

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명		국토교통기술촉진연구사업			
공고번호	공고-제2호				총괄연구개발 식별번호		-				
					연구개발과제번호		21CTAP-C152123-03				
국가과학기술 표준분류	EI0407	50%	EB0210		30%	EB0202		20%			
총괄연구개발명	국문	-									
	영문	-									
연구개발과제명	국문	건축물 내진보강용 불연구조 섬유복합보강재 개발									
	영문	Development of non-combustable fiber reinforced composite for earthquake-resistance building									
주관연구기관	기관명	한국세라믹기술원				사업자등록번호		119-82-06696			
	주소	(우)경남 진주시 소호로 101				법인등록번호		254371-0013036			
주관연구책임자	성명		임형미		직위		수석연구원				
	연락처	직장전화	055-792-2450		휴대전화		010-6632-9777				
		전자우편	lim@kicet.re.kr		국가연구자번호		10056724				
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2 년 9 개월)									
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(0 년 9 개월)									
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1 년 개월)									
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1 년 개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()				합계			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,010	180,090	-	-	-	-	620,010	180,090	800,100	-
1년차	134,000	4,470	40,230	-	-	-	-	138,470	40,230	178,700	-
2년차	130,000	4,340	39,060	-	-	-	-	134,340	39,060	173,400	-
3년차	336,000	11,200	100,800	-	-	-	-	347,200	100,800	448,000	-
공동연구기관 등	기관명		책임자	직위	휴대전화		전자우편			비고	
										역할	기관유형
공동연구기관	(주)대산이앤지		이동영	부사장	010-2282-2439		dbsar0411@naver.com				
연구개발담당자 실무담당자	성명		문소윤			직위		선임기술원			
	연락처	직장전화	055-792-2713			휴대전화		010-4916-7320			
		전자우편	msy@kicet.re.kr			국가연구자번호		11231886			

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

2022 년 01 월

주관연구책임자 : 임 형 미 (직인)

주관연구기관의 장 : 한국세라믹기술원 정 연 길 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업			총괄연구개발 식별번호		-				
내역사업명		국토교통기술촉진연구사업			연구개발과제번호		21CTAP-C152123-03				
국가과학기술 표준분류		EI0407	50%	EB0210	30%	EB0202	20%				
총괄연구개발명		-									
연구개발과제명		건축물 내진보강용 불연구조 섬유복합보강재 개발									
전체 연구개발기간		2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2 년 9 개월)									
총 연구개발비		총 800,100 천원 (정부지원연구개발비 : 600,000 천원, 기관부담연구개발비 : 200,100 천원, 지방자치단체 : 0 천원, 그 외 지원금 : 0 천원)									
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준(4) 종료시점 목표(8)				
연구개발과제 유형		지정공모 [☒] 자유공모 []									
연구개발과제 특성		실용화									
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		- 화재 확산과 유해가스 발생 방지를 위한 건축물 내진보강용 불연구조 섬유복합소재 개발 - 불연구조 섬유복합재 시험시공과 내화 및 내진실험								
	전체 내용		- 불연 섬유복합재 구성 소재 개발 - 내진 보강 시스템 구축 - 불연구조 섬유복합재 내진성능 평가 - 불연구조 섬유복합재 내화성능 평가								
	1년차	목표	- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 개발 - 참여기관 ((주)대산이앤지): 내진보강 시스템 구축								
		내용	- 주관연구기관(한국세라믹기술원): ○ 표면마감재 조성 및 배합설계 기술개발 : 폴리머 몰탈, 지오폐리머 및 기타 무기바인더 종류별 기초 물성 평가 : 바인더 종류 및 두께에 따른 물성 평가 ○ 소재 기초 물성 평가 : 섬유 시트 인장강도, 접착제 물성, 마감재 부착강도, 난연성 등 평가 - 참여기관 ((주)대산이앤지): ○ 내진 보강 시스템 구축 : 단계별 보강재의 시공시스템 개발 : 아라미드 보강재 설치 : 난연마감재 타설 ○ Mock-up test : 현장 적용성 검토를 위한 대형 부재적용 시험 : 시공성능 검토 : 재료의 소요 성능 발현 확인 및 개선점 도출								
			목표	- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 개발 - 참여기관 ((주)대산이앤지): 복합재 내화 테스트 및 현장적용							
				내용	- 주관연구기관(한국세라믹기술원): ○ 표면마감재 조성 신뢰성 향상 기술 개발 : 표면마감재 종류 및 도포 두께별 물성 평가 : 부착강도, 내화성능 등 신뢰성 확인 : 표면마감재의 내구성 확보 기술 개발 ○ 제조시편 물성 평가 지원 : 불연 내진 보강재 특성 평가 지원 (콘칼로리미터, LOI 등 난연특성, 부착강도 등 기계적 특성) - 참여기관 ((주)대산이앤지): ○ 불연 복합재 내화테스트를 통한 성능 검토 : 가압방식을 통한 내화테스트 및 성능 검토 ○ 불연 복합재 현장 적용						
					3년차		목표	- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 신뢰성 확보			

			- 참여기관 ((주)대산이앤지): 복합재 내진 테스트 및 현장 적용																																					
			- 주관연구기관(한국세라믹기술원): ○ 현장적용 평가 및 신뢰성 확보 : 외부 환경조건에 대한 특성 개발 및 신뢰성 확보 ○ 제조시편 물성 평가 지원 : 불연 내진 보강재 특성 평가 지원 (콘칼로리미터, LOI 등 난연특성, 부착강도 등 기계적 특성) 내용 - 참여기관 ((주)대산이앤지): ○ 불연 복합재 내진성능 테스트를 통한 성능 검토 : 동적 실험에 의한 내진성능 검토 (지진파 에너지 소산 능력, 하중변위 및 항복강도, 파괴거동 등) : 시공 및 테스트 시 구조물과 부착성능 검토 ○ 불연 복합재 시험시공 : 최종 연구개발 결과 적용																																					
연구개발성과			- 불연 섬유복합재 구성 소재 개발 및 내진 보강 시스템 구축 - 불연구조 섬유복합재 내진/내화 성능 평가를 통한 검토 및 시험시공 - 개발제품 성능 지표 ◦섬유 인장강도 : 2,100 MPa, ◦섬유 인장탄성율 : 120,000 MPa ◦난연접착제 인장강도 : 20 MPa, ◦난연접착제압축강도 :70 MPa ◦마감재 부착강도 : 1.0 kgf/cm ² ◦복합소재 난연성능 : 불연성 <예상되는 연구개발성과 유형>																																					
			<table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서 원문</th><th rowspan="2">연구 시설·장비</th><th rowspan="2">기술요약 정보</th><th rowspan="2">소프트 웨어</th><th rowspan="2">화합물</th><th colspan="2">생명자원</th><th colspan="2">신품종</th></tr><tr><th>생명 정보</th><th>생물 자원</th><th>정보</th><th>실물</th></tr><tr><td>예상성과 (N/Y)</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr></table>										구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종		생명 정보	생물 자원	정보	실물	예상성과 (N/Y)	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N
구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종																														
								생명 정보	생물 자원	정보	실물																													
예상성과 (N/Y)	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N																													
연구개발성과 활용방안 및 기대효과			-난연/불연 성능을 가지는 내진 보강용 복합 보강재는 지하철, 터널 등 밀폐 구조물과 학교, 아파트, 공공기관 등 사람이 거주하는 건축물 등 지진에 의한 화재 시 다양한 구조물에 다양하게 활용될 수 있음 -지하철 내진보강공사와 기타 지하구조물 내진보강사업에 활용 가능 하며, 서울교통공사 내진보강 예산 50,000억 확보 후 현재 3단계 진행 중 전구간 확대 시행중 -종래의 콘크리트구조물 내진보강기술의 난제인 난연·불연 성능을 확보한 기술의 개발을 통해 구조물의 내진보강을 통한 내진성능개선 뿐만 아니라 화재확산 및 유해가스 피해 방지의 시너지 효과 기대 -강판보강에 비해 무게가 가벼운 섬유보강재의 사용으로 작업자의 안전성확보 및 시공의 효율성 향상되며 섬유보강재의 부착 후 불연 마감재를 타설하는 방식으로 공간 및 형상에 대한 제약이 적고 시공이 편리하며, 시공 후 상태평가가 용이																																					
연구개발성과의 비공개여부 및 사유			해당없음																																					
연구개발성과의 등록·기탁 건수			논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		신품종																												
										생명 정보	생물 자원																													
			2	5	3	1	-	-	-	-	-	-																												
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황			구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호																													
			-	-	-	-	-	-	-	-	-																													
국문핵심어 (5개 이내)			내진복합		섬유복합소재		표면마감재		불연성		내화·내진성능																													
영문핵심어 (5개 이내)			Seismic reinforcement		Fiber reinforced composite		Surface finishing		Nonflammable		Fire resistant seismic performance																													

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	2
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	6
4. 목표 미달 시 원인분석	23
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	23
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	24

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 화재 확산과 유해가스 발생 방지를 위한 건축물 내진보강용 불연구조 섬유복합소재 개발
- 불연구조 섬유복합재 시험시공과 내화 및 내진실험

2) 연구개발과제의 년차별 목표

1) 1차 연도 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 개발
- 참여기관 ((주)대산이앤지): 내진보강 시스템 구축

2) 2차 연도 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 개발
- 참여기관 ((주)대산이앤지): 복합재 내화 테스트 및 현장적용

3) 3차 연도 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 신뢰성 확보
- 참여기관 ((주)대산이앤지): 복합재 내진 테스트 및 현장 적용

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	난연/불연 복합재 개발	섬유인장강도 (MPa)	2,000	1,900		10
		섬유인장탄성율 (MPa)	120,000	100,000		10
		난연접착제 인장강도 (MPa)	20	10		10
		난연접착제 압축강도 (MPa)	70	50		10
		난연접착제 전단강도 (MPa)	6	3		10
		마감재 부착강도 kg/cm ²	0.4	0.4		25
		총방출열량 (MJ/m ²)	-	8		25
		200kW/m ² 초과시간	-	10초 이하		
		평균행동 정지시간	-	9분 이상		
2년차 (2020)	난연/불연 복합재 개발	섬유인장강도 (MPa)	2,000	2,000		10
		섬유인장탄성율 (MPa)	120,000	110,000		10
		난연접착제 인장강도 (MPa)	20	15		10
		난연접착제 압축강도 (MPa)	70	60		10
		난연접착제 전단강도 (MPa)	6	5		10
		마감재 부착강도 kg/cm ²	0.4	0.6		25
		평균행동 정지시간	-	9분 이상		25
		최고온도-평형온도(K)	-	20 이하		
		질량감소율 (%)	-	30 이하		
3년차 (2021)	난연/불연 복합재 개발	섬유인장강도 (MPa)	2,000	2,100		10
		섬유인장탄성율 (MPa)	120,000	120,000		10
		난연접착제 인장강도 (MPa)	20	20		10
		난연접착제 압축강도 (MPa)	70	70		10
		난연접착제 전단강도 (MPa)	6	6		10
		마감재 부착강도 kg/cm ²	0.4	1.0		25
		평균행동 정지시간	-	9분 이상		25
		최고온도-평형온도(K)	-	20 이하		
		질량감소율 (%)	-	30 이하		

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

○ 연구개발 추진전략 · 방법



○ 연구개발 추진체계



○ 연구개발 추진일정

1차년도														
일련 번호	연구내용	추진 일정									연구 개발비 (단위: 천원)	책 임 자 (소속 기관)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
1	계 획수립 및 자료조사												임형미 (KICET)	
2	불 연 마감재 개발												임형미 (KICET)	
3	물성평가												임형미 (KICET)	
4	섬유시트 보강기법												이동영 (대산)	
5	내진보강 시스템 구축												이동영 (대산)	
6	Mock-up test												이동영 (대산)	
2차년도														
일련 번호	연구내용	추진 일정												책 임 자
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	마감재 신뢰성 및 내구성 확보												임형미 (KICET)	
2	내화테스트 시편 제작												이동영 (대산)	
3	내화성능테스트												이동영 (대산)	
4	현장 적용												이동영 (대산)	
3차년도														
1	현장적용 평가 및 신뢰성 확보												임형미 (KICET)	
2	내진성능 테스트 시편 제작												이동영 (대산)	
3	내진성능테스트												이동영 (대산)	
4	시험시공												이동영 (대산)	

○ 연차별 연구내용

1) 1차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 개발
- 참여기관 ((주)대산이앤지): 내진보강 시스템 구축

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국세라믹기술원):

- 표면마감재 조성 및 배합설계 기술개발

- : 폴리머 몰탈, 지오폴리머 및 기타 무기바인더 종류별 기초 물성 평가

- : 바인더 종류 및 두께에 따른 물성 평가

- 소재 기초 물성 평가

- : 섬유 시트 인장강도, 접착제 물성, 마감재 부착강도, 난연성 등 평가

- 참여기관 ((주)대산이앤지):

- 내진 보강 시스템 구축

- : 단계별 보강재의 시공시스템 개발

- : 아라미드 보강재 설치

- : 난연마감재 타설

- Mock-up test

- : 현장 적용성 검토를 위한 대형 부재적용 시험

- : 시공성능 검토

- : 재료의 소요 성능 발현 확인 및 개선점 도출

2) 2차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 개발
- 참여기관 ((주)대산이앤지): 복합재 내화 테스트 및 현장적용

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국세라믹기술원):

- 표면마감재 조성 신뢰성 향상 기술 개발

- : 표면마감재 종류 및 도포 두께별 물성 평가

- : 부착강도, 내화성능 등 신뢰성 확인

- : 표면마감재의 내구성 확보 기술 개발

- 제조시편 물성 평가 지원

- : 불연 내진 보강재 특성 평가 지원 (콘칼로리미터, LOI 등 난연특성, 부착강도 등 기계적 특성)

- 참여기관 ((주)대산이앤지):

- 불연 복합재 내화테스트를 통한 성능 검토

- : 가압방식을 통한 내화테스트 및 성능 검토

- 불연 복합재 현장 적용

3) 3차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원): 난연/불연 복합재 구성소재 신뢰성 확보
- 참여기관 ((주)대산이앤지): 복합재 내진 테스트 및 현장 적용

② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)

- 주관연구기관(한국세라믹기술원):

- 현장적용 평가 및 신뢰성 확보

-
- ： 외부 환경조건에 대한 특성 개발 및 신뢰성 확보
 - 제조시편 물성 평가 지원
 - ： 불연 내진 보강재 특성 평가 지원 (콘칼로리미터, LOI 등 난연특성, 부착강도 등 기계적 특성)
 - 참여기관 ((주)대산이앤지):
 - 불연 복합재 내진성능 테스트를 통한 성능 검토
 - ： 동적 실험에 의한 내진성능 검토 (지진파 에너지 소산 능력, 하중변위 및 항복강도, 파괴거동 등)
 - ： 시공 및 테스트 시 구조물과 부착성능 검토
 - 불연 복합재 시험시공
 - ： 최종 연구개발 결과 적용



<내진시험 세팅 및 시험 후-기둥 높이 3m>

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 난연/불연 복합재 구성소재 개발

- 인계 난연제, 무기계 난연제, 질소계 난연제의 적절한 배합을 통해 난연등급의 접착제를 확보하였음.

난연수지 구분	UL94	콘칼로리미터		주제 내 난연제 비율			경화제 내 난연제 비율			수지 내 난연제 함량
		THR	PHRR	1	2	3	1	2	3	
1	-	X	X	6	5	3	5	4	1	20-35
2	V0	O	X	6	5	4	6	5	2	20-40
3	V0	X	O	10	5	4	6	2.5	1	35-45
4	V0	X	O	8	2.5	1	8.5	2.5	1	40-50
5	V0	O	O	2	1.25	1	3	2.5	1	30-45

- 아라미드 섬유에 난연수지 적용을 통해 일정 수준의 난연 특성 향상 효과를 확인하였음. 또한 부착성이 우수한 불연 마감재를 도입하여 난연, 준불연, 불연 기준을 만족하는 복합소재 구성 배합을 확보하였음.

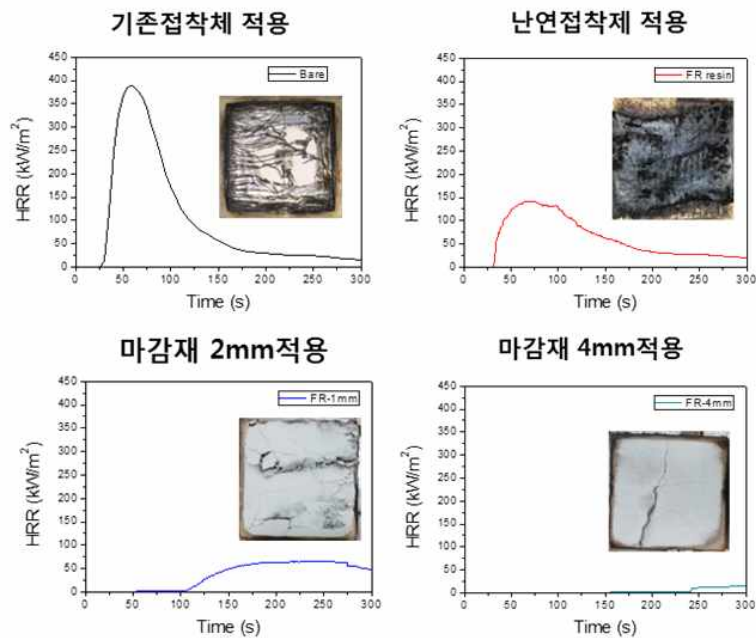


그림. 난연성 복합재 콘칼로리미터 측정 결과

Sample	THR (MJ/m ²)	HRR 200 kW/m ² 초과시간(s)	PHRR (kW/m ²)
난연기준	8 이하	10초 이하	기준없음
섬유+에폭시	31.8	57	372
섬유+난연에폭시	17.7	0	142
섬유+난연에폭시+마감재 2mm	6.6	0	64.2

표. 난연성 복합재 콘칼로리미터 측정 결과

- 아라미드 섬유의 밀도, 난연수지의 배합비, 불연마감재의 배합비 및 구성에 따라 난연 특성의 영향을 받음. 아라미드섬유의 밀도가 낮으면 가연성 성분이 적게 도입되므로 난연 특성에 유리하며, 제직밀도 280 g/m² 수준의 아라미드섬유와 난연수지를 적절하게 배합하는 경우 아래와 같이 준불연 특성을 확보할 수 있음.

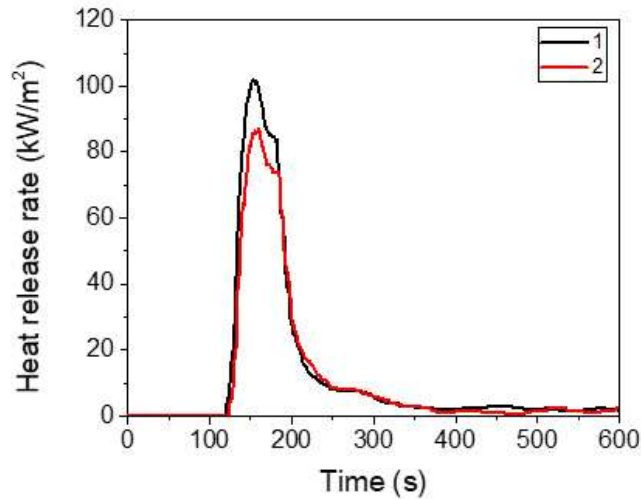


그림. 준불연성 복합재 콘칼로리미터 측정 결과

표. 준불연성 복합재 콘칼로리미터 측정 결과

Sample	THR (MJ/m ²)	HRR 200 kW/m ² 초과시간(s)	PHRR (kW/m ²)
준불연 기준 (600초)	8 이하	10초 이하	기준없음
280 g/m ² + 난연에폭시(G-BOND 401R)	7.4	0	101.93
	6.5	0	86.98

- 지오폴리머는 표면 마감재나 섬유에 함침하는 바인더로 활용이 가능하며, 시공 시간 단축을 위해 고속으로 경화가 가능한 지오폴리머를 합성하고 그 물성을 평가하였음.

고속경화형의 지오폴리머는 kaolin, Ca(OH)₂, KOH, K₂SiO₃, colloidal silica를 혼합하여 제조하였으며, Ca(OH)₂는 경화속도를 조절하는 원료로 첨가를 통해 속경화가 가능하며 구조가 견고해져 물성이 향상됨. 아래의 그림과 같이 배합비가 최적화된 지오폴리머는 초기 지오폴리머 대비 굴곡강도가 약 5배 향상되었음.

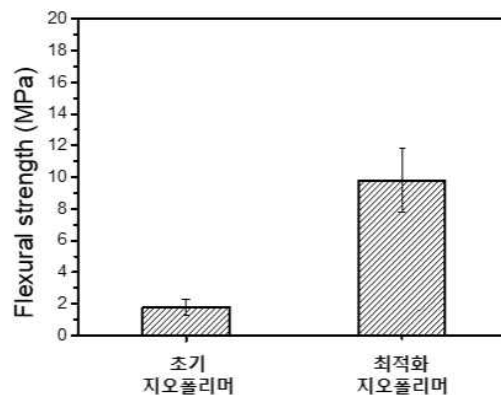


그림. 지오폴리머 굴곡강도 측정 결과

이러한 지오폴리머의 불연 시험 결과를 아래의 그림과 표에 나타내었으며, 무기물로 구성된 지오폴리머는 불연 특성을 확보하는 것을 확인할 수 있음.

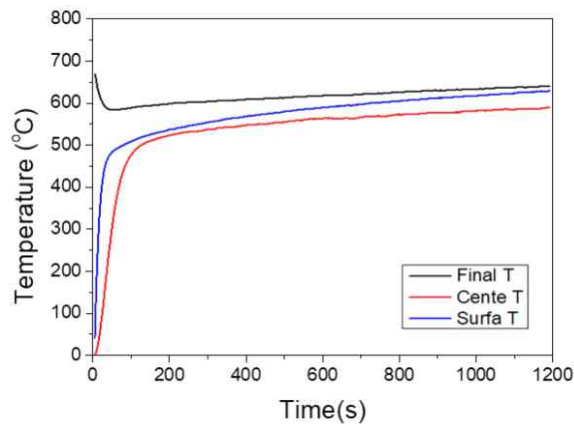


그림. 지오폴리머 불연성시험 결과

표. 지오폴리머 불연성시험 결과

구분			시험 결과	성능기준
질량 (g)	시험 전		114.49	-
	시험 후		82.95	-
	질량 손실	g	31.54	-
		%	27.55	30% 이하
최고온도			715.0	-
종료 시 Drift (℃)			713.4	-
온도상승 (℃)			1.6	20 ℃ 초과 상승하지 말 것

지오폴리머를 바인더로 사용하였을때의 효과를 확인하기 위하여 현무암섬유와의 복합소재를 제조하였음. 복합소재 matrix로 사용된 지오폴리머는 kaolin, KOH, K₂SiO₃를 혼합하여 제조하였으며, 이렇게 제조한 지오폴리머를 현무암섬유에 핸드레이업으로 함침한 후 vacuum bag으로 충분한 함침을 시켜주며 열처리하여 섬유복합재로 제조하였음. 이때 사용된 현무암섬유는 직경 약 15um 이며 평직으로 직조된 직물을 사용하였음. 아래의 그림에 최적화된 지오폴리머와 현무암-지오폴리머복합소재의 굴곡강도 평가 결과를 나타내었음. 최적화된 배합비에 따라 최대의 굴곡강도를 가졌던 지오폴리머가 현무암섬유로 강화되면서 그보다 1.5배 향상되며 매우 높은 강도 향상 효과를 보이는 것을 확인할 수 있음.

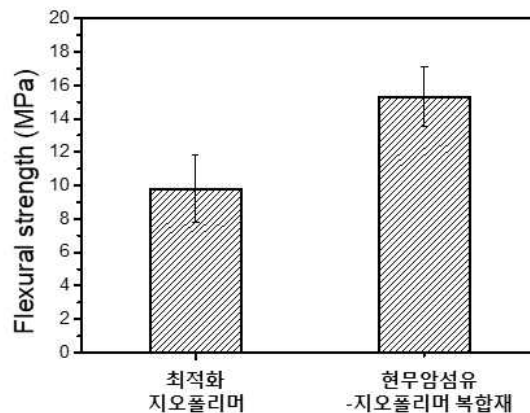
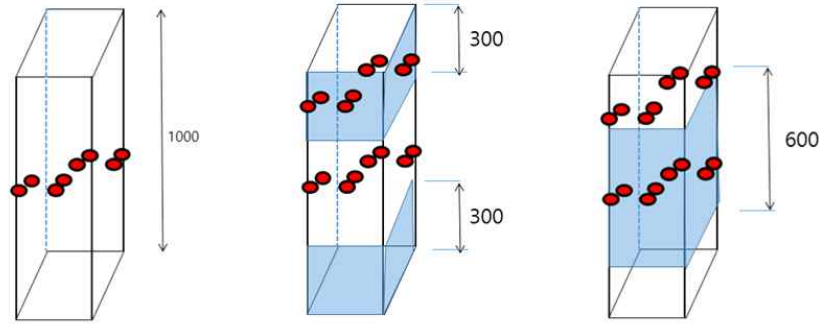


그림. 지오폴리머 및 복합재 굴곡강도 평가 결과

○ 복합재 내화 테스트

- 아라미드 복합보강재에 대한 내화 성능 평가를 위하여 단주를 설계하였음. 시험체의 단면은 400mm x 400 mm 이고, 기둥 높이는 1,000 mm로 제작하였음. 아래의 그림과 같이 무보강 기둥에 8개, 보강기둥에 16개의 열전대를 설치하여 내화성능을 측정하였으며, 콘크리트 강도는 24 MPa, 철근강도는 300 MPa로 하여 평가하였음.
- 총 3회에 걸친 내화테스트를 진행하였으며, 1차 테스트 시 콘크리트 폭열 발생으로 정확한 값을 얻을 수 없었음
- 2차 내화테스트 결과, 중앙부 보강 시험편 (3번)의 경우 콘크리트 폭열이 발생하며 정확한 결과를 얻을 수 있었으나, 실제 기둥 보강법과 동일한 상하부보강 시험편 (2번)의 경우 안정적인 온도를 나타내는 것을 확인하였음



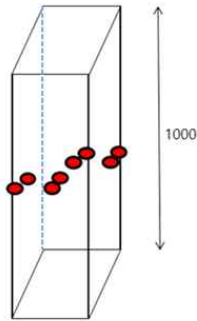
1번 무보강

2번 상하부보강
(불연마감재 4mm)

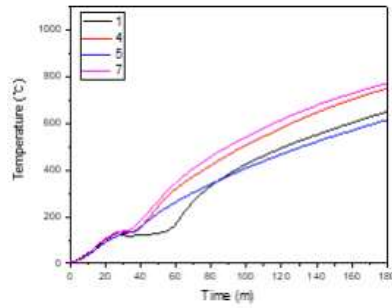
3번 중앙부보강
(불연마감재 4mm)

그림. 2차 내화시험 보강 및 열전대 위치

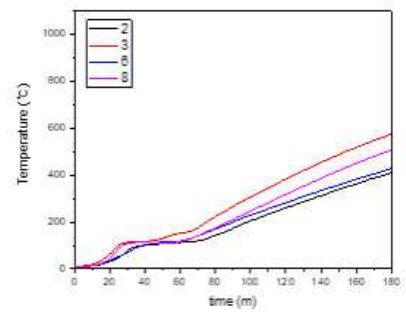
- 구조체 1 결과



열전대 위치



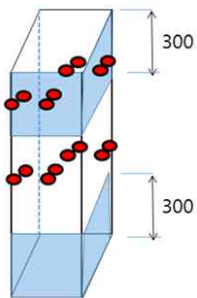
중앙1



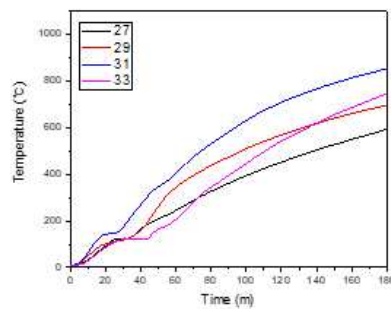
중앙2

중앙 1	번호	1	4	5	7	평균
	최고온도 (°C)	651	752	616	774	698
중앙 2	번호	2	3	6	8	평균
	최고온도 (°C)	411	575	429	509	481

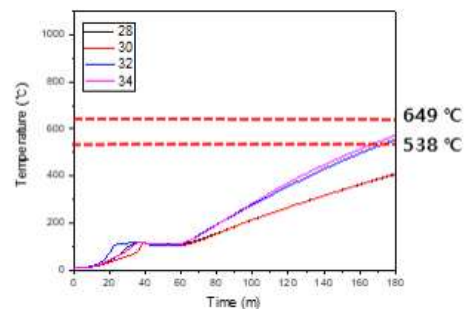
- 구조체 2 결과



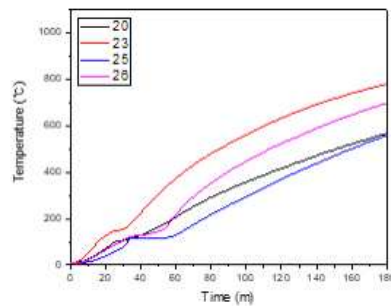
열전대 위치



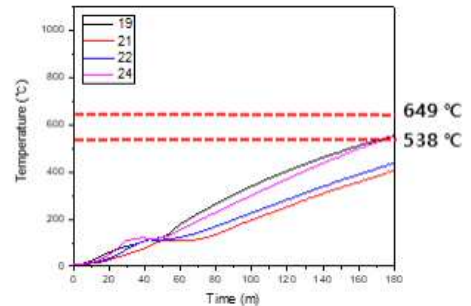
상부1



상부2



중앙1



중앙2

상부 1	번호	27	29	31	33	평균
	최고온도 (℃)	594	696	854	746	718
상부 2	번호	28	30	32	34	평균
	최고온도 (℃)	407	411	555	573	487
중앙 1	번호	20	23	25	26	평균
	최고온도 (℃)	568	780	559	697	651
중앙 2	번호	19	21	22	24	평균
	최고온도 (℃)	555	407	439	552	488

- 구조체 3 결과

상부 1	번호	45	47	49	50	평균
	최고온도 (℃)	923	775	1044	576	830
상부 2	번호	43	44	46	48	평균
	최고온도 (℃)	496	412	384	548	460
중앙 1	번호	35	37	39	41	평균
	최고온도 (℃)	580	919	1062	1025	897
중앙 2	번호	36	38	40	42	평균
	최고온도 (℃)	418	425	263	566	418



그림. 가열 전 시험체

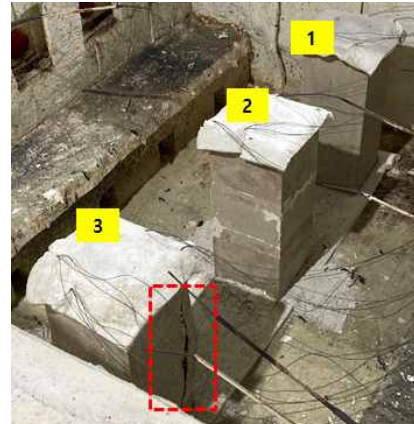
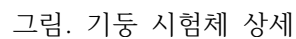


그림. 가열 후 시험체

- 아라미드 외부부착 보강재에 대한 구조 및 내진 보강 성능을 평가하기 위하여 아래 그림과 같이 내진 설계가 고려되지 않은 단주를 설계하였음. 시험체의 단면은 380mm × 300mm 이고, 기둥 높이는 1,400mm로 유효높이는 1,200mm로 계획하였음. 기둥 단면에서 주철근은 D22철근을 사용하여 모서리부와 중간부에 배근하였고, 전단철근은 D10 철근을 300mm 간격으로 배치하였음. 철근은 SD300 철근을 사용하였고, 콘크리트는 설계 강도 24MPa의 1종 포틀랜드 시멘트 콘크리트를 타설하였음. 이렇게 설계된 시험체를 제작하여 보강 전·후의 구조물 성능변화를 실험적으로 평가하였음.



	실험 전	실험 종료 후 (전면, 후면)
무보강 기둥		 
보강 기둥		 

그림. 보강 여부에 따른 파괴 상황

- 본 실험에서 수행된 기둥 시험체의 반복하중 가력 실험의 결과로부터 아라미드 섬유 외부부착 공법적용에 따른 성능 개선효과를 다음과 같이 확인하였음.

1. 아라미드 섬유 외부부착 공법의 적용을 통해서 기둥의 최대 수평 전단 및 휨 하중이 1.21배 이상 증가하였고, 최대하중 발생변위 또한 2.98배 이상 증가하였음.
2. 아라미드 섬유 외부부착 공법의 적용을 통해서 동일 변위연성비 조건에서 에너지 소산능력이 1.87배 증가하고, 최대 에너지 소산능력은 4.64배 증가하였다. 그리고 누적에너지 소산능력이 12.46배 증가하였음.
3. 아라미드 섬유 외부부착 공법의 적용을 통해서 최대 연성도가 최소 2.90배 증가하였음.

○ 불연 복합재 시험시공, 현장적용

번호	내용	적용 시기	매출액 (천원)
1	지하철2호선 내진공사(불연구간)	2019	1,412,850,500
2	지하철 2호선 내진공사(난연구간)	2020	609,354,090
3	한전 전력연구원 내진공사 (콘크리트 전주 30개, 전력연구원 연구실 등)	2021	107,910,000
합계			2,130,114,590

아라미드섬유 활용 전주보강공법 작업절차서 ① 작업준비 ② 전주하부 굴착 ③ 그리핀다 작업/표면처리 ④ 전주표면 에폭시페티 작업 ⑤ 프라이머 혼합 ⑥ 프라이머 도포	아라미드섬유 활용 전주보강공법 작업절차서 ⑦ 필라재 혼합 ⑧ 필라재 전주 도포 ⑨ Red-Fly 탈착 ⑩ 스톱랩 부착 ⑪ 할필을 해진 혼합 ⑫ 시트에 해진 도포	아라미드섬유 활용 전주보강공법 작업절차서 ⑬ 시트 부착 ⑭ 외매우기 ⑮ 마무리 *우려한 포인트
---	--	---

그림. 작업절차서

지하철 2호선 터널 	전력연구원 연구실 	필로티 공사 
---	---	---

그림. 현장적용 완료 사진

○ 연구계획 대비 성과표

연구 계획	연구 내용	연구 성과																																																																																																																																																																					
- 난연/불연 복합재 구성소재 개발	- 복합재 난연 특성(난연/준불연/불연) 향상을 위한 접착제 조성별 물성 평가 <table border="1"><thead><tr><th>구분</th><th>Sample name</th><th>접착제 (%)</th><th>난연제A (%)</th><th>난연제B (%)</th><th>LOI</th><th>UL94</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>기본 접착제</td><td>100</td><td>-</td><td>-</td><td>19.7</td><td>측정 불가</td></tr><tr><td>1</td><td>A30</td><td>70</td><td>30</td><td>0</td><td>19.9</td><td>측정 불가</td></tr><tr><td>2</td><td>A25B5</td><td>70</td><td>25</td><td>5</td><td>23.8</td><td>측정 불가</td></tr><tr><td>3</td><td>A20B10</td><td>70</td><td>20</td><td>10</td><td>25</td><td>V1</td></tr><tr><td>4</td><td>A15B15</td><td>70</td><td>15</td><td>15</td><td>24.7</td><td>V0</td></tr><tr><td>5</td><td>A10B20</td><td>70</td><td>10</td><td>20</td><td>24.2</td><td>V0</td></tr><tr><td>6</td><td>B30</td><td>70</td><td>0</td><td>30</td><td>44.8</td><td>V0</td></tr></tbody></table> Heat release rate (kW/m²) vs Time (s) graph showing FRP application improvement. - 복합재 불연성 확보를 위한 표면 마감재 조성 및 공법별 물성 평가 <table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">마감재 종류</th><th rowspan="2">부착강도 (kgf/cm²)</th><th colspan="3">난연특성(표면조각의 시험)</th><th rowspan="2">비고</th></tr><tr><th>TFR (kW/m²)</th><th>HRR (kW/m²)</th><th>PHRR (kW/m²)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td rowspan="7">프라이머 유무</td><td>16.1</td><td>4.7</td><td>6.7</td><td>0</td><td>45.57</td><td>대부분 수축이 있어 시험 불가</td></tr><tr><td>2</td><td>0.45</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>대부분 수축이 있어 시험 불가</td></tr><tr><td>3</td><td>-</td><td>17.7</td><td>0</td><td>145</td><td>대부분 수축이 있어 시험 불가</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>-</td><td>24.6</td><td>0</td><td>237</td><td>전소 시 시험이 불가함</td></tr><tr><td>5</td><td>5</td><td>-</td><td>16.7</td><td>0</td><td>150</td><td>시험 불가</td></tr><tr><td>6</td><td>11</td><td>-</td><td>14.9</td><td>0</td><td>120</td><td>-</td></tr><tr><td>7</td><td>12</td><td>-</td><td>10.9</td><td>0</td><td>117</td><td>-</td></tr><tr><td>8</td><td rowspan="7">요철 형성</td><td>8</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0</td><td>40.53</td><td>전소시점까지</td></tr><tr><td>9</td><td>10</td><td>0.18</td><td>0.5</td><td>0</td><td>54.2</td><td>-</td></tr><tr><td>10</td><td>11</td><td>0.15</td><td>0.5</td><td>0</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>11</td><td>12</td><td>0.18</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>12</td><td>13</td><td>0.14</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>13</td><td>14</td><td>0.18</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>14</td><td>15</td><td>0.18</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></tbody></table> - 난연/불연 확보를 위한 복합재 구성 기존접착제 적용, 난연접착제 적용, 마감재 2mm적용, 마감재 4mm적용 HRR graphs.	구분	Sample name	접착제 (%)	난연제A (%)	난연제B (%)	LOI	UL94	0	기본 접착제	100	-	-	19.7	측정 불가	1	A30	70	30	0	19.9	측정 불가	2	A25B5	70	25	5	23.8	측정 불가	3	A20B10	70	20	10	25	V1	4	A15B15	70	15	15	24.7	V0	5	A10B20	70	10	20	24.2	V0	6	B30	70	0	30	44.8	V0	구분	마감재 종류	부착강도 (kgf/cm ²)	난연특성(표면조각의 시험)			비고	TFR (kW/m ²)	HRR (kW/m ²)	PHRR (kW/m ²)	1	프라이머 유무	16.1	4.7	6.7	0	45.57	대부분 수축이 있어 시험 불가	2	0.45	-	-	-	-	대부분 수축이 있어 시험 불가	3	-	17.7	0	145	대부분 수축이 있어 시험 불가	4	1	-	24.6	0	237	전소 시 시험이 불가함	5	5	-	16.7	0	150	시험 불가	6	11	-	14.9	0	120	-	7	12	-	10.9	0	117	-	8	요철 형성	8	0.4	0.2	0	40.53	전소시점까지	9	10	0.18	0.5	0	54.2	-	10	11	0.15	0.5	0	-	-	11	12	0.18	-	-	-	-	12	13	0.14	-	-	-	-	13	14	0.18	-	-	-	-	14	15	0.18	-	-	-	-	- 난연/불연 복합재 구성 소재 개발 완료
구분	Sample name	접착제 (%)	난연제A (%)	난연제B (%)	LOI	UL94																																																																																																																																																																	
0	기본 접착제	100	-	-	19.7	측정 불가																																																																																																																																																																	
1	A30	70	30	0	19.9	측정 불가																																																																																																																																																																	
2	A25B5	70	25	5	23.8	측정 불가																																																																																																																																																																	
3	A20B10	70	20	10	25	V1																																																																																																																																																																	
4	A15B15	70	15	15	24.7	V0																																																																																																																																																																	
5	A10B20	70	10	20	24.2	V0																																																																																																																																																																	
6	B30	70	0	30	44.8	V0																																																																																																																																																																	
구분	마감재 종류	부착강도 (kgf/cm ²)	난연특성(표면조각의 시험)			비고																																																																																																																																																																	
			TFR (kW/m ²)	HRR (kW/m ²)	PHRR (kW/m ²)																																																																																																																																																																		
1	프라이머 유무	16.1	4.7	6.7	0	45.57	대부분 수축이 있어 시험 불가																																																																																																																																																																
2		0.45	-	-	-	-	대부분 수축이 있어 시험 불가																																																																																																																																																																
3		-	17.7	0	145	대부분 수축이 있어 시험 불가																																																																																																																																																																	
4		1	-	24.6	0	237	전소 시 시험이 불가함																																																																																																																																																																
5		5	-	16.7	0	150	시험 불가																																																																																																																																																																
6		11	-	14.9	0	120	-																																																																																																																																																																
7		12	-	10.9	0	117	-																																																																																																																																																																
8	요철 형성	8	0.4	0.2	0	40.53	전소시점까지																																																																																																																																																																
9		10	0.18	0.5	0	54.2	-																																																																																																																																																																
10		11	0.15	0.5	0	-	-																																																																																																																																																																
11		12	0.18	-	-	-	-																																																																																																																																																																
12		13	0.14	-	-	-	-																																																																																																																																																																
13		14	0.18	-	-	-	-																																																																																																																																																																
14		15	0.18	-	-	-	-																																																																																																																																																																
- 내진보강 시스템 구축	- 단계별 보강재의 시공시스템 구축 1. 콘크리트 바탕면 정리(전) 2. 콘크리트 바탕면 정리(후) 3. 바탕면 파티 4. 프라이머 도포 5. 접착제 도포 6. 아라미드 섬유시트 부착 7. 난연접착제 합침 8. 마감재 도포 및 마감	- 내진보강 시스템 구축 완료																																																																																																																																																																					

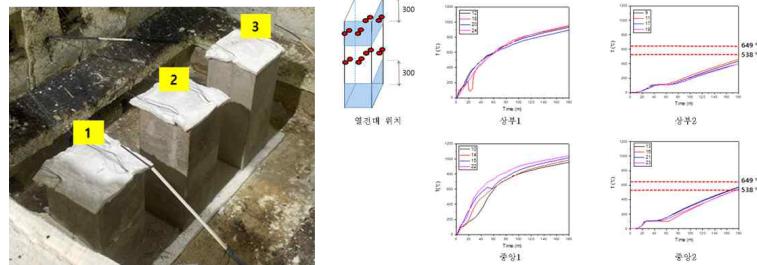
- 복합재 내진/내화 테스트 및 현장 적용

- 복합재 내진 테스트 및 내진 성능 확인

	실험 전	실험 종료 후 (전면, 후면)
무보강 기둥		
보강 기둥		

- 복합재 내진/내화 테스트 및 현장 적용 완료

- 복합재 내화 테스트 및 내화 성능 확인



- 난연/불연 내진보강 복합재 현장 적용 (지하철 2호선, 한국전력 전력연구원, 한국전력 콘크리트전주 등)



○ 본 과제 개발 공법과 타 공법 비교

구분	강판 보강	FRP 보강	체결형 복합판넬 보강	연구개발 제품 보강
시공방법	앵커를 이용하여 강판을 보강면에 부착하고, 에폭시 수지를 주입하여 구조물을 보강하는 공법	유리섬유패널을 부착하고 에폭시 접착제를 압력주입하거나 압착방식으로 일체화시키는 공법	복합판넬에 앵커를 설치하여 고정된 후 에폭시 수지를 주입하여 일체화하는 공법	아라미드섬유를 난연에폭시수지에 함침하여 콘크리트면에 부착 (난연/준불연) 후 불연 마감재를 도포(불연)하는 공법
시공성	나쁨 (곡면, 복잡형상 시공 불가)	보통 (복잡형상 시공 불가)	보통 (복잡형상 시공 불가)	우수 (형상 제약 없음)
중량	무거움	가벼움	가벼움	가벼움
공간제약	있음	있음	있음	없음
난연성능	없음	없음	없음	난연성/준불연성/불연성
기타	-강판 부식 발생 -강판길이 제한으로 이음부 용접이 필요하며, 용접시공 시 용접불량 등으로 품질확보 어려움	-주입 시 압력관리 필요 -배부름현상 발생 우려	-주입 시 압력관리 필요 -배부름현상 발생 우려 -일부 복합판넬의 경우 전도성을 가짐	-

○ 본 연구의 한계 및 추가연구 필요성

- 본 연구는 에폭시 수지를 적용하는 내진 보수보강 공법 적용 시 발생하는 화재 위험에 대비하여 안전성을 높이는 연구개발과제임. 에폭시의 친환경적인 난연화 및 표면 불연마감재 도입을 통해 화재 발생 시 착화를 늦추고 연소에 의한 발열량을 최소화하는 방식으로, **화재 발생 시 인명 구조에 필요한 시간을 확보하는 개념의 난연/준불연/불연 내진보강 시스템**임
- 에폭시 수지의 난연화에도 불구하고 가연성 소재인 에폭시 수지의 적용으로 전체 소재의 구성이 불연 특성을 보이는 것은 아니라는 것이 한계점으로 판단됨. 따라서 화재 상황에서 전혀 연소되지 않는 **불연소재**이면서, 내진 보강 성능에도 변화가 없는 **복합소재를 개발**하는 것이 앞으로 주어진 과제로 판단됨

(2) 정량적 연구개발성과

○ 정량적 연구성과 목표 및 달성도

평가 항목 (주요성능 Spec ¹⁾)			단위	전체 항목 에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치		평가 방법 ³⁾
					성능수준	성능수준	3차년도 (2021년)	달성수치	
1.섬유인장강도			MPa	10	2,100	2,000	2,100	2,723	ASTM D 3039
2.섬유인장탄성율			MPa	10	120,000	110,000	120,000	135,600	ASTM D 3039
3.난연접착제 인장강도			MPa	10	20	15	20	51	ASTM D 638
4.난연접착제 압축강도			MPa	10	70	60	70	96	ASTM D 695
5.난연접착제 전단강도			MPa	10	6	5	6	17	ASTM D 1002
6.마감재 부착강도			kg/cm ²	25	0.4	0.4	1.0	6.1	KS M 3734
7. 화재 안정성	열 방출을 시험	총방출열량	MJ/m ²	25	-	-	-	-	KS F ISO 5660
		200kW/m ² 초과시간	초				-	-	
	가스 유해성 시험	평균행동 정지시간	분				9분 이상	14.5	KS F2271
	불연성 시험	최고온도 -평형온도	K				20 이하	1.8	KS F ISO 1182
		질량감소율	%				30 이하	14.0	
8. 내진시험결과보고서			건	-	-	-	1	1	-

(단위 : 편, 건, 명, 천원)

구분		목표치	달성치
국외 논문 게재	SCI	2	4 (1투고, 3 투고예정)
	비SCI	-	-
	계	2	4 (1투고, 3 투고예정)
국내 논문 게재	SCI	-	-
	비SCI	-	1
	계	-	1
특허 출원	국내	2	3
	국외	2	2
	계	4	5
특허 등록	국내	1	1
	국외	-	-
	계	1	1
인력양성	석사	1	3 (22.02 졸업예정 1, 재학중 2)
	박사	-	-
	계	1	3
기술이전	계약건수	-	-
	계약액	-	-
	징수액	-	-
기타	시제품	-	-
	성과 홍보	2	2
	일자리 창출	4	1

(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	무기 필러가 첨가된 현무암섬유 강화 에폭시 복합체의 난연 특성	Composites Research	문소윤	32	대한민국	한국 복합재료 학회	비SCI	19.12	2288-2103	50
2	2 Fast-curing geopolymers at room temperature	Materials &Design	김경원	-	네덜란드	Elsevier	SCI	21.01.12 투고	0264-1275	100
3	A study on initial reliability of flame retardant epoxy resin containing inorganic flame retardant	Fire safety Journal	최형석	-	미국	Elsevier	SCI	21.02 투고예정	0379-7112	100
4	Flame retardant seismic reinforcement of aramid fiber-epoxy composite by incorporation of inorganic flame retardants and non-combustible materials	Journal of Building Engineering	임형미	-	네덜란드	Elsevier	SCI	21.02 투고예정	2352-7102	100
5	A study on FRP for seismic reinforcement using ceramic fiber	Composites Part A	문소윤	-	영국	Elsevier	SCI	21.03 투고예정	1359-835X	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국세라믹 학회 추계학술대회	Viscoelastic properties of flame retardant epoxy with inorganic flame retardant by curing condition	문소윤 외	2019.11	서울	대한민국
2	한국공업화학회 추계학술대회	실험계획법을 이용한 단섬유 첨가 고속경화형 지오폐리머 공정 최적화	김경원 외	2020.10	광주	대한민국
3	한국공업화학회 추계학술대회	실리카 보강된 고속경화형 지오폐리머 및 그의 제조방법	김경원 외	2020.11	광주	대한민국
4	한국재료학회 추계학술대회	고속경화형 지오폐리머 및 그의 제조방법	김경원 외	2020.11	경주	대한민국
5	한국재료학회 추계학술대회	A study on FRP for seismic reinforcement using ceramic fiber	문소윤 외	2021.11	경주	대한민국

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	콘크리트 구조물용 내진 불연 보강재 및 이를 이용한 내진 불연 복합 보강공법	대한 민국	한국세라믹기술원, 대산이앤지	19.12.26	10-2019-01 75718	한국세라 믹기술원, 대산이앤 지	20.09.07	10-21553 49	100	-
2	특허	FRP 화재보호용 불연 마감재	PCT	한국세라믹기술원, (주)나노텍세라믹스	21.12.22	PCT/KR2021 /019562	-	-	-	100	-
3	특허	상온 고속경화형 지오폐리머 및 그의 제조방법	PCT	한국세라믹기술원	21.12.22	PCT/KR2021 /019797	-	-	-	100	-
4	특허	콘크리트 구조물용 불연 내진 복합재 및 이를 이용한 콘크리트 보강공법	대한 민국	한국세라믹기술원, 대산이앤지	22.01.11	10-2022-00 03786	-	-	-	100	-
5	특허	콘크리트 구조물용 준불연 내진 복합재 및 이를 이용한 콘크리트 보강공법	대한 민국	한국세라믹기술원, 대산이앤지	22.01.11	10-2022-00 03795	-	-	-	100	-

○ 지식재산권 활용 유형

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

[경제적 성과]

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	불연 보수보강 복합소재	2019.12	메트로	(주)대산이앤지	지하철 2호선 23공구
2	불연 보수보강 복합소재	2019.12	메트로	(주)대산이앤지	지하철 2호선 17-1공구
3	난연 보수보강 복합소재	2020.08	한국전력	(주)대산이앤지	한국전력 아산지사
4	난연 보수보강 복합소재	2020.09	한국전력	(주)대산이앤지	한국전력 당진지사
5	난연 보수보강 복합소재	2020.09	한국전력	(주)대산이앤지	한국전력 대전지사
6	난연 보수보강 복합소재	2021.06.14.	한국전력	(주)대산이앤지	영월읍 팔괴리 921-3
7	난연 보수보강 복합소재	2021.06.14.	한국전력	(주)대산이앤지	영월읍 팔괴리 750-3
8	난연 보수보강 복합소재	2021.06.14.	한국전력	(주)대산이앤지	정선군 신동읍 천포리 272
9	난연 보수보강 복합소재	2021.06.15.	한국전력	(주)대산이앤지	정선군 신동읍 천포리 264
10	난연 보수보강 복합소재	2021.06.15.	한국전력	(주)대산이앤지	한반도면 쌍용리658-3
11	난연 보수보강 복합소재	2021.06.15.	한국전력	(주)대산이앤지	주천면 판운리 521-2
12	난연 보수보강 복합소재	2021.06.17.	한국전력	(주)대산이앤지	주천면 신일리 536-6
13	난연 보수보강 복합소재	2021.06.17.	한국전력	(주)대산이앤지	주천면 신일리 536-6
14	난연 보수보강 복합소재	2021.06.17.	한국전력	(주)대산이앤지	무릉도원면 무릉리 744-4
15	난연 보수보강 복합소재	2021.06.18.	한국전력	(주)대산이앤지	충동면 녹전리 791
16	난연 보수보강 복합소재	2021.06.18.	한국전력	(주)대산이앤지	잠실동202-4
17	난연 보수보강 복합소재	2021.06.18.	한국전력	(주)대산이앤지	송파동 85-18
18	난연 보수보강 복합소재	2021.06.19.	한국전력	(주)대산이앤지	송파동5-1
19	난연 보수보강 복합소재	2021.06.19.	한국전력	(주)대산이앤지	송파동20-14
20	난연 보수보강 복합소재	2021.06.19.	한국전력	(주)대산이앤지	송파동46-10
21	난연 보수보강 복합소재	2021.06.20.	한국전력	(주)대산이앤지	암사동508번지 앞
22	난연 보수보강 복합소재	2021.06.21.	한국전력	(주)대산이앤지	충주시 목행동 732-24번지
23	난연 보수보강 복합소재	2021.06.21.	한국전력	(주)대산이앤지	충주시 연수동 883번지
24	난연 보수보강 복합소재	2021.06.21.	한국전력	(주)대산이앤지	충주시 충인동 185번지
25	난연 보수보강 복합소재	2021.06.22.	한국전력	(주)대산이앤지	충주시 교현동 645-1번지
26	난연 보수보강 복합소재	2021.06.22.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 남일면 문주리 산51
27	난연 보수보강 복합소재	2021.06.22.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 낭성면 관정리 51-1
28	난연 보수보강 복합소재	2021.06.23.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 미원면 금관리 254
29	난연 보수보강 복합소재	2021.06.23.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 청원구 내덕동 650-20
30	난연 보수보강 복합소재	2021.06.23.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 남일면 효촌리 27-6
31	난연 보수보강 복합소재	2021.06.24.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 남일면 문주리 314
32	난연 보수보강 복합소재	2021.06.24.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 낭성면 추정리 산23-1
33	난연 보수보강 복합소재	2021.06.24.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 낭성면 문박리 3
34	난연 보수보강 복합소재	2021.06.25	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청주시 상당구 미원면 구방리 58-1
35	난연 보수보강 복합소재	2021.06.26.	한국전력	(주)대산이앤지	충북 청원구 내수읍 마산라 197-1A1
36	난연 보수보강 복합소재	2021.07.30	더린빌	(주)대산이앤지	다가구주택 (경기도 광주시)
37	난연 보수보강 복합소재	2021.11.01	한국전력	(주)대산이앤지	전력연구원

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)
1	2021	내부자금	-	-	22,000	22,000

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	기존 제품 개선	대전	난연내진공사 (한국전력)	난연접착제 활용	(주)대산이앤지	75,000	-	2021	5년
2	자기실시	기존 공정 개선	서울	불연성내진공사 (서울교통공사)	스프레이 도포방식 도입	(주)대산이앤지	1,200,000	-	2020	5년
3	자기실시	기존 제품 개선	서울	난연내진공사 (서울교통공사)	시트직조개선	(주)대산이앤지	7,000,000	-	2020	5년

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
1	지하철2호선 내진공사(불연구간)	2019	1,412,850.5		1,412,850.5	지하철내진공사
2	지하철 2호선 내진공사(난연구간)	2020	603,788.05		603,788.05	지하철 내진공사
3	한전 전력연구원 내진공사	2021	107,910		107,910	한전전봇대내진공사
합계			2,124,548.55		2,124,548.55	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			다주택 필로티 난연성 내진공사		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		10년 (2022~2032)		
	소요예산(천원)		360,000,000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			-	20,000,000	60,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	-	10%	20%
		국외	-	-	-
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		-난연성 접착제 개발로 SH공사와 LH공사가 소유하고 있는 다주택건물의 필로티 기동에 적용 예정 (2022년 하반기) (SH 공사 소유 다주택건물 1,700채, LH 공사 보유 다주택건물 10,000채 기동 적용 예정)			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			-	1,000,000	2,000,000
	수 출		-	1,000,000	2,000,000

□ 고용 창출 (1차년도 고용창출 1명 기록 있으며, 증빙은 없음. 확인 필요)

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)			합계(명)
			2019년	2020년	2021년	
1	난연/불연 보강복합소재 개발	한국세라믹기술원	1	-	-	1
합계			1	-	-	1

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
1	난연 내진보강	2021	수입난연접착제 대체	200,000
합계				

[사회적 성과]

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용
1	설명서(시방서)	신규	지하철 2호선 불연내진공사	2019	지하철2호선 연성기동공사에 적용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	한국세라믹기술원	2020.01	2019-현재	1	1

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
1		2022.06 예정	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
				3			3		1		2		

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	브로셔 제작	-	아라미드섬유/난연복합섬유 보강재	2020.06. ~
2	사업설명회	-	건축물 내진보강용 불연구조 섬유복합보강재 개발	2020.11.24
3	SNS 홍보	KICET sns	건축 안전에 필수적인 세라믹 이야기	2022.01.05
4	전시 참가	LH	건축 내진보강용 불연 섬유복합보강재 개발	2020.12.01. 예정이었으나 코로나19 확산에 따른 행사 취소

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

번호	구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
1	대산 이앤지	인장강도측정기	스탠드	x	-	-	21.12.31	16,500,000	대산이앤지 공장

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당없음)

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 화재 확산과 유해가스 발생 방지를 위한 건축물 내진보강용 불연 구조 섬유복합소재 개발	○ 가스유해성 시험, 불연성 시험 등을 통한 불연 구조 섬유복합소재 개발 완료	○ 100%
○ 불연구조 섬유복합재 시험시공과 내화 및 내진시험	○ 불연구조 섬유복합재 시험시공 (30회 이상) 및 내화 시험 (3회), 내진시험 (1회) 수행을 통한 복합재 안정성 확인 완료	○ 100%

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 연구 논문 SCI 2편 게재 목표
 - 연구 논문 게재까지 단계별 시간이 소요되어 일정이 지연되었음. 2022년 SCI 4건 게재 예정
- 고용창출 4명 목표
 - 코로나19 확산에 따른 기업 경제 상황 악화 (인력 감축)로 인한 고용창출 목표 미달성

2) 자체 보완활동

- 연구 논문 SCI 2편 게재 목표
 - 연구 논문 게재까지 단계별 시간이 소요되어 일정이 지연되었음. 2022년 SCI 4건 게재 예정
- 고용 창출
 - 추후 경제 상황 완화 시 단계적 고용 창출 예정

3) 연구개발 과정의 성실성

- 국내 비SCI 논문 1건 게재 완료
- 학술대회 발표 5회 수행
- 국외 SCI 논문 1건 투고 완료 및 3건 상반기 투고 완료 예정

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 불연 내진보수보강 소재 개발에 있어 기반 소재에 대한 연구를 통해 선진 소재 기술 확보 가능
- 불연 내진보수보강 신기술 인증 획득을 위한 기틀 마련
- 불연 내진보수보강 기술을 바탕으로 세계시장 진출을 위한 발판 마련
- 유관 기업 협력을 통한 중소기업 활성화

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

- 연구개발 주요 핵심기술 성과
 - 내진 보수보강용 불연구조 섬유복합재 개발
- 핵심기술 성과의 활용분야 및 활용방안
 - 건축물, 교량, 지하철 터널 등의 구조물 내진 보수보강

구분	구체적인 내용
형태/규모	○ 상용화 형태 : 내진 보수보강용 섬유복합재 및 시공 ○ 수요처 : 한국전력, SH공사, LH공사 등 ○ 개발 투입인력 및 기간 : 5명, 5년
상용화 능력 및 자원보유	○ 기존 서울지하철 공사, 한국전력 전주, 전력연구원 등 시공을 진행하고 있음 ○ 내진 보수보강용 복합재 개발을 위하여 한국세라믹기술원과 대산이앤지가 긴밀히 협업하고 있음 ○ 보수보강이 필요한 업체와 시공의 필요성 및 기술정보에 대한 상호 공유채널을 확보하고 있으며, 이에 따라 유통 및 판매 확보가 가능할것으로 예상됨
상용화 계획 및 일정	○ 화재 확산에 안전한 내진 보강 복합소재 스펙 향상을 위해 지속적인 개발 중이며, 개발완료 후 시장 선점 가능할 것으로 예상됨
기대효과	○ 내진보수보강 불연복합소재 적용을 통한 국내 및 해외 진출 가능

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘건축물 내진보강용 불연구조 섬유복합보강재 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.