reinforcement systems. *Compos. Part B Eng.* 2015, 68, 401 - 413.
10. Scheerer, S.; Zobel, R.; Müller, E.; Senckpiel-Peters, T.; Schmidt, A.; Curbach, M. Flexural Strengthening of RC Structures with TRC – Experimental Observations, Design Approach and Application. *Appl. Sci. Basel* 2019, 9, 1322.
11. Bielak, J.; Adam, V.; Hegger, J.; Classen, M. Shear Capacity of Textile-Reinforced Concrete Slabs without Shear Reinforcement. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1382.
12. Park, J.; Hong, S.; Park, S.-K. Experimental Study on Flexural Behavior of TRM-Strengthened RC Beam: Various Types of Textile-Reinforced Mortar with Non-Impregnated Textile. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1981.
13. D'Ambrisi, A.; Focacci, F. Flexural Strengthening of RC Beams with Cement-Based

- Composites. *J. Compos. Constr.* 2011, 15, 707 - 720.
14. Schladitz, F.; Frenzel, M.; Ehlig, D.; Curbach, M. Bending load capacity of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforced concrete. *Eng. Struct.* 2012, 40, 317 - 326.
 15. Koutas, L.N.; Bournas, D.A. Flexural strengthening of two-way RC slabs with textile-reinforced mortar: Experimental investigation and design equations. *J. Compos. Constr.* 2016, 21, 04016065.
 16. Tetta, Z.C.; Koutas, L.N.; Bournas, D.A. Textile-reinforced mortar (TRM) versus fiber-reinforced polymers (FRP) in shear strengthening of concrete beams. *Compos. Part B Eng.* 2015, 77, 338 - 348.
 17. Askouni, P.D.; Papanicolaou, C.C.G.; Kaetzakis, M.I. The Effect of Elevated Temperatures on the TRM-to-Masonry Bond: Comparison of Normal Weight and Lightweight Matrices. *Appl. Sci. Basel* 2019, 9, 2156.
 18. De Munck, M.; Tysmans, T.; Wastiels, J.; Kapsalis, P.; Vervloet, J.; El Kadi, M.; Remy, O. Fatigue Behaviour of Textile Reinforced Cementitious Composites and Their Application in Sandwich Elements. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1293.
 19. Rampini, M.C.; Zani, G.; Colombo, M.; Di Prisco, M. Mechanical Behaviour of TRC Composites: Experimental and Analytical Approaches. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1492.
 20. Kapsalis, P.; El Kadi, M.; Vervloet, J.; De Munck, M.; Wastiels, J.; Triantafyllou, T.; Tysmans, T. The mechanical Behavior of Textile Reinforced Cementitious Composites Subjected to Fire. *Appl. Sci.* 2019, 9, 747.
 21. Vervloet, J.; Tysmans, T.; El Kadi, M.; De Munck, M.; Kapsalis, P.; Van Itterbeeck, P.; Wastiels, J.; Van Hemelrijck, D. Validation of a Numerical Bending Model for Sandwich Beams with Textile-Reinforced Cement Faces by Means of Digital Image Correlation. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1253.
 22. Carozzi, F.G.; Bellini, A.; D'Antino, T.; De Felice, G.; Focacci, F.; Hojdis, L.; Laghi, L.; Lanoye, E.; Micelli, F.; Panizza, M.; et al. Experimental investigation of tensile and bond properties of Carbon-FRCM composites for strengthening masonry elements. *Compos. Part B Eng.* 2017, 128, 100 - 119.
 23. Carozzi, F.G.; Poggi, C. Mechanical properties and debonding strength of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for masonry strengthening. *Compos. Part B Eng.* 2015, 70, 215 - 230.
 24. Wagner, J.; Curbach, M. Bond Fatigue of TRC with Epoxy Impregnated Carbon Textiles. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1980.
 25. Xu, S.; Krüger, M.; Reinhardt, H.-W.; Özbolt, J. Bond Characteristics of Carbon, Alkali Resistant Glass, and Aramid Textiles in Mortar. *J. Mater. Civ. Eng.* 2004, 16, 356 - 364.
 26. Yin, S.; Xu, S.; Li, H. Improved mechanical properties of textile reinforced concrete thin plate. *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed.* 2013, 28, 92 - 98.
 27. Donnini, J.; Corinaldesi, V.; Nanni, A. Mechanical properties of FRCM using carbon

- fabrics with different coating treatments. *Compos. Part B Eng.* 2016, 88, 220 - 228.
28. Xu, S.; Li, H. Bond properties and experimental methods of textile reinforced concrete. *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed.* 2007, 22, 529 - 532.
 29. Peled, A.; Zaguri, E.; Marom, G. Bonding characteristics of multifilament polymer yarns and cement matrices. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2008, 39, 930 - 939.
 30. Fidelis, M.E.A.; Filho, R.D.T.; Silva, F.D.A.; Mobasher, B.; Müller, S.; Mechtcherine, V. Interface characteristics of jute fiber systems in a cementitious matrix. *Cem. Concr. Res.* 2019, 116, 252 - 265.
 31. Nobili, A.; Signorini, C. On the effect of curing time and environmental exposure on impregnated Carbon Fabric Reinforced Cementitious Matrix (CFRCM) composite with design considerations. *Compos. Part B Eng.* 2017, 112, 300 - 313.
 32. Micelli, F.; Aiello, M.A. Residual tensile strength of dry and impregnated reinforcement fibres after exposure to alkaline environments. *Compos. Part B Eng.* 2019, 159, 490 - 501.
 33. American Concrete Institute. Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures; ACI 549.4R-13; American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2013.
 34. Yang, H.J.; Jin, S.H.; Ann, K.Y. Chloride Transport of High Alumina Cement Mortar Exposed to a Saline Solution. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2016, 2016, 1 - 8.
 35. Korean Standard Association. Testing Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars; KS L 5105; Korean Standards Association: Seoul, Korea, 2017.
 36. Donnini, J.; Chiappini, G.; Lancioni, G.; Corinaldesi, V. Tensile behaviour of glass FRCM systems with fabrics' overlap: Experimental results and numerical modeling. *Compos. Struct.* 2019, 212, 398 - 411.
 37. Brauer, G.; Laughlin, R.M.; Huget, E. Aluminum Oxide as a Reinforcing Agent for Zinc Oxide-Eugenol-o-Ethoxybenzoic Acid Cements. *J. Dent. Res.* 1968, 47, 622 - 628.
 38. Xie, Y.; Sherwood, P.M.A. Coatings of Aluminum Oxide and Magnesium Oxide on Carbon Fiber Surfaces. *Chem. Mater.* 1994, 6, 650 - 657.
 39. Truong, G.T.; Park, S.H.; Choi, K.K. Tensile Behaviors of Lap-Spliced Carbon Fiber-Textile Reinforced Mortar Composites Exposed to High Temperature. *Materials* 2019, 12, 1512.
 40. American Society for Testing and Materials. Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water; ASTM D1141-98; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 1998.
 41. Kim, H.S.; Truong, G.T.; Park, S.H.; Choi, K.K. Tensile Properties of Carbon Fiber-Textile Reinforced Mortar (TRM) Characterized by Different Anchorage Methods. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2018, 12, 73.
 42. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials; ASTM D3039; ASTM International:

West Conshohocken, PA, USA, 2000.

43. Leone, M.; Aiello, M.A.; Balsamo, A.; Carozzi, F.G.; Ceroni, F.; Corradi, M.; Gams, M.; Garbin, E.; Gattesco, N.; Krajewski, P.; et al. Glass fabric reinforced cementitious matrix: Tensile properties and bond performance on masonry substrate. *Compos. Part B Eng.* 2017, 127, 196 - 214.
44. Donnini, J. Durability of glass FRCM systems: Effects of different environments on mechanical properties. *Compos. Part B Eng.* 2019, 107047.
45. Truong, G.T.; Kim, J.-C.; Choi, K.-K. Seismic performance of reinforced concrete columns retrofitted by various methods. *Eng. Struct.* 2017, 134, 217 - 235.
46. Cho, C.-G.; Kim, Y.-Y.; Feo, L.; Hui, D. Cyclic responses of reinforced concrete composites columns strengthened in the plastic hinge region by HPFRC mortar. *Compos. Struct.* 2012, 94, 2246 - 2253.
47. Obaidat, Y.T.; Heyden, S.; Dahlblom, O.; Abu-Farsakh, G.; Abdel-Jawad, Y. Retrofitting of reinforced concrete beams using composite laminates. *Constr. Build. Mater.* 2011, 25, 591 - 597.
48. Toutanji, H.A. Durability characteristics of concrete columns confined with advanced composite materials. *Compos. Struct.* 1999, 44, 155 - 161.
49. GangaRao, H. Infrastructure applications of fiber-reinforced polymer composites. In *Applied Plastics Engineering Handbook*; Myer, K., Ed.; William Andrew: Burlington, MA, USA, 2011; pp. 565 - 584.
50. Madeo, A. Fibrous composite reinforcements. In *Generalized Continuum Mechanics and Engineering Applications*; Madeo, A., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2015; pp. 19 - 47.
51. Escrig, C.; Gil, L.; Bernat-Maso, E.; Puigvert, F. Experimental and analytical study of reinforced concrete beams shear strengthened with different types of textile-reinforced mortar. *Constr. Build. Mater.* 2015, 83, 248 - 260.
52. D'Antino, T.; Papanicolaou, C.C. Comparison between different tensile test set-ups for the mechanical characterization of inorganic-matrix composites. *Constr. Build. Mater.* 2018, 171, 140 - 151.
53. De Santis, S.; de Felice, G. Tensile behavior of mortar-based composites for externally bonded reinforcement systems. *Compos. Part B* 2015, 68, 401 - 413.
54. Ombres, L. Analysis of the bond between fabric reinforced cementitious mortar (FRCM) strengthening systems and concrete. *Compos. Part B* 2015, 69, 418 - 426.
55. Awani, O.; El Refai, A.; El-Maaddawy, T. Bond characteristics of carbon fabric-reinforced cementitious matrix in double shear tests. *Constr. Build. Mater.* 2015, 101, 39 - 49.
56. De Santis, S.; Carozzi, F.G.; de Felice, G.; Poggi, C. Test methods for textile reinforced mortar systems. *Compos. Part B* 2017, 127, 121 - 132.
57. Caggegi, C.; Laoye, E.; Djama, K.; Bassil, A.; Gabor, A. Tensile behaviour of a basalt

- TRM strengthening system: Influence of mortar and reinforcing textile ratios. *Compos. Part B* 2017, 130, 90 - 102.
58. Raoof, S.M.; Koutas, L.N.; Bournas, D.A. Bond between textile-reinforced mortar (TRM) and concrete substrates: Experimental investigation. *Compos. Part B* 2016, 98, 350 - 361.
 59. Larrinaga, P.; Chastre, C.; San-Jose, J.T.; Garmendia, L. Non-linear analytical model of composites based on basalt textile reinforced mortar under uniaxial tension. *Compos. Part B Eng.* 2013, 55, 518 - 527.
 60. Donnini, J.; De Caso y Basalo, F.; Corinaldesi, V.; Lancioni, G. Fabric-reinforced cementitious matrix behavior at high-temperature: Experimental and numerical results. *Compos. Part B* 2017, 108, 108 - 121.
 61. D'Antino, T.; Sneed, L.H.; Carloni, C.; Pellegrino, C. Influence of the substrate characteristics on the bond behavior of PBO FRCM-concrete joints. *Constr. Build. Mater.* 2015, 101, 838 - 850.
 62. Carloni, C.; Verre, S.; Sneed, L.H.; Ombres, L. Loading rate effect on the debonding phenomenon in fiber reinforced cementitious matrix-concrete joints. *Compos. Part B Eng.* 2017, 108, 301 - 314.
 63. Messori, M.; Nobili, A.; Signorini, C.; Sola, A. Mechanical performance of epoxy coated AR-glass fabric textile reinforced mortar: Influence of coating thickness and formulation. *Compos. Part B* 2018, 149, 135 - 143.
 64. Signorini, C.; Nobili, A.; Gonzalez, E.I.C.; Siligardi, C. Silica coating for interphase bond enhancement of carbon and AR-glass textile reinforced mortar (TRM). *Compos. Part B* 2018, 141, 191 - 202.
 65. Donnini, J.; Corinaldesi, V.; Nanni, A. Mechanical properties of FRCM using carbon fabrics with different coating treatments. *Compos. Part B* 2016, 88, 220 - 228.
 66. Du, Y.; Zhang, M.; Zhou, F.; Zhu, D. Experimental study on basalt textile reinforced concrete under uniaxial tensile loading. *Constr. Build. Mater.* 2017, 138, 88 - 100.
 67. Mesticou, Z.; Bui, L.; Junes, A.; Si Larbi, A. Experimental investigation of tensile fatigue behaviour of textile-reinforced concrete (TRC): Effect of fatigue load and strain rate. *Compos. Struct.* 2017, 160, 1136 - 1146.
 68. Nguyen, T.H.; Vu, H.X.; Si Larbi, A.; Ferrier, E. Experimental study of the effect of simultaneous mechanical and high-temperature loadings on the behaviour of textile-reinforced concrete (TRC). *Constr. Build. Mater.* 2016, 125, 253 - 270.
 69. Kong, K.; Mesticou, Z.; Michel, M.; Si Larbi, A.; Junes, A. Comparative characterization of the durability behaviour of textile-reinforced concrete (TRC) under tension and bending. *Compos. Struct.* 2017, 179, 107 - 123.
 70. Raoof, S.M.; Bournas, D.A. Bond between TRM versus FRP composites and concrete at high temperatures. *Compos. Part B* 2017, 127, 150 - 165.
 71. Tetta, Z.C.; Bournas, D.A. TRM and FRP jacketing in shear strengthening of concrete

- members subjected to high temperatures. *Compos. Part B* 2016, 106, 190 - 205.
72. Raoof, S.M.; Bournas, D.A. TRM versus FRP in flexural strengthening of RC beams: Behaviour at high temperatures. *Constr. Build. Mater.* 2017, 154, 424 - 437.
 73. Kim, H.-S.; Truong, G.T.; Park, S.-H.; Choi, K.-K. Tensile properties of carbon fiber-textile reinforced mortar (TRM) characterized by different anchorage methods. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2018, 12, 73.
 74. AC434. Acceptance Criteria for Masonry and Concrete Strengthening Using Fiber-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Composite Systems; A Subsidiary of the International Code Council: Birmingham, UK, 2011.
 75. KS L 5105. Testing Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars; Korean Standard Association: Seoul, Korea, 2017.
 76. ACI 549.4R-13. Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures; American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2013.
 77. Aluminum Oxide as a Reinforcing Agent for Zinc Oxide-Eugenol-Eba Cements. Available online: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/RPT/nbsreport9804.pdf> (accessed on 10 April 2019).
 78. Xie, Y.; Sherwood, P.M.A. Coatings of aluminum oxide and magnesium oxide on carbon fiber surfaces. *Chem. Mater.* 1994, 6, 650 - 657.
 79. Park, J.S.; Park, Y.H.; Jung, W.T. Anchorage efficiency of mold-type anchorage for CFRP plates. *Korea Concr. Inst.* 2008, 20, 169 - 172. (In Korean)
 80. Karunagaran, N.; Rajadurai, A. Effect of surface treatment on mechanical properties of glass fiber/stainless steel wire mesh reinforced epoxy hybrid composites. *J. Mech. Sci. Technol.* 2016, 30, 2475 - 2482.
 81. Leone, M.; Aiello, M.A.; Balsamo, A.; Carozzi, F.G.; Ceroni, F.; Corradi, M.; Gams, M.; Garbin, E.; Gattesco, N.; Krajewski, P.; et al. Glass fabric reinforced cementitious matrix: Tensile properties and bond performance on masonry substrate. *Compos. Part B* 2017, 127, 196 - 214.
 82. ASTM D3039. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2000.
 83. Butler, M.; Mechtcherine, V.; Hempel, S. Durability of textile reinforced concrete made with AR glass fibre: Effect of the matrix composition. *Mater. Struct.* 2010, 43, 1351 - 1368.
 84. Carozzi, F.G.; Bellini, A.; D'Antino, T.; de Felice, G.; Focacci, F.; Hojdys, L.; Laghi, L.; Lanoye, E.; Micelli, F.; Panizza, M.; et al. Experimental investigation of tensile and bond properties of carbon-FRCM composites for strengthening masonry elements. *Compos. Part B* 2017, 128, 100 - 119.
 85. Tlaji, T.; Vu, H.X.; Ferrier, E.; Si Larbi, A. Thermomechanical behaviour and residual

- properties of textile reinforced concrete (TRC) subjected to elevated and high temperature loading: Experimental and comparative study. *Compos. Part B* 2018, 144, 99 - 110.
86. Tanyildizi, H.; Coskun, A. The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash. *Constr. Build. Mater.* 2008, 22, 2269 - 2275.
 87. Cao, S.; Wu, Z.; Li, F. Effects of temperature on tensile strength of carbon fiber and carbon/epoxy composite sheets. *Adv. Mater. Res.* 2012, 476, 778 - 784.
 88. Mouritz, A.P.; Feih, S.; Kandare, E.; Mathys, Z.; Gibson, A.G.; Des Jardin, P.E.; Case, S.W.; Lattimer, B.Y. Review of fire structural modelling of polymer composites. *Compos. Part A* 2009, 40, 1800 - 1814.
 89. Gibson, A.G.; Wu, Y.-S.; Evans, J.T.; Mouritz, A.P. Laminate theory analysis of composites under load in fire. *J. Compos. Mater.* 2006, 40, 639 - 658.
 90. Homoro, O.; Vu, X.H.; Ferrier, E. Experimental and analytical study of the thermo-mechanical behaviour of textile-reinforced concrete (TRC) at elevated temperatures: Role of discontinuous short glass fibres. *Constr. Build. Mater.* 2018, 190, 645 - 663.
 91. Son, Y.S.(2007). Structural Performance of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Sprayed Fiber Reinforced Polymers[master's thesis]. Hanyang University, Korea
 92. Hong, G.H., Shin, Y.S.(2003). Structural Performance Evaluation of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded FRP Sheets. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 15(1), pp.78~86.
 93. Kang, D.E., Woo, H.S., Choi, K.S., You, Y. C., Yi, W. H.(2008). Evaluation of Shear Capacity of RC Beams Strengthened with Fiber Reinforced Polymers. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 14(10), pp.3~8.
 94. You, Y. C.(2006). Establishment of test items, methods and criteria for certification of FRP strengthening technology, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology Final report.
 95. Byun, H.Y.(2008). A Study on the Availability Evaluation of Adhesive Repairing-Strengthening Method Using Epoxy Resin, [doctor's thesis]. Cheongju University, Korea
 96. Chung, L., Park, H.S.,(1998). Structural Performance and Fire Resistance Capacity of Inorganic Polymer Composites for Carbon Sheets Exposed to High Temperature, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 15(1), pp.109~110
 97. Seo, S.Y.(2012). Bond Capacity of Near-Surface-Mounted FRP in Concrete Corresponding to Fire-Protection Method, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 21(4) pp.415-422
 98. Kim, H.J., Kim, D.J.(2001). Performance and Application of Epoxy Resin Adhesive, Adhesion and Interface, 2(2), pp.35~47

99. J. Davidovits(2005). Geopolymer chemistry and sustainable development. The poly (sialate) terminology: a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry, Proceedings of the world congress Geopolymer, pp.9~15
100. Yang, Y.H., Song, T.H. and Lee, S.H.(2007). Microscopic analysis of hardened Aluminosilicate inorganic binder according to the mole ratio of aluminium and silicon, Proceeding of conference in architectural institute of Korea, 27(1), pp. 611~614
101. Blontrock, H., Taerwe, L., & Vandeveld, P. (2001). Fire testing of concrete slabs strengthened with fibre composite laminates, Proceeding of 5th International Conference on Fibre Reinforced Plastics for Reinforced Concrete Structures, Telford, Cambridge, U.K., 547.556.
102. Kim, H., Seo, C., & Shin, H. (2005). An experimental study on the mechanical properties by compressive strength areas at high temperature, Journal of Architectural Institute of Korea, 21(7), 55-66.
103. Lim, J., Seo, S. & Song, S. (2017). Experiment for the Improvement of Fire Resistance Capacity of Reinforced Concrete Flexural Member Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer, Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction, 33(12), 19-27.
104. Lim, J. & Seo, S. (2018). Fire-Protection Method to Improve the Fire-Resistance Capacity of Near-Surface-Mounted Fiber Reinforced Polymer, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, 20(1), 141-148.
105. Palmieri, A., Matthys, S., & Taerwe, L. (2011). Bond behavior of NSM FRP bars at elevated temperatures, Proceeding of First Middle East Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation Civil Structures. 1-7
106. Palmieri, A., Matthys, S. & Taerwe, L. (2013). Fire Endurance and Residual Strength of Insulated Concrete Beams Strengthened with Near-Surface Mounted Reinforcement. J. of Compos. Constr. 17(4), 454-462.
107. Seo, S., Oh, J. & Choi, K. (2011). Bond Capacity of Concrete Member Strengthened by Various Methods Using FRP Plate, Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction, 27(8), 55-63.
108. Seo, S. (2012a). Bond Strength of Near Surface-Mounted FRP Plate in RC Member, Journal of the Korea Concrete Institute, 24(4), 415-422.
109. Seo, S., Choi, G., & Kwon, Y. (2012b). Retrofit capacity of near-surface-mounted RC beam by using FRP Plate, Journal of The Korea Institute for Structural maintenance and Inspection, 16(1). 18-26.
110. Seo, S., Feo, L. & Hui, D. (2013a). Bond Strength of Near-Surface-Mounted FRP Plate for Retrofit of Concrete Structures, Composite Structures, 95, 719-727.
111. Seo, S., & Kim, J. (2013b). Bond capacity of near- surface-mounted CFRP plate to concrete under various temperatures, Journal of the Korea Institute for Structural

- Maintenance and Inspection, 17(4), pp.75-83.
112. Seo, S. & Kim, M. (2013c). Bond Strength of Near Surface-Mounted FRP Plate in Concrete Corresponding to Space and Bond Length, Journal of the Korea Concrete Institute, 25(1), 37-43.
 113. Seo, S. (2014). Analysis on the Interfacial Bond-Slip Relationship between Near Surface-Mounted FRP Plate and Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 26(1), 79-86.
 114. Seo, S. (2016a). Effect of Shear key and Edge length of Near Surface-Mounted FRP Plate in Concrete, Journal of The Korea Institute for Structural maintenance and Inspection, 20(1), 41-47.
 115. Seo, S., Choi, K., Kwon, Y. & Lee, K. (2016b) Flexural Strength of RC Beam Strengthened by Partially De-bonded Near-Surface-Mounted FRP Strip, International Journal of Concrete Structures and Materials, Korea Concrete Institute, 10(2), 149-161.
 116. Seo, S., Lee, M. S. Lee & Feo, L. (2016c). Flexural Analysis of RC Beam Strengthened by Partially De-bonded NSM FRP Strip, Composite Part B, 101(15), 21-30.
 117. Yoen, J., & Seo, S. (2014). Evaluation on the thermal resistance capacity of fire proof materials for improving fire resistance of near-surface-mounted FRP in concrete, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 18(5), 51-58.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.