

최종보고서(일반과제용)				보안등급		
				일반[✓], 보안[]		
중정기관양행명	국토교통부		사업명	사업명		
전문기관명	국토교통과학기술진흥원			내역사업명		
공고번호	공고-제00호		연구개발과제번호		21CTAP-C157156-02	
국가과학기술 표준분류	EI1102		100%			
연구주제	(대분류) 재난·재해예방 등 안전기술 개발		(중분류) 예방형 재난대응 시스템		(소분류) 저비용 내진보강공법	
연구개발과제명	국문	긴급시공이 가능한 보급형 고성능 벨크로 내진보강시스템 개발				
	영문	Development of High performance Entry-Level Velcro Seismic Reinforcement System for Rapid Construction				
주관연구기관	기관명	경상국립대학교 산학협력단		사업자등록번호	613-82-11653	
	주소	(우52828) 경남 진주시 진주대로 501		법인등록번호		
주관연구책임자	성명	김진섭		직위	부교수	
	연락처	직장전화	055.772.1791		휴대전화	010.4595.7054
		전자우편	jinsup.kim@gnu.ac.kr		국가연구자번호	11013170
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		
	현금	현금	현물	현금	현물	
총계	370,000			-	-	
1년차	160,000			-	-	
2년차	210,000			-	-	
연구개발담당자 실무담당자	성명	김상우		직위	박사과정	
	연락처	직장전화	055.759.0538		휴대전화	010.9274.0864
		전자우편	kimsangwoo@gnu.ac.kr		국가연구자번호	12400470

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

2022 년 03 월 18 일

주관연구책임자 :

김진섭

주관연구기관의 장 :

경상국립대학교 산학협력단 정재우 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호	21CTAP-C157156-02
내역사업명		국토교통기술혁신연구			
국가과학기술표준분류		EI1102			100%
연구주제		(대분류) 재난·재해예방 등 안전기술 개발		(중분류) 예방형 재난대응 시스템	(소분류) 저비용 내진보강공법
연구개발과제명		긴급시공이 가능한 보급형 고성능 벨크로 내진보강시스템 개발			
전체 연구개발기간		2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)			
총 연구개발비		총 370,000천원 (정부지원연구개발비 : 370,000천원)			
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도	착수시점 기준(TRL 2) 종료시점 목표(TRL 7)
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [☒]			
연구개발과제 특성		기반연구			
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		기존의 벨크로를 이용한 내진성능보강 기술과 관련된 연구결과를 토대로 우수한 내화 성능과 향상된 구속성능의 고성능 벨크로를 개발하여 긴급시공이 가능한 보급형 내진 보강시스템을 개발하고자 하며, 이를 테스트베드 지역에 성공적으로 적용 및 검증하여 최종적으로 시공가이드라인까지 제안하는 것을 목표로 함.		
	전체 내용		○ 성능 보강용 섬유 소재 조사 분석 - 합성가능한 특수섬유 소재 발굴 - 내화성을 고려한 섬유 분석 ○ 고성능 벨크로 시제품 제작 - 고성능 벨크로 제작 기술 개발 - 고성능 벨크로 시제품 제작 및 성능평가 - 고성능 벨크로 제작 가이드라인 제안 ○ 고성능 벨크로 성능시험 - 고성능 벨크로 내진보강재의 성능평가 - 고성능 벨크로 내진보강재의 내화성능평가 ○ 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가 - 콘크리트 기둥 시험체 제작 - 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가 ○ 고성능 벨크로 내진보강 시스템의 현장적용을 위한 Test Bed 시험 시공 - 적용대상 대표구조물에 대한 현장적용성 평가 ○ 고성능 벨크로 내진보강 시스템의 시공가이드라인 제안		
	1년차	목표	고성능 벨크로 내진보강재 개발		
		내용	○ 성능 보강용 섬유 소재 조사 분석 - 합성가능한 특수섬유 소재 발굴 - 내화성을 고려한 섬유 분석 ○ 고성능 벨크로 시제품 제작 - 고성능 벨크로 제작 기술 개발 - 고성능 벨크로 시제품 제작 및 성능평가 - 고성능 벨크로 제작 가이드라인 제안 ○ 고성능 벨크로 성능시험 - 고성능 벨크로 내진보강재의 성능평가 - 고성능 벨크로 내진보강재의 내화성능평가		

	2년차	목표	고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가											
		내용	○ 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가 - 콘크리트 기둥 시험체 제작 - 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가 ○ 고성능 벨크로 내진보강 시스템의 현장적용을 위한 Test Bed 시험 시공 - 적용대상 대표구조물에 대한 현장적용성 평가 ○ 고성능 벨크로 내진보강 시스템의 시공가이드라인 제안											
연구개발성과			○ 구속성능이 향상된 벨크로 내진보강재 개발 ○ 내화성능이 향상된 벨크로 내진보강재 개발 ○ 벨크로와 발포성 재료를 활용한 벨크로 내진보강시스템 개발 ○ 벨크로 내진보강시스템의 내진보강 설계기술 개발											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과			내화성능이 우수한 고성능 벨크로를 활용하여 지진 및 화재로부터 철근콘크리트 기둥의 연성도를 높여 지진 및 화재 발생 시 기둥의 급격한 변형 및 건물붕괴를 억제함으로써 인명이 지진으로부터 피할 수 있는 골든타임을 확보하고자 한다.											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유			해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수			논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
										생명 정보	생물 자원		정보	실물
			11	8										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황			구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
국문핵심어 (5개 이내)			고성능 벨크로			연성보강		내진보강 시스템		연성도		내화성		
영문핵심어 (5개 이내)			High performance velcro			Flexible Reinforcement		Earthquake Reinforcement System		Ductility		Fireproof		

< 목 차 >

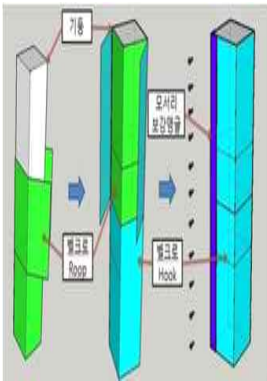
1. 연구개발과제의 개요	01
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	22
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	61
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	67
5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	67
6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획	68

별첨자료

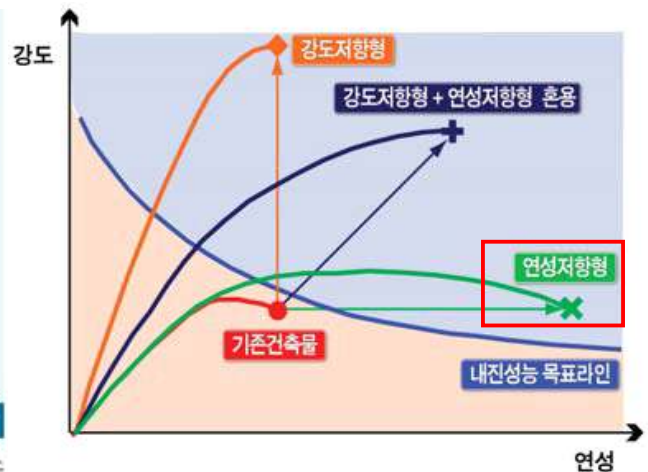
1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 긴급시공이 가능한 보급형 고성능 벨크로 내진보강시스템 개발
 - 내진성능이 부족한 철근콘크리트 기둥(RC-column)의 연성도를 높여 지진으로 인한 급격한 건물 붕괴(취성파괴)를 막고 인명이 대피 가능한 골든 타임을 확보하는 내진 보강 기술을 개발하고자 함
 - 기존 산업용 벨크로의 약점으로 지적된 인장 강도와 내화성을 개선하여 연성증가용 내진보강공사에 사용 할 수 있는 섬유보강재를 개발하고자 함
 - 기둥에 대한 보강을 통하여 연성거동을 유도하여 기둥의 순간적인 파괴를 방지시키고자 함.
 - 기존의 연성보강 공법은 접착제를 사용하기 때문에 기계화(자동화)시공이 어려워 설치 공정이 복잡하고 작업속도가 늦은 단점이 있어 지하철, 지하차도 등 작업 시간이 짧은 구간에 적용이 어려움, 본 기술은 설치가 간편신속하고, 유지관리비용이 적은 내진보강법임
 - 본 내진보강시스템은 유사시에 긴급 시공하여 영구적으로 사용이 가능함.

제품 성능		제품 구성	
연성보강 전	연성보강 후	산업용 벨크로	개념도
			

- 기둥 연성보강이란? 기둥의 연성도(延性度, ductility)를 증가시켜 기둥의 급작스러운 붕괴(취성파괴)를 막는 지진 보강 방법으로 강도를 키우는 강성보강에 비해 저렴한 내진보강 공법



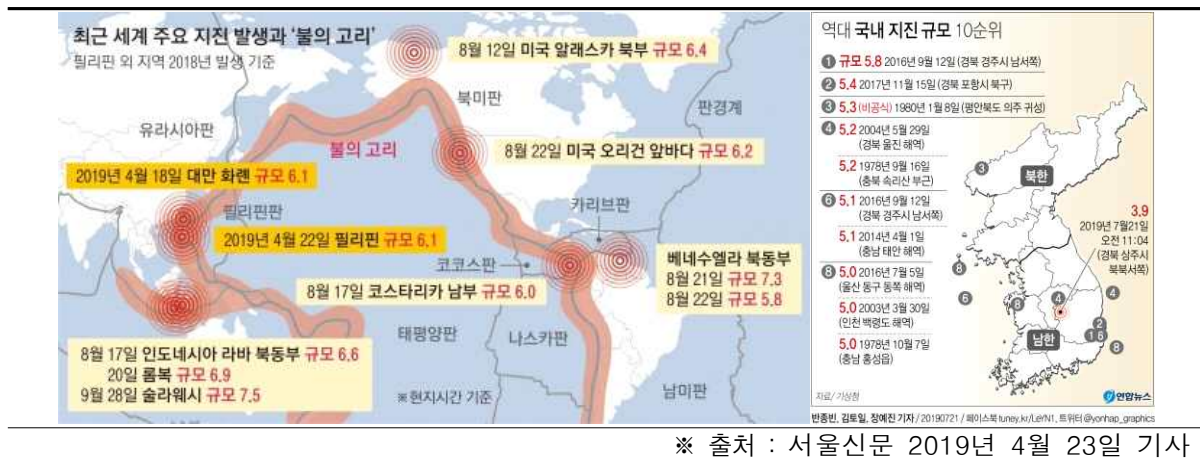
2) 연구개발과제 관련 시장의 국내외 현황

○ 정책·사회적 환경

1. 국내외 지진재해 증가

- ▶ 20세기 이후 전 세계적으로 다양한 자연재해로 인한 재산피해 및 인명피해가 발생되고 있으며, 그중에서 지진으로 인한 피해가 가장 높게 나타나고 있음

[그림] 국내외 지진 발생 현황

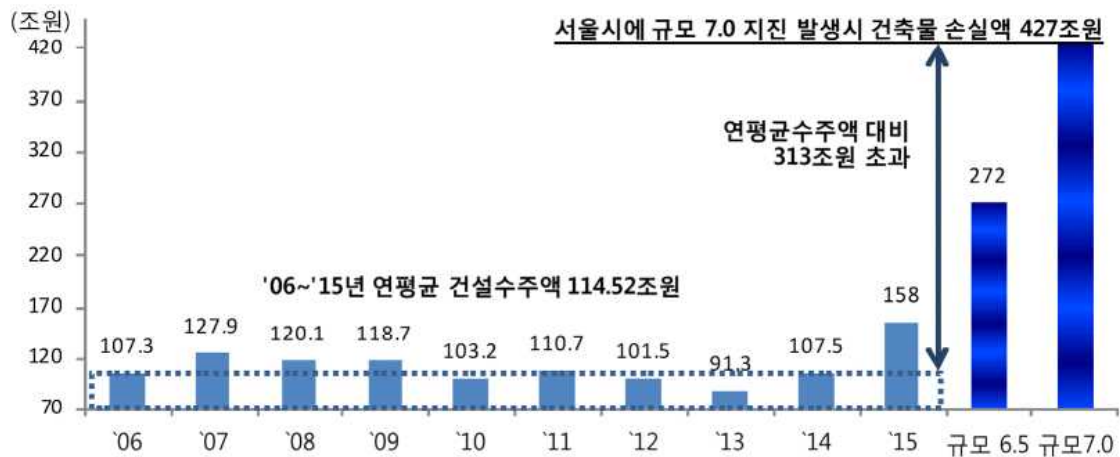


- ▶ 20세기 이후 자연 재해로 약 3만 5천 건 이상의 피해가 발생하였고, 88만여 명의 사망자와 약 8,000조 원의 재산피해가 발생했으며, 이 중 지진으로 인한 피해가 가장 큰 사망 232만여 명, 재산피해 약 2080조 원을 차지함
- ▶ 세계적으로 2008년 중국의 쓰촨성 대지진으로 사망 7만 여명, 재산피해 약 160조 원이 발생하였으며, 2010년 아이티 대지진으로 사망 31만여 명, 재산피해 약 15조 원, 2011년 동일본 대지진으로 사망 2만여 명, 재산피해 382조원, 2015년 네팔 대지진으로 사망 9천여 명, 재산피해 약 4조원 등 대지진으로 인해 막대한 피해가 발생함
- ▶ 대부분의 강진은 태평양을 둘러싸고 있는 불의 고리인 환태평양 조산대에서 90% 이상이 발생하고 있으며, 이는 세계적인 지진 전조현상으로 국내에도 영향이 있을 것이라는 분석이 지배적임
- ▶ 해외의 경우 지진발생으로 인한 피해를 교훈삼아 내진 성능 확보를 위한 국가적 차원의 지원을 통해 지진 피해방지 및 예방에 노력을 기울이고 있음
- ▶ 국내의 경우 최근 지진 발생 빈도와 규모의 증가에 따라 내진현황의 문제점 해결과 국민의 안전에 대한 불감증 해소를 위한 내진 안전성 확보 대책의 필요성이 대두되고 있음
- ▶ 국내의 경우 과거에는 인명피해 및 재산 피해가 크게 발생되지 않았지만 최근에는 규모 5.8의 경주지진을 포함하여 크고 작은 규모의 지진이 발생하였고, 앞으로도 진도 6.0 이상 규모의 지진이 추가적으로 발생할 것으로 예상되고 있음
- ▶ 기상청 자료에 의하면 1978년부터 2019년 까지 규모 2.0 이상의 지진은 총 1,877회로 연평균 45회 발생하였으며, 이중 리히터규모 5.0이상의 지진은 10회로 우리나라도 더 이상 지진으로부터 안전하지 못한 현실임
- ▶ 우리나라는 90년대부터 내진설계가 적용되어 이전의 지진에 무방비 상태인 노후화된 구조물들은 진도 5.5 규모의 지진이 발생하면 막대한 재산피해와 사상자가 발생할 것으로 예상됨

2. 내진보강 대책 부실

- ▶ 국내 건축물의 내진설계는 1988년 건축법 재정이후 처음 도입되었으며, 이후 지속적으로 확대되어 2017년 1월에는 2층 이상 500m²이상(건축법 시행령 제32조) 건축물에 대해 의무적으로 내진설계를 적용하도록 강화되고 있는 추세이긴 하나, 내진설계가 3층 이상 건물(2005년 7월 18일)로 확대되기 전 지어진 건물이 약 634만동으로 현재 건물의 약 91%로 대다수이며, 2015년 12월을 기준으로 국민안전처에 따르면 전체 건물 6,966,913동 중 내진 설계된 건물은 475,336동으로 약 6.8%에 그치는 것으로 보고되고 있음

국내 건설공사 수주액과 지진피해 예상액 규모 비교

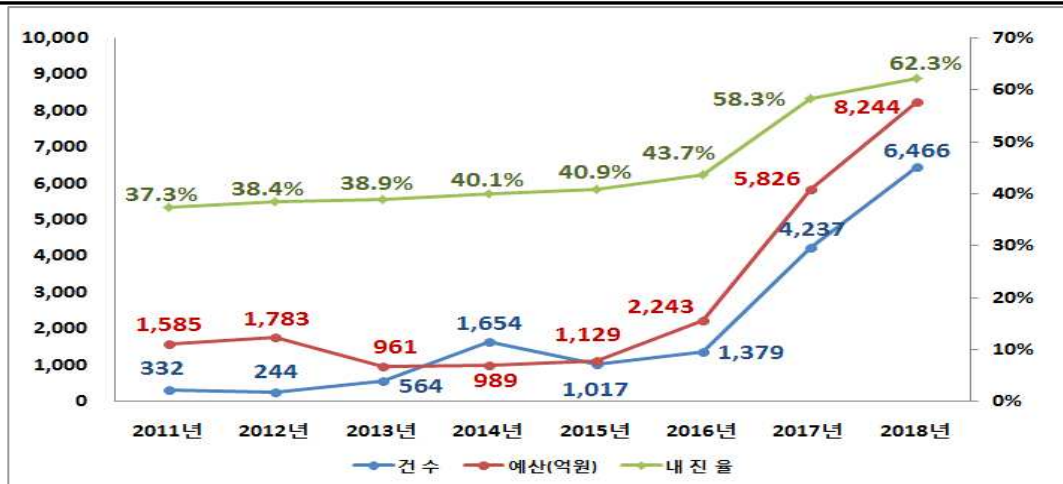


※ 출처 : 산업은행 조사월보(2017)

- ▶ 정부는 기존 '지진방재 종합계획'과 더불어 '지진안전 종합대책'을 내놓았으나, 공공건물에 초점을 맞춘 탓에 민간건축물 내진율은 답보상태임
- ▶ 서울에만 약 62만 동의 건축물이 있으며, 그 중 내진성능이 확보되지 않은 민간 건축물은 52만 동으로 전체 건축물의 85%에 해당하며, 가장 문제가 되는 필로티 구조의 건축물만 약 5만동임
- ▶ 서울에 규모 7.0의 대형지진 발생 시 건축물 피해 추정액은 427조로 국내 건설업계의 4년간 수주액에 육박하고 있으며 규모 6.5의 지진 발생 시에도 272조원의 피해발생이 예측되고 있음
- ▶ 우리나라는 중·약진지역으로 인식되어 내진율이 낮고 대부분의 인구가 도시지역에 집중되어 대도시에서 대형지진이 발생할 경우 막대한 피해가 예상되며 국내 건설업계 미치는 파급효과는 연평균 국내건설업 수주액을 초과하는 수준으로 분석됨
- ▶ 대형지진 발생 시 국가재건사업에 건설업체의 모든 역량이 집중될 것으로 예상되나 피해규모가 막대해 재난복구까지는 수년에서 수십년이 소요될 것으로 전망됨
- ▶ 행안부의 내진보강 대책은 관계기관별로 내진보강 기본계획에 따라 소관 시설물에 대한 내진성능 향상을 위해 매년 수립하고 추진 중
- ▶ 기존 공공시설물 내진율은 1단계 내진보강 기본계획이 수립된 2011년 이후 지속적으로 증가하는 추세

3. 내진보강 대책

연도별 내진율 및 내진보강대책 추진 현황



※ 출처 : 행정안전부 2019년 5월1일 보도자료

- ▶ 포항 지진 이후 2011년부터 2016년 평균과 비교하여 2017년 4.02배, 2018년 5.69배로 예산 투자가 크게 늘어났으며, 이를 통해 내진 성능 확보 건수가 늘어나며 내진율이 급격히 상승함

< 2017년 시설물별 내진보강 세부 현황 >

시설물 구분	단위	대상	내진보강 현황		내진율(%)
			'17년 실적	누계	누계
총 계		184,560	4,237	107,563	58.30%
1. 공공건축물	동	53,275	1,236	16,360	30.70%
2. 배수갑문	개소	177	-	115	65.00%
3. 공항시설	"	546	52	351	64.30%
4. 수문	"	137	-	82	59.90%
5. 농업생산기반시설(저수지)	"	648	9	568	87.70%
6. 다목적댐	"	20	-	20	100.00%
7. 일반댐	"	49	1	39	79.60%
8. 도로시설물	"	34,954	1,279	25,512	73.00%
9. 가스공급, 액화천연가스저장시설	"	801	-	411	51.30%
10. 도시철도	"	1,427	34	1,217	85.30%
11. 압력용기	"	61	1	61	100.00%
12. 크레인	"	236	1	232	98.30%
13. 리프트	"	2	-	2	100.00%
14. 석유 정제·비축 및 저장시설	"	92	-	76	82.60%
15. 송유관	"	7	-	7	100.00%
16. 산업단지폐수종말처리시설	"	117	3	69	59.00%
17. 수도시설	"	2,553	146	1,490	58.40%
18. 여항시설	"	1,371	165	551	40.20%
19. 원자로 및 관계시설	"	298	1	293	98.30%
20. 전력시설	"	44,877	243	44,386	98.90%
21. 철도시설	"	3,978	133	3,594	90.30%
22. 폐기물 매립시설	"	376	15	181	48.10%

시설물 구분	단위	대상	내진보강 현황		내진율(%)
23. 공공하수처리시설	"	1,833	45	1,174	64.00%
24. 고속철도	"	379	14	378	99.70%
25. 항만시설	"	787	35	633	80.40%
26. 공동구	"	34	2	27	79.40%
27. 학교시설	동	32,846	797	8,163	24.90%
28. 석도 및 궤도	개소	14	1	8	57.10%
29. 유기시설	"	74	-	6	8.10%
30. 병원시설	동	2,507	13	1,522	60.70%
31. 전기통신설비	개소	84	11	35	41.70%

*행정안전부 내진보강대책 추진결과2017

< 2018년 시설물별 내진보강 세부 현황 >

시설물 구분	단위	대상	내진보강 현황		내진율(%)
			'18년 실적	누계	누계
총 계		187,950	6,466	117,165	62.3%
1. 공공건축물	개소	56,023	1,989	19,675	35.1%
2. 배수갑문	"	117	1	83	70.9%
3. 공항시설	"	516	91	417	80.8%
4. 수문	"	143	10	92	64.3%
5. 농업생산기반시설(저수지)	"	1,214	79	903	74.4%
6. 다목적댐	"	20		20	100%
7. 일반댐	"	52		41	78.8%
8. 도로시설물	"	35,121	1,012	26,648	75.9%
9. 가스공급, 액화천연가스저장시설	"	837	441	778	93%
10. 도시철도	"	1,478	47	1,270	85.9%
11. 압력용기	"	54		53	98.1%
12. 크레인	"	234		230	98.3%
13. 리프트	"	2		2	100%
14. 석유 정제·비축 및 저장시설	"	94	14	90	95.7%
15. 송유관	"	7		7	100%
16. 산업단지폐수종말처리시설	"	114	4	77	67.5%
17. 수도시설	"	2,873	280	1,726	60.1%
18. 어항시설	"	1,378	193	744	54%
19. 원자로 및 관계시설	"	298		293	98.3%
20. 전력시설	"	44,932	149	44,504	99%
21. 철도시설	"	4,061	50	3,681	90.6%
22. 폐기물 매립시설	"	387	12	188	48.6%
23. 공공하수처리시설	"	1,977	36	1,333	67.4%
24. 고속철도	"	380	46	379	99.7%
25. 항만시설	"	792	30	675	85.2%
26. 공동구	"	35	2	29	82.9%
27. 학교시설	"	32,896	2,152	12,070	36.7%
28. 석도 및 궤도	"	14		8	57.1%
29. 유기시설	"	62		2	3.2%
30. 병원시설	"	1,755	16	1,107	63.1%
31. 전기통신설비	"	84	5	40	47.6%

*행정안전부 내진보강대책 추진결과2018

- ▶ 2017년 내진보강 현황에서 내진 보강률이 50% 미만인 시설은 공공건축물과 어항시설, 폐기물 매립시설, 학교시설, 유기시설, 전기통신 설비 6개의 항목이 있었음. 2018년에는 어항시설 1개의 항목이 줄어든 5개의 항목에서 50%미만의 내진보강률을 보임
- ▶ 공공건축물은 정부나 지방자치단체, 지방공기업법상의 공사나 공단 등이 관리하는 건물로 2017년과

2018년 각각 1,236건, 1,989건의 내진 보강 실적이 있었음에도 35.1%의 내진보강률을 나타내고 있음

- ▶ 학교시설의 내진보강률은 2017년과 2018년 각각 797건, 2,152건으로 3배 가까이 상승하였음. 이는 서울시교육청에서 매년 561억 원에 달하는 예산을 투입하고 있기 때문이며, 이러한 내진 보강 실적이 있었음에도 아직까지 36.7%의 내진보강률을 나타내고 있음
- ▶ 행정안전부는 “제2차 지진방재종합계획(2018.11.)”을 통해 공공시설물 내진보강 완료 목표가 45년에서 35년으로 단축됨에 따라 향후 내진보강 기본계획 및 보강대책 수립 시 이를 반영토록 할 계획
- ▶ 공공시설물 중에서도 도로, 철도 등 주요 사회기반시설과 학교시설 등에 대해서는 우선 내진보강을 추진할 예정

4. 내진 정책 정부지원 제도 및 예산

1) 정부 지원 정책

- ▶ 정부는 5년간(2018~2022) 범부처 [제3차 재난 및 안전관리기술개발 종합계획]을 수립하였음. 3대 추진 전략 1.국민 안전 확보를 위한 맞춤형 서비스 개발, 2.미래·신종재난 대비 재난안전기술 선진화, 3. 현장 실용화 중심의 안전생태계 구축을 수립함

[표] 종합계획 수립 패러다임의 변화

제1~2차 종합계획 (As-Is)		제3차 종합계획 (To-be)
단순 재난관리 단계별 기술개발위주		국정과제를 반영한 국민생활 중심
선진국 추격형 R&D	⇒	4차 산업혁명 연계 선도형 R&D
컨트럴 타워가 없는 취합식 종합계획		부처의견 반영한 협업형 R&D 추진체계

※ 출처 : 2019년도 재난안전 연구개발사업 시행계획 공고

- ▶ 종합계획의 실효성 확보를 위해 행정안전부, 과학기술정보통신부 등 17개의 부처가 참여하는 전체위원회, 분과위원회 및 기술자문위원회 등을 구성하여 운영 중이며, 4차 산업기술 등 혁신성장동력 분야에 재난안전 활용 영역을 확대함

혁신성장동력 기술분야별 재난관리 활용



※ 출처 : 2019년도 재난안전 연구개발사업 시행계획 공고

- ▶ 2019년 재난·안전 관련 R&D예산이 1조 527억 원 이상 투자 되었고, 최근 3년 동안 약 13.7%가량 증가하고 있으며, 최근에는 필로티구조 내진이나 구조 강화연구를 중심으로 연구가 활발히 이루어지고 있음

내진관련 주요 연구과제

주관기관	과 제 명	연구기간
경북대학교	필로티 구조 내진 성능평가 및 보강 연구	2019.03~2020.02
경상대학교	내진성능 평가를 위한 보-기둥 접합부 실험 및 해석 모델 개발	2019.03~2020.02
삼육대학교	파괴거동을 반영한 중공슬래브-기둥 접합부의 변형률기반 설계기술 개발	2019.06~2020.02
단국대학교	기둥의 내진성능 개선을 위한 폐쇄형 띠철근 개발	2019.06~2020.02
(주)에센엔지니어링	중저층 건물에 적용 가능한 에너지 소산 철골 기둥의 개발	2018.05~2020.04
부성텍스텍	건축 구조물 연쇄 붕괴 제어를 위한 탄소섬유 하이브리드 내진 보강 콘크리트 패널 제품 개발	2017.10~2021.12
서울과학기술대학교	외다이아프램의 강관 기둥-보 모멘트접합부 내진성능 확보를 위한 비선형 해석연구	2018.06~2021.05
서울대학교 산학협력단	건축물과 인프라 시설을 위한 내진 내풍 통합 성능기반 설계법 및 UHPC복합구조 시스템 개발	2019.04~2021.12
단국대학교	중·저층 필로티 건축물의 내진성능 향상을 위한 기둥부 보강 시스템 개발	2018.06~2021.05
한밭대학교	배관용 및 기계구조용 스테인리스 강관의 건축 내진구조용 강재로의 적용성에 관한 연구	2018.06~2023.05
계명대학교	변동축력을 받는 철근 콘크리트 기둥의 내진 성능평가	2016.11~2019.10
계명대학교 산학협력단	내진성능 향상을 위한 철근콘크리트 기둥의 직물섬유 보강 콘크리트 영구거푸집 개발	2018.07~2020.02
서울시립대 산학협력단	취성파괴 특성이 개선된 FRP를 활용한 합성/RC 기둥의 내진/내화성능 확보 기술 개발 및 성능검증을 위한 실험적 연구	2018.04~2019.12
(주)윙경시스템	지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법 개발	2019.04~2021.12
경기대학교	변위연성비 기반 경량골재 콘크리트 기둥의 내진설계 모델 개발	2018.06~2023.05
부산대학교	내진성능 개선을 위한 기둥 근접 개구부를 가진 강재 보-기둥 접합부의 성능평가	2018.06~2021.05
신성종합건축사무소(주)	필로티 구조 및 RC기둥의 내진보강기술에 관한 연구 개발	2018.12~2019.11
※ 출처 : NTIS과제 정보, 리온아이피엘 재가공		

2) 정부예산

- ▶ 2018년도 내진보강 세부 추진현황을 살펴보면 22종 6,466개소 시설물에 대해 총 8,244억 원이 투입되어 학교시설, 공공건축물, 도로시설 순으로 내진성능 확보가 이루어짐
- ▶ 국회 예산정책처에 따르면 2022년까지 내진 보강률을 40.1%로 높이기 위해 정부가 공사비의 50%를 보조할 경우 2018년부터 2022년까지 9조1,526억 원(9만6,140개동 공사)이 소요 되는 것으로 집계 됨
- ▶ 2019년에는 재해예방사업과 생활안전예방 사업 투자가 확대되어 2018년 대비 965억 원이 늘어난 9,474억 원이 책정되었으며, 지진관련 교육 및 홍보 등의 지진 인프라 구축 지원, 민간건축물 지진 안전 시설물 인증제 도입을 위한 예산 23억 원도 편성되었음
- ▶ 교육부 역시 학교 내진사업의 조기 완료를 목표로 관련예산을 대폭 늘려 집행할 예정이며, 특히 지진이

발생한영남권은 올해부터 당초 계획보다 1,000억 원이 추가된 1,700억 원을 해마다 투입해 2024년까지 내진보강 사업을 완료한다는 계획을 발표함

3) 해외 내진보강 정책

- ▶ 국가에 따라 차이는 존재하지만, 지진이 빈번히 발생하는 미국, 일본, 호주, 뉴질랜드 등 주요국들은 지진재난에 대한 건축물의 내진성능을 확보하기 위한 다양한 노력을 하고 있음

[표] 해외 내진성능 확보를 위한 정책

정책	내용	주요 특징
연방재난관리청 HAZUS시스템 (미국)	- 국가 지진재해 경감 프로그램 (NEHRP) 수립 - USGS에서 확률론적 방법에 의한 국가 광역지진 위험도 지도 발표 및 5년마다 갱신 - 지진 발생 초기에 주요 시설들의 피해예측 및 경제적 손실예측 등을 통해 신속한 대응 조치를 기동할 수 있는 기반 구축 - 1977년 지진재해 경감법 이후 지속적으로 확대 강화	- 미국은 지진재해경감법(1977)을 제정하여 재정지원, 프로그램 운영 등 지진피해 감소를 위해 정책 제시와 추진방안을 구체적으로 제시함 - 지진 발생시 피해감소 방안 개발 및 복구능력 향상을 목적으로 실시되고 있음 - HAZUS는 지진과 같은 자연재해에 의한 피해규모를 평가하기 위하여 개발된 것으로 경제적 및 사회적인 손실도 추정을 하며, 경제적 손실은 구조체 및 비구조체의 피해, 재이주 비용, 상업 자산의 손실, 자본관련 손실 등을 포함
재해정보시스템 (일본)	- 2004년 말부터 국가지진위험도에 대한 정보제공 서비스 시작 - 내진개수축진법을 통해 기존 건축물의 내진보강사업을 지속적으로 추진 - 지진 발생으로 큰 피해가 발생했을 때 지진피해예측 및 대응방안에 대한 정보를 제공하는 시스템 구축	- 코드 제정 이전에 지어진 건축물에 대해 내진보강을 추진하였으며, 공공시설로 사용되는 건축물의 내진화를 의무화하는 법이 제정 - 2013년 개정을 통해 주택 및 다수가 이용하는 건축물의 내진성능확보율을 2020년까지 95%로 상향하도록 추진함 - 내진기준 제정 이전 건축물을 대상으로 건물 유형, 지역, 내진성능 보유정도에 따라차등하게 보조 - DIS는 지진피해조기평가 시스템(EES)와 응급대책지원시스템(EMS)로 구성
지진위험도 AEMI (호주)	- 국가 내진기준 수립 및 건축물의 내진성능평가와 내진보강 설계 및 상세에 대한 최소요건 제시 - 지진위험지도를 통한 현재 지진 관련 건축기준들의 개정에 대한 정보 제공	- 지진에 의한 건축물의 붕괴 가능성과 인명피해를 최소화하기 위해 구조재뿐만 아니라 간단한 표를 이용해 비구조체의 지진취약도 평가를 실시하도록 함
지진위원회 법 (뉴질랜드)	- 재난시 지진위원회의 역할, 기능, 피해대상 건물주의 감세, 자연재해기금 규정	- 지진대책위원회(EQC)에서는 지진발생에 대비할 수 있는 매뉴얼 등을 제공

1. 국내 내진보강 산업 현황

1) 내진 산업 정의 및 특징

- ▶ 내진 산업은 구조물이 지진에 견딜 수 있도록 설계상에서부터 지진을 고려하여 안전성을 유지하고, 그 기능을 발휘할 수 있도록 하는 내진설계 분야와 이미 건축된 건물의 내진성능 향상을 위해 건축물의 강성과 구조를 보강하는 내진보강 분야, 건물 건축 시 내진 설계에 의하여 미리 지진에 대비하는 기구와 장치를 건축물 내에 설치하는 내진설비 분야로 분류할 수 있음
- ▶ 국내 내진설계 적용은 1988년 이후 단계적으로 기준이 강화되고 있으나, 기준이 적용되기 전에 건축된 건물에 대해서는 무방비 상태이며, 설계가 적용된 건물 또한 구조상 지진에 취약한 건물이 많아 내진성능이 기준에 미치지 못하는 건물이 많고, 이를 보강하기 위한 목적으로 사용하는 것으로 정의함
- ▶ 또한, 학교나 공공시설물의 경우 자연재해 시 지역 주민들의 대피소로 활용이 되어 가장 안전한 곳으로 인식이 되어있으며, 지진 발생 시 대피소로서 학생들과 지역 주민들의 안전을 위해 내진성능을 확보하는 수단으로 그 기능을 도울 수 있는 것으로 정의함

2) 국내 내진 산업 시장 및 성장성

- ▶ 국민안전처는 기존 공공시설물 내진보강 기본계획안을 작성하였으며, 2018년 12월 기준으로 내진보강 설계 대상 시설물은 18만 7,950개이며 이중 내진이 적용된 시설물은 11만 7,165개임 (공공시설물 내진 보강률 62.3%)
- ▶ 정부는 기본계획안을 통해 2030년까지 공공시설물 내진설계 및 내진보강 비율을 80% 수준으로 끌어올릴 계획임 (민간건축물 제외)
- ▶ 내진설계 의무대상이 아닌 민간소유 건축물에 대해서도 내진보강 또는 내진 설계 적용 시 지방세를 감면하는 인센티브제도가 시행되고 있어 국내 내진보강시장의 지속적인 확대가 전망됨
- ▶ 나라장터의 자료 분석 결과 내진보강공사 규모는 2017년 6,003억 원 규모, 2018년에는 6,800억 원 규모로 13.27%성장했으며, 2016년 2,082억 원에 비하면 3배 이상 성장
- ▶ 내진보강 시장을 분야별로 살펴보면 교량은 2016년 71건(670억 원)에서 2017년 441건(2,903억 원), 학교는 2016년 117건(650억 원)에서 2017년 286건(1,638억 원) 등 높은 성장세를 보이고 있음

[그림] 2016 ~ 2018 내진보강공사 규모 비교



※ 출처 : 건설경제신문(2018.01.23.) 리온아이피엘 가공

- ▶ 2017년과 2018년 학교내진보강 시장규모가 큰 차이를 보이는 것은 2017년 서울시 교육청의 내진사업 체계 개선으로 인해 공사물량이 2019년 여름으로 이월되었기 때문이며 2019년 학교내진 보강시장은 약 4,000억 규모로 예상

- ▶ 내진관련 자재 및 시공분야의 지속적 매출성장이 예상되며 2020년경에는 국내 건설시장의 1% 수준인 1조~1.5조원까지 시장 확대가 전망됨
- ▶ 학교의 경우 총 68,577동 중 현재 내진보강 실시 대상건물은 약 22,842동으로 지진위험지역인 영남권은 매년 1,700억 원씩 지원하여 2024년 까지 내진 보강 완료 계획이며, 그 외 지역은 2024년까지 매년 1,800억 원씩 지원 예정이고, 2025년부터는 매년 3,600억 원씩 지원하여 2029년까지 내진보강 완료 계획(당초 2034년 계획)

[표] 내진보강 중·장기 계획

(단위:백만원)

대상	2단계 (‘16~20)	3단계 (‘21~25)	4단계 (‘26~30)	5단계 (‘31~)	합계
건축물	384,000	384,000	384,000	383,700	1,535,700
학교	1,315,350	1,315,350	1,314,980	1,314,610	5,260,290
계	1,699,350	1,699,350	1,698,980	1,698,310	6,795,990

※ 출처 : 내진보강 중·장기 계획서 (국민안전처)]

[표] 학교건물 내진보강 계획

(단위:백만원)

구 분	‘18	‘19	‘20	‘21	‘22	‘23	계 (‘19~‘23)
보강물량(동)	2,129	2,662	2,662	2,662	2,662	2,662	13,310
지원예산(억원)	3,195	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	17,500
보강대상 실적(누적)	6.7%	11.7%	23.3%	35.0%	46.6%	58.3%	
전체학교 내진 확보율 (누적)	56.7%	61.4%	64.5%	68.4%	72.3%	76.1%	

※ 출처 : 교육부

3) 공공 건축물 내진 현황

- ▶ 전국의 공공건축물은 2016년 6월 기준 170,641동으로, 이 중 내진설계 대상건물인 3층 이상이거나, 500㎡인 건물은 57,856동. 57,856동 중 18,823동이 내진 설계되어 내진성능 확보비율(내진율)이 21.51%임
- ▶ 2016년 조사 당시 국내 공공건축물의 내진율은 32.5%이며, 세종시가 48.5%로 가장 높고 제주도가 27.4%로 가장 낮게 나타났으며, 내진성능 평가 및 내진보강이 필요한 건축물은 총 39,033동으로 지역별로는 경기 5,481동, 서울 3,871동, 전남 3,507동, 경북 3,485동, 경남 3,456동 순으로 나타남

[표] 공공건축물의 내진화 비율(2016년)

구분	내진설계 대상 동수	내진설계 적용 동수	내진설계 미적용 동수	내진율(%)
2016	57,856	18,823	39,033	21.51%

구분	전체 공공건축물 동수	내진설계 대상 동수	내진설계 적용 동수	내진율(%)
총 합계	170,641	57,856	18,823	32.5%
서울	11,364	5,954	2,083	35.0%
부산	7,750	3,068	943	30.7%
대구	3,777	1,945	712	36.6%
인천	5,728	2,266	780	34.4%
광주	2,544	1,185	478	40.3%
대전	2,954	1,482	511	34.5%
울산	3,387	1,147	399	34.8%
세종	848	336	163	48.5%
경기	22,075	9,153	3,672	40.1%
강원	17,602	4,727	1,566	33.1%
충북	10,017	3,322	949	28.6%
충남	12,953	3,961	1,086	27.4%
전북	11,502	3,548	976	27.5%
전남	21,120	4,910	1,403	28.6%
경북	16,956	4,819	1,334	27.7%
경남	16,184	4,912	1,456	29.6%
제주	3,880	1,121	312	27.8%

※ 출처 : 건축물 생애이력 관리 시스템

4) 해외 내진 산업 시장

- ▶ 해외 내진시장은 일본이나 미국 등, 지진 피해국들을 중심으로 시장이 형성됨 일본의 경우 시미즈, 다케나카 등 메이저 건설업체가 주축이 되어 시공기술과 결합된 기술로 발전하고 있으며, 국가적 차원에서 기술을 개발하고 보급하는 일도 병행하고 있음
- ▶ 일본은 건물 사용 등의 문제로 슬릿과 같은 건물내부 내진보강보다는 외부접합공법을 통한 내진 보강을 실시하고 있음
- ▶ 해외 내진보강 시장은 정확한 수치를 확인하기 어려우나, 일본의 경우 약 2조 원 규모의 시장이 형성된 것으로 알려져 있으며, 미국 등 환태평양지진대에 위치한 국가들은 연간 약 1조원 이상을 내진 보강비용으로 지출하는 것으로 추정됨

2. 내진 산업 현황

■ 내진기술 개발 기업 현황

- 국내의 건물·시설물 보수보강공사 업체들이 내진 보강 공사를 같이 진행하며, 내진 보강 시 날개벽이나 전단벽, 브레이스를 통해 강도를 증진하거나 면진, 제진장치를 설치하여 진동을 감쇠시키는 구조보강이 주로 이루어지며, 기업들도 구조 보강기술을 메인 사업군으로 설정하고 있고, 연성보강 공사를 하는 기업들은 아라미드 섬유나 탄소섬유를 이용하는 기업이 주를 이룸
- 국내의 주요 면진장치 업체로는 유니스이테크(주), DRB동일(주), (주)에스코알티에스 등이 있으며, 이외에도 삼영엠텍(주), (주)브리텍, (주)엠피기술산업, (주)삼일테크 등의 소규모업체들도 제품을 생산·판매하고 있음
- 국내 면진장치 판매 점유율 1위는 유니스이테크(주)가 차지하고 있으며 제진장치를 포함한 전체 매출액 규모는 DRB동일(주)이 국내 1위 수준을 유지하고 있음
- 제진장치는 국내에서 DRB동일(주), (주)한국방재기술, (주)에코닝, CMR기술연구원(주) 등 다수의 업체에서 제품을 생산중이며 DRB동일(주)은 일본 국토교통성에서 제품성능을 인증 받은 유일한 국내 업체임

[표] 내진관련 기업

기업	주요 생산품	비고
(주)선공	시설물 유지보수	NBR공법
리코이엔씨(주)	시설물 유지보수	ECO기둥 단면증설, PG패널 래핑
씨티에스엔지니어링	내진보강기술	PS Belt 기둥 연성보강
(주)아리터	내진보강, 시공	BR공법
(주)고려E&C	구조물 보강	BT공법
(주)넥스컴스	복합재료	GFRP기둥보강재
동남이엔씨	연약지반 보강, 내진보강	RC기둥 증타 공법
티엔에스엔지니어링	쇼크리트, 그라우팅	기둥 외벽면 보강
센엔지니어링	구조 설계 및 구조 안전진단	팔각 콘트리트
유니스HKR(주)	내진, 면진, 제진 시스템 설계 생산	면진, 제진 장치 제조
(주)에스코알티에스	교량 내진, 면진 장치	교량용 내진, 면진 장치 제조
DRB동일(주)	고무(토목, 면진, 제진 용 등)	면진적층고무, 제진댐퍼
(주)한국방재기술	제진설계, 면진설계	내진 설계 및 시공
(주)에코닝	내진 설계, 보강 설계	내진 장치 설계 및 설치
CMR기술연구원(주)	내진성능평가, 내진보강 설계	FD프레임 내진보강 공법
부성텍스텍	섬유 제조업	탄소섬유 내진보강 패널
근형기업(주)	섬유래핑 교각 내진	
(주)피에이코리아	탄소섬유 보강	
한길특수건설	강판 보강	기둥 강판 보강공법
(주)세라캠	내진보강(허니컴형)	세라믹코팅
씨엘엠건설	보수보강 공사	BQR 바잘트 섬유보강공법
(주)국제화건	구조보강	KHC 섬유보강공법
광림P&E	내진보강 공사	철골브레이스, 탄소섬유시트
(주)동경건설	내진보강 재료	내진용 아라미드, 탄소섬유
신개산업	내진보강 공사	아라미드, 탄소섬유 활용한 보강
늘품내진E&C	내진보강 공사	GFRPU공법
(주)에이엠지그룹	안전진단, 내진보강	탄성스프링 가새장치
씨엘엠테크(주)	보수 보강	용융현무암-바잘트 혼합 섬유
(주)우암건설	종합 건설	섬유보강 리바
(주)청우산업개발	건축/토목	섬유보강 리바
제일보강산업(주)	시설물 유지보수	복합섬유 강화패널 및 시트

※ 출처 : 기업홈페이지

○ 내진 기술 동향

1. 내진 공법 개요

1) 철근콘크리트(RC) 내진벽

- ▶ 기둥과 기둥 사이에 RC벽을 신설하는 공법 또는 원래 있던 RC벽의 벽 두께를 증가시키거나 기존 벽에 덧붙여 타설하는 공법
 - 내진벽은 높은 강성과 큰 전단내력을 보유하는 반면, 변형 능력이 약하다는 역학적 특성이 존재
 - 내진벽 증설 방식은 극한 강도가 낮은 건물을 벽으로 보강하여 벽의 전단력을 증가시켜 강도만으로 지진에 저항할 수 있는 구조를 만들 경우에 사용
- ▶ 철근콘크리트 내진벽 설치는 기둥·보로 구성된 골조의 내부에 새롭게 벽을 설치함으로써 내진 강도를 높일 수 있음
 - 평면적으로 벽이 편재되어 있는 건축물의 비틀림 변형을 막도록 균형을 잡으면서 내진 성능을 보강하는 것이 가능
- ▶ 끼움벽 형태에 의한 내진벽 증설의 장점은 건물의 수평 강도를 상승시키는 데 적합하고, 철골브레이스(brace) 방식과 비교할 때 저렴
 - 단점은 개구부가 한정되어 공간 기능상 장애가 되는 경우가 있고, 중량이 커서 건물 기초에 영향을 주는 경우도 있음

2) 날개벽 또는 버트레스(Buttress) 증설

- ▶ 건물 내력을 높이기 위하여 건물 밖으로 보강용 골조를 증설하거나 날개벽 등을 설치하는 방법으로 기둥의 한쪽 또는 양측에 날개벽을 덧붙여서 기둥의 강도나 골조의 인성(靱性)¹⁾을 개선하는 방식으로는 일반적으로 다음과 같은 공법이 존재함
 - 기존 기둥의 후프(hoop)근을 잘라낸 후, 날개벽의 가로철근을 용접하여 기존 골조와 일체성을 도모하는 공법
 - 매입식 앵커를 사용하여 날개벽을 용접하는 공법(공기 단축 도모)
 - 앵커 철물 등을 이용해서 프리캐스트 판을 날개벽 형태로 설치하는 공법 등
- ▶ 날개벽의 증설 방법은 건물 내부 공간을 사용하면서 시공할 수 있는 장점이 있지만, 외벽 면의 채광이나 외관 디자인 등에 문제가 생길 수 있음

3) 철골브레이스(Brace) 설치

- ▶ 수평력에 저항하기 위하여 철골브레이스를 설치하여 골조를 보강하는 방식으로, 외부착과 내부착이 있음
 - 철골브레이스는 X형(diagonal brace)으로 설치할 수도 있고, 건축물 계획에 맞추어 K형(K-brace)으로 하여 출입구와 창문을 확보하는 형태로 설치할 수 있음
 - 외장 철골 부분에 브레이스(brace)와 더불어 각종 댐퍼(damper)를 설치함으로써, 내진 보강과 더불어 제진 성능을 보강할 수도 있음
- ▶ 철골브레이스 공법의 장점은 높은 강도(強度)와 동시에 강성(剛性)도 충분히 높게 되며, RC벽 증설보다 경량
 - 필요시 건축물의 내력을 저하시키지 않고 적당한 크기의 개구부를 설치하는 것이 가능
 - 단점은 시공이 어렵고 RC벽보다 고가이며, 내구성이나 내화성이 RC벽보다 낮기 때문에 이를 보완하기 위한 처리가 필요한 경우도 존재

[그림] 철골브레이스 내부설치(좌), 외부설치(우)



※ 출처 : 청구E&C, 삼우안전진단

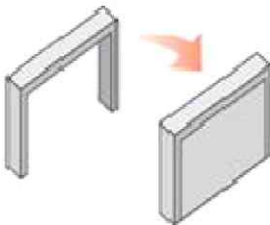
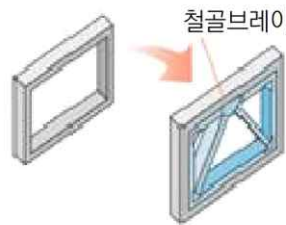
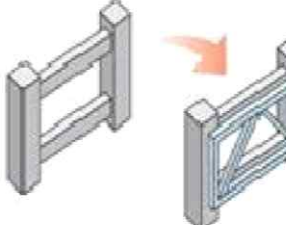
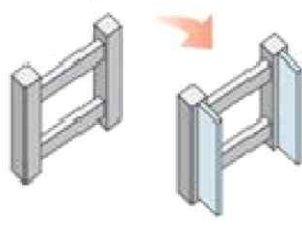
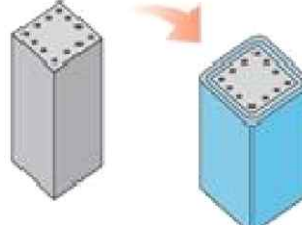
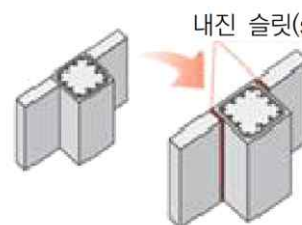
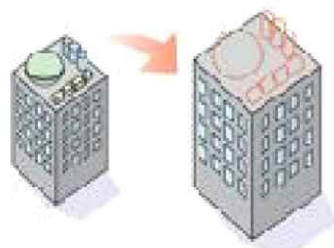
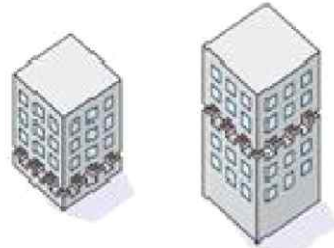
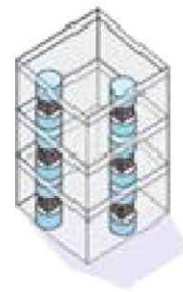
4) 기둥 보강

- ▶ 기둥 주위에 강판 등을 둘러 시공하고, 콘크리트 골조와 강판 등을 일체화하는 공법으로서, 건물 구조상 벽의 증설이 곤란한 라멘(Rahmen)조 건축물을 대상으로 기둥을 보강하여 건물의 내진 성능을 향상시키는 공법
 - 기존 구조 부재의 강도와 변형 성능을 높임으로써 건물 전체의 강도와 인성(靱性)을 높이는 것이 가능하나, 많은 기둥을 보강할 필요가 있고, 작업량이 많다는 단점이 존재
- ▶ 탄소섬유 시트(carbon-fiber sheet)를 활용하여 기둥과 벽을 보강하는 방식은 중량이 가벼워 대규모 공사가 필요치 않으며, 또한 독립된 기둥뿐만 아니라 매립 고정된 기둥에 대해서도 내진 보강이 가능하다는 특성이 있음
- ▶ 기둥 보강 공법은 기둥의 전단내력(shear capacity)이 부족하거나 창호 상·하부를 지지하는 벽이 있어 동일 층의 기둥 강성이 불균등한 건물, 또는 건축물의 1층에서 벽을 제거하고 기둥만을 설치하는 필로티(pilotis) 형식의 건물에 적합함

5) 구조 슬릿(Slit)의 설치

- ▶ RC 구조물에서 비내력벽과 같은 비구조 부재가 기둥이나 보 등 주요 구조 부재와 일체적으로 시공되었을 경우, 건물의 내진 성능에 영향을 미친다는 점이 지적되고 있음
 - RC 골조와 강접(強接)돼 있는 비구조벽의 손상을 경감시키기 위해 하부 보나 좌우 기둥과 벽 사이에 슬릿(slit)을 설치함으로써 주요 구조 부재와 비구조벽을 분리하여 내진 성능을 높이려는 목적이 있음
 - 슬릿벽(slit-type wall)이란 구조벽에 의도적으로 슬릿(slit)을 뚫으로써 지진 시에 변형 능력을 갖게 하도록 고안된 벽을 말함
- ▶ 장점은 매우 높은 취성(脆性)을 가진 기둥을 해소하고, 전단파괴형 기둥을 휨파괴형으로 개선함으로써 변형 능력을 높일 수 있다는 것
 - 단점은 공사가 단순하기 때문에 저렴하게 행해질 가능성이 있고, 공사 관리에 주의가 요구됨. 또한, 인성(靱性)은 향상되나, 내력(耐力)은 감소하는 것에 주의가 필요

[표] 내진 공법

내진벽의 증설	철골브레이스 보강	외측 철골 보강
새로운 벽을 철근콘크리트 등에 증설하여 내진 보강 실시 건물의 내부, 외부와 관계없이 설치가능	기둥, 보의 안쪽 부위에 철골브레이스를 증설하여 내진 보강 실시 개구부를 남겨두고 내진 성능을 향상시키는 것이 가능	건물 외측에 철골브레이스를 증설하여 내진 보강 실시 기존의 벽이나 새시의 해체 없이 가능
		
부벽(버트리스) 증설	기둥 보강	내진 슬릿 신설
버트리스(butress) 등의 부벽을 건물의 외부에 증설해 내진 개수 실시 건물 주변이나 부지에 여유가 있는 경우에 적합	기존 기둥에 섬유시트나 강판을 둘러 콘크리트와 강판을 일체화시켜 내진 보강을 실시 기둥이 많을 경우, 작업량이 많아지는 단점이 존재	철근콘크리트조 기존 건물의 기둥에 가깝게 간극(slits)을 설치해 기둥 내력을 향상 그 이외 보강 방법을 조합하여 실시하는 것이 일반적
		
중량 저감	면진(免震) 구조화	제진 기구(制震機構) 설치
구조물 등의 일부를 철거하여 전체중량을 저감 그 이외 보강 방법을 조합하여 실시하는 것이 일반적임	면진(免震) 장치를 건물의 기초 하부나 중간층에 설치하여 지진력이 건물에 전달되는 것을 크게 낮추어 구조체의 손상을 저감시킴	제진(制震) 댐퍼 등 건물에 영향을 주는 지진력을 흡수하는 것에 의해 구조체의 손상 저감 도모
		

2. 국내 기술 동향

- ▶ 국내의 내진 기술은 기술 선진국에 비해 미약한 수준이고 개발된 기술의 종류도 일부 중소기업을 중심으로 개발이 이루어지고 있어 현실은 매우 미미한 실정임
- ▶ 국내의 내진 기술은 현재 일부 아파트, 원전 등 다양한 구조물에 적용중이지만 국내 순수 기술력으로 개

발되어 적용된 사례는 일부분이며 대부분의 경우 국외의 기술을 수입하여 적용하고 있음

- ▶ 현재 국내의 구조물 내진율이 40% 수준에 불과하여 외화유출 감소와 지진 피해를 최소화하기 위해서는 효과적인 국내 내진보강 기술개발이 시급함
- ▶ 우리나라는 일반적으로 지진에 대한 안전지대로 인식되었고 지진 피해의 심각성에 대한 인식이 부족하였으며 지진활동에 대한 연구나 구조물의 내진성능을 확보하기 위한 연구가 미비하였음. 그러나 최근 일본의 지진에 의한 원전폭발 사고 및 진도 5.38의 강진과 450여 차례의 여진에 의해 공포에 빠져 있으며, 2016년 9월 12일에 경주지역에서 발생한 진도 6의 지진을 계기로 내진보강에 대한 중요성을 인식하였으며, 정부 차원에서 기존 구조물에 대한 내진보강을 실시하기 위하여 5년 단위로 '기존 공공시설물 내진보강 기본계획안(2011~2015)' 1단계를 거쳐 '기존 공공시설물 내진보강 기본계획안(2016~2020)' 2단계를 추진 중
- ▶ 국내에서 수행된 연구의 흐름을 살펴보면, 보강공법의 기본적인 역학적 거동에 대한 파악을 시작으로 하여 연성을 증진시키기 위한 세부상세의 개발단계로 발전되고 있으며, 하중형태 별로 고정하중에 의한 휨 및 전단에 대한 보강성능의 검증으로 발전됨
- ▶ 최근 고강도 강선을 이용하여 내부에 스프링이 장착된 점성 댐퍼에 초기 장력을 가해 점성댐퍼의 에너지 소산기능과 강선을 이용한 강성과 자가복귀 기능을 동시에 부가 할 수 있는 기술이 개발되었음
- ▶ (주)에이엠지그룹 건축사무소에서는 다수의 탄성스프링을 내재한 가새장치를 이용한 내진보강 기술인 HTS 내진보강 공법을 개발함. 이 기술은 브레이싱 공법으로, 실린더 내부에 있는 다수의 탄성스프링 및 탄성 콘크리트가 지진으로 인한 진동을 흡수하며, 건물의 철거 없이 제진 보강을 할 수 있음
- ▶ 현대제철이 개발한 355MPa급 내화내진 H형강은 1mm² 면적당 약 36kg 이상의 무게를 견딜 수 있고 강재 온도가 600℃까지 상승해도 상온 대비 67% 이상 항복강도를 유지해 건물이 붕괴되지 않고 견딜 수 있는 특성을 지니고 있음. 일반 강재는 350℃에서 항복강도가 상온 대비 30% 이하로 감소함
- ▶ 국내에서 섬유를 이용한 보강공법은 1990년대 초부터 대학 및 보강회사를 중심으로 연구가 진행되었으며, 1994년 탄소섬유시트에 의한 보강공법이 서울 중구 목정 지하주차장에 적용된 이후, 국내에서 유지관리 부분의 중요성이 강조되면서 보강공사 물량이 증가함
- ▶ 현재 내진 기술 분야에 대한 시장은 지속적인 확대가 예상되며 2020년 이후 국내 내진 시장은 최대 성숙기가 예상됨
- ▶ 2018년 행정안전부에서 선정하는 방재신기술에 총 145건이 지정 등록 되었고, 그 중 지진 관련하여 내진기술 7건, 면진기술 5건, 제진기술 2건 합계 14건의 기술이 등록 됨
- ▶ 기존에 국내에서는 지진에 대한 관심 부족으로 선진국에 비해 기술력이 뒤쳐져 있지만 최근 지진 발생 빈도의 증가로 인하여 지진 재해피해 저감 기술에 대한 국민들의 관심과 정부적 차원의 지원 및 내진 기술 수요가 증가하고 있어 내진 기술의 인프라 시장 규모는 확대될 전망

3. 국외 기술 동향

1) 일본

- ▶ 현재 일본에서는 복합섬유 부착공법을 중심으로 각 건설회사별로 AF 공법, SR-CF 공법, CRS-CL공법, WARS 공법 등의 독자적인 보강공법이 개발되었으며, 이를 바탕으로 활발한 현장적용이 진행되고 있고, 따라서 일본에서의 보강공법의 개발 역사는 복합섬유 보강공법의 개발 역사라 해도 과언이 아닐 정도로 연구개발이 활발히 진행되고 있음
- ▶ 1996년에는 일본건설성 프로젝트인 '신기술에 의한 기존 건축물의 내진성 향상기술의 개발'이라는 연구과제를 진행하였으며, 당시 프로젝트에서는 일본 건설성 건축연구소와 CF 건축협회가 주축이 되어 전국적인 연구체계(All Japan)를 구축하고 '연속섬유시트 공법 검토 위원회'를 발족하여 탄소섬유 및 아라미드 섬유 등의 연속섬유를 이용한 기존 건축물의 내진성능 향상에 관한 기술개발을 완료하는 등 복합재료를 이용한 성능향상기술을 체계화시키고 지속적으로 발전시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있음
- ▶ 일본의 경우 1990년 건축구조물에 대한 설계 및 시공지침 (탄소섬유보강공법에 대한 설계·시공요령)이 마련되었으며, 그 후 많은 연구를 통하여 (탄소섬유시트에 의한 철근콘크리트 교각의 보강공법 설계·시공요령)이 1995년에 발행되었고, 특히 1995년 고베지진 이후 많은 교량에 대한 성능향상을 실시하였음

2) 유럽 및 미주

- ▶ 유럽에서의 복합섬유 보강공법에 대한 기술동향은 일본에 비하여 늦게 시작되었으나, 일본에서의 개발방향과는 별개로 독자적인 기술개발이 이루어지고 있음
- ▶ 유럽 및 미국지역에서는 2차 대전 이후인 1950년대에 대량으로 건설된 콘크리트 교량 및 건축물의 노후화가 진행됨에 따라 이에 대한 보강의 필요성이 제기되었으며, 이러한 보강은 주로 정적하중에 대한 보강형태로 이루어짐
- ▶ 독일의 경우 '재료/시공 통합 인증시스템'이라는 제도를 교량과 주요국가 시설물의 유지관리 업무에 적용하고 있음. 이 제도는 교량 유지관리 기준 및 보수기술 규정을 명문화하고, 국가 기관인 BAST(독일 연방도로연구소)에서 기술규정에 따라 "재료/시공 통합 인증"을 받은 공법만으로 시공할 수 있도록 하는 것으로, 각 사용재료의 특성 및 최소 요구조건과 함께 시공환경 등에 대한 명확한 규정을 포함하고 있어 기술자의 주관적인 판단을 최소화하고 균일한 품질을 얻을 수 있음
- ▶ 미국은 1995년부터 2005년까지 20억 달러가 투자되어 시행되고 있는 CONMAT(Construction Materials and System Program) 사업에서 복합섬유 건설분야 활용에 가장 많은 예산을 배정하고 있으며, 이를 통해 복합섬유를 이용한 다양한 형태의 보강기술이 연구 개발되고 있음
- ▶ 캐나다는 1995년 설립된 ISIS Canada (Intelligent Sensing for Innovative Structure) 협의체를 통해 FRP 보강기술에 대한 다양한 기술개발을 진행하여 노후 구조물의 성능향상 및 수명연장을 위한 노력을 적극적으로 전개하고 있음

○ 연성 내진보강법

- ▶ 철근을 보호하기 위하여 설치되는 피복콘크리트는 큰 진동이나 반복 변형이 발생하면 반드시 파손되어 철근 등이 노출되고, 부재는 붕괴하는 구조적인 약점이 있음
- ▶ RC나 FRP 보강공법은 예상되는 부재의 최대변형을 일정기준 이하로 억제함으로써 지진에 대처하는 방식으로 실제 지진에 의한 진동의 규모가 예상을 초과하는 경우, 특히, 반복회수가 예상을 초과하는 경우에는 붕괴 위험성에 대해서는 거의 대처할 수가 없음
- ▶ 기존의 콘크리트 구조물은 크게 변형하면 기둥이 파괴되어 구조계가 붕괴되기 때문에 부재 및 구조물의 변형을 적게 하는 강성 보강이 중심이었으며, 콘크리트 구조물의 약점을 보호하는 직접적인 보강이었음
- ▶ 연성보강 공법은 내진능력이 부족한 철근콘크리트 기둥(RC-column)의 연성도를 높여 지진으로 인한 급격한 건물 붕괴(취성파괴)를 막고 인명이 대피 가능한 골든타임을 확보하는 내진 보강 기술임

[표] 연성증가 공법

대분류	중분류	소분류	공법
연성증가 공법	FRP(섬유) 보강	탄소 섬유	탄소섬유시트 공법
			탄소섬유판 공법
			SR-CF 공법
		아라미드 섬유	AF공법
			하이제라스 공법
			아라미드PC 공법
		폴리에스터	SRF 공법
		벨크로	벨크로 공법
	강판 보강	기존 강판부착 공법	3Q-Column 공법
		조립식 강판부착 공법	
	단면 증설	RC기둥 단면 증설	SPAC 공법
	기타 공법	3D 판넬 부착법	

○ 공법별 평균 시공비용

중분류	소분류	공법	평균 단가
FRP(섬유) 보강	탄소 섬유	탄소섬유시트 공법	약 119 만 원/m ²
		탄소섬유판 공법	-
		SR-CF 공법	약 74 만 원/m ²
	아라미드 섬유	AF공법	약 67 만 원/m ²
		하이제라스 공법	-
		아라미드PC 공법	약 78 만 원/m ²
	폴리에스터	SRF 공법	약 56 만 원/m ²
	벨크로	벨크로 공법	약 35 만 원/m ²
강판 보강	기존 강판부착 공법		-
	조립식 강판부착 공법	3Q-Column 공법	약 75 만 원/m ²
		SPAC 공법	-
단면 증설	RC기둥 단면 증설		-

3) 연구개발과제의 연차별 목표

1) 1차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(경상국립대학교): **고성능 벨크로 내진보강재 개발**

: 구속압축력 개선을 위해 고강도의 섬유를 혼용하여 제조함으로써 기둥의 성능을 향상시킬 수 있는 고성능 벨크로 내진보강재 개발을 목표로 하고, 내화도료 또는 내화시트 등을 활용하여 내화성을 확보하고자 함.

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(경상국립대학교):

● 성능 보강용 섬유 소재 조사 분석

- 합성 가능한 특수섬유 소재 발굴
- 내화성을 고려한 섬유 분석

: 섬유의 종류별 재료특성 및 내화특성을 분석하여 벨크로의 성능 개선 가능성 분석.

● 고성능 벨크로 시제품 제작

- 고성능 벨크로 제작 기술 개발
- 고성능 벨크로 시제품 제작 및 성능 평가
- 고성능 벨크로 제작 가이드라인 제안

: 구속성능 및 내화성이 개선된 고성능 벨크로의 시제품 제작 및 제작 가이드라인 작성.

● 고성능 벨크로 성능 시험

- 고성능 벨크로 내진보강재의 성능평가
- 고성능 벨크로 내진보강재의 내화성능평가

: 고성능 벨크로의 강도 및 기능에 대한 성능을 전문기관을 통해 평가.



2) 2차 연도 기재

① 개발 목표

- 주관연구기관(경상국립대학교): **고성능 벨크로 내진보강시스템 개발**
- : 1차년도에 개발된 고성능 벨크로 내진보강재의 내진 성능평가 및 현장 적용성을 평가하여 최종적으로 개발된 고성능 벨크로 내진보강 시스템의 시공가이드라인 제안을 목표로 함

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(경상국립대학교):

● 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가

- 콘크리트 기둥시험체 제작
- 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가
- : 기존의 기둥을 감싸는 보강법 중 본 과제에서 개발되는 공법과 유사한 공법을 선정하여, 두 공법을 동일한 시험체에 적용하여 시공성, 경제성을 비교를 통해 평가.
(시공성은 소요시간, 시공단계 종류 및 수, 필요인력 등으로, 경제성은 개발되는 공법에 대한 일위대가목록 및 개발공사금액 등으로 평가)

● 고성능 벨크로 내진보강 시스템의 현장적용을 위한 Test Bed 시험시공

- 적용대상 대표구조물에 대한 현장적용성 평가
- : 노출된 기둥에 대하여 지진 거동시, 급격한 파괴방지 및 연성 거동을 유도하기 위해 개발되는 고성능 벨크로 내진보강시스템의 현장 적용성 평가 및 검토를 위한 관련 업체와의 MOU체결로 Test Bed를 확보.

● 고성능 벨크로 내진보강 시스템의 시공가이드라인 제안

- : 시험체 적용 및 시험시공을 바탕으로 품질관리에 대한 시공가이드라인을 작성.



구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2020)	구속능이 향상된 벨크로 내진보강재	고성능 벨크로 인장성능	-	40MPa	재료실험	10
		고성능 벨크로 전단성능	-	40N/cm ²	재료실험	10
	내화능이 우수한 벨크로 내진보강재	내화지수 등급	-	HF-1	내화등급	20
2년차 (2021)	벨크로와 발포성 재료를 활용한 벨크로 내진보강시스템	벨크로 내진보강 시스템의 기둥 구조물의 내진보강기술	-	2	실험 변수 수	10
				2	변수별 시험체 수	10
				20% 증가	누적에너지소산능력	10
		현장시험시공을 통한 벨크로 내진보강시스템의 현장적용성 검토	-	1회	현장시공 횟수	20
	벨크로 내진보강시스템의 내진보강설계기술 개발	벨크로 내진보강시스템의 현장시공 가이드라인 제안	-	제안	시공가이드라인	10

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1차년도 연구 수행 과정 및 수행 내용

1 성능보강용 섬유 소재 조사 분석

1.1 합성 가능한 특수섬유 소재 발굴

- ▶ 벨크로의 구속성능향상을 위해 기존 특수섬유(CFRP, PP, GFRP, PE) 및 기성제품(3M)의 특징을 조사하였다.
- ▶ 조사된 기존 특수섬유의 사진과 특징을 Table 1.1과 Table 1.2에 정리하였다.
- ▶ 조사결과 벨크로의 제작에 나일론, 폴리에틸렌, 폴리에스터가 사용되지만 루프 제작 시 폴리에스터만 사용가능하다.

Table 1.1 특수섬유(CFRP, PP, GFRP, PE)의 특징

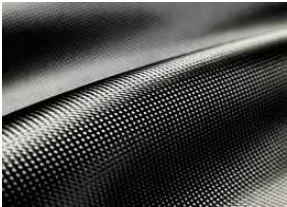
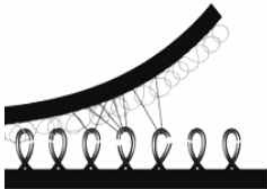
탄소섬유강화플라스틱(CFRP)	폴리프로필렌(PP)	유리섬유강화플라스틱(GFRP)	폴리에스터(PE)
			
- 높은 비강도를 가짐. - 뛰어난 피로를 가짐. - 내후성을 가짐. - 내약품성을 가짐. - 치수 정밀도가 지극히 높음. - 진동흡수성이 큼.	- 경량성을 가짐. - 발수성(속건성)이 좋음. - 배수성이 좋음. - 보온성이 좋음. - 내약품성이 좋음. - 내열성이 좋음. - 안정성&리사이클성이 좋음.	- 여러가지 형상이 가능하므로, 형상의 자유도가 높음. - 금속에 비해 가벼움. - 내식성이 우수함. - 전기절연성이 우수함. - 단열효과가 우수함. - 전파투과성이 우수함.	- 합성 섬유중 열에 가장 강함. - 탄성이 좋아 구김이 적고, 신축성이 적어 형태가 잘 유지됨 - 내일광성이 좋아 자외선에 강하고 변질, 변색이 없음 - 해충과 약품에 강함

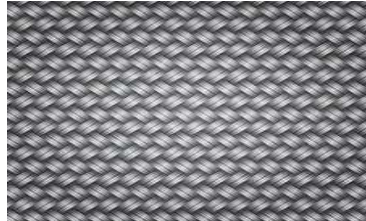
Table 1.2 3M 벨크로 제품의 특징

구분	3M	
	후크 앤 루프(Hook and Loop)	
그림		
특징	- 대부분 나일론 재질로 제작하나, 폴리에틸렌이나 폴리에스터를 이용하여 제작하기도 함 - 3M에서는 면적별 후크의 개수를 다르게 제작(170방, 250방, 400방 등) - 일반산업, 섬유, 의료 등 다방면에서 사용됨	

1.2 내화성을 고려한 섬유 분석

▶ 벨크로 원단의 내화성을 확보하기 위해 기존 내화성 섬유의 특징 등을 연구하였다.

Table 1.3 내화성 섬유(유리, 암석, 금속)의 특징

유리 섬유	암석섬유	금속섬유
		
- 고온에 잘견딤. - 불에 타지않음. - 흡수성이 없음. - 신장률이 적음. - 전기 절연성이 큼. - 내마모성이 적음.	- 고온에 잘견딤. - 불에 타지않음. - 전기 절연성이 큼. - 흡음효과를 가짐. - 산성에 약함.	- 의류용에는 적합하지 않음. - 열전도율이 높음 - 전도성이 탄소섬유의 20배 - 성형이 쉽고, 부식하지않음. - 내열성이 큼.

▶ 조사결과 벨크로 외부에 내화도료를 도포하는 공법으로 내화성을 확보하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단하였다.

- 특수 무기바인더를 도포하여 섬유의 내화성을 확보하고자 한다.
- 특수 무기바인더의 원리는 화재 발생시 표면에 코팅된 도료가 순차적으로 온도에 따라서 20~30배 이상 팽창하여 탄소 고분자 발포 단열층이 생산되어 이러한 단열층에 의해 구조물을 보호한다.



<스프레이 작업>



<화염 테스트>



<화염에 노출된 코팅표면>



<원형유지>

Fig. 1.1 특수 무기바인더 실험

2.1 고성능 벨크로 제작 기술 개발

① 벨크로 구성 요소

- ▶ 벨크로는 후크, 루프 그리고 원단 총 3가지로 구성되어 있다.
- ▶ 후크와 루프를 원단 제작 시 바늘로 원단에 집어넣는 공법으로 벨크로가 제작된다. (편직)

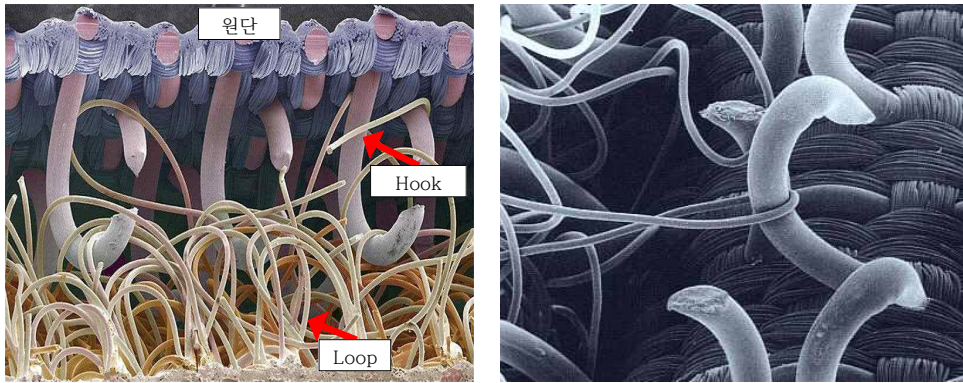


Fig. 2.1 벨크로 근접사진

② 고성능 벨크로 제작기술 개발

②-1. 원단 제작기술 개발

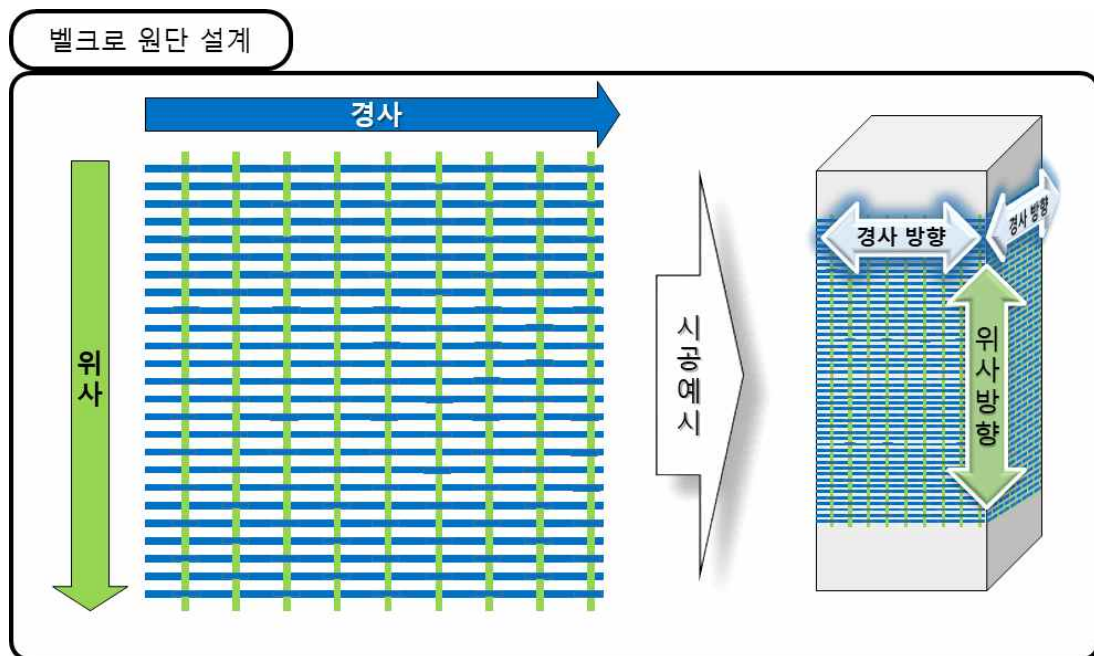


Fig. 2.2 벨크로 보강재 원단 설계

- ▶ 벨크로 원단은 제작공법으로 제작된다. 즉, 위사와 경사로 이루어진다.
- ▶ 다른 섬유의 혼용이 불가능하여 혼입률 100%의 폴리에스터 원사를 제작하였다. 두께는 305 데니아이다.
- ▶ 섬유의 굵기를 나타내는 단위. 1데니아는 길이 450m인 실의 무게가 0.05그램일 때의 굵기 즉 9000m인 실의 무게가 1g일때의 굵기로, 무게가 두 배이면 2데니어, 열 배이면 10데니아이다.(출처: 국립국어원-표준국어대사전)
- ▶ 벨크로를 구성하는데 있어서 경사가 주방향이며, 필요 성능에 관련되는 경사의 원사를 최대한 강하게 설계하였다.

▶ 원사의 인장신도, 인장강도 그리고 초기인장 저항도를 전문시험기관에 의뢰하여 측정하였으며, 실험결과 평균 인장신도: 18.35%, 평균 인장강도: 916.5 MPa, 평균 초기인장 저항성: 7798.7MPa 으로 나타났다.

- 인장신도와 인장강도 측정은 시료가 절단되었을 때의 인장강도(N)와 신장(mm)을 측정한다. 시료가 늘어난 길이와 기존 시편의 길이 비를 구하면 인장신도를 산출할 수 있다.
- 초기 인장 저항도는 하중-신장 곡선을 그린 후, 원점 가까이에서 신장 변화에 대한 하중 변화의 최대점으로부터 초기 인장 저항도를 산출한다.

Table 2.1 폴리에스터 재료실험 결과

시편	인장신도(%)	인장강도(MPa)	초기인장 저항도(MPa)
#1	10.0	953.8	10,852.9
#2	26.7	879.2	4,744.5

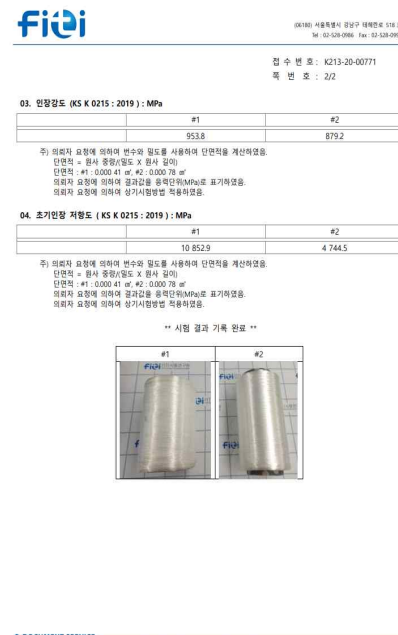
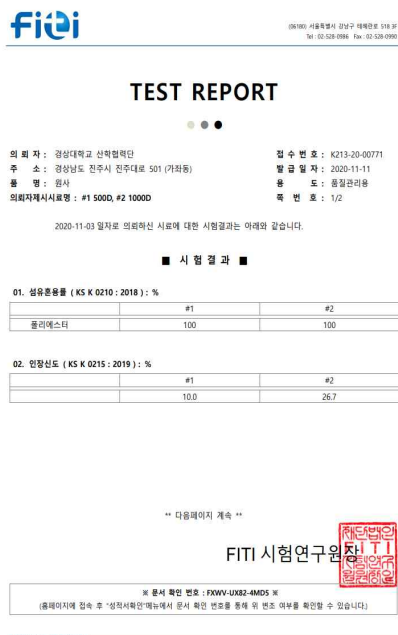


Fig. 2.3 원사 시험성적서

▶ 벨크로의 강성을 증가하기 위해 고강도 원단을 벨크로 뒷면에 열접합을 하였다.

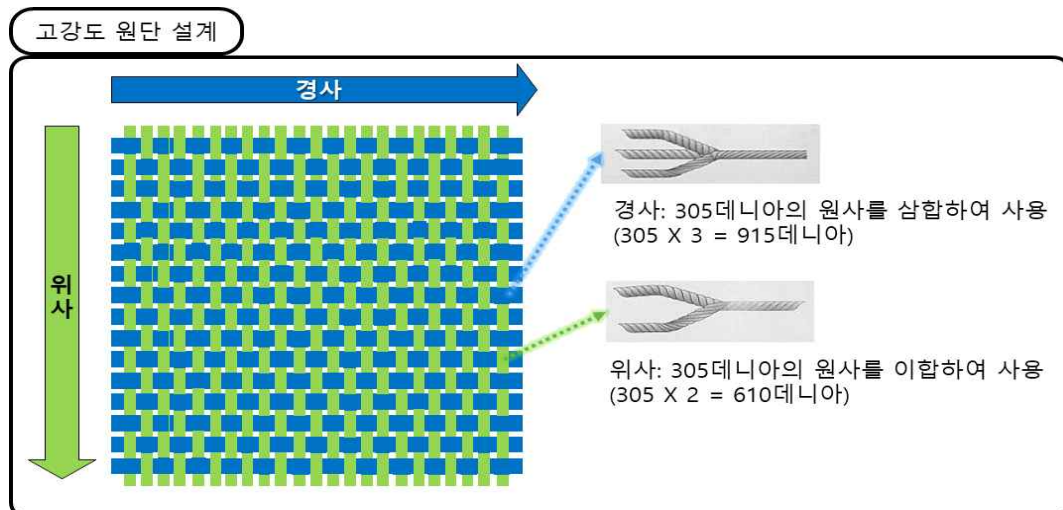


Fig. 2.4 고강도 원단 설계

- ▶ 고강도 원단 경사는 915데니아, 위사는 610데니아의 원사를 사용하여 원단을 설계하였다.
- ▶ 경사의 원사 두께가 더 두껍기 때문에 경사 방향의 인장강도가 위사 방향의 인장강도보다 크게 설계되었다.

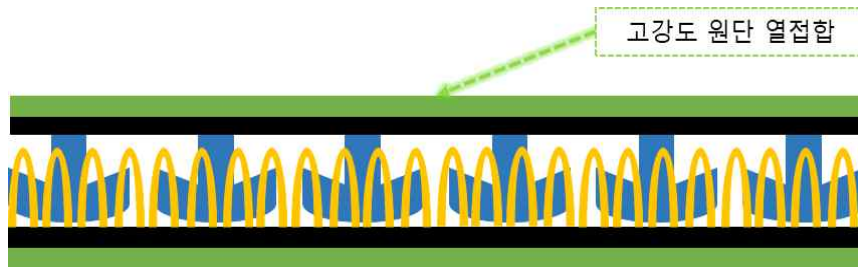


Fig. 2.5 고강도 원단 접합 모형

②-2. 후크, 루프 제작기술 개발

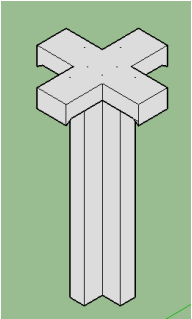
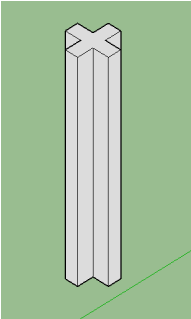
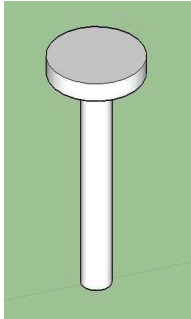
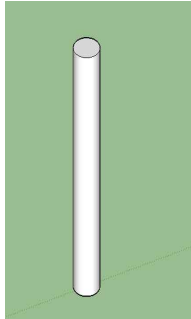
	A사의 머쉬룸 벨크로		타사 제품	
HOOK 원사				
	십자가(네잎클로버) 형태의 원사 사용		원형의 원사 사용	

Fig. 2.6 머쉬룸 벨크로 모형도

- ▶ A사의 머쉬룸 벨크로의 경우 기존 원형원사를 사용하는 타 업체와 다르게 십자가(네잎클로버) 형태의 원사를 사용하는 것으로 조사되었다.
- ▶ 본 연구에서는 A사의 머쉬룸 벨크로를 모티브로 하여 후크와 루프의 접착성에 유리하게 설계하기 위해 후크의 길이를 감소시키고 후크 끝 부분의 각을 높혀 루프에 후크가 걸리는 확률을 증가시키는 방법으로 벨크로의 성능을 향상하였다.
- ▶ 루프 고리의 길이를 짧게 설계하였고, 고리가 쉽게 끊어지지 않도록 굵기를 증가시켰으며, 단위 면적당 루프의 개수를 증가시킴으로써 루프에 후크가 걸리는 확률 및 루프의 강도를 증가시키는 방법으로 후크와 루프의 접착력을 증가하였다.

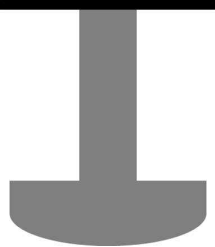
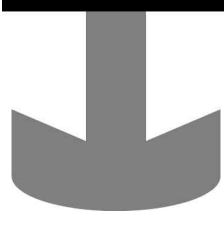
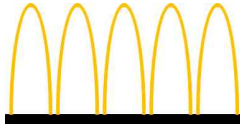
기존 후크 형태	개선된 후크 형태	기존 루프 형태	개선된 루프형태
			

Fig. 2.7 개선된 후크와 루프 모형

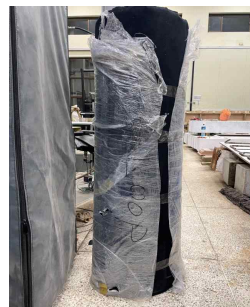
- ▶ 위와 같은 기술을 바탕으로 아래와 같이 시제품을 완성하였다.
- ▶ 후크와 루프 각각 한 롤(Roll)씩 길이 68m, 가로길이는 1.4m로 제작하였다.

[서식]

「시제품 제작」 성과 확인서			
□ 과제정보			
사업명	국토교통기술촉진사업	과제번호	20CTAP-C157156-01
과제명	긴급시공이 가능한 보급형 고성능 벨크로 내진보강시스템 개발		
연구기관	경상대학교 산학협력단	연구책임자	김진섭
□ 현장시험-검증 성과			
구분	공인시험		
시제품명	내진 보강용 머쉬룸 벨크로		
제작일시	2020년 8월 29일	제작업체	반디건설
목적	고성능 벨크로 내진보강재 개발		
내용	고성능 벨크로 내진보강재 시제품 제작		
참용계획	긴급시공이 가능한 보급형 고성능 벨크로 내진보강 시스템 개발		
증빙	[첨부] 공인시험성적서		
위 연구과제를 통해 발생한 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.			
2020 년 11 월 02 일			
연구기관	책임자		
경상대학교 산학협력단	강상수		
국토교통부장관 귀하			



(2) Hook



(3) Loop

(1) 시제품 제작 확인서

Fig. 2.8 완성된 시제품 확인서와 제품

②-3 내화성능 확보 방안

- ▶ 벨크로 보강재는 쉽게 붙이 붙고, 내열특성이 매우 약하다.
- ▶ 특수무기바인더를 시공된 벨크로 외부에 도포하는 것으로 내화성능을 확보하고자 한다.
- ▶ 본 연구에서 사용한 특수무기바인더는 B사에서 개발한 무기바인더와 인투메센트(열에 의해 팽창하는 탄소 고분자)를 혼합하여 제조된 폭열 방지 코팅제이다.

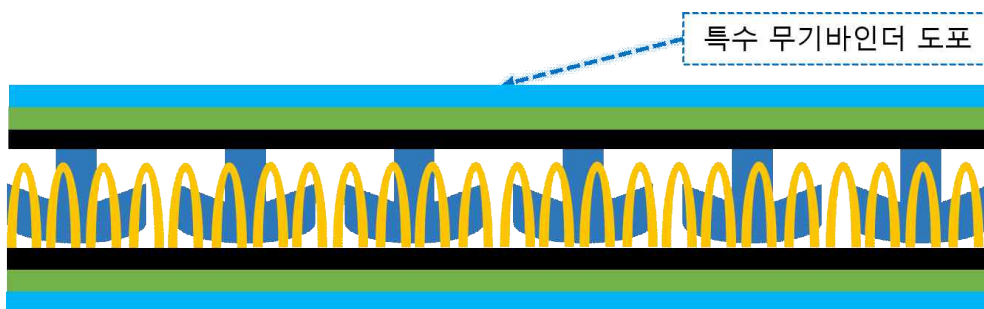


Fig. 2.9 특수 무기바인더 도포 모형

2.2 고성능 벨크로 시제품 제작 및 성능 평가

- ▶ 구속성능에 지배적으로 작용하는 벨크로의 인장강도를 평가하였다.
- ▶ 인장강도는 벨크로의 후크형, 루프형 그리고 결합형(후크+루프) 총 3가지 실험을 수행하였다.
- ▶ 제작된 시편은 30Ton-UTM 실험장비를 사용하여 인장강도를 측정하였다.
- ▶ 벨크로의 인장력은 후크와 루프를 제외한 원단에서 작용하는 것으로 가정하여 시편의 두께와 폭을 측정하였다.

① 후크형(주방향) 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

- ▶ 고성능 벨크로 후크면의 인장성능을 평가하기 위해 5개의 시편을 제작하였다.
- ▶ 각 시편은 가로 50mm 세로 200mm로 설계되었으며, 평균 두께는 0.70mm로 확인하였다.
- ▶ 실험결과 고성능 벨크로 후크면의 인장하중은 평균 4.50kN이며, 응력은 평균 128.6MPa이다.

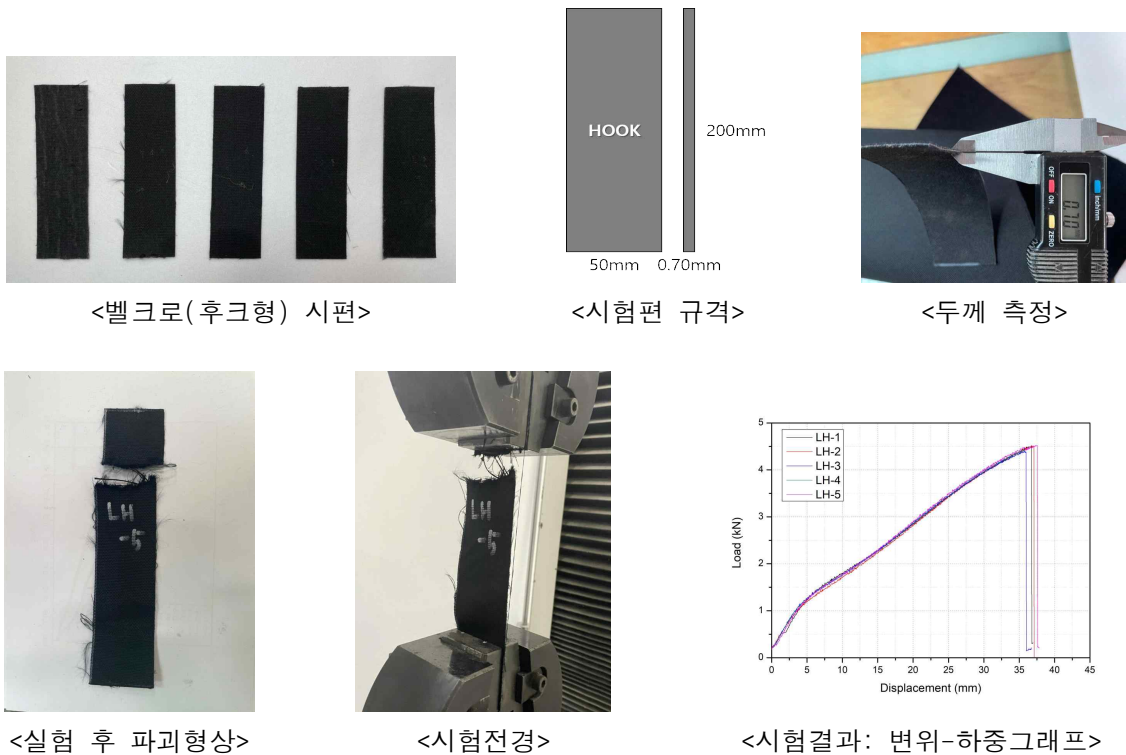


Fig. 2.10 후크형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

Table 2.2 후크형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

구분	길이(mm)	폭(mm)	두께(mm)	하중(kN)	응력(MPa)
LH-1	200	50	0.70	4.52	129.1
LH-2				4.51	128.9
LH-3				4.42	126.3
LH-4				4.52	129.1
LH-5				4.52	129.1
Average	-	-	-	4.50	128.6

② 루프형(주방향) 벨크로 시편의 인장성능 평가

- ▶ 고성능 벨크로 루프면의 인장성능을 평가하기 위해 5개의 시편을 제작하였다.
- ▶ 각 시편은 가로 50mm 세로 200mm로 설계되었으며, 평균 두께는 0.79mm로 확인하였다.
- ▶ 실험결과 고성능 벨크로 후크면의 인장하중은 평균 3.17kN이며, 응력은 평균 80.3MPa이다.

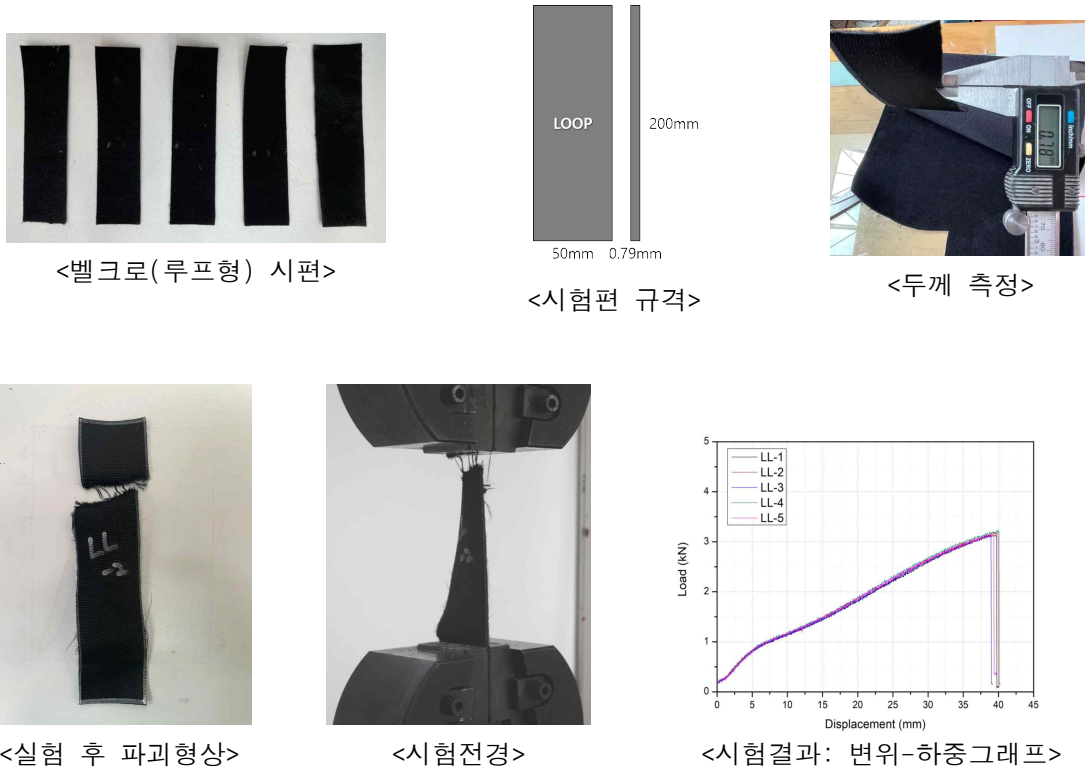


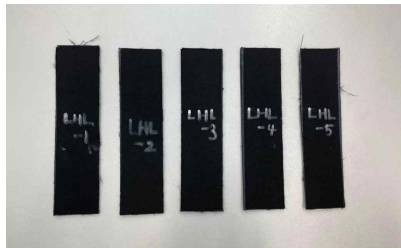
Fig. 2.11 후크형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

Table 2.3 루프형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

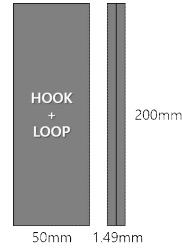
구분	길이(mm)	폭(mm)	두께(mm)	하중(kN)	응력(MPa)
LL-1	200	50	0.79	3.15	79.7
LL-2				3.19	80.8
LL-3				3.14	79.5
LL-4				3.23	81.8
LL-5				3.15	79.7
Average	-	-	-	3.17	80.3

③ 부착형 벨크로(주방향) 시편의 인장성능 평가

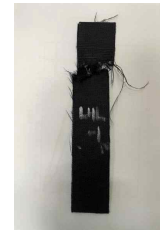
- ▶ 고성능 벨크로 후크면과 루프면이 부착된 시편의 인장성능을 평가하기 위해 5개의 시편을 제작하였다.
- ▶ 각 면의 시편은 가로 50mm 세로 200mm로 설계되었으며, 평균 두께는 1.49mm로 확인하였다.
- ▶ 실험결과 고성능 벨크로 후크면의 인장하중은 평균 6.85kN이며, 응력은 평균 91.9MPa이다.



<벨크로(후크+루프형) 시편>



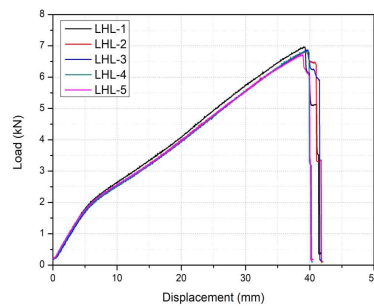
<시험편 규격>



<실험 후 파괴형상>



<시험전경>



<시험결과: 변위-하중그래프>

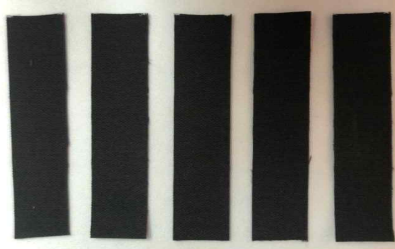
Fig. 2.12 부착형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

Table 2.4 부착형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

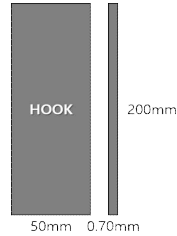
구분	길이(mm)	폭(mm)	두께(mm)	하중(kN)	응력(MPa)
LHL-1	200	50	0.70+0.79 =1.49	6.97	93.6
LHL-2				6.83	91.7
LHL-3				6.87	92.2
LHL-4				6.84	91.8
LHL-5				6.72	90.2
Average	-	-	-	6.85	91.9

④ 후크형(횡방향) 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

- ▶ 고성능 벨크로 후크면의 인장성능을 평가하기 위해 5개의 시편을 제작하였다.
- ▶ 각 시편은 가로 50mm 세로 200mm로 설계되었으며, 평균 두께는 0.70mm로 확인하였다.
- ▶ 실험결과 고성능 벨크로 후크면의 인장하중은 평균 2.25kN이며, 응력은 평균 64.3MPa이다.



<벨크로(후크형) 시편>



<시험편 규격>



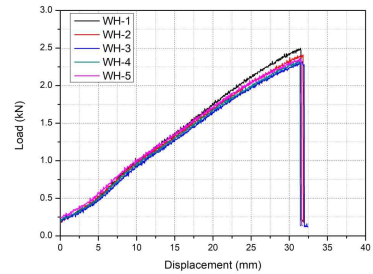
<두께 측정>



<실험 후 파괴형상>



<시험전경>



<시험결과: 변위-하중그래프>

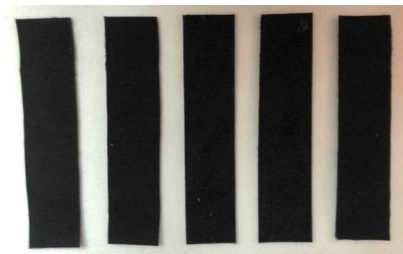
Fig. 2.13 후크형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

Table 2.5 후크형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

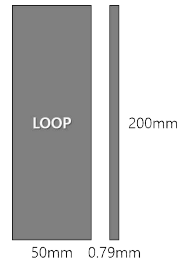
구분	길이(mm)	폭(mm)	두께(mm)	하중(kN)	응력(MPa)
WH-1	200	50	0.70	1.95	55.7
WH-2				2.04	58.3
WH-3				2.50	71.4
WH-4				2.43	69.4
WH-5				2.36	67.4
Average	-	-	-	2.25	64.3

⑤ 루프형(횡방향) 벨크로 시편의 인장성능 평가

- ▶ 고성능 벨크로 루프면의 인장성능을 평가하기 위해 5개의 시편을 제작하였다.
- ▶ 각 시편은 가로 50mm 세로 200mm로 설계되었으며, 평균 두께는 0.79mm로 확인하였다.
- ▶ 실험결과 고성능 벨크로 후크면의 인장하중은 평균 1.85kN이며, 응력은 평균 46.6MPa이다.



<벨크로(루프형) 시편>



<시험편 규격>



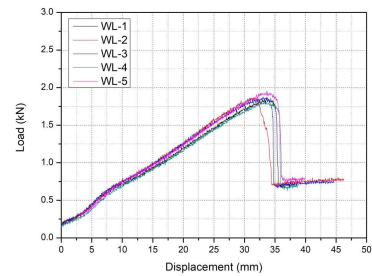
<두께 측정>



<실험 후 파괴형상>



<시험전경>



<시험결과: 변위-하중그래프>

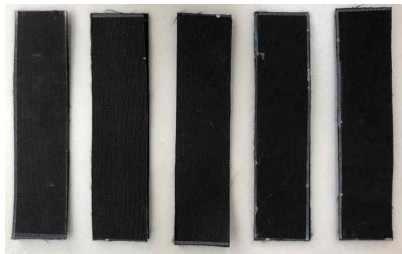
Fig. 2.14 후크형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

Table 2.6 루프형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

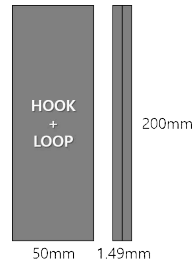
구분	길이(mm)	폭(mm)	두께(mm)	하중(kN)	응력(MPa)
WL-1	200	50	0.79	1.86	47.1
WL-2				1.87	47.3
WL-3				1.88	47.6
WL-4				1.81	45.8
WL-5				1.81	45.8
Average	-	-	-	1.85	46.6

⑥ 부착형(횡방향) 벨크로 시편의 인장성능 평가

- ▶ 고성능 벨크로 후크면과 루프면이 부착된 시편의 인장성능을 평가하기 위해 5개의 시편을 제작하였다.
- ▶ 각 면의 시편은 가로 50mm 세로 200mm로 설계되었으며, 평균 두께는 1.49mm로 확인하였다.
- ▶ 실험결과 고성능 벨크로 후크면의 인장하중은 평균 4.02kN이며, 응력은 평균 54.0MPa이다.



<벨크로(후크+루프형) 시편>



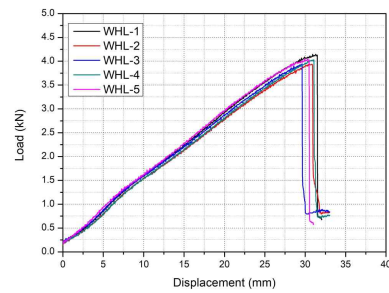
<시험편 규격>



<실험 후 파괴형상>



<시험전경>



<시험결과: 변위-하중그래프>

Fig. 2.15 부착형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

Table 2.7 부착형 고성능 벨크로 시편의 인장성능 평가

구분	길이(mm)	폭(mm)	두께(mm)	하중(kN)	응력(MPa)
WHL-1	200	50	0.70+0.79 =1.49	4.15	55.7
WHL-2				3.94	52.9
WHL-3				3.95	53.0
WHL-4				4.03	54.1
WHL-5				4.03	54.1
Average	-	-	-	4.02	54.0

⑦ 벨크로 보강재 인장실험 결과

- ▶ 후크와 루프 결합 시편이 주방향(경사방향)으로 실험한 평균 인장강도는 91.9MPa이며, 횡방향(위사방향)으로 실험한 경우 54MPa로 측정되었다.
- 경사방향과 위사방향의 인장강도는 약 1.7배 차이가 난다.

Table 2.8 벨크로 보강재 인장실험 결과

구분		길이(mm)	폭(mm)	평균두께(mm)	하중(kN)	응력(MPa)
주방향 (경사)	H00K	200	50	0.70	4.50	128.6
	L00P			0.79	3.17	80.3
	H00K+L00P			1.49	6.85	91.9
횡방향 (위사)	H00K			0.70	2.25	64.3
	L00P			0.79	1.85	46.6
	H00K+L00P			1.49	4.02	54.0

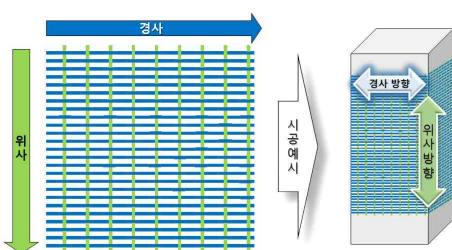
- ▶ 주방향(경사) 초기탄성계수와 횡방향(위사) 초기탄성계수는 약 2.4배 차이가 나며, 탄성계수는 크게 차이가 없다.
- 탄성계수는 변형율에 따른 응력의 비로, 응력-변형률 그래프에서 기울기를 의미한다.
- 초기탄성계수는 변형율 0%에서 5%까지의 응력을 도출하였으며, 탄성계수는 5%에서 25%의 응력을 도출하여 산출하였다.

Table 2.9 벨크로 보강재 초기탄성계수 및 탄성계수

구분	초기탄성계수(MPa)	탄성계수(MPa)
주방향(경사)	323.5	156.27
횡방향(위사)	136.0	134.69

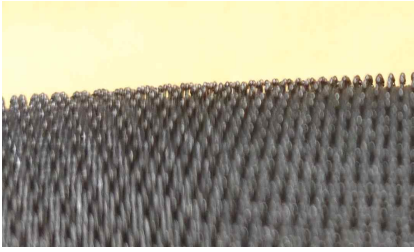
2.3 고성능 벨크로 제작 가이드라인 제안

벨크로는 방향성을 가짐으로써 구속력을 고려하여 경사방향으로 시공한다.



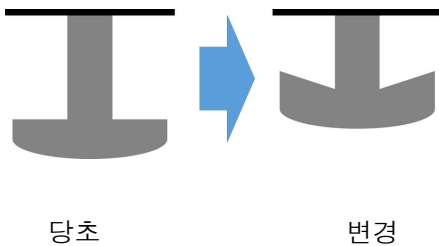
벨크로 원단의 단위 면적당 위사와 경사가 다르게 계획됨으로 인해 경사방향의 인장강도가 위사방향의 인장강도보다 더 높게 나타난다. 따라서 구속성능이 방향성을 가짐으로 경사방향이 주방향이 됨으로 시공 시 필요 구속 방향을 주방향과 동일하게 시공하여야 한다.

내진보강용 벨크로는 머쉬룸 형태의 후크를 사용한다.



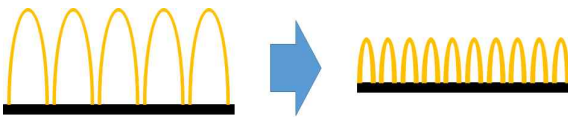
벨크로는 일상생활에서도 널리 사용되고 있지만 산업용으로도 사용되고 있다. 기모직 벨크로, 케이블 타이 벨크로 등이 있으며, 특수처리를 하여 그 성능을 강화한 방전처리 벨크로, 방염처리 벨크로 등이 있다. 본연구의 목적에 부합하는 벨크로는 수 벨크로의 돌기 끝이 둥근 형태인 머쉬룸 벨크로가 가장 적합하다.

후크의 각을 높이고 길이를 짧게 설계한다.



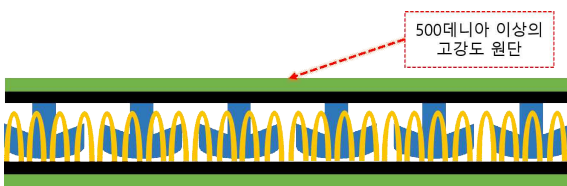
한국특수섬유에서 설계한 머쉬룸 벨크로를 바탕으로 후크의 각을 높이고, 이격거리를 감소시키기 위해 길이를 짧게 설계하여 루프와 부착 후 탈착 시 소요강도가 더 높도록 설계하였다. 또한, 후크 개수를 증가시켜 루프와 걸리는 확률을 증가할 수 있도록 하였으며, 후크의 길이를 감소시켜 이격거리를 감소하는 제작기법의 고려가 필요하다. 기존 벨크로는 부착과 탈착이 용이하지만 본 연구에 부합하는 벨크로는 부착 후 탈착이 어렵게 설계하는 것이 적합하다.

루프의 고리 길이를 짧고 굵게 설계하고, 단위면적당 개수를 충분히 확보하여 설계한다.



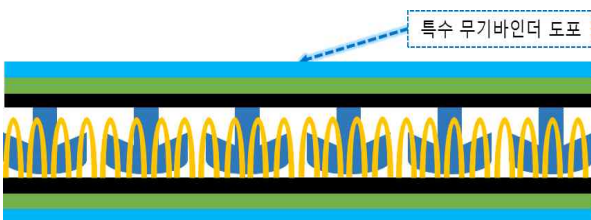
기존 벨크로의 루프의 단위면적당 개수를 증가시켜 후크가 루프에 걸리는 확률을 증가할 수 있게 설계하였다. 또한, 기존보다 굵게 제작하여 고리가 쉽게 끊어지지 않도록 설계하였다. 이격거리를 감소시키기 위해 길이를 짧게 설계하여야 한다.

고강도 원단을 벨크로 뒷면에 열접합하여 제작한다.



원사의 부족한 인장성능을 보완하기 위해 벨크로의 비접합면에 500 데니아 이상의 고강도 원사로 제작한 원단을 열접합하여 벨크로 보강재의 인장성능을 증가시켰다. 벨크로 보강재는 기본적으로 연성보강재이다.

내화도료를 벨크로 외부에 도포함으로 내화성능을 확보한다.



벨크로 보강재는 쉽게 불이 붙고, 내열특성이 매우 약하다. 특수무기바인더와 같은 내화도료를 시공된 벨크로 외부에 도포하는 공법으로 내화성능을 확보하여야 한다.

3.1 고성능 벨크로 내진보강재의 성능평가

- ▶ 벨크로 시제품의 성능 검사는 국내시험기관인 FITI 시험연구원에서 실시하였다.
- ▶ 시제품으로 제작된 벨크로 보강재의 성능평가는 인장 및 인장전단 강도(KS K 1309)를 측정하였다.
- 인장강도 실험은 인장속도 2.5mm/min으로 조작하였으며, 양끝을 5cm씩 클램프에 장착한 후 인장강도 실험을 하였다.
- KS K 1309(파스너 테이프)시험법은 길이 방향의 5cm간을 길이방향과 평행하게 붙인 후, 양 끝을 클램프에 장착하고, 인장속도 300mm/min으로 조작하여 분리될 때까지의 최대 인장 전단 하중을 측정한다.
- 시제품 개발을 위해 각 2종류의 후크(#1, #3)와 루프(#2, #4)를 개발하여 실험하였다.
- 각 후크와 루프의 인장강도를 측정하고, 각 후크와 루프를 조합하여 인장강도 및 인장전단 강도를 측정하였다. → (#1,#2) , (#1,#4) , (#3,#2) , (#3,#4)
- ▶ 시험 성적서의 각 결과 수치는 5개의 시편을 실험하며 평균값을 나타낸 것이다.
- ▶ 실험결과 #1와 #2의 인장강도와 전단인장강도의 성능이 본 연구의 목표치를 만족하였다.
- ▶ 따라서, #1의 후크와 #2의 루프를 벨크로 내진보강재로 선정하였다.
- 벨크로 보강재의 인장강도가 64.8MPa으로 나타남을 확인하였다.
- 벨크로 보강재의 인장전단강도가 61.2N/cm² (=0.612MPa)으로 나타남을 확인하였다.

Table 3.1 고성능 벨크로 내진보강재의 인장강도 및 인장전단강도

인장강도 (MPa)	인장전단강도 (N/cm ²)
64.8	61.2(=0.612MPa)

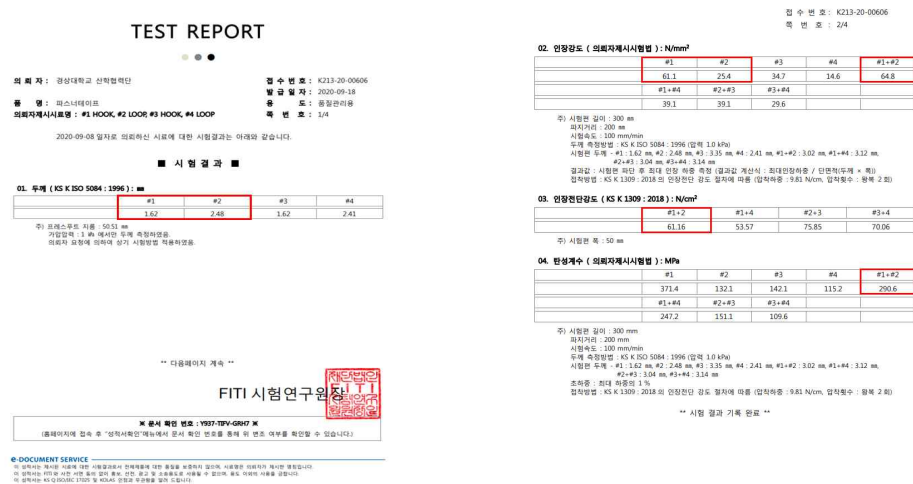


Fig. 3.1 성능평가 보고서



Fig. 3.2 고성능 벨크로 내진보강재의 성능 평가

3.2 고성능 벨크로 내진보강재의 내화성능평가

- ▶ 벨크로 시제품의 성능 검사는 국내시험기관인 FITI 시험연구원에서 실시하였다.
- ▶ 시제품으로 제작된 벨크로 보강재의 내화성능평가는 UL 94 HB(Horizontal Burning Test)시험법에 따라 수행하였다.
- UL 94 HB 시험법은 불꽃에 타들어가는 속도(연소속도)를 평가하는 시험법으로, 시편으로 수평방향으로 얹혀 불을 붙인 후 1분당 타들어가는 길이로 평가를 한다.
- ▶ 벨크로 보강재의 내화성능 목표치는 HF-1등급으로 HF-1등급이 나타남을 확인하였다.

Table 3.2 방염처리 된 시편 실험 결과

기준	#1(방염처리된 시편)				
노화 전	1	2	3	4	5
잔염시간(s)	0	0	0	0	0
잔진시간(s)	0	0	0	0	0
60mm 표선까지의 탄화여부	NO	NO	NO	NO	NO
탈지면의 연소여부	NO	NO	NO	NO	NO
판정	제시된 샘플은 UL94의 수평 연소성 측정법을 따른 상기 시험 결과에 따라 노화 전 조건에서 HF-1 등급을 만족함.				

Table 3.3 일반 시편 실험 결과

기준	#2(일반 시편)				
노화 전	1	2	3	4	5
불꽃의 25mm 표선에서의 도달여부(0/X)	0	0	0	0	0
25mm 표선 이후의 연소거리(mm)	100	100	100	100	100
25mm 표선 도달 이후의 연소거리(s)	159	137	155	151	143
연소속도(mm/min)	38	44	39	40	42
판정	제시된 샘플은 UL94의 수평 연소성 측정법을 따른 상기 시험 결과에 따라 노화 전 조건에서 HBF등급을 만족하지 않음.				

UL 플라스틱 시험 방법



4. UL 94 HB Test (Horizontal Burning Test)							
규격	UL 94						
시험 목적	수평 방향으로의 화염 전파 양상을 확인하는 것을 목적으로 화염 전파 속도를 측정하여 HB 등급을 부여함						
시편	Bar 시편 6개, 125 x 13 x 신장 두께(mm) (여러 색상 인증 등의 경우에는 옐리니와 상단)						
시험 방법	1. 시편의 길이 방향으로 한 쪽 끝에서부터 25mm, 100mm 거리에 마킹함 2. 시편의 한 쪽 끝에 불꽃을 30 초 동안 가하고, 불꽃이 25mm 마킹 표시를 지날 때부터 100mm 마킹선에 도착할 때까지의 시간을 측정하여 속도를 계산						
평가 기준	3.0 mm 이상 두께의 시편이 40mm/min 이하의 연소율을 가질 때, 3.0 mm 미만 두께의 시편이 75mm/min 이하의 연소율을 가질 때, HB 등급이 부여 UL 인증은 3.0 mm 두께 시편의 시험을 진행하여 합격할 경우, 1.5mm 부터 인증 등록이 가능 (cUL 은 적용 불가)						
	<table border="1"> <tr> <th>Thickness</th><th>Burning Rate</th></tr> <tr> <td>≥ 3.0 mm</td><td>< 40 mm/min.</td></tr> <tr> <td>< 3.0 mm</td><td>< 75 mm/min.</td></tr> </table>	Thickness	Burning Rate	≥ 3.0 mm	< 40 mm/min.	< 3.0 mm	< 75 mm/min.
Thickness	Burning Rate						
≥ 3.0 mm	< 40 mm/min.						
< 3.0 mm	< 75 mm/min.						
사진							

Fig. 3.3 UL94 - HB 난연Test

	처리 전	특수 무기바인더 도포
벨크로		
특성비교	쉽게 불이 붙고, 내열 특성이 매우 약하다.	직접 화염에 달아도 불이 붙지 않고, 내열 특성이 매우 강함.

Fig. 3.4 내진보강재의 내화성능평가

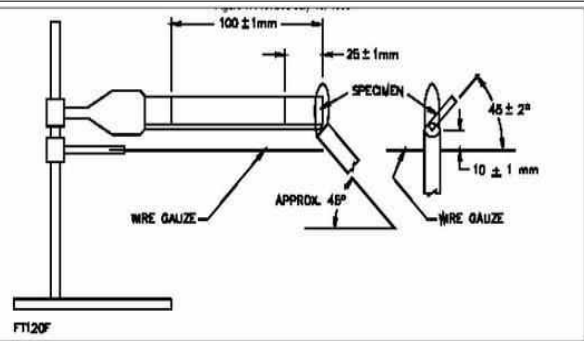


Fig. 3.5 UL94 - HB 난연Test

TEST REPORT

■ 시험 결과 ■

의뢰자 : 경상대학교 산학협력단
주소 : 경상남도 진주시 천주대로 501 (가좌동)

접수번호 : K270-20-00770

발급일자 : 2020-11-11

용도 : 물질관리용

판번호 : 1/2

의뢰자제시사항 : #1 방염처리된 HOOK, #2 일반 HOOK

2020-11-03 일자로 의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

** 다음페이지 계속 **

FITI 시험연구원

본 문서 보관 번호 : WUCD-N27M-PF21
(해제하지 않고 소·보급처(한국에너지기술연구원)에서 문서 확인 절차를 통해 위 번호 여부를 확인할 수 있습니다.)

01. 방화도 (UL 94 : 2013, HORIZONTAL BURNING FOAMED MATERIAL TEST)

노화 전	#1				
	1	2	3	4	5
관찰시간 (s)	0	0	0	0	0
관찰시간 (s)	0	0	0	0	0
60 mm 표선까지의 탄화여부	NO	NO	NO	NO	NO
발치면의 연소여부	NO	NO	NO	NO	NO
판정	제시된 샘플은 UL94의 수평 연소성 측정법을 따른 상기 시험 결과에 따라 노화 전 조건에서 HF-1 등급을 만족함.				

주) 의뢰자의 요청에 따라 제시상태에서만 시험하였음
전처리 조건 : (23 ± 2) °C, (50 ± 5) % RH에서 최소 48시간 방치
합격 기준
- 5 개중 4 개의 시험편의 관열 시간이 2 s 이하이며, 나머지 하나의 시험편의 관열 시간이 10 s 이하여야 한다.
- 각 시험편의 관열 시간이 30 s 이하여야 한다.
- 각 시험편의 탄화 거리가 60 mm 이하여야 한다.
- 추가로 HF-1 등급은 연소물의 낙하로 인한 발치면의 연소가 발생하지 않아야 한다.

02. 방화도 (UL 94 : 2013, HORIZONTAL BURNING FOAMED MATERIAL TEST)

노화 전	#2				
	1	2	3	4	5
불꽃의 25 mm 표선까지의 도달여부(O/X)	0	0	0	0	0
25 mm 표선 이후의 연소거리(mm)	100	100	100	100	100
25 mm 표선 도달 이후의 연소시간(s)	159	137	155	151	143
연소속도(mm/min)	38	44	39	40	42
판정	제시된 샘플은 UL94의 수평 연소성 측정법을 따른 상기 시험 결과에 따라 노화 전 조건에서 HB 등급을 만족하지 않음.				

주) 의뢰자의 요청에 따라 제시상태에서만 시험하였음.
전처리 조건 : (23 ± 2) °C, (50 ± 5) % RH에서 48 시간 방치
합격 기준 : 100 mm 의 거리에 걸쳐 40 mm/min 이상의 속도로 연소되는 어떠한 시험편도 존재하지 않거나, 각 시험편은 불꽃 또는 잔잔이 125 mm 표선에 도달하기 이전에 소멸되어야 한다.

** 시험 결과 기록 완료 **

Fig. 3.6 성능평가 보고서

2차년도 연구 수행 과정 및 수행 내용

4

고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가

4.1 고성능 벨크로 내진보강시스템

- ▶ 고성능 벨크로 내진보강시스템은 Fig. 4.1과 같이 **외부 보강재(Outer Reinforcement)**와 **내부 충전재 (Inner Filler)**로 구성된다. 벨크로 내진보강시스템의 내화 성능은 **내화도료**를 활용하여 확보하였다.

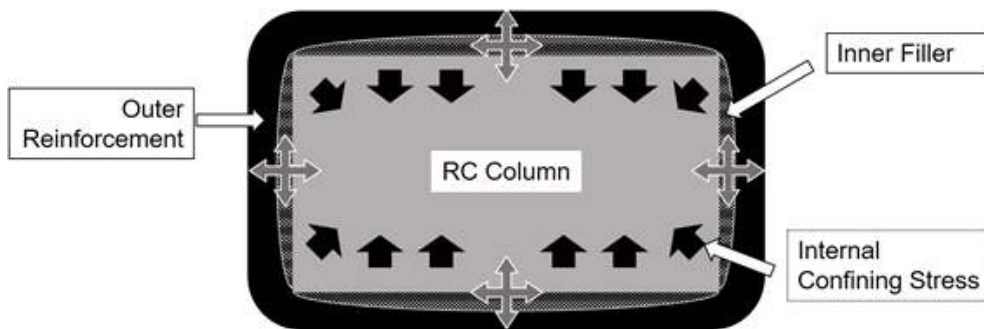


Fig. 4.1 고성능 벨크로 내진보강시스템 개념도

① 외부 보강재

- ▶ **외부 보강재**는 1차년도에 개발한 벨크로 내진보강재로 기존 산업용 벨크로의 인장 및 전단 성능을 향상 시키고 반영구적으로 사용할 수 있도록 개발하였다.(1차년도 연구 결과물)

② 내부 충전재

- ▶ **내부 충전재**는 발포성 우레탄을 사용하여 벨크로와 기둥의 콘크리트 면 사이의 공간을 채우고, 발포를 통해 기둥의 콘크리트 면에 구속력(**Internal Confining Stress**)이 발생할 수 있도록 설계하였다. 내부 충전재는 발포 후 약 10분 뒤 경화가 완료되며 반영구적으로 사용할 수 있도록 개발하였다.
- ▶ 내부 충전재는 주제와 경화제로 구성되어 있으며 배합비는 ‘주제 : 경화제 = 4 : 1’ 으로 설계하였다.
- ▶ 내부 충전재의 **팽창률은 평균 약 27%**로 측정되었으며, **압축강도는 평균 약 1MPa**로 측정되었다.
- ▶ 실험 결과는 Table 4.1과 같으며 팽창률 실험 사진은 Fig. 4.2와 같다.
- ▶ 내부 충전재의 응력-변형률 관계 그래프는 Fig. 4.3과 같다.

Table 4.1 충전재 실험 결과

배합비		팽창비				압축강도		
		초기 부피(ml)	발포 후 부피(ml)	팽창비율(%)		변형률	압축응력(MPa)	
4:1	1	340	430	26.47	27.45	0.190	0.99	1.00
	2		430	26.47		0.201	0.97	
	3		440	29.41		0.204	1.03	



Fig. 4.2 팽창률 실험

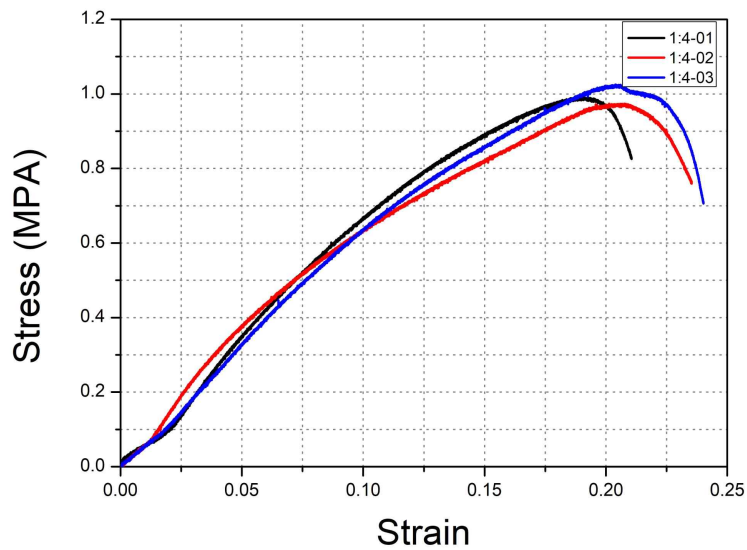


Fig. 4.3 내부 충전재 응력-변형률 관계 그래프

③ 내화도료

- ▶ 내화도료는 외부 보강재의 고성능 벨크로 내진보강시스템의 시공이 완료된 기둥의 표면에 도포하여, 화재로부터 외부 보강재(벨크로 내진보강재)를 보호하도록 설계하였다.
- ▶ 내화도료의 성능을 확인하기 위해 총 4가지의 변수(외부보강재의 내화성능실험, 내부 충전재의 내화성능실험, 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내화성능실험, 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내화도료 도포 후 내화성능실험)의 내화성능실험을 수행하였다.
- ▶ 시편과 10cm의 거리에서 토치를 사용하여 내화실험을 수행하였다.
- ▶ 내화도료는 총 3회 도포 하였으며, 도포 후 약 7일의 건조 후 내화실험을 수행하였다.
- ▶ 각 변수별 실험결과는 다음과 같다.

③-1 외부 보강재의 내화성능시험

- ▶ 외부 보강재에 직접 노출시켜 실험하였다.
- ▶ 실험 결과 노출 즉시 외부 보강재에 불이 붙었으며, 점차적으로 범위가 확장되었다.



(a) 노출 시작



(b) 노출 5초 경과



(c) 노출 30초 경과



(d) 노출 종료



(e) 노출 종료 10초 경과



(f) 노출 종료 30초 경과

Fig. 4.4 벨크로 내화성능 실험

③-2 내부 충전재의 내화성능실험

- ▶ 내부 충전재를 150x300의 원형 기둥으로 제작하여 시편을 제작하였다.
- ▶ 실험결과 내부 충전재의 표면이 녹아내림이 발생하였지만 불연성으로 나타났다.



(a) 노출 시작



(b) 노출 5초 경과



(c) 노출 30초 경과



(d) 노출 1분 경과



(e) 노출 2분 경과



(f) 노출 3분 경과



(g) 노출 종료



(h) 노출 종료 10초 경과

Fig. 4.5 충전재 내화성능 실험

③-3 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내화성능시험

- ▶ 내부 충전재는 150x300의 원형 기둥으로 제작하였으며, 외부 보강재로 내부 충전재 기둥을 감싸는 방식으로 시편을 제작하였다.
- ▶ 실험결과 외부보강재는 가열에 의해 불이 붙었으며, 내부 충전재는 흘러내림이 발생하였다.
- ▶ 가열 종료 후 불이 꺼지는 자연진화가 나타났다.



(a) 노출 시작



(b) 노출 5초 경과



(c) 노출 30초 경과



(d) 노출 1분 경과



(e) 노출 종료



(f) 노출 종료 10초 경과



(g) 노출 종료 30초 경과



(h) 노출 종료 2분 경과

Fig. 4.6 벨크로+충진재 내화성능 실험

③-4 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내화도로 도포 후 내화성능시험

- ▶ 내부 충전재는 150x300의 원형 기둥으로 제작하였으며, 외부 보강재로 내부 충전재 기둥을 감싸는 방식으로 시편을 제작하였다. 제작된 시편에 내화도료를 3회 도포하였으며 약 7일간 건조하였다.
- ▶ 실험결과 외부 보강재 표면에 그을림이 발생하였지만 가력 부위 외 부위에 불 번짐이 없었으며, 가열 종료 후 즉시 불이 진화되었다.



(a) 노출 시작



(b) 노출 5초 경과



(c) 노출 30초 경과



(d) 노출 1분 경과



(e) 노출 2분 경과



(f) 노출 3분 경과



(g) 노출 종료



(h) 노출 종료 10초 경과

Fig. 4.7 벨크로+충진재 내화성능 실험

③-5 내화실험 결과 및 내화도로 적용에 따른 벨크로 내진보강시스템의 비교·분석

- ▶ 외부보강재 시험체는 노출 5초 경과 시 연소하였으며, 노출이 종료된 후에도 연소 부위가 확장되었다.
- ▶ 내부충진재 시험체는 노출 3분까지도 연소하지 않았으며, 형태의 변형은 나타나지 않았다.
- ▶ 고성능 벨크로 내진보강 시스템 시험체는 노출 5초 경과 시 외부보강재가 연소를 시작하여 노출 종료시까지 연소하였다. 노출 종료 후 잔류 불꽃에 의해 연소가 지속되었으나 약 2분 후 잔류 불꽃이 사라졌다. 이는 내부충진재의 일부가 열에 의해 녹아 잔류불꽃의 연소를 막은 것으로 판단된다.
- ▶ 내화도로를 도포한 고성능 벨크로 내진보강시스템 시험체는 노출 시 가력에 의해 내화도로가 벗겨졌으며 내화도로가 다 벗겨진 부위에는 연소가 발생하였다. 노출이 종료되었을 때에는 잔류불꽃이 바로 꺼지면서 연소도 종료되었다.
- ▶ 본 연구를 통해 우레탄 충진재와 내화도로를 도포한 벨크로의 내화성능이 우수함을 확인 할 수있었으며, 추후 벨크로 내진보강시스템을 시공한 실제 기둥 구조물에 내화도로를 도포하여 내화성능실험을 수행할 필요가 있음을 확인하였다.

4.2 고성능 벨크로 내진보강시스템 내진성능평가

- ▶ 고성능 벨크로 내진보강시스템의 성능을 평가하기 위해 실험실 단위에서의 준실대형 기둥을 제작하여 부재단위 실험연구를 수행하였다.

① 부재실험-고성능 벨크로 내진보강시스템의 성능 실험 연구

①-1 시편 설계

- ▶ 부재실험은 기존 학교 건물의 RC 기둥을 실험실의 용량을 고려하여 실제와 가깝게 스케일 다운하여 제작하였다. 실험 변수로 비보강 기둥 시험체, 벨크로 보강 기둥 시험체, 고성능 벨크로 내진보강시스템 보강 기둥 시험체, CFRP 시트 보강 시험체가 있다. 각 변수별 시험체 이름은 Table 4.2과 같다. 시험체는 Table 4.3과 같이 스케일 다운하여 설계하였다.

Table 4.2 시험체 이름 및 변수 설계

시험체 이름	시편 변수 설계 내용	시험체 개수
Normal	보강을 하지 않은 비내진 기둥 시험체	2
Vel	Normal에 벨크로 외부보강재로만 보강한 기둥 시험체	2
VF	Vel에 우레탄 내부충진재로 보강한 기둥 시험체	2
CFRP	Normal에 CFRP 시트로 보강한 기둥 시험체	2

- ▶ 기둥 실험체의 길이는 1000mm이고 단면은 300x380mm이다. 기둥 실험체의 상단 끝에는 400x380x400mm의 블록이 연결되어 있으며, 하단 끝에는 900x980x640mm의 기초가 연결되어 있다. 설계 콘크리트 강도는 24Mpa이며, 실험 결과 콘크리트의 28일 압축강도가 평균 약 25.78MPa으로 측정되었다.

①-2 보강 설계

- ▶ 보강 위치는 Fig. 4.9와 같이 기둥의 하단 기초로부터 50mm 높이에서 1층과 2층으로 나누어 총 800mm만큼 높이(1층 410mm, 2층 410mm, 겹침길이 20mm)의 면적에 보강한다.
- ▶ 우레탄 내부 충진재를 사용하는 시험체(VF)에는 1층의 외부 보강재 부착 후 내부 충진재를 주입 후 10분정도 경화시킨 다음 2층 보강을 동일하게 실시한다. 우레탄 충진재는 약 20분간 화학적 작용을 통해 팽창하며 1시간 경과 시 경화가 완료된다.
- ▶ CFRP 시트 보강의 경우 각 층에 4겹씩 보강한다. CFRP 보강의 경우 접착제가 충분히 건조 및 경화되어야 내진성능이 충분히 발현되므로 7일간 건조하였다.

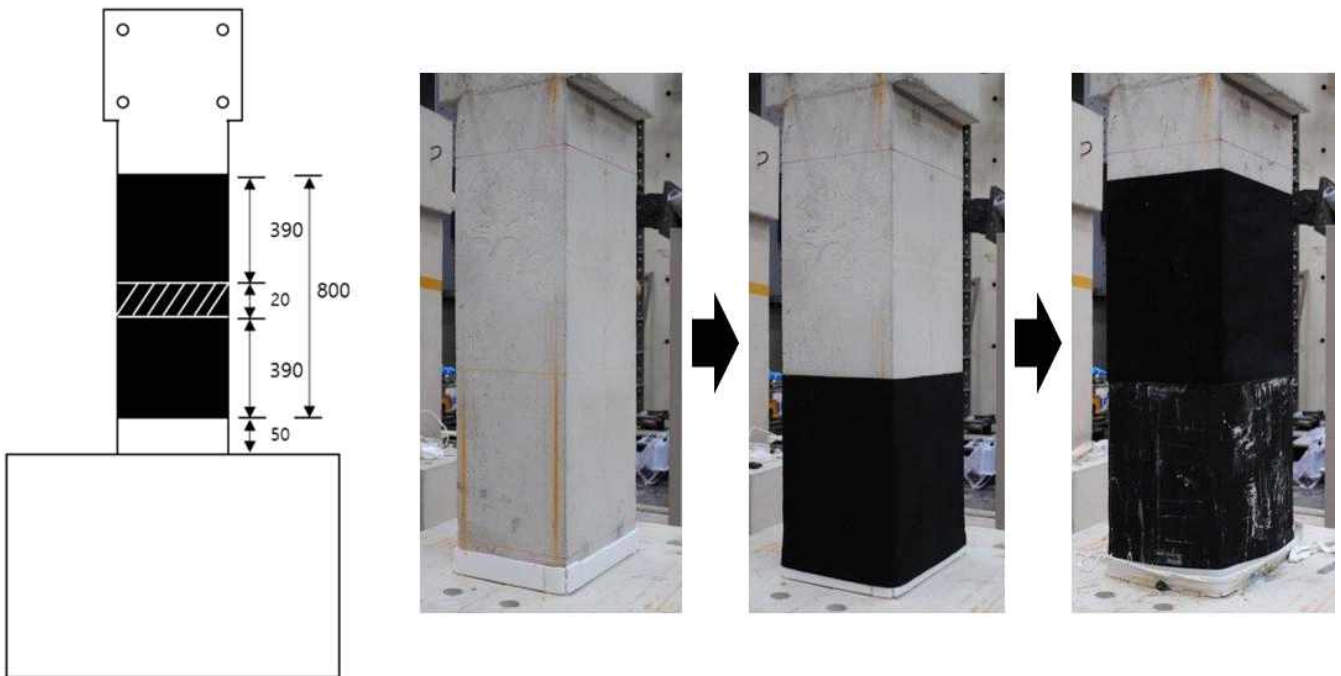


Fig. 4.9 보강 개념도(단위:mm)

①-3 가력 계획

- ▶ 축력은 단면력의 10%만큼 가력하였으며, 횡방향 가력은 변위제어를 통해 Fig. 4.10과 같이 변위비(Drift Ratio)가 1%일때의 발생 변위인 12mm를 기준으로 6mm, 12mm, 24mm, 36mm, 48mm, 60mm, 72mm, 84mm, 96mm, 108mm, 120mm으로 설정하여 횡방향 하중을 반복 가력하는 준정적 실험을 수행하였다. 각 변위당 2회씩 반복 가력하였다.

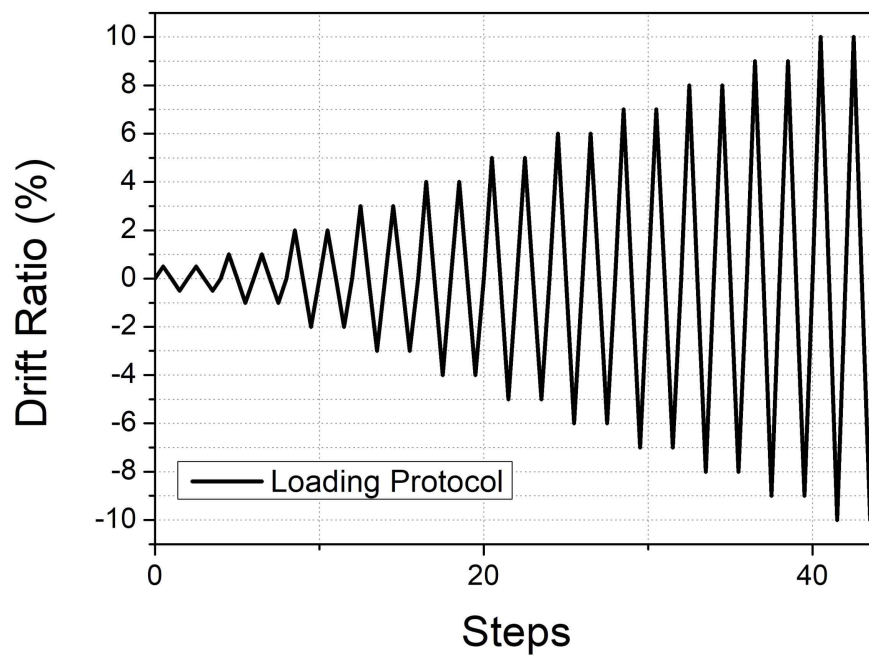


Fig. 4.10 가력 계획

①-4 실험 세팅 설계

▶ 실험 세팅은 Fig. 4.11과 같으며, 가력은 1000kN 용량의 액츄에이터를 사용하였다.

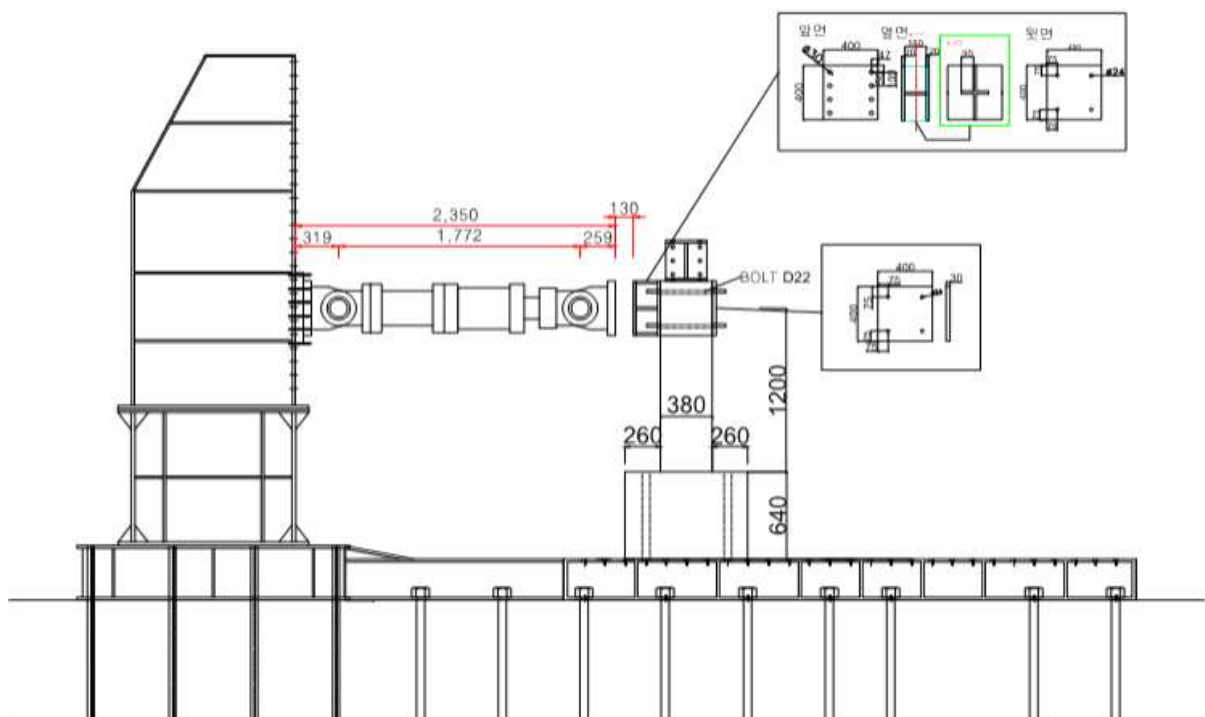


Fig. 4.11 시험체 설치 상세

①-5 실험 결과

► Normal-1

* Normal-1의 +방향 최대강도는 157.06kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 23.93mm이다.

* Normal-1의 -방향 최대 강도는 151.76kN이며, 최대 강도 발생 변위는 23.90mm이다.

* Normal-1의 철근의 항복 강도는 143.62kN이며, 항복 변위는 15.16mm이다.

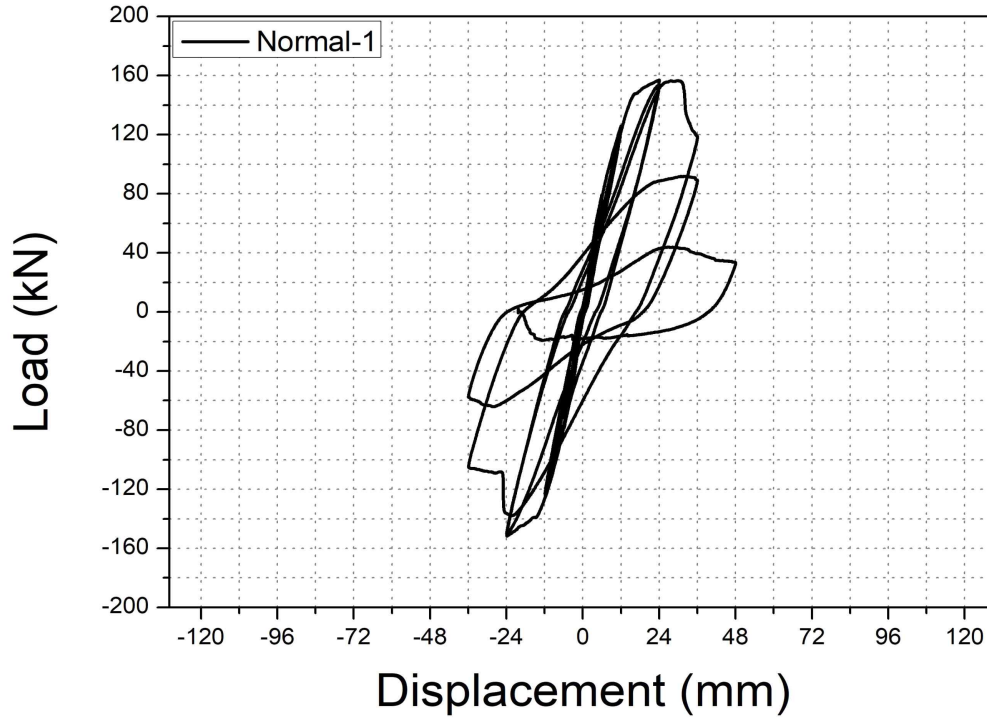


Fig. 4.12 Normal-1의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.4 Normal-1 실험 결과

Drift ratio (%)	1 st Cycle*		2 nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.5	5.95	79.07	6.01	78.19
-0.5	-5.97	-78.87	-5.92	-77.11
1	11.98	125.76	12.01	123.41
-1	-11.92	-126.06	-11.95	-123.12
2	<u>23.93</u>	<u>157.06</u>	23.96	153.72
-2	<u>-23.90</u>	<u>-151.76</u>	-23.88	-150.19
3	27.59	156.57	31.84	91.82
-3	-22.07	-137.93	-28.05	-64.06
4	26.86	44.05	-	-
-4	-12.68	-19.33	-	-

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

► Normal-2

- * Normal-2의 +방향 최대강도는 160.79kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 32.60mm이다.
- * Normal-2의 -방향 최대 강도는 150.78kN이며, 최대 강도 발생 변위는 23.08mm이다.
- * Normal-2의 철근의 항복 강도는 -150.58kN이며, 항복 변위는 -23.16mm이다.

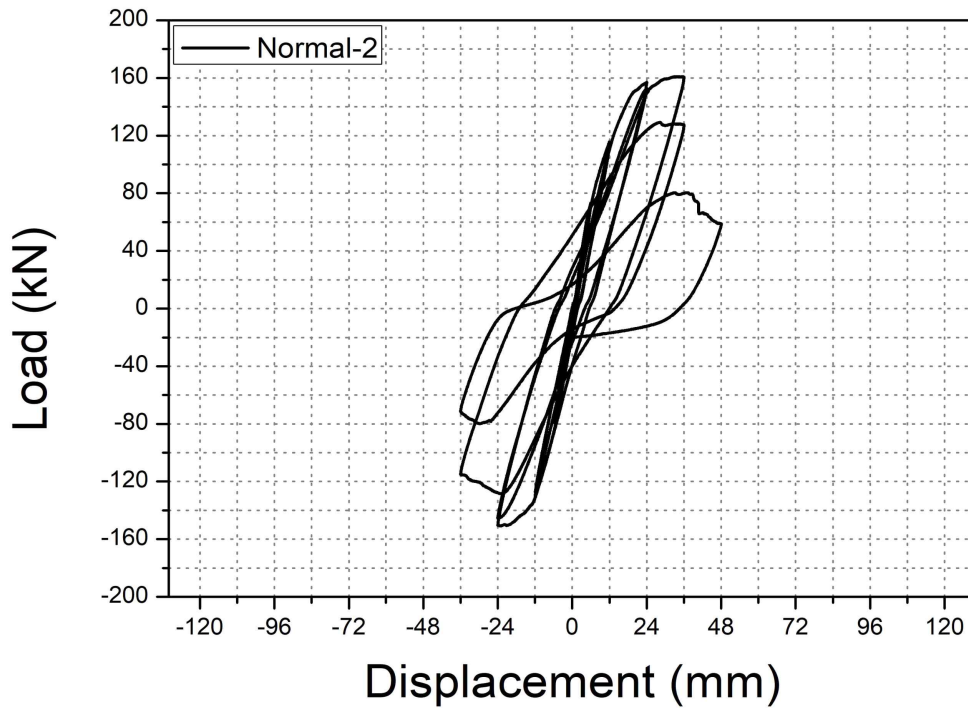


Fig. 4.13 Normal-2의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.5 Normal-2 실험 결과

Drift ratio (%)	1 st Cycle*		2 nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.5	5.99	73.38	6.00	72.01
-0.5	-5.94	-79.17	-5.94	-78.58
1	11.99	115.66	11.99	112.13
-1	-11.94	-130.08	-11.96	-127.33
2	23.95	156.86	24.01	152.74
-2	<u>-23.08</u>	<u>-150.78</u>	-23.89	-145.68
3	<u>32.60</u>	<u>160.79</u>	28.27	129.20
-3	-22.63	-128.41	-29.49	-79.76
4	33.01	80.44	-	-
-4	-0.50	-20.31	-	-

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

▶ Vel-1

- * Vel-1의 +방향 최대강도는 162.26kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 23.64mm이다.
- * Vel-1의 -방향 최대 강도는 151.17kN이며, 최대 강도 발생 변위는 23.93mm이다.
- * Vel-1의 철근의 항복 강도는 148.52kN이며, 항복 변위는 15.23mm이다.

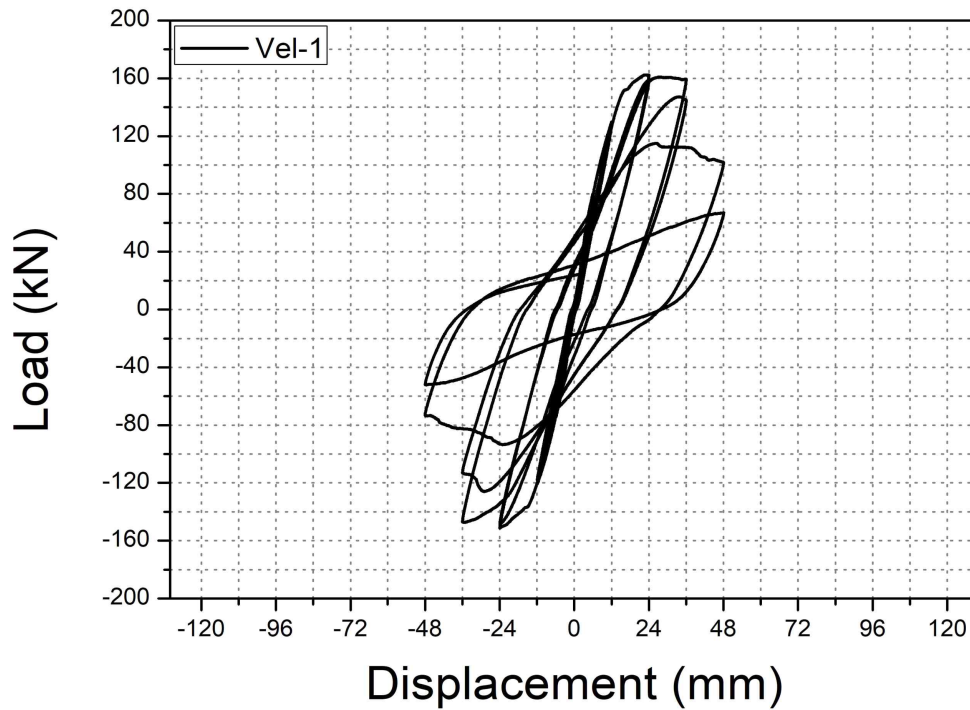


Fig. 4.14 Vel-1의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.6 Vel-1 실험 결과

Drift ratio (%)	1 st Cycle*		2 nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.5	5.96	80.15	5.97	79.17
-0.5	-5.97	-74.95	-5.97	-73.38
1	11.98	129.69	11.98	127.43
-1	-11.97	-120.86	-11.96	-117.92
2	<u>22.64</u>	<u>162.26</u>	23.94	158.73
-2	<u>-23.93</u>	<u>-151.17</u>	-23.91	-148.43
3	26.95	160.79	33.6	147.25
-3	-35.09	-147.35	-28.84	-125.96
4	26.2	115.07	47.87	66.90
-4	-22.97	-93.59	-47.49	-52.19

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

▶ Vel-2

- * Vel-2의 +방향 최대강도는 160.49kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 21.93mm이다.
- * Vel-2의 -방향 최대 강도는 154.80kN이며, 최대 강도 발생 변위는 23.87mm이다.
- * Vel-2의 철근의 항복 강도는 126.16kN이며, 항복 변위는 10.84mm이다.

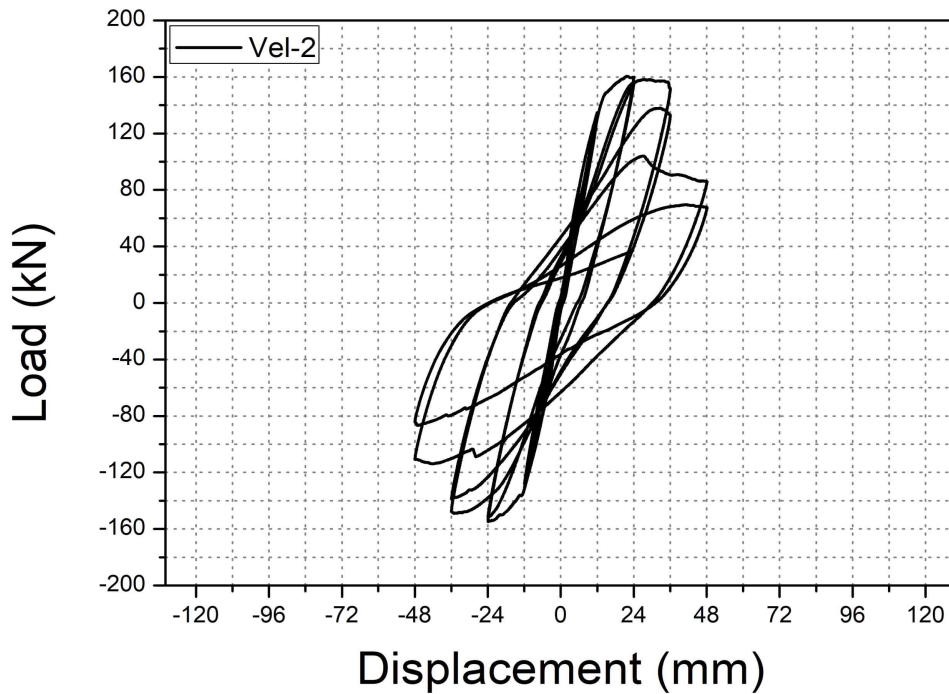


Fig. 4.15 Vel-2의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.7 Vel-2 실험 결과

Drift ratio (%)	1 st Cycle*		2 nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.5	5.97	81.82	5.98	81.32
-0.5	-5.98	-79.26	-5.98	-77.70
1	11.97	134.59	11.98	131.85
-1	-11.96	-131.16	-11.96	-128.02
2	21.93	160.49	23.88	156.18
-2	-23.87	-154.80	-23.89	-151.86
3	27.43	158.24	32.27	137.83
-3	-35.05	-148.92	-35.92	-138.81
4	26.94	104.08	41.28	69.65
-4	-42.09	-113.89	-46.94	-86.72

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

▶ VF-1

- * VF-1의 +방향 최대강도는 153.04kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 32.90mm이다.
- * VF-1의 -방향 최대 강도는 164.12kN이며, 최대 강도 발생 변위는 35.91mm이다.
- * VF-1의 철근의 항복 강도는 146.27kN이며, 항복 변위는 19.35mm이다.

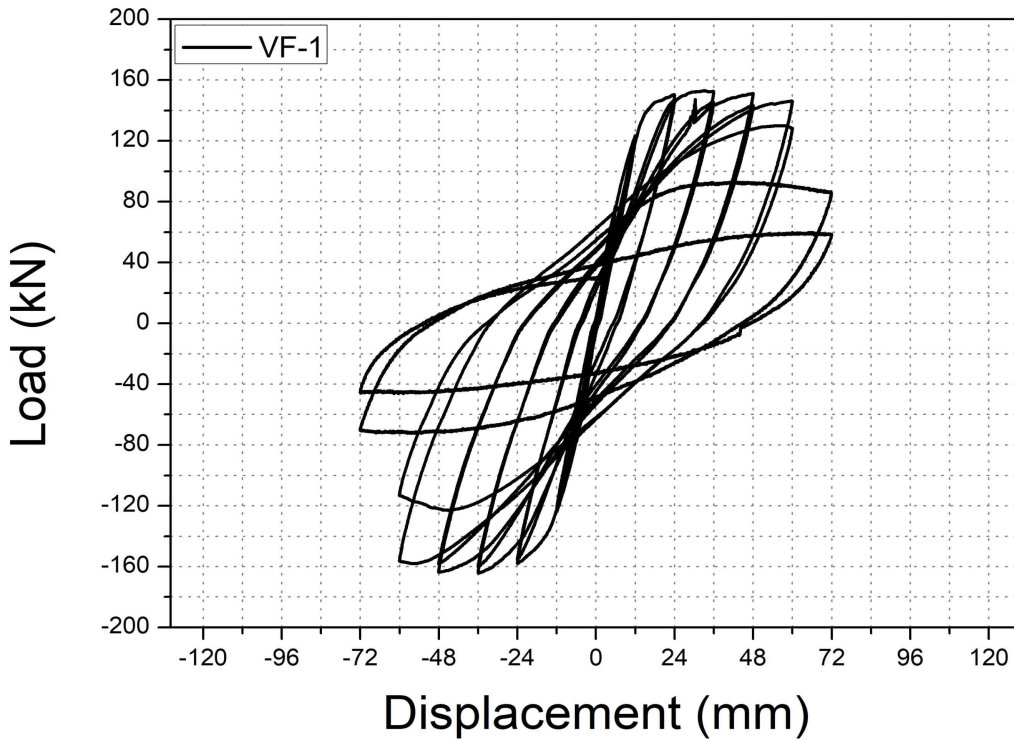


Fig. 4.16 VF-1의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.8 VF-1 실험 결과

Drift ratio (%)	1 st Cycle*		2 nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.6	5.95	76.91	5.94	75.93
-0.6	-6	-77.70	-6.02	-76.32
1	11.95	123.51	11.94	120.47
-1	-11.99	-123.80	-11.99	-121.15
2	23.93	150.58	23.91	146.76
-2	-23.97	-157.94	-24.02	-155.59
3	<u>32.90</u>	<u>153.04</u>	35.51	145.48
-3	<u>-35.91</u>	<u>-164.12</u>	-36.03	-160.30
4	47.88	151.17	47.79	143.42
-4	-47.91	-163.63	-48.01	-158.33
5	59.75	146.27	54.8	129.98
-5	-55.23	-158.04	-45.31	-123.02
6	42.64875	93.03	65.1848	59.91
-6	-53.371	-72.45	-58.7811	-46.14

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

▶ VF-2

- * VF-2의 +방향 최대강도는 159.28kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 23.45mm이다.
- * VF-2의 -방향 최대 강도는 159.31kN이며, 최대 강도 발생 변위는 23.84mm이다.
- * VF-2의 철근의 항복 강도는 -145.87kN이며, 항복 변위는 -25.77mm이다.

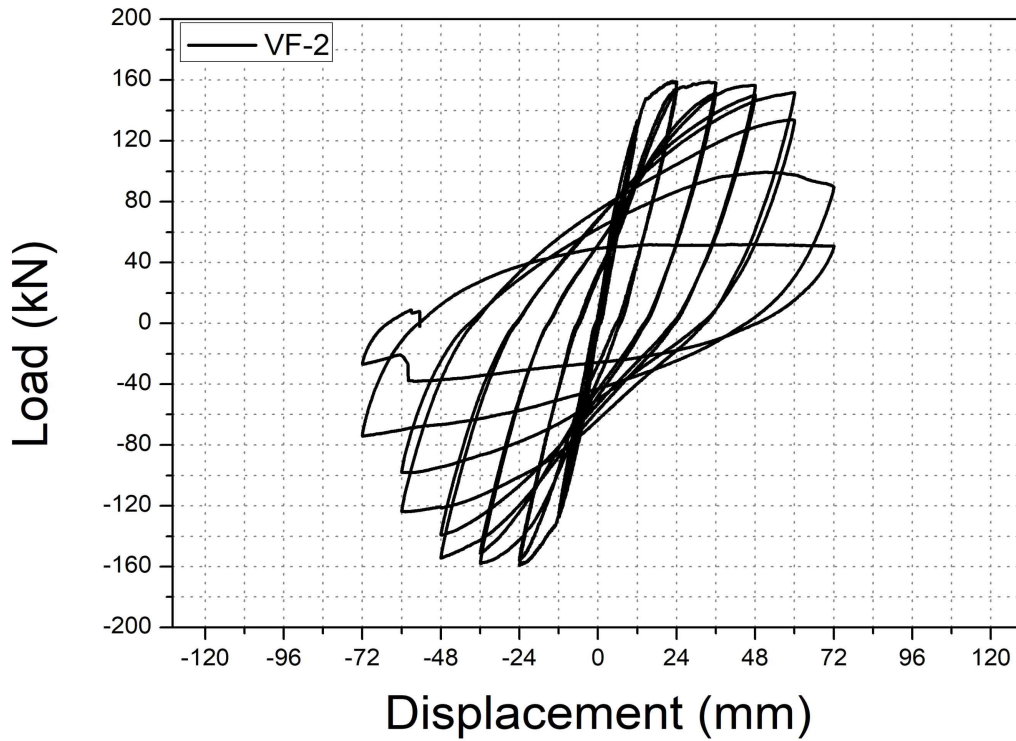


Fig. 4.17 VF-2의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.9 VF-2 실험 결과

Drift ratio (%)	1 st Cycle*		2 nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.6	5.97	84.66	5.98	83.78
-0.6	-5.97	-78.68	-5.98	-76.71
1	12.00738	133.38	11.92953	130.80
-1	-11.91	-127.49	-11.9781	-124.91
2	23.45	159.28	-23.2654	-154.50
-2	-23.84	-159.31	-23.9465	-155.94
3	33.37	158.63	35.94	151.86
-3	-35.83	-157.94	-35.91	-151.27
4	47.07	156.67	47.98	150.29
-4	-47.93	-154.41	-47.83	-139.30
5	59.86	151.96	59.19	133.91
-5	-58.27	-123.90	-59.89	-98.20
6	51.38	99.47	40.31	51.99
-6	-71.84	-74.07	-56.16	-38.16

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

► CFRP-1

- * CFRP-1의 +방향 최대강도는 168.73kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 48.00mm이다.
- * CFRP-1의 -방향 최대 강도는 171.58kN이며, 최대 강도 발생 변위는 59.98mm이다.
- * CFRP-1의 철근의 항복 강도는 -127.14kN이며, 항복 변위는 -13.26mm이다.

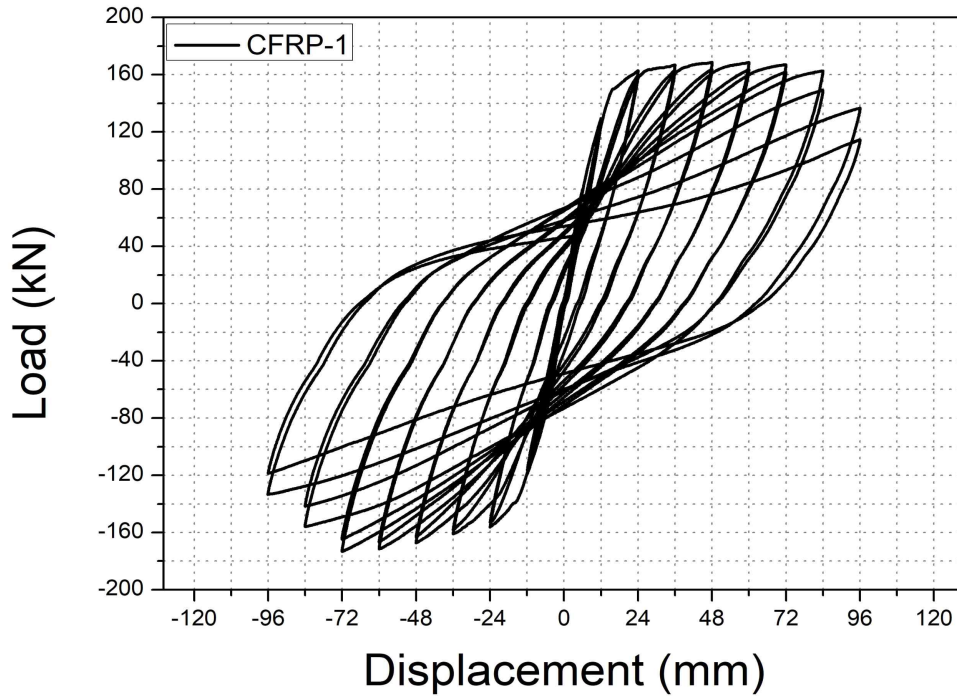


Fig. 4.18 CFRP-1의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.10 CFRP-1 실험 결과

Drift ratio (%)	1 st Cycle*		2 nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.6	5.97	79.85	5.96	78.68
-0.6	-5.97	-78.09	-5.98	-76.81
1	11.97	129.49	11.98	125.96
-1	-11.96	-119.09	-11.95	-116.44
2	23.96	162.85	23.99	159.41
-2	-23.97	-156.18	-23.97	-152.94
3	35.82	166.77	35.9	162.85
-3	-35.94	-161.08	-35.97	-158.24
4	<u>48.00</u>	<u>168.73</u>	47.99	163.73
-4	-48.00	-167.26	-47.98	-163.14
5	59.81	168.63	59.88	163.53
-5	<u>-59.98</u>	<u>-171.58</u>	-59.92	-166.67
6	71.79	167.06	71.92	161.96
-6	-72.02	-173.24	-71.94	-164.71
7	83.74	162.55	83.8	149.21
-7	-83.88	-155.88	-83.98	-141.66

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

▶ CFRP-2

- * CFRP-2의 +방향 최대강도는 160.39kN 이며, 최대 강도 발생 변위는 59.88mm이다.
- * CFRP-2의 -방향 최대 강도는 186.88kN이며, 최대 강도 발생 변위는 59.87mm이다.
- * CFRP-2의 철근의 항복 강도는 -162.26kN이며, 항복 변위는 -23.80mm이다.

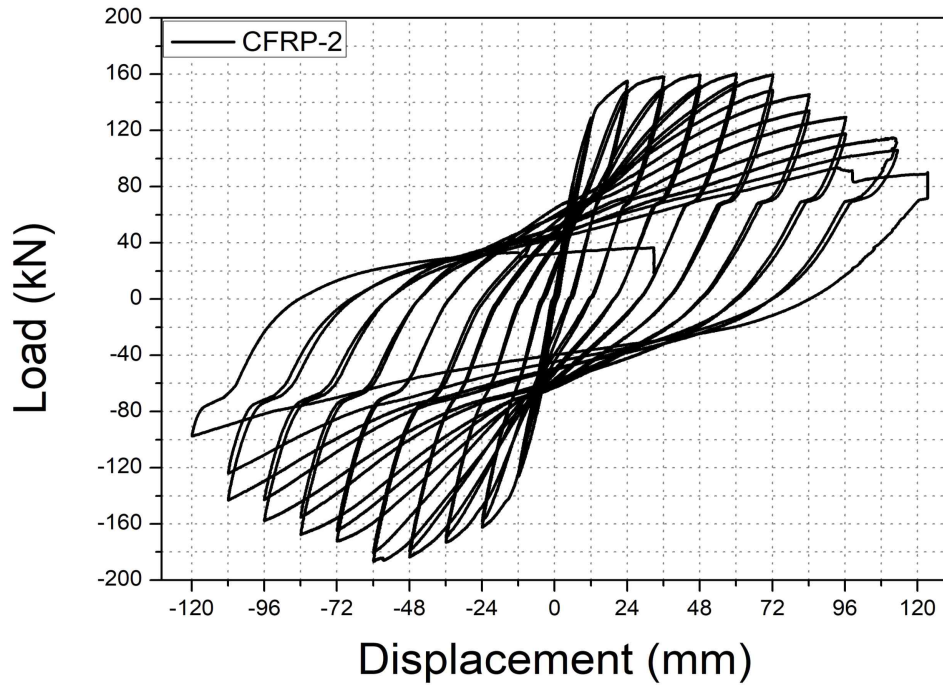


Fig. 4.19 CFRP-2의 하중-변위 관계 그래프

Table 4.11 CFRP-2 실험 결과

Drift ratio (%)	1st Cycle*		2nd Cycle*	
	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)	Displacement at Max Load (mm)	Max Load (kN)
0.6	6.07	82.50	5.96	82.01
-0.6	-5.98	-82.01	-5.94	-80.44
1	12.09	129.10	12.15	126.35
-1	-11.91	-126.35	-11.94	-123.51
2	23.91	155.10	24.12	148.72
-2	-23.84	-162.36	-23.94	-158.04
3	35.52	158.33	36.22	150.78
-3	-35.88	-173.15	-35.94	-169.91
4	47.38	159.71	48.2	151.96
-4	-47.87	-183.45	-47.94	-179.33
5	59.88	160.39	60.16	154.31
-5	-59.87	-186.88	-59.94	-180.70
6	72.15	159.90	72.1	148.82
-6	-71.84	-172.36	-71.82	-164.81
7	84.23	145.78	84.2	134.10
-7	-83.88	-167.55	-83.97	-155.39
8	96.03	129.59	95.75	117.82
-8	-95.85	-157.84	-95.98	-142.83
9	111.59	114.97	113.26	106.05
-9	-107.82	-143.03	-107.73	-124.00
10	111.59	114.97	113.26	106.05
-10	-107.82	-143.03	-107.73	-124.00

* 1st Cycle: 첫번째 가력변위 사이클, 2nd Cycle: 두번째 가력변위 사이클

▶ 이력곡선

- * Normal에 대한 Vel 그리고 VF의 강도보강효과는 약 1~2% 정도로 매우 작게 나타났다.
- * Normal에 대한 Vel의 최대 변위비는 동일하게 나타났으며, VF는 67%로 나타났다.
- * Normal에 대한 CFRP의 최대강도 보강효과는 11%, 연성 보강효과는 167%으로 나타났다.

→ Vel와 VF는 강도 보강효과는 거의 나타나지 않으며, 우레탄 충진을 통해 연성보강 효과가 증가됨을 알 수 있다. CFRP의 경우 강도 보강 효과가 11%이며, 연성 보강효과 또한 167%으로 Vel과 VF보다 보강효과가 크게 나타났다.

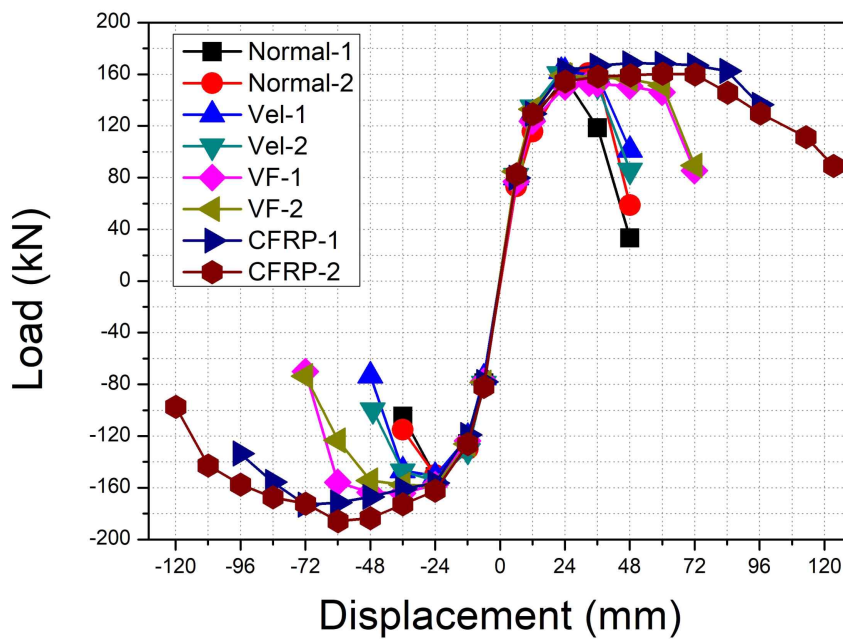


Fig. 4.20 이력 곡선

Table 4.12 최대강도 및 변위비 (절댓값)

시편 이름		최대강도-강도보강 효과 (kN)				최대 변위비-연성보강 효과 (%)			
		+ 방향	- 방향	평균	비율	+ 방향	- 방향	평균	비율
Normal	1	157.06	151.76	155.10	1.00	3	3	3	1.00
		평균: 154.41							
	2	160.79	150.78			3	3		
		평균: 155.79							
Vel	1	162.26	151.17	157.18	1.01	3	3	3	1.00
		평균: 156.72							
	2	160.49	154.80			3	3		
		평균: 157.65							
VF	1	153.04	164.12	158.94	1.02	5	5	5	1.67
		평균: 158.58							
	2	159.28	159.31			5	5		
		평균: 159.30							
CFRP	1	168.73	171.58	171.90	1.11	-	-	8	2.67
		평균: 170.16							
	2	160.39	186.88			8	8		
		평균: 173.64							

*최대 변위비: 최대강도 발현 후 80%이상 강도를 유지한 최대 변위비

4.3 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진보강 효과

- ▶ RC 기둥의 에너지소산은 각 변위비 사이클 당 폐합된 이력곡선의 면적이며, 누적 에너지소산은 각 변위비 사이클 당 에너지소산의 총 누적이다.
- ▶ Normal의 평균 누적 에너지 소산 능력은 11,877.82 kN · mm이다.
- ▶ Vel의 누적 에너지 소산 능력은 18,124.76 kN · mm이며, Normal 대비 50%의 내진보강 효과가 있다.
- ▶ VF의 누적 에너지 소산 능력은 43,513.93 kN · mm이며, Normal 대비 270%의 내진보강 효과가 있다.
- ▶ CFRP의 누적 에너지 소산 능력은 98,443.79 kN · mm이며, Normal 대비 730%의 내진보강 효과가 있다.

Table 4.13 에너지 소산 능력 및 누적 에너지 소산 능력

시험체 이름	누적 에너지소산 능력(kN·mm)		
	Each	Average	Ratio
Normal-1	12,069.27	11,877.82	1.0
Normal-2	11,686.36		
Vel-1	17,748.98	18,124.76	1.5
Vel-2	18,500.54		
VF-1	41,875.29	43,514.93	3.7
VF-2	45,154.57		
CFRP-1	84,770.77	98,443.79	8.3
CFRP-2	112,116.8		

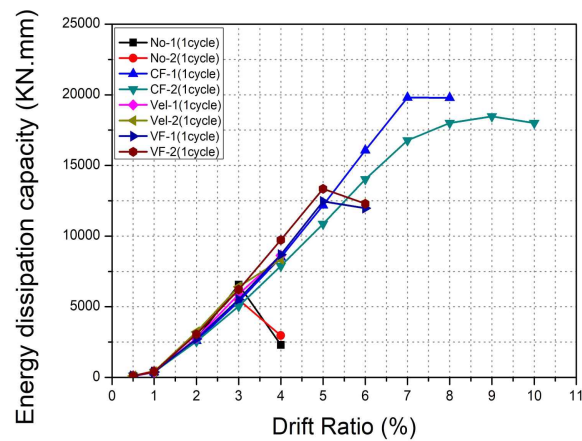


Fig. 4.21 에너지 소산 능력

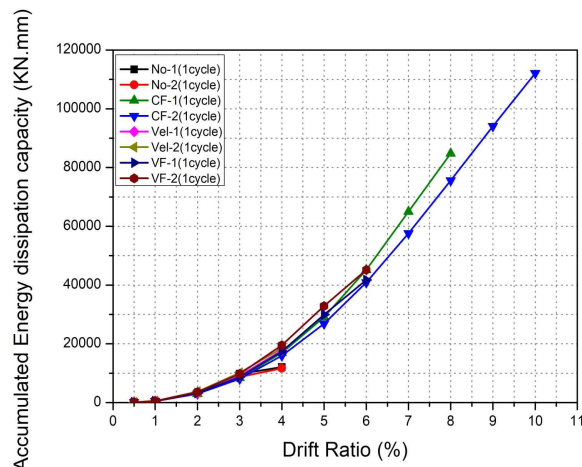


Fig. 4.22 누적에너지 소산 능력

5.1 적용대상 대표구조물에 대한 현장적용성 평가

① 현장 적용성 평가

- ▶ 현장 적용성 평가를 위해 실제 콘크리트 구조물 건설 현장에 고성능 벨크로 내진보강시스템을 시공하여 현장 적용성 평가를 실시하였다.
- ▶ 고성능 벨크로 내진보강시스템의 현장 적용 전과 후는 Fig. 5.1과 같다.
- ▶ 시공성 평가 결과를 Table 5.1에 정리하였다.



Fig. 5.1 시험시공 기둥 형상

Table 5.1 시공성 평가표

장점	보완
■ 적은 인원으로 시공이 가능 ■ 급속 시공 및 재시공이 가능(1일) ■ 보강 공법이 간편함. ■ 보강 시 필요한 품목이 적음.	■ 충전재 주입 시 기둥 상부에 작업공간 협소 ■ 각 면의 보강 면적 불일치로 인한 충전재 주입 시 주입량이 평등하게 주입되는 것이 어려움.

② 경제성 평가

단면 0.5m×0.5m의 사각기둥을 높이 2m 만큼 동일한 면적에 보강을 수행하였을 때 기존 보강 공법(바잘트 섬유시트 보강공법, 고연성 하이브리드 섬유시트 보강공법)과 벨크로 내진보강시스템의 일위 대가목록을 작성하고 비교를 통해 경제성을 분석하였다. 바잘트 섬유보강공법 대비 벨크로 내진보강 공법은 **34%**의 비용 절감을 할 수 있었으며, 고연성 하이브리드 섬유시트공법은 **23%**의 비용 절감을 할 수 있었다.

Table 5.2 보강재에 따른 보강 비용 및 비용 절감 효과

	벨크로 내진보강공법	하이테크 공법	고연성 하이브리드 섬유시트 보강공법
보강 비용(원)	383,935	588,305	500,490
차액(원)	0	199,370	116,555
비용 절감 효과*	0%	34%	23%

비용 절감 효과*=((기존 보강 공법 비용 - 벨크로 내진보강공법 비용)/기존 보강 공법 비용)×100

보강 기둥 면적 결정 시 기둥 상부에 충분한 작업공간 확보



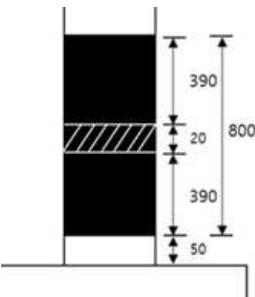
기둥 보강 면적 결정 시 우레탄 충전재 주입을 위한 작업 공간을 고려하여야 한다. 우레탄 충전재 주입시 콘크리트 벽과 벨크로 사이에 부어 주입하는 방식이므로 상부 공간이 충분히 확보되지 않는다면 우레탄 주입이 어렵다. 우레탄 충전재 전용 토출기 개발이 필요하다.

보강 시 기둥 하부에 충전재의 흘러내림 방지를 위한 우드락 보드 설치



우레탄 충전재 주입 시 보강 면적 하부에 우드락 보드를 설치하여 흘러내리는 것을 방지하여야 한다. 또한 우레탄 팽창 발생시에도 부피 증가로 인한 흘러내림이 발생 할 수 있으니 주의하여 시공하여야 한다.

일정 높이만큼의 분할 보강 수행



기둥 보강 설계 시 기둥 보강 면적이 넓거나 높게 설계되면 시공자의 작업성이 떨어지므로 400mm정도의 적정 높이로 분할하여 시공하는 것이 시공성에 유리하다. 분할 시공 시 20mm 정도의 충분한 겹침이음 길이를 확보하여야 한다.

목표 충전 두께만큼 스페이서를 활용한 주입 공간 확보



충전재 주입의 작업성을 위해 우레탄 충전재로 목표 충전 두께만큼 스페이서를 제작하여 사용하면 유리하다. 경화된 스페이서는 새로 주입한 충전재의 경화시 발생하는 열로 인해 용해 후 재 결화가 발생하여 일체화 된다.

팽창률을 고려한 우레탄 충전재 주입량 결정



충전재 주입시 팽창에 의한 부피 증가를 고려하여야 한다. 팽창에 의한 부피 증가를 고려하지 않게 되면 보강 면적 상·하단에서 충전재의 흘러내림이 발생 할 수 있다. 따라서 팽창률에 따른 적정 주입량을 결정하여야 한다.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

최종 연구 목표: 긴급시공이 가능한 보급형 고성능 벨크로 내진보강 시스템 개발

○ 1차년도(2020년도): 고성능 벨크로 내진보강재 개발

- 구속성능이 향상된 벨크로 내진 보강재 개발
 - * 인장강도 40MPa 이상의 벨크로 내진보강재 개발: 64.8MPa 달성
 - * 전단강도 40N/cm² 이상의 벨크로 내진보강재 개발: 61.2N/cm² 달성
- 내화성능이 우수한 벨크로 내진보강재 개발
 - * HF-1의 내화지수 등급 확보: HF-1 달성

○ 2차년도(2021년도): 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가

- 고성능 벨크로 내진보강시스템 개발
 - * 고성능 벨크로 내진보강 시스템 성능 평가 수행: 실험 변수 4가지/2가지, 변수별 시험체 수 2개/2개
 - * 비내진 기둥의 누적에너지소산능력의 20% 이상 증가: 270%/20%
 - * 현장시공을 통한 벨크로 내진보강시스템의 현장적용성 평가 수행: 1회/1회
 - 벨크로 내진보강 시스템의 내진보강 설계기술 개발
 - * 벨크로 내진보강시스템의 시공가이드라인 제안: 1건/1건
-

(2) 정량적 연구개발성과 (목표/달성)

- [과학적 성과] 논문(국내외 전문 학술지) 게재
 - 국제 논문 SCI : 1건/1건
 - 국내 논문 비SCI: 5건/2건
 - [과학적 성과] 국내 및 국제학술회의 발표
 - 국내 학술회의 발표: 5건/0건
 - [기술적 성과] 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)
 - 국내 특허출원: 8건/2건
 - [경제적 성과] 시제품 제작
 - 시제품 제작: 2건/1건
 - [경제적 성과] 기술실시(이전)
 - 기술 이전: 1건/1건
 - [경제적 성과] 전문 연구 인력 양성
 - 석사: 4건/3건
 - 박사: 1건/1건
 - [경제적 성과] 홍보 실적
 - 성과 홍보: 4건/1건
-

(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	벨크로 보강에 따른 콘크리트 공시체의 압축거동	한국복합신소재 구조학회 논문집	이동주	11	대한민국	한국복합신소재 구조학회	비SCIE	2020.11	2093-5145	100
2	RC 기둥의 연성거동을 위한 표면구속응력 산정에 관한 해석적 연구	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	김경민	25	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2021.06	2234-6937	100
3	유한요소해석을 통한 벨크로로 보강된 RC 기둥의 휨방향 강도 및 연성 능력 평가	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	김상우	25	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2021.08	2234-6937	100
4	CFRP Sheet로 보강된 원형 목재의 보강효과	한국복합신소재 구조학회 논문집	김상우	12	대한민국	한국복합신소재 구조학회	비SCIE	2021.06	2093-5145	100
5	폴리머 시멘트 모르타르의 최적 PVA 섬유 혼합비 연구	한국복합신소재 구조학회 논문집	Rustamov Sardorbek	11	대한민국	한국복합신소재 구조학회	비SCIE	2020.06	2093-5145	100
6	Mechanical behavior of fiber-reinforced lightweight concrete subjected to repeated freezing and thawing	Construction & building materials	Rustamov Sardorbek	273	네덜란드	ELSEVIER	SCIE	2020.12	0950-0618	100

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021 한국구조물진단유지관리공학회 봄 학술발표회	벨크로 보강된 콘크리트와 CFRP 보강된 콘크리트의 실험연구	김상우	2021.06.03	파라다이스호텔 부산	대한민국
2	한국구조물진단유지관리공학회 2021 가을학술발표회	CFRP시트 직물의 방향 및 보강 면적에 따른 RC보의 휨거동	김건우	2021.11.18	휘닉스 제주 섭지코지	대한민국
3	2021년 한국산학기술학회 추계 학술대회	벨크로와 우레탄 충전재로 이중보강된 콘크리트의 실험연구	이수영	2021.12.03	경주 한화리조트	대한민국
4	2021년 한국산학기술학회 추계 학술대회	벨크로 내진보강시스템의 현장시공성 평가	이수영	2021.12.03	경주 한화리조트	대한민국
5	2021년 한국산학기술학회 추계 학술대회	높이가 다른 직사각형 콘크리트의 벨크로 보강에 따른 실험연구	이수영	2021.12.03	경주 한화리조트	대한민국

☐ 기술 요약 정보

- 해당없음

☐ 보고서 원문

- 해당없음

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

- 해당없음

[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	출원	벨크로와 발포성 재료를 이용한 기동구조물의 내진보강공법	대한 민국	김진섭 권민호	2020-05-08	10-2020-0055043				100	
2	출원	내진보강용 구조체와 그 구조체를 활용한 내진보강 방법	대한 민국	김진섭	2020-09-28	10-2020-0125390				100	
3	출원	외부 구조물 결합을 위한 콘크리트 표면 인장강화 공법	대한 민국	김진섭	2020-10-23	10-2020-0137944				100	
4	출원	콘크리트 각형기둥의 내진보강 방법	대한 민국	김진섭	2021-02-19	10-2021-0022723				100	
5	출원	프리스트레스를 측정 가능한 정착장치	대한 민국	김진섭	2021-05-27	10-2021-0068634				100	
6	출원	기계적 프리스트레싱과 충전재를 활용한 내진보강 방법	대한 민국	김진섭	2021-08-05	10-2021-0102941				100	
7	출원	댐핑성능이 구비된 투명 방호벽	대한 민국	김진섭	2021-11-05	10-2021-0151167				100	
8	출원	형상기억합금 메쉬를 활용한 내진보강 방법	대한 민국	김진섭	2021-12-02	10-2021-0171007				100	

☐ 지식재산권 활용 유형

- 해당없음

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

- 해당없음

☐ 신기술 지정

- 해당없음

☐ 기술 및 제품 인증

- 해당없음

☐ 표준화

☐ 국내표준

- 해당없음

☐ 국제표준

- 해당없음

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	내진 보강용 머쉬룸 벨크로	2020-08-19	(주)반디건설	경상국립대학 교 406동 125호	벨크로 내진 보강재			
2	고성능 벨크로 내진보강 시스템 충전재	2021-07-07	(주)반디건설	경상국립대학 교 406동 125호	벨크로 내진보강 충전재			

☐ 현장시험 및 검증

- 해당없음

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
1	계약기술	벨크로와 발포성 재료를 이용한 기둥구조물의 내진보강공법	(주) 세한테크	2021-09-27	2021	5,000

☐ 사업화 투자실적

- 해당없음

☐ 사업화 현황

- 해당없음

☐ 매출 실적(누적)

- 해당없음

☐ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

- 해당없음

☐ 고용 창출

- 해당없음

☐ 고용 효과

- 해당없음

☐ 비용 절감(누적)

- 해당없음

☐ 경제적 파급 효과

- 해당없음

☐ 산업 지원(기술지도)

- 해당없음

☐ 기술 무역

- 해당없음

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

- 해당없음

☐ 정책활용 내용

- 해당없음

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

- 해당없음

☐ 신진연구자 채용

- 해당없음

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	박사	2020~2022	1				1				1		
2	석사			4			3	1			4		

☐ 산업 기술 인력 양성

- 해당없음

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

- 해당없음

☐ 국제화 협력성과

- 해당없음

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	행사개최	경상대학교 공학6호관 221호	경상대학교산학협력단-(주)세한테크 MOU 체결식	2020-09-22
2	행사개최	경상대학교 공학6호관 221호	경상대학교산학협력단-건축사사무소 플랜제이 MOU 체결식	2021-01-21
3	행사개최	한국특수섬유기술(주)	경상대학교산학협력단-(주)세한테크-한국특수섬유(주) MOU 체결식	2021-02-03
4	행사개최	한성우레탄(주)	경상국립대학교산학협력단-한성우레탄(주) MOU 체결식	2021-04-16

☐ 포상 및 수상 실적

- 해당없음

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

- 해당없음

[그 밖의 성과](해당 없음)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 없음)

2) 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
○ 고성능 벨크로 내진보강재 개발 - 구속성능이 향상된 벨크로 내진보강재 개발 - 내화성능이 우수한 벨크로 내진보강재 개발 ○ 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능 평가 - 고성능 벨크로 내진보강시스템 개발 - 벨크로 내진보강시스템의 내진보강 설계기술 개발	○ 구속성능이 향상된 벨크로 내진보강재 개발 - 벨크로 보강재의 목표 인장강도인 40MPa 보다 큰 64.8 MPa(162% 달성)의 인장강도 달성 - 벨크로 보강재의 목표 전단 강도인 40N/cm² 보다 큰 61.2 N/cm²(100% 달성)의 전단강도 달성 ○ 내화성능이 우수한 벨크로 내진보강재 개발 - 목표 내화지수등급 HF-1(100% 달성) 달성 ○ 고성능 벨크로 내진보강시스템 개발 - 개발된 벨크로 내진보강시스템의 실험실 단위 축소모형 기동 실험을 통한 성능 평가를 수행함. 실험 변수는 비보강(비내진설계기동), CFRP 시트 보강, 벨크로 보강, 벨크로 내진보강시스템(벨크로 & 우레탄 충전재) 보강으로 총 4가지 변수(200% 달성)를 설정하여 수행하였으며, 변수별 시험체를 2개씩 제작(100% 달성)하여 모두 실험 완료하였음. 실험결과 목표 누적에너지소산 능력 증가율인 20% 보다 큰 270%(1,350% 달성)의 증가율을 달성 - 벨크로 내진보강시스템의 현장시공을 수행완료하고, 현장 적용성 검토를 완료(100% 달성)하였음. ○ 벨크로 내진보강시스템의 내진보강 설계기술 개발 - 고성능 벨크로 내진보강시스템의 내진성능평가 결과 및 현장적용성 검토 결과를 바탕으로 시공가이드라인을 제안(100% 달성)하였음.	100%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 측면

- 벨크로 복합섬유 이용 콘크리트 기동 연성보강 기술은 2015년 국토교통부 연구과제 중 개발된 공법으로 성능 검증이 완료되었으나 상용화를 위한 제품 성능 개선 및 인증 절차가 부족하여 사업화가 지연된 기술임.
- 본 기술은 기존 연성보강 공법인 (탄소섬유, 아라미드섬유) 함침공법, SRF 공법과 달리 섬유 보강을 접착제를 이용해 부착하지 않고 부착강도 및 인장강도가 뛰어난 산업용 벨크로(머쉬룸 벨크로)를 이용하여 기동을 구축하는 방법으로 시공비용이 저렴하고, 시공속도가 빠름.
- 내진성능향상 측면에서 저중량과 고강도 구조재의 실용화를 통하여 구조물의 내진성능향상.
- 최근 급격히 증가되는 신소재 복합재료를 활용한 지진재해 방재에 관한 기술적 연구배경 및 아이디어 제공.
- 개발된 설계 및 시공 절차를 바탕으로 효율적인 제작, 설치가 가능하며 최종적으로 최소 설치비용으로 최대의 내진성능효과 획득.
- 지진으로 손상된 구조물의 신속한 보강이 가능하므로 추가적인 피해감소 및 대피 시간 확보.

○ 경제 · 산업적 측면

- 기동의 내진 연성보강 방법은 다른 내진 시공에 비해 비용이 저렴하며, 그 중 벨크로 복합섬유를 이용한 연성보강 기술의 경우 접착제를 사용하지 않아 시공 시간을 단축함으로써 원가절감 효과가 있음.
- 내진보강시 건물을 사용하면서 보강 할 수 있어 건물 미사용으로 인한 경제적 손실을 줄일 수 있음.
- 향후 국내 지진재해 발생 시 실제 연구 자료로서의 관련성 부여 및 학술적 가치 증가.
- 실제 제작이 용이하고 실용화에 따른 부가가치 이윤 창출이 가능.
- 실제구조물과 유사한 거동을 토대로 내진성능개선을 위한 손상 구조재의 붕괴 분석과 실제 연구개발품의 실용화에 대한 기초적인 연구배경 및 가이드라인 제시.
- 현재 많은 국내 업체들이 일본업체와의 제휴를 통해 일본의 복합섬유 부착공법인 AF 공법, SR-CF 공법, CRS-CL 공법, WARS 공법을 도입 국내 실정에 맞게 개선하여 사용하고 있으며 일부 업체의 경우 원자재를 모두 일본에서 수입해서 사용하고 있는 실정임, 매출액의 일정부분이 해외로 유출되고 있음. 국내기술의 보급화를 통해 해외로 유출되는 매출액을 줄이는 효과.
- 인도적 해외 지원사업의 일환으로 기술이전을 통해 국내에서 생산된 벨크로 복합섬유 자재를 해외로 수출 할 수 있음.

○ 사회적 측면

- 최근에 진행되고 있는 공공시설물 및 주요 시설물의 내진보강 사업의 촉진제 역할
 - 아직 내진 보강이 이루어지지 않은 소규모 공공시설물에 보급화 등이 가능
 - 또한 공공건물에 초점이 맞춰진 내진보강사업으로 인해 뒤쳐진 민간 건축물의 내진을 증가 역할
 - 신기술로 인한 관련 전문 인력 배출 효과 발생
 - 신소재 복합재료를 활용한 내진성능개선에 대한 선구자적 개념 도입 및 학문적 공감대 형성
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 긴급시공이 가능한 고성능 벨크로 보강시스템의 보급화

- 현재 한정된 예산으로 인해 내진 성능이 부족한 대형 공공시설물을 우선으로 내진보강 사업이 활발히 진행돼 있음. 하지만 소규모 공공시설물이나 민간 건축물에 대한 내진보강 활동은 매우 부족한 실정임. 벨크로 보강 시스템의 보급화 등을 통한 위와 같은 문제의 해결 방안 모색.
- 본 연구를 통해 개발된 고성능 벨크로 내진보강 시스템은 경제적인 가격과 누구나 편리하게 시공이 가능하여, 공공시설물 및 민간 건축물에 활용.

○ 비내진 구조물의 내진성능 개선

- 내진성능이 부족한 건물의 연성 능력을 향상시키고, 지진으로 인한 건물붕괴를 지연시키는 것에 효과적이므로 지진이 잦은 지역에 많이 사용될 것이다.
- 특히, 내진성능이 부족한 다세대의 필로티 건물의 기둥과 조적(벽돌)으로 만든 기둥의 지진과 같은 유사시에 외부 충격에 의한 붕괴 예방에도 효과적일 것이다.

○ 국내·외 신규시장 개척 및 진출

- 신규 시장 개척을 통한 매출 증대를 추진하고자 함
- 개발도상국은 조적(벽돌)으로 만든 기둥의 건물이 많아 해외 진출도 가능함
- 기타 특수섬유와 융합된 벨크로 복합섬유의 신규시장 및 사용처 발굴

○ 향후 실용화 가능성 제고를 위한 기초 연구자료로 활용

- 부재 및 실구조물 대상 성능 검증 연구
- 부재 단면형상의 다양화 실험 연구
- 구체적 시공방법 및 유지관리 방안 연구
- 노후화에 따른 장기 성능 모니터링 연구



< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

2. 별권보고서

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 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.