

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()

최종보고서

탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

2020. 12.

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

요약문

연구의 목적 및 내용	<p>□ 연구 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 건설 부재(교량 바닥판, 보, 기둥, 벽체, 슬래브 등)의 비부식·고강도·경량화를 위해 탄소섬유보강복합체(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)를 활용한 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드) 기술 개발 및 실용화 <ul style="list-style-type: none"> - (탄소보강근-콘크리트) 건설용 탄소보강근 제조 기술 및 탄소보강근-콘크리트 부재 개발·검증 - (탄소그리드-콘크리트) 건설용 탄소그리드 제조 기술 및 탄소그리드-콘크리트 부재 개발·검증 - (철근대체재-콘크리트 실용화) 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법·기준 개발, 실구조물 적용 및 전주기 경제성(LCC) 분석 <p>□ 연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발 - 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증 ○ (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 부재 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발 - 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증 ○ (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법 및 기준 개발 - 철근대체재-콘크리트 실구조물(교량, 건축물 등) 적용을 통한 성능평가 및 검증 - 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성(LCC) 분석
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 건설용 탄소보강근 제조 및 가공 기술 - 건설용으로서의 탄소보강근 기본 성능기준 보고서 - 탄소보강근 대응 콘크리트 요구성능 보고서 - 탄소보강근-콘크리트 부착-슬립 모델 - 탄소보강근-콘크리트 장·단기 환경노출에 따른 성능 안정성 평가 보고서 - 탄소보강근-콘크리트 부재 해석 모델 - 탄소보강근-콘크리트 부재 균열·처짐 예측 모델 - 탄소보강근-콘크리트 부재 구조, 내진 및 내화 성능평가 보고서 - 탄소보강근-콘크리트 부재 설계식 및 시공법 ○ (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 부재 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 건설용 탄소그리드 제조 및 가공 기술 - 건설용으로서의 탄소그리드 기본 성능기준 보고서 - 탄소그리드 대응 콘크리트 요구성능 보고서 - 탄소그리드-콘크리트 부착-슬립 모델 - 탄소그리드-콘크리트 장·단기 환경노출에 따른 성능 안정성 평가 보고서 - 탄소그리드-콘크리트 부재 해석 모델 - 탄소그리드-콘크리트 부재 균열·처짐 예측 모델 - 탄소그리드-콘크리트 부재 구조, 내진 및 내화 성능 평가 보고서 - 탄소그리드-콘크리트 부재 설계식 및 시공법 ○ (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 철근대체재-콘크리트 재료·부재의 시험방법 및 기준 - 철근대체재-콘크리트 구조물 설계, 시공 및 유지관리 지침(안) - 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용·검증(설계, 해석, 성능평가 등) 보고서 - 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성(LCC) 분석 보고서
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 건설 분야의 탄소융합 원천기술 확보로 새로운 고부가가치 기술 혁신 유도 - 첨단기술 융복합을 통한 첨단 건설재료 개발로 글로벌 기술 선도 - 비부식·고강도·경량화 건설용 재료 기술 개발로 구조물 안정성 확보 및 장수명화 구현 - 글로벌 FRP 철근대체재 시장의 기술 선점

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경제·사회적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 철근 부식으로 인한 시설물 수명 단축 문제 해결과 부재 단위길이 당 중량 15% 절감 - 新건설 재료 개발을 통한 건설산업 생산성 혁신 ○ 환경적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 시설물 장수명화에 따른 신규 시설물 건설의 소비 자원 및 배출 오염물질 저감 - 석탄을 주원료로 하여 탄소배출량이 많은 강철(철근)의 대체를 통한 정부의 2050 탄소 중립 목표 달성에 기여 				
국문핵심어 (5개 이내)	탄소섬유보강복합체	탄소보강근	탄소그리드	부식제로 보강재	철근대체재-콘크리트
영문핵심어 (5개 이내)	Carbon Fiber Reinforced Plastic	CRRP Rebar	CRRP Grid	Non-corrision reinforcement	CFRP reinforced concrete

< 목 차 >

제1장 사업개요	1
제1절 사업의 정의	2
제2절 추진배경 및 필요성	4
1. 추진배경	4
2. 필요성 및 시급성	6
제2장 대내외 환경분석	10
제1절 국내·외 정책 동향	11
1. 국외 정책 동향	11
2. 국내 정책 동향	15
제2절 국내·외 기술 동향	22
1. 국외 기술 동향	22
2. 국내 기술 동향	35
제3절 국내·외 시장 동향	42
1. 국외 시장 동향	42
2. 국내 시장 동향	45
제3장 국내·외 R&D 역량 분석	48
제1절 철근대체재-콘크리트 관련 논문·특허 동향 분석	49
1. 논문 동향 분석	49
2. 특허 동향 분석	54
제2절 철근대체재-콘크리트 관련 기술수준 분석	61
1. ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 수준 분석	61
2. 탄소섬유부품 산업경쟁력	66
제4장 사업 기본방향 및 추진전략	70
제1절 사업 기본방향	71
1. SWOT 분석	71
2. SWOT 전략	75
제2절 사업 비전 및 목표	76
제3절 사업 추진전략	77

제5장 구성기술 개발계획	80
제1절 연구개발 목표	81
1. 연구 방향	81
2. 정량적 연구목표	89
제2절 구성기술 연구개발 내용·성능지표 및 기술로드맵	94
1. (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발	95
2. (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발	104
3. (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술개발	111
4. 요소기술 별 성능지표	114
5. 기술로드맵	117
제3절 연구성과물 실증 방안	118
제4절 연구성과물 활용 및 사업화 방안	120
제6장 사업운영 및 예산·인력 투입계획	121
제1절 사업 성과목표, 추진체계 및 운영방안	122
1. 사업 성과목표	122
2. 사업 추진체계 및 운영방안	123
제2절 예산 투입계획	124
1. 소요인력 및 인건비	124
2. 직접비	126
3. 간접비	128
4. 총 연구비	128
제7장 타당성 분석 및 기대효과	130
제1절 타당성 분석	131
1. 정부정책과의 부합성	131
2. 기술적 타당성	132
3. 경제적 타당성	133
제2절 기대효과	138
1. 기술적 기대효과	138
2. 사회·경제적 기대효과	139
3. 환경적 기대효과	139

표 차례

[표 1] 강재와 CFRP 보강재 비교	6
[표 2] 제4차 과학기술 기본계획 내 스마트 건설재료 관련 추진과제	15
[표 3] 건설재료와 연관성이 있는 30대 미래소재 기술 중	16
[표 4] 『제6차 건설기술진흥 기본계획』 2개 전략, 10개 중점추진 분야	17
[표 5] 시설물 안전 및 유지관리 기본계획 내 스마트 건설재료 관련 추진과제	18
[표 6] 국가안전관리기본계획 내 스마트 건설재료 관련 추진과제	18
[표 7] 스마트 건설재료 R&D 사업(안)	20
[표 8] FRP 보강재의 장점 및 단점	22
[표 9] C4R의 역학적 성능	25
[표 10] 독일과 일본 대표 연구 프로젝트 비교	28
[표 11] 국외 탄소섬유복합 보강재 생산 기업 및 제품 현황	29
[표 12] 주요 탄소보강근 제품 현황	30
[표 13] 주요 탄소그리드 제품 현황	30
[표 14] 국외 주요 논문	32
[표 15] 국외 주요 지재권 및 주요 내용	34
[표 16] 국내 FRP 관련 유사 연구 비교 검토 결과	37
[표 17] 국내 주요 논문	40
[표 18] 국내 주요 지재권 및 주요 내용	41
[표 19] 탄소섬유 생산능력 추이	42
[표 20] 탄소섬유 생산능력 추이	43
[표 21] 국내 탄소산업 관련 기업 현황	45
[표 22] 국내 주요 탄소섬유 제조업체 제품 현황	46
[표 23] 검색 DB 및 검색범위	49
[표 24] 강재 재료 기술 주요 국가별 논문 동향	50
[표 25] 강재 재료 국가별 논문활동도 및 집중도	51
[표 26] 강재 재료 인용도, 영향력, 기술력 지수	52
[표 27] 논문 분석 지표	53
[표 28] 특허 동향 분석 개요	54
[표 29] 강재 세부기술별 주요시장국의 기술수준 양적지표	57
[표 30] 강재 세부기술별 주요시장국의 기술수준 질적지표	58
[표 31] 강재 세부기술별 주요시장국의 시장진입 경쟁수준	59
[표 32] 기술수준 지표 설명	59
[표 33] 시장진입 경제수준 지표 설명	60
[표 34] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 기술수준 델파이 조사 결과	61
[표 35] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 국가별 논문 및 특허 분석 결과	64
[표 36] 탄소섬유부품의 항목별 기술경쟁력 분석 결과	67
[표 37] 탄소섬유부품의 항목별 품질경쟁력 분석 결과	67
[표 38] 탄소섬유부품의 항목별 가격경쟁력 분석 결과	68

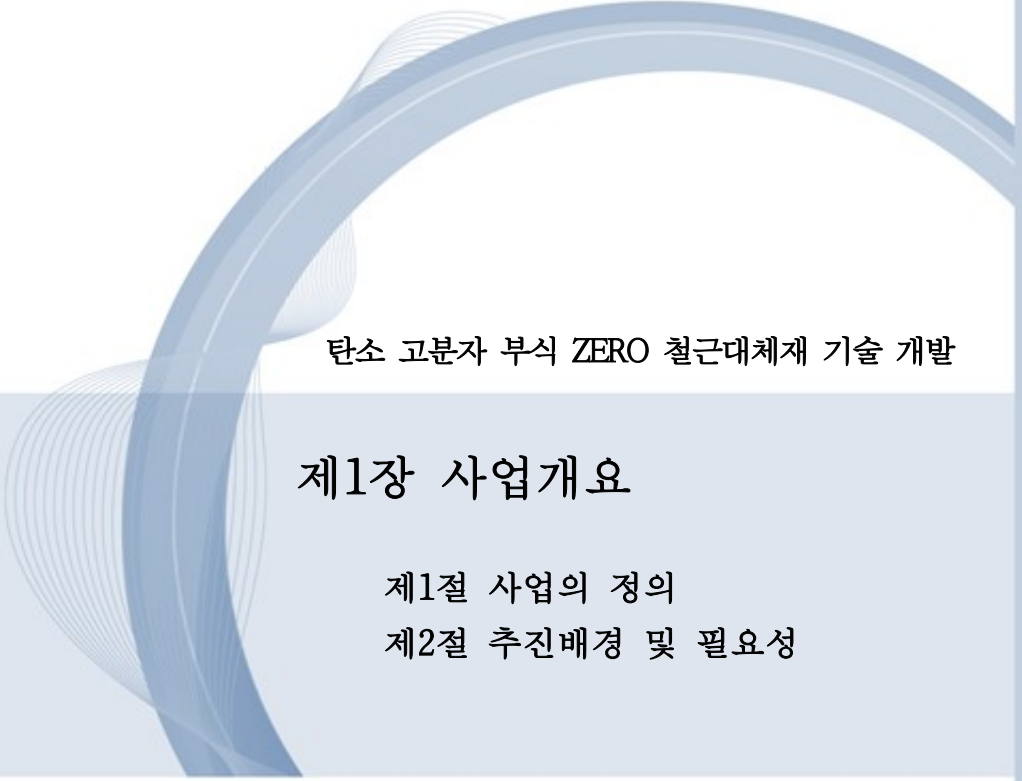
[표 39] 프리프레그 항목별 시장경쟁력 분석 결과	69
[표 40] 탄소섬유부품의 항목별 품질경쟁력 분석 결과	69
[표 41] 탄소섬유 활용 복합소재 제품의 종합경쟁력 분석 결과	71
[표 42] 철근과 FRP 재료의 특성 비교	81
[표 43] 강재와 CFRP 보강재 비교	82
[표 44] 기존 FRP 보강재와 개발 재료기술 비교	86
[표 45] 철근, 기존 FRP 보강재 및 개발 재료기술 비교	87
[표 46] 철근대체재 목표 성능	91
[표 47] 구성기술 과제 주요 연구개발 내용	94
[표 48] (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발 성능지표	114
[표 49] (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발 성능지표	115
[표 50] (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발 성능지표	116
[표 51] 현장 실증 적용방안(안)	118
[표 52] 서울시 단계별 철거대상 교량 현황	118
[표 53] 국도상 철거예정 교량 현황	118
[표 54] 사업 성과지표 및 성과목표(안)	122
[표 55] 구성기술 1 직급별 연간 소요인력(명)	124
[표 56] 구성기술 2 직급별 연간 소요인력(명)	125
[표 57] 구성기술 3 직급별 연간 소요인력(명)	125
[표 58] 구성기술별 연도별 소요 인건비(단위 : 백만원)	126
[표 59] 구성기술 1 연도별 직접비(단위 : 백만원)	126
[표 60] 구성기술 2 연도별 직접비(단위 : 백만원)	127
[표 61] 구성기술 3 연도별 직접비(단위 : 백만원)	127
[표 62] 구성기술별 연도별 소요 직접비(단위 : 백만원)	127
[표 63] 구성기술별 연도별 간접비(단위 : 백만원)	128
[표 64] 연구개발 내용별 연차별 소요예산(단위 : 백만원)	128
[표 65] 탄소섬유 생산능력 추이	133
[표 66] 탄소섬유 생산능력 추이	134
[표 67] 철근과 철근대체재 비교	135

그림 차례

[그림 1] 탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개념도	3
[그림 2] 이탈리아 고속도로 교량 붕괴	4
[그림 3] 국내 SOC 예산 추이	4
[그림 4] 부식에 의한 구조물 붕괴사고	4
[그림 5] 건설재료 개발 필요성	7
[그림 6] CFRP 그리드를 활용한 시공 및 부속물 예시	7
[그림 7] 건설재료와 건설산업의 발전	8
[그림 8] 독일 프로젝트 기술 개요	8
[그림 9] 일본 프로젝트 기술 개요	8
[그림 10] 소재·부품산업의 대일본 수입의존도 추이	9
[그림 11] 5대 소재 생산액 및 주요제품	19
[그림 12] 7대 부품 생산액 및 주요제품	19
[그림 13] Global Top 대비 주요 기술수준	20
[그림 14] 업종별 R&D 투자규모(매출액 대비)	20
[그림 15] FRP의 건설분야 적용 변천	22
[그림 16] 미국의 CFRP 보강근 및 케이블 적용 사례	23
[그림 17] 카본파이어 그리드 적용 예시	23
[그림 18] C-Grid에 의한 CarbonCast 제작 및 설치 모습	23
[그림 19] CarbonGast 설치 작업 및 완료 모습	24
[그림 20] 독일의 CFRP 그리드 적용 사례	25
[그림 21] 탄소콘크리트 활용 프리캐스트 부재 예시	25
[그림 22] C4R 제품 개요 및 강재와의 역학적 성능 비교	26
[그림 23] “PosiTex“ 프로젝트 개발제품	26
[그림 24] C4R 제품 개요 및 강재와의 역학적 성능 비교	26
[그림 25] “PosiTex“ 프로젝트 개발제품	26
[그림 26] 3D-Textile 구조 이용 섬유 강화 콘크리트 셀	27
[그림 27] 일본 개발 재료 개요	27
[그림 28] 일본의 CFRP 긴장재 적용 사례	27
[그림 29] 캐나다의 CFRP 긴장재 및 그리드 적용 사례	28
[그림 30] 각종 설계 및 시공 가이드라인	31
[그림 31] GFRP 보강근 굽힘 상세 예시	31
[그림 32] FRP 관련 제품 형상	35
[그림 33] 교량 시공 현황	36
[그림 34] GFRP 보강 콘크리트 바닥판 시공 현황	36
[그림 35] 탄소섬유 가격 변화에 따른 산업분야 적용 현황	42
[그림 36] CFRP 시장 규모 변화	43
[그림 37] FRP rebar 시장 규모 전망	44
[그림 38] FRP rebar에 대한 전 세계의 수요량	44

[그림 39] 탄소섬유 시장 및 가격 변화 추이	45
[그림 40] 강재 세부 기술별 논문 발표 동향	49
[그림 41] 전체 및 주요시장국의 강재 기술 관련 기술성장단계	55
[그림 42] 강재 세부기술의 연도별 출원동향	56
[그림 43] 강재 세부기술별 주요시장국의 특허점유율 및 증가율	56
[그림 44] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 주요국 기술수준 그룹 및 활동경향 평가 분포	61
[그림 45] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 주요국 연구단계 역량 평가 분포	62
[그림 46] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 논문 및 특허 현황	62
[그림 47] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 활동력 및 기술력 국가별 상대적 위치	63
[그림 48] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 국가별 상대적 우위 비교(논문)	64
[그림 49] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 국가별 상대적 우위 비교(특허)	65
[그림 50] 탄소섬유부품의 항목별 기술경쟁력 분석 결과	66
[그림 51] 탄소섬유부품의 항목별 품질경쟁력 분석 결과	67
[그림 52] 탄소섬유부품의 항목별 가격경쟁력 분석 결과	68
[그림 53] 탄소섬유부품의 항목별 시장경쟁력 분석 결과	69
[그림 54] 건설교통 및 재료 분야 대비 건설재료 분야 R&D 투자 현황	72
[그림 55] 탄소섬유 시장 및 가격 변화 추이	73
[그림 56] 주요 국의 개발 FRP 제품	74
[그림 57] 사업 비전 및 목표	76
[그림 58] 철근대체재 및 철근대체재-콘크리트 개념	77
[그림 59] 건설소재 전주기 연구 개념도	78
[그림 60] 현장적용 개념도	79
[그림 61] 재료의 탄성계수에 의한 변형 발생 영향	83
[그림 62] 철근과 GFRP 보강근에 의한 하중-변위 관계 차이	83
[그림 63] 철근콘크리트 부재의 파괴 형상에 대한 부착 영향	84
[그림 64] 철근콘크리트 부재의 파괴 형상에 대한 부착 영향	84
[그림 65] GFRP 및 BFRP 보강근의 표면 특성에 따른 부착 특성 변화	85
[그림 66] 기존 CFRP 관련 기술의 연계	88
[그림 67] 연구개발 전략적 목표 수준	89
[그림 68] 연구개발 전략적 목표 수준	90
[그림 69] 철근대체재 목표 성능	91
[그림 70] 효성 생산 탄소섬유복합재 물성표	91
[그림 71] 철근대체재의 철근 대비 가격 경쟁력 평가	92
[그림 72] 복합재료를 적용한 송전선의 내열성능	93
[그림 73] 탄소섬유와 매트릭스 수지 결합	95
[그림 74] 탄소보강근 제품 예시	95
[그림 75] 직물복합 보강근 부착특성	96
[그림 76] 온도변화에 따른 FRP의 인장강도 및 부착강도 변화	96
[그림 77] 직물복합 보강재 인장시험 예시	96
[그림 78] GFRP 보강근 크리프변형률 곡선 예시	97

[그림 79] 고온에서의 CFRP 인장강도 변화 예시	97
[그림 80] 탄소섬유복합체 제조 공정 예시	98
[그림 81] 탄소보강근-콘크리트 상호 작용	99
[그림 82] 탄소보강근-콘크리트 내구성능 평가 예시	99
[그림 83] 직물복합 보강재 부착시험 예시	100
[그림 84] 콘크리트 부재 균열, 변형 발생 예시	100
[그림 85] 콘크리트 부재 구조실험 예시	101
[그림 86] 탄소보강근-콘크리트 부재 이력 및 해석 모델 예시	102
[그림 87] 탄소보강근-콘크리트 부재 부착 해석 모델 예시	102
[그림 88] 탄소보강근-콘크리트 부재 내화성능 해석 모델 예시	103
[그림 89] 탄소보강근-콘크리트 시공 예시	103
[그림 90] 탄소섬유와 매트릭스 수지 결합	104
[그림 91] Warping knitting 기술 예	104
[그림 92] 직물복합 그리드 부착성능 향상 무기코팅	105
[그림 93] 탄소그리드 제품 규격표 예시	106
[그림 94] 탄소그리드 생산 및 제품 예시	106
[그림 95] Particle Packing 이론에 의한 콘크리트 배합	107
[그림 96] 그리드 격자 간격에 따른 콘크리트 휨성능 비교	108
[그림 97] 탄소그리드-콘크리트 부착해석 예시	108
[그림 98] 탄소그리드-콘크리트 부재 처짐 거동 평가 예시	108
[그림 99] 콘크리트 부재 구조실험 예시	109
[그림 100] 탄소그리드-콘크리트 부재 이력 및 해석 모델 예시	110
[그림 101] 탄소그리드-콘크리트 시공 예시	110
[그림 102] 설계, 시공, 유지관리 예시	112
[그림 103] 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용 예시	112
[그림 104] 철근대체재-콘크리트 실구조물 정적 및 동적 해석 예시	113
[그림 105] 기술 로드맵	117
[그림 106] 철근대체재-콘크리트 건설산업 적용 프로세스	123
[그림 107] 탄소섬유 가격 변화에 따른 산업분야 적용 현황	133
[그림 108] CFRP 시장 규모 변화	134
[그림 109] 탄소섬유 시장 및 가격 변화 추이	135
[그림 110] 탄소복합체 가격 비교	135
[그림 111] 철근과 철근대체재 적용 부재 비교	135
[그림 112] 탄소복합재 적용 부재 및 기존 부재의 현장 반입 및 운반 비교 사례	136
[그림 113] 부재 단위길이당 중량 15% 절감 예시	137



탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

제1장 사업개요

제1절 사업의 정의

제2절 추진배경 및 필요성

제1장 사업 개요

제1절 사업의 정의

□ 사업 목적

- 건설 부재(교량 바닥판, 보, 기둥, 벽체, 슬래브 등)의 비부식·고강도·경량화를 위해 탄소섬유보강복합체(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)를 활용한 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드) 기술 개발 및 실용화
 - * 본 사업에서는 콘크리트를 새롭게 개발하지 않으며, 기존 콘크리트 재료에 철근대체재(보강근·그리드)를 융합한 철근대체재-콘크리트 부재 및 구조물을 개발함

□ 사업 구성기술 내용

- (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발
 - (목표) 인장강도 2,100MPa/탄성계수 150GPa 이상(온도 200℃에서 인장강도 / 탄성계수의 목표성능 50% 이상), 부착강도 15MPa 이상 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발 및 탄소보강근-콘크리트 부재 개발과 검증
 - (개발기술) 건설용 탄소보강근 제조 기술, 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증
- (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발
 - (목표) 인장강도 2,100MPa/탄성계수 150GPa 이상(온도 200℃에서 인장강도 / 탄성계수의 목표성능 50% 이상), 부착강도 10MPa 이상 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발 및 탄소그리드-콘크리트 부재 개발과 검증
 - (개발기술) 건설용 탄소그리드 제조 기술, 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증
- (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발
 - (목표) 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법·기준 개발, 실구조물 적용 및 전주기 경제성(LCC) 분석
 - (개발기술) 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법 및 기준 개발, 철근대체재-콘크리트 실구조물(교량, 건축물 등) 적용을 통한 성능평가 및 검증, 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성(LCC) 분석

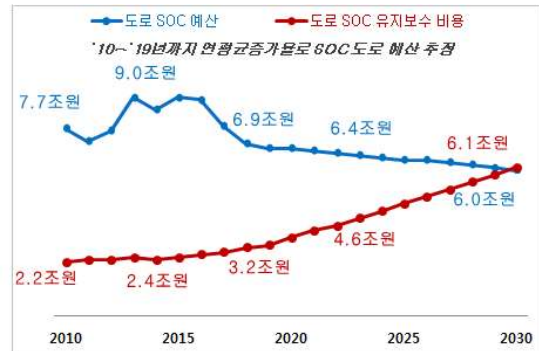
제2절 추진배경 및 필요성

1. 추진배경

- 철근콘크리트 구조의 철근 부식으로 인한 급격한 수명 단축을 해결을 위해 철근 에폭시 코팅 등이 활용되고 있으나 시공 중 코팅 손상 등의 한계로 근본적인 해결을 위한 대책 필요
- 철근콘크리트 시설물의 다양한 환경변화에 따른 붕괴사고 등 안전사고로 인한 사회·경제적 피해가 증가함에 따라 사회적 문제로 대두
 - 세계적으로 산업화 시대에 다수의 시설물이 철근콘크리트를 활용하여 시공되었으나 노후화에 따라 시설물 붕괴 등 안전사고 위험 증가 및 이에 따른 막대한 유지보수 비용 증가가 사회문제로 대두
 - * 미국은 시설물 평균 안전등급이 D로 '20년까지 약 3조 6억천 억 달러가 소요될 전망
 - ** 국내 도로 SOC 유지보수예산은 매년 증가추세로 '30년 6조 원을 초과할 것으로 전망



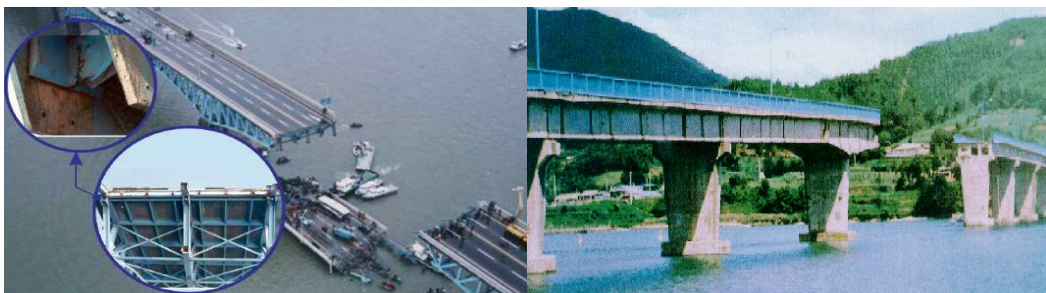
[그림 2] 이탈리아 고속도로 교량 붕괴



[그림 3] 국내 SOC 예산 추이

*** '15년 기준, 서울시내 노후건물은 25만여동으로 전체의 40%를 차지하고 있으며, 노후화에 따른 '18년 용산 상가건물 붕괴 및 강남 대종빌딩 붕괴위험사고 등 안전사고가 증가하는 추세

- 한편, 보편적이고 반영구적인 구조형식으로 인식되고 있는 철근콘크리트는 철근 부식으로 인하여 급격한 수명 단축과 안전사고 발생 위험성이 증가하고 있는 실정
 - 철근 부식으로 인하여 콘크리트의 수명은 100년에서 50년 ~ 70년 정도로 절반 가까이 단축



[그림 4] 부식에 의한 구조물 붕괴사고

- 기존 재료 및 설계에 의한 철근 부식 문제 해결은 근본적인 해결책이 될 수 없으며, 이에 따라 새로운 재료 개발이 철근 부식 문제 해결의 근본적 대안으로 대두되고 있는 상황

* 철근콘크리트 시설물의 최소 피복두께 규정, 철근의 에폭시 코팅 및 아연도금은 콘크리트 과다 사용, 철근-콘크리트의 부착 문제, 유지보수예산 증가 등의 부작용 초래

** 미국에서는 교량의 철근 부식으로 인한 수명 단축 문제 해결방법으로 철근이 아닌 새로운 재료 (섬유보강복합체(Fiber Reinforced Plastic, FRP)) 사용을 제시

□ 무인화·자동화 시공 등 스마트 건설기술이 활발하게 개발 중이나 재료적 문제*로 구현의 한계 존재

* 기존 재료로 제작된 구조부재는 자중의 영향으로 설치 및 이동이 어려워 자동화 적용범위가 제한적이며 그에 따라 인력작업 요구

- 건설 산업의 생산성은 타 산업 대비 현격히 낮으며, 철근콘크리트 도입 이래 생산성은 제자리걸음인 실정
 - 철근콘크리트 공사는 거푸집 설치 작업, 철근 배근 작업 등으로 시공의 비효율화 및 건설 산업의 생산성 저하 발생
 - 최근 글로벌 건설산업은 생산성 향상을 위하여 4차 산업혁명 기술도입을 통한 무인화, 자동화 등 건설자동화 관련 활발한 기술개발추진 중
 - 하지만, 기존 재료로 제작된 구조부재는 자중의 영향으로 설치 및 이동이 어려워 건설자동화 구현에 한계 존재

2. 필요성 및 시급성

□ 사업의 필요성

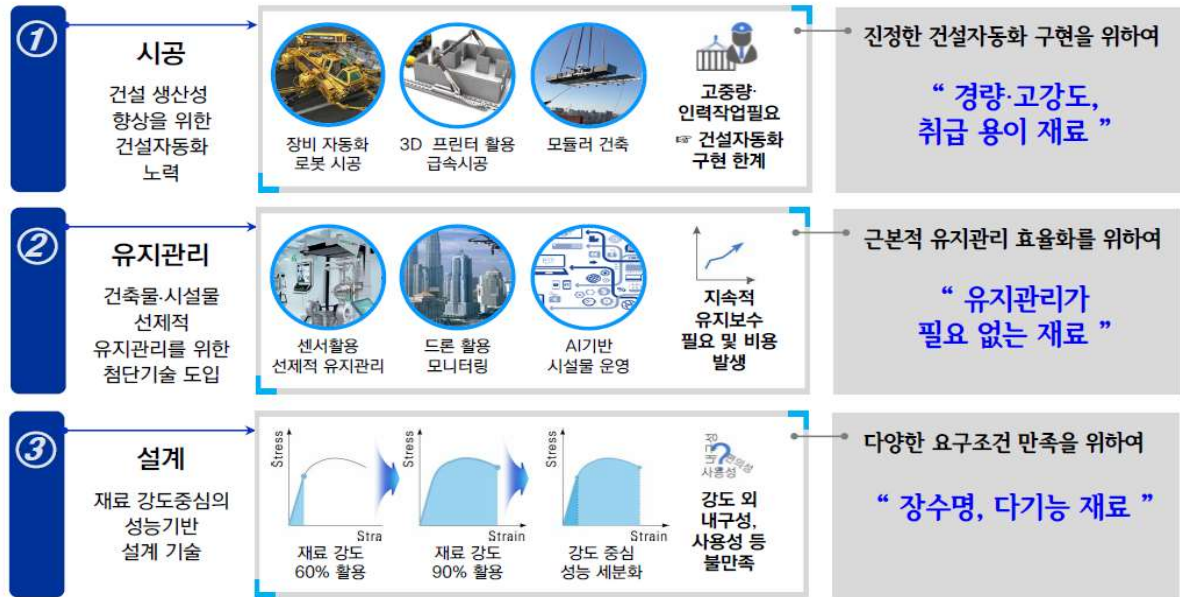
- 차세대 철근대체재-콘크리트 개발은 콘크리트 시설물의 수명 단축과 안전사고 발생 문제를 근본적으로 해결하고 급증하는 노후시설물의 효율적 유지관리 측면에서도 높은 기대효과 예상
 - 초고강도, 비부식성, 초경량 등의 성능이 우수한 철근대체재를 활용한 콘크리트의 시설물 적용은 유지보수가 거의 필요 없는 장수명화 구현 가능
 - 또한, 토목·건축용 탄소섬유보강복합체(Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP)를 활용한 철근대체재-콘크리트 핵심원천 기술 확보 및 고성능·다기능 건설재료 분야 국가기술 경쟁력 제고 가능
 - * 건설 분야 CFRP 활용은 증대 및 다양화되고 있는 추세이며, CFRP 글로벌 시장 규모는 2030년에는 3조 5,800억 엔으로 성장할 것으로 전망
 - 한편, CFRP는 뛰어난 성능으로 철근과 비교하여 경제성 확보 가능
 - * CFRP의 구성 재료인 탄소섬유 관련 기술 발달 및 수요 증가로 탄소섬유 가격 하락 및 생산량 증가 추세

[표 1] 강재와 CFRP 보강재 비교

	강재	CFRP 보강재	비고
밀도	7.81 g/cm ³	1.8 g/cm ³	4배 가벼움
인장강도	500 MPa	2,500 MPa	5배 강함
피복두께	최소 8 cm	최소 1 cm	80% 이상 재료 절약 가능
비용	15.60 EURO/MN	11.50 EURO/MN	35% 비용 절감 효과

* 출처 : C3 프로젝트

- 철근대체재-콘크리트는 기존 철근콘크리트 대비 경량, 고성능으로 구조부재 경량화, 작업단순화 등을 통하여 건설 산업 생산성 향상에 기여 가능
 - 건설자동화 실현에는 인력에 의한 취급이 용이하고, 인력작업 최소화 및 장비에 의한 이동·거치가 용이한 경량·고성능 건설재료의 선제적 개발이 필수
 - CFRP의 비부식성, 고성능으로 콘크리트 부재 단면 크기 및 자중 경감이 가능하여 프리캐스트화 및 장비자동화, 로봇시공, 모듈러 건축 등 건설자동화에 최적화된 재료
 - 철근대체재-콘크리트는 제작 방식 등에 따라 CFRP의 배근 작업을 줄일 수 있어 배근 작업 단순화를 통한 시공효율화 기대 가능



[그림 5] 건설재료 개발 필요성

- 건설구조재료는 시설물 및 국민 안전과 직결되는 만큼, 성능평가를 통한 성능 검증과 올바른 적용을 위한 관련 기술개발이 필수적
- 인간 활동의 90%이상은 시설물 내에서 이루어지고 있어, 새로운 구조재료 개발에 따른 적용을 위해서는 재료 및 부재 레벨에서의 성능평가를 통한 신뢰성 확보가 필요
- 또한, 새로운 구조부재의 올바른 적용을 위해서는 구조설계/해석 기준 제시와 실제 시공을 위하여 필요한 관련 시공기준 제시가 필수적



* 출처 : S. Scheerer et al., Shells made of textile reinforced concrete - applications in Germany, J. IASS, 2017.

[그림 6] CFRP 그리드를 활용한 시공 및 부속물 예시

- 재료분야는 원천기술 개발부터 상용화까지 장기간이 소요되고 성공 가능성은 낮으나 개발 성공시 신시장 창출 및 시장선점이 가능
- 건설산업은 기존의 한계를 극복한 새로운 건설재료 개발에 따라 비약적으로 성장했으며 타 산업에도 발전에도 크게 기여



[그림 7] 건설재료와 건설산업의 발전

- 글로벌 CFRP의 건설분야 시장규모 확대가 전망되는 가운데 탄소기술 융합 新건설재료 개발을 통한 해외 시장 선점 및 경쟁력 확보 필요
 - * 독일, 일본 등은 기존 기술 개발 실적을 바탕으로 철근대체재 및 철근대체재-콘크리트 시장 선점을 위한 대규모 기술개발 실시 중
 - ** (탄소섬유) '70년대 도레이社가 아크릴 섬유로부터 탄소섬유를 추출한 이후 특수직물 분야에서 항공·조선까지 분야가 확장되면서 신시장 창출 중



[그림 8] 독일 프로젝트 기술 개요



[그림 9] 일본 프로젝트 기술 개요

- 하지만, 첨단소재를 활용한 新건설재료 개발은 기술개발 초기단계로 대규모·장기 투자 및 불확실성으로 인해 민간의 초기투자는 한계가 있으며, 정부의 투자 필요
- 최근 일본과의 무역마찰로 인한 국내 소재산업의 적용성 확장 및 신 수요처 등의 발굴을 위하여 관련 기술 개발을 통한 경쟁력 확보 필요
- 일본의 수출규제로 인한 기존 조립가공형 중심이 아닌 핵심 소재부품의 독립적인 국산화 기술개발 필요
- 건설산업은 특성 상 소재와 부품의 공통분모 산업이므로 건설재료개발은 업종 간의 융복합이 강조되는 4차 산업혁명 기술개발에 대응하고 미래트렌드 선도가 가능
 - * 대일 적자 규모는 '03년 190억 3,700만 달러에서 '19년 191억6,300만 달러까지 감소되어 일본 소재·부품 수입의존도는 하락 중이나 현재까지 기술의존도는 큰 실정



* 출처 : 한국무역협회, 산업통산자원부

[그림 10] 소재·부품산업의 대일본 수입의존도 추이

□ 사업의 시급성

- 정부에서 추진하고 있는 건설산업 혁신의 주요 목표인 건설 생산성 향상 및 소재·부품·장비 경쟁력 강화를 위해 미래 시장을 선도할 건설재료 기술 개발 지원 확대
 - * 건설산업 혁신방안('18.6, 관계부처 합동) : 스마트 건설기술 활성화, 생산성 40% 향상
 - ** 소재·부품·장비 경쟁력 강화 대책('19.8, 관계부처 합동) : 소재·부품·장비 산업 전반 경쟁력 강화

□ 정부지원의 필요성

- 첨단소재를 활용한 新건설재료 개발은 연구개발 난이도가 높고, 대규모·장기투자 및 불확실성으로 민간의 초기 투자가 어려우나 기술개발 성공시 건설산업 전반에 파급효과가 큼
- 독일('15~'20, 연구예산 약 904억원)과 일본('13~'21, 연구예산 약 787억원)에서도 정부 중심으로 CFRP를 활용한 건설소재 연구가 추진 중



탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

제2장 대내외 환경분석

제1절 국내·외 정책 동향

제2절 국내·외 기술 동향

제3절 국내·외 시장 동향

제2장 대내외 환경분석

제1절 국내·외 정책 동향

1. 국외 정책 동향

- (미국) 미국은 저성장 시대로 진입했고, 정부의 재정 여력도 해를 거듭하며 낮아짐에 따라 공사비 절감과 첨단기술 적용을 통한 유지비 절감 등의 정책 추진
 - 건설산업을 6대 국가전략산업으로 선정하여, 유지관리 비용과 공해 등을 50% 이상 감소하는 것을 국가 건설목표로 설정하여 추진
 - 연방고속도로청(FHWA)은 IBRD(Innovative Bridge Research and Deployment) 사업을 통하여 교량의 건설 및 유지관리 비용 감소를 추진
 - 구조물의 유지관리 및 생애주기 비용을 감소시키기 위하여 자기치유 콘크리트와 같은 고성능 재료 기술개발에 초점
 - 에너지부(DOE)는 Building America 사업을 통하여 건축물의 에너지 효율향상을 위한 단열소재 연구 등을 지원
 - 시공비를 증가시키지 않으면서 70% 이상 에너지 소비를 절감시킬 수 있는 기술의 연구개발을 위해 노력
 - Executive Order 13514를 통하여 ‘20년까지 미국 전역의 주거부문, ’ 30년까지 모든 연방정부 건물, ‘50년까지 상업용 건물을 제로에너지빌딩화 계획 발표
 - 미래 신소재 개발을 위한 인프라 구축 및 연구개발방법론에 집중하여 개발기간 단축 및 비용 절감(Materials Innovation Platform, ‘14)
 - National Nano-technology Initiative(NNI) 수립을 통해 부처 간 협력체계를 구축하고, 지속적인 나노기술 R&D 예산 투자를 통해 제품화 강화를 적극 추진
 - 현재는 신소재 개발을 위한 인프라 구축 및 연구개발방법론에 중점을 두고 개발기간 단축 및 비용 축소에 집중
 - 정책과제로는 National Nano-technology Initiative(NNI2), Materials Genome Initiative(MGI)를 추진 중임
 - (주요 연구개발 프로젝트) 클린에너지, 반도체 및 나노일렉트로닉스

□ (EU) 유럽은 정책적 지원을 통한 조기 글로벌 경쟁력 확보를 위하여 지속가능한 건설, 바이오, 자원재활용 등의 분야를 선도하기 위해 노력

- 미래 건설시장 선점을 위해 첨단기술 활용 건설재료 분야 중장기 전략으로 NANOfutures 로드맵을 ‘12년에 수립
 - 고내구성·고생산성 SOC, 친환경·고성능 CO2 저감 건설재료 등 폴리머 섬유를 활용한 경량/다기능 건설재료를 위한 전략 수립
- AMANAC(Advance Material & Nanotechnology Cluster)은 모든 고급 재료와 나노 기술 프로젝트의 협력 플랫폼으로 EU의 지원을 받아 첨단 건설재료 개발을 추진
 - 기능성, 친환경, 고성능 첨단 건설재료 개발 프로젝트의 상호 협력 및 시너지 효과를 위해 첨단재료와 나노기술의 클러스터 구축을 지원
- 유럽의 12개 기관이 참여하여 ‘Self-healing materials for prolonged lifetime’이라는 주제로 HealCON 프로젝트(’13~ ’17)를 진행
 - 유럽은 자기치유 콘크리트 분야에서 앞선 기술을 보유하고 있으며 독일 Fraunhofer UMSICHT 중심으로 12개 기관*이 참여하여 자기치유 관련 협업 네트워크를 구축
 - * Ghent University, Avecom, TU Delft, Acciona, TUM, TTI, VTT, COWI, DTI, CEINMAT, Devan and Fescon
- 환경, 에너지, 자원 개발 및 재활용에 대한 연구도 활발히 진행되고 있으며, 폐기물 재활용, 건축물 친환경/에너지절감 분야에 대한 다양한 기술개발을 추진
 - 프랑스, 영국, 덴마크 등은 시멘트 사용량을 줄이기 위해 ‘Eco-Serve Network’를 결성하였으며, 기후협약에 따라 프랑스 시멘트 회사들은 ‘20년까지 시멘트 사용량을 20% 감축키로 선언
- 영국은 ‘13년 자국 건설산업의 SWOT을 분석하고, 중장기 건설 산업의 실천 목표와 전략을 제안한 ’ 건설산업 2025 ‘를 발표
 - 주요 비전 및 목표와 주요 전략을 수립하였으며, 저탄소 녹색건설 수출 주도, 온실가스 저감, 기술적으로 진일보한 스마트 산업 등 환경문제 해결과 기술 혁신을 통한 글로벌 경쟁력 제고
- 독일은 미래 지속가능한 산업(에너지, 교통, 건강, 환경, 사회인프라 등)을 위한 실용적 소재개발(Von Material zur Innovation, ‘15)

□ (일본) 시공현장의 안전성 확보, 지구 온난화, 글로벌 경쟁력 확보, 빈번한 자연재해 등을 해결하기 위해 신기술·신공법 등의 건설기술 개발 정책 추진

- 동일본 대지진, 후쿠시마 원전사고 발생 이후 당초 수립한 제4기 과학기술 기본계획 (2011~2015)을 전면 재검토
 - 일본뿐만 아니라 세계각지에서 일어나는 지진 및 원전사고에 대한 급격한 환경변화를 반영하기 위해, 기존에 수립 중이던 계획을 수정
- 일본 정부는 '14년 6월 '방재백서안' 을 공표하였으며, 주요 내용은 향후 발생 가능성이 있는 대지진에 대비해 주택 내진화와 피난체제에 대한 사전대책 마련으로 피해를 대폭 줄일 것을 강조
- 제3차 과학기술 기본계획을 바탕으로 'Innovation25' 라는 장기 전략을 추진 중이며 ' 장수명을 위한 고강도 재료 및 자기치유 관련 기술 ', ' 사회 및 국민의 안전을 제공하기 위한 센싱 모니터링 ' 등의 내용을 포함
 - '20년에는 모든 신축 공공건물, '30년에는 모든 신축 민간건물이 제로에너지빌딩을 달성하도록 목표를 제시하였으며, '14년부터 일정 규모이상의 건물에 대해 에너지 절약기준 의무화를 통한 건축물에 대한 에너지성능기준을 도입
- 20여 년의 경제 장기 침체를 극복하기 위하여 아베노믹스 정책을 추진하고 있으며 여기에 포함된 주요 건설 정책은 동일본 대지진 복구 등 재정 정책 지원과 새로운 성장 전략의 일환인 기반 환경 정비를 포괄
 - 인구 감소와 고령화, 인프라 노후화 등이 내부 환경과 국제 경쟁력 강화라는 외부 환경에 대응하고자 하며, 이를 위한 노후 인프라에 대한 집중적인 선투자를 통한 재고 인프라 및 주택의 효율성 극대화를 추진
- 또한, 도쿄는 '2020년의 도쿄' 계획을 수립하여 도시방재력 향상, 기후변화에 따른 에너지 정책 강화 등을 목표로 추진
 - 각 연도별 정책방향과 주요 시책, 중점 시책 등을 제시하고, 목표 실현 및 실효성 확보를 위한 3년 후의 도달목표 및 3개년 연차별 사업계획을 명시
- 제5차 과학기술기본계획('15), 新원소전략 프로젝트('12~'21)을 통해 사회·경제 수요 및 환경 변화에 대비한 수요대응형 소재 개발
 - 나노기술의 융합화를 통한 신산업 창출 및 산업경쟁력 강화를 위해 산·학·연·관 협력에 지속적인 관심
 - 주요 연구개발 프로젝트:
 - ① 데이터구동형물질 및 재료개발(Material·Informatics)/ ② 축전지/ ③ 파워 일렉트로닉스/ ④ 구조재료/ ⑤ 원소전략/ ⑥ 인공광합성, CO2 자원화

□ (중국) 개혁개방 이후 빠른 경제성장으로 경제와 사회를 크게 발전시켜 왔으나, 이로 인한 과도한 에너지 소비와 심각한 환경파괴에 따른 대책으로 친환경 사회 건설을 정부 주요 정책 목표로 설정

- ‘제12차 과학기술발전 5개년 계획(‘11년~’ 15년)’ 을 통하여 신소재 개발 및 지속가능한 건설기술 개발을 추진
 - 기능성 스마트신소재, 복합소재, 나노소재, 저비용재활용 등의 기술 개발을 통한 기술 혁신 방안 제시
- ‘에너지발전전략 행동계획(‘14년~’ 20년)’ 을 통해 도시 내 건축물 중 50%이상의 녹색 건축화 계획을 추진
 - 녹색건축물 평가등급제 도입, 녹색건축물 설계 기준 마련을 통해 건축물 에너지 절감 및 에너지 효율성 제고
- 또한, ‘녹색 건축 행동 방안’ 을 통하여 에너지 자원 절약과 환경보호를 위한 도시 신축 건물에 엄격하고 강제적인 에너지 절약 기준을 적용
 - 공공건물의 에너지 절약 관리 강화, 녹색 건축 관련 기술 연구 개발 및 보급, 녹색 건설재료 개발, 건축 산업화 추진, 건축 폐기물 자원화 이용 등을 추진
- 한편, 중국 지진국은 세계적으로 이슈가 되는 지진 방지대책으로 ‘중화인민공화국 지진방지재해감소법’ 을 기초로 건축물 건설에 앞서 지진 안전성 평가를 실시
 - 건축물 건설시 사전 지진 안전성 평가를 실시하여 건설여부를 결정하고 내진성능에 대한 인증을 제도화
- 주요 연구개발 프로젝트:
 - ① 특수금속 기능소재, 고성능 구조재료/ ② 기능성 고분자소재, 특수 무기비금속 소재/ ③ 선진 복합소재, 초전도 나노소재, 그래핀

2. 국내 정책 동향

□ (제4차 과학기술기본계획) 과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여하는 비전을 설정하여 기본계획을 수립

- 이 중 스마트 건설재료와 직접적으로 연관성이 높은 분야는 깨끗하고 편리한 생활환경 구축으로 기후변화 대응력 강화 및 생활공간 편의성 향상 과제 등이 존재
 - (기후변화 및 신기후체제 대응으로 지속가능성 확보) Non-CO2 온실가스 저감기술
 - (생활공간 편의성 향상) 슈퍼건설재료 및 재료기술

[표 2] 제4차 과학기술 기본계획 내 스마트 건설재료 관련 추진과제

4대 전략	19개 분야	78개 추진과제	구성기술(스마트 건설재료 연관성)	
과학기술로 모두가 행복한 삶 구현	안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현	재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보	- 노후 및 신설 도시 인프라의 지진 취약성 진단	
			- 내진보강기술 개발 및 예방적 유지관리 시스템 개발	
	쾌적하고 편안한 생활환경 조성	기후변화 및 신기후체제 대응으로 지속가능성 확보	- 메탄 아산화질소, 불화가스 저감 등 비이산화탄소계 온실가스 저감기술 개발	
			쾌적하고 청정한 생활환경 구현	- 쓰레기, 폐기물, 하·폐수의 처리·재활용·자원화 기술고도화
			편리하고 살기 좋은 스마트시티 구축	- 효율적 에너지 관리가 가능한 지능형 건물관리기술 및 스마트홈 기술 개발

□ (미래소재 원천기술 확보전략) 과학기술정보통신부는 ‘4차 산업혁명 경쟁의 원동력이 미래소재’라는 인식 하에 미래사회 대응을 위해 ‘미래소재 원천기술 확보전략’을 마련 중

* 미래소재란 미래 신산업 창출과 혁신기술 개발의 기반이 되는 소재, 인공지능, 빅데이터, IoT, 헬스케어, 환경·에너지, 안전분야 등 4차 산업혁명과 미래사회의 핵심영역을 뒷받침 할 원천소재

- 우리나라는 소재·부품특별법이 제정된 ‘01년부터 소재 응용·개발 연구에 집중 투자하여 소재산업의 기술경쟁력을 강화하여 왔으나, 기초·원천연구에는 투자가 미흡하여 일부 핵심 첨단소재는 여전히 외국기술에 의존하고 있는 실정

- 산학연의 100여명 소재 전문가 그룹은 4차 산업혁명과 미래사회 변화에 따른 초연결, 초고령, 지속가능 환경, 안전 등 4대 메가트렌트에 핵심적으로 필요한 30대 미래소재를 도출
- 그 중 건설재료와 관련하여 지진, 원전가동·폐기 시 안전확보, 급작스런 정전 및 사회 재난 발생 시 효율적 대응을 위한 소재로 극한환경 자가치유 고신뢰성 소재 도출

[표 3] 건설재료와 연관성이 있는 30대 미래소재 기술 중

4대이슈	12대 중분류	30대 미래소재	기술개요	활용분야
④ 안전한 사회를 위한 안전 소재 (6개)	[12] 재난대비 자가복원 치유소재	③⑩ 극한환경 자가치유 고신뢰성 소재	인장외력 작용 시 팽창하여 지각변동에 유연하게 대응할 수 있는 소재	건축, 토목, 해양플랜트 등 구조안전 강화에 적용

□ (6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)) “2025년까지 스마트 건설자동화 등 4차 산업혁명에 대응하는 기술을 개발하는 중장기 계획을 담은 건설기술정책 로드맵 『제6차 건설기술진흥 기본계획』을 수립

- ‘Smart Construction 2025’을 비전으로 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성, 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선 등 2개 전략, 10개 중점추진과제 추진
 - (스마트 관리체계) 4차 산업혁명기술을 활용하는 ‘스마트 건설기술’ 개발 등으로 시스템·장비 기반의 안전체계 구축 및 활용 촉진
 - (제도적 근거 마련) 현장관리 시 IoT, 드론 등 4차 산업혁명 첨단 기술이 활용될 수 있도록 비용 반영 근거 마련
 - (IoT 기반 스마트 유지관리) IoT 기반 계측센서, 드론 등 첨단 유지관리 기술을 개발하여 시설물 이상을 신속 검지·대응('19~'23)
- ※ 스마트센서 등은 산자부와 협업하여 기술개발 추진
 - (지하시설물 관리 기술 개발) 지하시설물을 건설하고 유지·관리할 수 있는 장비 기술 개발로 국민 편의 증진('19~'25)
 - (Maintenance Free 건설재료) 구조물 상태를 진단하고 스스로 치유가 가능한 건설 재료를 개발하여 시설물 유지관리 효율화

[표 4] 『제6차 건설기술진흥 기본계획』 2개 전략, 10개 중점추진 분야

전략 I		4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성	
분야	중점 추진 과제		
기술개발	① 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상		
고부가 산업 육성	② 해외 수요 대응형 건설기술 개발		
건설 안전 강화	③ 분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화		
	④ 건설 Big Data 유통을 통한 신산업 육성		
	⑤ 건설의 안전·환경 관리		
전략 II		글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선	
분야	중점 추진 과제		
산업 개편·육성	① Eng.의 역량 강화 및 해외진출 지원		
건설인력·교육	② 국제 기준에 부합 하는 제도 구축		
	③ 글로벌 기준에 맞는 경력 관리체계 구축		
	④ 국제경쟁력을 갖춘 기술인력 육성		
기준·제도	⑤ 기술력 중심의 발주심의 강화		

□ (시설물의 안전관리에 관한 특별법) 시설물의 안전점검과 적절한 유지관리를 통하여 재해와 재난을 예방하고 시설물의 효용을 증진시킴으로써 공중(公衆) 안전을 확보하고 나아가 국민의 복리증진에 기여를 목적으로 설정

- 시설물의 안전성을 확보하고 기능을 유지하여 자연재해로 인한 피해를 방지하기 위해 준공 또는 사용승인을 받은 후 20년이 경과한 시설물 중 안전점검 및 정밀안전진단지침에 따라 정기적으로 정밀안전진단 실시를 포함
- 고내구성·고생산성 SOC, 친환경·고성능 CO2 저감 건설재료 등 폴리머 섬유를 재해 및 재난 예방과 시설물의 안전성 확보 등을 위하여 정밀안전진단을 실시하며 내진성능평가를 포함
- 법적 근거를 마련하여 지속적·안정적으로 시설물을 관리하며 지속적으로 발생하고 있는 안전사고를 예방할 수 있도록 지향
- 「시설물 특별법」은 시설물 정밀안전 및 내진성능에 대응 할 수 있도록 건설에 대한 고강도·고기능을 통한 관리를 지향

□ (제4차 시설물 안전 및 유지관리 기본계획) 종전과 다른 새로운 환경변화가 전망되므로, 이에 적극 대응할 필요성이 대두되어 ‘미래요구 대응을 위한 지속가능한 시설물 안전관리 기반 구축’을 비전으로 설정

- 4대 목표로 안전하고 오래 사용하는 시설물, 스마트한 시설물, 경제 활성화에 보탬이 되는 시설물, 국민이 믿을 수 있는 시설물 등을 제시

- 또한, 비전 달성을 위한 4대 전략으로는 시설물 노후화 대비 선제적 관리체계 정착, 4차 산업혁명 기술 활용 시설물 안전·유지관리 고도화, 용·보합을 통한 미래 대비 산업발전 기반 조성, 국민 소통형 시설물 안전·유지관리 서비스 지향 등을 제시
- 추진과제 중 시설물 노후화를 대비한 안전 및 유지관리, 첨단기술에 관한 내용 포함

[표 5] 시설물 안전 및 유지관리 기본계획 내 스마트 건설재료 관련 추진과제

4대 전략	세부 추진과제
전략 1. 시설물 노후화 대비 선제적 관리체계 정착	1-2. 성능 중심 유지관리의 안정적 정착 및 지속적 확대
	1-5. 설계·시공 및 유지관리 정보의 통합 및 환류체계 구축
전략 2. 4차 산업혁명 기술을 활용한 시설물 안전 및 유지관리 고도화	2-3. 시설물 안전 및 유지관리 차세대 핵심기술 확보
	2-4. 첨단기술 테스트베드 및 성능 검증 체계 구축

□ (국가안전관리기본계획) 각종 재난 및 사고로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위하여 국가의 재난 및 안전관리의 기본방향을 설정하는 최상위 계획

- 도시화·인구집중, 고령화, 기후변화, 신종감염병의 창궐 등 재난 환경 변화에 대응하여 국가가 국민을 재난 및 안전사고로부터 보호하기 위해 제시
- 안전이 생활화된 국민, 안전이 체질화된 사회, 안전이 우선시되는 국가정책이라는 목표를 통하여, 5대 전략, 19개 세부추진과제를 설정

[표 6] 국가안전관리기본계획 내 스마트 건설재료 관련 추진과제

4대 전략	세부 추진과제
전략 4. 재난안전 예방 인프라 확충	4-1. 예방을 통한 연속성 확보
전략 5. 분야별 안전관리	5-7. 제조·건설·서비스업 사업장 등 산업현장 안전관리
	5-8. 시설물 안전관리 강화
	5-9. 대형교통(도로·철도·항공) 안전관리

□ 『제4차 소재·부품발전 기본계획』을 통해 소재·부품 정책을 쏠주기 기업활동에 있어 4차 산업혁명 지원형으로 전환하여, ①4차 산업혁명 관련 新산업 육성, ②주력산업 고도화를 뒷받침

○ (소재) 부품 또는 완제품 기능을 좌우하는 핵심 물질로 5대 소재로 구분

품목명	비중('14 생산액)	주요 제품	주요기업 ('15 매출액)
① 제1차 금속	40.7%(107조원)	철강, 알루미늄, 마그네슘	포스코 (25.6조) 현대제철(14.5조)
② 화합물 및 화학	36.2%(95.4조원)	합성수지, 합성고무, 의약품질	롯데케미칼(8.5조) 금호석유화학(3.2조)
③ 고무 및 플라스틱	15.0%(39.6조원)	타이어, 합성피혁, 플라스틱	한국타이어(3.4조) 에스케이씨(1.8조)
④ 섬유제품	4.1% (10.7조원)	직물, 화학섬유, 특수사	효성(8.0조) 코오롱인더스트리(3.4조)
⑤ 비금속광물	3.9% (10.3조원)	세라믹, 산업유리, 탄소섬유	쌍용양회(1.4조) 조선내화(0.5조)

[그림 11] 5대 소재 생산액 및 주요제품

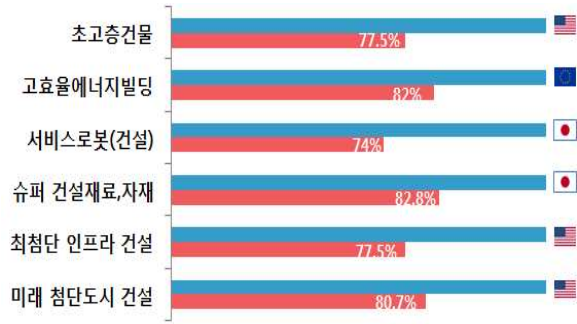
○ (부품) 모듈 및 완제품의 구성요소로 7대 부품으로 구분

품목명	비중('14 생산액)	주요 제품	주요기업 ('15 매출액)
① 전자부품	36.5%(146조원)	반도체, 액정표시장치, 통신기기	엘지디스플레이(25.9조) 삼성전기(5.3조)
② 수송기계부품	24.9%(99.7조원)	자동차부품, 항공기부품, 철도부품	현대모비스(19.1조) 만도(3.1조)
③ 일반기계부품	14.3%(57.3조원)	공조·건설기계, 내연기관, 금형	두산인프라코어(3.5조) 한온시스템즈(2.3조)
④ 전기기기부품	14.2%(56.9조원)	축전지, 전동기, 전기신호장치	엘지화학 (17.3조) 삼성에스디아이(6.7조)
⑤ 조립금속제품	7.6%(30.3조원)	열처리, 볼트, 너트, 절삭가공	태양금속공업(0.4조) 진합(0.3조)
⑥ 정밀기기부품	2.1%(8.4조원)	정밀측정·시험기기, 의료정밀기기	에스엔티모티브(0.9조) 케이씨텍(0.3조)
⑦ 컴퓨터 및 사무기기	0.4%(1.6조원)	컴퓨터 입력·출력 장치, 사무용 기기	대우루컴즈(0.1조) 에이텍시스템(0.1조)

[그림 12] 7대 부품 생산액 및 주요제품

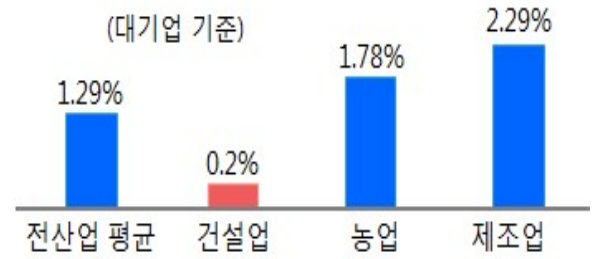
□ (건설산업 혁신방안) 『제9차 경제관계장관회의』에서 ‘건설산업 혁신방안’을 수립하여 상정

- 플랜트 분야(누적수주의 58%)의 기업 경쟁력은 높으나, 첨단 인프라, 초고층빌딩 등 주요기술은 Global Top 대비 70~80% 수준
- 고내구성·고생산성 SOC, 친환경·고성능 CO2 저감 건설재료 등 폴리머 섬유를 건설자동화 등 4차 산업혁명 대응을 위한 R&D 투자도 매우 저조



[그림 13] Global Top 대비 주요 기술수준

* 출처 : 『제9차 경제관계장관회의』 자료, 2018





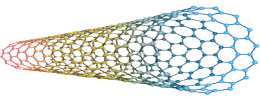

[그림 14] 업종별 R&D 투자규모(매출액 대비)

○ R&D 강화, 스마트 인프라 등 기술로 승부하는 건설시장의 확대를 통해 건설산업을 낡은 전통산업에서 혁신친화적 산업으로 전환

As-Is	To-Be
<ul style="list-style-type: none"> 생산성 OECD 하위 3위(18.7달러) 수산업 중 R&D 투자 최하위(0.2%) 해외수주 최근 3년간 56% 감소 	<ul style="list-style-type: none"> 노동생산성 40% 향상 매출 대비 R&D투자 1%로 확대 2천억\$ 이상 수주달성('18~'22)

- 고내구성·고생산성 SOC, 친환경·고성능 CO2 저감 건설재료 등 폴리머 섬유를 그 중 스마트 건설기술 활성화를 통해 건설자동화, 스마트 유지관리 등 첨단 건설기술 개발에 '27년까지 약 1조원을 투자(예비타당성 추진)하여 핵심기술 보급

[표 7] 스마트 건설재료 R&D 사업(안)

구분	주요 기술	투자비용 및 기대효과
 건설 자동화	<ul style="list-style-type: none"> BIM 플랫폼 구축 건설자동화 로봇 적용 공장형 시공(모듈러, 가상시공) * 건설자동화 로드맵 수립('18.7) 	<ul style="list-style-type: none"> 약 2,000억원('20~'27) 건설 생산성의 획기적 제고 및 안전사고 예방
 스마트 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> IoT, 빅데이터 기반 최적의 유지보수 기술 개발 시설물 내부손상 탐지 및 수명 자동 예측 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 약 1,400억원('20~'26) 선제적 시설물 관리로 인명피해·사회적비용 ↓
 스마트 건설재료	<ul style="list-style-type: none"> 고분자 탄소재료를 활용한 철근 대체재 개발 나노소재를 이용한 고내구성 콘크리트 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 약 1,600억원('20~'26) 구조물의 내진성능과 내구성·강도·유연성 ↑ → 비용절감, 재해피해 경감
 메가스트럭처 + 플랜트	<ul style="list-style-type: none"> 초장대교량, 부유식(floating) 해저터널, 인공섬 기술 개발 극한지 자원화 플랜트, 바이오 매스 및 지하복합 플랜트 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 약 5,100억원('20~'25) 해외수요가 높은 공종의 집중개발로 원천기술 및 글로벌 경쟁력 확보

- (소재부품 경쟁력 강화방안) 소재·부품·장비의 발전은 부가가치 향상 및 신제품 개발을 촉진하고 산업전반에 파급되어 제조업을 혁신하는 원동력으로 작동
- 소재·부품·장비산업에 예산과 금융, 세제, 입지, 규제특례 등 국가자원과 역량을 총력 투입하는 특단의 대책 마련을 통해 근본적으로 특정 국가에 대한 높은 의존도 등 소재·부품·장비산업이 가진 구조적 취약점을 해결

비전	소재부품장비 강국도약을 통한 제조업 르네상스 실현
-----------	------------------------------------

목표	<ul style="list-style-type: none"> ① 100대 핵심 전략품목 조기 공급안정화 ② 소재부품장비 산업 전반의 경쟁력 강화
-----------	---

추진 전략	<ul style="list-style-type: none"> ① 입체적이고 다각적인 공급안정성 조기 확보 ② 수요기업-공급기업, 수요기업간 건강한 협력모델 구축 ③ 강력한 추진체제를 통한 대대적 지원
--------------	---

추진과제

1. 100대 품목 조기 공급안정성 확보

- ① 20대 품목 공급안정화 대책: 1년내 공급안정화
- ② 80대 품목 공급안정화 대책: 5년내 공급안정화

2. 소재부품장비 산업 전반의 경쟁력 강화

- ① 수요-공급기업 및 수요기업 간 건강한 협력 모델 구축
- ② 기업 맞춤형 실증·양산 Test-bed 확충
- ③ 민간의 생산과 투자에 대한 전방위적 지원
- ④ 글로벌 수준의 소재·부품·장비 전문기업 육성

3. 강력한 추진체제를 통한 전방위적 지원

제2절 국내·외 기술 동향

1. 국외 기술 동향

- 국외에서는 교량 등 주요 시설물의 철근부식으로 인한 급격한 노후화 방지를 위하여 1990년대 중반부터 부식저항성이 뛰어난 섬유보강복합재료(Fiber Reinforced Polymer, FRP)를 활용한 철근대체 제품 개발 및 적용에 노력
 - FRP의 경우, 부식저항성 외에 높은 인장강도, 낮은 열 및 전기 전도도 등의 장점이 있으나 항복점이 없어 취성과파괴 위험이 존재하며, 장기적인 성능 검증 데이터는 부족한 실정
 - FRP는 철근과 비교하여 탄성계수가 낮고 열팽창 계수가 높아, 슬래브 등 구조물 주요 부재에 제한적·부분적으로 활용되고 있는 실정

[표 8] FRP 보강재의 장점 및 단점

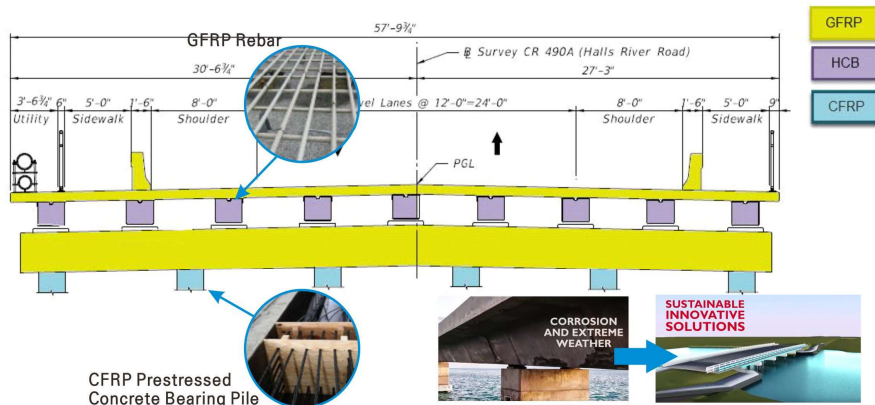
장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> ■ 높은 인장강도 (섬유종류, 하중작용 방향 및 종류 등에 따라 다양) ■ 뛰어난 부식 저항성 ■ 비자기성 ■ 높은 파단 저항성(섬유 타입에 따라 다양) ■ 경량(강재 밀도의 1/5 ~ 1/4) ■ 낮은 열 및 전기 전도성(유리섬유, 아라미드 섬유) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 최성 파괴 전에 항복점이 없음 ■ 낮은 전단강도 (섬유종류, 하중작용 방향 및 종류 등에 따라 다양) ■ 낮은 탄성강도(섬유 타입에 따라 다양) ■ 자외선 및 방사선 노출에 의하여 섬유 및 수지가 손상되기 쉬움 ■ 섬유 종류에 따른 특정 환경영향의 내구성에의 영향 (유리섬유 : 습윤환경, 유리섬유 및 아라미드 섬유 : 알칼리 환경) ■ 높은 열팽창 계수 ■ 매트릭스 타입, 콘크리트 피복두께 등에 따른 화재 취약성 존재



[그림 15] FRP의 건설분야 적용 변천

□ (미국) 철근부식으로 인한 교량 유지보수에 막대한 예산이 소요됨에 따라 교량의 철근부식방지를 위한 대책으로 “CFRP에 의한 철근대체” 를 추진

- 교량의 100년 이상 수명 확보를 위하여 슬래브 주근으로 GFRP 보강근, 파일 주근으로 CFRP 케이블을 적용



* 출처 : Halls river bridge replacement, 2016 Design training expo

[그림 16] 미국의 CFRP 보강근 및 케이블 적용 사례

□ (미국) CHOMARAT사에서 개발한 CFRP 그리드 “C-Grid” 는 토목, 건축물, 수송관 등 구조물 보수보강, 패널 등 PC 제품 등 다양한 분야에 적용



* 출처 : B&R Building Materials, C-GRID

[그림 17] 카본파이어 그리드 적용 예시

- Altus group은 C-Grid를 활용하여 두께와 중량을 감소시킨 복합 패널 “CarbonCast” 를 개발하였으며, 기존 패널보다 실내 공간을 넓게 활용할 수 있는 장점이 있으며, 내구성 및 시공성 향상 도모 가능



* 출처 : Pat Hynes, A Precast Producer's Look at C-Grid

[그림 18] C-Grid에 의한 CarbonCast 제작 및 설치 모습

□ (미국) Altus group은 CFRP 그리드인 C-Grid를 활용하여 두께와 중량을 감소시킨 복합 패널 “CarbonCast” 를 개발하고 현장에 적용



* 출처 : Altus

[그림 19] CarbonCast 설치 작업 및 완료 모습

□ (독일) 콘크리트 구조물의 장수명화를 위해 CFRP를 활용한 “Carbon Concrete Composites (C3)” 대규모 프로젝트(연구예산 약 904억 원) 수행 중

* 화학, 기계 건설 등 다양한 분야의 대학, 연구기관, 기업 등 160 기관 및 기업 참여

** 철근 부식으로 인한 철근콘크리트의 내구성 저하 문제를 근본적으로 해결하기 위하여 새로운 재료 개발

○ 도로교, 건축물의 대형 외부 패널, 조형물 등 다양한 구조물의 신축과 기존 구조물의 보수보강에 CFRP 그리드를 적용

- 도로교 : TRC Bridge in Oschatz/Szxony (스팬 8.66 m, 너비 2.50 m), Rottachsteg (스팬 16 m) 등

- 외벽 패널 : SchieferErlebnis (Dormettingen)의 커튼월 (단면 1.5 m x 4.1 m, 두께 50 mm), Alfred-Hutter laboratory hall(TU Dresden)의 외벽 패널 등

- 구조물 보수 : 싸일로, 지붕 등의 보수

- 자유형상 구조물 : 프리캐스트 셸 요소, 접는 TRC(Oricrete) 등



(a) 도로교, Rottachsteg bridge



(b) 외부 패널



(c) 지붕 및 싸일로



(d) 조형물

* 출처 : S. Scheerer et al., Shells made of textile reinforced concrete – applications in Germany, J. IASS, 2017.
C.Kulas, Actual applications and potential of textile-reinforced concrete, GRC 2015.

[그림 20] 독일의 CFRP 그리드 적용 사례

- 프로젝트를 총괄하고 있는 TU Dresden은 BCS Baustoff Control Service사, H. Bendl Hoch- und Tiefbau사 등과 함께 탄소콘크리트를 활용한 프리캐스트 부재를 개발하고 실제 현장 적용



* 출처 : 9. CARBON- UND TEXTILEBETONTAGE, TUDALIT, 2017.

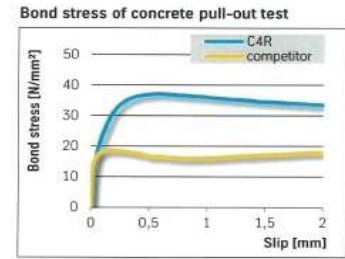
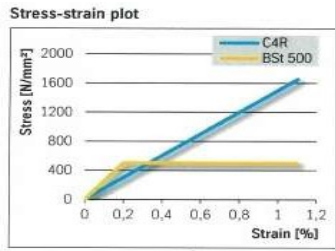
[그림 21] 탄소콘크리트 활용 프리캐스트 부재 예시

□ (독일) Thyssenkrupp Carbon Components GmbH.는 고온 맞춤형 고강도 탄소 섬유를 이용하여 이형철근 형태의 Carbon4ReBar(C4R)를 개발

- 표준 이형 철근 대비 80%의 중량 감소 효과 및 뛰어난 인장강도가 특징이며, 현재 다양한 직경, 길이 및 요철 형상의 C4R을 생산 중

[표 9] C4R의 역학적 성능

유효 인장강도 (MPa)	1.650
유효 인장 탄성계수 (GPa)	151
파단 시 변형률 (%)	1.1

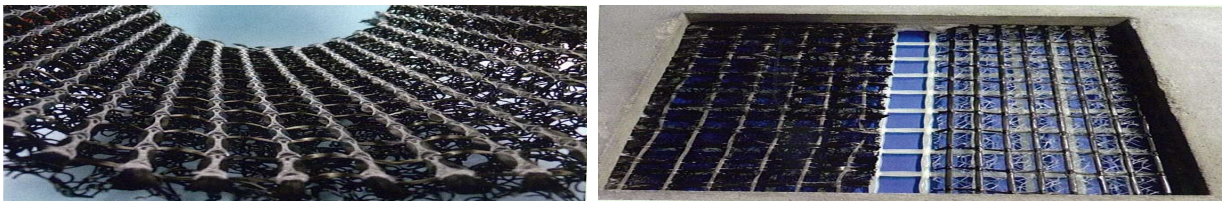


* 출처 : Carbon4ReBAR (C4R), thyssenkrupp (팜플렛)

[그림 22] C4R 제품 개요 및 강재와의 역학적 성능 비교

□ (독일) 아헨공대와 Albani Group은 “PosiTex” 프로젝트를 통해 스페이서가 일체화된 하이브리드 텍스타일을 개발

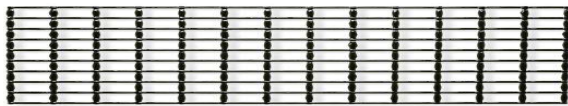
○ 텍스타일의 형태 및 위치 고정이 가능한 콘크리트 보강재로서의 생산성 및 시공성 향상



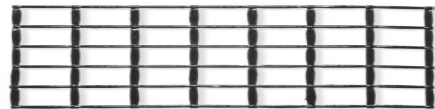
* 출처 : 9.CARBON- UND TEXTILEBETONTAGE, TUDALIT, 2017.

[그림 23] “PosiTex” 프로젝트 개발제품

□ (독일) Solidian사는 다양한 규격의 유리섬유 및 탄소섬유 그리드 제품 “solidian GRID Q 시리즈” 를 제작, 판매 중



Q85



Q95

* 출처 : www.solidian.com

[그림 24] solidian GRID Q 시리즈 제품 예시

□ (독일) Solidian사는 GFRP, CFRP 그리드 제품과 함께 FRP 그리드가 적용된 샌드위치 패널 등 다양한 제품 생산 중

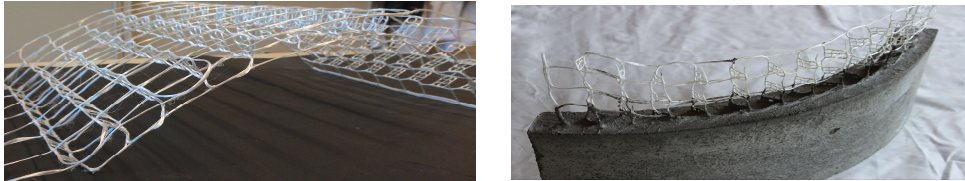


* 출처 : 9.CARBON- UND TEXTILEBETONTAGE, TUDALIT, 2017.

[그림 25] CFRP 그리드 적용 샌드위치 패널 예시

□ (오스트리아) Innsbruck 대학은 TEXon 프로젝트를 통해, 3D 구조의 섬유복합 그리드 및 이를 보강재로 활용한 콘크리트 셸을 개발

- 자수기법(Technical embroidery techniques)을 활용하여 3D-Textile 그리드를 구현
- AR-glass 및 탄소섬유를 이용하여 비정형 구조물의 보강이 가능
- 콘크리트 보강 목적이며, 경량 콘크리트 부재 생산이 가능



* 출처 : 9.CARBON- UND TEXTILEBETONTAGE, TUDALIT, 2017.

[그림 26] 3D-Textile 구조 이용 섬유 강화 콘크리트 셸

□ (일본) CFRP를 포함 장기 내구성능 향상 혁신적 구조재료 개발을 위한 대규모 프로젝트(연구예산 약 787억 원) 수행 중

- * CFRTP의 건설산업 적용을 위한 생산성 향상 기술 개발
- 기존 강재와 콘크리트를 대신하는 경량·고강도 및 장수명 혁신적 구조재료와 이의 저비용, 대량 생산을 위한 연구를 수행 중

Strand Rod 열가소성탄소섬유복합재료

- 철근대체 / 기존건축물 내진보강용
- 철근비중의 18%(동일직경, 인장강도 6.7배)

Loại	Diameter (mm)	Cross-section area (mm ²)	Weight (kg/m)	Tensile strength (MPa)	Tensile strength per unit area (kN/cm ²)	Formability
CFRP/SM (Black) Strand Rod	5.80	26.7	47.3	38.22	1.43	Non-Formable
CFRP/SM (Black)	5.18	21.1	30.5	38.08	1.81	Non-Formable
Wire	6.00	28.3	322	5.67	0.20	

탄소섬유시트 탄소섬유 스템퍼블시트

- 각주보강용 시트
- 경량소재 [비중 1.4~1.5 (강재 7.8)]
- 고인장 [휨강도 100~500 MPa (강재 300~600MPa)]

材質	曲げ強度(MPa)	比重
鉄	300~600	7.8
アルミ	200	2.7
本研究のスタンパブルシート	100~500	1.4~1.5

[그림 27] 일본 개발 재료 개요

- “Komatsu Seiren Fabric Laboratory (fa-bo)” 건축물의 내진보강을 위하여 건물 내부 및 외부에 CFRTP 긴장재를 적용



* 출처 : www.komatsuseiren.co.jp/cabkoma/

[그림 28] 일본의 CFRP 긴장재 적용 사례

□ (캐나다) Canadian Highway Bridge Design Code에 FRP 보강재 관련 내용을 포함시키고 CFRP 긴장재, 스티럽, 그리드 등을 다수의 교량에 시험 적용

- Manitoba의 Headingley Bridge : CFRP 긴장재, CFRP 스티럽 등을 일부 거더에 적용
- Kent Country Road No. 10 Bridge : 부모멘트 보강을 위하여 CFRP 그리드 적용
- Joffre Bridge : 데크 슬래브에 CFRP 그리드와 GFRP 보강근 적용



(a) CFRP 긴장재 및 스티럽(Headingley bridge 거더) (b) CFRP 그리드 및 보강근(Joffre bridge 데크 슬래브)

* 출처 : www.komatsuseiren.co.jp/cabkoma/

[그림 29] 캐나다의 CFRP 긴장재 및 그리드 적용 사례

[표 10] 독일과 일본 대표 연구 프로젝트 비교

연구명	Carbon Concrete Composite(C3) Project	Construction of next-generation infrastructure using innovative materials Project
국가	독일	일본
연구기간	2015~2020년	2013~2021년
총연구비	약 68백만 유로(약 904억원)	약 80억엔(약 787억원)
개발목표 및 주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> - (목표) 인구 성장, 주택인프라 증가, 자원 소비, 높은 CO² 배출에 따른 건설 관점에서의 사회·환경 문제 해결을 위한 신개념 건설재료 기술 개발 · (패러다임 변화) 철근콘크리트를 탈피한 새로운 형식의 구조물 설계/시공 · (지속가능성) 높은 내구성 확보를 통한 유지 보수 비용 감소 및 자원 절약 · (건설시장 선점) 철근콘크리트 대체 시장의 글로벌 기술 리더 도약 - (주요 연구내용) 8개 프로젝트로 구성되며, 재료 개발뿐만 아니라, 표준화된 설계 및 성능평가, 경제성 및 시공성 검증 철거/해체 시의 재활용 기술 등 종합적 기술 개발 실시 · (재료) CFRP 기반 콘크리트용 보강재, 탄소섬유 및 코팅재, 바인더 및 콘크리트, 탄소 보강 콘크리트 제조 공정 등 · (설계) 설계 및 성능평가 방법 표준화, 표준 및 인증을 위한 검증 및 시험, 구조 해석 등 · (시공) 탄소 보강 콘크리트의 내구성, 비용 효율성, 시공성 검증 등 	<ul style="list-style-type: none"> - (목표) 고도성장기에 구축된 사회 인프라의 열화에 따른 유지비용 및 사고 위험성 증대 등의 사회적 문제 해결을 위한 기존 강재와 콘크리트를 대신하는 혁신구조재료 및 차세대 인프라 시스템 적용 기술 개발 · (사회인프라) 혁신복합재료에 의한 유지보수비 절감에 가까운 사회인프라 실현 · (도시주택인프라) 환경성능 우수 소재, 고기능 재료에 의한 인프라 구축 및 재생 · (해양인프라) 기존 재료로는 실현 불가능한 해양 장대 구조물 및 인프라 실현 - (주요 연구내용) 혁신 재료와 혁신 제조 프로세스로 구성 · (혁신 재료) 바이오 및 나노 기술 활용, 고기능(내열성, 내구성, 자기복구기능) 재료, 바이오매스 유래 열가소성수지, 고기능성 목질 재료 등 · (혁신 제조 프로세스) 연속성형에 의한 대형, 장스팬 구조재료 제조 공정 (대형부재의 일체성형, 생산성 100배, 비용 1/10 실현) 등 · (기타) 수지 및 섬유 재활용 기술 등

연구명	Carbon Concrete Composite(C3) Project	Construction of next-generation infrastructure using innovative materials Project
	· (기타) 탄소 보강 콘크리트 해체 및 재활용, 탄소 보강 콘크리트 인체영향 평가, 광섬유 센서 내구성 분석 등	
기술개발 결과 및 성과 활용현황	<ul style="list-style-type: none"> - CFRP 기반의 다양한 형태의 콘크리트용 보강재 개발 · 2D 및 3D 그리드, 원형 및 이형 봉강 · 2D 그리드는 현재 Solidian 등 일부 회사에서 다양한 간격으로 시판 중 - Pilot project "CUBE" 구축 예정 · C3 프로젝트에 의하여 개발된 CFRP 기반 콘크리트용 보강재 및 탄소 보강 콘크리트 구조 적용 · 연면적 220m²로 현재 설계 완료 상태 · 2020.3.2. ~ 2020.12.31. 공사 예정 	<ul style="list-style-type: none"> - 탄소섬유와 열가소성수지에 의한 강연선 및 플레이트를 개발하고, 이에 대한 적용방안 제시 · 강연선의 내진보강, 그라운드 앵커 지압판 적용, FRP 패널의 건축분야 적용, FRP근의 콘크리트 구조 적용 등 - CFRTP 강연선을 제품화하여 내진보강 등으로 적용 · Komatus matoren사에서 CFRTP 강연선으로 제품화 · 후쿠오카 2호 창고에 내진 보강 적용 · JR 오사카역 홈의 추락방지용 난간으로 적용

□ 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황

- 상용 탄소섬유복합 보강재 생산 기업 및 제품 현황

[표 11] 국외 탄소섬유복합 보강재 생산 기업 및 제품 현황

주체	관련기술	제품명	특징
TOKYO ROPE	탄소섬유복합 긴장재	CFCC	다양한 형상의 강연선 제품
Komatus Seiren	탄소섬유복합 긴장재	CABKOMA	경량의 탄소섬유 강연선 제품
Aslan FRP	탄소섬유복합 긴장재	Aslan 200	구조물 외부 보강용 강봉 제품
Thyssenkrupp	탄소섬유복합 보강근	Carbon4ReBAR(C4R)	직경 8 ~ 16 mm의 다양한 이형 철근 형태 보강근 제품
Solidian	탄소섬유복합 그리드	GRID Q 시리즈	다양한(8종) 간격의 그리드 제품
CHOMART	탄소섬유복합 그리드	C-Grid	다양한 간격 및 이방형 그리드 제품



[CFCC]



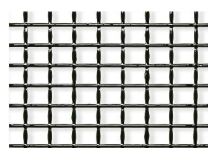
[CABKOMA]



[Aslan 200]



[Carbon4ReBAR]



[GRID Q]



[C-Grid]

[표 12] 주요 탄소보강근 제품 현황

국가	회사명	직경 (mm)	밀도 (g/cm ³)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	비고
중국	Haining Anjie Composite Materials	4~26	1.6~1.8	1800~2200	140~155	
	Antop Global	6~13		2068~2241	124	
독일	Thyssenkrupp	8~16		1650	151	
미국	Aslan FRP	6~13		2068~2241	124	보강용

[표 13] 주요 탄소그리드 제품 현황

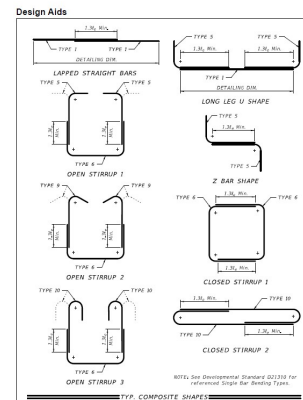
국가	회사명	모델명	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	그리드 간격 (mm)		비고
					축	직각	
미국	CHOMART	C50-1.8*1.6	2,001	234.5	46	41	
		C50-2.36*2.36	2,001	234.5	60	60	
		C50-2.36*4	2,001	234.5	60	102	
		C50-2.95*2.95	2,000	234.5	75	75	
		C50-3.54*4	2,001	234.5	90	102	
독일	solidian	Q47/47-CCE-38-E4	3,600	230			■ 평균
			3,000				■ 최저
		Q71/71-CCE-51-E4	3,600	230			■ 평균
			3,000				■ 최저
	Q85/85-CCE-21-E4	4,000	230			■ 평균	
		3,300				■ 최저	
	Q95/95-CCE-38-E4	3,600	230			■ 평균	
		3,000				■ 최저	
	HITEXBAU	HTC 10/15-40	2,551	218	15	10	
		HTC 21/21-40	2,531	148	22	22	
		HTC 34/34-40	2,544	173	34	34	
		HTC 50/50-40	2,551	182	50	50	
		HTC 25/25-80-UWX	3,150	143	23	23	
		HTC 20/50-80-T	3,250	141	50	20	
HTC 25/25-40		2,432	165	27	27		
HTC 18/18-40	2,700	184	18	18			
일본	논문참조	CR-5	1,400	100			
		CMR-5	1,778	212			
	FRP 그리드 공법 연구회	FRP 그리드	1,400	100			
			1,200	165			

□ 설계 및 시공 가이드라인

- 미국, 캐나다, 유럽, 일본 등지에서는 FRP 보강재의 콘크리트 구조물에의 활용도를 높이기 위하여 FRP 보강재 관련 설계 및 시공 기준을 마련
 - (미국) ACI 440(FRP Reinforcement) 위원회를 중심으로 관련 기준을 마련
 - * ACI 440.1R-15, ACI 440.2R-08, ACI 440.3R-12, ACI 440.4R-04, ACI 440.5-08, ACI 440.6-08, ACI 440R-07 등
 - * AASHTO LRFD GFRP-Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings-09
 - (캐나다) CAN/CSA-S807-10, CAN/CSA-S806-12, CAN/CSA-S6-06, ISIS Design Manual No. 3-01 등
 - (유럽) CFRP 등 복합재료의 건설분야 활용을 위하여 유럽표준화 기술위원회의 유럽위원회 250(CEN/TC250)을 통하여 “FRP 구조설계를 위한 유럽가이드라인” 개발 및 CNR-DT 203-06, Fib bulletin No. 40-07 등 가이드라인 존재
 - (일본) Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials(JSCE) 등
- 미국 FDOT에서는 자체적으로 굽힘 상세 등 GFRP의 배근상세 가이드라인 제시



[그림 30] 각종 설계 및 시공 가이드라인



* 출처 : Pultruded FRP Bar Bending Details

[그림 31] GFRP 보강근 굽힘 상세 예시

□ 대표적 논문 현황

[표 14] 국외 주요 논문

번호	논문명	연도
1	Innovative textile reinforcements for concrete applications	2015
2	Tensile properties of glass/natural jute fibre-reinforced polymer bars for concrete reinforcement	2015
3	FRP reinforcement of timber structures	2015
4	Shaped textile reinforcement elements for concrete components	2013
5	Closed loop wire reinforcement to concrete beams	2013
6	Fire tests of hybrid and carbon fiber-reinforced polymer bar reinforced concrete beams	2011
7	Fibre reinforced polymer grids as shear reinforcement in fabric formed concrete beams	2011
8	Innovative coating technology for textile reinforcements of concrete applications	2011
9	Environmental savings from the use of vegetable fibres as concrete reinforcement	2011
10	Shear-reinforcing effect of continuous fiber rope on reinforced concrete beams	2015
11	Creep rupture performance of basalt fiber-reinforced polymer bars	2015
12	Performance of carbon-fiber-reinforced polymer stirrups in prestressed-decked bulb T-beams	2015
13	Torsional Behavior of Rectangular and Flanged Concrete Beams with FRP Reinforcements	2015
14	Shear strength of high-performance fibrereinforced cementitious composites beams with longitudinal reinforcement	2015
15	Mechanical properties and numerical modeling of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry structures	2014
16	Analytical evaluation of tunnel reinforcement effect by PCM shotcrete method using FRP grid	2014
17	Experimental investigations on textile-reinforced concrete (TRC) sandwich sections	2014
18	Experimental fire behaviour of precast CFRP pretensioned HPSCC slabs	2014
19	Mechanical tests on carbon-fiber-epoxy cables for bridge applications	2014
20	Strength and ductility trends for concrete members strengthened in flexure with carbon fiber-reinforced polymer reinforcement	2014
21	Concrete shear strength of normal and lightweight concrete beams reinforced with FRP bars	2014
22	Analysis of alternative ductile fiber-reinforced polymer reinforcing bar concepts	2014

번호	논문명	연도
23	Strength degradation of glass fiber reinforced polymer bars subjected to reversed cyclic load	2014
24	Model to simulate the contribution of fiber reinforcement for the punching resistance of RC slabs	2014
25	Performance of innovative and durable cFcc prestressed and reinforced beams under shear	2014
26	Behaviour of fabric-formed concrete beams reinforced with FRP bars	2013
27	Flexural behavior of a carbon fiber-reinforced polymer prestressed decked bulb T-beam bridge system	2013
28	Flexural behavior of concrete beams internally prestressed with unbonded carbon-fiber-reinforced polymer tendons	2013
29	Performance of an AASHTO beam bridge prestressed with CFRP tendons	2013
30	Shear transfer mechanism of CFRP grids in Concrete Sandwich Panels	2013
31	The influence of the yield strength of the longitudinal reinforcement on the bending capacity of beams reinforced with CFRP strips	2013
32	Shear behavior of prestressed decked bulb T beams reinforced with CFCC stirrups	2013
33	Study on the flexural behaviour of CFRP-grid reinforced concrete one-way slabs	2013
34	Laboratory test and numerical simulation of bond performance between basalt fiber reinforced polymer rebar and concrete	2012
35	Long-term performance of reinforced concrete beams with GFRP bars subjected to aggressive environments	2012
36	Bond durability of FRP bars embedded in fiber-reinforced concrete	2012
37	One-way shear behavior of lightweight concrete panels reinforced with GFRP bars	2012
38	An investigation of environmental reduction factor for GFRP bar used as concrete reinforcement in China	2012
39	Load-bearing behavior of a pedestrian bridge made of textile reinforced concrete	2011
40	Fire resistance of concrete slabs reinforced with FRP bars. Part II: Experimental results and numerical simulations on the thermal field	2011
41	The influence of the yield strength of the longitudinal reinforcement on the bending capacity of beams reinforced with CFRP strips	2011
42	Durability of glass fiber reinforced polymer (GFRP) bar used as concrete reinforcement: Temperature effect	2011
43	Fundamental mechanisms of bonding of glass fiber reinforced polymer reinforcement to concrete	2011
44	Out-of-plane strengthening of URM walls with fabric-reinforced-cementitious- matrix (FRCM)	2015
45	Filigree Textile-Reinforced-Concrete constructions [Filigrane Bauwerke aus Textilbeton: Leistungsfähigkeit und Anwendungspotenzial des innovativen Verbundwerkstoffs]	2015
46	Out-of-plane strengthening of reinforced masonry walls using near-surface mounted (NSM) FRP bars with epoxy and cementitious material	2015

번호	논문명	연도
47	Fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry elements subjected to out-of-plane loads	2015
48	Structural behaviour of masonry panels strengthened with an innovative hemp fibre composite grid	2015
49	Punching shear strengthening of two-way flat slabs with CFRP grids	2014
50	Shear strengthening of wall panels through jacketing with cement mortar reinforced by GFRP grids	2014
51	Thin-walled shell structure made of textile reinforced concrete: Construction engineering [Bemessung und bauausführung eines dünnwandigen schalentragwerks aus textilbeton: Konstruktiver fertigteilbau]	2013
52	Design of RC columns using glass FRP reinforcement	2013
53	Life-cycle cost analysis of carbon fiber-reinforced polymer reinforced concrete bridges	2012
54	Time-variant reliability analysis and flexural design of GFRP-reinforced bridge decks	2012

□ 대표적 지재권 현황

[표 15] 국외 주요 지재권 및 주요 내용

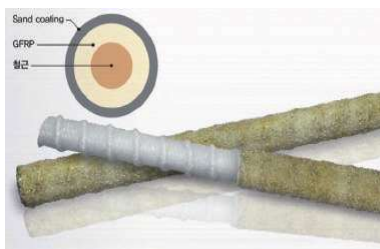
특허(등록/출원) 번호	제목	출원인 / 국가	내용
08677720	Precast concrete pile with carbon fiber reinforced grid	John M. Carson Szmi Rizkalla Earl Shimp / 미국	<ul style="list-style-type: none"> CFRP Grid와 구조용 콘크리트에 의하여 둘러싸인 다수의 지지 스트랜드를 가지는 혼합 지지체 구조에 관한 것임
1993-226233	수지 함침 섬유 복합 체제 보강근 및 그 제조 방법 樹脂含浸纖維複合體製補強筋及びその製造方法	FUKUVI CHEM IND CO LTD / 일본	<ul style="list-style-type: none"> 복수의 열가소성 수지에 함침된 섬유를 가열을 통하여 일체화 시키고 보강근을 형성하는 것임
5843266	Formable reinforcing bar and method for making same	Owens Corning Fiberglas Technology, Inc. / 미국	<ul style="list-style-type: none"> 성형이 가능한 보강 bar의 제조 방법. 이 공정에는 얇은 스트립 또는 섬유 강화 열가소성 다발을 라미네이팅하여 성형 가능한 철근을 생산하는 것이 포함됨
5599599	Fiber reinforced plastic ("FRP")-concrete composite structural members	University of Central Florida / 미국	<ul style="list-style-type: none"> FRP bar, FRP 영구거푸집, FRP H 형강 등 FRP 제품에 대한 내용임
08677720	Precast concrete pile with carbon fiber reinforced grid	John M. Carson Sami Rizkalla Earl Shimp /	<ul style="list-style-type: none"> CFRP 그리드를 파일용 메쉬로 사용한 파일에 관한 것임

2. 국내 기술 동향

□ **국내의 경우, FRP를 활용한 철근대체 제품 개발 연구가 2000년대 초반에 일부 실시되었으나, 실용화에 이르지 못하는 상황**

○ FRP 활용 철근대체 재료 연구는 FRP의 높은 인장강도에 주목하여 철근대비 인장강도는 향상되었으나, 낮은 탄성계수, 인장강도 도달 직후의 취성적 파괴, 단순한 형태의 단면 등으로 철근대체에 한계가 존재

* 농업수리 콘크리트 구조물의 내구성 증진을 위한 FRP 리바 개발 및 적용성 평가(2002~2004, GFRP, CFRP, Hybrid), FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설 기술 개발(2004~2007, GFRP), FRP 긴장재 및 정착장치의 개발과 활용을 위한 연구(2005~2008, CFR) 등



(a) GFRP-철근 하이브리드 보강근



(b) CFRP 케이블



(c) CFRP 긴장재

* 출처 : KICT, FRP Hybrid Bar를 활용한 해양항만구조물 수명 향상 기술 개발, 2016

[그림 32] FRP 관련 제품 형상

□ **(국내 연구 현황) 국내에서는 FRP를 활용한 콘크리트용 보강재 제품 개발 연구가 2000년대 초반에 일부 실시되었으나 관련 기술 수준 및 제조기반 문제로 제한적으로 적용**

○ (FRP 보강근 구조설계지침) 한국콘크리트학회에서 FRP 보강근의 실무적 활용도를 높이기 위해 2019년 ‘FRP 보강근 구조설계지침’ 발간

- FRP 보강근이 철근을 대신하는 보강재로 실제 콘크리트 구조물에 적용하기 위해 재료, 하중·강도·휨·전단 설계, 정착·이음, 배근·피복두께 등에 대한 지침

* 콘크리트 실무지침 KCI PM 112.119

- 새로운 탄소섬유복합재 건설재료는 국민의 안전 및 재산과 직결되는 공공제품으로, 검증된 건설재료의 사용을 위해 공식화된 성능평가 기준과 관련 가이드라인 등 제도적 장치 정비 필요

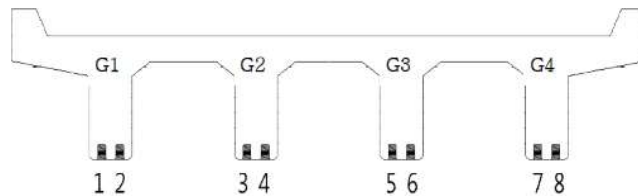
○ 국내 탄소섬유 및 CFRP 관련 정부 기술개발 투자 확대에 관련 기술수준 향상 및 경제성 확보 기대

- 탄소산업기반조성사업 등을 통하여 국내 탄소섬유 생산은 '12년부터 확충되고 있는 상황

- 탄소섬유를 100대 핵심 전략 품목 중 하나로 선정하여, 7년간 7~8조 원 규모의 예산 투자 예정
- (효성) 총 1조원을 투입하여 탄소섬유 생산 설비 확충 계획 발표
 - * 연간 2000t 규모(1개 라인)인 생산규모를 연간 2만4000t(10개 라인)까지 확대 → 글로벌 시장점유율 11위(2%, '19년 현재)에서 3위(10%)로 향상 기대

□ (국내 적용 현황) 국내에서는 연구개발 성과의 검증에 위하여 교량 일부 구간에 한정하여 시험 적용

- CFRP 긴장재 활용 표면매립 긴장보강공법의 적용성 확인을 위하여 부흥교(1968년 준공)의 거더 4개소에 CFRP 긴장재 시험 적용



* 출처 : 노후 교량의 sogkurgid상7 FRP 긴장보강공법 개발 4차년도 보고서, 한국건설기술연구원, 2016.

[그림 33] 교량 시공 현황

- 서울-문산 고속도로 행신IC RG교의 교량 바닥판 상부에 GFRP 보강 콘크리트 바닥판 일부 시험 시공



[그림 34] GFRP 보강 콘크리트 바닥판 시공 현황

[표 16] 국내 FRP 관련 유사 연구 비교 검토 결과

연구명	FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발	FRP 긴장재 및 정착장치의 개발과 활용을 위한 연구	저탄소 소재활용 친환경 교량 기술 개발	FRP 재료를 활용한 인프라구조물 구조성능 향상기술 개발
연구기간	2004 ~ 2007	2005 ~ 2008	2013 ~ 2019	2013 ~ 2017
주관부처	과학기술정보통신부	국토교통부	국토교통부	한국건설기술연구원
총연구비	약 15억 원	약 11억 원	약 79억 원	약 43억 원
개발목표 및 주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> - GFRP 보강근의 재료적 특성 분석 및 기본적인 구조특성 검증 · GFRP 보강근의 부착 특성 검증 · GFRP 보강 콘크리트 구조물의 휨 및 전단 특성 검증 - GFRP 보강 콘크리트 구조물 설계 지침 기본안 작성 · LSD에 의한 설계 지침(안) 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - CFRP 긴장재 및 정착장치 개발 · (긴장재) 원형 스트랜드형 · (정착장치) 부착형 압착형 썰기형 - CFRP 긴장재 활용기술 개발 · 구조 해석, 성능 평가 및 설계 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - GFRP 보강 콘크리트 바닥판 기술개발 · GFRP 보강근의 역학적 성능 개선 및 개발 · GFRP 보강근 시험규격 개발 · GFRP 보강 콘크리트 구조설계기준 개발 · GFRP 보강 콘크리트 바닥판 실용화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - FRP Hybrid Bar 활용 해양항만 구조물 수명 향상 기술 개발 · 시제품 개발 현장적용 기술 개발, Test Bed 구축 및 시범사업 달성 - 노후교량 내하력 향상 FRP 긴장보강공법 개발 · 보강재료와 긴장재 정착구 시제품 및 설계/시공 지침 개발 구조물 실용화 현장 적용 향상 모니터링 구축
최종 연구 성과물	<ul style="list-style-type: none"> - GFRP 보강근 및 GFRP 보강 콘크리트의 기본적인 특성 평가 · 부착길이별 부착특성 검증, 휨 성능 검증 및 설계식과 비교 - GFRP 보강 콘크리트 구조물 설계 지침 기본안 작성 · ISIS Canada를 바탕으로 설계 지침(안) 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - CFRP 긴장재 개발 · 2501MPa(극한강도), 16.3MPa(부착응력), 992MPa(피로강도) - CFRP 긴장재용 정착장치 개발 · 부착형 100%, 압착형 94% 및 썰기형 64%의 부착성능 - CFRP 긴장재 활용기술 개발 · 기존 교량 보강공법 등 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - GFRP 보강 콘크리트 바닥판 기술 개발 · 플라스틱 헤디드 FRP 보강근 : 60% 목표 강도 보유율 설계 지배 인자 확보 · 철근콘크리트 바닥판 대비 90% 이상 정적 성능, 100% 피로성능, 초기공사비 20% 증가 /LCC 비용 4.3% 감소 · 서울-문산 고속도로 행신IC RG교의 교량 바닥판 상부에 일부 시험 시공 	<ul style="list-style-type: none"> - FRP Hybrid Bar 활용 해양항만 구조물 수명 향상 기술 개발 · Bar 샌드코팅 시제품, 부착강도 17MPa 이상, 인장강도 540MPa 이상, 내부식성 탄성계수 125GPa 최적강재비 60% 동결융해 및 자외선 저항성 경제성분석을 통한 적정 가격 등 - 노후교량 내하력 향상 FRP 긴장보강공법 개발 · 10mm이상 직경, 3400 MPa 인장강도 M24 볼트 사용 정착구, 최대 160kN 긴장, 35% 균열 하중 향상 실험형 거더 FRP 긴장재 인장강도의 96% 정착성능 등
차별성 및 연계방안	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) GFRP 보강근 개발 및 활용에 국한 · 대상 섬유 상이 · 보 부재 한정 성능 평가 - (연계방안) 탄소보강근 제조 공정 및 설계 기준 관련 기초 연구로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) CFRP 긴장재에 국한 · 목표 성능 및 보강근 형상 상이 - (연계방안) 탄소보강근 제조 공정 관련 기초 연구로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) GFRP 보강근에 국한 · 대상 섬유 상이 · 교량 바닥판 한정 - (연계방안) 탄소보강근 설계 기준 관련 기초 연구로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) GFRP, CFRP 보강근 개발 및 활용에 국한 · 목표 성능 및 보강근 형상이 상이 - (연계방안) 탄소보강근 제조 공정 및 설계 기준 관련 기초 연구로 활용

연구명	PSC교량의 스마트 긴장력 관리 및 고품질 그라우트 기술 개발	신경망 센터 개발 및 이를 활용한 콘크리트 시설물의 스마트 모니터링 기술 개발	텍스타일 활용 고성능 건설자재 및 콘크리트 구조물 성능향상 기술 개발	탄소산업 클러스터 조성 사업 (건축 구조물 연쇄 붕괴 제어를 위한 탄소섬유 하이브리드 내진 보강 콘크리트 패널 제품 개발)
연구기간	2013 ~ 2017	2018 ~ 2022	2018 ~ 2020	2017 ~ 2021 (2017 ~ 2019)
연구기관	한국건설기술연구원	한국건설기술연구원	한국건설기술연구원	산업부
총연구비	약 60억 원	약 5억 원(2018)	약 8억 원(2018~2019)	약 714억 원(약 22억 원)
개발목표 및 주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> - PSC 교량의 스마트 긴장력 관리 기술 개발 · 스마트 강연선/심선/ 정착장치 시제품 개발 · 성능검증 스마트 강연선 활용 기술 개발 · 스마트 강연선 및 PSC 부재 성능 평가 - PSC 교량의 공극 제로 그라우팅 기술 개발 · 그라우트 배합 최적화 및 시험방법 정립, 그라우팅 시공장치 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 광섬유 기반 콘크리트 매립형 신경망 센서 개발 - 디지털트윈 기반 스마트 모니터링 기술개발 - 개발 기술에 대한 검증 및 콘크리트 시설물별 활용/실용화 기술 개발 - 신경망 센서 및 디지털트윈 활용 콘크리트 시설물의 스마트 모니터링 및 상태 감시, 안정성 평가 및 신속대응 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 텍스타일 보강재/결합재 선정 및 시제품 제작 · 소재/결합재 선정 및 설계 복합체 성능평가, 보강재 선정 및 시제품 제작 - TRC 복합체 단기성능 평가 · 시제품 제작 및 성능평가, 배합설계, 복합체 성능 향상, 단기성능평가 - TRC 복합체 장기성능 평가 · 장기성능 검증 및 평가, 시공기술/설계안 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 재난 대응형 보강용 콘크리트 panel의 구조보강을 위한 Grid 직물 보강재 개발 · 하이브리드 Grid 수지 성형 기술, 하이브리드 이중 섬유간 접착력 증진 수지 구조재료용 하이브리드 복합소재 Layer up 기술 개발 및 성능 평가 - 하이브리드 Grid 복합재 최적 표면 개질 최적화 및 Grid 코팅용 수지 개발 - 내진 보강용 Grid의 물성 향상 및 내진성능 향상 탄소복합체 개발
최종 연구 성과물	<ul style="list-style-type: none"> - PSC 교량의 스마트 긴장력 관리 기술 개발 · FBG 센서 매립 안발성형 CFRP 심선과 강연선 결합 스마트 강연선 장기성능 확보, 변형률 7,500 $\mu\epsilon$ 이상, 파상마찰계수 0.0034/m, 곡률마찰계수 0.21/rad, 긴장력 분포 추정식 도출, 스마트 모니터링 시스템 개발 등 - PSC 교량의 공극 제로 그라우팅 기술 개발 · 블리딩 0%, 팽창률 0.2%, 압축강도 45MPa 그라우트 개발, 심지 효과 고려 블리딩과 체적변화 측정 가능 시험방법 정립 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 광섬유 기반 콘크리트 매립형 신경망 센서 개발 · 광섬유 센서의 외부 CFRP ROD로 보호하는 신경망 센서 시제품 - 디지털트윈 기반 스마트 모니터링 기술개발 - 개발 기술에 대한 검증 및 콘크리트 시설물별 활용/실용화 기술 개발 · 교량, 지하구조물 등 시설물별 신경망 센서의 적용방법 및 제작, 설치, 운영 매뉴얼 - 신경망 센서 및 디지털트윈 활용 콘크리트 시설물의 스마트 모니터링 및 상태 감시, 안정성 평가 및 신속대응 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 텍스타일 보강재/결합재 선정 및 시제품 제작 · CFRP활용한 TRC용 보강재 시제품 부착강도, 철근 2배 하강 및 오퍼수 환경 대응 결합재 최적 배합비 결정, 콘크리트 포장 덧씌우기용 TRC 복합포장 부착성능 1.18MPa 확보 - TRC 복합체 단기성능 평가 · 텍스타일(보강재)/TRC 복합체/TRC 덧씌우기 부착성능, 내구성능 검증 및 경제성 향상 - TRC 복합체 장기성능 평가 · 보강재 성능 확보, 복합체 시공법 TRC 덧씌우기 설계 가이드라인 	<ul style="list-style-type: none"> - 재난 대응형 보강용 콘크리트 panel의 구조보강을 위한 Grid 직물 보강재 개발 · 구조재료용 하이브리드 복합소재 Layer up 설계 기술 섬유배열각도(0°/90°, 30°/-60°, +45°/-45°)에 따른 CFRC 파괴강도 평가 및 적용성 기술 개발 등 - 하이브리드 Grid 복합재 최적 표면 개질 최적화 및 Grid 코팅용 수지 개발 · CFRC Panel 50T(600mm W x 2400mm L) 중량 34kg/m² 제품 개발 등 - 내진 보강용 Grid의 물성 향상 및 내진성능 향상 탄소복합체 개발 · CFRC Panel 75T(600 mm W x 2400 mm L) 중량 42kg/m² 내화성 제품 개발
차별성 및 연계방안	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) CFRP 심선이 결합된 강연선 개발 및 활용에 국한 · 목표 성능/보강률 향상 상이 - 탄소보강근 제조 공정 관련 기초 연구로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) CFRP rod를 활용한 신경망 센서 개발 및 활용에 국한 · 목표 성능/활용방안 상이 - 탄소보강근 제조 공정 관련 기초 연구로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) CFRP 텍스타일 보강근 개발에 국한 · 목표 성능/활용방안 상이 - 탄소보강근 제조 공정 및 설계 기준 관련 기초 연구로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - CFRC Panel 내화성 제품 개발 및 활용에 국한 · 목표 성능/활용방안 상이 - 탄소보강근 제조 공정 관련 기초 연구로 활용

과제명	고성능 다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술	압축강도 80~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 재료 및 구조물 기술 개발	탄소나노튜브를 활용한 기능성 초고강도 경량 콘크리트 개발	나노기술을 활용한 다기능경량 하이퍼 콘크리트 기술개발
연구기간	2005 ~ 2009	2013 ~ 2019	2009 ~ 2012	2020 ~ 2023
주관부처	국토부	국토부	과기부	국토부
총연구비	12,954백만원	22,166백만원	587백만원	12,965백만원
개발목표 및 주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> - 압축강도 100MPa급 일반 중량(2.3t/m³) 초유동 자기 충전 콘크리트 기술 개발 - 80MPa급 일반 중량(2.3t/m³) 친환경, 저비용 3성분계 (OPC,플라이애시,고로슬래그) 고강도 내화 콘크리트 개발 - 재료수명 100년 일반 중량(2.3t/m³) 고내구성 콘크리트 개발 - 압축강도 18MPa급 경량(1.68t/m³) 골재 콘크리트 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 제조비용 20~50% 저감, 성능 맞춤형 80MPa ~ 180MPa급 SUPER Concrete 개발 - SUPER Concrete 활용 유지관리비 10~20% 저감 및 구조물 내구수명 50~100% 증진 기술 개발 - SUPER Concrete용 저비용 결합재 및 화학 혼화제 개발 - 장기성능 평가 및 표준 시험법, 재료 모델 개발 - 계면파괴 방지를 위한 필러재 활용 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - CNT 이용 압축강도 100MPa, 밀도 1.9t/m³ 수준의 초고강도경량 콘크리트 개발 (Lab scale 기준) - CNT 이용 콘크리트의 전자파 차폐성능 향상 기술 및 압전 센싱 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 나노 콘크리트 안전성 및 성능 평가 기술 개발 - 나노소재 부산물 활용 건설용 나노소재 및 시멘트 복합체 개발 - 나노소재 활용 밀도 1.6t/m³, 압축강도 80MPa 급 경량 고강도 콘크리트 개발 및 실용화 - 콘크리트 재료 수명 200년 이상 (건설구조물 내구수명 2배 이상) 증진 고내구성 나노 콘크리트 개발
최종 연구 성과물	<ul style="list-style-type: none"> - 콘크리트 성능 목표는 밀도 2.3t/m³, 압축강도 80~100MPa급 수준 - 경량 콘크리트는 밀도 1.68t/m³, 압축강도 18MPa로 매우 낮은 성능을 제시 - 기술 구성 소재의 경우, 기존 기술은 일반 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그 미분말과 같은 1~100μm 입자 크기의 기존 재료를 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - 콘크리트 성능 향상을 위해 Zr(지르코늄) 등 광물 혼합 기술과 혼화제 개발 기술이 병행 - 기술 구성 소재는 기존 기술과 같은 일반시멘트, 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 실리카흄, 지르코늄 등 - 개발 콘크리트 활용 구조물 차원의 내구수명을 50 ~ 100%까지 증진(재료적인 부분에서 내구성 목표는 없음) 	<ul style="list-style-type: none"> - 밀도 1.9~2.0t/m³, 압축강도 90MPa급 고강도 경량 시멘트 모르타 개발과 시멘트 모르타로의 CNT를 단순 혼합하여 활용 가능성 만을 실험실 수준에서 검토 - 성능 목표치 달성을 위한 검토만 수행 	<ul style="list-style-type: none"> - 본 사업은 밀도 1.6t/m³, 압축강도 80MPa 급 경량 고강도 콘크리트의 실용화를 목표로 함 - 기존 고성능 다기능 콘크리트와 SUPER Concrete의 성능을 개선하기 위해 나노소재 및 나노기술을 활용 - 개발 나노 콘크리트의 실용화를 위해 인체 및 환경 유해성, 건설용 나노 소재 개발, 성능평가법 개발 등 기반 기술을 포함한 포괄적인 기술 개발
차별성 및 연계방안	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) 기존 철근과의 적용을 위한 콘크리트 자체의 성능향상(강도, 내구성, 내화성, 시공성 등) 연구 - (연계방안) 기술개발 결과에 의한 콘크리트의 철근대체재 적용 가능성 평가 연계 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) 기존 철근과의 적용을 위한 콘크리트 자체의 성능향상(강도, 내구성) 연구 - (연계방안) 기술개발 결과에 의한 콘크리트의 철근대체재 적용 가능성 평가 연계 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) 기존 철근과의 적용을 위한 콘크리트 자체의 성능향상(강도, 중량) 연구 - (연계방안) 기술개발 결과에 의한 콘크리트의 철근대체재 적용 가능성 평가 연계 	<ul style="list-style-type: none"> - (차별성) 기존 철근과의 적용을 위한 콘크리트 자체의 성능향상(강도, 중량, 내구성) 연구 - (연계방안) 기술개발 결과에 의한 콘크리트의 철근대체재 적용 가능성 평가 연계

□ 대표적 논문 현황

[표 17] 국내 주요 논문

번호	논문명	연도
1	철근대체재로서의 유리섬유보강 플라스틱바 개발에 관한 실험적 연구	1997
2	라인 브레이딩 펄트루전을 이용한 하이브리드 섬유강화 복합재료 리바 제작에 관한 연구	2000
3	브레이드 투루전법에 의한 콘크리트 구조물용 하이브리드 섬유강화 복합재료 리바 개발	2001
4	유리와 탄소섬유로 제작된 하이브리드 FRP 로드의 인장특성에 관한 실험연구	2006
5	GFRP 보강근의 성능 및 제작 효율화 방안	2012
6	규사 코팅 방법에 따른 FRP Hybrid Bar의 부착강도 평가	2017
1	탄소섬유메쉬와 콘크리트의 부착거동	2003
2	해수 환경에서의 철근과 GFRP 리바의 굽힘 강도 특성에 관한 연구	2002
3	이형 리브를 갖는 GFRP 보강근의 부착성능에 관한 실험적 연구	2005
4	GFRP 보강근을 사용한 콘크리트 보의 휨파괴 거동	2005
5	GFRP 보강근과 콘크리트 사이의 부착모델에 관한 고찰	2006
6	GFRP 보강근으로 보강된 바닥판의 보강비에 따른 거동 실험	2008
7	GFRP 보강근으로 보강된 교량 바닥판의 성능과 사용성에 관한 실험연구	2008
8	GFRP 보강근의 부착파괴면	2008
9	GFRP 보강근의 부착응력-미끄럼 모델	2008
10	반복하중을 받는 GFRP 보강근의 부착특성	2008
11	유한요소해석에 의한 GFRP 보강 콘크리트 보의 설계인자 분석	2008
12	FRP 보강근을 사용한 콘크리트 휨부재의 정적 및 피로특성에 대한 실험적 연구	2008
13	이형 GFRP Rebar로 보강된 보의 유효단면이차모멘트 산정식 제안	2008
14	섬유보강 콘크리트와 GFRP 보강근의 부착 특성	2011
15	다양한 표면형상에 따른 FRP 보강재의 부착특성 실험연구	2011
16	FRP 보강근을 사용한 고강도 콘크리트 보의 휨-전단 거동	2011
17	GFRP 보강근으로 겹이음된 콘크리트 보의 보강비에 따른 거동특성	2011
18	인발성형된 이형 GFRP 보강근과 GFRP 보강 콘크리트 부재의 크리프 거동	2013
19	GFRP Rebar 보강 콘크리트 보의 급속노화환경에서의 휨 거동에 관한 연구	2013
20	FRP Bar 보강 콘크리트 보의 전단거동	2013
21	집중하중을 받은 GFRP 보강근 경량콘크리트 슬래브의 거동	2015
22	고성능 탄소섬유봉으로 보강된 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구	2002
23	고성능 탄소섬유봉과 보강철물을 이용한 철근콘크리트 보의 보강 신기술 개발	2002
24	격자형 탄소섬유로 보강한 R/C보의 보강효과	2003
25	유리섬유 보강 플라스틱 Re-Bar 다발로 보강된 1방향 콘크리트 슬래브의 휨거동에 관한 실험적 연구	2003

26	Carbon FRP Grid로 휨 보강한 철근콘크리트 슬래브의 파괴형태와 설계기준	2004
27	지속하중을 받는 탄소섬유메쉬 보강 철근콘크리트 보의 장기거동 특성	2005
28	탄소섬유 메쉬를 사용한 철근콘크리트 보의 휨보강	2005
29	섬유복합재봉과 고강도 모르터를 이용한 철근 콘크리트 구조물의 휨 보강공법 공법	2005
30	CFRP Grid로 보강된 RC슬래브의 파괴거동특성	2007
31	탄소섬유판 긴장재로 외부 긴장 보강된 철근콘크리트 보의 부착파괴 모델	2008
32	탄소섬유 앵커 X-브레이싱으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 구조거동 및 내진보강 효과	2012
33	탄소섬유케이블을 이용한 철근콘크리트 건물의 내진보강 공법	2013
34	X-가새형 탄소섬유케이블을 이용한 중·저층 철근콘크리트 건물의 내진보강법 개발	2014
35	섬유시트와 매입형 CFRP Rod를 보강한 RC 외부 보-기둥 접합부의 내진성능 평가 및 개선	2015

□ 대표적 지재권 현황

[표 18] 국내 주요 지재권 및 주요 내용

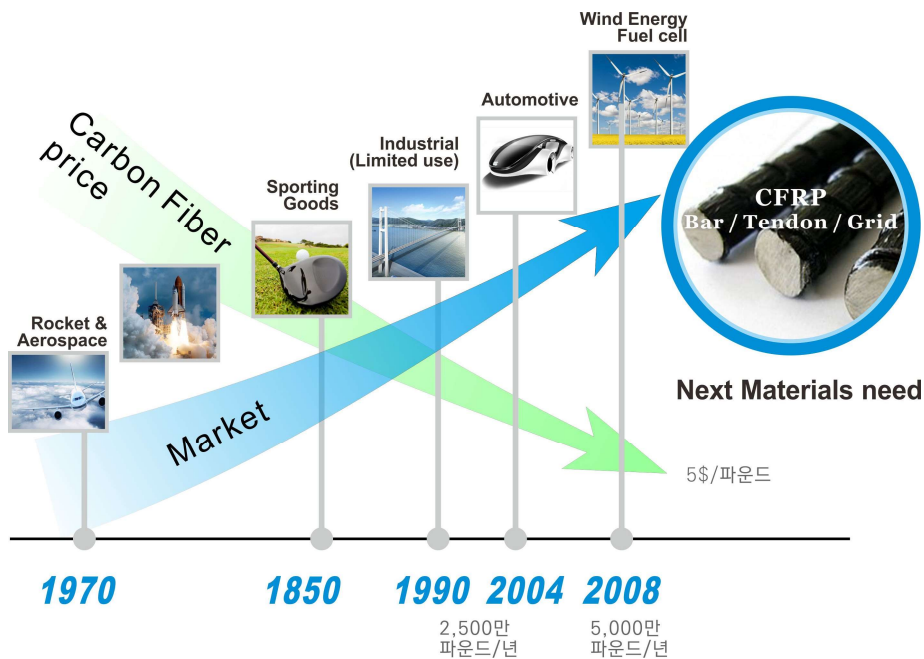
특허(등록/출원) 번호	제목	출원인 / 국가	내용
20-0299699	콘크리트 구조 보강용 섬유강화 플라스틱 바	동원건설 주식회사 / 한국	■ 변형률이 다른 2종 이상의 섬유와 수지에 의한 고연성(high ductility) 섬유강화 플라스틱 (FRP; Fiber Reinforced Plastic) 바에 관한 것
10-2000-0049820	띠철근, 나선철근 및 스테럽 철근 대체용 로우프형복합소재 보강근	이성우 / 한국	■ 토목 및 건축용 철근 콘크리트 구조물에서, 기둥의 띠철근 및 나선철근과, 보의 스테럽 철근을 대체할 수 있는 로우프형 복합소재 보강근에 관한 것
1012356760000	철근 대체용 고강력원사 성형체 및 그의 제조방법	주식회사 삼부포리마 / 한국	■ 철근 대체용 고강력원사 성형체의 제조방법에 관한 것
1010130980000	섬유강화 복합소재로 만들어진 콘크리트용 보강근	마용규, (주)대성씨 엠피 / 한국	■ 종래 콘크리트 속에 보강근으로 사용되는 철근을 대체함으로써, 경량화를 추구함과 동시에 고강성을 가지고, 내부식성 및 내구성 우수하며 내진동성이 탁월한 섬유강화 복합소재 로 만들어진 콘크리트용 보강근에 관한 것
1019960013048	토목건축물에 응용되는 탄소섬유를 이용한 강화시트와 그 제조방법 및 시공법	조병창 / 한국	■ 시트의 한쪽에 접착제를 도포하여 강화섬유를 결합시킨 토목공사용 강화섬유시트의 제조 및 시공법에 관한 것
1020010074514	탄소섬유 긴장재	홍원기, 김원철 / 한국	■ 탄소섬유 긴장재에 관한 것으로서, 긴장재의 단면적 감소로 인해 배근간격에서 유리함을 얻을 수 있으며, 높은 강도로 인해 긴장재의 효과를 최대한 살릴 수 있음
1019960019868	탄소섬유를 이용한 토목건축구조물의 보강재, 그 제조방법 및 장치	이병욱 / 한국	■ 탄소섬유를 이용하여 기존의 각종 토목건축 구조물의 보수 내지 보강시공 작업시에 효과적으로 활용할 수 있도록 한 보강재 및 그 제조방법 및 장치에 관한 것

제3절 국내·외 시장 동향

1. 국외 시장 동향

□ 국외 탄소섬유 시장 동향

- (재료 기술발전 및 단가하락) CFRP의 기본 구성 재료인 탄소섬유 관련 기술 발달과 수요 증가에 따른 탄소섬유 가격 하락과 생산량 증대
 - 항공분야에만 적용되던 1970년대에는 330달러/kg에서 2008년도에는 11달러/kg 전후로 약 30배 하락하여 2019년 10월 탄소섬유는 34달러/kg 단가로 거래(일본 경제산업성 기준)
 - 한편, MAI Carbon Cluster Management GmbH에 따르면 탄소섬유 생산 비용은 90% 가까이 떨어질 것으로 전망
- * 출처 : <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2014/10/carbon-fiber-prices-drop-much-90-percent/>
- 2008년도에는 연간 약 22,680톤의 탄소섬유가 생산되었으나, 2015년 기준 세계적으로 약 106,750톤/년의 탄소섬유 생산



[그림 35] 탄소섬유 가격 변화에 따른 산업분야 적용 현황

[표 19] 탄소섬유 생산능력 추이

년도	2010	2011	2012	2013	2014	2015
탄소섬유 생산량(ton)	78,150	82,450	90,750	99,750	104,750	106,750

* 출처 : 미쯔코시레이온 추정

- (새로운 건설재료 시장 확대) 건설분야에서의 CFRP 활용은 증대 및 다양화되고 있는 추세이며, CFRP 글로벌 시장 규모는 2030년에는 2017년의 2.6배인 3조 5,800억엔으로 성장할 것으로 전망

* 출처 : 후지경제(2019)

- 용도별 CFRP 적용 시장 중, 항공기, 자동차에 이어 건축·토목 분야가 세 번째로 큰 것으로 전망



[그림 36] CFRP 시장 규모 변화

[표 20] 탄소섬유 생산능력 추이

구분	2018년 예상	2017년 대비	2030년 예측	2017년 대비
항공기	5,803억엔	100.5%	1조 4,261억엔	2.5배
자동차	974억엔	98.0%	5,605억엔	5.6배
건축·토목	1,935억엔	102.8%	5,469억엔	2.9배

- (재료의 생산성 향상) CFRP 제조원가 저감을 위한 CFRP 성형공정시간 단축, 대량 양산 등 생산성 향상 노력

- (BMW) 탄소재료 전문기업인 SGL 카본과의 JV체결을 기반으로 CFRP 개발 및 생산을 내재화하고, i3 전기차의 경우, 전 생산공정의 90% 이상을 자동화하여 CFRP 단가를 양산차에 적용 가능한 수준으로 저감

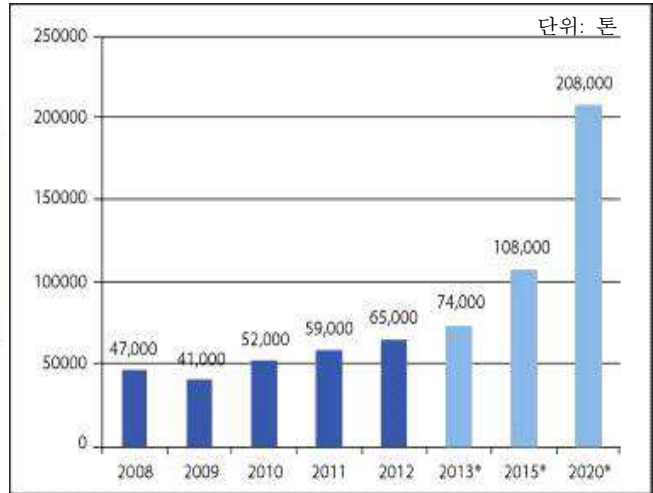
* 출처 : LG경제연구원, '경량화2.0' 소재의 새로운 가치 요구하고 있다(2015), 한국한업기술평가관리원, 탄소섬유강화 복합재 생산장비 및 자동화 기술 동향(2015)

- Global Market Insights, Inc.의 연구보고서에 따르면, FRP rebar 시장 규모는 2024년까지 12억 5천만 달러를 초과할 것으로 예상

- 고속도로, 교량 및 건물의 잠재적 수요와 FRP 철근을 생산하는 공장의 증가는 FRP rebar 시장의 성장을 촉진할 것으로 예상

- 고속도로, 교량 및 건물의 FRP rebar 시장은 2015년 5억 6천만 달러 이상으로 평가되고 있으며, 글로벌 건설산업의 확장과 더불어 생산 시설의 증가, 인프라 개발로 인해 지속적으로 성장할 것으로 전망

U.S. FRP Rebar Market Size, By Application, (USD Million), 2013-2024



[그림 37] FRP rebar 시장 규모 전망

[그림 38] FRP rebar에 대한 전 세계의 수요량

* 출처 : Global Market Insights(2015), 국토교통과학기술진흥원(2017), FRP와 UHPC 복합구조를 이용한 일방향 철근콘크리트 슬라브의 휨/전단 보강방법 및 설계기법 개발 최종보고서

2. 국내 시장 동향

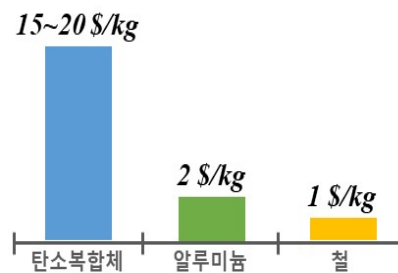
□ 국내 탄소섬유 시장 동향

○ 탄소섬유의 현재 가격 수준

- 국내 탄소섬유 가격은 2018년 기준 15~25달러/kg 수준으로 형성되어 있으며 저비용 탄소섬유 생산 기술 발전으로 가격이 점차 하락할 것으로 예상

* 수요산업에 따라 국내 탄소섬유 가격은 에너지(풍력 블레이드)용 15~18달러/kg, 자동차용 10~15달러/kg, 항공우주용은 25~30달러/kg 수준으로 형성

** 탄소섬유 복합체 가격은 15~20달러/kg 수준으로 알루미늄, 철 대비 약 10배 정도의 가격으로 형성



[그림 39] 탄소복합체 가격 비교

* 출처 : Industrial Carbon and Graphite Materials: Raw Materials, Production and Applications, 탄소섬유 및 탄소섬유 가공소재 산업 경쟁력 조사, 한국복합재료학회, 2018

○ 국내 탄소산업 관련 기업 현황

- CFRP와 관련하여 탄소섬유 활용 복합소재 제품의 경우, 각 제품군마다 기업이 있어 사업과 연구 개발을 실시하고 있으며, 실제 매출이 발생하고 있는 분야는 스포츠/레저분야, 전자/기계분야, 방열 섬유 등 제한적

[표 21] 국내 탄소산업 관련 기업 현황

분야	주요 기업	
탄소 섬유	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대기업이 주로 사업 수행 ■ 도레이첨단소재, 효성첨단소재 	
직물	<ul style="list-style-type: none"> ■ 중소·중견기업 위주의 10여 개사 존재 ■ 한국카본, 한국신소재, 현대화이바, 강남화이바, 새날테크, JMC, KGF, 기타 중소기업 	
프리 프레그	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대기업에서 중소기업까지 10여 개사에서 주로 생산 및 공급 ■ 한국카본, SK케미칼, TB카본, 조양카본, 기타 중소기업 	
복합 소재 부품	우주항공	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대한항공, 한국우주항공, 한국화이바, 데크항공
	수송분야	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현대자동차, 르노삼성자동차, 신아T&C, 성우하이텍, 테라엔지니어링, 한국몰드, 카본아트, 카본크라프트, 제이원, 일지테크, 현대성우오토모티브코리아, 라지, 코스텍, 벤투스 등

에너지분야	<ul style="list-style-type: none"> 일진복합소재, 데크카본, 이노컴, 대흥정공, 대산플랜트, 다인스, 비나텍, 휴먼컴퍼지트, 금풍에너지, 한국몰드 등
건축/토목분야	<ul style="list-style-type: none"> 한국카본, AFFC, JMC, 한일카본 등
전자/기계분야	<ul style="list-style-type: none"> 카본크레프트, KM, 라컴텍, 성진에너지, 제이원, 현대화이바
스포츠/레저분야	<ul style="list-style-type: none"> 현대화이바, 코스텍, 우남마린, 성진에어로, 디에스디, 선우, 해올, 이지컴퍼지트, 윈엔원, 삼천리자전거, JS Composite, 티포엘, 코메트바이시클, 알톤스포츠, 에이모션, 한국프라미스 등
의료기기 분야	<ul style="list-style-type: none"> 제이원, 카본크레프트, 바이오톡스, 나노포커스레이, 동양카본 등
기타	<ul style="list-style-type: none"> 쓰리이엠, 유니클라텍, 에씨이테크, 화이본테크, 태성산업, 에니에스, 에스엠텍. 신성소재, 미래테크, 씨알텍, 카본나노텍, 씨앤에프 등

* 출처 : 2018년 탄소섬유 및 탄소섬유 가공소재 산업 경쟁력 조사 (최종보고서), 무역위원회, 2018

○ 국내 탄소산업 관련 시장 규모 현황

- (탄소섬유) 2017년 기준, 국내 가동 탄소섬유 생산개파는 6,700톤으로 생산량 5,665톤, 국내 수요량은 3,460톤에 이르고 있으며, 국내 사용 탄소섬유의 대부분은 스포츠/레저, 산업 및 건축용으로 이용
- (프리프레그) 2017년 기준, 국내 프리프레그 생산개파는 1,458만 m²으로 생산량 900만 m², 국내 수요량은 1,028만 m²

○ 국내 주요 탄소섬유 제조업체 제품 현황

- 도레이첨단소재, 효성첨단소재 등에서 탄소섬유 상용품 생산 중

[표 22] 국내 주요 탄소섬유 제조업체 제품 현황

구분	업체명	제품		성능				
		제품명(종류)	제품번호	Filaments	Tensile strength (MPa)	Modulus of elongation (Tensile Modulus) (GPa)	Elongation (%)	Density (g/cm ³)
1	도레이첨단소재	Torayca@	T300-1000	1000	3530	230	1.5	1.76
			T300-3000	3000	3530	230	1.5	1.76
			T300-6000	6000	3530	230	1.5	1.76
			T300B-1000	1000	3530	230	1.5	1.76
			T300B-3000	3000	3530	230	1.5	1.76
			T300B-6000	6000	3530	230	1.5	1.76
			T400HB-3000	3000	4410	250	1.8	1.8
			T400HB-6000	6000	4410	250	1.8	1.8
			T700SC-12000	12000	4900	230	2.1	1.8

			T700SC-24000	24000	4900	230	2.1	1.8	
			T800SC-24000	24000	5880	294	2	1.8	
			T800HB-6000	6000	5490	294	1.9	1.81	
			T800HB-12000	12000	5490	294	1.9	1.81	
			T830HB-6000	6000	5340	294	1.8	1.81	
			T1000GB-12000	12000	6370	294	2.2	1.8	
			T1100GC-12000	12000	7000	324	2	1.79	
			T1100GC-24000	24000	7000	324	2	1.79	
			M35JB-6000	6000	4510	343	1.3	1.75	
			M35JB-12000	12000	4700	343	1.4	1.75	
			M40JB-6000	6000	4400	377	1.2	1.77	
			M40JB-12000	12000	4400	377	1.2	1.77	
			M46JB-6000	6000	4200	436	1	1.84	
			M46JB-12000	12000	4020	436	0.9	1.84	
			M50JB-6000	6000	4120	475	0.9	1.88	
			M55J-6000	6000	4020	540	0.8	1.91	
			M55JB-6000	6000	4020	540	0.8	1.91	
			M60JB-3000	3000	3820	588	0.7	1.93	
			M60JB-6000	6000	3820	588	0.7	1.93	
			M30SC-18000	18000	5490	294	1.9	1.73	
			Z600-24000	24000	4120	235	1.8	1.81	
2	효성 첨단 소재	Tow	H2550	6k	5,516	250	2.2	1.80	
				12k	5,516	250	2.2	1.80	
				24k	5,516	250	2.2	1.80	
		Compo site	H3055	12k	5,516	290	1.9	1.80	
				H2550	6k	2,950	140	2.0	-
					12k	2,950	140	2.0	-
24k	2,950	140	2.0		-				
H3055	12k	2,950	155	1.8	-				
3	태광 산업 (제조 중단)	탄소 섬유	TKS40	12k	4,410	245	1.8	1.78	
				24k	4,410	245	1.8	1.78	
			TKS70	12k	4,900	245	2.0	1.78	
				24k	4,900	245	2.0	1.78	
4	SK 케미칼	HS Carbon Fiber (24ton)			2,686	128.3			
		IM Carbon Fiber (30ton)			2,950	147.7			
		IM Carbon Fiber (35ton)			2,157	167.7			
		HM Carbon Fiber (40ton)			2,476	195.4			
		HM Carbon Fiber (46ton)			2,109	216.1			
		UHM Carbon Fiber (65ton)			1,455	333.9			
UHM Carbon Fiber (80ton)			1,414	426.5					
5	한국 카본	HS Carbon 탄소섬유시트			2,000	130		1.81	



탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

제3장 국내·외 R&D 역량 분석

제1절 철근대체재-콘크리트 관련 논문·
특허 동향 분석

제2절 철근대체재-콘크리트 관련 기술
수준 분석

제3장 국내·외 R&D 역량 분석

제1절 철근대체재-콘크리트 관련 논문·특허 동향 분석

1. 논문 동향 분석

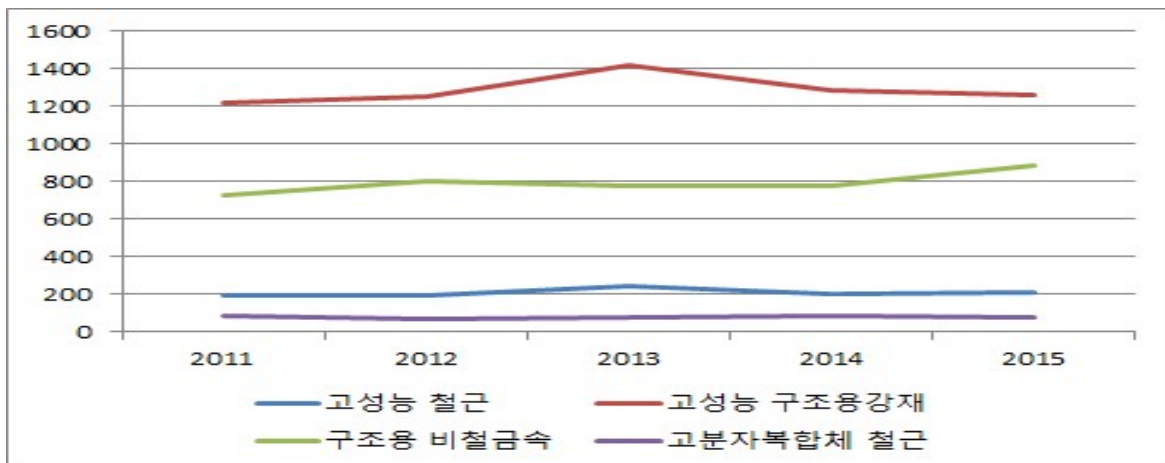
- (분석 대상 및 범위) 강재기술과 콘크리트재료기술에 대해 2011년부터 2015년까지 게재된 한국, 미국, 일본 및 유럽의 논문을 대상으로 분석

[표 23] 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국가	내용	분석구간	검색범위
게재된 논문	한국	SCOPUS	2011.01 ~ 2015.12	게재된 논문 전체문서
	미국	SCOPUS		게재된 논문 전체문서
	일본	SCOPUS		게재된 논문 전체문서
	유럽	SCOPUS		게재된 논문 전체문서

□ 강재기술

- (분석대상 세부기술) 고성능 철근기술, 고성능 구조용강재기술, 구조용 비철금속 기술, 고분자복합체 철근기술
- (연도별 논문 동향) 강재 재료 기술의 논문 발표 동향을 살펴보면 고성능 구조용 강재 논문 발표가 활발한 반면, 고분자복합체 철근은 논문 발표 건수는 저조
 - 구조용 비철금속 기술을 제외하고는 모두 2013년에 가장 많은 논문 발표 건수를 기록



[그림 40] 강재 세부 기술별 논문 발표 동향

- (주요 국가별 논문 동향) 조사기간(2011년~2015년)동안 주요 국가들의 강제 재료 기술 논문 발표 건수는 2013년까지 증가하는 추세를 보이며, 2014년에 주요 국가들 모두 논문 발표 건수가 감소하였다가 2015년에 한국을 제외하고 다시 증가

[표 24] 강제 재료 기술 주요 국가별 논문 동향

구분	2011	2012	2013	2014	2015	합계
미국	716	731	744	655	769	3,615
일본	284	258	259	231	240	1,272
한국	188	215	233	224	181	1,041
EU	1,041	1,118	1,291	1,242	1,246	5,938
합계	2,229	2,322	2,527	2,352	2,436	11,866

○ (논문 양적 분석) 활동도 및 집중도

- 고성능 철근에서 논문 활동도는 EU(0.48)이 가장 높았으며, 집중도는 한국(1.15)이 가장 높은 것으로 분석되었고, 논문활동도와 집중도를 같이 확인했을 경우, EU(1.45)이 가장 높은 것으로 분석
- 고성능 구조용 강재에서 논문 활동도는 EU(0.50)이 가장 높았으며, 집중도는 일본 (1.11)이 가장 높은 것으로 분석되었고, 논문활동도와 집중도를 같이 확인했을 경우, EU(1.50)이 가장 높은 것으로 분석
- 구조용 비철 금속에서 논문 활동도는 EU(0.51)이 가장 높았으며, 집중도는 한국 (1.03)이 가장 높은 것으로 분석되었고, 논문활동도와 집중도를 같이 확인 했을 경우, EU(1.53)이 가장 높은 것으로 분석
- 고분자 복합체 철근에서 논문 활동도는 EU(0.44)이 가장 높았으며, 집중도는 미국 (1.29)이 가장 높은 것으로 분석되었고, 논문활동도와 집중도를 같이 확인 했을 경우, 미국(1.69)이 가장 높은 것으로 분석

[표 25] 강제 재료 국가별 논문활동도 및 집중도

구분			'11	'12	'13	'14	'15	총괄
고성능 철근	미국	활동도	0.34	0.34	0.30	0.25	0.34	0.31
		집중도	1.07	1.09	1.01	0.90	1.09	1.03
	일본	활동도	0.13	0.11	0.10	0.06	0.09	0.10
		집중도	1.03	0.96	0.99	0.61	0.92	0.90
	한국	활동도	0.11	0.08	0.14	0.14	0.05	0.10
		집중도	1.26	0.88	1.50	1.42	0.71	1.15
	EU	활동도	0.42	0.47	0.46	0.55	0.51	0.48
		집중도	0.90	0.97	0.91	1.05	1.00	0.97
고성능 구조용 강재	미국	활동도	0.32	0.30	0.29	0.27	0.30	0.30
		집중도	1.00	0.94	0.97	0.97	0.94	0.96
	일본	활동도	0.14	0.12	0.11	0.10	0.12	0.12
		집중도	1.13	1.05	1.09	1.06	1.21	1.11
	한국	활동도	0.08	0.09	0.09	0.09	0.07	0.08
		집중도	0.99	1.02	0.92	0.97	0.95	0.97
	EU	활동도	0.45	0.49	0.52	0.53	0.51	0.50
		집중도	0.97	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00
구조용 비철 금속	미국	활동도	0.31	0.33	0.30	0.29	0.32	0.31
		집중도	0.96	1.06	1.02	1.02	1.02	1.02
	일본	활동도	0.10	0.10	0.09	0.10	0.07	0.09
		집중도	0.82	0.90	0.86	1.02	0.71	0.86
	한국	활동도	0.08	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
		집중도	0.94	1.03	1.00	0.97	1.20	1.03
	EU	활동도	0.51	0.47	0.52	0.52	0.52	0.51
		집중도	1.09	0.98	1.02	0.99	1.01	1.02
고분자 복합체 철근	미국	활동도	0.37	0.37	0.38	0.40	0.45	0.39
		집중도	1.15	1.16	1.30	1.42	1.44	1.29
	일본	활동도	0.08	0.14	0.09	0.08	0.12	0.10
		집중도	0.65	1.27	0.84	0.83	1.19	0.96
	한국	활동도	0.08	0.06	0.07	0.07	0.03	0.06
		집중도	0.99	0.61	0.80	0.73	0.35	0.70
	EU	활동도	0.46	0.44	0.46	0.45	0.40	0.44
		집중도	0.99	0.91	0.89	0.86	0.79	0.89

○ (논문 질적 분석) 인용도, 영향력, 기술력 지수

[표 26] 강제 재료 인용도, 영향력, 기술력 지수

구분		미국	일본	한국	EU
고성능 철근	인용도	2.44	1.25	0.81	4.11
	영향력	0.47	0.24	0.15	0.79
	기술력	154.35	24.70	16.85	397.93
고성능 구조용 강재	인용도	2.27	1.22	0.63	1.96
	영향력	0.44	0.23	0.12	0.37
	기술력	823.05	178.09	66.26	1,210.25
구조용 비철 금속	인용도	26.65	28.29	27.44	23.14
	영향력	5.10	5.42	5.25	4.43
	기술력	6,313.02	1,982.74	1,881.25	8,967.52
고분자 복합체 철근	인용도	11.70	9.90	8.00	19.05
	영향력	2.24	1.90	1.53	3.65
	기술력	351.78	75.83	38.30	645.72

[참고] 분석지표 개요

□ 양적, 질적 지표

- (논문 활동도) 특정 국가의 해당 기술분야에서 얼마나 많은 논문이 게재되었는지를 양적으로 측정하는 지표로서, 논문활동도가 높을수록 논문 게재수가 양적으로 많다는 것을 의미
- (논문 집중도) 특정 국가의 상위기술분야 논문 게재 중에서 해당 기술분야의 논문 게재가 차지하는 비중을 측정하는 지표로서, 논문집중도가 높을수록 특정 국가의 논문게재가 해당 기술분야에 집중되어 있다는 것을 의미

□ 질적 측면

- (인용도 지수) 특정 논문저자의 문헌들이 인용되는 회수의 평균값으로, 이 값이 클수록 주요 문헌 또는 원천문헌을 많이 가지고 있다는 것을 의미함
- (영향력 지수) 해당기술의 질적 수준을 측정하는 지수임. 영향력 지수가 1이면 평균인용 빈도임을 나타내고, 2이면 평균보다 2배 높은 빈도로 인용됨을 나타냄

○ (기술력 지수) 기술력 지수가 클수록 해당 국가(또는 연구주체)의 기술력이 높음을 의미함

* 기술의 질적 수준과 양적 수준을 함께 고려한 수치

[표 27] 논문 분석 지표

구분	지표	의미	정의
양적 측면	건수	논문 활동	각 연도별 동향 파악
	논문 활동도	논문 게재 정도를 양적으로 측정	$\text{논문활동도}_{ij} = \frac{T_{ij}}{\sum_{j=1}^{nt} T_{ij}}$ (T_{ij} 는 i 기술에 대한 j 국가의 논문게재수, nt 는 전체 국가 수)
	논문 집중도	해당 기술분야의 논문 게재가 차지하는 비중	$\text{논문집중도}_{ij} = \frac{(T_{ij} / \sum_{j=1}^{nt} T_{ij})}{(\sum_{i=1}^{mt} T_{ij} / \sum_{i=1}^{mt} \sum_{j=1}^{nt} T_{ij})}$ (T_{ij} 는 i 기술에 대한 j 국가의 논문수, nt 는 전체 국가 수, mt 는 전체 기술 수)
질적 측면	인용도 지수	인용도지수 \propto 영향력	인용도 지수 = $\frac{\text{피인용건수}}{\text{논문건수}}$
	영향력 지수	상대적 영향력	영향력 지수 = $\frac{\frac{\text{기술의 해당 피인용 수}}{\text{기술의 해당 논문 수}}}{\frac{\text{기술의 해당 분류별 피인용 수}}{\text{기술의 해당 분류별 총논문 수}}}$
	기술력 지수	기술력	기술력 지수 = 영향력 지수 \times 기술이 차지하는 논문수

2. 특허 동향 분석

- (분석 대상 및 범위) 강재기술과 콘크리트재료기술에 대해 1990년 1월부터 2017년 4월까지 한국, 미국, 일본 및 유럽 특허청에 출원 공개 및 등록된 특허를 대상으로 분석을 실시

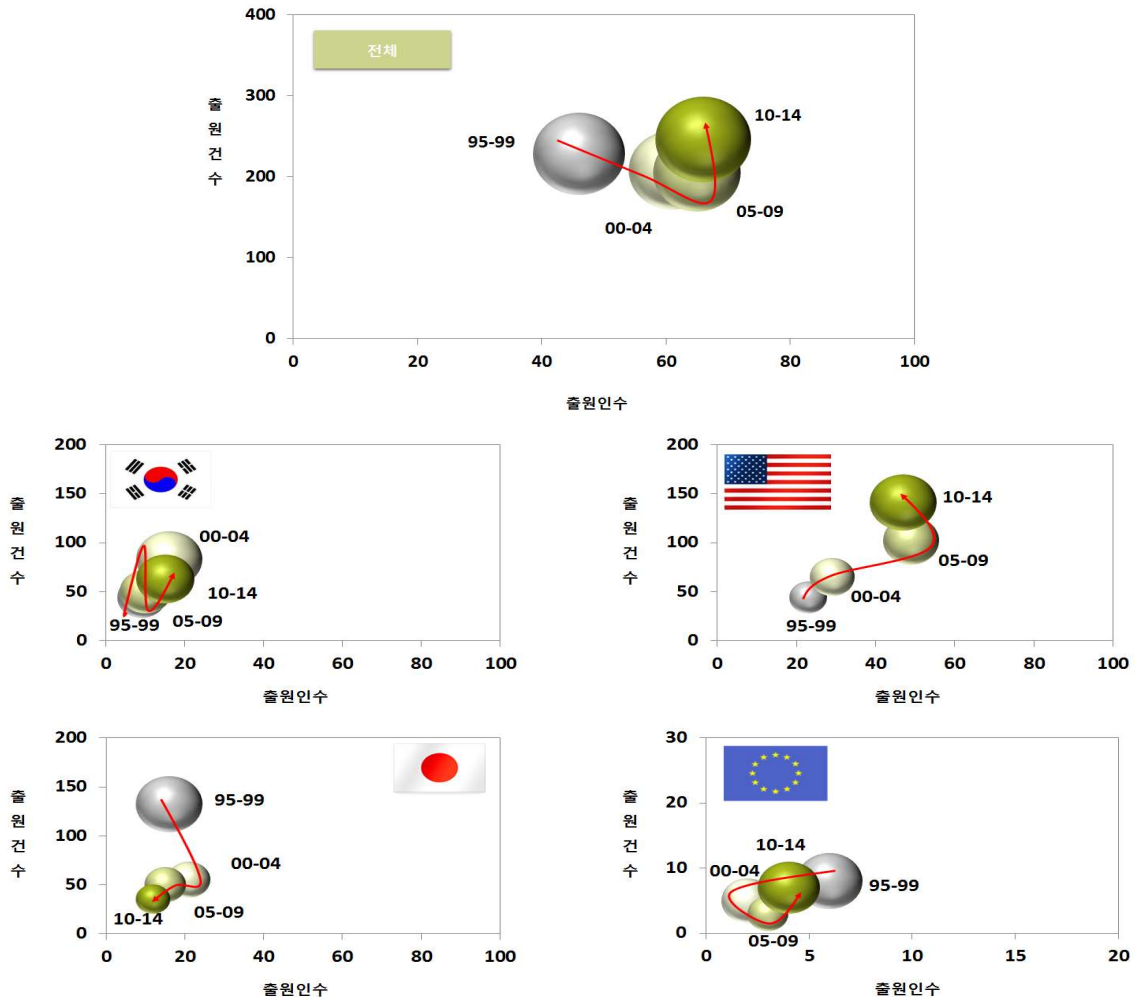
[표 28] 특허 동향 분석 개요

자료 구분	국가	내용	분석구간	검색범위
공개/등록 특허 (공개 등록일 기준)	한국	WIPS	1990.01 ~ 2017.04	특허 공개/등록 전체문서
	미국	WIPS		특허 공개/등록 전체문서
	일본	WIPS		특허 공개/등록 전체문서
	유럽	WIPS		특허 공개/등록 전체문서

□ 강재 기술

- 강재 기술의 기술성장단계
 - 포트폴리오로 나타난 강재 기술의 전체 특허 기술 위치는 1구간(1995년~1999년)부터 3구간(2005년~2009년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 감소하다가, 3구간(2005년~2009년)부터 4구간(2010년~2014년)까지 출원 건수 및 출원인 수가 다소 증가하고 있어 성장기 단계로 분석
 - 포트폴리오로 나타난 강재 기술의 한국특허 기술위치는 1구간(1995년~1999년)부터 2구간(2000년 ~2004년)까지 출원 건수 및 출원인 수가 증가하였으나 2구간(2000년~2004년)부터 4구간(2010년~2014년)까지 출원 건수 및 출원 인수가 다소 감소
 - 포트폴리오로 나타난 강재 기술의 미국특허 기술위치는 1구간(1995년~1999년)부터 3구간(2005년 ~2009년)까지 출원 건수 및 출원인 수가 계속적으로 증가하다가 3구간(2005년~2009년)부터 4구간(2010년~2014년)까지는 출원 건수 및 출원인수가 다소 감소하여 성숙기 단계로 분석
 - 포트폴리오로 나타난 강재 기술의 일본특허 기술위치는 1구간(1995년~1999년)부터 4구간(2010년 ~2014년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 점차적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 이는, 일본은 다른 국가에 비해 1990년대에 관련된 특허를 상당히 많이 출원하고, 2000년대 이후 건설재료 관련 특허 출원이 감소하였기 때문인 것으로 판단

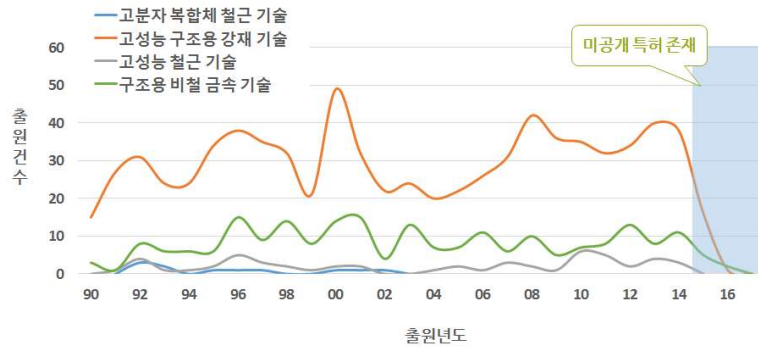
- 포트폴리오로 나타난 강재 기술의 유럽특허 기술위치는 1구간(1995년~1999년)부터 3구간(2005년 ~2009년)까지 출원 건수 및 출원인의 수가 조금씩 감소하다가 3구간(2005년~2009년)부터 4구간(2010년~2014년)까지는 출원 건수 및 출원인 수가 다소 증가하고 있지만, 전체적인 특허 출원 건수가 타 국가에 비하여 상당히 적은 편으로 특정 구간으로 상정하기에는 다소 무리가 존재



[그림 41] 전체 및 주요시장국의 강재 기술 관련 기술성장단계

○ 강재 기술의 세부기술에 대한 연도별 특허출원 동향

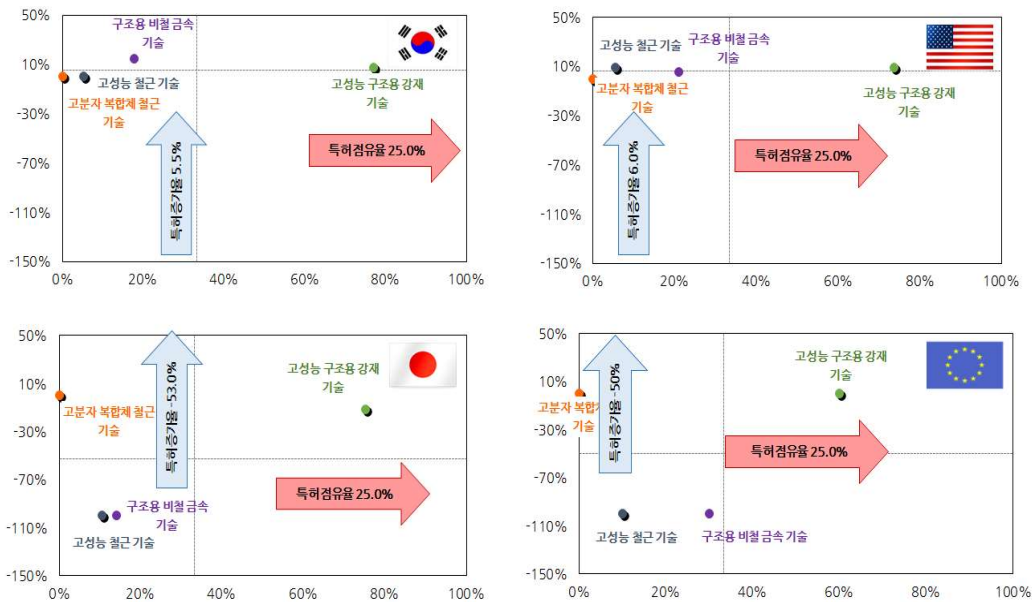
- 고성능 구조용 강재 기술이 가장 활발한 특허출원 건수를 나타내고 있으며, 특히 2000년도에 가장 많은 특허 건수를 기록하였으며, 이후 다소 감소하였으나 최근 까지 압도적으로 높은 특허출원 건수를 기록
- 구조용 비철 금속 기술도 증가와 감소를 반복하면서 어느 정도 출원 건수를 기록
- 고분자 복합체 철근 기술 및 고성능 철근 기술은 특허 건수가 적어 동향을 파악하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단



[그림 42] 강제 세부기술의 연도별 출원동향

○ 강제 기술의 세부기술에 대한 특허점유율 및 증가율

- 한국 및 미국에서는 구조용 비철 금속 기술이 최근 특허 출원이 활발한 것으로 나타나며, 일본 및 유럽에서는 고분자 복합체 철근 기술이 최근 특허출원이 활발한 것으로 조사
- 모든 국가에서 고성능 구조용 강제 기술이 지속적으로 특허 출원이 활발한 것으로 조사



[그림 43] 강제 세부기술별 주요시장국의 특허점유율 및 증가율

○ 강제 기술의 세부기술에 대한 기술수준 분석

- 전체 분석구간에서는 고성능 철근 기술은 미국과 일본의 특허출원 건수가, 고성능 구조용 강제 기술은 일본의 특허출원 건수가, 구조용 비철 금속 기술 및 고분자 복합체 철근 기술은 미국의 특허출원 건수가 가장 많은 것으로 나타났으며, 최근 10년간에는 모든 세부기술에서 미국의 특허출원 건수가 가장 많은 것으로 조사

- 전체 분석구간의 주요시장국별 특허출원 집중도의 경우, 한국은 고분자 복합체 철근 기술에 대한 집중도가, 미국 및 유럽은 구조용 비철 금속 기술에 대한 집중도가, 일본은 고성능 철근 기술에 대한 집중도가 높은 것으로 조사
- 최근 10년간 주요시장국별 특허출원 집중도의 경우, 한국 및 미국은 고성능 구조용 강재 기술에 대한 집중도가, 일본 및 유럽은 고성능 철근 기술에 대한 집중도가 높은 것으로 조사

[표 29] 강재 세부기술별 주요시장국의 기술수준 양적지표

세부기술		고성능 철근 기술	고성능 구조용 강재 기술	구조용 비철 금속 기술	고분자 복합체 철근 기술	
전체 분석 구간	활동도	한국	0.15	0.25	0.22	0.27
		미국	0.41	0.36	0.42	0.36
		일본	0.41	0.38	0.32	0.36
		유럽	0.04	0.02	0.04	-
	집중도	한국	0.43	0.71	0.62	0.79
		미국	1.99	1.76	2.04	1.77
		일본	1.07	0.98	0.85	0.95
		유럽	0.56	0.27	0.61	-
최근 10년간	활동도	한국	0.22	0.26	0.23	-
		미국	0.48	0.54	0.62	-
		일본	0.26	0.19	0.12	-
		유럽	0.04	0.02	0.04	-
	집중도	한국	0.50	0.58	0.51	-
		미국	2.03	2.27	2.62	-
		일본	1.08	0.78	0.49	-
		유럽	0.48	0.24	0.47	-

- 고성능 철근 기술과 고분자 복합체 철근 기술은 전체적으로 등록특허 건수가 적어 동향을 파악하기에는 다소 무리가 있는 것으로 조사
- 고성능 구조용 강재 기술의 경우, 전체 분석구간 및 최근 10년간 일본의 미국 등록특허수가 가장 많은 반면에 PII는 전체 분석구간은 한국이, 최근 10년간은 유럽이 높은 것으로 나타남. 한편, TS는 등록특허수가 가장 많은 일본이 가장 높은 것으로 조사
- 구조용 비철 금속 기술의 경우, 전체 분석구간 및 최근 10년간 일본의 미국등록특허수가 가장 많은 반면에, PII와 TS는 미국이 가장 높은 것으로 조사
- 한국의 경우, 고성능 구조용 강재 기술과 구조용 비철 금속 기술 모두 전체 분석구간과 최근 10년간 미국 등록특허 건수가 다른 국가에 비해 적으며, PII와 TS도 유럽보다는 높지만 상대적으로 낮은 것으로 조사

[표 30] 강제 세부기술별 주요시장국의 기술수준 질적지표

세부기술		고성능 철근 기술	고성능 구조용 강재 기술	구조용 비철 금속 기술	고분자 복합체 철근 기술		
전체 분석 구간	미국 등록 특허수	한국	1	6	2	-	
		미국	7	26	18	3	
		일본	1	106	26	1	
		유럽	1	13	3	-	
	PII	한국	1.48	16.31	9.28	-	
		미국	21.34	7.38	20.03	30.60	
		일본	11.83	4.36	13.05	14.40	
		유럽	8.87	13.18	2.65	-	
	TS	한국	1.48	97.88	18.55	-	
		미국	149.37	192.00	360.45	91.80	
		일본	11.83	462.13	339.25	14.40	
		유럽	8.87	39.53	2.65	-	
	최근 10년 간	미국 등록 특허수	한국	1	4	1	-
			미국	-	13	7	-
			일본	-	52	8	-
			유럽	-	7	1	-
PII		한국	22.50	10.10	13.10	-	
		미국	-	10.77	16.84	-	
		일본	-	5.28	12.44	-	
		유럽	-	13.46	2.62	-	
TS		한국	22.50	40.39	13.10	-	
		미국	-	140.02	117.88	-	
		일본	-	274.66	99.54	-	
		유럽	-	18.85	2.62	-	

○ 강제 기술의 세부기술에 대한 시장진입 경쟁수준 분석

- 고성능 철근 기술의 경우, 한국은 전체 분석구간과 최근 10년간 과점적 시장, 미국과 일본은 전체 분석구간은 집중화 정도가 거의 없는 시장, 최근 10년간은 경쟁적 시장, 유럽은 전체 분석구간과 최근 10년간 독점적 시장으로 나타나 전반적으로 시장진입 용이도가 다소 낮은 것으로 판단

- 고성능 구조용 강재 기술의 경우, 한국은 전체 분석구간은 독점적 시장, 최근 10년간 과점적 시장, 미국은 전체 분석구간 및 최근 10년간 집중화 정도가 거의 없는 시장, 일본은 전체 분석구간은 경쟁적 시장, 최근 10년간 과점적 시장, 유럽은 전체 분석구간 및 최근 10년간 과점적 시장으로 으로나타나 전반적으로 시장진입 용이도가 다소 낮은 것으로 판단
- 구조용 비철 금속 기술의 경우, 한국은 전체 분석구간 및 최근 10년간 과점적 시장, 미국은 전체 분석구간 및 최근 10년간 집중화 정도가 거의 없는 시장, 일본은 전체 분석구간 및 최근 10년간 경쟁적 시장, 유럽은 전체 분석구간은 경쟁적 시장, 최근 10년간 과점적 시장으로 나타나 미국을 제외하고 시장진입 용이도가 다소 낮은 것으로 판단
- 고분자 복합체 철근 기술의 경우, 전체 분석구간에서 모든 국가의 시장이 과점적인 것으로 나타났으나, 출원특허 건수가 적어 동향을 파악하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단

[표 31] 강재 세부기술별 주요시장국의 시장진입 경쟁수준

세부기술		고성능 철근 기술	고성능 구조용 강재 기술	구조용 비철 금속 기술	고분자 복합체 철근 기술	
전체 분석구간	HHI	한국	3125.00	5642.36	2430.56	3333.33
		미국	909.09	647.60	542.26	2500.00
		일본	867.77	1791.17	1504.63	2500.00
		유럽	5000.00	1938.78	1358.02	-
최근 10년간	HHI	한국	2777.78	2062.36	2350.00	-
		미국	1597.63	602.67	534.41	-
		일본	1358.02	1889.65	1111.11	-
		유럽	10000.00	2222.22	3333.33	-

[참고] 분석지표 개요

<input type="checkbox"/> 양적, 질적 지표		
[표 32] 기술수준 지표 설명		
지 표		설 명
양적 지표	활동도 (AI, Activity Index)	$H_{ij} = \frac{T_{ij}}{\sum_{j=1}^{nt} T_{ij}}$ <p>T_{ij} : i 기술에 대한 j 국가의 출원 공개 특허 수, nt : 전체 국가 수</p>

지 표		설 명
	집중도 (II, Intensity Index)	$II_{ij} = \frac{(T_{ij} / \sum_{j=1}^{nt} T_{ij})}{(\sum_{i=1}^{nt} T_{ij} / \sum_{i=1}^{mt} \sum_{j=1}^{nt} T_{ij})}$ <p>T_{ij} : i 기술에 대한 j 국가의 출원 공개 특허 수, nt : 전체 국가 수, mt : 전체 기술 수</p>
질적 지표	인용도지수 (CPP, Cites Per Patent)	<p>CPP = 등록특허의 피인용횟수 / 등록특허 건수</p> <ul style="list-style-type: none"> 특정 등록특허가 다른 특허들에 의해 인용된 횟수 CPP 값이 클수록 질적 수준이 높은 핵심특허 또는 원천특허를 많이 보유하고 있을 가능성이 높음을 시사
	특허영향지수 (PII, Patent Impact Index)	<p>PII = 분석대상 주체의 CPP / 전체 CPP</p> <ul style="list-style-type: none"> 특허의 피인용 횟수를 특정 기술분야 내에서 상대적인 값으로 전환시킨 지수 평균적인 기술 수준과 대비하여 분석대상의 기술 수준을 측정하며, PII가 1이면 해당 국가 또는 기업의 질적 수준이 평균 수준이고, 1이상일 경우는 질적 수준이 평균보다 높음을 의미
	기술력지수 (TS, Technology Strength)	<p>TS = 특허건수 × 영향력지수(PII)</p> <ul style="list-style-type: none"> 특허활동의 질적 수준과 함께 양적인 측면을 고려가 가능한 지수 TS가 클수록 해당 출원국가의 특허가 질적 및 양적으로 높은 기술력을 가지고 있음을 의미 TS를 통해 어느 국가가 질적으로 우수하고 많은 특허를 출원하였는지에 대한 기술력 판단 가능 출원연도를 구간별로 나누어 기술력의 변화를 분석하여 기술력 변화추이를 살펴볼 수 있으므로, 과거부터 계속하여 기술력이 높은 국가와 최근 들어 기술력이 급성장하고 있는 국가에 대한 파악 가능

□ 시장진입 경쟁수준

○ 집중을 지수 및 허핀달-허쉬만 지수로 평가

[표 33] 시장진입 경쟁수준 지표 설명

지 표	설 명
허핀달-허쉬만 지수 (HHI, Herfindahl-Herschman Index)	$HHI = \sum_{i=1}^n S_i^2 \quad [S_i = \frac{(n\text{번째 출원인의 출원수})}{(A\text{기술분야의 전체출원수})}]$ <ul style="list-style-type: none"> A 기술분야에 50개의 출원인이 존재하며 전체 1000건의 특허 출원이 있다고 가정할 때, A 기술분야에 있어서의 허핀달-허쉬만 지수는 상기 S_i^2의 총합을 의미 HHI 범위에 따라 시장진입 가능성 판단 가능 <ul style="list-style-type: none"> 0 ~ 100 미만 : 완전 자유경쟁 시장 100 ~ 1,000 : 집중화 정도가 거의 없는 시장 1,000 ~ 1,800 : 경쟁적 시장 1,800 ~ 4,000 : 과점적 시장 4,000 이상 : 독점적 시장

제2절 철근대체재-콘크리트 관련 기술수준 분석

1. ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 수준 분석

□ 120개 중점과학기술

- 경제성장 기여, 일자리 창출, 삶의 질 향상 등 경제·사회적 가치가 높아 국가차원의 중점 투자 및 육성이 필요한 기술로 제4차 과학기술기본계획('18~'22)에서 선정

□ 친환경 다기능 건설재료 기술 수준 평가(출처 : 한국과학기술기획평가원, 2018)

- (기술 개요) 미래 사회의 지속가능한 발전을 위한 고효율 에너지 건설재료, 인간 친화형·친환경 건설재료, 선제적 재난대응 건설재료 등 고성능 건설재료 기술로 건설재료 기술을 포함한 설계, 시공, 유지관리, 성능 평가 등 건설재료 관련 전주기적 기술 개발을 포함
- 전문가 정성평가(델파이 조사) 결과

[표 34] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 기술수준 델파이 조사 결과

국가	기술수준·격차			연구단계역량		연구개발 활동경향
	수준(%)	격차(년)	그룹	기초	응용개발	
한국	70.0	4.3	추격	보통	우수	상승
중국	65.0	4.5	후발	보통	우수	급상승
일본	90.0	1.3	선도	우수	우수	상승
EU	100.0	0.0	최고	탁월	우수	상승
미국	100.0	0.0	최고	탁월	우수	상승

- 주요국 기술수준 그룹 및 활동경향 평가 분포



* 기술수준 그룹(4그룹)을 선도/최고(4점), 추격(3점), 후발(2점), 낙후(1점)로 하여 평균값을 계산함

** 연구개발 활동경향 구간(4구간)을 급상승(4점), 상승(3점), 유지(2점), 하강(1점)으로 하여 평균값을 계산함

[그림 44] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 주요국 기술수준 그룹 및 활동경향 평가 분포

○ 주요국 연구단계 역량 평가 분포



※ 연구단계별 역량 구간(5구간)을 탁월(5점), 우수(4점), 보통(3점), 미흡(2점), 부족(1점)으로 하여 평균값을 계산함

[그림 45] '친환경 다기능 건설재료 기술' 주요국 연구단계 역량 평가 분포

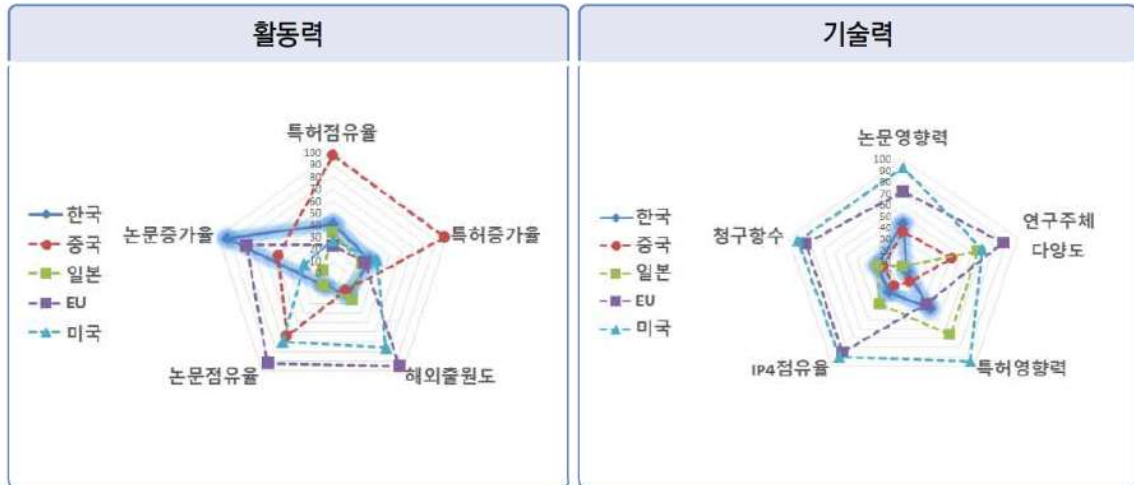
○ 논문 및 특허 현황

[그림 46] '친환경 다기능 건설재료 기술' 논문 및 특허 현황

해당분야 및 기술		유효 논문 수	유효 특허 수	논문 증가율 ¹⁾	특허 증가율
11대 분야	건설·교통	40,102	28,299	131.1%	145.5%
해당 중점과학 기술명	친환경 다기능 건설재료 기술	4,052	6,467	55.2%	93.2%
120개 중점과학기술 평균		4,908	3,631	70.8%	89.9%

	논문 점유율	특허 점유율	논문 영향력	특허 영향력
선도국	EU	중국	미국	미국
	39.2%	68.6%	15.1	8.4
한국	5위	2위	3위	3위
	4.0%	14.6%	9.7	3.1
5개국 평균 ²⁾	-	-	11.8	6.9

○ 활동력 및 기술력 국가별 상대적 위치



[그림 47] ‘친환경 다기능 건설재료 기술’ 활동력 및 기술력 국가별 상대적 위치

○ 국가별 분석 결과

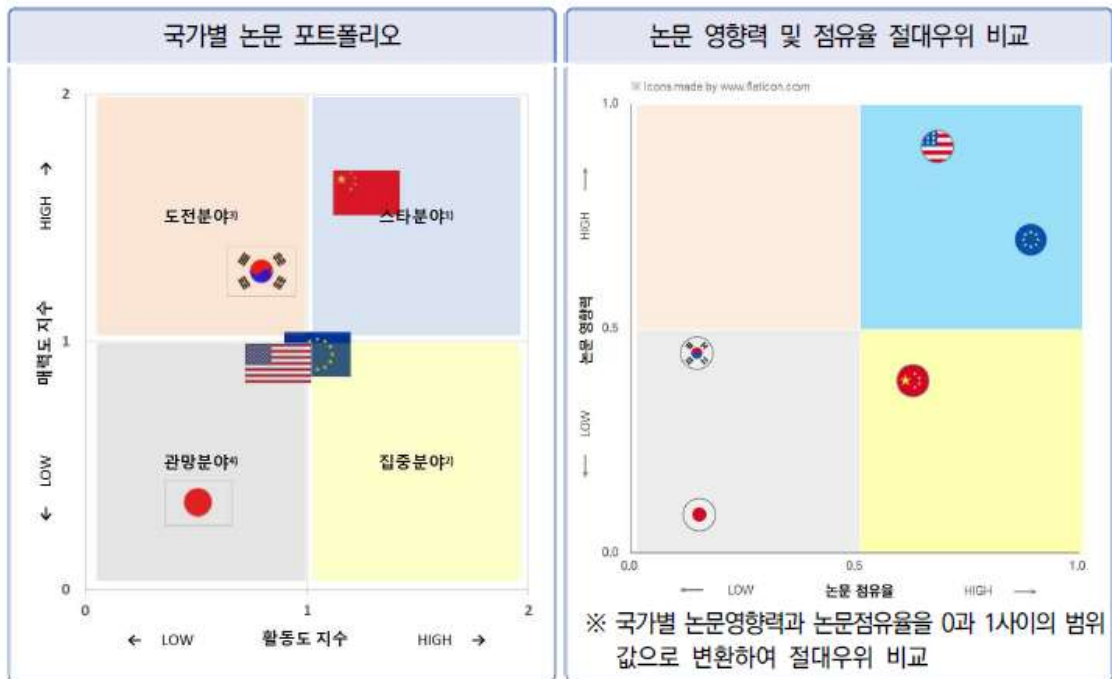
- 최근 12년간('06~'17) 우리나라의 논문 점유율(4.0%)은 주요 5개국 중 5위이며, 논문 영향력(9.7)은 주요 5개국 중 3위로 분석
 - 논문 점유율은 EU(39.2%), 미국(27.4%), 중국(25.1%), 일본(4.3%), 한국(4.0%) 순이며, 논문 증가율은 한국(142.6%)이 가장 높은 것으로 분석
 - 논문 영향력은 미국(15.1), EU(12.2), 한국(9.7), 중국(9.2), 일본(5.2) 순이며, 논문 연구주체 다양도는 EU(0.96)가 가장 높은 것으로 분석
- 최근 10년간('06~'15) 우리나라의 특허 점유율(14.6%)은 주요 5개국 중 2위이며 특허 영향력(3.1)은 주요 5개국 중 3위로 분석
 - 특허 점유율은 중국(68.6%), 한국(14.6%), 일본(9.7%), 미국(4.9%), EU(2.2%) 순이며, 특허 증가율은 중국(217.5%)이 가장 높고, 특허 해외출원도는 EU(6.6)가 가장 높은 것으로 분석
 - 특허 영향력은 미국(8.4), 일본(5.1), 한국(3.1), EU(2.7), 중국(0.3) 순이며, IP4 점유율은 미국(21.4%)이 가장 높고, 특허청구항수는 미국(9.1)이 가장 많은 것으로 조사

[표 35] '친환경 다기능 건설재료 기술' 국가별 논문 및 특허 분석 결과

		한국	중국	일본	EU	미국
논문 분석	논문 점유율	4.0%	25.1%	4.3%	39.2%	27.4%
	논문 증가율	142.6%	54.3%	-24.0%	97.7%	18.7%
	논문 영향력	9.7	9.2	5.2	12.2	15.1
	연구주체 다양도	0.80	0.89	0.92	0.96	0.93
특허 분석	특허 점유율	14.6%	68.6%	9.7%	2.2%	4.9%
	특허 증가율	-15.4%	217.5%	-38.1%	-30.1%	-3.7%
	해외출원도	0.4	0.1	0.9	6.6	4.2
	특허 영향력	3.1	0.3	5.1	2.7	8.4
	IP4점유율	2.8%	0.2%	6.1%	19.1%	21.4%
	청구항수	2.8	2.3	2.7	8.1	9.1

○ 국가별 상대적 우위 비교

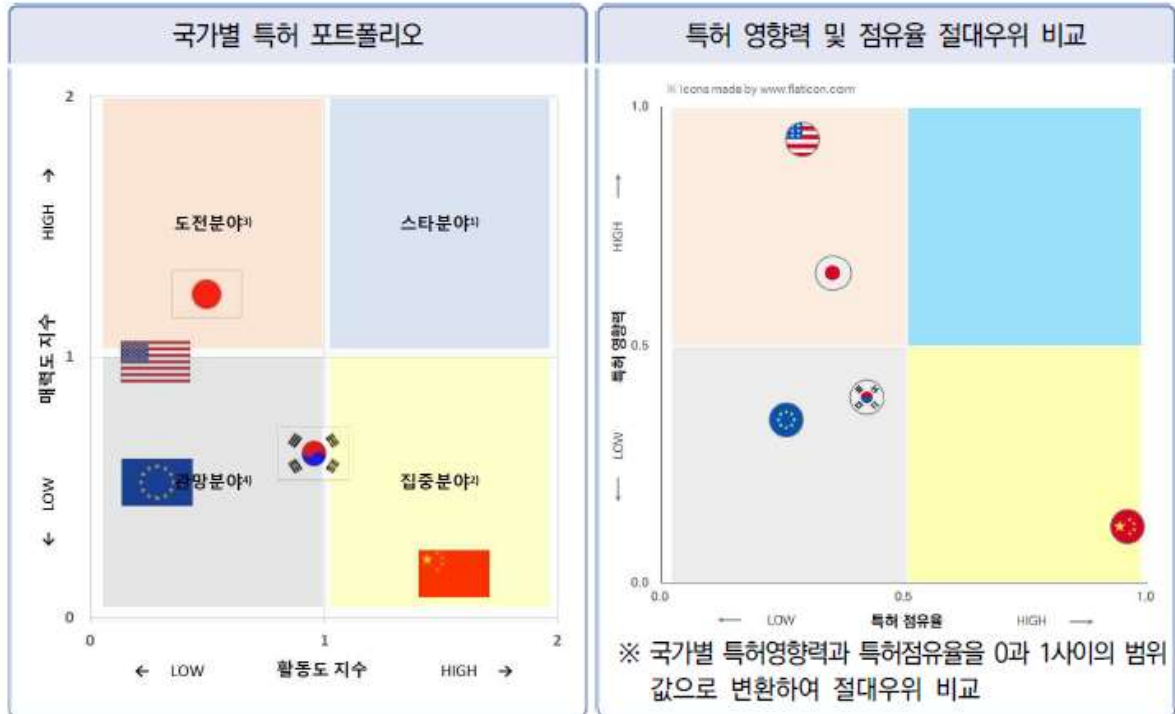
- 친환경 다기능 건설재료 기술의 논문에 대한 각 국가별 활동조 지수와 매력도 지수를 종합적으로 분석하면, 상대적으로 **한국의 연구활동은 적은 상황**이며, 중국의 질적 연구 성과가 높은 것으로 분석



- 1) 스타분야 타 영역 대비 상대적 논문(특허) 기술력도 높고 연구활동이 높은 분야
- 2) 집중분야 타 영역 대비 상대적으로 연구활동은 높으나 충분한 논문(특허) 기술력을 확보하지 못한 분야
- 3) 도전분야 타 영역 대비 상대적으로 논문(특허) 기술력은 높으나 연구활동이 부족한 분야
- 4) 관망분야 타 영역 대비 상대적 논문(특허) 기술력도 낮고 활동도 낮은 분야

[그림 48] '친환경 다기능 건설재료 기술' 국가별 상대적 우위 비교(논문)

- 친환경 다기능 건설재료 기술의 특허에 대한 각 국가별 활동도 지수와 매력도 지수를 종합적으로 분석하면, 한국은 상대적으로 특허 활동이 적으며, 일본은 특허의 질적 성과가 높은 것으로 조사



- 1) **스타분야** 타 영역 대비 상대적 논문(특허) 기술력도 높고 연구활동이 높은 분야
- 2) **집중분야** 타 영역 대비 상대적으로 연구활동은 높으나 충분한 논문(특허) 기술력을 확보하지 못한 분야
- 3) **도전분야** 타 영역 대비 상대적으로 논문(특허) 기술력은 높으나 연구활동이 부족한 분야
- 4) **관망분야** 타 영역 대비 상대적 논문(특허) 기술력도 낮고 활동도 낮은 분야

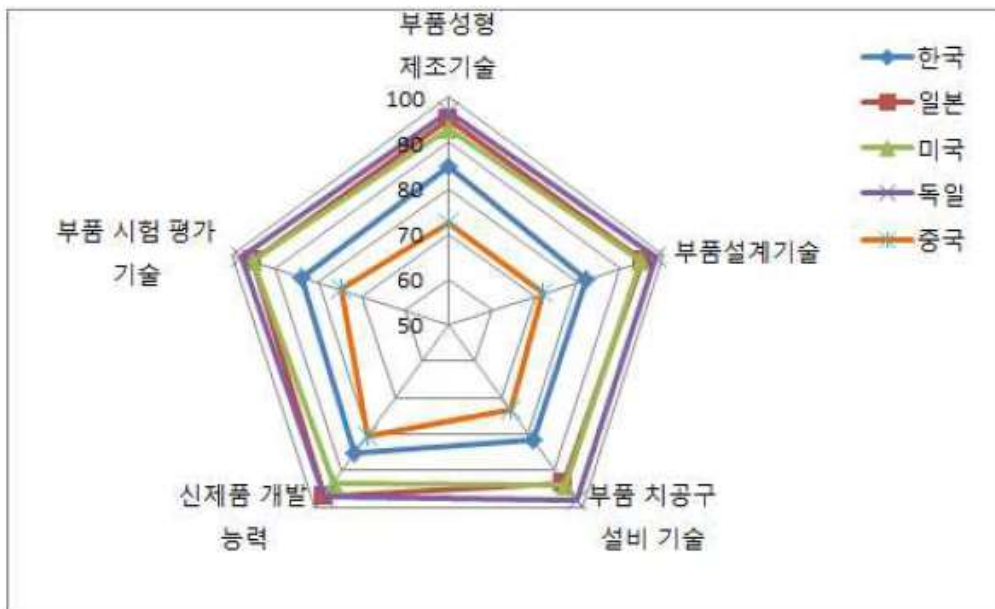
[그림 49] '친 환경 다기능 건설재료 기술' 국가별 상대적 우위 비교(특허)

2. 탄소섬유부품 산업경쟁력

* 출처 : 2018년 탄소섬유 및 탄소섬유 가공소재 산업 경쟁력 조사 (최종보고서), 무역위원회, 2018

□ 기술 경쟁력

- 독일이 98점으로 가장 높으며 일본 95점, 미국 94점, 한국 84점, 중국이 75점으로 선진국 대비 경쟁력 차이가 다소 있음
- (부품성형 제조기술) 한국의 부품성형 제조기술 점수는 85점으로 선진국 대비 80~90%수준임. 독일이 97점으로 가장 높으며 중국이 72점으로 가장 낮음
- (부품설계기술) 한국의 부품설계기술 점수는 82점으로 선진국 대비 80~90%수준임. 독일이 98점으로 가장 높으며 중국이 72점으로 가장 낮음
- (부품 치공구 설비 기술) 한국의 부품 치공구 설비 기술 점수는 82점으로 선진국 대비 80~90%수준임. 독일이 98점으로 가장 높으며 중국이 74점으로 가장 낮음
- (신제품 개발 능력) 한국의 신제품 개발 능력 점수는 85점으로 선진국 대비 70~80%수준임. 일본, 독일이 97점으로 가장 높으며 중국이 81점으로 가장 낮음
- (부품 시험 평가 기술) 한국의 부품 시험 평가 기술 점수는 84점으로 선진국 대비 70~80%수준임. 독일 98점으로 가장 높으며 중국이 75점으로 가장 낮음



[그림 50] 탄소섬유부품의 항목별 기술경쟁력 분석 결과

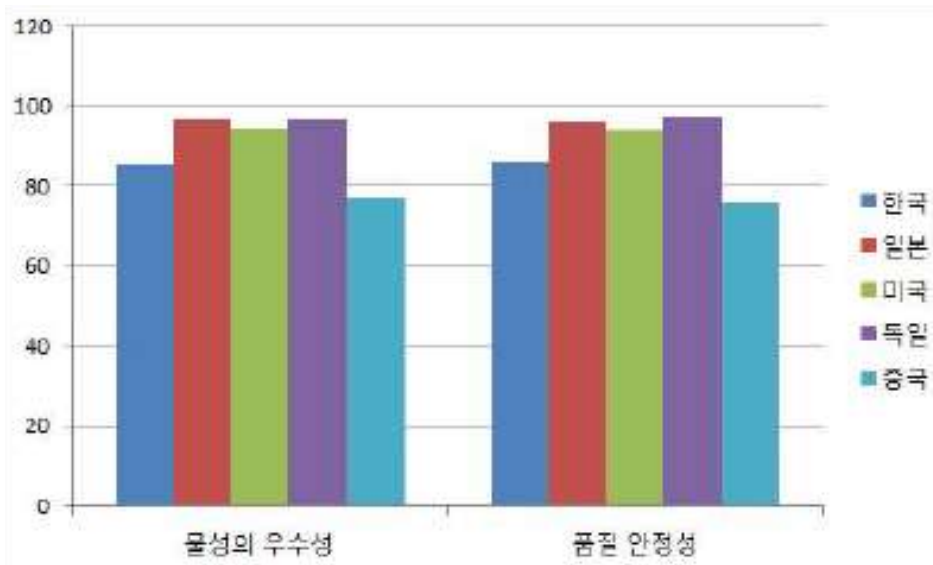
[표 36] 탄소섬유부품의 항목별 품질경쟁력 분석 결과

구분	항목	한국	일본	미국	독일	중국
기술 경쟁력	부품성형 제조기술	85	95	93	97	72
	부품설계기술	82	95	95	98	72
	부품 치공구 설비 기술	82	93	94	98	74
	신제품 개발 능력	85	97	93	97	81
	부품시험평가기술	84	96	96	98	75

* 출처 : 설문조사 결과

□ 품질 경쟁력

- 독일이 97점으로 가장 높으며 일본 96점, 미국 94점, 중국이 76점, 한국은 86점으로 탄소섬유부품의 품질경쟁력은 선진국 대비 큰 격차를 보이지 않음
- (물성의 우수성) 한국산 탄소섬유부품 물성의 우수성은 86점으로 선진국 대비 90% 수준으로 다소 열세임. 독일과 일본이 97점으로 가장 높으며 중국이 74점으로 가장 낮음
- (품질 안정성) 한국산 탄소섬유부품의 품질안정성은 86점으로 선진국 대비 90% 수준으로 다소 열세임. 독일이 97점으로 가장 높으며 중국이 76점으로 가장 낮음



[그림 51] 탄소섬유부품의 항목별 품질경쟁력 분석 결과

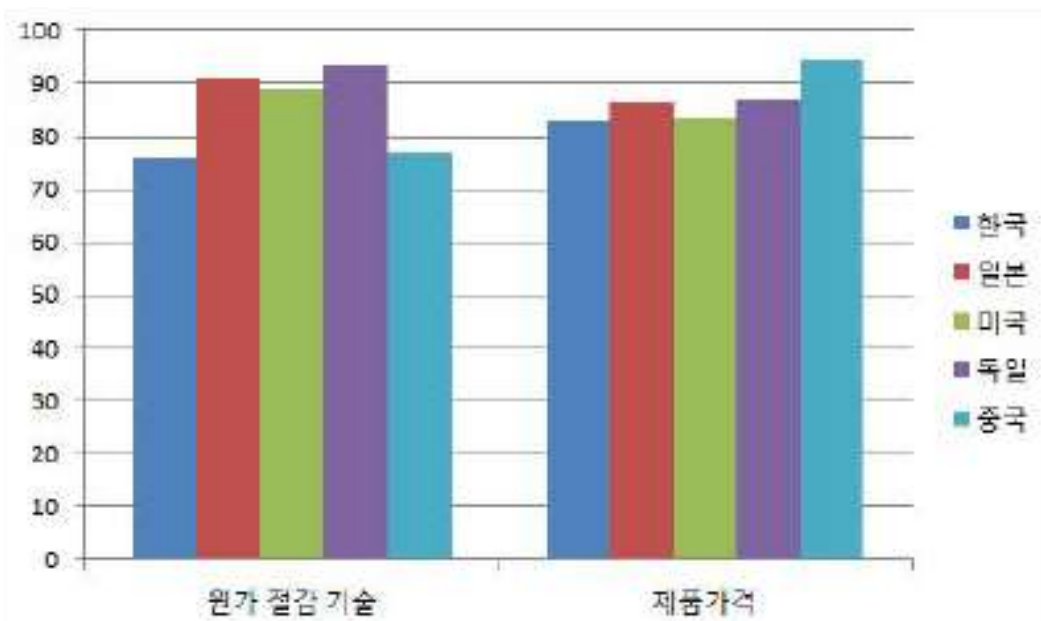
[표 37] 탄소섬유부품의 항목별 품질경쟁력 분석 결과

구분	항목	한국	일본	미국	독일	중국
품질 경쟁력	물성의 우수성	86	97	94	97	77
	품질 안정성	86	96	94	97	76

* 출처 : 설문조사 결과

□ 가격 경쟁력

- 독일이 90점으로 가장 높으며 일본 89점, 미국 86점, 중국 86점, 한국은 80점으로 가장 낮음
- (원가절감기술) 한국의 탄소섬유부품의 원가절감기술은 76점으로 선진국 대비 70~80% 수준으로 열세임. 독일이 94점으로 가장 높음
- (제품가격) 한국의 탄소섬유부품의 제품가격 점수는 83점으로 가장 낮으며 중국이 94점으로 가장 높음



[그림 52] 탄소섬유부품의 항목별 가격경쟁력 분석 결과

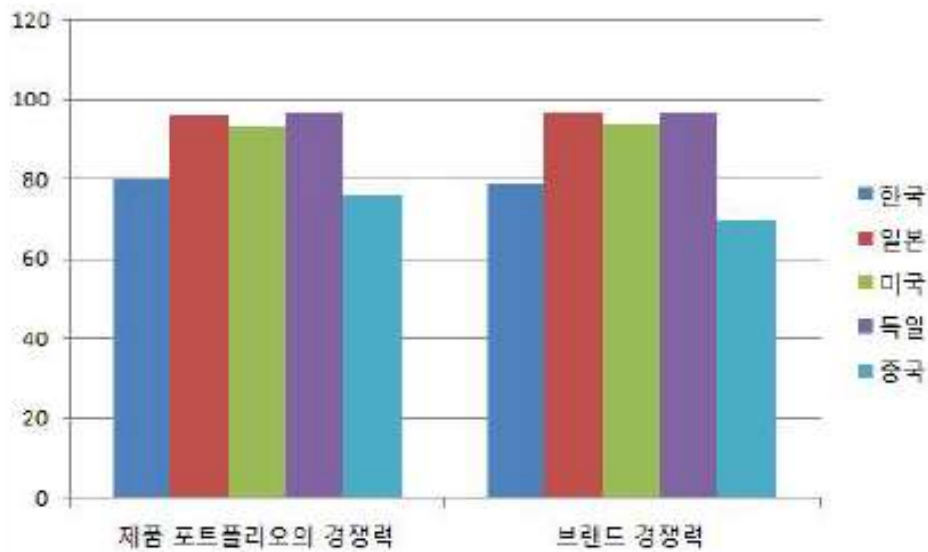
[표 38] 탄소섬유부품의 항목별 가격경쟁력 분석 결과

구분	항목	한국	일본	미국	독일	중국
가격 경쟁력	원가 절감 기술	76	91	89	94	77
	제품가격	83	86	84	87	94

□ 시장 경쟁력

- 독일이 97점으로 가장 높으며 일본이 96점, 미국이 93점, 한국이 80점, 중국이 73점으로 가장 낮음
- (제품 포트폴리오의 경쟁력) 한국 탄소섬유부품의 제품포트폴리오 경쟁력은 80점으로 가장 낮으며 선진국 대비 80~90%수준으로 다소 열세이며 일본이 96점으로 가장 우수함

- (브랜드 경쟁력) 한국의 탄소섬유부품 브랜드 경쟁력의 점수는 79점으로 일본과 독일이 97점으로 가장 높으며, 중국이 70점으로 가장 낮음



[그림 53] 탄소섬유부품의 항목별 시장경쟁력 분석 결과

[표 39] 프리프레그 항목별 시장경쟁력 분석 결과

구분	항목	한국	일본	미국	독일	중국
시장 경쟁력	제품 포트폴리오의 경쟁력	80	96	93	97	76
	브랜드 경쟁력	79	97	94	97	70

□ 탄소섬유 활용 복합소재 제품 관련 산업경쟁력 분석 결과

- 탄소섬유 활용 복합소재 제품의 기술, 품질, 가격, 시장 경쟁력의 종합점수는 독일이 95점으로 가장 우수한 경쟁력을 보유하고 있으며, 그 뒤로 일본 94점, 미국 92점, 한국82점, 중국 77점 순서로 조사
- 국내 탄소섬유 활용 복합소재 제품의 글로벌 경쟁력은 독일의 86% 수준으로 기술격차가 있으나, 탄소섬유(최고 수준 보유국인 일본 대비 78%) 대비 낮은 수준의 기술격차

[표 40] 탄소섬유 활용 복합소재 제품의 종합경쟁력 분석 결과

항목	한국	일본	미국	독일	중국
기술경쟁력	84	95	94	98	75
품질경쟁력	86	96	94	97	76
가격경쟁력	80	89	86	90	86
시장경쟁력	80	96	93	97	73
종합평균	82	94	92	95	77



탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

제4장 사업 기본방향 및 추진전략

제1절 사업 기본방향

제2절 사업 비전 및 목표

제3절 사업 추진전략

제4장 사업 기본방향 및 추진전략

제1절 사업 기본방향

1. SWOT 분석

□ (강점, Strength) 고성능 건설재료 개발 관련 연구개발 경험을 보유

- 지속적인 국가 R&D를 통해 고성능 건설재료 기술개발 노하우 축적
 - 초장대교량 사업단, 초고층빌딩 시공기술 연구단, 자기치유형 친환경 콘크리트 기술 개발, 압축강도 80~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 재료 및 구조물 기술 개발 등 지속적인 연구 수행을 통하여 고성능 건설재료 기술개발 노하우를 축적
- FRP를 활용한 건설부재 성능 향상 연구 지속 수행으로 경험 축적
 - 2000년대 초부터 FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설 기술 개발, FRP 긴장재 및 정착장치의 개발과 활용을 위한 연구 등을 추진
 - 최근에도 저탄소 소재활용 친환경 교량 기술 개발 연구단에서 GFRP 보강 콘크리트 바닥판 기술개발 연구를 수행했고, 한국건설기술연구원에서도 FRP 재료를 활용한 인프라구조물 구조성능 향상기술 개발, 텍스타일 활용 고성능 건설자재 및 콘크리트 구조물 성능향상 기술 개발 등 자체적으로 연구를 수행 중
- 탄소섬유 활용 복합소재 관련 국내 기술력 보유
 - 국내 탄소섬유 활용 복합소재 제품의 글로벌 경쟁력은 독일의 86% 수준으로 기술격차가 있으나, 탄소섬유(최고 수준 보유국대비 78%) 대비 낮은 수준의 기술격차

[표 41] 탄소섬유 활용 복합소재 제품의 종합경쟁력 분석 결과

항목	한국	일본	미국	독일	중국
기술경쟁력	84	95	94	98	75
품질경쟁력	86	96	94	97	76
가격경쟁력	80	89	86	90	86
시장경쟁력	80	96	93	97	73
종합평균	82	94	92	95	77

* 출처 : 2018년 탄소섬유 및 탄소섬유 가공소재 산업 경쟁력 조사 (최종보고서), 무역위원회, 2018

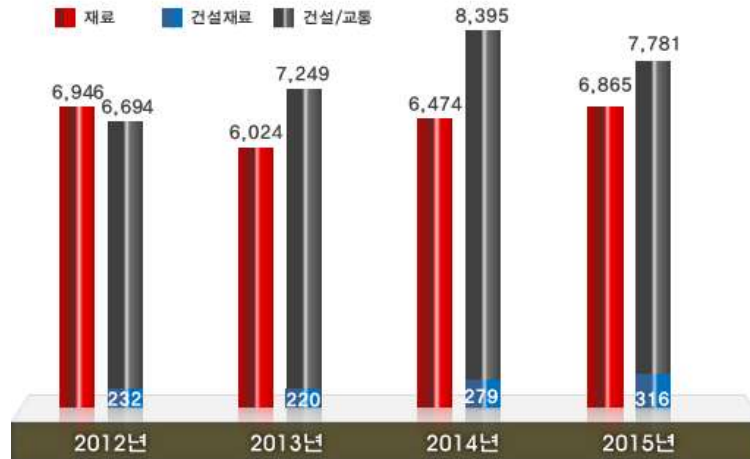
- 2017년 기준, 국내 가동 탄소섬유 생산캐파는 6,700톤으로 생산량 5,665톤, 국내 수요량은 3,460톤에 이르고 있으며, 국내 사용 탄소섬유의 대부분은 스포츠/레저, 산업 및 건축용으로 이용

□ (약점, Weakness) 건설재료 관련 R&D 투자 비율 저조

○ '15년 기준 건설재료 관련 R&D 투자비는 건설교통 전체 대비 4.06%에 불과

* NITS 분석 결과 '15년 건설교통 전체 R&D 투자액은 7,781억원이며, 그 중 건설재료 R&D 투자는 316억원에 불과

(단위 : 억원)



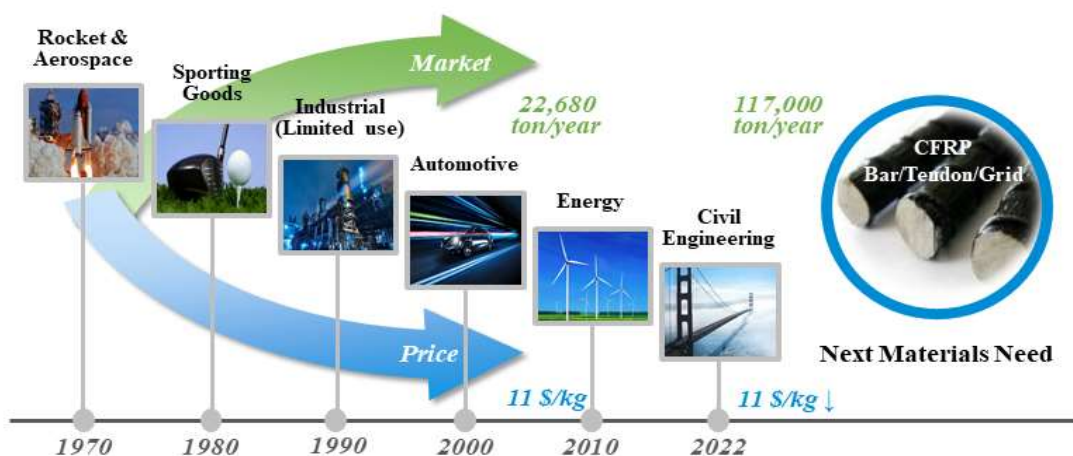
* 출처 : NITS

[그림 54] 건설교통 및 재료 분야 대비 건설재료 분야 R&D 투자 현황

- 개별 기술단위의 소규모·단기 성과 위주의 건설재료 기술개발을 추진
 - 건설재료 특성 상 대규모·장기 투자가 필요하나 건설재료 기술개발은 대부분 소규모, 단발성 과제로 추진
 - 건축 및 토목 시설물 구성기술 중 하나로 건설재료 기술개발을 추진함에 따라 과제별 연계성이 부족하고 유사·중복성이 발생
- 국내 건설경기 침체에 따라 건설재료 관련 민간 기술개발 투자가 위축되고 있는 실정
 - 일부 대기업을 제외하고 대부분의 건설재료 관련 중견·중소기업의 기술개발은 정부 R&D에 의존
 - 국내 건설재료 제품의 대부분은 기술개발이 아닌 해외 제품 수입에 의존하고 있어 기술의 해외의존도가 높은 편
- 건설재료 관련 업체가 영세하여 기술개발 능력이 부족한 실정임
 - 건설재료 관련 업체의 대다수는 중소기업이며, 슈퍼 건설재료 및 자재기술 관련 중소기업의 기술수준은 72.0%로 연구주체 중에서 가장 낮은 수준 (자료: KISTEP, 2016년 기술수준평가, 2017)

□ (기회, Opportunity) 시설물 안전 확보 및 건설산업 첨단화에 대한 니즈 증가

- 시설물 안전에 대한 국민의 지속적인 관심 및 요구가 증가하고 있음
 - 사회안전에 대한 인식도(통계청, 2년마다 조사, 13세 이상 인구 대상) 조사에 따르면 건축물 및 시설물 안전에 대한 불만족율은 증가하고 있는 추세
 - * 비교적 불안 및 불안 응답률이 '12년 21.3% → '14년 51.3% → '16년 33.8%로 증가
- 건설산업의 생산성 향상과 혁신을 위한 건설산업 변화 요구가 증대하고 있음
 - 건설산업은 사회적, 환경적 및 경제적으로 매우 중요한 산업으로 건설산업의 작은 발전도 사회적, 환경적, 경제적으로 큰 영향
 - * (사회적) 건설비용 1% 절감은 1,000억 달러의 사회비용 저감 효과를 유발할 수 있음 (경제적) 노후 시설물 급증에 따라 유지보수 비용이 증가하고 있는 실정임 (환경적) 건설산업은 천연자원 및 에너지 대량 사용, 이산화탄소 등 오염물질 배출, 건설폐기물 배출 등 환경부하가 큰 산업임
- 건설산업의 한계 극복 및 도약을 위하여 첨단기술 융·복합을 통한 건설산업 혁신에 대한 필요성 증가
 - 기존 경험중심의 노동집약적 건설산업은 성장 한계에 봉착하였으며, 글로벌 경쟁력이 저하되고 있는 실정
 - 첨단기술 융·복합에 의한 혁신적 건설재료 개발은 건설산업 혁신을 위한 가장 유용한 수단 (출처 : World Economic Forum, Shaping the Future of Construction, '16.3)
- 최근 첨단소재 제작기술 발달에 따른 탄소섬유 생산가격의 하락으로 탄소섬유 활용에 따른 가격경쟁력 확보가 가능하고 시장 확대 전망



[그림 55] 탄소섬유 시장 및 가격 변화 추이

* 출처 : 탄소섬유 및 탄소섬유 가공소재 산업 경쟁력 조사, 한국복합재료학회, 2018

□ (위협, Threat) 기술선도국에 의한 기술중속을 탈피하여 경제성을 확보한 건설재료 개발로 현장에 사용될수 있는 新건설부재 제공 필요

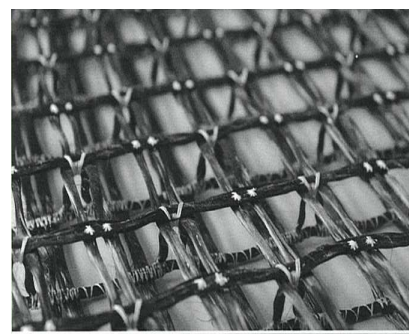
- 기술선도국의 첨단소재 융·복합 건설재료 관련 기술개발 활성화 및 이에 따른 기술중속 심화 우려
 - 선도국에서는 2010년대 초반부터 사회기반 시설물의 장수명화를 위하여 FRP 등 첨단소재를 활용한 건설재료 개발에 노력
 - (미국) 교량의 부식을 근본적으로 차단하고 100년 이상의 수명을 확보하기 위하여 FRP 재료를 교량에 적용
 - (일본) FRP 텐던 개발 및 이를 활용한 교량의 개발 등 세계 최고수준의 연구개발 및 상용화 실적 보유
 - (독일) CFRP의 콘크리트 구조물 적용을 위한 대규모 연구개발 프로젝트를 실시 중



GFRP 보강근(미국)



CFRP 텐던(일본)



CFRP 그리드(독일)

[그림 56] 주요 국외 개발 FRP 제품

- 고성능·고가인 첨단소재를 건설분야에 활용하기 위해서는 경제성 확보가 필수적
 - 나노소재, 탄소소재 등 첨단소재는 고가임에도 고성능을 요구하는 항공우주, 전기전자 등의 산업분야 적용이 활발한 편
 - 건설산업은 상대적으로 성능대비 경제성이 중요한 산업으로 고가의 첨단소재를 적용한 기술개발이 상대적으로 부족한 실정
 - 고성능·고가의 첨단소재 활용 건설재료의 경제성 확보 어려움에 따른 기술개발 부족 및 상용화 어려움

2. SWOT 전략

□ SO 전략

- CFRP를 활용한 新건설부재 개발은 기존 철근콘크리트 구조물에서 발생하는 부식 문제 해결을 통해 시설물 안전에 대한 국민 니즈 충족 가능
- 건설산업 혁신에 대한 대외 니즈가 높아 CFRP와 콘크리트의 융합 기술 개발을 통해 시장에 새로운 건설부재를 제공하고 이를 기반으로 한 프리팹, 모듈러 건설 등 건설산업 첨단화에 기여 가능

□ WO 전략

- 기존 소규모로 추진했던 FRP 활용 기술개발 한계 극복을 위해 시제품 제작 및 현장적용까지 목표로 하는 대규모 연구과제 추진
- 과거 건설재료 연구의 비중이 건설교통 내 타 분야에 비해 부족하였으나, 건설산업 전반의 혁신에 대한 니즈 증가로 새로운 건설재료 개발에 대한 니즈 증가

□ ST 전략

- 국내보다 앞서있는 국외 FRP 활용 건설부재 기술을 따라잡기 위해 대학 및 연구소 중심의 R&D에서 탈피하여 설계사·시공사의 참여비중 증대 필요
- CFRP 적용 콘크리트의 기존 철근콘크리트 대비 경제성 문제 극복을 위해 재료 생산부터 설계·시공·유지관리 전단계에 대한 경제성 분석 연구 필요

□ WT 전략

- 건설재료의 낮은 시장 수요 및 기술수준 극복을 위해 R&D 과정 중 기술 개발을 통한 시장 진출 방안 및 관련 지침 등까지 연구 필요
- 특히, 시장 적용을 위한 경제성 확보를 위한 연구 수행 필요

제2절 사업 비전 및 목표

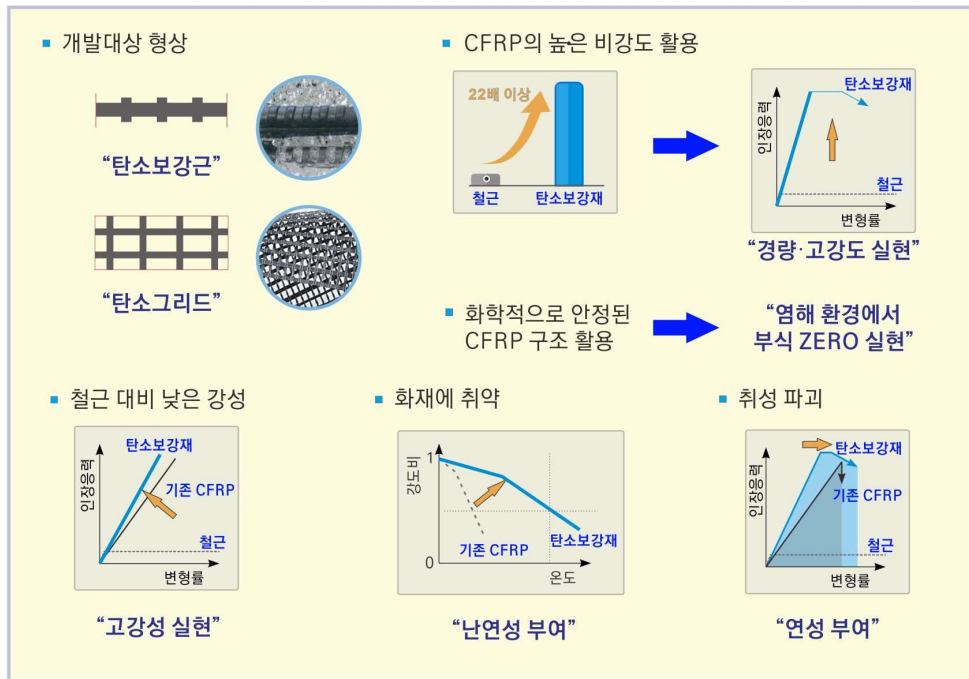
비 전		
新건설부재 개발을 통한 건설 안전성과 생산성 향상		
사업 목적		
건설 부재의 비부식·고강도·경량화를 통한 유지보수비 절감 및 건설자동화 구현을 위해 탄소섬유보강복합체(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)를 활용한 부식 ZERO 철근대체재 개발 및 실용화		
사업 목표		
건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발	건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발	철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발
건설용 탄소보강근 제조 기술 및 탄소보강근-콘크리트 부재 개발·검증	건설용 탄소그리드 제조 기술 및 탄소그리드-콘크리트 부재 개발·검증	철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법·기준 개발, 실구조물 적용 및 전주기 경제성(LCC) 분석
기술개발 전략		
첨단건설재료 개발을 위한 기초 기술 개발	철근대체재 성능향상 및 건설산업 적용성 향상을 위한 구조레벨의 성능평가 해설, 설계 및 시공기술 개발	
건설용 철근대체재 개발을 위하여 필요한 재료 특성 규명 등 기초 기술과 상대적으로 기본적인 건설재료 및 유해성 평가 기술을 개발	철근대체재-콘크리트의 신뢰성 확보 및 현장 적용을 위한 성능평가·설계/해석·시공의 건설산업 밸류체인을 고려한 기술개발	
구성기술		
구성기술	연구개발 내용	
① 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발	(1-1) 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발 (1-2) 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증	
② 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발	(2-1) 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발 (2-2) 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증	
③ 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발	(3-1) 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법 및 기준 개발 (3-2) 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용을 통한 성능평가 및 검증 (3-3) 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성(LCC) 분석	

[그림 57] 사업 비전 및 목표

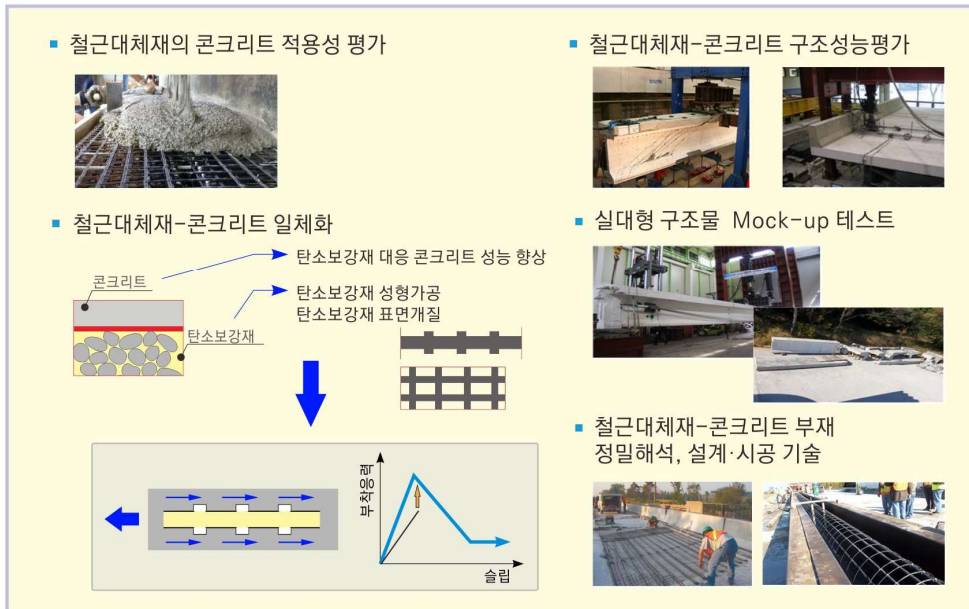
제3절 사업 추진전략

□ 첨단 탄소기술 융합을 통한 새로운 건설부재 개발

⊕ (소재) 건설용 탄소보강근 및 탄소그리드 제조



⊕ (부재) 철근대체재-콘크리트 부재 개발 및 검증



[그림 58] 철근대체재 및 철근대체재-콘크리트 개념

- 탄소섬유강화복합체(Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP) 제조 기술을 활용하여 “고강성·기능성” 철근대체재 개발
- CFRP의 뛰어난 물성을 활용하고, 건설재료로서의 적용을 위하여 철근 대비 낮은 CFRP의 성능 개선 및 필요 성능 부여

- 철근대체재 성능 및 규격에 적합한 시공성 및 물성을 보유한 콘크리트 기술 개발
- 철근대체재 및 콘크리트의 일체 거동을 위한 탄소보강콘크리트 제조 기술개발
- 철근대체재 및 콘크리트 성능 향상을 통한 콘크리트와의 부착력 극대화

□ 소재부터 설계·시공 및 제반 기준까지 건설소재 전주기 연구 수행

- 재료(철근대체재, 콘크리트), 부재(철근대체재-콘크리트) 및 부재 성능평가를 통한 철근대체재-콘크리트의 신뢰성 확보
- 철근대체재-콘크리트의 구조 해석 및 설계기술 개발
- 철근대체재-콘크리트의 시설물 적용을 위한 시공기술 개발



[그림 59] 건설소재 전주기 연구 개념도

□ 성능평가와 실증 연계를 통한 현장 적용성 확대

- 철근대체재-콘크리트의 신뢰성 확보 및 현장적용을 위한 성능평가·설계/해석·시공의 건설산업 밸류체인을 고려한 기술개발
 - 재료(철근대체재, 콘크리트) 성능평가를 통한 철근대체재-콘크리트의 신뢰성 확보
 - 철근대체재-콘크리트의 구조 해석 및 설계기술 개발
 - 철근대체재-콘크리트의 기존 및 신규 시설물 적용을 위한 현장시공기술 개발

⊕ (구조물) 철근대체재-콘크리트 실용화

■ 철근대체재-콘크리트 구조물 현장 실증



교량, 건축물 등 실구조물 적용

■ 철근대체재-콘크리트 LCC 분석



[그림 60] 현장적용 개념도



탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

제5장 구성기술 개발계획

제1절 연구개발 목표

제2절 구성기술 연구개발 내용·성능지표
및 기술로드맵

제3절 연구성과물 실증 방안

제4절 연구성과물 활용 및 사업화 방안

제5장 구성기술 개발계획

제1절 연구개발 목표

1. 연구 방향

□ 철근과 대표적 FRP 재료 비교

- FRP는 철근과 달리 부식되지 않아, 철근 부식으로 인한 콘크리트 구조물의 수명 단축문제 해결이 가능하며, 뛰어난 역학적 성능으로 경제성 확보 가능
- 특히, CFRP는 다른 FRP와 달리 환경에 의한 영향을 받지 않아 콘크리트 구조용 철근대체재로서 매우 적합한 재료
 - 섬유 종류에 따라 CFRP(탄소섬유), GFRP(유리섬유), AFRP(아라미드섬유) 등이 콘크리트 보강재로 활용
 - (GFRP 보강재) 다른 섬유 대비 비교적 경제적이지만, 자외선, 습윤 환경 등 외부 환경에 취약하며, 철근대비 탄성계수가 낮아 프리스트레스 콘크리트에는 적절하지 않으며, 주로 슬래브, 보 등의 주근이나 전단보강근으로 개발 및 적용
 - (CFRP 보강재) 화학적 안전성 및 내구성이 뛰어난 반면, 초기비용이 높아 프리스트레스 콘크리트용 텐던으로 주로 개발 및 적용되었으며, 최근 탄소섬유의 가격하락으로 건설분야 적용이 확대 중
- * CFRP 보강재를 콘크리트 구조에 적용할 경우, 철근을 배근한 경우 보다 동일 하중 하에서 경량·고강도로 80% 이상의 콘크리트 재료 절약 및 35%의 보강재 비용 절감 효과 기대 가능

[표 42] 철근과 FRP 재료의 특성 비교

특성	재료			
	Steel	CFRP	GFRP	AFRP
밀도(g/cm ³)	7.90	1.50~1.60	1.25~2.10	1.25~1.40
열팽창계수(10 ⁻⁶ /°C)	축	-9.0~0.0	6.0~10.0	-6.0~-2.0
	수직	11.7	74.0~104.0	21.0~23.0
탄성계수(GPa)	200	120~580	35~51	41~125
항복강도(MPa)	276~517	-	-	-
인장강도(MPa)	483~690	600~3,690	483~1,600	1,740~2,540

특성	재료			
	Steel	CFRP	GFRP	AFRP
파단변형율(%)	6.0~12.0	0.2~1.7	1.2~3.1	1.9~4.4
크리프 파괴		덜 민감 0.93/0.79	가장 민감 0.29/-	보통 0.47/0.66
피로(%)		5~8*	10	5~8
환경영향	부식	비부식	<ul style="list-style-type: none"> ■ 비부식 ■ 자외선, 방사선 노출에 의한 손상 ■ 습윤 환경 및 알칼리 환경에 취약 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 비부식 ■ 자외선, 방사선 노출에 의한 손상 ■ 습윤 환경에 취약
전기/열 전도성		높음	낮음	낮음
자기성	강자성	비자성	비자성	비자성
화재영향	<ul style="list-style-type: none"> ■ 350°C에서 강도의 1/3 ■ 500°C에서 1/2 감소 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 200°C에서 강도, 강성 저하 시작 (폴리머로 코팅된 필라멘트사) ※ 탄소섬유의 온도임계점 : 1600°C 	<ul style="list-style-type: none"> ※ 유리섬유의 온도임계점 : 880°C 	<ul style="list-style-type: none"> ※ 아라미드섬유의 온도 임계점 : 180°C

* 로그 수명 10년 당 초기 정적 강도 대비

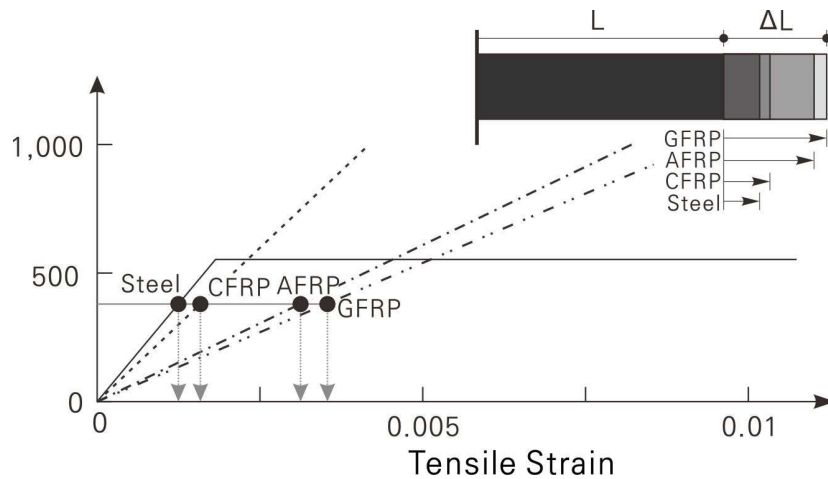
[표 43] 강재와 CFRP 보강재 비교

	강재	CFRP 보강재	비고
밀도	7.81 g/cm ³	1.8 g/cm ³	4배 가벼움
인장강도	500 MPa	2,500 MPa	5배 강함
피복두께	최소 8 cm	최소 1 cm	80% 이상 재료 절약 가능
비용	15.60 EURO/MN	11.50 EURO/MN	35% 비용 절감 효과

* 자료 : C3 프로젝트

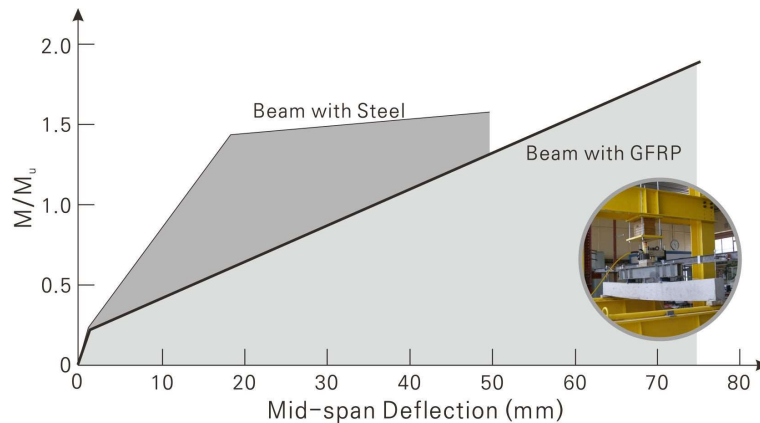
□ FRP 재료의 낮은 탄성계수

- GFRP, AFRP 등은 탄성계수가 철근보다 작아, 동일한 하중이 작용할 경우, 보다 큰 변형 발생할 수 있음
- GFRP 보강재의 탄성계수는 철근의 약 18~26%로 동일 하중에 대하여 철근보다 4배 이상의 변형이 발생할 수 있음
- 일반적으로 사용되는 CFRP 보강재도 탄성계수가 철근의 약 70%로 동일 하중 작용 시, 역시 철근보다 변형이 1.4배 이상 발생할 수 있음



[그림 61] 재료의 탄성계수에 의한 변형 발생 영향

- 또한, 콘크리트 내부에 배근할 경우, 낮은 탄성계수로 인하여 동일 하중 작용 시, 부재에도 큰 변형이 발생할 수 있음
- 콘크리트 균열 발생 후, 하중 전달 과정에서 GFRP 보강근의 낮은 탄성계수로 인하여 콘크리트 부재의 강성이 철근이 배근된 콘크리트 부재에 비하여 급격하게 저하되어 동일 하중에서 큰 변형이 발생할 수 있음

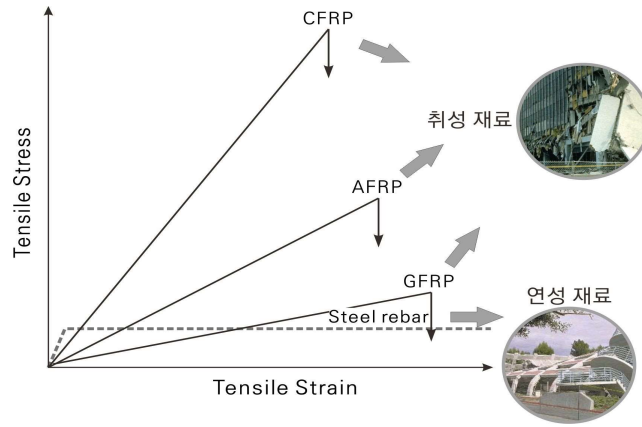


[그림 62] 철근과 GFRP 보강근에 의한 하중-변위 관계 차이

⇒ 탄성계수가 높은 탄소섬유를 활용하여 철근과 동등 이상의 탄성계수를 가지는 철근대체재 개발을 통한 철근대체재 및 콘크리트 부재의 과다 변형 발생을 방지하고자 함

□ FRP 재료의 취성파괴 특성

- FRP 재료는 철근과 달리, 항복강도가 존재하지 않으며, 인장강도 도달 후 급격하게 강도가 떨어지는 취성적 파괴 특성을 가지고 있어 콘크리트 내부 배근 시 콘크리트 부재의 취성파괴를 유발할 수 있음

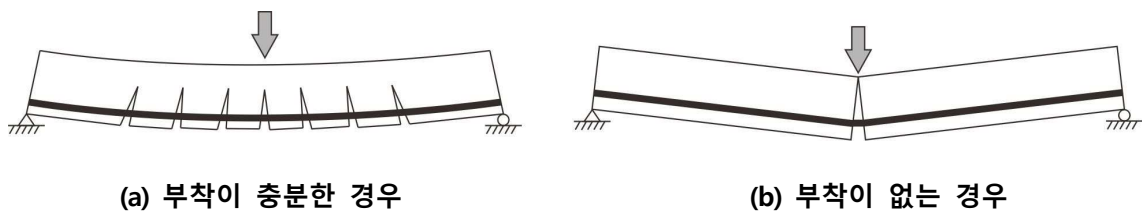


[그림 63] 철근콘크리트 부재의 파괴 형상에 대한 부착 영향

⇒ 첨가제 활용 FRP 재료의 취성파괴특성 개선, 콘크리트와의 부착성능 확보 등을 통하여 철근대체재 및 콘크리트 부재의 취성파괴를 방지하고자 함

□ 콘크리트와의 부착에 의한 일체 거동

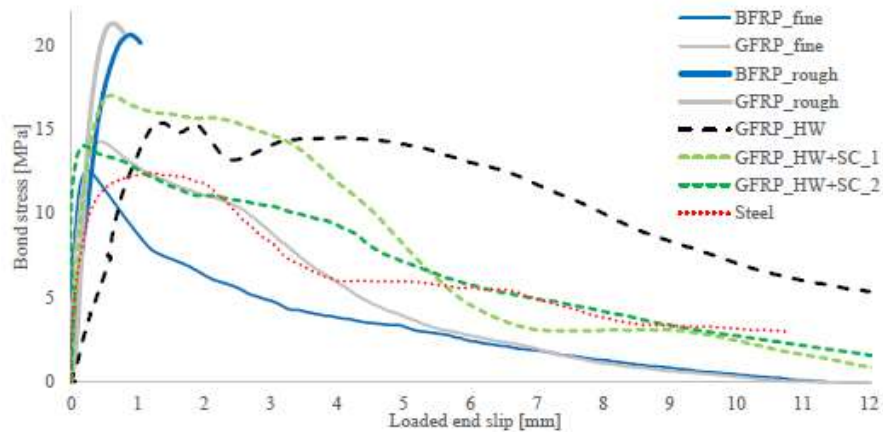
- 콘크리트와 철근의 부착은 철근콘크리트 부재의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소임
- 철근콘크리트 구조는 콘크리트와 철근이 일체가 되어 상호 힘을 전달하면서 외력에 견디는 복합구조형식으로, 복합작용이 제대로 이루어지기 위해서는 콘크리트와 철근사이의 부착 확보가 매우 중요함
- 부착이 충분한 경우에는 부재 내 최대 모멘트가 발생하는 부분을 중심으로 균열이 분산되면서 부재 파괴가 서서히 일어남
- 반면에, 부착이 없는 경우에는 부재 내 최대 모멘트가 발생하는 부분에 힘이 집중되어 철근이 배근되지 않은 무근콘크리트와 동일하게 급격한 부재 파괴가 일어남



[그림 64] 철근콘크리트 부재의 파괴 형상에 대한 부착 영향

- 이형철근의 경우, 표면의 마디와 리브가 콘크리트와의 부착성 향상에 큰 역할을 하며, 지진피해 경험을 통하여 이형철근의 중요성이 부각됨
- 철근콘크리트 구조 등장 초기에는 주로 원형철근이 사용되었으나, 원형철근은 매끄러운 표면으로 콘크리트와의 부착이 부족함에 따라, 지진 시 철근콘크리트 구조물이 취성파괴되어 인명 피해가 가중됨

- 이에 따라, 콘크리트와의 부착 확보를 위하여 이형철근의 사용이 보편화됨
- FRP 보강근과 콘크리트 사이의 부착-슬립 곡선 형태는 철근과 달리 부착강도 도달 후에 응력이 급격히 저하하는 형태를 보이며, FRP 보강근 표면의 코팅재료, 형상 등에 따라 콘크리트와의 부착 특성이 달라질 수 있음



출처 : Bond and anchorage of FRP bars in RC elements, Budapest University of Technology and Economics, 7th Framework Programme, Final Reaserach Report

[그림 65] GFRP 및 BFRP 보강근의 표면 특성에 따른 부착 특성 변화

⇒ 콘크리트와의 뛰어난 부착성능 확보 및 일체 거동을 위한 철근대체재의 표면 형상, 코팅 재료 등 표면 특성 최적화 기술을 개발하고자 함

□ 국내 기존 개발 FRP 보강재와의 비교

- 기존 FRP 보강재는 탄소섬유, 유리섬유 등 섬유의 높은 인장강도에 주목한 것으로 고강도 FRP 보강재 개발에만 노력한 초기단계 연구임
- 기존 과제를 통하여 GFRP 보강근과 CFRP 보강근 및 텐던 개발
- (GFRP 보강근) 철근의 약 25% 정도로 철근보다 탄성계수가 작으며, 인장강도 도달 직후 파괴되는 취성과파괴 특성을 보임. 또한, 단순 돌기의 표면 형태로 철근대비 콘크리트와의 부착성능이 미흡한 것으로 나타남
- (CFRP 보강근) GFRP 보강근 보다는 탄성계수가 크지만, 철근의 약 60% 정도로 철근보다 탄성계수가 작으며, 인장강도 도달 직후 파괴되는 취성과파괴 특성을 보임. 또한, 단순 돌기의 표면 형태로 철근대비 콘크리트와의 부착성능이 미흡한 것으로 나타남
- (CFRP 텐던) 탄성계수는 철근의 약 95%로 철근과 유사한 수준이나, 인장강도 도달 직후 파괴되는 취성과파괴 특성을 보임. 또한, 프리스트레스 콘크리트 및 외부 보강을 위한 텐던으로 매끈한 표면 형태로 콘크리트와의 부착성능이 떨어짐

- 본 기술은 철근콘크리트 구조의 철근을 대체할 수 있는 보강재를 개발하는 것임
- 이에 따라 철근과 동등 수준의 높은 탄성계수를 가지며, 취성파괴 특성을 개선하고, 또한, 콘크리트와의 부착에 최적화된 표면 특성을 가지는 탄소 고분자 기반 철근 대체재를 개발하고자 함
 - FRP 보강재의 강도뿐만 아니라 인축강도-변형률 관계에서 강성과 연성을 향상시키고자 함
 - 콘크리트와의 부착 확보를 위한 코팅 등 최적 표면 처리 기술 및 봉강, 그리드 등 다양한 형태의 FRP 보강재를 개발하고자 함
- 또한, FRP 보강재의 구조적 특성뿐만 아니라, 실제 건설분야 적용에 있어서 중요한 화재 취약성 등을 개선한 철근대체재를 개발하고자 함
 - FRP 보강재는 매트릭스 재료로 수지를 사용함에 따라 화재에 취약한 특성을 가지고 있음
 - 따라서, FRP 보강재를 건축물 등에 적용하기 위해서는 화재 취약성 개선은 필수적이며, 철근대체재 및 철근대체재-콘크리트의 화재 특성 규명과 함께 화재에 강한 철근대체재를 개발하고자 함

[표 44] 기존 FRP 보강재와 개발 재료기술 비교

구분	기존 GFRP 보강재	기존 CFRP 보강재		개발 철근대체재		
강도	1,150 MPa	3,500 MPa	2,100 MPa	2,100 MPa		
탄성계수	50 GPa	190 GPa	117 GPa	150 GPa		
형상 (콘크리트와의 부착)	단순돌기를 가지는 이형 봉강	원형 봉강	단순돌기를 가지는 이형 봉강	원형 봉강	이형 봉강 (다양한 형태 고려 및 최적 돌기 형상 도출)	그리드
내화성능	미고려	미고려		화재 취약성 개선 (전이온도 내 인장강도, 탄성계수의 목표성능 50% 이상 확보)		
비교						

* 기존 과제 : 농업수리 콘크리트 구조물의 내구성 증진을 위한 FRP 리바 개발 및 적용성 평가(2002~2004), FRP 복합재료 보강재 개발 및 콘크리트 구조물 건설기술 개발(2004~2007), FRP 긴장재 및 정착장치의 개발과 활용을 위한 연구(2005~2008)

[표 45] 철근, 기존 FRP 보강재 및 개발 재료기술 비교

구분		철근	기존 국내 CFRP 보강재	개발 철근대체재
탄성계수(GPa)		200	190 / 117	150
항복강도(MPa)		276~517	-	-
인장강도(MPa)		483~690	3,500 / 2,100	2,100
연성		연성재료	취성재료 (파단 변형률 / 인장강도시 변형률 = 0)	일부 연성 부여
열팽창계수 (10 ⁻⁶ /°C)	축	11.7	-9.0~0.0	
	수직	11.7	74.0~104.0	
환경영향		부식	비부식	
화재영향		<ul style="list-style-type: none"> ■ 350°C에서 강도의 1/3 ■ 500°C에서 1/2 감소 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 화재 취약 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 화재 취약성 개선 : 전이온도 내 인장강도, 탄성계수의 목표성능 50% 이상 확보

* 인장강도 목표 : 국내외 유사 재료의 성능과 동등 이상이 되도록 설정.

[철근대체재 개발 방향]

- (고성능) CFRP의 철근 대비 낮은 강성 : 고강성 (탄성계수 150 GPa) 철근대체재 개발
- (기능성) 철근 대비 취약한 CFRP의 내화성능 : 내열성 탄소 보강재 개발
- (기능성) 철근과 다른 CFRP의 취성 파괴 : 탄소 보강재 연성 부여 기술 개발

□ 건설 분야 및 타 분야 기존 R&D 관련 기술 연계·활용

- 다양한 형상의 철근대체재 및 콘크리트와의 부착성능 최적 표면 형상을 형성하기 위하여 CFRP 제품 제작을 위한 중간재 제작 기술, 부품 성형 기술 등을 활용·연계하고자 함
 - (지역특화산업육성사업) 브레이딩 공법을 이용한 CFRP Drive shaft 개발 등
 - (글로벌전문기술개발사업) X선 투과도가 80 % 이상인 의료기 Bed용 20 mm tape 형태의 탄소섬유 열가소성 prepreg 및 이를 이용한 직물 개발 등
 - (산업소재핵심기술개발사업) 반응중합을 이용한 자동차용 열가소성 탄소섬유 복합소재/공정 및 이를 활용한 센터플로어 차체 구조의 전주기 개발 등
 - (산학협력기술개발사업) 인발성형기법을 이용한 10.5G LCD 장비용 유리판 이송용 바 개발 등
 - (개인기초연구사업) Braid Pultrusion GFRP를 활용한 Hybrid 합성말뚝 개발 등
- 취성과파괴 특성이 개선된 철근대체재를 개발하기 위하여 고인성 부여를 위한 수지 기술, 첨가제 기술 등을 활용·연계하고자 함
 - (탄소벨리구축사업) 고인성 Low Limb Brace 모듈 개발을 위한 국산 탄소섬유 복합소재 기술 개발 등
 - (개인기초연구사업) xGnP 등 나노소재를 활용한 건설용 연성 CFRP 복합재료 개발 등

- 철근대체재의 화재 취약성을 개선하기 위하여 난연성 수지 기술 등을 활용·연계하고자 함
 - (탄소산업기반조성사업) 저온(-30℃)충격특성 및 난연성(V0)을 가진 PC 수지를 이용한 수송 기기용 탄소 복합재료 부품 개발 등
- 철근대체재 재활용 기술 개발을 위하여 열가소성 수지 적용 기술, CFRP 재활용 기술 등을 활용·연계하고자 함
 - (산업소재핵심기술개발사업) 반응중합을 이용한 자동차용 열가소성 탄소섬유 복합소재/공정 및 이를 활용한 센터플로어 차체 구조의 전주기 개발 등
 - (글로벌전문기술개발사업) 재활용 탄소섬유 적용 고속 압축성형 기술(3분이하)을 이용한 30% 경량화된 승용차용 하이브리드 Seat frame 개발 등



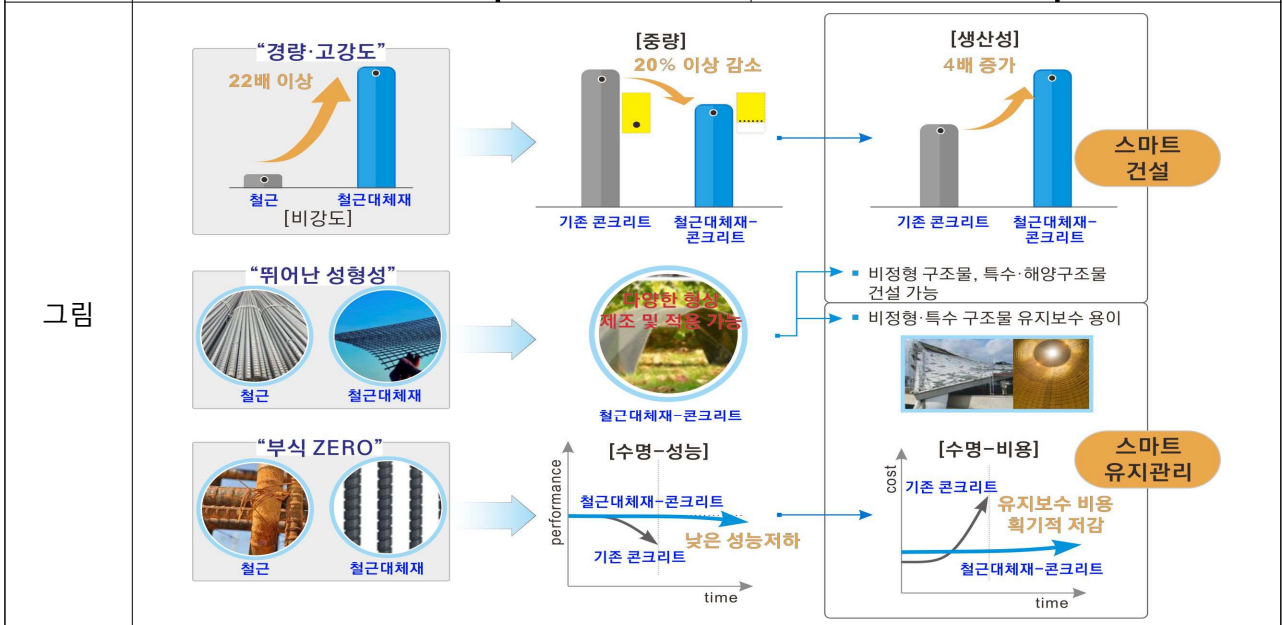
[그림 66] 기존 CFRP 관련 기술의 연계

2. 정량적 연구목표

* 국내 탄소섬유복합체 생산 수준 및 철근대체재의 경제성 등을 고려하여 변경

□ 기준

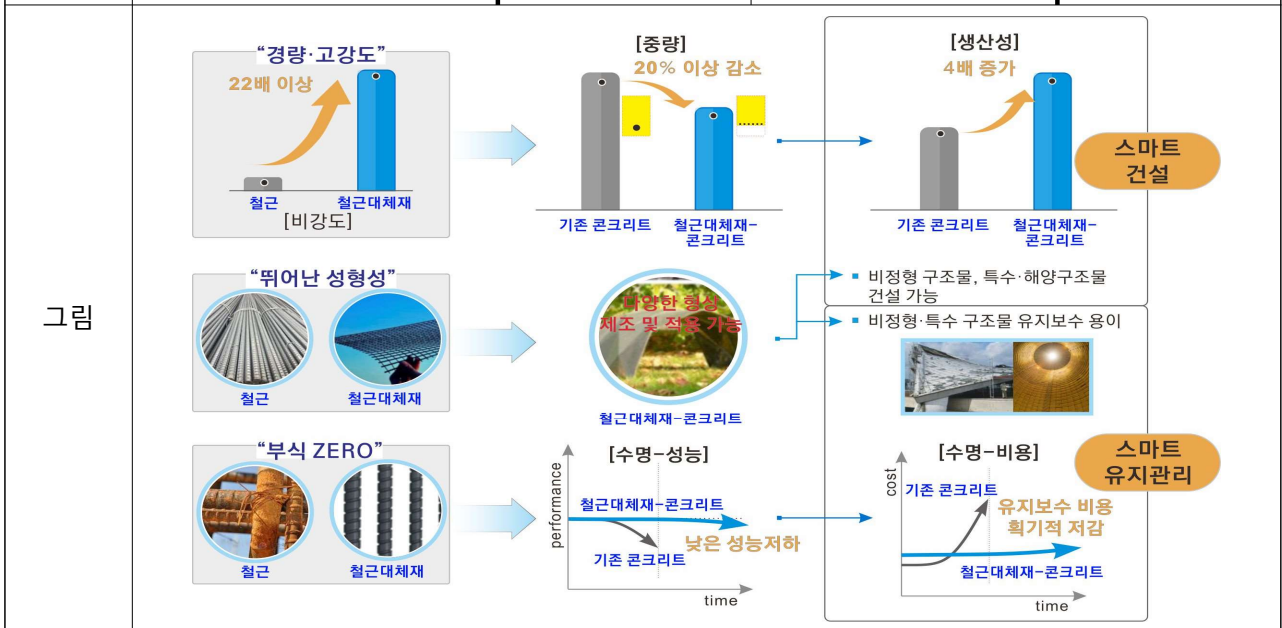
핵심항목	현재 수준(모습) ~'20	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습) ~'27(종료이후)
		'21년 수준 '21	최종 목표수준 '25(종료년도)	
탄소 보강근	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도(원형/이형) <ul style="list-style-type: none"> (국내) 3,500 MPa / 2,100 MPa (국외) 2,690 MPa / 1,650MPa 탄성계수(원형/이형) <ul style="list-style-type: none"> (국내) 190 GPa / 117GPa (국외) 155GPa / 150GPa 연성(이형) <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) - 건설용으로의 구조성능 최적화 <ul style="list-style-type: none"> 부착강도 : (국내) - / (국외) 15MPa 내화성능 : (국내) - / (국외) - 가공기술 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 일부존재 	<ul style="list-style-type: none"> 고강성 및 고연성 탄소보강근(원형 및 이형) 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도(원형 / 이형) <ul style="list-style-type: none"> - 3,500MPa / 3,000MPa 탄성계수(원형 / 이형) <ul style="list-style-type: none"> - 250GPa / 250GPa 연성(이형) <ul style="list-style-type: none"> - 파단변형률 : 1.8%(인장변형률의 1.5배) 건설용 필요 구조성능 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 부착강도: 15MPa - 내화성능 : 국내 RC 구조 내화성능 기준 만족 가공기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소보강근 (원형, 이형) 적용 콘크리트 부재 실용화
탄소 그리드	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 3,300 MPa (평균) 탄성계수 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 250 GPa 연성 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) - 건설용으로의 구조성능 최적화 <ul style="list-style-type: none"> 부착강도 : (국내) - / (국외) 15MPa 내화성능 : (국내) - / (국외) - 가공기술 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 일부존재 	<ul style="list-style-type: none"> 고강성 및 고연성 탄소그리드 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도 <ul style="list-style-type: none"> - 3,500 MPa 탄성계수 <ul style="list-style-type: none"> - 250 GPa 연성 <ul style="list-style-type: none"> - 파단변형률 :21% 인장변형률의 1.5배) 건설용 필요 구조성능 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 부착강도: 15MPa - 내화성능 : 국내 RC 구조 내화성능 기준 만족 가공기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소그리드 적용 콘크리트 부재 실용화
철근 대체재-콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 국내 철근대체재-콘크리트 제조 실적 부족 단순 원형 보강근 제조 및 교량 보강용으로 제한 적용 독일,일본 등에서 직물복합 보강재 및 활용 기술 개발 중 	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트 부재 성능평가 철근대체재-콘크리트 구조물 적용 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 실제 성능 기반 철근대체재-콘크리트구조 설계 기술 확보 철근대체재-콘크리트 적용 시공 기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트의 구조물 적용 및 실용화



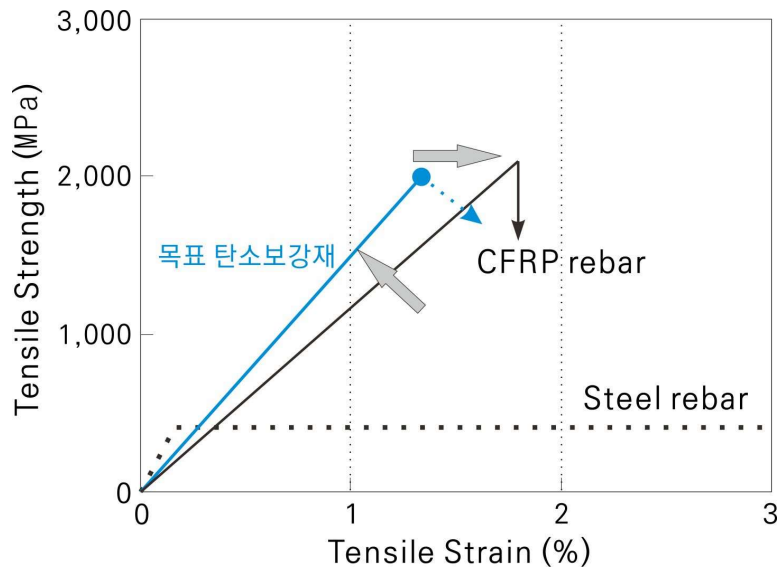
[그림 67] 연구개발 정량적 목표 수준

□ 변경

핵심항목	현재 수준(모습) ~'20	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습) ~'27(종료이후)
		'21년 수준 '21	최종 목표수준 '25(종료년도)	
탄소 보강근	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도(원형/이형) <ul style="list-style-type: none"> (국내) 3,500 MPa / 2,100 MPa (국외) 2,690 MPa / 1,650 MPa 탄성계수(원형/이형) <ul style="list-style-type: none"> (국내) 190GPa / 117GPa (국외) 155GPa / 150GPa 연성(이형) <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) - 건설용으로서의 구조성능 최적화 <ul style="list-style-type: none"> 부착강도 : (국내) - / (국외) 15MPa 내화성능 : (국내) - / (국외) - 가공기술 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 일부존재 	<ul style="list-style-type: none"> 고성능 및 기능성 탄소보강근(원형 및 이형) 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도(원형/이형) <ul style="list-style-type: none"> 2,100 MPa / 2,100 MPa 탄성계수(원형/이형) <ul style="list-style-type: none"> 150GPa / 150GPa 연성(이형) <ul style="list-style-type: none"> 연성 부여 건설용 필요 구조성능 확보 <ul style="list-style-type: none"> 부착강도: 15MPa 내열성능 : 200℃에서 인장강도, 탄성계수의 목표성능 50% 이상 확보 가공기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소보강근 (원형, 이형) 적용 콘크리트 부재 실용화
탄소 그리드	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 3,300 MPa (평균) 탄성계수 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 250 GPa 연성 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) - 건설용으로서의 구조성능 최적화 <ul style="list-style-type: none"> 부착강도 : (국내) - / (국외) 15MPa 내화성능 : (국내) - / (국외) - 가공기술 <ul style="list-style-type: none"> (국내) - / (국외) 일부존재 	<ul style="list-style-type: none"> 고성능 및 기능성 탄소그리드 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 인장강도 <ul style="list-style-type: none"> 2,100 MPa 탄성계수 <ul style="list-style-type: none"> 150 GPa 연성 <ul style="list-style-type: none"> 연성 부여 건설용 필요 구조성능 확보 <ul style="list-style-type: none"> 부착강도: 10MPa 내열성능 : 200℃에서 인장강도, 탄성계수의 목표성능 50% 이상 확보 가공기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소그리드 적용 콘크리트 부재 실용화
철근 대체재-콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 국내 철근대체재-콘크리트 제조 실적 부족 단순 원형 보강근 제조 및 교량 보강용으로 제한 적용 독일, 일본 등에서 직물복합 보강재 및 활용 기술 개발 중 	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트 부재 성능평가 철근대체재-콘크리트 구조물 적용 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 실제 성능 기반 철근대체재-콘크리트구조 설계 기술 확보 철근대체재-콘크리트 적용 시공 기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트의 구조물 적용 및 실용화



[그림 68] 연구개발 정량적 목표 수준



[그림 69] 철근대체재 목표 성능

[참고] 철근대체재 목표 성능 변경

□ 철근대체재 인장강도 및 탄성계수 목표 성능 변경

[표 46] 철근대체재 목표 성능

구분	기존	변경
인장강도	3,000 MPa(보강근) / 3,500 MPa(그리드)	2,100 MPa
탄성계수	250 GPa	150 GPa
내열성능	국내 RC 구조 내화성능 기준 만족	200°C에서 인장강도, 탄성계수의 목표성능 50% 이상 확보

□ 국내 탄소섬유복합체 생산 수준과 경제성을 고려한 목표 성능 변경

○ 국내 탄소섬유복합체 생산 수준

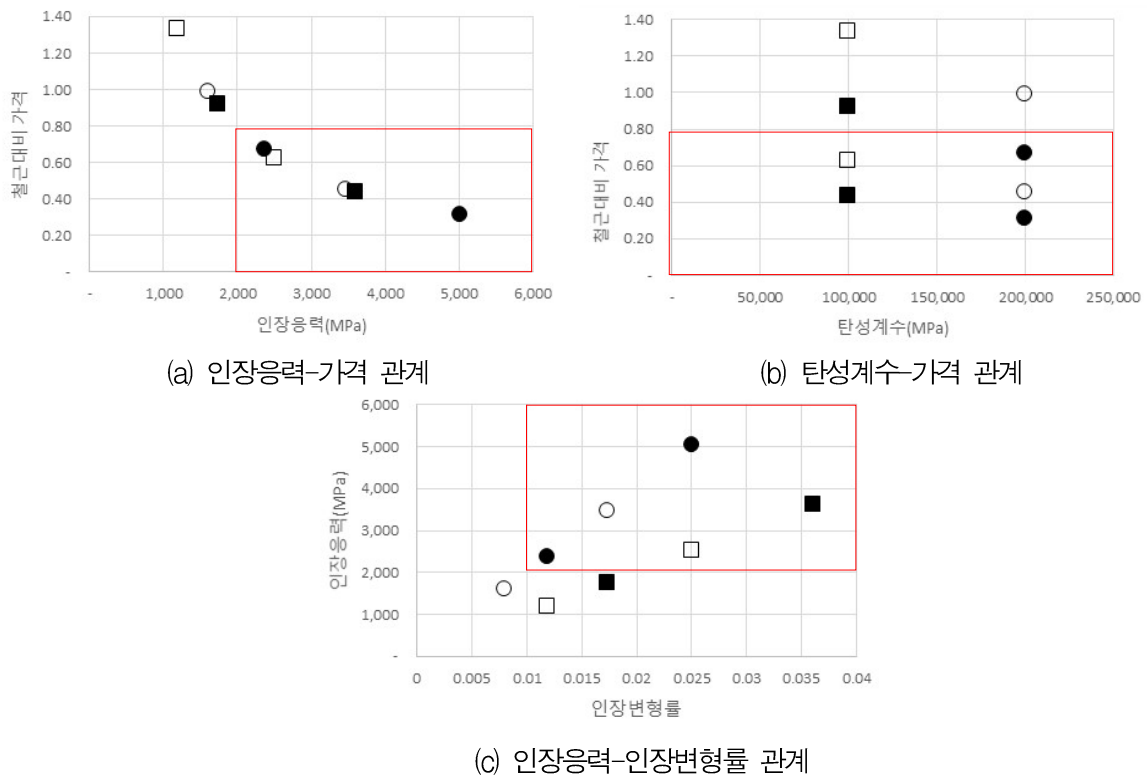
- 효성에서 생산 가능한 표준 탄소섬유복합체의 탄성계수는 최대 155GPa

○ Typical Composite Properties

Fiber Type		H2550						H3055		Test Method
		6K		12K		24K		12K		
		SI Units	US Units	SI Units	US Units	SI Units	US Units	SI Units	US Units	
Tensile Properties	0° Tensile Strength	2,950 MPa	428 Ksi	2,950 MPa	428 Ksi	2,950 MPa	428 Ksi	2,950 MPa	428 Ksi	ASTM D3039
	0° Tensile Modulus	140 GPa	20.3 Msi	140 GPa	20.3 Msi	140 GPa	20.3 Msi	155 GPa	22.5 Msi	ASTM D3039
	0° Tensile Strain	2.00 %		2.00 %		2.00 %		1.80 %		ASTM D3039
Compressive Properties	0° Compressive Strength	1,450 MPa	210 Ksi	1,450 MPa	210 Ksi	1,450 MPa	210 Ksi	1,500 MPa	217 Ksi	ASTM D3410
Flexural Properties	0° Flexural Strength	1,800 MPa	261 Ksi	1,800 MPa	261 Ksi	1,800 MPa	261 Ksi	1,800 MPa	261 Ksi	ASTM D790
	0° Flexural Modulus	125 GPa	18.1 Msi	125 GPa	18.1 Msi	125 GPa	18.1 Msi	150 GPa	21.8 Msi	ASTM D790
ILSS	Strength	90 MPa	13.1 Ksi	90 MPa	13.1 Ksi	90 MPa	13.1 Ksi	90 MPa	13.1 Ksi	ASTM D2344

[그림 70] 효성 생산 탄소섬유복합체 물성표

- 국외 철근대체재 제품 성능
 - (탄소보강근) 인장강도 1,650~2,241MPa, 탄성계수 124~155GPa (표 12 참조)
 - 인장강도 평균 1,992MPa, 탄성계수 평균 143GPa
 - (탄소그리드) 인장강도 1,200~4,000MPa, 탄성계수 100~234.5MPa (표 13 참조)
 - 인장강도 평균 2,499MPa, 탄성계수 평균 177GPa
- 부재 단면해석을 통한 경제성 평가
 - 최대 모멘트 산정
 - 압축 콘크리트의 변형률이 극한변형률(0.003)에 도달하였으나, 철근대체재의 응력은 인장강도에 도달하지 않은 것으로 가정
 - 단면평면유지 가정에 의해 최대 모멘트 시, 철근대체재의 변형률, 인장응력 및 중립축 길이 산정 후 최대 모멘트 산정
 - * 콘크리트 압축강도 24MPa, 부재 단면 폭 100mm/200mm, 부재 압축측에서 CFRP 보강재 중심까지의 거리 450mm로 가정
 - 단면해석 결과에 따른 철근과의 가격 비교
 - 최대 모멘트 산정 결과를 바탕으로 철근대체재를 적용했을 때와 동일한 단면 최대 모멘트를 부담하는 철근 단면적 산정
 - 철근대체재 인장강도 2,100MPa 이상 및 탄성계수 150GPa 이상 확보 시 철근대체재의 가격이 철근의 0.8 미만인 것으로 나타나 가격 경쟁력이 있는 것으로 판단
 - * 철근 인장항복강도 400MPa
 - * 단위 무게 당 가격 : 철근 1EUR/kg, CFRP 16EUR/kg 적용(표 1 참조)



[그림 71] 철근대체재의 철근 대비 가격 경쟁력 평가

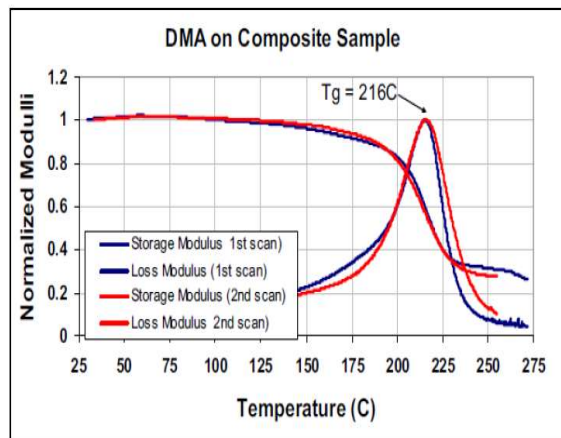
○ 내열성능에 대한 정량적 목표 성능 제시

- 현재 국내외에 사용되는 복합재료를 적용한 송전선에 대한 생산제품 기준 및 성능을 근거로 성능 목표 산정
- “ACCC 송전선 기준”에 따라 국내외 송전선 제품의 코어부를 복합재료로 적용하여 사용한 제품(수지 포함)의 내열성능을 200°C로 제시
 - * 송전선은 일반 건설용 소재와 달리 고압 송전으로 인한 내열성을 중요 성능지표로 활용하고 있으므로 건설용 복합소재의 실용화 연구에 충분한 성능지표로 활용 가능하다고 판단
- 내열성능 평가 결과 약 216°C에서 변이점이 발생되고 230°C가 넘어가면 열화에 의한 제품이 변형되므로 내열성능을 200°C 기준으로 제작(그림 72 참고)

ACCC® Composite Core Specifications									
METRIC									
CTC Part Number	200-003	200-004	200-005	200-006	200-007	200-008	200-009	200-010	200-011
Nominal Core Name Designation (mm)	5.97	7.11	7.75	8.13	8.53	8.76	9.78	10.03	10.54
Nominal Diameter of Composite Core (mm)	5.97	7.11	7.75	8.13	8.53	8.76	9.78	10.03	10.54
Diameter Tolerance (mm)	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05
Nominal Cross-sectional Area of Core (mm²)	28.0	39.7	47.1	51.3	51.3	60.3	75.1	79.1	87.3
Rated Strength of Composite Core (MPa)	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158
Rated Tensile Load at Failure (kN)**	60.4	85.7	101.7	110.0	110.0	130.2	162.1	170.6	188.3
Core Nominal Mass (kg/m)	34	38	46	50	50	58	73	76	84
Final Modulus of Elasticity (GPa)	112.3	112.3	112.3	112.3	112.3	112.3	112.3	112.3	112.3
Coefficient of Thermal Expansion (x10⁻⁶/°C)	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.45	1.61	1.61	1.61
Specific Heat Capacity of Core (J/g/°C)	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813
Heat Capacity of the Core (kJ/m/°C)	43.5	61.7	70.4	78.8	78.8	91.9	116.1	119.6	133.1
Electrical Conductivity of the Core (% IACS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recommended Operating Temperature of Core (°C)†	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Emergency Operating Temperature of Core (°C)††	200	200	200	200	200	200	200	200	200
IMPERIAL									
CTC Part Number	200-003	200-004	200-005	200-006	200-007	200-008	200-009	200-010	200-011
Nominal Core Name Designation (in)	235	280	305	320	335	345	385	395	415
Nominal Diameter of Composite Core (in)	0.235	0.280	0.305	0.320	0.335	0.345	0.385	0.395	0.415
Diameter Tolerance (in)	±0.002	±0.002	±0.002	±0.002	±0.002	±0.002	±0.002	±0.002	±0.002
Nominal Cross-sectional Area of Core (in²)	0.043	0.062	0.073	0.080	0.110	0.093	0.146	0.123	0.135
Rated Strength of Composite Core (ksi)	313.0	313.0	313.0	313.0	313.0	313.0	313.0	313.0	313.0
Rated Tensile Load at Failure (kN)**	13.6	19.3	22.8	25.2	34.6	25.3	36.4	38.4	42.3
Core Nominal Mass (lb/ft)	36	51	58	66	69	76	96	99	110
Final Modulus of Elasticity (ksi)	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29
Coefficient of Thermal Expansion (x10⁻⁶/°F)	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894	0.806	0.894	0.894	0.894
Specific Heat Capacity of Core (J/g/°F)	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452
Heat Capacity of the Core (kJ/m/°F)	24.2	34.3	39.8	44.4	51.8	51.1	64.5	66.5	73.3
Electrical Conductivity of the Core (% IACS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recommended Operating Temperature of Core (°F)†	356	356	356	356	356	356	356	356	356
Emergency Operating Temperature of Core (°F)††	392	392	392	392	392	392	392	392	392

†The recommended operating temperature of the composite core in ACCC® conductors is up to 180°C (356°F)
 ††The maximum recommended emergency temperature rating of the composite core in ACCC® is 200°C (392°F), which CTC defines as 10,000 hours over the conductor lifetime.
 **Rate tensile loads have been rounded to the first decimal place.
 All values are determined at room temperature unless otherwise indicated.

(a) ACCC 송전선 기준



(b) 탄성계수 온도 관계

[그림 72] 복합재료를 적용한 송전선의 내열성능

- 국내 탄소섬유복합체 생산 수준 및 철근대체재의 경제성 등을 고려하여 철근 대체재의 인장강도 및 탄성계수는 국외 철근대체재의 평균 수준인 2,100MPa 및 150GPa로 변경하고 내열성능을 200°C에서 인장강도, 탄성계수의 목표성능 50% 이상 확보로 산정

제2절 구성기술 연구개발 내용·성능지표 및 기술로드맵

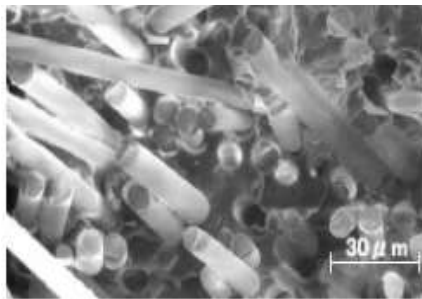
[표 47] 구성기술 과제 주요 연구개발 내용

구성기술	주요 연구개발 내용	
[구성기술 1] 건설용 탄소보강근- 콘크리트 기술 개발	(1-1) 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설용 탄소보강근 제조 및 가공(표면처리, 절곡 등) 기술 개발 ▪ 건설용 탄소보강근 성능평가 및 품질관리 기술 개발 ▪ 건설용 탄소보강근 저비용·대량 생산기술 개발
	(1-2) 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소보강근-콘크리트 부재 및 접합부 일체화 기술 ▪ 탄소보강근-콘크리트 부재의 장·단기 구조적 성능평가 및 Mock-up 시험 등을 통한 검증 * 부착, 압축, 휨, 전단, 처짐, 피로, 내진, 내화 등 ▪ 탄소보강근-콘크리트 부재 정밀해석 및 경제적 설계·시공 기술 개발
[구성기술 2] 건설용 탄소그리드- 콘크리트 기술 개발	(2-1) 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설용 탄소그리드 제조 및 가공(표면처리, 직조 등) 기술 개발 ▪ 건설용 탄소그리드 성능평가 및 품질관리 기술 개발 ▪ 건설용 탄소그리드 저비용·대량 생산기술 개발
	(2-2) 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소그리드-콘크리트 부재 및 접합부 일체화 기술 ▪ 탄소그리드-콘크리트 부재의 장·단기 구조적 성능평가 및 Mock-up 시험 등을 통한 검증 * 부착, 압축, 휨, 전단, 처짐, 피로, 내진, 내화 등 ▪ 탄소그리드-콘크리트 부재 정밀해석 및 경제적 설계·시공 기술 개발
[구성기술 3] 철근대체재- 콘크리트 실용화 기술 개발	(3-1) 철근대체재-콘크리트 시험방법 및 기준 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 재료·부재 시험방법 및 기준 개발 ▪ 철근대체재-콘크리트 구조물 설계, 시공 및 유지관리 기준 개발
	(3-2) 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용을 통한 성능평가 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 철근대체재-콘크리트 실구조물(교량, 건축물 등) 설계, 시공, 해석 등 적용 기술 개발 ▪ 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용을 통한 성능 평가 및 검증 * 구조성능, 사용성, 공용성 등 모니터링 평가
	(3-3) 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성 (LCC) 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 철근대체재-콘크리트 구조물 적용에 따른 경제성 분석 방안 선정 * 분석 범위, 조건, 모델 및 기법 등 ▪ 철근대체재-콘크리트 구조물 대상 경제성(LCC) 분석

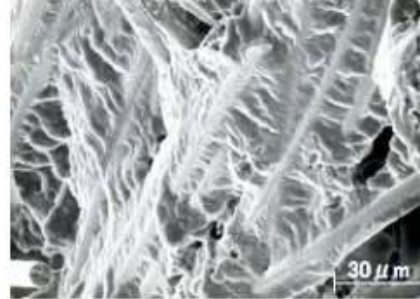
1. (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발

□ (1-1) 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발

- 건설용 탄소보강근 제조 및 가공(표면처리, 절곡 등) 기술 개발
 - 고강성 탄소보강근 제조 기술 개발
 - 탄소보강근 요구성능 도출 및 개발 방향 설정
 - * 탄성계수 150GPa 및 인장강도 2,100MPa 이상 등
 - 조직형성 기술 분석 및 기초 조직 설계
 - * 탄소섬유 조건에 따른 탄소보강근 성능 영향 분석, 섬유방향 및 섬유 수직방향 물성 평가 등
 - 요구성능에 따른 수지 분석 및 최적 매트릭스 수지 선정
 - * 수지 조건에 따른 탄소섬유-수지 계면특성 분석 등



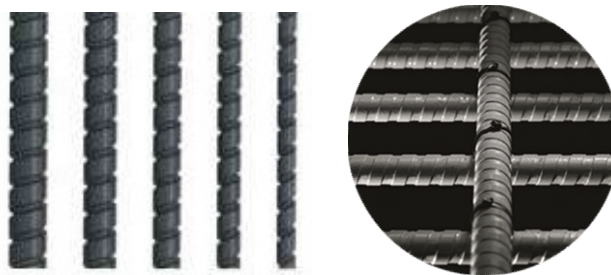
Example for poor adhesion between fibers and matrix resin



Example for good adhesion between fibers and matrix resin

[그림 73] 탄소섬유와 매트릭스 수지 결합

- 부착성능 확보를 위한 최적 리브 형상 및 성형 기술 도출
 - * 리브 조건에 따른 부착특성 영향 분석, 고차 직조, 흡파기 등 표면성형가공 등



[그림 74] 탄소보강근 제품 예시

- 탄소보강근 가공 및 성능향상 기술 개발
 - 탄소보강근 절곡 기술
 - * 스테럽의 표준갈고리, 내진갈고리 등 Bending 상세 도출 및 가공
 - 콘크리트 접촉 계면 특성 향상을 위한 탄소보강근 표면개질 기술
 - * 무기코팅 기술 등
 - 탄소보강근 연성 부여 기술
 - * 첨가제, 이중 섬유 혼입 등

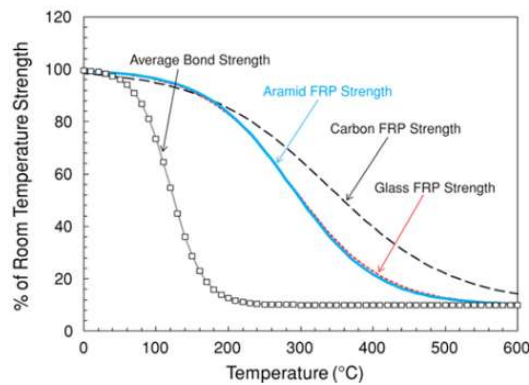
· 탄소보강근 내열성능 향상 기술

* (1-2 연구개발 내용) 탄소보강근-콘크리트 구조부재의 내화성능 평가를 통한 내화성능기준 충족여부 확인



* 출처 : N. Subramanian, FRP Rebars, Structural Engineering Forum of INDIA, 2014.

[그림 75] 직물복합 보강근 부착특성



* 출처 : Bisby, L.A., Green, M.F., and Kodur, V.K.R., Response to fire of concrete structures that incorporate FRP, Progress in Structural Engineering and Materials, 7, 3, 2005, pp. 136-149. / Katz, A., Berman, N., and Bank, L.C., Effect of high temperature on the bond strength of FRP rebars, Journal of Composites for Construction, 3, 2, 1999, pp. 73-81.

[그림 76] 온도변화에 따른 FRP의 인장강도 및 부착강도 변화

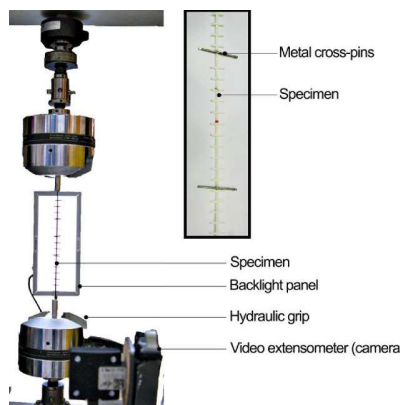
○ 탄소보강근 성능평가 및 품질관리 기술 개발

- 탄소보강근 역학적 특성 평가

· 재료 구성성분 변화에 따른 역학적 특성 평가

* 탄성계수, 인장/압축강도, 변형률, 전단강도 등, 섬유 방향에 따른 강도 영향 평가 등

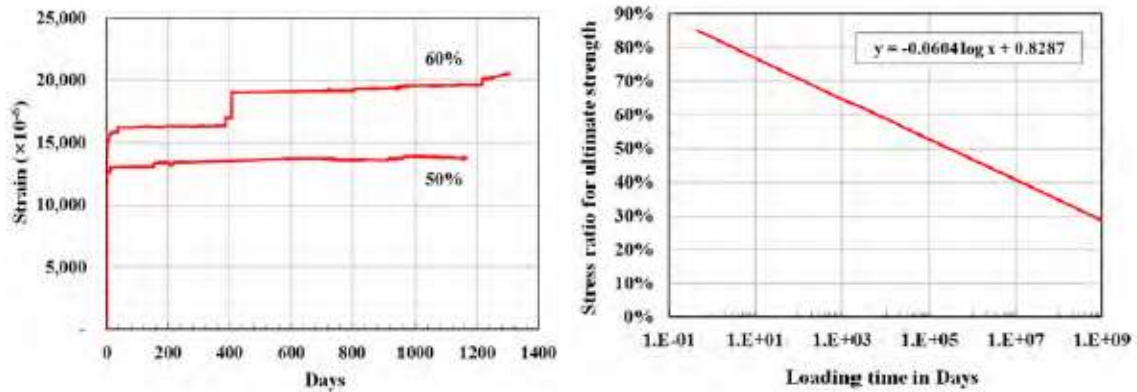
· 응력-변형률 관계 특성 모델 제시



* 출처 : Natalie Williams Portal, Usability of Textile Reinforced Concrete: Structural Performance, Durability and Sustainability, Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, 2015.

[그림 77] 직물복합 보강재 인장시험 예시

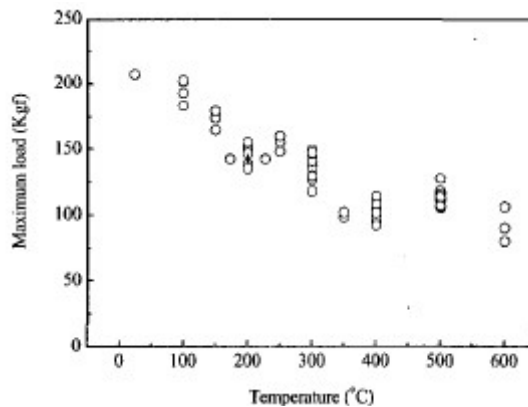
- 탄소보강근의 장기 성능 평가
 - 환경조건에 따른 내구성 평가
 - * 알칼리, 산, 염해, 중성화, 수분, 자외선, 동결융해, 황산염 등
 - * 환경노출에 따른 강도저하 계수 등 물성 영향 평가
- 탄소보강근 크리프 특성 평가
 - 크리프 영향 요인에 따른 특성 평가
 - * 섬유, 수지, 온도, 응력 수준 등
 - * 추가변형률, 크리프 파괴 시간, 인장강도 보유율(파괴 시) 등
 - 크리프변형률 곡선 제시



* 출처 : 유영준, 박영환, 김형열, 최진원, 김장호, 인발성형된 이형 GFRP 보강근과 GFRP 보강 콘크리트 부재의 크리프 거동, 한국콘크리트학회 논문집, 25(2), 2013.

[그림 78] GFRP 보강근 크리프변형률 곡선 예시

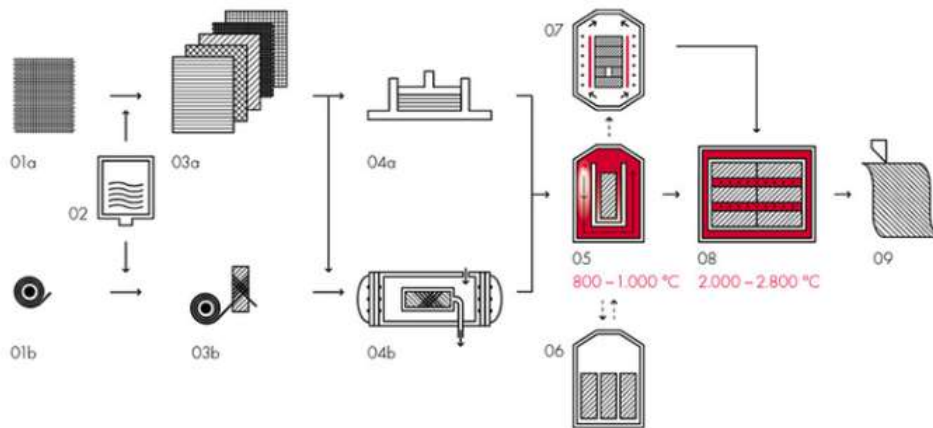
- 탄소보강근 고온 특성 평가
 - 고온에서의 탄소보강근 물성 변화 평가
 - * ‘탄소보강근 내열성능 부여 기술’ 연계 / 탄성계수, 인장강도 등 / 수지 종류 등에 의한 영향 평가
 - 주변 온도 변화에 따른 탄소보강근의 응력-변형률 변화 평가
 - * 콘크리트 등((1-2 연구개발 내용) 탄소보강근-콘크리트 구조부재의 내화성능 평가 연계)



* 출처 : 박재범, 황태경, 김형근, 도영대, 고온 환경하에서의 CFRP의 인장강도특성에 관한 연구, 한국추진공학회 2006년도 춘계학술대회 논문집, 2006.

[그림 79] 고온에서의 CFRP 인장강도 변화 예시

- 건설용 탄소보강근 품질 표준화 기준 제시
 - 탄소보강근 성능평가 결과 DB 구축
 - * 원소재 구성, 규격(리브 형상, 단면적 등), 종류 등 / 역학적 성능, 내구성, 크리프, 고온 특성, 섬유-수지 부착 특성 등
 - 건설용으로서의 탄소보강근 기본 성능기준 제시
 - * 역학적 성능, 내구성, 크리프, 고온 특성, 섬유-수지 부착 특성 등
- 건설용 탄소보강근 저비용·대량 생산기술 개발
 - 건설용 탄소보강근 제조를 위한 파일럿 설비 구축
 - 보강근 요구성능 맞춤 설계
 - 탄소섬유집합체 형성
 - 탄소섬유집합체-매트릭스 수지 복합화
 - 탄소보강근 시작품 제작
 - 건설분야 적용성 향상을 위한 생산요소 기술 개발
 - 대형부재 적용, 생산시간 단축, 원스톱 제조 프로세스, 제조 공정 시뮬레이션 등
 - 건설용 저비용·대량 탄소보강근 생산을 위한 최적 제조 공정 도출



01a Carbon fiber fabric	04a Pressing and curing	07 Densification through chemical vapor deposition
01b Carbon fiber	04b Curing in autoclaves	08 Graphitizing
02 Resin	05 Carbonizing	09 Machining
03a laminating	06 Densification through liquid impregnation	
03b Winding		

[그림 80] 탄소섬유복합체 제조 공정 예시

□ (1-2) 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증

○ 탄소보강근-콘크리트 부재 및 접합부 일체화 기술

- 탄소보강근의 콘크리트 적용성 평가
 - 탄소보강근 및 콘크리트 배합조건에 따른 탄소보강근-콘크리트 거동 평가
 - * 탄소보강근 형상, 표면 특성 등 / 콘크리트 설계 강도 등
 - * 콘크리트 시공성, 탄소보강근-콘크리트 강도, 변형, 열팽창계수 영향 등
 - 탄소보강근-콘크리트 장기 거동 평가
 - * 알칼리, 산, 염해, 중성화, 수분, 자외선, 동결융해, 황산염 등 환경영향 평가
 - * 촉진열화시험, 장기폭로시험 등
 - 탄소보강근 적용 콘크리트 요구성능 도출



* 출처 : 9. Carbon- und textilbetontage, tudalit, 2017.

[그림 81] 탄소보강근-콘크리트 상호 작용



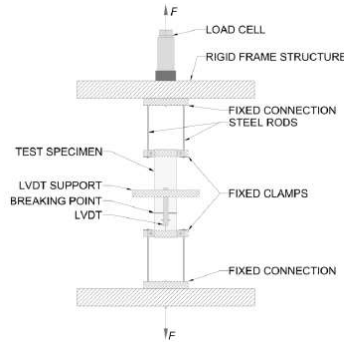
[그림 82] 탄소보강근-콘크리트 내구성능 평가 예시

- 탄소보강근 적용성 향상을 위한 콘크리트 성능 향상 기술
 - 탄소보강근-콘크리트 계면 부착 향상 콘크리트 기술
 - * 바인더 함량 조절, 폴리머 첨가 등
 - * 화학적 프리스트레스 도입, 단섬유 혼입 등
- 탄소보강근-콘크리트 부재 및 접합부 일체화
 - 탄소보강근-콘크리트 부착 거동 평가
 - * 탄소보강근 및 콘크리트 배합 조건 고려
 - * 탄소보강근-콘크리트 부재 대상 Direct bond test, Beam bond test 등

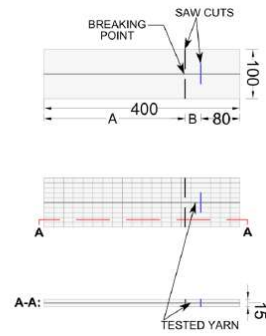
- 탄소보강근-콘크리트 부착 특성 규명
 - * 탄소보강근-콘크리트 구조 부착-슬립 관계 모델 제시
 - * 환경영향 고려 / 탄소보강근-콘크리트 구조부재 구조성능평가 연계
- 탄소보강근-콘크리트 정착 및 이음 길이 평가
 - * 탄소보강근-콘크리트 구조 정착 및 이음 설계식 제시
 - * 탄소보강근-콘크리트 구조부재 구조성능평가 연계



[Direct bond test]



[Beam bond test]



* 출처 : Natalie Williams Portal, Usability of Textile Reinforced Concrete: Structural Performance, Durability and Sustainability, Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, 2015.

[그림 83] 직물복합 보강재 부착시험 예시

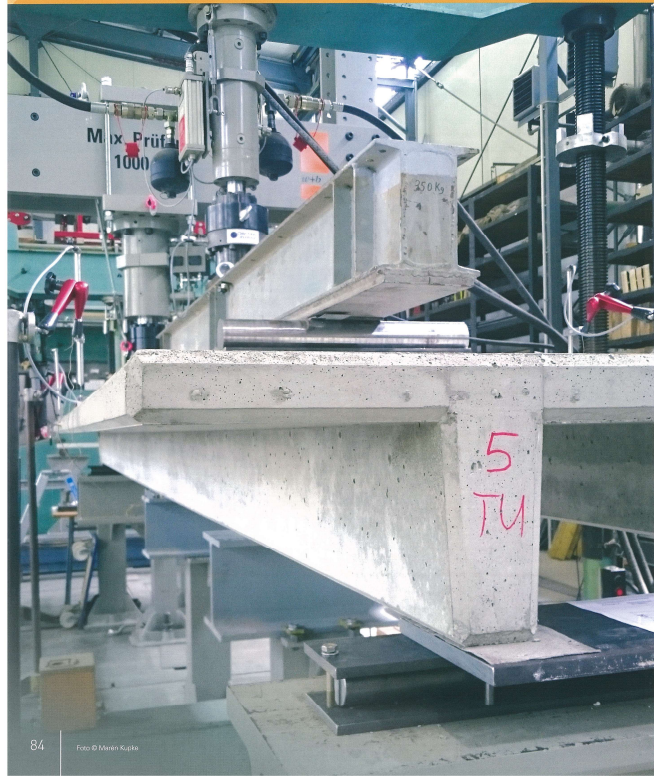
- 탄소보강근-콘크리트 부재의 장·단기 구조적 성능평가 및 Mock-up 시험 등을 통한 검증
- 탄소보강근-콘크리트 구조부재 사용성 평가
 - 탄소보강근-콘크리트 구조부재 균열 및 처짐 거동 평가
 - * 균열폭, 균열간격, 처짐량 등
 - * 보, 슬래브 등 대상 / 탄소보강근 및 콘크리트 배합 조건 고려
 - 탄소보강근-콘크리트 구조부재 균열 및 처짐 거동 예측
 - * 탄소보강근-콘크리트 구조부재 균열 및 처짐 거동 예측 모델 제시



* 출처 : Antonis petrou michael, using carbon fiber reinforced polymer grids as confinement reinforcement for concrete, Doctoral thesis, University of Florida, 2006.

[그림 84] 콘크리트 부재 균열, 변형 발생 예시

- 탄소보강근-콘크리트 구조부재 구조성능 평가
 - 축소 및 실규모 구조실험을 통한 탄소보강근-콘크리트 구조부재 거동 평가
 - * 보, 기둥, 보-기둥 접합부, 벽체, 슬래브 등 대상 / 탄소보강근 및 콘크리트 배합 조건 고려
 - * 압축, 휨, 전단, 부착 및 이음/정착 거동
 - 탄소보강근-콘크리트 구조부재 거동 분석 및 예측
 - * 구조부재 설계식 제시 / 휨강도, 전단강도, 부착강도 등

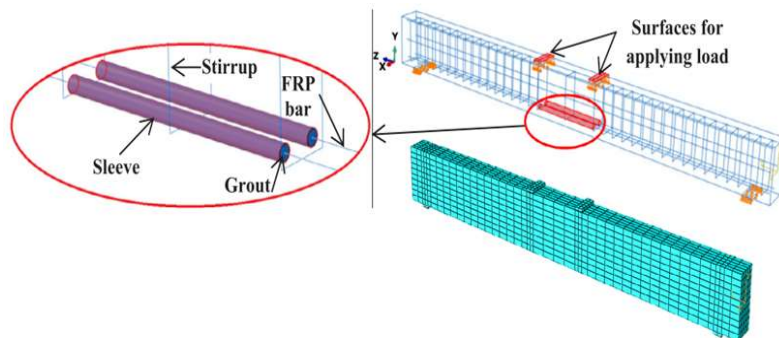


* 출처 : 9. Carbon- und textilbetontage, tudalit, 2017.

[그림 85] 콘크리트 부재 구조실험 예시

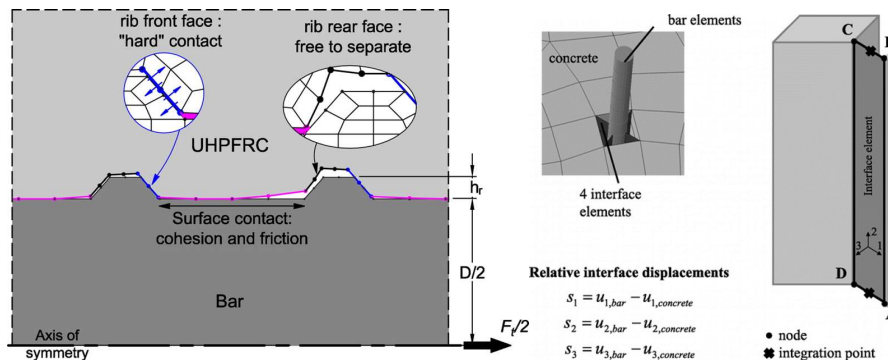
- 탄소보강근-콘크리트 구조부재 지진안전성 평가
 - 정적/진동대 실험을 통한 탄소보강근-콘크리트 구조부재 지진 거동 평가
 - * 구조부재, 구조시스템 등 대상
 - * 손상, 하중-변형 관계, 에너지흡수능력 동적 응답 등
 - 탄소보강근-콘크리트 구조부재 지진 거동 분석 및 예측
 - * 비선형 해석 모델 등
- 탄소보강근-콘크리트 구조부재 화재안전성 평가
 - 콘크리트 환경 내 탄소보강근 내열성능 평가
 - * 콘크리트 매립 탄소보강근의 온도변화, 수지 종류 등에 따른 물성 변화 등 / 1-1 연구내용 중 탄소보강근의 고온 특성 평가 연계
 - 화재실험을 통한 탄소보강근-콘크리트 수평 및 수직부재 화재 거동 평가
 - * 보/슬래브, 기둥/벽 대상 표준화재곡선에 의한 비재하가열실험 등
 - * 탄소보강근-콘크리트 구조부재의 내화구조 기준 만족(국토해양부부 고시 제2005-122호) 여부 평가

- 탄소보강근-콘크리트 구조부재 내화성능 분석 및 예측
 - * 내화시간, 온도에 따른 응력/강도, 변형률 변화 등
- Mock-up 시험에 의한 탄소보강근-콘크리트 구조 검증
 - 탄소보강근-콘크리트 Mock-up 시험 대상 선정
 - * 부재, 구조물 등
 - 탄소보강근-콘크리트 Mock-up 실험체 설계 및 제작
 - * 탄소보강근-콘크리트 부재 정밀해석/설계/시공 기술 개발 연계
 - Mock-up 실험을 통한 탄소보강근-콘크리트 구조 성능평가 및 검증
 - * 시공성, 경제성, 사용성 등 평가
- 탄소보강근-콘크리트 부재 정밀해석 및 경제적 설계 · 시공 기술 개발
 - 탄소보강근-콘크리트 부재 정밀해석 기술 개발
 - 탄소보강근-콘크리트 재료 및 부재 이력 및 해석 모델 개발
 - * 탄소보강근 재료 비선형 이력 및 해석 모델
 - * 보, 기둥, 보-기둥 접합부, 벽체, 슬래브 등 탄소보강근-콘크리트 부재 이력 및 해석 모델
 - * 압축, 휨, 전단 등 구조 안전성 평가
 - * 실험 결과와 비교를 통한 이력 및 해석 모델 검증



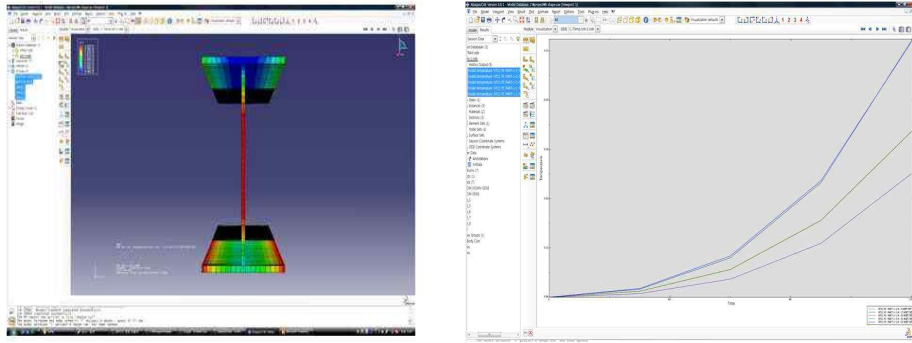
* 출처 : Mostafa Kazemi, Non-linear behaviour of concrete beams reinforced with GFRP and CFRP bars grouted in sleeves, Structures, 2020.

[그림 86] 탄소보강근-콘크리트 부재 이력 및 해석 모델 예시



[그림 87] 탄소보강근-콘크리트 부재 부착 해석 모델 예시

- 탄소보강근-콘크리트 부재 지진응답 해석 기술
 - * 탄소보강근-콘크리트 부재 응답스펙트럼 해석, 시간이력 해석 등 지진응답 해석 기법
 - * 지진하중에 따른 응력-변형률, 에너지소산능력 등 내진 안전성
- 탄소보강근-콘크리트 부재 내화성능 해석 기술
 - * 탄소보강근-콘크리트 부재 열전도 해석, 열응력 해석 등 내화성능 해석 기법
 - * 온도에 따른 응력-변형률, 강도 등 내화 안전성



[그림 88] 탄소보강근-콘크리트 부재 내화성능 해석 모델 예시

- 탄소보강근-콘크리트 부재 설계·시공 기술 개발
 - 탄소보강근-콘크리트 부재 설계 기술 개발
 - * 설계 기준 분석 및 개정 방향 설정 / 설계 일반사항, 사용성, 내구성, 안전성 등
 - * 부재 내력 산정 등
 - 탄소보강근-콘크리트 부재 시공 기술 개발
 - * 탄소보강근 배근·조립·이음, 거푸집 제작·설치·해체, 콘크리트 타설·양생 등
 - * 시공 상세 도출
 - 탄소보강근-콘크리트 부재 제조를 위한 부속자재 기술 개발
 - * 스페이서, 이음/정착 장치 등
 - * 탄소보강근과 부속자재 배근(이음, 조립 등), 강도 및 거동 평가



[그림 89] 탄소보강근-콘크리트 시공 예시

2. (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발

□ (2-1) 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발

○ 건설용 탄소그리드 제조 및 가공 기술 개발

- 고강성 탄소그리드 제조 기술 개발

· 탄소그리드 요구성능 도출 및 개발 방향 설정

* 탄성계수 150GPa 및 인장강도 2,100MPa 이상 등

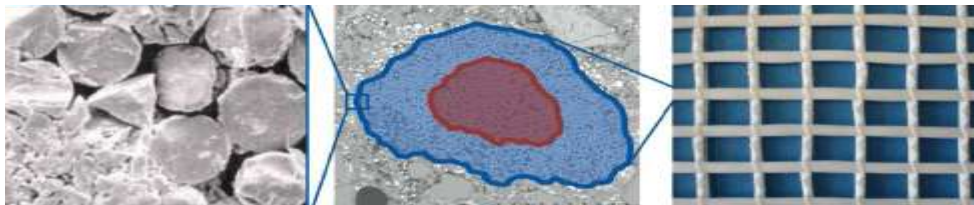
· 조직형성 기술 분석 및 기초 그리드 조직 설계

* 탄소섬유 조건에 따른 탄소그리드 성능 영향 분석, 섬유방향 및 섬유 수직방향 물성 평가 등

* 격자 간격 및 크기, 방향성 등

· 요구성능에 따른 수지 분석 및 최적 매트릭스 수지 선정

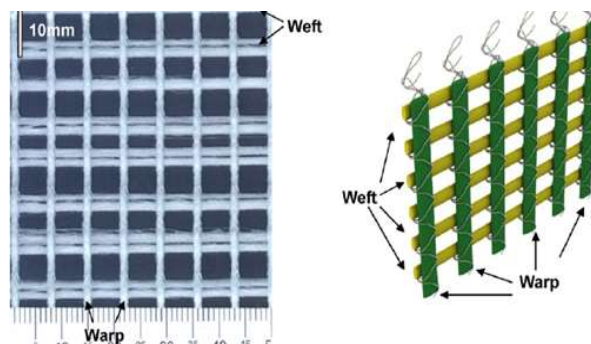
* 수지 조건에 따른 탄소섬유-수지 계면특성 분석, 내부 필라멘트 공극 영향 등



[그림 90] 탄소섬유와 매트릭스 수지 결합

· 그리드 직조

* 탄소섬유집합체 형성, 성형공정에 따른 수지 복합화 등



[그림 91] Warming knitting 기술 예

- 탄소그리드 직조 및 성능향상 기술 개발

· 탄소그리드 역학적 거동 개선 접점 형성 기술

* 직물구조 효과 및 파괴패턴 분석, 등방성/이방성 등

· 콘크리트 접촉 계면 특성 향상을 위한 탄소그리드 표면개질 기술

* 무기코팅 기술 등

· 탄소그리드 연성 부여 기술

* 첨가제, 이중 섬유 혼입 등

· 탄소그리드 내열성능 향상 기술

* (2-2 연구개발 내용) 탄소그리드-콘크리트 구조부재의 내화성능 평가를 통한 내화성능기준 충족여부 확인



* 출처 : 9. Carbon- und textilbetontage, tudalit, 2017.

[그림 92] 직물복합 그리드 부착성능 향상 무기코팅

○ 탄소그리드 성능평가 및 품질관리 기술 개발

- 탄소그리드 역학적 특성 평가

· 재료 구성성분 변화에 따른 역학적 특성 평가

* 탄성계수, 인장/압축강도, 변형률, 전단강도 등, 섬유 방향에 따른 강도 영향 평가 등

· 응력-변형률 관계 특성 모델 제시

- 탄소그리드의 장기 성능 평가

· 환경조건에 따른 내구성 평가

* 알칼리, 산, 염해, 중성화, 수분, 자외선, 동결융해, 황산염 등

* 환경노출에 따른 강도저하 계수 등 물성 영향 평가

- 탄소그리드 크리프 특성 평가

· 크리프 영향 요인에 따른 특성 평가

* 섬유, 수지, 온도, 응력 수준 등

* 추가변형률, 크리프 파괴 시간, 인장강도 보유율(파괴 시) 등

· 크리프변형률 곡선 제시

- 탄소그리드 고온 특성 평가

· 고온에서의 탄소그리드 물성 변화 평가

* '탄소그리드 내열성능 부여 기술' 연계 / 탄성계수, 인장강도 등 / 수지 종류 등에 의한 영향 평가

· 주변 온도 변화에 따른 탄소그리드의 응력-변형률 변화 평가

* 콘크리트 등((2-2 연구개발 내용) 탄소보강근-콘크리트 구조부재의 내화성능 평가 연계)

- 건설용 탄소그리드 품질 표준화 기준 제시

· 탄소그리드 성능평가 결과 DB 구축

* 원소재 구성, 규격(단면적, 격자 간격 등), 종류 등 / 역학적 성능, 내구성, 크리프, 고온 특성, 섬유-수지 부착 특성 등

· 건설용으로서의 탄소그리드 기본 성능기준 제시

* 역학적 성능, 내구성, 크리프, 고온 특성, 섬유-수지 부착 특성 등



DESCRIPTION C-GRID® C50-3.54 x 4.0 is one of the C50 Series of high strength carbon fiber/epoxy grids for reinforcing concrete structures. Large high strength carbon strands are aligned in both longitudinal and transverse directions.

FEATURES

- Non-corrosive; can be used with as little as 1/4" (6 mm) of cover
- Requires less concrete cover leading to lighter structures
- Lightweight, easy to handle and use; can be cut to fit using conventional tin snips
- High tensile strength and modulus
- Outstanding mechanical bond with concrete; requires a minimum 1/4" (6 mm) to develop its strength

APPLICATIONS

- Slab-on-grade
- Thin topping slabs and overlays
- Marine structures
- Silos and concrete storage tanks
- Concrete repair and shotcrete
- Balconies
- Precast concrete, including architectural and wall panels



PHYSICAL PROPERTIES

Composition	carbon fiber and epoxy resin
Color	black
Grid geometry (longitudinal x transverse spacing)	3.54" x 4.0" (90 mm x 102 mm)
Supply form (custom widths and lengths also available)	47.5' x 400 yd (1.2 m x 365.8 m) rolls

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES

	LONGITUDINAL PROPERTIES		TRANSVERSE PROPERTIES	
Individual strand cross-sectional area	0.002860 in ²	(1.85 mm ²)	0.002860 in ²	(1.85 mm ²)
Average number of strands per unit width	3.38 strands/ft	(11.12 strands/m)	3.0 strands/ft	(9.84 strands/m)
Area of strands per unit width	0.009695 in ² /ft	(20.52 mm ² /m)	0.008580 in ² /ft	(18.16 mm ² /m)
Strand tensile strength	830 lbs	(3.7 kN)	730 lbs	(3.25 kN)
Grid tensile strength per unit width	2,810 lbs/ft	(41.06 kN/m)	2,190 lbs/ft	(31.96 kN/m)
Tensile modulus of elasticity	34,000 ksi	(234,500 MPa)	34,000 ksi	(234,500 MPa)
Elongation at break	0.99%	(0.99%)	0.94%	(0.94%)

* 출처 : chomar.com (팜플렛)

[그림 93] 탄소그리드 제품 규격표 예시

- 건설용 탄소그리드 저비용 · 대량 생산기술 개발
 - 건설용 탄소그리드 제조를 위한 파일럿 설비 구축
 - 그리드 요구성능 맞춤 설계
 - 탄소섬유집합체 형성
 - 탄소섬유집합체-매트릭스 수지 복합화
 - 탄소그리드 시작품 제작
 - 건설분야 적용성 향상을 위한 생산요소 기술 개발
 - 대형부재 적용, 생산시간 단축, 원스톱 제조 프로세스, 제조 공정 시뮬레이션 등
 - 건설용 저비용 · 대량 탄소그리드 생산을 위한 최적 제조 공정 도출

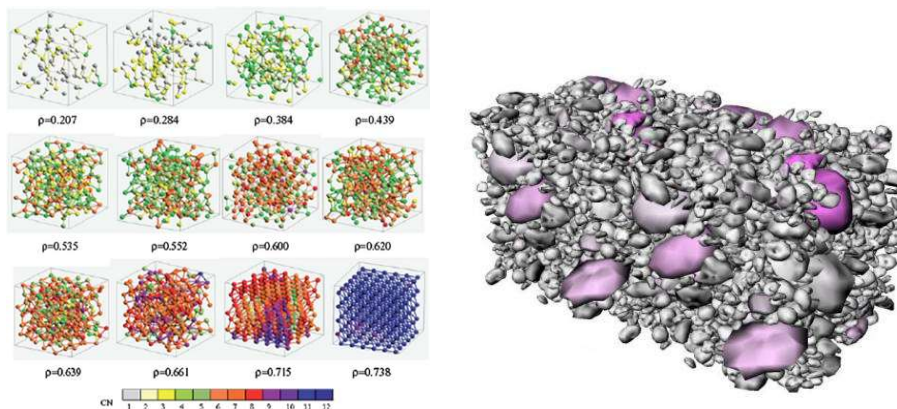


[그림 94] 탄소그리드 생산 및 제품 예시

□ (2-2) 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증

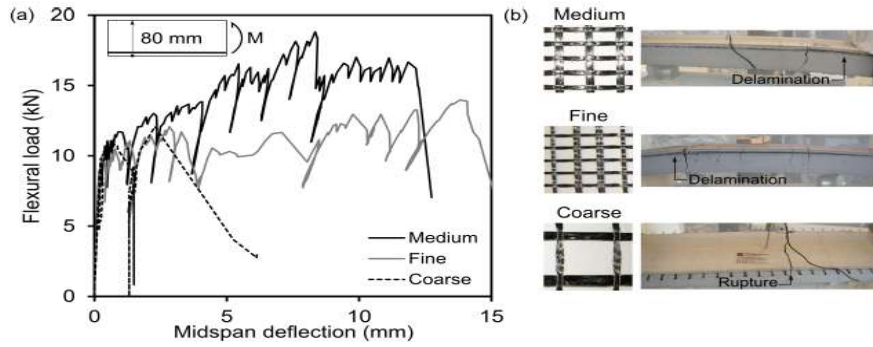
○ 탄소그리드-콘크리트 부재 및 접합부 일체화 기술

- 탄소그리드의 콘크리트 적용성 평가
 - 탄소그리드 및 콘크리트 배합조건에 따른 탄소그리드-콘크리트 거동 평가
 - * 탄소그리드 격자 형상 및 크기, 단면적, 표면 특성 등 / 콘크리트 설계 강도 등
 - * 콘크리트 시공성, 탄소그리드-콘크리트 강도, 변형, 열팽창계수 영향 등
 - 탄소그리드-콘크리트 장기 거동 평가
 - * 알칼리, 산, 염해, 중성화, 수분, 자외선, 동결융해, 황산염 등 환경영향 평가
 - * 촉진열화시험, 장기폭로시험 등
 - 탄소그리드 적용 콘크리트 요구성능 도출
- 탄소그리드 적용성 향상을 위한 콘크리트 성능 향상 기술
 - 탄소그리드-콘크리트 계면 부착 향상 콘크리트 기술
 - * 바인더 함량 조절, 폴리머 첨가 등
 - * 화학적 프리스트레스 도입, 단섬유 혼입 등
 - 탄소그리드-콘크리트 시공성 향상 콘크리트 기술
 - * Particle packing 이론에 의한 자기충전, 콘크리트, 고유동 콘크리트 등



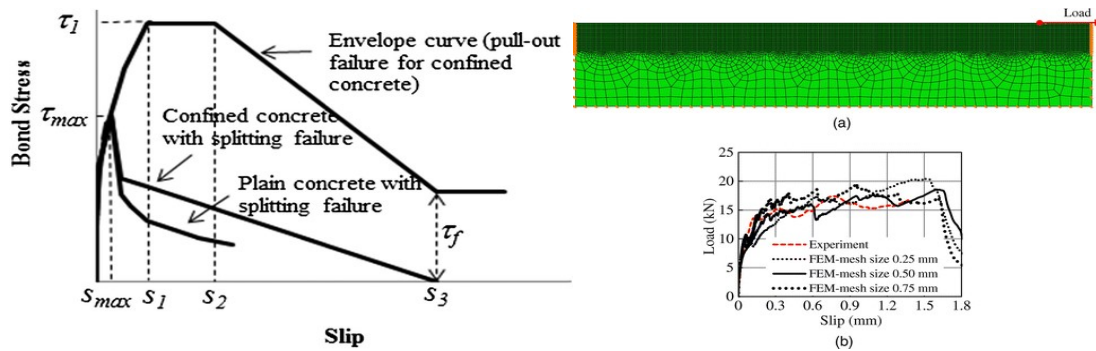
[그림 95] Particle packing 이론에 의한 콘크리트 배합

- 탄소그리드-콘크리트 부재 및 접합부 일체화
 - 탄소그리드-콘크리트 부착 거동 평가
 - * 탄소그리드 및 콘크리트 배합 조건 고려
 - * 탄소그리드-콘크리트 부재 대상 Direct bond test, Beam bond test 등
 - 탄소그리드-콘크리트 부착 특성 규명
 - * 탄소그리드-콘크리트 구조 부착-슬립 관계 모델 제시
 - * 환경영향 고려 / 탄소그리드-콘크리트 구조부재 구조성능평가 연계
 - 탄소그리드-콘크리트 정착 및 이음 길이 평가
 - * 탄소그리드-콘크리트 구조 정착 및 이음 설계식 제시
 - * 탄소그리드-콘크리트 구조부재 구조성능평가 연계



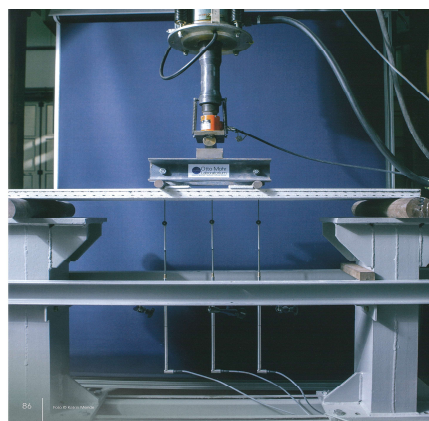
* 출처 : Usability of Textile Reinforced Concrete : Structural Performance, Durability and Sustainability, NATALIE WILLIAMS PORTAL, 박사학위논문, Chalmers University of Technology 2015.

[그림 96] 그리드 격자 간격에 따른 콘크리트 휨성능 비교



[그림 97] 탄소그리드-콘크리트 부착해석 예시

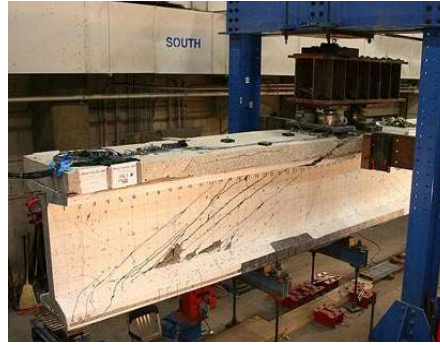
- 탄소그리드-콘크리트 부재의 장·단기 구조적 성능평가 및 Mock-up 시험 등을 통한 검증
- 탄소그리드-콘크리트 구조부재 사용성 평가
 - 탄소그리드-콘크리트 구조부재 균열 및 처짐 거동 평가
 - * 균열폭, 균열간격, 처짐량 등
 - * 보, 슬래브 등 대상 / 탄소그리드 및 콘크리트 배합 조건 고려
 - 탄소그리드-콘크리트 구조부재 균열 및 처짐 거동 예측
 - * 탄소그리드-콘크리트 구조부재 균열 및 처짐 거동 예측 모델 제시



* 출처 : 9. Carbon- und textilbetontage, tudalit, 2017.

[그림 98] 탄소그리드-콘크리트 부재 처짐 거동 평가 예시

- 탄소그리드-콘크리트 구조부재 구조성능 평가
 - 축소 및 실규모 구조실험을 통한 탄소그리드-콘크리트 구조부재 거동 평가
 - * 보, 기둥, 보-기둥 접합부, 벽체, 슬래브 등 대상 / 탄소그리드 및 콘크리트 배합 조건 고려
 - * 압축, 휨, 전단, 부착 및 이음/정착 거동
 - 탄소그리드-콘크리트 구조부재 거동 분석 및 예측
 - * 구조부재 설계식 제시 / 휨강도, 전단강도, 부착강도 등

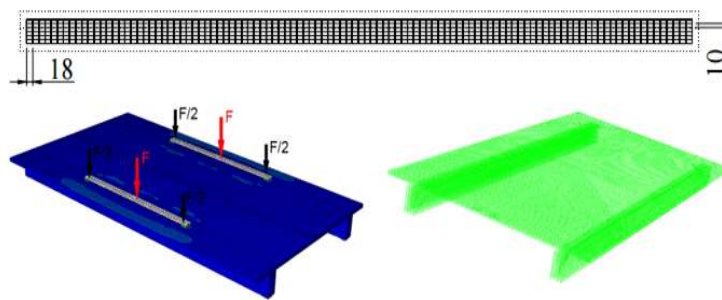


* 출처 : 9. Carbon- und textilbetontage, tudalit, 2017.

[그림 99] 콘크리트 부재 구조실험 예시

- 탄소그리드-콘크리트 구조부재 지진안전성 평가
 - 정적/진동대 실험을 통한 탄소그리드-콘크리트 구조부재 지진 거동 평가
 - * 구조부재, 구조시스템 등 대상
 - * 손상, 하중-변형 관계, 에너지흡수능력 동적 응답 등
 - 탄소그리드-콘크리트 구조부재 지진 거동 분석 및 예측
 - * 비선형 해석 모델 등
- 탄소그리드-콘크리트 구조부재 화재안전성 평가
 - 콘크리트 환경 내 탄소그리드 내열성능 평가
 - * 콘크리트 매립 탄소그리드의 온도변화, 수지 종류 등에 따른 물성 변화 등 / 2-1세부 중 탄소그리드의 고온 특성 평가 연계
 - 화재실험을 통한 탄소그리드-콘크리트 수평 및 수직부재 화재 거동 평가
 - * 보/슬래브, 기둥/벽 대상 표준화재곡선에 의한 비재하가열실험 등
 - * 탄소그리드-콘크리트 구조부재의 내화구조 기준 만족(국토해양부부 고시 제2005-122호) 여부 평가
 - 탄소그리드-콘크리트 구조부재 내화성능 분석 및 예측
 - * 내화시간, 온도에 따른 응력/강도, 변형률 변화 등
- Mock-up 시험에 의한 탄소그리드-콘크리트 구조 검증
 - 탄소그리드-콘크리트 Mock-up 시험 대상 선정
 - * 부재, 구조물 등
 - 탄소그리드-콘크리트 Mock-up 실험체 설계 및 제작
 - * 탄소그리드-콘크리트 부재 정밀해석/설계/시공 기술 개발 연계
 - Mock-up 실험을 통한 탄소그리드-콘크리트 구조 성능평가 및 검증
 - * 시공성, 경제성, 사용성 등 평가

- 탄소그리드-콘크리트 부재 정밀해석 및 경제적 설계·시공 기술 개발
 - 탄소그리드-콘크리트 부재 정밀해석 기술 개발
 - 탄소그리드-콘크리트 재료 및 부재 이력 및 해석 모델 개발
 - * 탄소그리드 재료 비선형 이력 및 해석 모델
 - * 보, 기둥, 보-기둥 접합부, 벽체, 슬래브 등 탄소그리드-콘크리트 부재 이력 및 해석 모델
 - * 압축, 휨, 전단 등 구조 안전성 평가
 - * 실험 결과와 비교를 통한 이력 모델 검증



* 출처 : Yue Liu, STUDY ON THE FLEXURAL BEHAVIOUR OF CFRP-GRID REINFORCED CONCRETE ONE-WAY SLABS, APFIS 2013, 2013.

[그림 100] 탄소그리드-콘크리트 부재 이력 및 해석 모델 예시

- 탄소그리드-콘크리트 부재 지진응답 해석 기술
 - * 탄소그리드-콘크리트 부재 응답스펙트럼 해석, 시간이력 해석 등 지진응답 해석 기법
 - * 지진하중에 따른 응력-변형률, 에너지소산능력 등 내진 안전성
- 탄소그리드-콘크리트 부재 내화성능 해석 기술
 - * 탄소그리드-콘크리트 부재 열전도 해석, 열응력 해석 등 내화성능 해석 기법
 - * 온도에 따른 응력-변형률, 강도 등 내화 안전성
- 탄소그리드-콘크리트 부재 설계·시공 기술 개발
 - 탄소그리드-콘크리트 부재 설계 기술 개발
 - * 설계 기준 분석 및 개정 방향 설정 / 설계 일반사항, 사용성, 내구성, 안전성 등
 - * 부재 내력 산정 등
 - 탄소그리드-콘크리트 부재 시공 기술 개발
 - * 탄소그리드 배근·조립·이음, 거푸집 제작·설치·해체, 콘크리트 타설 등
 - * 시공 상세 도출
 - 탄소그리드-콘크리트 부재 제조를 위한 부속자재 기술 개발
 - * 스페이서, 이음/정착 장치 등
 - * 탄소그리드와 부속자재 배근(이음, 조립 등), 강도 및 거동 평가



[그림 101] 탄소그리드-콘크리트 시공 예시

3. (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발

□ (3-1) 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법 및 기준 개발

- 철근대체재-콘크리트 재료·부재 시험방법 및 기준 개발
 - 철근대체재 시험방법 및 기준 개발
 - 철근대체재 재료 시험방법 개발
 - * 인장/압축, 부식도, 내약품성, 크리프, 부착, 내열성능 등
 - 철근대체재 시험기준 개발
 - 철근대체재-콘크리트 부재 시험방법 및 기준 개발
 - 철근대체재-콘크리트 부재 시험방법 개발
 - 철근대체재-콘크리트 부재 시험기준 개발

- 철근대체재-콘크리트 구조물 설계, 시공 및 유지관리 기준 개발
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 구조설계 기준(안) 개발
 - 기존 구조설계 기준 분석 및 개정 방향 설정
 - 설계 일반 및 성능검증 사항 도출
 - * 설계원칙, 재료, 구조 요소, 사용성능, 내구성능, 구조성능 등
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 구조설계 기준(안) 개발
 - * 철근대체재 상세, 정착 및 이음, 보-기둥 접합부, 콘크리트, 내진, 내화 등 상세
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 시공 기준(안) 개발
 - 기존 시공 기준 분석 및 개정 방향 설정
 - 시공 일반 및 품질 확보 사항 도출
 - * 재료, 배합, 시공 절차, 시공 품질 등
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 시공 기준(안) 개발
 - * 철근대체재 배근·조립·이음, 거푸집 제작·설치·해체, 콘크리트 타설 등 상세
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 유지관리 기준(안) 개발
 - 기존 유지관리 기준 분석 및 개정 방향 설정
 - 유지관리 일반 사항 도출
 - * 결함, 균열 등 성능저하 요인, 점검 및 보수 방법 등
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 유지관리 기준(안) 개발
 - * 구조 및 부재별 성능저하 요인, 상태평가, 점검 및 보수 방법, 유지관리 절차 등 상세



[그림 102] 설계, 시공, 유지관리 예시

□ (3-2) 철근대체재-콘크리트 실구조물(교량, 건축물 등) 적용을 통한 성능 평가 및 검증

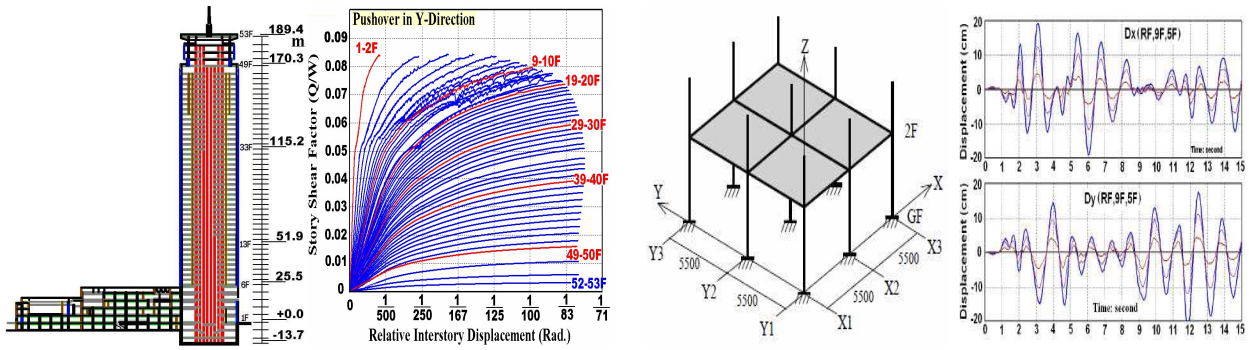
- 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용 기술 개발
 - 실증 대상 구조물 선정
 - 현장 실증 대상 구조물/부재 검토 및 선정
 - * 상부 유실 교량, 노후 교량 등 / 교량 바닥판 등



* 출처 : Structures Design - Transportation Innovation Fiber Reinforced Polymer(FRP) Reinforcing Bars and Strands, FDOT and affiliated projects in Florida

[그림 103] 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용 예시

- 실증 대상 구조물 설계 및 해석
 - * 철근대체재 상세, 정착 및 이음, 보-기둥 접합부, 콘크리트 등 구조 설계
 - * 철근대체재-콘크리트 구조물 정밀 유한요소, 비선형 정적(Static Pushover) 및 동적(Dynamic) 지진응답 해석
 - * 철근대체재-콘크리트 구조물 내화성능 해석
 - * 철근대체재-콘크리트 구조물 해석을 통한 실구조물 성능평가 결과 구조성능 검증



* 출처 : Kangning Li et al, Pushover analysis of RC shear-wall structure with concrete softening, the third US-Japan workshop on performance-based earthquake engineering methodology for reinforced concrete building structures, PEER, 2001.

[그림 104] 철근대체재-콘크리트 실구조물 정적 및 동적 해석 예시

○ 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용을 통한 성능 평가 및 검증

- 철근대체재-콘크리트 실증 구조물 시공
 - * 상부 유실 교량, 노후 교량 등 / 교량 바닥판 등
- 철근대체재-콘크리트 실증 구조물 성능 평가 및 검증
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 성능평가
 - * 시공성, 사용성, 구조성능 등
 - 철근대체재-콘크리트 실증 구조물 모니터링 시스템 개발
 - * 모니터링 방법, 데이터 수신 방법 등
 - 철근대체재-콘크리트 실구조물 모니터링 평가
 - * 구조성능, 사용성, 공용성 등

□ (3-3) 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성(LCC) 분석

- 철근대체재-콘크리트 구조물 적용에 따른 경제성 분석 방안 선정
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 경제성(LCC) 분석 유형 및 모델 검토
 - 경제성(LCC) 분석 항목 검토
 - * 경제성 평가 분석 범위, 조건, 모델 및 기법 등
 - 경제성(LCC) 분석 유형 및 변수 고찰
 - * 경제적 요인, 비용 항목(총생애주기비용, 초기비용, 유지관리비용 등) 등
- 철근대체재-콘크리트 구조물 대상 경제성(LCC) 분석
 - 철근대체재-콘크리트 구조물 경제성(LCC) 모델 개발 및 분석
 - 경제성(LCC) 분석을 위한 모델 개발
 - * 확정적·확률적 분석 및 알고리즘 등
 - 경제성(LCC) 분석 수행

4. 요소기술 별 성능지표

□ (구성기술 1) 건설용 고성능·부식ZERO 탄소보강근-콘크리트 기술 개발

[표 48] (구성기술 1) 고성능·부식ZERO 탄소보강근-콘크리트 기술 개발 성능지표

연구개발 내용	한계점	기술개발방향	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
				국내	해외	
(1-1) 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 탄소복합체의 낮은 탄성계수 단순 돌기 형태 단면의 기존 개발 탄소보강근 탄소복합체의 수지 연화에 따른 화재 취약성 자체 탄소보강근 생산기반 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 고강도·고강성 탄소보강근 개발 부착성능 확보 최적 리브 형성 고온 및 콘크리트 환경에서의 수지 연화에 따른 성능 저하 방지 건설용 탄소보강근 대량 생산기술 개발 	인장강도	2,100 MPa	1,650 MPa	2,100 MPa
			탄성계수	117 MPa	150 GPa	150 GPa
			내열성능	-	-	250℃에서 인장강도, 탄성계수 목표성능 50% 이상
(1-2) 탄소보강근-콘크리트 제조 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> 탄소보강근과 콘크리트의 일체 거동 확보 필요 탄소보강근-콘크리트 구조는 새로운 구조형식으로 관련 성능평가 데이터 부족 탄소보강근-콘크리트 구조의 구조물 적용을 위하여 단기적 뿐만 아니라 장기적 성능 검증 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소보강근-콘크리트의 일체 거동을 위한 콘크리트 적용성 평가 및 성능향상 탄소보강근-콘크리트 부착특성 규명 축소/실규모 부재 실험을 통한 탄소보강근-콘크리트 장·단기 구조성능검증 (압축, 휨, 전단, 부착, 피로, 처짐, 내진, 내화 등) 장기 환경노출에 따른 성능평가 	부착강도	-	15MPa	15MPa
			탄소보강근-콘크리트 성능 예측 모델	-	-	탄소보강근-콘크리트 부재 성능 예측 모델 제시 (부착-슬립 모델, 균열-처짐 예측 모델, 비선형 이력모델, 화재모델 등)
			탄소보강근-콘크리트 설계식	-	○	탄소보강근-콘크리트 부재 설계식 제시 (휨강도, 전단강도, 부착강도, 정착 및 이음 길이 등)

□ (구성기술 2) 건설용 고성능·부식ZERO 탄소그리드-콘크리트 기술 개발

[표 49] (구성기술 2) 고성능·부식ZERO 탄소그리드-콘크리트 기술 개발 성능지표

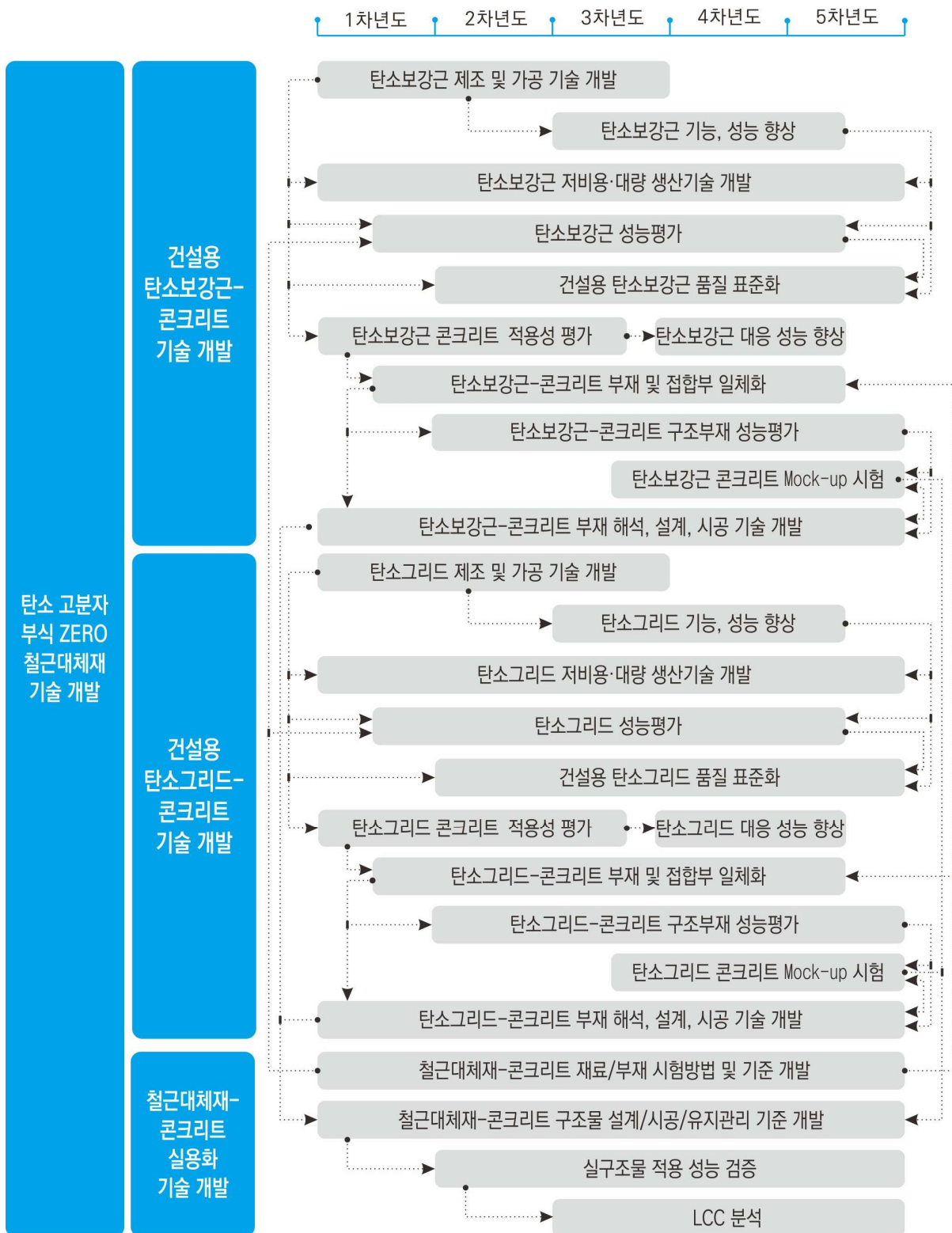
연구개발 내용	한계점	기술개발방향	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
				국내	해외	
(2-1) 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 탄소복합체의 낮은 탄성계수 탄소복합체의 취성파괴 특성 및 절곡 등 어려운 현장 가공 탄소복합체의 수지 연화에 따른 화재 취약성 자체 탄소그리드 생산기반 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 고강도·고강성 탄소그리드 개발 부착성능 및 시공성능 확보 그리드 형성 고온 및 콘크리트 환경에서의 수지 연화에 따른 성능 저하 방지 건설용 탄소그리드 대량 생산기술 개발 	인장강도	-	3,300 MPa	2,100 MPa
			탄성계수	-	250 GPa	150 GPa
			내열성능	-	-	250℃에서 인장강도, 탄성계수 목표성능 50% 이상
(2-2) 탄소그리드-콘크리트 제조 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> 탄소그리드와 콘크리트의 일체 거동 확보 필요 탄소그리드-콘크리트 구조는 새로운 구조형식으로 관련 성능평가 데이터 부족 탄소그리드-콘크리트 구조의 구조물 적용을 위하여 단기적 뿐만 아니라 장기적 성능 검증 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소그리드-콘크리트의 일체 거동을 위한 콘크리트 적용성 평가 및 성능향상 탄소그리드-콘크리트 부착특성 규명 축소/실규모 부재 실험을 통한 탄소그리드-콘크리트 장·단기 구조성능검증 (압축, 휨, 전단, 부착, 피로, 처짐, 내진, 내화 등) 장기 환경노출에 따른 성능평가 	부착강도	-	15MPa	10MPa
			탄소그리드-콘크리트 성능 예측 모델	-	-	탄소그리드-콘크리트 부재 성능 예측 모델 제시 (부착-슬립 모델, 균열-처짐 예측 모델, 비선형 이력모델, 화재모델 등)
			탄소그리드-콘크리트 설계식	-	○	탄소그리드-콘크리트 부재 설계식 제시 (휨강도, 전단강도, 부착강도, 정착 및 이음 길이 등)

□ (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발

[표 50] (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발 성능지표

연구개발 내용	한계점	기술개발방향	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
				국내	해외	
(3-1) 철근대체재-콘크리트 시험방법 및 기준 개발	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트재료, 부재 개발로 시험방법 및 기준 필요 철근대체재-콘크리트재료, 부재 적용을 위한 구조물 설계, 시공 및 유지관리 기준 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트재료, 부재 성능에 대한 시험방법 및 기준 개발 기존 철근콘크리트 설계, 시공 및 유지관리 기준 적용성 검토 및 철근대체재-콘크리트 구조물 설계, 시공 및 유지관리 기준 개발 	철근대체재-콘크리트 재료 시험방법 및 성능 기준	-	-	철근대체재-콘크리트 재료 시험방법 및 성능 기준 제시(역학적 성능, 내구성 등)
			철근대체재-콘크리트 부재 시험방법 및 성능 기준	-	○	철근대체재-콘크리트 부재 시험방법 및 성능 기준 제시(역학적 성능, 내구성 등)
			철근대체재-콘크리트 재료·부재 설계, 시공 및 유지관리 기준(안)	-	FRP 보강근 구조설계 지침	철근대체재-콘크리트 재료·부재 설계, 시공 및 유지관리 기준(안)
(3-2) 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용을 통한 성능평가 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트재료, 부재 적용을 위한 구조물 실증 필요 철근대체재-콘크리트실 구조물 구현을 위한 설계, 해석, 시공 기술 개발 필요 철근대체재-콘크리트실 구조물의 정확한 성능평가를 위한 모니터링 평가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트 활용 실구조물 설계, 해석 및 시공 기술 개발(교량 슬래브 등) 철근대체재-콘크리트 실구조물 장·단기 성능평가(구조성능, 사용성, 공용성 등) 	철근대체재-콘크리트 구조물 현장 적용	-	건축물, 교량 등에 적용	현장적용 실적
			실구조물 적용·검증(설계, 해석, 성능평가 등)	-	실구조물 적용·검증(설계, 해석, 성능평가 등) 실시	실구조물 적용·검증(설계, 해석, 성능평가 등)보고서
(3-3) 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성 분석	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트의 효율적인 상용화를 위한 경제성 분석(LCC) 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 철근대체재-콘크리트의 구조물 적용에 따른 경제성 분석(LCC) 	경제성 분석 보고서	-	-	경제성 분석 보고서

5. 기술로드맵



[그림 105] 기술 로드맵

제3절 연구성과물 실증 방안

□ 연구개발 핵심 성과물 철근대체재-콘크리트의 현장 적용성 검증을 위해 현장 실증 추진

- 현장 실증시 노후 철거(폐) 교량 일부를 활용하는 방안과 신규 제작하는 방안을 고려하여 추진
- * 본 사업 추진시 제안 기관에서 실내 실험 및 현장 실증 전략 제시(필요시 구성기술간 예산 변경 가능)

[표 51] 현장 실증 적용방안(안)

연구개발 내용	실증 적용방안
(3-2) 철근대체재-콘크리트 실 구조물 적용을 통한 성능평가 및 검증	① 노후 교량 등 공용중 교량 슬래브(바닥판) 교체 시공 ② 신규 소규모 해양 교량 시공

□ 철근대체재-콘크리트 구조물 현장 실증 및 성능평가(3-2 연구개발 내용)

- ① 노후 교량 등 공용중 교량 슬래브(바닥판) 교체 시공 : 철근대체재-콘크리트 부재에 대한 연구를 통해 현장 적용 시설을 교각, 기둥을 제외한 슬래브(바닥판)로 한정할 경우 현장실증 소요예산 최소화를 위해 교체 시공을 통한 성능검증 추진
 - (장점) 철근대체재-콘크리트 활용 범위를 신규 설치가 아닌 슬래브(바닥판) 교체 시공까지 범위 확대 가능
 - (단점) 신규 설치하는 슬래브(바닥판)를 제외한 교각, 기둥 등은 기존의 노후된 시설을 사용함에 따라 철근대체재-콘크리트를 신규 교량 전체에 설치할 경우에 비해 성능검증 한계

[표 52] 서울시 단계별 철거대상 교량 현황

번호	준공년도	위치	교량명	교량형식	철거예정	규모
1	1991	경인고속도로입구	선유고가차로		2017	b=19m,L=661m
2	1969	동작구본동159	노들남북고가		2018	b=8m,L=522m
3	1977	구로구가리봉140	구로고가	PSC I형교	2018	b=18.5m,L=531m
4	1976	용산구한남동707-327	한남2고가	PSC I형교	2018	b=15m,L=340m
5	1978	서초구반포동19	감남터미널고가		2022	b=15.4m,L=507m
6	1996	성수2가189-246	영동대교 북단고가		2023	b=15.5m,L=480m
7	1997	관악구 남현동	사당고가		2024	b=22m,L=500m

[표 53] 국도상 철거예정 교량 현황

번호	준공년도	위치	교량명	교량형식	철거예정	규모
1	1994	전남	용월교	RC 슬래브	2018	b=15m,L=15m
2	1980	전남	명덕교	RC 슬래브	2018	b=10m,L=24.3m
3	1975	강원	모전육교	라멘교	2018	b=11.9m,L=10.4m
4	1986	전남	신동창교	PSC I형교	2018	b=14.5m,L=52.6m
5	1975	강원	정동창교	PSC I형교	2019	b=11.7m,L=83.6m
6	1985	강원	합강교	PSC I형교	2019	b=10.5m,L=170m
7	1985	강원	구지교	RC 슬래브	2020	b=8m,L=54m
8	2003	전남	호형교	RC T형교	2020	b=10m,L=16m

9	1982	강원	간포교	PSC I형교	2019	b=10m,L=51.3m
10	1980	남원	반송교	RC 슬래브	2020	b=10m,L=39m
11	1985	순천	포두교	RC 슬래브	2022	b=10m,L=55m
12	1985	강릉	목계교	RC T형교	2023	b=10m,L=40m
13	1985	진주	진산교	RC 슬래브	미정	b=9.5m,L=30m
14	1980	예산	향천교	RC 슬래브	미정	b=10m,L=32m
15	1986	정선	삼방림교	PSC I형교	미정	b=10m,L=128.3m
16	1981	홍천	하담교	RC 슬래브	미정	b=10.5m,L=49.5m
17	1975	강릉	정동천교	PSC I형교	미정	b=11.7m,L=83.6m
18	1980	남원	정송고	RC 슬래브	미정	b=10m,L=54m
19	1982	광주	평수교	PSC I형교	미정	b=14.4m,L=20m
20	1981	강릉	부동교	RC 슬래브	미정	b=10m,L=20m
21	1992	예산	안성천교	PSC I형교	미정	b=21m,L=450m
22	1981	강릉	장신5교	RC 슬래브	미정	b=10m,L=20m
23	1983	광주	고막교	PSC I형교	미정	b=16m,L=200m
24	1969	광주	입석교	RC T형교	미정	b=24m,L=10m
25	1978	광주	동방교	라멘교	미정	b=21m,L=12m
26	1980	전주	안의대교	PSC I형교	미정	b=10m,L=82.6m
27	1984	포항	수평교	RC T형교	미정	b=8.5m,L=15m
28	1982	대구	금천교(구)	RC 슬래브	미정	b=19m,L=12m
29	1987	포항	남하교	라멘교	미정	b=18.5m,L=15m
30	1971	남원	화암교	RC 슬래브	미정	b=7.6m,L=76.5m
31	1976	홍천	양지교	RC 슬래브	미정	b=10m,L=19.2m
32	1969	광주	정계교	RC T형교	미정	b=16m,L=15m
33	1983	충주	소용교	PSC I형교	미정	b=10m,L=76.9m
34	1986	강릉	진부1교	강I형교	미정	b=9.5m,L=16.7m
35	1987	포항	남하2교	라멘교	미정	b=18.5m,L=15m
36	1991	포항	홍계1교	RC 슬래브	미정	b=6m,L=24m
37	1975	남원	연산교	RC 슬래브	미정	b=7.5m,L=24m
38	1976	홍천	엄수교	RC 슬래브	미정	b=10.3m,L=19.2m
39	1971	포항	장향고	RC 슬래브	미정	b=7.5m,L=22m
40	1986	포항	호암교	RC 슬래브	미정	b=7.8m,L=20m
41	1986	포항	기림교	RC 슬래브	미정	b=7.8m,L=m
42	1983	정선	지장교	RC T형교	미정	b=9.6m,L=20.5m
43	1986	진주	올리교	RC 슬래브	미정	b=10m,L=30m
44	1986	예산	홍경교	RC 슬래브	미정	b=18m,L=33m
45	1985	홍천	송우교	RC 슬래브	미정	b=10m,L=55m
46	1994	광주	매성교	RC 슬래브	미정	b=18.5m,L=45.5m
47	1982	대구	금화교(구)	라멘교	미정	b=20m,L=15m
48	1982	영주	현하교	RC 슬래브	미정	b=8m,L=36.2m

② 신규 소규모 해양 교량 시공 : 철근 부식으로 인한 문제가 가장 크게 발생하는 해상 교량에 철근대체재-콘크리트 적용을 통해 우수성 검증

- (장점) 해상 교량 현장 시공을 통해 철근대체재-콘크리트의 비부식·고강도·경량화 특징에 대한 성능을 모두 검증 가능
- (단점) 사업 초기에 현장실증 대상을 확보하지 않을 경우 사업 기간내 시공 및 장기 성능평가를 모두 실시하는데 한계

제4절 연구성과물 활용 및 사업화 방안

□ 건설용 철근대체재(보강근 및 그리드) 시장 활성화

- 동 사업을 통해 기존 CFRP를 건설소재로 활용시 약점인 낮은 탄성계수로 인한 취성파괴를 해결하고 경제성을 확보한 생산기술 개발을 통해 건설용 철근대체재(보강근 및 그리드) 시장 활성화에 기여 가능
- 장기적으로 국내 적용을 통한 건설용 철근대체재(보강근 및 그리드)의 우수성 확보 후 국외 시장 진출을 통해 국부 창출 가능

□ 철근대체재-콘크리트 활용 교량 교체시공 시장 진출

- 동 사업에서 개발하는 철근대체재-콘크리트를 활용하여 교량 교체시공 시장에 진출할 경우 철근 부식으로 인한 안전 문제 해소가 가능하므로 교량 부식으로 인한 교량거덕 및 바닥판(슬래브) 등의 교체 시장에 진출 가능

□ 철근대체재-콘크리트 활용 신규 해상 교량 시공 시장 진출

- 동 사업을 통해 철근대체재-콘크리트가 기존 철근콘크리트 대비 경제성을 확보하여 타 시설 대비 철근 부식 방지가 더욱 중요한 해상 교량 시공 시장에 진출 가능

□ 철근대체재-콘크리트 활용 범위 교량 외 시설물로 확대

- 동 사업에서 교량을 대상으로 철근대체재-콘크리트 성능 검증을 실시한 후 건축물 등 다양한 분야로 사용성 확대 가능

※ [참고] (해외 적용 사례) 해외에서는 CFRP 보강근, 그리드 등을 적용한 콘크리트를 구조물 신축 및 보수보강에 적용

- (미국) Altus group은 CFRP 그리드인 C-Grid를 활용하여 두께와 중량을 감소시킨 복합 패널 “CarbonCast” 를 개발하고 현장에 적용함
- (독일) 도로교, 건축물 대형 외부 패널, 조형물 등 다양한 구조물의 신축과 보수보강에 CFRP 그리드를 활용한 콘크리트 부재를 적용
- (일본) 건축물 및 교량의 부식방지 및 내진보강 위하여 CFRP 긴장재와 CFRP 그리드 등을 활용한 프리캐스트 콘크리트를 적용
- (캐나다) Canadian Highway Bridge Design Code에 FRP 보강재 관련 내용을 포함시키고 CFRP 긴장재, 스티럽, 그리드 등을 활용한 콘크리트 슬래브를 다수의 교량에 시험 적용

탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

제6장 사업운영 및 예산·인력 투입계획

제1절 사업 성과목표, 추진체계 및 운영
방안

제2절 예산 투입계획

제6장 사업운영 및 예산·인력 투입계획

제1절 사업 성과목표, 추진체계 및 운영방안

1. 사업 성과목표

□ 성과지표 및 목표치 설정 방법

- 기존 유사사업인 ‘건설기술연구사업’의 2018년 성과분석보고서를 참고하여 연구기간인 5년간 성과지표 및 목표치 설정

□ 성과지표 선정

- 철근대체재(보강근 및 그리드)와 철근대체재-콘크리트 기술을 개발하는 핵심기술 개발과 관련하여 논문과 특허가 도출될 것으로 예상됨에 따라 SCI 논문 건수, SCI 논문 질적 성과, 특허등급 지수를 성과지표로 설정
- 철근대체재-콘크리트의 현장 실증 연구를 통해 사업화가 진행될 것으로 예상됨에 따라 4~5차년도에 기술실시계약 체결 건수를 성과지표로 설정

□ 성과지표별 목표 설정

- 기존 유사사업인 ‘건설기술연구사업’의 2018년 성과분석보고서를 참고하여 2016~2018년 3년간 평균 성과를 도출하고, 연구개발 3차년도인 2023년에 건설기술 연구사업 2016~2018년 성과 평균치를 달성하는 것을 목표로 설정
- 2023년을 100%로 1년마다 5% 증가하는 것으로 목표치를 설정

[표 54] 사업 성과지표 및 성과목표(안)

성과지표명	목표치					측정방법
	'21	'22	'23	'24	'25	
SCI 논문 건수(10억원 당)	1.60	1.69	1.78	1.87	1.96	국내외 학술지 논문게재 실적 증빙
SCI 논문 질적 성과(mmIF)	5679	5995	6310	6626	6941	국내외 학술지 논문게재 실적 증빙
특허등급 지수	-	-	4.12	4.33	4.53	특허정보원 DB조사 및 증빙자료
기술실시계약(건)	-	-	-	1	2	국토교통R&D 성과관리 시스템 등록 실적

2. 사업 추진체계 및 운영방안

□ 건설용 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드) 제조, 철근대체재-콘크리트 개발 및 실용화를 위해 3개의 구성기술을 운영하고 각각 성능지표 및 목표 설정

- (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발
 - (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발
 - (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발
- 특히, 구성기술 3에서는 실구조물 적용 성능평가 및 전주기 경제성 분석을 통해 철근대체재-콘크리트를 적용한 시설물의 안전성 및 경제성 평가 실시

□ 건설재료 개발 연구와 실증 연구 병행

- (新건설재료 개발을 위한 응용 기술 개발) 탄소보강근그리드 및 철근대체재-콘크리트 개발을 위해 필요한 재료 특성 규명 등의 응용 연구와 제조 및 성능평가 기술을 개발
- (부재 레벨의 성능평가, 설계·시공기술 개발) 철근대체재-콘크리트의 건설산업 적용을 위한 부재 및 구조물 레벨의 성능평가, 해석, 설계·시공기술 개발



[그림 106] 철근대체재-콘크리트 건설산업 적용 프로세스

제2절 예산 투입계획

1. 소요인력 및 인건비 / 수정 요망

□ 구성기술별 연구를 수행하는데 소요되는 적정 투입인원과 참여율을 고려하여 연구비를 산정

○ 직급별로 참여율 및 2020년도 학술연구용역기준단가를 적용하여 산정

* 책임연구원(박사급): 6,459,460원/월, 연구원(석사급): 4,953,028원/월, 연구보조원(학사급): 3,310,932원/월

○ (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발

- 건설용 탄소보강근 제조, 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증 기술 개발을 위해 연간 약 20명의 연구인력이 평균 40%의 참여율로 참여 필요

* (주요 수행 내용) 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발, 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증

- 직급별 연간 소요인력(명)

[표 55] 구성기술 1 직급별 연간 소요인력(명)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	5	7	6	4	2	4.8
연구원(석사급)	8	9	8	6	3	6.8
연구보조원(학사급)	10	10	10	8	4	8.4
합계	23	26	24	18	9	20

* 직급별 연간 소요인력의 참여율

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	30%	35%	35%	35%	35%	34%
연구원(석사급)	40%	45%	50%	50%	50%	47%
연구보조원(학사급)	35%	35%	40%	40%	35%	37%

○ (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발

- 건설용 탄소그리드 제조, 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증 기술 개발을 위해 연간 약 22명의 연구인력이 평균 40%의 참여율로 참여 필요

* (주요 수행 내용) 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발, 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증

- 직급별 연간 소요인력(명)

[표 56] 구성기술 2 직급별 연간 소요인력(명)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	6	8	7	4	3	5.6
연구원(석사급)	8	10	10	5	4	7.4
연구보조원(학사급)	11	11	12	7	5	9.2
합계	25	29	29	16	12	22.2

* 직급별 연간 소요인력의 참여율

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	30%	35%	35%	35%	35%	34%
연구원(석사급)	40%	45%	50%	50%	50%	47%
연구보조원(학사급)	35%	35%	40%	40%	35%	37%

○ (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발

- 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법·기준, 실구조물 적용 및 전주기(LCC) 경제성 분석 등을 수행하기 위해 연간 약 17명의 연구인력이 평균 36%의 참여율로 참여 필요

* (주요 수행 내용) 철근대체재-콘크리트 시험방법 및 기준 개발, 철근대체재-콘크리트 실구조물 적용을 통한 성능평가 및 검증, 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성 분석

- 직급별 연간 소요인력(명)

[표 57] 구성기술 3 직급별 연간 소요인력(명)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	평균
책임연구원(박사급)	2	2	5	4	5	3.60
연구원(석사급)	2	2	8	6	9	5.40
연구보조원(학사급)	4	3	11	10	12	8.00
합계	8	7	24	20	26	17

* 직급별 연간 소요인력의 참여율

구분	2021	2022	2023	2024	2025	2026
책임연구원(박사급)	20%	30%	35%	35%	35%	31%
연구원(석사급)	20%	40%	50%	50%	50%	42%
연구보조원(학사급)	30%	30%	40%	40%	35%	35%

□ 세부별 연도별 소요 인건비

- 세부별 직급별 소요인력에 참여율과 학술연구용역기준단가를 적용하여 산정
 - * 인건비 = 소요인력 × 참여율 × 인건비기준단가

[표 58] 구성기술별 연도별 소요 인건비(단위 : 백만원)

세부과제	인건비					
	합계	21년	22년	23년	24년	25년
[구성기술 1] 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발	2,188	446	570	559	414	199
[구성기술 2] 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발	2,436	483	637	678	368	270
[구성기술 3] 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발	1,795	102	130	548	446	570
합계	6,419	1,031	1,337	1,785	1,228	1,039

2. 직접비

□ 연구재료비, 연구시설·장비비, 연구활동비, 연구수당 등의 합으로 산정

- (구성기술 1) 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발
 - 구성기술 1은 건설용 탄소보강근 제조, 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증 과제로 탄소섬유/수지/첨가제 등의 구매, 부재 성능평가를 위한 시제품 제작에 따른 연구재료비의 비중이 전체 직접비의 약 58%로 가장 높음

[표 59] 구성기술 1 연도별 직접비(단위 : 백만원)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	총계
연구재료비	549	680	640	310	146	2,325
연구시설·장비비	-	100	100	80	50	330
연구활동비	130	383	298	134	75	1,020
연구수당	67	85	84	62	30	328
합계	746	1,248	1,122	586	301	4,003

- (구성기술 2) 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발
 - 구성기술 2는 건설용 탄소그리드 제조, 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증 과제로 탄소섬유/수지/첨가제 등의 구매, 부재 성능평가를 위한 시제품 제작에 따른 연구재료비의 비중이 전체 직접비의 약 52%로 가장 높음

[표 60] 구성기술 2 연도별 직접비(단위 : 백만원)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	총계
연구재료비	436	653	486	308	74	1,957
연구시설·장비비	-	100	100	80	50	330
연구활동비	200	332	316	188	66	1,102
연구수당	72	96	102	55	40	365
합계	708	1,181	1,004	631	230	3,754

○ (구성기술 3) 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발

- 구성기술 3은 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법·기준, 실구조물 적용 및 전주기(LCC) 경제성 분석 과제로 실구조물 성능평가 및 검증을 위해 연구재료비가 전체 직접비의 33%로 구성기술에 비해 높게 산정

[표 61] 구성기술 3 연도별 직접비(단위 : 백만원)

구분	2021	2022	2023	2024	2025	총계
연구재료비	55	70	330	290	209	954
연구시설·장비비	-	10	300	320	140	770
연구활동비	64	43	310	273	164	854
연구수당	15	19	82	67	85	269
합계	134	142	1,022	950	598	2,847

□ 구성기술별 연도별 소요 직접비

[표 62] 구성기술별 연도별 소요 직접비(단위 : 백만원)

구성기술	직접비					
	합계	21년	22년	23년	24년	25년
[구성기술 1] 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발	4,003	746	1,248	1,122	586	301
[구성기술 2] 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발	3,754	708	1,181	1,004	631	230
[구성기술 3] 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발	2,847	134	142	1,022	950	598
합계	10,604	1,588	2,571	3,148	2,167	1,129

3. 간접비

□ (인건비+직접비)의 10% 수준으로 산정

[표 63] 구성기술별 연도별 간접비(단위 : 백만원)

구성기술	간접비					
	합계	21년	22년	23년	24년	25년
[구성기술 1] 건설용 탄소보강근-콘크리트 기술 개발	619	119	182	168	100	50
[구성기술 2] 건설용 탄소그리드-콘크리트 기술 개발	619	27	157	140	117	60
[구성기술 3] 철근대체재-콘크리트 실용화 기술 개발	464	262	391	493	340	217
합계	1,702	408	730	801	557	327

4. 총 연구비

□ 연구개발 내용별 연차별 소요예산

[표 64] 연구개발 내용별 연차별 소요예산(단위 : 백만원)

구성기술	연구개발 내용	총 사업비	21년	22년	23년	24년	25년
[구성기술 1] 건설용 탄소보강근- 콘크리트 기술 개발	(1-1) 건설용 탄소보강근 제조 기술 개발	2,800	750	950	650	300	150
	(1-2) 탄소보강근-콘크리트 부재 개발 및 검증	4,010	560	1,050	1,200	800	400
구성기술 1 합계		6,810	1,310	2,000	1,850	1,100	550
[구성기술 2] 건설용 탄소그리드- 콘크리트 기술 개발	(2-1) 건설용 탄소그리드 제조 기술 개발	2,800	750	950	650	300	150
	(2-2) 탄소그리드-콘크리트 부재 개발 및 검증	4,010	560	1,050	1,200	800	400
구성기술 2 합계		6,810	1,310	2,000	1,850	1,100	550
[구성기술 3] 철근대체재- 콘크리트	(3-1) 철근대체재(탄소보강근, 탄소그리드)-콘크리트 시험방법 및 기준 개발	750	150	150	150	150	150

구성기술	연구개발 내용	총 사업비	21년	22년	23년	24년	25년
실용화 기술 개발	(3-2) 철근대체재-콘크리트 실구조물(교량, 건축물 등) 적용을 통한 성능 평가 및 검증	4,058	111	150	1,477	1,285	1,035
	(3-3) 철근대체재-콘크리트 구조물 전주기 경제성(LCC) 분석	300	-	-	100	100	100
구성기술 3 합계		5,108	261	300	1,727	1,535	1,285
순수 연구비 합계		18,728	2,881	4,300	5,427	3,735	2,385
기획평가관리		772	119	177	223	154	99
총 연구비		19,500	3,000	4,477	5,650	3,889	2,484



탄소 고분자 부식 ZERO 철근대체재 기술 개발

제7장 타당성 분석 및 기대효과

제1절 타당성 분석

제2절 기대효과

제7장 타당성 분석 및 기대효과

제1절 타당성 분석

1. 정부정책과의 부합성

□ 제6차 건설기술진흥기본계획(2018-2022)

- 5차 기본계획이 종료되면서, 향후 5년('18~'22) 現정부와 함께 할 건설기술정책 로드맵과 미래 건설기술 발전 청사진 제시 필요
 - 그간 건설산업은 요소(노동·자본 등) 투입 확대에 힘입어 성장, 기술혁신을 통한 생산성 향상이 수반되지 않으면 지속성장이 불가능
 - 건설기술은 건축·안전분야 등 국민복지 향상에 기여하며, 전통적인 로우테크(Low-tech) 이미지를 벗고 첨단 기술과 융합을 통하여 새롭게 도약
- 제6차 건설기술진흥기본계획에 제시한 2대 전략 중의 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성 전략은 건설재료와 연관성이 매우 높은 전략들이 제시
 - 건설기술 발전의 근간이 되는 “첨단재료, 지능형시설, 프로세스, 재난·안전” 분야 R&D를 지속 추진
 - 4차 산업혁명 기술과 건설기술의 융복합을 통해 3D건설 산업의 이미지 제고와 양질의 일자리로 전환 추진 필요
 - 건설기술 발전의 근간이 되는 ‘스마트 건설기술을 통한 생산성 향상’ 중점 추진과제 R&D를 지속 추진
 - * 4차 산업혁명 기술과 건설기술의 융복합을 통해 건설산업의 이미지 제고와 양질의 일자리로 전환 추진 필요
 - * 인프라 투자 감소, 인프라 노후화에 대응하여 시설물의 안전을 확보하고 유지관리 비용을 절감할 수 있는 대응 기술개발 필요
 - * 건설기술의 개발을 통해 저해하는 장애요소를 제거하여 적용 활성화 필요
 - 현장 의존적 생산체계 한계를 극복하는 첨단건설소재를 개발하고 건설기술을 활용

□ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018.6)

- 혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통을 위해 4대 추진전략을 수립
 - * 「추진전략2 : 기술융합을 위한 새로운 가치창출」 중 새로운 재료개발을 통해 건설자동화 구현, 시설물 장수명화를 통한 비용절감 등을 제시

□ 경제관계장관 회의(2018.6)

- 「건설산업 혁신 방안」에서 4대 혁신방안을 제시하고 건설재료 개발 계획을 포함
* ‘기술혁신’내 추진과제 중 ‘스마트 건설기술 활성화 과제에 건설자동화, 유지관리/건설재료, 메가스트럭처를 제시

□ 소재·부품·장비 경쟁력 강화 대책(2019.8)

- 2대 목표 중 하나로 소재·부품·장비 산업 전반의 경쟁력 강화 추진

2. 기술적 타당성

□ 기술개발목표의 적절성

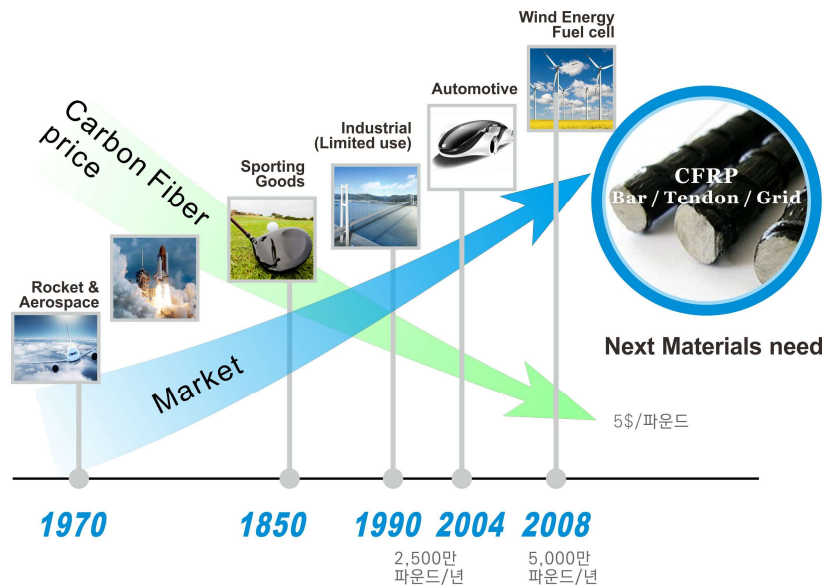
- 첨단건설재료 개발로 인한 구조물 내구성 향상 및 생애주기 비용 감소와 첨단건설재료 핵심원천 기술 확보를 통한 글로벌 신시장 창출을 목표로 설정
 - 이를 통하여 최소한의 유지보수로 구조물의 장수명화 실현 및 현재 정체되어 있는 건설산업의 활성화와 혁신적 체제 개편을 도모
- 국민생활과 밀접한 국토교통 R&D 사업의 특성을 고려하여 사회현안 등을 해결하기 위한 공공 R&D 추진
 - 1970년대~1980년대 집중 개발된 도시 인프라 시설물의 노후화에 따른 국민의 불안감이 증대됨에 따라 국민안전과 도시 경쟁력 제고를 위한 정책적 관심 증가
 - 국제 사회의 온실가스 감축에 대한 요구에 따라 시설물 부문에서의 에너지 사용에 따른 온실가스 발생을 최소화하기 위한 사회적 요구 증대
 - 노후 시설물 해체에 따른 다량의 건설폐기물 발생으로 인해 처분장 부족 및 폐기물 처리비용의 과다 발생, 폐기물 처리에 따른 민원 발생
 - 국가정책 및 상위계획의 방향성과 국내 건설산업의 현재 및 미래를 고려하여 도전적이나 실천 가능성이 높은 비전 제시
 - 공공기술 및 산업이 혼합된 사업의 특성을 고려하여 기술개발 추진에 따른 공공기술과 산업기술개발이라는 목적 제시
 - 현재 국내 건설산업은 수요 포화상태 및 성장한계에 따른 정체기에 접어든 상태이며, 해외 수주 또한 저조한 실정으로 첨단기술을 활용한 차세대 건설재료 개발 필요
 - * 건설산업은 재생불가능한 천연자원의 최대 소비원인 동시에 이산화탄소 등 막대한 오염물질을 배출하는 산업으로 환경에 미치는 영향이 막대함.

- 따라서, 건설산업의 혁신 및 지속가능한 환경발전 실현을 위해 첨단기술을 활용한 고부가가치 건설재료의 핵심기술 경쟁력 확보 및 글로벌시장 선도를 목표로 수립

3. 경제적 타당성

□ 탄소섬유 경제성

- (재료 기술발전 및 단가하락) CFRP의 기본 구성 재료인 탄소섬유 관련 기술 발달과 수요 증가에 따른 탄소섬유 가격 하락과 생산량 증대
 - 항공분야에만 적용되던 1970년대에는 330달러/kg에서 2008년도에는 11달러/kg 전후로 약 30배 하락하여 2019년 10월 탄소섬유는 34달러/kg 단가로 거래(일본 경제산업성 기준)
 - 한편, MAI Carbon Cluster Management GmbH에 따르면 탄소섬유 생산 비용은 90% 가까이 떨어질 것으로 전망
 - * 출처 : <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2014/10/carbon-fiber-prices-drop-much-90-percent/>
 - 2008년도에는 연간 약 22,680톤의 탄소섬유가 생산되었으나, 2015년 기준 세계적으로 약 106,750톤/년의 탄소섬유 생산



[그림 107] 탄소섬유 가격 변화에 따른 산업분야 적용 현황

[표 65] 탄소섬유 생산능력 추이

년도	2010	2011	2012	2013	2014	2015
탄소섬유 생산량(ton)	78,150	82,450	90,750	99,750	104,750	106,750

* 출처 : 미쯔코시레이온 추정

- (새로운 건설재료 시장 확대) 건설분야에서의 CFRP 활용은 증대 및 다양화되고 있는 추세이며, CFRP 글로벌 시장 규모는 2030년에는 2017년의 2.6배인 3조 5,800억엔으로 성장할 것으로 전망

* 출처 : 후지경제(2019)

- 용도별 CFRP 적용 시장 중, 항공기, 자동차에 이어 건축·토목 분야가 세 번째로 큰 것으로 전망



[그림 108] CFRP 시장 규모 변화

[표 66] 탄소섬유 생산능력 추이

구분	2018년 예상	2017년 대비	2030년 예측	2017년 대비
항공기	5,803억엔	100.5%	1조 4,261억엔	2.5배
자동차	974억엔	98.0%	5,605억엔	5.6배
건축·토목	1,935억엔	102.8%	5,469억엔	2.9배

- (재료의 생산성 향상) CFRP 제조원가 저감을 위한 CFRP 성형공정시간 단축, 대량 양산 등 생산성 향상 노력

- (BMW) 탄소재료 전문기업인 SGL 카본과의 JV체결을 기반으로 CFRP 개발 및 생산을 내재화하고, i3 전기차의 경우, 전 생산공정의 90% 이상을 자동화하여 CFRP 단가를 양산차에 적용 가능한 수준으로 저감

* 출처 : LG경제연구원, '경량화2.0' 소재의 새로운 가치 요구하고 있다(2015), 한국한업기술평가관리원, 탄소섬유강화 복합재 생산장비 및 자동화 기술 동향(2015)

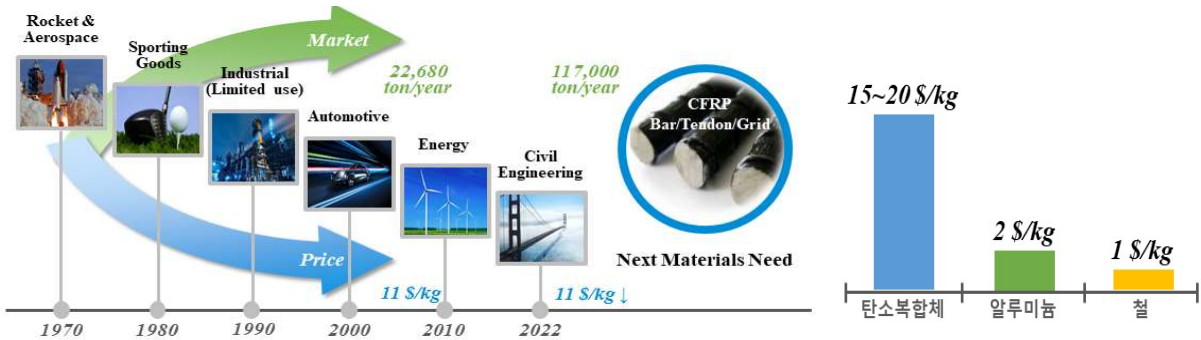
- 탄소섬유의 현재 가격 수준

- 국내 탄소섬유 가격은 2018년 기준 15~25달러/kg 수준으로 형성되어 있으며 저비용 탄소섬유 생산 기술 발전으로 가격이 점차 하락할 것으로 예상

* 국외 탄소섬유 가격은 1970년대 500달러/kg에서 점차 하락하여 2020년대 이후에는 약 11달러/kg미만으로 약 50배 이상 하락할 것으로 예상

** 수요산업에 따라 국내 탄소섬유 가격은 에너지(풍력 블레이드)용 15~18달러/kg, 자동차용 10~15달러/kg, 항공우주용은 25~30달러/kg 수준으로 형성

*** 탄소섬유 복합체 가격은 15~20달러/kg 수준으로 알루미늄, 철 대비 약 10배 정도의 가격으로 형성



[그림 109] 탄소섬유 시장 및 가격 변화 추이

[그림 110] 탄소복합체 가격 비교

* 출처 : Industrial Carbon and Graphite Materials: Raw Materials, Production and Applications, 탄소섬유 및 탄소섬유 가공소재 산업 경쟁력 조사, 한국복합재료학회, 2018

○ 탄소보강콘크리트 자체특성, 제작과정 등에 의한 경제성

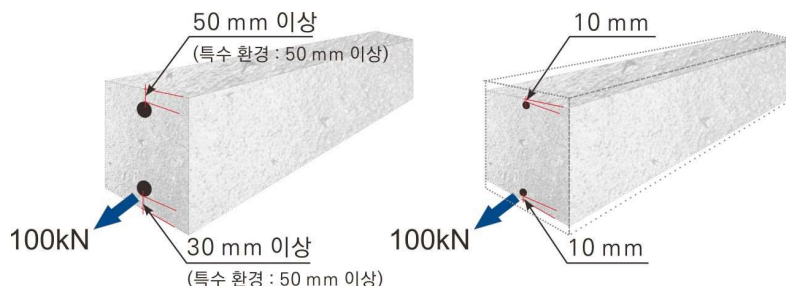
- 철근대체재의 경우, 철근 대비 밀도 1/4배, 인장강도 5배 이상으로 이에 따라 동일 인장력이 작용할 경우, 25% 비용 절감 효과 기대

- 철근대체재의 경우, 철근 부식방지를 위한 최소피복두께 확보가 필요없어, 이에 따라 부재 단면 두께를 최대 80% 저감 가능하며 이에 따라 콘크리트 사용량 저감 가능

[표 67] 철근과 철근대체재 비교

구분	철근	철근대체재	비교
밀도	7.81 g/cm ³	1.8 g/cm ³	▪ 4배 가벼움
인장강도	500 MPa	2,500 MPa	▪ 5배 강함
100 kN의 인장력 작용 시 1m 당 필요한 보강재 양	1.55 kg (D16 철근 기준)	0.072 kg	▪ 철근 계산 · 100 kN : 500 MPa = 2.0 cm ² · 2 cm ² · 100 cm · 7.81 g/cm ³ = 1.55 kg ▪ 철근대체재 계산 · 100 kN : 2,500 MPa = 0.4 cm ² · 0.4 cm ² · 100 cm · 1.8 g/cm ³ = 0.072 kg
비용	2,053 원	1,525 원	▪ 25% 비용 절감 효과 · (철근) 1 EUR/kg (1,324 원/kg) · (철근대체재) 16EUR/kg (21,184 원/kg)

* 기준 값은 C3 프로젝트 참고



[그림 111] 철근과 철근대체재 적용 부재 비교

- 탄소보강콘크리트의 경우, 기존 철근콘크리트 대비 부재 단면 감소 효과 등으로 한 번에 더 많은 PC부재의 현장 반입 및 운반이 가능하여, 이에 따른 공사기간 단축 효과 기대 가능



(부재 현장 반입)



(부재 운반)

* 출처 : 2016 Design Training Expo, Halls river bridge replacement, FDOT District 7

[그림 112] 탄소복합재 적용 부재 및 기존 부재의 현장 반입 및 운반 비교 사례

○ 철근콘크리트 대비 부재 경량화를 통한 경제성 확보

- 기존 철근콘크리트 부재의 단위중량은 2,450 kg/m³(콘크리트 2,300 kg/m³, 철근 150 kg/m³)이며, 철근대체재 밀도(1.8 g/cm³)는 철근 밀도(7.81 g/cm³)의 1/4배로 철근대체재-콘크리트 단위중량을 2,307 kg/m³(콘크리트 2,300 kg/m³, 철근대체재 7 kg/m³)으로 절감 가능

* 철근대체재-콘크리트 단위중량은 철근콘크리트 단위중량의 약 94%

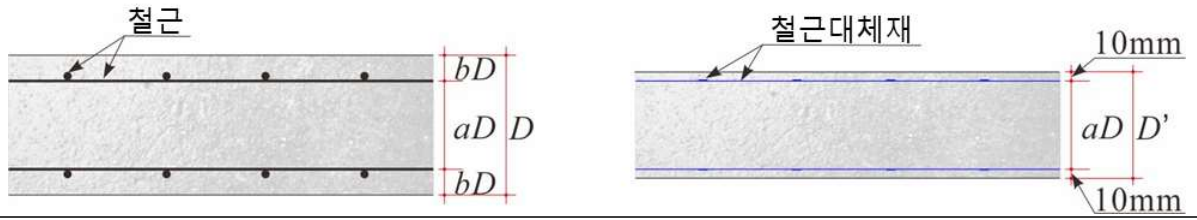
- 또한, 철근대체재의 경우 피복두께가 필요 없어, 부재 단면 길이를 약 90%로 줄일 수 있으며, 부식 등 극한환경에서 최대 피복두께를 80mm에서 10mm로 감소 가능

* (휨모멘트 산정시) 일반적으로 부재 압축단에서 철근 중심까지의 길이 = 0.9 * 부재 단면 길이

- 이에 따라 철근대체재-콘크리트 적용 시, 부재의 단위길이당 중량은 콘크리트 적용 부재의 단위길이당 중량 대비 약 85% 절감 가능하며, (부재단면적*단위중량)
- 상기의 예는 철근과 동일한 하중에 저항하는 철근대체재의 경우에 해당하며, 철근대체재-콘크리트 설계에 따라 단위길이당 중량을 보다 절감 가능

< 철근대체재 사용에 따른 교량 슬래브 단면 절감 효과 >

교량 형식	a	b	D(mm)	D'(mm)	D'/D(%)
콘크리트 슬래브교	0.72	0.14	499	377	76
RCT빔교	0.54	0.23	238	148	62
PC슬래브교	0.80	0.10	596	496	83
PC빔교	0.79	0.10	690	568	82
I빔교, 플레이트 거더교	0.60	0.20	200	140	70
평균	0.69	0.16	348	260	75



* 교량 형식별 a, b, D는 '표준설계도집(상)(건설연구사, 1997)'의 도로교 표준 도면을 참조하여 산출한 평균값임

[그림 113] 부재 단위길이당 중량 15% 절감 예시

제2절 기대효과

1. 기술적 기대효과

- 탄소융합 건설기술 원천기술 확보로 건설분야 전반에 걸쳐 새로운 고부가가치 기술 혁신 유도 가능
 - 나노소재 활용 콘크리트 기술 및 철근 대체 재료 기술 분야 세계 최고 수준의 원천기술 확보를 통한 글로벌 리딩
 - 미래 주거 및 시설물 환경 구축을 위한 국가 전략기술 확보
 - 시설물의 획기적인 내구수명 확보를 위한 주요 건설재료 원천기술 확보 가능하며, 지속적인 유지보수가 필요한 사회기반 시설물에 적용 가능
 - 부식제로 철근대체 기술 개발을 통해 어떠한 환경에도 영향을 받지 않고 지속적으로 안전성을 확보할 수 있는 시설물 건축 가능
 - 향후 미래 주거 및 시설물에 폭넓게 응용되며, 새로운 건축물 창출과 현재 건축이 불가능한 시설물 제작에 해결책 제공
 - 미래형 주거 공간 형성 및 사회기반 시설물 구축에 필요한 건설재료 기술 확보 가능
 - 미래형 건설재료 기술 선점을 통하여 국내 건설재료 기술경쟁력 제고
- 융복합을 통한 첨단 건설재료 개발로 글로벌 기술 선도 가능
 - 미래 건설 환경 조성을 위한 건설재료 관련 독자기술 확보를 통해 핵심기술에 대한 지적재산권을 확보하고, 외국기술에 대한 기술수준 격차를 줄임으로써 해외 시장에서의 시장 점유율 확대
 - 탄소섬유 철근대체재료 기술을 이용한 장수명화 건축물 건설을 위해 필요한 탄소섬유 활용 부식제로 철근대체 기술 및 탄소섬유 그리드 적용 장수명화 콘크리트 구조부재 기술 개발을 통해 관련 기술에 대한 선진국 종속화 탈피와 국내 고유기술 보유 가능
- 글로벌 FRP 철근대체재 시장 기술 선점
 - 글로벌 FRP 철근대체재 시장 규모는 '24년 약 1조 3,758억 원으로 성장할 것으로 예상

2. 사회·경제적 기대효과

- 건설재료 관련 국내 생산산업 활성화 및 고부가가치 신산업 창출을 통한 국내 건설재료 산업의 고용 창출 효과
 - 산·학·연 협력체제에 따른 고급 인력양성 및 중소/중견기업에 인력 공급 효과
 - 고부가가치 신산업 창출을 통한 대규모 고용 창출 및 고급 전문 기술인력에 대한 일자리 확대 효과
 - 국내 건설재료산업의 활성화 및 고부가가치 신산업 창출을 통한 국내 건설산업 및 건설재료산업의 대규모 고용 창출 효과

- 우수 건설재료 기술개발 및 확보를 통한 수입대체 효과 발생
 - 전 세계적 환경규제 강화에 따른 건설산업의 후방산업인 건설재료 기술력 향상이 요구됨에 따라 첨단소재 융복합 기술 국산화로 선진국 환경 및 구조안정성규제기준을 만족하여 대선진국 수출 경제시장 확보 가능
 - 장수명 및 내구수명 향상 건설재료 개발 원천기술 확보를 통하여 사회기반 시설물의 획기적인 내구수명 제고 및 적용
 - 미래 건축 및 시설물 핵심 건설재료의 해외 선진국 종속에 따른 미래 건설산업의 시장 경쟁력 향상
 - 신시장 창출 및 기존 건설재료의 고부가가치화를 통해 중장기적으로 국내 미래형 건설산업의 시장 창출이 크게 향상될 것으로 기대

3. 환경적 기대효과

- 시설물의 획기적인 장수명화에 따라 신규 시설물 건설에 필요한 자원 소비 및 오염물질 배출 저감 가능

- 석탄을 주원료로 하여 탄소배출량이 많은 강철(철근)의 대체를 통한 정부의 2050 탄소 중립 목표 달성에 기여