발 간 등 록 번 호
11-B552989-000547-01

최 종 보 고 서

(국토교통기술촉진연구사업)

[연구주제 : 텍스타일과 무기계 접착제(FRCM)를 활용한 노후 콘크리트 구조물 성능향상 및 유지관리 시스템 기술 개발]

주관연구기관 : ㈜캐어콘

공동연구기관: 국립공주대학교 산학협력단

최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)
공고번호	공고-제2호	연구개발과제번호		21CTAP-C152175-03

국가과학기술 표준분류	EI1102	60%	EI0406	20%	EB0301	20%
연구주제	(대분류) 걱정없는 안심사회		(중분류) 생활안전, 재난재해, 에너지, 주거, 교통		(소분류) 불량 주택 및 시설물	

연구개발과제명	국문	텍스타일과 무기계 접착제(FRCM)를 활용한 노후 콘크리트 구조물 성능향상 및 유지관리 시스템 기술 개발
	영문	Developing the maintenance system for concrete structures using FRCM

주관연구기관	기관명	㈜캐어콘	사업자등록번호	215-86-38252
	주소	(05586) 서울시 송파구 삼학사로11길 13	법인등록번호	110111-2717837

주관연구책임자	성명	이 진 용	직위	대표이사
	연락처 직장전화	02-477-6849	휴대전화	010-3258-6849
	연락처 전자우편	cylee568592@naver.com	국가연구자번호	1014 5423

연구개발기간	전체 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33 개월)
	1년차 2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(9 개월)
	2년차 2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(12 개월)
	3년차 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	598,000	20,040	180,360	-	-	-	-	618,040	180,360	798,400	-
1년차	133,000	4,440	39,960	-	-	-	-	137,440	39,960	177,400	-
2년차	160,000	5,400	48,600	-	-	-	-	165,400	48,600	214,000	-
3년차	305,000	10,200	91,800	-	-	-	-	315,200	91,800	407,000	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	공주대학교 산학협력단	김길희	교수	010-2553-9635	kimkh@kongju.ac.kr	공동	대학

연구개발담당자 실무담당자	성명	조 민 수	직위	차장	
	연락처 직장전화	02-477-6849	휴대전화	010-4366-0165	
	연락처 전자우편	jjangkku@naver.com	국가연구자번호	1102 7702	

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

2022년 03월 18일

연구책임자 : 이 진 용 (직인)

주관연구개발기관의 장 : ㈜캐어콘 이 진 용 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 공주대학교 산학협력단 김 길 희 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통기술촉진연구사업</td><td rowspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2" rowspan="2">21CTAP-C152175-03</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">국토교통기술혁신연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술표준분류</td><td>EI1102</td><td>60%</td><td>EI0406</td><td>20%</td><td>EB0301</td><td>20%</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구주제</td><td colspan="2">(대분류)
걱정없는 안심사회</td><td colspan="2">(중분류)
생활안전, 재난재해, 에너지, 주거, 교통</td><td colspan="2">(소분류)
불량 주택 및 시설물</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">텍스타일과 무기계 접착제(FRCM)를 활용한 노후 콘크리트 구조물 성능향상 및 유지관리 시스템 기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33 개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 798,400 천원
(정부지원연구개발비: 598,000 천원, 기관부담연구개발비 : 200,400 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[√]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(TRL 3)
종료시점 목표(TRL 9)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">사회이슈 해결</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구개발목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">▪ 시공품질 30% 증가, 구조물 내구수명 1.5배 증가, 유지보수비 30% 이상 절감 가능한 섬유보강 시멘트 복합재(FRCM) 활용 기술개발</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">▪ 텍스타일 / 무기계 접착제 기술개발
- 무기계 접착제 역학적 성능향상(KS F 4042 품질기준 대비 30%이상 향상)
- 무기계 접착제 시공품질 및 내구성 향상(KS F 4042 품질기준 대비 30%이상 향상)
- 텍스타일 그리드 설계기술(기존 제품 대비 부착성능 30% 이상 향상)
- 텍스타일 그리드 역학성능 향상/구조성능 검토(기존 제품 대비 30% 이상 향상)
▪ FRCM 활용 기존 구조물 성능향상 기술개발
- FRCM 활용 구조물 보수·보강기술 개발
- FRCM 활용 RC구조물(보, 기둥)의 보강 성능평가(기존 구조물 성능 대비 30% 향상)
- 광섬유 센서의 계측(변형률) 및 실험을 통한 분석 결과 도출 기술
▪ FRCM 건설자재 실용화 기술개발
- FRCM 기술의 현장시험시공을 통한 적용성 평가
- FRCM을 적용한 2차 제품 현장 배합비 도출 및 시작품 생산, 시험시공
- 현장 시공지침서(안) 및 품질관리 시스템 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="6">▪ 무기계 접착제 성능향상 기술, 텍스타일 그리드 설계 기술 개발 및 역학성능 향상/구조성능 검토</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="6">- 무기계 접착제 역학적 성능평가
- 무기계 접착제의 역학적 성능향상을 위한 무기질 첨가제 적용 기술개발
- 역학적 특성 및 경제성을 고려한 무기계 접착제 최적배합비 도출 및 제조기술 개발
- 텍스타일의 내구성능 검증(알칼리, 황산, 염화이온 침지에 따른 인장강도 열화도)
- 텍스타일의 부착성능 검증(섬유종류, 격자사이즈, 코팅제별, 직조 방식별 부착성능 실험)
- 보강용 텍스타일 그리드 설계(섬유종류, 격자사이즈, 직조방법 등)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="5">연구
개발
목표
및
내용</td><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td>▪ 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술 개발 및 FRCM 복합재를 외부 보강한 구조물 보수·보강성능 평가</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>– 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술 개발
– 국내외 광섬유 센서관련 자료조사 및 분석
– 구조물 보수·보강 요구 성능 분석
– FRCM 복합재 적용 구조물 보강 성능 평가
– FRCM 활용 보강 설계/시공/유지관리지침 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3년차</td><td>목표</td><td>▪ 광섬유 센서의 계측(변형률) 및 해설결과 도출기술, 광섬유 센서 적용 텍스타일 그리드 제조기술, FRCM을 적용한 2차 제품 설계 및 생산시스템 기술개발, 현장시공 지침서(안) 및 품질관리 시스템 기술개발, FRCM 현장적용 및 구조물의 거동평가</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>– 광섬유 선정 및 계측 정밀도 측정, 광섬유 적용 텍스타일 그리드 제조기술 개발
– 요구 성능 수준별 무기계접착제 선정 및 성능개선연구(내화성 평가)
– FRCM 활용 2차제품(FRCM 데크패널) 현장 배합비 도출
– FRCM 복합재 구조물 적용관련 구조안정성 및 역학성능 평가(기둥 내진성능)
– FRCM 현장 적용성 평가(하수암거 현장적용 시험시공 실시)
– 현장 시공지침서(안) 및 품질관리 시스템 개발
– FRCM 활용 2차제품(FRCM 데크패널) 시작품 제작 및 성능평가, 현장적용
– FRCM의 실용화 방안 연구(판매 및 시장진입 전략 구축)</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과</td><td>▪ 역학적 성능향상 및 요구조건을 만족하는 무기계접착제 시제품 개발
▪ FRCM 복합재 적용 텍스타일 그리드 시제품 개발
▪ 무기계접착제와 텍스타일 그리드를 적용한 FRCM 복합재 보강공법 개발
▪ FRCM 복합재 보강공법 적용을 위한 현장시공지침(안) 및 품질관리 시스템 개발
▪ FRCM 활용 2차제품(FRCM 데크패널) 시작품 개발 및 현장적용</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과
활용방안 및
기대효과</td><td>▪ 기술적 측면
– 국내 최초의 FRCM 복합재 기술개발
– FRCM 복합재의 재료 및 구조실험을 통한 기반데이터 제시
– 유지관리 시스템에서의 광섬유 센서 적용으로 구조물 유지관리의 신뢰성 확보
– 두께가 얇고 경량인 FRCM 복합재 2차제품 개발을 통한 Thin-Structure 구현 가능성 제시
▪ 경제적·산업적 측면
– 구조물 보수·보강을 위한 텍스타일 그리드 국내제품 개발을 통한 경제성 확보
– 고성능의 무기계 접착제 개발을 통한 보수 및 보강 분야의 경제성 확보
▪ 사회적 측면
– 시설물의 잦은 보수교체에 따른 국민 불편 최소화 가능
– 기후변화 대응 기술: 구조물 경량화, 사용수명 연장으로 시멘트 사용량 저감
– 관련 산업이 중소규모의 소재생산업체로 이루어져 관련시장 증대를 통한 중소기업의 활성화 및 고용 창출 기대</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과의
비공개여부 및 사유</td><td>해당없음</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">연구개발성과의 등록·기탁 건수</td><td rowspan="2">논문</td><td rowspan="2">특허</td><td rowspan="2">보고서 원문</td><td rowspan="2">연구 시설·장비</td><td rowspan="2">기술 요약 정보</td><td rowspan="2">소프트웨어</td><td rowspan="2">표준</td><td colspan="2">생명자원</td><td rowspan="2">화합물</td><td colspan="2">신품종</td></tr>
<tr><td>생명 정보</td><td>생물 자원</td><td>정보</td><td>실물</td></tr>
<tr><td>8</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

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

국문핵심어 (5개 이내)	텍스타일	섬유보강 시멘트 복합재	유지관리 시스템	광섬유 센서	보수·보강
영문핵심어 (5개 이내)	Textile	FRCM	Maintenance	Optical fiber sensor	Repair·Retrofit

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 01

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 08

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 79

4. 목표 미달 시 원인분석 ····· 111

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 112

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 113

7. 참고 문헌 ····· 117

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

가. 연구개발 개요 및 필요성

[연구배경]

- SOC 시설물 및 건축물의 90% 이상은 철근콘크리트 재료로 가설되며, 철근 부식, 균열 등 **시설물 노후화 및 열화로 인한 시설 유지보수비가 급증**하는 실정
  * 2015년 기준 30년 이상 1, 2종 시설물 9.5% → 2030년 37% → 2036년 61%로 증가 예정[1)]
  * 2030년 도로인프라 유지관리비만 6.2조 억원 예상



(a) 슬래브 하면 철근부식



(b) 하수관거 벽체 열화

[그림 1.1] 재료 열화로 인한 콘크리트 단면결손 사례

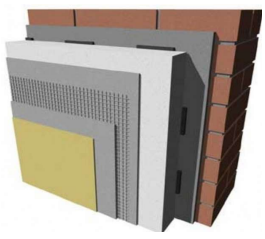
- 안전성 확보 및 사용수명 연장을 위한 효과적인 노후 및 열화된 **시설물 보수·보강 재료 및 공법 개발 필요**
  * 철근콘크리트 구조물의 열화 및 손상 주요원인인 철근부식을 근본적으로 해결하여 구조물의 성능저하 및 유지보수 문제 해결 필요
- 우리나라는 2026년 초고령화 사회 진입으로 인한 장래 숙련된 건설 및 유지관리 인력 확보 곤란 예상
  * 시공이 간편하고 시공 후 **유지관리가 필요 없는 건설소재 및 시공방법 개발 요구** 증가
  * 공사비 절감 및 공기단축을 위한 프리캐스트 제품 활용 필요

[기술의 정의]

- 선진국에서는 경량·고성능 TRC(Textile Reinforced Concrete)를 신설용 건설자재 및 기존 구조물 보수·보강 재료로 활용 중
- 우리나라에서도 지반보강에 토목섬유를 활용중이며, 아스팔트 도로포장과 건축 외벽 시공에 유리섬유 텍스타일 그리드(Grid)를 활용 중에 있음



(a) 지반보강



(b) 건축물 외벽 단열시공

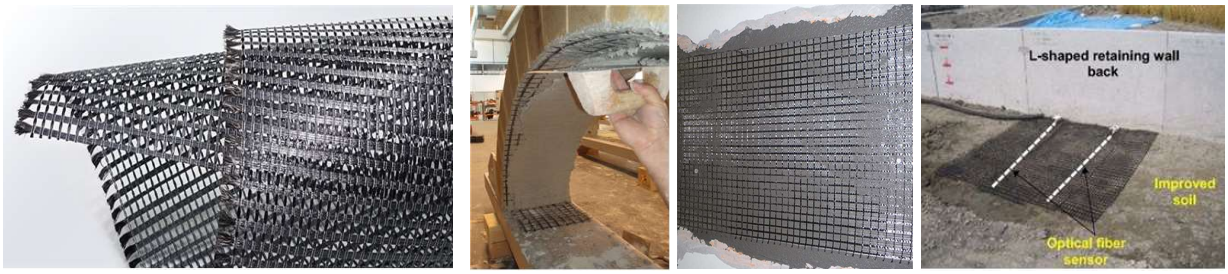


(c) 아스팔트 포장

[그림 1.2] 국내 산업용 텍스타일 활용 사례

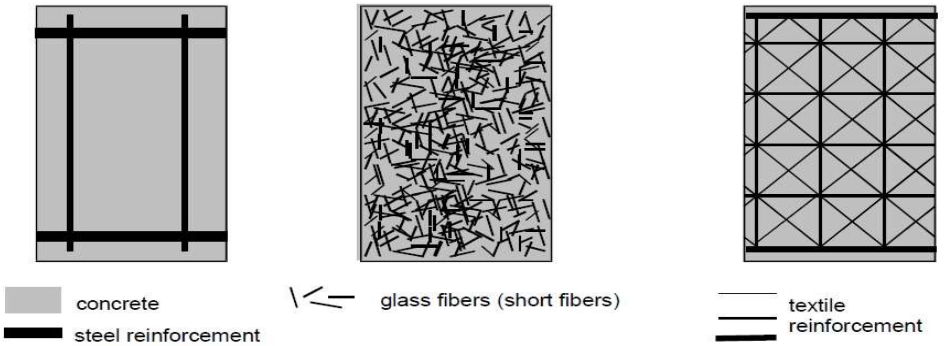
1) 국가예산정책처. 2016년 회계연도 결산분석 종합자료

- **[FRCM 기술 정의]** 유리섬유, 탄소섬유 등 복합소재 직조물(텍스타일)을 철근 또는 보강 와이어 메쉬 대신 적용하는 비부식, 시멘트 복합재료 또는 이를 활용한 구조물 보수, 보강공법
  - FRCM 분야는 선진국(최고보유국: 독일)대비 기술격차가 10년 정도로서 우리나라가 해당 분야 기술경쟁력을 확보하기 위해서는 기술개발이 시급함.
  - 유리섬유, 탄소섬유 등 복합소재 직조물(일명 산업용 텍스타일)을 철근대체재로 적용하는 시멘트 복합재료와 이를 활용한 신설 및 노후 구조물 유지보수 공법 개발
  - 텍스타일 보강에 따른 휨, 인장성능의 확보 및 텍스타일 센서(일명 Optical Fiber Sensor)를 적용하여 기존 건축자재의 경량화 및 시공품질 향상, 구조물의 내구수명 증가, 유지관리의 시스템화에 의한 유지보수비 절감 등의 활용 기술 개발



[그림 1.3] 산업용 텍스타일과 텍스타일 보강 콘크리트 예시

- FRC(섬유보강콘크리트)와 FRCM 차이점



[그림 1.4] RC, FRC, FRCM 차이점

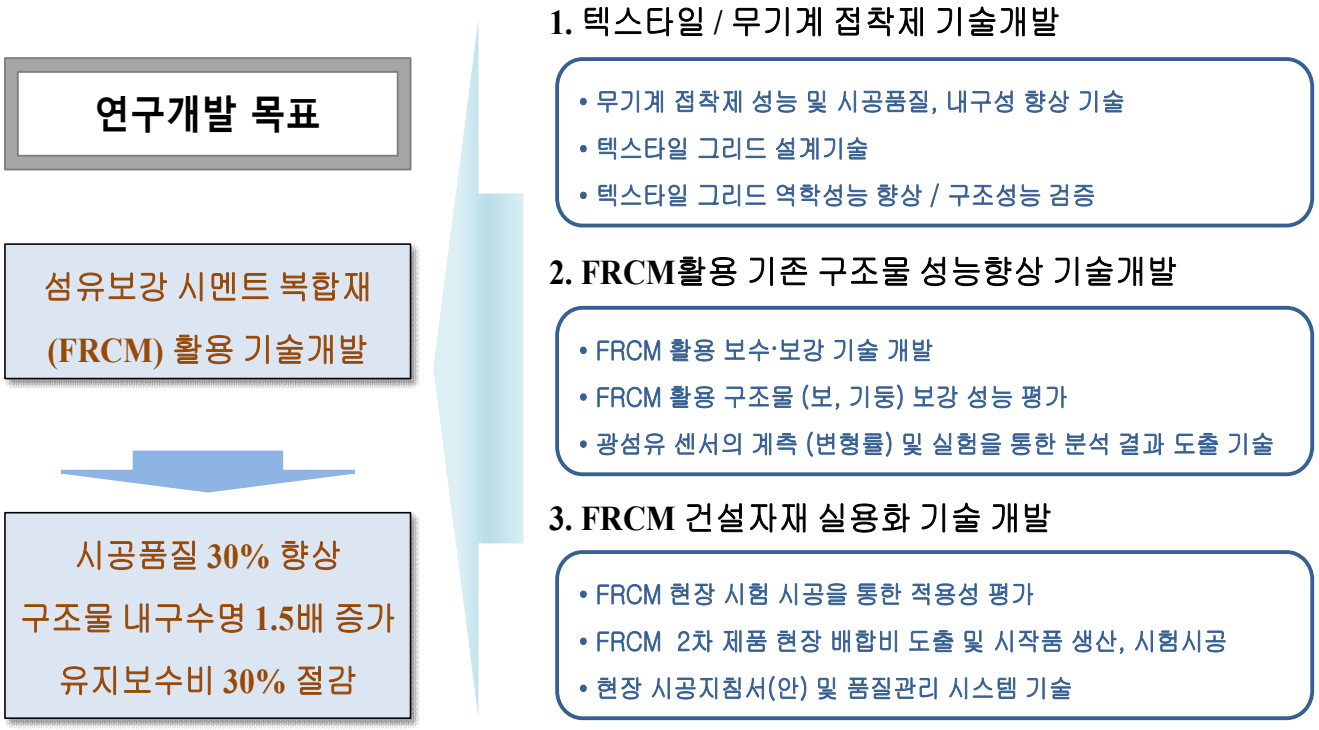
<표 1.1> FRCM과 FRC 장단점 비교

구분	Fiber Reinforced Cementitious Material	Fiber Reinforced Concrete
장점	▪ 구조부재 등 방향성을 갖는 보강 가능 ▪ 설계 및 시공이 간편 ▪ 콘크리트 내부의 보강하고자 하는 부위에 보강 가능 ▪ 콘크리트의 인장강도 및 휨인장강도 증진 ▪ 콘크리트의 취성적인 성질 개선	▪ 콘크리트의 미세균열 방지 ▪ 콘크리트의 인장강도 및 휨인장강도 증진 ▪ 콘크리트의 취성적인 성질 개선 ▪ 다양한 종류로 적용하고자 하는 재료 성질에 맞게 사용 가능 ▪ 복잡한 형상 제조가 쉬움
단점	▪ 보강하고자 하는 원하는 크기, 형상을 가지기가 어려움 ▪ 미세균열 방지의 어려움 ▪ 콘크리트 내부 전체적인 부분의 보강은 어려움 ▪ 복잡한 형상을 가진 경우 텍스타일 배치 등 시공이 어려움	▪ 구조물에 적용 시 매트릭스의 상태에 따라 품질 편차 커짐 ▪ 콘크리트 표면에 튀어나온 섬유로 마감처리 불편 ▪ 타설 시 섬유의 뭉침 현상이 발생할 가능성이 있음 ▪ 선택적 방향성에 대한 보강이 어려움

나. 연구개발의 최종 목표 및 내용

<표 1.2> 연구 개발의 최종 목표 및 최종성과물

구분	내용 및 설정근거
최종 목표	시공품질 30% 증가, 구조물 내구수명 1.5배 증가, 유지보수비 30% 이상 절감 가능한 텍스타일과 무기계 접착제(FRCM) 활용 기술개발
세부 목표	▪ 텍스타일/무기계 접착제 기술개발 – 텍스타일 그리드 설계기술 (기존 국내제품 대비 부착성능 30% 이상 향상) – 텍스타일 그리드 역학성능 향상/구조성능 검토 (기존 국내제품 대비 30% 이상 향상) – 무기계 접착제 역학적 성능향상 (국내 품질기준 대비 30% 이상 향상) – 무기계 접착제 시공품질 및 내구성 향상(국내 품질기준 대비 50% 이상 향상) ▪ FRCM활용 기존 구조물 성능향상 기술 개발 – FRCM 활용 구조물 보수·보강기술 개발 – FRCM 활용 RC구조물(보, 기둥)의 보강 성능평가(기존 구조물 성능 대비 30% 향상) – 광섬유 센서의 계측(변형률) 및 실험을 통한 분석 결과 도출기술 ▪ FRCM 건설자재 실용화 기술 개발 – FRCM 기술의 현장 시험 시공을 통한 적용성 평가 – FRCM을 적용한 2차 제품 현장 배합비 도출 및 시작품 생산, 시험시공 – 현장 시공지침서(안) 및 품질관리 시스템 기술



[그림 5] 연구개발 목표 도식도

2) 연구개발과제의 연차별 목표

가. 1차 연도

① 개발 목표

○ **주관연구기관(캐어콘): 무기계 접착제 성능향상기술 개발** ○ **공동연구기관(공주대학교 산학협력단): 텍스타일 그리드 설계 기술 개발 및 역학성능 향상/구조성능 검토**

② 개발 내용 및 범위

[주관연구기관(캐어콘)]

○ 무기계 접착제 역학적 성능평가
- 국내외 모르타르 자료조사 및 분석
- 역학적 성능향상을 위한 다양한 결합재 적용 기본실험

○ 강도 증진용 무기질 첨가제 적용 기술 개발
- 고로슬래그 미분말, Silica Fume 등 무기질 첨가제 적용 기술

※ 첨가제 종류 및 첨가량에 따른 무기계 접착제의 압축강도, 휨강도(7일, 28일) 발현 특성평가

- 부착성능 향상을 위한 short fiber 적용 배합

※ short fiber 종류 및 첨가량에 따른 무기계 접착제의 부착강도 발현 특성평가

○ 역학적 특성 및 경제성을 고려한 무기계 접착제 최적배합비 도출 및 제조기술 개발

[공동연구기관(공주대학교 산학협력단)]

○ 텍스타일 부착성능 검증
- 국내외 섬유그리드 자료조사 및 분석
- 실험을 통한 부착강도 검토(Pull-out, Pull-off test)

○ 보강용 텍스타일 그리드 설계
- 그리드 종류별, 격자사이즈에 따른 부착성능 평가
- 목표성능 설정 및 실험을 통한 물리적 성능(인장강도, 탄성율, 변형율) 검증

○ 텍스타일 그리드 코팅기술 개발
- 국내외 코팅제 자료조사 및 분석
- 코팅제별, 직조 방식별 부착성능 검토

○ 텍스타일 내구성 검증
- 코팅유무, 섬유별, 내구성(Alkali, 황산, 염화이온 등) 촉진실험을 통한 검토

나. 2차 연도

① 개발 목표

❍ **주관연구기관(캐어콘): 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술 개발** ❍ **공동연구기관(공주대학교 산학협력단): FRCM활용 구조물 보수·보강기술 및 장기거동 측정/내구성평가**

② 개발 내용 및 범위

[주관연구기관(캐어콘)]

❍ 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술 개발

- 무기계 접착제 물성 평가

  ※ 압축강도, 휨강도, 부착강도

- 무기계 접착제 성능 개선 항목 도출 및 개선 방안 연구

  – 온도변화에 따른 부착성능 검증

- 무기계 접착제 시작품 제작 및 성능 평가

  ※ 압축강도, 휨강도, 부착강도

- 무기계 접착제 현장 생산 조건 확립

  ※적정 혼합 시간, 단위 혼합량, 제품 포장 단위 및 저장 방안 확립

❍ 국내외 광섬유 센서관련 자료조사 및 분석

[공동연구기관(공주대학교 산학협력단)]

❍ 구조물 보수·보강 요구 성능 분석

- 기존 보강 공법과 비교, 자료조사

❍ FRCM 활용 구조물 보강 성능 평가

- FRCM 성능 평가를 위한 시험체 제작
- FRCM 휨 강도, 인장강도 성능평가
- FRCM 보강 철근콘크리트 구조물 실험 성능평가

❍ FRCM 활용 보강 설계/시공/유지관리지침 개발

다. 3차 연도

① 개발 목표

❍ **주관연구기관((주)캐어콘): 광섬유 센서의 계측(변형률 등) 및 해석결과 도출기술, 광섬유 센서 적용 텍스타일 그리드 제조기술, FRCM을 적용한 2차 제품 설계 및 생산시스템 기술 개발, 현장 시공지침서 및 품질관리 시스템 기술 개발**
❍ **공동연구기관(공주대학교 산학협력단): FRCM 현장 적용 및 구조물 거동 계측 및 분석**

② 개발 내용 및 범위

[주관연구기관(캐어콘)]

❍ 광섬유 선정 및 계측 정밀도 측정
- 목표성능설정을 위한 센서별(기존, 광섬유), 섬유별(국내, 외국), 계측 및 분석

※ 계측 항목: 변위

❍ 광섬유 적용 텍스타일 그리드 제조기술 개발
- 광섬유 센서 적용 텍스타일 시작품 제작 및 성능평가

※ 텍스타일 그리드 물리적 특성(인장강도, 변형율) 및 계측 정밀도(변형율 등)

- 광섬유 적용 텍스타일 그리드 생산가능업체 조사

※ 직조방식, 코팅방식, 제품 포장 단위 등

❍ FRCM 현장 적용성 평가
- 하수암거 및 교각, 교량 등의 현장적용 시험시공 실시(1회)

※ 적용현장 선정: 유지보수업 면허를 소유한 협력업체를 통하여 교량의 하부 또는 내하력이 저하된 하수암거 현장 수주 및 적용

- 시공 용이성: 시공시 텍스타일 보강재의 설치방법제안, 숏크리트 타설시 리바운드율 검토
- 작업성: 무기계 접착제의 현장배합 플로우 측정 등
- 품질관리: 현장적용 무기계 접착제 압축강도, 휨강도, 부착강도 측정

❍ FRCM 활용 2차제품(데크패널) 현장 배합비 도출
- 무기계 접착제의 물-결합재비, 결합재: 잔골재 비율, 단위 결합재 량 등
- 텍스타일 그리드 배치방법, 격자 크기 등

❍ 요구성능 수준별 텍스타일 그리드/무기계접착제 선정 및 성능개선 연구
- 내화성 평가 수행(무기계 접착제)

❍ FRCM의 실용화 방안 연구
- 연구개발 결과물의 판매전략 및 시장진입 전략 구축

[공동연구기관(공주대학교 산학협력단)]

❍ FRCM 활용 2차제품(데크패널) 시작품 제작 및 성능평가, 현장적용
- 시작품 제작, 기존 제품과의 비교 성능평가
- 시작품 제작을 통한 현장 작업성/생산성 검토 및 보완
- 개발 제품과 기존 제품과의 비교 성능 평가

※ 휨강도, 압축강도, 내구성 등

❍ 구조물 적용시 구조안정성 및 역학성능 평가
- 기둥 내진보강 모형시험 및 평가

❍ 현장 시공지침서 및 품질관리 시스템 개발
- 제품규격, 시공순서, 시공방법, 구조검토 방법 등 시공지침서 확립
- 해당 제품의 품질관리 기준 정립

<표 1.3> 핵심기술 및 주요 연구내용

핵심기술	핵심기술 개발목표	주요 연구내용
무기계 접착제 성능향상 기술개발	▪ 기존대비 역학적 성능 30% 향상 ▪ 기존대비 내구성 50% 향상	▪ 역학적 성능향상을 위한 다양한 결합재 적용 기본실험 ▪ 강도 증진용 무기질 첨가제 적용기술 ▪ 무기계 접착제 내구성능 평가 ▪ 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술
텍스타일 그리드 설계/제작기술	▪ 기존대비 부착성능 30% 이상 향상	▪ 텍스타일 부착강도 검증 ▪ 텍스타일 내구성 검증(촉진) ▪ 보강용 텍스타일 그리드 설계
FRCM 복합재 활용 구조물 보수·보강기술	▪ 보강성능 30% 향상	▪ 구조물 보수·보강 요구성능 분석 ▪ FRCM 활용 구조물 휨 보강성능(보) 평가 ▪ 구조안정성 및 내진성능(기둥) 평가 ▪ FRCM 보강설계 및 현장 시공지침서(안), 품질관리 시스템 개발
FRCM활용 2차 제품 제작기술	▪ 기존제품 대비 경제성 30% 향상 ▪ 기존제품 대비 유지보수비 30% 절감	▪ FRCM 2차제품 현장 배합비 도출 ▪ FRCM 2차제품 시작품 제작 및 성능평가

<표 1.4> 핵심기술의 성능지표

연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)		현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	기술수준 대비 달성도	가중치 (%)
무기계 접착제 성능향상 기술개발	무기계 접착제	압축강도(MPa)	20.0 (KS)	70.0	**시공품질 30% 향상**	**76.3 (380%)**	
		휨 강도(MPa)	6.0 (KS)	8.0	**시공품질 30% 향상**	**16.8 (280%)**	
		부착강도(MPa)	1.0 (KS)	2.0	**시공품질 30% 향상**	**2.5 (250%)**	
		내알칼리성(MPa)	20.0 이상 (KS)	50.0	**내구수명 1.5배 증가**	**65.6 (325%)**	
		물흡수계수 ($kg/(m^2h^{0.5})$)	0.5 이하 (KS)	0.1 이하	**내구수명 1.5배 증가**	**0.091 (80%)**	
텍스타일 그리드 설계/제작기술	텍스타일 그리드	부착성능(MPa)	2.0 (HI-GRID)	4.0	**시공품질 30% 향상**	**5.4 (271%)**	
		인장강도(MPa)	600 (HI-GRID)	1,500	**시공품질 30% 향상**	**1,778 (296%)**	
		내구성(알칼리) 강도저하률(%)	35.0 (HI-GRID)	5.0 이내	**내구수명 1.5배 증가**	**1.0 (350%)**	
FRCM 활용 구조물 보강기술	FRCM 보강공법	휨 보강 성능	-	보강성능 30% 향상	**보강성능**	**휨 하중 (140%)**	
		내진보강 성능	-	내진보강성능 30% 향상	**보강성능**	**연성 (230%)**	
		FRCM 보강설계/현장시공 지침서(안)	-	보강설계 및 현장시공지침 (안) 제시	**보강성능**	**지침(안) 제시**	
FRCM 활용 2차제품 제작기술	FRCM 데크패널	경제성(원/m^2)	70,000	37,000	**경제성**	**50% 절감**	
		내구성 (유지보수)	8년	50년	**유지보수 30% 절감**	**약 600% 절감**	

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가. 연차별 기술개발 내용

[1차년도]

연구개발 목표	- ㈜캐어콘: 무기계 접착제 성능 향상 기술 개발 - 공주대학교: 텍스타일 그리드 설계기술 개발 및 역학성능 향상/구조성능 검토

(1) FRCM관련(무기계 접착제, 텍스타일 그리드) 국내외 자료조사 및 분석

- **[FRCM 기술 정의]** 유리섬유, 탄소섬유 등 직조물을 매트릭스와 결합하고 복합재의 형태로 결합하여 노후된 구조물의 보수 및 보강에 사용하며, 섬유보강재(TEXTILE)와 무기계 접착재(Inorganic matrix)로 구성되어 있음. [그림 2.1]
- FRCM 복합재의 주요 특징은 높은 인장강도와 유사연성거동이며, 철근 콘크리트 구조와 다르게 보강재의 내식성으로 내구성이 우수함.



[그림 2.1] FRCM의 구성요소

(가) 무기계 접착제(Inorganic matrix)

- 기존연구에서 FRCM 생산에 가장 많이 사용되는 매트릭스 조성은 물/바인더(W/B) 비율[2]이 30~40%이며, 바인더 함량은 40~50 중량% 이고, 골재의 최대입자크기는 1~2mm 범위임.
- <표 1.1>은 기존 연구인 TU Dresden[3]의 공동연구센터 528 및 RWTH의 공동연구센터 532의 FRCM개발에 사용된 5개의 대표 매트릭스 조성[4]으로 높은 유동성 및 셀프레벨링이 가능하며, 섬유보강재(FABRIC, TEXTILE)를 통과하여 결합력을 높일 수 있는 요구조건이 가능함.
- 대표적인 조성물로는 바인더의 경우, 시멘트+플라이애쉬, 실리카흄으로 구성되어있으며, 골재 사이즈 0~1mm의 잔골재를 사용하고 있음.
- **[실리카흄]**은 평균크기 약 100μm로 매우 작은 구형입자를 가지는 인공의 반응성 포졸란 재료로서, 시멘트 수화의 주요 물질중의 하나인 수산화칼슘(Ca(OH)2)과 반응하여 매트릭스의 강도를 높이고, 조밀한 미세구조로 매트릭스와 텍스타일 사이의 결합력을 증가시킴.
- **[플라이애쉬]**는 석탄연소 잔유물이며, 입자크기는 10~30μm로 시멘트와 비슷하지만, 구형입자로 시멘트와 구별됨. 실리카흄과 달리 느리게 반응하는 반면 장기적으로는 밀도가 높은 미세구조가 생겨 장기 강도 및 내구성이 향상됨.
- **[슬래그]**가 함유된 매트릭스는 내화학성이 개선되며, 알칼리도(pH)가 감소됨. 또한, 수화열이 감소되며, 초기강도발달을 지연시키지만, 장기강도는 우수하고, 다량의 슬래그 치환시 동결융해저항성이 감소함.
- 또한, 매트릭스에 SHORT FIBER (PVA:Polyvinyl alcohol), P.P (Polypropylene)) 및 폴리머

2) Binder: 결합재를 의미하며, 시멘트와 혼화재(슬래그, 실리카흄, 플라이애쉬 등)로 구성되어있음.

3) Technische Universitat Dresden:독일 작센주 드레스덴에 위치한 연구중심의 공과대학교

4) Butler, M., Mechtcherine, V., Hempel, S., 2009. Experimental investigations on the durability of fibre-matrix interfaces in textile-reinforced concrete. Cem. Concr. Compos. 31, 221-231.

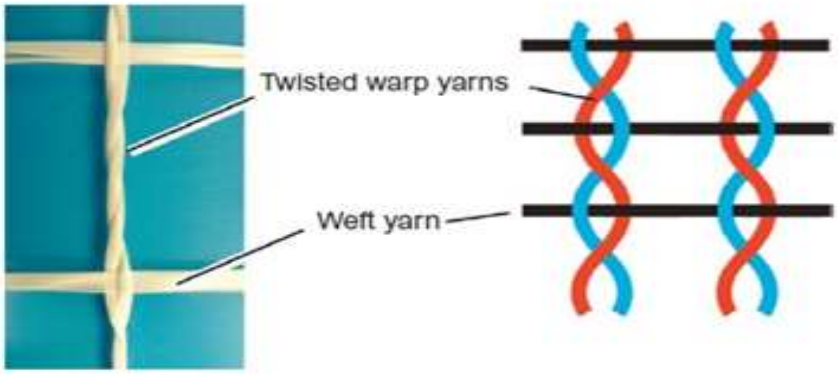
중합체(EVA(Ethylene vinyl acetate)계, ACRYLATE, SBR(Styrene butadiene rubber)계 등)를 첨가함으로써 FRCM 복합재의 특성 및 변형성능을 향상시킬 수 있음.

<표 1.1> FRCM의 대표적인 무기계 매트릭스 구성

Materials		Mineral-based matrices				
		PZ-0899-01 SFB 532	**FA-1200-01 SFB 532**	**M1 SFB 528**	**M3 SFB 528**	**M7 SFB 528**
Cement c	kg/m^3	490	210	539	549	839
Cement type	–	CEM I 52.5	CEM I 52.5	CEM III/B 32.5	CEM I 32.5 R	CEM I 32.5 R
Fly ash f	kg/m^3	175	455	243	246	–
Silica fume s		35	35	–	–	–
Silica slurry (w:s = 1:1)		–	–	53.9	54.6	–
Binder (c+f+s)		700	700	809	822	839
Plasticizer	% by mass of binder	1.0–1.5	0.9	2.1–2.2	2.3–2.4	2.1–2.2
Siliceous fines 0–0.125 mm	kg/m^3	500	470	–	–	–
Siliceous fine sand 0.2–0.6 mm		715	670	–	–	–
Sand 0–1 mm		–	–	1079	1092	1189
Water		280	280	242.7	245.6	279.7
w/c	–	0.57	1.33	0.45	0.45	0.33
w/b = w/(c+f+s)	–	0.40	0.40	0.30	0.30	0.33

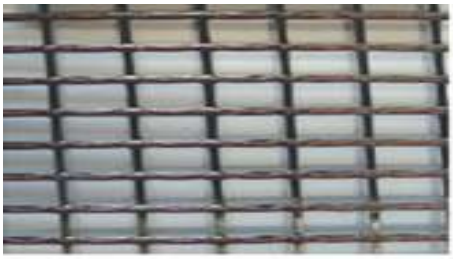
(나) 섬유보강재(TEXTILE)

- 건설용으로 활용되는 텍스타일중에서 가장 일반적으로 적용되는 텍스타일 형태는 그리드임.
- 일반적인 그리드 직조 방법은 길게 평행으로 잡아당긴 다수의 섬유다발(Warp yarn,경사) 사이에 직각방향으로 다수의 섬유다발(Weft Yarn, 위사)을 끼워 넣고, 간격과 직조된 상태를 유지하기 위하여 꼬아서 직조함. [그림 2.2]

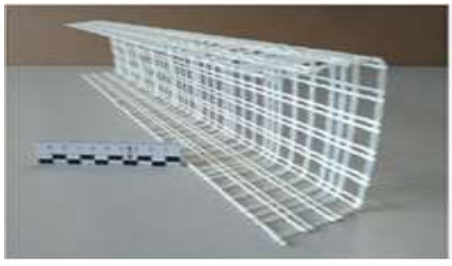


[그림 2.2] 기본적인 그리드 직조 방법(출처: T. Triantafillou, 2016)

- 그리드 텍스타일은 2D 그리드 형상이 일반적인 형상이며, 적용목적에 따라 2D 텍스타일을 제작 시 복층 또는 다층으로 형성시킬 수 있음. [그림 2.3]



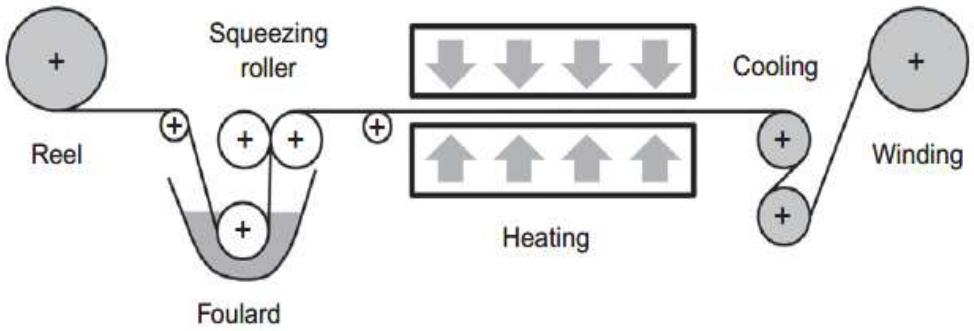
(a) 탄소섬유 그리드



(b) 유리섬유 그리드

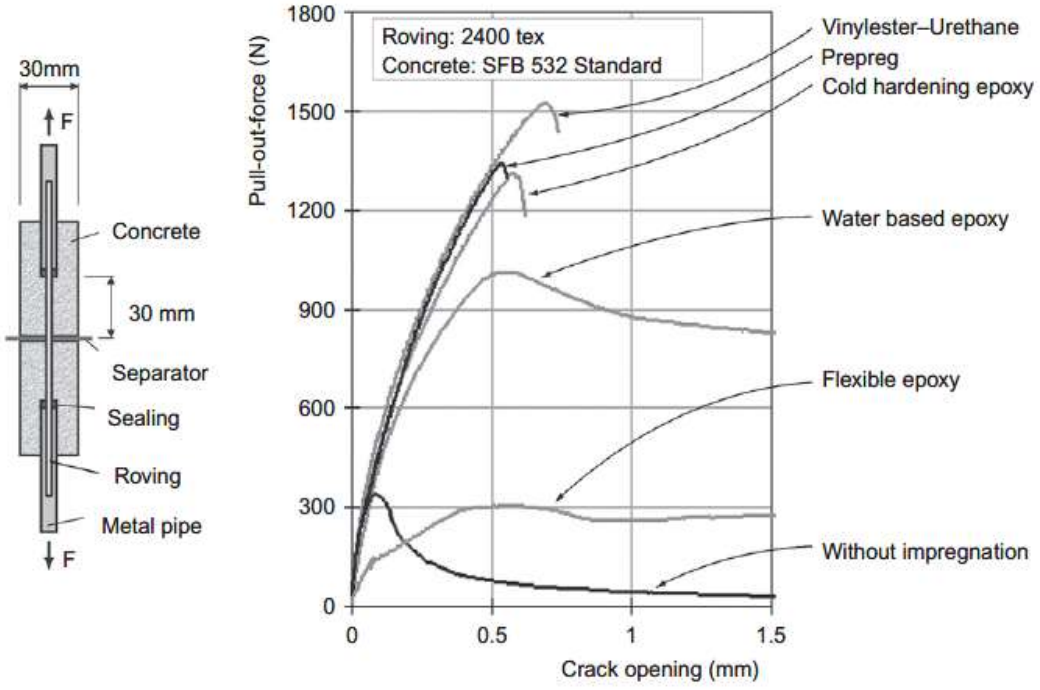
[그림 2.3] 2D 텍스타일 종류(출처: T. Triantafillou, 2016)

- 추가적으로, 직조된 그리드 텍스타일의 코팅방법은 [그림 2.4]와 같이 Foulard를 사용함. 직조된 그리드 텍스타일을 Foulard 안에 수지(에폭시, 아크릴, SBR 등)조를 통과시키어 Squeezing 롤러를 이용하여 수지를 제거 후 가열구역을 통과하면서 그리드 텍스타일을 경화시켜 코팅을 완성시킴.



[그림 2.4] 텍스타일 그리드 코팅공정 도식화

- 텍스타일그리드 함침의 목적은 텍스타일을 구성하는 섬유로빙의 내부구조를 안정화시키고, 형태를 조정시키는 것이며, 기계적 특성인 인장강도를 증가시키는 효과를 발휘함. [그림 2.5]
- 코팅재의 성분에 따라 코팅 효과는 크게 달라지며, 코팅되지 않은 로빙은 코팅된 로빙보다 인발하중은 낮지만, 변형이 높은 특징이 있음.
- **(해외 텍스타일 제품 현황)**으로는 현재 독일을 중심으로 건설분야에서 텍스타일을 활용한 보수재, 보강재, 외장재 등이 개발되어 현장에 적용되고 있음. 또한, 다수의 중국업체가 대량으로 제품을 생산 및 판매하고 있음.
- 독일의 "SOLIDIAN사는 AR-유리섬유, 바잘트섬유, 탄소섬유를 사용하여 FRP 보강근 및 다양한 격자 형태의 2D/3D 텍스타일 제품 및 프리캐스트 TRC 제품을 판매하고 있음.
- 독일의 "V.FRAAS"사는 텍스타일 제조, 텍스타일을 활용한 2차 제품 및 적용기술 등 텍스타일 관련 토탈 솔루션을 제공하는 회사임.



[그림 2.5] 코팅재의 종류별 인발성능[5)]

5) Schleser, M., 2008. Einsatz polymerimpra ¨gnierter, alkaliresistenter Glastextilien zur Bewehrung zementgebundener matrices. Dissertation, RWTH University, Aachen

(2) 역학적 성능향상을 위한 다양한 결합재 및 무기질 첨가제 적용 기본 실험

(가) 예비배합(물결합재비 결정)

- 문헌조사[6]에 따르면, 무기계 접착제의 요구조건은 시공성(유동성, 셀프레벨링)과 섬유보강재와의 결합성, 내구성(내알칼리성, 내화학성 등)으로 요구조건을 만족하는 기존의 FRCM 배합(TU Dresden, RWTH Aachen)에서 제시하는 물 결합재비(W/B)의 30~40%를 기준으로 최초 배합을 실시하였음.
- 재료의 배합은 KS L 5109의 배합방법에 따라 5L 혼합장치를 사용하여 혼합수 전량을 혼합용기 안에 넣고 미리 배합해 놓은 분체의 전량을 투입 후 저속으로 60초 동안 혼합한 후 고속으로 바꾸어 30초 동안 혼합한다. 그 후, 혼합기를 정지하고, 모르타르를 90초 동안 방치한 후 다시 고속으로 60초 동안 혼합하였다.
- 최초배합은 시멘트의 양을 40~60 중량%까지 5 중량%씩 증가시켜 물 결합재비(W/B)의 변화에 따른 무기계 접착제의 성능평가를 실시하였으며, 실험결과, 물 결합재비(W/B) 42.5%를 기준으로 시멘트양이 증가됨에 따라 압축강도 및 휨강도 모두 증가하는 경향을 보이지만, 압축강도의 경우, 물 결합재비 34%이하에서 강도가 일정하게 유지되었음. <표 2.2>

<표 2.2> 물결합재비(W/B)의 변화에 따른 배합비

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)					Compressive Strength (MPa)			Flexural Strength (MPa)		
NO.		C[1)]	S[2)]	E.A[3)]	S.P[4)]	W	3d	7d	28d	3d	7d	28d
1	42.5	40	56.02	3.80	0.18	17.0	38.5	43.2	52.4	9.4	11.6	12.9
2	37.8	45	50.81	4.00	0.19	17.0	40.6	46.8	57.8	10.1	12.7	13.5
3	34.0	50	45.70	4.10	0.40	17.0	43.3	53.5	63.9	10.8	14.1	15.4
4	30.9	55	40.58	4.20	0.50	17.0	47.1	58.2	64.3	11.7	14.1	16.8
5	28.3	60	33.45	4.30	0.60	17.0	50.9	59.5	64.8	12.7	14.2	17.2

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) E.A: Expansion agent, 4) S.P: Super-plasticizer

(나) 역학적 성능향상을 위한 배합설계 및 기본실험

- 최초배합의 결과(표 2.2 참조)를 바탕으로 물/결합재비(W/B) 37.8%로 하여 역학적 성능(압축강도, 휨강도, 부착강도) 및 내구성을 증진시키기 위하여 다양한 결합재(실리카흄, 고로슬래그 미분말) 및 short fiber, Polymer를 추가로 혼입하여 배합설계 및 기본실험을 실시하였음. <표 2.3>
- 그룹1배합은 FRCM용 무기계 매트릭스의 역학적 성능 및 내구성을 증진하기 위하여 실리카퓸의 혼입량을 1.0~4.0 중량%범위로 하고 1.0 중량%씩 증가시켜 실리카흄의 첨가비율에 따른 강도 변화를 확인하기 위하여 배합하였음.
- 그룹2배합은 그룹1배합의 실험결과를 근거로 실리카퓸 1.0중량%를 기준 배합으로 하여 내구성을 증진시키기 위하여 슬래그 혼입량을 2.0~8.0 중량%범위로 하고, 2.0 중량%씩 증가시켜 슬래그의 혼입량에 따른 강도변화를 확인하였음.
- 그룹3배합은 휨강도증진을 위하여 그룹1, 2배합의 실험결과를 근거로 결정된 결합재의 양(시멘트 42 중량%, 실리카퓸 1.0 중량%, 슬래그 2.0중량%)을 기준으로 단섬유의 혼입량에 따른 강도변화를 확인하였음. (Arisoy and Wu, 2008)
- 그룹4배합은 FRCM용 무기계 매트릭스의 부착성능을 향상시키기 위하여 폴리머(Polymer)종류 및 첨가량에 따른 강도변화를 확인하였음.

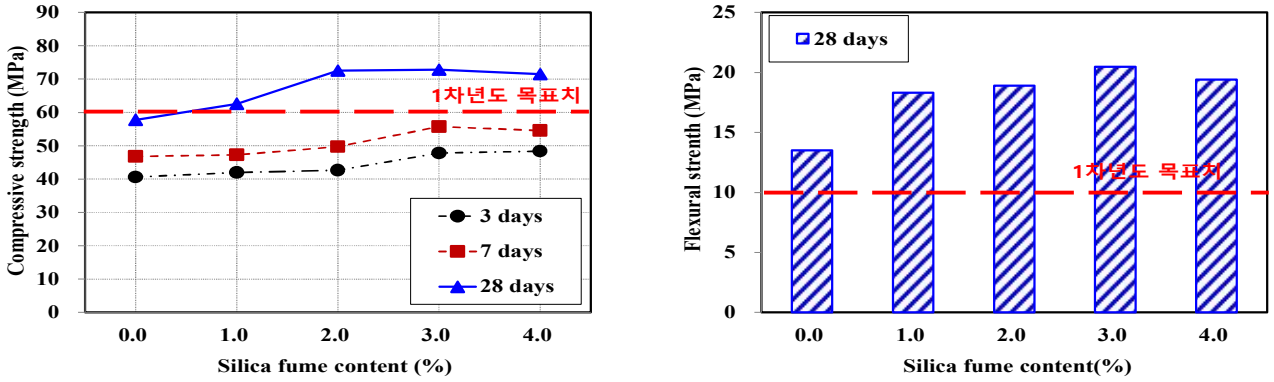
6) T.C.Triantafillou, Textile Fibre Composites in Civil Engineering, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 60, Elsevier

<표 2.3> 무기계 접착제의 배합설계 및 실험결과

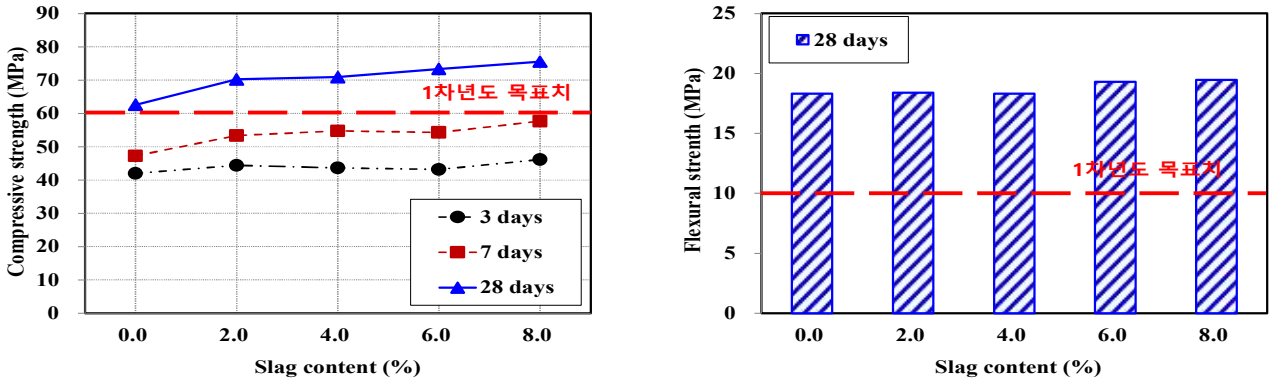
Group of Mix.	W/B	Composition of content by weight (%)						Flow (mm)	Strength (MPa)						
									Compressive			Flexural			Bond
		C[1]	S[2]	GGBS[3]	S.F[4]	PVA	Poly-mer		3d	7d	28d	3d	7d	28d	28d
1	37.8	45	50.81	0	0	0	0	185	40.6	46.8	57.8	10.1	12.7	13.5	–
		44			1			180	42.0	47.3	62.6	11.3	11.7	18.3	
		43			2			170	42.7	49.8	72.6	12.2	12.6	18.9	
		42			3			170	47.8	55.8	72.8	12.8	14.1	20.5	
		41			4			175	48.4	54.5	71.5	12.5	13.8	19.4	
2		44	50.81	0	1	0	0	180	42.0	47.3	52.6	11.3	11.7	18.3	–
		42		2				175	44.4	53.4	70.2	14.4	14.7	18.4	
		40		4				170	43.7	54.7	70.9	13.8	14.5	18.3	
		38		6				170	43.2	54.3	73.4	14.8	15.2	19.3	
		36		8				175	46.2	57.7	75.6	13.4	14.9	19.5	
3		42	50.81	2	1	0.0	0	175	44.4	53.3	70.2	11.4	14.7	18.4	–
			50.61			0.2		170	47.1	61.1	75.9	16.2	17.4	20.1	
			50.41			0.4		165	51.8	60.8	77.7	16.2	17.6	19.8	
			50.21			0.6		150	51.8	57.6	76.2	16.6	16.8	19.6	
4		42	50.81	2	1	0	0.0	180	44.4	53.3	70.2	11.4	14.7	18.4	1.05
			50.61				ACR[3] 0.2	180	30.5	35.5	40.4	11.8	11.9	13.2	1.53
			50.61				EVA[4] 0.2	180	41.8	50.2	64.2	12.6	15.2	18.2	1.75
			50.61				SBR[5] 0.2	180	41.8	44.9	58.4	12.3	13.6	15.6	1.53

NOTE 1) Cement, 2) Sand, 3) Acrylate, 4) Ethylene Vinyl Acetate, 5) Styrene Butadiene Rubber

- **(실리카흄 혼입량)**을 변수로 한 배합은 모두 1차년도 목표압축강도인 60MPa을 만족하였으며, 1.0~3.0 중량%로 배합한 경우 28일 압축강도가 증가하는 경향을 나타내며, 이러한 현상은 실리카흄의 높은 분말도로 인하여 초기에 포졸란 반응을 일으키기 때문[7]임. 휨 강도에 미치는 영향은 Malhotra[8]가 보고한 바와 같이 압축강도와 유사한 경향을 나타내었음.
- **(슬래그 혼입량)**을 변수로 한 배합은 기준배합 및 슬래그 혼입 배합 모두 압축강도 및 휨강도는 1차년도 목표값을 만족하였으며, 압축강도의 경우, 슬래그 혼입양이 증가함에 따라 재령28일 압축강도가 증가하는 경향을 나타내며, 휨 강도의 증가폭은 작지만, 기준배합에 비하여 증가하였음.
- **(Short fiber 혼입량)**을 변수로 한 배합에서 압축강도의 경우, PVA 섬유의 혼입율이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향은 있지만, 기준배합에 비하여 큰 차이를 나타내지 않음. 휨 강도의 경우, PVA 섬유의 혼입율이 0.0~0.2 중량% 구간에서는 휨 강도가 증가하였고, 이후에는 변화가 없는 결과를 나타내었음. 플로우값은 PVA섬유의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내는데 이러한 이유는 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 시멘트 페이스트가 섬유에 부착되어 플로우가 감소한 것으로 사료됨[9].
- **(Polymer의 종류)**를 변수로 한 배합에서 압축강도의 경우, 폴리머를 혼입하지 않은 기본 배합에 비하여 폴리머를 혼입한 배합에서 강도가 저하하는 결과를 나타내고 있으며, 특히, ACR 및 SBR 수지를 첨가한 배합의 강도 저감량이 높은 것을 알 수 있음. 부착강도의 경우, 기준배합은 1차년도 목표값인 1.5MPa 이상의 결과를 나타내며 특히 EVA수지를 첨가한 배합의 부착강도가 ACR 및 SBR보다 14% 증가한 부착성능을 나타냄.

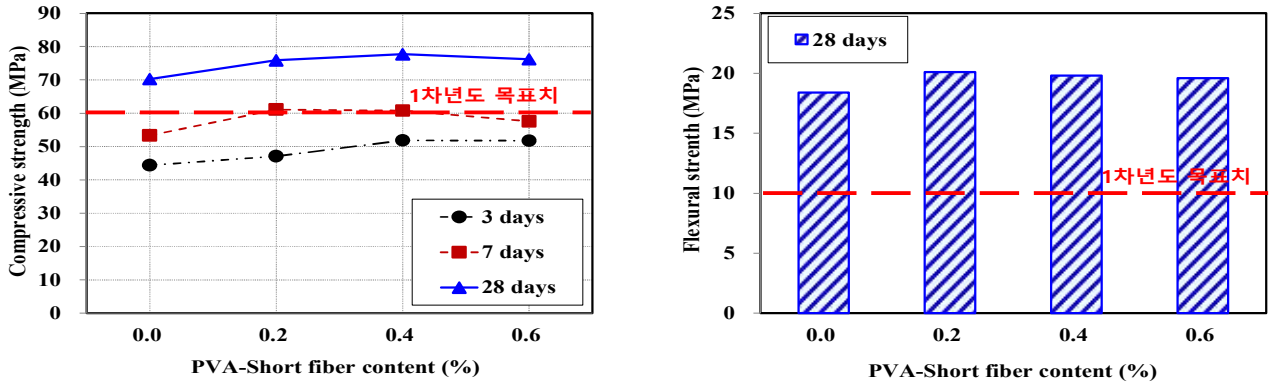


(a) 실리카퓸의 혼입량에 따른 강도변화

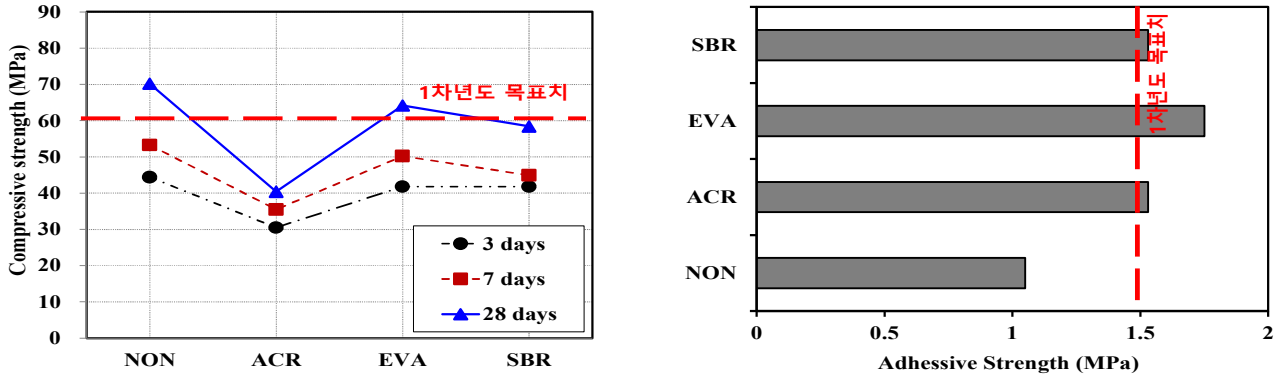


(b) 고로슬래그 미분말의 혼입량에 따른 강도변화

7) 김형태, "실리카흄 및 실리카흄 콘크리트의 특성과 이용" 한국콘크리트학회지 Vol.3, No.3, 1991. 9, pp.22~30
8) Malhotra, V.M. "Flyash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete." ACI SP-91, Vol.2, 1986
9) 이재현 외5인 PVA섬유 혼입률에 따른 PC 패널용 모르타르의 기초 물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 구조계 제29권 제1호, 2009



(c) Short fiber의 혼입량에 따른 강도변화



(d) Polymer 종류에 따른 강도변화

[그림 2.6] 최적배합비 도출 실험결과

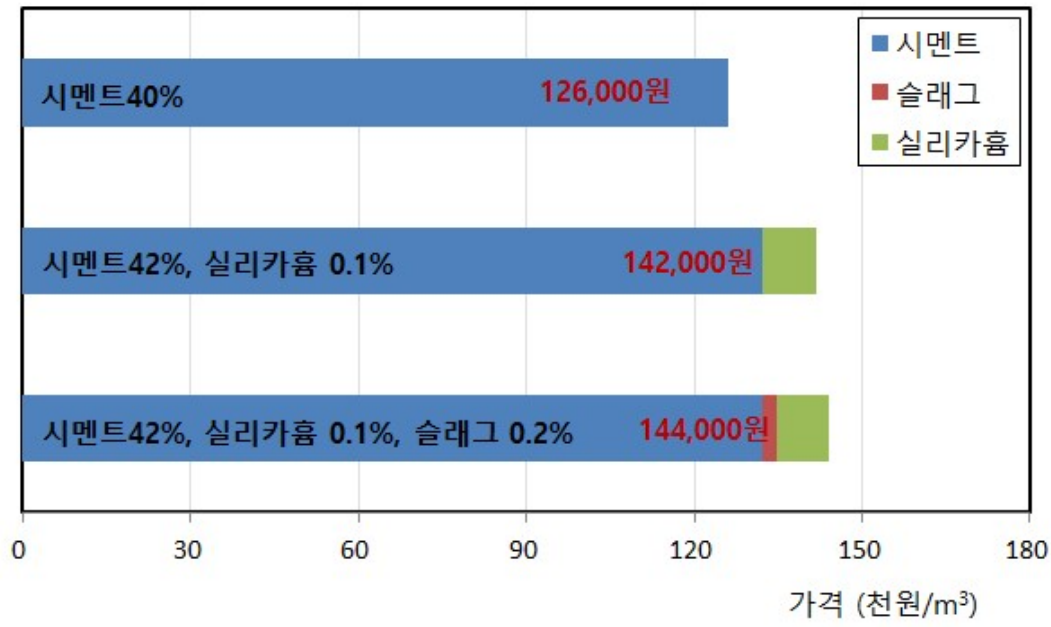
(다) 역학적 특성 및 경제성을 고려한 최적배합비 도출

- 바인더의 구성종류 및 시멘트의 혼입양을 변수로 하여 (1번)배합은 시멘트 42.0 중량%, 슬래그 0.2 중량%, 실리카흄 0.1 중량%로 기준배합으로 하였으며, (2번)배합은 (1번)배합에 비하여 실리카흄을 제외한 배합으로 하였으며, (3번)배합은 실리카흄 및 슬래그를 제외하고, 시멘트의 혼입양을 40.0 중량%로 하여 배합 후 강도 및 경제성 분석을 수행하였음.
- 압축강도 및 휨강도는 3개 배합 모두 1차년도 목표값인 압축강도 60MPa, 휨강도 6MPa을 만족하였지만, 경제성 분석을 수행한 결과, 슬래그의 가격(53원/kg), 실리카흄의 가격(420원/kg)상승으로 인하여 1m^3 당 단가가 상승하기 때문에 본 과제에서 FRCM용 무기계 접착제의 경제성을 고려하여 **(3번)배합을 최종배합으로 선정**하였음. <표 4>, [그림 2.7]

<표 2.4> FRCM용 무기계 접착제 최적배합비

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)								Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
NO.		C[1)]	GGBS	S.F	S[2)]	PVA[3)]	EVA[4)]	A.D[5)]	W	28d	28d
1	37.8	42.0	2.0	1.0	50.31	0.2	0.20	4.29	17.0	75.0	18.5
2	38.6	42.0	2.0	0.0	51.31	0.2	0.20	4.29	17.0	74.9	17.4
3	**42.5**	**40.0**	**0.0**	**0.0**	**55.31**	**0.2**	**0.20**	**4.29**	**17.0**	**68.3**	**16.3**

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) EVA: Ethylene Vinyl Acetate , 5) A.D: Admixture



[그림 2.7] 무기계 접착제 경제성 분석

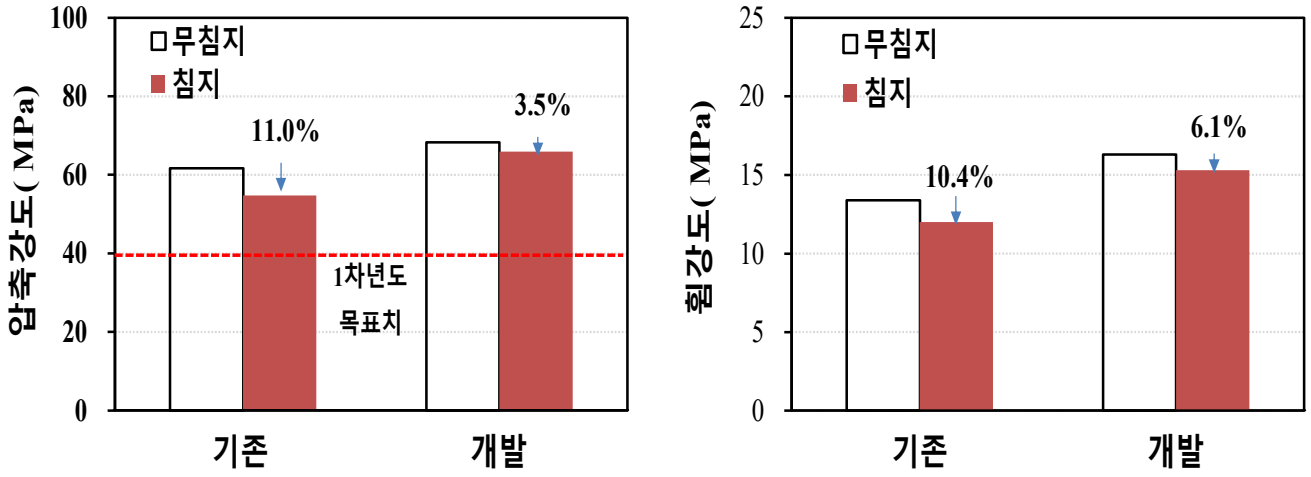
(라) 기존 보수모르타르와의 역학적 특성 및 내구성 비교 시험

- 시중에 판매되고 있는 기존 보수모르타르와의 본 과제에서 개발한 무기계 접착제의 물리적 특성 및 내구성(내알칼리성 및 물흡수계수, 공극분포) 실험을 실시함.
- **(내알칼리성 비교)** [그림 2.8]에서 나타낸 것과 같이 본 과제에서 개발한 무기계 접착제의 내알칼리성능은 기존 보수모르타르와 비교하여 열화성능에서 큰 차이를 나타내지 않았으며, KS F 4042에서 명시된 압축강도 20MPa의 기준에 만족하여 내알칼리성능이 충분히 확보되었음.
- **(물흡수계수 비교)** [그림 2.9]과 같이 실험결과, 본 과제에서 개발한 무기계 접착제의 물 흡수계수는 0.10으로 기존 보수모르타르의 수치인 0.11과 비교하면 동등 이상의 결과를 나타내며, KS F 4042인 0.5[$kg/(m^2 \times h^2)$] 이하 기준값에 만족하여 충분한 내구성을 확보하였음.
- **(공극분포 비교)** 일반적으로 무기계 접착제의 공기량과 공극구조는 물리적 성질인 압축강도에 영향을 미치며, 내구성측면에서는 동결융해저항성과 밀접한 관계를 가지기 때문에 경화된 모르타르의 공극분포는 중요함.
- 개발된 무기계 접착제의 공극분포를 확인하기 위하여 ASTM C 457기준에 의하여 실험체를 제작한 후 공극분포를 일반 보수모르타르와 비교 검토함.
- 실험결과, [그림 2.10]에 나타낸 것과 같이 본 연구에서 개발한 무기계 접착제의 공극분포는 일반 보수모르타르에 비하여 1mm이하의 공극의 분포가 적은 것을 통하여 물리적 성질 및 내구성이 우수한 것으로 사료됨.

<표 2.5> 보수모르타르(기존, 개발)의 배합비 및 물리적 특성

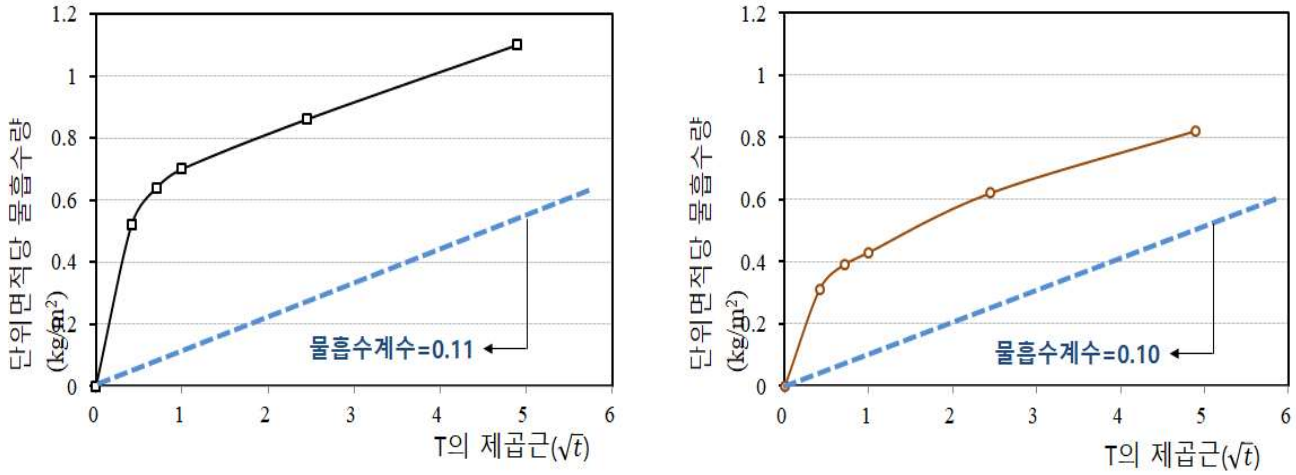
Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)						Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
NO.		C[1)]	S[2)]	PVA[3)]	EVA[4)]	A.D[5)]	W	28d	28d
기존	45.7	35.0	61.14	-	-	3.86	16.0	61.7	13.4
개발	**42.5**	**40.0**	**55.41**	**0.2**	**0.2**	**4.19**	**17.0**	**68.3**	**16.3**

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) EVA: Ethylene Vinyl Acetate , 5) A.D: Admixture



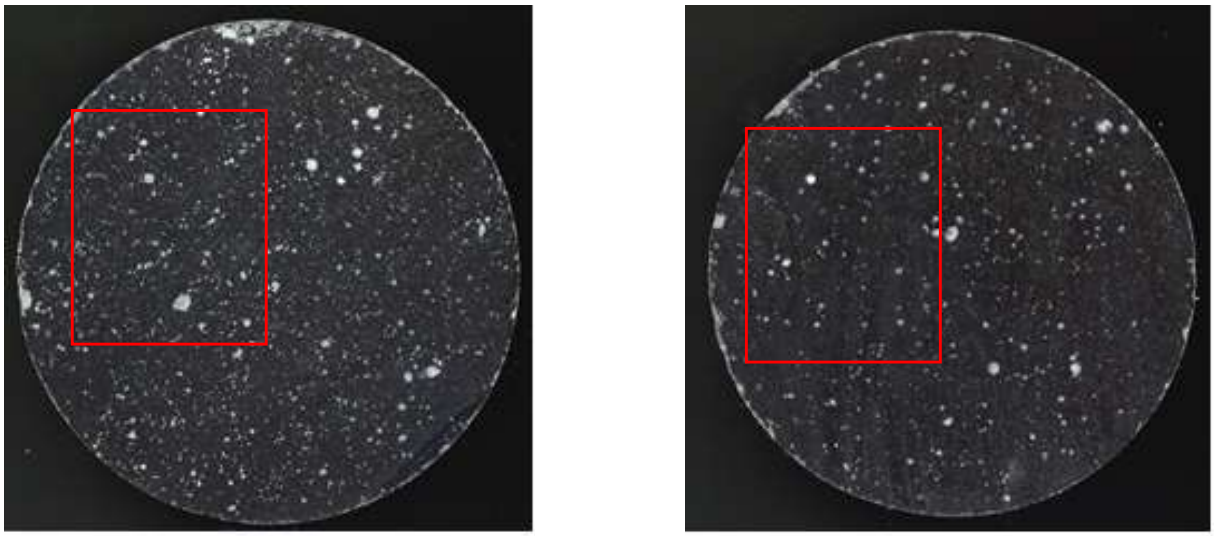
a) 압축강도 b) 휨 강도

[그림 2.8] 내알칼리 실험결과



a) 기존 보수모르타르 b) 개발 보수 모르타르

[그림 2.9] 물흡수계수 실험결과



(a) 기존 보수모르타르 (b) 개발 보수모르타르

[그림 2.10] 경화된 모르타르의 공극분포 단면도

(3) 텍스타일 그리드 설계기술개발 및 역학적 성능향상/구조성능 검토

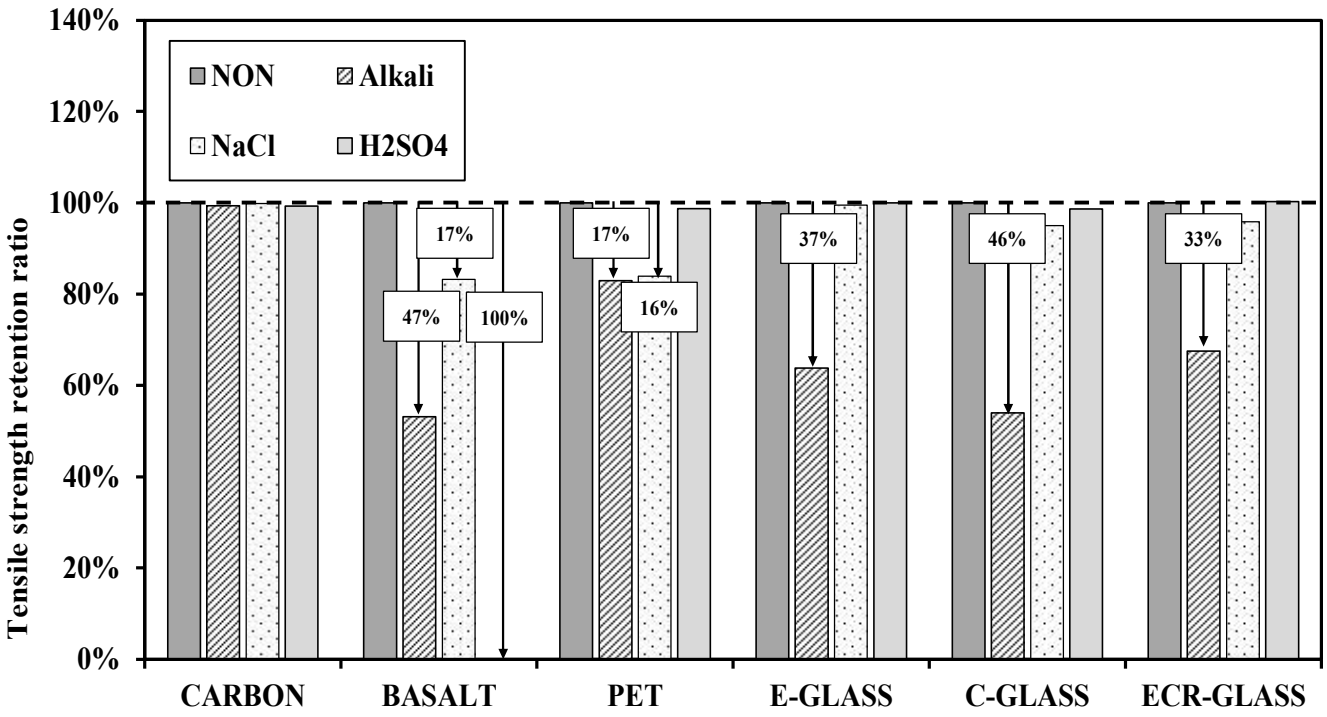
(가) 보강용 텍스타일 내구성 검증 실험

- 텍스타일의 내구성 검증을 위하여 보강용 텍스타일의 섬유종류, 코팅유무(Roving/Grid), 침지방법(무침지, 황산(3%), 알칼리(pH13), NaCl(3%))을 변수로 총 144개 실험체를 제작하여 인장실험을 수행하였음.
- **(무코팅: Roving)** 실험결과(표 2.6, 그림 2.11), **탄소섬유(CARBON)**는 무침지 실험체에 비하여 알칼리(pH13), 염소이온(NaCl:3%), 황산(2%)용액에 침지한 실험체에서 인장강도의 저하가 발생하지 않은 것으로 나타났음.
- **바살트섬유(BASALT)**는 무침지 실험체에 비하여 알칼리(pH13)용액에 침지한 실험체에서 약 47%의 인장강도의 저하가 나타났으며, 염소이온(NaCl:3%)용액에서 17%의 인장강도 저하가 발생하였으며, 황산(2%)용액에서 인장강도가 0으로 나타나 내구성이 가장 취약한 것으로 나타났음.
- **PET섬유**는 무침지 실험체에 비하여 알칼리(pH13)용액에 침지한 실험체에서 약 17%, 염소이온(NaCl:3%)용액에서 16%의 인장강도 저하가 나타났으며, 황산(2%)용액에서는 내구성의 저하가 거의 나타나지 않아 황산에 강한 내구성능을 나타냈음.
- **유리섬유(E-GLASS)**는 무침지 실험체에 비하여 알칼리(pH13)용액에 침지한 실험체에서 37%의 인장강도저하를 나타내었으며, 염소이온(NaCl:3%)과 황산(2%)에서는 내구성저하가 발생하지 않았음.
- **유리섬유(C-GLASS)**는 E-GLASS 실험체와 유사하게 알칼리(pH13)용액에 침지한 실험체에서 46%의 인장강도저하를 나타내었으며, 염소이온(NaCl:3%)과 황산(2%)에서는 내구성저하가 발생하지 않았음.
- **유리섬유(ECR-GLASS)**는 E-GLASS 및 C-GLASS와 유사하게 알칼리(pH13)용액에 침지한 실험체에서 33%의 인장강도저하를 나타내었으며, 염소이온(NaCl:3%)과 황산(2%)에서는 내구성저하가 발생하지 않았음.
- 알칼리, 염소이온, 황산에 대한 저항성능에서 탄소섬유(Carbon)가 가장 우수하였으며, 바살트섬유(Basalt)는 가장 취약한 실험결과를 나타내었음. 또한 유리섬유(E-GLASS, C-GLASS, ECR-GLASS)는 염소이온과 황산에 대한 저항성능보다 알칼리에 대한 저항성능이 낮은 실험결과를 나타내었음.

<표 2.6> 내구성 검증 실험결과(Roving)

소재	섬유종류	코팅	인장강도(MPa)			
			무침지	pH13	NaCl (3%)	황산(2%)
CARBON	Roving	None	1,929	1,916 (99%)	1,927 (100%)	1,917 (99%)
BASALT			847	451 (53%)	705 (83%)	0 (0%)
PET			778	645 (83%)	653 (84%)	768 (99%)
E-GLASS1)			408	259 (63%)	407 (100%)	407 (100%)
C-GLASS2)			1,226	662 (54%)	1,165 (95%)	1,210 (99%)
ECR-GLASS3)			627	423 (67%)	601 (96%)	629 (100%)

Note: 1) E-GLASS: Electrical GLASS, 2) C-GLASS: Chemical GLASS, 3) ECR-GLASS: E-GLASS Corrosion (High chemical) Resistant

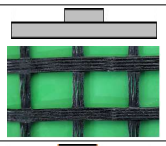
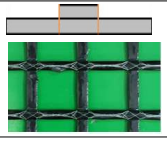
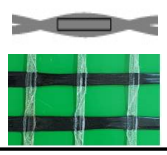


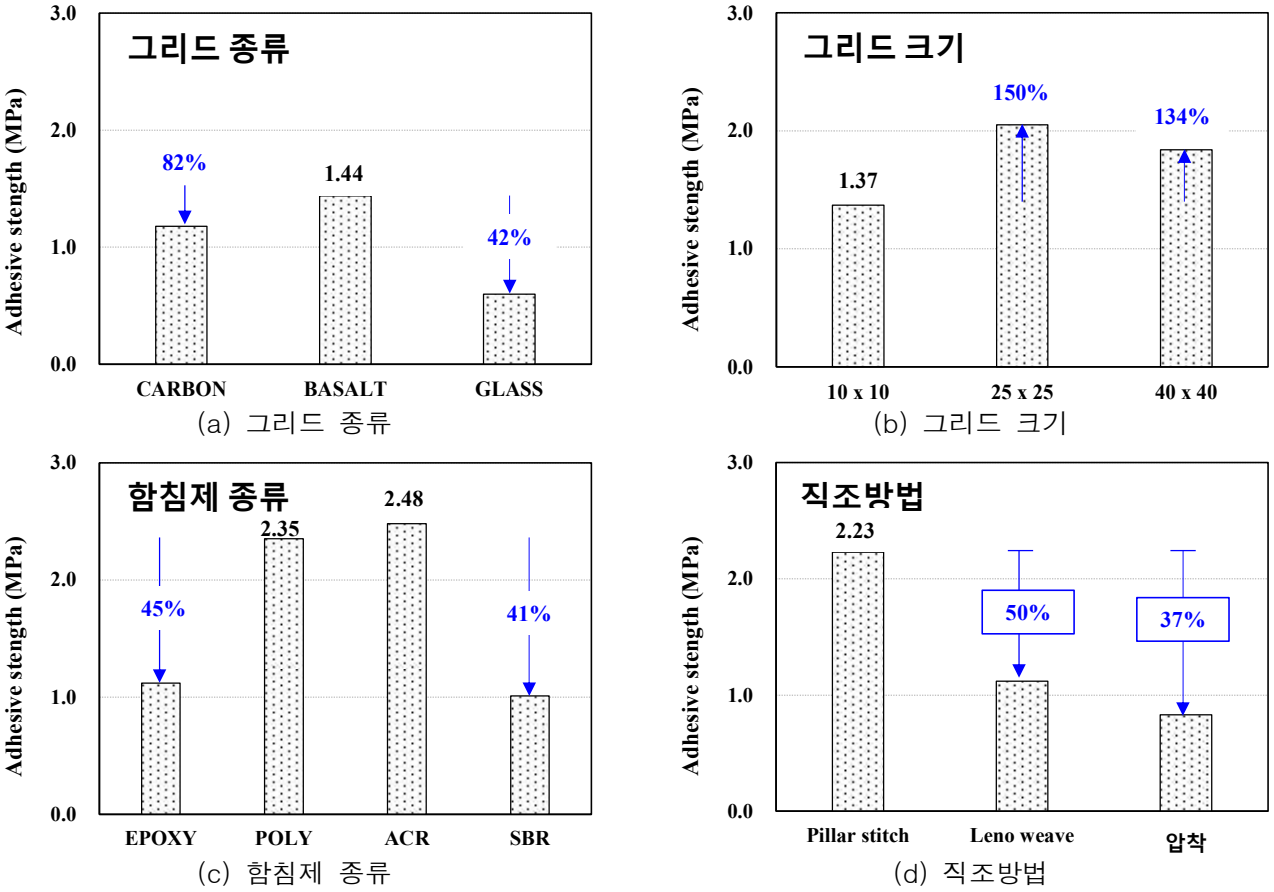
[그림 2.11] 내구성 검증 실험결과(Roving)

(나) 보강용 텍스타일 부착성능 검증 시험

- 보강재로 적용할 텍스타일 그리드의 무기계 접착제와의 부착성능을 검증하기 위하여 두 가지 다른 종류(Pull-off, Pull-out)의 부착실험을 진행하였음.
- 국내·외에서 직조된 다양한 텍스타일 그리드를 입수 후, 섬유종류별, 격자사이즈별, 코팅제별, 직조방식별로 총 4개 그룹으로 분류하여 실험을 수행하였음. <표 2.7>

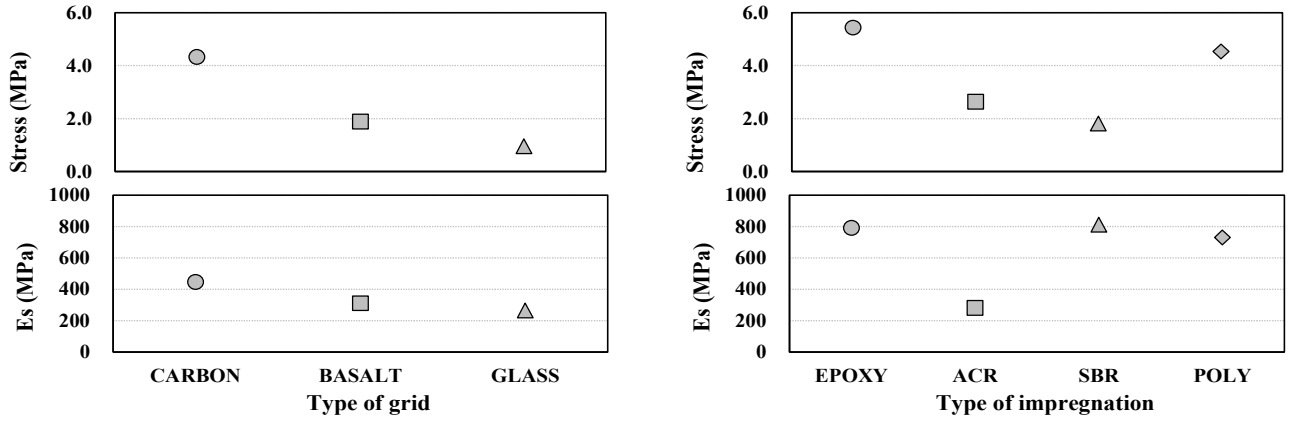
<표 2.7> 직접부착(Pull-Off) 실험체 일람

실험변수	그리드		제조사	묻힘 깊이	함침제	격자사이즈 (mm)
섬유 종류	CARBON		한국: C	20 mm	Epoxy	25×25
	BASALT		중국: A			
	ECR-GLASS		한국: C			
격자 사이즈	BASALT		독일: A		Acrylate	10×10
						25×25
						40×40
함침제 종류	CARBON		독일: S		Epoxy	21×21
			독일: V		Acrylate	23×22
					SBR	23×23
					Polystyrene	23×22
직조 방식	PET (Press)		한국: H		PVC	25×25
	CARBON (Pillar stitch)		독일: S		Epoxy	21×21
	E-GLASS (Leno weave)		한국: HI		Urethane	20×20



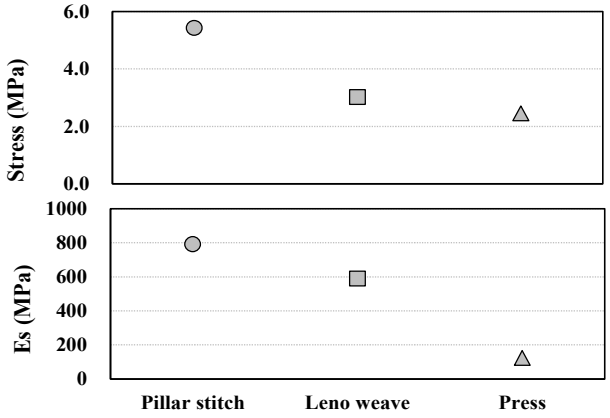
[그림 2.12] Pull-off 실험결과

- (직접부착: Pull-off) 실험결과[그림 2.12], **그리드 종류별** 부착성능은 바살트 섬유가 1.44MPa로 가장 높은 부착응력을 발휘하였음. **탄소섬유는 바살트 섬유에 비하여 82% 수준(1.18MPa)으로 동등한 성능을 발휘**하였으며, 유리섬유는 42%수준으로 가장 낮은 부착응력을 발휘하였음.
- **그리드의 크기별** 부착성능은 그리드 크기가 10mm에서는 1.37MPa로 가장 낮게 나타났으며, 25mm, 40mm에서 134~150% 수준으로 향상되었음.
- **함침제의 종류별** 부착성능은 폴리스틸렌수지와 아크릴수지로 함침한 그리드가 약 2.35 ~ 2.48MPa로 가장 높은 부착응력을 나타내었으며, 에폭시수지 및 SBR 수지에서는 약 41~45% 수준으로 낮은 부착응력을 나타내었음.
- **텍스타일 그리드의 직조방식**에 따른 부착응력은 Pillar stitch 직조방식을 적용한 그리드가 2.23MPa로 가장 높게 나타났으며, Leno weave와 Press 직조방석의 경우 약 37~50% 수준으로 상대적으로 낮은 부착응력을 나타내었음[표 2.7 참조].
- (인발부착: Pull-out) 실험결과, 모든 실험체의 파괴형태는 그리드가 최대하중을 받은 이후 부착력을 상실하여 무기계 매트릭스와의 분리에 의한 섬유인발에 의하여 파괴되었음.
- [그림 2.13]에 각 변수별로 인발응력과 탄성계수 관계를 나타내었음. **그리드 종류**에 따른 인발부착강도는 **탄소섬유가 4.32MPa로 가장 높게 나타났으며**, 초기 탄성계수도 동일하였음.
- **함침제 종류**에 따른 인발부착강도는 에폭시 수지로 함침한 그리드가 5.43MPa로 가장 높은 수준의 부착성능을 발휘하였으며, 폴리스틸렌, 아크릴레이트, SBR 순서로 부착성능이 저하되는 경향을 나타내었음. 초기탄성계수의 경우, 에폭시, 폴리스틸렌, SBR의 함침제가 비슷한 수준이며, 아크릴레이트가 가장 낮은 수준을 나타내었음.
- **텍스타일 그리드의 직조방식**에 따른 부착성능 및 초기탄성계수가 Pillar stitch 5.43MPa, Leno weave 3.02MPa, Press 2.45MPa 순서로 낮아지는 경향을 나타내었음[표 2.7 참조].



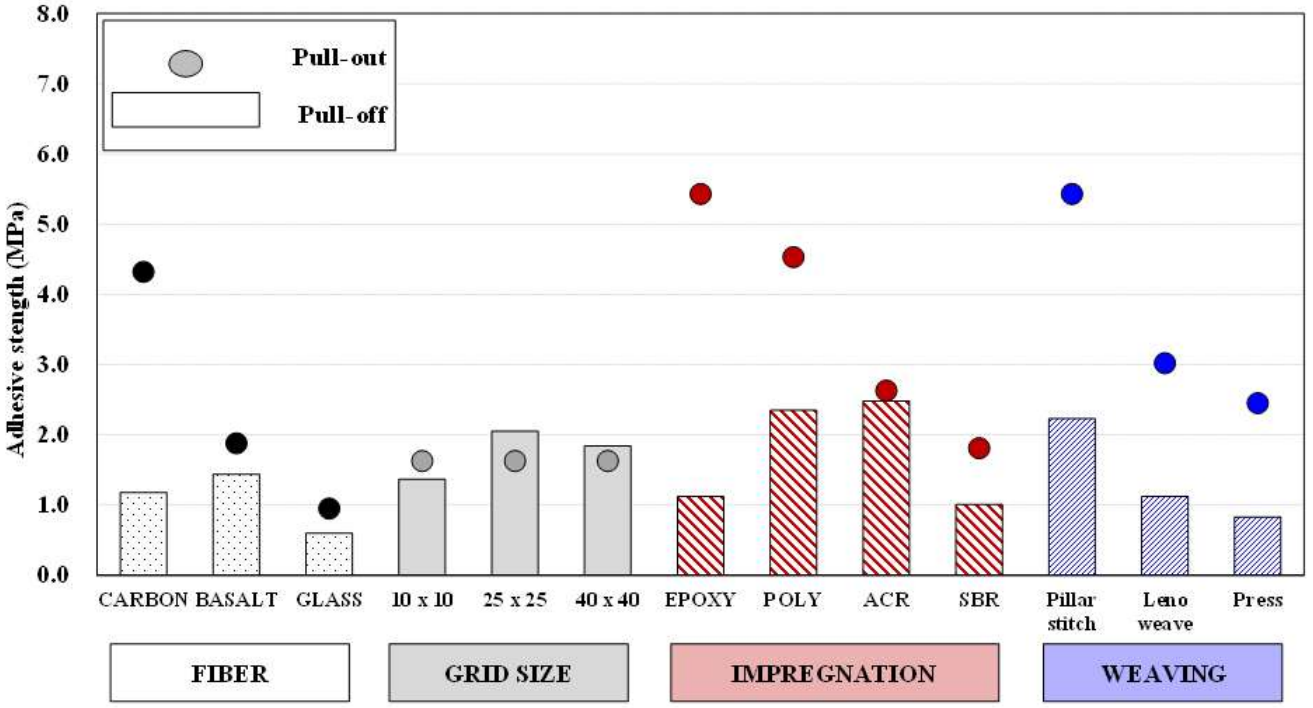
(a) 그리드 종류

(b) 함침제 종류



(c) 직조방법

[그림 2.13] Pull-out 실험결과



[그림 2.14] 텍스타일 그리드의 부착성능 실험결과

(다) 역학적 특성 및 내구성을 고려한 텍스타일 그리드 설계(안) 제시

- 내구성 실험결과, 탄소섬유(ROVING, GRID)가 알칼리(pH13), 염소이온(NaCl:3%), 황산(H_2SO_4: 2%)용액에 대한 인장강도 저감율이 낮아 내구성이 좋은 섬유로 평가되었음.
- 텍스타일 그리드의 무기계 매트릭스와의 부착성능을 2가지 실험방법(Pull-off, Pull-out)에 의하여 수행한 결과, 부착강도는 섬유종류에서 탄소섬유그리드, 함침제종류에서 에폭시수지, 직조방식에서 Pillar stitch 가 가장 우수한 성능을 발휘하였음.
- 텍스타일 그리드의 내구성 및 부착성능 실험결과를 고려하였을 때 탄소섬유 그리드를 사용할 경우, 노후 콘크리트 구조물의 성능향상 및 유지관리에 유리할 것으로 판단되며, 텍스타일 그리드의 함침제 및 직조방법에 대한 검토는 2차년도에 추가적으로 수행하였음.

(4) 소결

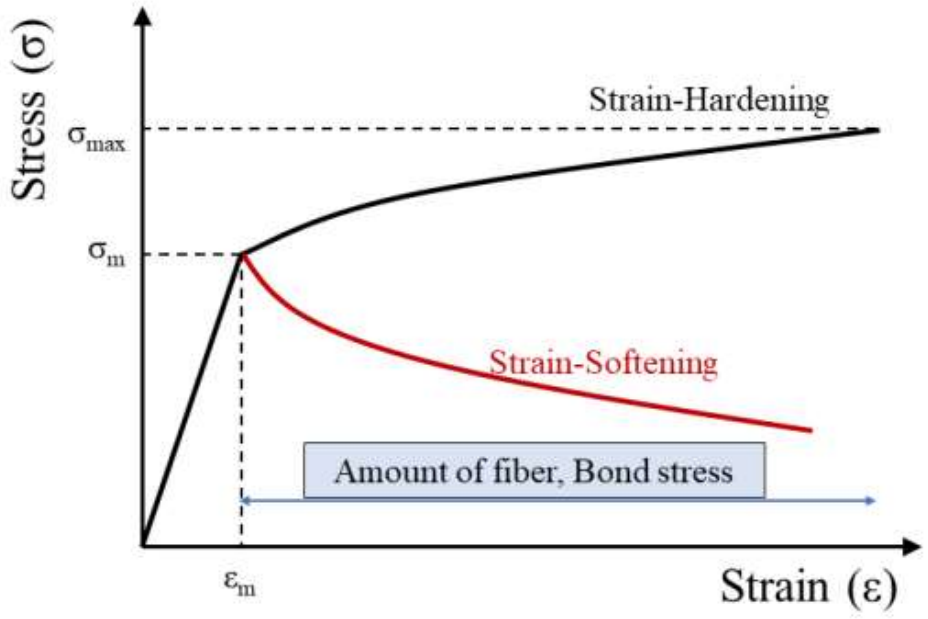
- 무기계 접착제 배합실험을 통하여 물바인더비(W/B) 및 무기계 결합재(실리카퓸, 슬래그), Short fiber, Polymer(EVA, ACR, SBR)를 활용하여 기존 보수모르타르에 비하여 역학적 성능 및 내구성능을 향상시킨 FRCM 복합재용 무기계 접착제를 개발하였음.
- FRCM 복합재 보강용 텍스타일 그리드의 최적 설계(안)을 도출하기 위하여 섬유종류별(탄소섬유, 바살트섬유, 유리섬유) 촉진내구성실험(알칼리, 황산, 염소이온) 및 텍스타일 그리드 특성별 부착성능 실험을 수행한 결과, 탄소섬유가 내구성측면에서 우수한 결과를 나타내었으며, 텍스타일 특성인 섬유종류, 그리드 크기, 함침제 종류, 직조방법이 부착성능에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 텍스타일 그리드 최적설계(안)으로 고려해야할 것을 사료됨.

[2차년도]

연구개발 목표	- ㈜캐어콘: 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술 개발 - 공주대학교: FRCM활용 구조물 보수·보강기술 및 장기거동 측정/내구성평가

(1) 노후 구조물 보수·보강 요구 성능 분석

- 상대적으로 설치가 쉽고 중량대비 강도가 높은 복합재료인 섬유보강 복합재(Fiber Reinforced Polymer, 이하, FRP)는 1990년대부터 건축 및 토목분야에 널리 사용되어왔음.[10)]
- 그러나 결합재로 사용하는 유기계 매트릭스는 (1)유리전이온도 이상의 온도에서 에폭시 수지의 열악한 거동, (2)젖은 표면 또는 저온에 적용하기 어려움, (3) 콘크리트 구조물에 손상을 줄 수 있는 투과성 부족, (4)콘크리트 기판과의 상용성 부족 등 다양한 문제점이 보고되어 왔음.[11)]
- 이러한 문제점의 대안적인 해결책으로 매트릭스를 유기물에서 무기결합제로 대체하며, 섬유보강재는 무기 매트릭스와의 부착성능을 향상시키기 위하여 격자형태(Textile)의 직물을 사용함.
- 섬유 강화를 갖는 주요 복합재의 카테고리는 금속매트릭스 복합재(Metal Matrix Composite, 이하 MMC), 고분자 매트릭스 복합재(Polymer Matrix Composite, 이하 PMC), 취성매트릭스 복합재(Brittle Matrix Composite, 이하 BMC)로 구분되며 FRCM은 BMC의 하위개념에 속함.[12)]



[그림 2.15] 취성 매트릭스 복합재(Brittle Matrix Composites)의 구조적 거동

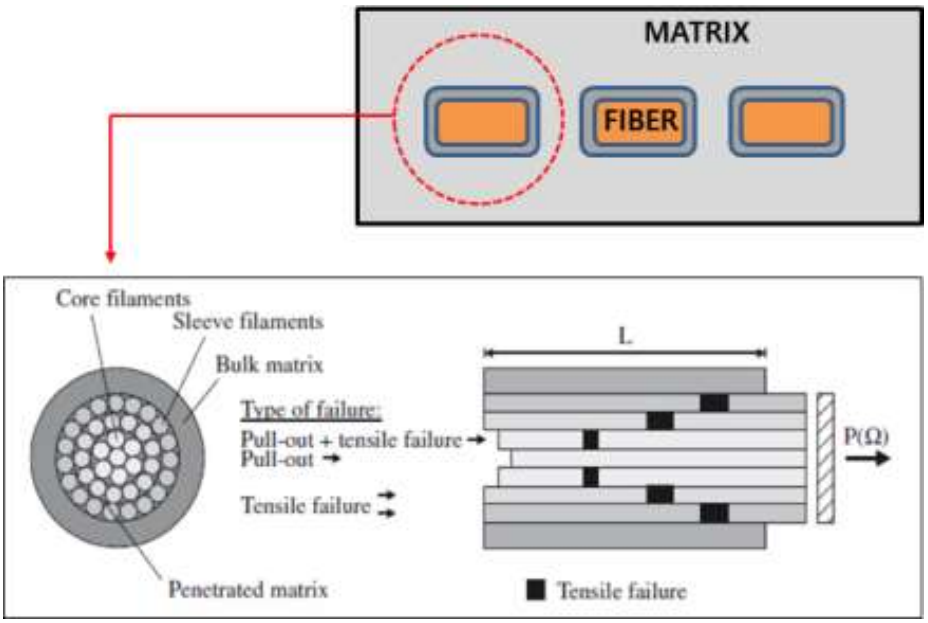
- BMC에서 매트릭스(무기계 접착제)는 전형적으로 다공성이고, 비교적 높은 압축강도를 갖지만, 인장강도가 낮은 그라우트, 모르타르, 콘크리트임.

10) Choi, D.U., Kang, T.H.K., Ha, S.S., Kim, K.H., and Kim, W.S. (2011) Flexural and bond behavior of concrete beams strngthened with hybrid carbon-glass fiber reinforced polymer sheets. ACI Structural Journal 108(1), 90-98

11) Al-Salloum, Y. A., Elsanadedy, H. M., Alsayed, S. H., and Iqbal, R. A. (2012) Experimental and numerical study for the shear strengthening of reinforced concrete beams using textilereinforced mortar. Journal of Composites for Construction 16(1), 74-90.

12) Diana Arboleda, “Fabric reinforce cementitious matrix(frcm) composites for infrastructure strengthening and rehabilitation: characteriazation methods”, doctor of philosophy, University of miami, August, 2014

- BMC의 구조적 거동은 FRP와 매우 다르며, Textile과 매트릭스 사이의 계면결합(부착성능)이 약하고 복잡하여 매트릭스의 변형한계(εm)에서 균열이 발생하기 시작하고, Textile과의 디본딩(Debonding) 및 미끄러짐(Slippage)으로 인하여 균열발생을 완화시키는 메카니즘을 갖음.
- 또한, 취성적인 매트릭스내부에 위치한 섬유는 균열가교역할 및 응력 재분배를 통해 인장과 인성능력을 향상시키지만, Textile과 매트릭스 계면부착성능의 유지가 선행되어야 함.[13)]
- [그림 2.15]는 BMC의 응력-변형율 거동을 나타내며, 매트릭스의 인장강도까지 선형탄성적으로 작용하고 응력이 증가함에 따라 매트릭스에 여러 균열이 발생하고 Textile에 의하여 응력이 재분배되어 추가 변형을 유지할 수 있음.
- **[FRCM 복합재의 직접인장특성]**의 결정을 위하여 기존에는 다양한 그립방법 및 시편형상을 사용하였으며,[14)15)16)17)] 가장 많이 사용하는 방법은 클레비스그립과 클램핑 그립방법임.
- 앞서 설병한 바와 같이 FRCM의 현장적용에서 가장 중요하게 생각되는 부분은 부착성능으로 [그림 2.16]과 같이 FRCM을 구성하는 Textile은 보통 건조 직물을 많이 사용하며, 슬리브 및 코어를 갖는 것으로 모델링됨.



[그림 2.16] FRCM의 인장에 의한 부착성능 개념도[18)]

- FRCM의 직접인장 시 매트릭스와 섬유의 접착결함, 섬유내부의 슬리브와 코어의 마찰결합은 FRCM의 인장특성에 중요한 영향을 미침.
- 매트릭스와 Textile 사이의 미끄러짐은 Textile의 불완전 함침(에폭시 등) 및 디본딩에 기인하며, 불완전 함침시는 섬유내부의 슬리브와 코어의 미끄러짐에 빨리 도달하여 인장특성이 저하됨.

---

13) Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2012). Fundamentals of materials science and engineering: An integrated approach John Wiley & Sons.

14) Contamine, R., Si Larbi, A., and Hamelin, P. (2011). “Contribution to direct tensile testing of textile reinforced concrete (TRC) composites.” Mater. Sci. Eng., A, 528(29), 8589.8598.

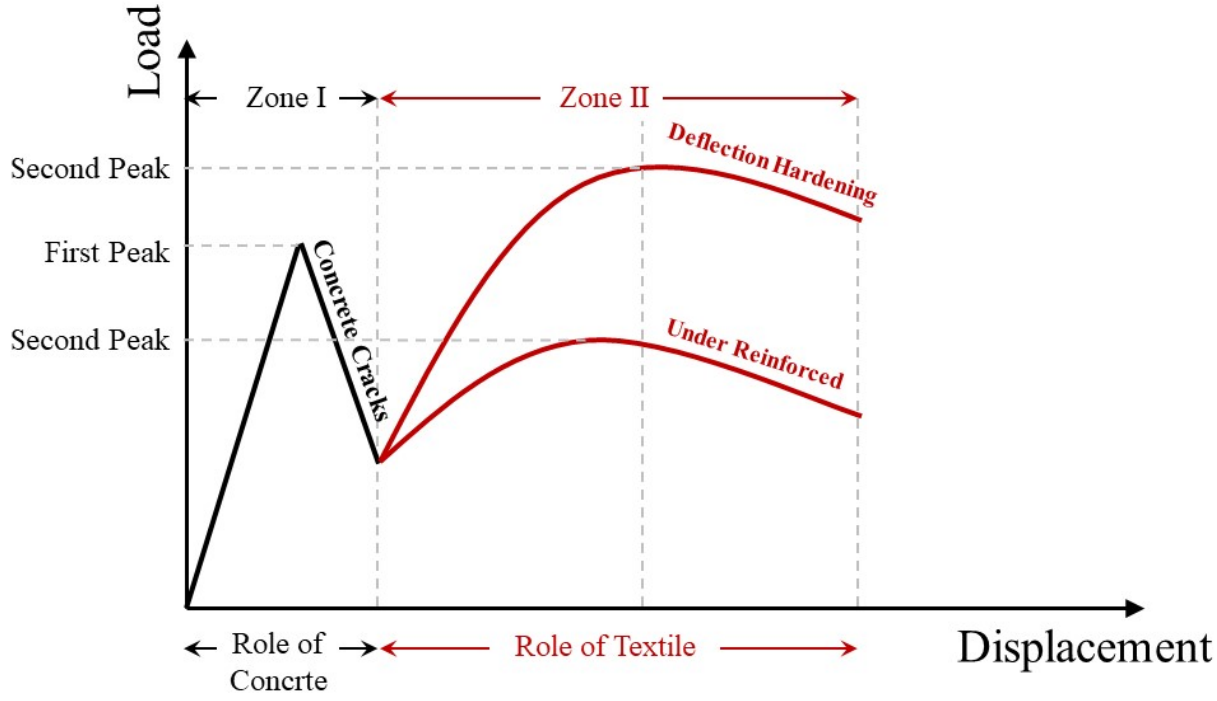
15) Zhu, D., Peled, A., Zaguri, E., and Mobasher, B. (2011). “Dynamic tensile testing of fabric-cement composites.” Constr. Build. Mater., 25(1), 385.395.

16) Hartig, F., Jesse, F., Schicktanz, K., and Haubler-Combe, U. (2012). “Influence of experimental setups on the apparent uniaxial tensile load-bearing capacity of textile reinforced concrete specimens.” Mater. Struct., 45(3), 433.446.

17) Arboleda, D., Loreto, G., De Luca, A., and Nanni, A. (2012). “Material characterization of fiber reinforced cementitious matrix (FRCM) composite laminates.” Proc., 10th Int. Symp. on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites, H. W. Rivas, L. P. Seosane, and I. G. Castro, eds., Havana, Cuba, 29.37.

18) Banholzer, B., Brockmann, T., and Brameshuber, W. (2006). “Material and bonding characteristics for dimensioning and modelling of textile reinforced concrete (TRC) elements.” Mater. Struct., 39(8), 749.763.

- FRCM의 인장특성 향상을 위하여 Textile 함침 및 매트릭스와의 부착성능 향상이 필요함.
- **[FRCM복합재의 휨 인장특성]**에서, FRCM 복합재는 보수 및 보강재료로 사용가능하며, 보강 두께가 얇은 경량의 Panel, Deck 등 다양한 형태의 2차제품으로 활용가능하기 때문에 주로 휨 하중에 대한 저항능력의 평가는 매우 중요함.
- [그림 2.17]은 FRCM의 일반적인 휨 거동이며, 다음과 같이 2개의 영역으로 구분할 수 있음.
  - · Zone Ⅰ: 매트릭스의 초기 균열이 발생(First Peak)한 후 하중이 감소함. Textile의 보강량 및 부착성능이 부족한 경우 하중 감소량이 증가함. 이후 매트릭스의 균열폭이 증가하기 시작하고 하중이 Textile에 전달됨.
  - · Zone Ⅱ: Textile의 인장강도가 충분하고 Textile과 매트릭스 사이에 적절한 결합이 존재하면 하중이 증가함. 이 영역에서 Textile이 늘어나면서 하중을 전달하여 최대강도(Second Peak)에 도달함.



[그림 2.17] FRCM 휨·인장거동 도식화[19)]

- [그림 2.17]과 같이 FRCM에서 Textile은 Zone Ⅱ에서의 거동에 영향을 미치며 Textile의 함침(Epoxy)여부, 격자의 크기, 매트릭스와 Textile의 계면 부착성능은 휨 인장거동을 향상시킬 수 있는 중요한 변수임.
- **[FRCM 복합재 외부보강 RC보의 휨 성능평가]**를 위하여 FRCM 복합재의 철근콘크리트 보의 적용과 관련하여, 2006년부터 약 10년 동안 게재된 21편의 논문을 조사하였음.
- 보의 사이즈는 약 2.0m의 유효스팬의 중간 규모의 beam을 대상으로 하였으며, 사용 Textile은 탄소섬유(Carbon Textile), 유리섬유(Glass Textile), 현무암섬유(Basalt Textile), PBO섬유(PBO Textile)임.
- 보의 파괴모드는 ①Textile slippage, ②기존콘크리트와 매트릭스의 계면파괴, ③매트릭스와 Textile의 계면파괴, ④콘크리트 피복의 탈락, ⑤Textile 파단, ⑥콘크리트 압축파괴, ⑦콘크리트 전단파괴로 총 7가지 파괴형태로 구분되었음.
- 주로 ①, ②, ③의 파괴모드가 주를 이루며, 휨 성능보강효과에 대한 매개 변수는 레이어 겹수, RC보의 주철근비, Textile의 부착성능(함침, 표면코팅여부), 매트릭스의 부착성능, 텍스타일의 직조방법에 따른 보강성능 평가가 필요함.

19) 김선길, "3차원 Textile 보강 시멘트 복합재료의 정적 및 충격거동 평가" 박사학위논문, 세종대학교 대학원

(2) 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술 개발

가) 무기계 접착제의 성능개선을 위한 기초실험

- 앞에서 제시한 문헌 조사를 통하여 FRCM 복합재를 구조물에 적용함에 있어 부착성능이 중요한 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 1차년도에서 개발한 무기계 접착제의 부착성능을 향상시키기 위하여 **①1차년도 배합의 부착성능검증, ②부착성능향상을 위한 Polymer 선정실험, ③부착성능향상을 위한 결합재 추가실험, ④현장적용성을 위한 경제성 분석 및 단가 절감 방안 제시, ⑤요구 성능을 만족하는 최종배합비 도출** 등 단계적인 실험과 결과분석을 수행하였음.

[①1차년도 배합의 부착성능검증]

- <표 2.8>과 같이 1차년도의 (1번)배합과 (3번)배합의 부착성능을 확인하기 위하여 실험을 실시하였으며, 모든 배합은 압축강도 및 휨 강도, 부착강도(표준)는 2차년도 목표값인 70.0MPa, 8.0MPa, 2.0MPa 이상을 만족하였으나, 온냉반복시의 부착강도는 두 배합 모두 **표준조건에서의 부착강도 보다 온냉반복조건에서의 부착강도가 약 17% 저감**되었음.
- FRCM 복합재의 보수·보강에 적용하는 대상 구조물은 건축구조물 뿐만 아니라 하수암거, 교량 등 외부에 노출된 구조물에도 적용하기 때문에 외기의 영향을 고려한 부착성능의 확보가 중요하여 **현장 적용성을 위한 최적배합비 도출이 필요함.**

<표 2.8> 1차년도 배합의 부착성능 검증실험 결과(재령 28일)

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)								압축 (MPa)	휨 (MPa)	부착 (MPa)	
NO.		C[1]	GGBS	S.F	S[2]	PVA[3]	EVA[4]	AD[5]	W			표준	온냉반복
1	37.8	42.0	2.0	1.0	50.31	0.2	0.20	4.29	17.0	76.5	18.4	2.33	1.94
3	42.5	40.0	-	-	55.31	0.2	0.20	4.29	17.0	70.4	18.0	2.16	1.80

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) EVA: Ethylene Vinyl Acetate , 5) AD: Admixture

[②부착성능향상을 위한 Polymer 선정실험]

- 수화작용 시 생성되는 수화물이 C-S-H 결정사이에 침투하여 공극을 메워주어 부착성능 향상에 효과가 있는 재분산형 폴리머는 종류에 따라 가격 및 성능에 차이가 있기 때문에 폴리머 종류(ACR, EVA, SBR)에 따른 부착성능 실험을 수행하였음. <표 2.9>
- 실험결과, 모든 배합은 압축강도가 2차년도 목표값을 만족하는 결과를 나타내지만, 부착강도의 경우 표준양생 조건에서 ACR수지를 첨가한 배합은 1.57MPa로 2차년도 목표값 이하인 결과를 나타내었으며, 온냉반복 조건에서는 ACR수지, EVA수지, SBR수지를 첨가한 모든 배합이 2차년도 목표값 이하인 결과를 나타내어, 추가적인 배합의 개선이 필요함.

<표 2.9> 폴리머 종류에 따른 부착성능 실험결과(재령 28일)

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)								압축 (MPa)	부착 (MPa)	
		C[1]	GGBS	SF[2]	S[3]	PVA[4]	Poly-mer	AD[5]	W		표준	온냉반복
ACR[6]	37.8	42.0	2.0	1.0	50.31	0.2	0.2	4.29	17.0	75.2	1.57	1.30
EVA[7]										76.5	2.33	1.94
SBR[8]										73.8	2.20	1.83

Note: 1) C: Cement, 2) SF: Silica fume, 3) S: Sand, 4) PVA: Polyvinyl alcohol, 5) AD: Admixture, 6) Acrylate, 7) Ethylene Vinyl Acetate, 8) Styrene Butadiene Rubber

[③부착성능향상을 위한 결합재 추가실험]

- 기존 연구에 따르면[20], 무기계 접착제의 부착성능 향상을 위하여 CSA계 팽창제, CSA계 속경재, 실리카퓸을 사용하며, CSA계 팽창재 및 속경재의 경우, 초기양생기간 동안의 팽창량이 부착력 증진에 영향을 미치지만, 무기계 접착제가 팽창한 후 건조수축과 열응력 등으로 인하여 길이변화가 크게 되면, Choi et al[21]이 보고한 바와 같이 무기계 접착제와 기존 콘크리트 계면을 따라 단부측에 응력이 크게 발생하여 부착강도가 저하되는 문제점이 있음.
- 실리카퓸의 경우, Bhanja and Sengupta[22]가 보고한 바와 같이 포졸란 반응과 시멘트 입자의 공극을 채워주는 filler효과로 인하여 기존 콘크리트와의 접착면적을 증가시켜 부착력 증진에 효과가 있는 점을 고려하여 실리카퓸의 혼입양을 1.0~4.0 중량% 범위를 변수로 하여 부착성능에 미치는 영향을 평가하였음. <표 2.10>
- 실험결과, 모든 변수별 압축강도는 2차년도 목표값을 만족하였으며, 부착강도의 경우 표준조건에서는 2차년도 목표값을 만족하였지만, 온냉반복조건에서는 2.0 중량%이상 혼입하여 요구조건에 만족하는 결과를 나타내었다. 하지만, 실리카흄은 국외의존도가 높은 만큼 가격조건을 고려하여 혼입양을 결정하여야 함.

<표 2.10> 실리카퓸 혼입양에 따른 부착성능 실험결과(재령 28일)

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)								압축 (MPa)	부착 (MPa)	
		C[1]	GGBS	SF	S[2]	PVA[3]	EVA	AD[4]	W		표준	온냉반복
S.F 1.0	37.8	42.0	2.0	1.0	50.31	0.2	0.2	4.29	17.0	76.5	2.33	1.94
S.F 2.0		41.0		2.0						79.9	2.74	2.28
S.F 3.0		40.0		3.0						82.6	3.31	2.75
S.F 4.0		39.0		4.0						77.7	3.20	2.66

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) AD: Admixture

[④현장 적용성을 위한 경제성 분석 및 단가 절감 방안제시]

- 시험배합의 결과분석으로 도출된 배합의 현장적용 효율성을 높이기 위해서는 배합에 사용하는 원료의 단가절감이 중요하기 때문에 원료에 대한 경제성 분석을 수행하였음. 수행결과, <표 2.11>과 같이 실리카퓸 및 폴리머의 가격이 시멘트, 고로슬래그 미분말에 비하여 가격이 높아 전체적인 제품의 가격을 증가시킬 수 있음.
- 국내에서 많이 사용하고 있는 실리카퓸은 노르웨이의 Elkem 사에서 수입하여 사용되며, 가격은 420원/kg이며, 이에 비하여 중국산의 경우, 50%저렴한 210원/kg이다.
- 현장적용에 있어 제품의 가격은 중요한 부분을 차지하고 있기 때문에 품질을 유지하며 제품가격을 낮추기 위하여 추가적인 배합의 개선실험을 수행하였음.

---

20) 송형수외 2명, 혼화재료가 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 성질에 미치는 영향, 한국구조물진단학회논문집, 제 11권 제1호, 2007 pp. 85-94

21) Choi, D.U., Fowler, D.W. and Wheat, D.L., "Thermal sresses in polymer concrete overlays" ACI SP-166, Properties and uses of polymer in concrete, U.S., 1996

22) Bhanja, Santanu and Sengupta, Bratish "Optimum Silica fume content and its mode of action on concrete." ACI Materials Journal, V.100 No.5, 2003, pp. 407-412

<표 2.11> 무기계 접착제 구성 원료의 경제성 분석

배합	결합재(Binder)				
구성재료	시멘트 (Cement)	슬래그 (GGBS)	실리카흄		폴리머 (EVA)
			Elkem	중국산	
가격 (원/kg)	140	53	420	210	4,200
배합비율 (%)	92.00	4.42	3.10	3.10	0.44

- <표 2.12>에 제조사별 실리카퓸의 화학조성을 나타낸 것과 같이 두 제품 모두 SiO_2 함량은 약 90%이며, 비중 및 비표면적은 중국제품이 더 높은 것으로 나타났다.

<표 2.12> 제조사별 실리카퓸의 화학조성

Type		SiO_2 (%)	Ig.loss (%)	Bulk density (kg/m^3)	Blaine (m^2/g)
Silica fume	(Elkem)	90.0	3.0	200~350	15~25
	(China)	90.8	2.06	350~400	18~30

- <표 2.13>에 나타낸 것과 같이 재령 28일에서 Elkem사와 중국산의 실리카퓸의 압축강도 및 부착강도는 거의 유사한 수준으로 강도가 발현되었으며, 부착강도는 중국산이 더 우수한 것을 확인하였다.
- 또한, 혼입양의 변화에 따른 압축성능은 2가지 제조사 모두 큰 차이는 나타나지 않았지만, 부착성능은 혼입량이 저감할수록 부착강도가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 1.4 중량% 이하에서는 2차년도 목표값보다 낮은 수치를 나타내었다.

<표 2.13> 실리카퓸 제조사별 혼입양 변화에 따른 부착성능 실험결과(재령 28일)

Mix		W/B (%)	Composition of content by weight (%)								압축 (MPa)	부착 (MPa)	
			C[1]	GGBS	SF	S[2]	PVA[3]	EVA	A.D[4]	W		표준	온냉반복
S.F 1.0	E[5]	37.8	42.0	2.0	1.0	50.31	0.2	0.2	4.29	17.0	76.5	2.33	1.94
S.F 1.2	E		41.8		1.2						77.9	2.39	1.99
	C[6]										73.3	2.44	2.03
S.F 1.4	E		41.6		1.4						74.5	2.48	2.06
	C										74.6	2.55	2.08
S.F 1.6	E		41.4		1.6						75.7	2.51	2.09
	C										74.0	2.56	2.13
S.F 1.8	E		41.2		1.8						74.7	2.61	2.17
	C										77.3	2.60	2.16

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) A.D: Admixture, 5) Elkem, 6) China

- <표 2.14>에 나타낸 것과 같이 재령 28일에서 폴리머 혼입양 저감에 따른 물리적 특성 실험 결과, 압축강도는 2차년도 목표값을 만족하는 결과를 나타내고 있지만, EVA수지의 첨가량감소는 부착특성이 저감되는 결과를 나타내어 폴리머의 첨가량은 0.2 중량%를 유지하는 것으로 결정하였음.

<표 2.14> 폴리머(EVA수지) 혼입양 저감에 따른 부착성능 실험결과(재령 28일)

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)								압축 (MPa)	부착 (MPa)	
		C[1)]	GGBS	SF	S[2)]	PVA[3)]	EVA	A.D[4)]	W		표준	온냉반복
EVA 0.00%	37.8	41.6	2.0	1.4	50.51	0.2	0.00	4.29	17.0	73.7	1.96	1.63
EVA 0.05%					50.46		0.05			70.3	2.01	1.67
EVA 0.10%					50.41		0.10			71.4	2.06	1.71
EVA 0.15%					50.36		0.15			75.1	2.09	1.74
EVA 0.20%					50.31		0.20			74.6	2.50	2.08

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) A.D: Admixture, 5) Acrylate, 6) Ethylene Vinyl Acetate, 7) Styrene Butadiene Rubber

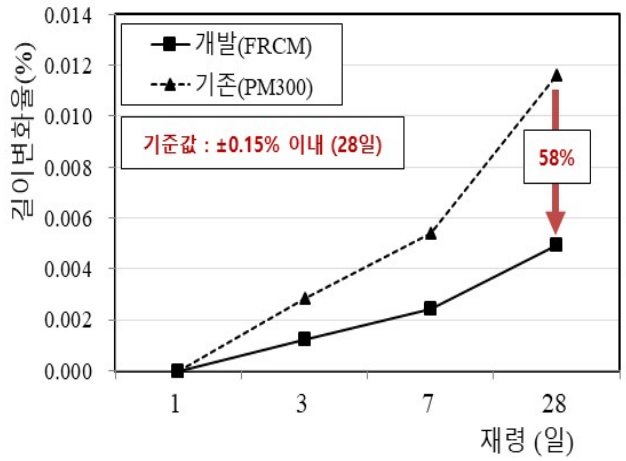
[⑤요구 성능을 만족하는 최종배합비 도출]

- 현장 적용성을 위한 요구 성능을 만족하는 무기계 접착제 개발을 위하여 문헌조사 및 실험, 경제성 분석을 통하여 <표 2.15>에 나타낸 것과 같이 최적배합비를 결정하였음.
- 개발된 무기계 접착제(FRCM) 최종배합의 물리적 특성(압축, 휨, 부착강도)은 **2차년도 목표값을 만족**하며, 기존 보수모르타르(PM300)와 비교하여 **압축강도는 135%향상**된 74.6MPa, **휨강도는 70%향상**된 17.4MPa, **부착강도는 표준조건에서 58%향상**된 2.48MPa, **온냉반복조건에서 66%향상**된 2.06MPa로 시공품질을 대폭 향상시켰음.
- 또한, 건조수축에 중요한 영향을 미치는 요소로 인장력에 저항하는 능력이 약한 무기계 접착제에 있어 중요한 평가항목인 길이변화에서는 [그림 2.18]과 같이 모든 배합은 KS 기준(±0.5%이내)을 만족하며, 재령28일의 길이변화율은 기존 보수모르타르에 비하여 58% 저감된 결과를 나타내었다.
- [그림 2.19]와 같이 기존 보수모르타르와의 경제성 비교에서는 기존 보수모르타르가 개발한 무기계 접착제에 비하여 m^3(1루베)기준 358,000원으로 약 6% 저렴한 결과를 나타내고 있지만, 개발한 무기계 접착제는 기존 보수모르타르보다 물리적 특성 및 내구성능이 대폭 상향되어 장기적인 유지관리 측면에서 경제성이 우수함.

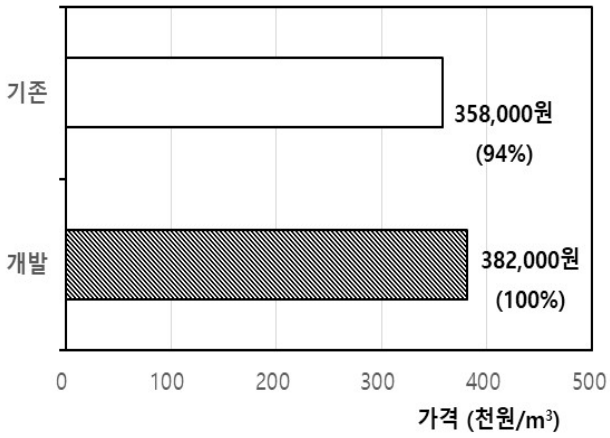
<표 2.15> 2차년도 무기계 접착제 최종배합비 및 기존 보수모르타르와의 성능비교 (재령 28일)

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)								압축 (MPa)	휨 (MPa)	부착 (MPa)	
NO.		C[1)]	GGBS	SF	S[2)]	PVA[3)]	EVA[4)]	A.D[5)]	W			표준	온냉반복
개발	37.8	41.6	2.0	1.4	50.31	0.2	0.20	4.29	17.0	74.6	17.4	2.48	2.06
기존	48.6	35	-	-	61.29	-	-	3.71	17.0	31.7	10.2	1.57	1.24

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) EVA: Ethylene Vinyl Acetate , 5) A.D: Admixture



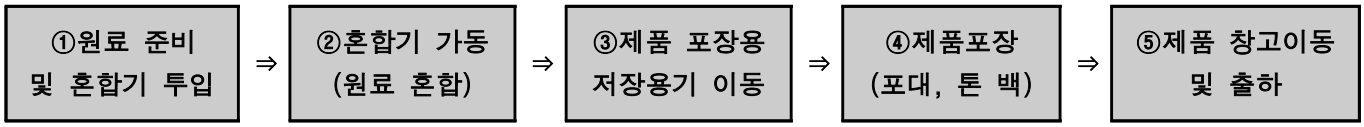
[그림 2.18] 길이변화율 비교(기존 VS 개발)



[그림 2.19] 경제성 비교(기존 VS 개발)

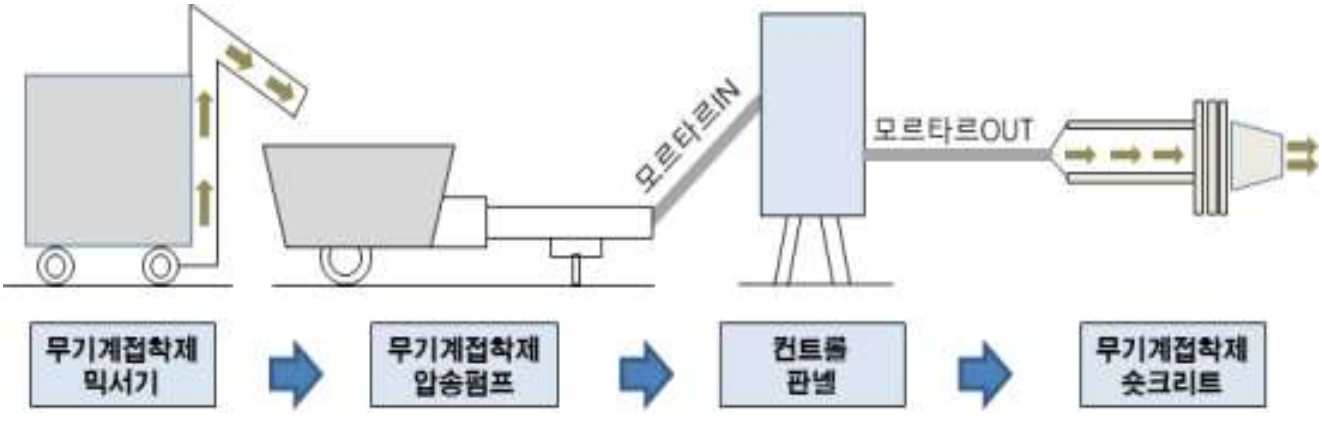
나) 무기계 접착제 시작품 제작 및 현장 적용성 평가

- 결정된 최적배합비를 바탕으로 공장에서 시제품 제작을 진행하였음. 시제품의 생산순서는 [그림 2.20]과 같이1)혼합에 필요한 원료(결합재, 규사, 혼화제 등)를 준비하여 혼합기에 투입하고 2)혼합기를 가동하여 원료를 혼합, 3)제품포장용 저장용기로 이동, 4)개별포대 및 톤 백으로 제품포장, 5)제품 창고이동 및 출하의 총 5단계로 구분됨.
- 무기계 접착제의 제품 포장을 위한 분체의 혼합은 믹서의 크기 및 종류에 따라서 다르지만, 일반적으로 1,500L~2,000L의 혼합기를 기존 단위로 하고 있음.
- 혼합기의 성능은 용량 1,500L, 혼합속도 60RPM의 고성능, 대용량으로 모르타르 분체를 1~3분간 혼합하여 포대에 포장하며, 전 과정은 자동으로 실시됨.
- 무기계 접착제 시제품의 포장단위는 일반 보수 모르타르와 같이 25kg 포대에 포장을 하며, 현장여건에 따라, 대량 주문 시 1ton 단위의 톤 백 지재에 포장하는 경우도 있음.



[그림 2.20] 무기계 접착제 시제품 생산과정

- 제작된 시제품의 현장적용성을 평가하기 위하여 실험실 규모에서 PC 사각형 암거의 외측벽면에 시험시공을 수행하였음. 숏크리트 타설방법으로 시제품을 타설하였으며, 텍스타일 그리드는 1차년도에 SOLIDIAN 및 HI-GRID에 비하여 부착성능이 낮은 V.FRAAS 제품을 적용(사용이유: 시공성을 검증하면 SOLIDIAN 및 HI-GRID도 우수한 성능을 발휘할 것으로 예상)하였음.



[그림 2.21] 무기계 접착제 시제품 현장적용 모식도





[그림 2.22] 시험시공 전경

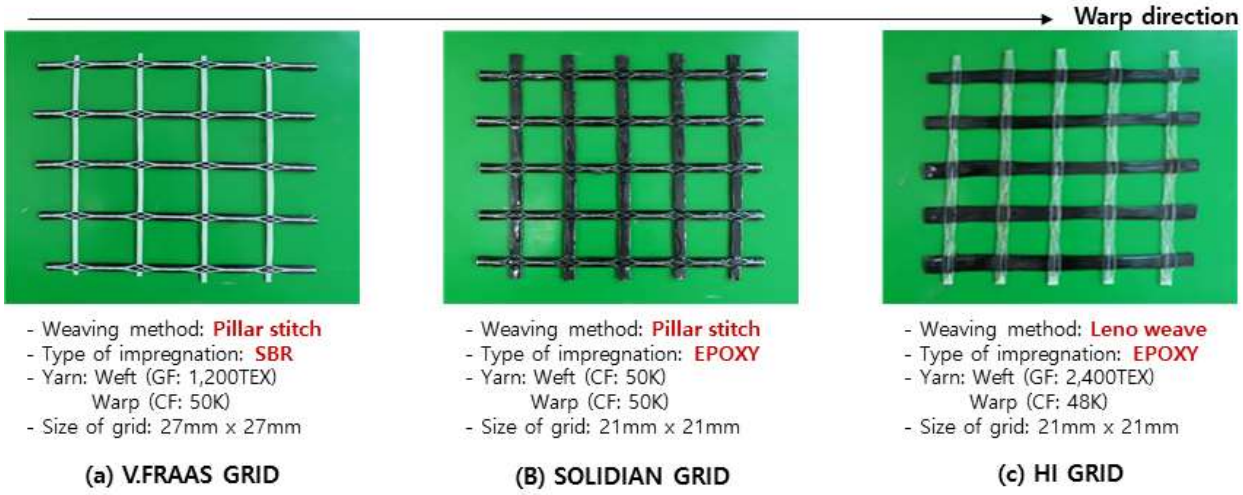
(3) 국내외 광섬유 센서관련 자료조사 및 분석

- 자동차, 항공 등 다양한 분야에서 응용되고 있는 광섬유 센서의 자료조사를 통하여 본 연구에 적용방법을 **①적용센서 선정측면, ②직조에 의한 보강섬유 그리드에 광섬유 센서 내장 측면, ③보강섬유직조 후 센서설치로 3가지 측면에서 분석**하였음.
- **[①적용센서]**는 크게 분포형 센서와 FBG(Fiber Bragg Grating) 센서로 구분되는데 계측을 하고자 하는 구조물의 위치를 정확히 설정하여 거리를 계산한 후 그 위치에 Bragg 격자를 가공하여 일반적인 계측에서 범용성이 떨어지는 FBG 센서보다 물리량의 변화를 실시간으로 파악할 수 있고, 공간 해상도(Spatial resolution)가 뛰어난 레일레이(Rayleigh) OTDR 분포형 센서를 적용할 예정임.
- **[②직조에 의한 보강섬유 그리드에 광섬유 센서 내장]**측면에서, 광섬유 센서는 EMI(Electro Magnetic Interference) 간섭이나 습기에 대해서 영향이 적고, 섬유와 같은 성질이 있기 때문에 보강섬유 그리드를 직조할 때 날실(Warp thread)처럼 처리하여 보강섬유 그리드를 직조할 수 있다. 게다가 한 가닥의 광섬유 센서를 이용해 실시간으로 모든 계측 정보를 전달할 수 있는 장점이 있다. Wang et al. 은 보강섬유 그리드에 광섬유센서를 일체화(integrate) 시키는 방법으로 보강섬유 그리드로 보강한 구조물의 변형률, 온도 등 물리적 변화량을 계측할 수 방법을 제시하였다.
- 하지만, 광섬유 센서는 구부림에 약하기 때문에 보강섬유 그리드를 직조하는 과정에 날실(Warp, 세로방향, 경사)의 일부 섬유를 광섬유 센서로 대체하여 광섬유와 날실을 일체와 시킨 날실과 씨실(Weft, 가로방향)을 직조기에 연결하여 그리드를 직조하는 방법을 제안하였다. 이때 날실과 씨실의 교차부는 고강도(high strength) 결합용 실(Binder yarn)로 묶여진다. 탄소섬유 등으로 이루어진 보강섬유 그리드는 강성이 없고 날실과 씨실의 교차점에서 밀림이 일어나 광섬유 센서를 고정하기 어렵다. 따라서 그리드를 특종중합체(Special polymer)로 코팅하여 그리드 강성과 부식 등에 대한 저항력을 높이고, 광섬유 센서와 그리드의 부착을 단단히 할 수 있다. 광섬유 센서를 그리드와 일체화 시켜 자동화 과정을 통해 직조하는 것은 가능하나, 광섬유센서 자체의 가격이 높아 그리드 전체에 설치하는 것은 현재 상황에 맞지 않는다.
- 결과적으로 보강섬유 그리드를 직조하는 과정에 필요구간에만 광섬유 센서를 매립하여야 하므로 소량의 주문생산으로 제작단가 상승으로 범용성이 낮다. 또한 광섬유 센서는 구부림에 제한이 있고, 중간에 연결이 끊기면 측정이 불가하므로 날실에만 적용할 수 있으며 결과로 그리드의 길이방향의 직선구간에서만 설치가 가능하다. 따라서 **보강섬유 그리드의 직조과정에서 광섬유 센서를 직조에 의해 매립하는 것은 합리적이지 않은 것으로 판단**된다.
- **[③보강섬유직조 후 센서설치]**측면에서, 구조물의 물리량의 변동을 측정하기 위해 센서를 보강섬유 그리드에 에폭시 등 폴리머 접착제를 사용하여 직접 고정시키는 방법으로 측정위치를 사전에 결정하여 센서와 일체화된 보강섬유 그리드가 측정위치에 정확히 놓일 수 있도록 고정시킨 후, 보수, 보강작업을 수행한다. 보강그리드에 센서를 부착시킬 때, 센서가 과도한 구부림이 없도록 하여야 하며 시공 시 센서의 손상을 막기 위해 센서 유리섬유 보호커버(Clad)가 있는 센서를 사용한다.

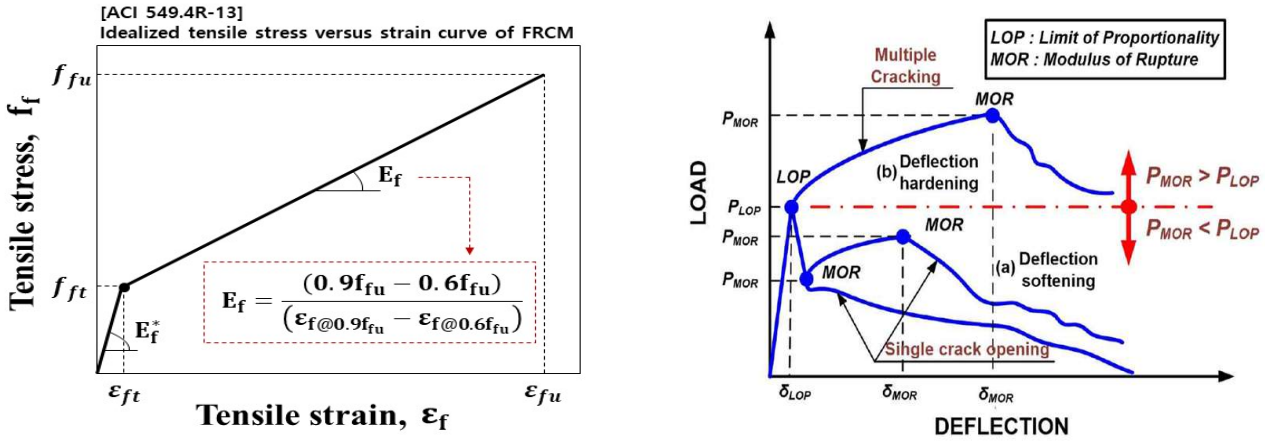
- **보강섬유직조 후 광섬유 센서의 설치는 적용성 측면에서 편의성을 제공하지만, 센서별(기존, 광섬유), 적용 보강섬유별 실험을 통하여 성능의 검증이 필요함.**

(4) FRCM 활용 구조물 보강 성능 평가

- 개발한 무기계 접착제와 텍스타일 그리드로 구성된 FRCM 복합재의 RC구조물 보강성능을 평가하기 위하여 선행적으로 **①직접인장실험 및 ②휨 인장실험**([그림 2.25])을 통하여 복합재의 물리적인 특성을 확인하였으며, FRCM복합재로 **③외부 보강한 RC보의 휨 보강실험**([그림 2.26])을 통하여 휨 거동 및 보강성능을 평가하였다.
- 1차년도의 내구성 및 부착성능 검증결과를 바탕으로 V.FRAAS(독일), SOLIDIAN(독일)의 텍스타일을 선정하였으며, 본 과제를 통해 개발된 HI-GRID로 총 3개의 텍스타일을 사용하였다 [그림 2.23]. 실험변수는, **텍스타일 직조방법, 함침제 종류, Aluminium 표면코팅 유·무**임.
- 직접인장실험은 ACI 549.4R-13, 휨 인장실험은 ASTM C1609-19a의 실험방법에 의하여 실험체 제작 및 실험을 수행하였음. [그림 2.24][23)24)]
- 직접인장실험에서 인장강도 산정시 섬유단면적(At)을 적용하였으며, 휨 인장실험에서 인성(toughness)은 하중-처짐 곡선의 각 지점에서의 면적을 나타내었음.
- 휨 인장실험에서 LOP는 보의 인장영역에 첫 번째 균열(1STcrack)이 발생한 지점을 의미하며, MOR은 최대 휨 하중 지점으로 정의하였음.

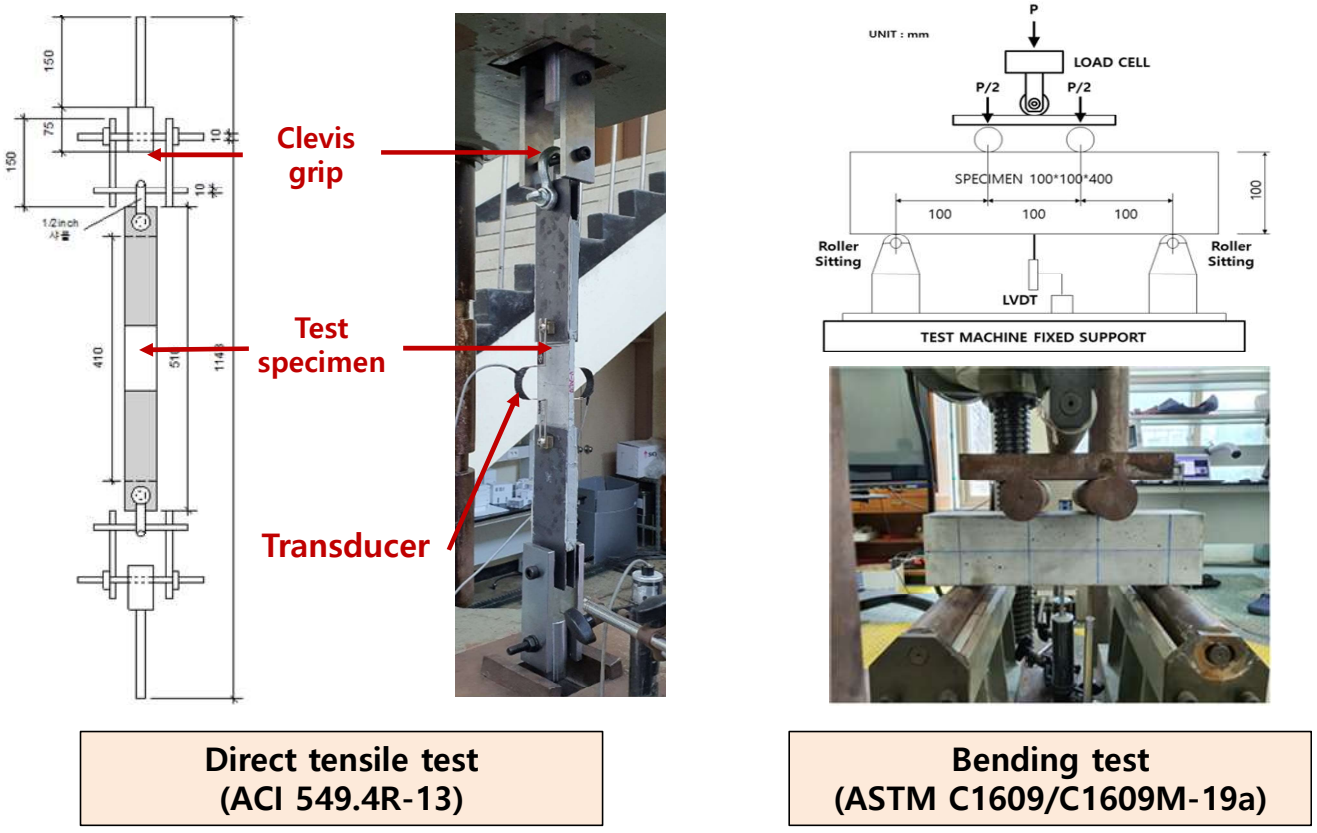


[그림 2.23] 텍스타일 그리드 종류별 특징

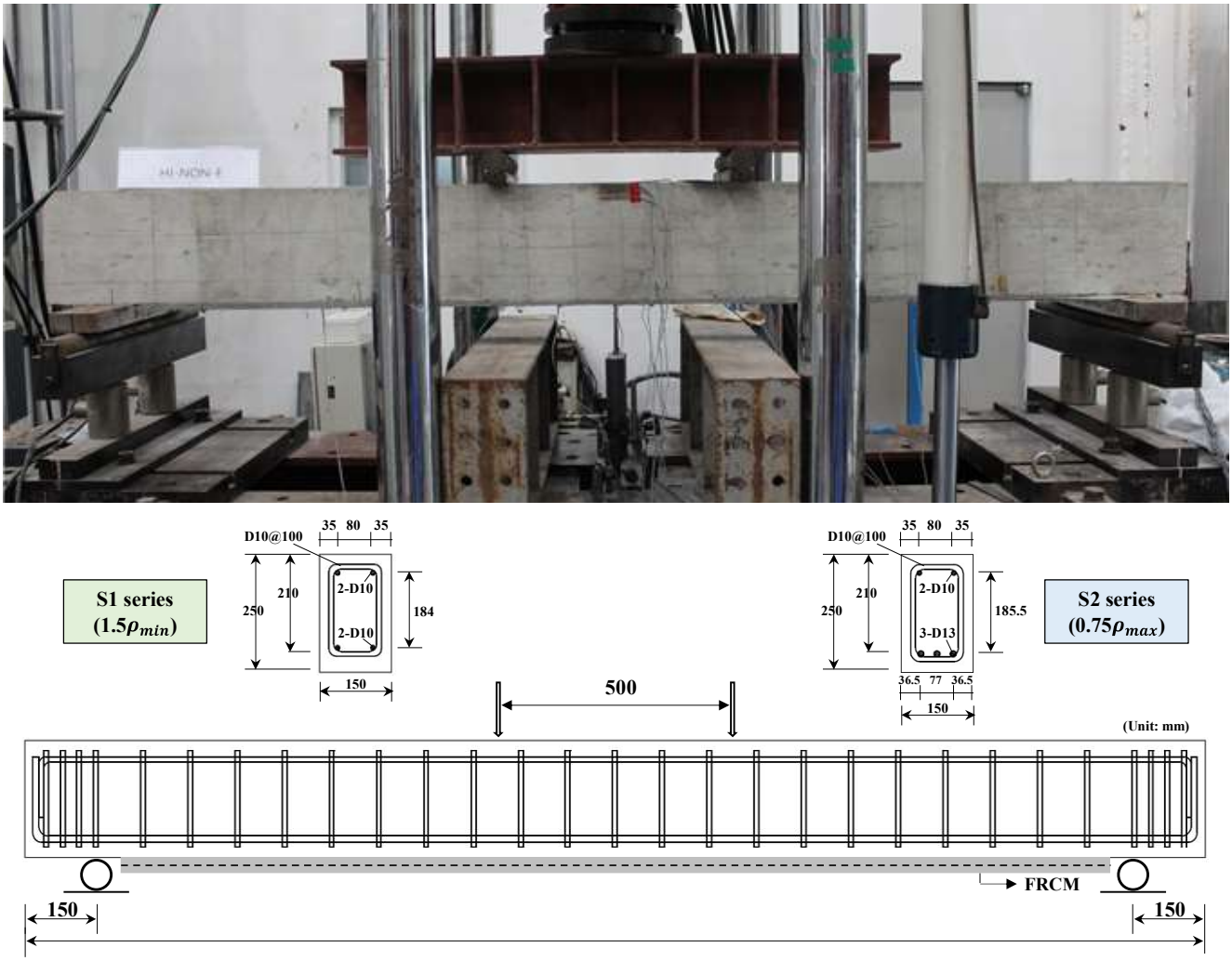


[그림 2.24] 직접인장 및 휨 인장 특성

23) ACI 549.4R-13, Guide to design and construction of externally bonded fabric-reinforced cementitious matrix(FRCM) systems for repair and strengthening concrete and masonry structures.
24) 김선길, "3차원 Textile 보강 시멘트 복합재료의 정적 및 충격거동 평가" 박사학위논문, 세종대학교 대학원

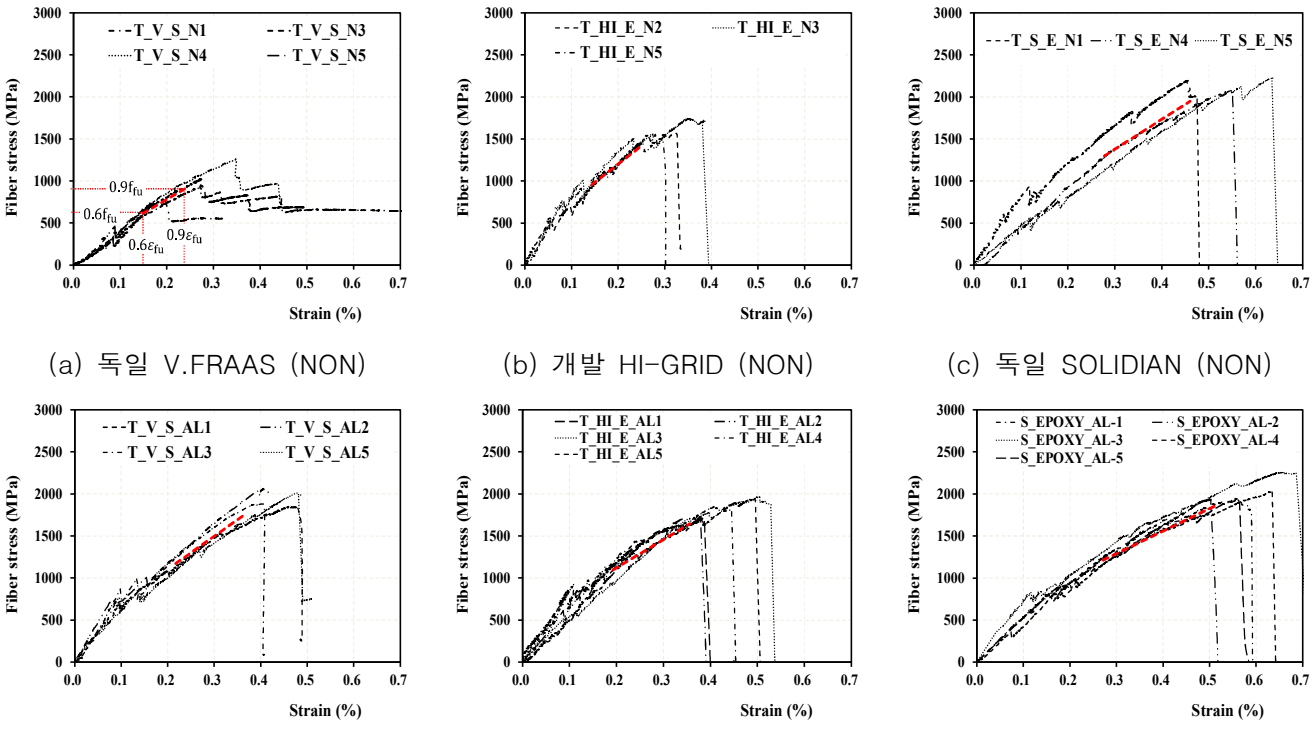


[그림 2.25] 직접인장실험 및 휨 인장실험 set-up



[그림 2.26] FRCM 외부보강 RC 보의 휨 실험 set-up

- **[①직접인장실험]** 결과 <표 2.16>, [그림 2.27]에 나타낸 것과 같이, **텍스타일의 함침제 종류에 따른 물리적 특성**에서 EPOXY수지로 함침된 S_EPOXY_NON실험체의 최대인장강도(f_{fu})는 2,122MPa, 최대변형율(ϵ_{fu})은 0.52%이며, 이에 비하여 SBR수지로 함침된 V_SBR_NON실험체의 최대인장강도(f_{fu})는 약 47.5% 수준인 1,008MPa 이었으며, 최대변형율(ϵ_{fu})은 약 52% 수준인 0.27%로 낮은 물리적 성능을 나타내었음.
- **텍스타일의 직조방법에 따른 물리적 특성**에서 Pillar stitch방법으로 직조한 S_EPOXY_NON실험체에 비하여 Leno weave방법으로 직조한 HI_EPOXY_NON실험체의 최대인장강도(f_{fu})는 약 76% 수준인 1,606MPa 이었으며, 최대변형율(ϵ_{fu}) 약 62% 수준인 0.32%로 낮은 물리적 성능을 나타내었음. Pillar stitch 직조방법과 함침제로 EPOXY수지를 사용한 독일 [SOLIDIAN] 사의 텍스타일 그리드가 물리적 특성이 우수한 것을 알 수 있음.
- **표면코팅 유·무에 따른 물리적 특성**에서 알루미늄파우더를 도포한 V_SBR_AL 실험체는 도포하지 않은 V_SBR_NON실험체비하여 최대인장강도(f_{fu})는 약 1.9배 증가한 1,949MPa이었으며, 최대변형율(ϵ_{fu})은 1.6배 증가한 0.43%로 FRCM복합재의 물리적 특성이 대폭 향상되었으며, 이와 동일하게 알루미늄파우더를 도포한 HI_EPOXY_AL실험체의 최대인장강도(f_{fu}), 최대변형율(ϵ_{fu})은 도포하지 않은 HI_EPOXY_NON실험체에 비하여 1.14배(1,829MPa), 1.3배(0.43%) 증가하여 비슷한 경향을 나타내었다.
- **결론적으로**, FRCM복합재의 물리적 특성에는 텍스타일 그리드의 특징인 함침재 종류와 직조방법이 영향을 미치며, 텍스타일 그리드의 표면에 알루미늄 파우더를 도포하여 무기계 접착제와의 부착성능을 향상시키면 FRCM복합재의 물리적 성능을 개선할 수 있음. 또한, 개발한 [HI-GRID]는 독일의 [SOLIDIAN]사의 그리드에 비하여 물리적 성능이 낮지만, 텍스타일 그리드의 알루미늄 표면코팅을 통하여 동등한 수준으로 FRCM복합재의 물리적 성능 발현이 가능할 것으로 사료됨.



(a) 독일 V.FRAAS (NON) (b) 개발 HI-GRID (NON) (c) 독일 SOLIDIAN (NON)

(d) 독일 V.FRAAS (AL) (e) 개발 HI-GRID (AL) (f) 독일 SOLIDIAN (AL)

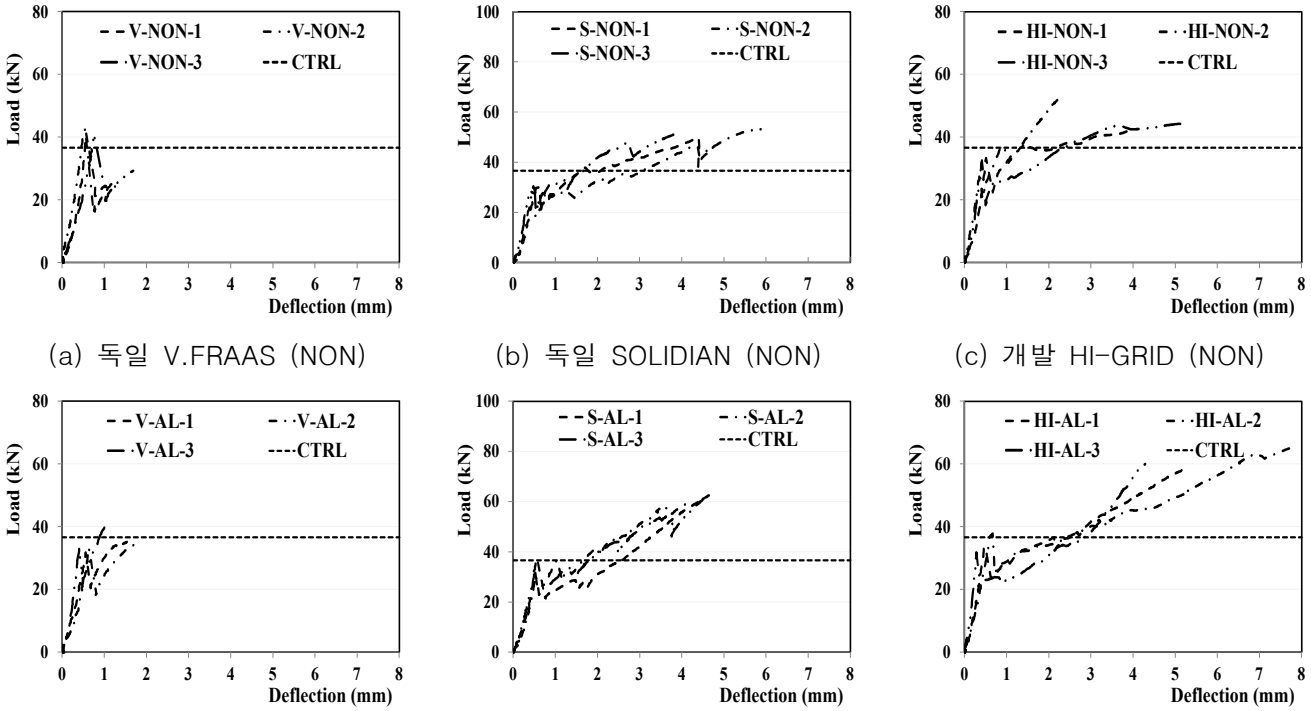
[그림 2.27] 직접인장실험결과 (응력-변형율 관계)

<표 2.16> 직접인장실험 실험결과

Specimens	1st Crack			Peak		
	f_{ft} (MPa)	ϵ_{ft} (%)	$E_t^{*1)}$ (GPa)	f_{fu} (MPa)	ϵ_{fu} (%)	$E_t^{2)}$ (GPa)
CTRL	327	0.08	419	-	-	-
V_SBR_NON	349	0.08	418	1,008	0.27	333
V-SBR-AL	713	0.09	792	1,949	0.43	398
S_EPOXY_NON	609	0.10	642	2,122	0.52	372
S_EPOXY_AL	755	0.13	585	2,046	0.62	360
HI_EPOXY_NON	695	0.07	960	1,606	0.32	405
HI_EPOXY_AL	687	0.10	709	1,829	0.43	347

Note: 1) E_t^*: Uncracked tensile modulus of elasticity, 2) E_t: Cracked tensile modulus of elasticity

- **[②휨 인장실험]** 결과, <표 2.17>, [그림 2.28]에 나타낸 것과 같이, **하중과 처짐 곡선**에서 V-S-NON실험체는 하중 41.58kN에서 LOP에 도달 후, 이보다 낮은 하중인 26.28kN에서 MOR에 도달하는 변형연화 곡선을 나타내지만, S-E-NON, HI-E-NON 실험체는 각각 하중 29.64kN, 32.92kN에서 LOP에 도달 후, 이보다 높은 하중인 50.15kN, 43.29kN에서 MOR에 도달하는 변형경화 곡선을 나타내었음. AL표면코팅 실험체의 경우, V-S-AL실험체는 하중 32.76kN에서 LOP에 도달 후, 이보다 높은 하중인 36.78kN에서 MOR에 도달하는 변형경화의 곡선으로 변화되었으며, S-E-AL, HI-E-AL실험체는 각각 하중 33.24kN, 34.30kN에서 LOP에 도달 후, 이보다 높은 하중인 60.86kN, 61.30kN에서 MOR에 도달하는 변형경화 곡선으로 AL파우더 도포전에 비하여 하중이 증가하였음. 모든 실험체는 MOR 지점에서 하중이 AL표면코팅 전에 비하여 증가하였으며, HI-GRDI에서 증가폭이 가장 높게 나타났음.
- **휨 강도 및 Toughness**에서, V.FRAAS그리드(Pillar stitch, SBR)가 적용된 V-S-NON실험체가 가장 낮은 수준의 휨 강도 및 Toughness를 나타내었으며, 동일 직조방법인 SOLIDIAN 그리드(Pillar stitch, EPOXY)가 적용된 S-E-NON실험체가 가장 높은 휨 강도 및 Toughness를 나타내었다. AL표면코팅을 적용하면, MOR지점에서의 휨 강도는 V-S-AL실험체는 40%증가한 11.03MPa, S-E-AL실험체는 20%증가한 18.26MPa, HI-E-AL실험체는 40% 증가한 18.39MPa로 나타나며, 개발한 HI GRID에 AL표면코팅 적용 시에 SOLIDIAN그리드와 동등한 수준의 휨 성능을 발휘하는 것을 알 수 있음.



(a) 독일 V.FRAAS (NON) (b) 독일 SOLIDIAN (NON) (c) 개발 HI-GRID (NON)

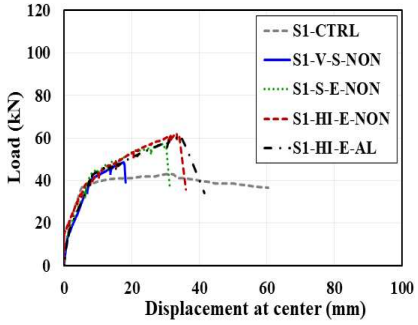
(d) 독일 V.FRAAS (AL) (e) 독일 SOLIDIAN (AL) (f) 개발 HI-GRID (AL)

[그림 2.28] 휨 인장실험결과 (하중-처짐 관계)

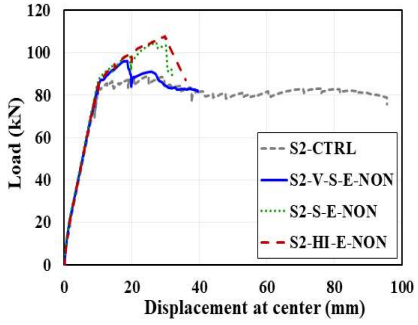
<표 2.17> 휨 인장실험 실험결과

		Unit	CTRL	V-S NON	V-S AL	S-E NON	S-E AL	HI-E NON	HI-E AL
LOP	P_{LOP}	(kN)	36.55	41.58	32.76	29.64	33.24	32.92	34.40
	f_{LOP}	(MPa)	10.97	12.47	9.83	8.89	9.97	9.88	10.32
	δ_{LOP}	(mm)	0.56	0.62	0.53	0.50	0.55	0.46	0.48
	$Tough_{LOP}$	(kN·mm)	8.14	10.69	7.17	6.60	7.59	6.04	7.81
MOR	P_{MOR}	(kN)	-	26.28	36.78	50.16	60.86	43.29	61.30
	f_{MOR}	(MPa)	-	7.89	11.03	15.05	18.26	12.99	18.39
	δ_{MOR}	(mm)	-	1.42	1.49	4.82	4.42	4.57	5.79
	$Tough_{MOR}$	(kN·mm)	-	31.33	35.81	174.66	170.25	156.80	231.47
L/150	$P_{L/150}$	(kN)	30.60	18.65	24.90	36.74	36.50	39.50	33.68
	$f_{L/150}$	(MPa)	9.18	5.60	7.47	11.02	10.95	11.85	10.10
	$\delta_{L/150}$	(mm)	0.49	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	$Tough_{L/150}$	(kN·mm)	6.05	58.18	50.73	53.15	53.20	57.38	52.16

- **[③외부 보강한 RC보의 휨 보강실험]** 결과, 최소철근비(ρ_{min})를 1.5배로 배근한 S1시리즈와 최대철근비(ρ_{max})의 0.75배로 배근한 S2시리즈의 기준실험체(S1-CTRL, S2-CTRL)는 주철근 항복이후 각각 43.2kN, 89.1kN에서 콘크리트 압축파괴에 의하여 최종파괴 되었으며, [그림 29, 30]에 나타낸 것과 같이 기준실험체에 비하여 FRCM 복합재로 보강한 실험체의 최대하중 증가율은 V-S-NON실험체가 13%로 가장 낮은 수준이었으며, S-E-NON, HI-E-NON 실험체 순으로 각각 33%, 44% 수준으로 휨 인장 실험결과와 비슷한 경향을 나타났음. AL 표면코팅한 HI-E-AL 실험체는 40% 수준으로 HI-E-NON실험체에 비하여 최대하중의 증가율이 낮은 결과를 나타났음.
- S2시리즈도 S1시리즈와 동일하게 하중증가율은 V-S-NON(8%), S-E-NON(18%), HI-E-NON(21%) 순서로 증가하는 경향을 나타내지만, S1시리즈와 비교하여 낮은 수준의 증가율을 나타내었다. 이러한 이유는 철근의 강성(ρs×Es)이 FRCM 복합재의 보강성능에 영향을 주며, 기존연구(Usama E. et.al, 2017)와 동일한 경향을 나타났음.
- 또한, FRCM복합재로 보강한 보에 대한 하중-변형 곡선에서 보강한 실험체에서 최대하중 값에 도달 한 후 텍스타일 그리드의 미끄러짐 또는 콘크리트 기판에서의 Debonding에 의하여 갑작스런 하중저하를 나타났음.
- [그림 2.31]에 나타낸 것과 같이, 모든(S1, S2시리즈) FRCM으로 보강된 보의 연성지수는 기준실험체에 비하여 낮은 수준이며, S1시리즈에서 V-S-NON실험체는 기준실험체에 비하여 22%(2.5)수준으로 가장 낮은 연성지수를 나타내었다. S-E-NON과 HI-E-NON실험체는 각각 44%(4.9), 61%(6.8)수준으로 HI-E-NON실험체가 가장 높은 연성지수를 나타내었으며, 하중증가율과 동일한 경향을 나타났음.
- 추가적으로, AL파우더를 도포한 HI-E-AL실험체는 도포하지 않은 HI-E-NON실험체에 비하여 연성지수가 낮은 결과를 나타내는데 이것은 AL표면코팅에 의하여 텍스타일그리드와 매트릭스의 부착력 증진으로 인하여 보의 최종파괴모드가 달라졌기 때문(Textile slippage → I.C Debonding)으로 추가적인 단부구속방법에 대한 연구가 필요함.

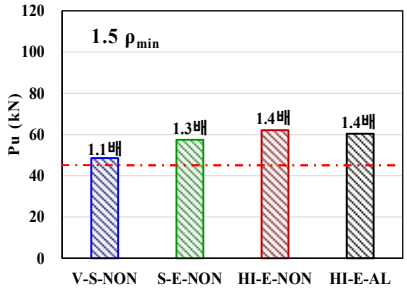


(a) S1 시리즈

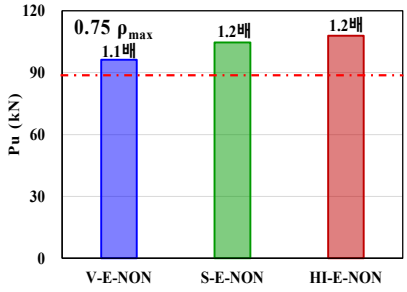


(b) S2 시리즈

[그림 2.29] 하중-변위 관계

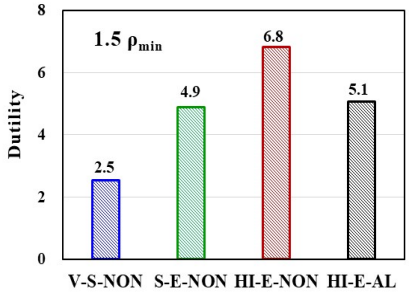


(a) S1 시리즈

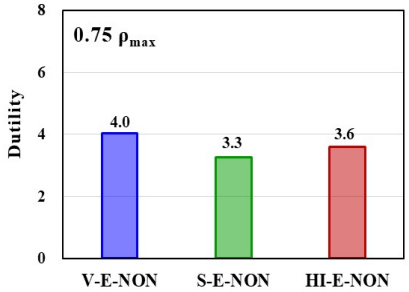


(b) S2 시리즈

[그림 2.30] 최대하중 비교



(a) S1 시리즈



(b) S2 시리즈

[그림 2.31] 연성지수 비교

<표 2.18> RC보의 휨 보강실험 실험결과

Beam index[1]	ρ_s[2]	ρ_f[3]	P_y[4]	P_u[5]	Gain in P_u (%)	δ_y[6]	$\delta_{0.85pu}$	Ductility[7]	Failure mode at P_u[8]
S1-CTRL	0.453	-	37.0	43.2	100	5.4	60.4	11.2	C.C
S1-V-SNON	0.453	0.030	37.7	48.6	113	7.2	18.2	2.5	G.S
S1-S-ENON	0.453	0.030	37.3	57.4	133	6.4	31.2	4.9	G.S
S1-HI-ENON	0.453	0.028	34.0	62.2	144	5.3	36.1	6.8	G.S
S1-HI-EAL	0.453	0.028	41.8	60.4	140	8.2	41.5	5.1	I.C
S2-CTRL	1.207	-	78.2	89.1	100	9.4	95.6	10.2	C.C
S2-V-SNON	1.207	0.030	83.7	96.3	108	9.8	39.5	4.0	G.S
S2-S-ENON	1.207	0.030	85.6	104.7	118	9.8	35.9	3.3	G.S
S2-HI-ENON	1.207	0.028	85.0	107.9	121	10.0	32.0	3.6	G.S

Note: 1) S1: Minimum steel ratio 1.5 times, S2: Maximum steel ratio 0.75 times

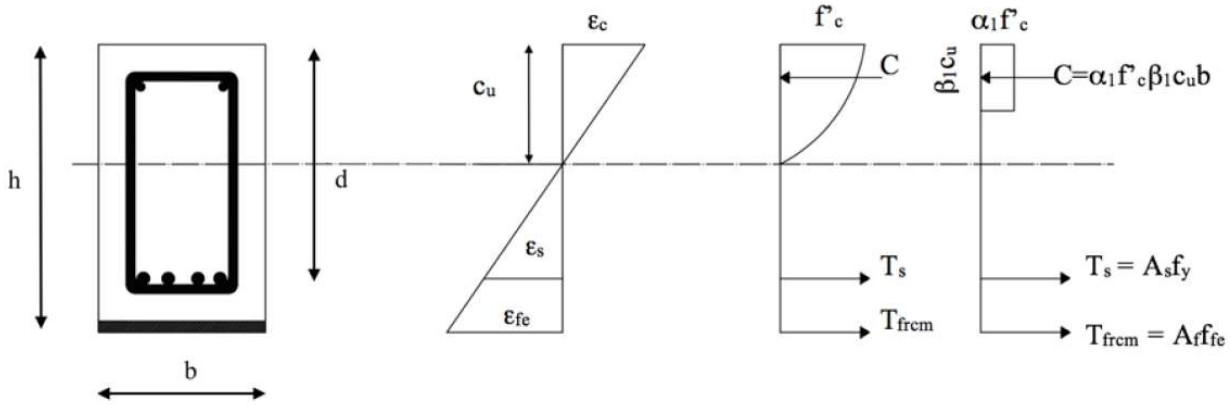
2) Steel ratio, 3) Grid ratio, 4) Load at longitudinal steel yielding, 5) Maxmum load, 6) Deflection at Pu

7) $\delta_{0.85Pu}/\delta_y$, 8) C.C: Concrete crushing, G.S: GRID slippage, I.C: Intermediate crack debonding

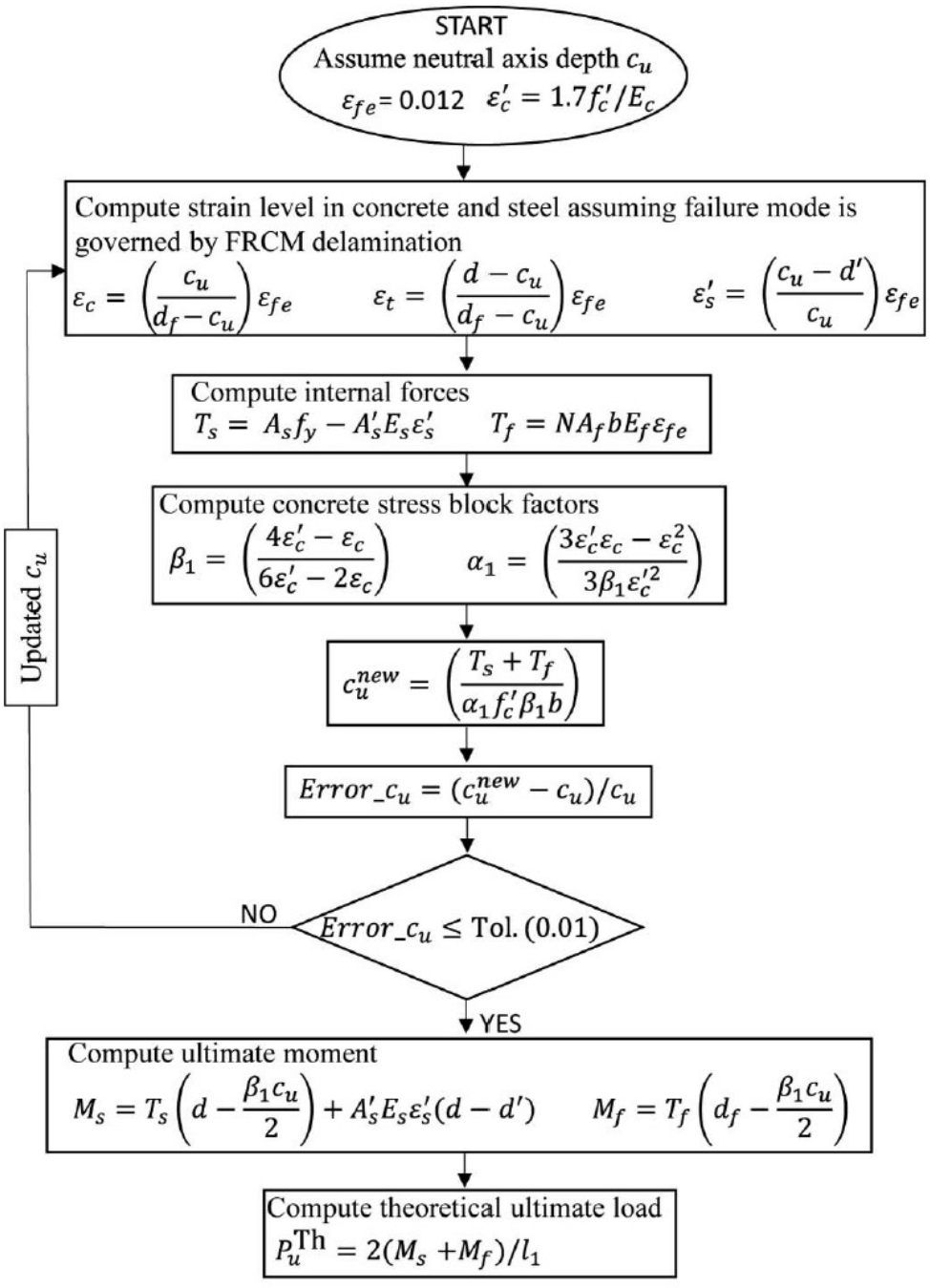
(5) FRCM 활용 보강설계

- 철근콘크리트 보에서 보의 최대하중용량(내하력)을 향상시키기 위한 FRCM의 기여도는 ACI 549.4R-13에서 제시된 내용을 참조하여 계산하며, 다음 가정을 기반으로 함.
  * 보의 단면은 하중재하 후에도 평면을 유지함.
  * FRCM 시스템과 콘크리트 표면 사이의 결합은 유효함.
  * 콘크리트의 최대 압축 변형률은 0.003임.
  * FRCM의 인장응력-변형율 곡선은 이중 선형 거동([그림 2.24])을 가지고 있으며, 두 번째 선형부분만 해석 및 설계에 사용됨.
- ACI(American Concrete Institute)에서 제안한 설계에서의 가정은 [그림 2.32]와 같이 외부 접합 보강재 적용에 대한 단면분석에 이용되며, FRCM 시스템과 콘크리트 사이의 결합이 파괴시 까지 유효하다는 가정조건을 만족하여야 함.

- [그림 2.33]에 FRCM으로 보강된 사각형 RC보의 휨강도 분석 순서를 나타내었음.



[그림 2.32] FRCM으로 보강된 사각형 RC보의 휨강도 분석



[그림 2.33] 극한단계에서의 극한하중 계산을 위한 Flowchart

- ACI-549에 의하면, 파괴시 FRCM 시스템의 유효인장변형율(ε_{fe})은 (식 1)에서 FRCM 설계변형율(ε_{fd})로 제한함.

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{fd} \leq 0.012 \quad \text{(식 1)}$$

- FRCM 시스템의 설계변형율(ε_{fd})의 결정은 ACI-549에 따른 직접인장실험 결과를 바탕으로 평균 최대변형율에서 표준편차를 뺀 값으로 정의하며, 유효인장변형율(ε_{fe})을 0.012이하로 제한하는 것은 FRCM 시스템의 박리를 설명하기 위한 것이며, 직접인장실험을 통해 설계변형율을 계산할 때 고려되지 않음.
- 또한, 파단시 FRCM의 유효인장응력(f_{fe})는 (식 2)에 따라 FRCM 시스템의 균열탄성계수(E_f) 및 유효인장변형율(ε_{fe})로 계산됨.

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fd} \quad \text{(식 2)}$$

- FRCM의 유효인장변형율(ε_{fe})을 변형의 적합조건을 이용하여 (식 3)과 같이 콘크리트 압축변형율(ε_c)로 나타낼 수 있음. (여기에서, ε_c는 콘크리트 압축변형율, c_u는 중립축 깊이, h는 콘크리트 부재(보)의 높이)

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{fe} c_u}{h - c_u} \quad \text{(식 3)}$$

- 또한, FRCM의 유효인장변형율(ε_{fe})을 변형의 적합조건을 이용하여 (식 4)과 같이 철근의 인장변형율(ε_s)fh 나타낼 수 있음. (여기에서, d는 콘크리트 단면의 유효깊이)

$$\epsilon_s = \frac{d - c_u}{h - c_u} \times \epsilon_{fe} \quad \text{(식 4)}$$

- 철근의 응력은 항복응력(f_y) 또는 (식 5)에 따라 파손시 응력 중 더 낮은 값을 적용됨.

$$f_s = \begin{cases} E_s \epsilon_s & \text{if } E_s \epsilon_s \leq f_y \\ f_y \end{cases} \quad \text{(식 5)}$$

- 콘크리트 응력블록계수값은 ACI 318[25]에서 제시하는 (식 6)~(식 8)에 따라 계산함.

$$\epsilon_s^{'} = \frac{1.7 f_c^{'}}{E_c} \quad \text{(식 6)}$$

$$\beta_1 = \frac{4\epsilon_c^{'} - \epsilon_c}{6\epsilon_c^{'} - 2\epsilon_c} \quad \text{(식 7)}$$

$$\alpha_1 = \frac{3\epsilon_c^{'}\epsilon_c - (\epsilon_c)^2}{3\beta_1 (\epsilon_c^{'})^2} \quad \text{(식 8)}$$

25) ACI 318-19, Building code requirements for structural concrete.

- 그런 다음, (식 9)와 같이 내부 힘의 평형식을 이용하여 (식 10)에서 중립축 깊이(식 11)를 산정함. (여기에서, As는 철근의 단면적이며, n은 FRCM의 보강겹수, Af는 FRCM의 폭당 단면적이다.)

$$T_s - T_{frcm} = C \quad \text{(식 9)}$$

$$T_s = A_s f_s \quad \text{(식 9.1)}$$

$$T_{frcm} = n A_f b f_{fe} \quad \text{(식 10)}$$

$$C = \alpha_1 f_c^{'} \beta_1 b c_u \quad \text{(식 10.1)}$$

$$c_u = \frac{A_s f_s + n A_f b f_{fe}}{\alpha_1 f_c^{'} \beta_1 b} \quad \text{(식 11)}$$

- 이렇게 중립축 깊이가 추측값에 가까워 질 때까지 반복하며, 중립축 깊이가 결정되면 (식 12)와 (식 13)에서의 M_s와 M_{frcm}을 합하여 공칭모멘트 값을 계산함.

$$M_s = A_s f_s (d - \frac{\beta_1 c_u}{2}) \quad \text{(식 12)}$$

$$M_{frcm} = n A_f b f_{fe} (h - \frac{\beta_1 c_u}{2}) \quad \text{(식 13)}$$

$$M_n = \Phi_m \times (M_s + M_{frcm}) \quad \text{(식 14)}$$

- 강도감소계수(Φ_m)는 (식 15)와 같이 ACI 562[26] 및 ACI 318 기준을 따른다. 최대내력을 예측할 때 강도감소계수(Φ_m)는 1을 적용하는 것을 유의해야하며, 설계 목적에 맞추어 (식 15)를 적용함.

$$\phi m = \begin{cases} 0.9 & \text{for } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & \text{for } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \varepsilon_t < \varepsilon_{sy} \end{cases} \quad \text{(식 15)}$$

- 또한, ACI 549에서는 FRCM 시스템 적용시 적용 전 기존구조물의 휨 능력의 50%를 초과하지 않아야 함.

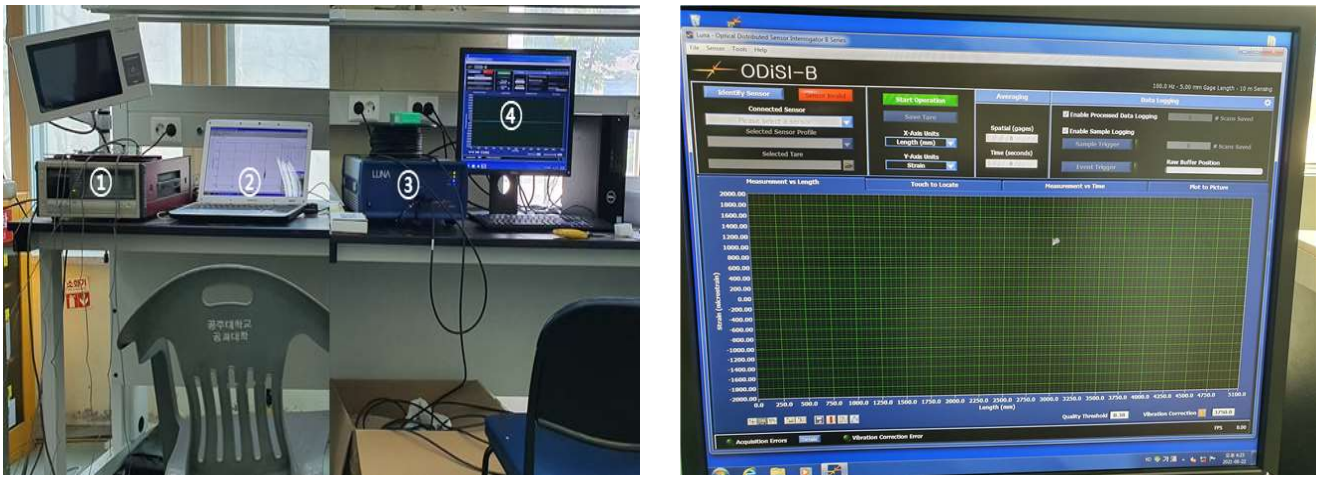
26) ACI 562-20, Code requirements for assessment, repair, and rehabilitation of existing concrete structures and commentary

[3차년도]

연구개발 목표	- ㈜캐어콘: 광섬유 센서의 계측(변형율 등) 및 해석결과 도출기술, 광섬유 센서 적용 텍스타일 그리드제조기술, FRCM을 적용한 2차 제품 설계 및 생산시스템 기술개발, 현장 시공지침서 및 품질관리 시스템 기술 개발 - 공주대학교: FRCM 현장 적용 및 구조물 거동 계측 및 분석

(1) 광섬유 선정 및 계측 정밀도 측정, 신뢰도 평가

- 2차년도에서 수행한 국내외 광섬유 센서관련 자료조사 및 분석을 통하여 텍스타일 그리드를 직조하는 과정에 필요구간에만 광섬유 센서를 매립하여야 하므로 소량 주문생산 및 제작단가 상승으로 범용성이 낮으며, 광섬유 센서는 구부림에 제한이 있고, 중간에 연결이 끊기면 측정이 불가하므로 축방향(Warp direction)에만 적용해야 하므로 **텍스타일 그리드의 직조과정에서 광섬유 센서를 직조에 의해 매립하는 것은 합리적이지 않은 결과**를 얻었다.
- 이러한 결과를 바탕으로 적용의 편의성을 고려하여 **직조된 텍스타일 그리드에 필요구간에만 광섬유센서를 설치하는 방법을 적용**하기 위하여 **①목표성능설정을 위한 계측 및 분석, 신뢰도 평가를 위한** 실험을 수행하였으며, **②광섬유 적용 텍스타일 그리드 제조기술을 개발**하였음.
- 본 실험에서는 광주파수영역 반사측정법인 Rayleigh원리에 기반한 광분산센서 인터로게이터(Interrogator) 장치를 사용하여 광섬유의 변형율 데이터를 취득하였으며, 이 장치에 호환되는 특정 소프트웨어인 LUNA ODiSi-B를 사용하여 해상도, 센서길이 및 수집 속도를 구성하여 광섬유의 변형율 분포를 확인하였음. 장치 및 소프트웨어를 통해 테스트 시작시 광섬유의 변형율을 데이터를 보정하고 결과를 즉시 표시할 수 있었음.
- 데이터의 수집은 [그림 2.34]와 같이 UTM의 하중데이터와 Strain gauge의 변형데이터를 ① Data roger를 통하여 수집 및 ②TDS-7130소프트웨어를 이용하여 모니터링 하였으며, 광섬유 센서의 변형데이터는 ③, ④LUNA ODISI-B 장치 및 소프트웨어를 이용하여 데이터 수집 및 모니터링하였음. 모든 데이터는 하중가력시점을 기준으로 실시간으로 동시에 수집하였음.
- <표 2.19>에 나타낸 것과 같이, 센서길이는 1,200mm, 측정범위는 2.6mm이며, 광섬유는 시편에 쉽게 접착할 수 있게 유연하며 [그림 2.34]과 같이 200mm의 변형완화영역, 1,000mm의 센서영역, 10mm의 종단부로 구성된 광섬유 센서를 사용하였다.



[그림 2.34] 데이터 수집 장치 Set-up

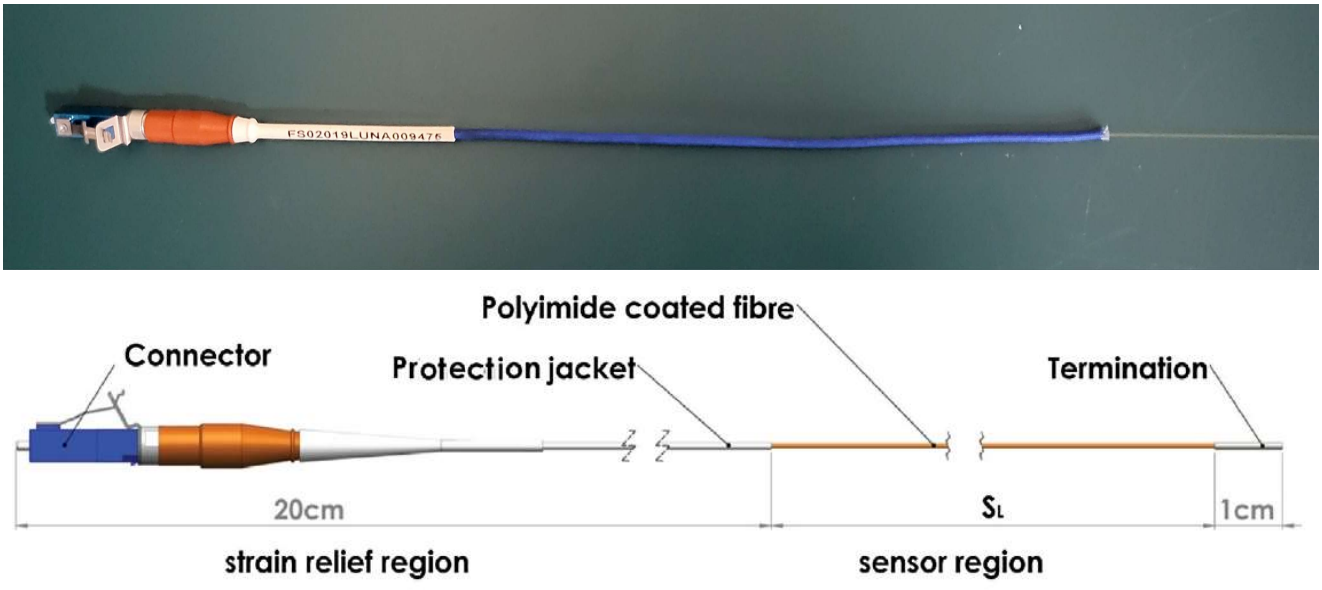
- 실험은 휨 인장으로 진행하였고, 만능재료 시험기[그림 2.35]를 이용하여 수행되었으며, 최대하중용량은 1,000kN이다. 3점가력 휨 실험의 경우, 실험체를 원통형 롤에 간단히 지지하였으며, 동일한 크기의 실린더가 힘이 가해진 지점에 배치되었다. 재하 방법은 0.1mm/min의 미세한 속도로 변위제어방법을 사용하였음.



[그림 2.35] 휨 인장 실험 Set-up

<표 2.19> 사용된 센서의 특징

Type of sensor	sensing length (mm)	Sensor diameter (μm)	Maximum and minimum operating temperature sensing region(℃)	Gauge pitch (mm)	Data acquisition rate (Hz)	C_{ϵ}^{R}. (Hz/με)
OFDR sensor	1,200	155	220 and -40	2.6	100	-6.679
Strain gauge	5	-	-196 ~ +150	-	-	-
	30					



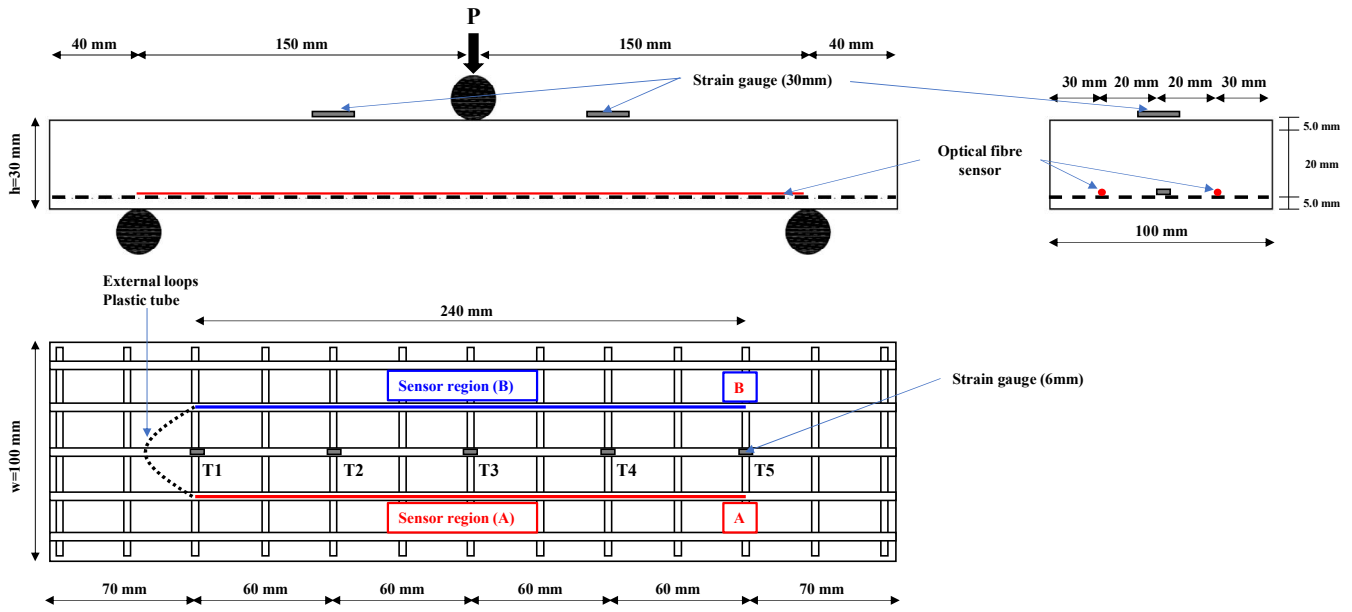
[그림 2.36] 광섬유 센서

[①목표성능설정을 위한 계측 및 분석]

- FRCM 복합재로 보수·보강한 구조물의 거동(변형)에 대하여 계측 가능한 광섬유 센서의 적용을 위한 기초적인 실험연구로서, **복합재료인 FRCM 내부에 광섬유 센서를 내장하는 가능성 및 신뢰성 조사**의 목적으로 **균열 환경에서 센서의 저항을 파악**하고 **텍스타일 그리드 및 매트릭스의 거동을 이해**하여 상호 작용을 분석하였으며, 구조물의 진단에 많이 사용되고 있는 **기존 스트레인게이지와의 성능을 비교** 검토함.
- <표 2.20>과 같이 실험은 휨 인장실험을 통하여 검증하였으며, 실험변수는 센서별로 기존방식(Strain gauge)과 광섬유센서(Optical fiber sensor)방식으로 나뉘며, 섬유의 종류별로 본 과제에서 개발한 HI-GRID, 기존 국외제품인 SOLIDIAN사, V.FRAAS사의 그리드를 사용하였음.
- [그림 2.37]과 같이 실험체는 길이(L) 380mm, 폭(W) 100mm, 두께(T) 30mm으로 a/d가 6.0인 휨 파괴 형태의 보(Beam)이며, 텍스타일 그리드는 밑면에서 5mm의 피복을 두고 설치하였음. 광섬유 센서(L: 1.2m)는 A지점에서 시작하여 240mm를 부착(Sensor region A)하고, 플라스틱 튜브를 이용하여 170mm의 비 측정구간(External loop)을 두고, B지점까지 240mm를 부착(Sensor region B)하였다. Strain gauge는 폭의 중앙부 5지점에 설치하여 휨부재 거동 시 변형율을 측정하였음. 사용한 무기계 접착제는 2차년도에 시제품으로 개발한 모르타르를 사용하였음.

<표 2.20> 휨 실험체 개요

실험종류	센서 부착	그리드	접착제	시험체수
휨 (3점 가력)	스트레인게이지 + 광섬유 센서	HI-GRID (EPOXY)	**[스트레인 게이지]** CN본드(아크릴계, 1액형) **[광섬유 센서]** M-BOND-200(에폭시계, 1액형)	2(EA)
		SOLIDIAN (EPOXY)		2(EA)
		V.FRAAS (SBR)		2(EA)
		합계		**6**(EA)

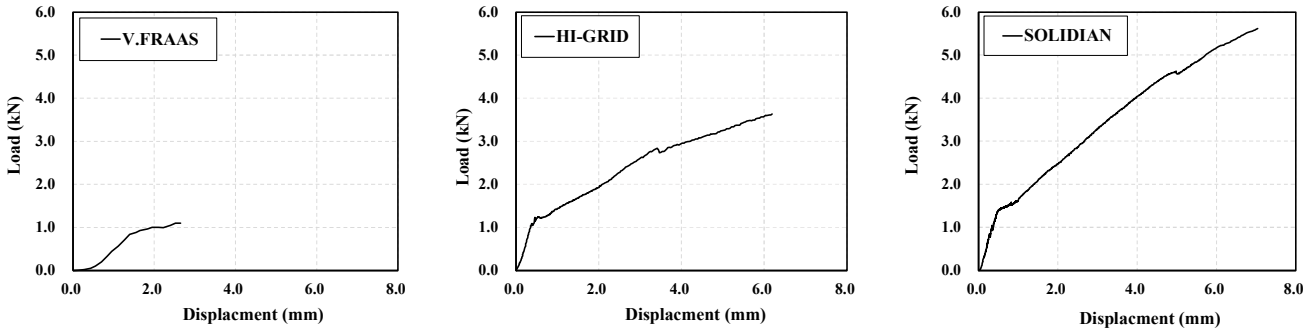


[그림 2.37] 실험체 개요

- **[실험결과]** 휨 인장 실험결과, <표 2.21>와 [그림 2.38]에 나타낸 것과 같이 V.FRAAS 그리드를 적용한 실험체는 하중 1,101N에서 첫 번째 균열이 발생함과 동시에 하중저하가 발생하였으며, HI 그리드를 적용한 실험체의 경우, 1,056N에서 첫 번째 균열이 발생한 후에 강성이 저하되었으며, 약 3,000N 부근에서 두 번째 균열이 발생하고, 3,634N에서 최대하중에 도달하여 파괴되었음.
- SOLIDIAN 그리드를 적용한 실험체는 HI 그리드를 적용한 실험체 비하여 낮은 하중(774N)에서 첫 번째 균열이 발생하였으며, 이후 제2, 3의 균열이 추가적으로 발생하고, 10,107N에서 최대하중에 도달하여 파괴되었음.
- 응력-변형율 관계는 2차년도의 휨 인장실험과 동일한 경향을 나타내었으며, 텍스타일 그리드의 종류별로 거동에 차이가 발생하였음.

<표 2.21> 휨 인장 실험결과

실험체	균열 하중 단계(1st crack)			최대하중 단계(Peak)		
	하중 (N)	중앙부 변형율(μmm/mm)		하중 (N)	중앙부 변형율(μmm/mm)	
		기존	광섬유 센서		기존	광섬유 센서
HI	1,056	206	191	3,634	7,458	7,528
SOLIDIAN	774	113	112	5,615	10,107	9,482
V.FRAAS	1,101	363	356	1,101	363	356

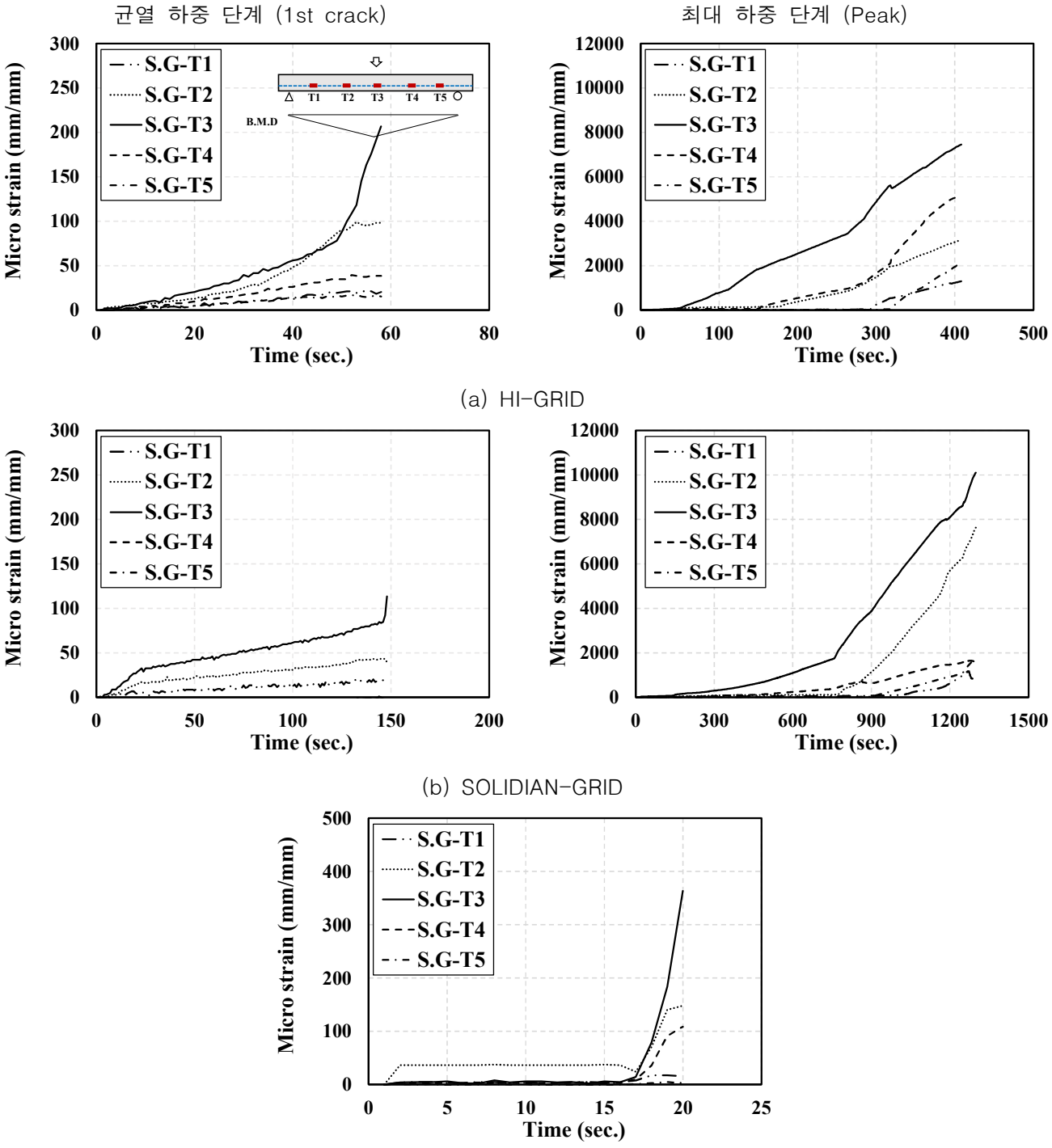


(a) V.FRAAS (b) SOLIDIAN (c) HI-GRID

[그림 2.38] 휨 인장실험 결과 (하중-변위 관계)

- **[기존 방식(Strain gauge)의 변형률 분포]** [그림 2.39]과 같이 기존 방식(Strain gauge)의 부착 위치별 균열단계(1st crack)와 최대 하중 시(peak)의 변형률 분포에서 텍스타일 그리드 중앙부에 부착한 "T3" 게이지의 변형율이 가장 높으며, 양쪽 단부로 갈수록 변형율은 저하되었으며, 하중 재하 시 모멘트 분포(B.M.D)와 동일한 경향을 나타내고 있는 것을 확인하였음.
- 또한, **균열 하중 단계**에서 HI-GRID의 변형률 분포는 재하 45초 부근에서 변형률이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있음. 이것은 보 하부의 중앙부 인장영역에서 무기계 접착제의 균열로 인하여 텍스타일 그리드에 응력이 집중되었기 때문임.
- **최대 하중 단계**에서는 균열 하중 단계와 같이 중앙부 T3 게이지 변형율이 가장 높았으며, T2(T4), T1(T5)순으로 그리드의 변형이 낮아졌음. HI와 V.FRAAS 그리드의 변형률 분포는 중앙부를 기준으로 T1과 T5, T2와 T4 위치의 게이지 변형률은 대칭적인 거동을 보이는 반면, SOLIDIAN 그리드는 대칭적으로 부착한 T4위치의 게이지의 변형률에 비하여 T2위치의 변형

률이 높은 것을 알 수 있음. 이것은 T2위치에 발생한 균열에 의하여 응력이 집중되었기 때문으로 사료됨.



(a) HI-GRID

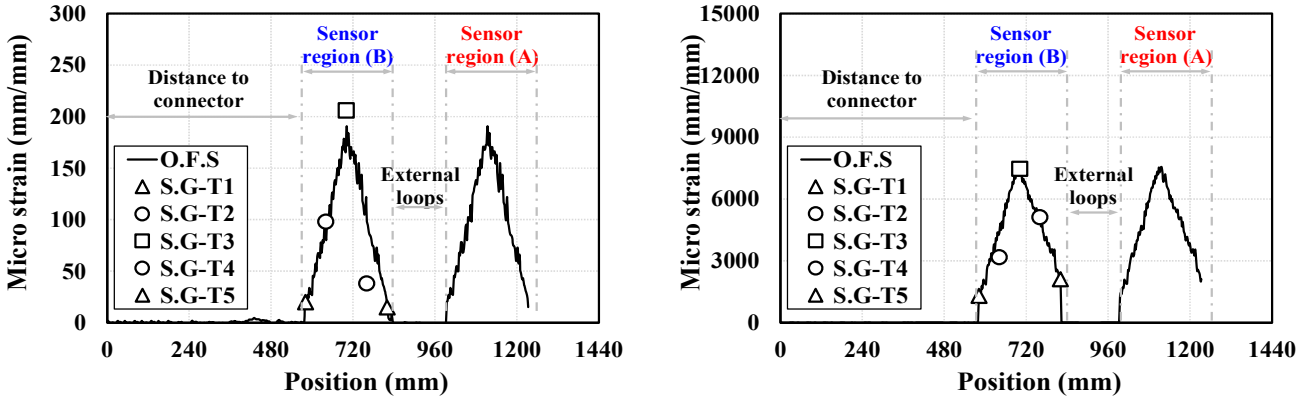
(b) SOLIDIAN-GRID

(c) V.FRAAS-GRID

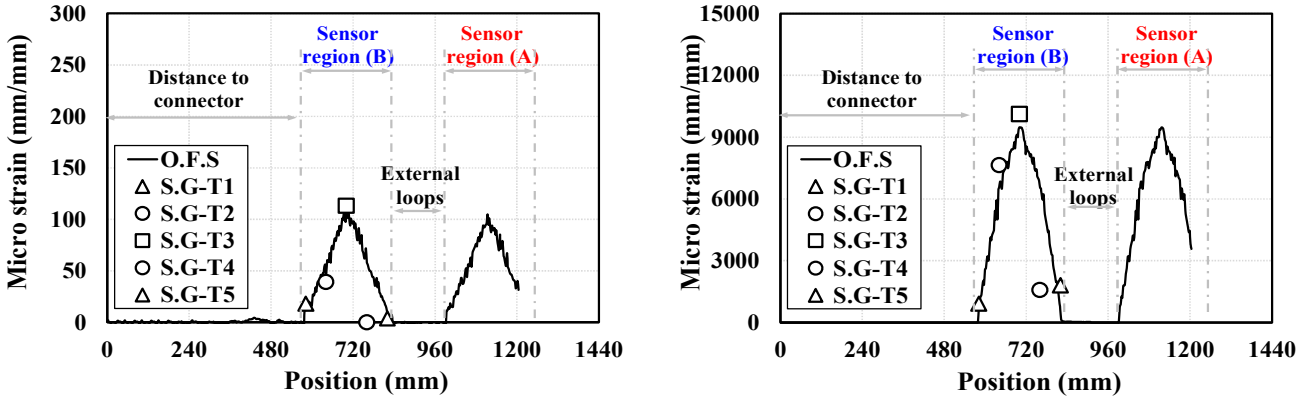
[그림 2.39] 기존방식(Strain gauge)의 변형율 분포

- **[광섬유 센서(Optical fiber sensor)의 변형률 분포]** [그림 2.40]과 같이 광섬유 센서의 변형률 분포에서 균열 하중 단계와 최대 하중 단계의 변형률 분포로 구분하여 나타내었음.
- 1.2m길이의 광섬유 센서에서 2.6mm당 1개소로 하여 총 463개소의 변형률을 측정하였으며, 텍스타일 그리드에 부착된 광섬유 센서의 측정 영역은 94개소이었음. [그림 2.40]은 측정 위치별 변형률 분포를 나타내고 있으며, 텍스타일 그리드의 중앙부에서 대칭으로 2개소 부착한 광섬유 센서의 분포는 모든 실험체에서 동일한 분포를 나타내었으며, 기존 스트레인게이지에 비하여 연속적인 변형률 분포를 확인 가능함.

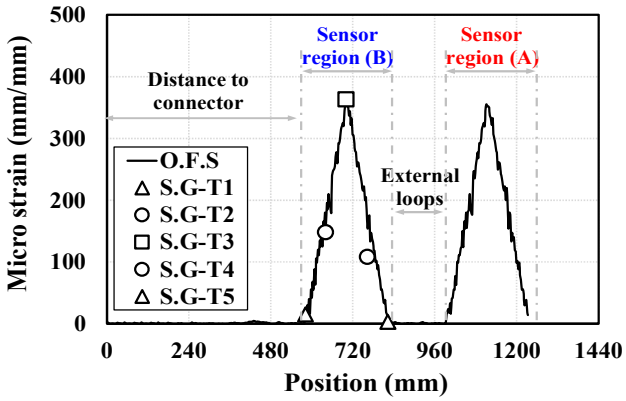
균열 하중 단계 (1st crack)　　최대 하중 단계 (Peak)



(a) HI-GRID

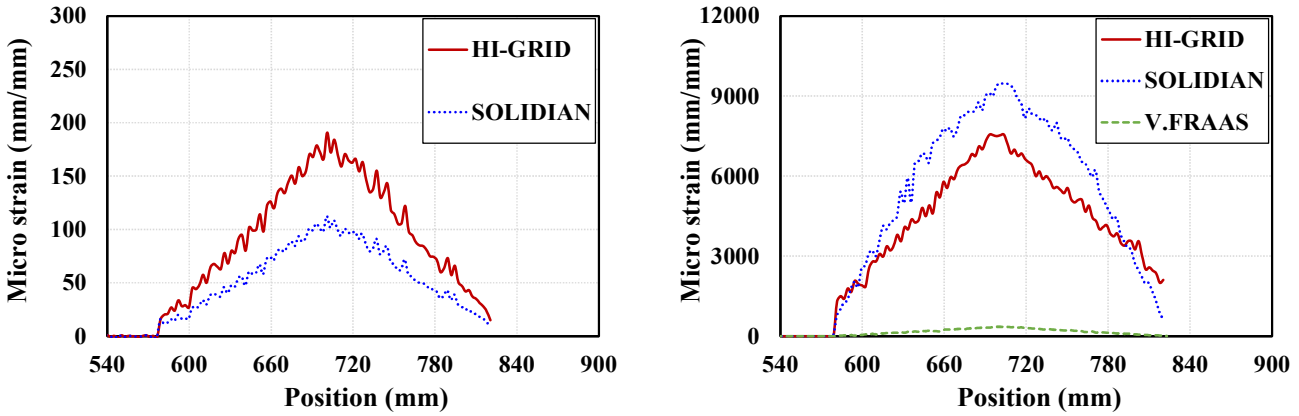


(b) SOLIDIAN-GRID



(c) V.FRAAS-GRID

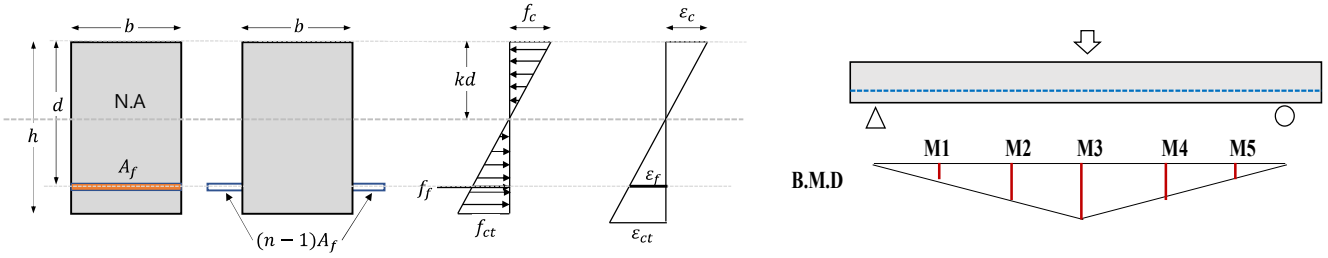
[그림 2.40] 광섬유 센서(Optical fiber sensor)의 변형율 분포



균열 하중 단계 (1st crack)　　최대 하중 단계 (Peak)

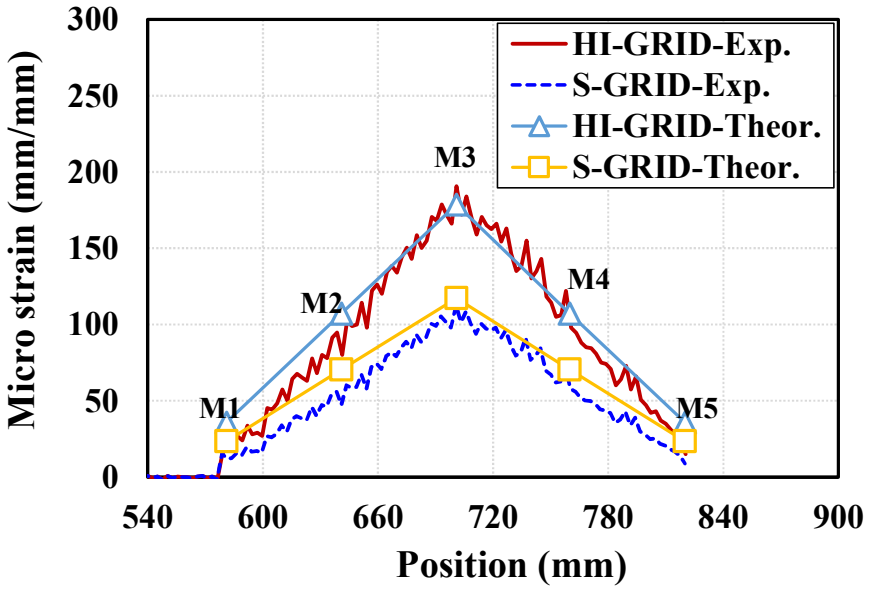
[그림 2.41] 그리드 종류별 광섬유 센서의 변형율 분포 비교 (Sensor region B)

- **그리드 종류별 광섬유 센서의 변형율 분포**를 [그림 2.41]에 나타내었음. 기존 스트레인 게이지와 같이 최대 하중 단계에서 그리드 종류별 변형률 분포는 차이를 나타내며, 텍스타일 그리드의 부착성능은 측정 위치별 변형률의 차이(변형율/측정위치 길이변화량)로 인하여 표현할 수 있으며, 최대 하중 단계에서 HI-GRID에 비하여 SOLIDIAN 그리드의 부착성능이 우수하며, V.FRAAS 그리드는 가장 낮은 부착성능을 나타내고 있음.



(a) 단면해석(응력과 변형율 분포) (b) 모멘트 선도

[그림 2.42] 보의 단면해석 및 모멘트 선도



[그림 2.43] 광섬유 센서 위치별 변형률 분포 비교(실험값 vs 해석값)

<표 2.22> 균열 하중 단계에서의 단면해석 결과값과 실험값 비교

Type of grid	Sensor	Experiment strain (μmm/mm)					Theoretical strain (μmm/mm)				
		M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
V-GRID	S.G[1)]	–	–	–	–	–	19	58	97	58	19
	O.F.S[2)]	**–**	**–**	**–**	**–**	**–**	**19**	**58**	**97**	**58**	**19**
S-GRID	S.G	18	39	113	0	3.8	23 (77%)	70 (55%)	117 (96%)	70 (0%)	23 (16%)
	O.F.S	**12**	**53**	**112**	**58**	**9**	**23 (51%)**	**70 (75%)**	**117 (96%)**	**70 (82%)**	**23 (38%)**
HI-GRID	S.G	20	98	206	38	15	36 (56%)	107 (91%)	179 (115%)	107 (35%)	36 (42%)
	O.F.S	**20**	**80**	**190**	**98**	**15**	**36 (56%)**	**107 (75%)**	**179 (106%)**	**107 (91%)**	**36 (42%)**

Note: 1) S.G: 스트레인게이지, 2) O.F.S: 광섬유 센서

- 광섬유 센서의 신뢰성을 평가하기 위하여 보의 단면해석을 수행하였음. 단면해석은 균열 하중 단계를 기준으로 산정하였으며, 다음과 같은 가정조건을 통하여 보의 단면해석을 수행하였음.
  ① 변형 전 부재축에 수직한 평면은 변형 후에도 부재축에 수직하다.
  ② 보강재에 생기는 변형률은 무기계 접착제에 생기는 변형률의 위치와 같다.
  ③ 무기계 접착제와 보강재의 응력은 응력-변형율로부터 계산 할 수 있다.
- [그림 2.42]을 본 단면의 응력과 변형율 분포를 참조하여 단면해석 순서는 ① 모멘트 선도에서 보 길이별 모멘트를 산정한다. ② 중립축 깊이 kd를 산정한다. ③ 단면의 압축력과 인장력의 평형조건을 이용하여 f_{ct}값을 산정한다. ④ 응력관계도를 참조하여 비례 법칙에 따라 f_f 값을 산정한다. ⑤ 산정된 f_f을 후쿠의 법칙을 이용하여 ε_f값으로 변환한다.
- [그림 2.43]과 <표 2.22>는 보의 길이별 텍스타일 그리드의 단면해석값과 실험값의 비교를 나타내었다. 광섬유 센서의 결과를 사용하여 얻은 변형률 분포는 삼각형이었고 보의 중간에 피크가 나타난다. 이것은 3점 굽힘 시험 동안 빔의 이론적인 변형률 분포와 일치하였다. 단면해석을 통해 산정된 $\varepsilon_{f.theor}$값과 실험 결과에서 얻은 $\varepsilon_{f.exp.}$ 값을 비교하면, 양 단부인 M1과 M5를 제외하고 HI-GRID의 경우 실험결과의 신뢰도가 약 75~106% 수준이었음. 양 단부(M1, M4, M5)의 경우, 기존의 스트레인게이지 역시 비슷한 경향을 나타내었으며, 본 연구에서 적용한 광섬유 센서의 경우 스트레인 게이지에 비하여 높은 수준의 신뢰도를 발휘한 것을 확인하였음.

[②광섬유 적용 텍스타일 그리드 제조기술 개발]

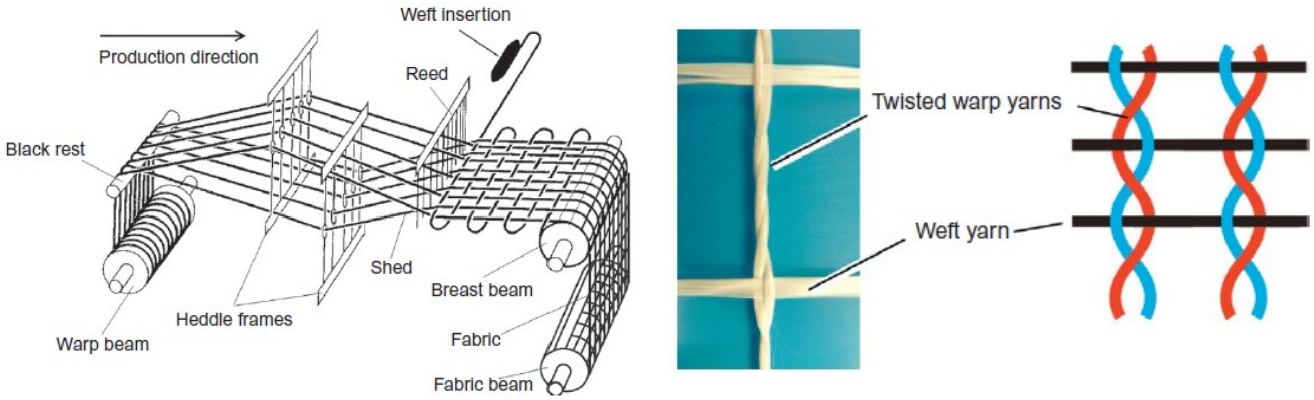
- <표 2.23>은 국내의 그리드 제조업체를 조사한 결과를 나타낸 것으로 국내에서 텍스타일 그리드는 주로 지오그리드 형태로 제품을 생산하고 있으며, 에스앤건설 및 이에스지산업, 뉴이스트산업은 유리섬유를 이용한 그리드 제품을 생산하고 있음.
- 현재 국내의 직조기술은 많이 뒤쳐져 있으며, 직조기술의 핵심은 방직기 제조기술과 깊은 연관이 있음. 텍스타일 그리드의 직조방법은 방직기 제조기술에 영향이 지대함.

<표 2.23> 산업용 텍스타일 생산 가능업체

기업명	주요생산품목	소재지	연락처	홈페이지
에스앤건설	**유리섬유 그리드 (포장용)**	**대전**	**042-638-9405**	**http://www.sncons.co.kr/**
이에스지산업	유리섬유 그리드 (포장용)	대전	042-671-1997	http://esg.kr/
뉴이스트산업	유리섬유 그리드 (드라이비트 매쉬)	서울	02-3474-5041	http://www.neweast.co.kr/
대성씨엠피	바잘트섬유 그리드	부산	051-832-2071	http://www.dscmp.kr
한길산업	FRP 그레이팅	김포	032-515-4158	http://www.frpgrating.co.kr/
㈜대한아이엠	지오그리드, 지오매트	충북	043-877-2969	http://www.geosko.com/
㈜대정	지오그리드	부산	051-304-2511	http://www.daejung.net
새한산업	지오그리드	전남	061-278-5605	http://www.새한토목섬유.kr
골든포우	지오그리드(네트)	서울	02-554-4655	http://www.goldenpow.com
한일카본	**탄소섬유+유리섬유 그리드**	**광주**	**062-2946-2703**	**-**

- 구조용 복합재료의 보강을 위한 직물 구조의 제조에는 모든 유형의 직물 공정이 포함된다. 평면(2D) 직물 구조는 구조요소인 섬유 또는 원사(roving)가 평면에 배열되고 하나 이상의 방향으로 하중을 견딜 수 있는 직물임.
- 직물의 특성은 구성요소의 구조, 단위 너비당 개수, 상호 배열 및 결합(예: 마찰력) 등의 요소에 의해 정의된다.

- 섬유 직물의 주요 생산방법(직조방법)은 weaving(평직)과 knitting(편직), non-woven(부직포)가 대표적이다.
- (woven fabric) 직조는 방직기라는 안정된 기계를 사용하여 두 세트 이상의 실을 엮어 직물을 형성하는 과정이며, 평직방법은 두 개의 별도의 섬유로빙을 직각방향으로 얽혀 직물이나 천을 형성하는 직물 생산방법임.
- Leno fabric은 개방형이며, 기존 직물에 비해 두 세트의 경사(Warp fiber)가 위사(Weft fiber) 주위에 꼬여 있어 직물내에서 안정적으로 유지된다. [그림 2.44]
- 레노 직조의 장점은 ①높은 치수 안정성, ②매우 낮은 위사(weft fiber) 기복, ③격자형의 개방형 구조 구형가능 등 다양하며, 레노 직조는 기존의 직조기로 만들 수 있어 방직기의 활용성이 뛰어남.

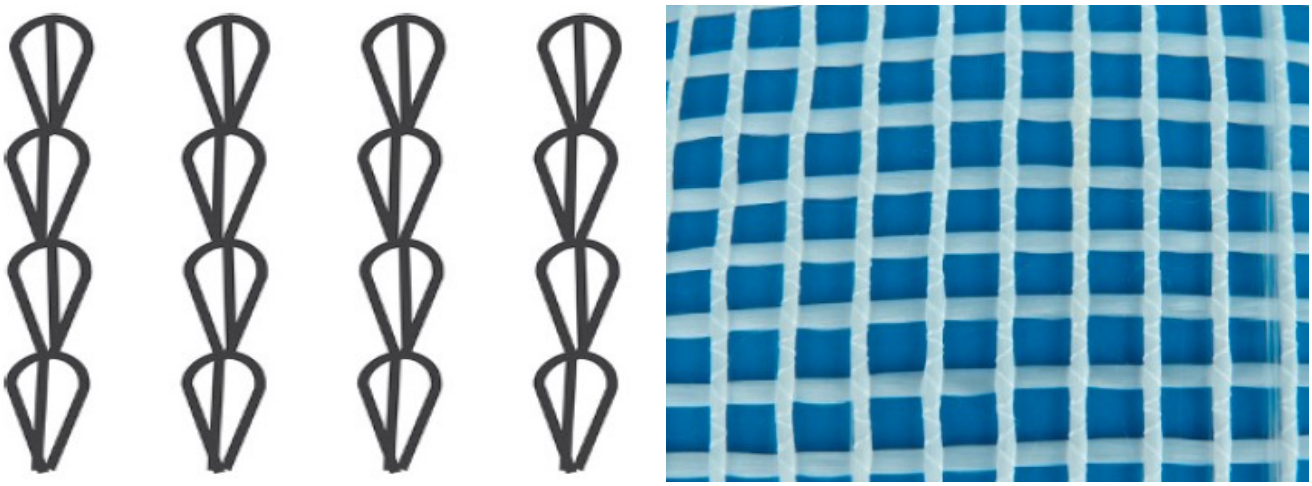


(a) Leno weave 직조방식 (b) Leno weave 직조물

[그림 2.44] Leno weave 직조방식 및 직조물

- (knitted fabric) 편직 기술은 섬유 직물을 위한 가장 다용도로 사용되며, 유연한 직조방법 중 하나임. 편직과 같은 전통적인 섬유 기술의 선택은 대량 생산, 낮은 제조비용 및 복잡한 형태의 직물을 생산할 수 있기 때문에 많은 관심을 받고 있음.
- 편직물은 하나 또는 여러 개의 실을 엮어 생산하며, 편직물의 구조요소에는 개방형 및 폐쇄형 랩, 플로트, 삽입 위사 및 경사가 포함됨. 편직물은 형성방법에 의하여 경사편직물과 위사편직물로 나뉜다. 위사 편직물은 가로방향으로 1개 이상의 원사로 편성하고 경사 편직물은 평행한 다수의 원사로부터 세로방향으로 편성한다. 편직물은 용도에 따라 일정한 투과성을 갖는 연속적인 폐쇄형 직물을 제조하거나, 직사각형 형태의 셀이 있는 개방형 메쉬구조의 소재로 제조될 수 있음.
- 편직물의 특성은 특정 용도에 따라 자유롭게 조정할 수 있으며, 고정된 크기 또는 매우 늘어나는 직물, 얇고 열린 조밀한 구조로 이루어진 직물, 매끄러운 표면에서 질감 또는 엠보싱 표면이 있는 비평면 배열까지 다양한 직물을 만들 수 있음.
- Pillar stitch방식의 경사 편직물은 [그림 2.45]와 같이 개방형 격자 보강 구조를 제공함. 이러한 그리드 직물은 주로 국외(독일)에서 많이 사용되고 있는 직조기술로 텍스타일 그리드에 매트릭스인 무기계 접착제를 사용하여 제품을 생산하는데 매우 적합함.[27] 직물 내부의 구멍으로 인해 무기계 접착제가 직물 층을 통해 거푸집을 채울 수 있음. 하지만, 로빙의 형태가 원형으로 인해 콘크리트와 보강 로빙의 접촉면이 낮지만, 방직 기술을 개량하여 이러한 단점을 극복하였음.

27) Janetzko, S., Kravaev, P., Gries, T., et al., 2010. Textile reinforcement with spread and commingled yarn structures. In: International Conference on Material Science and 64th RILEM Annual Week in Aachen—MATSCI.



(a) Pillar stitch 직조방식 (b) Pillar stitch 직조물

[그림 2.45] Pillar stitch 직조방식 및 직조물

- 현재 국내에서는 오픈형 그리드의 생산방법은 Leno weave 방식을 많이 사용하고 있으며, Pillar stitch 방식은 국외인 독일에서 사용하고 있는 방법임.
- [그림 2.46]은 본 연구개발에서 얻은 결과를 바탕으로 직조된 텍스타일 그리드의 시제품 제작방법을 나타내고 있으며, 직조과정에서 광섬유 센서의 삽입은 현재 국내의 직조기술 상황에서는 많은 어려움이 있음.
- 현재 광섬유 센서의 개당 단가는 350,000원/m (㈜팬옵틱스)으로 고가의 제품으로 텍스타일 그리드 시제품의 제작 단가 상승으로 범용성이 낮으며, 광섬유 센서는 구부림에 제한이 있고, 중간에 연결이 끊기면 측정이 불가하므로 직조된 **텍스타일 그리드의 직조과정에서 광섬유 센서를 직조에 의해 매립하는 것은 합리적이지 않은 결과**를 얻었다. 향후 광섬유 센서의 기술 향상으로 낮은 가격과 고효율의 제품이 개발이 동반되어야 할 것으로 사료됨.



[그림 2.46] 텍스타일 그리드 시제품 제작방법

(2) 요구성능 수준별 무기계 접착제 성능개선 연구

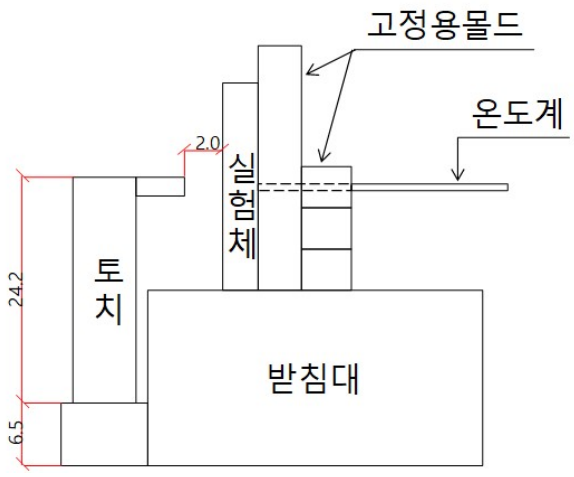
- 2차년도에 개발한 무기계 접착제의 압축강도는 74.6MPa로 고강도의 모르타르이며, 고강도의 모르타르의 밀실한 구조는 화재에 노출되었을 때 수증기나 습기가 이동하기 어려워 모르타르의 표면 근처에 높은 수증기압을 일으키며, 이로 인해 폭열의 문제점[28]을 고려하여야 함.
- 이러한 문제점의 발생여부를 확인하기 위하여 개발된 무기계 접착제의 내화실험을 수행하였음. <표 2.24>에 나타낸 것과 같이 내화실험을 위한 배합은 개발한 무기계 접착제, 일반 보수모르타르의 2종류이며, 압축강도 실험결과, 일반 보수모르타르는 48.7MPa, 개발 무기계 접착제 74.6MPa 으로 일반 보수모르타르에 비하여 높은 성능을 나타내었다.

<표 2.24> 내화실험용 배합(개발, 내화, 일반 보수모르타르) (재령 28일)

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)									압축 (MPa)	휨 (MPa)
NO.		C[1]	GGBS	SF	S[2]	PVA[3]	P.P[6]	EVA[4]	A.D[5]	W		
개발	37.8	41.6	2.0	1.4	50.31	0.2	-	0.20	4.29	17.0	74.6	17.4
일반	45.7	35.0	-	-	60.45	-	0.2	0.35	4.20	16.0	48.7	10.3

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) EVA: Ethylene Vinyl Acetate , 5) A.D: Admixture 6) P.P: Polypropylene

- 내화실험용 실험체는 가로, 세로(W, H) 200mm, 두께(T) 30mm의 정사각형의 시편을 각각 2개씩 제작하여 28일 동안 온도 20±2℃ 조건의 양생조에서 수중양생하여 제작하였으며, [그림 2.47]에 나타낸 것과 같이, 받침대에 홈이 있는 고정용 몰드를 이용하여 실험체를 거치하고, 가열장치를 이용하여 실험체 표면에 직접 가열하여 후면의 온도 상승량과 가열표면의 폭열유무, 균열도 등을 확인하였음.

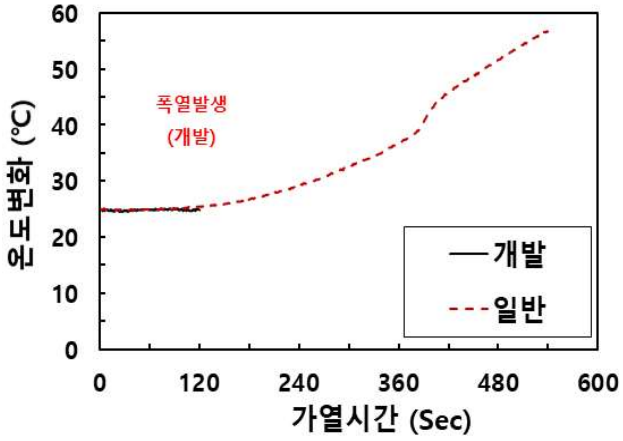


[그림 2.47] 내화실험 set-up

28) Y.Andrber, Spalling phenomena of HPC and OC, Proceedings of International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, 1997.

<표 2.25> 실험결과 (온도상승량 비교)

배합	가열시 온도 (℃)	가열 완료후 온도 (℃)	온도 상승량 (℃)
개발	24.9	폭열로 인한 실험중단	
일반	24.9	56.9	27.2





(a) 개발 무기계 접착제



(b) 일반 모르타르

[그림 2.48] 실험결과 (가열면의 균열 분포)

- 실험결과, 개발한 무기계 접착제 실험체는 가열이 시작된 지점에서 2분 후 가열면에서 폭열이 발생하여 실험을 중단하였으며, 일반 보수모르타르는 폭열 발생없이 56.9℃까지 온도가 상승하였음. 또한, 가열면을 중심으로 미세한 균열들이 외부로 뻗어나가는 망상균열이 발생하였음.

<표 2.26> 개발 시제품 배합 개량 (재령 28일)

Mix NO.	W/B (%)	Composition of content by weight (%)									압축 (MPa)	휨 (MPa)
		C[1]	GGBS	SF	S[2]	PVA[3]	P.P[6]	EVA[4]	A.D[5]	W		
개발	**37.8**	**41.6**	**2.0**	**1.4**	**50.31**	**0.2**	**-**	**0.20**	**4.29**	**17.0**	**74.6**	**17.4**
개량 1		41.6	2.0	1.4	50.11	0.2	0.2	0.20	4.29	17.0	71.8	17.9
개량 2		41.6	2.0	1.4	49.91	0.2	0.4	0.20	4.29	17.0	71.7	18.2

Note: 1) C: Cement, 2) S: Sand, 3) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) EVA: Ethylene Vinyl Acetate , 5) A.D: Admixture
6) P.P: Polypropylene

- 고강도 모르타르의 폭렬을 제어할 수 있는 방안으로는 모르타르 배합 시 폴리프로필렌 섬유(P.P섬유)를 혼입하는 방법이 가장 효율적인 것으로 보고[29]되어 있으며, 일반적으로 폭렬은

29) T. Lennon, N. Clayton, Fire tests on high grade concrete with polypropylene fibres, BRE Report 395, 1995.

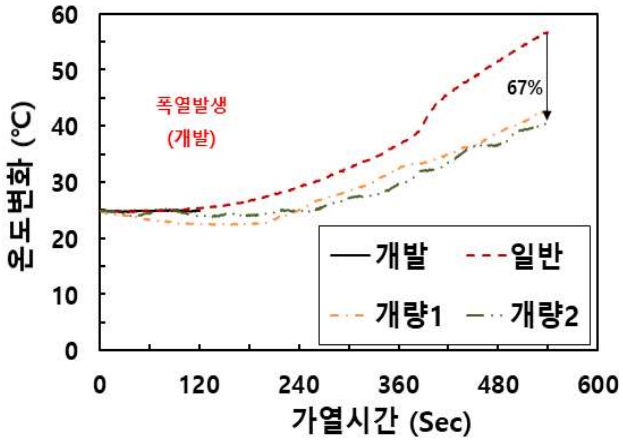
190℃~250℃사이에서 발생하는데 비하여 P.P섬유는 170℃에서 녹기 때문에 매트릭스내부에 수증기가 통할 수 있는 미세한 공극을 형성하게 되고 이로써 수증기압이 낮아지게 됨.

- 이러한 기존 연구를 바탕으로 내화실험에서 폭열이 발생한 무기계 접착제의 배합비를 개량하였음. <표 2.26>에 나타낸 것과 같이 기존 개발한 배합비에서 P.P섬유를 0.2%, 0.4%를 첨가한 배합의 압축강도 및 휨 강도를 측정한 결과, 압축강도는 개발 시제품과 동등한 성능을 나타내었으며, 휨강도는 향상되었음.

- <표 2.27>과 같이 내화실험결과, 개량된 배합을 사용한 개발 무기계 접착제의 모든 실험체는 열에 의한 폭열 현상은 발생하지 않았으며, 가열 전·후 온도상승량은 P.P섬유를 0.2%를 첨가한 실험체는 18.0℃, 0.4%를 첨가한 실험체는 15.6℃로 일반 보수모르타르 실험체에 비하여 약 57~67% 수준으로 내화성능이 향상되었음.

<표 2.27> 실험결과 (온도상승량 비교)

배합	가열시 온도 (℃)	가열 완료후 온도 (℃)	온도 상승량 (℃)
개발	24.9	폭열로 인한 실험중단	
개량1	24.9	42.9	18.0
개량2	24.9	40.5	15.6





(a) 개발 무기계 접착제 (b) 개량1 (P.P:0.2%) (c) 개량2 (P.P:0.4%)

[그림 2.49] 실험결과 (가열면의 균열 분포)

(3) 구조물 적용관련 구조안정성 및 역학성능 평가

- 개발된 무기계 접착제 및 텍스타일 그리드를 이용한 FRCM시스템의 구조안정성 및 역학적 성능을 평가하기 위하여 실제 구조물의 기둥을 축소한 RC 기둥을 설계·제작하여 내진성능 실험을 수행하였음.

- <표 2.28>에 나타낸 것과 같이 실험변수는 ①텍스타일그리드의 형상별(개발 HI-GRID, 독일 V.FRAAS, 독일 SOLIDIAN), ②보강방법별(FRP SHEET 보강, FRCM 복합재 보강)로 2가지로 하여 총 6체의 실험체를 계획하였음.

- <표 2.29>, [그림 2.50]에 나타낸 것과 같이 보강전의 기준 실험체는 원형단면(D:350mm)이며, 높이(H) 2,000mm, a/d가 3.5인 휨 선행 파괴형태의 기둥으로 설계하였음. 콘크리트 압축강도는 24MPa이며, 주철근은 8-D22(f_y: 450MPa), 횡보강근은 D10@125mm(f_y: 500MPa)로 배근하고, 원형의 종이 몰드를 이용하여 타설하여 실험체를 제작하였음.
- 제작한 실험체는 7일 양생 후 콘크리트 공시체 압축강도를 측정하여 설계압축강도의 약 70%인 23.6MPa를 확인 후 보강작업을 실시하였음. FRCM 복합재의 보강높이는 기둥의 유효깊인(d)의 1.5배인 420mm로 기둥 상·하부의 소성힌지 구간을 충분히 보강하였음. 보강순서는 ①표면처리 및 임시고정용 칼브럭 설치→②무기계 접착제 도포(초벌 10mm)→③텍스타일 그리드 설치→④무기계 접착제 도포(마감 15mm)→⑤양생의 순서로 진행하였음. [그림 2.51]

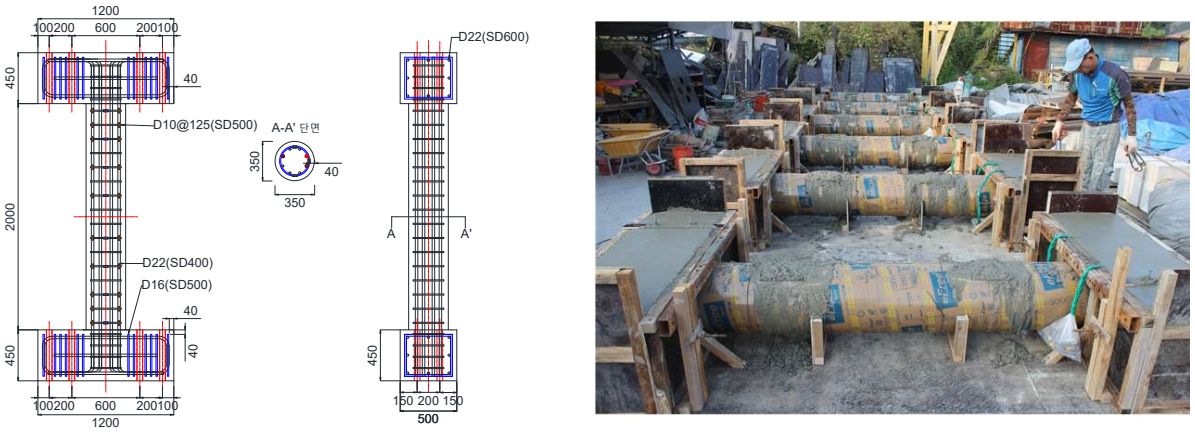
<표 2.28> 기둥 실험체 일람

실험체명[1]	보강재료[2]	보강겹수	보강량(Roving)	함침종류[3]	표면코팅	매트릭스
CONTROL	–	–	–	–	–	–
P-HF	SHEET	1 Layer	HF: 150	EPOXY	NON	EPOXY
M-V-NON	V-GRID		CF: 18	SBR	NON	MORTAR (개발)
M-S-NON	S-GRID		CF: 18	EPOXY	NON	
M-HI-NON	HI-GRID		CF: 19	EPOXY	NON	
M-HI-AL			CF: 19		AL	

Note: 1) Specimen name: A-B-C(A: FRP or FRCM. B: Type of GRID, C: Surface coating)
2) Sheet: FRP sheet, HI: 개발, V: V.FRAAS, S: SOLIDIAN
3) SBR: Styrene Butadiene Rubber

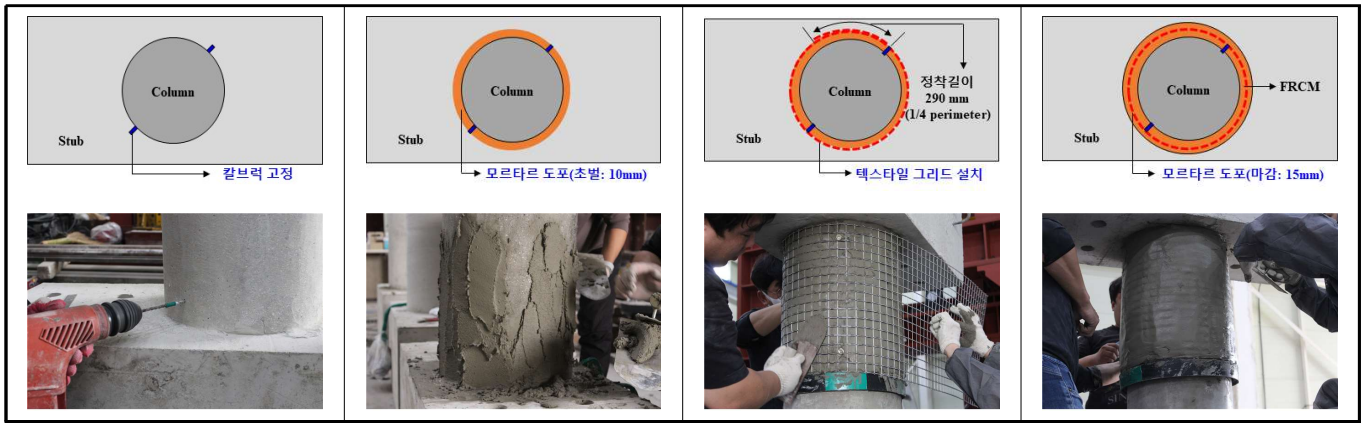
<표 2.29> 기준실험체 크기 및 배근

Specimens	fck (MPa)	Size (mm)					Longitudinal Re-bar			Transverse Re-bar		
		b×D	H	d	a	a/d	db	fy	ρ_s	db	fy	ρ_{tie}
CTRL	35	350	2,000	280	1,000	3.5	8-D22	450	3.22	D10@125	500	0.41



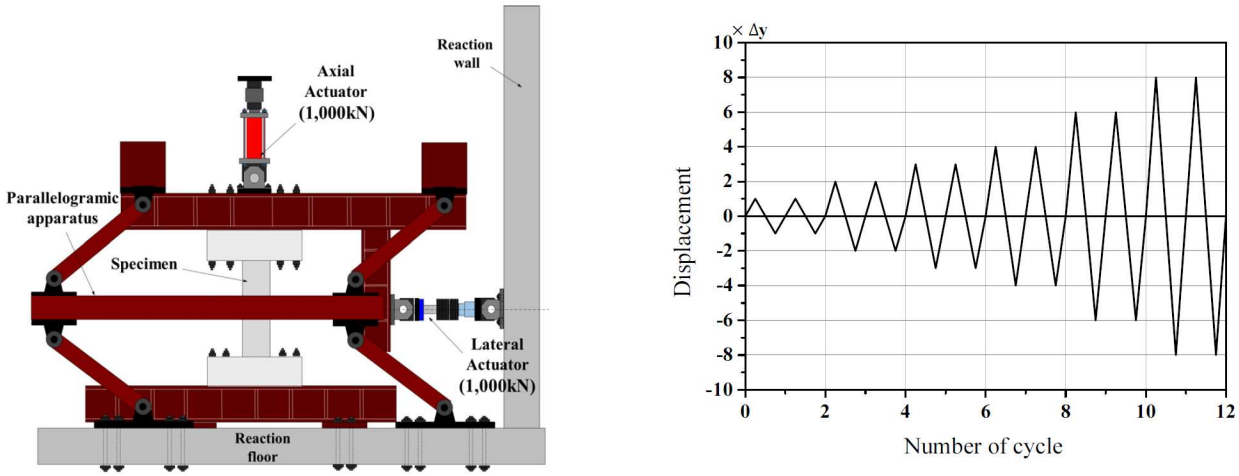
[그림 2.50] 기준실험체 배근도

①표면처리 및 칼브럭 설치	②무기계접착제 도포(초벌)	③텍스타일 그리드 설치	④무기계 접착제 도포(마감)

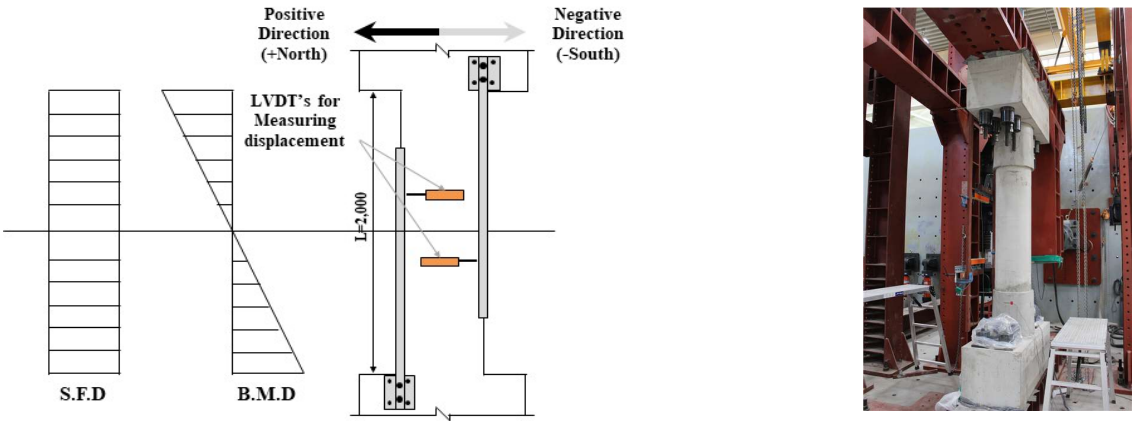


[그림 2.51] FRCM 복합재 보강 방법

- RC 기둥의 내진성능을 평가하기 위하여 10%의 축하중과 역대칭 모멘트를 동시에 받는 휨 파괴가 선행하는 실험을 수행하였음. [그림 2.52]에 나타낸 것과 같이 1,000kN 용량의 수직 방향의 엑추에이터를 이용하여 실험체에 295kN의 축하중($0.1b \cdot D \cdot f_{ck}$)을 가력한 후 1,000kN 용량의 수평 방향의 엑추에이터를 이용하여 실험 구간에 동일한 전단력이 작용하도록 횡하중을 가하였음. 또한, 가력프레임 양쪽 옆에 설치된 수평유지장치를 이용하여 기둥에 작용하는 축력에 의한 변위증분효화($P-\Delta$효과)를 최소화하도록 하였음. 가력 프로그램은 [그림 2.52]과 같이 주철근의 항복시의 변위(Δ_y)를 기준으로 하여 변위제어방식으로 반복 가력하였음.



[그림 2.52] 가력방법 및 프로그램



[그림 2.53] 계측 및 실험 전경

[실험결과]

- **[횡 하중과 변위 관계]** 결과를 <표 2.30>, [그림 2.54]에 나타내었다. 실험체의 하중은 액추에이터에 부착된 로드셀의 출력값을 사용하였으며, 변위는 [그림 2.54]에 나타낸 LVDT로부터 계측된 횡방향 변위의 평균값을 사용하였다. 정가력시의 하중 및 변위는 (+), 부가력시의 하중 및 변위는 (-)로 나타내었다.

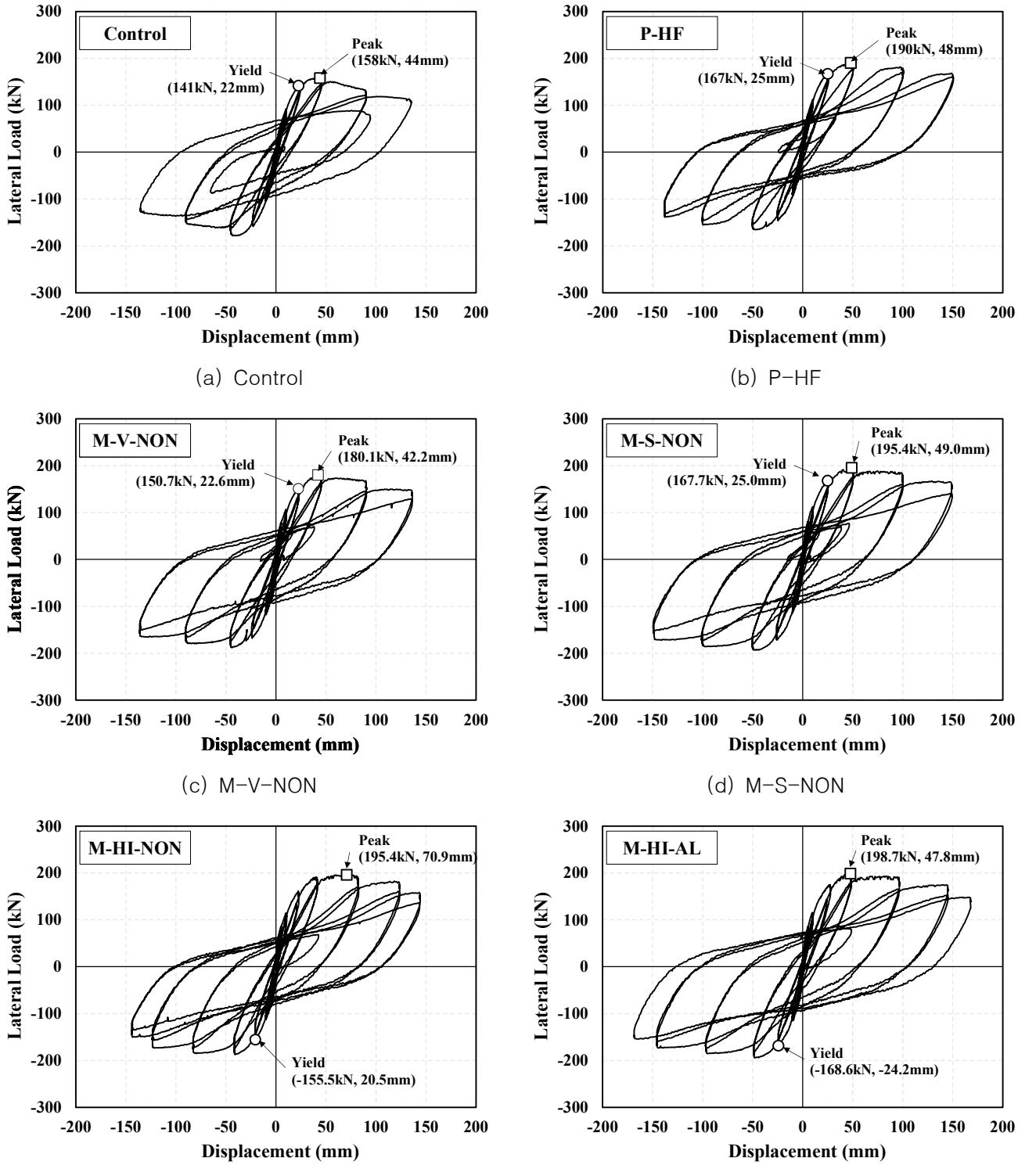
<표 2.30> 기둥 실험 결과

실험체명[1]	주철근 항복(δ_y)		최대내력 정방향(+)		최대내력 부방향(-)		$\delta_{0.85p_u}$	85% 연성[2]
	하중 (kN)	변위 (mm)	하중 (kN)	변위 (mm)	하중 (kN)	변위 (mm)		
CONTROL	141.2	22.6	157.7	44.1 ($2.0\Delta_y$)	-178.6	-41.8 ($1.8\Delta_y$)	79.5	3.52
P-HF	167.0	25.0	190.2	48.1 ($1.9\Delta_y$)	-165.2	-47.0 ($1.9\Delta_y$)	150.6	6.02
M-V-NON	150.7	22.6	180.1	42.2 ($1.9\Delta_y$)	-188.6	-43.8 ($1.9\Delta_y$)	122.4	5.42
M-S-NON	167.7	25.0	195.4	49.0 ($2.0\Delta_y$)	-193.5	-46.9 ($1.9\Delta_y$)	132.7	5.31
M-HI-NON	-155.5	-20.5	195.8	70.9 ($3.5\Delta_y$)	-187.4	-41.1 ($2.0\Delta_y$)	133.8	6.53
M-HI-AL	-168.6	-24.2	198.7	47.8 ($2.0\Delta_y$)	-194.1	-48.4 ($2.0\Delta_y$)	146.4	6.05

Note: 1) Specimen name: A-B-C(A: FRP or FRCM. B: Type of GRID, C: Surface coating)
2) $\delta_{0.85p_u} / \delta_y$

- 주철근 항복시의 변위(δ_y)는 소성힌지구간에 부착한 변형률 게이지가 항복변형률(ϵ_y: 0.0025mm/mm)에 도달하였을 때의 변위를 나타내며, 이때의 하중을 주철근 항복시 하중으로 결정하였음.
- **(주철근 항복시 횡하중 및 변위)**는 Control 실험체의 경우, 하중 및 변위는 141.2kN, 22.6mm이며, P-HF 실험체는 167.0kN, 25.0mm, M-V-NON 실험체는 150.7kN, 22.6mm, M-S-NON 실험체는 167.7kN, 25.0mm, M-HI-NON 실험체는 (-)155.5kN, (-)20.5mm, M-HI-AL 실험체는 (-)168.6kN, (-)24.2mm로 각 실험체 별로 상이하였으며, 이때의 변위를 Δ_y로 정하였음.
- **(최대 내력시의 횡하중)**은 정가력시 Control 실험체의 경우, $2.0\Delta_y$에서 157.7kN으로 최대 내력에 도달하였으며, FRP시트로 보강한 P-HF 실험체는 $1.9\Delta_y$에서 약 1.20배 증가한 190.2kN, V-GRID를 적용한 M-V-NON 실험체는 $1.9\Delta_y$에서 1.14배 증가한 180.1kN, S-GRID를 적용한 M-S-NON 실험체는 $2.0\Delta_y$에서 1.24배 증가한 195.4kN, HI-GRID를 적용한 실험체는 $3.5\Delta_y$에서 1.24배 증가한 195.8kN, HI-GRID에 AL표면코팅을 한 실험체는 $2.0\Delta_y$에서 1.26배 증가한 198.7kN이었음.

- 최대 내력시의 실험체별 횡하중 비교시, 정가력 방향을 기준으로 산정하였음. Control 실험체의 경우, 2.0Δ_y에서 157.7kN으로 최대 내력에 도달하였으며, FRP시트로 보강한 **P-HF 실험체**는 1.9Δ_y에서 **약 1.20배 증가**한 190.2kN, V-GRID를 적용한 **M-V-NON 실험체**는 1.9Δ_y에서 **1.14배 증가**한 180.1kN, S-GRID를 적용한 **M-S-NON 실험체**는 2.0Δ_y에서 **1.24배 증가**한 195.4kN, HI-GRID를 적용한 **M-HI-NON실험체**는 3.5Δ_y에서 **1.24배 증가**한 195.8kN, HI-GRID에 AL표면코팅을 한 **M-HI-AL 실험체**는 2.0Δ_y에서 **1.26배 증가**한 198.7kN이었음.
- 본 연구에서 개발한 HI-GRID의 하중에 대한 보강성능이 우수한 것을 확인하였음.



(a) Control (b) P-HF

(c) M-V-NON (d) M-S-NON

(e) M-HI-NON (f) M-HI-AL

[그림 2.54] 횡하중-변위 관계

- **[균열양상]**에서는 [그림 2.55]에 나타낸 것과 같이 Control 실험체의 균열은 주로 양단부 소성힌지 구간에서 발생하여 콘크리트 박리에 의해 휨 파괴한 것을 확인 할 수 있으며, 발생한 균열은 중앙부로 진전되는 양상을 타내었음.
- **FRP 시트로 보강한 P-HF 실험체**는 시트 보강구간(스터브에서부터 420mm)이외의 구간에서 균열이 나타났으며, Control 실험체와 비교하여 소성힌지 구간의 FRP 시트 박락 및 콘크리트의 박리는 발생하지 않았음. 소성힌지 구간을 효과적으로 횡구속하고 있는 것을 확인하였음.
- **FRCM 복합재로 보강한 실험체**는 외부 무기계 접착제에 기둥 축방향의 압축균열과, 횡방향의 휨 균열이 발생하였으며, 특히, S-GRID, HI-GRID로 보강한 실험체는 FRPM 복합재의 무기계 접착제 피복이 탈락되었지만, FRCM 복합재 내부의 텍스타일 그리드의 횡구속 효과로 인하여 콘크리트 기판과 텍스타일 그리드 사이의 무기계 접착제는 건재하였음.

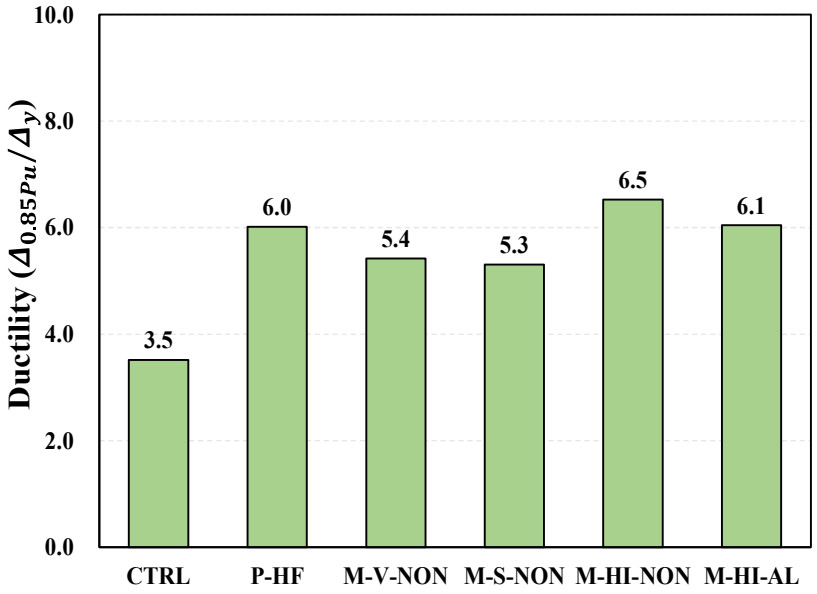


(a) Control (b) P-HF (c) M-V-NON

(d) M-S-NON (e) M-HI-NON (f) M-HI-AL

[그림 2.55] 최종 파괴시의 실험체 파괴양상

- **[연성 능력]** RC 기둥 부재에서 연성은 저항능력의 큰 감소가 없이 변형을 유지할 수 있는 능력을 의미하며, 단면의 하중-변위 곡선 관계를 이용하여 나타내었음. 연성지수는 최대하중의 80% 또는 85%인 시점에서 산정하며, 본 실험에서는 최대하중의 85%인 시점에서 산정하였음.[그림 2.56]
- 최대하중의 85% 수준의 연성지수는 Control 실험체에서 3.5이며, P-HF 실험체는 Control 실험체에 비하여 약 1.7배 증가하였으며, V-GRID, S-GRID를 적용한 실험체는 Control 실험체에 비하여 1.5배 증가하였으며, HI-GRID를 적용한 실험체는 1.8배이며, HI-GRID에 AL표면코팅을 한 실험체는 1.7배 증가하였다.
- **본 연구에서 개발한 FRCM 보강공법은 기존의 FRP 보강공법과 동등 이상의 연성지수를 나타내었으며, 특히 개발한 HI-GRID를 적용한 실험체의 연성능력이 가장 우수한 성능을 나타내었음.**

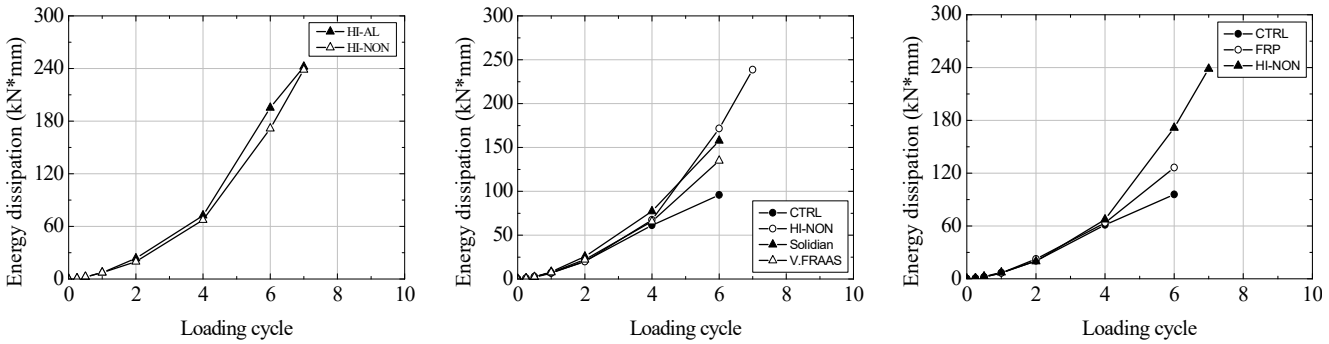


[그림 2.56] 연성비교 (at $0.85P_u$)

- **[누적 에너지 소산능력]** 에너지 소산능력은 RC 부재가 내력을 유지하면서 에너지를 흡수할 수 있는 능력으로 지진과 같은 반복하중을 받는 조건에서 구조물의 손상을 경감시킬 수 있어 연성지수와 함께 RC 부재의 내진성능을 평가하는데 중요한 요소임.
- RC 부재의 에너지 소산은 일반적으로 하중-변위 이력곡선 면적의 총합을 누적하여 에너지 소산능력을 평가할 수 있음.
- <표 2.31>과 [그림 2.57]에 실험체별 누적 에너지 소산을 나타내었음. **AL 표면코팅 유무**에서 AL파우더를 도포하지 않은 HI-GRID 적용 실험체의 에너지 소산능력은 238.57 kN-mm로 Control 실험체에 비하여 2.5배 향상되었으며, AL표면코팅을 적용한 HI-GRID 실험체의 에너지 소산능력은 242.10 kN-mm로 도포하지 않은 실험체와 동일한 성능을 발휘하였음.
- **텍스타일 그리드 종류별 비교**에서 V-GRID를 적용한 실험체의 에너지 소산능력은 134.97kN-mm로 Control 실험체에 비하여 1.4배 증가하였으며, S-GRID를 적용한 실험체는 이보다 향상된 157.66kN-mm로 1.6배 증가하였음.
- **FRP보강방법과 FRCM 보강방법의 비교**에서 FRP 시트를 적용한 실험체는 126.31 kN-mm로 Control 실험체에 비하여 1.3배 향상되었지만, FRCM 보강공법보다 낮은 수준의 에너지 소산능력을 발휘하였음.

<표 2.31> 누적 에너지 소산능력

실험체	누적 에너지 소산 (kN-mm)						
	0.25%	0.5%	$1.0\Delta_y$	$2.0\Delta_y$	$4.0\Delta_y$	$6.0\Delta_y$	$7.0\Delta_y$
CONTROL	0.6	1.91	6.59	20.34	61.24	95.85	
P-HF	0.34	1.55	6.74	22.39	63.55	126.31	
M-V-NON	0.77	2.41	7.50	22.19	65.60	134.97	
M-S-NON	0.69	2.23	8.16	25.68	77.18	157.66	
M-HI-NON	0.82	2.55	7.20	19.75	67.45	171.50	238.57
M-HI-AL	0.73	2.36	7.36	23.53	72.40	195.35	242.10



(a) AL파우더 도포유무 (b) 그리드 종류별 (c) FRP VS FRCM

[그림 2.57] 누적 에너지 소산능력

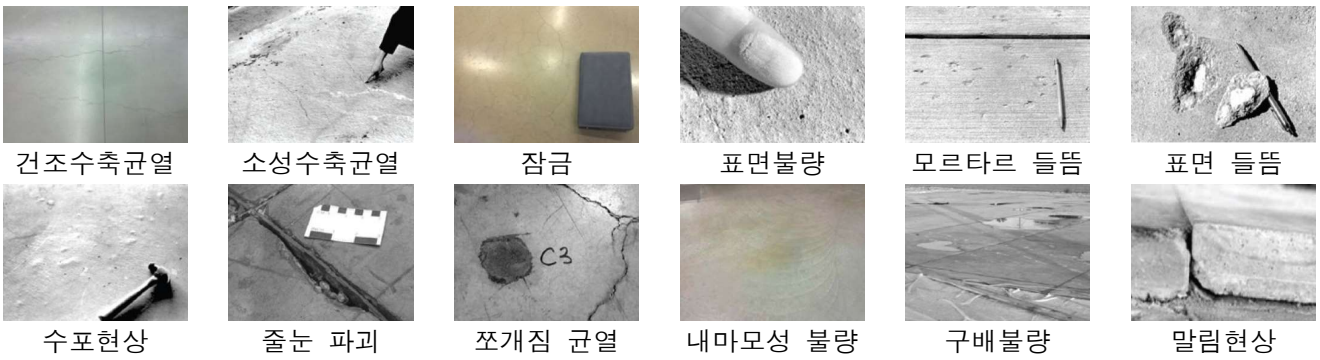
- **결론적으로,** 본 연구에서 개발한 HI-GRID를 RC 기둥에 적용한 FRCM 복합재 보강공법은 내력증진 및 연성, 에너지 소산능력이 우수한 공법임이 확인되었으며, 독일의 V-GRID와 S-GRID에 비하여 보강성능이 향상되었음. 또한, 기존에 내진보강공법으로 많이 사용되고 있는 FRP 보강공법에 비하여 내하력의 증진은 비슷한 수준이지만, 내진성능에서 중요한 요소로 평가되는 연성과 에너지 소산능력에서 향상된 성능을 발휘하였음.

(4) FRCM 현장 적용성 평가

- 본 연구에서 개발한 무기계 접착제 및 텍스타일 그리드의 현장적용 시험시공을 실시하였음. 현장적용은 **가)텍스타일 그리드의 창고바닥 및 나)FRCM복합재의 하수암거 보수 현장으로 2번에 걸쳐 시험시공을 실시**하였음.

가) 1차 현장시공 - 창고바닥

- 일반적으로 창고 건물의 구조는 대부분 철골조의 대공간 구조이며 바닥의 경우 두께가 얇고 면적이 상당히 넓어 콘크리트 건조수축에 의한 균열이 발생하기 쉽다. 또한, 사용중에는 지게차의 제품 상하차 및 통행, 적재하는 과정에서 바닥에 가해지는 충격 및 진동에 의해 준공전 양호한 품질의 콘크리트 바닥이 사용 중 균열이 발생하는 문제점이 발생함.
- [그림 2.58]과 같이 노출콘크리트 바닥의 주요 하자사항[30]은 건조수축균열, 소성수축 균열, 잠금, 표면불량, 모르타르 들뜸, 표면 들뜸, 수포현상, 줄눈 파괴, 쪼개짐 균열, 밀림현상 등 다양하게 나타나기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위하여 성능이 좋은 콘크리트 타설도 중요하지만, 추가적으로 와이어메쉬를 통하여 해결하는 방법이 일반적임. 와이어 메쉬는 강철이기 때문에 콘크리트 균열 및 중성화에 따른 부식이 발생하는 문제점이 발생함.



[그림 2.58] 노출콘크리트 바닥 주요 하자사항

- 부식 발생이 없는 텍스타일 그리드를 사용하여 대단면의 바닥에 적용성을 확인하기 위하여 시험시공을 실시하였음. 대상구조물은 양주시 은현면에 위치한 창고건물이며, 시공순서는 ① 바닥면 굴착 및 평탄화→②방수포 설치→③텍스타일 그리드 설치→④콘크리트 타설→⑤양생 순으로 진행하였음[그림 2.59]. 시공 완료 후 장기간의 추적조사를 실사한 결과, 균열발생 유무, 소성수축균열, 표면들뜸 등 문제점 발생이 발생하지 않았음.

30) Guide for Concrete Floor and Slab Construction, ACI 302. 1R-04, 2004



① 시공현장 전경



② 바닥면굴착 및 평탄화



③ 방수포 설치



④ 텍스타일 그리드 설치



⑤ 콘크리트 타설



⑥ 양생

[그림 2.59] 개발 텍스타일 그리드 제품 현장시공 전경

가) 2차 현장시공 - 하수암거

- 개발한 무기계 접착제 및 텍스타일 그리드 시제품의 현장적용을 위하여 서울시 성동구에 위치한 단면 (W)3.0m × (H)2.0m, 길이 (L)164m의 하수암거 현장에 일부분 적용하여 시험시공을 실시하였음. [그림 2.60]



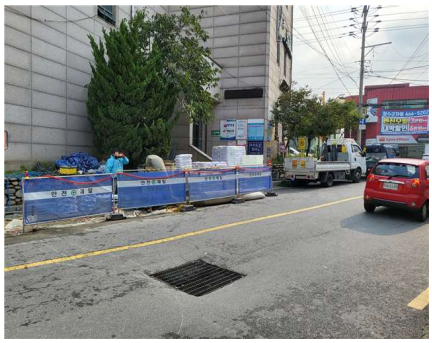
[그림 2.60] FRCM 보수·보강공법 적용현장 위치도

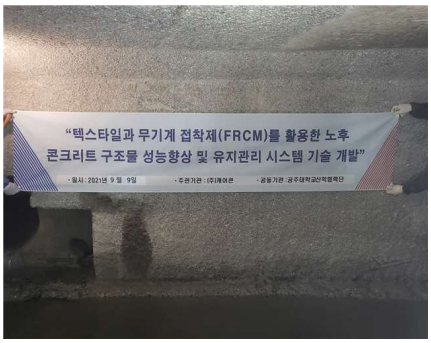
- 시공 현장은 하수에서 발생하는 산류에 의하여 콘크리트 표면이 부식되었으며, 몇 개소에서 철근노출에 의한 부식이 확인되었음. [그림 2.61]




[그림 2.61] 시공현장 전경

- 시공 순서는 ①표면치핑 및 물세척→②텍스타일 그리드 설치→③FRCM700(개발 무기계 접착제)타설→④표면정리 및 양생순으로 진행되었으며, FRCM700의 시공은 숏크리트(Shotcrete) 장비를 이용하여 타설하였음. 현장에서 사용하는 모르타르 혼합기는 용량은 250L, 제어속도는 10~60RPM의 대용량 믹서를 사용하였으며, 숏크리트 장비는 독일 PFT사의 ZP3 XL(토출량: 6-120 l/m, 이송거리: 최대 100m)제품을 사용하였음. [그림 2.62]


① 시공현장 전경(외부)



② 시공현장 전경(내부)


③ 표면치핑 및 물세척



④ 텍스타일 그리드 설치


⑤ FRCM 700 타설


⑥ 표면정리 및 양생

[그림 2.62] 개발 FRCM 복합재(무기계 접착제, 텍스타일그리드 시제품) 현장적용 전경

- 현장적용성은 시공용이성, 작업성, 품질관리 3부분으로 나누어 평가하였으며, ①시공용이성은 텍스타일 보강재의 설치방법제시 및 숏크리트 타설시 리바운드율 검토, ②작업성은 현장배합의 플로우 측정, ③품질관리는 현장적용 무기계 접착제의 압축강도, 휨강도, 부착강도를 측정하여 평가하였음.

- **[①시공용이성] 텍스타일 그리드의 설치방법**에서 일반적인 보수현장에서는 숏크리트 타설시 초벌과 재벌로 나뉘며, 초벌은 약 10~20mm의 모르타르를 타설하며 타설 후 경화를 위하여 1일간 양생 후 재벌을 타설하기 때문에 초벌과 재벌 사이에 텍스타일그리드를 설치하는 것이 어렵기 때문에 시공의 용이성을 위하여 치핑작업 이후에 텍스타일 그리드를 설치하여 시공하였음. 또한, **리바운드율**은 숏크리트 타설시 대상 구조물에 부착되지 않은 모르타르가 튕겨져 나오는 것을 의미하며, 리바운드율이 높을수록 시공성이 떨어지며, [그림 2.63]과 같이 숏크리트 타설전에 바닥면에 비닐을 깔고, 타설 후 비닐에 떨어진 모르타르를 수거하여 리바운드율을 조사한 결과, 2.46kg(손실량)/500kg(타설량)= 약 0.5%로 시공성이 용이한 것을 확인하였음.



(a) 타설전경 (b) 리바운드율 측정

[그림 2.63] 리바운드율 측정

- **[②작업성, ③품질관리]** 숏크리트 타설 시 장비의 스퀴즈펌프에서 믹싱된 모르타르를 밀어주며, 모르타르는 노즐을 통과하여 노즐본체에서 공기압에 의하여 분산되어 타설되기 때문에 믹싱된 무기계 접착제의 플로우(Flow)가 낮으면, 노즐에서 막힘현상이 발생함. 이러한 부분을 고려하여 무기계 접착제 개발 시 Flow는 180~200mm를 유지하였음. 현장 배합완료 후 플로우 측정하였음, 품질관리를 위하여 압축, 휨 몰드를 제작하고, 재령 28일에 압축 및 휨, 부착강도를 측정하였음. 부착강도는 타설면에 직접 설치하여 현장에서 실시하였음. [그림 2.64]



(a) 현장 시공용 장비 (b) 플로우(Flow) (c) 부착강도

[그림 2.64] 현장 시험시공 품질관리 및 작업성 평가

- <표 2.32>와 같이 플로우는 182mm로 작업성을 만족하였으며, 재령 28일 기준 압축강도는 76.5MPa, 휨강도는 17.5MPa, 부착강도는 2.30MPa로 목표성능을 만족하였음.

<표 2.32> 현장적용 무기계 접착제 작업성 및 품질관리 실험결과

시제품명	양생 조건	Flow (mm)	부착강도 (MPa)	압축강도 (MPa)		휨강도(MPa)	
				7일	28일	7일	28일
FRCM 700	현장	182	2.30	63.5	76.5	14.9	17.5

(5) 현장 시공 지침서 및 품질관리 시스템 개발

- <부록>의 FRCM복합재 보강공법 시공지침(안) 참조

(6) FRCM 활용 2차제품(데크패널) 개발

- 현재 국내에서 데크재로 적용되는 제품은 목재(방부목재, 천연목재, 합성목재)가 대부분이며, 석재, 세라믹재가 극히 일부 도입되고 있으나 목재종류와 관계없이 내구성이 낮은 단점이 있음.
- 방부목 데크는 가장 보편적으로 사용되는 데크재로 종류에 따라 다르지만, 자재금액이 저렴한 장점이 있지만, 수분이나 습기에 취약하며, 비중이 0.46~0.47정도로 목질이 단단하지 않기 때문에 내구성 저하의 문제점이 있어 주기적인 유지보수(오일스테인 등) 가 필요하며, 관리를 잘해주지 않으면 깨지고, 뒤틀리면서 변형 발생으로 인한 하자발생률이 높음. 또한, 화재발생시 유독가스가 배출되는 위험성이 있음.
- 천연목재 데크는 방부액을 바르지 않은 순수목재 재질로 방부목보다 고급스러움이 있으며, 변형이 적고, 내구성이 우수한 장점이 있지만, 목재의 특성상 화재의 위험성이 있으며, 자재가격이 비싸고, 시공기간이 오래걸려 시공비가 증가되기 때문에 고급주택의 데크재나 외부마감용으로 주로 사용됨.
- 합성목재 데크는 방부목이나 천연목재의 단점을 보완하기 위하여 목분과 합성수지(플라스틱)를 압축 가공해 만든 인공목재로서 방부목의 단점인 수분이나 습기로 인한 변형을 극복하고, 천연목재에 비하여 가격이 저렴하지만, 열전도율이 높기 때문에 여름철 온도가 높을 경우 길이 방향의 수축팽창으로 서로 부딪쳐 깨지는 현상이 발생하며, 목분의 영향으로 뒤틀어짐 등의 변형이 발생하여 하자가 많이 발생하고 있음. 또한, 합성수지가 포함되어 화재발생 시 유독가스 배출로 인해 인체에 유해함.

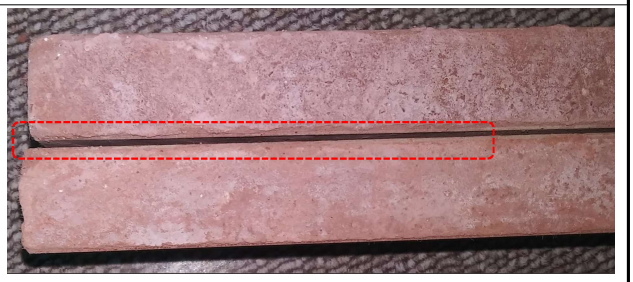
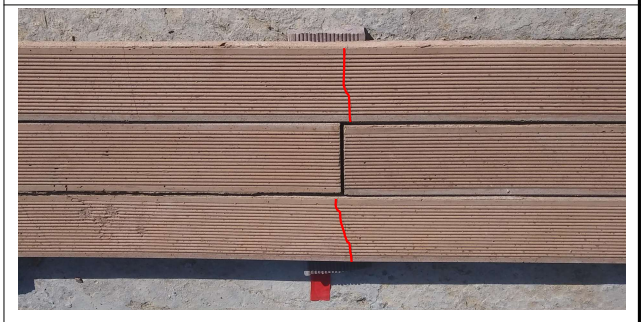
<표 2.33> 데크재의 종류 및 특성

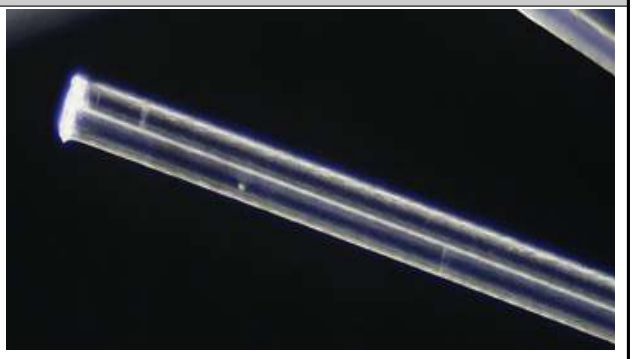
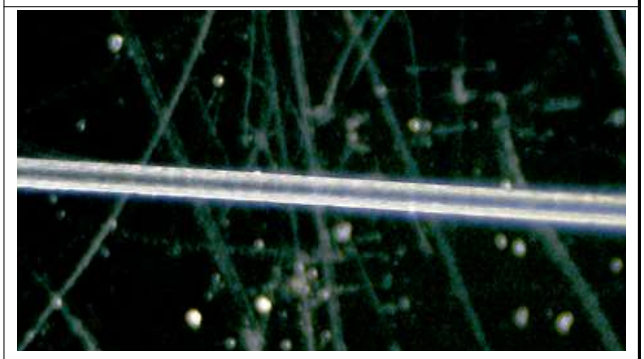
구분	소재	내구성	환경	변형	유지관리	화재
천연 목재	천연원목	4-6년	무해	갈라짐, 부식	재시공	-
방부 목재	원목+방부액	2-4년	유해	갈라짐, 부식	주기적인유지보수 (오일스테인)	유독가스 배출가능
합성 목재	목분+PP또는PVC	7-8년	유해	뒤틀림, 탈색	필요없음	유독가스 배출가능

- **[FRCM 데크패널]**은 이러한 문제점을 가지고 있는 목재데크를 대체하기 위하여 본 연구에서 개발한 FRCM 복합재료를 2차제품으로 활용하여 구조적인 물리적 특성의 향상과 더불어 내수성, 불연성, 내화학저항성 등 내구성을 향상시켜 기존의 목재데크가 가지고 있는 단점을 극복할 수 있음.

- 또한, 재질의 특성상 시공후에도 열, 알칼리, 황산염, 염분 등 외부적인 내구성 저하요인에 의한 표면약화, 수축, 팽창에 의한 하자가 발생하지 않아 추가적인 유지관리가 필요 없는 반영구적인 기술로 경제성이 우수함.
- FRCM 2차제품인 데크패널 개발을 위하여 **(1)FRCM 데크패널에 사용할 현장 배합비를 도출**하고, (2)도출된 배합비로 구성된 모르타르와 2차년도에 개발한 섬유보강재를 이용하여 **FRCM 데크패널 시작품 제작 및 성능평가**를 수행하여, **(3)검증된 시작품의 현장적용**을 실시하였다.
- <표 2.34>에 나타낸 것과 같이 FRCM 2차제품인 데크패널의 현장 배합비를 도출하기 위하여 1차년도에 개발한 무기계 접착제를 기초 배합으로하여 PC공장에서 샘플 제작을 통하여 문제점을 인식하고, 발생한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 배합실험을 수행하였음.

<표 2.34> FRCM 복합재 2차제품(데크패널) 현장 배합 도출 과정

<table>
<tr><th colspan="2">주요 진행 사항</th><th>관련 사진</th></tr>
<tr><td>FRCM 복합재 2차제품 샘플생산</td><td>- 현장배합비 도출을 위하여 개발한 무기계 접착제를 기초 배합으로 섬유보강재를 이용하여 PC공장에서 FRCM 복합재 2차제품 샘플제작을 수행하였음.</td><td> 
FRCM 2차제품 샘플용 몰드제작</td></tr>
<tr><td rowspan="2">샘플의 문제점 인식 및 해결방안 제시</td><td rowspan="2">- 몰드를 제작하여 샘플제작을 완료하였지만, 부모멘트 부분에 충격에 의한 균열 및 건조수축, 기포발생 등의 문제점이 발생하여 FRCM 데크용 현장배합비를 도출하기 위한 다양한 개선 방향을 모색하였음.</td><td> 
건조 수축 발생</td></tr>
<tr><td> 
충격에 의한 균열발생</td></tr>
</table>

주요 진행 사항		관련 사진
충격균열 해결방안	- Short fiber의 제조사별 특성을 분석하여 무기계 접착제와의 부착특성을 향상시켜, 균열 억제 및 휨강도 증진에 효과가 있는 Short fiber를 선정함.	 “N”사 PVA섬유 6mm  “S”사 PVA섬유 6mm (기존 사용제품)
	- 무기계 접착제의 휨 강도 증진을 위하여 GGBS를 제거하여 W/B를 낮추고, 유동화제를 감소시켜 기포발생량을 조절하였음. - 또한, PVA섬유의 길이 및 첨가량을 조절하여 휨 성능을 향상 시킴.	 PVA 섬유(3mm, 6mm, 12mm)
-	- 팽창제의 혼입량을 조절하고, 온도와 습도의 조절이 가능한 증기양생장치를 개발하여 실험실에서 샘플제작을 실시하여 건조수축 발생이 억제된 것을 확인하였음.	 증기 양생 장치

[시공성 개선을 위한 배합도출]

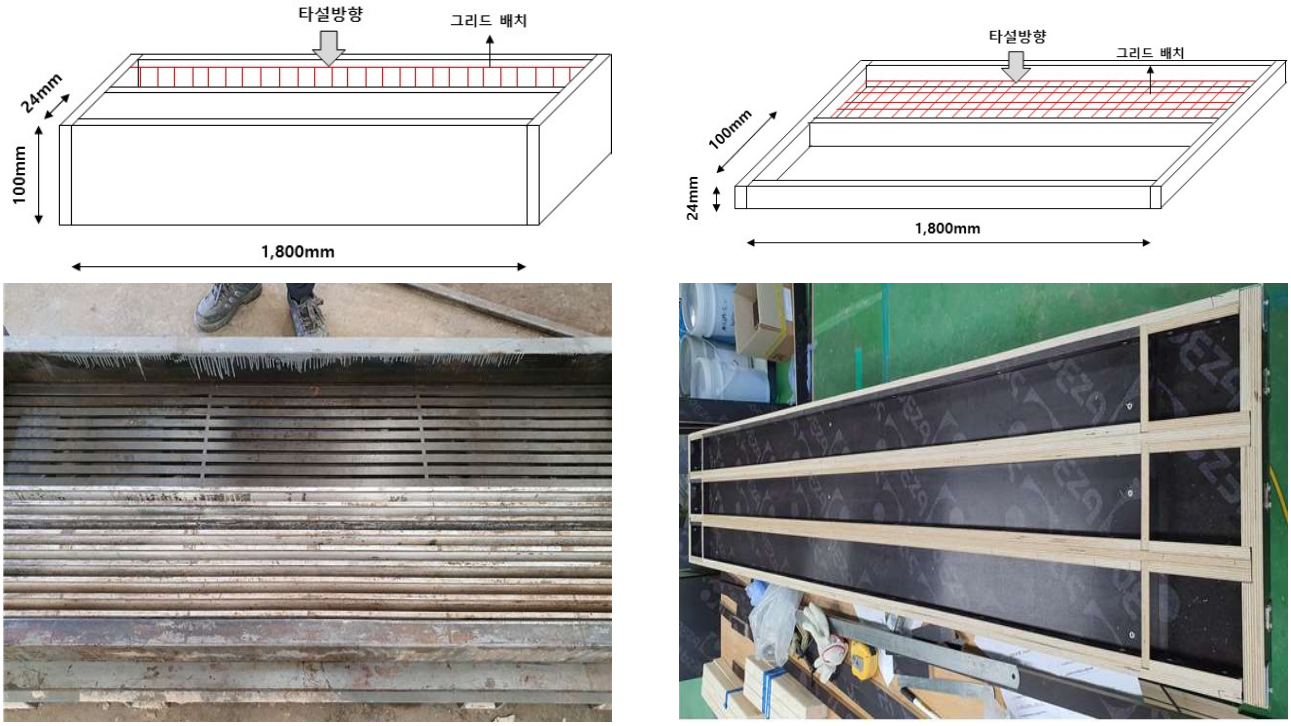
- FRCM 2차제품(데크패널)을 위한 무기계 접착제의 문제점 해결과정을 통하여 충격균열 및 건조수축 저감을 위한 배합실험을 통하여 무기계 접착제 현장배합을 도출하였음. PVA 12mm 1.0% 첨가 및 증기양생 방법 변경을 통하여 충격균열 및 건조수축의 문제점을 해결하였지만, FRCM 데크패널 제작 시 낮은 플로우(130mm)와 텍스타일 그리드의 배치방법 등으로 인하여 시공성이 저하되는 문제점을 해결하기 위하여 추가적인 배합실험을 실시하였음.

- 추가적인 배합실험에서는 타설시 시공성을 개선하기 위하여 Short fiber인 PVA섬유를 기존 12mm에서 변경하여 <표 2.35>와 같이 배합을 진행하였으며, [그림 2.65(a)]와 같이 기존의 샘플제작 시 텍스타일 그리드를 세워서 설치하여 타설하는 몰드에서 텍스타일 그리드를 눕혀서 타설하는 몰드로 변경하였음. 플로우 측정결과, 155mm로 향상된 결과를 나타내었으며, 휨 강도는 동일한 수준으로 발현되었음. 또한, 타설 시 [그림 2.65(b)]와 같이 텍스타일 그리드를 평면형으로 눕혀서 설치하여 타설 시 간격유지 및 시공성 측면에서 우수하였음.

<표 2.35> FRCM 2차제품(데크패널) 최종 현장배합비 도출

Mix	W/B (%)	Composition of content by weight (%)						압축 (MPa)		휨 (MPa)		flow (mm)
NO		Binder	S[1)]	PVA[2)]	EVA[3)]	A.D[4)]	W	1일	7일	1일	7일	155
1	35.6	45.0	48.50	1.0	0.20	5.12	16.0	68.5	72.4	18.1	23.4	

Note: 1) S: Sand, 2) PVA: Polyvinyl alcohol, 4) EVA: Ethylene Vinyl Acetate , 5) A.D: Admixture,

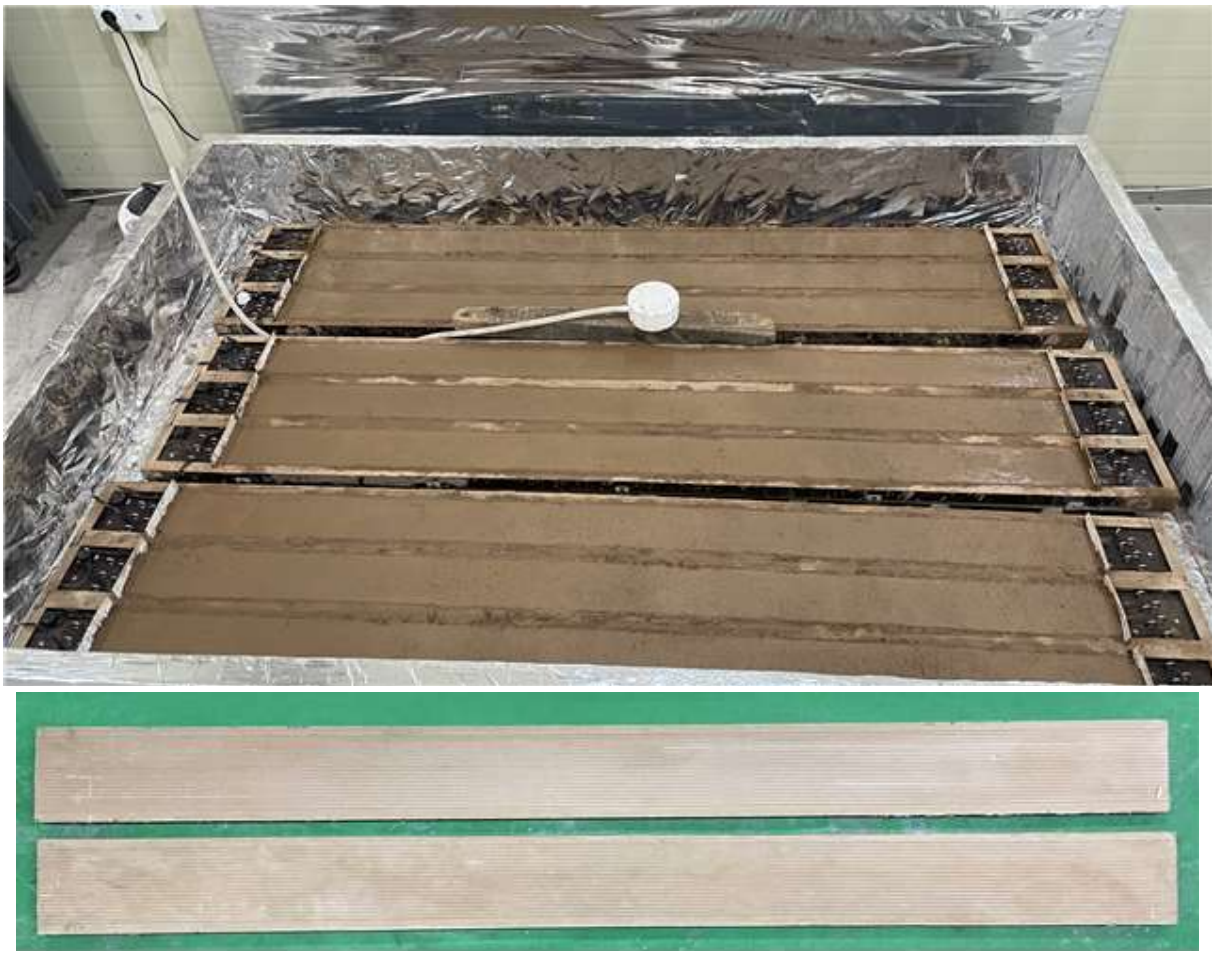


(a) 기존 몰드 (b) 개량 몰드

[그림 2.65] 텍스타일 그리드 배치방법

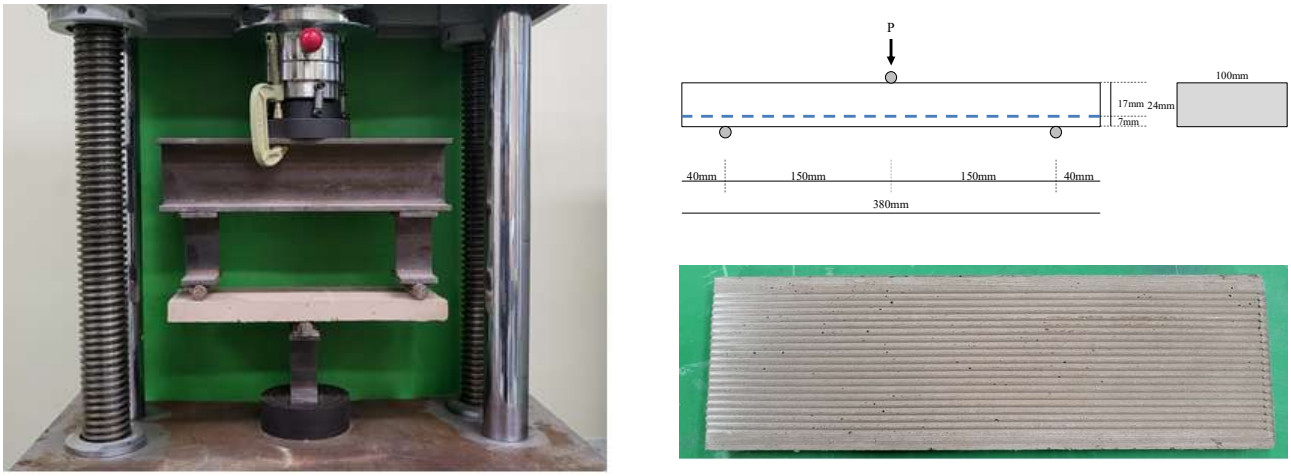
[(2) FRCM 데크패널 시작품 제작 및 성능평가]

- 도출된 배합비로 구성된 무기계 접착제와 2차년도에 개발한 섬유보강재(HI-GRID)를 이용하여 시작품을 제작하였음. 시작품은 폭(W) 100mm, 길이(L) 1.8m, 두께(T) 24mm크기로 현장배합시 제작한 샘플과 동일하며, 증기양생을 실시하였음. [그림 2.66]



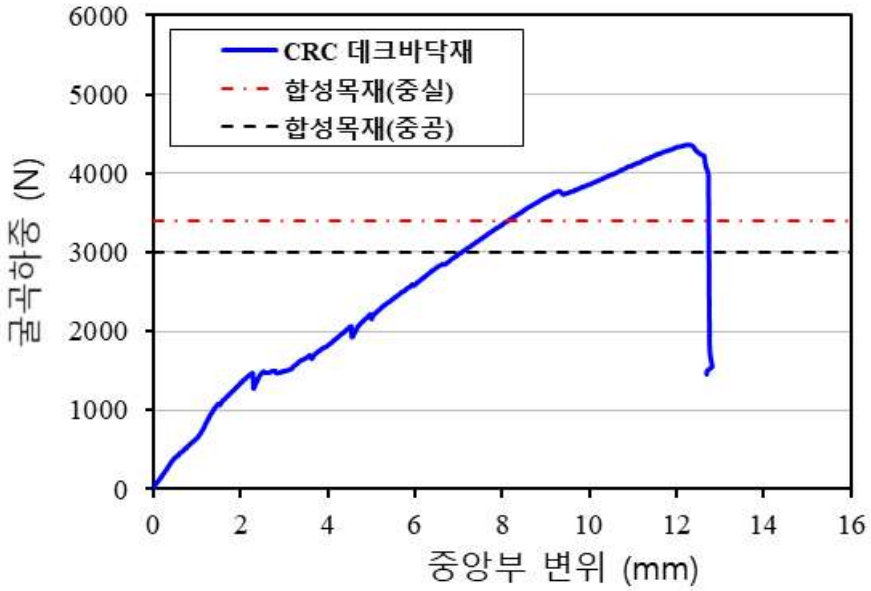
[그림 2.66] FRCM 데크패널 시작품 제작

- 제작된 시작품의 성능을 평가하기 위하여 [그림 2.67]과 같이 KS F 3230의 기준을 참고하여 길이(L) 380mm로 제단하여 시험편을 체취한 후, 30ton UTM을 이용하여 휨 성능 실험을 수행하였음.



[그림 2.67] FRCM 데크패널 및 성능평가

- KS F 3230(목재 플라시틱 복합재 바닥판)기준에서 합성목재의 휨에 대한 품질기준은 중실단면(SOLID)의 최대 굴곡하중이 3,400N 이상이며, 중공단면(HOLLOW)이 3,000N이상으로 제작한 FRCM 데크패널의 최대 굴곡하중은 중실단면(SOLID)에 비하여 128%증가한 4,360N으로 기준을 만족하였음. [그림 2.68]



[그림 6.68] CRC 데크바닥재의 최대굴곡강도 비교

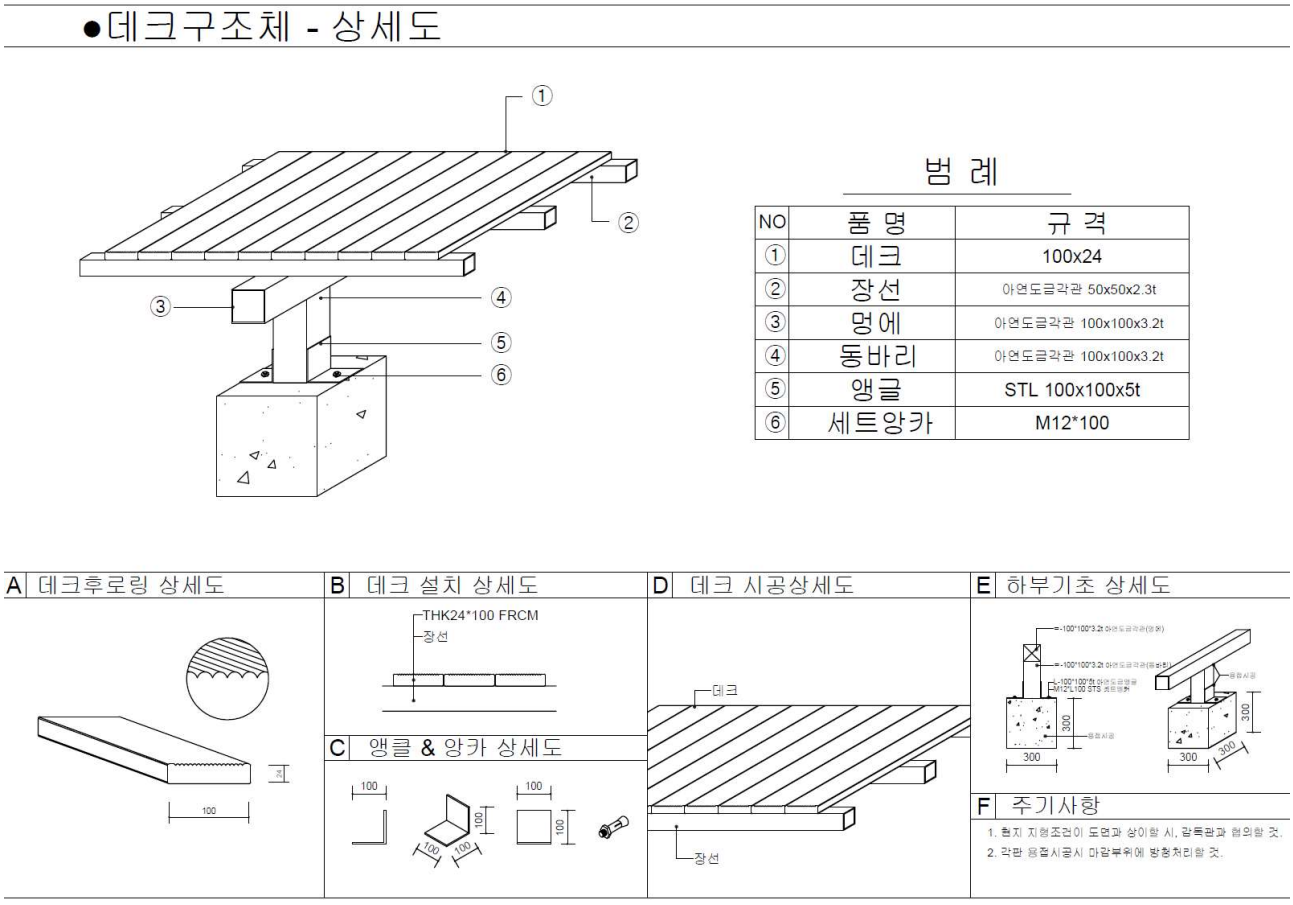
<표 2.34> FRCM 데크패널 시작품 휨 성능 실험결과

품질항목	합성목재 품질기준 (KS F 3230)		FRCM 데크패널	비고
최대 굴곡하중(N)	중실단면 (SOLID)	3,400 이상	4,360	128% 증가
	중공단면 (HOLLOW)	3,000 이상		145% 증가

[(3)검증된 시작품의 현장적용]

[샘플시공: ㈜캐어콘 대형실험실(양주)]

- 성능이 검증된 FRCM 데크패널의 현장 적용을 위하여 실험실 단위에서 샘플시공을 실시하였음. 샘플시공을 위한 보도교는 폭 (W) 1.8m, 길이 5m의 4경간이며, KCI-PM303.3-14(시스템 거푸집의 설계와 시공)설계방법을 참조하여 데크 구조체(동바리, 장선, 멍에)를 설계하였음. 설계상세는 [그림 2.69]에 나타내었음.
- 데크구조체인 멍에와 데크패널의의 결합방법은 피스를 이용하였으며, 데크재의 사이 간격은 약 5mm 이격하여 설치하였음. [그림 2.70]



[그림 2.69] FRCM 데크패널 샘플시공 구조체 상세



[그림 2.70] FRCM 데크패널 샘플시공 사진

[시험시공: 서울 신림동 도림천 양산교 하부 구조물]

- 적용 현장은 서울 신림동(도림천)의 양산교 하부에 위치하였으며, 구조물의 크기는 길이(L) 3.0m, 폭(W) 0.7m, 높이(H) 0.5m로 3체(시공면적:약 20m^2)의 벤치 구조물임. [그림 2.71] 합성목재를 사용한 기존 데크의 변형 및 도림천 범람으로 인한 침수로 표면탈락 등이 발생하여 관악구청 치수과에서 의뢰하여 시험시공을 실시하였음.



[그림 2.71] 현장적용 전경 (서울시 신림동 양산교)

- 시공순서는 ①기존데크를 구조물로부터 제거하고→②FRCM 데크패널을 제단 후→③구조물과 체결위치를 결정하여 FRCM 데크패널을 천공하고→④천공한 부분에 강재 나사못을 이용하여 구조물에 설치하고→⑤무기계 도료를 도포하여 시공을 완료하였음. [그림 2.72]



(a) 시공 전 (b) 시공 완료

[그림 2.72] 현장 적용 완료

(7) FRCM 실용화 방안

- 본 연구 과제를 통해 개발한 FRCM 복합재의 실용화 방향을 **①구조물의 유지보수(보수 및 보강)분야** 및 **②2차제품의 형태인 FRCM 데크패널 분야**에 활용할 예정임.

[①구조물의 유지보수(보수 및 보강) 분야]

(시장현황 및 전망)

- 2020년부터 국가기간산업에 대한 투자가 증가할 것으로 예상하고 있으며, 건설국토부의 유지·보수중심으로 기조변화 및 과거 공공구조물의 대규모 내구연한 도래로 장기적으로 성장을 유지할 것으로 전망됨.
- 현재 전국 시설물의 약 14%가 20년 이상 시설물이며, 이는 5년 후에 34%, 10년 후에 57%로 급격히 증가할 예정임. 건설산업연구원(2011)에서는 향후 시설물 유지·보수 시장은 매년 약 10% 성장세를 유지할 수 있을 것으로 전망함.

(사업화 계획)

- FRCM 보수 및 보강공법의 시장진입을 위하여 <표 2.35>와 같이 초기 및 장기 전략을 수립하여 실용화를 진행할 예정임.

<표 2.35>기간별 사업화 목표 및 전략

[초기] 집중화 전략	✓ **FRCM 복합재 보수 및 보강공법의 시장 진입의 용이성을 위하여 국토교통부에서 주관하는 건설신기술을 신청하여 취득예정** ✓ **수도권 및 지방에 분산되어 있는 주관기관인 ㈜캐어콘의 협력업체(약 50여개)와 지방 중소도시의 공공 콘크리트 구조물 보수 부문에 마케팅 및 제품 역량 집중**
[장기] 대중화전략	✓ **초기 집중화 전략을 통해 확보된 초기 적용 실적과 신뢰성을 기반으로 비협력사 및 타 부문에 마케팅, 제품 역량을 투입** ✓ **추가적인 기술개량을 수행하여 산업재산권 획득 등 지속가능한 기술로 발전**

- 잠재 시장 그룹에 대한 다면적 분석결과, 지방 중소도시의 교량 및 하수암거 시장 그룹이 시장규모, 시범적 제품 적용의 용이성, 협력적 관계 형성의 용이성 등의 관점에서 적절한 목표 시장그룹으로 판단되고 이와 관련된 전략을 수립할 계획임.
- <표 2.36>과 같이 공급방안, 제품핵심가치, 판매, 고객군 선정, 수익모델 등을 통하여 비즈니스 모델을 수립

<표 2.36> 비즈니스 모델

공급방안	제품/핵심가치	판매	고객
• FRCM복합재 보수 및 보강공법 – 협력업체 영업지원 – 지자체 공법설명회 • 판매 파트너 확보	제품 • 무기계접착제 (FRCM 700) • 텍스타일 그리드 (FRCMCT)	• 제품 직접 판매 **채널** • 자사 영업 활용한 직접 판매 • 협력업체 활용	• 공공기관 • 민간기업

수익모델
– 무기계 접착제 – 텍스타일 그리드

– **[주요고객군]**은 정부에서 관리하는 콘크리트 구조물의 유지보수 시장이 가장 큰 규모를 차지하며 민간기업의 시장은 제한적임. 또한 공공 콘크리트 구조물의 유지·보수에 대한 수요 단위는 지방자치단체를 비롯한 공공기관이고, 지자체가 속한 지역 형태는 수도권 및 주요도시, 지방 중소 도시, 비 도시지역 등으로 구분할 수 있음.

– FRCM이 적용되는 콘크리트 시설물은 종류에 따라 제품에 요구되는 조건이 다르며, 이는 시장 그룹으로 세분화할 수 있음. 따라서 구조물의 종류는 교량, 터널을 비롯한 각종 도로시설, 해안 구조물, 수리시설물 등으로 구분이 가능함.

[②2차제품 형태인 FRCM 데크패널 분야]

(시장현황 및 전망)

– 우리나라 건설자재 시장의 규모는 2014년 94.6조원으로 추정됨[31)]

* 건설자재는 구조재, 철강·비철재, 내·외장재, 도료, 창호재, 단열재, 급배수 및 위생설비 등으로 구분할 수 있음.

– **(고내구성 건설자재)** 철근콘크리트의 최대 단점은 콘크리트 균열과 철근 부식이며 전체 구조물 유지보수의 30%는 균열 보수, 20%는 철근 부식에 기인함. 철근 부식으로 인한 구조물 성능저하를 근본적으로 예방하기 위해 국내외에서 스테인리스 보강근, 유리섬유/탄소섬유 적용을 시도하였으나 낮은 경제성으로 인하여 활용도가 낮음

– **(건축자재)**고성능, 친환경의 고급화 건축자재에 대한 사용자의 니즈가 증가함에 따라 건설산업의 신시장 및 고부가가치 창출을 위한 신소재, 신공법의 고성능 건축자재 개발이 필요

– 향후 건축시장은 신기술 기반으로 한 고급화, 수요자의 다양한 니즈에 대응하기 위한 다품종 생산 등이 요구될 전망이며, 이에 대응하기 위한 고성능 건축자재의 개발은 건설산업의 신시장 및 고부가가치 창출에 기여할 수 있음

– 또한, 고성능 건축자재는 기능성, 내구성 및 건설생산성 향상이 가능한 기술로 건설산업 전반의 경제성 향상, 국가 · 사회적 비용 절감 효과가 기대됨

– 데크패널은 인도교 및 보도교, 자전거도로교, 건축외장재, 레저시설, 휴게시설, 친수시설, 관광시설 등 다양한 분야에 사용되고 있으며, 공공기관에서 발주하는 시장규모는 자료를 통해

31) 대한건설정책연구원, 전문건설업 업종별 자재시장 기초연구, 2016

서 알 수 있지만, 민간이 사용하는 시장규모는 잘 알려지지 않고 있다.

- **(데크패널)** 보도교 패널용 목재시장[32]은 방부목재와 합성목재를 합쳐서 3,500억 원의 시장규모를 가지고 있으며, 연 생산량은 385,000m^2임. 이중 보도교 시장은 약 10%로 예상하고 있으며 향후 증가할 것으로 추정하고 있음.
- 최근 3년 동안 조달청의 목재데크 공사금액은 약 910억 규모이며, 이중 합성목재데크 자재비용은 약 10%로 90억 해당함. 방부목과 천연목재를 모두 합하면, 약 연간 약 350억대의 시장규모를 형성하고 있음

<표 2.37> FRCM 데크패널의 국내외의 시장규모

구 분	현재의 시장규모(2021년)	예상 시장규모(2024년)
세계 시장규모	3,000억원	4,000억원
국내 시장규모	350억원	460억원
산출 근거	한국임업진흥원 “목재미래기업 발굴 및 육성을 위한 중장기 사업방향 제안” 연구보고서	

(사업화 계획)

- **(공공적 가치)** <표 2.38>는 현재 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 천연목재와 합성목재의 자재비를 본 연구에서 사업화하려는 FRCM 데크패널과 비교한 것으로 기존 목재데크에 비해서 약 22%~290%가 저렴한 것을 알 수 있음.

<표 2.38> FRCM 데크패널 제품의 기존 제품과의 가격 비교

구분	소재	내구성	환경	유지관리	자재비(원/m^2)
천연 목재	천연원목	4-6년	무해	재시공	45,200원 ~ 107,655원
합성 목재	목분+PP또는PVC	7-8년	유해	필요없음	50,000원 ~70,000원
FRCM 데크패널	**모르타르+ 연속섬유그리드**	**50년**	**무해**	**필요없음**	모르타르(15,000원)+연속섬유 그리드(12,000원)+생산비(10,000원) = **37,000원 예상**
- 방부목재는 최근 들어서 거의 사용을 하지 않기 때문에 비교대상에서 제외함 - FRCM 데크패널은 부식위험이 전혀 없기 때문에 내구연한을 50년으로 산정 - 무기계 접착제 가격 : 300원/kg - 텍스타일 그리드 가격 : 12,000원/m^2(개발제품)					

- FRCM 데크패널의 생애주기비용(Life Cycle Cost)은 구조물의 기획단계에서 설계단계, 시공단계, 유지관리단계, 폐기단계까지 고려해야함. 기존 천연목재 및 합성목재의 문제점인 변형, 부식, 갈라짐, 곰팡이 오염, 화재취약성 등의 문제로 인하여 지자체(발주처)에서 추가적으로 부담하는 생애주기비용은 연속섬유그리드 복합판넬에 비해서 천연목재의 경우에는 약 10배,

32) 한국임업진흥원 “목재미래기업 발굴 및 육성을 위한 중장기 사업방향 제안” 연구보고서, 2017. 12

합성목재의 경우에는 약 6배 정도 임으로 FRCM 데크패널의 경쟁력은 자재원가와 더불어 목재대크 시장에서 경제성 및 환경성에 대한 위상을 높일 수 있음.

- **[차별화 방안]** 지자체 및 민간업체의 니즈를 수용하여 선별적인 적용성의 제품을 출시함.
- 기존에 사용하고 있는 천연목재 및 합성목재와 비교해서 가격은 현저히 낮으면서 품질은 동등하거나, 우월한 제품 생산 가능
- 자체생산 설비를 구축하여 제품 공급에 대한 문제점을 해결하고, 대량으로 소비가 이루어지는 활용처를 발굴하여 소비를 유도하고, 가격저하를 통하여 경쟁력을 향상시킴.

<표 2.39> 제품/기술의 가치 정의

핵심가치	내 용
제품의 차별성	• 국내최초 기술개발 및 현장적용을 통한 활용도를 높임 • 고내구성의 데크패널 생산을 통해 유지보수비용 절감
공공적 가치	• 산업부산물 활용을 통하여 친환경적임. • 건설신기술 및 신제품 인증을 획득하여 기술에 대한 신뢰성향상(공공기관, 지자체 적용)

- 주관기관인 ㈜캐어콘은 제품의 차별성을 통해서 제품적용의 용이성, 협력적 관계 형성의 용이성을 바탕으로 초기, 중기, 장기전략을 수립하고 수요처별로 사업화 목표를 달성할 것임.

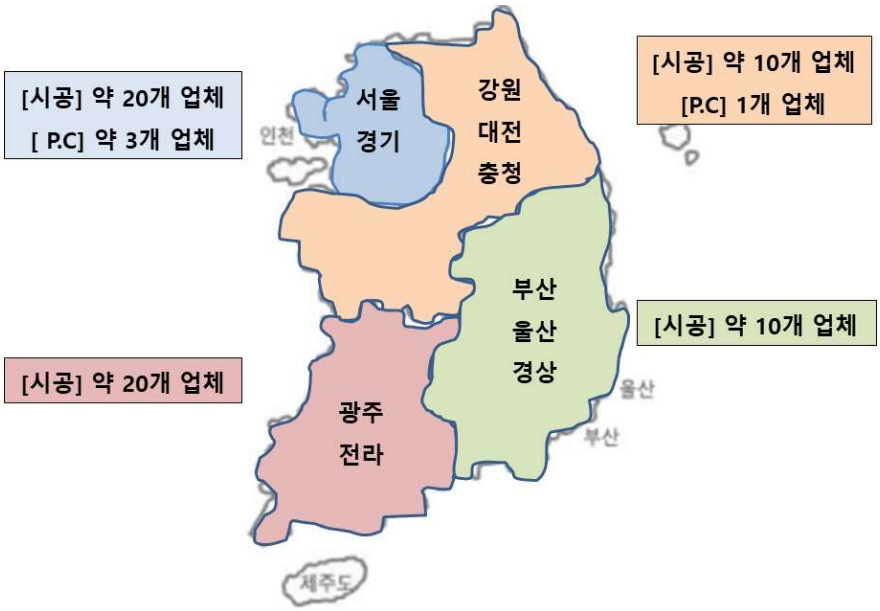
[초기] 집중화 전략	✓ **목표 시장인 지방 중소도시의 지방자치단체에 마케팅 및 제품역략 집중** ✓ **초기 고객 및 기술에 대한 안정성, 신뢰성, 시공성 등에 대한 실적 확보** ✓ **사용자 및 제품의 질적데이터 확보 및 보유 기술의 브랜드화로 초기 가치 확보**
[중기] 대중화 전략	✓ **확보된 초기실적과 신뢰성을 기반으로 지방자치단체 및 건설사에 홍보 및 적용** ✓ **목표시장으로 대중 시장을 확대하여 마케팅을 통해 매출 실적 증대** ✓ **브랜드의 양적 팽창을 목표로 역량 집중**
[장기] 차별화전략	✓ **새로운 협력업체발굴 및 영업권을 부여하여 제품 적용성을 향상시켜 고객군을 확대 유지함.** ✓ **FRCM 데크패널의 시공 후에도 지속적인 관리와 점검을 통하여 관련 데이터 축적 및 제품, 공법개선으로 기술의 지속가능성 향상**

- **[목표 고객 정의]** 최종 구매에 관한 의사결정을 하는 목표군으로 제품 품질에 대한 신뢰성 및 가격 경제성 위주로 공공기관과 민간기업으로 나누어 설정함.

<표 2.40> 고객군 선정

구분	선정 사유	제품에 대한 고객 요구 사항/수준	고객 요구사항에 대한 대응방안
공공기관	• 목재데크패널 대체 FRCM 데크패널은 국가기준에서 요구하는 역학적 특성 및 내구성이 우수하고 지속적으로 수요가 증가하는 제품 분야 • 프리캐스트 제품으로 규격화하여 설계 모듈 제공	• 일정한 수준의 역학적 특성과 내구성을 요구함 • 발주처에서 유지보수가 필요없는 반영구적인 제품을 요구함.	• 품질이 기존 제품보다 우수하면서 가격이 저렴함으로 경제성 강조 • 국가인증(건설신기술, 신제품 등)을 추진하여 기술의 품질에 대한 신뢰성을 부여
민간기업	• 건축외장재 및 패널 제품 등 대량 소비를 유도하는 현장에서 요구하는 제품 분야	• 내화성능이 우수한 제품을 요구함. • 개성있는 디자인 및 제품	• 품질이 기존 제품과 동등하면서 가격이 저렴함으로 경제성 강조

- 현재 전국의 50개의 협력업체가 주관기관인 ㈜캐어콘의 기술을 사용하고 있으며, 캐어콘 자재를 납품받아서 지방자치단체를 비롯한 공공기관의 공사를 하고 있음. 협력업체들은 시공을 하는 시공회사이며, ㈜캐어콘 자재를 사용해서 1개 업체당 년 평균 약 7.0억원의 매출을 올리고 있기 때문에, 발주처인 지방자체단체와 오랫동안 많은 시공실적을 바탕으로 신뢰관계를 유지하고 있으며, ㈜캐어콘의 협력업체수는 지속적으로 증가하고 있음. FRCM 데크패널도 발주처가 동일한 지방자치단체에서 관리하기 때문에 사업초기에는 캐어콘의 협력업체들과 효율적으로 협업을 할 수 있으며, 사업을 확장하면서 새로운 협력업체 및 영업망을 지속적으로 증가시킬 계획임.[그림 2.73]
- 실용화 초기에는 주관기관인 ㈜캐어콘에서 텍스타일 그리드와 무기계 접착제를 자체 생산할 예정이지만, 수요가 늘어나면 기존에 협력관계를 맺고 있는 PC 공장들과 협업해서, 대량생산 체제로 전환할 예정임.



[그림 2.73] 주관기관의 협력업체 현황 및 분포

<표 2.41> 목표 고객별 판매 전략

공급대상물	제품/핵심가치	생산	고객
■ 공공기관 - 중앙정부에서 발주하는 국가기관사업의 레저시설, 휴게시설, 친수시설, 관광시설구축 공사 - 지방자치단체에서 관리하는 관광시설인 보도교 공사 등 ■ 민간기업 - 조경시설, 외벽판넬, 커피숍내부장식 등 편의시설	■ 제품 - FRCM 데크패널 ■ 핵심가치 - 경제성 우수 - 내구성 우수 - 비부식성 - 유지관리비용 절감 - 친환경성	- 초기에는 ㈜캐어콘 자체 시설에서 생산 - 수요증가에 따라서 협력관계인 PC업체에서 대량생산 체제 구축 **판매** - 기존 캐어콘 50개의 협력업체 영업망 활용 - 설계사 및 신규 영업망 구축 - 조달청 나라장터 - 내부인력 및 영업망을 활용한 직접판매 - 관련 전시회 참가시연	- 정부 - 지자체 - 공공기관 - 대형 건설사 - 중소 건설사 - 인테리어업체

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

[1차년도]

① FRCM 복합재 관련 무기계 접착제, 텍스타일 그리드 국내외 자료조사 및 분석

- 본 과제에서 개발한 FRCM 복합재 활용기술은 연구개발 초기단계로서 유럽 및 미국에 비하여 많이 뒤쳐져있는 기술임.
- 유럽 및 미국의 FRCM 복합재 관련 자료분석을 통하여 FRCM의 구성요소인 무기계 접착제(모르타르)와 텍스타일 그리드의 성능 및 형상 등 복합재에 미치는 다양한 공학적 특성을 분석하여, 본 과제에 활용하였음.

② [무기계 접착제] 역학적 성능향상을 위한 다양한 결합재 및 무기질 첨가제 적용 기술개발

- 국내외 자료조사를 통하여 얻은 FRCM 복합재에서 무기계 접착제의 요구조건인 시공성과 텍스타일 그리드와의 결합성, 내구성 등 역학적인 성능향상을 위한 배합실험을 실시하였음.
- 예비배합을 통하여 물결합재비(W/B)를 37.8%로 고정하고, 시공성 향상을 위하여 Flow를 170~190mm 범위로 하여 실리카퓸(S.F), 고로슬래그 미분말(GGBS), PVA섬유, 폴리머 등을 첨가하여 배합실험을 실시하여 역학적 성능 및 내구성이 우수한 무기계 접착제 최적배합비를 도출하였음.

③ [텍스타일 그리드] 설계기술 개발 및 역학적 성능향상/구조성능 검토

- 다양한 종류의 텍스타일 그리드를 구성하는 섬유 Roving의 내구성을 평가하기 위하여 침지조건인 알칼리, 황산, 염소이온에 침지 후 인장강도 저감률을 비교하여 인장강도 및 내구성이 우수한 탄소섬유를 텍스타일 구성섬유로 결정하였음.
- 개발한 무기계 접착제와의 부착성능을 확인하기 위하여 섬유종류별, 격자사이즈별, 함침제 종류별, 직조방식별 변수로 직접 부착실험(PULL-OFF)과 인발부착실험(PULL-OUT)을 실시한 결과, 탄소섬유 및 EPOXY 함침제, Pillar stitch 방식이 무기계 접착제와의 부착성능이 우수하였음.
- 섬유 Roving의 내구성 및 다양한 종류의 텍스타일 그리드의 부착성능 평가 실험을 통하여 텍스타일 그리드의 설계(안)을 제시하였음.

[2차년도]

④ 노후 구조물 보수 및 보강 요구 성능 분석

- 기존 보수 및 보강공법에 많이 사용되고 있는 FRP(Fiber Reinforced Polymer) 복합재 보강공법의 단점인 내화성능, 기존 구조물과의 상용성 등이 우수한 FRCM 보강공법은 2000년대 초반에 다양한 연구결과를 분석하여 매트릭스인 무기계 접착제와 텍스타일 그리드의 부착성능이 FRCM 복합재의 구조적 성능에 중요한 요소이며, FRCM 복합재 구성요소의 부착성능 향상의 필요성을 도출하였음.

⑤ 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술 개발

- 기존 문헌조사를 통하여 FRCM 복합재의 구성요소인 무기계 접착제의 부착성능을 향상시키기 위하여 폴리머 종류별, 실리카퓸 혼입량 등 다양한 배합실험을 통하여 부착성능향상 및 경제성이 우수한 무기계 접착제 최적배합비을 도출하였음.
- 도출된 최적배합비를 공장의 대량생산체제에 적용하여 시작품을 생산하고, 생산된 시작품을 연구실 단위의 시험시공에 적용하여 시공성 및 역학적 성능의 우수성을 확인하였으며, 시제품을 출시하였음.

⑥ 국내외 광섬유 센서관련 자료조사 및 분석

- 자동차, 항공 등 다양한 분야에서 응용되고 있는 광섬유 센서의 국내외 자료조사를 통하여 본 연구개발에서의 적용방법을 적용센서 선정측면, 직조에 의한 보강섬유 그리드의 센서 적용 측면, 보강섬유직조 후 센서 설치 3가지 측면에서 분석한 결과, 소량의 주문생산으로 제작단가 상승, 범용성 부족, 센서의 연속적인 특징에 따른 핸들링(구부림 제한, 연결 끊김 등)에 대한 어려운 측면을 고려하여 직조된 텍스타일 그리드에 필요구간에만 광섬유 센서를 설치하는 것으로 결정하였으며, 실험을 통하여 신뢰성을 검증하였음.

⑦ FRCM 복합재 활용 구조물 보강성능 평가

- 개발한 무기계 접착제와 텍스타일 그리드로 구성된 FRCM 복합재의 RC구조물 보강성능을 평가하기 위하여 선행적으로 **직접 인장실험 및 휨 인장실험**을 통하여 복합재의 물리적인 특성을 확인하였으며, FRCM 복합재로 **외부 보강한 RC보의 휨 보강실험**을 통하여 휨 거동 및 보강성능을 평가하였다.
- 개발한 텍스타일 그리드(HI-GRID) 시작품은 기존 독일제품인 V-GRID와 S-GRID에 비하여 경제성이 우수하며, 구조적 성능 역시 우수한 결과를 나타내었다.

⑧ FRCM 복합재 활용을 위한 보강설계 개발

- 텍스타일 그리드의 특성값(설계값)을 반영하여 FRCM 복합재로 보강한 RC 보의 구조물 보수보강 적용 시의 보강설계방법을 ACI-549.4R-13 “Guide to design and construction of externally bonded fabric-reinforced cementitious matrix (FRCM) systems for repair and strengthening concrete and masonry structures”을 참조하여 제안하였음.

[3차년도]

⑨ 광섬유 선정 및 계측 정밀도 측정 및 신뢰도 평가, 텍스타일 그리드 제조기술 개발

- FRCM 복합재 내부에 광섬유 센서를 내장하는 가능성 및 신뢰성 조사를 목적으로 균열 환경에서 센서의 저항을 파악하고 텍스타일 그리드 및 매트릭스의 거동을 이해하여 상호 작용을 단면의 해석을 통해 분석한 결과, 기존 스트레인 게이지에 비하여 연속적인 변형률 분포를 확인 가능하였으며, 단면해석과의 신뢰도가 약 75~106% 수준의 결과를 나타내었음.
- 1, 2차년도의 성능평가를 수행한 결과를 바탕으로 국내 텍스타일 그리드 제조업체를 선정하여 경제적이고, 성능이 우수한 텍스타일 그리드 시작품을 개발하였음.

⑩ 구조물 적용관련 구조안성성 및 역학성능 평가

- 개발된 무기계 접착제(FRCM700)와 텍스타일 그리드 시제품(FRCMCT)을 적용한 FRCM 복합재로 외부 보강한 RC 기둥의 내진성능 실험을 통하여 기존의 FRP시트 보강과 V-GRID, S-GRID 제품에 비하여 내하력과 연성, 에너지 소산능력이 우수하여 내진보강성능의 우수성을

확인하였음.

⑪ FRCM 복합재 보강공법 현장 적용성 평가

- 개발된 무기계 접착제(FRCM700)와 텍스타일 그리드 시제품(FRCMCT)을 창고바닥 및 노후하수암거 구조물에 현장 적용하여 시공의 용이성, 작업성, 품질관리 측면에서의 우수성을 확인하였음.

⑫ 현장 시공지침서(안) 및 품질관리 시스템 개발

- 연구개발의 종합적인 결과를 바탕으로 FRCM 보강재 복합재료의 보수 및 보강공법에 적용을 위한 현장 시공지침서(안) 및 품질관리 시스템을 제시하였음.

⑬ FRCM 활용 2차제품(데크패널) 개발

- FRCM 복합재의 적용 범위를 보수·보강 뿐 아니라 신설자재 적용성을 확장시키기 위하여 친수시설, 등산로, 보도교, 자전거 도로 등의 바닥재인 데크패널로 2차제품(시작품)을 개발하여 현장에 적용하였음.

⑭ FRCM 실용화 방안 연구

- 본 과제에서 개발한 FRCM 복합재의 시장현황 및 전망 분석을 통하여 구조물의 유지보수(보수·보강) 분야 및 2차제품 형태인 FRCM 데크패널 분야로 2개의 방향성으로 사업회 계획 및 비즈니스 모델을 제시하였음.

(2) 정량적 연구개발성과

[1차년도]

① 논문게재 성과

(가) 하이브리드 FRP 시트로 보강된 RC 기둥의 휨 성능평가

-논문정보: 김민준, 김형국, 이진용, 조민수, 김길희, “하이브리드 FRP 시트로 보강된 RC 기둥의 휨 성능평가”, Journal of the korea concrete institute, Vol. 31, No 6, 2019, pp. 611~618, 국내게재논문, 비SCI논문

-논문내용: In this study, experiments were conducted to evaluate the flexural performance of the RC column reinforced with hybrid FRP sheet. The experiments were carried out under reversed cyclic antisymmetric moment, such as seismic loads. The variables of the specimens is reinforcement with hybrid FRP sheet which was made up of aramid fiber and glass fiber. Experimental results showed that the specimen reinforced with hybrid FRP sheet exhibited a flexural performance equal to or higher than that of the specimen without hybrid FRP sheet. Moreover, ductility capacity increased by 1.9 times and energy dissipation capacity increased by 1.75 times, respectively, compared with the non-reinforced specimen. It was confirmed that the specimen reinforced with hybrid FRP sheet have sufficient structural performances which exceed requirements recommended by the design codes; KCI 2017 and ACI 318-14.

Journal of the Korea Concrete Institute
Vol. 31, No. 6, pp. 611-618, December, 2019
https://doi.org/10.4334/JKCI.2019.31.6.611

pISSN 1229-5515
eISSN 2234-2842
www.jkci.or.kr

하이브리드 FRP 시트로 보강된 RC 기둥의 휨 성능평가

김민준 [1] · 김형국 [1] · 이진용 [2] · 조민수 [3] · 김길희 [4]*

[1]공주대학교 건축공학과 연구교수 [2](주) 케어콘 대표이사 [3](주) 케어콘 연구개발팀 차장 [4]공주대학교 건축공학과 교수

Evaluation of Flexural Performance of RC Columns Reinforced with Hybrid FRP Sheets

Min-Jun Kim,[1] Hyeong-Gook Kim,[1] Chin-Yong Lee,[2] Min-Su Jo,[3] and Kil-Hee Kim[3]*

[1]Research Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Rep. of Korea
[2]C.E.O, CareCon Co., Ltd, Seoul 05586, Rep. of Korea
[3]Deputy General Manager, CareCon Co., Ltd, Seoul 05586, Rep. of Korea
[4]Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Rep. of Korea

ABSTRACT In this study, experiments were conducted to evaluate the flexural performance of the RC column reinforced with hybrid FRP sheet. The experiments were carried out under reversed cyclic antisymmetric moment, such as seismic loads. The variables of the specimens is reinforcement with hybrid FRP sheet which was made up of aramid fiber and glass fiber. Experimental results showed that the specimen reinforced with hybrid FRP sheet exhibited a flexural performance equal to or higher than that of the specimen without hybrid FRP sheet. Moreover, ductility capacity increased by 1.9 times and energy dissipation capacity increased by 1.75 times, respectively, compared with the non-reinforced specimen. It was confirmed that the specimen reinforced with hybrid FRP sheet have sufficient structural performances which exceed requirements recommended by the design codes; KCI 2017 and ACI 318-14.

Keywords : RC column, FRP sheet, hybrid FRP sheet, flexural performance, ductility

1. 서 론

구조물의 노후화와 내구성 저하 등의 문제를 해결하기 위하여 보수·보강 기술은 현장 여건에 따라 다양하게 적용해 왔다. 1990년대까지는 단면증설법이나 강판보강법을 이용한 보강이 주로 이루어져 왔으나(Chang et al. 2012; Kim et al. 2014; Mander et al. 1988), 1990년 중반부터는 탄소섬유(carbon fiber), 유리섬유(glass fiber), 아라미드섬유(aramid fiber) 등과 같이 복합신소재를 사용한 보강공법이 많이 활용되어 왔다.

복합신소재인 Fiber Reinforced Polymer(이하 FRP 시트)는 경량성, 내부식성, 비전도성, 높은 강도 등 우수한 재료특성을 가지고 있어 과거에 주로 사용되어온 단면증설법이나 강판보강법보다 구조물의 보강효과가 우수하다(Sim et al. 2012). 그러나 FRP 시트의 특성상 항복 구간이 뚜렷하지 않고 선형적인 거동을 보이기 때문에 FRP 시트로 보수·보강한 구조물의 경우 취성적인 파괴를 나타낼 가능성이 매우 크다. 또한, 구조물의 보강에 널리 사용되고 있는 탄소섬유 또는 아라미드섬유는 유리섬유와 비교하면 보강효과는 우수하나 고가이어서 비경제적이고, 탄소섬유는 전도체이므로 사용성에 제한이 있으며, 유리섬유는 탄소섬유 또는 아라미드섬유보다 경제적이나 강도가 낮아 보강효과가 크지 않은 것으로 보고되고 있다(Yoon et al. 2009). 따라서 서로 다른 성질을 갖는 하나 이상의 섬유를 조합하여 섬유가 가지는 장점을 극대화하는 하이브리드 FRP 시트에 관한 연구가 1970년대 이후 활발히 진행되어왔다(Manders and Bader 1981; Philips 1976).

하이브리드 FRP 시트를 철근콘크리트(이하 RC) 구조물에 적용한 연구는 Choi et al.(2011), Denvid and Hoat(2010), Grace et al.(2002), Ha et al.(2008) 등 다양한 연구자들에 의하여 이루어져 왔으나 이는 대부분 RC 보에 관한 연구이다. 그러나 하이브리드 FRP 시트를 사용한 RC 부재는 섬유의 종류와 구성비, 그리고 구조물의 형상 및 하중조건에 따라 다양한 파괴거동이 발생할 수 있어 이에 관한 연구가 필요하다. 이 연구에서는 비전도체인 아라미드섬유와 유리섬유를 사용한 하이브리드 FRP 시트로 보강된 RC 기둥의 휨성능을 평가하는 연구를 수행하였으며, 실험결과를 콘크리트구조

*Corresponding author E-mail : kimkh@kongju.ac.kr
Received August 08, 2019, Revised September 02, 2019, Accepted September 17, 2019
©2019 by Korea Concrete Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials (KS B 0801). Seoul, Korea: Korea Standard Association (KSA). (In Korean)
Korea Agency for Technology and Standards (KATS) (2018) *Method of Tensile Test for Metallic Materials (KS B 0802)*. Seoul, Korea: Korea Standard Association (KSA). (In Korean)
Mander, J., Priestley, M., and Park, R. (1988) Theoretical Stress Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering* 114(8), 1804-1826.
Manders, P. W., and Bader, M. G. (1981) The Strength of Hybrid Class/Carbon Fibre Composites: Part 1-Failure Strain Enhancement and Failure Mode. *Journal of Material Science* 16(8), 2233-2245.
Philips, L. N. (1976) The Hybrid Effect-Does it Exist?. *Composites* 7(1), 7-8.
Sim, J. S., Lee, K. S., Kwon, H. W., and Kim, H. J. (2014) Retrofitting Effects and Structural Behavior of RC Columns Strengthened with X-bracing Using Carbon Fiber Anchor. *Journal of the Korea Concrete Institute* 24(3), 323-331. (In Korean)
Yoon, H. S., Lee, J. M., Lee, J. Y., Choi, D. U., and Kim, K. H. (2009) Bond Capacity of Pseudo-ductile FRP Hybrid Sheet to Strengthen RC Members. *Journal of the Korea Concrete Institute* 21(1), 47-53. (In Korean)

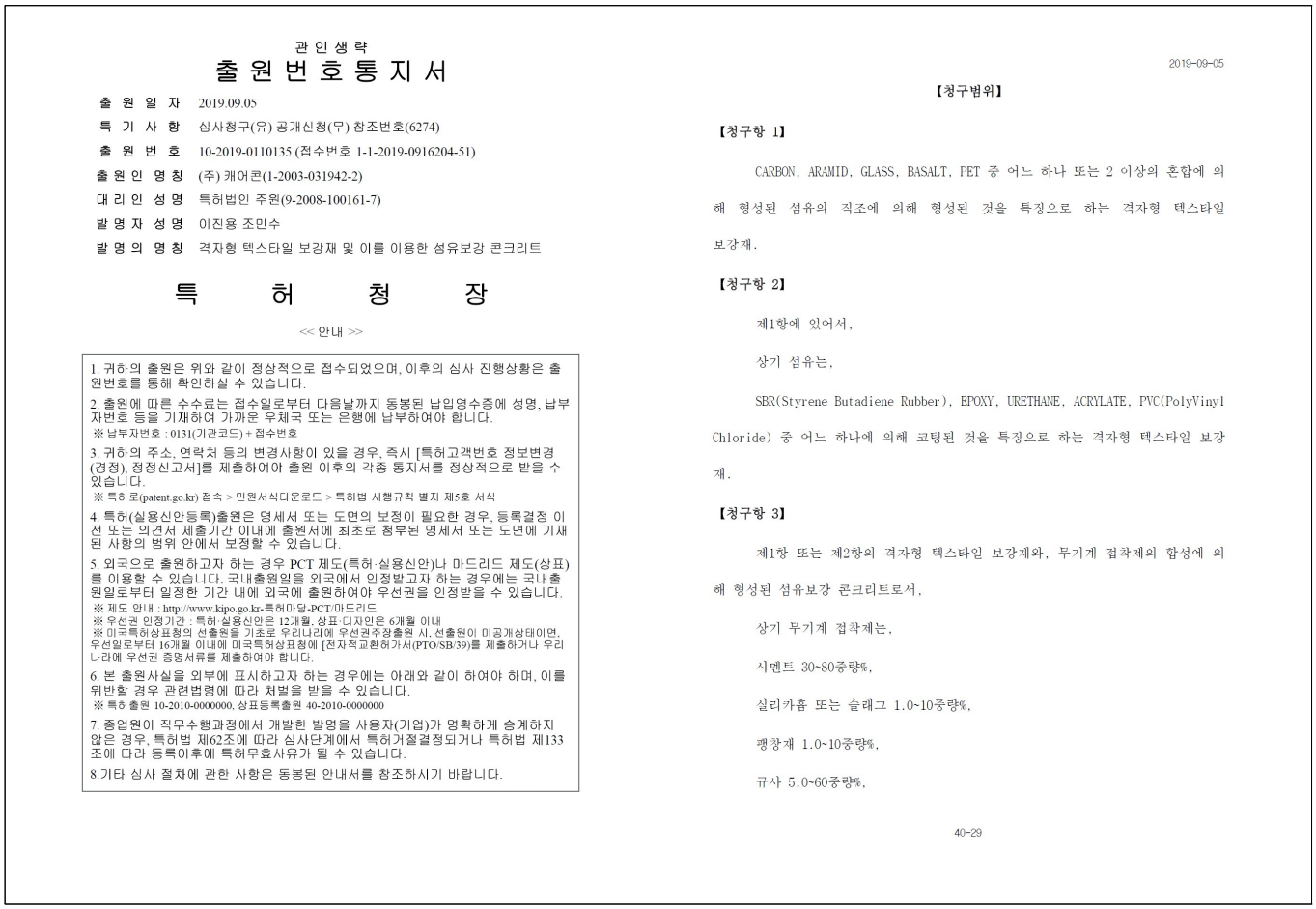
요 약 이 연구에서는 하이브리드 FRP 시트로 보강된 RC 기둥의 휨 성능을 평가하기 위하여 실험을 수행하였다. 실험은 지진하중과 같은 역대칭 휨모멘트를 모사하여 가력하였다. 실험의 변수는 하이브리드 FRP 시트의 보강 유무이며, 사용된 하이브리드 FRP 시트는 아리미드와 유리섬유로 구성되었다. 실험결과, 하이브리드 FRP 시트로 보강된 실험체는 무보강 실험체와 동등 이상의 휨성능을 나타내었으며, 연성능력은 1.9배, 에너지소산 능력은 1.75배 증가하였다. 또한, 하이브리드 FRP 시트로 보강된 실험체는 KCI(KCI 2017)와 ACI 318(ACI 2014)에서 제시하고 있는 휨성능을 만족하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : RC 기둥, FRP 시트, 하이브리드 FRP 시트, 휨성능, 연성

② 특허 성과

(가) 특허출원: 격자형 텍스타일 보강재 및 이를 이용한 섬유보강 콘크리트

- 영 문 명: Reinforcing member and fiber-reinforced concrete using the same
- 출원일자: 2019년 09월 05일
- 출원번호: 10-2019-0110135
- 출 원 인: ㈜캐어콘
- 발 명 자: 이진용, 조민수
- 출 원 국: 대한민국
- 특허내용: 본 발명은 CARBON, ARAMID, GLASS, BASALT, PET 중 어느 하나 또는 2 이상의 혼합에 의해 형성된 섬유의 직조에 의해 형성된 것을 특징으로 하는 격자형 텍스타일 보강재를 제시한다. 상기 섬유는, SBR(Styrene Butadiene Rubber), EPOXY, URETHANE, ACRYLATE, PVC(PolyVinyl Chloride) 중 어느 하나에 의해 코팅된 것이 바람직하다. 본 발명은 상기 격자형 텍스타일 보강재와, 무기계 접착제의 합성에 의해 형성된 섬유보강 콘크리트로서, 상기 무기계 접착제는, 시멘트 30~80중량%, 실리카흄 또는 슬래그 1.0~10중량%, 팽창재 1.0~10중량%, 규사 5.0~54중량%, 폴리머 0.1~1.0중량%, 유동화제 0.1~2.0중량%, Short Fiber 0.1~1.0%, 물 13~30중량%를 포함하는 것을 특징으로 하는 섬유보강 콘크리트를 제시한다. 상기 폴리머는 아크릴수지 또는 EVA수지인 것이 바람직하다. 상기 Short Fiber는 PVA(Polyvinyl Alcohol) 또는 P.P(Polypropylene) 섬유로 구성되고, 길이가 1~7mm인 것이 바람직하다. 본 발명은 상기 섬유보강 콘크리트를 이용한 콘크리트 구조물 보강공법으로서, 콘크리트 구조물의 손상면을 정리하는 손상면 정리단계; 상기 콘크리트 구조물의 손상면을 습윤상태로 만드는 손상면 습윤단계; 상기 콘크리트 구조물의 손상면에 상기 격자형 텍스타일 보강재를 설치하는 보강재 설치단계; 상기 격자형 텍스타일 보강재가 매설되도록, 상기 무기계 접착제를 타설하고 양생하는 무기계 접착제 타설 및 양생단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘크리트 구조물 보강공법을 제시한다.



관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2019.09.05
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(6274)
출 원 번 호	10-2019-0110135 (접수번호 1-1-2019-0916204-51)
출원인 명칭	(주) 캐어콘(1-2003-031942-2)
대 리 인 성 명	특허법인 주원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명	이진용 조민수
발 명 의 명 칭	격자형 텍스타일 보강재 및 이를 이용한 섬유보강 콘크리트

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

2019-09-05

【청구범위】

【청구항 1】

CARBON, ARAMID, GLASS, BASALT, PET 중 어느 하나 또는 2 이상의 혼합에 의해 형성된 섬유의 직조에 의해 형성된 것을 특징으로 하는 격자형 텍스타일 보강재.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 섬유는,

SBR(Styrene Butadiene Rubber), EPOXY, URETHANE, ACRYLATE, PVC(PolyVinyl Chloride) 중 어느 하나에 의해 코팅된 것을 특징으로 하는 격자형 텍스타일 보강재.

【청구항 3】

제1항 또는 제2항의 격자형 텍스타일 보강재와, 무기계 접착제의 합성에 의해 형성된 섬유보강 콘크리트로서,

상기 무기계 접착제는,

시멘트 30~80중량%,

실리카흄 또는 슬래그 1.0~10중량%,

팽창재 1.0~10중량%,

규사 5.0~60중량%,

40-29

③ 시험성적서

(가) FRCM 600: 개발 무기계 매트릭스 시험성적서(1)

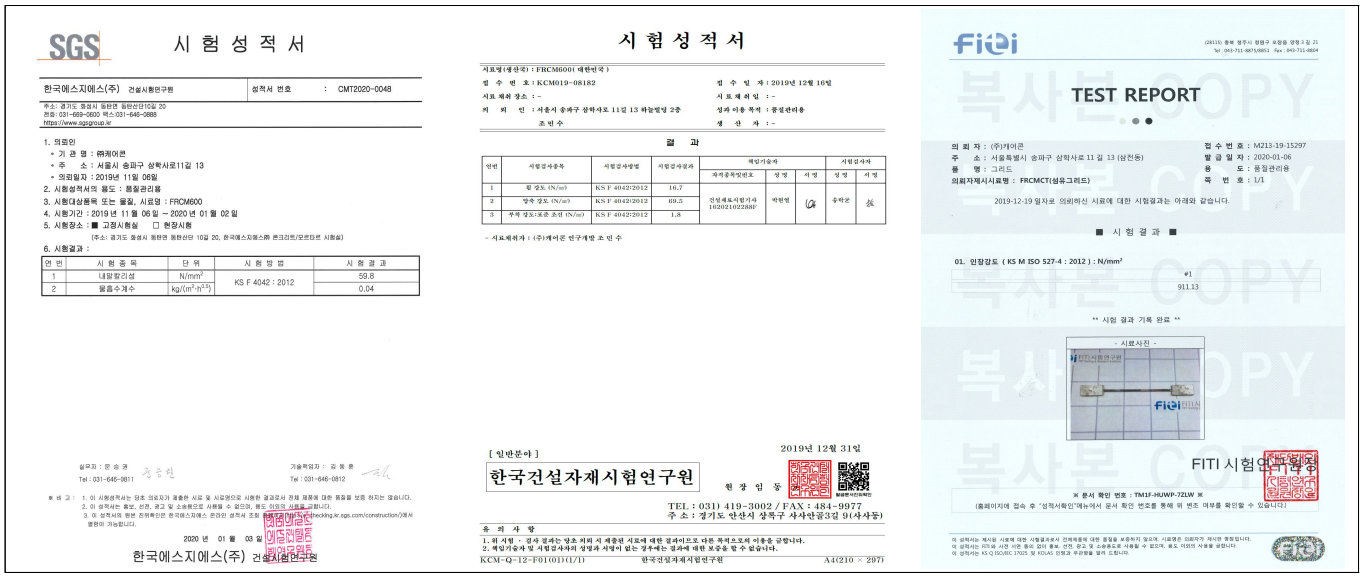
- 시험항목: 내알칼리, 물흡수계수
- 시험방법: KS F 4042 (2012)
- 의뢰기관: ㈜캐어콘
- 시험기관: 한국에스지에스(주)

(나) FRCM 600: 개발 무기계 매트릭스 시험성적서(2)

- 시험항목: 압축강도, 휨강도, 부착강도
- 시험방법: KS F 4042 (2012)
- 의뢰기관: ㈜캐어콘
- 시험기관: 한국건설자재시험연구원

(다) FRCMCT: 개발 텍스타일 그리드 시험성적서

- 시험항목: 인장강도
- 시험방법: KS M ISO 527-4 (2012)
- 의뢰기관: ㈜캐어콘
- 시험기관: FITI시험연구원



SGS 시 험 성 적 서

한국에스지에스(주) 건설시험연구원 | 성적서 번호 : CMT2020-0048

1. 의뢰인
 ◦ 기 관 명 : ㈜캐어콘
 ◦ 주 소 : 서울시 송파구 삼학사로11길 13
 ◦ 의뢰일자 : 2019년 11월 06일
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용
3. 시험대상품목 또는 물질, 시료명 : FRCM600
4. 시험기간 : 2019 년 11 월 06 일 ~ 2020 년 01 월 02 일
5. 시험장소 : ■ 고정시험실 □ 현장시험
6. 시험결과 :

번 반	시 험 종 목	단 위	시 험 방 법	시 험 결 과
1	내알칼리성	N/mm²	KS F 4042 : 2012	59.8
2	물흡수계수	kg/(m²·h^0.5)		0.04

2020 년 01 월 03 일
한국에스지에스(주) 건설시험연구원

시 험 성 적 서

시료명(제품명) : FRCM600(대한민국)
접 수 번 호 : KCM019-08182 | 접 수 일 자 : 2019년 12월 16일
시료 제작 장소 : - | 시료 제작일 : -
의 뢰 인 : 서울시 송파구 삼학사로 11길 13 하늘빌딩 2층 | 성과 이용 목적 : 품질관리용
조 인 수 | 생 산 자 : -

결 과

번반	시험검사종목	시험검사방법	시험검사결과	책임기술자		시험검사자	
				자격증목번호	성 명	서 명	성 명	서 명
1	휨 강도 (N/㎟)	KS F 4042:2012	16.7	건설재료시험기사 1620210228887	박한범		유하준	
2	압축 강도 (N/㎟)	KS F 4042:2012	69.5					
3	부착 강도1:콘크 조인 (N/㎟)	KS F 4042:2012	1.8					

- 시료제취자 : (주)캐어콘 연구개발 조 인 수

[일반분야]
2019년 12월 31일
한국건설자재시험연구원 원 장 임 동
TEL : 031) 419-3002 / FAX : 484-9977
주 소 : 경기도 안산시 상록구 사사안골3길 91(사사동)

용 의 사 항
1. 의 시험 · 검사 결과는 상호 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금합니다.
2. 책임기술자 및 시험검사자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.
KCM-Q-12-F01(01)(1/1) 한국건설자재시험연구원 A4(210 × 297)

FITI 시험연구원

TEST REPORT

의 뢰 자 : (주)캐어콘
주 소 : 서울특별시 송파구 삼학사로 11 길 13 (삼전동)
품 명 : 그리드
의뢰자제시시료명 : FRCMCT(섬유그리드)
접 수 번 호 : M213-19-15297
발 급 일 자 : 2020-01-06
용 도 : 품질관리용
쪽 번 호 : 1/1

2019-12-19 일자로 의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

■ 시 험 결 과 ■

01. 인장강도 (KS M ISO 527-4 : 2012) : N/mm²

	#1
	911.13

** 시험 결과 기록 완료 **

- 시료사진 -

※ 문서 확인 번호 : TM1F-HUWP-7ZLW ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 번조 여부를 확인할 수 있습니다)

[2차년도]

① 논문게재 성과

(가) 콘크리트 구조물의 보수·보강을 위한 FRCM 무기계 매트릭스의 성능평가

-논문정보: 조민수, 김민준, 이진용, 정찬유, 김길희, “콘크리트 구조물의 보수·보강을 위한 FRCM 무기계 매트릭스의 성능평가”, Journal of the korea concrete institute, Vol. 32, No 4, 2020, pp. 333~339, 국내게재논문, 비SCI논문

-논문내용: Fiber-reinforced cementitious matrix (FRCM) composites made of textile grids embedded in an inorganic matrix are advanced cement-based materials designed for repair and retrofitting of concrete structures. Composite materials are the result of combining basic materials into new material systems that have improved properties compared to the basic materials. In this respect, improving the performance of the components of the composit is important. In this study, basic research was carried out to derive the optimum mixture for improving the performance of FRCM inorganic matrix for repair and retrofitting of concrete structures. For the development of the inorganic matrix for the FRCM composite, four groups were sequentially determined and the basic properties were confirmed. From the experimental results, optimum results were obtained with 2.0 % GGBS, 1.0 % Silica fume, 0.2 % PVA fiber, and 0.2 % EVA Polymer. In terms of durability, the alkali resistance was reduced by about 70 % compared with that of conventional mortar, and the water absorption rates were almost identical.



Journal of the Korea Concrete Institute
Vol. 32, No. 4, pp. 333~339, August, 2020
https://doi.org/10.4334/JKCI.2020.32.4.333

pISSN 1229-5515
eISSN 2234-2842
www.jkci.or.kr

콘크리트 구조물의 보수·보강을 위한 FRCM 무기계 매트릭스의 성능평가

조민수 [1] · 김민준 [2] · 이진용 [3] · 정찬유 [4] · 김길희 [5]*

[1](주)케어콘 연구개발팀 차장 [2]LH토지주택연구원 책임연구원 [3](주)케어콘 대표이사
[4]공주대학교 건축공학과 연구교수 [5]공주대학교 건축공학과 교수

Performance Evaluation of FRCM Inorganic Matrix for Repair and Reinforcement of Concrete Structures

Min-Su Jo,[1] Min-Jun Kim,[2] Chin-Yong Lee,[3] Chan-Yu Jeong,[4] and Kil-Hee Kim[5]*

[1]Deputy General Manager, CareCon Co., Ltd., Seoul 05586, Rep. of Korea
[2]Assistant Research Fellow, Korea Land & Housing Corporation, Land & Housing Institute, Daejeon, 34047, Rep. of Korea
[3]C.E.O CareCon Co., Ltd., Seoul 05586, Rep. of Korea
[4]Research Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Rep. of Korea
[5]Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Rep. of Korea

ABSTRACT Fiber-reinforced cementitious matrix (FRCM) composites made of textile grids embedded in an inorganic matrix are advanced cement-based materials designed for repair and retrofitting of concrete structures. Composite materials are the result of combining basic materials into new material systems that have improved properties compared to the basic materials. In this respect, improving the performance of the components of the composit is important. In this study, basic research was carried out to derive the optimum mixture for improving the performance of FRCM inorganic matrix for repair and retrofitting of concrete structures. For the development of the inorganic matrix for the FRCM composite, four groups were sequentially determined and the basic properties were confirmed. From the experimental results, optimum results were obtained with 2.0 % GGBS, 1.0 % Silica fume, 0.2 % PVA fiber, and 0.2 % EVA Polymer. In terms of durability, the alkali resistance was reduced by about 70 % compared with that of conventional mortar, and the water absorption rates were almost identical.

Keywords : FRCM, inorganic matrix, durability, optimal mixture

1. 서 론

일반적으로 건축 구조물은 사용 과정 중에 빈번하게 나타나는 노후화에 따른 열화, 가해진 하중의 변화, 부족한 설계 또는 시공 및 지진의 취약성으로 인해 점검 보수 및 보강에 대한 요구가 증가하고 있다. 상대적으로 설치가 쉽고 중량대비 강도가 높은 복합재료는 철근콘크리트(RC) 및 조적 구조물을 강화하는데 효율적인 방법으로 활용되어 왔다. 이러한 복합재료를 활용한 보강공법 중에서 섬유강화 복합재(fiber reinforced polymer, 이하 FRP)는 건축 및 토목분야에 널리 사용되어 왔다(Choi et al. 2011). 그러나 결합재로 사용하는 유기계 매트릭스는 (1) 유리전이온도 이상의 온도에서 에폭시 수지의 열악한 거동, (2) 젖은 표면 또는 저온에 적용 불가, (3) 콘크리트 구조물에 손상을 줄 수 있는 투과성 부족, (4) 콘크리트 기관과의 상용성 부족 등의 다양한 문제점이 보고되어 왔다(Al-Salloum et al. 2012).

최근, 이러한 FRP의 문제점을 해결하기 위한 대안으로무기계 매트릭스 복합재에 관한 관심이 높아지고 있다. 무기계 매트릭스 복합재는 일반적으로 섬유강화 시멘트질 매트릭스(fiber reinforced cementitious matrix, 이하, FRCM)라고 지칭한다. FRCM은 콘크리트 기관 사이의 응력전달을 담당하는 무기계 매트릭스와 내부에 매립된 고강도 텍스타일 그리드로 구성된다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 FRCM의 구성요소인 무기계 매트릭스는 일반적으로 최대 골재 크기가 작은 시멘트 기반 매트릭스이며, 텍스타일 그리드는 내알칼리(AR) 유리섬유, 탄소섬유 또는 기타 재료인 고성능 연속섬유로 구성된다(Hempel et al. 1998). 이러한 FRCM의 구성요소인 무기계 매트릭스는 가공성, 텍스타일 그리드와의 부착성능, 내구성

*Corresponding author E-mail : kimkh@kongju.ac.kr
Received March 04, 2020, Revised April 13, 2020,
Accepted April 27, 2020
ⓒ2020 by Korea Concrete Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

References

Al-Salloum, Y. A., Elsanadedy, H. M., Alsayed, S. H., and Iqbal, R. A. (2012) Experimental and numerical study for the shear strengthening of reinforced concrete beams using textile-reinforced mortar. *Journal of Composites for Construction* 16(1), 74-90.

Arisoy, B., and Wu, H. C. (2008) Material Characteristics of High Performance Lightweight Concrete Reinforced with PVA. *Construction and Building Materials* 22(4), 635-645.

Bayasi, Z., and Zhou, J. (1993) Properties of Silica Fume Concrete and Mortar. *ACI Materials Journal* 90(4), 346-356.

Choi, D. U., Kang, T. H. K., Ha, S. S., Kim, K. H., and Kim, W. S. (2011) Flexural and Bond Behavior of Concrete Beams Strengthened with Hybrid Carbon-Glass Fiber-Reinforced Polymer Sheets. *ACI Structural Journal* 108(1), 90-98.

Hempel, S., Butler, M., and Mechtcherine, V. (2015) Bond Behaviour and Durability of Basalt Fibres in Cementitious Matrices. In Brameshuber, W. (Ed.), *FERRO-11-11th International Symposium on Ferrocement and 3rd ICTRC - International Conference on Textile Reinforced Concrete*. RILEM Proceedings PRO 98. RILEM Publications S.A.R.L, pp. 225-234.

Jo, Y. C., Choi, N. W., Lee, C. W., Yang, S. W., and So, Y. S. (2005) Early Strength Properties of EVA Polymer Powder-Modified Mortars with Quick Setting Agent. *KCI 2005 Spring Conference*. 6-7 May 2005. Muju, Korea; Korea Concrete Institute (KCI), 17(1-1), 309-312. (In Korean)

Kim, H. T. (1991) Characteristics and Using of Silica Fume and Silica Fume Concrete. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 3(3), 22-30. (In Korean)

Korea Agency for Technology and Standards (KATS) (2017a) *Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and mortars of plastic consistency (KS L 5109)*. Seoul, Korea: Korea Standard Association (KSA). (In Korean)

Korea Agency for Technology and Standards (KATS) (2017b) *Polymer Modified Cement Mortar for Maintance in Concrete Structure (KS F 4042)*. Seoul, Korea: Korea Standard Association (KSA). (In Korean)

Lee, J. H., Song, Y. C., Kim, Y. R., Lee, D. B., and Ko, C. H. (2009) An Experimental Study for the Basic Properties of Mortar Applied for PC Panels by Adding Ratios of PVA Fiber. *AIK 2009 Conference*, Architectural Institute of Korea (AIK), 29(1), 511-514. (In Korean)

Malhotra, V. M. (1986) Flyash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. *Conference: 2. International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Madrid, Spain; 21 Apr 1986.

Triantafillou, T. C. (2016) *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 60, Elsevier. 25-43.

Yao, U., Li, J., and Wu, K., (2003) Mechanical Properties of Hybrid Fiber-Reinforced Concrete at Low Fiber Fraction. *Cement and Concrete Research* 33(1), 27-30.

Yeon, K. S., Joo, M. K., Jeong, J. H., Jin, X. Q., and Lee, C. W. (2005) Drying Shrinkage and Strength Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Poly Powder. *KCI 2005 Spring Conference*. 6-7 May 2005. Muju, Korea; Korea Concrete Institute (KCI), 17(1-2), 533-536. (In Korean)

요 약 Fiber-Reinforced Cementitious Matrix(FRCM) 복합재료는 무기계 매트릭스에 매립된 보강섬유(텍스타일 그리드)로 구성되며, 콘크리트 구조물의 보수·보강을 위해 설계된 고급 시멘트 기반재료이다. 복합재는 기계적 성능과 특성이 구성재료보다 우수하도록 설계된 두 개 이상의 재료상의 시스템이 결합하여 거동하는 것을 의미한다. 이러한 측면에서 복합재의 구성요소의 성능향상은 중요한 부분이다. 이 연구에서는 콘크리트 구조물 보수·보강을 FRCM 무기계 매트릭스의 개발을 위한 최적 배합을 도출하기 위하여 기초연구를 수행하였다. FRCM을 무기계 매트릭스의 개발을 위해 순차적으로 4개의 그룹의 배합을 설정하여 기초물성을 확인하여 최적 배합 도출 후에 기존 보수 모르타르와의 내구성을 비교 분석하였다. 실험결과, 배합 측면에서 GGBS 2.0 중량 % 혼입과 실리카퓸 1.0 중량 % 혼입, PVA 섬유 0.2 % 혼입, EVA 폴리머 0.2 중량 % 혼입에서 최적의 결과를 얻을 수 있었다. 내구성 측면에서는 기존 보수 모르타르에 비하여 내알칼리성은 약 70 % 감소하였으며, 물흡수율은 30 % 이상 감소하여 우수한 내구성을 발휘하였다.

핵심용어 : 섬유보강시멘트계매트릭스, 무기계 접착제, 내구성, 최적 배합

(나) FRCM 매트릭스를 사용한 RC보의 휨 성능평가

-논문정보: 최진형, 한상민, 전재성, 조민수, 이용준, 김길희, “FRCM 매트릭스를 사용한 RC보의 휨 성능평가”, 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집, 2021, pp. 65~66, 국내 학술대회논문, 비SCI 논문

-논문내용: 이 연구에서는 최근 RC구조물의 노후회된 구조물의 휨 성능을 보강하기 위하여, FRCM 복합재의 보강 유무와 겹수(Layer)를 변수로 휨 성능평가를 수행하였다. 실험결과, frcm 복합재로 보강된 실험체는 무보강 실험체에 비하여 휨 성능이 향상되었으며, 파괴모드에 차이가 있는 것을 확인하였다. 또한, 2겹으로 보강한 실험체가 1겹으로 보강한 실험체에 비하여 휨 성능이 향상된 것을 확인하였다.

FRCM 매트릭스를 사용한 RC보의 휨 성능평가

Flexural Performance Evaluation of RC Beams Using FRCM Matrix

최 진 형* 한 상 민** 전 재 성*** 조 민 수**** 이 용 준***** 김 길 희******

Choi, Jin-Hyeong Han, Sang-Min Jeon, Jae-Seong Jo, Min-Su Lee, Yong-Jun Kim, Kil-Hee

ABSTRACT

In this study, in order to reinforce the flexural performance of the recently aging structure of RC structures, the flexural performance evaluation was performed using the presence or absence of reinforcement of FRCM composites and the number of layers as variables. As a result of the experiment, it was confirmed that the specimen reinforced with FRCM composite had improved flexural performance compared to the unreinforced specimen, and there was a difference in the failure mode. In addition, it was confirmed that the flexural performance of the specimen reinforced with two layers was improved compared to the specimen reinforced with one ply.

요 약

이 연구에서는 최근 RC구조물의 노후화된 구조물의 휨 성능을 보강하기 위하여, FRCM 복합재의 보강 유무와 겹수(Layer)를 변수로 휨 성능평가를 수행하였다. 실험 결과, FRCM 복합재로 보강된 실험체는 무보강 실험체에 비하여 휨 성능이 향상되었으며, 파괴모드에 차이가 있는 것을 확인하였다. 또한, 2겹으로 보강한 실험체가 1겹으로 보강한 실험체에 비하여 휨 성능이 향상된 것을 확인하였다.

1. 서 론

최근 RC구조물의 노후화에 따른 휨 성능의 저하 및 요구되는 하중의 변화 등의 문제점들이 발생하고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 기존 구조물의 보강방법으로 FRP(Fiber Reinforced Polymer)복합재를 사용하여 왔다. 그러나 FRP 복합재를 구성하는 유기계 매트릭스는 화재 위험이 있는 구조물에서는 사용하기 어려우며, 이러한 문제점을 개선하기 위하여 섬유강화 시멘트질 매트릭스(Fiber Reinforced Cementitious Matrix, 이하, FRCM)에 대한 관심이 높아지고 있으나, 국내에서는 FRCM에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 FRCM 복합재의 보강 유·무와 겹수를 변수로 RC보의 휨 성능과 파괴 양상을 평가하였다.

2. 실험 방법 및 사용재료

단순지지보의 4점 가력 형태의 실험체는 전단파괴 이전에 휨파괴가 선행되도록 계획하였으며, 모든 실험체는 길이 2,500mm, 보의 폭 150mm, 높이 230mm로 동일하게 계획하였다. 실험체일람과 재료 물리적 특성은 표 1과 표 2에 각각 나타내었다.

* 준회원, 공주대학교, 건축공학과& 도시융합시스템공학과, 학석사연계과정
** 준회원, 공주대학교, 건축공학과, 학생연구원
*** 정회원, 공주대학교, 건축공학과& 도시융합시스템공학과, 석사과정
**** 정회원, ㈜케어존, 차장
***** 정회원, 공주대학교, 스마트자연공간연구소, 연구교수
****** 정회원, 공주대학교, 건축공학과& 도시융합시스템공학과, 교수, kimkh@kongju.ac.kr

표1. 재료의 물리적 특성

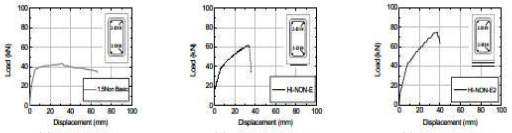
Fabric type	Fiber	Area (mm^2/roving)	Tensile strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Mix	Cement	S.P	S	W	W/B (%)
HI-GRID	CF	1.781	2,157	180	FRCM	832.0	3.8	1006.2	340	37.8

표 2. 실험체의 물리적 특성

Specimen	Sectional properties												
	b (mm)	h (mm)	f_{fk} (MPa)	f_f (MPa)	a/d	ρ_s (%)	ρ_{min}	ρ_{max}	s (mm)	M_y (kN·m)	p_y (kN)	M_u (kN·m)	p_u (kN)
1-5 ρ_{min}	150	250	24	450	4.0	0.453	0.311	1.518	100	12.4	29.1	13.0	30.6

3. 실험 결과

그림 1은 FRCM의 보강유무와 겹수에 따른 RC보 부재 휨 성능을 비교를 나타낸다. 실험 결과, 무보강 실험체에 비하여 FRCM으로 보강한 실험체의 최대내력은 약 44% 증가하였으며, 1겹으로 보강한 실험체에 비하여 2겹으로 보강한 실험체가 약 74% 높은 내력을 나타내었다. 또한, FRCM으로 보강한 실험체는 최대내력에 도달 이후 콘크리트와 FRCM복합재 사이의 Debonding에 의하여 파괴되는 것을 확인하였다.



(a) Non - FRCM (b) 1 Layer - FRCM (c) 2 Layer - FRCM

그림 1. 하중-처짐 관계 곡선

4. 결 론

이 연구에서는 RC 보 부재에 휨 성능 향상을 위하여 섬유강화 시멘트질 매트릭스를 이용하여 보강하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 보강을 하지 않은 실험체에 비하여 FRCM으로 보강한 실험체의 최대내력은 44% 증가된 결과를 나타내었으며, FRCM의 층수에 따른 보강효과는 1겹에 비하여 2겹(최대내력: 74% 증가)으로 보강 시 증가하는 것을 확인하였다.

2) FRCM으로 보강한 실험체의 파괴형태는 최대내력 도달 후에 콘크리트와 FRCM복합재의 경계면에서 Debonding에 의하여 파괴되는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(20CTAP-C152175-02) 및 교육부 및 한국연구재단의 4단계 두뇌한국21 사업(4단계 BK21 사업)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. MASCE1, Kshitij C. et at al, Effectiveness of Fabric-Reinforced Cementitious Matrix in Strengthening Reinforced Concrete Beams, 2017

② 특허 성과

(가) 특허출원: 섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물 및 그 제작방법

- 영 문 명: Precast concrete structure and manufacturing method thereof
- 출원일자: 2020년 01월 30일
- 출원번호: 10-2020-0011022
- 출 원 인: ㈜캐어콘
- 발 명 자: 이진용, 조민수
- 출 원 국: 대한민국
- 특허내용: 본 발명의 섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물은 시멘트 30~80 중량%, 팽창재 1~10 중량%, 규사 5~53 중량%, 폴리머 0.1~1 중량%, 유동화제 0.1~2 중량%, 섬유보강재 0.1~1 중량%, 물 13~30 중량%, 바인더 1~ 50 중량%,를 포함하는 캐프리스트 콘크리트 조성물(10); 콘크리트 조성물(10)에 매립되거나 상면과 하면에 각각 결합되는 보강섬유(20); 를 포함한다. 프리캐스트 콘크리트 구조물은 일반적으로 콘크리트 내부에 철근을 매립하여 제작한다. 콘크리트는 압축강도가 우수하지만 인장강도(압축저항성의 1/11 수준)가 낮은 단점이 있다. 때문에 이를 보완하기 위해 콘크리트 내부에 철근을 매립하여 인장력에 저항하도록 한 것이다. 철근이 콘크리트에 매립되면 철근의 부식과 접합강도를 확보하기 위해, 피복두께를 확보해야 한다. 따라서 프리 캐스트 콘크리트 구조물의 크기가 커지고 자중이 무거워지게 된다. 본 발명은 콘크리트 내부에 철근을 대체한 보강섬유를 매립하여 프리캐스트 콘크리트 구조물의 두께를 줄이고, 자중을 감소시키는 기술이다.



관인생략

출원번호통지서

출 원 일 자 2020.01.30
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(6715)
출 원 번 호 10-2020-0011022 (접수번호 1-1-2020-0099991-81)
출원인 명칭 (주) 캐어콘(1-2003-031942-2)
대 리 인 성 명 특허법인 주원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명 이진용 조민수
발 명 의 명 칭 섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물 및 그 제작방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

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

2020-01-30

【청구범위】

【청구항 1】

시멘트 30~80 중량%,

팽창재 1~10 중량%,

규사 5~55 중량%,

폴리머 0.1~1 중량%,

유동화제 0.1~2 중량%,

섬유보강재 0.1~1 중량%,

물 13~30 중량%,

바인더 1~ 50 중량%,를 포함하는 프리캐스트 콘크리트 조성물(10);

상기 콘크리트 조성물(10)에 매립되거나 상면과 하면에 각각 결합되는 보강섬유(20);를 포함하는 것을 특징으로 하는 섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 보강섬유(20)는 카본섬유, 아라미드섬유, 유리섬유, 바살트섬유, PET섬유 중 어느 하나 이거나 둘이 이상이 혼합된 섬유이고,

상기 보강섬유(20)의 원사(21) 또는 상기 보강섬유(20)가 격자 구조로 결합된 그리드 섬유(22)로 혼합되는 것을 특징으로 하는 섬유보강 프리캐스트 콘크리트

41-20

(나) 특허등록: 텍스타일 보강재와 무기계 접착제를 결합한 섬유보강 콘크리트 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수 보강공법

- 영 문 명: Fiber-reinforced concrete and repairing method using the same
- 등록일자: 2020년 04월 17일
- 등록번호: 10-2104034
- 출 원 인: ㈜캐어콘
- 발 명 자: 이진용, 조민수
- 출 원 국: 대한민국
- 특허내용: 본 발명은 CARBON, ARAMID, GLASS, BASALT, PET 중 어느 하나 또는 2 이상의 혼합에 의해 형성된 섬유의 직조에 의해 형성된 것을 특징으로 하는 격자형 텍스타일 보강재를 제시한다. 상기 섬유는, SBR(Styrene Butadiene Rubber), EPOXY, URETHANE, ACRYLATE, PVC(PolyVinyl Chloride) 중 어느 하나에 의해 코팅된 것이 바람직하다. 본 발명은 상기 격자형 텍스타일 보강재와, 무기계 접착제의 합성에 의해 형성된 섬유보강 콘크리트로서, 상기 무기계 접착제는, 시멘트 30~80중량%, 실리카흄 또는 슬래그 1.0~10중량%, 팽창재 1.0~10중량%, 규사 5.0~54중량%, 폴리머 0.1~1.0중량%, 유동화제 0.1~2.0중량%, Short Fiber 0.1~1.0%, 물 13~30중량%를 포함하는 것을 특징으로 하는 섬유보강 콘크리트를 제시한다. 상기 폴리머는 아크릴수지 또는 EVA수지인 것이 바람직하다. 상기 Short Fiber는 PVA(Polyvinyl Alcohol) 또는 P.P(Polypropylene) 섬유로 구성되고, 길이가 1~7mm인 것이 바람직하다. 본 발명은 상기 섬유보강 콘크리트를 이용한 콘크리트 구조물 보강공법으로서, 콘크리트 구조물의 손상면을 정리하는 손상면 정리단계; 상기 콘크리트 구조물의 손상면을 습윤상태로 만드는 손상면 습윤단계; 상기 콘크리트 구조물의 손상면에 상기 격자형 텍스타일 보강재를 설치하는 보강재 설치단계; 상기 격자형 텍스타일 보강재가 매설되도록, 상기 무기계 접착제를 타설하고 양생하는 무기계 접착제 타설 및 양생단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘크리트 구조물 보강공법을 제시한다.



특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number 제 10-2104034 호

출원번호 Application Number 제 10-2019-0110135 호
출원일 Filing Date 2019년 09월 05일
등록일 Registration Date 2020년 04월 17일

발명의 명칭 Title of the Invention
텍스타일 보강재와 무기계 접착제를 결합한 섬유보강 콘크리트 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수 보강공법

특허권자 Patentee
(주) 캐어콘(110111-*******)
서울특별시 송파구 삼학사로11길 13 (삼전동)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2020년 04월 17일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
박 원주

특허청
Korean Intellectual Property Office

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요

등 록 사 항

특 허 Patent Number 등록 제 10-2104034 호

발명자 Inventors
이진용(561010-*******)
서울특별시 서초구 헌릉로8길 45 서초포레스타아파트 201동 103호

조민수(820623-*******)
경기도 안성시 고수2로 70 삼정그린코아아파트 103동 602호

③ 시험성적서

(가) FRCM 700: 개발 무기계 매트릭스 시험성적서(1)

- 시험항목: 내알칼리, 물흡수계수
- 시험방법: KS F 4042 (2012)
- 의뢰기관: ㈜캐어콘
- 시험기관: ㈜한국건설기술시험연구원

(나) FRCM 700: 개발 무기계 매트릭스 시험성적서(2)

- 시험항목: 압축강도, 휨강도, 부착강도(표준조건, 온냉방복 후 조건)
- 시험방법: KS F 4042 (2012)
- 의뢰기관: ㈜캐어콘
- 시험기관: ㈜한국건설기술시험연구원

(다) FRCMCT: 개발 텍스타일 그리드 시험성적서

- 시험항목: 인장강도
- 시험방법: KS M ISO 527-4 (2012)
- 의뢰기관: ㈜캐어콘
- 시험기관: ㈜한국건설기술시험연구원



시험성적서

시험성적서

시험성적서

④ 시제품

(가) 고강도 무기계 접착제 모르타르

- 시제품명: 고강도 무기계 접착제 모르타르 (FRCM 700)

- 시제품 내용:
  - 기존 보수 모르타르에 비하여 물리적 특성(압축강도, 휨강도, 부착강도)을 개선하였으며, 내구성을 향상시켜 현장적용성이 우수한 제품임.
  - 기존 철근부식 및 단면탈락에 의한 단면복구재로 활용이 가능하고, 텍스타일 그리드와 결합하여 FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix)의 형태로 구조물 보수보강에 적용 가능함.

- 시제품의 물리적 특성: 압축강도(74.6MPa), 휨강도(17.4MPa), 부착강도(2.2MPa)

- 포장단위: 25kg/포 (결합재 및 규사, 혼화제 등을 혼입하여 포장됨. 물만 가수하여 사용함.)



[무기 결합재]



[short fiber]



[규사]



[Polymer]

[시제품의 구성 원료]





[제작된 시제품]

[3차년도]

① 논문게재 성과

(가) Evaluation of Bond Properties of a Fabric-Reinforced Cementitious Matrix for Strengthening of Concrete Structures

-논문정보: Min-Jun Kim, Hyeong-Gook Kim, Yong-Jun Lee, Dong-Hwan Kim, Min-Su jo, Kil-Hee Kim, “Evaluation of Bond Properties of a Fabric-Reinforced Cementitious Matrix for Strengthening of Concrete Structures”, MDPI, Applied sciences, 2020, Vol.10, Issue 11, 3767, pp.1~12, 국외게제논문, SCI논문(I.P:2.217)

-논문내용: In the present study, pull-out and pull-off tests were conducted to examine the bond strength between an inorganic cement adhesive (hereinafter referred to as the “matrix”) and a textile, which composed a fabric-reinforced cementitious matrix (FRCM). The matrix was developed by mixing slag and short fibers in an attempt to improve the alkali resistance and compressive strength. The developed matrix was examined with regard to its alkali resistance, water resistance, and void distribution. Bond tests were conducted in two parts: a pull-out series and pull-off series. The type of textile (carbon or basalt) and the weaving methods were selected as test parameters. These tests were performed in accordance with the methods described in ISO10406-1 (pull-out) and ASTM C1583 (pull-off). The test results showed that the developed matrix was superior to existing mortar methods in terms of alkali resistance, water resistance, and compressive strength. Additionally, the FRCM in which carbon textiles were used exhibited excellent bond performance.



applied sciences

an Open Access Journal by MDPI

CITESCORE 2.52 SCOPUS

IMPACT FACTOR 2.217

CERTIFICATE OF PUBLICATION

Certificate of publication for the article titled:

Evaluation of Bond Properties of a Fabric-Reinforced Cementitious Matrix for Strengthening of Concrete Structures

Authored by:

Min-Jun Kim; Hyeong-Gook Kim; Yong-Jun Lee; Dong-Hwan Kim; Min-Su Jo; Kil-Hee Kim

Published in:

Appl. Sci. **2020**, Volume 10, Issue 11, 3767

MDPI Academic Open Access Publishing since 1996

Basel, June 2020



applied sciences

MDPI

Article

Evaluation of Bond Properties of a Fabric-Reinforced Cementitious Matrix for Strengthening of Concrete Structures

Min-Jun Kim [1], Hyeong-Gook Kim [2], Yong-Jun Lee [3], Dong-Hwan Kim [2], Min-Su Jo [4] and Kil-Hee Kim [2,*]

[1] Land and Housing Institute, Korea Land and Housing Corporation, Daejeon 34047, Korea; minjunk@lh.or.kr
[2] Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea; anthk1333@kongju.ac.kr (H.-G.K.); kimdh@kongju.ac.kr (D.-H.K.)
[3] Korea Construction Standards Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea; leeyj@kict.re.kr
[4] CareCon Co., Ltd., Seoul 05586, Korea; jjangkku@naver.com
* Correspondence: kimkh@kongju.ac.kr; Tel.: +82-41-521-9335

Received: 23 April 2020; Accepted: 26 May 2020; Published: 29 May 2020

Abstract: In the present study, pull-out and pull-off tests were conducted to examine the bond strength between an inorganic cement adhesive (hereinafter referred to as the “matrix”) and a textile, which composed a fabric-reinforced cementitious matrix (FRCM). The matrix was developed by mixing slag and short fibers in an attempt to improve the alkali resistance and compressive strength. The developed matrix was examined with regard to its alkali resistance, water resistance, and void distribution. Bond tests were conducted in two parts: a pull-out series and pull-off series. The type of textile (carbon or basalt) and the weaving methods were selected as test parameters. These tests were performed in accordance with the methods described in ISO10406-1 (pull-out) and ASTM C1583 (pull-off). The test results showed that the developed matrix was superior to existing mortar methods in terms of alkali resistance, water resistance, and compressive strength. Additionally, the FRCM in which carbon textiles were used exhibited excellent bond performance.

Keywords: FRCM; cement-based matrix; textile reinforcement; pull-out; pull-off

1. Introduction

Reinforced concrete (RC) structures are subject to degradation of their structural stability as they are exposed to external loads such as earthquakes and to stress over time. Notably, cracks that occur on the concrete surfaces of RC structures negatively affect their serviceability and induce the corrosion of reinforcing bars, thereby resulting in the deterioration of structural performance. Thus, the safe use of RC structures requires effective repair and reinforcement methods that can control the cracking of concrete. Currently, steel plate reinforcement is mainly used for the repair and reinforcement of RC structures [1,2]. However, this method may be involved in problems related to reduced adhesive strength at the steel–concrete composite interface, as well as increased self-weight of structures. To overcome these problems, research has been actively carried out since the 1990s on fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement methods, where fiber sheets with a high tensile strength and elastic modulus are used [3–8].

The FRP reinforcement method is better than existing steel plate reinforcement when used for the repair and reinforcement of RC structures because it is lightweight, corrosion-resistant, and non-conductive. However, the FRP reinforcement method may cause fiber sheets to be detached from the

(나) Effect of Configuration and Yield Strength of Transverse Reinforcement on Lateral Confinement of RC Columns

-논문정보: Min-Jun Kim, Bum-sik Lee, Yong-Jun Lee, Dong-Hwan Kim, Sang-Pil Han, Kil-Hee Kim, “Effect of Configuration and Yield Strength of Transverse Reinforcement on Lateral Confinement of RC Columns”, MDPI, Applied sciences, 2021, Vol.11, Issue 15, 6696, pp.1~17, 국외게제논문, SCI논문(IF:2.679)

-논문내용: In general, the lateral confinement capacity of RC columns is influenced by the strength and configuration of transverse reinforcement. In this study, performed antisymmetric flexural moment experiments that simulated seismic loads, with the configuration and yield strength of the transverse reinforcement of RC square columns as main variables. The eight specimens were square cross-sections measuring 250 × 250 mm, and the lateral confinement effect in relation to main variables was examined by inducing flexural failure in the plastic hinge zone under a shear span-to-depth ratio (a/D) of 3.0. Transverse reinforcements comprised a square and octagonal S-series and tie-based H-series. The yield strengths of the transverse reinforcements were 453 MPa and 1053 MPa, respectively. Compared to the H-series, the S-series, whose configuration of transverse reinforcement is closer to a circular form, exhibited more prominent ductile behavior after flexural yield with increasing yield strength of transverse reinforcement, which indicates greater lateral confinement.



applied sciences

MDPI

Article

Effect of Configuration and Yield Strength of Transverse Reinforcement on Lateral Confinement of RC Columns

Min-Jun Kim [1], Bum-Sik Lee [1], Dong-Hwan Kim [2], Sang-Pil Han [3] and Kil-Hee Kim [2,*]

[1] Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation, 539, Expo-ro, Yuseong, Daejeon 34047, Korea; minjunk@lh.or.kr (M.-J.K.); bslee417@lh.or.kr (B.-S.L.)
[2] Department of Architectural Engineering, Kongju National University, 1223-24, Cheonandaero, Seobuk, Cheonan 31080, Korea; kimdh@kongju.ac.kr
[3] Department of Fire Protection Engineering, Sangji University, 83 Sangjidae-gil, Wonju 26339, Korea; hsfee1@sangji.ac.kr
* Correspondence: kimkh@kongju.ac.kr

Abstract: In general, the lateral confinement capacity of RC columns is influenced by the strength and configuration of transverse reinforcement. In this study, performed antisymmetric flexural moment experiments that simulated seismic loads, with the configuration and yield strength of the transverse reinforcement of RC square columns as main variables. The eight specimens were square cross-sections measuring 250 × 250 mm, and the lateral confinement effect in relation to main variables was examined by inducing flexural failure in the plastic hinge zone under a shear span-to-depth ratio (a/D) of 3.0. Transverse reinforcements comprised a square and octagonal S-series and tie-based H-series. The yield strengths of the transverse reinforcements were 453 MPa and 1053 MPa, respectively. Compared to the H-series, the S-series, whose configuration of transverse reinforcement is closer to a circular form, exhibited more prominent ductile behavior after flexural yield with increasing yield strength of transverse reinforcement, which indicates greater lateral confinement.

Keywords: RC member; confinement; configuration; transverse reinforcement; yield strength

check for updates

Citation: Kim, M.-J.; Lee, B.-S.; Kim, D.-H.; Han, S.-P.; Kim, K.-H. Effect of Configuration and Yield Strength of Transverse Reinforcement on Lateral Confinement of RC Columns. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 6696. https://doi.org/10.3390/app11156696

Academic Editor: Panagiotis G. Asteris

Received: 15 June 2021
Accepted: 16 July 2021
Published: 21 July 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

RC members designed to undergo flexural failure will develop a plastic hinge at the critical section, located away from the end of a member by a length corresponding to the effective depth (d), when the longitudinal reinforcement experiences flexural yield under repeated loads like seismic loads. According to past research, flexural RC members, exhibit ductile behavior through moment redistribution after plastic hinge formation [1–3]. However, they may not engage in ductile behavior if concrete undergoes compressive failure due to insufficient lateral confinement at the critical section, located away from the end by a length corresponding to the effective depth (d).

The ductile behavior of RC columns, which are subject to axial force, is dominantly influenced by the lateral confinement effect of concrete near the plastic hinge zone. Proper lateral confinement of RC members by transverse reinforcement will prevent buckling of longitudinal reinforcement and, at the same time, ensure effective moment redistribution [4–7].

Past studies have showed that the lateral confinement capacity of columns is influenced by the amount and configuration of transverse reinforcement surrounding the core concrete, and by the yield strength, with circular cross-sections having better lateral confinement than square cross-sections [8–12]. However, columns are usually designed to have square cross-sections to enable joining with beams, and for more convenient longitudinal reinforcement configuration at the column-beam joints. While RC members with circular cross-sections can provide lateral confinement to the core concrete using hoop reinforcement, square cross-sections provide lateral confinement to the core using square

11. Kim, Y.S.; Kim, S.W.; Lee, J.Y.; Lee, J.M.; Kim, H.G.; Kim, K.H. Prediction of stress–strain behavior of spirally confined concrete considering lateral expansion. *Constr. Build. Mater.* **2016**, *102*, 743–761. [CrossRef]
12. Wang, P.; Shi, Q.; Wang, F.; Wang, Q. Seismic behaviour of concrete columns with high-strength stirrups. *Earthq. Struct.* **2020**, *18*, 15–25.
13. Paulay, T.; Priestley, M.J.N. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 1992.
14. Abdel-Halim, M.A.; Abu-Lebdeh, T.M. Analytical study for concrete confinement in tied columns. *ASCE J. Struct. Eng.* **1989**, *115*, 2810–2828. [CrossRef]
15. Sheikh, S.A.; Yeh, C.C. Flexural behavior of confined concrete columns. *ACI Struct. J.* **1986**, *83*, 389–404.
16. Sheikh, S.A.; Khoury, S.S. Confined concrete columns with stubs. *ACI Struct. J.* **1993**, *90*, 414.
17. Mo, Y.L.; Wang, S.J. Seismic behavior of RC columns with various tie configurations. *ASCE J. Struct. Eng.* **2000**, *126*, 1122–1130. [CrossRef]
18. Lukkunaprasit, P.; Thepmangkorn, J. Load history effect on cyclic behavior of reinforced concrete tied columns. *ASCE J. Struct. Eng.* **2004**, *130*, 1629–1633. [CrossRef]
19. Samra, R.M.; Deeb, N.A.; Madi, U.R. Transverse steel content in spiral concrete columns subject to eccentric loading. *ACI Struct. J.* **1996**, *93*, 412–419.
20. Kim, M.J.; Kim, D.H.; Kim, D.H.; Kim, S.W.; Lee, J.Y.; Kim, K.H. Evaluation of flexural performance of RC columns according to configuration of transverse reinforcement. *J. Archit. Inst. Korea Struct. Constr.* **2012**, *28*, 3–10. (In Korean)
21. American Concrete Institute. *ACI Committee 318 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-19) and Commentary*; American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2019.
22. Park, R.; Paulay, T. *Reinforced Concrete Structures*; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 1975.
23. Panagiotakos, T.B.; Fardis, M.N. Deformations of reinforced concrete members at yielding and ultimate. *ACI Struct. J.* **2001**, *98*, 135–148.
24. Bae, S.; Bayrak, O. Plastic hinge length of reinforced concrete columns. *ACI Struct. J.* **2008**, *105*, 290–300.
25. Elmenshawi, A.; Brown, T. Hysteretic energy and damping capacity of flexural elements constructed with different concrete strengths. *Eng. Struct.* **2010**, *32*, 297–305. [CrossRef]

(다) Evaluation of Mechanical Properties and Flexural Behavior of FRCM System Composed of Different Types of Textile Grids and AL powder

-논문정보: Min-su Jo, Hyeong-gook Kim, Yong-Jun Lee, Dong-hwan Kim, Kil-Hee Kim, “Evaluation of Mechanical Properties and Flexural Behavior of FRCM System Composed of Different Types of Textile Grids and AL powder”, Construction and Building Materials, 국외게제(심사중), SCI논문

-논문내용: This experimental work aims to evaluate the flexural strengthening effectiveness as well as the mechanical characterization of different types of textile grids and AL (Aluminum) powder surface coatings. The experiment variables were weaving methods (Pillar stitch, Leno weave) and types of impregnations (SBR, EPOXY), AL power surface coating. The mechanical properties of FRCM systems have been evaluated by direct tensile and bending tests of FRCM, and flexural tests of RC beams. Direct tensile tests of FRCM have been performed with clevis grips (AC434.13). Bending tests of FRCM have been performed with ASTM C 1609M. Flexural behavior and performance were analyzed in flexural tests using reinforced concrete beams strengthened with FRCM systems. For flexural tests, nine reinforced concrete beams 2,500mm long, 150mm wide, and 250mm deep were fabricated. The RC beams were classified into two groups (1.5ρmin, 0.75ρmax) according to the rebar ratio, and consisted of two reference specimens and seven specimens externally strengthened with the FRCM system. Test results showed that the mechanical property of FRCM systems and the flexural capacity of RC beams highly depend on the weaving methods and the impregnation types of textile grids.



Construction and Building Materials 323 (2022) 126552

Contents lists available at ScienceDirect

Construction and Building Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat

Evaluation of mechanical properties and flexural behavior of FRCM system composed of different types of textile grid and AL powder

Min-Su Jo [a], Hyeong-Gook Kim [b], Yong-Jun Lee [b], Dong-Hwan Kim [b], Kil-Hee Kim [c,*]

[a] CamCon Co., Ltd., 13, Samhaksa-ro 11-gil, Songpa-gu, Seoul 05586, Republic of Korea
[b] Department of Architectural Engineering, Kongju National University, 1223-24, Cheonandaero, Seobuk, Cheonan 31080, Republic of Korea
[c] Department of Architectural Engineering, Kongju National University, 1223-24, Cheonandaero, Seobuk, Cheonan 31080, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Keywords:
FRCM composite system
Weaving method
Impregnation type
Aluminum powder coatings
Debonding failure

ABSTRACT

This experimental work aims to evaluate the flexural strengthening effectiveness of, as well as to mechanical characterize, the different types of textile grid and AL (Aluminum) powder surface coating. The experiment variables were weaving method (Pillar stitch, Leno weave) type of impregnation (SBR, EPOXY), and AL powder surface coating. The mechanical properties of FRCM systems were evaluated by direct tensile and bending tests of FRCM and flexural tests of RC beams. Direct tensile tests of FRCM were performed with clevis grips (AC434.13). Bending tests of FRCM were performed with ASTM C 1609 M. Flexural behavior and performance were analyzed in flexural tests using reinforced concrete beams strengthened with FRCM systems. For flexural tests, nine reinforced concrete beams 2,500 mm long, 150 mm wide, and 250 mm deep were fabricated. The RC beams were classified into two groups according to the rebar ratio ($1.5\rho_{min}$, $0.75\rho_{max}$), and consisted of two reference specimens and seven specimens externally strengthened with the FRCM system. Test results showed that the mechanical property of FRCM systems and the flexural capacity of RC beams highly depend on the weaving methods and the impregnation types of textile grids.

1. Introduction

With growing interest in the safety of structures due to load changes, etc., as buildings are required to accommodate life changes, demand for advanced repair and strengthening systems is increasing. Among various conventional methods to strengthen reinforced concrete structures, systems using fiber-reinforced polymer (hereinafter, “FRP”) have been investigated vigorously since the 1990 s, and external bonding using FRP composite systems is the most popular strengthening method utilized on site [1]. FRP reinforcements offer advantages including high strength, high strength to weight ratio, high fatigue and corrosion resistance, and convenience of construction work. However, because organic polymers are used in the matrix comprising an FRP system, several shortcomings have been reported, such as inability to apply such systems to wet surfaces or at low temperatures, lack of permeability, and lack of compatibility with concrete substrates [2]. To overcome such problems of FRP composite systems, intensive studies have been performed recently on a new method of reinforcement using a fabric reinforced cementitious matrix (hereinafter, “FRCM”) [3–6]. FRCM systems represent a relatively new repair and strengthening technology for concrete or masonry structures. The FRCM system, which is attracting attention as a new structure strengthening method, uses a composite material composed of a textile grid and an inorganic matrix. An externally bonded FRCM system generally consists of one or more layers and inorganic matrices of 2D or 3D woven fiber fabric (hereinafter, “textile grid”).

Compared to FRP systems, FRCM systems have significantly enhanced performance at high temperatures because their textile grid is protected by an inorganic matrix [7]. Moreover, FRCM systems can be applied on wet surfaces and are protected from external influences such as UV exposure because their textile grid is not directly exposed to the outside. However, the mechanical effectiveness and flexural strengthening performance of FRCM systems are strongly influenced by the bond between the textile grid and the cementitious matrix, as well as by the bond performance between the FRCM system and the concrete surface. According to the results of prior research (Banholzer B. et. al, 2004), reduced bond performance between dry textile grids and cementitious matrix boundary surface was identified as the cause of undermined

* Corresponding author at: 1223-24, Cheonan-daero, Seobuk-gu, Cheonana-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea, Department of Architectural Engineering Kongju National University.
E-mail address: kimkh@kongju.ac.kr (K.-H. Kim).

https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126552
Received 13 August 2021; Received in revised form 31 December 2021; Accepted 19 January 2022
0950-0618/© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

(5) FRCM system-reinforced beams without AL powder coating failed due to slippage between the textile grid and the matrix, while FRCM system-reinforced beams coated with AL powder failed due to debonding between the concrete substrate and the FRCM composite system caused by intermediate cracks.
(6) In the S1 series beams, the ductility of the FRCM systems for each type of textile grid increased in the order of V-S-NON (2.5), S-E-NON (4.9), and H-E-NON (6.8) specimens, while the H-E-AL (5.1) specimen coated with AL powder showed lower ductility than that of the non-coated specimens.

CRediT authorship contribution statement

Min-Su Jo: Investigation, Writing – original draft. **Hyeong-Gook Kim:** Conceptualization, Methodology, Validation. **Yong-Jun Lee:** Investigation, Formal analysis. **Dong-Hwan Kim:** Investigation, Data curation. **Kil-Hee Kim:** Supervision, Writing – review & editing.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

This work was supported by a grant (21CTAP-C152175-03) from Technology Advancement Research Program (TARP) funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of the Korean government. This work was supported by the Priority Research Centers Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2019R1A6A1A03032988). And this work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2018R1A2B3001656).

References

[1] D.U. Choi, T.H.K. Kang, S.S. Ha, K.H. Kim, W.S. Kim, Flexural and Bond Behavior of Concrete Beams Strengthened with Hybrid Carbon-Glass Fiber Reinforced Polymer Sheets, ACI Structural Journal 108 (1) (2011) 90–98.
[2] T.A. Al-Salloum, H.M. Elsanadedy, S.H. Alsayed, R.A. Iqbal, Experimental and numerical study for the shear strengthening of reinforced concrete beams using textile-reinforced mortar, Journal of Composites for Construction 16 (1) (2012) 74–90.
[3] Brameshuber, W. Textile Reinforced Concrete—State of the Art Report of RILEM TC 208-TRC, 1st ed.; RILEM: Aachen, Germany, 2006; pp. 1–271.
[4] M. Herbrand, V. Adam, M. Classen, D. Kueres, J. Hegger, Strengthening of existing bridge structures for shear and bending with carbon textile-reinforced mortar, Materials 10 (2017) 1–15.
[5] V. Piso, A. Nanni, D. Arboleda, C. Roberts-Wollmann, T. Cousins, Repair of Damaged Prestressed Concrete Girders with FRP and FRCM Composites, Journal of Composites for Construction 21 (3) (2017) 1–14.
[6] L.N. Koutas, Z. Tetta, D.A. Bournas, T.C. Triantafillou, Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars: State-of-the-Art Review, J. Compos. Constr. 23 (2019) 03118001.
[7] L.A. Bisby, T.J. Stratford, E.C. Roy, M. Ward, in: Fibre reinforced cementitious matrix systems for fire-safe flexural strengthening of concrete: pilot testing at ambient temperatures, NetComposites Ltd, 2009, pp. 449–460.
[8] Banholzer B. Bond behavior of multi-filament yarn embedded in a cementitious matrix PhD. thesis Aachen, Germany: Rheinisch-Westfälische Technische.
[9] J. Donnini, V. Corinaldesi, “Mechanical characteristics of different FRCM systems for structural reinforcement, Construction and building materials 145 (2017) 565–575.
[10] J. Donnini, V. Corinaldesi, A. Nanni, Mechanical properties of FRCM using carbon fabrics with different coating treatments, Composites part B 88 (2016) 220–228.
[11] A. Bilotcker, R. Ortlepp, M. Curbach, Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear, Mater. Struct. 39 (8) (2006) 741–748.
[12] A. D'Ambrisi, F. Focacci, Flexural strengthening of RC beams with cement-based composites, J. Compos. Constr. 15 (5) (2011) 707–720.
[13] L. Ombres, Flexural analysis of reinforced concrete beams strengthened with a cement based high strength composite material, Composite Structures 94 (1) (2011) 143–155.
[14] L. Ombres, Debonding analysis of reinforced concrete beams strengthened with fibre reinforced cementitious mortar, Engineering Fracture Mechanics 81 (2012) 94–109.
[15] H.M. Elsanadedy, T.H. Almusallam, S.H. Alsayed, Y.A. Al-Salloum, Flexural strengthening of RC beams using textile rein- forced mortar—Experimental and numerical study, Compos. Struct. 97 (2013) 40–55.
[16] S. Babaeidarabad, G. Loreto, A. Nanni, Flexural strengthening of RC beams with an externally bonded fabric-reinforced cementitious matrix, J. Compos. Constr. 18 (5) (2014) 0401409, https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000475.
[17] G. Loreto, L. Leardini, D. Arboleda, A. Nanni, Performance of RC slab-type elements strengthened with fabric-reinforced cementitious matrix composites, J. Compos. Constr. 18 (3) (2014), https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000415.
[18] S. Yin, S. Xu, H. Lv, Flexural behavior of reinforced concrete beams with TRC tension zone cover, J. Mater. Civ. Eng. 26 (2) (2014) 320–330.
[19] Iso, 10406-2, Fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete-test methods-Part 2, FRP sheets (2015).
[20] ASTM C230, Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement, 2008.
[21] ISO. Cement—Test Methods—Determination of Strength. ISO 679: 2009.
[22] ASTM C1583/C1583M-13. Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair or Overlay Materials by Direct Tension (Pull-Off Method).
[23] AC 434-13, Acceptance criteria for masonry and concrete strengthening using fabric-reinforced cementitious matrix (FRCM) composite systems, 2013.
[24] ASTM C1609/C1609M-19a, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading), 2020.
[25] Jesse, F., Will, N., Curbach, M., Hegger, J. (2008). “Loadbearing behavior of TRC. “Textile reinforced concrete”.” American Concrete Institute Special Publication SP 250, symposium at the ACI fall convention 2005, November 6-10, Kansas City, Missouri, USA / ed: A. Dubey. Farmington Hills, Mich., ISBN: 978-0-87031-266-3, 978-1-605-60366-7, 1-605-60366-X.
[26] M. Butler, V. Mechtcherine, S. Hempel, Durability of textile reinforced concrete made with AR-glass fibre: Effect of the matrix composition, Mater. Struct. 43 (10) (2010) 1351–1368.
[27] M.-J. Kim, H.-G. Kim, Y.-J. Lee, D.-H. Kim, M.-S. Jo, K.-H. Kim, Evaluation of Bond Properties of a Fabric Reinforced Cementitious Matrix for Strengthening of Concrete Structures, MDPI, Applied sciences article 10 (11) (2020) 3767, https://doi.org/10.3390/app10113767.
[28] S.G. Kim, Evaluation of static and impact behavior of 3D-textile reinforced cementitious composites, PhD thesis, SEJONG, Korea (2020.02.).
[29] U. Ebead, K.C. Shrestha, M.S. Afzal, A. El Refai, A. Nanni, effectiveness of fabric-reinforced cementitious matrix in strengthening reinforced concrete beams, J. Compos. Constr. 21 (2) (2017) 04016084, https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000741.
[30] M.J.N. Priestley, F. Seible, M. Calvi, Seismic Design Retrofit of Bridges, John Willey and Sons Inc., 1996.

(라) Mechanical characterization of a FRCM system with aramid fiber fabric embedded in green high-strength cementitious matrix

-논문정보: Munkhtuvshin Ochirbud, Donguk Choi, Undram Naidanjav, S.-S. Ha, C.-Y. Lee, “Mechanical characterization of a FRCM system with aramid fiber fabric embedded in green high-strength cementitious matrix”, Journal of Asian concrete Federation, Vol. 6, No 2, 2020, pp. 1~13, 국외게재논문, 비SCI논문

-논문내용: Fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) system can be applied to strengthen existing RC structures. In this experimental study, aramid fiber (AF) mesh was used along with green high-strength mortar (f'c = 75.6 MPa) incorporating fine waste glass powder as partial replacement of cement and 100% recycled fine aggregate. Test objective was to provide basic design parameters through me-chanical characterization of the AF-FRCM system. Three different types of tests were conducted: Uni-axial test of tensile specimens; flexural test of composite short beams; and pull-off test of thin FRCM placed on top of normal strength concrete. Thickness of FRCM was about 10 mm while the volumetric ratio of the fiber fabric to gross volume was 1.3% (0.65% in each direction). Tensile test results showed that the load-displacement relationship of the FRCM was relatively ductile, while tensile behavior of the AF governed at the peak load. Nominal tensile strength of the FRCM cross-section was 6.4 MPa at 4.6% strain of the composite material. Short beam strength of 1.3 MPa was determined from flexural test of composite short beams (or interlaminar shear test) performed following ASTM D2344M. In the pull-off test, two different failure modes were identified: Interface failure or substrate failure in tension. Average pull-off strength was 2.84 MPa. Design values were suggested based on current test results of the AF-FRCM.

Journal of Asian Concrete Federation
Vol. 6, No. 2, pp. 1-13, December 2020
ISSN 2465-7964 / eISSN 2465-7972
https://doi.org/10.18702/acf.2020.12.6.2.1

Technical Paper

Mechanical characterization of a FRCM system with aramid fiber fabric embedded in green high-strength cementitious matrix

Munkhtuvshin Ochirbud, Donguk Choi*, Undram Naidanjav, S.-S. Ha, C.-Y. Lee

(Received August 13, 2020; Revised October 26, 2020; Accepted October 28, 2020; Published December 31, 2020)

Abstract: Fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) system can be applied to strengthen existing RC structures. In this experimental study, aramid fiber (AF) mesh was used along with green high-strength mortar (f'_c = 75.6 MPa) incorporating fine waste glass powder as partial replacement of cement and 100% recycled fine aggregate. Test objective was to provide basic design parameters through me-chanical characterization of the AF-FRCM system. Three different types of tests were conducted: Uni-axial test of tensile specimens; flexural test of composite short beams; and pull-off test of thin FRCM placed on top of normal strength concrete. Thickness of FRCM was about 10 mm while the volumetric ratio of the fiber fabric to gross volume was 1.3% (0.65% in each direction). Tensile test results showed that the load-displacement relationship of the FRCM was relatively ductile, while tensile behavior of the AF governed at the peak load. Nominal tensile strength of the FRCM cross-section was 6.4 MPa at 4.6% strain of the composite material. Short beam strength of 1.3 MPa was determined from flexural test of composite short beams (or interlaminar shear test) performed following ASTM D2344M. In the pull-off test, two different failure modes were identified: Interface failure or substrate failure in tension. Average pull-off strength was 2.84 MPa. Design values were suggested based on current test results of the AF-FRCM.

Keywords: FRCM; aramid fiber; green high-strength mortar; tensile test; composite short beam; pull-off test.

1 Introduction

Fabric-reinforced cementitious matrix (FRCM) system is a relatively new technology in the area of strengthening and repair of RC and masonry structures. Externally-bonded FRCM system typically consists of one or more layers of 2D or 3D fiber fabric and the cementitious matrix in which the fiber fabric is embedded. The performance of the FRCM system at elevated temperatures is significantly enhanced compared to that of the external fiber reinforced polymer (FRP) strengthening as the fiber fabric is protected in the inorganic cementitious matrix [1]. The FRCM technology is applicable to wet surface. As the fibers are not directly exposed to outdoor environment, the fiber fabric is prevented from outdoor weathering such as ultra violet exposure. The FRCM technology has originally evolved from the ferrocement, where the metallic reinforcement is replaced by fabrics of dry fibers [2].

Research performed to define mechanical properties of the FRCM system and develop more efficient technology to strengthen RC members have been active during the last decade. Existing studies on the mechanical characterization of the FRCM system include tensile behavior of the FRCM, bond and/or pull-off behavior of FRCM bonded to concrete, and interlaminar shear behavior [3-10]. Many researchers concentrated on the behavior of the FRCM-strengthened RC members such as flexural

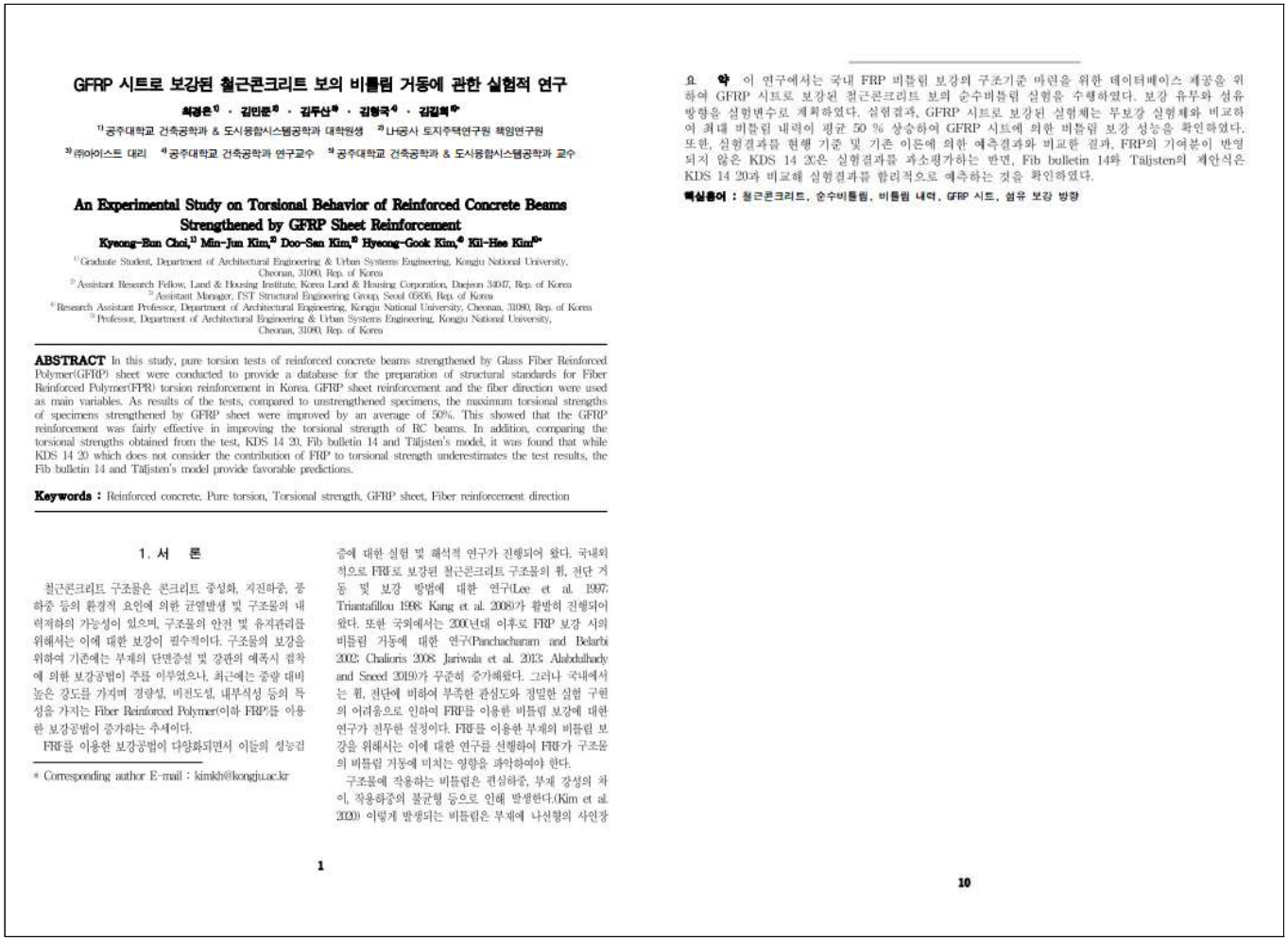
Munkhtuvshin Ochirbud *is a M.S. student of the School of Architecture, Hankyong National University, South Korea.*
Corresponding author Donguk Choi *is a Professor in the School of Architecture & Design Convergence, Hankyong National University, South Korea.*
Undram Naidanjav *is a M.S. student of the School of Architecture, Hankyong National University, South Korea.*
S.-S. Ha *is a Professor of the Divison of Real Estate and Construction Engineering, Kangnam University, South Korea.*
C.-Y. Lee *is a Principal Researcher and CEO of CareCon, Ltd, South Korea.*

aramid fabric reinforced cementitious matrix for strengthening masonry structures," Composites Part B: Engineering, vol. 127, pp. 175-195.
23. Ascione, L.; De Felice, G.; and De Santis, S. (2015) "A qualification method for externally bonded Fibre Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) strengthening systems," Composite Part B: Engineering, vol. 78: pp. 497-506.
24. ASTM D2344M (2016) Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
25. ISO 10406-2 (2015) Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – test methods – Part 2: FRP sheets, Geneva, Switzerland.
26. Choi, D.-U.; Fowler, D.W.; and Wheat, D.L. (1996) "Thermal Stresses in Polymer Concrete Overlays," American Concrete Institute, Special Publication SP-166, Properties and Uses of Polymers in Concrete, pp. 93-122.
27. Soliman, N.A.; and Tagnit-Hamou, A. (2017) "Partial substitution of silica fume with fine glass powder in UHPC: Filling the micro gap," Construction and Building Materials, vol. 139, pp. 374-383.
28. KS L 5105 (2007) Testing method for compressive strength of hydraulic mortar, Korean Agency for Technology and Standards (KATS).
29. ASTM D642 (2013) Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
30. KS F 2527 (2018) Concrete aggregates, Korean Agency for Technology and Standards (KATS).
31. Chinzorigt, G.; Lim, M.K.; Yu, M.; Lee, H.; Enkbold, O.; and Choi, D. (2020) "Strength, shrinkage and creep and durability aspects of concrete including CO_2 treated recycled fine aggregate," Cement and Concrete research, vol. 136, pp. 10606?
32. ASTM STP763, Measuring Surface Texture by the Sand-Patch Method, ASTM International, West Conshohocken, PA.
33. ACI 209R (1992) Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

(마) GFRP 시트로 보강된 철근콘크리트 보의 비틀림 거동에 관한 실험적 연구

-논문정보: 최경은, 김민준, 김두산, 김형국, 김길희, “GFRP 시트로 보강된 철근콘크리트 보의 비틀림 거동에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집 2022년 2월호 게재 예정, 비SCI논문

-논문내용: In this study, pure torsion tests of reinforced concrete beams strengthened by Glass Fiber Reinforced Polymer(GFRP) sheet were conducted to provide a database for the preparation of structural standards for Fiber Reinforced Polymer(FPR) torsion reinforcement in Korea. GFRP sheet reinforcement and the fiber direction were used as main variables. As results of the tests, compared to unstrengthened specimens, the maximum torsional strengths of specimens strengthened by GFRP sheet were improved by an average of 50%. This showed that the GFRP reinforcement was fairly effective in improving the torsional strength of RC beams. In addition, comparing the torsional strengths obtained from the test, KDS 14 20, Fib bulletin 14 and Täljsten’s model, it was found that while KDS 14 20 which does not consider the contribution of FRP to torsional strength underestimates the test results, the Fib bulletin 14 and Täljsten’s model provide favorable predictions.



GFRP 시트로 보강된 철근콘크리트 보의 비틀림 거동에 관한 실험적 연구

최경은[1] · 김민준[2] · 김두산[3] · 김형국[4] · 김길희[5*]

[1]공주대학교 건축공학과 & 도시융합시스템공학과 대학원생 [2]나궁사 토지주택연구원 책임연구원

[3]㈜아이스트 대리 [4]공주대학교 건축공학과 연구교수 [5]공주대학교 건축공학과 & 도시융합시스템공학과 교수

An Experimental Study on Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by GFRP Sheet Reinforcement

Kyeong-Eun Choi,[1] Min-Jun Kim,[2] Doo-San Kim,[3] Hyeong-Gook Kim,[4] Kil-Hee Kim[5*]

[1] Graduate Student, Department of Architectural Engineering & Urban Systems Engineering, Kongju National University, Cheonan, 31080, Rep. of Korea

[2] Assistant Research Fellow, Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation, Daejeon 34047, Rep. of Korea

[3] Assistant Manager, IST Structural Engineering Group, Seoul 05836, Rep. of Korea

[4] Research Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan, 31080, Rep. of Korea

[5] Professor, Department of Architectural Engineering & Urban Systems Engineering, Kongju National University, Cheonan, 31080, Rep. of Korea

ABSTRACT In this study, pure torsion tests of reinforced concrete beams strengthened by Glass Fiber Reinforced Polymer(GFRP) sheet were conducted to provide a database for the preparation of structural standards for Fiber Reinforced Polymer(FPR) torsion reinforcement in Korea. GFRP sheet reinforcement and the fiber direction were used as main variables. As results of the tests, compared to unstrengthened specimens, the maximum torsional strengths of specimens strengthened by GFRP sheet were improved by an average of 50%. This showed that the GFRP reinforcement was fairly effective in improving the torsional strength of RC beams. In addition, comparing the torsional strengths obtained from the test, KDS 14 20, Fib bulletin 14 and Täljsten's model, it was found that while KDS 14 20 which does not consider the contribution of FRP to torsional strength underestimates the test results, the Fib bulletin 14 and Täljsten's model provide favorable predictions.

Keywords : Reinforced concrete, Pure torsion, Torsional strength, GFRP sheet, Fiber reinforcement direction

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 콘크리트 중성화, 지진하중, 풍하중 등의 환경적 요인에 의한 균열발생 및 구조물의 내력저하의 가능성이 있으며, 구조물의 안전 및 유지관리를 위해서는 이에 대한 보강이 필수적이다. 구조물의 보강을 위하여 기존에는 부재의 단면증설 및 강판의 에폭시 접착에 의한 보강공법이 주를 이루었으나, 최근에는 중량 대비 높은 강도를 가지며 경량성, 비전도성, 내부식성 등의 특성을 가지는 Fiber Reinforced Polymer(이하 FRP)를 이용한 보강공법이 증가하는 추세이다.

FRP를 이용한 보강공법이 다양화되면서 이들의 성능검증에 대한 실험 및 해석적 연구가 진행되어 왔다. 국내외적으로 FRP로 보강된 철근콘크리트 구조물의 휨, 전단 거동 및 보강 방법에 대한 연구(Lee et al. 1997; Triantafillou 1998; Kang et al. 2008)가 활발히 진행되어 왔다. 또한 국외에서는 2000년대 이후로 FRP 보강 시의 비틀림 거동에 대한 연구(Panchacharam and Belarbi 2002; Chalioris 2008; Jariwala et al. 2013; Alabdulhady and Sneed 2019)가 꾸준히 증가해왔다. 그러나 국내에서는 휨, 전단에 비하여 부족한 관심도와 정밀한 실험 구현의 어려움으로 인하여 FRP를 이용한 비틀림 보강에 대한 연구가 전무한 실정이다. FRP를 이용한 부재의 비틀림 보강을 위해서는 이에 대한 연구를 선행하여 FRP가 구조물의 비틀림 거동에 미치는 영향을 파악하여야 한다.

구조물에 작용하는 비틀림은 편심하중, 부재 강성의 차이, 작용하중의 불균형 등으로 인해 발생한다.(Kim et al. 2020) 이렇게 발생되는 비틀림은 부재에 나선형의 사인장

* Corresponding author E-mail : kimkh@kongju.ac.kr

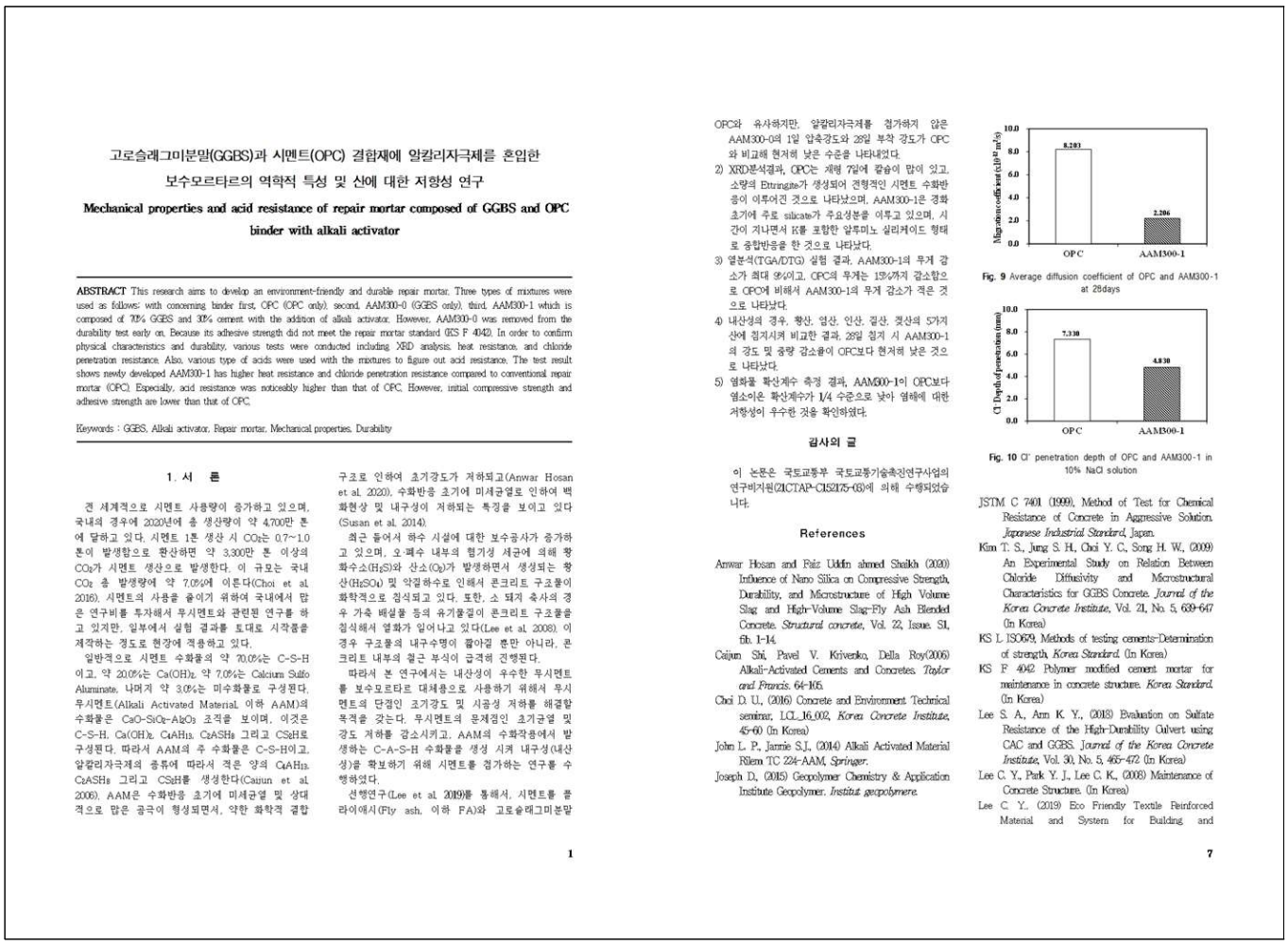
요 약 이 연구에서는 국내 FRP 비틀림 보강의 구조기준 마련을 위한 데이터베이스 제공을 위하여 GFRP 시트로 보강된 철근콘크리트 보의 순수비틀림 실험을 수행하였다. 보강 유무와 섬유방향을 실험변수로 계획하였다. 실험결과, GFRP 시트로 보강된 실험체는 무보강 실험체와 비교하여 최대 비틀림 내력이 평균 50 % 상승하여 GFRP 시트에 의한 비틀림 보강 성능을 확인하였다. 또한, 실험결과를 현행 기준 및 기존 이론에 의한 예측결과와 비교한 결과, FRP의 기여분이 반영되지 않은 KDS 14 20은 실험결과를 과소평가하는 반면, Fib bulletin 14와 Täljsten의 제안식은 KDS 14 20과 비교해 실험결과를 합리적으로 예측하는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 철근콘크리트, 순수비틀림, 비틀림 내력, GFRP 시트, 섬유 보강 방향

(바) 고로슬래그미분말(GGBS)과 시멘트(OPC) 결합재에 알칼리자극제를 혼입한 보수모르타르의 역학적 특성 및 산에 대한 저항성 연구

-논문정보: 조민수, 최은석, 이진용, “고로슬래그미분말(GGBS)과 시멘트(OPC) 결합재에 알칼리자극제를 혼입한 보수모르타르의 역학적 특성 및 산에 대한 저항성 연구”, 한국콘크리트학회 논문집 심사중, 비SCI논문

-논문내용: This research aims to develop an environment-friendly and durable repair mortar. Three types of mixtures were used as follows; with concerning binder first, OPC (OPC only). second, AAM300-0 (GGBS only). third, AAM300-1 which is composed of 70% GGBS and 30% cement with the addition of alkali activator. However, AAM300-0 was removed from the durability test early on. Because its adhesive strength did not meet the repair mortar standard (KS F 4042). In order to confirm physical characteristics and durability, various tests were conducted including XRD analysis, heat resistance, and chloride penetration resistance. Also, various type of acids were used with the mixtures to figure out acid resistance. The test result shows newly developed AAM300-1 has higher heat resistance and chloride penetration resistance compared to conventional repair mortar (OPC). Especially, acid resistance was noticeably higher than that of OPC. However, initial compressive strength and adhesive strength are lower than that of OPC.



고로슬래그미분말(GGBS)과 시멘트(OPC) 결합재에 알칼리자극제를 혼입한
보수모르타르의 역학적 특성 및 산에 대한 저항성 연구

Mechanical properties and acid resistance of repair mortar composed of GGBS and OPC binder with alkali activator

ABSTRACT This research aims to develop an environment-friendly and durable repair mortar. Three types of mixtures were used as follows; with concerning binder first, OPC (OPC only). second, AAM300-0 (GGBS only). third, AAM300-1 which is composed of 70% GGBS and 30% cement with the addition of alkali activator. However, AAM300-0 was removed from the durability test early on. Because its adhesive strength did not meet the repair mortar standard (KS F 4042). In order to confirm physical characteristics and durability, various tests were conducted including XRD analysis, heat resistance, and chloride penetration resistance. Also, various type of acids were used with the mixtures to figure out acid resistance. The test result shows newly developed AAM300-1 has higher heat resistance and chloride penetration resistance compared to conventional repair mortar (OPC). Especially, acid resistance was noticeably higher than that of OPC. However, initial compressive strength and adhesive strength are lower than that of OPC.

Keywords : GGBS, Alkali activator, Repair mortar, Mechanical properties, Durability

1. 서 론

전 세계적으로 시멘트 사용량이 증가하고 있으며, 국내의 경우에 2020년에 총 생산량이 약 4,700만 톤에 달하고 있다. 시멘트 1톤 생산 시 CO_2는 0.7~1.0톤이 발생함으로 환산하면 약 3,300만 톤 이상의 CO_2가 시멘트 생산으로 발생한다. 이 규모는 국내 CO_2 총 발생량에 약 7.0%에 이른다(Choi et al. 2016). 시멘트의 사용을 줄이기 위하여 국내에서 많은 연구비를 투자해서 무시멘트와 관련된 연구를 하고 있지만, 일부에서 실험 결과를 토대로 시작품을 제작하는 정도로 현장에 적용하고 있다.

일반적으로 시멘트 수화물의 약 70.0%는 C-S-H이고, 약 20.0%는 $Ca(OH)_2$, 약 7.0%는 Calcium Sulfo Aluminate, 나머지 약 3.0%는 미수화물로 구성된다. 무시멘트(Alkali Activated Material, 이하 AAM)의 수화물은 CaO-SiO_2-Al_2O_3 조직을 보이며, 이것은 C-S-H, $Ca(OH)_2$, C_4AH_{13}, C_2ASH_8 그리고 CSH로 구성된다. 따라서 AAM의 주 수화물은 C-S-H이고, 알칼리자극제의 종류에 따라서 적은 양의 C_4AH_{13}, C_2ASH_8 그리고 CSH를 생성한다(Caijun et al. 2006). AAM은 수화반응 초기에 미세균열 및 상대적으로 많은 공극이 형성되면서, 약한 화학적 결합 구조로 인하여 초기강도가 저하되고(Anwar Hosan et al. 2020), 수화반응 초기에 미세균열로 인하여 백화현상 및 내구성이 저하되는 특징을 보이고 있다(Susan et al. 2014).

최근 들어서 하수 시설에 대한 보수공사가 증가하고 있으며, 오·폐수 내부의 혐기성 세균에 의해 황화수소(H_2S)와 산소(O_2)가 발생하면서 생성되는 황산(H_2SO_4) 및 약알하수로 인해서 콘크리트 구조물이 화학적으로 침식되고 있다. 또한, 소 돼지 축사의 경우 가축 배설물 등의 유기물질이 콘크리트 구조물을 침식해서 열화가 일어나고 있다(Lee et al. 2008). 이 경우 구조물의 내구수명이 짧아질 뿐만 아니라, 콘크리트 내부의 철근 부식이 급격히 진행된다.

따라서 본 연구에서는 내산성이 우수한 무시멘트를 보수모르타르 대체용으로 사용하기 위해서 무시멘트의 단점인 초기강도 및 시공성 저하를 해결할 목적을 갖는다. 무시멘트의 문제점인 초기균열 및 강도 저하를 감소시키고, AAM의 수화작용에서 발생하는 C-A-S-H 수화물을 생성 시켜 내구성(내산성)을 확보하기 위해 시멘트를 첨가하는 연구를 수행하였다.

선행연구(Lee et al. 2019)를 통해서, 시멘트를 플라이애시(Fly ash, 이하 FA)와 고로슬래그미분말(GGBS)로 치환하여 알칼리자극제를 혼입한 AAM300-0의 1일 압축강도와 28일 부착 강도가 OPC와 비교해 현저히 낮은 수준을 나타내었다.

1) XRD분석결과, OPC는 재령 7일에 칼슘이 많이 있고, 소량의 Ettringite가 생성되어 전형적인 시멘트 수화반응이 이루어진 것으로 나타났으며, AAM300-1은 경화초기에 주로 silicate가 주요성분을 이루고 있으며, 시간이 지나면서 Si를 포함한 알루미노 실리케이트 형태로 중합반응을 한 것으로 나타났다.
2) 열분석(TGA/DTG) 실험 결과, AAM300-1의 무게 감소가 최대 8%이고, OPC의 무게는 13%까지 감소함으로 OPC에 비해서 AAM300-1의 무게 감소가 적은 것으로 나타났다.
3) 내산성의 경우, 황산, 염산, 인산, 질산, 초산의 5가지 산에 침지시켜 비교한 결과, 28일 침지 시 AAM300-1의 강도 및 중량 감소율이 OPC보다 현저히 낮은 것으로 나타났다.
4) 염화물 확산계수 측정 결과, AAM300-1이 OPC보다 염소이온 확산계수가 1/4 수준으로 낮아 염해에 대한 저항성이 우수한 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(21CTAP-C152175-03)에 의해 수행되었습니다.

References

Anwar Hosan and Faiz Uddin ahmed Shaikh (2020) Influence of Nano Silica on Compressive Strength, Durability, and Microstructure of High Volume Slag and High-Volume Slag-Fly Ash Blended Concrete. *Structural concrete*, Vol. 22, Issue. S1, fib. 1-14.

Caijun Shi, Pavel V. Krivenko, Della Roy(2006) Alkali-Activated Cements and Concretes. *Taylor and Francis*. 64-105.

Choi D. U., (2016) Concrete and Environment Technical seminar, LCL_16_002, *Korea Concrete Institute*, 45-60 (In Korea)

John L. P., Jannie S.J., (2014) Alkali Activated Material Rilem TC 224-AAM, *Springer*.

Joseph D., (2015) Geopolymer Chemistry & Application Institute Geopolymer. *Institut geopolymere*.

JSTM C 7401 (1999), Method of Test for Chemical Resistance of Concrete in Aggressive Solution. *Japanese Industrial Standard*, Japan.

Kim T. S., Jung S. H., Choi Y. C., Song H. W., (2009) An Experimental Study on Relation Between Chloride Diffusivity and Microstructural Characteristics for GGBS Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 21, No. 5, 639-647 (In Korea)

KS L ISO679, Methods of testing cements-Determination of strength. *Korea Standard*. (In Korea)

KS F 4042 Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure. *Korea Standard*. (In Korea)

Lee S. A., Ann K. Y., (2018) Evaluation on Sulfate Resistance of the High-Durability Culvert using CAC and GGBS. *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 30, No. 5, 465-472 (In Korea)

Lee C. Y., Park Y. J., Lee C. K., (2008) Maintenance of Concrete Structure. (In Korea)

Lee C. Y., (2019) Eco Friendly Textile Reinforced Material and System for Building and

Fig. 9 Average diffusion coefficient of OPC and AAM300-1 at 28days

Fig. 10 Cl⁻ penetration depth of OPC and AAM300-1 in 10% NaCl solution

(사) 텍스타일 그리드의 표면처리에 따른 FRCM시스템으로 보강한 RC 보의 휨 성능 평가

-논문정보: 최진형, 이용준, 조민수, 방일석, 김길희, “텍스타일 그리드의 표면처리에 따른 FRCM시스템으로 보강한 RC 보의 휨성능 평가”, 한국콘크리트학회 가을 학술대회 논문집, 2021, pp. 25~26, 국내 학술대회논문, 비SCI논문

-논문내용: 이 연구에서는 최근 노후 철근콘크리트 구조물의 보강공법으로 주목받는 FRCM(Fabric Reinforced Cementitious matrix)시스템으로 보 저면을 보강한 철근콘크리트 보의 휨 실험을 수행하였다. 실험 변수는 FRCM 시스템 적용 유무 및 텍스타일 그리드 표면처리 방법이다. 실험결과, 무보강 실험체와 비교하여 FRCM 시스템을 적용한 실험체의 휨 강도는 약 44% 향상되었다. 또한, 표면처리 방법에 따른 보의 휨강도는 유사하였으나 파괴모드가 변화되는 것을 확인하였다.

텍스타일 그리드의 표면처리에 따른 FRCM 시스템으로 보강한 RC 보의 휨성능 평가

Evaluation of Flexural Performance of RC Beams Strengthened by FRCM System with Different Surface Treatments of Textile Grid

최 진 형* 이 용 준** 조 민 수*** 방 일 석**** 김 길 희*****

Choi, Jin-Hyeong Lee, Yong-Jun Jo, Min-Su Bang, Il-suk Kim, Kil-Hee

ABSTRACT

In this study, a flexural test of reinforced concrete beams externally strengthened by FRCM (Fabric Reinforced Cementitious matrix) systems, which have recently attracting attention as a reinforcement method for old RC structures, was conducted. Experimental variables are the application of FRCM systems and the surface treatment of textile grids. As a result of the test, it was confirmed that the flexural strength of the specimen strengthened by the FRCM system was improved by about 44% compared to the non-reinforced specimen. Furthermore, the failure mode was found to be changed.

요 약

이 연구에서는 최근 노후 철근콘크리트 구조물의 보강공법으로 주목받는 FRCM(Fabric Reinforced Cementitious matrix)시스템으로 보 저면을 보강한 철근콘크리트 보의 휨 실험을 수행하였다. 실험 변수는 FRCM 시스템 적용 유무 및 텍스타일 그리드 표면처리 방법이다. 실험결과, 무보강 실험체와 비교하여 FRCM 시스템을 적용한 실험체의 휨 강도는 약 44% 향상되었다. 또한, 표면처리 방법에 따른 보의 휨강도는 유사하였으나 파괴모드가 변화되는 것을 확인하였다.

1. 서 론

최근 RC 구조물은 노후화에 따른 휨성능 저하 및 요구되는 하중의 증가로 구조물 안전성에 대한 관심이 높아지면서 FRCM 복합재를 이용한 보수 및 보강 공법이 주목받고 있다. FRCM 시스템은 텍스타일 그리드 및 무기계 접착제로 구성되며 부착특성이 RC 보의 기계적 성능을 발휘하는데 중요한 영향을 미친다. 따라서 이 연구에서는 FRCM 시스템의 보강 유무에 따른 휨성능과 AL 파우더 표면코팅 유무가 FRCM 시스템의 물리적 특성 및 RC 보의 휨 거동 특성에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험 방법 및 사용재료

실험체는 전단파괴 이전에 휨파괴가 선행되도록 계획하였으며, 길이 2,500mm, 보의 폭 150mm, 높이 250mm로 동일하게 계획하였다. 모든 실험체의 주철근 및 압축철근, 전단보강근에는 D-10 철근을 사용하였다. 실험체 상세도와 실험체 계획은 그림 1과 표 1에 각각 나타내었다.

* 준회원, 공주대학교, 건축공학과& 도시융합시스템공학과, 학석사연계과정
** 정회원, 공주대학교, 스마트자연공간연구소, 연구교수
*** 정회원, ㈜케어콘, 차장
**** 정회원, ㈜이스트구조, 대표이사
***** 정회원, 공주대학교, 건축공학과& 도시융합시스템공학과, 교수, kimkh@kongju.ac.kr

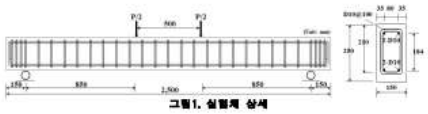


그림 1. 실험체 상세

표 1. 실험체 일람

Specimen	Sectional properties							Strengthening material	Surface coating
	f_{ck} (MPa)	f_y (MPa)	a/d	ρ_s (%)	ρ_{FRP}	ρ_{FRP}	s (mm)		
B-C	24	450	4.0	0.453	0.311	1.518	100	-	-
B-HI								HI-GRID	-
B-HI-AL									AL

f_{ck}: 콘크리트 압축강도, f_y: 주철근 및 압축철근, 전단철근 항복강도 ρ_s: 철근 보강근비, ρ_{FRP}: 최소 철근 보강비
ρ_{FRP}: 최대 철근 보강비

3. 실험결과

그림 2는 FRCM의 보강 유·무와 표면처리 유·무에 따른 RC보 부재의 휨 성능 비교를 나타낸다. 실험 결과, AL 파우더 도포 유무와 관계없이 HI-GRID로 보강한 실험체의 최대내력은 무보강 실험체에 비해 약 44% 증가하였다. 파괴모드의 경우, AL 파우더를 도포 없이 FRCM 시스템으로 보강한 보는 텍스타일 그리드와 매트릭스 사이의 미끄러짐에 의하여 파괴하였으며, AL 파우더를 도포하고 FRCM 시스템으로 보강된 보는 중앙부 균열에 의한 콘크리트 기질과 FRCM 복합재 사이의 debonding에 의해 파괴되었다.

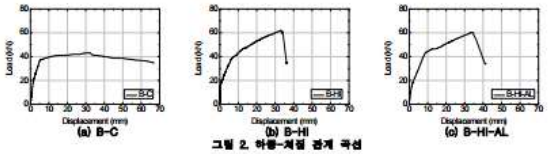


그림 2. 하중-처짐 관계 곡선

4. 결 론

이 연구에서는 RC보 부재의 휨성능 향상을 위하여 FRCM 매트릭스를 보강 및 AL파우더 도포 유·무에 따른 FRCM 복합재의 물리적 특성 및 휨 거동 특성을 평가하였다. 도출된 결론은 다음과 같다.

1) FRCM 시스템으로 보강한 보의 최대 내력이 44% 증가하였으며, AL 파우더 도포 유·무에 의한 보의 내력 상승은 미미한 것으로 확인하였다.
2) AL 파우더를 도포하지 않은 FRCM 시스템의 경우 텍스타일 그리드와 매트릭스 사이의 미끄러짐에 의해 파괴하였으며, AL 파우더를 도포한 FRCM 시스템의 경우 콘크리트 기질과 FRCM 복합재 사이의 debonding이 보강된 RC 보의 최대내력을 결정하는 주요 인자임을 확인하였다..

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부의 재원으로 한국연구재단 지원의 기초연구사업(2018R1A2B3001656) 및 2019년도 정부의 재원으로 한국연구재단 지원의 기초연구사업(2019R1I1A3A01058156), 2019년도 교육부의 재원으로 중점연구소지원사업(2019R1A6A1A03032888)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. Shiping Yin. et at al, Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with TRC Tension Zone Cover

(아) 원형봉강으로 외부를 보강한 철근콘크리트 기둥의 전단성능 평가

-논문정보: 김장효, 최진형, 강성원, 최경은, 조민수, 김길희, “원형봉강으로 외부를 보강한 철근콘크리트 기둥의 전단성능 평가”, 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술대회 논문집, 2021, pp. 179, 국내 학술대회논문, 비SCI논문

-논문내용: 이 연구에서는 원형봉강으로 외부를 보강한 철근콘크리트 기둥의 전단성능을 평가하기 위해 외부전단 보강 유무를 변수로 한 2체의 실험체를 제작해, 역대칭 휨모멘트 모사가 가능한 가력장치를 이용해 반복가력을 수행하였다. 실험결과, 제안 외부 보강공법은 실험체의 최대내력 및 연성 등의 내진성능 향상에 효과적임을 확인하였다.

원형봉강으로 외부를 보강한 철근콘크리트 기둥의 전단성능 평가

Evaluation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns Externally Strengthened by Round Steel Bars

김장효* 최진형* 강성원** 최경은** 조민수*** 김길희****
Kim, Jang-Hyo Choi, Jin-hyeong Kang, Seong-Won Choi, Kyeong-Eun Jo, Min-Su Kim, Kil-Hee

요 약

이 연구에서는 원형봉강으로 외부를 보강한 철근콘크리트 기둥의 전단성능을 평가하기 위해 외부전단 보강 유무를 변수로 한 2체의 실험체를 제작해, 역대칭 휨모멘트 모사가 가능한 가력장치를 이용해 반복가력을 수행하였다. 실험결과, 제안 외부 보강공법은 실험체의 최대내력 및 연성 등의 내진성능 향상에 효과적임을 확인하였다.

키워드 : 내진성능, 원형봉강, 외부보강 / Keywords : Seismic Performance, Round Steel Bar, External Reinforcement

1. 서론

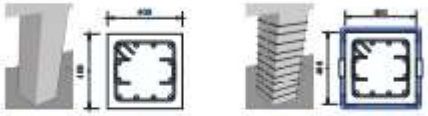
횡보강근량 부족에 따른 띠철근 갈고리 풀림, 주철근 좌굴 및 전단저항성능 감소는 철근콘크리트 기둥 부재의 취성적 파괴를 유발한다. 최근 발생한 국내 지진으로 RC 골조의 내진보강 공법에 대한 관심이 증가하고 있다. 이 연구에서는 사각형상의 원형봉강으로 외부를 보강한 철근콘크리트 기둥의 전단성능을 실험적으로 평가하였다.

2. 실험체 계획

실험체 계획에 있어 외부보강 유무를 주요 변수로 선정하였으며, 모든 실험체는 최종 전단파괴 하도록 설계하였다. 사용된 콘크리트의 배합강도는 30MPa이며, 외부보강 적용 실험체는 실험체 모서리에 L형강을 설치하고 기배근된 횡보강근에 200mm 간격으로 사각형상의 원형강봉을 추가 배근하였다. Fig.1은 실험체 상세를 나타내며, 사용된 강재의 종류 및 물리적 특성은 Table.1 에 정리하였다.

3. 실험 결과

주요 실험결과는 Table.2에 정리하였으며, Fig.2는 하중-변형각 관계를 나타낸다. 실험체 R-N 및 R-H의 최대내력은 각각 -350.2kN, 448kN으로 기존 공법과 비교해 개발 외부보강공법을 적용한 R-H실험체의 최대내력이 28% 향상되었다. 또한, 실험체 R-N 및 R-H의 연성은 각각 1.94, 2.87로 R-N 실험체보다 30% 향상된 연성능력을 나타냈다.



(a) Specimen R-N (b) Specimen R-H

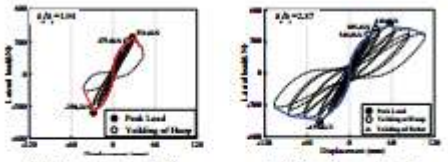
Fig.1 Details of specimens

Table.1 Material properties

Objective	Steel bar	Yield stress	Yield strain	Remarks
Rebar	12-D22	651 MPa	0.0034	Deformed steel bar
Transverse reinf.	D10	454 MPa	0.0027	
External reinf.	ϕ13.2mm	796 MPa	0.0028	Round steel bar

Table.2 Test Results

Specimen		At yielding of hoop		At yielding of rebar		At peak strength	
		Load (kN)	Displ. (mm)	Load (kN)	Displ. (mm)	Load (kN)	Displ. (mm)
1	R-N	273.9	20.09	-	-	334.6	27.66
						-350.2	-28.13
2	R-H	348.9	36.96	405.4	26.64	448.0	57.86
						-439.6	-41.97



(a) Specimen R-N (b) Specimen R-H

Fig.2 Load-Displacement relations

4. 결론

이 연구에서 제안하는 외부전단 보강공법이 적용된 전단 거동이 지배적인 RC 기둥의 전단성능 및 연성능력이 향상되었으며, 제안 전단보강공법은 휨성능에 비해 전단성능이 부족한 기존 철근콘크리트 건축물의 내진보강에 효과적임 실험적으로 확인하였다.

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2019R1A2A300000)과 2020년도 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(20CTAP-C152175-02)과 2019년도 과학기술정보통신부의 재원으로 과학벨트기능지구지원사업 (2015-DD-RD-0068-05)그리고 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 중점연구소지원사업 (2019R1A6A1A03032988)의 지원을 받아 수행되었음.

* 공주대학교 건축공학&도시융합시스템공학과 학석사연계과정
** 공주대학교 건축공학&도시융합시스템공학과 석사과정
*** ㈜제어론, 차장
**** 공주대학교 건축공학과&도시융합시스템공학과 교수

참고문헌

1. 신성우, 유석형, 안종문, 이광수, "고강도 철근 콘크리트 보의 휨 설계 및 연성능력", 한국콘크리트학회, Vol. 8, No. 6, 1996, pp. 141-149.
2. 이정윤, "철근콘크리트 구조", 동화기술, 2020.
3. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조기준", 한국콘크리트학회, 2017.

② 특허 성과

(가) 특허등록: 섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물 및 그 제작방법

- 영 문 명: Precast concrete structure and manufacturing method
- 등록일자: 2020년 12월 03일
- 등록번호: 10-2188961
- 출 원 인: ㈜캐어콘
- 발 명 자: 이진용, 조민수
- 출 원 국: 대한민국
- 특허내용: 본 발명의 섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물은 시멘트 30~80 중량%, 규사 5~53 중량%, 폴리머 0.1~1 중량% 유동화제 0.1~2 중량%, 섬유보강재 0.1~1 중량%, 바인더 1~50 중량%를 포함하는 프리캐스트 콘크리트 조성물; 콘크리트 조성물에 매립되거나 상면과 하면에 각각 결합되는 보강섬유(텍스타일 그리드)를 포함한다. 프리캐스트 콘크리트 구조물은 일반적으로 콘크리트 내부에 철근을 매립하여 제작한다. 콘크리트는 압축강도가 우수하지만 인장강도(압축저항성의 1/11 수준)가 낮은 단점이 있다. 때문에 이를 보완하기 위해 콘크리트 내부에 철근을 매립하여 인장력에 저항하도록 한 것이다. 철근이 콘크리트에 매립되면 철근의 부식과 접합강도를 확보하기 위해, 피복두께를 확보해야한다. 따라서 프리캐스트 콘크리트 구조물의 크기가 커지고 자중이 무거워지게 된다. 본 발명은 콘크리트 내부에 철근을 대체한 보강섬유를 매립하여 프리캐스트 콘크리트 구조물의 두께를 줄이고, 자중을 감소시키는 기술이다.



특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number 제 10-2188961 호
출원번호 Application Number 제 10-2020-0011022 호
출원일 Filing Date 2020년 01월 30일
등록일 Registration Date 2020년 12월 03일

발명의 명칭 Title of the Invention
섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물 및 그 제작방법

특허권자 Patentee
(주)캐어콘(110111-*******)
서울특별시 송파구 삼학사로11길 13 (삼전동)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2020년 12월 03일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김 용 래

특허청
Korean Intellectual Property Office

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요

등 록 사 항

특 허 Patent Number 등록 제 10-2188961 호

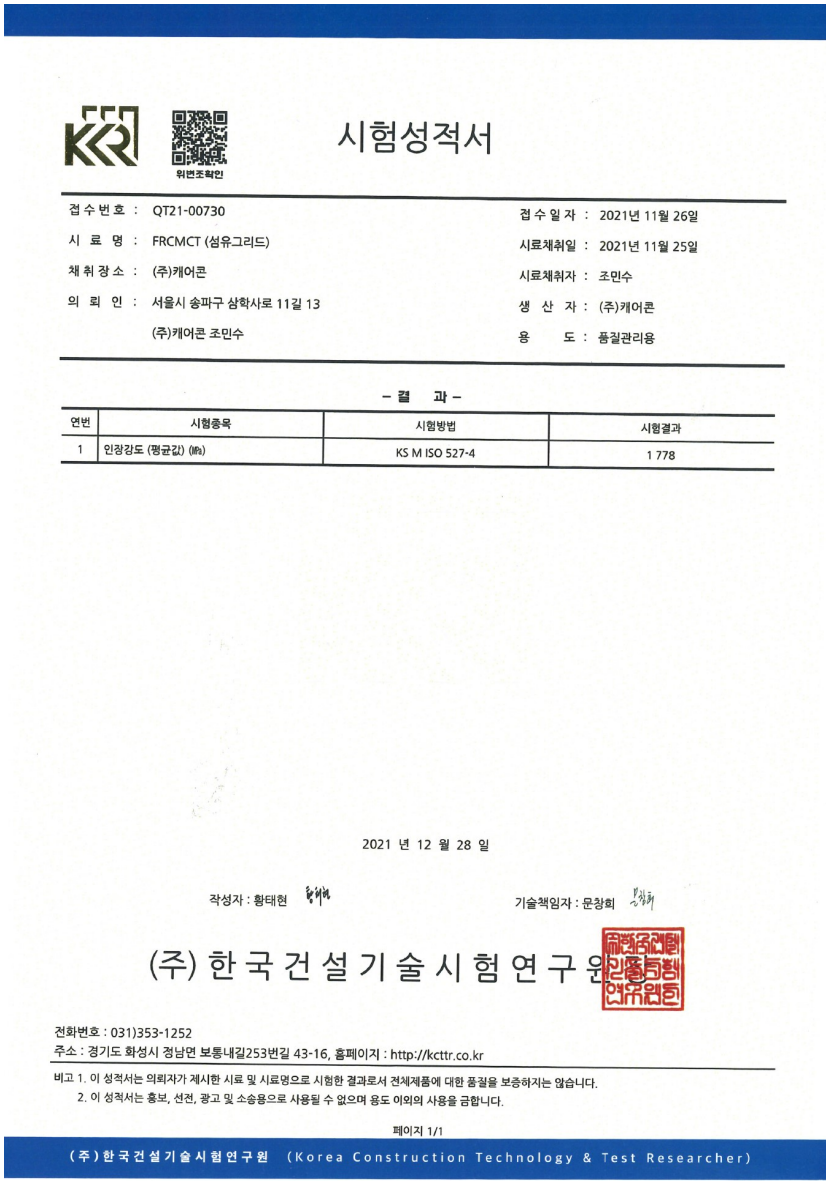
발명자 Inventors
이진용(561010-*******)
서울특별시 서초구 헌릉로8길 45 서초포레스타아파트 201동 103호

조민수(820623-*******)
경기도 안성시 고수2로 70 삼정그린코아아파트 103동 602호

③ 시험성적서

(가) FRCMCT: 개발 텍스타일 그리드 시험성적서

- 시험항목: 인장강도
- 시험방법: KS M ISO 527-4 (2012)
- 의뢰기관: ㈜캐어콘
- 시험기관: ㈜한국건설기술시험연구원



시험성적서

위변조확인

접수번호 :	QT21-00730	접수일자 :	2021년 11월 26일
시 료 명 :	FRCMCT (섬유그리드)	시료채취일 :	2021년 11월 25일
채취장소 :	(주)캐어콘	시료채취자 :	조민수
의 뢰 인 :	서울시 송파구 삼학사로 11길 13	생 산 자 :	(주)캐어콘
	(주)캐어콘 조민수	용 도 :	품질관리용

- 결 과 -

연번	시험종목	시험방법	시험결과
1	인장강도 (평균값) (㎪)	KS M ISO 527-4	1 778

2021 년 12 월 28 일

작성자 : 황태현 황태현 기술책임자 : 문창희 문창희

(주) 한 국 건 설 기 술 시 험 연 구 원

전화번호 : 031)353-1252
주소 : 경기도 화성시 정남면 보통내길253번길 43-16, 홈페이지 : http://kcttr.co.kr

비고 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며 용도 이외의 사용을 금합니다.

페이지 1/1

(주)한국건설기술시험연구원 (Korea Construction Technology & Test Researcher)

④ 시제품

(가) 콘크리트 구조물 보강용 텍스타일 그리드

- 시제품명: 하이브리드 텍스타일 그리드 (FRCMCT)

- 시제품 내용:
  - 고강도 탄소섬유(위사)와 경제성이 우수한 유리섬유(경사)를 평직(Leno weave)의 직조방법으로 제작한 텍스타일 그리드로 격자사이즈는 20mm×200mm이며, 에폭시 수지로 함침, 표면에 AL파우더를 도포하여 설계강도 및 내구성, 부착성능이 우수한 텍스타일 그리드임.
  - 기존 노후된 구조물에 무기계 접착제와 결합하여 FRCM 복합제 형태로 구조물의 보수·보강에 적용이 가능하며, FRCM 데크패널, 외부 부착 판넬 등 다양한 2차제품으로도 적용 가능함.

- 시제품의 물리적 특성: 인장강도 1,500 MPa

- 포장단위: [(W) 0.2mm × (L) 50m] / ROLL

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[탄소섬유 (위사)]</td><td>[유리섬유 (경사)]</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>AL 파우더</td><td>EPOXY 수지</td></tr>
</table>

[시제품의 구성 원료]





[제작된 시제품]

(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	하이브리드 FRP 시트로 보강된 RC 기둥의 휨 성능평가	한국콘크리트 학회논문집	김민준	제31권 6호	국내	한국 콘크리트학회	비SCIE	2019. 12	1229 -5515	100
2	콘크리트 구조물의 보수·보강을 위한 FRCM 무기계 매트릭스의 성능평가	한국콘크리트 학회논문집	조민수	제32권 4호	국내	한국 콘크리트학회	비SCIE	2020. 08	1229 -5515	100
3	Evaluation of Bond Properties of a Fabric-Reinforced Cementitious Matrix for Strengthening of Concrete Structures	Applied sciences	김민준	Vol. 10 Iss. 11	국외	MDPI	SCI (I.F: 2.217)	2020. 05	2076 -3417	100
4	Mechanical characterization of a FRCM system with aramid fiber fabric embedded in green high-strength cementitious matrix	Journal of Asian Concrete Federation	Munkhtu -vshin Ochirbud	Vol. 6 No. 2	국외	Asian Concrete Federation	비SCIE	2020. 12	2465 -7964	100
5	Effect of configuration and yield strength of transverse reinforcement on lateral confinement of RC columns	Applied sciences	김민준	Vol. 11 Iss. 15	국외	MDPI	SCI (I.F: 2.217)	2021. 07	2076 -3417	100
6	Evaluation of mechanical properties and flexural behavior of FRCM system composed different types of textile grids and al powder	Construction and building materials	조민수	Vol.323 126552	국외	Construction and Building Materials	SCI (I.F: 6.141)	2022. 01	0950 -0618	100
7	GFRP 시트로 보강된 철근콘크리트 보의 비틀림 거동에 관한 실험적 연구	한국콘크리트 학회논문집	최경은	게재 예정	국내	한국 콘크리트학회	비SCIE	2022. 02 (게재예정)	1229 -5515	100
8	고로슬래그미분말(GGBS)과 시멘트(OPC) 결합재에 알칼리자극제를 혼입한 보수모르타르의 역학적 특성 및 산에 대한 저항성 연구	한국콘크리트 학회논문집	조민수	심사중	국내	한국 콘크리트학회	비SCIE	2022. 02 (게재예정)	1229 -5515	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국콘크리트학회 봄 학술대회	FRCM 매트릭스를 사용한 RC보의 휨 성능평가	최진형	2021. 05. 13	여수 엑스포컨센션센터	국내
2	한국콘크리트학회 가을 학술대회	텍스타일 그리드의 표면처리에 따른 FRCM 시스템으로 보강한 RC 보의 휨 성능평가	최진형	2021. 11. 05	경주 화백컨벤션센터	국내
3	한국콘크리트학회 가을 학술대회	원형봉강으로 외부를 보강한 원형 철근콘크리트 기둥의 구조성능	김장효	2021. 11. 05	경주 화백컨벤션센터	국내

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허출원	격자형 텍스타일 보강재 및 이를 이용한 섬유보강 콘크리트	국내	㈜캐어콘	2019. 09.05	10-2019 -0110135				100	
2	특허출원	섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물 및 그 제작방법	국내	㈜캐어콘	2020. 01.30	10-2020 -0011022				100	
3	특허등록	텍스타일 보강재와 무기계 접착제를 결합한 섬유보강 콘크리트 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수 보강공법	국내				㈜캐어콘	2020. 04.17	10 -2104034	100	
4	특허등록	섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물 및 그 제작방법	국내				㈜캐어콘	2020. 12.03	10 -2188961	100	

ㅇ 지식재산권 활용 유형

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

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

ㅇ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 국제표준

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

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	무기계접착제 모르타르 (FRCM 700)	2020. 10	㈜캐어콘	O.E.M공장 창고	보수, 보강	12개월	-	-
2	텍스타일 그리드 (FRCMCT)	2021. 10	㈜캐어콘	㈜캐어콘 창고	보수, 보강, 2차제품	12개월	-	-

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

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

□ 사업화 투자실적

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

□ 사업화 현황

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

□ 매출 실적(누적)

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

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			FRCM 700(무기계 접착제), FRCMCT(텍스타일 그리드)		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		사업종료 후 3년		
	소요예산(천원)		200,000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			-	300,000	600,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	-	10%	20%
		국외	-	5%	10%
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		FRCM 2차제품 (외부 패널, 슬래브 등)		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			-		
	수 출		-		

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)			합계(명)
			2019년	2020년	2021년	
1	텍스타일 무기계 접착제(FRCM)를 활용한 노후 콘크리트 구조물 성능향상 및 유지관리 시스템 기술개발	㈜캐어콘	2	0	0	2
합계			2	0	0	2

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	2
		생산인력	3
	개발 후	연구인력	4
		생산인력	3

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도	텍스타일 무기계 접착제(FRCM)를 활용한 노후 콘크리트 구조물 성능향상 및 유지관리 시스템 기술개발	-	-	-	-	2 명	-
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

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

[사회적 성과]

□ 법령 반영

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

□ 정책활용 내용

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

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

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

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1					

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	학위과정	2020		1			1			1			
2		2021	1 (수료)	1 (진행중)			2			2			

□ 산업 기술 인력 양성

해당없음.

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

해당없음.

□ 국제화 협력성과

해당없음.

□ 홍보 실적

해당없음.

□ 포상 및 수상 실적

해당없음.

[인프라 성과]

□ 연구시설 • 장비

해당없음.

[그 밖의 성과]

해당없음.

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

- 본 기술의 현장적용과 관련하여 <표 3.1>과 같이 **KAIA 국토인프라실과 서울시설공단 기술혁신센터에서 주관하는 "기술 공유마당 설명회"에 참석**하여 본 기술에 대한 홍보성과를 달성하였음.

<표 3.1> 기술 홍보 실적

행사명	기술명	참석일시 (회의방식)	참석자
기술 공유마당 설명회	텍스타일과 무기계 접착제(FRCM)를 활용한 노후 콘크리트 구조물 성능향상 및 유지관리 시스템 기술((주)캐어콘)	2021. 09.08 14:00~14:20 (ZOOM 화상회의)	**(KAIA 기술혁신센터)** 차범진 센터장, 이주헌 팀장, 김상아 차장 외 3인 **(도로시설처)** 박윤용 처장, 정해원 구조물1팀장, 이정동 구조물 2팀장, 김종찬 구조물3팀장, 문영철 PSC 구조물 팀장 외 4인

- FRCM 복합재 기술과 관련된 국내의 기준 및 실무지침, 관련 제도의 개선·개정 사항을 정립하고 발전시키기 위하여 **(사)한국콘크리트의 연구전문 위원회인 FRCM 복합재 위원회(TC 217)를 2021년 6월에 신설**하였음.
- <표 3.2>와 같이 신설이후 본 연구에 관심이 많은 다양한 분야의 전문가들을 위원으로 구성하여 3번에 걸쳐 관련 회의를 진행하였으며, **2021년 11월에 (사)한국콘크리트학회의 가을학술대회 특별세션에서 본 연구와 관련된 내용을 발표하여 참석한 산·학·연의 관계자들에게 홍보성과를 달성하였음.**

<표 3.2> 관련분야 기여사항

위원회명	**KCI 217 – FRCM 복합재위원회**
위원회 활동 목표	**신건설자재인 FRCM 복합재의 특성에 관한 기술적 역할, 기여 등** **1) 연구전문위원회의 학술적, 기술적 활성화** **2) FRCM 복합재의 기초적인 물리적 특성과 관련한 기반조성** **3) FRCM 복합재의 시험방법 및 실무매뉴얼 집필** **4) FRCM 복합재 적용 및 설계방안 제시**
위원회 활동 내용	
2021년 6월	**위원회 신설 승인(18일)**
	- 위원회 정비 **(위원회 및 위원 등록)** : 연구전문위원회 3개 초과, 비회원, 회비미납 위원 등
7월 20일	- 1차 회의: ZOOM 화상회의 : Kick off meeting **(조직정비, 위원회 활동계획 논의)** : 연구전문위원회의 역할, 사업계획 논의 및 구성원 확대 등
8월 30일	- 2차 회의: 한국콘크리학회 회의실 및 ZOOM 화상회의 **: FRCM 복합재관련 최신보고 동향 및 연구자료 발표** *** 발표자: 김형열(건기원), 조민수(캐어콘), 최동욱(한경대), 최경규(숭실대)**
11월 4일	- 3차 회의: 경주화백컨벤션센터 206호 **: 한국콘크리트학회 가을학술대회 특별세션 참가** *** FRCM 복합재 국내외 동향 및 연구발표회** *** 발표자: 김형열(건기원), 최동욱(한경대), 김승직(세명대), 최경규(숭실대)**

2) 목표 달성 수준

연차	연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도 (%)
1차 연도	• 무기계 접착제 역학적 성능평가	• 기존 국외의 무기계 접착제 및 국내 보수모르타르의 배합을 참고하여 국내 KS기준에 의한 역학적 성능평가를 수행하고 평가함.	100
	• 강도 증진용 무기질 첨가제 적용기술 개발	• 역학적 성능 및 내구성 향상을 위하여 슬래그 및 실리카퓸 등 무기계 첨가제를 적용하여 최적배합비 선정의 데이터베이스를 제시함.	100
	• 역학적 특성 및 경제성을 고려한 무기계 접착제 최적배합비 도출 및 제조기술 개발	• 1차년도 목표값인 압축강도 60MPa, 휨강도 6MPa을 만족시키며, 경제성을 고려한 최적배합비를 선정하였음.	100
	• 텍스타일 부착성능 검증	• 텍스타일 그리드 설계 데이터베이스 확보를 위한 국내·외의 텍스타일 특성(구성섬유종류, 격자사이즈, 직조방식)에 따른 부착성능에 영향을 주는 요인을 검증함.	100
	• 보강용 텍스타일 그리드 설계	• 섬유별, 격자사이즈별, 직조방식별 물리적 특성 및 부착성능의 실험결과를 반영하여 보강용 텍스타일 그리드 설계(안)을 제시함.	100
	• 텍스타일 그리드 코팅기술 개발	• 국외의 텍스타일 코팅방법 및 성능에 관한 문헌자료 수집 및 부착성능평가를 수행함.	100
	• 텍스타일 내구성 검증	• 촉진 내구성(알칼리, 염화이온, 황산) 실험을 통하여 내구성관련 설계지표의 참고자료를 제시함.	100
2차 연도	• 무기계 접착제 물성평가	• 1차년도의 최종배합에서 현장적용성 향상을 위한 2차년도 기초배합을 설정하였음.	100
	• 무기계접착제 성능개선항목 도출 및 개선방안 연구	• 설정된 2차년도 기초배합을 바탕으로 현장적용성 향상을 위해서는 부착성능을 개선해야하며, 이를 개선하기 위하여 여러 가지 기초실험을 실시하여 2차년도에 제시된 목표값(압축강도: 70MPa, 휨강도: 8MPa, 부착강도: 2MPa)를 만족시키는 최종배합을 선정하였음.	100
	• 무기계 접착제 시제품 제작 및 성능평가, 현장생산조건 확립	• 선정된 최종배합으로 시제품제작을 위하여 현장생산요건을 분석하여 시제품을 제작하였으며, 실험실 단위의 시험시공을 실시하여 현장적용의 우수성을 확인하였음.	100
	• 국내외 광섬유 센서관련 자료조사 및 분석	• 3차년도에 적용될 광섬유센서와 관련하여 국내 및 해외자료를 조사 분석하여 적용 방향을 제시하였음.	100
	• 구조물 보수 보강 요구성능 분석	• 기존에 보수보강에 많이 사용하고 있는 공법과 비교하여 개발공법인 FRCM공법의 구조적 요구성능을 분석하였으며, 성능분석 항목을 도출하였음.	100
	• FRCM 활용 구조물 보강 성능평가	• 구조물 보수보강 요구성능을 확인하기 위하여 1) 직접인장실험, 2) 휨 인장실험, 3) FRCM 복합재로 외부보강한 RC보의 휨 성능평가를 수행하여 휨 성능 향상의 우수성을 확인하였음.	100
	• FRCM 활용 보강설계/시공/유지관리지침 개발	• 수행한 RC 보의 휨 성능실험과 해외기준(ACI549.4R-13)을 참고하여 FRCM 복합재의 휨 보강에 대한 설계방법을 제시하였음.	100

연차	연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도 (%)
3차 연도	• 광섬유 선정 및 계측 정밀도 측정, 신뢰도 평가 • 광섬유 적용 텍스타일 그리드 제조기술 개발	• 휨 인장실험을 통하여 FRCM 복합재 내부에 광섬유 센서를 내장하는 가능성 및 신뢰성 평가를 수행한 결과, 기존 스트레인게이지에 비하여 정밀한 계측이 가능하며, 단면해석을 통한 변형율 해석결과와 유사한 거동을 나타내었음. • 현재 국내의 텍스타일 그리드 제조기술은 국외(독일)의 직조수준에 비하여 낮은 수준이며, 현재 상용화된 광섬유 센서의 높은 단가로 인하여 직조된 텍스타일 그리드의 계측이 필요한 단면(위험단면)에 후 시공하여 적용할 예정임.	100
	• 요구성능 수준별 무기계 접착제 성능 개선 연구(내화성 평가)	• 개발된 무기계 접착제는 압축강도가 74.6MPa의 고강도 모르타르로 내화성능에 대한 성능개선 연구를 통하여 기존 보수모르타르에 비해 향상된 내화성능을 확보하였음.	100
	• 구조물 적용관련 구조안정성 및 역학성능 평가(기둥보강 내진성능평가)	• FRCM 복합재를 적용한 RC기둥 내진성능 실험을 통하여 내하력(하중) 및 연성, 에너지 소산능력 등 내진성능에 영향을 주는 결과 값이 기준 실험체에 비하여 높은 수준으로 향상되었음. 또한, 기존에 많이 사용하고 있는 FRP sheet 보강공법에 비하여 동등이상의 내진성능을 발휘하였음.	100
	• FRCM 현장 적용성 평가	• 개발된 FRCM 복합재 보수·보강공법의 현장적용(1차: 창고바닥, 2차: 하수암거)을 통하여 시공용이성, 작업성, 품질의 우수성 등을 확인하였음.	100
	• 현장 시공지침서 및 품질관리 시스템 개발	• 1~3차년도에서 수행한 연구내용을 종합하여 FRCM 복합재 현장시공지침(안)을 제시하였음.	100
	• FRCM 활용 2차제품(데크패널)개발	• 자전거도로 및 보도교의 목재데크패널 대체용의 FRCM 복합재 2차 제품의 시작품을 개발하였으며, 현장 적용을 통하여 제품의 우수성을 확인하였음.	100
	• FRCM 실용화 방안	• 개발된 FRCM 복합재 기술을 구조물의 유지보수(보수·보강)과 2차 제품(데크패널) 분야에 활용하기 위하여 시장현황 및 전망 조사, 비즈니스모델 제시, 고객군 선정 등의 사업화 계획을 수립하였음.	100

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당없음.

2) 자체 보완활동

해당없음.

3) 연구개발 과정의 성실성

해당없음.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 무기계 접착제 성능향상 기술개발

- 역학적 성능향상을 위한 실리카퓸, 고로슬래그미분말(GGBS), Short fiber, Polymer 등 다양한 결합재 및 무기질 첨가제 적용 기본실험 수행을 통해 성능이 향상된 무기계 접착제를 개발하였음.
- 개발된 무기계 접착제는 목표수준인 압축강도 70.0MPa, 휨강도 8.0MPa, 부착강도 2.0MPa, 내알칼리성 50.0MPa, 물흡수계수 0.1(kg/($m^2h^{0.5}$) 이하의 역학적 성능 및 내구성능을 만족하였음.
- 요구성능 맞춤형 무기계 접착제 제조기술을 바탕으로 제작된 시제품 적용으로 노후 구조물의 보수 및 보강에 대한 시공품질 30% 향상, 내구수명 1.5배 증가 효과가 기대됨.
- 무기계 접착제관련 국내학술지게재논문 1건, 특허등록 1건, 시제품 제작 1건 실적을 달성하였음.

○ 텍스타일 그리드 설계/제작기술

- 본 연구에서 수행한 내구성 시험결과에 따르면, 탄소섬유가 FRCM 보강재로 가장 내구성이 우수한 것으로 판단됨.
- 텍스타일 그리드를 구성하는 다양한 변수(섬유 roving, 함침제, 직조방법)에 대한 부착 시험을 통하여 탄소섬유와 에폭시 함침제를 적용한 격자사이즈 20mm의 텍스타일 그리드를 설계에 반영하여 시제품을 제작하였음.
- 개발된 텍스타일 그리드를 적용한 FRCM 복합재의 직접인장실험과 휨 인장실험 결과, 국외의 SOLIDIAN 그리드에 비하여 약 3/4수준의 인장성능을 발휘하였으나 AL 파우더로 표면을 처리하는 경우 기존 제품 대비 약 1.2배의 인장성능이 증가하는 것으로 평가되었음.
- 텍스타일 그리드관련 국제학술지게재논문(SCI) 1건, 국내학술지게재논문 1건, 특허등록 1건, 시제품 제작 1건 실적을 달성하였음.

○ FRCM 활용 구조물 보강기술

- 개발한 무기계 접착제와 텍스타일 그리드를 결합한 FRCM 복합재 적용 RC 보·기둥 보강성능 평가 실험결과, 보의 휨 보강성능은 기준실험체에 비하여 휨 하중기준으로 약 1.4배 증가하였으며, 기둥 내진보강성능은 연성기준으로 2.3배 증가하였음.
- FRCM 복합재 현장적용(창고바닥, 하수암거)을 통하여 무기계 접착제의 Flow (180~200mm)를 만족하여 shortcrete(뿜칠) 타설이 가능하였으며, 리바운드율 약 0.5%로 타설시 모르타르 손실율 감소 등 시공의 용이성 및 작업성이 우수한 것을 확인하였음.
- 현장적용 완료 후 타설면의 균열, 현장부착강도(2.30MPa) 등 장기간의 추적조사를 통하여 시공품질의 우수성을 확인하였음.
- 기존의 설계지침(ACI 549.4R-13)을 참조하여 보강설계 및 현장시공지침(안)을 제시하여 개발된 보강공법의 적용성을 향상시켰음.
- 구조물 보강기술 관련 국제학술지게재논문(SCI) 1건(심사중), 국내학술지게재논문 1건, 국내학술발표 1건, 특허등록 1건 실적을 달성하였음.

○ FRCM활용 2차제품 제작기술

- FRCM 복합재를 활용을 위한 2차제품 제작용 현장배합비를 도출하여, 기존 보도교용 목재데크에 비하여 휨 하중 1.3배 증가, 경제성 50% 절감 가능한 FRCM 데크패널 시작품을 개발하였음.
- 개발된 FRCM 데크패널 시작품을 실험실 단위의 샘플시공 및 신림동 도림첨 양산교 하부 구조물에 적용하였음.
- FRCM 2차제품관련 특허등록 1건, 상표출원 1건 실적을 달성하였음.

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 연구개발성과의 활용분야, 활용방안

- 본 연구개발 과제의 성과를 근거로 총 2건의 특허를 등록.

<표 6.1> 특허등록 현황

특허명	등록국가	등록일
텍스타일 보강재와 무기계 접착제를 결합한 섬유보강 콘크리트 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수 보강공법 [특허 제 10-2104034 호]	대한민국	2020. 04. 17
섬유보강 프리캐스트 콘크리트 구조물 및 그 제작방법 [특허 제 10-2188961 호]	대한민국	2020. 12. 03

- **[연구성과 활용계획]** ①교량 및 하수암거, 터널 등 노후화된 철근콘크리트 구조물의 유지보수(보수, 보강) 재료, 공법으로 활용, ②보도교, 인도교, 자전거도로, 친수시설 등 데크패널 제품 생산에 활용
- **[연구성과 사업화 계획]** ①FRCM복합재 보수 및 보강공법에서 협력업체 영업지원, 지자체 공법설명회 등을 통하여 개발된 무기계 접착제(FRCM 700)와 텍스타일 그리드(FRCMCT)를 자재공급을 통한 이윤창출과 등록된 보수보강 특허의 실시권 및 기술이전을 통한 사업화 추진, ②2차제품인 FRCM 데크패널제품의 생산업체인 PC공장과의 MOU체결을 통한 자재 공급과 특허기술이전, 정부에서 운영하는 조달청에 제품등록을 통한 사업화 추진예정임.

○ 향후 연구내용의 실용화 가능성 제고를 위해 보완되어야 할 사항

- FRCM의 최대장점인 경량의 비정형구조물 적용을 위한 연구의 필요

  : 국외의 경우, 의자, 싱크, 조형물, 건축물에 디자인 요소를 추가한 외장판넬, 곡선형 슬래브 등 다양한 2차 제품으로 적용되고 있어 이에 따른 거푸집 제조기술, 설계기술의 개발이 필요함.

- 내화 실험에 의한 구조성능 검증 필요

  : 기존 FRP보강공법에 비해 FRCM 복합재의 이점인 내화성능을 검토하기 위한 연구 필요

- 다양한 부재에 적용할 수 있는 기술로 확장하기 위한 연구의 필요

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

- 실제 시공조건에서의 성능검증

  : 본 연구에서 개발한 FRCM 복합재 보강공법의 적용범위는 하수암거, 터널, 교각의 하부 등 노후화된 콘크리트 구조물이며, 노후화의 범위에 따라 보수 및 보강공법으로 분류된다. 하수암거의 경우, 생활하수에서 발생하는 산의 침식으로 인하여 콘크리트에 균열이 발생하고, 철근 부식으로 인해 콘크리트가 팽창되어 피복이 탈락된다. 콘크리트 탈락이후에 경과시간에 따라 철근의 단면손실 발생으로 구조물의 내하력이 저하될 경우, 보강이 필요하다.[그림 6.1]

  : 이러한 경우, 실제 시공조건에서는 콘크리트 피복손실 및 철근의 단면손실에 따른 보수 및 보강이 동시에 진행되어야 하는 경우가 발생하며 이에 따른 성능검증이 요구된다.



(a) 슬래브 하면 철근부식



(b) 하수관거 벽체 열화

[그림 6.1] 재열화로 인한 콘크리트 단면결손 및 철근부식

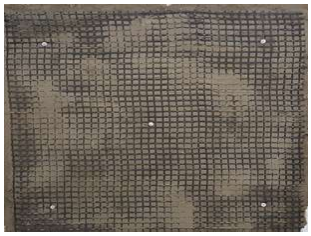
- 구체적 시공방법 및 유지관리 방안을 포함한 활용 가이드라인 보완 필요성

  : <표 6.2>에 나타낸 것과 같이, FRCM 보강공법의 적용은 (1)바탕면 처리 → (2)격자형 섬유보강재 설치(앵커고정) → (3)무기계접착제 도포 → (4)표면코팅재 도포의 순서로 벽체 구조물의 시공을 나타낸 것이다.

  : 벽체의 경우, 상대적으로 중력의 영향을 덜 받기 때문에 타설된 무기계 접착제의 부착이 잘 유지되지만, 슬래브 및 보 부재의 하면 보강의 경우, 중력의 영향으로 인하여 시공 시 타설면에서 무기계 접착제와의 탈락, 보강섬유인 텍스타일 그리드와의 들뜸 현상 등 하자가 발생할 수 있다.

  : 이러한 부분을 고려하여 본 연구에서 개발한 무기계 접착제의 부착성능을 향상시켰으며, 시공시 앵커로 섬유보강재를 고정시켜 중력에 저항할 수 있는 시공방법을 적용하였다. 하지만, 앵커의 설치 시간으로 인한 시공기간 증가 등으로 문제점을 추후 연구에서 보완할 필요성이 있음.

<표 6.2> FRCM 보강공법 시공순서(벽체)

(1) 바탕면 처리	(2) 격자형 섬유보강재 설치 (앵커고정)	(3) 무기계 접착제 도포	(4) 표면코팅재 도포
			

- 장기 성능 모니터링 및 자재비/인건비 등 시공 조건을 고려한 상세 경제성 분석 등

  : [그림 6.2]와 같이 무기계 매트릭스의 경제성을 분석하였다. 인건비를 제외한 자재비로 비교한 결과, 시공성 및 물리적 특성의 향상으로 인하여 기존 보수모르타르에 비하여 m^3 당 가격이 약 6% 높은 수준이었다.

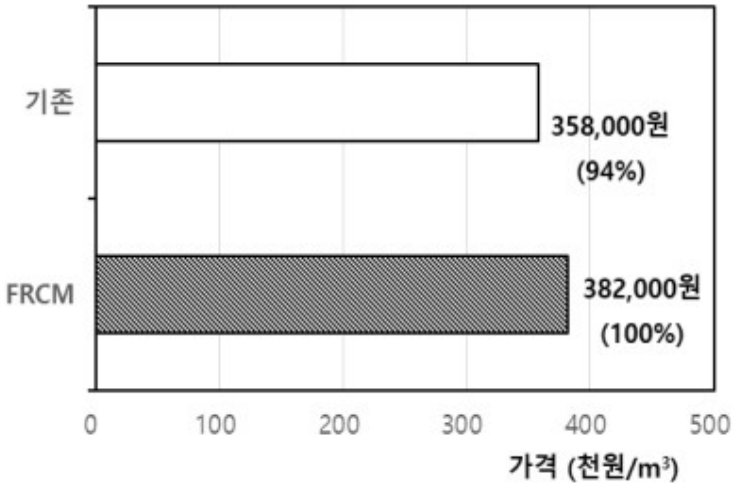
  : <표 6.3>과 같이 텍스타일 그리드별 경제성 분석을 나타내었다. 철근콘크리트 보 보강에 적용한 조건으로 산정하였다. 독일에서 수입한 VFRAAS 및 SOLIDIAN 텍스타일 그리드의 가격은 각각 30,135원/m^2, 132,384원/m^2이며, 단가의 50% 이상은 운송비 및 핸들링 비용임.

  : [그림 6.3]과 같이, RC 보의 보강에 적용 시 경제성 분석을 하였다. RC 보의 보강 단면적은

(폭) 0.15m, (길이) 1.8m를 기준으로 산정하였으며, 에폭시(0.2kg/m^2) 및 알루미늄 파우더(0.15kg/m^2) 도포량은 실제 텍스타일 그리드에 도포 후 무게 측정을 통하여 산정하였다. 비교결과, 본 연구를 통하여 개발한 텍스타일 그리드에 비하여 VFRAAS는 1.96배, SOLIDIAN은 8.63배 높은 금액을 나타내었다.

: 이러한 결과를 바탕으로 여러 시공현장에 적용하여 인건비와 자재비를 포함한 일위대가를 추후에 작성하여 공사적용을 위한 경제성 분석의 수행이 필요하다.

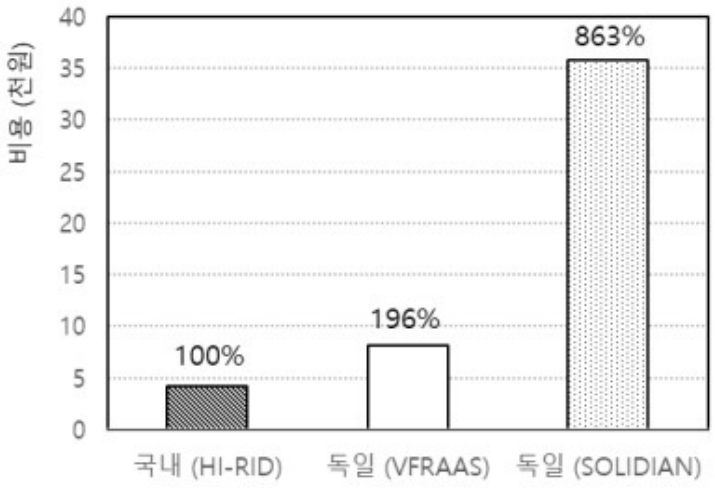
: 추가적으로, 본 연구에서 적용한 시험시공 현장에 대한 장기적인 추적조사를 통하여 적용공법의 장기적인 성능을 분석하여 공법의 완성도를 향상시킬 필요성이 있음.



[그림 6.2] 무기계접착제 경제성 비교

<표 6.3> 각 Textile 그리드 별 경제성 분석(단가비교)

종류	국가	브랜드	판매처	섬유종류	가격	비고
Textile 그리드	독일	VFRAAS	VFRAAS	탄소(50K) +유리(1200TEX)	재료비:17,575 원/m2 운송비:10,720 원/m2 핸들링:1,840 원/m2 합계: 30,135 원/m2	27*27
		SOLIDIAN	SOLIDIAN	탄소(50K)	재료비:48,104 원/m2 운송비:53,738 원/m2 핸들링:30,542 원/m2 합계: 132,384 원/m2	27*27
	개발	HI-GRID	㈜캐어콘	탄소(24K) +유리(2,400TEX)	6,106 원/m2	20*20
		에폭시		-	1,320 원/m2	-
		알루미늄 파우더		-	495 원/m2	-



[그림 6.3] Textile 그리드 별 경제성 분석(RC보 보강에 적용 시)

7. 참고 문헌

1) 국가예산정책처. 2016년 회계연도 결산분석 종합자료
2) Butler, M., Mechtcherine, V., Hempel, S., 2009. Experimental investigations on the durability of fibre-matrix interfaces in textile-reinforced concrete. Cem. Concr. Compos. 31, 221-231.
3) Schleser, M., 2008. Einsatz polymerimpra ¨gnierter, alkaliresistenter Glastextilien zur Bewehrung zementgebundener matrices. Dissertation, RWTH University, Aachen
4) T.C.Triantafillou, Textile Fibre Composites in Civil Engineering, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 60, Elsevier
5) 김형태, “실리카흄 및 실리카흄 콘크리트의 특성과 이용” 한국콘크리트학회지 Vol.3, No.3, 1991. 9, pp.22~30
6) Malhotra, V.M. "Flyash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete." ACI SP-91, Vol.2, 1986
7) 이재현 외5인 PVA섬유 혼입률에 따른 PC 패널용 모르타르의 기초 물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 구조계 제29권 제1호, 2009
8) Choi, D.U., Kang, T.H.K., Ha, S.S., Kim, K.H., and Kim, W.S. (2011) Flexural and bond behavior of concrete beams strngthened with hybrid carbon-glass fiber reinforced polymer sheets. ACI Structural Journal 108(1), 90-98
9) Al-Salloum, Y. A., Elsanadedy, H. M., Alsayed, S. H., and Iqbal, R. A. (2012) Experimental and numerical study for the shear strengthening of reinforced concrete beams using textilereinforced mortar. Journal of Composites for Construction 16(1), 74-90.
10) Diana Arboleda, “Fabric reinforce cementitious matrix(frcm) composites for infrastructure strengthening and rehabilitation: characteriazation methods”, doctor of philosophy, University of miami, August, 2014
11) Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2012). Fundamentals of materials science and engineering: An integrated approach John Wiley & Sons.
12) Contamine, R., Si Larbi, A., and Hamelin, P. (2011). “Contribution to direct tensile testing of textile reinforced concrete (TRC) composites.” Mater. Sci. Eng., A, 528(29), 8589.8598.
13) Zhu, D., Peled, A., Zaguri, E., and Mobasher, B. (2011). “Dynamic tensile testing of fabric-cement composites.” Constr. Build. Mater., 25(1), 385.395.
14) Hartig, F., Jesse, F., Schicktanz, K., and Haubler-Combe, U. (2012). “Influence of experimental setups on the apparent uniaxial tensile load-bearing capacity of textile reinforced concrete specimens.” Mater. Struct., 45(3), 433.446.
15) Arboleda, D., Loreto, G., De Luca, A., and Nanni, A. (2012). “Material characterization of fiber reinforced cementitious matrix (FRCM) composite laminates.” Proc., 10th Int. Symp. on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites, H. W. Rivas, L. P. Seosane, and I. G. Castro, eds., Havana, Cuba, 29.37.
16) Banholzer, B., Brockmann, T., and Brameshuber, W. (2006). “Material and bonding characteristics for dimensioning and modelling of textile reinforced concrete (TRC) elements.” Mater. Struct., 39(8), 749.763.
17) 김선길, “3차원 Textile 보강 시멘트 복합재료의 정적 및 충격거동 평가” 박사학위논문, 세종대학교 대학원

18) 송형수외 2명, 혼화재료가 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 성질에 미치는 영향, 한국구조물진단학회논문집, 제 11권 제1호, 2007 pp. 85-94
19) Choi, D.U., Fowler, D.W. and Wheat, D.L., “Thermal sresses in polymer concrete overlays” ACI SP-166, Properties and uses of polymer in concrete, U.S., 1996
20) Bhanja, Santanu and Sengupta, Bratish “Optimum Silica fume content and its mode of action on concrete.” ACI Materials Journal, V.100 No.5, 2003, pp. 407-412
21) ACI 549.4R-13, Guide to design and construction of externally bonded fabric-reinforced cementitious matrix(FRCM) systems for repair and strengthening concrete and masonry structures.
22) Janetzko, S., Kravaev, P., Gries, T., et al., 2010. Textile reinforcement with spread and commingled yarn structures. In: International Conference on Material Science and 64th RILEM Annual Week in Aachen—MATSCI.
23) Y.Andrber, Spalling phenomena of HPC and OC, Proceedings of International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, 1997.
24) T. Lennon, N. Clayton, Fire tests on high grade concrete with polypropylene fibres, BRE Report 395, 1995.
25) Guide for Concrete Floor and Slab Construction, ACI 302. 1R-04, 2004
26) Yang, Y.H., Song, T.H. and Lee, S.H.(2007). Microscopic analysis of hardened Aluminosilicate inorganic binder according to the mole ratio of aluminium and silicon, Proceeding of conference in architectural institute of Korea, 27(1), pp. 611～614
27) Blontrock, H., Taerwe, L., & Vandevelde, P. (2001). Fire testing of concrete slabs strengthened with fibre composite laminates, Proceeding of 5th International Conference on Fibre Reinforced Plastics for Reinforced Concrete Structures, Telford, Cambridge, U.K., 547.556.
28) Seo, S., Oh, J. & Choi, K. (2011). Bond Capacity of Concrete Member Strengthened by Various Methods Using FRP Plate, Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction, 27(8), 55-63.

< 별첨 >

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

[뒷면지]

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.