최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	-
공고번호	공고-제05호		총괄연구개발 식별번호	-
			연구개발과제번호	20CTAP-C158046-01

국가과학기술 표준분류						
	EI1105	40%	EI1102	30%	EI1104	30%

총괄연구개발명	국문	경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티 기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발 연구
	영문	A Study on the Development of Simple Construction and Cost-effective Reinforcement Method resisting Complex Disaster Damage for Piloti Columns of Multi-family Residence with Engineering Plastics over 35% Weight Reduction Rate
연구개발과제명	국문	경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티 기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발 연구
	영문	A Study on the Development of Simple Construction and Cost-effective Reinforcement Method resisting Complex Disaster Damage for Piloti Columns of Multi-family Residence with Engineering Plastics over 35% Weight Reduction Rate

주관연구기관	기관명	서울시립대학교 산학협력단	사업자등록번호	204-82-07256
	주소	(우) 02504 서울특별시 동대문구 서울시립대로 163(전농동, 서울시립대학교)	법인등록번호	-

주관연구책임자	성명	최성모	직위	교수
	연락처 직장전화	02-6490-2759	휴대전화	010-5261-2396
	연락처 전자우편	smc@uos.ac.kr	국가연구자번호	1005-4917

연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(9개월)
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	350,000	11,700	105,300	-	-	-	-	361,700	105,300	467,000	-
1년차	150,000	5,000	45,000	-	-	-	-	155,000	45,000	200,000	-
2년차	200,000	6,700	60,300	-	-	-	-	206,700	60,300	267,000	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	(주)동양이화	공현숙	책임연구원	010-5423-6716	hskong@dongyangpc.com	공동	중소기업
	액트파트너	염경수	소장	010-5291-7483	actpartner@daum.net	공동	중소기업
위탁연구기관	재)한국건설생활환경시험연구원	민정기	책임연구원	010-9901-4627	jkm927@kcl.re.kr	위탁	국립연
연구기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명	한슬기	직위	연구원	
	연락처 직장전화		휴대전화	010-9439-2764	
	연락처 전자우편		국가연구자번호		

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

2022 년 02 월 25 일

주관연구책임자 : 최 성 모 (직인)

주관연구기관의 장 : 김 정 현 (직인)

서울시립대학교 산학협력단 법인인감

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통기술촉진연구 사업</td><td>총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">-</td><td>연구개발과제번호</td><td colspan="3">20CTAP-C158046-01</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술
표준분류</td><td>EI1105</td><td>40%</td><td>EI1102</td><td>30%</td><td>EI1104</td><td>30%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="6">경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티 기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발 연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티 기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발 연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 467,000 천원
- 정부지원연구개발비 : 350,000 천원
- 기관부담연구개발비 : 현금 11,700 천원 / 현물 105,300 천원</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[✔] 개발[ ]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(2)
종료시점 목표(4)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [✔] 자유공모 [ ]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="5">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발 연구를 목표로 함.</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">건축 구조물에 적용 가능한 엔지니어링 플라스틱 소재를 재료 시험을 통하여 기계적 성질을 파악하고, 내진/내화 복합보강재로서의 사용성을 평가함. 엔지니어링 플라스틱의 저중량 특성을 활용해 간편한 DIY공법으로 시공 가능한 보강시스템을 개발하여 실험을 진행하고, 이를 통하여 얻어진 데이터를 유한요소해석에 반영하여 내진/내화성능을 검증함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="5">엔지니어링 플라스틱의 내진/내화 보강재 측면에서의 재료적 특성 파악하여 재료모델을 완성하고, 이를 활용한 DIY 시공용 엔지니어링 플라스틱 보강시스템 설계안 및 시스템 해석적 모델 완성함.</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">보강시스템 개발에 앞서 엔지니어링 플라스틱이 사용되는 국내외 산업 현황 조사 후 건축 구조물에 적용 가능한 엔지니어링 플라스틱을 분류 및 탐색함. 이를 통해 얻어진 소재를 국제표준 시험방법을 준수하여 재료 시험을 실시하여 내진보강구조물로 사용될 엔지니어링 플라스틱 구조적 물성치를 파악함. 또한 내화성능에 취약한 기존 내진보강재의 문제점을 파악하여 일정 수준의 재료적인 내화성능을 보유한 엔지니어링 플라스틱 내진/내화 복합보강재로서의 사용성을 평가함. 이를 바탕으로 실지진, 화재 시 거동 재현을 위한 해석적 재료모델 완성함.
기존의 내진/내화 보강기술 개념 정립 후 각각의 요소 기술들의 역학적 필요 거동 및 성능을 파악함. 엔지니어링 플라스틱 재료모델을 바탕으로 내진/내화 보강기술을 재현하며 이를 통해 새로운 DIY 시공용 복합재난 보강시스템을 완성함. 또한, 엔지니어링 플라스틱의 저중량 특성을 활용하여 전문적인 시공기술 없이 일반인도 시공 가능한 보강시스템 개발을 목표로 함. 기존 내진보강 시스템의 시공 복잡성, 전문성 등을 파악하고 이를 해결하기 위한 저중량 엔지니어링 플라스틱의 유닛화 후 현장 단순조립 형식의 보강시스템을 개발함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td colspan="5">엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 내진/내화 실험을 실시하고 결과를 분석함. 실험을 통해 얻어진 내진/내화성능 데이터를 유한요소해석에 사용하며 목표성능별 해석을 진행함. 해석을 통해 설계 파라미터별 엔지니어링 플라스틱의 내진성능 및 내화성능과 같은 역학적 메커니즘을 파악하고, 시스템을 장착한 프레임 구조물에 대한 프레임 모델의 제작과 FEM해석을 통하여 시스템의 요소적 성능 파악과 추가 평가 업무를 수행함.</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">개발된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 목표성능별 저비용/단기간 시공 가능한 복합재난 보강시스템의 구조적/내화적 성능을 검증하기 위한 실험을 계획하고 구조/내화실험체를 각각 제작하여 실험을 진행함. 구조실험은 실규모 크기 단주 기둥을 제작하여 반복 횡하중 또는 진동대재곡선에 따른 온도를 배경으로 실험을 진행하며, 화재피해 저감성능, 화</td></tr>
</table>

			재로 인한 성능 저하 등 온도에 따른 엔지니어링 플라스틱의 내화성능을 검증함. 이를 통해 얻어진 복합재난 보강시스템의 화재 시 거동으로 목표성능별 추가적인 내화설계의 필요성을 판단하고 이를 해결하기 위한 내화설계 형식을 제안함. 이러한 **실험을 통해 얻어진 데이터로 시스템 설계의 완성도를 향상시키고 이가 반영된 설계모델로 유한요소해석을 진행함.** 목표성능별, 파라미터별 설계를 유한요소해석을 통해 진행하여 복원성, 피해저감성, 에너지 소산성 등 내진성능 및 내화성능을 검증함.
연구개발성과			**1. SCI논문 (1건)** ① Structural Performance of shear reinforcing method with engi. plastic for piloti RC column, Steel and Composite Structures, Techno Press (심사 중) **2. 국내논문 (4건)** ① 2개 볼트를 가지는 고성능 복합섬유 패널 볼트연결부 강도평가 - 한국복합신소재구조학회 논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월 ② 저층 필로티 기둥의 고성능 복합섬유 패널을 활용한 DIY전단보강공법 보강량 산정에 대한 해석적 연구 - 한국복합신소재구조학회 논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월 ③ DIY 다가구주택 필로티 기둥보강용 4개의 모서리 앵글과 복합섬유패널로 구성된 각형 띠판 래티스 기둥의 전단성능실험 : 2022년 2월, 한국복합신소재구조학회 논문집 (심사 중) ④ DIY 내진보강공법개발용 복합섬유패널을 활용한 다가구필로티 기둥의 전단성능실험 : 2022년 2월, 한국복합신소재구조학회 논문집 (심사 중) **3. 국내학술발표 (6건)** ① DIY용 강재를 이용한 다가구 필로티 콘크리트기둥 내진보강공법 제안, 한국강구조학회 학술발표대회 (2020.06.13) ② 엔지니어링플라스틱을 활용한 RC기둥 전단보강공법, 한국복합신소재구조학회 학술발표대회 (2020.07.09.) ③ 건축 구조부재로 엔지니어링 플라스틱의 적용 방안 - FRP 내화실험을 중심으로 , 2020년 한국공간구조학회 추계학술발표대회 (2020.10.23) ④ 엔지니어링플라스틱 패널을 활용한 저층 필로티 콘크리트 기둥의 목표 전단보강, 한국복합신소재구조학회 학술대회 (2021.04.20) ⑤ 엔지니어링플라스틱 패널과 FRP를 이용한 다가구 필로티 기둥의 DIY용 내진보강 공법, 한국복합신소재구조학회 학술대회 (2021.04.20) ⑥ 엔지니어링 플라스틱으로 보강된 필로티 기둥의 실물화재 성능, 한국화재소방학회 추계학술발표대회 (2021.11.26) **4. 특허출원 (5건)** ① 10-2020-0135486 :엔지니어링 플라스틱 앵글과 강봉의 인장력을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 구조 (출원일 : 2020.10.19) ② 10-2020-0135490 : 엔지니어링 플라스틱 ㄱ자 끼움판, 덧댐판 및 채움판을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 보강구조 (출원일 : 2020.10.19) ③ 10-2020-0135488 : 엔지니어링 플라스틱과 시멘트 보드를 활용한 철근콘크리트 기둥의 내진 보강방법 및 그 구조 (출원일 : 2020.10.19) ④ 10-2021-0100755 : 기둥의 내진보강을 위한 FRP 랩핑과 X형태 브레이스가 부착된 준불연 엔지니어링 플라스틱 패널의 조립 시공방법 (출원일 : 2021.07.30) ⑤ X형태 브레이스가 부착된 엔지니어링 플라스틱 패널의 모서리부를 고정하기 위해 알루미늄 앵글과 코너비드를 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 : 특허 심사 중 **5. 특허등록 (1건)** ① 제 10-2311223호 : 다가구 필로티 기둥의 DIY 보강용 내진보강공법 (등록일 : 2021.10.05.)
연구개발성과 활용방안 및 기대효과			■ 기술적 측면 - 지진, 태풍 등 자연재해와 인류 생활에 의한 발생하는 화재에 대한 피해 저감 기술 개발 - 첨단소재를 활용한 건설기술의 융·복합화 달성 - 선진국 대비 기술 수준이 상대적으로 낙후된 엔지니어링 플라스틱 보강시스템에 대한 국내 기술력을 향상 ■ 산업·경제적 측면 - 급속히 확장된 필로티 구조의 건축물 보수보강을 통하여 생명·재산 피해를 최소화 - 국내 개발 초기 단계인 엔지니어링 플라스틱 보강기술의 현장 적용 가능성 여부를 판단하는 시도적인 연구 수행

	- 구조물의 유지 및 관리에 소요되는 비용을 절감하고 재생에 들어가는 건자재 소비를 절감하여 탄소 발생 저감 및 녹색화를 달성하는 데에 기여 ■ 학문적 측면 - 첨단소재를 활용하여 복원력과 에너지 소산 능력 및 내화성능이 향상된 엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 기초·원천 기술을 개발 - 재료 및 구조물의 비선형적 거동을 해석적인 방법으로 구현할 수 있는 정확한 고급 시뮬레이션 모델을 개발 ■ 교육적 측면 - 지진재해 피해저감 기술에 대한 새로운 시스템을 개발하고 이를 건설 현장에 적용하기 위하여 관련된 설계와 해석 기술을 엔지니어에게 교육의 기회를 제공하여 전수 - 이론, 설계, 해석, 성능평가 등 다양한 분야에 석박사급 연구원이 직접 참여하여 연구역량 강화
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당 없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y

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

국문핵심어 (5개 이내)	엔지니어링 플라스틱	내진보강	내화성능	신소재	복합재난
영문핵심어 (5개 이내)	Engineering Plastic	Seismic Reinforcement	Fire Resisting Performance	New Material	Multiple Disaster

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표----------6

2) 연구개발과제의 연차별 목표----------6

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발내용 및 성과 요약----------9

2) 연구개발 세부 내용 및 결론----------19

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과----------85

(1) 정성적 연구개발성과----------85

(2) 정량적 연구개발성과----------88

(3) 세부 정량적 연구개발성과----------89

2) 목표 달성 수준----------93

4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도----------96

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획----------97

별첨자료

1) 참고문헌----------98

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

구분	내용 및 설정근거
최종 목표	엔지니어링 플라스틱의 구조적/역학적 특성을 파악하여 건축구조물의 보강재로의 타당성을 검증하고, **경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발 연구하고자 함.** 이를 검증할 실험과 해석을 수행하여 개발된 내진/내화성능 보강 기수에 대한 성능평가 및 최적의 설계방식을 제안함
세부 목표	■ 1차년도 (1) 엔지니어링 플라스틱의 내진/내화 보강재 측면에서의 재료적 특성 파악 (2) 재료모델을 활용한 엔지니어링 플라스틱 보강시스템 설계안 및 시스템의 해석모델 완성 (3) 엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 구조적 성능 검증을 위한 실험 계획 실시 ■ 2차년도 (1) 엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 내진/내화실험을 실시하고 결과 분석을 통해 물리적 성능 검증 및 평가 (2) 실험 결과를 바탕으로 정밀한 유한요소 해석을 수행하여 설계 파라미터별 엔지니어링 플라스틱의 내진/내화성능과 같은 역학적 메커니즘을 파악 (3) 시스템을 장착한 프레임 구조물에 대한 프레임 모델의 제작과 FEM해석을 통하여 시스템의 요소적 성능 파악과 추가 평가 업무를 수행함.

2) 연구개발과제의 연차별 목표

○ 1차년도

- 주관연구기관(서울시립대학교)
: 엔지니어링 플라스틱 소재의 구조적/역학적 특성을 파악하기 위해 소재시험 설계 및 주관. 이를 통해 얻어진 엔지니어링 플라스틱 물성치를 활용해 저비용/단기간 시공 가능한 복합재난 보강시스템 개발 및 설계 완성.

- 공동연구기관(동양이화)
: 복합재난 피해저감 보강시스템에 적합한 엔지니어링 플라스틱 소재개발 및 구조적/역학적 특성 파악.

- 공동연구기관(액트파트너)
: 엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진보강 시스템 개발 및 설계

- 위탁연구기관(KCL)
: 엔지니어링 플라스틱의 온도별 물성치 변화 및 화재 시 난연, 불연성능 검증

○ 2차년도

- 주관연구기관(서울시립대학교)
: 엔지니어링 플라스틱을 활용한 저비용/단기간 시공 가능한 복합재난 보강시스템의 구조/내화실험을 실시 후 실험 결과의 분석을 통하여 물리적 성능을 검증하고, 이를 통해 얻은 데이터를 바탕으로 정밀한 유한요소 해석을 수행함. 설계 파라미터별 엔지니어링 플라스틱의 복원성 및 에너지 소산 능력, 내화성능 등 역학적 메커니즘을 파악 후 실제 건물 적용 시의 내진/내화 보강 성능에 대하여 확정함

- **공동연구기관(동양이화)**
: 엔지니어링 플라스틱을 활용한 저비용/단기간 시공 가능한 복합재난 보강시스템 구조/내화 실험체 제작 및 시공. 실험을 통한 엔지니어링 플라스틱 소재의 건설 현장 적용성 판단.

- **공동연구기관(액트파트너)**
: 엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 내진실험체 계획 및 제작. 보강시스템 내진성능 실험 진행 및 결과 확인. 결과 분석을 통한 내진성능 파악.

- **위탁연구기관(KCL)**
: 엔지니어링 플라스틱을 활용한 저비용/단기간 시공 가능한 복합재난 보강시스템 내화실험 진행 및 분석. 시스템의 내화성능 분석 및 추가적인 내화설계 여부 판단.

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1차년도 (2020년)	엔지니어링 플라스틱의 내진/내화 보강재 측면에서의 재료적 특성을 파악하고 이를 통하여 보강시스템 설계안 및 시스템의 해석모델 완성	경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 엔지니어링 플라스틱 선정과 물성특성 제시	건축 외 산업군 재료모델	재료시험을 통하여 선정된 소재특성 파악하며, 수치해석에 사용할 재료모델 제시함. 내진보강공법 각 제품들의 경량화/저비용 제조공법 접근 및 최적안 도출함.	기존 소재의 엔지니어링 플라스틱 보강시스템을 개발하고 개념을 정립하여 설계안과 해석 기술 및 실험체 개발에 초점을 두어 기초·원천 기술단계(TRL 2-4)에서의 연구를 수행함	20
		간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발	엔지니어링 플라스틱 면진장치	제시된 물성특성을 반영하여 보강형식과 구성을 제시하고, 유한요소해석을 통하여 구조적 성능 발휘 점검함.		30
		기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시	일반 플라스틱 소재 내화성능	마이다스 구조해석을 통하여 기존 다가구주택 내진성능 보강목표를 정량적으로 설정하며 공법의 제품화를 위한 보강량을 제시함.		20
		제시된 소재의 열적성능 평가와 경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값 제시	없음	제시된 소재의 열적성능(불연, 준불연, 난연)을 비재하가열시험을 통하여 파악하며,	기존 소재의 엔지니어링 플라스틱 보강시스템을 개발하고 개념을 정립하여 설계안과	30

1차년도 (2020년)	엔지니어링 플라스틱의 내진/내화 보강재 측면에서의 재료적 특성을 파악하고 이를 통하여 보강시스템 설계안 및 시스템의 해석모델 완성	제시된 소재의 열적성능 평가와 경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값 제시	없음	경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값 제시함.	해석기술 및 실험체 개발에 초점을 두어 기초·원천 기술단계(TRL 2-4)에서의 연구를 수행함	30
2차년도 (2021년)	엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 내진/내화 실험을 실시하고 결과 분석을 통해 물리적 성능 검증 및 평가. 실험 결과를 바탕으로 유한요소 해석을 수행하여 설계 파라메타별 엔지니어링 플라스틱의 역학적 메커니즘을 파악	DIY용 제품 생산성을 고려한 내진보강 연결 상세와 제품구성 확정	건축 외 산업군 유한요소해석	도출된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 기둥보강 공법 구성품 확정과 각 부품들의 연결방식 제안. 구성품에 대한 유한요소해석과 구조실험을 통한 내진성능 검증과 설계기초자료 제시함.	-엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진/내화성능 확보 기술의 기본 원리와 개념을 정립하고 개념 및 설계안을 완성함. 해석과 실험의 결과를 바탕으로 최적의 설계 파라메타로 시스템을 선정하고 실제 발생한 지진하중에 대하여 구조물에 적용 가능한지를 검증하며 시스템 설치 유무에 따른 손상의 정도를 평가하는 방법을 개발함	20
		DIY용 기둥보강 구성품의 제조방식을 감안한 형상 파라메타와 가생산 시제품 제시	건축 외 산업군 실험	경량화/저비용 내진보강공법에 최적화 형상을 도출하여 시제품 제시함.		40
		제안된 DIY공법이 화재실험을 통한 화재피해 저감 효과와 내화성능 검증	건축 외 산업군 실험	제안된 공법의 시제품을 실화재에 노출하여 화재 저항성능을 검증함. 내진 보강시스템의 내화성능을 확인하여 추가적인 내화보강안의 필요성을 검토함.	-엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진/내화성능 확보 기술은 연구개발 종료 후에 후속 사업과 연계된다면 기업에 기술협약 및 이전을 통하여 기술 상용화 및 사업화가 예상됨 - 신소재를 활용한 엔지니어링 플라스틱 보강기술은 본 연구를 통하여 TRL 4단계까지 완료되면 후속적으로 사업화 지원을 통하여 실질적인 성능을 검증하고 기술 협약 및 이전을 실시할 예정으로, 기술의 실질적인 생산 및 도입이 기대됨.	40

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발내용 및 성과 요약

본 '경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티 기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발 연구'의 연구개발내용은 다음과 같음.

<table>
<tr><th>구분</th><th>연구개발목표</th><th>연구개발수행내용</th><th>연구내용 및 성과</th></tr>
<tr><td>1차년도
(2020년)</td><td>핵심 성과 1
경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 엔지니어링 플라스틱 선정과 물성특성 제시</td><td>1. 참고문헌 조사
(전문가 자문 포함)

2. 재료 시편을 제작하여 재료시험 수행

3. 내진보강공법 소재 최적안 도출

4. 모델의 정확성 검증</td><td>
■ 연구 내용

경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 엔지니어링 플라스틱을 선정하기 위하여 유사한 재료를 사용한 내진보강공법의 연구보고서, 논문, 특허 등의 참고문헌 조사 및 다양한 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 카탈로그 등 참고문헌 조사하여 선정된 세 소재의 물성치 확인을 위해 인장시편을 제작하고 서울시립대학교 구조실험동에서 인장시험 진행

■ 성과

1. 각 소재별 인장시험 결과
<table>
<tr><th>시험편</th><th>인장강도 (MPa)</th><th>연신율 (%)</th></tr>
<tr><td>PEEK#1</td><td>40.58</td><td>8.4</td></tr>
<tr><td>PEEK#2</td><td>25.16</td><td>7.8</td></tr>
<tr><td>평균</td><td>32.87</td><td>8.1</td></tr>
<tr><td>Monocast#1</td><td>12.20</td><td>49.0</td></tr>
<tr><td>Monocast#2</td><td>28.00</td><td>53.9</td></tr>
<tr><td>평균</td><td>20.10</td><td>51.5</td></tr>
<tr><td>CN복합섬유패널</td><td>418.32</td><td>15.6</td></tr>
<tr><td>CN복합섬유패널</td><td>456.8</td><td>3.5</td></tr>
<tr><td>평균</td><td>437.6</td><td>9.6</td></tr>
</table>
* 경량화율, 인장강도, 난연성능 등 DIY용 내진 보강 소재로 적절한 CN복합섬유패널 소재 선정

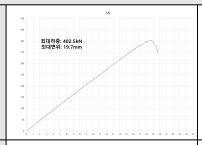
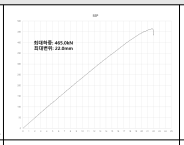
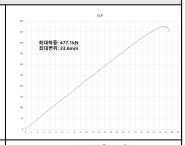
2. CN복합섬유패널(초고강도) 인장시험 및 충격강도 시험성적서 발급 완료
1) 인장시험 (KS M ISO 527-4 3호형)
- <u>인장강도 : 1,110MPa / 인장탄성률 : 57,900MPa</u>
2) 굴곡시험 (KS M ISO 178)
- <u>굴곡강도 : 1,290MPa / 굴곡탄성률 : 55,500MPa</u>

3. CN복합섬유패널(준불연) 인장시험 및 충격강도 시험성적서 발급 완료
1) 인장시험 (KS M ISO 527-4 3호형)
- <u>인장강도 : 532MPa / 인장탄성률 : 41,400MPa</u>

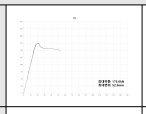
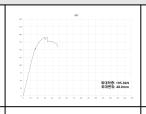
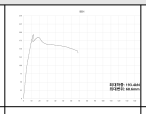
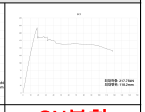

<시험 성적서>
</td></tr>
</table>

1차년도 (2020년)	**핵심 성과 2** 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발	1. 해외문헌 조사 및 정보 수집 2. 유사한 재료들을 다룬 내진보강시스템에 대한 실험 논문 분석 3. 간편 시공을 위한 DIY용 내진보강형식과 공법 개발 4. 개발된 엔지니어링 플라스틱 내진보강시스템의 지진 시 거동 메커니즘 분석 및 내진성능 파악 5. 내진보강설계와 관련 설계 지침 참고	■ **연구 내용** **철근콘크리트 기둥의 전단 내력, 휨 내력 및 연성능력을 증가시켜 내진성능을 향상**시킬 수 있는 간편시공 DIY용 내진보강 형식 및 공법에 대한 다양한 아이디어를 제안하고, 평가를 통해 공법 개발을 위한 적절한 **내진보강 형식 선정함.** 선정된 엔지니어링 플라스틱 내진/내화 보강공법의 보강 비용 비교 ■ **성과** 1. 엔지니어링 플라스틱 **내진/내화 보강공법의 보강 비용의 우수**성 확인 → 기존 내진보강공법인 강판 내진보강공사 견적에 비하여 엔지니어링 플라스틱 내진보강공사 견적은 **약 85.2% 비용 절감**효과 (제안된 엔지니어링 플라스틱 내진보강공법은 숙련된 작업자의 불필요로 인건비 및 기술료 절감 효과가 있음.) → 기존 내화보강공법인 불연아라미드공법 보강공사 견적에 비하여 엔지니어링 플라스틱 내화보강공사 견적은 **약 18% 비용 절감**효과 (제안된 엔지니어링 플라스틱 내진보강공법은 숙련된 작업자의 불필요로 인건비 및 기술료 절감 효과가 있음. 또한, 건식 공법으로 불연아라미드공법에 비하여 재료비 절감 효과가 있음.) 2. 엔지니어링 플라스틱 보강 결과 **약 15~18% 전단 보강 효과 및 약 10~24% 휨 보강 효과** 확인

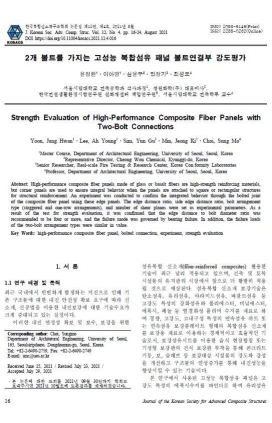
전단 보강

하중-변위 곡선				
보강 소재	-	Monocast	CN복합섬유 패널	
결과	최대 하중	402.5kN	465.0kN	477.1kN
	최대 변위	19.7mm	22.0mm	23.6mm

휨 보강

하중-변위 곡선					
보강 소재	-		Monocast	CN복합 섬유 패널	
결과	최대 하중	175.0kN	195.3kN	193.4kN	217.7kN
	최대 변위	52.9mm	48.0mm	68.6mm	118.2mm

3. KCI 논문 게재 1건
- 2개 볼트를 가지는 고성능 복합섬유 패널 볼트연결부

			강도평가 (한국복합신소재구조학회 논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월 게재) **4. 특허 출원 1건** - 엔지니어링 플라스틱 앵글과 강봉의 인장력을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 구조 (특허출원번호 : 10-2020-0135486) **5. 특허 등록 1건** - 다가구 필로티 기둥의 DIY보강용 내진보강 공법 (특허등록번호 : 제 10-2311223호) **6. 국내 학술발표대회 3건** - DIY용 강재를 이용한 다가구 필로티 콘크리트기둥 내진보강공법 제안 (한국강구조학회 학술발표대회, 2020.06.13.) - 엔지니어링 플라스틱을 활용한 RC기둥 전단보강 공법 (한국복합신소재구조학회 학술발표대회, 2020.07.09) - 엔지니어링플라스틱 패널과 FRP를 이용한 다가구 필로티기둥의 DIY용 내진보강 공법 (한국복합신소재구조학회 학술발표대회 2021.04.20.)
1차년도 (2020년)	**핵심 성과 2** 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발	1. 해외문헌조사 및 정보 수집 2. 유사한 재료들을 다룬 내진보강시스템에 대한 실험 논문 분석 3. 간편 시공을 위한 DIY용 내진보강형식과 공법 개발 4. 개발된 엔지니어링 플라스틱 내진보강시스템의 지진 시 거동 메커니즘 분석 및 내진성능 파악 5. 내진보강설계와 관련 설계 지침 참고	  ⇒ 강판 내진보강 : 52,000 천원   ⇒ 불연아라미드 내화보강 : 39,900 천원 ⇒ 엔지니어링 플라스틱 내진보강 : 7,700 천원 ⇒ 엔지니어링 플라스틱 내화보강 : 32,000 천원  **<논문 게재>**  **<특허 출원>**

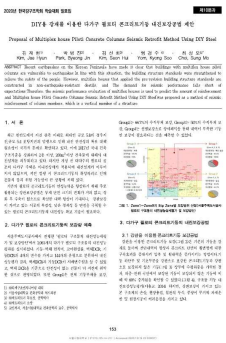
<table>
<tr>
<td></td>
<td>핵심 성과 2
간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발</td>
<td>1. 해외문헌조사 및 정보 수집

2. 유사한 재료들을 다룬 내진보강시스템에 대한 실험 논문 분석

3. 간편 시공을 위한 DIY용 내진보강형식과 공법 개발

4. 개발된 엔지니어링 플라스틱 내진보강시스템의 지진 시 거동 메커니즘 분석 및 내진성능 파악

5. 내진보강설계와 관련 설계 지침 참고</td>
<td> 



<특허 등록> <국내 학술발표대회>
 



<국내 학술발표대회></td>
</tr>
<tr>
<td>1차년도
(2020년)</td>
<td>핵심 성과 3
기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시</td>
<td>1. 비내진 상세 건축구조물 사례조사

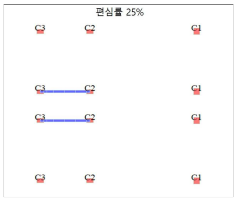
2. 마이다스를 활용한 비내진 상세 건축구조물 재현

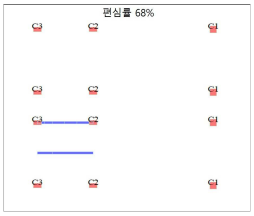
3. 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시</td>
<td>■ 연구 내용

비내진 상세 건축구조물 사례조사에서 조사한 건물 중 “필로티 구조물의 내진성능 상세평가 및 보강방안” 연구에서 내진 보강 대상 건물로 선정한 ‘OO캐슬’을 건축구조 해석프로그램을 활용하여 재현하고 지진하중이 건물에 가해졌을 때 필로티 기둥 부재의 전단/휨 내력 대비 지진하중으로 인해 발생하는 전단/휨 하중을 비교함.

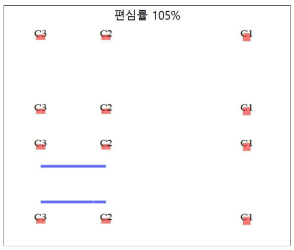
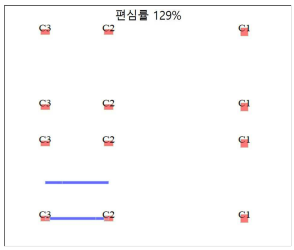
■ 성과

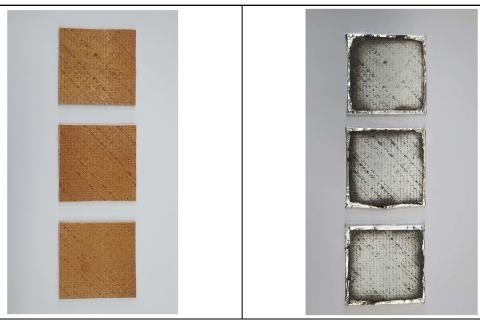
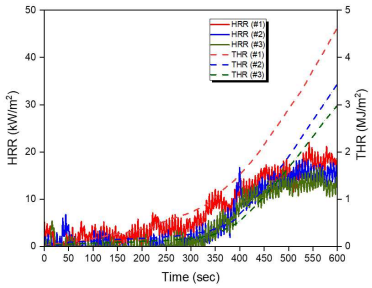
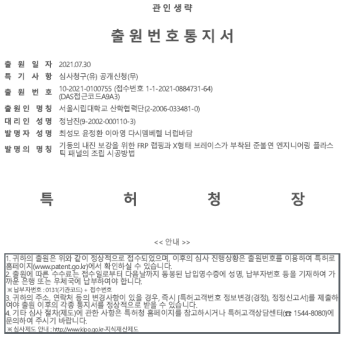
1. 비내진 건축구조물 해석 결과

1) 편심률 25% 평면 (원 평면), 편심률 68% 평면
 



편심률 25% 편심률 68%
<table>
<tr><td colspan="8">Vu : 특별지진하중 고려시</td></tr>
<tr><td>Member</td><td>NO</td><td>Vu</td><td>ØVc</td><td>ØVs</td><td>ØVn =ØVc + ØVs</td><td>Ratio = Vu/ØVn</td><td>Check</td></tr>
<tr><td rowspan="4">C1</td><td>240</td><td>316kN</td><td>161kN</td><td>114kN</td><td>275kN</td><td>1.15 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
<tr><td>241</td><td>343kN</td><td>166kN</td><td>114kN</td><td>280kN</td><td>1.23 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
<tr><td>245</td><td>306kN</td><td>147kN</td><td>114kN</td><td>261kN</td><td>1.17 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
<tr><td>249</td><td>341kN</td><td>172kN</td><td>114kN</td><td>286kN</td><td>1.19 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
</table>
편심률 25%
<table>
<tr><td colspan="8">Vu : 특별지진하중 고려시</td></tr>
<tr><td>Member</td><td>NO</td><td>Vu</td><td>ØVc</td><td>ØVs</td><td>ØVn =ØVc + ØVs</td><td>Ratio = Vu2/ØVn</td><td>Check</td></tr>
<tr><td rowspan="4">C1</td><td>240</td><td>316kN</td><td>171kN</td><td>114kN</td><td>285kN</td><td>1.11 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
<tr><td>241</td><td>347kN</td><td>168kN</td><td>114kN</td><td>282kN</td><td>1.23 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
<tr><td>245</td><td>315kN</td><td>151kN</td><td>114kN</td><td>265kN</td><td>1.19 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
<tr><td>249</td><td>338kN</td><td>170kN</td><td>114kN</td><td>284kN</td><td>1.19 > 1.0</td><td>N.G</td></tr>
</table>
편심률 68%</td>
</tr>
</table>

1차년도 (2020년)	**핵심 성과 3** 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시	1. 비내진 상세 건축구조물 사례조사 2. 마이다스를 활용한 비내진 상세 건축구조물 재현 3. 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시	2) 편심률 105% 평면, 편심률 129% 평면   편심률 105% 평면 편심률 129% 평면 Vu : 특별지진하중 고려시 Member / NO / Vu / ØVc / ØVs / ØVn =ØVc + ØVs / Ratio = Vu/ØVn / Check C1 / 240 / 331kN / 171kN / 114kN / 285kN / 1.16 > 1.0 / N.G C1 / 241 / 361kN / 168kN / 114kN / 282kN / 1.28 > 1.0 / N.G C1 / 245 / 334kN / 153kN / 114kN / 267kN / 1.25 > 1.0 / N.G C1 / 249 / 357kN / 170kN / 114kN / 284kN / 1.26 > 1.0 / N.G 편심률 105% 평면 Vu : 특별지진하중 고려시 Member / NO / Vu / ØVc / ØVs / ØVn =ØVc + ØVs / Ratio = Vu/ØVn / Check C1 / 240 / 339kN / 171kN / 114kN / 285kN / 1.19 > 1.0 / N.G C1 / 241 / 371kN / 168kN / 114kN / 282kN / 1.32 > 1.0 / N.G C1 / 245 / 342kN / 153kN / 114kN / 267kN / 1.28 > 1.0 / N.G C1 / 249 / 366kN / 170kN / 114kN / 284kN / 1.29 > 1.0 / N.G 편심률 129% 평면 **2. KCI 논문 게재 1건** – 저층 필로티 기둥의 고성능 복합섬유 패널을 활용한 DIY전단보강공법 보강량 산정에 대한 해석적 연구 (한국복합신소재구조학회 논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월 게재) **3. 특허 출원 1건** – 엔지니어링 플라스틱 ㄱ자 끼움판, 덧댐판 및 채움판을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 보강구조 (특허출원번호 : 10-2020-0135490) **4. 국내 학술발표대회 1건** – 엔지니어링플라스틱 패널을 활용한 저층 필로티 콘크리트 기둥의 목표 전단보강 (한국복합신소재구조학회 학술발표대회, 2021.04.20)   <**논문 게재**> <**특허**>  <**국내 학술발표대회**>

1차년도 (2020년)	**핵심 성과 4** 제시된 소재의 열적성능 평가와 경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값 제시	1. 문헌 조사 (전문가 자문포함) 2. 재료시편을 제작하여 화재실험 수행 3. UMAT 모델 제작 및 해석 수행 4. 모델의 정확성 검증	**■ 연구 내용** DIY용 경량화/저비용 내진보강공법용으로 제안된 엔지니어링 플라스틱들의 난연 성능 실험을 진행하여 적절한 난연 성능을 확보하는지 확인함. **■ 성과** 1. 엔지니어링 플라스틱 난연성능 실험 결과 - 표면은 접착제 또는 바인더가 복사열에 일부 연소되고 표면은 탄화되었으나 크기는 변하지 않음. · 열방출률(HRR) : 10분 동안 20kW/m^2 미만 · 총열방출량(THR) : 3~5MJ/m^2 ≤ 8MJ/m^2(기준치) → **연소성능 우수** **재료 시편**  **열방출률 시험 결과**  **2. 특허 출원 1건** - 엔지니어링 플라스틱과 시멘트보드를 활용한 철근콘크리트 기둥의 내진 보강방법 및 구조 (특허출원번호 : 10-2020-0135488) **3. 국내 학술발표대회 1건** - 건축 구조부재로 엔지니어링 플라스틱의 적용 방안 - FRP 내화실험을 중심으로, 한국공간구조학회 추계학술발표대회 (2020.10.23)  관인생략 출원번호통지서 출원일자 2021.07.30 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 출원번호 10-2021-0100755 (접수번호 1-1-2021-0884731-64) (DAS접근코드:A9A3) 출원인 명칭 서울시립대학교 산학협력단(2-2006-033481-0) 대리인 성명 정년현(9-2002-000110-3) 발명자 성명 최상도 공정환 이어영 다시엠베컬 너힘바담 발명의 명칭 기둥의 내진 보강을 위한 FRP 캡핑과 X형태 브레이스가 부착된 주철연 엔지니어링 플라스틱 패널의 조립 시공방법 특 허 청 장  건축 구조부재로 엔지니어링 플라스틱의 적용 방안 - FRP 내화실험을 중심으로 - Application of Engineering Plastics as Structural Members - Focused on the Fire Resistance Tests of Fiber Reinforced Plastics - <특허> <국내 학술발표대회>

2차년도
(2021년)

핵심 성과 5
DIY용 제품 생산성을 감안한 내진보강 연결 상세와 제품구성 확정

1. 핵심 1,2,3,4를 통하여 얻은 데이터를 기반으로 엔지니어링 플라스틱 소재의 내진성능을 파악 후 기둥 내진보강공법의 유닛이 되는 구성품을 확정함

2. 확정된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진보강 유닛들의 단순 볼트 체결로 조립하는 연결방식을 제안함.

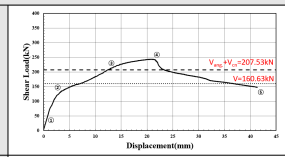
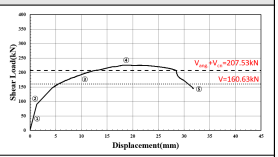
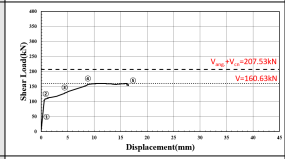
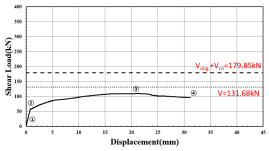
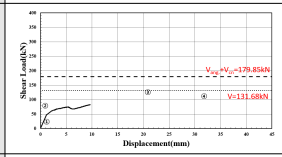
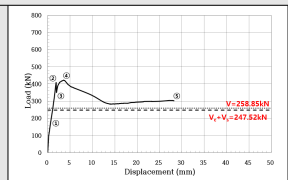
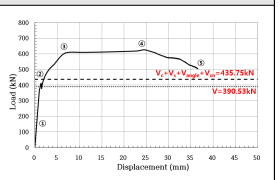
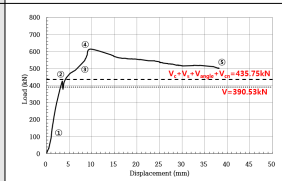
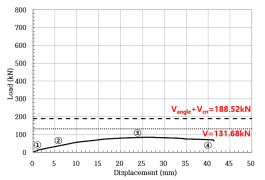
3. 엔지니어링 플라스틱 내진보강 유닛과 연결방식을 유한요소해석과 구조실험을 통하여 내진성능을 검증하고 설계기초자료를 제시함.

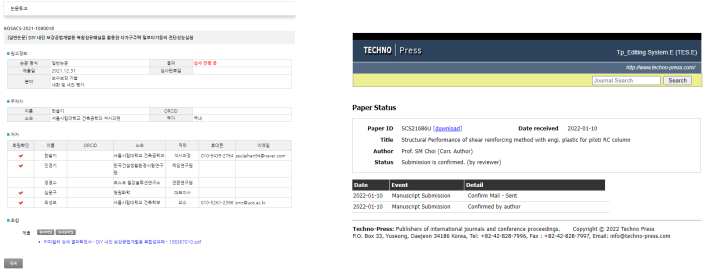
■ 연구 내용

1차년도 데이터를 기반으로 엔지니어링 플라스틱 소재의 내진성능을 파악 후 기둥 내진보강공법의 유닛이 되는 구성품을 확정하고 내진보강 유닛들의 볼트 체결로 조립하는 연결방식을 제안함. 또한, 엔지니어링 플라스틱 내진보강 유닛과 연결방식을 유한요소해석과 구조실험을 통하여 내진성능을 검증하고 설계기초자료를 제시함.

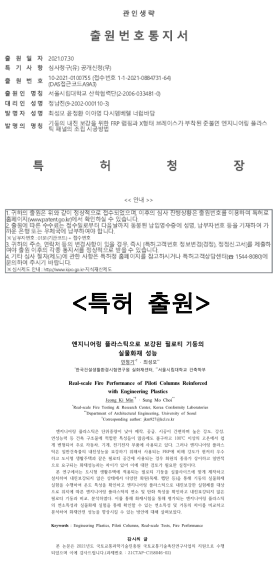
■ 성과

1. 내진보강공법의 전단성능실험을 수행하여 엔지니어링 플라스틱 패널의 전단내력을 평가함.

각형띠판 래티스기둥의 전단성능실험 결과		
하중-변위 곡선		
실험체명	ST-HB4	ST-HB3
예상내력	207.53 kN	207.53 kN
최대내력	242.85 kN	225.19 kN
하중-변위 곡선		
실험체명	ST-HB2	AL-HB2
예상내력	207.53 kN	188.52 kN
최대내력	160.55 kN	110.31 kN
하중-변위 곡선		
실험체명	AL-FB2	
예상내력	188.5 kN	
최대내력	82.52 kN	
엔지니어링 플라스틱 내진보강공법 전단성능실험 결과		
하중-변위 곡선		
실험체명	RC	EP1-SE
예상내력	247.52 kN	435.75 kN
최대내력	422.66 kN	628.28 kN
하중-변위 곡선		
실험체명	EP2-HB	EP3-B
예상내력	435.75 kN	188.23
최대내력	616.38 kN	84.38 kN

	핵심 성과 5 DIY용 제품 생산성을 감안한 내진보강 연결 상세와 제품구성 확정	1. 핵심 1,2,3,4를 통하여 얻은 데이터를 기반으로 엔지니어링 플라스틱 소재의 내진성능을 파악 후 기둥 내진보강공법의 유닛이 되는 구성품을 확정함. 2. 확정된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진보강 유닛들의 단순볼트체결로 조립하는 연결방식을 제안함. 3. 엔지니어링 플라스틱 내진보강 유닛과 연결방식을 유한요소해석과 구조실험을 통하여 내진성능을 검증하고 설계기초자료를 제시함.	2. KCI 논문 1건 (심사 중) - DIY 다가구주택 필로티기둥 보강용 4개의 모서리 앵글 과 복합섬유패널로 구성된 각형띠판 래티스기둥의 전단성능실험 (한국복합신소재구조학회)  <논문 심사 중>
2차년도 (2021년)	**핵심 성과 6** DIY용 기둥보강 구성품의 제조방식을 감안한 형상 파라메타와 가생산 시제품 제시	1. 내진보강 구성품 유닛화에 유리한 엔지니어링 플라스틱 제조방식을 확정함. 2. 산업화에 유리한 제조방식을 확정하고 그에 따른 DIY용 기둥보강 구성품 유닛의 형상을 제안함. 3. 확정 지은 내진보강 구성품 형상 및 제조공정에 따라 가생산 시제품 제작	■ 연구 내용 내진보강 구성품 유닛화에 유리한 엔지니어링 플라스틱 제조방식을 확정하고 그에 따른 DIY용 기둥보강 구성품 유닛의 형상을 제안함. ■ 성과 1. KCI 논문 1건 (심사 중) - DIY 내진보강공법개발용 복합섬유패널을 활용한 다가구주택 필로티 기둥의 전단성능실험 (한국복합신소재구조학회) 2. SCI 논문 1건 (심사 중) - Structural Performance of shear reinforcing method with engi. plastic for piloti RC column (Steel and Composite Structures, Techno Press) 3. 특허 출원 1건 (심사 중) - X형태 브레이스가 부착된 엔지니어링 플라스틱 패널의 모서리부를 고정하기 위해 알루미늄 앵글과 코너비드를 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법  <논문 심사 중>

2차년도 (2021년)	**핵심 성과 6** DIY용 기둥보강 구성품의 제조방식을 감안한 형상 파라메타와 가생산 시제품 제시	1. 내진보강 구성품 유닛화에 유리한 엔지니어링 플라스틱 제조방식을 확정함. 2. 산업화에 유리한 제조방식을 확정하고 그에 따른 DIY용 기둥보강 구성품 유닛의 형상을 제안함. 3. 확정 지은 내진보강 구성품 형상 및 제조공정에 따라 가생산 시제품 제작	 1. 볼트 타공 가이드 라인 표기  2. 프라이머 도포  3. CN복합섬유패널 부착  4. 모서리 앵글 부착  5. 볼트 조임  6. 내진 보강 시제품 제작영상 (https://youtu.be/84xsCdkjMsw)
	핵심 성과 7 제안된 DIY공법의 화재실험을 통한 화재피해 저감 효과와 내화성능 검증		**■ 연구 내용** 설계안을 바탕으로 엔지니어링 플라스틱 내화실험체를 제작함. 내화실험을 통하여 RC기둥과 내진보강된 기둥의 내화성능을 측정하고 엔지니어링 플라스틱 보강시스템을 화재에 노출 시킨 후 온도 변화에 따른 내진/내화성능을 확인함. 또한, 화재 온도-변위 곡선에서 극한강도와 변위 발생량을 모델별로 관측하고, 실험 결과를 분석하여 엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 화재피해 저감 효과와 내화성능을 검증함.

2차년도 (2021년)	**핵심 성과 7** 제안된 DIY공법이 화재실험을 통한 화재피해 저감 효과와 내화성능 검증	1. 설계안을 바탕으로 실험을 계획하고, 엔지니어링 플라스틱 내화 수준별 실험체를 제작함. 2. 내화실험을 통하여 RC기둥과 내진보강된 기둥의 내화성능을 측정하고, 내화수준별 엔지니어링 플라스틱 보강시스템을 화재에 노출 시킨 후 온도 변화에 따른 내진/내화성능을 확인함. 3. 화재 온도-변위 곡선에서 극한강도와 변위 발생량을 모델별로 관측하고, 실험결과를 분석하여 엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 화재피해 저감 효과와 내화성능을 검증함.	**■ 성과** 1. 국부화재 실험 결과 | 실험체명	RC	CN
---	---	---
파괴모드	폭렬 발생, 잉여수 누출	그을림 발생, 섬유 연소로 인한 변색
내력평가 (kN)	설계기준내력 : 5,636.80	
	4,639.18	5,623.87	  → 국부화재실험 후, 기둥의 압축내력을 비교 결과 CN실험체의 압축내력이 높게 평가됨. 따라서 제안한 공법은 화재 보강 효과가 있음을 확인함. 2. 필로티 주차공간 실화재 실험 결과 **1) RC실험체** - 천장과 맞닿는 콘크리트 표면에 검게 그을린 형상을 보였지만 화염과 맞닿지 않은 표면에는 파괴양상을 확인할 수 없었음. **2) CN실험체, CFRP-S실험체** - 화염에 맞닿은 표면에 그을림이 발생하였지만 화염과 맞닿지 않은 표면에는 파괴양상을 확인할 수 없었음. **3) CFRP-P실험체** - 1.0m 높이의 화염과 맞닿은 표면에 CFRP 패널이 녹아 균열이 생김. **3. 특허 출원 1건** - 기둥의 내진보강을 위한 FRP 랩핑과 X형태 브레이스가 부착된 준불연 엔지니어링 플라스틱 패널의 조립 시공방법 (특허출원번호 : 10-2021-0100755) **4. 국내 학술발표대회 1건** - 건축 구조부재로 엔지니어링 플라스틱의 적용 방안 - FRP 내화실험을 중심으로, 한국공간구조학회 추계학술발표대회 (2020.10.23)  <화재 실험>  <특허 출원> <국내 학술발표대회>

2) 연구개발 세부 내용 및 결론

1차년도

1. 경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 엔지니어링 플라스틱 선정과 물성특성 제시

1) 참고문헌 조사 (전문가 자문 포함)

■ 연구 내용

경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 엔지니어링 플라스틱을 선정하기 위하여 유사 재료 이용 내진보강공법의 연구보고서, 논문, 특허 등의 참고문헌 조사 및 다양한 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 카탈로그 등 참고문헌 조사 진행

■ 연구 결과

내진보강공법에 적합한 재료를 선정

⑴ 유사 재료 이용 내진보강공법 참고문헌 조사를 통해 경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 재료 선정

- "취성파괴 특성이 개선된 FRP를 활용한 합성/RC 기둥의 내진/내화성능 개발 및 성능검증을 위한 실험적 연구" 최종보고서(2019), 최성모
- 아라미드 FRP보강 비내진상세 철근콘크리트기둥의 반복횡하중 가력실험(2019), 한국복합신소재구조학회논문집, 최성모 등
- FRP 보강 RC기둥의 내진성능 향상에 대한 실험적 연구(2019), 한국복합신소재구조학회 논문집, 최성모 등
- 나노탄소 고분자 복합재료(2013), Composites Research, 최철림
- (특허)아라미드 스트립 구조보강재 제조방법 및 이에 따라 제조되는 아라미드 스트립 구조보강재, 2011년 1월 31일 등록, 김진호 등
- 지하철 2호선 지하구조물 내진보강공사(13공구) 공사시방서(2018), 서울교통공사



보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C142866-02	해당 단계 연구 기간	2018. 04. 17 - 2019. 12. 31 (21개월)	단계구분	1/2
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명	취성파괴 특성이 개선된 FRP를 활용한 합성/RC 기둥의 내진/내화성능 확보 기술 개발 및 성능검증을 위한 실험적 연구			
	세부과제명	취성파괴 특성이 개선된 FRP를 활용한 합성/RC 기둥의 내진/내화성능 확보 기술 개발 및 성능검증을 위한 실험적 연구			
연구책임자	최성모	해당단계 참여연구원 수	총:13 명 내부:13 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 160,000천원 민간: 60,000천원 정부외: 0천원 상대액: 0천원 계: 200,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총:13 명 내부:13 명 외부: 명	총 연구비	정부: 210,000천원 민간: 70,000천원 정부외: 0천원 상대액: 0천원 계: 280,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	서울시립대학교 산학협력단 (아트라프트너 신공법연구소			참여기업명	(아트라프트너, (주)최상리빈프스
국적공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: (재)한국건설생활환경시험연구원			연구책임자: 민정기 선임연구원	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	연구개발성과의 보안등급: 일반 사유: 공고 안내서에 명시한 기준을 적용하여 일반 과제로 분류함				

연구시설·장비 등록 • 기탁번호

구분	유형	목적	보유시 원부	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	확산분	성과거양 생성 정보	성과거양 활용 지표	신품종 정보	실물
등록·기탁 번호	4	4									

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

요약

보고서 면수
89

아라미드 FRP보강 비내진상세 철근콘크리트기둥의 반복횡하중 가력실험

Lateral Cyclic Loading Experiment of Aramid FRP Reinforced Non-seismic Detailed RC Column

FRP 보강 RC기둥의 내진성능 향상에 관한 실험적 연구

Experimental Study of Seismic Performance Improvement of Pilotis RC Column Strengthened with FRP

그림1-1. 참고한 연구 결과 보고서, 논문, 특허, 공사시방서 (1)



그림1-1. 참고한 연구 결과 보고서, 논문, 특허, 공사시방서 (2)

- 기존 FRP, 강판 등을 사용한 내진보강공법을 분석한 결과 경량화/저비용 내진보강공법에 적합하지 않음.
- 엔지니어링 플라스틱을 사용한 경량화/저비용 내진보강공법 연구 및 개발의 필요성 확인.

(2) 내진보강에 적합한 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 선정을 위한 기존 재료 조사

- CRC 적층, CN복합섬유패널, XP 소재, ㈜동양이화
- Moldcast(MC Nylon)/POM/UPE/PET/PP/PVC-U 소재, ㈜한국고분자

품종			MC 나일론	POM-C Nat POM-C Bk	U-PE100
항목		단위	MC901 청색 MC907 상아색		
비중		g/㎤	1.15~1.17	1.41	0.94
인장강도		MPa(kgf/㎠)	78~96(800~980)	61(620)	31(320)
신장률		%	10~50	40	500
인장탄성률		MPa(10^3kgf/㎠)	2942~3432 (30~35)	2824(28.8)	-
압축강도	항복점	MPa(kgf/㎠)	92~103 (940~1050)	-	-
	5%변형 (10%변형)	MPa(kgf/㎠)	92~95(940~970)	103(1050)	20(200)
굴곡강도		MPa(kgf/㎠)	96~110 (980~1120)	89(910)	20(200)
굴곡탄성률		MPa(10^3kgf/㎠)	2942~3530 (30~36)	2589(26.4)	883(9)
IZOD Notched 충격치		J/m(kgf·㎝/2.54㎝)	35~50(9~13)	74(19.1)	-
록크웰 경도		R-Scale	115~125	119	52
Shore 경도		D type	84~86	78	-
융점		℃	220~223	165	-
열변형 온도	0.445MPa (4.6kgf/㎠)	℃	200~215	158	89
	1.820MPa (18.6kgf/㎠)	℃	160~200	110	54
선팽창계수		×10^5/℃	9.0	9.0	20.0
흡수율	(수중, 평형)	%	5.5~7.0	0.7	-
	(수중, 24hrs)	%	0.5~1.0	0.22	-
체적고유저항		Ω·m(Ω·m)	4.2×10^{13} (4.2×10^{15})	1×10^{12}(1×10^{14})	>10^{11}(>10^{13})
절연파괴전압 유전율 10^6Hz 유전정접 10^6Hz		kV/㎜ - -	18~22 3.7 0.02	20 3.7 0.007	- - -
연소성		-	V-2	HB	-

품종 / 항목		단위	PET	PP	PVC-U
비중		g/㎤	1.35	0.91	1.43
인장강도		MPa(kgf/㎠)	93(950)	35(360)	46(470)
신장률		%	19	30	3
인장탄성률		MPa(10^3kgf/㎠)	3447(35.15)	1177(12)	2942(30)
압축강도	항복점	MPa(kgf/㎠)	-	-	-
	5%변형 (10%변형)	MPa(kgf/㎠)	107(1100)	49(500)	76(780)
굴곡강도		MPa(kgf/㎠)	147(1500)	-	-
굴곡탄성률		MPa(10^3kgf/㎠)	3430(35)	-	-
IZOD Notched 충격치		J/m(kgf·㎝/2.54㎝)	19(5)	30(10)	9.7(2.5)
록크웰 경도		R-Scale	124	110	-
Shore 경도		D type	97	77	53
융점		℃	282	120	75
열변형 온도	0.445MPa (4.6kgf/㎠)	℃	-	105	-
	1.820MPa (18.6kgf/㎠)	℃	121	80	-
선팽창계수		×10^5/℃	5.0	11	8
흡수율	(수중, 평형)	%	-	0.01	0.2
	(수중, 24hrs)	%	0.01	0.01	-
체적고유저항		Ω·m(Ω·m)	>10^{14}(>10^{16})	>10^{14}(>10^{16})	>10^{13}(>10^{15})
절연파괴전압		kV/㎜	21.3	-	-
유전율 10^6Hz		-	3.0	-	-
유전정접 10^6Hz		-	0.0013	-	-
연소성		-	V-O	HB	V-O

그림1-2. Monocast(MC Nylon)/POM/UPE/PET/PP/PVC-U 소재 ㈜한국고분자 CN복합섬유패널(준불연)

내진설계용 엔지니어링 플라스틱의 물성

품종 / 항목		시험방법 ASTM	단위	목표	PP	PEEK	PVC	POM	U-PE	Nylon 66 (난연 grade)	PET	Mold cast (MC Nylon)	CRC 적층	G/F 보강 V/E	G/F 보강 EP Composite	XP	PBI
비중		D-792	G/㎖		0.91	1.41	1.43	1.41	0.94	1.45	1.39	1.15~1.17	1.3~1.5	1.92	1.92	1.4	0.3
인장강도		D-638	MPa		35	130	46	60	31	89	84	78~96	85	634	1270	92	160
			{kgf/㎟}	{850}	{360}	{1330}	{470}	{620}	{320}	{908}	{860}	{800~980}	{867}	{6469}	{12958}	940	1630
신장률		D-638	%	20	30	5	3	40	500	8	32	10~50	-	-	-	4	3
압축강도	5%변형(10%변형)	D-695	MPa		49	144	76	103	20	-	97	92~95	-	-	-	110	156
			{4.6kgf/㎟}		{500}	{1470}	{780}	{1050}	{200}	-	{990}	{940~970}	-	-	-	1130	1590
굴곡강도		D-790	MPa		-	227	-	89	20	-	127	96~110	83	-	-	131	220
			{kgf/㎟}			{2320}	-	{910}	{200}	-	{1300}	{980~1120}	{847}	-	-	1340	2240
IZOD Notched 충격치		D-256	J/m{kgf·cm/		39	55	9.7	74	-	74	48	35~50	25	-	-	34	46
			2.54cm}	{5.5}	{10}	{14}	{2.5}	{19.1}	-	-	{12.4}	{9~13}	-	-	-	9	12
Shorer경도		D-785	D type		77	102	80	78	-	-	93	84~86	-	-	-	113	128
융점		-	℃		120	340	75	165	-	-	252	220~223	-	-	-	-	-
열변형온도	0.445MPa	D-648	℃		105	-	-	158	89	-	194	200~215	-	-	-	-	-
	{4.6kgf / ㎟}									-			-	-	-		
	1.820MPa	D-648	℃		80	230	-	110	54	-	98	160~200	-	-	-	360	435
	{18.6kgf / ㎟}		℃														
연소성		(UL94)	-	V-2	HB	V-0	V-0	HB	-	V-0	HB	V-2	-	-	-	V-0	V-0
탄성계수			MPa					2824				3000		35000~40000	57400		5800

그림1-3. 다양한 내진설계용 엔지니어링 플라스틱 물성 조사 목록 (동양이화 자료)

- PEEK, Monocast, CN복합섬유패널 등 엔지니어링 플라스틱의 물성치 개선을 위해 섬유를 보강한 융·복합소재 등 파악.

⑶ 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 선정

- 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 물성치와 비교 대상인 강재, FRP의 물성치를 비교하여 목표 물성치를 만족하며 경량화율 35%를 만족할 수 있는 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 선정.
- 기둥 보강 목표 성능을 100kN으로 가정했을 때, 필요한 강판의 무게 대비 각 부재의 무게를 경량화율로 산정.

재료	인장강도 (MPa)	연신율(%)	목표 물성치 달성 여부	경량화율 (%)
PEEK	130	5	△	-156.9%
Monocast	78	10 ~ 50	△	-
CN복합섬유패널	1,270	-	O	80.5%
Aramid FRP	1,500~1,600	1.8	△	61.1
Steel	275 ~ 355	15 ~ 20	O	-

그림1-4. 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 평가 결과

* PEEK : 인장강도가 130MPa로 목표 인장강도에 도달하며 충격강도 역시 14kg*cm/cm로, 목표 충격강도를 만족

* Monocast : 신장률이 10~50%로, 목표 신장률 20% 만족

* CN복합섬유패널 : 인장강도 1,270MPa로 목표 인장강도 만족 및 탄성계수 57,400MPa으로 고강도 콘크리트 수준

- 다양한 참고문헌을 조사하여 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합 소재 중 목표 인장강도(85MPa)를 만족하는 것으로 판단되는 소재인 PEEK, CN복합섬유패널 소재와 목표 연신율을 만족하는 것으로 판단되는 Monocast 소재 선정.



[CN복합섬유패널(초고강도)]



[CN복합섬유패널(준불연)]

그림1-5. CN복합섬유패널 시험 성적서

2) 재료시편을 제작하여 재료실험 수행

■ 연구 내용

선정된 세 소재의 물성치 확인을 위하여 인장시편을 제작하여 서울시립대학교 구조실험동에서 인장시험을 진행함.

■ 연구 결과

각 소재가 목표 물성치(인장강도 85MPa) 달성함을 확인

⑴ PEEK 소재의 인장강도 시험 (KS M ISO 527-4 시험방법)

- PEEK 소재 인장시편 제작 및 인장시험 세팅
- 시험 결과 : 인장강도 32.9MPa, 연신율 8.1%

⑵ Monocast 소재의 인장강도 시험 (KS M ISO 527-4 시험방법)

- Monocast 소재 인장시편 제작 및 인장시험 세팅
- 시험 결과 : 인장강도 20.1MPa, 연신율 51.5%

⑶ CN복합섬유패널 소재의 인장강도 시험 (KS M ISO 527-4 시험방법)

- CN복합섬유패널 소재 인장시편 제작 및 인장시험 세팅
- 시험 결과 : 인장강도 437.6MPa, 연신율 9.6%

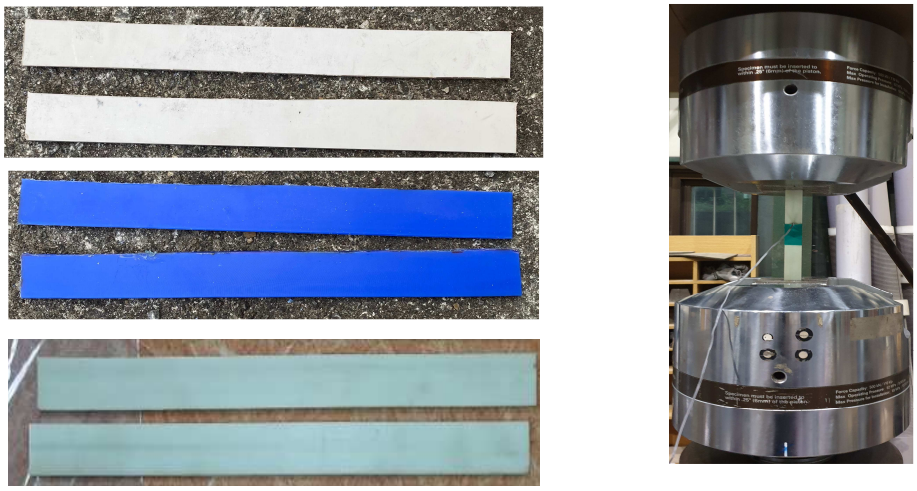


그림1-6. 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 인장시편 및 인장시험 세팅

3) 내진보강공법 소재 최적안 도출

■ 연구 내용

재료시편을 제작하여 수행한 재료실험 결과를 분석하여 세 가지 소재 (PEEK, Monocast, CN복합섬유패널) 중 적합한 물리적 특징을 가진 소재 선정

■ 연구 결과

경량화율, 인장강도, 난연성능 등 DIY용 내진보강 소재로 적절한 CN복합섬유패널 소재 선정

⑴ DIY를 위한 간편시공성, 경량화율, 소재의 물리적 성능, 난연성능에 관한 검토

소재	설명	PEEK	Monocast	CN복합섬유패널 (초고강도)	CN복합섬유패널 (준불연)
경량화율	35% 만족	X	X	O	O
인장강도	85MPa 만족	O	X	O	O
연신율	20% 만족	X	O	△	△
난연성능	V-2 만족	X	X	X	O
경제성	소재 제작 비용	X	O	△	△
종합		**4**	**3**	**2**	**1**

그림1-7. 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 검토를 통한 최적안 도출

- DIY를 위한 다양한 소재 성능에 대한 검토 결과 CN복합섬유패널 소재가 경량화율, 인장강도, 난연성능 등을 만족하는 간편시공에 적합한 소재로 판단됨.

⑵ 내진보강공법 접착제 난연성능에 대한 검토

저비용/간편시공이 가능한 필로티 기둥의 복합재난 피해저감 공법의 개발을 위하여 보강재뿐만 아니라 보강재를 기둥에 일체화시키는 접착제의 난연성능에 대한 고려 필요함.

FW: 접착제 문의 건에 대하여 (한국쓰리엠) 2020-0

보낸사람 VIP 윤정환<jhyoon129@naver.com>
받는사람 이태훈<th12021202@naver.com>, 최성모교수님<cfst62@gmail.com>, 박병진<idamy27@naver.com>

YOON JUNG HWAN
High-Rise Steel Composite Structure Research Laboratory
Department of Architectural Engineering
University of Seoul, 402, Constructural Engineering Building,
163, Seoulsiripdaero, Dongdaemungu, Seoul, Korea
Tel : +82-10-3844-7348
E-mail : jhyoon129@naver.com

-----Original Message-----
From: "DONG-HUN KI"<dki@mmm.com>
To: "jhyoon129@naver.com"<jhyoon129@naver.com>;
Cc:
Sent: 2020-08-28 (금) 09:29:46 (GMT+09:00)
Subject: 접착제 문의 건에 대하여 (한국쓰리엠)

안녕하세요 한국쓰리엠 기동훈 입니다.

유선상 연락이 안되어 웹상으로 문의 하신 구조용 접착제 건에 대해서 우선 메일상으로 답변 드립니다. 참조 부탁드립니다.

1. Plate 형태의 엔프라(엔지니어링 플라스틱)의 한쪽 면에 양면테이프처럼 접착제를 구현하는게 가능한지? 여쭤보는 이유는 현장에서 콘크리트 기둥에 엔프라를 부착할때 양면테이프처럼 한쪽 면을 씌어서 간편시공 및 부착하고자 함입니다.
   - 구조용 접착제의 경우 반응 형이기 때문에 미리 도포 하여 사용하는 것은 불가합니다.
   - 다만 구조용 테이프를 먼저 엔프라에 접착한 후 콘크리트 면에 프라이머를 도포하여 현장에서 작업하는 것은 가능합니다.



RE: 3M 접착제 추가 문의 - (서울시립대 초고층강합성구조연구실)

보낸사람 VIP DONG-HUN KI<dki@mmm.com>
받는사람 윤정환<jhyoon129@naver.com>
참조 이태훈<th12021202@naver.com>

안녕하세요 윤정환 연구원님,
문의 하신 내용 아래 답변 참조 부탁드립니다.

1. 실란트 접착제의 경우 대부분 흐르지 않는 (non-sag) 성질을 가지고 있어 표면에 pore가 있는 콘크리트 재질에 직접 접착용도로 사용하기는 어렵습니다. (일반적으로 방수 용도로 사용)
2. RC 기둥에 직접 붙이신다면 실란트는 유효하지 않다고 생각됩니다. 오히려 구조용 접착제가 낫다고 생각 됩니다.

구체적인 도면이나 concept 알려 주시면 내부적으로 좀 더 검토 해 보겠습니다.



Sealant : Low wetting on porous concrete surface

무천공 보강 공법 비교

	Anchor	Adhesive	Sealant	Tape
시공 (workability and fast work)	5	5	5	4 (Need primer)
내진 설계 (earthquake-proof)	5	5	3 (Low wet, low strength)	5
친환경(Environmental friendly)	3	2 (Strong odor)	3	5

그림1-8. 적절한 난연성능을 발휘하는 접착제 소재를 찾기 위해 3M™과 협의(1)



RE: RE: 접착제 문의 건에 대하여 (한국쓰리엠) – 서울시립대학교 측 추가문의 2020-09-02

보낸사람 VIP DONG-HUN KI<dki@mmm.com>
받는사람 윤정환<jhyoon129@naver.com>
참조 이태훈<th12021202@naver.com>

일반 첨부파일 4개 (940KB) 모두 저장 파일 저장 시 바이러스 검사 자동 수행

420 APRIL 2019.pdf 295KB
480FR_TDS.pdf 235KB
UL Certification.pdf 39KB
500 Series PU Products.pdf 372KB

안녕하세요 윤정환 연구원님,

내부 확인 결과 Flexible 우레탄 및 실란트 에폭시 접착제 등이 난연 등급을 가지고 있는 것으로 확인 되었습니다.

1. 에폭시 관련 난연 등급은 첨부 UL certificate 참조 부탁드립니다. 관련 제품중 DP420에 대한 기술 데이터 첨부 하였습니다.
2. 우레탄 실란트의 경우 난연 등급 certi는 가지고 있지 않지만 난연 특성을 가지는 제품입니다.
3. 실리콘 실란트의 경우 난연 V0 등급을 가지는 468FR 제품 참조 부탁드립니다.
4. PUR의 경우 난연 특성을 가지는 제품은 없습니다.

추가로 시멘트면에 접착제를 적용할 경우 우선 표면상태가 pore가 있는지 없는 지 확인이 필요하며(시멘트 안쪽으로 스며 들어가야 interlocking으로 인해 접착력이 발휘 될 수 있습니다. 그렇지 않을 경우 시멘트 표면에서 시멘트층이 쉽게 박리될수 있습니다. 또한 구조용 접착제의 경우 경화 시간이 필요하기 때문에 경화되는 동안 무엇인가로 고정이 필요하고, 여의치 않을 경우 테이프와(조기 고정용도) 같이 사용할 수 있겠습니다.

감사합니다.

From: 윤정환 <jhyoon129@naver.com>
Sent: Monday, August 31, 2020 11:56 AM
To: DONG-HUN KI <dki@mmm.com>
Cc: 이태훈 <th12021202@naver.com>
Subject: [EXTERNAL] RE: 접착제 문의 건에 대하여 (한국쓰리엠) - 서울시립대학교 측 추가문의

3M 접착제 실험체 관련 추가 문의 – (서울시립대 초고층강합성구조연구실)

보낸사람 VIP 윤정환<jhyoon129@naver.com>
받는사람 <dki@mmm.com>
참조 이태훈<th12021202@naver.com>, 최성모교수님<cfst62@gmail.com>

일반 첨부파일 4개 (3MB) 모두 저장 파일 저장 시 바이러스 검사 자동 수행

실험 컨셉.jpg 50KB
실험체 리스트_ver.3_200917_전단.pdf 95KB
실험체 리스트_ver.3_200917_휨.pdf 97KB
Flexible Epoxies.jpg 3MB

안녕하세요 기동훈 연구원님 서울시립대 최성모교수님연구실 석사과정 윤정환입니다.

저희가 문의드렸던 사항에 대하여 친절하게 답변해주셔서 감사합니다!

말씀해주신 내용 토대로 구조용 접착제를 찾아본 결과 Flexible Epoxy계열의
1) DP100 Plus (Clear)
2) DP125 (Gray)
3) DP190 (Translucent)
세 제품을 확인해 보았습니다.

저희 실험의 Concept의 경우, RC 콘크리트 구조물을 제작 후 표면에 3M 접착제를 이용하여 엔지니어링 플라스틱을 접착한 후, 철물을 이용해서 상단에서 가력하는 실험을 진행하려고 합니다(간략하게 단계 표현한 사진 첨부해드립니다)

실험하고자 하는 내용을 정리한 PDF 파일 보내드리니 참고부탁드립니다.

감사합니다!

YOON JUNG HWAN
High-Rise Steel-Composite Structure Research Laboratory
Department of Architectural Engineering
University of Seoul, 402, Constructural Engineering Building,
163, Seoulsiripdaero, Dongdaemungu, Seoul, Korea
Tel : +82-10-3844-7348

그림1-8. 적절한 난연성능을 발휘하는 접착제 소재를 찾기 위해 3M™과 협의 (2)

■ 연구 내용

PEEK, Monocast, CN복합섬유패널 소재의 해석적 재료모델을 제작하여 유한요소해석 수행 후 인장시험 데이터와 비교하여 모델의 정확성 검증

■ 연구 결과

유한요소해석 모델을 구축하고 물성치 확인

(1) PEEK 소재 유한요소해석

- PEEK 소재의 인장시험 데이터를 토대로 탄성계수, 인장강도, 연신율 데이터를 응력-변형률 그래프에서 추출함.
- 유한요소해석 프로그램을 이용하여 KS M ISO 527-4 시편을 모델링 한 후 PEEK 소재의 물성치를 입

력하여 해석 진행함.

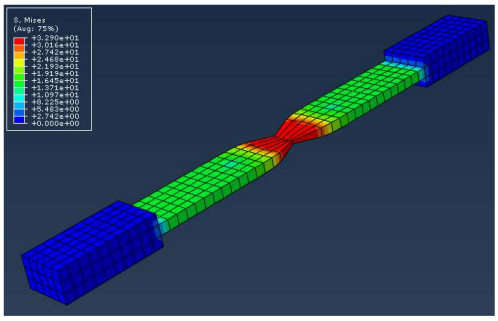


그림1-9. PEEK 소재 유한요소해석 결과

- 유한요소해석 결과 최대 응력 32.9MPa로 인장시편 시험 결과와 유사함.
- 유한요소해석 결과 하중-변위 그래프를 응력-변형률 그래프로 변환 후 인장시험 데이터와 비교하여 모델의 정확성 검증 예정임.

⑵ Monocast 소재 유한요소해석

- Monocast 소재의 인장시험 데이터를 토대로 탄성계수, 인장강도, 연신율 데이터를 응력-변형률 그래프에서 추출함.
- 유한요소해석 프로그램을 이용하여 KS M ISO 527-4 시편을 모델링한 후 Monocast 소재의 물성치를 입력하여 해석 진행함.

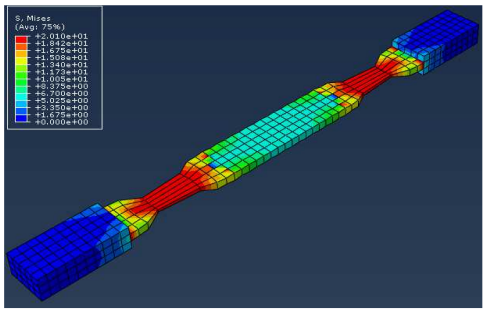


그림1-10. Monocast 소재
유한요소해석결과

- 유한요소해석 결과 최대 응력 20.1MPa로 인장시편 시험 결과와 유사함.
- 유한요소해석 결과 하중-변위 그래프를 응력-변형률 그래프로 변환 후 인장시험 데이터와 비교하여 모델의 정확성 검증 예정임.

⑶ CN복합섬유패널 소재 유한요소해석

- CN복합섬유패널 소재의 인장시험 데이터를 토대로 탄성계수, 인장강도, 연신율 데이터를 응력-변형률 그래프에서 추출함.
- 유한요소해석 프로그램을 이용하여 KS M ISO 527-4 시편을 모델링한 후 CN복합섬유패널 소재의 물성치를 입력하여 해석 진행함.

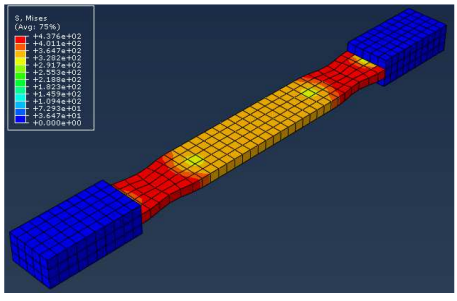


그림1-11. CN복합섬유패널 소재
유한요소해석 결과

- 유한요소해석 결과 최대 응력 437MPa로 인장시편 시험 결과와 유사함.
- 유한요소해석 결과 하중-변위 그래프를 응력-변형률 그래프로 변환 후 인장시험 데이터와 비교하여 모델의 정확성 검증 예정임.

2. 간편시공을 위한 DIY용 내진보강형식과 공법 개발

1) 해외의 문헌 조사 및 정보 수집

■ 연구 내용

해외 개발 내진보강 특허 사례조사 및 국내 간편시공 내진보강 특허 사례 조사

■ 연구 결과

해외 내진보강 특허 정보 및 국내 간편시공 내진보강 특허 정보 수집

(1) 해외 내진보강 특허 정보 수집

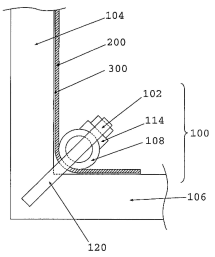
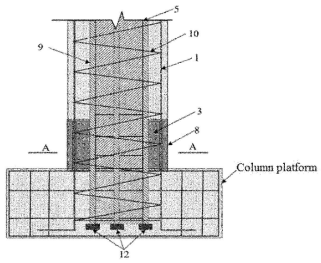
특허		
특허명	Anchorage System for Structural Reinforcement of Fiber Reinfoced Plastics Materials and the Like, David T. Lau Nicolas Londono Stylianos Hiotakis, 2007	Steel-fiber Composite Material Concrete Combined Column and Post-earthquake Repair Method Theory, Southeast University, 2019
국가	미국	미국
특징	FRP, 강철 또는 다른 금속/비금속 재료를 보강 부재의 표면에 도포/부착한 후 구조재 표면과 접착된 보강 시트, 플레이트 또는 쉘의 일체화를 위한 Anchorage System	지진 발생 이후 피해를 입은 철근콘크리트 기둥에 강관 및 강섬유 FRP를 사용하여 외부 보강
장점	접착제 등을 이용하는 습식공법에 비해 시공기간이 짧음	일반적인 내진보강공법 대비 높은 내진성능 발휘 가능
단점	콘크리트 천공 등 일반인이 작업하기 어려운 시공난이도	강관 설치 및 강섬유 FRP 도포 시 전문적인 시공 인력 및 장비의 필수

그림2-1. 해외 내진보강공법 관련 특허 정보 수집

- 해외 내진보강 관련 특허 사례 조사
- 시공을 위한 전문적인 장비가 필요하고 일반인이 시공하기엔 난이도가 높아 DIY용 내진보강공법으로 적합하지 않음

⑵ 국내 간편 시공 내진보강 특허 정보 수집

- 국내 출원 및 등록 완료된 간편시공 내진보강 사례 조사

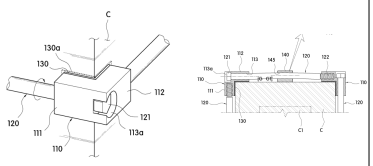
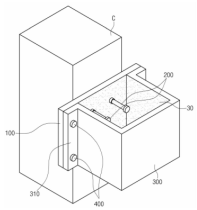
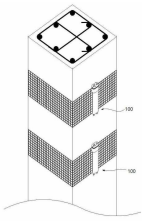
특허			
특허명	**콘크리트 구조물 보강장치 및 이를 이용한 보강방법**, 아리터, 2017	**건물 기둥의 내진보강장치,** 창원대학교 산학협력단, 2018	**비부착 체결구조를 갖는 철근콘크리트 기둥의 내진보강 기술**, 경기대학교 산학협력단, 2020
특징	강봉 및 특정한 형상을 가지는 코너비드로 구성	특정한 형태를 가지는 내진보강 부재를 기둥에 부착	체결요소가 존재하지 않음
장점	구조물의 연성 및 전단보강이 가능하고 콘크리트 구조물 구속 효과 및 압축강도 증진 가능	앵커 부재로 프레임을 기존건물 기둥에 고정하여 횡압력 보강 가능	긴장 및 구속이 가능한 체결부재(섬유시트 또는 메탈라스)를 사용하여 시공성 향상이 가능하며 내력보강 효과의 장기적 지속 가능
단점	시공방법이 복잡하고 연결부 부속품의 과다	앵커를 고정하기 위한 콘크리트 천공 등 높은 시공난이도	체결부의 신뢰성 있는 시공을 위해 전문적인 인력 필요

그림2-2. 국내 간편 내진보강공법 관련 특허 정보 수집

- 기둥 크기가 다양한 필로티 기둥에 최적화하여 적용하기 어렵기 때문에 DIY용 내진보강공법으로 적합하지 않음.

2) 유사한 재료들을 다룬 내진보강시스템에 대한 실험논문 분석

■ 연구 내용

유사한 재료를 다룬 간편시공 내진보강시스템에 대한 논문을 분석하여 엔지니어링 플라스틱을 적용한 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식 및 공법의 개발에 응용

■ 연구 결과

유사한 재료들을 다룬 내진보강 시스템에 대한 실험 논문 분석

⑴ 아라미드 FRP와 폴리에스테르 FRP를 사용한 내진보강방법

- FRP 보강 RC 기둥의 내진성능 향상에 관한 실험적 연구(2019), 최정진, 이태훈, 박병진, 노광근, 최성모, 한국복합신소재구조학회 논문집
- 아라미드 FRP 및 폴리에스테르 FRP를 철근콘크리트 기둥에 보강한 시스템으로 철근콘크리트 기둥의 전단강도 및 연성능력 보강 효과 확인
- 아라미드 FRP보강 비내진상세 철근콘크리트기둥의 반복횡하중 가력실험(2019), 이태훈, 김선희, 노광근, 최성모, 양일승, 한국복합신소재구조학회 논문집
- 아라미드 FRP를 철근콘크리트 기둥에 보강한 시스템으로 필로티 건축물의 기둥을 상정한 비내진상세 철근콘크리트 기둥의 전단강도 및 내진성능 보강 효과 확인

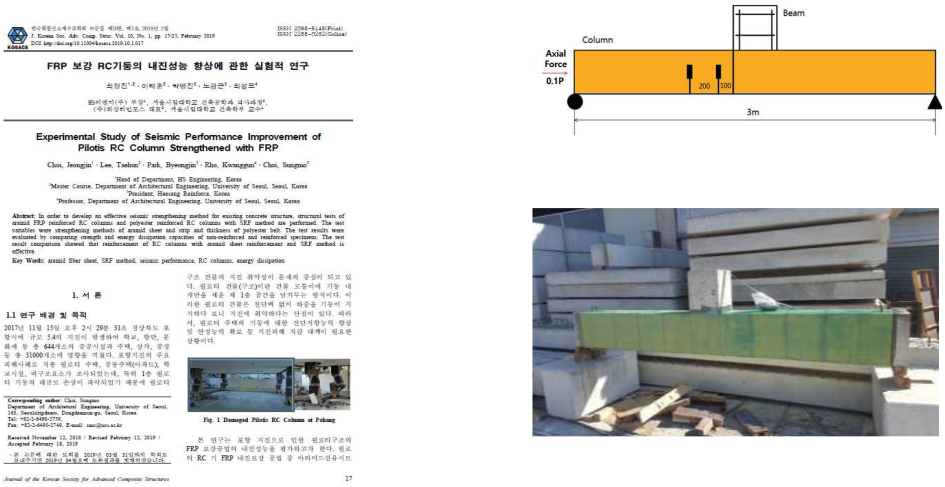


그림2-3. 아라미드 FRP 및 폴리에스테르 FRP 사용 내진보강 시스템에 대한 실험 논문



그림2-4. 아라미드 FRP 사용 내진보강 시스템에 대한 실험 논문

⑵ 유리섬유 FRP와 알루미늄 판재를 사용한 내진보강방법

- 긴급시공이 가능한 FRP 복합재료 보강재로 보강된 기둥의 내진성능평가(2014), 김진섭, 서현수, 임정희, 권민호, 한국콘크리트학회논문집
- 체결부를 가지는 보강재가 연성능력을 증가시키며 유리섬유만으로 구성된 보강재는 내력 증가가 크지 않았지만, 알루미늄과 유리섬유를 혼합한 보강재는 내력 증가 효과 또한 기대 가능



그림2-5. 유리섬유 FRP와 알루미늄 판재 사용 내진보강 시스템에 대한 실험 논문

⑶ 탄소섬유 FRP를 사용한 내진보강방법

- 지진취약도 곡선 기반 비내진 철근콘크리트 교각의 CFRP 재킷 보강 효과(2020), 박태영, 이상열, 안광식, 한국복합신소재구조학회논문집
- CFRP 보강 재킷의 보강 효과가 전체 한계 손상 상태에서 평균 9% 보강 효과를 가짐

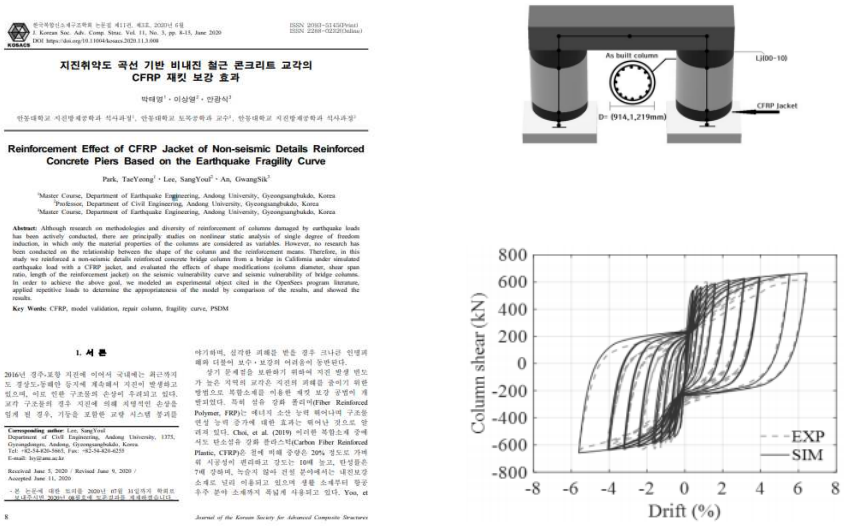


그림2-6. 유리섬유 FRP와 알루미늄 판재 사용 내진보강 시스템에 대한 실험 논문

- 단면사이즈가 다양한 다가구 필로티 건축물 기둥에 적합하지 않음

3) 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발

■ 연구 내용

철근콘크리트 기둥의 전단 내력, 휨 내력 및 연성능력을 증가시켜 내진성능을 향상시킬 수 있는 간편시공 DIY용 내진보강 형식 및 공법에 대한 다양한 아이디어를 제안하고, 평가를 통해 공법개발을 위한 적절한 내진보강 형식 선정

■ 연구 결과

다양한 DIY용 내진보강 형식과 공법 Idea 제안 및 평가

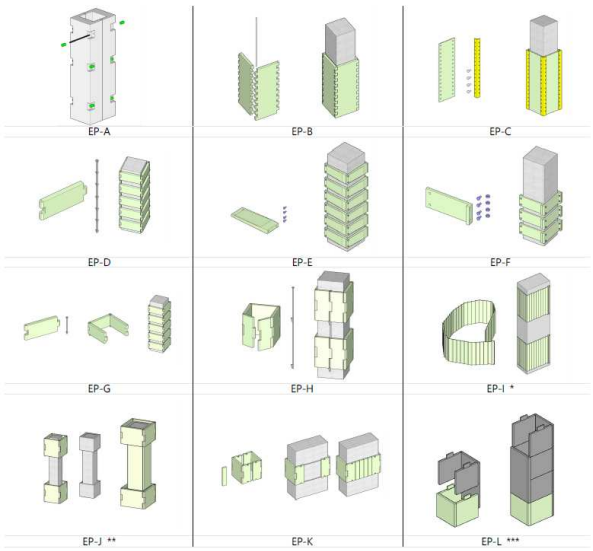


그림2-7. 다양한 보강 Idea 제안

⑴ +자형 끼움 보강형 판재

- 끼움 체결 형태를 가지는 +자형 상부 보강재와 끼움 체결부가 삽입될 하부 보강재를 연결하고, 보강판과 철근콘크리트 기둥을 접착제를 사용하여 부착해 일체화시키는 공법
- 상부 보강재와 하부 보강재가 기둥 면에서 접합되며, 기둥 외부에 보강재를 간단하게 적층하며 결합시켜 시공한 후 내부에 접착제를 필링하여 기둥과 일체화
- 상부 및 하부 보강재를 일체화시키기 위해 별도의 앵커 또는 코너비드가 필요하지 않아 간편하게 시공 가능하며 적층 후 기둥과 보강재 사이에 접착제를 필링하기 때문에 접착제를 시공하기 위한 별도의 공정이 없어 시공 기간이 단축될 수 있는 장점 존재

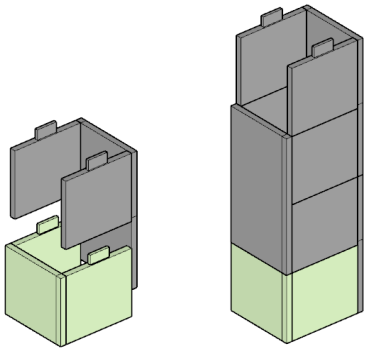


그림2-8. +자형 끼움 보강형 판재

⑵ 모서리 체결형 판재

- ㄱ자형 판재를 기둥 주위에 둘러 배치하고 철근콘크리트 기둥의 면에 접착제를 도포한 후 배치한 ㄱ자형 보강재를 기둥과 일체화시킨 후 보강재의 각 면을 볼트로 고정하는 방식
- 보강재의 형태가 단순하여 일반인도 직관적으로 쉽게 보강공법을 이해할 수 있으며 시공 단계 또한 간단
- 기둥 면에 접착제를 직접 도포해야 하여 필링 방법보다 시공 시간이 오래 걸리는 단점 존재

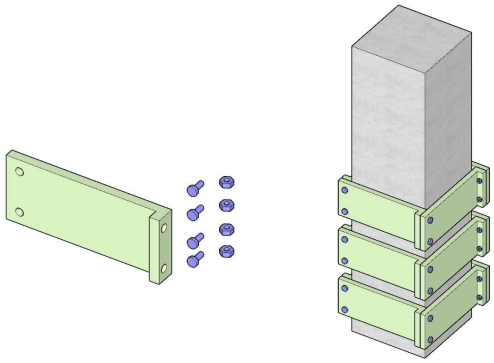


그림2-9. 모서리 체결형 판재

⑶ 끼움판, 채움판 및 덧댐판을 이용한 내진보강

- 일정 폭마다 홈이 있는 끼움판을 기둥의 네 모서리에 접착제를 이용해 부착한 후 덧댐판을 부착되어있는 끼움판의 가이드를 따라 기둥에 부착하고 전단저항 역할을 하는 채움판을 홈이 파여있는 끼움판과 덧댐판 사이에 부착하는 공법
- 부재의 개수가 많고 여러 단계를 거쳐야 하지만 코너에 부착되는 끼움판을 따라 채움판 및 덧댐판을 설치하기 때문에 시공 난이도가 매우 낮은 장점 존재

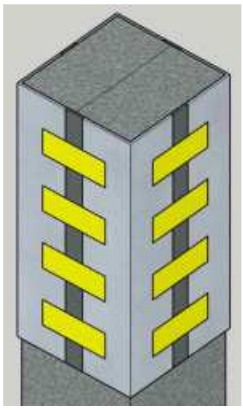


그림2-10. 끼움판, 채움판 및 덧댐판을 이용한 내진보강

- Idea 중 상세한 형식과 공법을 제안한 세 공법에 대한 평가를 진행하여 +자형 끼움 보강형 판재 형식을 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법안으로 선정
- +자형 끼움 보강형 판재 형식 렌더링 동영상: https://youtu.be/ny1Z8lHRpH8

Idea	+자형 끼움 보강형 판재	모서리 체결형 판재	끼움판, 채움판 및 덧댐판을 이용한 내진보강
보강 성능	5	4	3
시공성	5	4	2
안정성	5	3	4
심미성	3	4	2
총점	18	15	11
종합	1	2	3

그림2-11. DIY용 내진보강 형식의 평가

(4) Mock-up test를 통한 제안된 공법에 대한 고찰

- 제안된 내진보강공법의 접착제를 이용하여 철근콘크리트 기둥과 일체화시키는 내진보강공법의 시공성을 확인하기 위하여 Mock-up test를 진행 파악하기 위하여 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 부착 Mock-up test 진행
- 철근콘크리트 기둥에 접착제를 도포 후 다양한 크기의 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 판재를 부착



그림2-12. 다양한 크기의 판재를 부착하는 Mock-up test 진행

- Mock-up test 진행 결과 기존 내진보강에 사용되고 있는 강재보다 경량화되어 성인 남성이 각 보강 부재를 기둥에 위치시키는 것이 어렵지 않음
- 두께가 있는 보강 부재를 접착제를 도포하여 직접 기둥에 부착할 때, 보강재의 무게로 인하여 접착제를 기둥 면 및 보강재 면에 모두 도포하였음에도 불구하고 미끄러지거나 중력에 의해 떨어져 접착력을 크게 기대하지 못할 수 있는 경우가 발생
- 따라서 보강재를 다가구 주택 필로티 기둥에 일체화시킬 수 있는 접착제 충전형 시공법을 채택

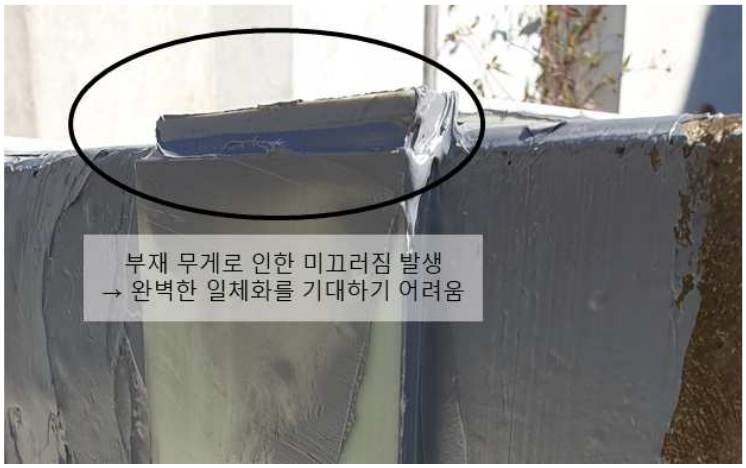


그림2-13. 접착제 도포 후 보강재 부착 시 무게로 인한 처짐 발생

⑸ 엔지니어링 플라스틱 내진/내화보강공법의 보강 비용의 우수성 확인

- 예시 건물의 기존 내진/내화 보강 및 엔지니어링 플라스틱 내진/내화 보강 견적서를 비교하여 비용의 우수성 확인함.
- 기존 내진보강공법인 강판보강 내진보강공사 견적은 5,200만원, 제안된 엔지니어링 플라스틱보강 내진보강공사 견적은 770만원으로 약 85.2%의 비용 절감 효과 기대 가능함.

OO 캐슬 내진 안전진단 및 보강공사 견적서

수 신						
용 역 명	OO캐슬 내진 안전진단 용역 및 보강공사					
견적내용	1. 정밀안전진단 2. 내진성능평가 3. 보강설계 4. 내진보강공사					
용 역 비	일금 오천이백만원정(₩52,000,000) VAT 별도					
내진안전진단 용역비 내 역	구 분	항 목	내 용			
	직접인건비	현장조사 및 보고서 작성	기술사	4인×	369,831	1,479,324
			고급기술자	14인×	235,682	3,299,548
			초급기술자	14인×	170,615	2,389,610
		소 계				7,168,482
	제 경 비		(직접인건비)의 110%			7,885,330
	기 술 료		(직접인건비 + 제경비)의 20 %			3,010,962
	직접경비		(직접인건비 + 제경비)의 6 %			902,889
	소 계					18,967,663
보강 공사비 내역	직접공사비	철판보강	4,000,000원 × 8개소 =			32,000,000
단수 정리						-967,663
합 계						50,000,000
용역기간	협의에 의함					
제 출 일	2020년 10월 16일					
(주) 세진에스씨엠 서울시 강남구 논현동 211-11 역수빌딩 2층 TEL.02-514-6397, FAX.02-517-4230 대표이사 / 구조기술사 [illegible]						

[기존 내진보강 공법]

OO 캐슬 내진 안전진단 및 보강공사 견적서

수 신						
용 역 명	OO캐슬 내진 안전진단 용역 및 보강공사					
견적내용	1. 정밀안전진단 2. 내진성능평가 3. 보강설계 4. 내진보강공사					
용 역 비	일금 오천이백만원정(₩52,000,000) VAT 별도					
내진안전진단 용역비 내 역	구 분	항 목	내 용			
	직접인건비	현장조사 및 보고서 작성	초급기술자	2인×5일×	170,615	1,706,150
		소 계				1,706,150
	제 경 비		(직접인건비)의 110%			1,876,765
	직접경비		(직접인건비 + 제경비)의 6 %			214,975
	소 계					3,797,890
보강 공사비 내역	직접공사비	엔지니어링 플라스틱 보강	500,000원 × 8개소 =			4,000,000
단수 정리						-97,890
합 계						7,700,000
용역기간	협의에 의함					
제 출 일	2020년 10월 16일					

[엔지니어링 플라스틱 내진보강 공법]

그림2-14. 기존 내진보강 공법과 엔지니어링 플라스틱 내화보강 공법 견적 비교

- 기존 내화보강공법인 불연아라미드공법 기둥보강공사 견적은 3,900만원, 제안된 엔지니어링 플라스틱 공법 기둥보강공사 견적은 3,200만원으로 약 18%의 비용 절감 효과 기대 가능함.
- 제안된 엔지니어링 플라스틱 공법은 숙련된 전문가만이 공사가 가능한 것이 아니기 때문에 **인건비**와 **기술료**가 절감됨.

견 적 서

2020년 10월 15일

서울시립대학교 산학협력단 귀하

HEESANG (주)희상리인포스
HEESANG REINFORCE
대 표 이 사 노 광 근
서울시 강남구 밤고개로1길 10, 824(수서동, 현대벤처빌)
Tel : 02)518-1815 Fax : 02)518-1816

■ 공 사 명 : 다세대주택 불연아라미드공법 기둥보강공사

■ 공사금액 : 일금 삼 천 구 백 구 십 만 원 정 (₩ 39,900,000)

기 호	품 명	단 위	수 량	단 가	금 액	기 타
[직접공사비]						
	순 공사비	식	1	38,046,154	38,046,154	
[간접공사비]						
	경비 및 일반관리비, 이윤 등	%	5		1,902,308	
[단수정리]						
	(-) 단수정리	식	1		- 48,461	
합	계				39,900,000	
NOTE						
	1. 부가세 별도					
	2. 순수 불연아라미드공법 공사비					

[기존 내화보강 공법]

견 적 서

2020년 10월 15일

서울시립대학교 산학협력단 귀하

HEESANG (주)희상리인포스
HEESANG REINFORCE
대 표 이 사 노 광 근
서울시 강남구 밤고개로1길 10, 824(수서동, 현대벤처빌)
Tel : 02)518-1815 Fax : 02)518-1816

■ 공 사 명 : 다세대주택 엔지니어링플라스틱공법 기둥보강공사

■ 공사금액 : 일금 삼 천 이 백 만 원 정 (₩ 32,000,000)

기 호	품 명	단 위	수 량	단 가	금 액	기 타
[직접공사비]						
	순 공사비	식	1	30,492,000	30,492,000	
[간접공사비]						
	경비 및 일반관리비, 이윤 등	%	5		1,524,600	
[단수정리]						
	(-) 단수정리	식	1		- 16,600	
합	계				32,000,000	
NOTE						
	1. 부가세 별도					
	2. 순수 엔지니어링플라스틱공법 보강 공사비					

[엔지니어링 플라스틱 내화보강 공법]

그림2-15. 기존 내화보강 공법과 엔지니어링 플라스틱 내화보강 공법 견적 비교

4) 개발된 엔지니어링 플라스틱 내진보강시스템의 지진 시 거동 메커니즘 분석 및 내진성능 파악

■ 연구 내용

간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법개발을 통하여 제안된 내진보강공법의 실제 지진 발생 시 거동 메커니즘을 분석하고 내진성능을 파악하기 위하여 엔지니어링 플라스틱 및 융복합소재의 전단 및 휨

보강 성능 확인 실험을 진행

■ 연구 결과

엔지니어링 플라스틱 보강 결과 약 15~18% 전단 보강 효과 및 약 10~24% 휨 보강 효과 확인

(1) 철근콘크리트의 엔지니어링 플라스틱 전단 보강 성능 확인 실험을 통한 거동 메커니즘 분석

- 변수: 보강 소재, 보강 형태
- 실험체 수량: 3ea

실험체 이름	보강 소재	보강 목표	보강 형태
SN	-	-	-
SEP	Monocast	전단 보강	Plate type
SCP	CN복합섬유패널		Plate type

그림2-16. 전단 보강 일람표

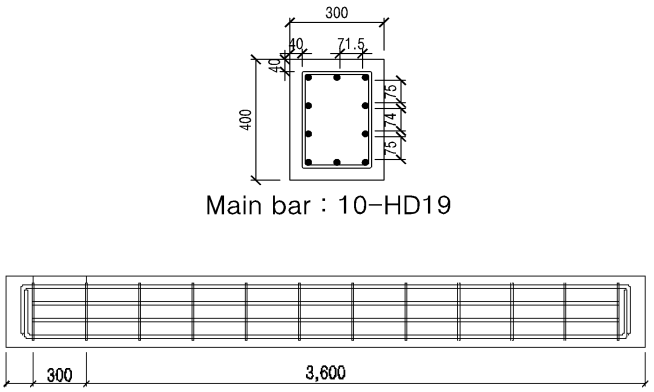


그림2-17. 전단 보강 실험체의 단면 및 철근 배치



그림2-18. 실험체 제작 사진

- Monocast Plate type 보강 실험체 무보강 실험체 대비 15% 전단 내력 증가함.
- CN복합섬유패널 type 보강 실험체 무보강 실험체 대비 18% 전단 내력 증가함.
- 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 철근콘크리트 기둥 전단 보강이 효과적임을 확인함.

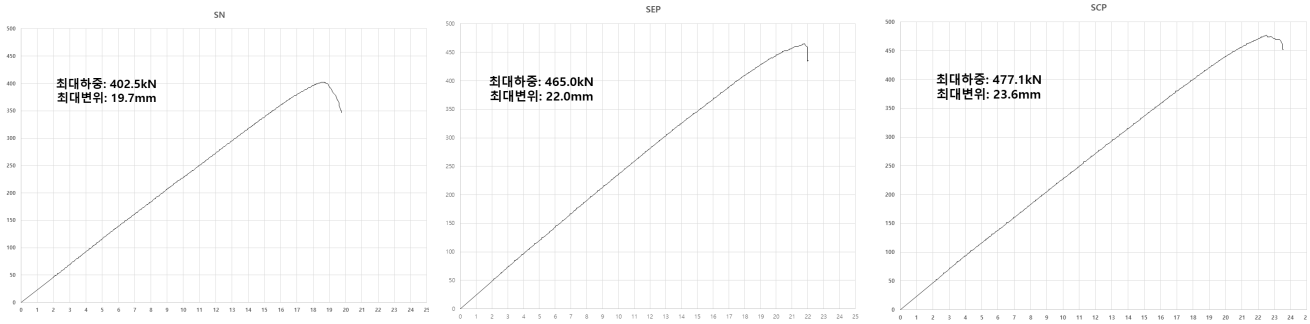


그림2-19. 실험체 하중-변위 그래프

(2) 철근콘크리트의 엔지니어링 플라스틱 휨 보강 성능 확인 실험을 통한 거동 메커니즘 분석

- 변수: 보강 소재, 보강 형태
- 실험체 수량: 4ea

실험체 이름	보강 소재	보강 목표	보강 형태
BN	–	–	–
BEF	Monocast	휨 보강	전체 보강
BEH			일부 보강
BCF	CN복합섬유패널		전체 보강

그림2-20. 휨 보강 일람표

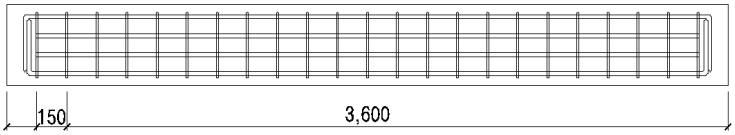
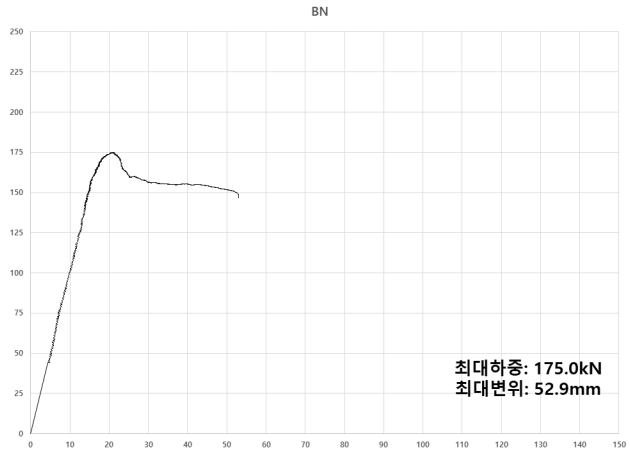


그림2-21. 휨 보강 실험체의 단면 및 철근 배치
(단면 전단 보강 실험체와 동일)



그림2-22. 실험체 제작 사진

- Monocast 전체 보강 실험체 무보강 실험체 대비 12% 휨 내력 증가함.
- Monocast 일부 보강 실험체 무보강 실험체 대비 10% 휨 내력 증가함.
- CN복합섬유패널 type 보강 실험체 무보강 실험체 대비 24% 휨 내력 증가함.
- 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 철근콘크리트 기둥 휨 보강이 효과적임을 확인함.





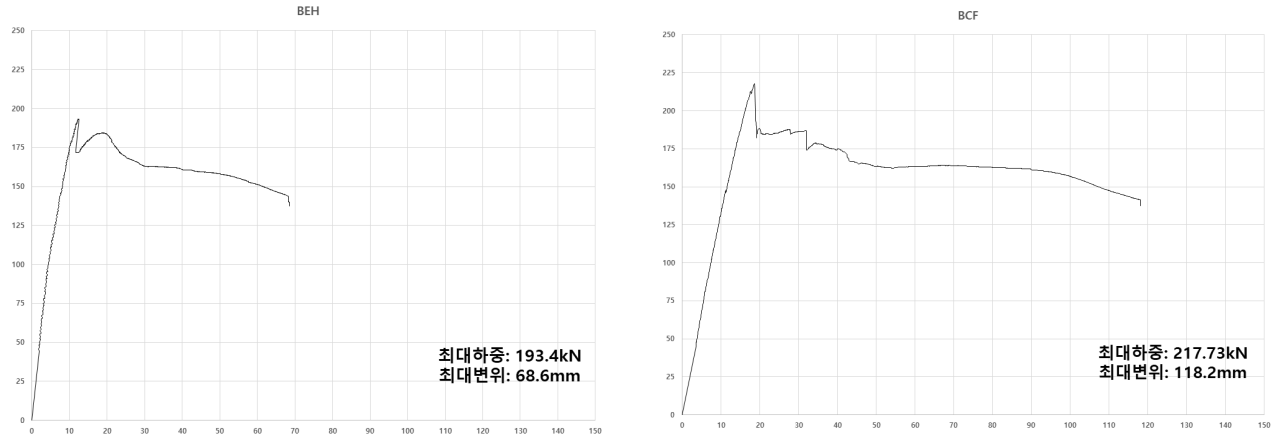


그림2-23. 실험체 하중-변위 그래프

5) 내진보강설계와 관련 설계 지침 참고

■ 연구 내용

한국복합신소재구조학회에서 발간된 “복합신소재시스템에 의한 철근콘크리트구조물의 보강설계 및 시공지침서”의 엔지니어링 플라스틱을 이용한 내진보강 시 유의해야 할 사항을 참고하여 점검

■ 연구 결과

복합 신소재 시스템에 의한 철근콘크리트 구조물의 보강설계 및 시공지침서 내 콘크리트 표면 처리 및 접착 시방 참고

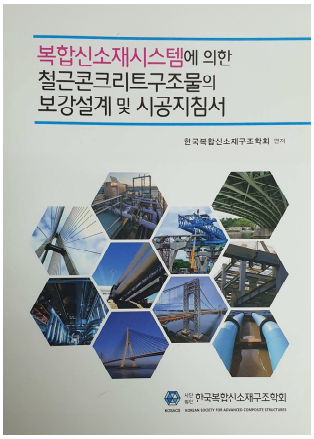


그림2-24. 복합신소재시스템에 의한 철근콘크리트구조물의 보강설계 및 시공지침서

- 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 철근콘크리트 부착 시 표면처리 및 접착에 대한 중요성 확인함.

(1) 콘크리트 표면처리 – 휨과 전단 보강을 위한 표면처리

- 라이탄스, 먼지, 기름, 경화분, 기존코팅과 FRP의 접착에 해가 될 수 있는 기타 여러 재료들은 제거되어야 함.
- 접착 시 방해가 될 수 있는 어떠한 부가재료도 표면에 부착되지 않도록 내진보강공법 시공 전에 방지하고 적절한 시간 내에 블라스트 표면처리를 해야 함.
- 콘크리트 표면은 충분한 접착을 감당할 수 있도록 인장강도와 전단강도를 가져야 함.

(2) 내진보강공법의 접착

- 프라이머는 보강 재료가 붙여질 콘크리트 표면 전 장소에 칠해져야 함.
- 프라이머는 도달 범위의 정확한 비율로 처리 표면상에 균일하게 칠해져야 함.

- 퍼티는 다른 재료를 시공하기에 앞서 공극과 완만한 표면의 불연속을 채우고 평탄화하는 데에 이용되어야 함.
- 보강소재의 접착 후 경화시간은 시공(채움, 페인팅 기타) 후 최소 24시간 이상이어야 함.
- 온도는 최소 사용온도 이상을 유지해야 하고 표면에서의 응축이 전 기간 동안 방지되어야 함.

6) 전문가 자문 실시

진행된 연구 내용을 외부전문가(한국복합신소재구조학회 전 회장 지효선 교수, 한국복합신소재구조학회 부회장 박신전 박사, 심윤구 ㈜청원화학 사장)에게 검토 요청하여 전문가 자문을 실시

3. 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강 목표성능설정과 보강량 제시

1) 비내진 상세 건축구조물 사례조사

■ 연구 내용

지진에 취약한 비내진 상세를 가지는 필로티 건축물의 내진보강에 대한 기존 연구에서 실제 존재하는 필로티형 다가구 주택들의 사례들을 확인하고 어떠한 요인이 필로티 건물이 지진에 취약하게 만드는지 확인

■ 연구 결과

코어 전단벽의 배치에 따라 편심률이 높은 건물이 지진 민감도가 큼

(1) 필로티 등 지진 취약 건축물 지진방재 대책 마련을 위한 연구, 대한건축학회 (2018)

- 현장조사를 통해 포항지진의 강진 시간이 비교적 짧았음에도 불구하고 필로티 건축물들의 막대한 피해가 발생한 이유를 확인
- 비정상적으로 큰 피복 두께, 크로스 타이의 누락 등 내진 상세를 적용하지 않았으며 수직/수평 비정형성이 큰 건물이 취약함을 확인



그림3-1. 필로티 구조물의 피해사례 및 원인

⑵ 필로티 구조물의 내진성능 상세평가 및 보강방안, 서울주택도시공사 (2019)

- 민간 필로티형 다가구 주택 건물의 사례조사를 진행하여 각 건물들을 기둥-벽체비 및 코어 편심률을 기준으로 1차 분류하고, 그 후 벽체 및 기둥의 내력비를 변수로 하여 2차 분류를 진행
- 지진 취약성이 매우 높은 코어 편심률이 높고 벽체 면적 대비 기둥 면적이 높은 건물들을 우선 보강 대상 건물로 선정

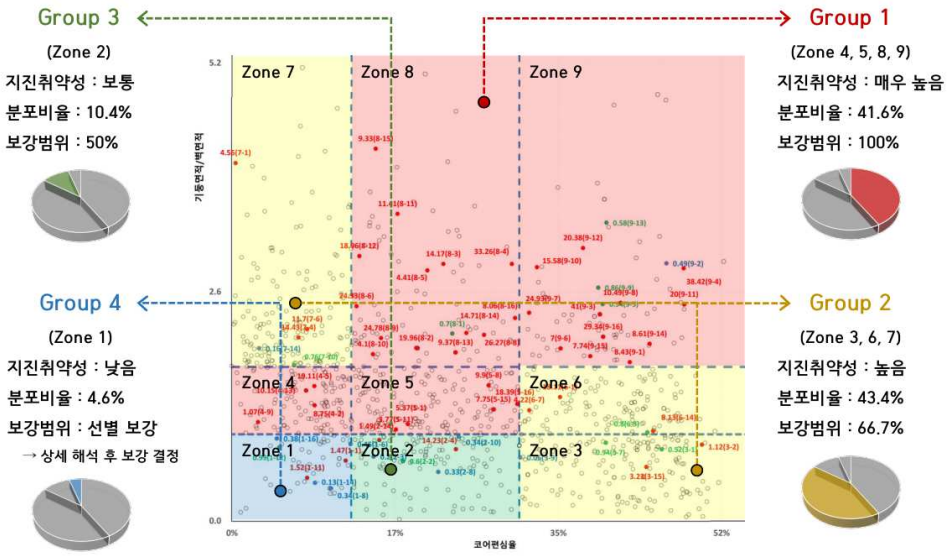


그림3-2. 필로티형 다가구 주택 사례들의 분류 결과

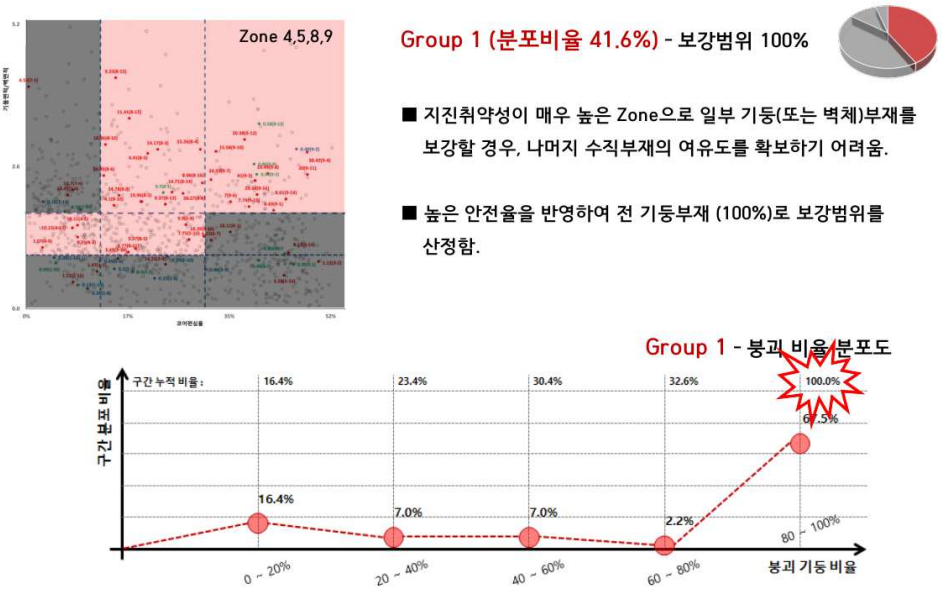


그림3-3. 우선 보강 대상 건물 Group인 Group1에 대한 분석

⑶ 필로티형 다가구 주택의 내진 안정성 확보를 위한 구조보강방안 연구, 한국토지주택공사 (2019)

- 필로티형 다가구 주택들의 사례를 조사한 후 필로티층의 횡하중 저항성능을 검토하기 위하여 필로티층에 배치된 코어 벽체 등의 벽량과 편심률에 따라 각 건물을 분류
- 수직재량비 및 편심률에 따른 다가구 주택 분류 결과 수직재량비 0.1%이하가 110개동 중 87동으로 79%에 달하여 현재 건설되어 있는 필로티형 다가구주택의 수직재량비가 전반적으로 매우 작음을 확인
- 대표 유형 건물인 “OO캐슬”의 보강 성능 목표를 설정하여 내진 보강방안 제시 후 실험 진행

X방향		
벽량비	수량	비고
0.0~0.1%	70	
0.1~0.17%	9	
0.18~0.3%	16	
0.3~0.4%	11	
0.4~0.5%	3	
0.5~0.6%	1	
0.6~0.7%	0	
0.7~0.8%	0	
0.8~0.9%	0	
합계	110	

Y방향		
벽량비	수량	비고
0.0~0.1%	18	
0.1~0.17%	9	
0.18~0.3%	53	
0.3~0.4%	13	
0.4~0.5%	11	
0.5~0.6%	1	
0.6~0.7%	1	
0.7~0.8%	4	
0.8~0.9%	0	
합계	110	

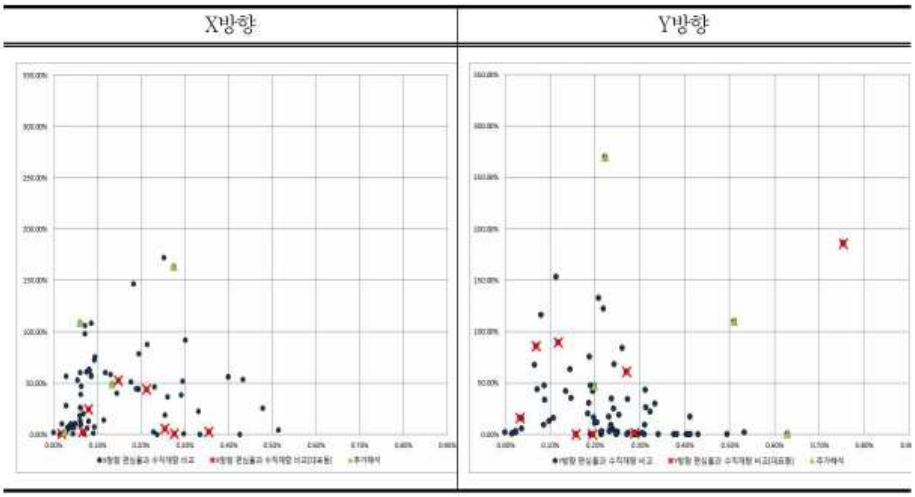
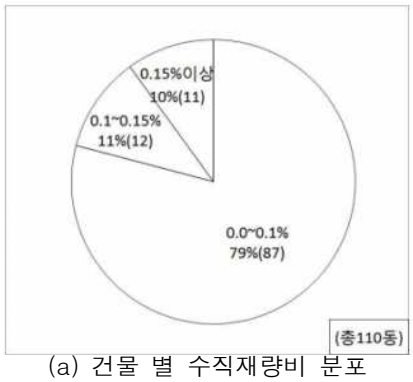
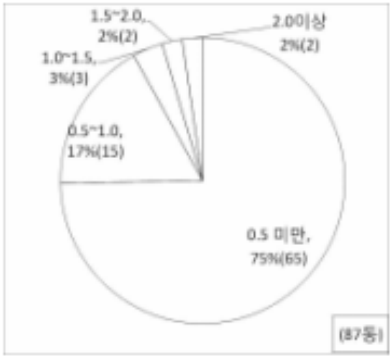


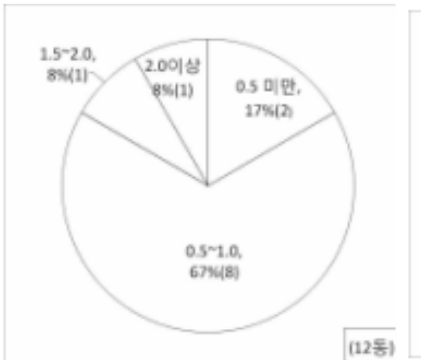
그림3-4. 필로티형 다가구 주택의 각 방향별 벽량비에 따른 분류와 분포



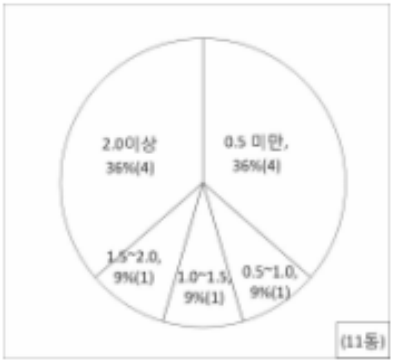
(a) 건물 별 수직재량비 분포



(b) 수직재량비 0~0.1%



(c) 수직재량비 0.1~0.15%



(d) 수직재량비 0.15% 이상

그림3-5. 건물별 수직재량비 분포 및 수직재량비에 따른 편심률 분포

NO.	동번호	건물명	층수	계단실 위치별 분류	준공년도	연면적	연면적에 대한 벽체수직재량				재계산	
							X방향벽체		Y방향벽체		Rex	Rey
							수직재면적	수직재량	수직재면적	수직재량	편심율	편심율
1	1206		4층	C-type	2011-09-15	756		0.00%		0.23%	1.80%	2.61%
2	5501		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
3	5502		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
4	5503		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
5	5511		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
6	5512		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
7	5513		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
8	5521		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
9	5522		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
10	5523		5층	C-type	2012-09-13	666.5		0.05%		0.29%	9.96%	0.00%
11	708		4층	C-type	2006-03-21	보강중						
12	902		4층	C-type	2009-02-20	보강중						
13	812		4층	C-type	2008-03-03	677.32		0.15%		0.33%	35.52%	22.53%
14	548		5층	D-type	2012-10-15	1333		0.07%		0.29%	2.53%	1.29%
15	549		5층	D-type	2012-10-15	1333		0.07%		0.29%	2.53%	1.29%
16	901		4층	C-type	2008-12-01	874.44		0.18%		0.41%	51.11%	17.08%
17	1104		4층	C-type	2010-04-15	840.48		0.07%		0.21%	0.32%	0.26%
18	1105		4층	C-type	2010-04-15	840.48		0.07%		0.21%	0.32%	0.26%
19	907		4층	C-type	2007-12-14	731.32		0.03%		0.25%	15.84%	5.13%
20	554		5층	C-type	2012-11-01	보강중						
21	810		4층	C-type	2007-06-29	609.32		0.08%		0.30%	61.97%	0.00%
22	709		4층	C-type	2007-06-29	597.16		0.09%		0.33%	47.76%	0.00%
23	903		4층	A-type	2009-02-18	보강중						
24	906		4층	C-type	2006-06-13	557.64		0.09%		0.43%	7.48%	0.00%
25	911		4층	C-type	2006-10-09	보강중						
26	1108		4층	C-type	2007-12-27	776.52		0.03%		0.51%	2.78%	110.05%
27	5152		5층	C-type	2013-05-14	757.6		0.15%		0.16%	52.27%	0.08%
28	5153		5층	C-type	2013-05-14	757.6		0.15%		0.16%	52.27%	0.08%
29	1402		4층	A-type	2012-05-23	826.72		0.07%		0.11%	60.75%	153.23%
30	1504		4층	C-type	2013-02-06	865.84		0.07%		0.21%	85.54%	43.51%
31	1511		4층	C-type	2012-04-02	847.84		0.06%		0.23%	38.60%	17.25%
32	707		4층	C-type	2006-10-02	602.16		0.09%		0.43%	9.44%	0.00%
33	1509		4층	C-type	2012-10-15	863.56		0.06%		0.19%	26.31%	42.31%
34	1102		4층	C-type	2010-09-10	670.56		0.09%		0.31%	72.58%	0.07%

NO.	동번호	건물명	층수	계단실 위치별 분류	준공년도	연면적	연면적에 대한 벽체수직재량				재계산	
							X방향벽체		Y방향벽체		Rex	Rey
							수직재면적	수직재량	수직재면적	수직재량	편심율	편심율
35	1101		4층	C-type	2010-07-22	680.16		0.08%		0.31%	5.95%	1.44%
36	1005		4층	A-type	2007-01-16	729.12		0.07%		0.48%	43.53%	25.61%
37	1501		4층	C-type	2011-06-16	861.76		0.06%		0.19%	60.42%	47.47%
38	1203		4층	A-type	2010-09-20	843.08		0.11%		0.14%	13.61%	41.92%
39	1510		4층	C-type	2012-10-11	637.44		0.09%		0.31%	75.50%	26.09%
40	1403		4층	C-type	2013-07-12	791.67		0.03%		0.23%	6.30%	2.91%
41	1406		4층	C-type	2010-07-15	586.88		0.09%		0.34%	107.99%	0.00%
42	1202		4층	A-type	2010-07-02	807.68		0.08%		0.12%	24.29%	89.31%
43	1508		4층	C-type	2010-07-02	863		0.04%		0.21%	15.32%	87.63%
44	1404		4층	C-type	2013-07-26	862.6		0.04%		0.21%	6.87%	2.04%
45	1003		4층	C-type	2010-02-12	727.2		0.03%		0.25%	7.31%	0.00%
46	1001		4층	A-type	2010-02-09	860.72		0.06%		0.22%	108.72%	270.11%
47	1204		4층	C-type	2008-03-20	594.69		0.04%		0.40%	6.85%	0.00%
48	705		4층	C-type	2005-05-03	483.08		0.11%		0.51%	16.11%	4.24%
49	1507		4층	C-type	2012-05-01	863.84		0.09%		0.18%	33.48%	146.43%
50	1401		4층	C-type	2013-04-03	835.44		0.02%		0.29%	2.03%	51.75%
51	1503		4층	C-type	2013-03-19	404.8		0.06%		0.49%	17.91%	0.00%
52	1205		4층	C-type	2008-07-24	646.5		0.08%		0.30%	116.14%	0.52%
53	1201		4층	C-type	2007-01-11	849.44		0.02%		0.24%	10.52%	5.01%
54	802		4층	C-type	2006-09-15	442.72		0.12%		0.53%	60.08%	1.94%
55	803		4층	A-type	2006-09-15	508.52		0.10%		0.43%	12.71%	53.22%
56	804		4층	A-type	2006-09-15	795.12		0.07%		0.25%	67.69%	172.35%
57	1505		4층	C-type	2012-08-31	864.26		0.02%		0.29%	3.24%	38.15%
58	908		4층	C-type	2007-11-27	637.48		0.03%		0.38%	4.75%	0.00%
59	904		4층	A-type	2008-09-19	524		0.20%		0.27%	47.44%	163.76%
60	520		5층	C-type	2013-06-12	698.5		0.05%		0.41%	6.53%	0.00%
61	519		5층	C-type	2013-06-12	698.5		0.05%		0.41%	6.53%	0.00%
62	522		5층	C-type	2013-06-12	698.5		0.05%		0.41%	6.53%	0.00%
63	521		5층	C-type	2013-06-12	698.5		0.05%		0.41%	6.53%	0.00%
64	532		4층	A-> 기타	2013-07-04	783.38		0.35%		0.75%	2.38%	185.68%
65	531		4층	A-> 기타	2013-07-04	783.38		0.35%		0.75%	2.38%	185.68%
66	523		5층	C-type	2013-06-12	698.5		0.05%		0.41%	6.53%	0.00%
67	524		5층	C-type	2013-06-12	698.5		0.05%		0.41%	6.53%	0.00%
68	529		4층	A-> 기타	2013-07-04	783.38		0.35%		0.75%	2.37%	185.27%

NO.	동번호	건물명	층수	계단실 위치별 분류	준공년도	연면적	연면적에 대한 벽체수직재량				재계산	
							X방향벽체		Y방향벽체		Rex	Rey
							수직재면적	수직재량	수직재면적	수직재량	편심율	편심율
69	530		4층	A-> 기타	2013-07-04	783.38		0.35%		0.75%	2.39%	186.15%
70	1405		4층	C-type	2013-12-05	768		0.05%		0.22%	52.81%	122.01%
71	1502		4층	C-type	2013-07-16	855.18		0.03%		0.19%	1.07%	30.19%
72	1506		4층	C-type	2012-01-18	850.68		0.03%		0.31%	56.50%	43.17%
73	1004		4층	C-type	2008-02-15	729.68		0.02%		0.27%	0.95%	1.30%
74	1407		4층	C-type	2013-09-12	862.96		0.01%		0.33%	0.09%	29.84%
75	1002		4층	C-type	2010-02-16	860.16		0.03%		0.26%	0.95%	83.96%
76	1512		4층	C-type	2012-09-26	861.32		0.06%		0.20%	46.67%	11.30%
77	801		4층	C-type	2007-08-02	616.4		0.04%		0.41%	10.09%	0.00%
78	905		4층	C-type	2009-02-04	661.44		0.15%		0.26%	63.31%	36.13%
79	546		5층	C-type	2012-09-03	669.041		0.08%		0.30%	63.39%	0.00%
80	544		5층	C-type	2012-09-03	669.041		0.08%		0.30%	63.39%	0.00%
81	543		5층	C-type	2012-09-04	669.656		0.08%		0.30%	63.39%	0.00%
82	545		5층	C-type	2012-09-04	669.656		0.08%		0.30%	63.39%	0.00%
83	525		5층	C-type	2013-09-25	632.5978		0.09%		0.38%	57.02%	0.00%
84	527		5층	C-type	2013-08-30	632.5978		0.09%		0.38%	56.78%	0.00%
85	528		5층	C-type	2013-09-03	632.5978		0.09%		0.38%	56.78%	0.00%
86	514		5층	D-type	2013-08-28	1381.944		0.23%		0.24%	46.23%	34.61%
87	5471		5층	C-type	2012-09-03	724.39		0.07%		0.27%	97.69%	33.92%
88	5472		5층	C-type	2012-09-03	725.216		0.07%		0.27%	105.72%	0.47%
89	806		4층	C-type	2008-03-21	855.84		0.06%		0.21%	9.54%	3.20%
90	807		4층	C-type	2006-01-16	852.28		0.03%		0.20%	27.85%	16.74%
91	910		4층	C-type	2007-12-26	863.64		0.06%		0.19%	13.35%	0.28%
92	811		4층	C-type	2007-12-26	841.48		0.06%		0.20%	25.52%	11.55%
93	912		4층	C-type	2009-03-27	862.4		0.02%		0.19%	0.54%	0.00%
94	701		4층	C-type	2007-03-16	659.44		0.04%		0.25%	5.45%	18.79%
95	805		4층	C-type	2007-04-11	864.72		0.02%		0.24%	2.41%	0.00%
96	808		4층	C-type	2008-03-25	848.68		0.06%		0.24%	9.01%	9.25%
97	809		4층	C-type	2008-03-25	848.68		0.06%		0.24%	10.35%	7.06%
98	704		4층	C-type	2005-09-21	843.28		0.13%		0.24%	58.32%	25.04%
99	1513		4층	C-type	2012-05-31	866.44		0.00%		0.18%	1.56%	20.43%
100	703		4층	C-type	2005-10-31	528.04		0.14%		0.21%	40.08%	132.50%
101	706		4층	A-type	2005-12-09	650.18		0.19%		0.30%	75.62%	91.77%
102	702		4층	C-type	2007-02-09	705.28		0.09%		0.32%	0.87%	21.91%

NO.	동번호	건물명	층수	계단실 위치별 분류	준공년도	연면적	연면적에 대한 벽체수직재량				재계산	
							X방향벽체		Y방향벽체		Rex	Rey
							수직재면적	수직재량	수직재면적	수직재량	편심율	편심율
103	1710		4층	C-type	2017-10-24	798.12		0.27%		0.28%	60.79%	0.76%
104	1712		4층	C-type	2017-10-20	859.7		0.07%		0.25%	20.15%	18.93%
105	1709		4층	C-type	2017-10-20	855.32		0.08%		0.27%	12.62%	0.01%
106	1711		4층	C-type	2017-10-20	855.32		0.08%		0.27%	12.62%	0.01%
107	1301		4층	C-type	2013-08-01	731.56		0.04%		0.24%	0.54%	67.99%
108	1702		5층	C-type	2017-06-12	784.777		0.19%		0.25%	44.15%	2.49%
109	1703		5층	C-type	2017-06-12	784.777		0.19%		0.25%	43.89%	1.81%
110	1704		5층	C-type	2017-06-12	797.266		0.19%		0.25%	44.12%	1.23%
111	1705		5층	C-type	2017-06-12	779.181		0.13%		0.63%	49.30%	0.66%
112	1701		5층	C-type	2016-09-12	790.459		0.19%		0.31%	78.34%	9.11%
113	1706		4층	C-type	2016-09-13	675.84		0.01%		0.40%	0.85%	56.00%
114	1708		4층	C-type	2016-09-13	675.84		0.01%		0.40%	0.85%	56.00%
115	1707		4층	C-type	2016-09-13	675.84		0.01%		0.40%	0.85%	56.00%

각방향별 벽량 = 각방향별 벽량 / (연면적 - 1층바닥면적 + 지붕면적)

수직재량 = 1층바닥 기둥과 벽체 면적 / 연면적

편심율 = 편심거리 / 탄력반경

강성편심율 = 편심거리 / 강성중심에서 각 방향별 외단거리

편심거리 = 강성중심과 질량중심간의 거리

최소	0.00%	최소	0.11%	0.09%	0.00%
최대	0.35%	최대	0.75%	116.14%	270.11%
평균	0.08%	평균	0.31%	29.06%	31.35%

그림3-6. 건물 사례조사 표

- 세 연구의 사례조사 분석 결과 비내진 철근상세를 가지며 큰 수직비정형성을 가지는 필로티 건축물이 지진 발생 시 큰 피해를 입을 것으로 예상됨.
- 필로티 건축물 중에서도 코어 전단벽의 배치에 따른 편심률이 높은 건물이 큰 지진 피해를 입을 것으로 판단됨.
- 110동의 필로티 다가구 주택의 편심률을 조사한 결과 수직재량비가 높은 건물군일수록 편심비가 높은

건물이 많음을 확인함.

2) 마이다스를 활용한 비내진 상세 건축구조물 재현

■ 연구 내용

비내진 상세 건축구조물 사례조사에서 조사한 건물 중 “필로티 구조물의 내진성능 상세평가 및 보강방안” 연구에서 내진보강 대상 건물로 선정한 ‘OO캐슬’을 건축구조 해석프로그램을 활용하여 재현하고 지진하중이 건물에 가해졌을 때 필로티 기둥 부재의 전단/휨 내력 대비 지진하중으로 인해 발생하는 전단/휨 하중을 비교

■ 연구 결과

원 평면 및 편심률이 증가하는 평면 모두 전단 보강이 필요함을 확인

(1) 편심률 25% 평면 (원 평면) 마이다스 해석 결과

- 코어 전단벽에서 가장 멀리 떨어져 있는 두 기둥의 소요 전단하중은 343kN 및 341kN이었고, 전단 내력은 각각 280kN과 286kN으로 두 기둥 모두 설계 전단내력보다 더 큰 소요하중이 가해짐.
- 전단벽과 상대적으로 가까운 위치에 있는 기둥의 경우 지진 발생 시 전단 하중이 316kN, 306kN이며 전단내력은 각각 275kN 및 261kN으로, 마찬가지로 소요 전단하중 대비 설계 내력이 부족함.

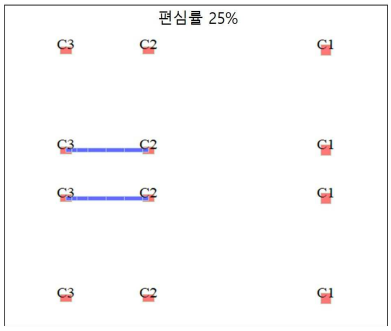


그림3-7. 편심률 25% 기둥 및 벽체 배치

Vu : 특별지진하중 고려시							
Member	NO	Vu	ØVc	ØVs	ØVn =ØVc + ØVs	Ratio = Vu/ØVn	Check
C1	240	316kN	161kN	114kN	275kN	1.15 > 1.0	N.G
	241	343kN	166kN	114kN	280kN	1.23 > 1.0	N.G
	245	306kN	147kN	114kN	261kN	1.17 > 1.0	N.G
	249	341kN	172kN	114kN	286kN	1.19 > 1.0	N.G

그림3-8. 각 기둥별 소요 전단하중 및 설계 전단내력 비교

(2) 편심률 68% 평면 마이다스 해석 결과

- 전단벽에서 가장 멀리 떨어져 있는 두 기둥의 소요 전단하중은 347kN 및 338kN이었고, 전단 내력은 각각 282kN과 284kN으로 두 기둥 모두 설계 전단내력보다 더 큰 소요하중이 가해짐.
- 전단벽과 상대적으로 가까운 위치에 있는 기둥의 경우 지진 발생 시 전단 하중이 316kN, 315kN이며 전단내력은 각각 285kN 및 265kN으로, 마찬가지로 소요 전단하중 대비 설계 내력이 부족함.

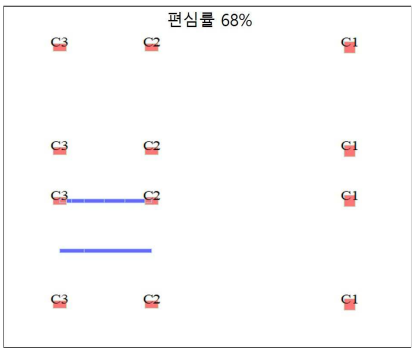


그림3-9. 편심률 68% 기둥 및 벽체 배치

Vu : 특별지진하중 고려시							
Member	NO	Vu	ØVc	ØVs	ØVn =ØVc + ØVs	Ratio = Vu2/ØVn	Check
C1	240	316kN	171kN	114kN	285kN	1.11 > 1.0	N.G
	241	347kN	168kN	114kN	282kN	1.23 > 1.0	N.G
	245	315kN	151kN	114kN	265kN	1.19 > 1.0	N.G
	249	338kN	170kN	114kN	284kN	1.19 > 1.0	N.G

그림3-10. 각 기둥별 소요 전단하중 및 설계 전단내력 비교

(3) 편심률 105% 평면 마이다스 해석 결과

- 코어 전단벽에서 가장 멀리 떨어져 있는 기둥의 소요 전단하중은 361kN 및 357kN이었고, 두 기둥의 전단 내력은 각각 282kN과 284kN으로 두 기둥 모두 설계 전단내력보다 더 큰 소요하중이 가해짐.
- 전단벽과 상대적으로 가까운 위치에 있는 기둥의 경우 지진 발생 시 전단 하중이 331kN, 334kN이며 전단내력은 각각 285kN 및 265kN으로, 마찬가지로 소요 전단하중 대비 설계 내력이 부족한 것으로 확인함.

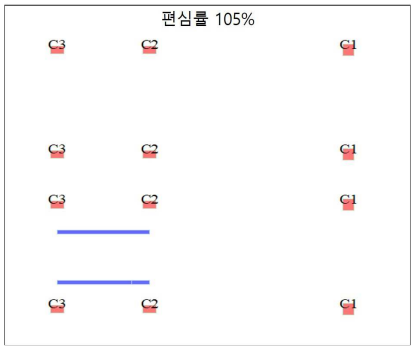


그림3-11. 편심률 68% 기둥 및 벽체 배치

Vu : 특별지진하중 고려시

Member	NO	Vu	ØVc	ØVs	ØVn =ØVc + ØVs	Ratio = Vu/ØVn	Check
C1	240	331kN	171kN	114kN	285kN	1.16 > 1.0	N.G
	241	361kN	168kN	114kN	282kN	1.28 > 1.0	N.G
	245	334kN	153kN	114kN	267kN	1.25 > 1.0	N.G
	249	357kN	170kN	114kN	284kN	1.26 > 1.0	N.G

그림3-12. 각 기둥별 소요 전단하중 및 설계 전단내력 비교

(4) 편심률 129% 평면 마이다스 해석 결과

- 코어 전단벽에서 가장 멀리 떨어져 있는 두 기둥의 소요 전단하중은 371kN 및 366kN이었고, 전단 내력은 각각 282kN과 284kN으로 두 기둥 모두 설계 전단내력보다 더 큰 소요하중이 가해짐.
- 전단벽과 상대적으로 가까운 위치에 있는 기둥의 경우 지진 발생 시 전단 하중이 339kN, 342kN이며 전단내력은 각각 285kN 및 265kN으로, 마찬가지로 소요 전단하중 대비 설계 내력이 부족한 것으로 확인함.

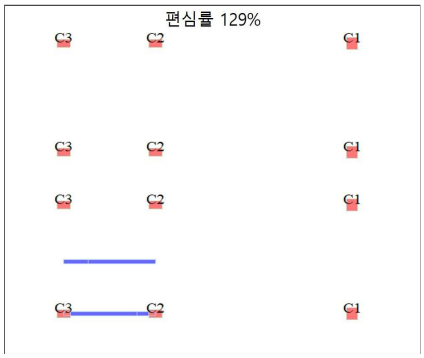


그림3-13. 편심률 105% 기둥 및 벽체 배치

Vu : 특별지진하중 고려시

Member	NO	Vu	ØVc	ØVs	ØVn =ØVc + ØVs	Ratio = Vu/ØVn	Check
C1	240	339kN	171kN	114kN	285kN	1.19 > 1.0	N.G
	241	371kN	168kN	114kN	282kN	1.32 > 1.0	N.G
	245	342kN	153kN	114kN	267kN	1.28 > 1.0	N.G
	249	366kN	170kN	114kN	284kN	1.29 > 1.0	N.G

그림3-14. 각 기둥별 소요 전단하중 및 설계 전단내력 비교

- 원 평면 및 편심률이 증가한 평면 모두 지진 발생 시 필로티 기둥이 전단 파괴가 될 것으로 예상
- 필로티 기둥의 전단 보강 목표 성능 설정 및 보강 필요함.

3) 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강 목표성능설정과 보강량 제시

사례조사를 통해 선정한 비내진 상세 건축구조물의 1층 구조체들의 지진 발생 시 소요 하중과 설계 내력을 구조해석 프로그램을 이용하여 확인하고 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량을 제시

- “OO캐슬”의 1층 평면의 기둥 면적별 소요 전단 하중과 기둥 내력을 비교하여 보강목표 성능설정
- 노후도, 시공연도, 균열 등 사용자가 체크 후 판단하여 보강목표에 반영할 수 있는 체크 리스트 제시

4. 제시된 소재의 열적 성능 평가와 경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값 제시

1) 참고문헌 조사 (전문가 자문포함)

■ 연구 내용

엔지니어링 플라스틱의 열적 특성에 관련된 다양한 참고문헌을 조사하여 경량화/저비용 공법에 적용할 엔지니어링 플라스틱 선정

■ 연구 결과

열경화성 플라스틱을 내화 보강 소재용 엔지니어링 플라스틱으로 선정

⑴ 열적 특성에 따른 플라스틱 종류의 조사

- 열가소성 플라스틱 : 가열하면 부드러워지고 액상으로 되며 온도가 낮아지면 다시 굳어지는 성질을 갖는 플라스틱으로 가소성을 가질 때 성형을 하여 제품을 만들 수 있음
- 열경화성 플라스틱 : 한번 열을 가해서 성형된 플라스틱으로 아무리 열을 가하더라도 원상태로 돌아올 수 없는 특징을 가짐

구 분	열가소성(Thermoplastics) 플라스틱	열경화성(Thermosetting) 플라스틱
성 상	가열하면 연화되어 유동성이 되고 냉각하면 다시 경화하는 변화를 가역적으로 반복할 수 있음	가열하면 처음에는 연화되어 유동성을 나타내게 되나 차차 분자 중에 남아있던 미반응기가 서로 반응하여 중합도가 커지게 되고 가교결합이 진행되어 망상구조를 형성하게 되어 불용불융의 상태로 되는 것
열변형온도	150℃에서 변형되는 것이 많음	제품은 불용불융이며 일반적으로 150℃에서 견딜 수 있음
성형능률	사출 압출성형 등의 능률적이고 연속적인 가공법을 사용할 수 있음	압축 적층성형 등의 가공법에 의해 성형되므로 능률적이지 못함
재활용성	성형 시 화학적인 변화를 일으키지 않기 때문에 원칙적으로 재활용이 가능함	성형 시 차원 구조가 형성되기 때문에 성형 불량품은 재활용이 불가능함
투명도	대부분의 재료에서 투명한 제품을 얻을 수 있음	대부분이 불투명 또는 반투명제품을 얻을 수 있음
충진제 등	충진제를 이용하지 않는 경우가 많음	충진제, 강화제를 사용하는 것이 많으나 제품성능을 향상시킬 수 있다
수지의 종류	PE, PP, PVC, PS, PVA, PVDC, Nylon, PET 등	Phenol, Urea, Melamine, Epoxy 등

그림4-1. 열가소성 플라스틱과 열경화성 플라스틱의 비교

- 화재 발생 시 내화 보강재가 적절한 강도를 유지하기 위해 열경화성 플라스틱 선정

⑵ 플라스틱과 관련된 온도 조사

- 녹는 온도 : 플라스틱이 열에 노출되면 물리·화학적 결합력이 약해져 부드러워지기 시작하고, 더 많은 열에너지를 흡수하게 되면 부분적으로 녹음과 동시에 중력의 영향으로 휘어지게 되는데, 이 때의 온도
- 서비스 온도 : 플라스틱이 변형은 되었으나, 녹거나 타지는 않을 때의 온도를 나타냄

- 프로세싱 온도 : 성형이 가능한 온도
- 발화온도 : 실제 플라스틱 제품이 화재로 인해 타는 경우로 도달했을 때의 온도로 산소결핍 등으로 실제 발화온도는 이론값과 차이를 나타낼 수 있음

플라스틱	녹는 온도(℃)	서비스 온도(℃)	프로세싱 온도(℃)	발화온도(℃)
ABS	88～125	60～82	163～288	416
Acrylics	91～125	54～93	149～264	560
Cellulosics	49～121	49～121	127～268	475～540
나이론	160～275	65～238	177～327	424～532
폴리카보네이트	140～150	104～132	246～377	580
폴리에스테르	220～268	70～138	224～316	432～488
폴리에틸렌 (LDPE)	107～124	40～44	121～316	349
폴리에틸렌 (HDPE)	122～137	65～91	149～274	349
폴리프로필렌	158～168	41～149	182～288	570
폴리스티렌	100～120	49～288	149～288	488～496
폴리우레탄	85～121	–	182～232	416
폴리테트라플루오르에틸렌	327	126	260～371	530
폴리비닐아이렌클로라이드	160～172	54～66	127～204	532
폴리비닐클로라이드	75～110	57～119	141～196	435～557

그림4-2. 플라스틱과 관련된 온도

⑶ 플라스틱의 연소 특성

- 플라스틱 폴리머에서 가연성 가스가 나오는 인화점과 스스로 타는 발화온도는 각각 플라스틱마다 차이를 나타냄
- 일반적으로 가공 상태 등에 따라 다르기는 하나 폴리에틸렌의 경우 341℃에서 가연성 증기를 내고 349℃에서 발화됨
- 폴리비닐리덴은 인화점과 발화점이 532℃로 일정하며, 폴리스티렌은 입상인 경우 296℃에서 인화되나 발포한 경우는 346℃에서 인화되고 491℃에서 모두 발화됨
- 대체적으로 엔지니어링 플라스틱은 400℃ 내외에서 인화되고 500℃ 이상 600℃ 이하에서 발화되는 특성을 보임

⑷ 화학성분에 따른 엔지니어링 플라스틱의 내화성능

- 엔지니어링 플라스틱은 범용 플라스틱에 비해 안전강도와 내열성, 굴곡 탄성률 등에서 우수한 물적 특성을 가지고 있으며 주로 자동차·기계·전기전자 부품 등에 주로 사용됨
- 엔지니어링 플라스틱의 내화성능은 150℃ 이상에서 장시간 사용할 수 있는가에 따라 범용 엔지니어링 플라스틱(150℃ 미만)과 수퍼 엔지니어링 플라스틱(150℃ 이상)으로 분류됨
- 엔지니어링 플라스틱은 폴리아미드(PA)·폴리아세탈(POM)·폴리카보네이트(PC)·폴리페닐렌옥사이드(M-PPO)·폴리부틸렌테레프탈레이크(PBT) 등 소위 5대 범용 엔지니어링 플라스틱을 중심으로 형성돼있다. 폴리머에서 가연성 가스가 나오는 인화점과 스스로 타는 발화온도는 각각 플라스틱마다 차이를 나타냄

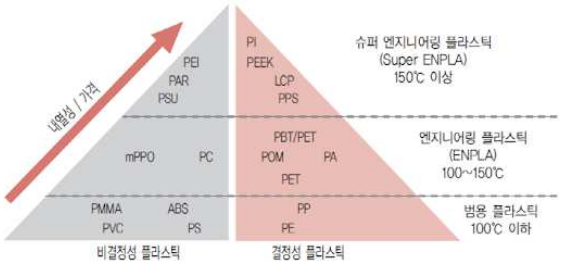


그림4-3. 화학성분에 따른 엔지니어링 플라스틱 내화성능

2) 재료시편을 제작하여 화재실험 수행

■ 연구 내용

DIY용 경량화/저비용 내진보강공법용으로 제안된 엔지니어링 플라스틱들의 난연성능 실험을 진행하여 적절한 난연성능을 확보하는지 확인

■ 연구 결과

열방출 시험 결과 준불연성능을 발휘하는 G/F 보강 Composite 2 소재 선정

(1) UL 94(플라스틱 재료의 난연성능) 시험

- 플라스틱 제품의 수직 방향으로 불꽃을 가했을 때, 제품의 연소 양상 및 주위로의 화염 전파 정도를 평가하는 시험

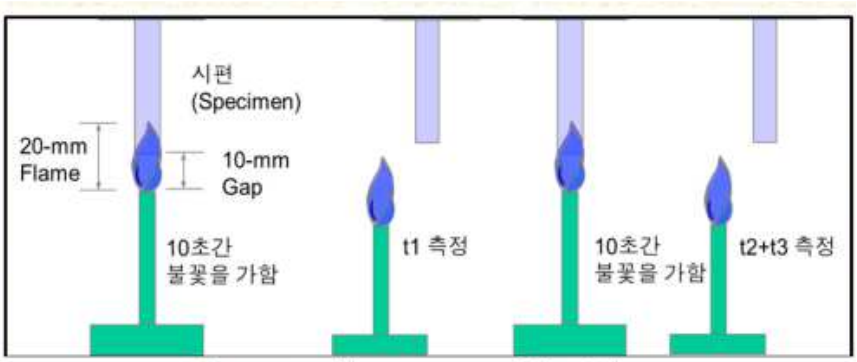


그림4-4. UL 94(플라스틱 재료의 난연성능) 시험 방법

- UL 94 시험의 등급은 V-0, V-1, V-2로 구분

조건과 등급	V-0	V-1	V-2
개별 연소시간 (t1 or t2)	≤ 10s	≤ 30s	≤ 30s
전처리 조건 별 전체 연소시간 (총 5개의 시편의 t1+t2)	≤ 50s	≤ 250s	≤ 250s
불꽃을 두 번 가한 후의 연소 및 불똥이 맺힌 시간 (t2+t3)	≤ 30s	≤ 60s	≤ 60s
클램프(125mm 표시)까지 연소 여부	No	No	No
적하에 의한 탈지면의 발화 여부	No	No	Yes

그림4-5. UL 94(플라스틱 재료의 난연성능) 시험 등급

- UL 94 시험 사진

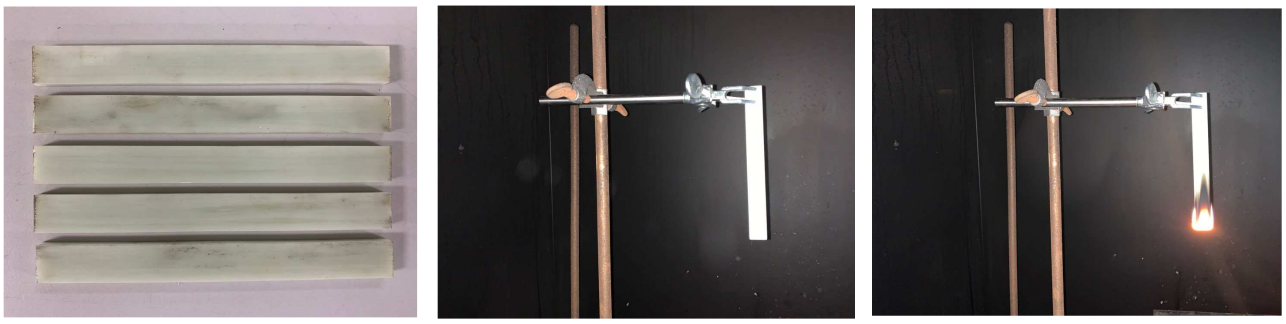


그림4-6. UL 94 시험 시편 및 시험 중 사진

- UL 94 예비 시험 결과

① 온도 23 ± 2℃, 상대습도 50 ± 10%에서 48시간 처리된 시편

시험항목	결 과				
	1회	2회	3회	4회	5회
첫번째 불꽃을 제거한 다음의 연소시간(s)	0	0	0	0	0
두번째 불꽃을 제거한 다음의 연소시간(s)	측정 불가	측정 불가	측정 불가	측정 불가	측정 불가
두번째 불꽃을 제거한 다음의 글로잉시간(s)	-	-	-	-	-
5개의 시험편의 연소시간의 합계(10회, s)	-				
두번째 불꽃 접염후 잔염시간 및 잔진시간의 합계(t2 + t3,s)	-	-	-	-	-
외과용 지시솜을 발화시키는 적화물의 유무	없음	없음	없음	없음	없음
클램프까지 이르는 글로징의 유무	없음	없음	없음	없음	없음

그림4-7. 온도 23 ± 2℃, 상대습도 50 ± 10%에서 48시간 처리된 시편 시험 결과

② 온도 70 ± 2℃에서 168시간 처리된 시편

시험항목	결 과				
	1회	2회	3회	4회	5회
첫번째 불꽃을 제거한 다음의 연소시간(s)	0	0	0	0	0
두번째 불꽃을 제거한 다음의 연소시간(s)	측정 불가	측정 불가	측정 불가	측정 불가	측정 불가
두번째 불꽃을 제거한 다음의 글로잉시간(s)	-	-	-	-	-
5개의 시험편의 연소시간의 합계(10회, s)	-				
두번째 불꽃 접염후 잔염시간 및 잔진시간의 합계(t2 + t3,s)	-	-	-	-	-
외과용 지시솜을 발화시키는 적화물의 유무	없음	없음	없음	없음	없음
클램프까지 이르는 글로징의 유무	없음	없음	없음	없음	없음

그림4-8. 온도 70 ± 2℃에서 168시간 처리된 시편 시험 결과

- UL94 실험 결과 제시된 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재가 제시된 기준을 만족하지 못함

(2) 열방출률 시험

- 플라스틱 제품이 시료 표면적 당 발생하는 열량을 확인하여 화재의 위험특성을 평가
- CN복합섬유패널(초고강도)와 CN복합섬유패널(준불연) 소재의 열방출률 시험 진행

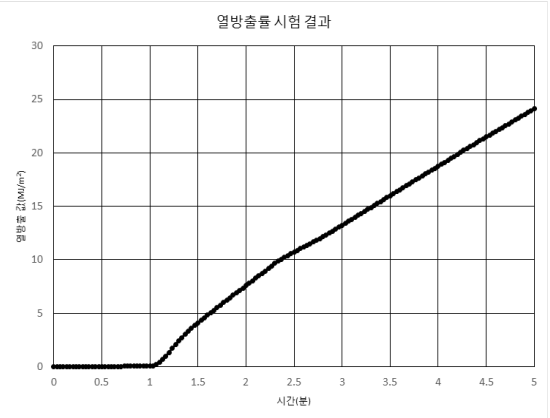




그림4-9. 예비 소재 열방출률 시험 결과와 시험 후 시편 표면

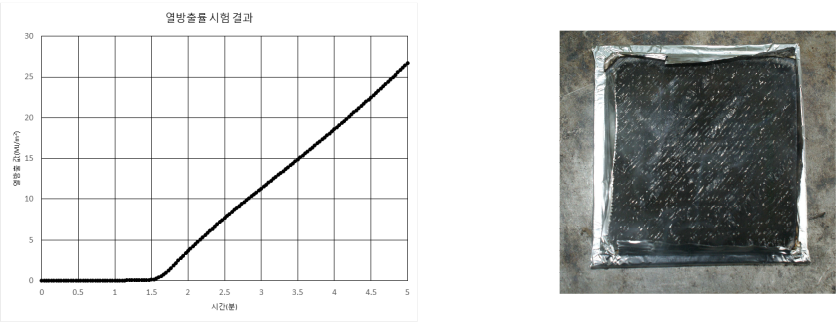


그림4-10. CN복합섬유패널(초고강도) 소재 열방출률 시험 결과와 시험 후 시편 표면

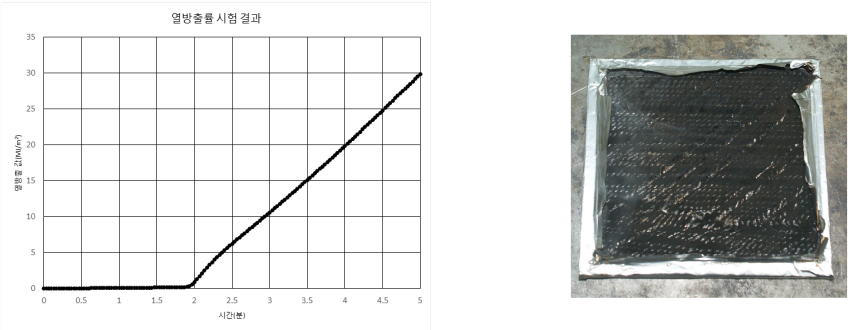
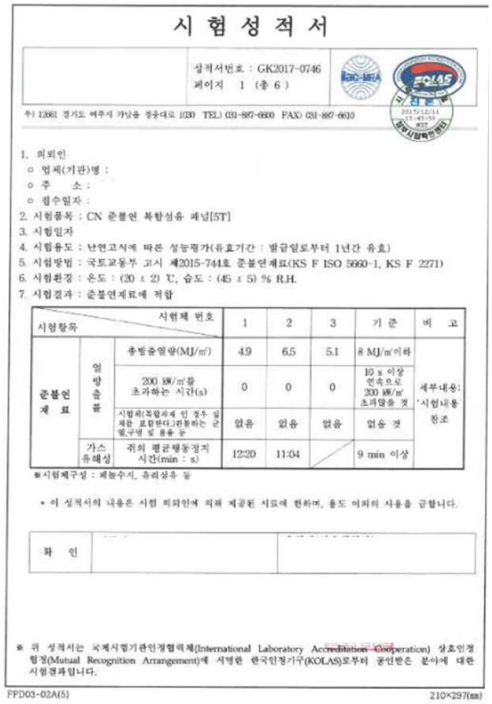


그림4-11. CN복합섬유패널(준불연) 소재 열방출률 시험 결과와 시험 후 시편 표면

- 열방출률 시험 결과 제시된 융·복합소재인 CN복합섬유패널(초고강도) 소재가 난연성능을 발휘하지 못하는 것으로 확인. CN복합섬유패널(준불연)은 난연성능을 발휘함.

⑶ 준불연성능을 발휘하는 CN복합섬유패널(준불연) 소재

- 열방출 시험 결과 준불연성능을 발휘하는 CN복합섬유패널(준불연) 소재를 내화보강공법을 위한 소재를 내화보강공법을 위한 소재로 선정



시 험 성 적 서

성적서번호 : GK2017-0746
페이지 1 (총 6)

1. 의뢰인
 ○ 업체(기관)명 :
 ○ 주 소 :
 ○ 접수일자 :
2. 시험품목 : CN 준불연 복합섬유 패널[5T]
3. 시험일자
4. 시험용도 : 난연고시에 따른 성능평가(유효기간 : 발급일로부터 1년간 유효)
5. 시험방법 : 국토교통부 고시 제2015-744호 준불연재료(KS F ISO 5660-1, KS F 2271)
6. 시험환경 : 온도 : (20 ± 2) ℃, 습도 : (45 ± 5) % R.H.
7. 시험결과 : 준불연재료에 적합

시험항목		시험체 번호	1	2	3	기 준	비 고
준불연재료	열방출률	총방출열량(MJ/㎡)	4.9	6.5	5.1	8 MJ/㎡이하	세부내용: *시험내용 참조
		200 kW/㎡를 초과하는 시간(s)	0	0	0	10 s 이상 연속으로 200 kW/㎡ 초과않을 것	
		시험체(복합자재 인 경우 심재를 포함한다.)관통하는 균열,구멍 및 용융 등	없음	없음	없음	없을 것	
	가스유해성	귀의 평균행동정지 시간(min : s)	12:20	11:04		9 min 이상	

※시험체구성 : 베늠주지, 유리섬유 등

• 이 성적서의 내용은 시험 의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 동도 이외의 사용을 금합니다.

확 인		

※ 귀 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

FPD03-02A(5) 210×297(mm)

그림4-12. CN복합섬유패널(준불연) 소재
준불연성능 시험성적서

3) UMAT 모델 제작 및 해석 수행

(1) UMAT 모델 개발

- 열전달 해석 개요
  ① 화재 시 열전달 해석은 전도, 대류, 복사 3가지로 구분
  ② 전도에 의한 열전달은 고체 재료 사이에서 일어나며, 내화시험에서 건축 부재가 열을 받아 부재 내부의 온도분포를 파악하는 데 사용되며 Fourier 법칙에 의해 재료의 밀도 ($\rho(T)$), 열전도율($k(T)$), 비열($C(T)$) 및 온도(T), 시간(t)을 이용하여 아래의 식을 통해 계산

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=\frac{\rho(T)C(T)}{k(T)}\frac{\partial T}{\partial t}$$

  ③ 대류에 의한 열전달은 온도가 높은 곳과 낮은 곳의 밀도 차이로 인해 액체나 가스의 대류전류 이동에 의해 일어나며, 내화시험에서 가열로 내부의 고온의 가스가 건축 부재에 열을 가해 하부(가열면)의 온도분포를 파악하는 데 사용되며 아래의 식을 통해 계산

$$q'' = h\triangle T$$

  여기서, q''는 단위면적 당 열흐름이며, h는 대류열전달계수 값임

  ④ 복사에 의한 열전달은 전자기파를 통해 일어나는 가장 빠른 에너지 전달 형태이며, 열을 받아 온도가 상승한 건축 부재에서 상온 상태인 주변의 열을 방출하여 상온과 맞닿는 건축 부재의 표면 온도를 파악하는 데에 사용되며 Stefan-Boltzmann 법칙에 의해 아래의 식을 사용하여 계산

$$q'' = \epsilon\sigma\triangle T$$

  여기서, ϵ은 방사율, σ는 Stefan-Boltzmann 상수로 $5.67\times10^{-8}\mathrm{W/m^2 \cdot K^4}$ 값을 사용

(2) 엔지니어링 플라스틱의 열특성

- 밀도, 비열, 열전도율 등 고온 특성값 확인

4) 모델 정확성 검증

(1) UMAT 모델 개발

- 열전달 해석 개요

  ① 화재 시 열전달 해석은 전도, 대류, 복사 3가지로 구분
  ② 전도에 의한 열전달은 고체 재료사이에서 일어나며, 내화 시험에서 건축부재가 열을 받아 부재 내부의 온도분포를 파악하는데 사용되며 Fourier 법칙에 의해 재료의 밀도

  ($\rho(T)$), 열전도율($k(T)$), 비열($C(T)$) 및 온도(T), 시간
  (t)을 이용하여 아래의 식을 통해 계산한다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=\frac{\rho(T)C(T)}{k(T)}\frac{\partial T}{\partial t}$$

  ③ 대류에 의한 열전달은 온도가 높은 곳과 낮은 곳의 밀도차이로 인해 액체나 가스의 대류전류 이동에 의해 일어나며, 내화시험에서 가열로 내부의 고온의 가스가 건축부재에 열을 가해 하부(가열면)의 온도분포를 파악하는데 사용되며 아래의 식을 통해 계산함.

$$q'' = h \triangle T$$

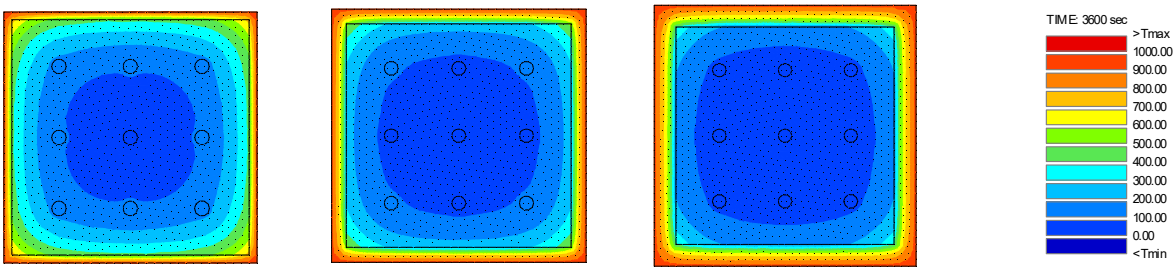
여기서, q''는 단위면적 당 열흐름이며, h는 대류열전달계수 값임.

④ 복사에 의한 열전달은 전자기파를 통해 일어나는 가장 빠른 에너지 전달 형태이며, 열을 받아 온도가 상승한 건축부재에서 상온 상태인 주변의 열을 방출하여 상온과 맞닿는 건축부재의 표면온도를 파악하는데 사용되며 Stefan-Boltzmann의 법칙에 의해 아래의 식을 사용하여 계산

$$q'' = \epsilon \sigma \triangle T$$

여기서, ϵ은 방사율, σ는 Stefan-Boltzmann 상수로 $5.67 \times 10^{-8} \mathrm{W/m^2 \cdot K^4}$ 값을 사용함.

- 열전달 해석 모델 확인
  UMAT 모델을 개발하여 열해석 프로그램에 적용



2차년도

5. DIY용 제품 생산성을 감안한 내진보강 연결 상세와 제품구성 확정

1) 도출된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 기둥보강 공법 구성품 확정

■ 연구 내용

핵심1,2,3,4를 통하여 얻은 데이터를 기반으로 엔지니어링 플라스틱 소재의 내진성능을 파악 후 기둥 내진보강공법의 유닛이 되는 구성품을 확정함.

■ 연구 결과

강재앵글 실험체는 강성이 CN복합섬유패널(초고강도)에 비해 크기 때문에 CN복합섬유패널(초고강도)에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났고 알루미늄앵글 실험체는 강재앵글 실험체에 비하여 전단내력이 낮았지만 CN복합섬유패널(초고강도)에 힘을 전달하여 최대내력에 도달하기 전 변형에 의해 파단이 발생하는 것으로 확인.

⑴ 다가구주택 필로티기둥 DIY 전단보강공법

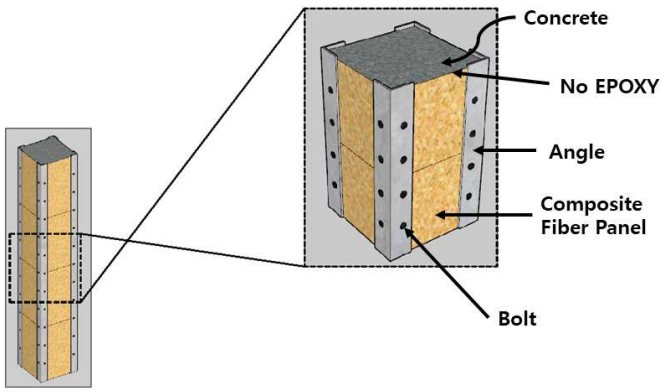


그림5-1. 각형띠판 래티스기둥 전단보강공법 개념도

- 기존 탄소섬유보강공법은 콘크리트 기둥에 에폭시를 주입하여 시공하는 습식 공법을 일반적으로 적용함. 그러나 에폭시 주입공법은 전단내력을 발휘하기 위하여 대략 2주 정도의 양생 기간이 필요하고, 숙련된 작업자에 의해 시공되어야 함.
- 따라서 본 연구에서는 에폭시를 주입하지 않고 그림5-1과 같이 CN복합섬유패널(초고강도)에 타공하여 모서리 앵글과 함께 볼트로 조임 하는 건식 시공이 가능한 전단보강공법을 개발하고자 함.

⑵ 엔지니어링 플라스틱 내진보강공법 구조실험을 통하여 물리적 성능 검증

- 최근 발생한 경주, 포항 지진으로 인하여 필로티 건물의 지진 취약성이 대두되고 있음
- 다가구주택은 상부 전단벽 시스템, 1층 모멘트골조 시스템으로 실제 지진이 발생할 경우, 강성 차이로 인하여 1층 필로티 기둥은 전단 파괴 발생 위험이 높음

- 이를 모사하기 위하여 축력의 영향은 배제하고 실험체 중앙에 전단력을 가하였고, 지점은 양 끝단으로 계획

■ 실험계획

① 실험체 크기 : 300mm×400mm×500mm
② 변수 : 볼트 연단거리 및 이에 따른 볼트 개수, 앵글 종류, 볼트 종류
③ 재료 강도 : 강재앵글 - SS275 (fy=275MPa, fu=410MPa)
알루미늄앵글 - AL6063 (fy=110MPa, fu=150MPa)

Specimen	Section (mm)	Length (mm)	Shear Span to Depth	CN Panel Thickness (mm)	Bolt			Angle	
					Material	Edge Distance (mm)	Quantity (ea)	Material	Size (mm)
ST-HB4	300 × 400	500	0.5D	5	High Tension Bolt - F10T (10,9)	90	32	Steel (SS275)	L-65x6t
ST-HB3						100	24		
ST-HB2						110	16		
AL-HB2					Furniture		16	Aluminium (AL6063)	
AL-FB2							16		

* ST : Steel Angle; AL : Aluminium Angle; HB : High Tension Bolt; FB : Furniture

그림5-2. 각형띠판 래티스기둥 실험체 일람표

- 콘크리트 기둥에 보강하였을 경우 좌굴 발생 우려가 거의 없지만, 본 실험에서 콘크리트를 채우지 않은 각형띠판 래티스기둥 실험체는 국부좌굴이 우려되어 200 mm 간격으로 두께 6 mm의 철판을 모서리 앵글에 용접하여 Diaphram 역할을 하도록 함.



그림5-3. 각형띠판 래티스기둥 전단실험체 제작과정

■ 실험방법

① 실험 장소 : 서울시립대학교 구조실험동
② 실험 장비 : 500 kN UTM (Universal test machine)
③ 가력 속도 : 0.027 mm/sec (1점 가력)

④ 전단 스팬비 : 0.5D

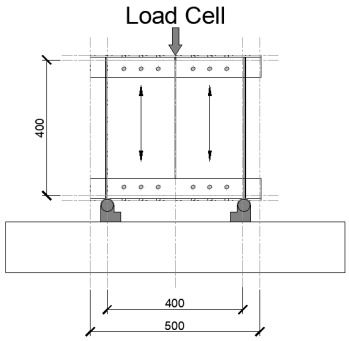


그림5-4. 각형띠판 래티스기둥 전단실험 개념도

■ 각형띠판 래티스기둥 실험체 예상내력 산정

- 각 실험체 별 예상 전단내력은 모서리 앵글의 전단강도와 CN복합섬유패널(초고강도) 전단강도의 합으로 산정

① 모서리 앵글의 전단내력은 KDS 41 31 00 : 2019에 의거하여 식 (1)을 통하여 산정 (강재앵글은 59.67 kN, 알루미늄앵글은 31.99 kN)
② CN복합섬유패널(초고강도)의 전단내력은 복합신소재시스템에 의한 철근콘크리트구조물의 보강설계 및 시공 지침서에 의거 식 (2)를 통하여 147.86 kN으로 산정

$$V_a = (0.6F_y) \times A_w \times C_v \qquad \text{식 (1)}$$

여기서, F_y : 항복강도
A_w : 웨브의 단면
C_v : 전단좌굴감소계수

$$V_{frp} = 2 \varnothing_{frp} \times f_{frp} \times N_b \times t_{frp} \times d \times \sin^2 \Theta \qquad \text{식 (2)}$$

여기서, $f_{frp} = 0.002 \times E_{frp} \leq \varnothing_{frp} \times f_{frp}$

f_{frp} : FRP의 인장응력 ($f_{frp} = 0.002 \times E_{frp} \leq \varnothing_{frp} \times f_{frpu}$)
E_{frp} : FRP의 탄성계수
t_{frp} : FRP의 두께
d : 유효 깊이

Specimen	V_a (kN)	V_{cn} (kN)	V_a+V_{cn} (kN)
ST-HB4	59.67	147.86	207.53
ST-HB3	59.67	147.86	207.53
ST-HB2	59.67	147.86	207.53
AL-HB2	40.66	147.86	188.52
AL-FB2	40.66	147.86	188.52

*ST : Steel, AL : Aluminium, HB : High Tension Bolt, FB : Furniture Bolt (Sleeve Bolt)
V_a : 앵글의 전단내력, V_{cn} : CN복합섬유패널의 전단내력

그림5-5. 각 실험체 별 예상 전단내력

■ 재료 시험 결과



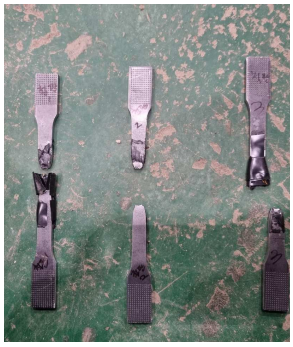


그림5-6. 재료 시험

- 각 재료별 시험 결과

Material	No.	Modulus of Elasticity (MPa)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Yield Ratio	Elongation (%)
Steel	S1	203,991.2	334	479	0.70	24
	S2	215,947.8	371	511	0.73	34
	S3	198,822.4	315	480	0.66	36
	평균	206,253.8	340	490	0.70	31.3
Aluminium	AL1	57,628.1	283	313	0.90	18
	AL2	45,933.2	202	226	0.89	16
	AL3	53,617.9	210	242	0.87	12
	평균	52,393.07	232	260	0.89	15.33

그림5-7. 실험체 제작에 사용된 재료 시험결과

- CN복합섬유패널(초고강도)

① CN복합섬유패널(초고강도)은 바잘트(현무암)섬유를 인발 성형하여 판재로 생산
② 기존 FRP패널에 비해 1.5배 이상의 인장강도 성능을 발휘
③ 내구성, 내습성, 중성화 저항성이 우수
④ 보강재의 구조물의 보수 및 보강 시공 후 시공에 따른 건축물의 자중 증가를 최소화할 수 있음

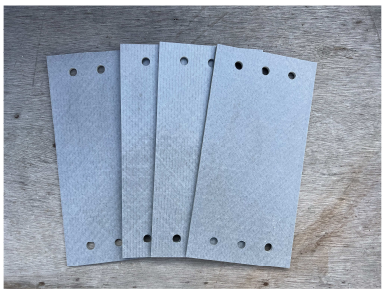
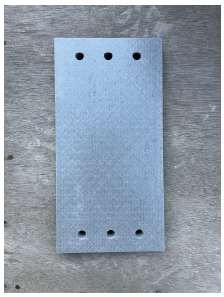



그림5-8. CN복합섬유패널(초고강도)

Material	Tensile Strength (GPa)	Tensile Modulus of Elastic (GPa)	Flexural Strength (GPa)	Flexural Modulus of Elastic (GPa)
CN복합섬유패널 (초고강도)	1.11	57.9	1.29	55.5

그림5-9. CN복합섬유패널(초고강도) 기계적 성질

■ 실험 결과

① 초기강성과 전단내력

Specimen	Initial stiffness (kN/mm)	V_y (kN)	V_{max} (kN)
ST-HB4	53.17	133.14	242.85
ST-HB3	37.02	90.18	225.19
ST-HB2	42.61	105.49	160.55
AL-HB2	12.20	56.46	110.31
AL-FB2	10.50	46.05	82.52

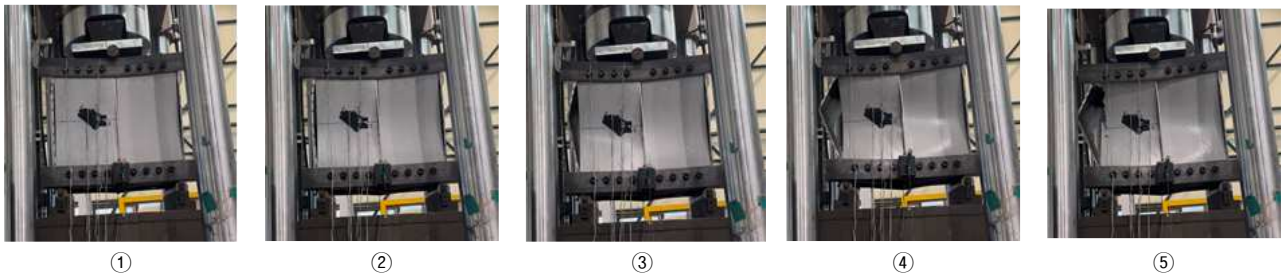
*V_y:항복전단내력, V_{max}:최대전단내력

그림5-10. 각 실험체 별 전단내력 결과

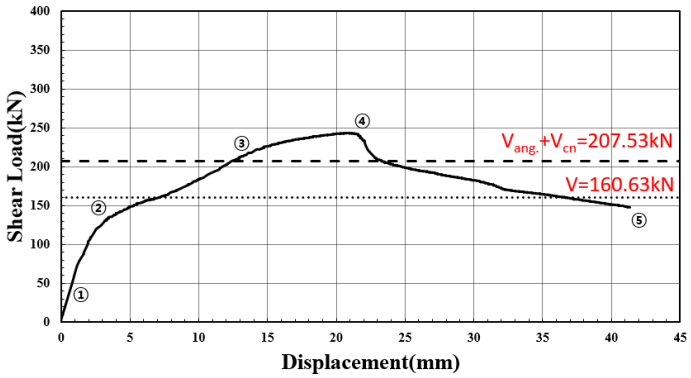
- 각 실험체의 초기강도는 항복점의 1/3 지점에서 원점까지 직선의 기울기로 평가

② 하중-변위관계 그래프 및 파괴모드

- **ST-HB4실험체**



① ② ③ ④ ⑤



① Diaphram의 면외방향 좌굴이 시작되었고, 상부 앵글의 휨이 발생
② 강재앵글이 항복
③ 상부 앵글의 변형에 의하여 CN복합섬유패널(초고강도)의 약축 방향으로 힘을 받아 변형이 발생
④ 실험체의 최대내력 242.85 kN에 도달
⑤ CN복합섬유패널(초고강도)의 파단

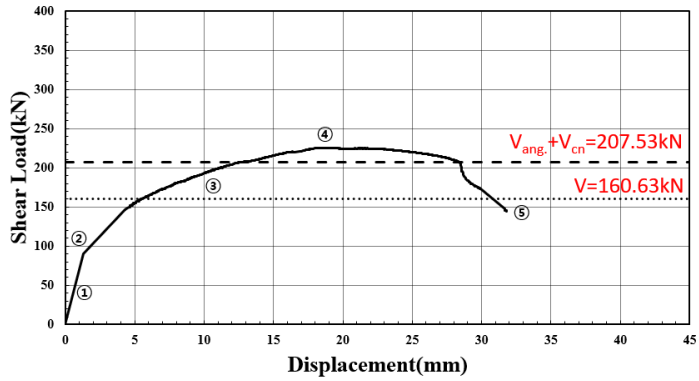
그림5-11. ST-HB4실험체

- ST-HB4실험체의 최대내력은 242.85kN으로 예상내력 207.53kN에 비해 1.17배 상회하게 평가됨.

- ST-HB3실험체



① ② ③ ④ ⑤



① 상부 앵글의 휨과 CN복합섬유패널(초고강도)의 좌굴이 발생하기 시작
② 강재앵글이 항복
③ Diaphram의 면외방향 좌굴이 발생
④ 실험체의 최대내력인 225.19 kN에 도달 후, 점차 내력이 감소
⑤ CN복합섬유패널(초고강도)의 파단

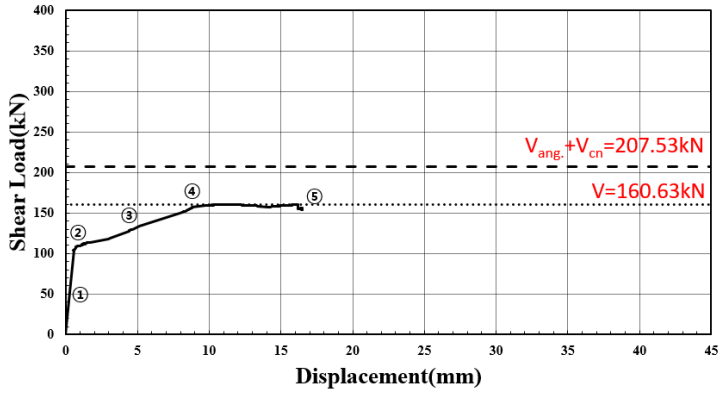
그림5-12. ST-HB3실험체

- ST-HB3실험체의 최대내력은 225.19kN으로 예상내력 207.53kN에 1.07배 상회하게 평가됨.

- ST-HB2실험체



① ② ③ ④ ⑤



① 우측 Diaphram의 좌굴과 상부 앵글의 휨이 발생
② 강재앵글이 항복강도에 도달
③ 좌측 Diaphram과 CN복합섬유패널(초고강도)의 좌굴이 발생
④ 실험체의 최대내력 160.55 kN에 도달
⑤ CN복합섬유패널(초고강도)의 파단

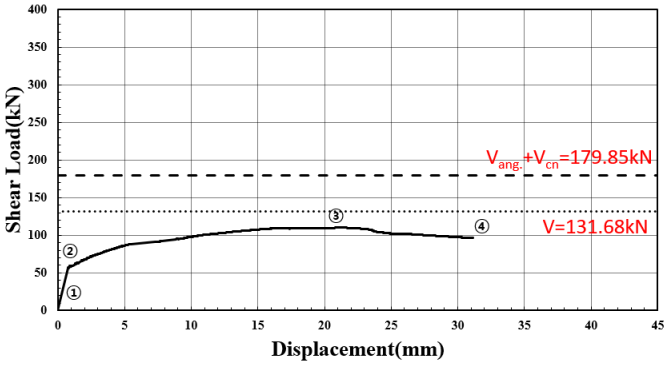
그림5-13. ST-HB2실험체

- ST-HB2실험체의 최대내력은 160.55kN으로 예상내력 207.53kN에 비해 0.77배 하회하게 평가됨.

- AL-HB2실험체



① ② ③ ④



① Diaphram의 좌굴과 상부 앵글의 휨이 발생

② 알루미늄앵글이 항복강도에 도달

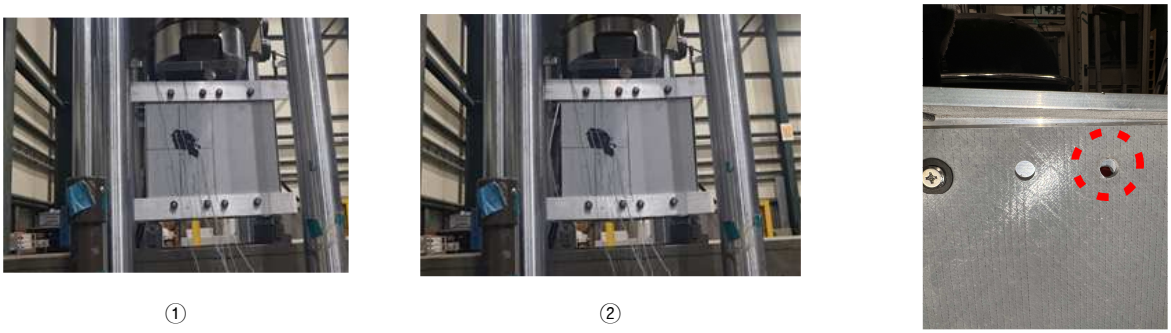
③ CN복합섬유패널(초고강도)의 좌굴이 발생하고 실험체의 최대내력인 110.31 kN에 도달

④ CN복합섬유패널(초고강도)의 파단되고 알루미늄앵글은 비틀림에 의한 좌굴이 발생

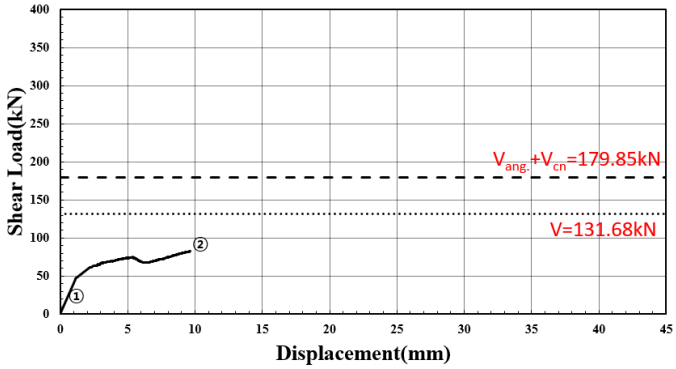
그림5-14. AL-HB2실험체

- AL-HB2실험체의 최대내력은 110.31kN으로 예상내력 179.85kN에 비해 0.61배 하회하게 평가됨.

- AL-FB2실험체



① ②



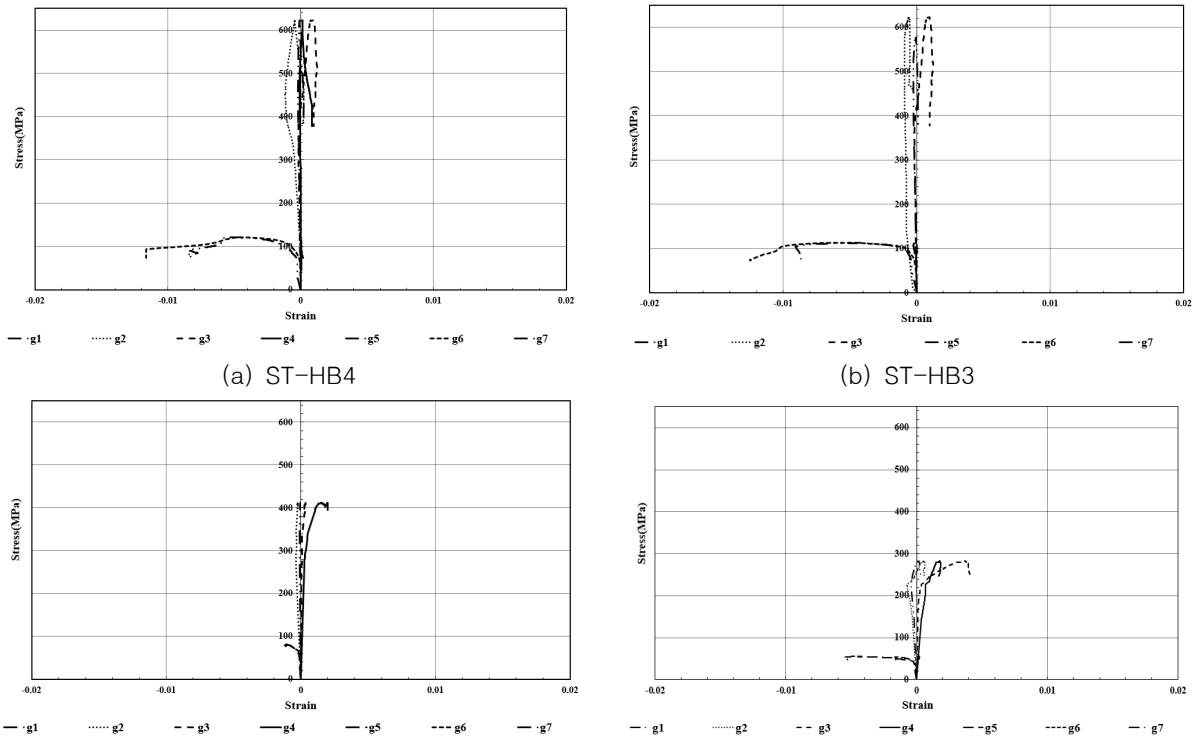
① Diaphram의 좌굴이 발생

② 슬리브 볼트의 내력이 고장력 볼트의 내력에 비해 현저하게 낮아 볼트가 먼저 파단

그림5-15. AL-FB2실험체

- AL-FB2실험체의 최대내력은 82.52kN으로 예상내력 179.85kN에 비해 0.46배 하회하게 평가됨.

- 각 실험체 별 응력-변형률 관계



(a) ST-HB4 (b) ST-HB3

(c) ST-HB2 (d) AL-HB2

그림5-16. 응력-변형률 관계 곡선

- 응력-변형률 관계를 파악하였을 때, 대부분의 모서리 앵글과 Diaphram은 항복강도 이상의 응력에 도달한 것으로 나타나지만 CN복합섬유패널(초고강도)은 1/10 정도밖에 도달하지 못한 것으로 보아 모서리 앵글의 휨이 발생하고 Diaphram의 면외 방향으로 휨이 생기면서 CN복합섬유패널(초고강도)도 면외 방향으로 힘을 받아 최대내력에 도달하지 못한 채 파단된 것으로 판단됨.

2) 내진보강 유닛들의 연결방식 제안

■ 연구 내용

확정된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진보강 유닛들의 단순 볼트체결로 조립하는 연결방식을 제안함.

■ 연구 결과

볼트연결부의 인장시험결과, 볼트 직경에 때한 연단거리비와 전단면 수가 증가할수록 파괴하중이 증가하며 볼트 배치에 따른 파괴하중은 유사한 경향을 보임. 지압파괴를 유도하기 위해서는 볼트직경에 대한 연단거리비를 4이상으로 해야함.

⑴ CN복합섬유패널(초고강도) 기계적 성질

Material	Tensile Strength (GPa)	Tensile Modulus of Elastic (GPa)	Flexural Strength (GPa)	Flexural Modulus of Elastic (GPa)
CN복합섬유패널 (초고강도)	1.11	57.9	1.29	55.5

그림5-17. CN복합섬유패널(초고강도) 기계적 성질

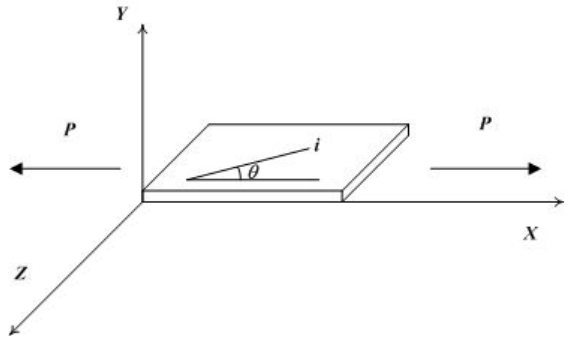


그림5-18. CN복합섬유패널(초고강도) 방향성

⑵ 볼트연결부의 인장시험

■ 실험계획

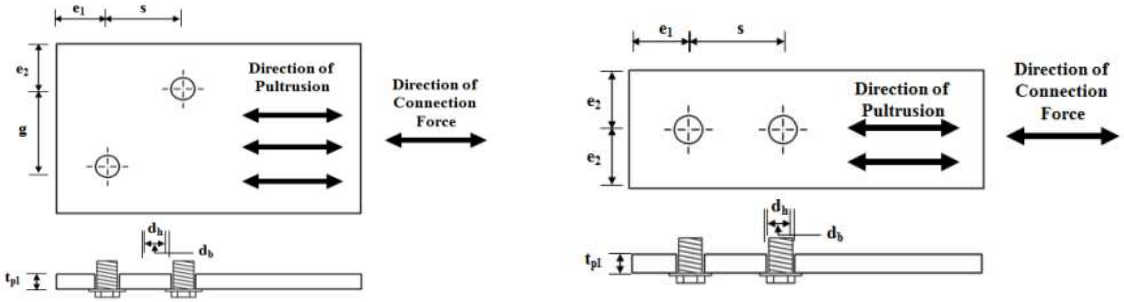
① 변수 : 볼트직경에 대한 연단거리비 (e_1/d_b), 측단거리비 (e_2/d_b), 볼트의 배치 형태 (엇모배치, 일렬배치), 전단면 수(Shear Plane = 1, 2)
② 재료 강도 : 알루미늄앵글 - AL6063 (f_y=260MPa, f_u=296MPa, 연신율=6.2%)
③ KS B 0801 1A호로 시편을 제작하여 재료시험을 진행

NO.	Specimen	Composite Fiber Panel Direction	Bolt Arrangement	Shear Plane (n)	Geometric Parameters (*mm*)	
					e_1	e_2
1	H-S1-e4	Horizontal	Staggered	1	40	20
2	H-S1-e5				50	
3	H-S2-e4			2	40	
4	H-S2-e5				50	
5	H-R2-e4		One Row		40	
6	H-R2-e5				50	
7	HV-S2-e3	Horizontal + Vertical	Staggered	2	30	
8	HV-S2-e4				40	
9	HV-S2-e5				50	
10	HV-R2-e3		One Row		30	
11	HV-R2-e4				40	
12	HV-R2-e5				50	
13	HV-S2-e4-2		Staggered		40	30
14	HV-S2-e5-2				50	

그림5-19. 실험체 일람표

Geometric Parameters (*mm*)				
g	s	t_{pl}	d_b	d_h
40	40	5	10	12

그림5-20. Geometric Parameters

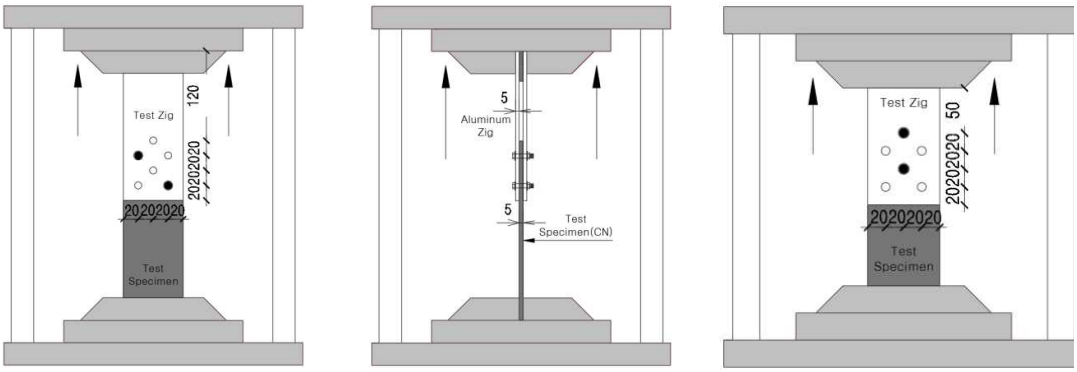


(a) 엇모배치 (b) 일렬배치

그림5-21. 볼트 연결부의 기하학적 매개변수

■ 실험방법

① 실험 장소 : 서울시립대학교 구조실험동
② 실험 장비 : 500 kN UTM (Universal test machine)
③ 가력 속도 : 0.02 mm/sec
④ 시편을 설치할 때 편심이 발생하지 않도록 지그의 위치 조정 및 Tab Plate를 설치함.



(a) 엇모배치 (b) 일렬배치

그림5-22. 실험체 개념도



(a) 엇모배치 (b) 일렬배치

그림5-23. 실험체 세팅

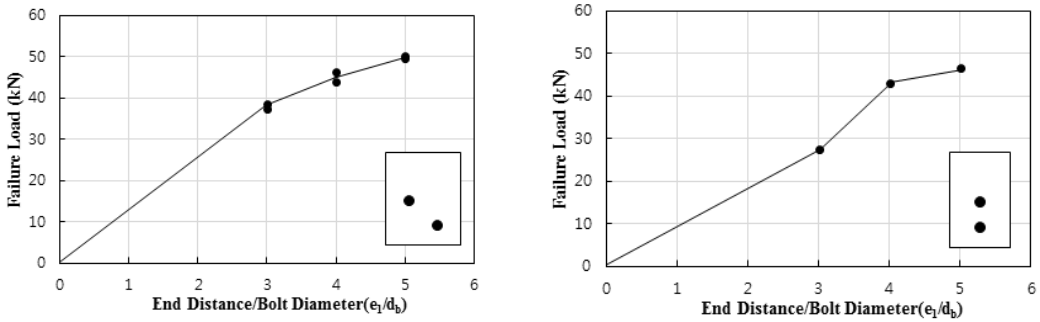
■ 파괴모드

① 지압파괴 : 부재가 하중을 받을 시 볼트의 목부분과 맞닿는 부재의 단면이 밀리면서 단면의 손실이 발생하는 파괴모드
② 순단면 인장파괴 : 볼트구멍에 의해서 감소된 순단면적으로 인해 인장에 대한 저항성이 취약해져 볼트가 배치된 선상을 따라서 끊어지듯 파괴되는 현상이 일어나는 파괴모드
③ 전단파괴 : 볼트의 목부분과 맞닿는 부재에 지압파괴가 더욱 진전되다가 전단에 대한 저항성이 약해지면서 전단면을 따라 파괴되는 파괴모드
④ 쪼개짐파괴 : 볼트의 목부분에 의해 하중을 전달받은 부재의 볼트구멍 단면이 하중에 저항하지 못하고 쪼개지듯 파괴모드
⑤ 블록전단파괴 : 단면 인장파괴와 전단파괴가 동시에 발생하는 것으로 부재의 일부분이 뜯겨져 나가는 파괴모드

■ 실험 결과

① 볼트직경에 대한 연단거리비에 따른 영향

- 실험체의 파괴하중은 볼트의 배열과 상관없이 e_1/d_b가 증가하면서 파괴하중 역시 증가되며, 그 증분량은 점차 감소하는 것을 확인함.
- 파괴모드는 e_1/d_b가 3인 HV-S2-e3 실험체의 경우 지압파괴 없이 전단파괴가 발생되었으나, e_1/d_b가 4 이상인 실험체는 모두 선지압파괴 모드가 발생한 후 최종적으로 전단파괴가 발생함.



(a) 엇모배치 (b) 일렬배치

그림5-24. 연단거리비(e_2/d_b)에 따른 영향

② 볼트직경에 대한 측단거리비(e_2/d_b)에 따른 영향

- 실험체의 파괴하중은 e_2/d_b가 증가하여도 뚜렷한 강도평가 변수로서의 경향성은 확인할 수 없음.

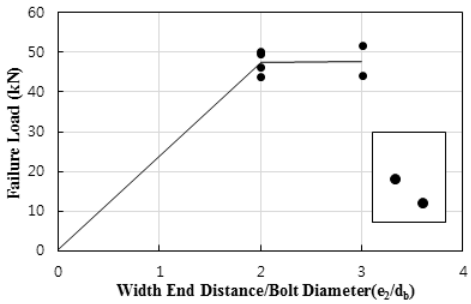


그림5-25. 연단거리비(e_2/d_b)에 따른 영향

③ 볼트배치(엇모배치, 일렬배치)에 따른 영향

- 두 가지 볼트배열에 따른 파괴하중은 e_1/d_b가 4이상인 지압파괴모드가 먼저 발생한 실험체들에서 유사한 값과 경향을 보이고 있으며, 파괴모드의 변화 양상 또한 동일함. (Hassan(1994))
- 기하학적 추천 치수를 만족하면서 동일한 개수의 볼트를 가지면 세로로 배열된 볼트연결부와 가로로 배열된 볼트연결부의 강도는 거의 동일하다고 주장함. (Lee, et al(2014))

- 본 실험 결과는 Hassan, Lee, et al의 연구결과와 유사한 결론을 나타냄.

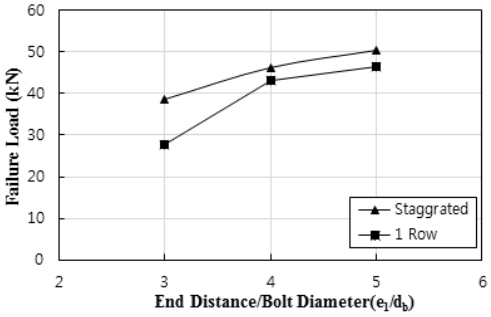


그림5-26. 볼트 배열에 따른 영향

④ 전단면 수(1면 전단, 2면 전단)에 따른 영향

- 1면 전단에서 2면 전단으로 전단 면이 증가함에 따라 약 1.1~1.15배의 파괴강도 증진 효과를 보여 볼트연결부의 강도평가에 있어 변수로 작용한 것으로 판단됨.

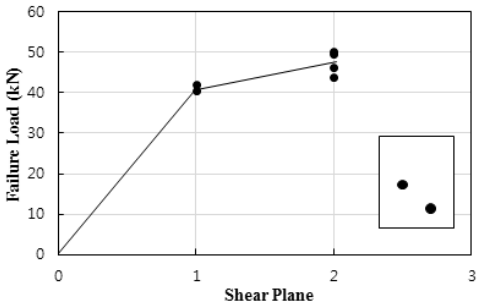


그림5-27. 전단면 수에 따른 영향

NO.	Specimen	Failure Load (kN)	Dominant Failure Mode
1	H-S1-e4	42.14	B-S
2	H-S1-e5	40.65	
3	H-S2-e4	43.28	
4	H-S2-e5	65.03	
5	H-R2-e4	45.84	B-C
6	H-R2-e5	42.47	B-S
7	HV-S2-e3	38.60	S
8	HV-S2-e4	46.20	B-S
9	HV-S2-e5	50.34	
10	HV-R2-e3	27.65	
11	HV-R2-e4	43.15	
12	HV-R2-e5	46.49	
13	HV-S2-e4-2	44.08	B-S
14	HV-S2-e5-2	51.77	

*파괴모드

NT : Net Tension
S : Shear-out
B : Bearing
C : Cleavage
CT : Cleavage-Tension
B-S : Bearing Failure → Shear-out Failure

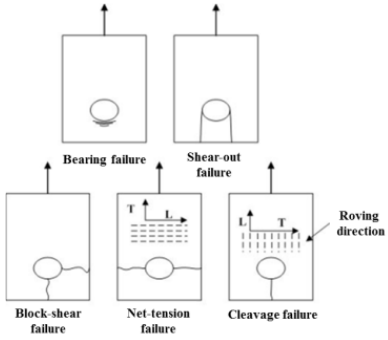


그림5-28. 볼트연결부 실험 결과

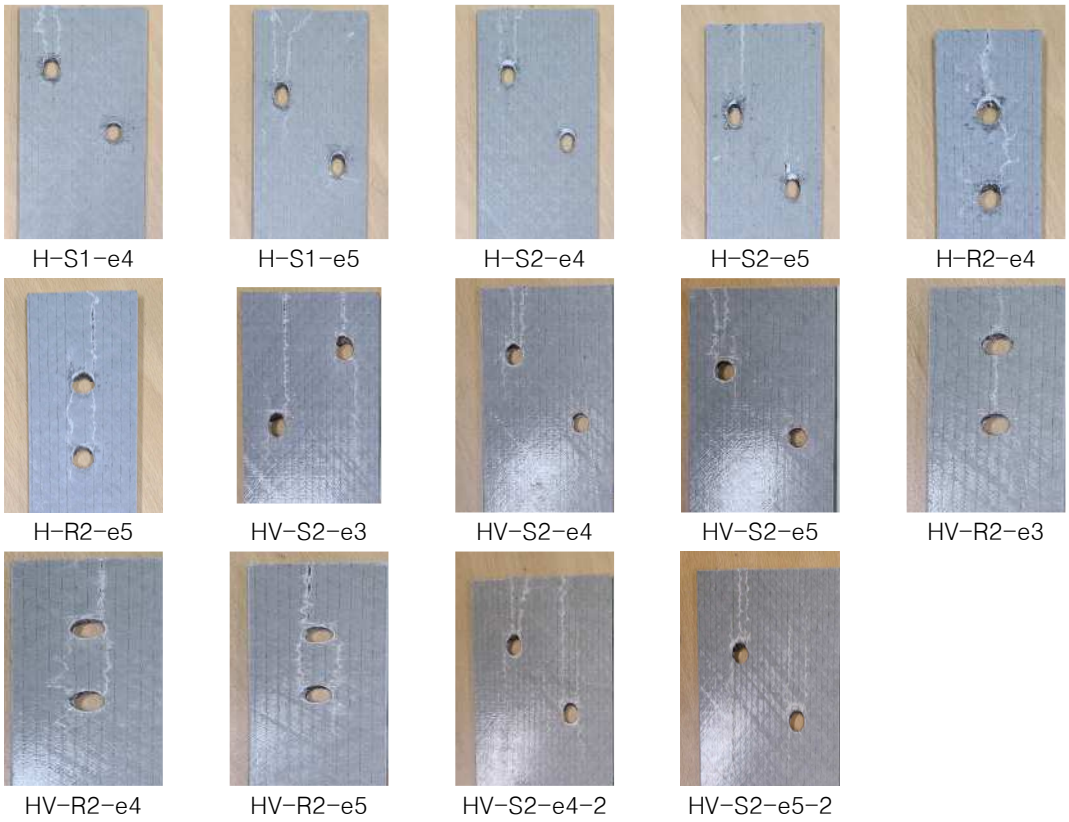


그림5-29. 실험체 파괴모드

3) 구성품에 대한 유한요소해석과 구조실험을 통한 내진성능 검증과 설계기초자료 제시

■ 연구 내용

엔지니어링 플라스틱 내진보강 유닛과 연결방식을 유한요소해석과 구조실험을 통하여 내진성능을 검증하고 설계기초자료를 제시함.

■ 연구 결과

본 연구에서 제안한 엔지니어링 플라스틱 내진보강공법은 전단내력이 보강 전에 비하여 1.46~1.49배 정도 증가하는 양상을 확인함. 철근이 항복강도에 도달한 후에 알루미늄앵글과 CN복합섬유패널(초고강도)의 연성거동 양상이 나타나며 최대내력에 도달한 이후 급격한 내력 감소가 없는 것으로 보아 내진보강 효과가 있을 것으로 판단

(1) 엔지니어링 플라스틱 내진보강공법 물리적 성능 검증

■ 실험계획

① 실험체 크기 : 300mm×400mm×2,400mm
② 변수 : 엔지니어링 플라스틱 내진보강 유,무 및 콘크리트를 채우지 않은 각형띠판 래티스형태
③ 재료 강도 : 알루미늄앵글 - AL6063 (fy=110MPa, fu=150MPa)
콘크리트 - f_{ck}=24MPa, 철근 - f_y=400MPa

Specimen	Section (mm)	Length (mm)	Shear Span to Depth	Parameter
RC	300 × 400	2,400	1.0D	-
EP1-SE				Set anchor
EP2-B				Bolt
EP3-HB				High Tension Bolt

그림5-30. 엔지니어링 플라스틱 내진보강공법 실험체 일람

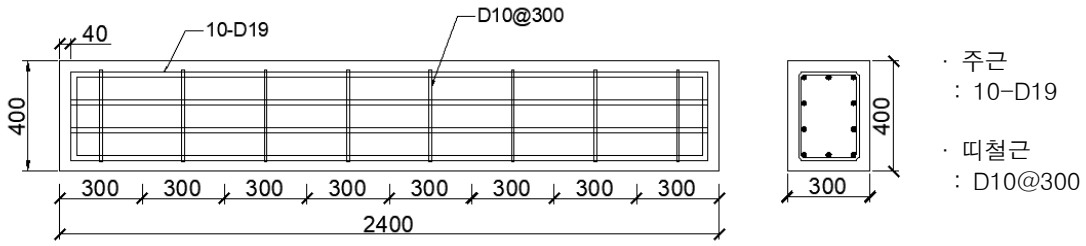


그림5-31. 철근 배근 상세도



그림5-32. 실험체 제작 과정

■ 실험방법

① 실험 장소 : 송도 포스코 R&D 센터 구조실험동
② 실험 장비 : 3,000 kN UTM (Universal test machine)
③ 가력 속도 : 0.03 mm/sec (4점 가력)
④ 전단 스팬비 : 1.0D



그림5-33. 실험체 세팅

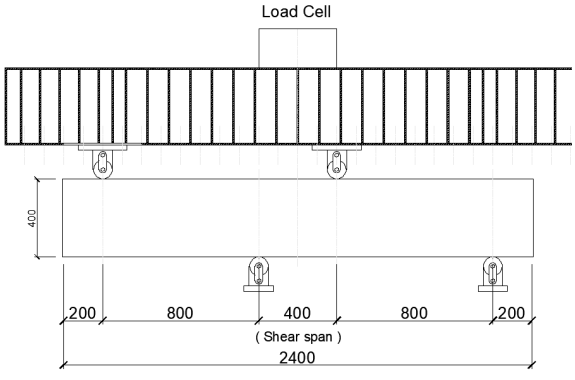


그림5-34. 하중 가력 방법

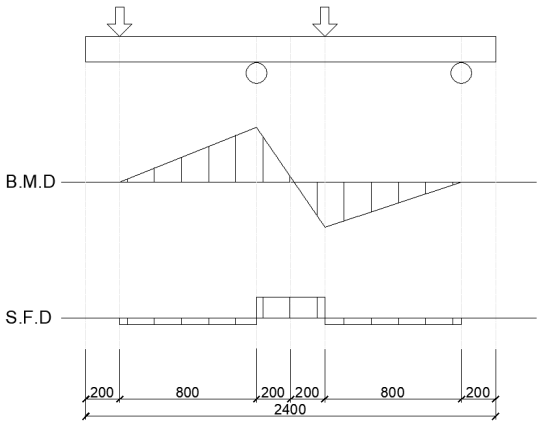


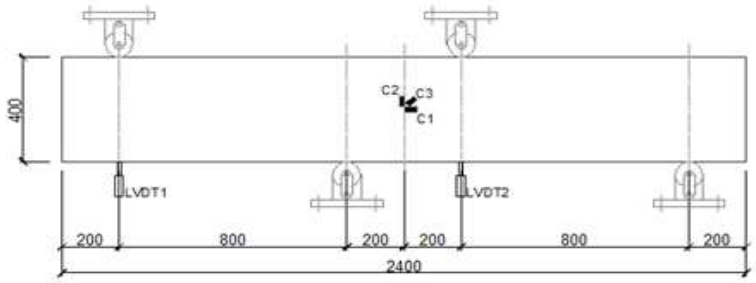
그림5-35. 실험체의 휨모멘트도 및 전단력도
(Unit : mm)

- 다가구 필로티기둥에 지진하중이 가력되었을 때를 모사하기 위하여 그림 5-34와 같이 상부 2점, 하부 2점 가력 하여 그림 5-35의 S.F.D와 같이 전단력이 발생하도록 계획함.

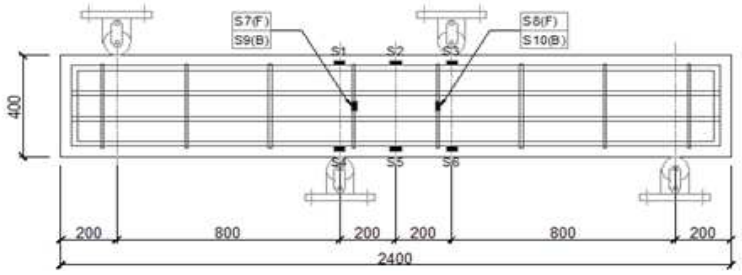
■ 실험 계측방법

① 처짐이 가장 많이 발생하는 가력점에서의 수직 변위 측정을 위하여 가력점 하부 2곳에 그림 5-23(a)와 같이 Bar 형태의 LVDT를 설치

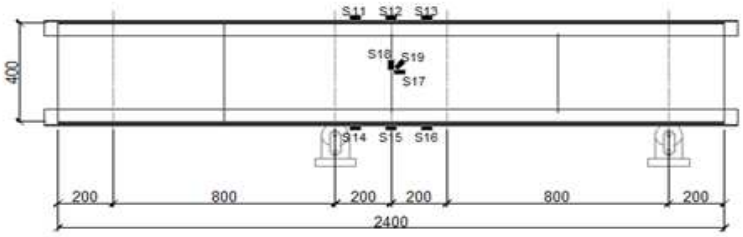
② 콘크리트, 철근, CN복합섬유패널(초고강도), 모서리 알루미늄앵글 각각의 변형률을 비교 분석하기 위하여 그림5-36과 같이 변형률 게이지(Strain Gauge)를 부착하여 측정



(a) 콘크리트



(b) 철근



(c) CN복합섬유패널(초고강도), 앵글

그림5-36. 변형률 게이지의 위치

■ 엔지니어링 플라스틱 내진보강공법 실험체 예상내력 산정

- RC실험체의 전단내력은 콘크리트 전단강도, 철근 전단강도의 합으로 산정

- EP1-SE실험체와 EP2-B실험체의 전단내력은 콘크리트 전단강도, 철근 전단강도, 모서리 앵글의 전단강도, CN복합섬유패널(초고강도)의 전단강도의 합으로 산정

- EP3-HB실험체 전단내력은 모서리 앵글의 전단강도, CN복합섬유패널(초고강도)의 전단강도의 합으로 산정

① 콘크리트의 전단강도는 KDS 41 30 00 : 2019에 의거하여 식 (1)을 통하여 182.78 kN로 산정

② 철근의 전단강도는 KDS 41 30 00 : 2019에 의거하여 식 (2)을 통하여 64.74 kN로 산정

③ 앵글의 전단강도는 KDS 14 31 00 : 2019에 의거하여 식 (3)의 식을 통하여 40.37 kN으로 산정

④ CN복합섬유패널의 전단강도는 복합신소재시스템에 의한 철근콘크리트 구조물의 보강설계 및 시공 지침서에 의거 식 (4)을 통하여 147.86 kN으로 산정

$$V_c = \frac{1}{6} \times (1 + \frac{N_u}{14A_g}) \times \lambda \times \sqrt[2]{f_{ck}} \times b_w \times d \quad \text{식 (1)}$$

여기서, λ : 경량콘크리트계수
N_u : 인장력
A_g : 전체 단면적
f_{ck} : 콘크리트 압축강도
b_w : 기둥 폭
d : 종방향 인장철근의 중심에서 압축연단까지의 거리

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} \quad \text{식 (2)}$$

여기서, A_v : 거리 s 내의 전단철근의 전체 단면적
f_{yt} : 횡방향 철근의 설계기준 항복강도
d : 종방향 인장철근의 중심에서 압축연단까지의 거리
s : 종방향 철근에 평행한 방향으로 전단 또는 비틀림 철근의 간격

$$V_a = (0.6F_y) \times A_w \times C_v \quad \text{식 (3)}$$

여기서, F_y : 항복강도
A_w : 웨브의 단면
C_v : 전단좌굴감소계수

$$V_{frp} = 2 \varnothing_{frp} \times f_{frp} \times N_b \times t_{frp} \times d \times \sin^2 \Theta \quad \text{식 (4)}$$

여기서, f_{frp} : FRP의 인장응력 ($f_{frp} = 0.002 \times E_{frp} \leq \varnothing_{frp} \times f_{frpu}$)
E_{frp} : FRP의 탄성계수
t_{frp} : FRP의 두께
d : 유효 깊이

Specimen	V_c (kN)	V_s (kN)	V_{angle} (kN)	V_{cn} (kN)	V (kN)
RC	182.78	64.74	-	-	247.52
EP1-SE	182.78	64.74	40.66	147.86	436.04
EP2-B	182.78	64.74	40.66	147.86	436.04
EP3-HB	-	-	40.66	147.86	188.52

*V_c:콘크리트 전단내력, V_s:철근 전단내력, V_{angle}:알루미늄앵글 전단내력,
V_{cn}:CN복합섬유패널(초고강도) 전단내력, V:예상 전단내력

그림5-38. 각 실험체 별 예상 전단내력

■ 재료 시험 결과

- 각 재료 별 시험 결과 [CN복합섬유패널(초고강도), 철근, 알루미늄앵글]

Material	No.	Modulus of Elasticity (MPa)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Yield Ratio	Elongation (%)
CN 복합섬유패널 (초고강도)	EP1			1,143		
	EP2			1,097		
	EP3			1,085		
	평균			**1,108**		
D10 Rebar	D10-1	204,985.1	427	575	0.74	12
	D10-2	200,442.5	472	633	0.75	15
	D10-3	205,507	501	656	0.76	18
	평균	**203,644.87**	**466.67**	**621.33**	**0.75**	**15**
D19 Rebar	D19-1	228,019.9	480	632	0.76	18
	D19-2	313,442.4	513	659	0.78	22
	D19-3	202,157.5	535	680	0.79	25
	평균	**247,873.30**	**509.33**	**657**	**0.78**	**21.67**
Aluminium	AL1	57,628.1	283	313	0.90	18
	AL2	45,933.2	202	226	0.89	16
	AL3	53,617.9	210	242	0.87	12
	평균	**52,393.07**	**232**	**260**	**0.89**	**15.33**

그림5-39. 재료 시험 결과

- 콘크리트 압축강도 시험 결과

Material	No.	Compressive (N)	Compressive Strength (MPa)
Concrete	C1	177,410	22.60
	C2	146,717	18.69
	C3	149,072	18.99
	평균	**157,733**	**20.09**

그림5-40. 콘크리트 압축강도 시험 결과

■ 실험 결과

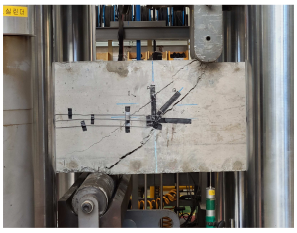
- 각 실험체 별 초기강성과 전단내력

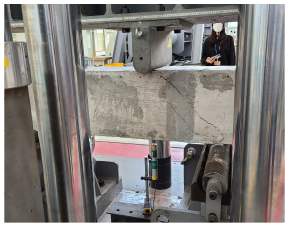
Specimen	Initial stiffness (kN/mm)	V_y (kN)	V_{max} (kN)
RC	112.52	351	422.66
EP1-SE	121.59	378.35	628.28
EP2-B	123.02	379.83	616.38
EP3-HB	18.04	56.29	84.38

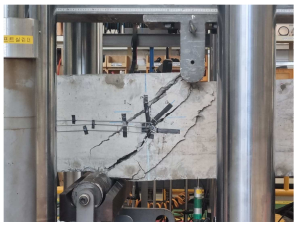
그림5-41. 각 실험체 별 실험 결과

- RC실험체

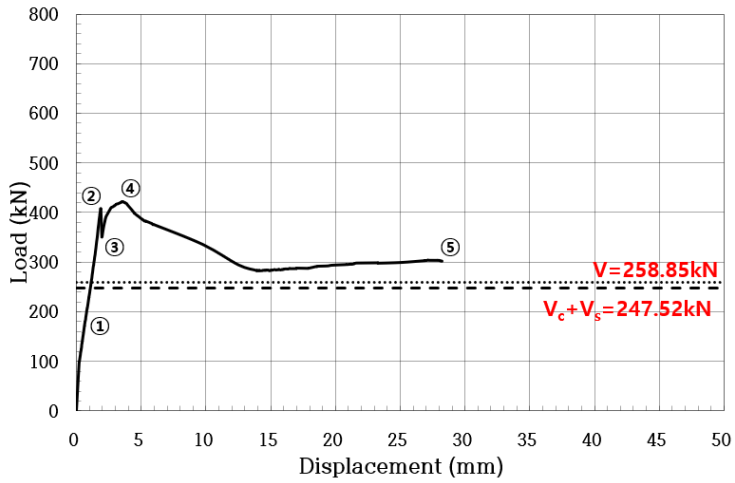












① 사인장 균열 발생
② 철근이 항복함
③ 철근 항복 이후 내력이 다소 떨어짐
④ 최대내력 도달
⑤ 콘크리트에 발생한 균열로 인하여 철근이 피복두께 밖으로 드러남

*V_c+V_s : 재료 시험 결과에 의한 예상 전단내력
V : 설계기준강도에 의한 예상 전단내력

그림5-42. RC실험체

- RC실험체의 최대내력은 422.66 kN으로, 예상 내력 247.52 kN의 1.71 배로 상회하게 평가됨.

- RC 실험체는 철근이 항복강도에 도달하였을 때 사인장 균열이 발생하기 시작하였고, 내력이 점차 감소하다 변위가 15 mm 발생한 시점에 더 이상 내력의 감소 없이 변형만 증가하는 양상을 나타냄

- EP1-SE실험체

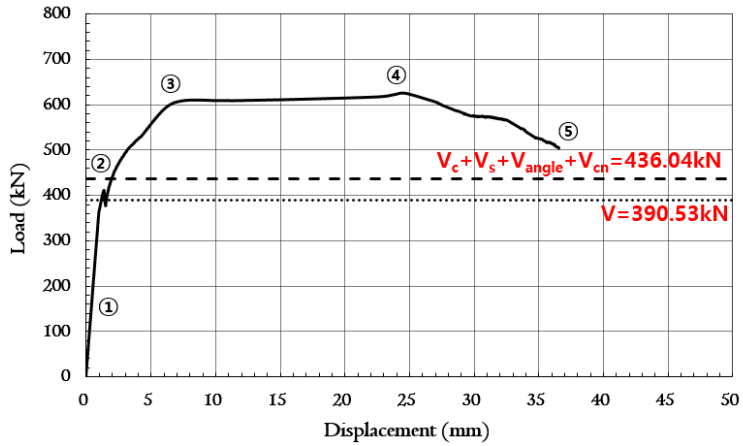












① 알루미늄앵글의 휨 발생
② 철근이 항복함
③ 알루미늄앵글과 CN복합섬유패널(초고강도)에 의하여 전단내력 상승
④ 최대내력 도달
⑤ 알루미늄앵글 접합부에서 볼트 지압파괴가 나타났고, 가력점에서의 CN복합섬유패널(초고강도)의 파단 발생

*$V_c+V_s+V_{angle}+V_{cn}$: 재료 시험 결과에 의한 예상 전단내력
V : 설계기준강도에 의한 예상 전단내력

그림5-43. EP-SE실험체

- 최대내력은 628.28 kN으로, 예상내력 435.75 kN의 1.44 배 상회하게 평가됨.

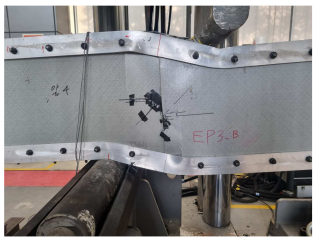
- 철근이 항복강도에 도달한 이후 전단내력의 감소가 거의 없이 변형만 증가하는 양상을 나타냄.

- 철근이 항복강도에 도달한 이후 알루미늄앵글에 휨이 발생하고 콘크리트와 CN복합섬유패널(초고강도)이 일체화하여 연성거동을 유도하였고, 하중 가력 위치에 집중하중에 의한 압축파괴가 발생함. 또한, 후면부 CN복합섬유패널(초고강도)의 이음부 사이를 확인한 결과 콘크리트 전단파괴 양상을 나타냄.

- 볼트의 지압파괴가 발생하는 것으로 보아 접합부에 국부적으로 하중이 크게 작용하는 것으로 판단되어 접합부 파괴를 방지하기 위하여 기존 기둥과 CN복합섬유패널(초고강도)의 일체화를 위한 연구 수행이 보완적으로 필요함.

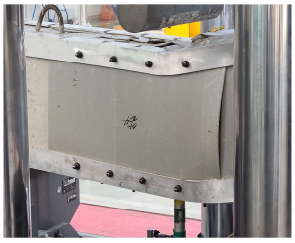
- EP2-B실험체

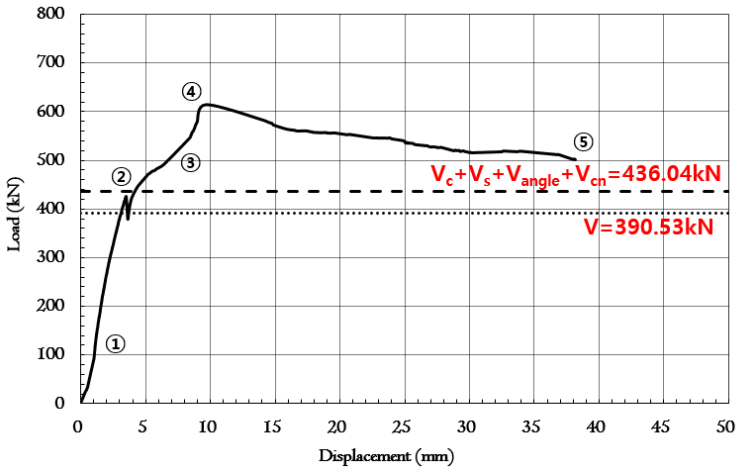












① 알루미늄앵글의 휨 발생
② 철근이 항복함
③ 알루미늄앵글과 CN복합섬유패널(초고강도)에 의하여 전단내력 상승
④ 최대내력 도달
⑤ 상부측의 콘크리트 파괴와 전면 CN복합섬유패널(초고강도)의 파단 발생

*$V_c+V_s+V_{angle}+V_{cn}$: 재료 시험 결과에 의한 예상 전단내력
V : 설계기준강도에 의한 예상 전단내력

그림5-44. EP-B 실험체

- 최대내력은 616.38 kN으로 예상내력 435.75 kN에 1.41배 상회하게 평가됨.

- 철근이 항복강도에 도달한 이후 다소 전단내력이 감소하였고 변위 25 mm 발생한 이후 전단내력 감소 없이 변형만 증가하는 양상을 나타냄.

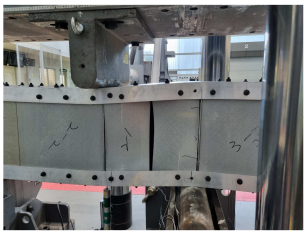
- EP2-B 실험체도 EP1-SE 실험체와 유사한 거동을 보였지만 EP2-B 실험체의 경우 상부 CN복합섬유패널(초고강도)을 보강하지 않아서 변위 10 mm~25 mm까지의 전단내력 EP1-SE 실험체에 비하여 감소가 큰 것이라고 판단됨.

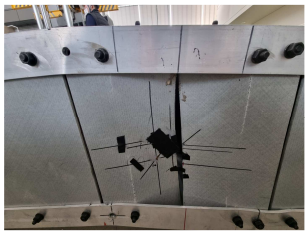
- 하중 가력 위치에 집중하중으로 인한 압축파괴 양상을 확인함. 이를 통하여 CN복합섬유패널(초고강도)로 보강을 하였을 때 휨 균열 발생이 억제되어 사인장 균열 발생하는 것을 제어하여 전단 보강 능력이 개선된 것으로 보임.

- EP3-HB 실험체

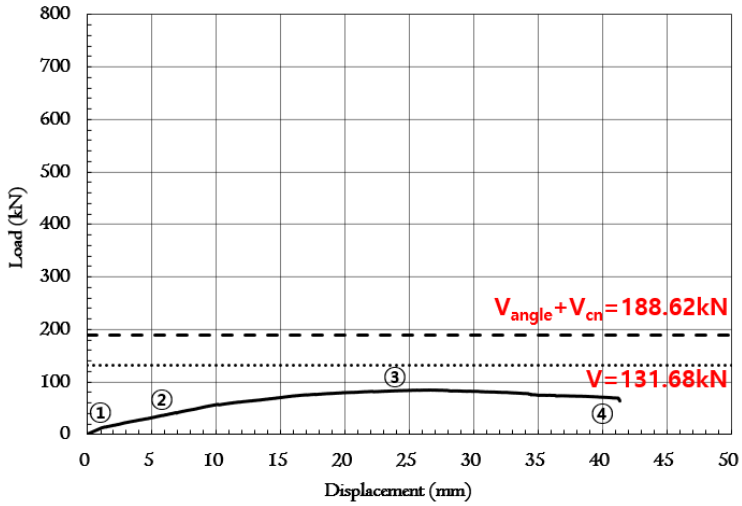












① 알루미늄앵글의 휨 발생
② 알루미늄앵글 항복
③ 최대내력 도달
④ CN복합섬유패널(초고강도) 파단

*$V_{angle}+V_{cn}$: 재료 시험 결과에 의한 예상 전단내력
V : 설계기준강도에 의한 예상 전단내력

그림5-45. EP-HB 실험체

- EP3-HB 실험체의 최대내력은 84.38 kN로, 예상내력 188.23 kN의 0.44 배 하회하게 평가됨.

- EP3-HB 실험체는 변위 25 mm 발생할 때까지는 전단내력이 증가하였고 이후 다소 감소하면서 변형이 증가하는 양상을 나타냄

- CN복합섬유패널(초고강도) 사이 이음부의 틈새로 인하여 제 성능을 발휘하지 못하여 예상내력에 비해 최대내력이 현저히 낮게 평가되었을 거라고 판단됨

- RC 실험체는 최대 내력값은 422.66 kN으로 평가되었고, EP3-HB 실험체는 84.38 kN로 평가되어 CN복합섬유패널(초고강도)로 보강하였을 때 전단내력은 20 % 증가할 것으로 예상하였지만 EP1-SE 실험체의 전단내력은 628.28 kN으로 1.49 배 증가하였고, EP2-B 실험체의 전단내력은 616.38 kN로 1.46 배 증가함

- CN복합섬유패널 한 판에 대칭으로 볼트 조임을 하지 않아 볼트가 있는 지점은 국부적으로 힘이 많이 작용하여 CN복합섬유패널의 파단이 발생하였고, 볼트가 없는 부분은 면내좌굴이 발생하면서 CN복합섬유패널의 내력이 감소하였을 것이라고 판단됨.

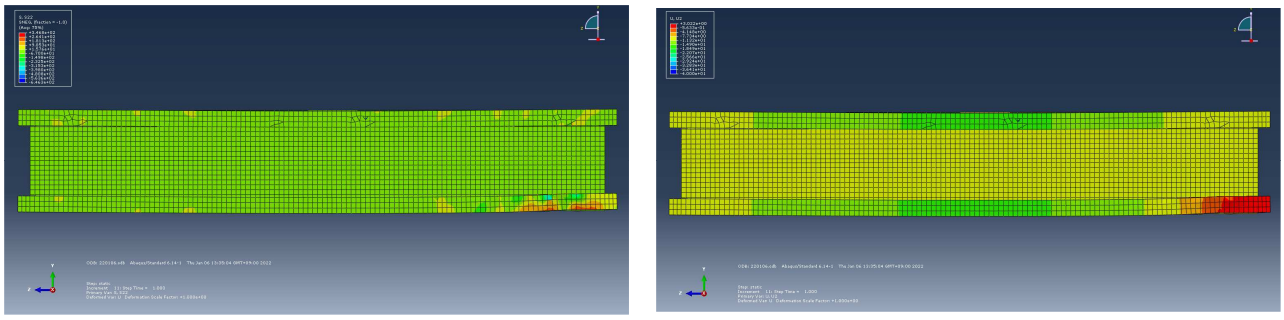
⑵ 엔지니어링 플라스틱 유한요소해석

■ 개요

① 실험체 크기 : 300mm×400mm×2,400mm
② 요소 : 콘크리트 - Solid / 알루미늄앵글, CN복합섬유패널(초고강도) - Shell
③ 하중가력방법 : 변위제어

■ 해석결과

① 최대응력 : 646MPa
② 최대변위 : 40mm



Stress (MPa)　　Displacement (mm)

그림5-46. 유한요소해석결과

6. DIY용 기둥보강 구성품의 제조방식을 감안한 형상 파라메타와 가생산 시제품 제작

■ 연구 내용

산업화에 유리한 제조방식을 확정하고 그에 따른 DIY용 기둥보강 구성품 유닛의 형상을 제안함

■ 연구 결과

- DIY 다가구주택 필로티 기둥 전단보강공법 시공 순서

· 시제품 제작영상 (https://youtu.be/84xsCdkjMsw)



① 구멍 타공 위치 표기

1. 타공 위치 표기
2. 볼트 구멍 타공
3. 볼트 고정



- 볼트 종류 : Sleeve Bolt
- 볼트 직경 : 10mm



② 프라이머 도포

목적 : 볼트 조임 전 CN복합섬유패널의 위치 고정



③ CN복합섬유패널(초고강도) 부착

○ CN복합섬유패널(초고강도) 기계적 성질

Material	Tensile Strength (GPa)	Tensile Modulus of Elastic (GPa)	Flexural Strength (GPa)	Flexural Modulus of Elastic (GPa)
CN복합섬유패널 (초고강도)	1.11	57.9	1.29	55.5



④ 모서리 앵글 부착

○ 알루미늄앵글 기계적 성질

- 재질 : AL6063



⑤ 볼트 조임

모서리 앵글과 CN복합섬유패널(초고강도)을 볼트로 조임



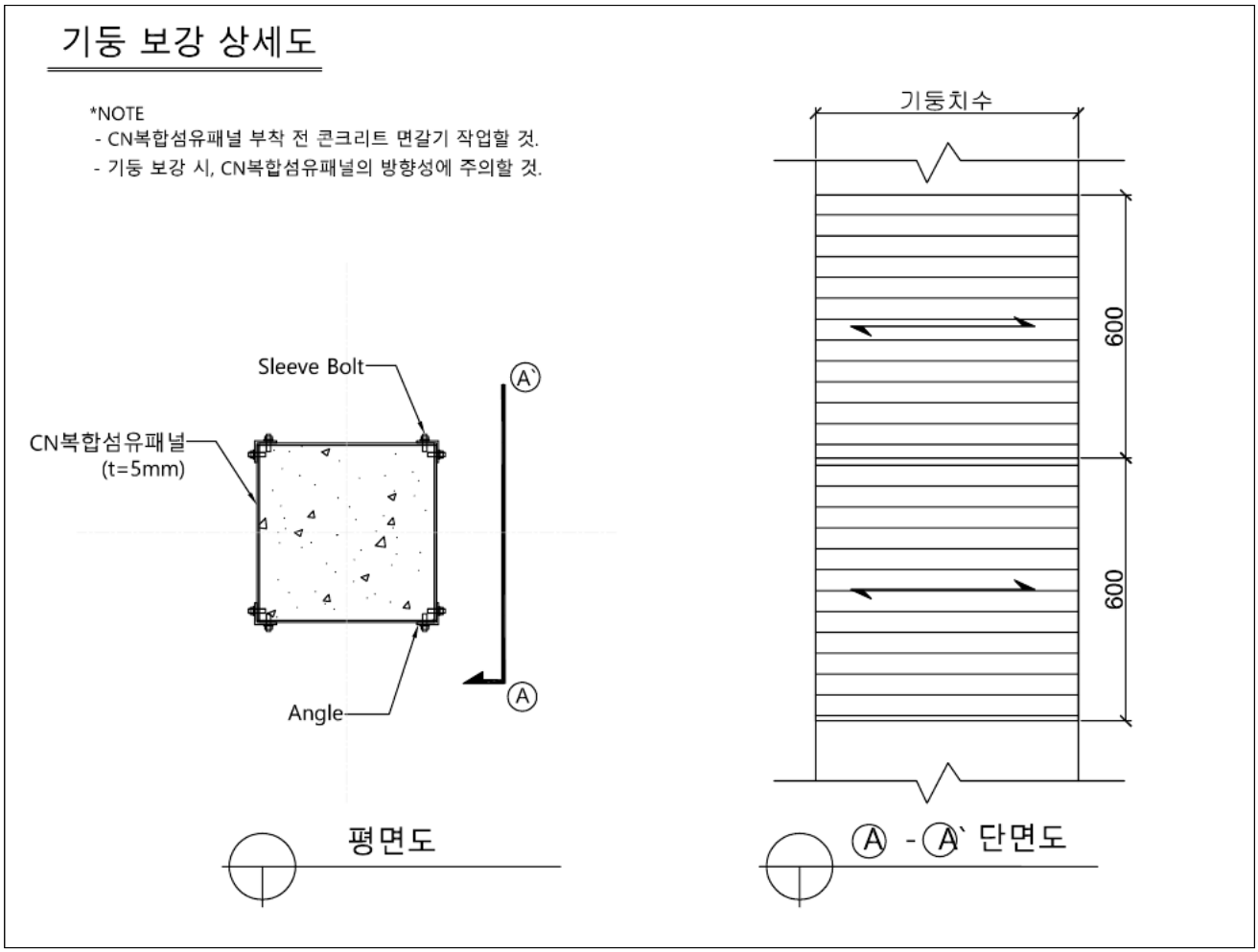


내진보강 완료

⑥ 보강 완료

그림6. DIY 다가구주택 필로티 기둥 전단보강공법 시공 순서

- 복합재난 보강시스템 설계도면



7. 제안된 DIY공법의 화재실험을 통한 화재피해 저감 효과와 내화성능 검증

1) 내화실험 계획 및 실험체 제작

■ 연구 내용

설계안을 바탕으로 실험을 계획하고, 엔지니어링 플라스틱 내화수준별 실험체를 제작함.

■ 실험계획

① 실험체 크기 : 400mm×400mm×3,000mm
② 변수 : 엔지니어링 플라스틱 내진보강 유,무
③ 재료 강도 : 알루미늄앵글 - AL6063 (fy=110MPa, fu=150MPa)
콘크리트 - fck=24MPa, 철근 - fy=400MPa

Specimen	Section (mm)	Length (mm)	주철근	띠철근	피복두께(mm)
RC	400×400	3,000	8-D22	D10@150	40
CN					

그림7-1. 국부화재 실험체 일람

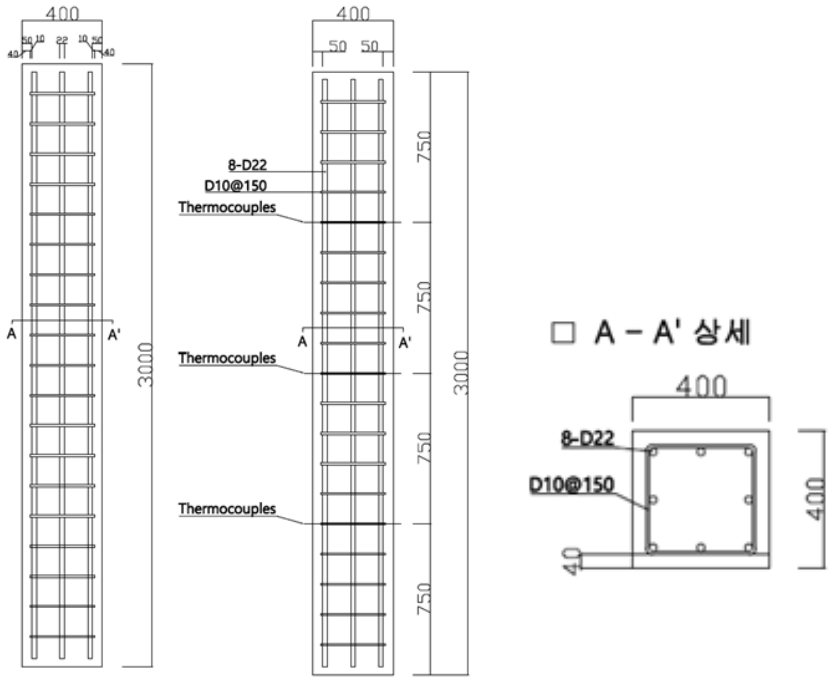


그림7-2. 철근 배근 상세도

- CN실험체에 CN복합섬유패널(준불연)을 부착하기 위해 알루미늄앵글을 사용하여 각 모서리를 보강하였으며, 띠판을 700mm 간격으로 용접한 뒤 나사못으로 보강재를 고정함.

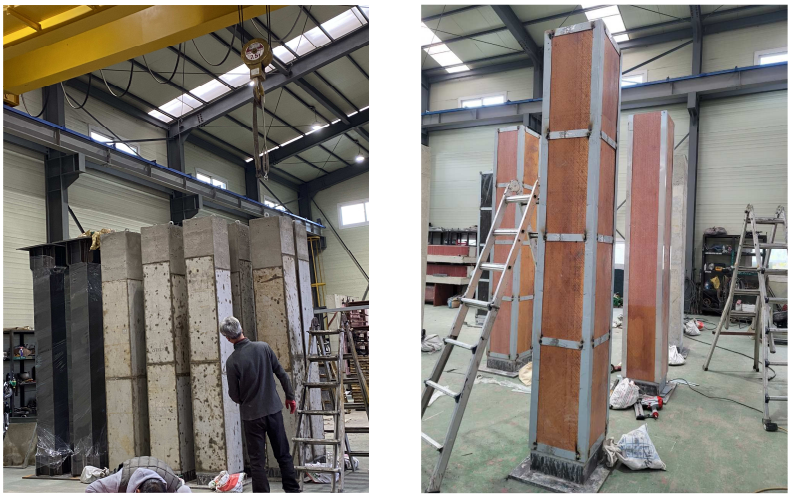


그림7-3. 실험체 제작과정

■ 재료의 기계적 성질

Material	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus of Elastic (MPa)	Thickness (mm)
CN 복합섬유패널(준불연)	1,110	57,900	5

그림7-4. CN복합섬유—패널(준불연) 기계적 성질

■ 실험방법

① 실험 장소 : 한국건설생활환경시험연구원 실화재시험연구센터
② 화원 : 헵탄 90L
③ 실험 장비 : 10MW급 대형 칼로리미터(Large Scale Calorimeter)

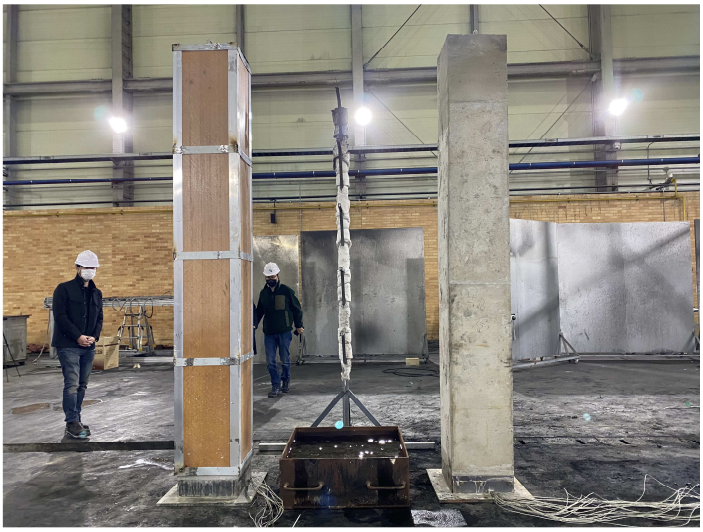


그림7-5. 실험 세팅

- 주차장에서의 중형승용차와 기둥 부재에 대한 평균 거리를 고려하여 기둥과 근접한 위치에서 화재가 발생한 것으로 가정

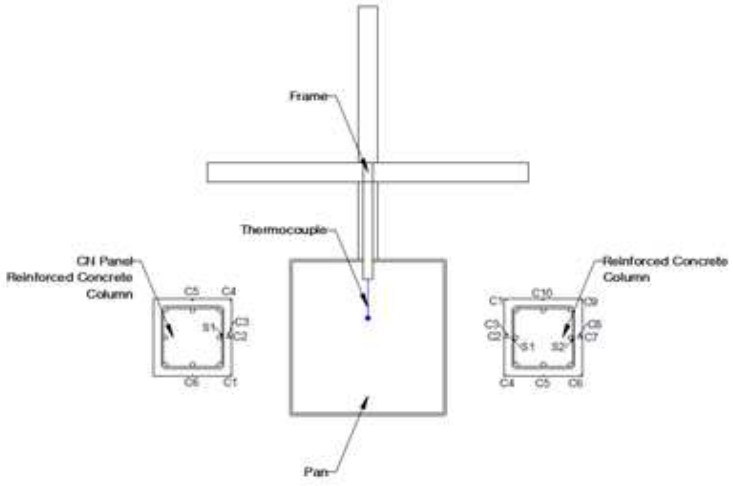


그림7-6. 실험 배치도

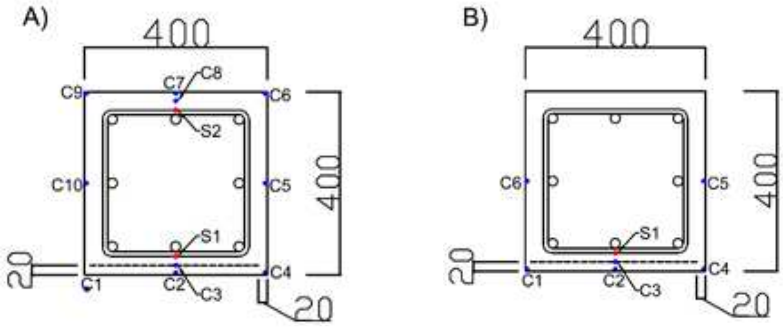
■ 실험 계측방법

- 두 실험체에 공통적으로 0.65mm 직경의 K-Type 열전대를 철근에 미치는 영향을 보고자 늑근의 중심부에 설치

- RC 실험체는 1.0m 2.0m 높이에 각 12개씩 열전대를 총 24개 설치.
  (콘크리트 열전대 : 10개, 철근 열전대 : 2개 설치)
- CN 실험체(CN)에 1.0m 2.0m 높이에 각 7개씩 열전대를 총 14개 설치.
  (콘크리트 열전대 : 6개, 철근 열전대 : 1개 설치)

- 시간의 따른 높이별 화원의 온도 변화를 확인하기 위하여 금속 피복된 1.6mm의 K-Type 열전대를 팬의 중심부(N)에 1.0m 1.5m 2.0m 2.5m 3.0m 높이로 총 5개 설치하여 온도 측정

- 시험에 사용된 열전대의 측정 범위 : 0℃~1,200℃
- 열전대에서 측정된 실험값을 이용하여 시간-온도 관계를 산정



RC 기둥 CN준불연패널 보강기둥

그림7-7. 기둥 열전대 위치

2) 엔지니어링 플라스틱 복합재난 보강시스템 내화실험 수행 (실물 크기)

■ 연구 내용

내화실험을 통하여 RC기둥과 내진보강된 기둥의 내화성능을 측정하고, 내화수준별 엔지니어링 플라스틱 보강시스템을 화재에 노출 시킨 후 온도 변화에 따른 내진/내화성능을 확인함.

■ 연구 결과

RC실험체는 폭렬과 잉여수 누출 형상을 보인 반면 CN실험체는 폭렬현상은 발생하지 않고 화염에 직접 맞닿은 부분에서 섬유가 연소되면서 변색되는 현상이 나타남.

■ 국부화재실험 파괴모드



국부화재 실험체 RC실험체 CN실험체

그림7-8. 실험체 파괴모드

- RC 실험체

① 가열시간 40분의 영향을 받은 실험체는 전체 가열면적 42.4% 정도의 폭렬이 발생
② 화염에 맞닿은 콘크리트 표면에는 그을림과 폭음 및 파열하는 현상과 잉여수가 균일간격대로 누출된 형상을 확인
③ 화염과 맞닿지 않은 표면에서는 파괴되지 않음

- CN 실험체

① RC 실험체와 달리 폭렬현상이 일어나지 않았으며 화염에 맞닿은 표면에 그을림이 발생함
② 화염에 맞닿지 않은 표면에서는 변화가 거의 없었음
③ 화재실험 후 CN복합섬유패널(준불연)의 섬유가 연소되어 변색됨

3) 실험 결과의 분석 및 고찰을 통한 복합재난 보강 성능 확인

■ 연구 내용
화재 온도-변위 곡선에서 극한강도와 변위 발생량을 모델별로 관측하고, 실험 결과를 분석을 하여 엔지니어링 플라스틱 보강시스템의 화재피해 저감 효과와 내화성능을 검증함.

■ 연구 결과
RC실험체의 최대 온도는 828.7℃로 측정된 반면 CN복합섬유패널(준불연)은 207.7℃ 낮은 온도분포양상을 보임. 또한, 화재실험 후 압축내력 저하도 적다고 평가됨. 이에 따라, 내화성능보강의 효과가 있음을 확인함.

(1) 국부화재실험 온도특성

- RC 실험체

① 데이터로거 오류로 인해 RC-2-C4에서 온도가 측정되지 않았음
② 최대 온도는 RC-2-C1에서 약 14분경에 828.7℃로 확인됨. 직접적으로 화염이 맞닿은 콘크리트 표면에 박리 및 탈락이 발생하여 이로 인해 화염이 확산되어 온도에 영향을 미친 것으로 사료됨.
③ 철근 열전대 위치인 S1과 S2 중 화재에 직접적으로 노출된 표면에 설치한 RC-2-S1에서 약 39분에 199.0℃로 최대 온도가 측정되었고, 이는 피복콘크리트에서 폭발이 발생하면서 화염이 성장하여 늑근까지 영향을 미친 것으로 확인됨.
④ 그 외 화염이 맞닿지 않은 콘크리트 표면에는 화재의 영향이 미미함.

- CN 실험체

① 최대 온도는 CN-2-C2에서 약 38분경에 207.7℃로 확인하였음
② RC 실험체와 달리 높은 온도분포를 보이지 않았으나 시간에 따라 온도가 상승하는 경향을 보였으며, 이는 CN복합섬유패널(준불연)로 인해 열을 방출하지 못하여 내부온도가 상승한 것으로 사료됨.
③ 그 외 화염이 맞닿지 않은 콘크리트 표면에서는 RC 실험체와 비슷한 온도가 측정됨.
④ 철근 열전대의 경우 직접적으로 노출된 표면에 설치한 RC-2-S1에서 약 39분에 74.9℃로 최대 온도가 측정되어 화재의 영향이 미미함.

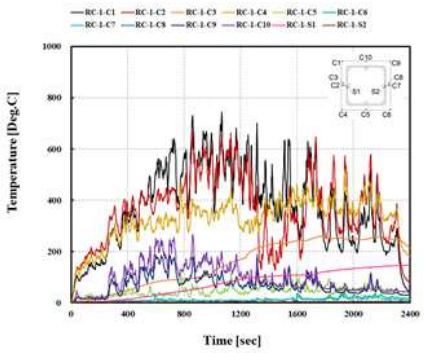
- **화원의 높이별 온도 측정 분석 결과**
① 최대 온도는 N-1.0에서 약 14분경 952.5℃로 측정되었고, 이는 RC 실험체와 마찬가지로 표면에서

의 박리 및 탈락으로 인한 온도상승으로 사료됨

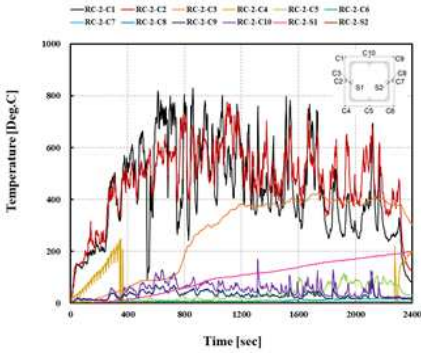
- **화원의 높이별 온도분포 확인**

① RC실험체와 CN실험체의 경우, 두 실험체 모두 측정 높이가 1.0m 지점보다 2.0m 지점에서 온도가 높은 경향을 나타냈고, 이는 콘크리트 표면의 파열로 인해 콘크리트 내부에 있던 열전대가 표면에 노출되면서 온도가 상승한 것으로 판단됨.

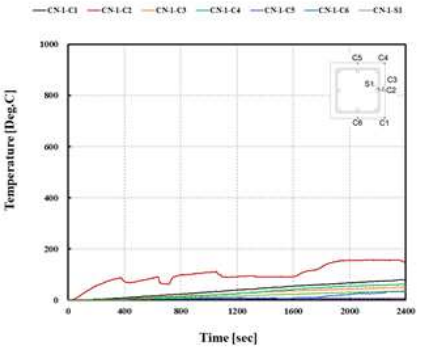
② 기둥 국부화재 발생 시 화염 높이는 최대 약 3.5m 이상 상승한 것으로 확인하였고, 이러한 화염의 온도와 높이는 구조물에 직접적인 영향을 미치는 것으로 사료됨.



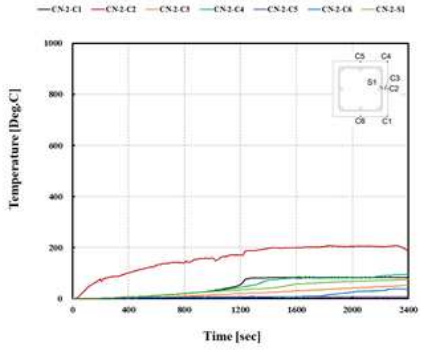
(a) RC기둥-1.0m



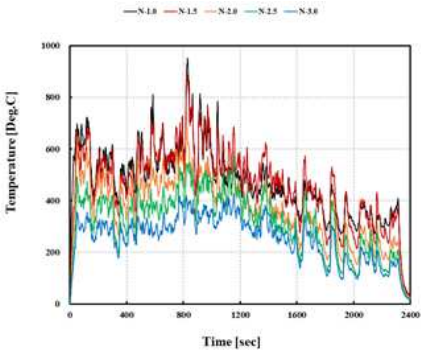
(b) RC기둥-2.0m



(c) CN복합섬유패널(준불연) 보강기둥-1.0m



(d) CN복합섬유패널(준불연) 보강기둥-2.0m



(e) 외부 열전대

그림7-9. 실험체 온도측정 결과 그래프

⑵ 화재 후 내력평가

- 화재 발생 후 화재 피해를 입은 구조부재인 필로티 기둥의 안정성을 검토하고자 KDS 14 20 20 : 2021에 의거 RC 기둥의 설계압축내력(P_o)를 산정하여 실험 전의 실험체 내력과 실험 후 화해를 입은 실험체의 내력을 산정하여 비교함
- 실험 후 실험체의 내력 산정은 KDS 41 18 20 : 2021의 온도별 콘크리트의 강도저감계수($f_{ck,T}$)를 고려하여 산정

$$P_o = 0.85 f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad \text{식 (1)}$$

온도 (℃)	석회질 골재 콘크리트		
	$f_{ck,T}$	$\varepsilon_{c,T}$	$\varepsilon_{cu,T}$
20	1.00	0.0025	0.0200
100	1.00	0.0040	0.0225
200	0.97	0.0055	0.0250
300	0.91	0.0070	0.0275

400	0.85	0.0100	0.0300
500	0.74	0.0150	0.0325
600	0.60	0.0250	0.0350
700	0.43	0.0250	0.0375
800	0.27	0.0250	0.0400
900	0.15	0.0250	0.0425
1000	0.06	0.0250	0.0450
1100	0.02	0.0250	0.0475
1200	0.00	-	-

그림7-10. 온도별 콘크리트의 강도저감계수

- RC실험체와 CN실험체에서 위의 식 (1)로 산정한 RC 기둥의 예측압축내력(P_o)인 5,636.80kN 대비 각각 17.7%와 0.2% 만큼 내력이 저하됨.
- 따라서 제안한 압축내력 평가식을 적용하여 비교하였을 때, CN복합섬유패널(준불연)로 보강하였을 때의 내력 저하가 작기 때문에 내화보강 효과가 있음을 확인.

실험체명	압축내력 (kN)		$P_{o,T}$ / P_o
	P_o	$P_{o,T}$	
RC	5,636.80	4,639.18	0.823
CN	5,636.80	5,623.87	0.998

그림7-11. 화재실험 후 압축내력 평가 결과

4) 필로티 구조의 실화재 실험을 통하여 보강 성능 확인

(1) 필로티 주차공간 실화재 실험

■ 실험계획

① 실험체 크기 : 400mm×400mm×3,000mm
② 변수 : RC, CN복합섬유패널(준불연) 보강기둥, CFRP시트 보강기둥, CFRP패널 보강기둥
③ 재료 강도 : 알루미늄앵글 - AL6063 (fy=110MPa, fu=150MPa)
콘크리트 - fck=24MPa, 철근 - fy=400MPa
④ 차량제원 : 1998 SM 520 (전장:4,825mm, 전폭:1,775mm, 전고:1,415mm)

Specimen	Section (mm)	Length (mm)	주철근	띠철근	피복두께(mm)
RC	400×400	3,000	8-D22	D10@150	40
CN					
CFRP-S					
CFRP-P					

*S:Sheet, P:Panel

그림7-12. 필로티 주차공간 실험체 일람표

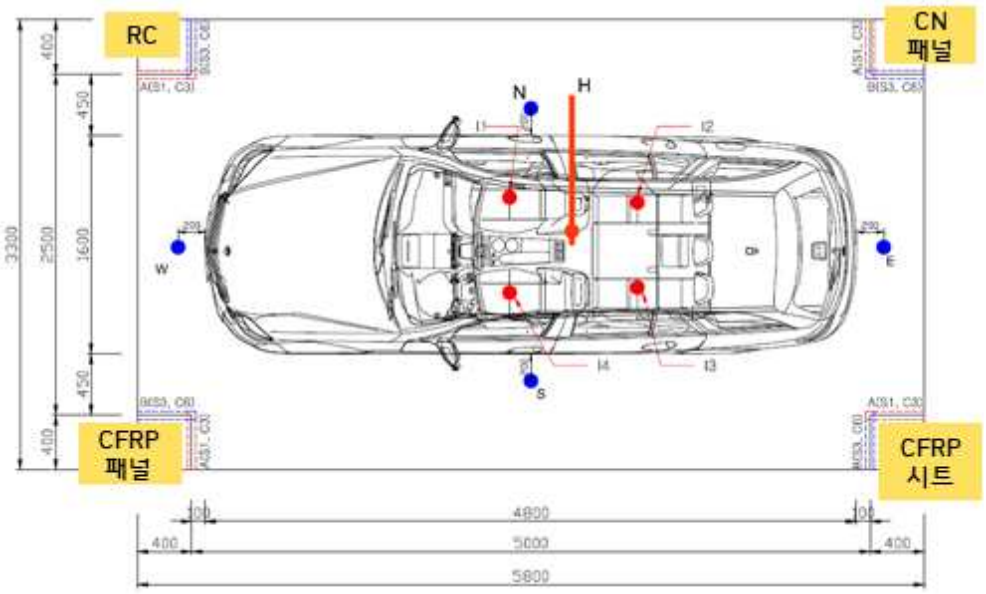


그림7-13. 필로티 주차공간 실화재 실험 배치도

■ 재료의 기계적 성질



그림7-14. CN복합섬유패널(준불연)

Material	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus of Elastic (MPa)	Thickness (mm)
CN복합섬유패널 (준불연)	532	42,400	5
CFRP Sheet	4,742.47	287,600	0.111
CFRP Panel	3,715.57	181,680	1.4

그림7-15. CN복합섬유패널(준불연) 기계적 성질

■ 실험방법

① 실험 장소 : 한국건설생활환경시험연구원 실화재시험연구센터
② 화원 : 헵탄 100mL
③ 실험 장비 : 10MW급 대형 칼로리미터 (Large Scale Calorimeter)

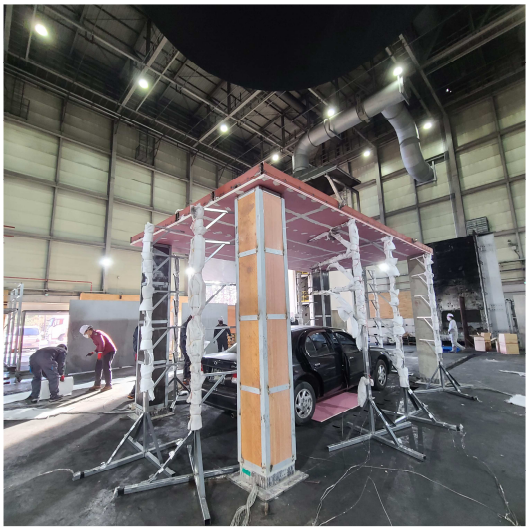


그림7-16. 실험 세팅

■ 실험 계측방법

- 외부의 온도에 따른 화염전파를 확인하기 위해 차량에 인접한 필로티 주차공간 구조물의 주요 부재인 기둥 위치에 따른 온도를 확인하고자 금속 피복된 1.6mm 직경의 K-Type 열전대 43개 설치

① 차량 외부 (E, W, S, N) : 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.5m 높이에 5개 설치
② 차량 외부 (H) : 2.0m, 2.5m, 3.0m 높이에 3개 설치

- 차량 내부의 온도 변화를 확인하기 위하여 금속 피복된 3.2mm 직경의 K-Type 열전대 4개 설치

① 각 시트 중심부 (I1, I2, I3, I4)에 각각 1개씩 설치

- 외부의 온도에 따른 화염전파를 확인하기 위해 화재에 인접한 필로티 구조물의 주요 부재인 기둥 높이 및 위치에 따른 온도를 고려하여 4개의 실험체에 0.65mm 직경의 K-Type 열전대 112개 설치

① 각 실험체에 1.0m, 2.0m 높이에 각 14개씩 열전대를 총 28개 설치
(기둥 내부 열전대 : 콘크리트 열전대 11개, 철근 열전대 3개)

- 시간의 따른 높이별 화원의 온도 변화를 확인하기 위하여 금속 피복된 1.6mm의 K-Type 열전대를 팬의 중심부(N)에 1.0m 1.5m 2.0m 2.5m 3.0m 높이로 총 5개 설치하여 온도 측정

- 시험에 사용된 열전대의 측정 범위는 : 0℃~1,200℃

- 열전대에서 측정된 실험값을 이용하여 시간-온도 관계를 산정

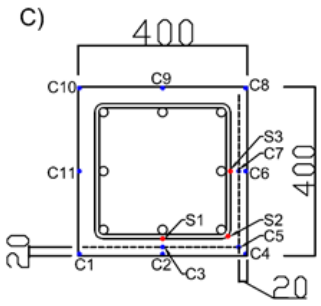


그림7-17. 주차구획 열전대 위치

⑵ 필로티 주차공간 실화재 실험 결과

■ 실험체 파괴모드

- RC실험체

① 천장과 맞닿는 콘크리트 표면에 검게 그을린 형상을 보였지만 화염과 맞닿지 않은 표면에는 파괴양상을 확인할 수 없었음.

- CN실험체, CFRP-S 실험체

① 화염에 맞닿은 표면에 그을음이 발생하였지만, 화염과 맞닿지 않은 표면에는 파괴양상을 확인할 수 없었음.

- CFRP-P 실험체

① 1.0m 높이의 화염과 맞닿은 표면에 CFRP 패널이 녹아 균열이 생김.



그림7-18. 실험체 파괴모드

■ 화원의 높이별 온도분포 확인

- RC실험체

① 2.0m 높이의 콘크리트 내부에서 최대 온도는 172.9℃로 확인되었고, 직접적으로 화염이 맞닿은 콘크리트 모서리 부분 위치 온도가 높게 측정된 것으로 판단됨.

② 2.0m 높이의 철근 열전대에서 57.6℃로 철근의 최대 온도 측정됨.

③ 1.0m~3.0m 높이의 구획 전면 우측 모서리의 최대 온도는 83.5℃로 측정됨. 이를 통하여 주차공간 온도보다 기둥에 미치는 온도가 2.07배 높게 측정되는 것을 확인할 수 있음.

- CN실험체

① 2.0m 높이의 콘크리트 내부에서 최대 온도는 92.5℃로 확인됨. 이는 후면 범퍼가 낙하하면서 화염이 콘크리트 표면에 맞닿아 온도가 높게 측정된 것으로 판단됨.

② 2.0m 높이의 철근 열전대에서 25.5℃로 철근의 최대 온도 측정됨.

③ 1.0m~3.0m 높이의 구획 전면 우측 모서리의 최대 온도는 62.4℃로 측정됨. 같은 위치의 열전대에서 54.9℃와 비교 결과, 주차공간 온도보다 기둥에 미치는 온도가 0.88배 낮게 측정됨.

④ 2.0m의 높이보다 1.0m 높이에서의 온도가 높게 측정됨.

- CFRP-S 실험체

① 2.0m 높이의 콘크리트 내부에서 최대 온도는 215.0℃로 확인됨. 이는 차량 폭발로 화염이 콘크리트 표면에 맞닿게 되어 온도가 높게 측정된 것으로 판단됨.

② 2.0m 높이의 철근 열전대에서 33.9℃로 철근의 최대 온도 측정됨.

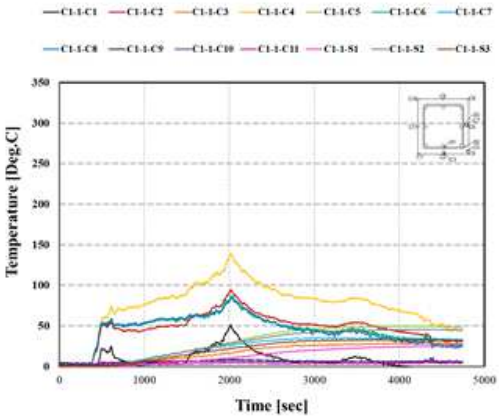
③ 1.0m~3.0m 높이의 구획 전면 우측 모서리의 최대 온도는 73.9℃로 측정됨. 같은 위치의 열전대에서 123.3℃와 비교 결과, 주차공간 온도보다 기둥에 미치는 온도가 1.67배 높게 측정됨.

- CFRP-P실험체

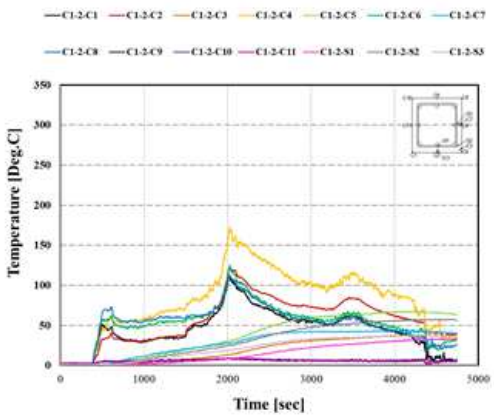
① 2.0m 높이의 콘크리트 내부에서 최대 온도는 195.3℃로 확인됨. 이는 전면 타이어가 폭발하면서 화염이 콘크리트 표면에 맞닿게 되어 온도가 높게 측정된 것으로 판단됨.

② 2.0m 높이의 철근 열전대에서 38.3℃로 철근의 최대 온도 측정됨.

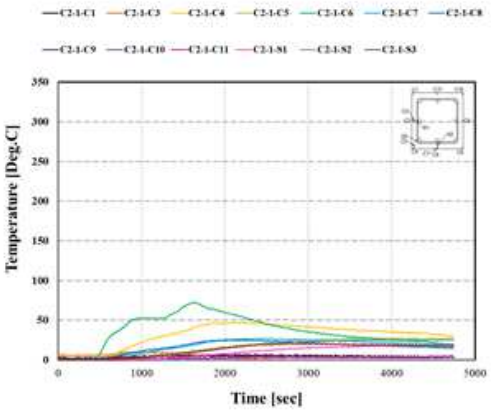
③ 1.0m~3.0m 높이의 구획 전면 우측 모서리의 최대 온도는 80.5℃로 측정됨. 같은 위치의 열전대에서 86.6℃와 비교 결과, 주차공간 온도보다 기둥에 미치는 온도가 1.08배 높게 측정됨.



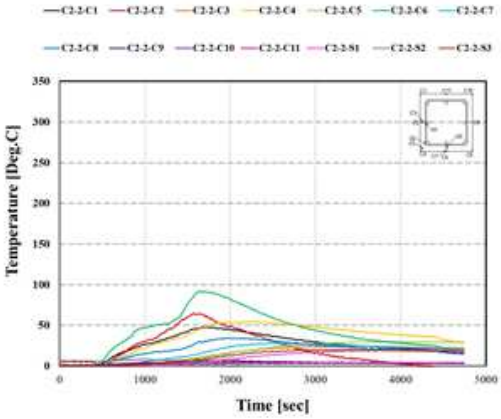
(a) RC기둥-1.0m



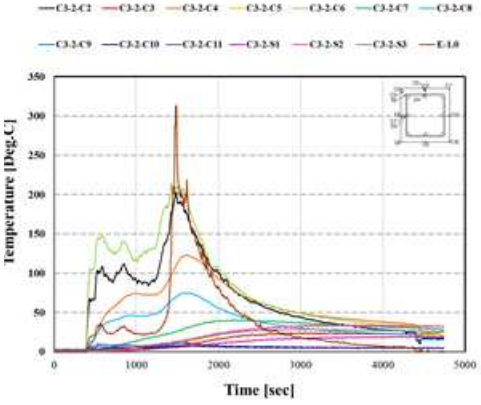
(b) RC기둥-2.0m



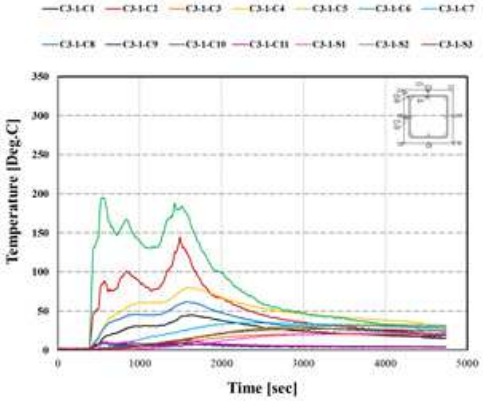
(c) CN복합섬유패널(준불연) 보강기둥-1.0m



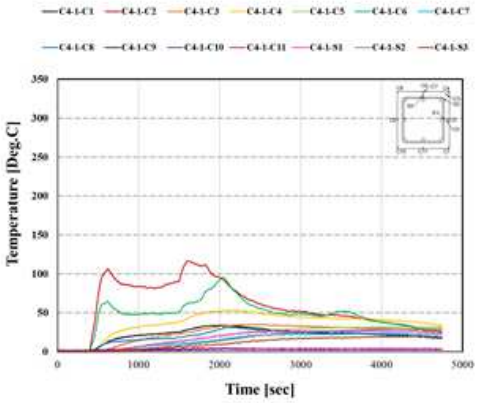
(d) CN복합섬유패널(준불연) 보강기둥-2.0m



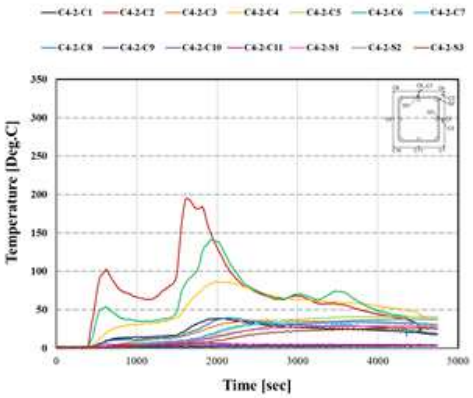
(e) CFRP-S 보강기둥-1.0m



(f) CFRP-S 보강기둥-2.0m



(g) CFRP-P 보강기둥-1.0m



(h) CFRP-P 보강기둥-2.0m

그림7-19. 실험체 온도측정 결과 그래프

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

핵심 성과 1		
정의	재료시험을 통하여 선정된 소재특성을 파악하며, 수치해석에 사용할 재료모델을 제시하고 내진보강공법 각 제품들의 경량화/저비용 제조공법 접근 및 최적안을 도출.	
목적	시스템의 설계와 해석에 활용하는 신소재인 성능 개선된 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 물성치 특성을 자료조사 및 전문가 자문을 통해 파악하고 시편의 시험 및 유한요소해석을 통하여 구조물의 보강 효과를 확인하는 모델을 개발.	
성능목표	(기존기술 수준) 국내 및 해외에서 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재를 이용한 내진보강 기술은 현재 연구개발의 진행이 더딘 상태이며 기초·원천 기술개발 단계에서의 연구만이 수행 중이며 대부분 유사한 재료인 FRP를 사용한 내진보강에 대한 연구가 수행 중임. (개발기술 수준) 본 연구과제를 수행하여 국내 건설산업의 내진보강공법 분야에 새로운 소재를 발굴하고 실질적인 구조성능 시스템에 도입하여 구조적 안전성과 내구성 등이 확보된 우수한 성능의 내진성능 보강시스템을 개발하고자 함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	최성모(서울시립대학교 건축학부)	
소요기간	20.04 ~ 20.06 (3개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	경량화율 35%를 만족할 수 있는 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재의 재료적 특성을 검증하고 유한요소해석과 수치해석에 활용되는 해석적 재료모델을 완성함.	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	-
	논문	-
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타	-

핵심 성과 2		
정의	제시된 물성특성을 반영하여 보강형식과 구성을 제시하며 유한요소해석을 통하여 구조적 성능 발휘를 점검함.	
목적	지진 발생 시 필로티 철근콘크리트 기둥의 피해 저감을 위해 기둥의 휨, 전단 내력 증진과 연성능력 보강이 가능한 내진시스템 보강재 및 시공 공법을 개발하고 실험체 제작을 위한 상세설계를 완성함.	
성능목표	(기존기술 수준) 현재 기존 내진보강에 대한 연구는 비교적 활발히 수행 중이나 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재를 활용한 기술개발은 현재 국내 도입 단계임. (개발기술 수준) 본 연구를 수행하여 건물 사용자가 직접 자신의 건물에 시공할 수 있는 DIY용 내진 보강시스템에 대한 개념을 정립하고 상세 설계를 완성함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	최성모(서울시립대학교 건축학부)	
소요기간	20.06 ~ 20.09 (4개월)	
성과달성 확인방법	경량화율 35%를 만족하여 DIY가 가능한 새로운 소재인 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재를 활용한 내진보강시스템의 역학적 메커니즘과 거동 원리 등의 개념을 정립하고 상세설계를 완성함.	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	- 출원: 1건 · 엔지니어링 플라스틱 앵글과 강봉의 인장력을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 구조 (10-2020-0135486) - 등록 : 1건 · 다가구 필로티 기둥의 DIY 보강용 내진보강 공법 (제 10-2311223호)

	논문	- 비 SCI 1건 게재 · 2개 볼트를 가지는 고성능 복합섬유 패널 볼트 연결부 강도평가 (한국복합신소재구조학회논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월)
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타	-

핵심 성과 3		
정의	마이다스 구조해석을 통하여 기존 다가구주택 내진성능 보강목표를 정량적으로 설정하며 공법의 제품화를 위한 보강량을 제시함.	
목적	엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재를 활용한 내진성능 보강기술의 성능목표를 설정하기 위해 마이다스 해석을 수행하여 지진 발생 시 기둥의 소요 전단 내력 및 설계 내력을 비교함.	
성능목표	(기존기술 수준) 지진 발생 시 수직 재량비, 편심률 등의 변수로 한 필로티 기둥의 취약성에 대한 연구가 수행중임. (개발기술 수준) 필로티 기둥의 취약성을 마이다스를 통해 정량화하고 이를 활용하여 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 보강재의 내력 보강 성능목표를 설정함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	최성모(서울시립대학교 건축학부)	
소요기간	20.07 ~ 20.12 (6개월)	
성과달성 확인방법	마이다스 해석 결과를 활용하여 다가구 필로티 건축물 기둥의 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재 보강 목표를 설정함.	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	- 출원: 1건 · 엔지니어링 플라스틱 ㄱ자 끼움판, 덧댐판 및 채움판을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 보강구조 (10-2020-0135490)
	논문	- 비SCI 1건 게재 · 저층 필로티 기둥의 고성능 복합섬유 패널을 활용한 DIY전단보강공법 보강량 산정에 대한 해석적 연구 (한국복합신소재구조학회논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월)
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타	-

핵심 성과 4		
정의	제시된 소재의 열적성능(불연, 준불연, 난연)을 비재하가열 시험을 통하여 파악하며, 경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값을 제시함.	
목적	신소재를 활용한 내화성능 보강 기술의 성능을 검증하고 내구성과 에너지 저항성을 평가하기 위한 UMAT 해석을 수행함.	
성능목표	(기존기술 수준) 엔지니어링 플라스틱 및 융·복합소재와 비슷한 FRP와 내화피복시스템의 정확한 거동 재현을 위한 3차원 정밀 유한요소해석 모델의 개발, 수행에 대한 연구는 현재 기초단계 수준에서 연구가 수행 중이다. (개발기술 수준) 본 연구를 수행하여 정확한 거동 예측이 가능한 정밀 유한요소 해석모델을 자체적으로 개발, 수행하여 실험을 통한 결과와 비교분석으로 성능을 검증함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	최성모(서울시립대학교 건축학부)	
소요기간	20.08 ~ 20.12 (5개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	UL94 시험방법을 통하여 결과치 도출함.	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	- 출원: 1건 · 엔지니어링 플라스틱과 시멘트보드를 활용한 철근콘크리트 기둥의 내진보강공법 및 구조 (10-2020-0135488)
	논문	-

	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타	-

핵심 성과 5		
정의	도출된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 기둥보강공법 구성품 확정과 각 부품들의 연결방식 제안. 구성품에 대한 유한요소해석과 구조실험을 통한 내진성능 검증과 설계기초자료를 제시함.	
목적	모르타르, 앵커볼트, 접착제와 같은 시공 방법은 장기간의 시간이 소요되며 비경제적인 방법임. 개발하려는 DIY용 제품 생산성을 감안하여 단순 연결 상세를 제안함.	
성능목표	(기존기술 수준) DIY용 공법에 적합한 기존방식 없음. (개발기술 수준) 엔지니어링 플라스틱 복합패널 적용 가능한 공법에 적합한 제품구성 제시하고, 경량성 확보 가능한 엔지니어링 플라스틱 복합패널 간편시공이 가능한 연결 상세 확보	
성과달성 책임자 (소속기관)	최성모(서울시립대학교 건축학부)	
소요기간	21.01 ~ 21.12 (12개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	엔지니어링 플라스틱을 활용한 기둥보강공법 구성품을 확정하여 실물사이즈 실험체를 제작하여 지진 시 내진성능을 확인함.	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	
	논문	- 비 SCI 1건 (심사 중) · DIY 다가구주택 필로티기둥 보강용 4개의 모서리 앵글과 복합섬유패널로 구성된 각형띠판 래티스기둥의 전단성능 실험 (한국복합신소재구조학회 논문집)
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타	-

핵심 성과 6		
정의	경량화/저비용 내진보강공법에 최적화 형상을 도출하여 시제품을 제시함.	
목적	엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진보강 구성품 유닛화에 유리한 엔지니어링 플라스틱 제조방식을 조사하고 실제 제작에 유리한 제조공정을 확정함.	
성능목표	(기존기술 수준) 다가구 필로티 RC기둥 보강용 DIY기존 공법 없음 (개발기술 수준) 경량 엔지니어링 플라스틱 패널 적용 간편시공 공법 제안. 패널과 콘크리트 사이에 건식공법을 시도함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	최성모(서울시립대학교 건축학부)	
소요기간	21.07 ~ 21.12 (6개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	실제 내진보강 구성품을 제작하기 유리한 제조방식을 확정 짓고 그에 적합한 DIY용 기둥보강 구성품 유닛 형상을 제안함.	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	- 출원: 1건 (심사 중) · X형태 브레이스가 부착된 엔지니어링 플라스틱 패널의 모서리부를 고정하기 위해 알루미늄 앵글과 코너비드를 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법
	논문	- DIY 내진보강공법개발용 복합섬유패널을 활용한 다가구 주택 필로티기둥의 전단성능실험 (한국복합신소재구조학회 논문집) - SCI 1건 (심사 중) · Structural Performance of shear reinforcing method with engi. plastic for piloti RC column (Steel and Composite Structures, Techno Press)
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타	시제품 제작 (https://youtu.be/84xsCdkjMsw)

핵심 성과 7		
정의	제안된 공법의 시제품을 실화재에 노출하여 화재 저항성능을 검증함. 내진 보강시스템의 내화성능을 확인하여 추가적인 내화보강안의 필요성을 검토함.	
목적	내화성능이 확보된 엔지니어링 플라스틱 보강시스템을 설계하고 성능목표별 내화실험을 통해 실제 내화성능을 확인함. 기존 RC기둥과 엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진보강법으로 보강된 기둥의 내화성능을 확인함.	
성능목표	(기존기술 수준) 비교 대상 없음 (개발기술 수준) RC기둥의 차량화재에 의한 위험성 확인, 국부화재에 의한 엔지니어링 플라스틱 패널의 화재 안전성 파악	
성과달성 책임자 (소속기관)	최성모(서울시립대학교 건축학부)	
소요기간	21.01 ~ 21.12 (12개월)	
성과달성 확인방법	엔지니어링 플라스틱 복합패널의 국부화재 피해 거동 최초 실험 진행, 자동차화재에 의한 필로티기둥의 위험성 확인을 위한 실험을 최초로 진행	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	- 출원 1건 · 기둥의 내진보강을 위한 FRP 랩핑과 X형태 브레이스가 부착된 준불연 엔지니어링 플라스틱 패널의 조립 시공방법 (10-2021-0100755)
	논문	-
	저작	-
	S/W	-
	신기술	-
	기타	-

(2) 정량적 연구개발성과

구분		성과 목표		달성도		비고
		1차년도	2차년도	정량적 성과	%	
국외논문 게재	SCI		1	1건	100	Steel and Composite Structures 심사 중
	비SCI					
	계		1			
국내논문 게재	SCI			4건	100	1. 한국복합신소재구조학회 논문집 2편 게재 완료 2. 한국복합신소재구조학회 논문집 22년 2월 호 2건 심사 중
	비SCI	2	2			
	계	2	2			
특허출원	국내	2	2	5건	125	1. 특허 4건 출원 완료 2. 특허 1건 출원 심사 중
	국외					
	계	2	2			
특허등록	국내		1	1건	100	특허 1건 등록 완료
	국외					
	계		1			
인력양성	석사		1	1명	100	석사 인력 양성 완료
	박사					
	계		1			
기타	시제품		1	1건	100	
	성과 홍보					
	일자리 창출					

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	2개 볼트를 가지는 고성능 복합섬유 패널 볼트연결부 강도평가	한국복합신소재구조학회 논문집	윤정환	제 12권, 제4호	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCI	2021년 8월	2093-5145 (Print) 2288-0232 (Online)	100%
2	저층 필로티 기둥의 고성능 복합섬유 패널을 활용한 DIY전단보강공법 보강량 산정에 대한 해석적 연구	한국복합신소재구조학회 논문집	윤정환	제 12권, 제4호	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCI	2021년 8월	2093-5145 (Print) 2288-0232 (Online)	100%
3	DIY 다가구주택 필로티 기둥 보강용 4개의 모서리 앵글과 복합섬유패널로 구성된 각형 띠판 래티스 기둥의 전단성능실험	한국복합신소재구조학회 논문집	한슬기	심사 중	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCI	2022년 2월 (예정)		100%
4	DIY 내진보강공법개발용 복합섬유패널을 활용한 다가구주택 필로티 기둥의 전단성능실험	한국복합신소재구조학회 논문집	한슬기	심사 중	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCI	2022년 2월 (예정)		100%
5	Structural Performance of shear reinforcing method with engi. plastic for piloti RC column	Steel and Composite Structures	한슬기	심사 중	대한민국	Steel and Composite Structures	SCI	미정 (심사 중)		100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국강구조학회 학술발표대회	DIY용 강재를 이용한 다가구 필로티 기둥의 내진보강공법을 제안함. 최적 형상을 개발하여 구조적 성능이 증명된다면 단기간 낙후된 다가구 주택의 내진성능을 향상시키길 수 있음.	김재현	2020.06.13	온라인	대한민국
2	한국복합신소재구조학회 학술발표대회	기존 경주지진 및 포항지진에서 확인된 다가구 주택의 부족한 내진성능을 향상시키고자 DIY용 엔지니어링 플라스틱을 활용한 내진보강공법을 제안함. 기존공법에 준하는 내력 향상을 기대할 수 있으며 DIY 제품 대량생산으로 시공성이 향상되며 볼트이음으로 비숙련자도 쉽게 작업이 가능함.	윤정환	2020.07.09	제주도	대한민국
3	한국공간구조학회 추계학술발표대회	건축 구조부재로 엔지니어링 플라스틱의 적용 방안 - FRP 내화실험을 중심으로 -	민정기	2020.10.23	온라인	대한민국

4	한국복합신소재구조학회 학술발표대회	비내진설계된 저층 필로티 건축물을 대상으로 엔지니어링 플라스틱을 활용한 DIY형 기둥 내진보강공법을 제안함. 중심코어보다는 편심코어일수록, 기둥면적이 벽체면적보다 많을 경우 지진에 취약함을 확인하였고, 제시한 기둥의 보강할증률을 통해 필요한 전단 보강량을 산정함.	김재현	2021.04.20	제주도	대한민국
5	한국복합신소재구조학회 학술발표대회	기존 경주지진 및 포항지진에서 확인된 다가구 주택의 부족한 내진성능을 향상시키고자 DIY용 엔지니어링 플라스틱 패널과 FRP를 이용한 다가구 필로티 기둥의 내진보강공법을 제안함.	윤정환	2021.04.20	제주도	온라인
6	한국화재소방학회 추계학술발표대회	엔지니어링 플라스틱으로 보강한 필로티 기둥의 실물화재 성능	민정기	2021.11.26	대구 EXCO	대한민국

□ 기술 요약 정보

※ 해당 사항 없음

□ 보고서 원문

※ 해당 사항 없음

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

※ 해당 사항 없음

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	엔지니어링 플라스틱 앵글과 강봉의 인장력을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 구조	대한민국	최성모 이태훈 윤정환	2020년 10월 19일	10-2020-0135486					
2	특허	엔지니어링 플라스틱 ㄱ자 끼움판, 덧댐판 및 채움판을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 보강구조	대한민국	최성모 이태훈 윤정환	2020년 10월 19일	10-2020-0135490					
3	특허	엔지니어링 플라스틱과 시멘트보드를 활용한 철근콘크리트 기둥의 내진 보강 방법 및 그 구조	대한민국	최성모 이태훈 윤정환	2020년 10월 19일	10-2020-0135488					

4	특허	기둥의 내진보강을 위한 FRP랩핑과 X형태 브레이스가 부착된 준불연 엔지니어링 플라스틱 패널의 조립 시공방법	대한민국	최성모 윤정환 이아영 다시뎀베렐 너럽바담	2021년 7월 30일	10-2021-0100755					
5	특허	다가구 필로티 기둥의 DIY 보강용 내진보강 공법	대한민국				서울시립대학교 산학협력단	2021년 10월 05일	제 10-2020-0018509 호		
6	특허	X형태 브레이스가 부착된 엔지니어링 플라스틱 패널의 모서리부를 고정하기 위해 알루미늄앵글과 코너비드를 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법	대한민국	최성모 김영호 김환진	심사 중						

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

※ 해당 사항 없음

□ 신기술 지정

※ 해당 사항 없음

□ 기술 및 제품 인증

※ 해당 사항 없음

□ 표준화

ㅇ 국내표준

※ 해당 사항 없음

ㅇ 국제표준

※ 해당 사항 없음

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

- 엔지니어링 플라스틱을 활용한 전단 보강 RC 기둥 실험체(4EA)
- 엔지니어링 플라스틱을 활용한 휨 보강 RC 기둥 실험체(4EA)
- 엔지니어링 플라스틱을 활용한 각형띠판 래티스기둥 실험체(5EA)
- DIY 전단보강공법용 RC 기둥 실험체(4EA)

□ 현장 적용

※ 해당 사항 없음

□ 기술 실시(이전)

※ 해당 사항 없음

□ 사업화 투자실적

※ 해당 사항 없음

☐ **사업화 현황**

※ 해당 사항 없음

☐ **매출 실적(누적)**

※ 해당 사항 없음

☐ **사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과**

※ 해당 사항 없음

☐ **고용 창출**

※ 해당 사항 없음

☐ **고용 효과**

※ 해당 사항 없음

☐ **비용 절감(누적)**

※ 해당 사항 없음

☐ **경제적 파급 효과**

※ 해당 사항 없음

☐ **산업 지원(기술지도)**

※ 해당 사항 없음

☐ **기술 무역**

※ 해당 사항 없음

[사회적 성과]

☐ **법령 반영**

※ 해당 사항 없음

☐ **정책 활용 내용**

※ 해당 사항 없음

☐ **설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영**

※ 해당 사항 없음

☐ **신진연구자 채용**

※ 해당 사항 없음

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2021		1			1		1				
	*엔지니어링 플라스틱을 활용한 저층 필로티 기둥의 DIY형 전단보강형상과 보강량 산정 (김재현, 2021년 08월 졸업논문)												

☐ 산업 기술 인력 양성

※ 해당 사항 없음

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

※ 해당 사항 없음

☐ 국제화 협력 성과

※ 해당 사항 없음

☐ 홍보 실적

※ 해당 사항 없음

☐ 포상 및 수상 실적

※ 해당 사항 없음

[인프라 성과]

☐ 연구시설 • 장비

※ 해당 사항 없음

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 엔지니어링 플라스틱 선정과 물성특성 제시 - 참고문헌 조사 (전문가 자문 포함) - 재료 시편을 제작하여 재료실험 수행 - 내진보강공법 소재 최적안 도출 - 모델의 정확성 검증	○ 경량화율, 인장강도, 난연성능 등 DIY용 내진보강 소재로 적절한 G/F 보강 E/P Composite 소재 선정 ○ 인장시험 및 충격강도 시험성적서 발급 완료	*100%*
○ 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발 - 해외의 문헌조사 및 정보 수집 - 유사한 재료들을 다룬 내진보강 시스템에 대한 실험 논문 분석 - 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발	○ 엔지니어링 플라스틱 내진/내화보강공법의 보강 비용의 우수성 확인 - 기존 내진보강공법인 강판 내진보강공사 견적에 비해 엔지니어링 플라스틱 내진보강공사 견적은 약 85.2% 비용 절감 효과 - 기존 내화보강공법인 불연아라미드공법 보강공사 견적에 비하여 엔지니어링 플라스틱 내화보강공사 견적은	*100%*

- 개발된 엔지니어링 플라스틱 내진 보강시스템의 내진 시 거동 메커니즘 분석 및 내진성능 파악 - 내진보강 설계와 관련 설계 지침 참고 - 전문가 자문 실시	약 20% 비용 절감 효과 ○ 엔지니어링 플라스틱 보강 결과 약 15~18% 전단 보강 효과 및 약 10~24% 휨 보강 효과 확인 ○ KCI 논문 1건 게재 - **2개 볼트를 가지는 고성능 복합섬유 패널 볼트 연결부 강도평가** (한국복합신소재구조학회논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월) ○ 특허출원 1건 - **엔지니어링 플라스틱 앵글과 강봉의 인장력을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 구조** (10-2020-0135486) ○ 특허등록 1건 - **다가구 필로티 기둥의 DIY 보강용 내진보강 공법** (제 10-2311223호)	*100%*
○ 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시 - 비내진 상세 건축구조물 사례조사 - 마이다스를 활용한 비내진 상세 건축구조물 재현 - 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시	○ KCI 논문 1건 게재 - **저층 필로티 기둥의 고성능 복합섬유 패널을 활용한 DIY전단보강공법 보강량 산정에 대한 해석적 연구** (한국복합신소재구조학회논문집 제12권, 제4호, 2021년 8월) ○ 특허출원 1건 - **엔지니어링 플라스틱 ㄱ자 끼움판, 덧댐판 및 채움판을 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법 및 그 보강구조** (10-2020-0135490)	*100%*
○ 제시된 소재의 열적성능 평가와 경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값 제시 - 참고문헌 조사 (전문가 자문 포함) - 재료 시편을 제작하여 화재실험 수행 - UMAT 모델 제작 및 해석 수행 - 모델의 정확성 검증	○ 특허출원 1건 - **엔지니어링 플라스틱과 시멘트보드를 활용한 철근콘크리트 기둥의 내진보강공법 및 구조** (10-2020-0135488)	*100%*

○ DIY용 제품 생산성을 감안한 내진보강 연결 상세와 제품구성 확정 - 도출된 엔지니어링 플라스틱을 활용한 기둥보강 공법 구성품 확정 - 내진보강 유닛들의 연결방식 제안 - 구성품에 대한 유한요소해석과 구조실험을 통한 내진성능 검증과 설계기초자료 제시	○ 내진보강공법의 전단성능실험을 수행하여 엔지니어링 플라스틱 패널의 전단내력을 평가함 ○ KCI 논문 1건 심사 중 - **DIY 다가구주택 필로티기둥 보강용 4개의 모서리 앵글과 복합섬유패널로 구성된 각형띠판 래티스기둥의 전단성능실험** (한국복합신소재구조학회 논문집)	*100%*
○ DIY용 기둥보강 구성품의 제조방식(퍼트루젼 또는 인젝션방식)을 감안한 형상 파라메타와 가생산 시제품 제시 - 엔지니어링 플라스틱 제조방식 연구 - 제조방식에 따른 DIY용 기둥보강 구성품 형상 제시 - 가생산 시제품 제작	○ 전단성능실험을 통하여 DIY용 내진보강공법을 확정 짓고 시제품을 제작함. ○ KCI 논문 1건 심사 중 - **DIY 내진보강공법개발용 복합섬유패널을 활용한 다가구주택 필로티기둥의 전단성능실험** (한국복합신소재구조학회 논문집) ○ SCI 논문 1건 심사 중 - Structural Performance of shear reinforcing method with engi. plastic for piloti RC colum (Steel and Composite Structures) ○ 특허출원 1건 심사 중 - **X형태 브레이스가 부착된 엔지니어링 플라스틱 패널의 모서리부를 고정하기 위해 알루미늄 앵글과 코너비드를 이용한 콘크리트 구조물의 전단 보강공법**	*100%*
○ 제안된 DIY 공법의 화재실험을 통한 화재피해 저감 효과와 내화성능 검증 - 내화실험 계획 및 실험체 제작 - 엔지니어링 플라스틱 복합재난 보강시스템 내화실험 수행 - 실험 결과의 분석 및 고찰을 통한 복합재난 보강 성능 확인	○ 국부화재실험 후 기둥의 압축내력을 비교 결과, CN실험체의 압축내력이 RC실험체에 비하여 높게 평가됨. 따라서 제안한 공법은 화재에 보강 효과가 있음을 확인함. ○ 특허출원 1건 - **기둥의 내진 보강을 위한 FRP랩핑과 X형태 브레이스가 부착된 준불연 엔지니어링 플라스틱 패널의 조립 시공방법** (10-2021-0100755)	*100%*

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ **기술적 측면**
- 보수보강이 용이한 엔지니어링 플라스틱 적용 RC기둥 보강기술 개발
- 간편 제작 및 시공 용이, 공기 단축으로 인한 민간주택의 적용 활용성 확대
- 엔지니어링 플라스틱 보강기술의 해석적·실험적 성능 검증을 통해 기술 신뢰성 향상
- 내화성능을 확보한 엔지니어링 플라스틱 보강기술의 시공법 개발
- 부재의 특성에 맞는 합리적 내진 구조시스템 개발

○ **사회·경제적 측면**
- 신뢰성 있는 구조 보강으로 지진 등의 재해로부터 사회 자산 보호
- 신속 시공, 공정 단순화로 인한 공사 직접비용의 감소
- 일정 이상의 내화성능을 확보함으로써 화재 시 인명 및 재산 피해 감소
- 우수한 구조기술 개발로 해외 건축사업 수주
- 기존 보수/보강공법 대비 콘크리트 및 강재의 사용 감소로 인한 건축폐기물 감소

○ **정책적 측면**
- 효율적인 건설공법 기술개발로 인한 국제적인 기술경쟁력 확보
- 엔지니어링 플라스틱을 활용한 보강기술을 적용한 구조체에 대한 내화성능 기준 마련
- 엔지니어링 플라스틱을 활용한 보강기술에 의한 화재 안정성 제고 및 안전한 건물 인증제 마련

5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ **스마트 소재의 발굴 및 활용**

- 핵심 성과1 : 경량화/저비용 내진보강공법에 적합한 엔지니어링 플라스틱 선정과 물성특성 제시
- 핵심 성과4 : 제시된 소재의 열적성능 평가와 경량화/저비용 공법에 대한 내화성능의 한계와 목푯값 제시

· 국내 건설·토목 산업 분야에서 기존 내진보강 소재 대체가 가능한 스마트 플라스틱 소재 활용
· 토목·건축 R&D 분야에 신소재 활용 등 다양한 융·복합 연구 지원
· 첨단 스마트 소재 제작 및 활용 시스템 기술의 민간기업 이전 가능
· 내진/내화성능을 동시에 만족시킬 수 있는 시스템 제작
· 화재에 대한 피해 저감을 위한 내화성능 확보 장치에 활용

○ **엔지니어링 플라스틱 복합재난 보강시스템의 개발**

- 핵심 성과2 : 간편시공을 위한 DIY용 내진보강 형식과 공법 개발
- 핵심 성과3 : 기존 다가구주택 기둥 크기별 보강목표 성능설정과 보강량 제시)
- 핵심 성과6 : DIY용 기둥보강 구성품의 제조방식(퍼트루젼 또는 인젝션방식)을 감안한 형상 파라메타와 가생산 시제품 제시

· 복합재난에 대비하여 피해를 저감시키는 엔지니어링 플라스틱 보강시스템을 개발하여 내진/내화의 개별적인 보강에 들어가는 비용 저감
· 가벼운 내진 보강구조물로 작업 인원 축소가 가능하며, 매년 700억 이상 들어가는 매트로 지하구조물 내진보강 적용 시 경제성 확보 가능
· LH, SH 등 공공기관에서 보유하고 있는 다가구 주택을 시작으로 민간이 보유하고 있는 다가구 주택의 복합재난에 대한 국가 차원의 보강이 전면적으로 시행될 시 적용 가능

○ **보강시스템의 성능 검증을 위한 내진/내화 실험**

- 핵심 성과5 : DIY용 제품 생산성을 감안한 내진보강 연결 상세와 제품구성 확정
- 핵심 성과7 : 제안된 DIY 공법의 화재실험을 통한 화재피해 저감 효과와 내화성능 검증

· 제작된 시스템에 반복하중/화재하중을 가하여 사용성과 내구성 검증
· 기둥 구조물의 내력 증대를 위한 효율성
· 에너지 소산 및 강도 향상 효과, 화재 저항성 검증

○ **실험 데이터를 바탕으로 진행하는 정밀한 유한요소 해석**

- 핵심 성과5 : DIY용 제품 생산성을 감안한 내진보강 연결 상세와 제품구성 확정

· 사용자 정의 알고리즘을 사용하여 스마트 재료의 거동을 수치해석의 방법으로 재현하는 데에 활용
· 시스템을 장착한 프레임 구조물의 설계와 지진/화재 발생 시 거동을 예측하는 데에 활용(시스템이 구조물에 미치는 영향력을 손쉽게 파악함)
· 합성 단면에 재료적 비선형 거동의 구현을 요구하는 정밀한 동적 프레임 해석에 활용
· 역학적/열적 메커니즘이 복잡한 부위에 FEM 해석을 통해 정확한 거동을 재현하고 해석 결과를 분석하여 최적의 설계 파라메타를 도출하는 데에 활용

< 별첨 >

1. 참고문헌

1) 재단법인 포항산업과학연구원 (2005), 건축물의 기둥 보강재, 10-2005-0065082, 대한민국특허청
2) 주식회사 가림이앤씨, 주식회사 정호 (2019), 콘크리트 구조물 보강장치 및 그 시공방법, 10-2001116, 대한민국특허청
3) ㈜대우건설, ㈜정호 (2018), 선형 부재와 플레이트를 이용한 기둥 내진 성능 보강 공법, 10-1859494, 대한민국특허청
4) ㈜아리터, 강상욱 (2020), 콘크리트 기둥 내진 보강 방법, 10-2020-0004971, 대한민국특허청
5) ㈜아리터, 강상욱 (2017), 콘크리트 구조물 보강장치 및 이를 이용한 보강방법, 10-2017-0112141, 대한민국특허청
6) 박춘욱, ㈜빅스컴스 (2011), 기둥 내진 성능향상 및 지속적인 체결력 유지용 체결부를 구비하는 복합재료 보강장치, 10-1072234, 대한민국특허청
7) 한국시설안전공단 (2017), 나선 보강 기둥, 10-1719179, 대한민국특허청
8) 메트로티엔씨 주식회사 (2011), 건물의 기둥 또는 보에 원형날개 및 관통홀이 형성된 비돌출식 강판을 이용한 내진성 보강구조체 및 그 시공방법, 10-1065469, 대한민국특허청
9) ㈜태봉 (2013), 겹침 접착 구조를 가지는 래핑형 복합재료 기둥내진보강 장치, 10-1224188, 대한민국특허청
10) 주식회사 에코이앤씨, 이동우 (2017), 콘크리트 구조물 보강장치 및 상기 보강장치를 이용한 콘크리트 구조물 보강공법, 10-1782462, 대한민국특허청
11) 주식회사 정호, 유지훈 (2017), 콘크리트 구조물 보강장치 및 보강방법, 10-1738526, 대한민국특허청
12) 재단법인 포항산업과학연구원 (2013), 보강판을 이용한 기둥구조물 보강구조, 10-2013-0097385, 대한민국특허청
13) 이창남 (2000), 기둥보강장치, 20-0186217, 대한민국특허청
14) ㈜아리터, 주식회사 유버스 (2014), 2면 이상을 갖는 기둥 또는 보의 단면 보강장치 및 이를 이용한 단면보강방법, 10-2014-0147403, 대한민국특허청

15) 이영욱, 박형권, 헌치를 이용하여 보강된 RC 보-기둥 외부접합부의 반복이력 특성, 한국지진공학회 논문집, 제21권, 제3호 (통권 제116호), 2017년 5월
16) 김승직, 장준호, 박동병, 최성훈, 초고분자량 폴리에틸렌 섬유시트로 보강된 철근콘크리트 기둥의 실험적 내진성능평가, 한국방재학회논문집, 제13권, 제4호, 2013년 8월
17) 김진섭, 권민호, 서현수, 임정희, 김동영, 긴급시공이 가능한 FRP 내진보강재로 보강된 기둥의 내진성능평가 실험, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제17권, 제6호, 2013년 11월
18) 정종현, 이재광, 탄소섬유를 이용한 철근콘크리트 보 단부 휨보강에 대한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 - 구조계, 제22권, 제9호(통권215호), 2006년 9월
19) 엄태성, 최태우, 박홍근, 강수민, 진종민 (2013). 연속후프로 보강된 철근콘크리트 기둥의 내진실험. 대한건축학회논문집 - 구조계, 29(2), 29-37
20) 오병환, 이성철, 박성용, 김병석 (2005). 헌치의 단면특성에 따른 프리스트레스트 콘크리트 박스거더교량의 횡방향 거동에 대한 실험 및 해석 연구. 대한토목학회논문집 A, 25(2A), 271-280
21) SH 서울주택도시공사, 필로티 구조물의 내진성능상세평가 및 보강방안
22) LH 토지주택연구원, 필로티형 다가구 주택의 내진안정성 확보를 위한 구조보강방안 연구
23) ASTM D5379/D5379M-05 “StandardTest Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method”
24) 조용상, 심윤구, 콘크리트 시설물의 지속가능한 유지관리를 위한 준불연 고강도 복합섬유 패널 보강공법의 국내 최초 개발, 한국복합신소재구조학회지 특집기사, pp. 18-27, 2019년 9월
25) 곽용주, 정우영, BFRP-콘크리트 계면의 균열 및 온도변화에 따른 인발 부착강도 평가, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제1호, 2020년 2월
26) 한국산업표준, 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지, KS F 4923:2005 (2015)
27) 박윤제, 신동혁, 이광명, 신현목, 강판으로 보강된 RC보의 에폭시-콘크리트 계면의 부착특성, 한국콘크리트학회 논문집, 제13권, 제3호, 2001년 6월
28) 김태균, 박종섭, 김성태, 김상현, 정우태, 다양한 FRP 보강공법에 따른 RC 구조물의 휨 성능평가, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제6호, 2020년 12월

29) 김대진, 서상욱, 최기봉, 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트 보의 휨모멘트 예측식 제안, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제4호, 2020년 8월
30) 정윤지, 김선희, 최원창, 최기봉, 바잘트 섬유 시트로 휨 보강된 철근콘크리트보의 부착거동 실험, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제2호, 2020년 4월
31) 이혜린, 조정현, 아가 사야드 무하마드 길라니, 심윤구, 홍기증, 복합섬유패널과 BFRP시트를 이용한 보강이 정사각형 단면 철근콘크리트 기둥의 지진거동에 미치는 영향, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제8권, 제1호, 2021년 3월
32) 이혜린, 조정현, 심윤구, 홍기증, 복합섬유패널과 FRP시트를 이용한 정사각형 단면의 짧은 철근콘크리트 기둥 전단보강 성능 실험 연구, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제6호, 2020년 12월
33) 정영수, 우태련, 김재봉, 비구조재 정착부 앵커형상에 따른 선설치 앵커채널의 거동 특성, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제3호, 2020년 6월
34) 조돈우, 정우영, 연성 코팅페인트와 BFRP 복합재료로 각각 보강된 콘크리트의 휨 성능 평가, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제3호, 2020년 6월
35) 오재열, 이세정, 최현수, 최성모, 양일승, 인장력을 받는 강관접합부의 거동에 대한 실험적 연구, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제6호, 2020년 12월
36) 한만엽, 백승덕 (2000). 탄소섬유 보강공법의 조기 탈락 방지 공법 개발 연구, 콘크리트학회 논문집, 12(1), 61-67
37) 유영준, 박종섭, 정우태, 박홍석, 탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 부착파괴거동에 대한 실험과 해석, 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표회 논문집, 제5권, 제2호, 2001년 11월
38) 박칠림, 황진석, 박형철, 백명중, 탄소 섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트보의 부착파괴거동에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회지, 제9권, 제6호, 1997년 12월
39) R.Ma, Y.Xiao, K.N.Li (2000), “Full-Scale testing of a parking structure column retrofitted with carbon fiber reinforced composites” *Construction and Building Materials 14, pp. 63-71*
40) Vincenzo Giamundo, Gian Piero Lignoloa, Francesco Fabbrocino, Andrea Prota, Gaetano Manfredi (2017) “Influence of FRP wrapping on reinforcement performances at lap splice regions in RC columns” *Composites Part B 116, pp. 313-324*
41) Giuseppe Campione (2006), “Influence of FRP wrapping techniques on the compressive behavior of concrete prisms” *Cement&Concrete Composites 28, pp. 497-505*
42) Ghent University, Faculty of Engineering Department of Structural Engineering (2000), “Structural Behaviour and Design of Concrete Members Strengthened with Externally Bonded FRP Reinforcement”
43) 권태규, 겹침이음된 원형 RC 교각의 내진성능향상을 위한 FRP 래핑 보강 연구, 박사학위 논문, 홍익대학교 대학원 토목공학과 구조공학전공
44) 유종호, 김학군, 김수영, 윤순종, 겹침이음을 갖는 교각 내진성능 향상을 위한 FRP 래핑 보강효과, 한국복합신소재구조학회, 제10권, 제1호, 2019년 2월
45) 박춘욱, 김동휘 ,권민호, 최열, 부착 및 래핑형 복합소재를 이용한 학교시설의 내진보강, 한국콘크리트학회 논문집, 제26권, 제2호, 2014년 4월
46) 임종욱, 서수연, 표면매립 보강된 FRP의 내화성능 향상을 위한 내화보강방안에 관한 연구, 대한건축학회연합논문집, 제20권, 제1호(통권 83호), 2018년 2월
47) 임종욱, 박종태, 김정우, 서수연, FRP로 보강된 철근콘크리트보의 열전도해석 및 내화성능 평가, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제22권, 제6호, 2018년 11월
48) 정우영, 장준호, 백민호, 온도 및 매트릭스 특성 변화에 따른 섬유강화 복합재료의 역학적 특성 및 구조적 거동 변화, 한국방재학회논문집, 제8권, 제3호, 2008년 6월
49) 임종욱, 김태완, 송세기, 정수진, 추명철, 서수연 (2018). FRP보강용 내화단열시스템의 열저항 성능, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 30(1), 319-320
50) 임종욱, 송세기, 서우연 (2018), FRP보강용 에폭시의 내화단열보강 방안, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 38(1), 596-596
51) 최원종, FRP용 불포화폴리에스터 수지들의 연소 특성 연구, 한국화재·소방학회지, 제12권, 제4호(통권 32호), 1998년 12월
52) 최원종, 불포화 이소프탈산 폴리에스터 수지의 난연제 첨가 효과 연구, 한국화재·소방학회지, 제12권, 제4호(통권 32호), 1998년 12월
53) 김정훈, 온도 변화에 따른 탄소섬유 보강 콘크리트 부재의 부착성능에 관한 연구, 공학석사학위논문, 국립한국교통대학교 건축공학과
54) 정의남, 유리섬유 강화복합재료의 표면열화특성에 관한 연구, 삼척대학교 산업과학 기술연구소 논문, 제6집, 2001년 2월

55) 김선희, 옥치열, 최성모, 철골 및 합성기둥 내화성능 확보를 위한 내화페인트 열적 물성치 규명과 소요두께 제안, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제6권, 제1호, 2015년 3월
56) 박기태, 정진우, 이영호, 황윤국 (2007). 포장을 고려한 FRP바닥판의 열특성 분석에 관한 연구. 대한토목학회 학술대회, 1611-1614
57) J. Toby Mottram, "Analysis and Desing of Connections for Pultruded FRP Structures". *Composites in Construction:A Reality, pp. 250-257*
58) Youjiang Wang (2002), "Bearing Behavior of Joints in Pultruded Composites", *Journal of Composite Materials, Vol. 36, No. 18, pp. 2199-2216*
59) Charles N. Rosner, Sami H. Rizkalla (1995), "Bolted Connections for Fiber-Reinforced Composite Structural Members : Experimental Program", *Journal of Materials in Civil Engineering, 1995, 7(4), pp. 223231*
60) C.Cooper & G.J. Turvey (1995), "Effects of joint geometry and bolt torque on the structural performance of single bolt tension joints in pultruded GRP sheet material", *Composite Structures 32 (1995), pp. 217-226*
61) R. Prabhakaran, Z. Razzaq, S. Devara (1996), "Load and resistance factor design (LRFD) approach for bolted joints in pultruded composites", *Composites: Part B 27B (1996), pp. 351-360*
62) David Merkes & Lawrence C.Bank "Longitudinal Lap Splices for Pultruded FRP Tubes", *Materials and Construction, pp. 60-67*
63) Nahla K. Hassan, Mohamed A. Mohamedien, Sami H. Rizkalla (1997), "Multibolted Joints for GFRP Structural Members", *Journal of Cmposites for Construction, February 1997, 1(1), pp. 3-9*
64) J. T. Mottram & G. J. Turvey (2003), "Physical test data for the appraisal of design procedures for bolted joints in pultruded FRP structural shapes and systems", *New Materials in Construction, 2003, 5, pp. 195-222*
65) Nahla K. Hassan, Mohamed A. Mohamedien, Sami H. Rizkalla (1997), "Rational Model for Multibolted Connections for GFRP Members", *Journals of Composites for Construction, May 1997, 1(2), pp. 71-78*
66) ASTM D790-17, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials"
67) ASTM D695-08, "Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics"
한국산업표준, 플라스틱-굴곡성의 측정, KS M ISO 178:2012
68) 디프리기술연구원(주), 카탈로그
69) 전규식, 박원수, 고인성 보강재를 사용한 철근콘크리트 구조물의 내진보강공법(SRF공법), 한국콘크리트학회 기술기사 2, 제26권, 제3호, 2014년 5월
70) 오해철, 이기학, 손상된 철근콘크리트 기둥의 Aramid봉과 SRF 보강공법에 따른 내진성능연구, 한국공간구조학회지, 제15권, 제4호 (통권 62호), pp. 91-98, 2015년 12월
71) 주식회사 엔알씨구조 (2016), 거푸집 선조립형 기둥 구조물, 10-1683641, 대한민국특허청
72) 최인혁, 수직과 수평비정형을 동시에 가지는 저층 RC 건물의 내진성능에 관한 연구, 석사학위논문, 부산대학교 대학원 건축공학과, 2020년 2월
73) 이용규, 고동우, 일방향 정적해석을 통한 필로티형 RC 건물의 지진거동 연구, 대한건축학회연합논문집, 제15권, 제5호 (통권 57호), pp. 181-188, 2013년 10월
74) 위정두, 김용인, 이강석 (2009). 전단 및 휨파괴형 부재가 혼합된 저층 RC 건물의 내진성능 평가법 타당성 검증. 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계, 29(1), 45-48
75) 이선기, 김대진, 이택현, 최기봉, 김선희, 중저층 비내진 철근콘크리트 건축물의 내진성능평가에 대한 연구, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제10권, 제6호, pp. 70-77, 2019년 12월
76) 김재현, 엔지니어링플라스틱을 활용한 저층 필로티 기둥의 DIY형 전단보강형상과 보강량 산정, 공학석사 학위논문, 서울시립대학교 도시과학대학원 건축공학과, 2021년 8월
77) 양근혁, 이영호, 은회창, 정헌수 (2002). 전단경간비가 1.2 미만인 철근콘크리트 보의 휨-전단 상관도 평가에 관한 연구. 대학건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계, 22(2), 189-192
78) 채현수, 윤영묵, 전단경간비가 3 이하인 철근콘크리트 보의 스트럿-타이 모델 및 하중분배율(I) 모델 및 하중분배율, 한국콘크리트학회 논문집, 제28권, 제3호, pp. 257-265, 2016년 6월
79) 이현호, 전단경간비에 따른 고강도 SFRC보의 성능 평가, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제18권, 제3호, pp. 76-83, 2014년 5월
80) 양동석, 홍성남, 박선규 (2007). 탄소섬유판으로 부착보강된 철근콘크리트 부재의 계면 부착거동. 대한토목학회논문집 A, 27(3A), 443-452
81) 서수연, 오재길, 최기봉 (2011). FRP판을 이용한 콘크리트 보강에서 보강방법에 따른 부착성능. 대한

건축학회 논문집 - 구조계, 27(8), 55-63
82) 곽용주, 정우영, BFRP-콘크리트 계면의 균열 및 온도변화에 따른 인발 부착강도 평가, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제1호, pp. 1-10, 2020년 2월
83) 서현식, 류재호, 주영규, 김상대, 고력볼트를 이용한 유리섬유-강판복합판넬의 지압내력 평가, 한국방재학회논문집, 제11권, 제6호, pp. 17-23, 2011년 12월
84) 정규산, 박기태, 유영준, 서동우, 김병철, 박준석 (2017). 규사 코팅 방법에 따른 FRP Hybrid Bar의 부착강도 평가. 한국산학기술학회 논문지, 18(12), 118-125
85) 정우태, 박영환, 박종섭 (2011). 다양한 표면형상에 따른 FRP 보강재의 부착특성 실험연구. 대한토목학회논문집 A, 31(4A), 279-286
86) 김성훈, 정우영, 최현규 (2010). 동결융해 및 부착재료 변화에 따른 FRP-Concrete 경계면의 최대 부착강도 및 유효부착길이 평가. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 435-436
87) 손호영, Sim Viriyavudh, 정우영, 에폭시 재료특성 변화에 따른 FRP-Concrete경게면의 부착강도 및 유효부착길이 평가
88) 고훈범 (2020). 연속섬유(FRP)시트와 콘크리트의 부착강도 영향 요인 검증. 한국산학기술학회 논문지, 21(9). 414-423
89) 건축 내장용 조립식 패널, 10-0642339
90) 건축물용 조립식 내장 패널 코너 몰딩, 10-2016-0015042
91) 건축용 조립식 패널의 연결장치, 20-0257673
92) 조립식 내장패널, 20-0464410
93) 조립식 패널 함체용 벽체 코너연결구, 10-2179400
94) 중공단면의 조립식 복합소재 패널용 코너 커넥터 및 이를 이용한 구조물, 20-0377456
95) 이영근, 김선희, 원용석, 천진욱, 신광열, 윤순종, 2개의 볼트를 가지는 PFRP 볼트연결부의 볼트배치에 따른 강도평가, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제5권, 제3호, pp. 17-22, 2014년 9월
96) 이영근, PFRP 볼트 연결부의 구조적 거동특성, 석사학위 논문, 홍익대학교 대학원 토목공학과 구조전공, 2009년 12월
97) 이영근, 신광열, 주형중, 남정훈, 윤순종, 볼트로 겹침이음된 펄트루젼 복합재 접합부의 구조적 거동, 한국복합재료학회지, 제23권. 제1호, 2010년 2월
98) 서현식, 류재호, 주영규, 김상대, 고력볼트를 이용한 유리섬유-강판복합판넬의 지압내력 평가, 한국방재학회논문집, 제11권, 제6호, pp. 17-23, 2011년 12월
99) 윤호택, 강호순, 최순주, 최문식 (2000). 고력볼트를 체결한 박판접합부의 극한강도에 관한 실험적 연구 - 볼트수 및 볼트 배열 중심으로. 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계, 20(2), 361-364
100) 김대경, 이철호, 진승표, 윤성환, 단일볼트 지압접합부의 힘-변형관계, 한국강구조학회 논문집, 제29권, 제5호 (통권 제150호), 2017년 10월
101) 이영근, 김선희, 원용석, 천진욱, 신광열, 윤순종, 2개의 볼트를 가지는 PFRP 볼트연결부의 볼트배치에 따른 강도평가, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제5권, 제3호, pp. 17-22, 2014년 9월
102) Anna Galinska (2020), “Mechanical Joining of Fibre Reinforced Polymer Composites to Metals-A Review. Part Ⅰ: Bolted Joining”, *Polymers 2020, 12, 2252*
103) 고유미, ㄱ형강 T/S 고력볼트 접합부의 블록전단파단과 인장거동, 중앙대학교 건설대학원 건축공학과 건축구조전공, 2009년 6월
104) 강민욱, 고력볼트 체결력 저하에 따른 마찰이음부의 구조거동, 서울시립대학교 대학원 건축공학과, 2015년 2월
105) 서현식, 류재호, 주영규, 김상대, 고력볼트를 이용한 유리섬유-강판복합판넬의 지압내력 평가, 한국방재학회논문집, 제11권, 제6호, pp. 17-23, 2011년 12월
106) 최진호, 전영준, 권진회, 기계적으로 체결된 복합재료 조인트의 강도에 관한 연구, 한국복합재료학회지, 제15권, 제4호, pp. 9-16, 2002년 8월
107) 권정식, 김진성, 양용만, 이수용, 복합재료 적층판 기계적 체결부 파손시험 및 점진적 파손해석에 대한 연구, 한국항공우주학회지, 제45권, 제1호, pp. 21-29, 2017년 1월
108) 김재봉, 윤성기, 강판으로 보강된 RC보의 접착 에폭시 응력분포에 관한 연구, 부산대학교 생산기술연구소논문집, 제60집, pp. 41-48, 2001년 12월
109) 김진섭, 권민호, 서현수, 임정희, 김동영, 긴급시공이 가능한 FRP 내진보강재 개발 및 최적 보강량 산정을 위한 해석적 연구, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제17권, 제5호, pp. 136-145, 2013년 9월
110) 김진섭, 권민호, 서현수, 임정희, 김동영, 긴급시공이 가능한 FRP 내진보강재로 보강된 기둥의 내진성능평가 실험, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제17권, 제6호, pp. 21-30, 2013년 11월
111) 유영찬, 최기선, 한상환, 강기연 (2004). 난연성 FRP패널을 이용한 철근콘크리트 보의 휨 보강성능

평가. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 20(2), 7-14
112) 이명호, 오상훈, 윤명호 (2009). 반복하중을 받는 무보강 강판전단패널의 하중-변형에 대한 이력모델. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 25(3), 11-18
113) 장지현, 이상호 (2005). 섬유시트가 매입된 에폭시 패널로 보강한 철근콘크리트 부재의 휨거동에 관한 실험적 연구. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 21(7), 27-35
114) 박재우, 류재용, 최성모 (2015). 아라미드 FRP 스트립과 강판 사이의 계면 부착응력에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 27(4), 359-370
115) 하상수, 아라미드섬유와 유리섬유로 혼합된 하이브리드 FRP 플레이트로 보강된 RC 보의 휨 성능, 대한건축학회연합논문집, 제14권, 제4호 (통권 52호), pp.221-228, 2012년 12월
116) 한천구, 변항용, 박용규, 에폭시 수지 접착 강판보강공법의 환경 변화에 따른 부착 특성 검토, 한국건축시공학회 논문집, 제7권, 제3호 (통권 25호), pp. 107-113, 2007년 9월
117) 이문환, 송태협, 이세현 (2008). 코너비드와 크림프 철망을 사용하여 단면 복구한 콘크리트 용·배수로 보수 Mock-up 실험체의 성능평가, 대한건축학회 논문집 - 구조계, 24(2), 53-60
118) 서만식, 박완구, 최수영, 김동범, 김병일, 오상근, 콘크리트 바탕면과 섬유 패널 사이 접착제의 부착방법에 따른 부착 성능 연구, 2018년 추계학술발표대회 논문집, 제18권, 제2호 (통권 제35집), 2018년
119) 엄찬희, 유승운, 콘크리트용 후설치 세트앵커의 전단파괴거동에 관한 실험적 연구, 대한토목학회논문집, 제34권, 제2호, pp. 367-375, 2014년 4월
120) 조병완, 김영진, 탄소 및 아라미드섬유를 이용한 철근콘크리트 깊은 보의 전단보강에 관한 실험적 연구, 한국해양공학회지, 제13권, 제3호, pp. 56-64, 1999년 8월
121) 아라미드섬유시트 보강 시방서
122) HIGGSLAB, 알루미늄 종류별 물성치 (Aluminium property)
123) 박덕제, 조원제 (1990). Acrylonitrile-EPDM-2-Vinylnaphthalene으로 된 새로운 엔지니어링 플라스틱의 합성과 열적성질.폴리머, 14(1), 1-8
124) 엄찬혁, 정도현, 유승용, 이상선, 이현욱, 이평찬, 고윤기, 정선경, 하진욱 (2020.). 금형온도 조건에 따른 PPS 복합수지의 물리적 특성 변화 연구. 폴리머, 44(6), 798-803
125) 김성윤 (2008). 선박전자장비의 플라스틱 재료에 대한 수직연소성 평가방법 고찰. 한국마린엔지니어링학회 학술대회 논문집, 129-130
126) 박규남, 민동균 (2016). 열가소성 엔지니어링 플라스틱의 경도와 강도관계. 한국소성가공학회 학술대회 논문집, 192-194
127) 이시창, 김기수, 지속가능한 제품디자인 활성화를 위한 친환경 소재 선택에 관한 연구-범용 엔지니어링 플라스틱 소재 적용을 중심으로, KCI, 2014년 2월
128) 박한민, 엠보싱 웨브를 가지는 보 부재(IEB)의 구조성능 연구, 석사학위 논문, 대학원 건설환경에너지공학부 건축구조전공, 2017년 12월
129) 박한민, 이희두, 신경재, 이수헌, 채일수, 엠보싱 웨브를 가지는 보 부재의 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 제29권, 제6호 (통권 제151호), pp. 479-486, 2017년 12월
130) 대림산업 주식회사 (2014), C형 스틸 형강과 알루미늄 프레임이 결합된 유닛형 커튼월, 10-1427334, 대한민국특허청
131) 주식회사 알루이엔씨, ㈜하이퍼윈도우 (2017), 결합핀으로 덮개부재를 고정하는 단열 커튼월 시스템, 10-2017-0036265, 대한민국특허청
132) 재단법인 포항산업과학연구원 (2012), 스틸 알루미늄 조합형 유닛 타입 커튼월, 10-2012-0028478, 대한민국특허청
133) 이혜경 (2011), 스틸 커튼월의 결합구조, 10-2012-0028478, 대한민국특허청
134) 유한회사 원진알미늄 (2006), 알루미늄 커튼월 조립 시 유리를 안전하게 고정시키는 유리안전대, 20-0432166, 대한민국특허청
135) 김영권 (2016), 알루미늄 커튼월의 결합 구조물, 10-2016-0121238, 대한민국특허청
136) 조선태 (2020), 알루미늄 커튼월의 수직부재 및 수평부재의 결합구조, 10-2178456, 대한민국특허청
137) ㈜원남양행 (2010), 알루미늄 프레임과 스틸 구조재 결합 형태의 커튼월 시스템, 10-2010-0132105, 대한민국특허청
138) ㈜에이에이치씨 시스템창 (2015), 알루미늄-스틸 복합 커튼월 구조, 10-2015-0034879, 대한민국특허청
139) 김순석 (2016), 이형재질의 결합 구조를 갖는 커튼월 프레임, 10-2016-0136567, 대한민국특허청
140) 한국세라믹기술원 (2013), 커튼월 내화성 경량보드용 접착 조성물 및 이를 이용한 알루미늄 커튼월 구성방법, 10-2013-0078223, 대한민국특허청
141) 제일레이저 주식회사 (2016), 커튼월 및 그 제작방법, 10-1612796, 대한민국특허청
142) 이덕래 (2011), 커튼월 시스템, 10-2011-0088812, 대한민국특허청

143) 이기용 (2001), 커튼월용 외벽패널 및 그 외벽패널의 설치구조, 20-0220915, 대한민국특허청
144) ㈜홍성이엔씨 (2010), 커튼월용 외벽패널의 결합구조, 10-2010-0107332, 대한민국특허청
145) ㈜하이퍼윈도우 (2015), 커튼월의 포밍 스틸프레임 결합 구조와 그 결합방법, 10-2015-0133467, 대한민국특허청
146) ㈜영남유리산업 (2018), 코너가이드를 포함하는 프로젝트 타입 커튼월, 10-1891172, 대한민국특허청
147) 강성원, 전면필렛 용접이음의 강도에 관한 연구, 1997년 12월
148) M. Ait Ameur Meziane, S. Benyoucef, A. Tounsi, E. A. Adda Bedia (2007). “Analysis of Adhesion Stresses for the Design of RC Beam Bonded with Thin Composite Plate”, *Multidiscipline Modeling in Mat. and Str., Vol.3, No.1, pp. 55-70*
149) Amir M. Malek, Hamid Saadatmanesh, Mohammad R. Ehsani (1998). “Prediction of Failure Load of R/C Beams Strengthened with FRP Plate Due to Stress Concentration at the Plate End”, *ACI Structural Journal, Vol.95, No.1, January-February 1998*
150) 정윤지, 김선희, 최원창, 최기봉, 바잘트 섬유 시트로 휨 보강된 철근콘크리트보의 부착거동 실험, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제11권, 제2호, pp. 24-30, 2020년 4월
151) 김운학, 황성운, 강석원, 김정수 (2016). 복합섬유 패널을 이용한 콘크리트 구조물의 보강공법에 관한 연구, 한국재난정보학회 학술발표대회, pp. 198-199
152) 김진만, 정미루, 이재홍, 윤광섭, 복합재료 패널로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 실험, 한국공간구조학회지, 제10권, 제2호 (통권 40호), pp. 117-126, 2010년 6월
153) 노형진, 전단철근비와 보의 단면크기에 따른 철근콘크리트보의 전단강도에 대한 실험적 연구, 공학석사학위논문, 금오공과대학교 대학원 건축공학과, 2019년 12월
154) 김민준, 김형국, 이진용, 조민수, 김길희 (2019). 하이브리드 FRP 시트로 보강된 RC 기둥의 휨 성능 평가. 콘크리트학회 논문집, 31(6), 611-618
155) 하상수, 하이브리드 FRP 시트를 이용한 RC 보의 휨 보강 효과, 대한건축학회연합논문집, 제14권, 제1호 (통권 49호), pp. 221-228, 2012년 3월
156) 남덕우, 윤승조, 하이브리드 FRP로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 거동에 관한 연구, 건설환경연구소 논문집, 제6권, 제2호, pp. 148-156, 2011년 12월

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '경량화율 35%이상의 엔지니어링 플라스틱 기반 다가구 필로티 기둥의 저비용 간편시공 복합재난 피해저감 공법개발' 연구개발과제 최종보고서이다.

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

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