

건설공사비 저감 및
RC 기둥 내진성능
향상을 위한
직물섬유보강 콘크리트
PC영구거푸집 개발
기획연구보고서

2017. 12

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 경북대학교

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “국토교통기술지역특성화사업“ 과제의 기획연구
보고서로 제출합니다.

2017. 12

주관연구기관명 : 경북대학교

주관연구책임자 : 김 화 중 교수

주관참여연구진 : 박 태 훈 연구교수

이 준 철 박사

천 우 영 박사

기획연구책임자 : 계명대학교 김 승 직 교수

기획참여연구진 : 경북대학교 추 승 연 교수

보고서 요약서

과제고유번호	17RDRP-B 076268-04	해 당 단 계 연구 기 간	2017.11.01~ 2017.12.29	단 계 구 분	2/2
연구 사업 명	중 사 업 명	국토교통기술지역특성화사업			
	세부사업명	-			
연구 과 제 명	대 과 제 명	내진성능향상을 위한 RC기둥의 직물섬유 보강 콘크리트(TRC) 영구거푸집 개발			
	세부과제명	-			
주 관 연 구 책 임 자	김 화 중	해당단계 참여 연구원수	총 : 2명 내부 : 2명 외부 : 0명	해당단계 연구비	정부 : 2,000천원 계 : 2,000천원
		총연구기간 참여 연구원수	총 : 5명 내부 : 5명 외부 : 0명	총연구비	정부 : 115,000천원 계 : 115,000천원
기 획 연 구 책 임 자	계명대학교 김 승 직 교수			참여 기업명	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	55
- 요약문 참조 -					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	직물섬유보강 콘크리트, 영구 거푸집, 내진성능평가, 내진보강, BIM			
	영 어	Textile Reinforced Concrete, Permanent Form, Seismic Performance Assessment, Seismic Retrofit, BIM			

요 약 문

I. 과제명

내진성능 향상을 위한 RC기둥의 직물섬유 보강 콘크리트(TRC) 영구거푸집 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

□ 기술의 정의

- 본 기술은 인장성능 및 내구성이 우수하고, 성형이 자유로운 Textile과 콘크리트의 복합체인 직물섬유 보강 콘크리트(Textile Reinforced concrete, 이하 TRC)를 이용한 영구거푸집 개발을 목적으로 함
- TRC 영구거푸집은 TRC의 우수한 연성능력에 따른 구조물의 내진성능향상 및 골조 공사비의 30~40%를 차지하고 있는 거푸집 공정으로부터 탈형작업을 제거함으로써 전체적인 공사비 절감이 가능한 기술임

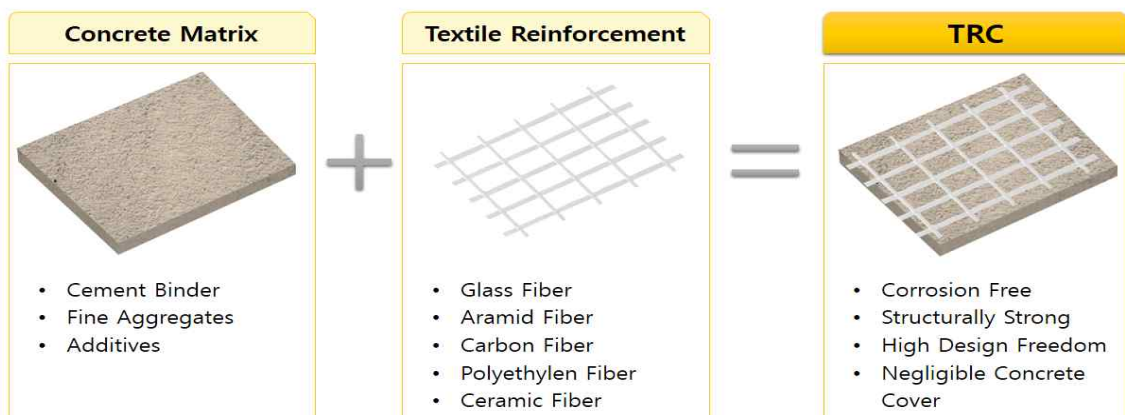


그림 1. TRC 개념도

□ 연구개발 목적

- 본 기획연구는 지진위험도가 높은 대경권의 건축물의 내진성능향상 및 건설공사비 저감을 위하여 TRC 영구거푸집의 설계 및 활용기술을 성능평가 및 검증을 통하여 개발하고 실용화되도록 하는 것을 목적으로 하며, 이를 달성하기 위하여 아래의 세부 연구목표를 제시함
 - TRC 영구거푸집의 모듈/접합부 상세개발 및 내진성능평가
 - TRC 영구거푸집을 적용한 부재의 해석모델 개발
 - TRC 영구거푸집의 BIM 모델링 및 형상 성능 최적화
 - TRC 영구거푸집의 현장 적용성 평가 및 실용화

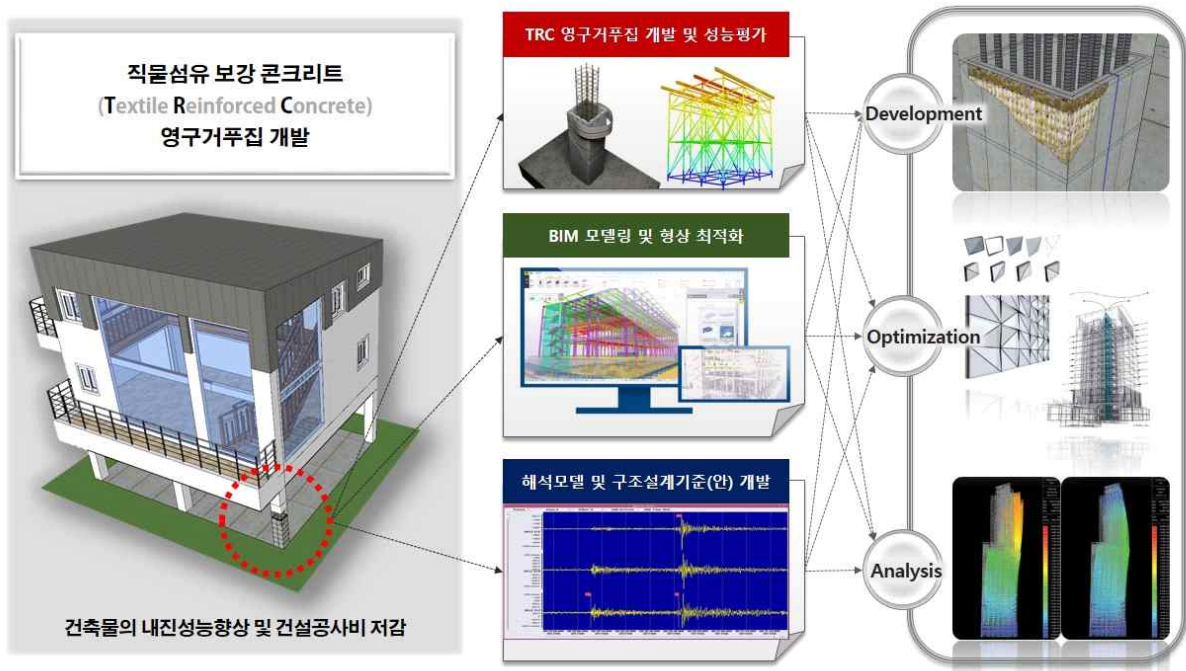


그림 2. RC 기둥 내진성능향상을 위한 TRC 영구거푸집 개발 개요

□ 연구 필요성

○ 지진위험도가 높은 대경권 건축물의 지진피해 저감을 위한 내진성능 확보기술 개발의 시급성

- 최근 대구·경북권(이하 대경권)에서 국내 관측 사상 최대 규모인 경주지진(2016년 9월) 및 포항지진(2017년 11월)으로 인하여 상당수의 건축물이 심각한 피해를 입었음
- 대경권의 주된 주거형식 중 하나인 필로티 건축물의 주요 피해 원인은 내진설계가 적용되었음에도 불구하고 도면과 상이하게 시공되거나 불량시공으로 인하여 내진성능이 확보되지 않은 점에 기인함
- 1978년 국내지진계측 이후 내륙지역 규모 3.0이상 지진 발생 빈도는 대경권에서 54%를 차지하고 있음에도 불구하고 2017년 내진설계 적용 대상 기준으로 해당 지역의 내진설계확보율은 각각 8.2% 및 3.5%에 그치고 있음
- 따라서 대경권 건축물의 지진피해 저감을 위하여 내진성능을 향상시킬 수 있으며 경제적인 시공이 가능한 기술개발이 시급함

○ 내구성 확보 및 공사비 저감을 위한 고성능 비탈형 영구거푸집 개발이 필요

- 거푸집공정은 건설공사 골조 공사비의 30~40%를 차지하는 고비용 공정으로 탈형작업에 의한 공기증가 및 인건비 상승에 따른 노무비 증가로 인해 비탈형 영구거푸집이 개발되고 적용되고 있음

- 기존 비탈형 영구거푸집의 경우, 내구성 저하 및 자중에 의한 하중증가로 인하여 제작 및 현장 시공성에 많은 문제점을 노출하고 있어 구조성능 및 시공성이 뛰어난 영구거푸집 개발이 필요함

○ 우수한 내진성능 및 경제성을 가진 TRC 영구거푸집 개발 필요

- 인장성능 및 내구성이 우수한 TRC는 기존 구조물의 내진성능을 향상시킬 수 있으며, 이를 이용한 영구거푸집은 기존 비탈형 영구거푸집과 비교하여 향상된 내화성능 확보가 가능함
- 성형이 자유로운 직물섬유를 이용한 TRC는 요구성능에 따라 물성 최적화가 가능하며, 기존 비탈형 영구거푸집 대비 피복두께가 감소하여 콘크리트 합성부재의 경량화를 통한 경제성 확보가 가능

○ 건축물 설계 요구에 부합하고 품질확보가 가능한 거푸집 형상 최적화 기술 개발 필요

- 현재 시공되는 대부분의 구조물에서 설계도면에 따라 시공되어지지만 철근의 배근과 같은 구조적인 요소에 대한 정확한 검토가 이루어지지 않고 있으며, 콘크리트 타설 이후에는 품질확보에 대한 검증이 어려움
- 대부분의 거푸집 및 보강재는 현장에서 제작 및 시공되어지므로 작업자의 능력에 따른 개인차로 인해 품질성능이 좌우되므로 프리캐스트 방식을 이용하여 공장생산을 통한 균일한 품질을 확보할 수 있는 대체기술이 필요함
- BIM 사전시공을 통해 도면상의 오류나 설계상 간섭, 누락 요소 등을 사전에 발견하고 해결하여 시공 과정에서 발생할 수 있는 품질저하, 재시공 등을 방지하고 원가 절감 및 시공성 향상에 기여할 수 있음

○ 대경권 섬유산업 부가가치 창출을 통한 지역 경제 활성화의 시급성

- 지역 섬유산업은 의류업종에 대다수가 집중되어 있는데, 의류업종은 대표적인 노동집약산업으로서 전반적인 경기하락과 개발도상국과의 경쟁력 심화에 어려움을 겪고 있음
- 대구의 경우 섬유산업을 포함하여 메카트로닉스, 전자정보기기 등을 지략산업으로 선정하여 중점 육성하고 있으나, 수출추이는 점차 감소하는 추세로 섬유산업의 신 분야 개발 등이 이루어질 필요가 있음
- 따라서 대경권 섬유업계의 경쟁력 강화 및 매출 증대를 위하여 건설재료로의 활용분야로 확대함으로서 지역 경제 활성화 유도가 필요함

III. 시장동향 및 기술 수준

○ 국내외 기술개발 동향

- 영구거푸집 관련 국내외 기술의 경우 대부분 공사기간 단축을 위한 용도로 개발 및 제작되어 있으며, 내진성능 향상을 목적으로 하고 있는 영구거푸집 개발은 미비한 상황임

- TRC를 보강재로 활용한 RC보의 연구나 3D Fabric 기반 TRC 판넬을 이용한 철근콘크리트 기둥의 내진보강 공법 개발연구가 일부 수행된 사례가 있으나 영구거푸집 적용사례는 없음
- 철근콘크리트 혹은 조적조 구조물의 보강을 위해 다양한 TRC 보강 패널 관련된 특허가 출원되어 있으며, 이 중 일부는 상업적인 용도로 시판되고 있어 실제 건설현장에서 활용되고 있음
- 3D BIM 거푸집 모델링 관련 기술을 분석한 결과, BIM을 이용한 거푸집의 설계에 관한 연구 또는 BIM을 통한 물량산출로 인한 시공성 개선에 관한 연구에서 정확도 향상이 가능한 연구는 다수 있었으나 실제로 작업시간이 더 많이 소요되었거나 공기단축과 공사비 절감에 직접적인 관련을 맺기가 어려운 실정임

○ 국내외 관련 시장 동향

- 각 시설물에서 거푸집에 적용되는 공사의 비율은 보통 골조 공사비의 30~40%임. 따라서 각 공공 구조물에서의 골조 공사 비율은 전체 공사비에서 최소 24%부터 최대 40%이므로, 거푸집 공사비는 전체 공사비의 약 10~20%임. 따라서 재료비, 노무비, 경비, 기타 등을 비교 분석하면, 노무비가 전체 공사비의 평균 40%로 가장 높은 비율로 나타나, 비탈형 영구거푸집을 활용한다면 불필요한 노무비용의 절감이 가능하므로 전체 공사비저감을 유도할 수 있음
- 공공 시설물을 포함하여 국가적 주요 구조물에 대한 향 후 내진성능 확보 계획에 대하여 공공 시설물 전체에서는 20년까지 54%, 교량에 대해서는 18년까지 100%, 철도 구조물에 대해서는 19년까지 100%, 학교에 대해서는 34년까지 100%, 공항 구조물에 대해서는 18년까지 100%로 계획되어 있음
- 학교의 경우 포항 지진에서도 많은 피해를 입었지만 내진성능이 확보된 구조물은 25.3%에 불과하며, 34년까지 모든 학교에 내진성능을 확보하겠다는 국가 정책과 최근 지진으로 인한 피해사례로 인하여 구조물 보수/보강 시장은 증가될 추세임
- 3D 프린터를 활용한 거푸집 생산 기술 개발, 거푸집 공사비 절감 및 공기단축을 위한 연구는 계속 진행 중이지만 형태적으로 다양해지는 건축물에 대응 할 수 있는 거푸집 형태 생성 기술에 대한 개발은 아직 미흡한 실정임



그림 3. 공공시설물 내진성능 확보 현황 및 향후 계획

IV. 연구개발의 내용 및 범위

□ 비전 및 목표

본 연구의 비전은 “지진에 대하여 안전하고, 경제적인 TRC 영구거푸집 개발”로 설정하고, 건축물에 대한 개인 및 국가의 안전수요(자연적·사회적 재해) 및 건설공사의 경제성을 체계적·실효적으로 확보하기 위하여, 건축공학 기술에 섬유기술을 융합하여 RC기둥의 TRC 영구거푸집 요소기술을 개발하는 것을 목표로 함

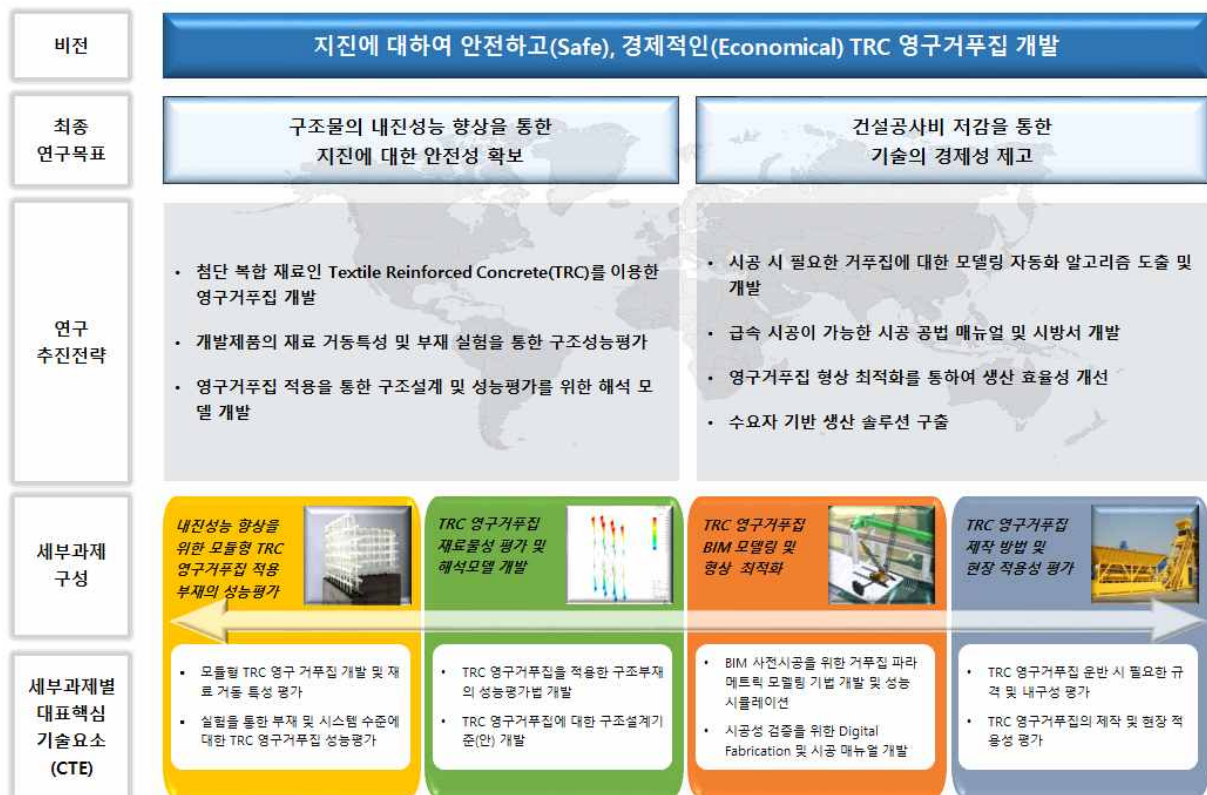


그림 4. 연구개발과제의 비전 및 목표

□ 연구개발 범위 및 세부 내용

○ TRC 영구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진성능평가

- TRC 영구거푸집의 모듈 및 접합상세 개발
- 콘크리트 유동성을 고려한 측압실험 및 성능평가
- 영구거푸집 적용 RC기둥 내진성능 실험평가 및 이력모델 개발

○ TRC 영구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발

- TRC 유효물성치 및 재료강도 미소역학 기반 평가

- 영구거푸집 국부해석 및 형상/물성 최적화
- 영구거푸집 적용 부재 비선형 유한요소해석모델 개발 및 구조설계기준(안) 제안

○ TRC 영구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화

- BIM 사전시공을 위한 거푸집 파라메트릭 모델링 기법 개발
- 거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용하여 정확한 물량산출 및 성능 시뮬레이션
- Digital Fabrication을 통한 모델 품질 및 시공성 검증
- TRC 영구거푸집 시공매뉴얼 개발

○ TRC 영구거푸집 제작 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화

- 제작공정 최적화 방법 평가
- 운반 및 시공성을 고려한 제품의 규격화 및 내구성 평가
- 영구거푸집 경제성 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화

V. 연구개발성과

- TRC 영구거푸집 시제품
- TRC 영구거푸집 적용 부재의 구조설계기준(안)
- TRC 영구거푸집 적용 부재의 시공지침(안)
- 적용 기술 경제성 분석 보고서

VI. 기대효과

○ 기술적 기대효과

- 구조물의 내진성능확보 요소기술에서 소외된 거푸집 관련 분야에 첨단 기술 도입을 이용한 내진성능 향상 기술의 선진화를 통하여 관련 분야 독자적인 기술을 선점하여 국제적인 경쟁력 확보 가능
- 우수한 Textile이 내장된 영구거푸집을 적용하여 RC기둥의 내진성능 향상을 통한 대경권 구조물의 지진 안정성 확보
- 국내의 내진성능 향상 가능한 영구거푸집에 대한 독자적인 설계기준(안) 확보가 가능하며, 이를 적용한 구조부재의 성능평가법을 이용하여 국내 기술의 선진화 가능
- BIM 도구를 이용한 생산 자동화 및 3D 프린터 등과의 융합적 활용을 통한 신사업 창출효과가 기대됨

○ 경제·사회적 기대효과

- 경주 및 포항 지진에 의한 구조물의 피해로 인하여 내진설계를 강화하고 내진보강 확대 사업을 시행하려는 정부정책에 부합

- 공장에서 제작되어 운반 및 설치되고 비탈형이므로 건설현장에서 공기 및 공사비 절감이 가능
- 기존 RC 기둥 대비 전단철근 및 피복두께 감소(하중 저감)을 통한 공사비 절감
- 대경관 관련 업계(직물섬유, PC 및 건설)의 경쟁력 강화 및 매출 증대 효과를 제고
- 영구거푸집을 통한 내진성능 확보를 통하여 지진과 같은 자연재해로 인한 구조물의 손상 및 피해를 저감함으로써, 재난 시 복구에 드는 사회적 비용 절감 가능
- 조달청에서는 2016년부터 맞춤형 서비스로 집행하는 모든 건설공사에 BIM 설계 도입을 의무화함. 이에 발맞추어 시공단계에서 BIM모델을 기반으로 거푸집 생산하여 공기단축, 공사비 절감을 이뤄 정책에 기여할 것으로 기대됨

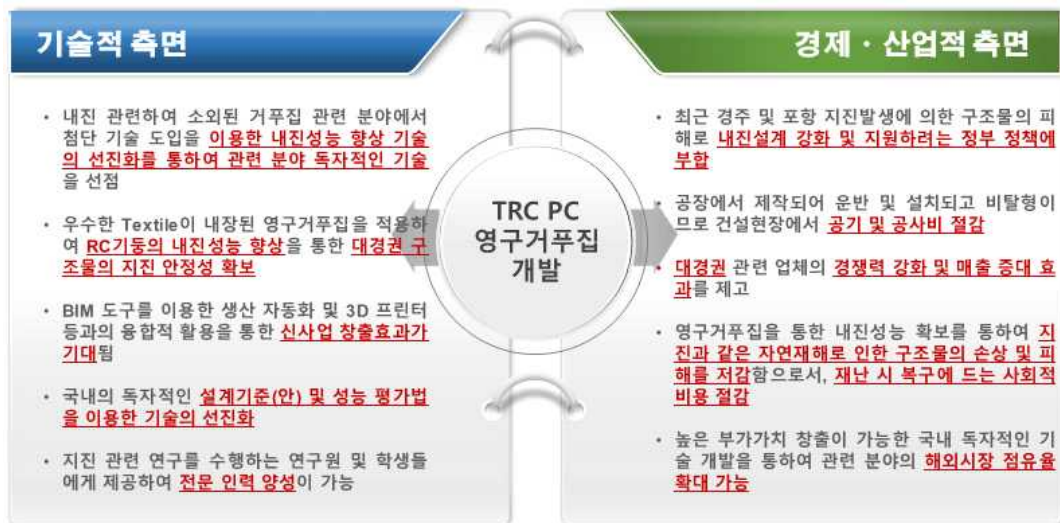


그림 5 TRC 영구거푸집 개발을 통한 기대효과

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
제 1 절 기술정의 및 분류체계	1
가. 기본개념 및 목적	1
나. 구성기술 정의 및 내용	2
다. 기술 분류	3
제 2 절 기술개발의 필요성	4
가. 기획 배경	4
나. 기술개발 필요성	9
다. 기획목적 및 내용	15
제 2 장 국내외 동향 및 환경분석	16
제 1 절 국내외 정책 동향	16
가. 국내 지진 관련 법령 및 정책	16
나. 국외 지진 관련 법령 및 정책	18
제 2 절 국내외 시장현황 및 전망	20
제 3 절 기술동향분석	26
가. 특허 동향	26
나. 논문 동향	29
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	31
제 1 절 비전 및 목표	31
가. 연구개발 비전 및 목표	31
나. 연구개발 세부 내용	33
다. 과제 개발 로드맵	34
제 2 절 추진전략 체계	35
가. 연구수행체계 제안	35
나. 연도별 연구개발 추진일정	37

제 3 절 자원 투입계획	38
1. 인력투입 계획	38
2. 소요예산 산정	39
제 4 장 실용화 전략	41
제 1 절 현황분석	41
가. 기술현황 분석 결과	41
나. 지역의 현안	42
제 2 절 거점 내 수요처 분석	43
제 3 절 시장진출전략	44
가. 기술 표준화 전략	44
나. 기술 실용화 전략	44
제 4 절 기대효과	45
가. 사회적 측면	45
나. 기술적 측면	45
다. 경제적 측면	45
제 5 장 과제 제안요구서	47
참고문헌	52

표 목 차

[표 1] 기존시설물 내진보강 기본계획의 목표 및 주요내용	17
[표 2] 기존 공공시설물 내진보강 기본계획의 추진전략 및 주요내용	18
[표 3] 포항 지진 피해 후속 대책	18
[표 4] 내진진단 비용	19
[표 5] 스테포드법 주요내용	20
[표 6] 내진등급과 성능목표	24
[표 7] 영구거푸집 관련 특허 동향	26
[표 8] Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 특허 동향	28
[표 9] 거푸집 관련 BIM 특허 동향	28
[표 10] 영구거푸집 및 Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 논문 동향	29
[표 11] 3D BIM기반 거푸집 관련 논문 동향	30
[표 12] 연구개발 기관별 세부내용	33
[표 13] 각 기관별 과제개발 로드맵	34
[표 14] 연구수행체계 제안도	35
[표 15] 연도별 연구개발 추진일정	37
[표 16] 연차별/세부과제별 인력투입계획	38
[표 17] 소요예산 총 연구개발비	39
[표 18] 정부출연금 연구주제별 소요예산	40
[표 19] 지역별 필로티 건축물 추정현황	43

그 립 목 차

[그림 1] TRC 개념도	1
[그림 2] RC 기둥 내진성능향상을 위한 TRC 영구거푸집 개발 개요	2
[그림 3] 세부공종별 공사금액 비율	4
[그림 4] 국내 지진 발생 현황	5
[그림 5] 포항·경주 인근 주요 단층 분포	5
[그림 6] 포항 지진 관련 사회적 영향	6
[그림 7] 포항 지진으로 인한 구조물의 피해 사례	6
[그림 8] 내진설계기준 강화 변천사	7
[그림 9] 대경권 주택 분류에 따른 내진 현황	7
[그림 10] 연도별 대경권 섬유류 수출 추이	8
[그림 11] TRC 보강 RC기둥의 성능평가 관련 연구	9
[그림 12] 대구 건축물 현황	9
[그림 13] 프리캐스트 공장 생산	10
[그림 14] TRC 영구거푸집 조립 및 접합상세 개발 개략도	11
[그림 15] 미소역학 기반 TRC 복합재료 물성 평가기법	12
[그림 16] TRC 영구거푸집 국부 유한요소해석	12
[그림 17] TRC 영구거푸집을 적용한 구조부재의 유한요소해석	13
[그림 18] 모델링 자동화 구현 사례	14
[그림 19] (좌)물량산출 자동화 알고리즘 사례	14
[그림 20] 시공매뉴얼의 거푸집 조립도 및 개선안 사례	15
[그림 21] 2010년부터 2016년까지의 공공시설물 발주 현황	21
[그림 22] 공공시설물 공사비에 따른 골조공사비 금액 비율	21
[그림 23] 공공시설물에서의 거푸집 공사 금액 분석	22
[그림 24] 공공시설물 내진성능 확보 현황 및 향후 계획	22
[그림 25] 성능기반 내진설계 개념도	23
[그림 26] 비정형 테이블폼	24
[그림 27] 뉴폼코리아 3D 비정형 거푸집 소개	25
[그림 28] 비탈형 및 영구거푸집 관련 특허 동향	26
[그림 29] Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 특허 동향	27
[그림 30] 연구개발과제의 비전 및 목표	31
[그림 31] 연구수행체계	36
[그림 32] TRC 개요(RWTH)	41
[그림 33] TRC 생산 제품 개요(Solidian)	42
[그림 34] TRC 영구거푸집 개발을 통한 기대효과	47

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

가. 기본개념 및 목적

- 직물섬유 보강 콘크리트(Textile Reinforced Concrete, 이하 TRC)는 그림 1과 같이 연속적인 직물섬유가 포틀랜드 시멘트와 작은 사이즈의 골재로 구성된 시멘트 매트릭스에 일체화 된 복합재료로 높은 압축 및 인장강도를 보유하고 있을 뿐 아니라 내구성 및 연성이 뛰어나 지진하중에 대한 구조 보강재로서의 활용 가능성이 높음
- 본 기술은 최근 발생한 경주 및 포항 지진에 의한 대구·경북권(이하 대경권) 건축물의 지진피해 발생으로 인해 증대되고 있는 **건축물의 내진성능확보** 요구와 골조 공사비의 높은 비율을 차지하고 있는 **거푸집공정을 개선**하여 공사비를 저감할 수 있는 요소기술 요구에 부합하기 위하여 **건축물의 내진성능향상 및 건설공사비의 저감을 위한 TRC 영구거푸집 개발**을 목적으로 함
- 인장성능 및 내구성이 우수하고, 성형이 자유로운 Textile과 콘크리트의 복합체인 TRC는 연성능력이 우수하므로 이를 이용한 영구거푸집은 **구조물의 내진성능을 향상**시킬 수 있으며, 거푸집 두께를 **피복두께로 활용**할 수 있음
- 본 기술은 골조 공사비의 30~40%를 차지하고 있는 거푸집공정에서 탈형작업을 제거함으로써 **공기연장 및 인건비 상승 요소를 제거**하여 전체적인 공사비 절감이 가능함

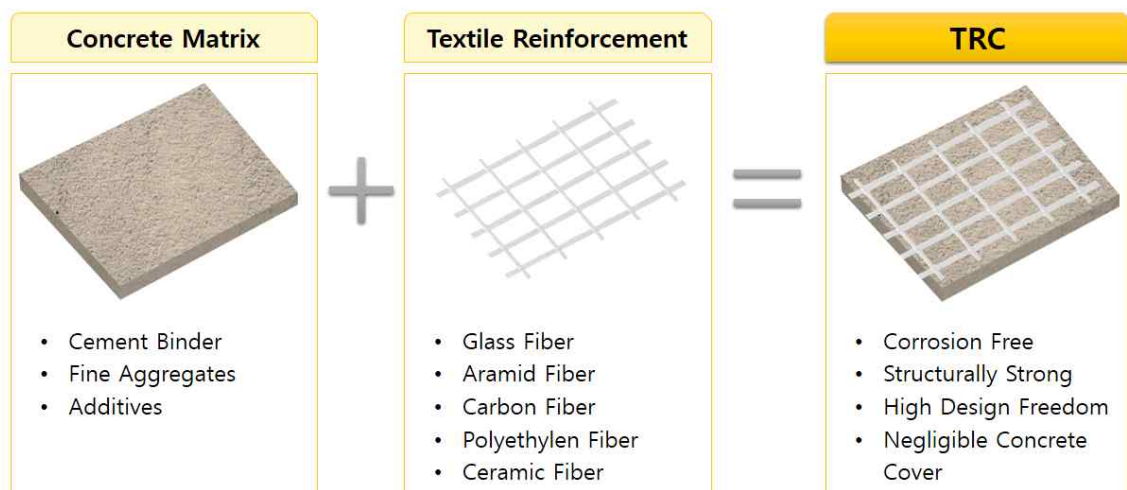


그림 1. TRC 개념도

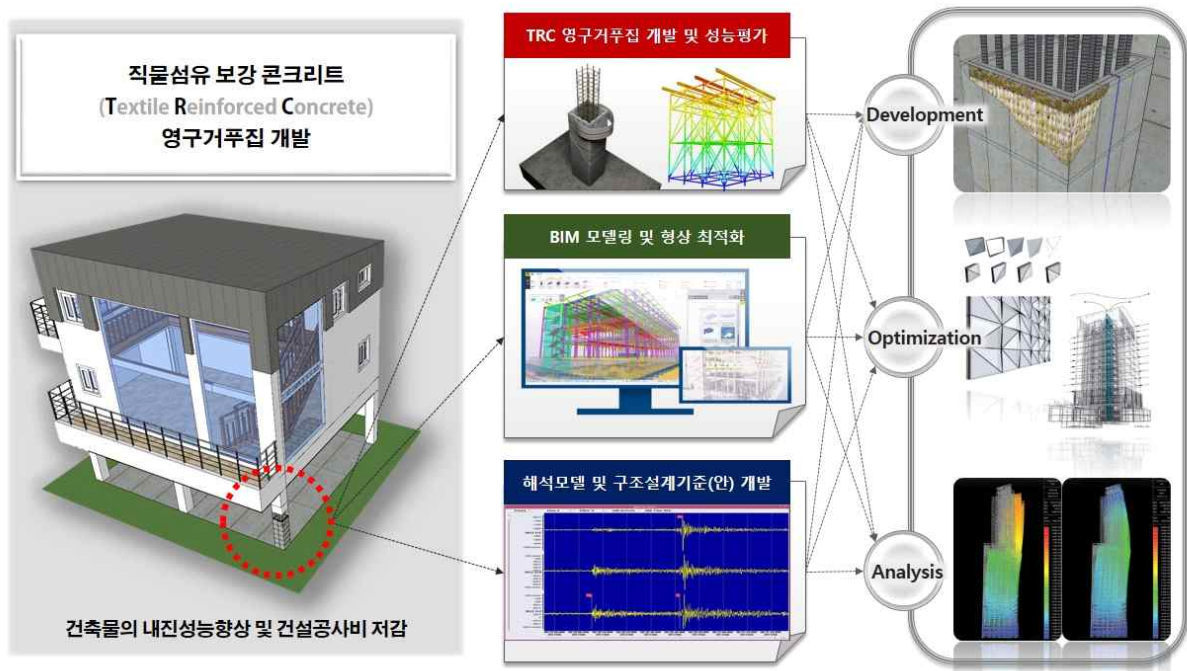


그림 2. RC 기둥 내진성능향상을 위한 TRC 영구거푸집 개발 개요

나. 구성기술 정의 및 내용

□ 내진성능 향상을 위한 철근콘크리트 기둥의 TRC 영구거푸집개발

○ TRC 영구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진성능평가

- 콘크리트 부재 피복 두께 및 조립 방식을 고려한 TRC 영구거푸집의 모듈 및 접합상세 개발
- TRC 영구거푸집의 재료 실험 및 콘크리트 유동성을 고려한 측압실험을 통한 성능평가
- TRC 영구거푸집 적용 RC 기둥의 압축 및 정적반복가력 실험을 통한 내진성능평가 및 이력모델 개발

○ TRC 영구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발

- TRC 유효물성치 및 재료강도 미소역학 기반 평가
- TRC 영구거푸집에 대한 국부해석 수행 및 형상/물성 최적화
- TRC 영구거푸집 적용 구조부재 설계 및 성능평가를 위한 해석모델 개발
- TRC 영구거푸집에 대한 구조설계기준(안) 개발

- TRC 영구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화
 - BIM 사전시공을 위한 거푸집 파라메트릭 모델링 기법 개발
 - 거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용하여 정확한 물량산출 및 성능 시뮬레이션
 - 모델 품질 및 시공성 검증을 위한 Digital Fabrication 수행
 - TRC 영구거푸집 시공매뉴얼 개발
- TRC 영구거푸집 제작 방법 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화
 - TRC 영구거푸집 제작공정의 최적화 방법 개발
 - 공장 생산시설을 이용한 모듈형 TRC 영구거푸집 제작
 - TRC 영구거푸집 운반 시 필요한 규격화 및 내구성 평가
 - TRC 영구거푸집의 현장 적용성 평가를 통한 실용화

다. 기술 분류

- 본 기획 과제는 건설공사비 저감이 가능 및 RC 기둥 내진성능향상이 가능한 TRC 영구거푸집 개발은 건설/교통분야 기술개발로 구성됨
- 건설공사비 저감이 가능한 TRC 영구거푸집 개발에 따른 기술 분류는 다음과 같음
 - 기술코드 : EI0406(건설/교통 → 건설/시공 재료 → 건설구조재료)
- 내진성능향상이 가능한 TRC 영구거푸집 개발에 따른 기술 분류는 다음과 같음
 - 기술코드 : EI1105(건설/교통 → 시설물 안전/유지 관리 기술 → 자연재해 저감기술)

2절 기술개발의 필요성

가. 기획 배경

□ 전체 건설공사비의 거푸집 공정에 대한 공사비 및 공사기간 절감 가능

- 거푸집 공사비는 일반적으로 골조 공사비의 30~40%, 전체 공사비의 약 10% 정도를 차지하는데 가설 구조물로서는 상당히 높은 공사비를 가지고 있음
 - 조달청에서 제공하는 보고서에서 공공기관에 대한 세부공종별 공사비를 분석한 결과, 철근콘크리트 공사에 대하여 일반청사 및 대형청사에서는 28.1% 및 24.3%를 차지함으로써 거푸집 공정에 대한 전체 금액 비율은 약 10%를 차지함
 - 아파트 공사에서는 전체 공사비 중 골조 공사비의 비율은 38.7%이며, 거푸집 공사비는 전체 공사비의 약 11~15%정도임
- 거푸집 공정은 골조 공정의 약 60%이고 전체 공사기간 중에서 약 25% 정도의 비중을 차지하므로 단일 공정으로는 상당히 긴 시간을 필요로 하는 공사임
 - 철근콘크리트 골조에 대한 공사현장에서 거푸집 공사는 주 공정이 되고 있으며 공사 기간 단축을 도모하는데 핵심적인 부분을 차지하고 있음
 - 거푸집 공사는 성격상 반복적인 공사이므로 공사 기간 단축의 가능성과 효과가 크므로 전체 공사 기간 단축 측면에서 중요한 공정임

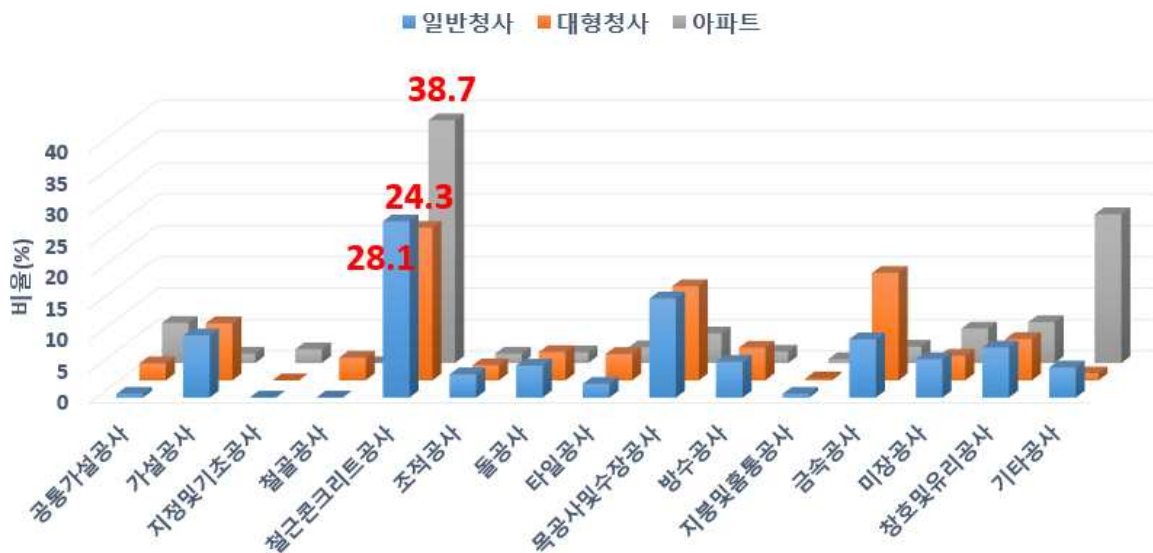


그림 3. 세부공종별 공사금액 비율 (조달청, 2016)

□ 대경권 지진위험도 증가

- 대경권은 알려진 다수의 활성단층이 존재하며, 최근 국내 지진계측관측 사상 최대 규모 지진인 경주지진(2016년 9월)과 최대 지진피해를 유발한 포항지진(2017년 11월)이 발생하였음

- 기상청에서 제공하고 있는 지진발생목록에서 지진계측을 시작한 1978년 이래의 지진발생이력을 분석한 결과, 그림 4에서 보이듯이 내륙지역 규모 3.0이상 지진 발생 빈도는 대경권이 54%를 차지하고 있음
- 내륙지역에서 규모 5.0이상의 지진발생이력을 분석한 결과, 총 5건 중 4건이 대경권 지역에서 발생했으며, 그 중 2건은 최근에 발생한 경주 및 포항지역의 지진임

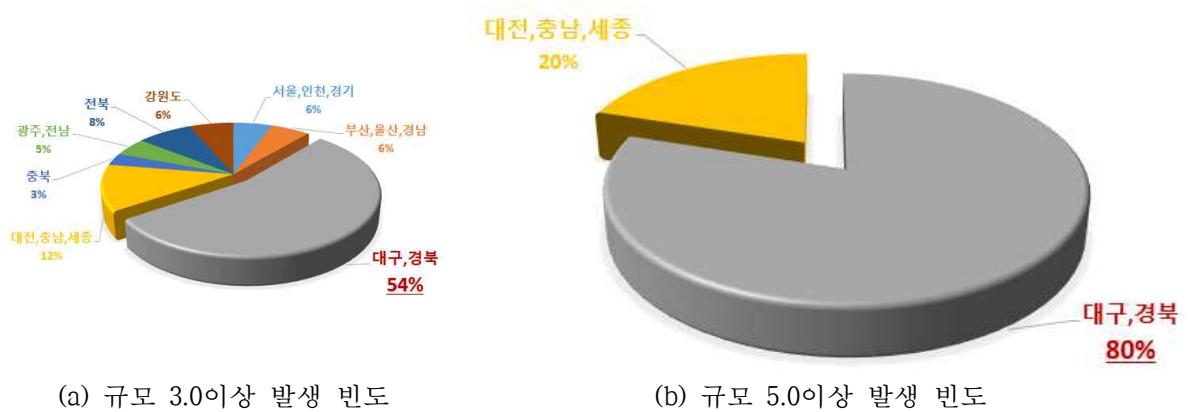


그림 4. 국내 지진 발생 현황 (기상청, 2017)



그림 5. 포항·경주 인근 주요 단층 분포 (한국경제신문, 2017)

- 가장 최근에 발생한 포항 지진의 경우 지난 경주지진으로부터 북동쪽 약 40km 지점에서 발생한 것으로 지진 유발단층은 **지표면상에 존재가 보고된 적이 없는 북북동 방향의 단층대를 따라 발생**하였다고 한국지질자원연구원에서 보고됨
- 경주 지진 발생 시 언급되었던 대경권 전 지역에 걸쳐 이어지는 170km구간의 양산 단층대에서 다른 활성단층의 존재가 입증되었으며, 이는 앞으로도 지속적인 지진 발생 가능성을 나타내고 있음

□ 대경권 구조물의 지진 피해 발생으로 인한 내진성능 확보 기술 구축 시급

- 최근 경주 및 포항 지역의 지진 발생으로 인하여 구조물에 대한 많은 피해가 발생되었음
- 포항 지진의 경우 고주파수 진동이 매우 발달했던 경주지진보다 상대적으로 중·저주파수 진동이 발달한 특성을 나타냄으로서 많은 필로티 구조물 및 아파트와 같은 다가구 주택에서도 심각한 전단균열이 발생하여 많은 이재민이 발생하였음
- 대부분 구조물의 경우 긴급 보수·보강 작업이 소수 진행되었으나, 일부 구조물에서는 구조물이 기울거나 구조적 손상이 심하여 보수·보강이 불가능한 사례가 발생하였음
- 비상 시 대피장소로 사용되는 학교와 같은 공공 시설물에서도 구조적으로 심각한 손상이 발생하여 2018학년도 대학수학능력시험이 일주일 연기가 되는 문제가 발생함으로서 국가 전반적인 경제적 손실과 세계적 국가 이미지가 하락됨

포항지진 피해 950억 넘어...공공·사유시설 2만7000곳 피해

(포항=뉴스1) 이재민 기자 | 2017-11-28 07:52 송고

기사보기

네이버뉴스

좋아요 0개

공유하기

트위트

카카오

인쇄 | 확대 | 축소

교육부, 포항 지진으로 수능 1주일 연기 결정 “학생 안전·공평성 제고”

(이태하 기자) | 2017.11.16 20:48 | 수정 : 2017.11.16 20:51

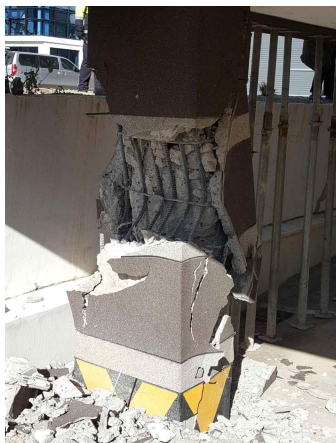


지난 9월 오후 경북 포항시 북구 흥해읍 대평리에서 지진 피해 이재민들이 아톰작을 옮기고 있다. 대평리에서는 지진으로 건물 3개동이 3~4도 기울어졌으며, 안전진단 결과 붕괴 위험이 높다는 판정을 받았다. 2017.11.24 뉴스1 @3news 신동수 기자

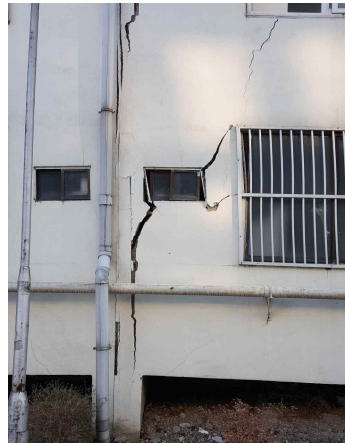


김상곤 교육부 장관이 2018 수능능력시험 연기와 관련해 발언하고 있다. 사진제공=연합뉴스

그림 6. 포항 지진 관련 사회적 현황



(a) 필로티 구조물 기둥 전단파괴



(b) 아파트 개구부 전단파괴



(c) 초등학교 기둥 전단파괴

그림 7. 포항 지진으로 인한 구조물의 피해 사례

- 대경권 주된 주거형식인 필로티 건축물의 주된 피해 원인은 내진설계가 적용되었음에도 불구하고 도면과 상이하게 시공되거나 불량시공으로 인하여 내진성능이 확보되지 않은 점에 기인함
- 건축법 시행령 제 32조의 경우 2017년 10월 24일부로 내진설계 의무대상 건축물은 2층 이상 연면적 200m²이상으로 확대되었으며, 주택의 경우 연면적 및 층수와 관계없이 단독주택 및 공동주택 모두 내진설계 적용 대상 구조물로 개정하였음(건축법, 2017). 이는 실질적으로 모든 건축물에 대하여 내진설계 적용을 의무화하는 내용을 내포함

④ 제1항에 따라 구조 안전을 위한 건축물 중 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 건축물의 건축주는 해당 건축물의 설계자로부터 구조 안전의 확인 서류를 받아 별 제23조에 따른 확공신고를 하는 때에 그 확인 서류를 허가당국에게 제출하여야 한다. <개정 2014.11.28., 2015.9.22., 2017.2.3., 2017.10.24.>

1. 층수가 2층(주요구조부인 기둥과 보를 설치하는 3층) 이상인 건축물

2. 연면적이 200제곱미터(복구조 건축물의 경우에는 500제곱미터) 이상인 건축물, 다관, 창고, 측사, 직물 제형사 및 포조설계도서에 따라 건축하는 건축물은 제외한다.

3. 높이가 13미터 이상인 건축물

4. 처마높이가 9미터 이상인 건축물

5. 기둥과 기둥 사이의 거리가 10미터 이상인 건축물

6. 건축물의 용도 및 규모를 고려한 중요도가 높은 건축물로서 국토교통부장관으로 정하는 건축물

7. 국가적 문화유산으로 보존할 가치가 있는 건축물로서 국토교통부장관으로 정하는 것

8. 제23조제1항소각목 및 다목적 건축물

9. 별표 1 제1호의 단독주택 및 같은 표 제2호의 공동주택

⑤ 제6조제1항제8호다목적에 따라 기존 건축물을 건축 또는 대수선하려는 건축주는 별 제5조제1항에 따라 적용의 완화를 요청할 때 구조 안전의 확인 서류를 허가당국에게 제출하여야 한다. <신설 2017.2.3.>

[전문개정 2008.10.29]

[시행일 : 2017.12.1.] 제32조제2항

내진설계기준 강화 변천사

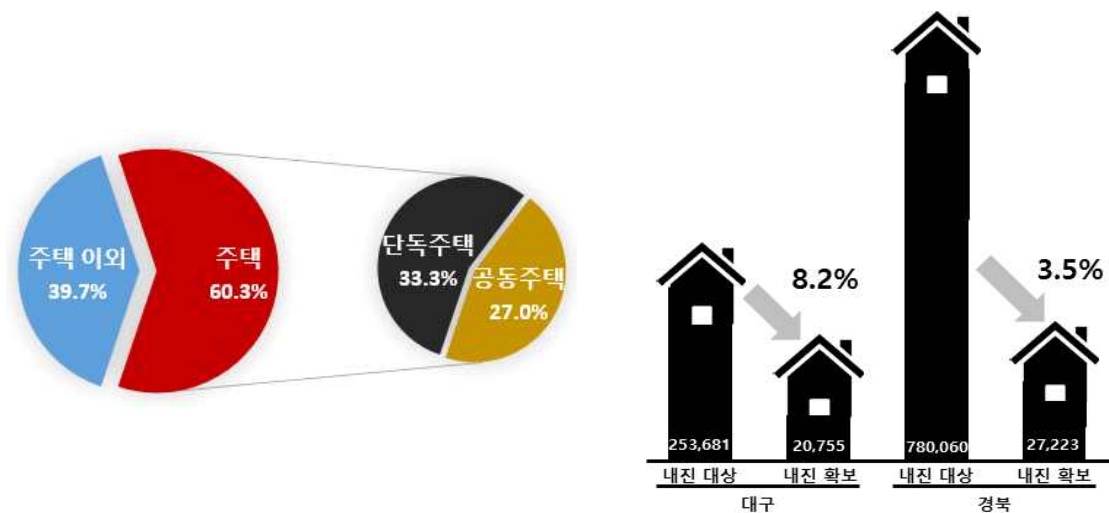
1988년	내진설계기준 도입(6층 이상, 10,000m ² 이상)
1995년	5층 이상, 연면적 5,000m ² 이상
2005년	3층 이상, 연면적 1,000m ² 이상
2009년	3층 이상, 연면적 1,000m ² 이상, 높이 13m 이상 건축물
2015년	3층 이상, 연면적 500m ² 이상
2016년	2층 이상, 연면적 500m ² 이상
2017년	2층 이상, 연면적 200m ² 이상, 단독주택 및 공동주택

(a) 건축법 시행령 제 32조(2017.11)

(b) 내진설계기준 강화 변천사

그림 8. 내진설계기준 강화 변천사

- 포항 지진의 피해 사례 분석 결과, 고층 주택에 비하여 저층 주택에 많은 피해가 발생하였으며, 2017년 개정된 내진적용 대상 구조물의 내진율을 분석한 결과, 국내 주택 내진율의 경우, 단독주택은 3.2%로 공동주택 41.5%보다 매우 낮음
- 지진 발생 및 피해가 가장 높은 대경권의 내진확보율은 대구가 8.2%로 11번째, 경북이 3.5%로 3번째 낮은 수준임



(a) 전국 주택 분류에 따른 분포 현황

(b) 대경권 내진 확보율 현황

그림 9. 대경권 주택 분류에 따른 내진 현황

□ **대경권 섬유산업 부가가치 창출을 통한 지역 경제 활성화 요구 증대**

- 지역 섬유산업은 의류업종에 대다수가 집중되어 있는데, 의류업종은 대표적인 노동 집약산업으로서 전반적인 경기하락과 개발도상국과의 경쟁력 심화에 어려움을 겪고 있음
- 2009년 대경권 섬유류 수출액은 23억 4,240만 달러로 2008년의 27억 5,500만 달러에 비해 15.0%나 감소하였음
- 최근 2016년에는 대경권 섬유류 수출은 중국의 저성장 기조 유지, 유가하락에 의한 중동지역 오일머니의 불확실성, EU의 저성장 기조 정착 등으로 인한 소비 구매력 저조 등으로 전년대비 7.0%(195백만불) 감소한 25억 8,710만불을 기록
- 대구의 경우 섬유산업을 포함하여 메카트로닉스, 전자정보기기 등을 지략산업으로 선정하여 중점 육성하고 있으나 수출추이는 점차 감소하는 추세로 섬유산업의 신 분야 개발 등이 이루어질 필요가 있으며, 건설재료로의 활용분야 확대 방안도 검토할 필요가 있음



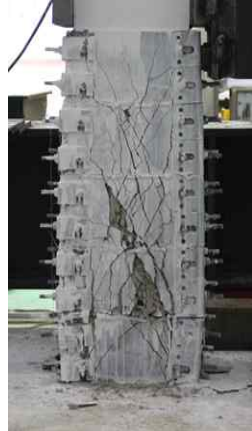
그림 10. 연도별 대경권 섬유류 수출 추이

□ **구조물의 성능향상을 위한 첨단 복합재료 TRC 적용 연구 증대**

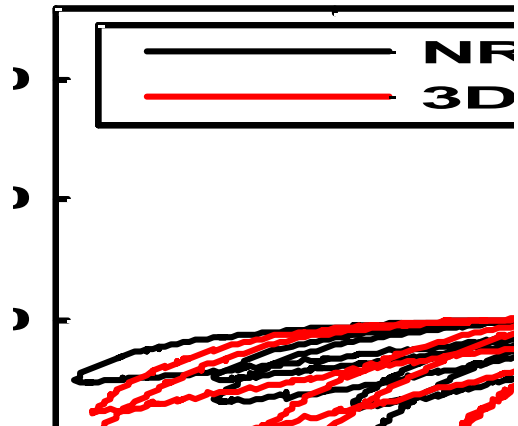
- 최근 섬유를 이용한 복합재료 개발로 인하여 많은 현장에서 적용되고 있음. 이 중 인장성능 및 내구성이 우수하고, 성형이 자유로운 Textile과 콘크리트의 복합체인 TRC를 이용한 구조용 보강재 개발 연구가 최근 해외에서 점차 증가되고 있음
- 대부분의 TRC 관련 연구들은 부재 보강을 통한 성능평가와 관련하여 실험이 수행되었으며, 실험 결과를 통하여 TRC의 보강재로서의 성능이 검증되었음
- 그림 11과 같이 최근 3D 형상의 직물섬유를 이용한 TRC를 비내진 상세의 RC기둥에 내진보강재로 적용하여 성능평가를 실시한 연구 사례가 있으며, 실험결과에서 TRC와 부재 사이의 일체거동을 통하여 무보강 실험체 대비 전단강도가 약 20% 및 연성비가 약 182%가 증진됨을 검증하였음



(a) 3D 섬유복합체 보강재



(b) 3D 섬유복합체 보강
기둥 실험



(c) 3D 섬유복합체 보강 기둥 실험 결과

그림 11. TRC 보강 RC기둥의 성능평가 관련 연구

나. 기술개발 필요성

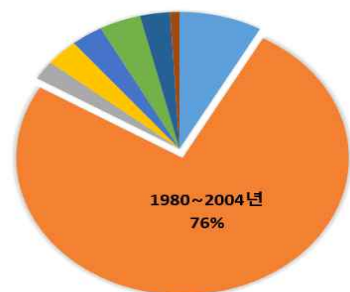
□ 내진성능향상을 위한 RC기둥의 TRC 영구거푸집 개발의 필요성

○ 대경권 건축물의 내진성능 확보기술 개발 요구 및 지진재해 대응 수요 증대

- 경주 지진으로 인하여 정부에서 지진 대응에 관련하여 많은 정책적 지원을 하고 있음에도 불구하고 최근 포항 지진을 통하여 실제로 많은 구조물들이 피해를 입어 내진 관련 정책이 보다 강화될 예정임
- 2017년 대경권의 내진설계 확보율은 대구 8.2% 및 경북 3.5%로 내진성능 확보를 위한 보수·보강이 시급한 상황임
- 대구시의 주택 현황은 그림 12에서 보이듯이 아파트가 53%, 단독주택 24%, 다가구주택 18%의 비율로 나타나 내진설계의 사각지대에 있는 단독주택 및 다가구주택의 비율이 상대적으로 높으며, 전체 건축물의 76%가 1980~2004년에 시공되어 현행 구조설계기준에서 요구하는 성능이 확보되지 않은 상황임



(A) 대구권 주택 현황



(B) 대구권 연도별 건축물 현황

그림 12. 대구 건축물 현황(대구통계, 2015)

- 포항 지진에 의하여 **필로티 구조물이 가장 많은 피해**를 입었으며, 필로티는 전국에 약 236,810동이 추정되고 있음. 건축물이 가장 많은 서울과 경기도를 제외한 행정 구역에 따른 필로티 구조물의 추정 비율을 분석하면, **대구시가 6.2%로 광역시 중에서 3번째이며, 경북은 2.3%로 도 별 3번째로 높음**

- 따라서 공사비 저감을 위한 기존 영구거푸집의 장점에 더하여 내진성능 확보가 가능한 대체 기술을 개발할 필요가 있음. 또한 사전 3D 모델을 통하여 속성정보를 이용한 정확한 물량산출 및 성능 시뮬레이션을 통한 개발 제품의 경쟁력을 향상시킬 요소 기술을 확보할 필요가 있음

○ 건설공사비 저감을 위한 적정기술이 필요

- 건설공사비의 많은 비율을 차지하고 있는 거푸집의 경우, 조립 후 콘크리트 타설 후 필요한 강도만큼 경화가 완료되면 탈형을 하는 반복적인 공정임
- 총 공사기간에 약 25%를 차지하고 있는 거푸집 공사에서 성능유지 및 내진성능 확보가 가능하되 공사기간을 단축하여 공사비를 저감할 수 있는 제품 개발은 필요함



그림 13. 프리캐스트 공장 생산

○ 시공 상의 오류에 대한 대응 및 품질 확보가 가능한 적정기술이 필요

- 현재 시공되는 대부분의 구조물에서 설계도면에 따라 시공되어지지만, 포항 지진 피해 사례에서 나타나 있듯이 철근의 배근과 같은 구조적인 요소에 대한 정확한 검토가 이루어지지 않고 있으며 콘크리트 타설 이후에는 품질 검증이 어려움
- 대부분의 거푸집 및 보강제품은 현장에서 제작 및 시공이 이루어지므로 균일한 품질을 유지하지 못함
- 거푸집 제작의 경우 수작업으로 이루어져 정확하지 않으며, 구조물의 내진 및 보수/보강 재료의 경우는 작업자의 기술력에 따라 보강성능이 결정됨
- 따라서 **프리캐스트 방식과 같이 개발제품의 공장생산을 통하여 균일한 품질을 확보할 수 있는 대체 기술의 개발이 필요함**

□ 내진성능 향상을 위한 TRC 영구거푸집 상세개발 및 실험적 성능평가의 필요성

○ TRC 영구거푸집 모듈 및 접합상세 개발

- TRC 영구거푸집의 내진성능 향상을 위하여 다양한 거푸집 형상에 대해 충분한 검토를 통한 일체화에 대한 연구가 수행되어야 함
- 거푸집과 부재와의 일체화뿐만 아니라 운반 및 작업의 편의성을 확보하기 위하여 TRC 영구거푸집의 모듈화 및 접합 상세 개발은 필수적임

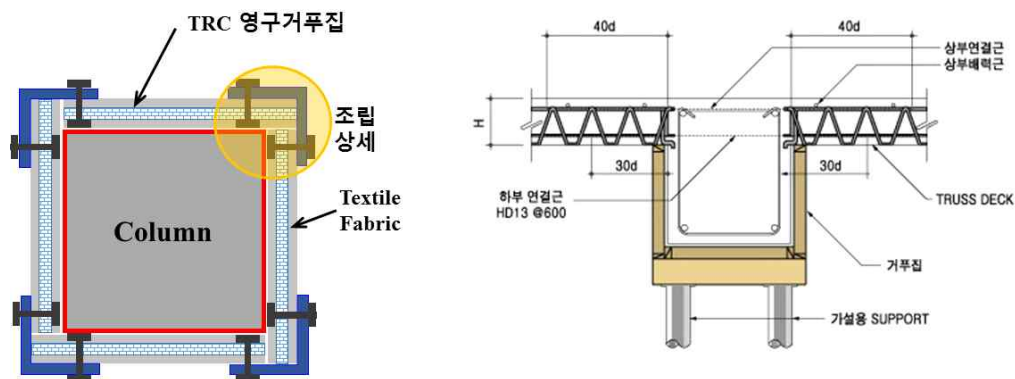


그림 14. TRC 영구거푸집 조립 및 접합상세 개발 개략도

○ TRC 영구거푸집 적용 RC기둥의 실험적 성능평가의 필요

- TRC 영구거푸집을 콘크리트 부재에 적용하기 위하여 재료 실험을 통하여 다양한 형상에 따른 TRC의 재료 성능을 평가할 필요가 있음
- 거푸집의 특성 상 콘크리트 타설 시 측압에 대하여 파손될 우려가 있으므로, 콘크리트의 유동성을 고려한 측압실험 수행을 통한 성능평가는 필수적임
- TRC 영구거푸집의 내진성능을 평가하기 위하여 부재수준에서의 압축 및 정적반복 가력실험과 함께 시스템 수준에서의 성능을 평가할 필요가 있음

□ TRC 거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발의 필요성

○ TRC 복합재료의 대표 물성을 정확하게 평가할 수 있는 기법 확립의 필요성

- TRC 재료는 현재 건설 분야에서 널리 쓰이는 구조용 강재처럼 균질한 재료가 아니라 산업용 직물섬유와 콘크리트가 복합된 소재로 구조 보강재로써 기계적 성능이 우수할 뿐 아니라 물성이 매우 복잡함
- TRC 영구거푸집을 개발하여 구조부재에 적용 및 설계하기 위해서는 탄성계수, 포아송비 등과 기본적인 물성치 뿐 아니라 강도에 대한 정보가 필수적임
- TRC 재료의 물성치 및 강도를 측정하기 위해 기본적으로 실험을 수행해 필요한 물성치를 얻을 수 있으나 TRC의 다양한 재료 배합 및 직물섬유의 형상에 대해 수많은 실험을 수행하는데 있어 비용 및 시간의 측면에서 어려움이 있음

- 따라서 이를 보완하고 편의성을 높이기 위해 그림 15에 나타난 것과 같은 미소역학 (micromechanics) 기반의 이론적/해석적 방법을 이용해 TRC 재료의 물성을 평가하는 방법을 이용하는 것이 유용하며, 이러한 방법을 통해 얻은 TRC 물성 관련 정보는 TRC 영구거푸집을 장착한 구조 부재의 유한요소해석에 직접적으로 활용될 수 있음

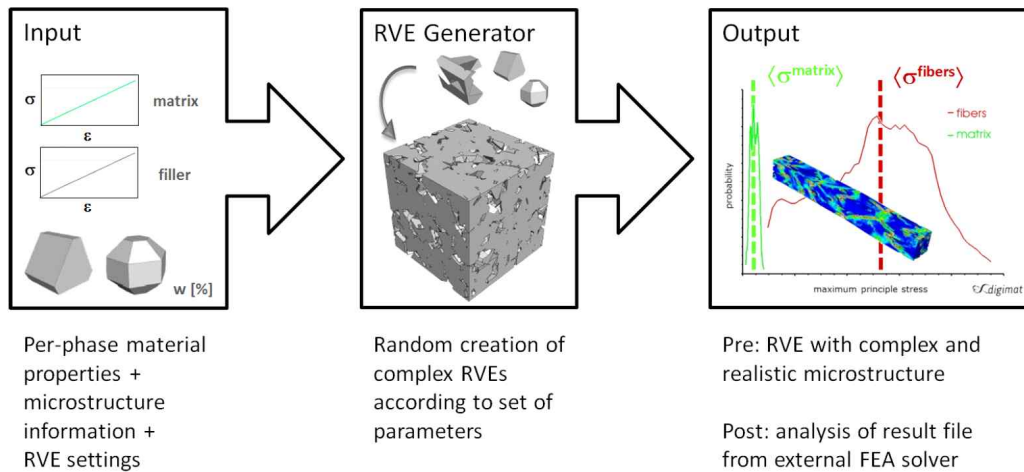


그림 15. 미소역학 기반 TRC 복합재료 물성 평가기법

○ 3차원 유한요소해석을 통한 TRC 영구거푸집의 성능 최적화

- TRC 영구거푸집은 콘크리트 타설 시 발생하는 측압에 대해 안전하도록 설계 및 제작되어야 하며 콘크리트 경화 후에는 일체화된 구조 부재로 성능을 발휘하여야 함
- 이를 만족시키는 TRC 영구거푸집을 개발하기 위해서는 다양한 형상 및 산업용 직물섬유 배합 등에 대하여 그 성능을 평가해 최적화된 조합을 찾아낼 필요가 있음
- 실험적 성능평가를 수행하기 이전에 3차원 비선형 유한요소해석을 활용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 다양한 조합에 대해 그 성능을 평가하여 최적화된 성능을 지닌 TRC 영구거푸집 제품 개발에 소요되는 비용 및 시간을 절감시킬 수 있음

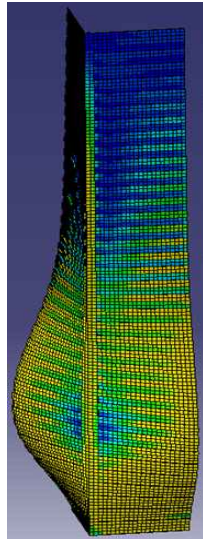


그림 16. TRC 영구거푸집 국부 유한요소해석

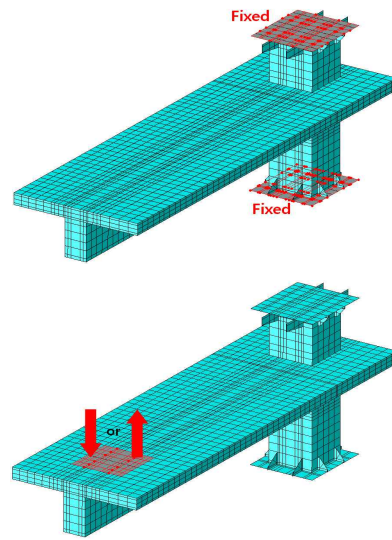


그림 17. TRC 영구거푸집을 적용한 구조부재의 유한요소해석

○ TRC 영구거푸집이 적용된 구조 부재의 내진성능 평가를 위한 해석모델 개발

- 현재 구조물의 내진설계 기법은 구조물의 최소 내진성능 확보를 위한 사양적 설계에서 벗어나 지진 강도에 따른 구조물 의 목표 내진성능을 정하고 이를 달성할 수 있도록 설계하는 성능기반 내진설계가 개발되어 점차 표준으로 자리 잡고 있는 상황임
- TRC 영구거푸집이 적용된 구조물에 성능기반 내진설계를 적용시키기 위해서는 이에 대한 적절한 해석모델을 개발하여 설계지진에 해당하는 지반진동에 대해 어느 수준의 내진성능을 달성할 수 있는지 정확하게 파악할 필요가 있음

□ TRC 영구거푸집의 BIM 사전시공(pre-construction) 필요

○ BIM pre-construction을 통한 시공성 향상 및 시공 품질 증대

- 2016년부터 조달청에서 맞춤형 서비스로 집행하는 모든 건설공사에 BIM 설계 도입을 의무화 하였으며, 이에 따라 해당되는 모든 설계는 BIM 모델이 생성되지만, 이를 시공 및 유지관리 단계까지 활용하는 사례는 미흡함
- 이는 실제로 설계단계와 시공단계에서 각각 요구되는 정보의 종류, 수준, 표현방식 등이 서로 다르기 때문이며, 이로 인해 시공단계에서는 설계단계에서 작성된 BIM 모델을 활용하지 못하고 새로운 BIM 모델을 만들어 활용하고 있는 실정임
- BIM 사전시공은 설계단계에서 작성된 BIM 모델을 활용하여 시공단계의 활용 목적에 맞게 최적화하는 프로세스로, 도면상의 오류·설계상 간섭·누락 요소 등을 사전에 해결할 수 있으므로 실제 시공과정에서의 분쟁이나 재시공 등을 방지할 수 있어 예기치 않은 원가 상승이나 공사기간 지연을 미연에 방지할 수 있음
- 사고·재해·재난에 대한 사전 시뮬레이션으로 안전성 향상에 기여할 수 있음

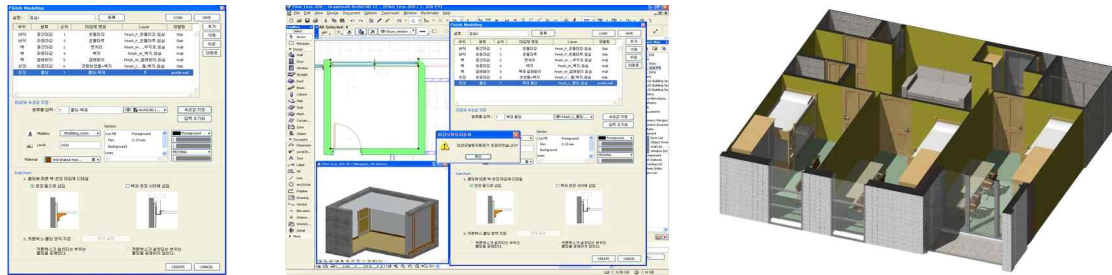


그림 18. 모델링 자동화 구현 사례 (김성아 외, 2009)

○ 거푸집 물량 산출의 효율성 향상

- 거푸집은 철근콘크리트 공사 중 공사기간을 결정짓는 반복되는 가설 공정으로 인해 공법에 따른 변경요인이 크므로 공사비나 공기절감의 주요대상으로 여겨짐
- 여전히 시트 양식을 사용하여 작업자가 직접 기입하는 식의 2D기반 전통적인 방식이 많이 사용되고 있으며, 컴퓨터의 보편화로 인해 스프레드시트 등 프로그램을 활용하게 되었으나, 수계산과 반복입력 등이 간소화되었을 뿐임
- 기구축된 BIM 모델을 활용하여 거푸집 물량 산출을 자동화하면 수기로 확인하는 방식에 비해 정확도 및 신속성을 향상시킬 수 있음

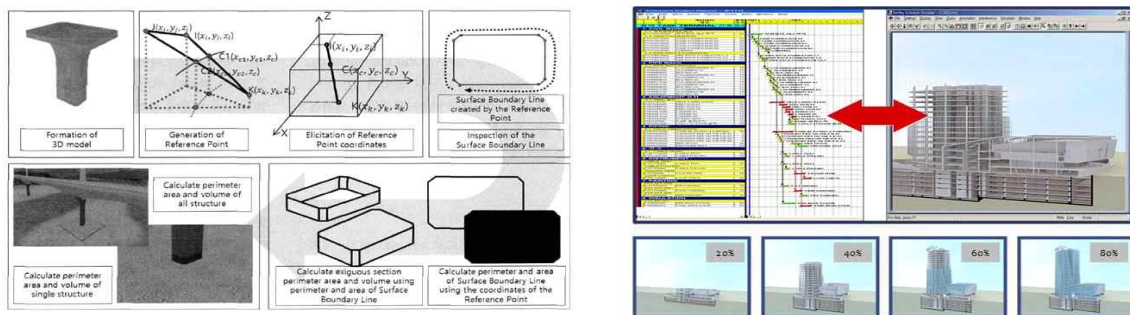


그림 19. (좌)물량산출 자동화 알고리즘 사례(하철석 외, 2014), (우)BIM 사전시공 사례 (주)공관 홈페이지 <http://www.kongkwanco.kr>

○ 다양한 TRC 영구거푸집 형상의 구현 및 제작 기술 필요

- 비정형 건축물의 경우 곡면의 유형, 곡률에 따라 외피가 결정되므로 그에 따른 공사비, 공기의 예측이 어려움
- 2014년에 개관한 서울 동대문 디자인 플라자(DDP)의 경우에도 설계와 시공 사이의 차이로 인한 공기가 처음 예상보다 1년 반 정도 길어졌으며, 공사비 또한 처음 예상과 다를 뿐만 아니라 공기가 길어짐에 따른 추가비용에 따른 문제로 서울시와 공사를 맡았던 삼성물산과의 마찰이 있었음
- BIM기반 3D 모델링의 속성정보를 이용하여 정확한 물량산출 및 공기를 예측할 수 있기 때문에 이를 통한 공사비 절감을 기대할 수 있음

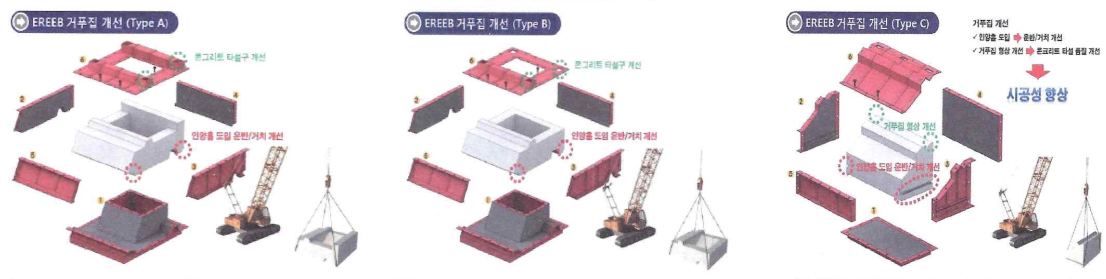


그림 20. 시공매뉴얼의 거푸집 조립도 및 개선안 사례

다. 기획목적 및 내용

- 본 기획연구는 “내진성능 향상 및 공사비저감을 위한 RC기둥의 TRC 영구거푸집”을 개발하고 충분한 검증을 통하여 실현되도록 하는 것을 목적으로 함
- 건설공사에서 가장 집중이 되고 있는 공사비를 저감할 수 있으며, 특히 최근 경주 및 포항지역에서 발생한 지진피해 및 최근 대경권을 중심으로 증대되고 있는 재난 발생에 대응할 수 있는 기술개발을 목적으로 함
- 개발 제품에 대해 급속시공이 가능하며, 충분한 내진성능 및 구조적 안전성 확보가 가능하도록 설계기준(안)을 개발하고자 함
- 이를 기반으로 대경권 지역의 경제성을 향상시키고 재난으로부터 안전성을 확보함으로써 대경권 관련 업계의 경쟁력 강화와 지역의 이미지를 향상시키고자 함

제 2 장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

- 최근 세계적으로 중국(2008), 아이티(2010), 일본(2011), 네팔(2014) 지진 등이 발생하여 지진 발생에 대한 우려가 커지고 있는 중에 우리나라에서도 경주(2016) 및 포항(2017) 지진으로 심각한 재산피해 및 재난피해자가 발생하여 정부 및 관계 부처는 이러한 지진 피해에 대비하기 위한 노력으로 관련 법령을 제정하고 내진보강정책을 수행하고 있음.
- 따라서 본 장에서는 국가별 지진 관련법령, 내진기준, 내진보강정책 등을 비교하여 우리나라의 내진관련 정책의 지향점을 파악하고 이에 대응할 수 있는 기술개발의 필요성을 파악하고자 함.

가. 국내 지진 관련 법령 및 정책

□ 국내 지진 관련 법령

- 1962년 건축법에 제10조 구조내력부분에 건축물의 지진에 대한 안정성을 추가함
- 1967년 풍수해대책법을 자연재해로부터 국민을 보호하기 위하여 제정하였으며 이에 포함된 재해는 홍수·호우·폭설·해일 및 기타 이에 준하는 자연현상이라고 지칭하였음
- 1988년 건축법에 홍성지진 및 1985년 멕시코내진설계 기준이 반영됨
- 1996년 풍수해대책법이 1995년 고베 대지진 영향으로 지진(지진해일)을 추가로 포함시키며 전폭 개정하였고 자연재해대책법으로 명칭이 바뀜
- 2008년 쓰촨성 대지진의 발생 이후 자연재해대책법에 포함되어 있는 자연재해 대비 및 대책을 별도로 분리하여 법으로 제정함
- 2013년 개정된 건축법에 세계적인 대규모 지진에 대한 건축물 안정성 강화를 위하여 건축물의 중요도에 따라 내진등급을 설정함

□ 내진관련 설계기준 및 대상 변천사항

- 1988년(건축법 시행령 16조) 6층 이상, 연면적 100,000㎡ 이상 내진설계 기준을 적용함
- 1995년(건축법 시행령 32조) 6층 이상, 연면적 10,000㎡ 이상 건물의 경우 지진에 대한 구조안전성을 확보함
- 2005년(건축물 구조기준 등에 관한 규칙 제7조) 지진 I구역, 중요도 특·1급의 건물의 경우 내진설계 대상에 포함됨(3층 이상, 연면적 1,000㎡ 학교시설 포함)
- 2009년 4월(건축법 행정규칙 학교시설 내진설계기준 고시) 2008년 쓰촨성 대지진 후 학교시설 내진설계를 위하여 모든 초/중/고등학교가 내진설계 대상에 포함됨
- 2009년 12월(건축물 구조기준 등에 관한 규칙 제57조) 지진 I구역, 중요도 특·1급

- 건물 준공시 구조설계도서, 구조안전 및 내진설계확인서 의무 제출(건축물허가서류)
- 2014년(건축법 시행령 32조) 3층(연약지반일 경우 2층)이상, 연면적 1,000㎡ 이상일 경우 구조안전을 확인함
 - 2015년(건축법 시행령 32조) 3층 이상, 연면적 500㎡ 이상의 건축물은 내진설계 의무대상으로 지정
 - 2017년(건축법 시행령 32조) 2층 이상, 연면적 200㎡ 이상(목구조 건축물의 경우 500㎡ 이상)의 건축물과 모든 신축 주택(단독주택, 공동주택)까지 내진설계 의무대상 확대

□ 국내 지진 관련 정책

- 국내 내진설계기준은 1985년 멕시코 대지진 이후 1988년 내진기준이 제정되었고, 6층 이상 연면적 10,000㎡ 이상에 대해서 내진설계를 하도록 건축법으로 규정한 계기로 시설물에 대한 내진설계가 적용됨
- 국내 내진설계가 적용되어있지 않은 기존 건축물에 대한 안전정책은 지진에 대한 피해 및 우려가 없어 별도로 존재하지 않다가 최근 아이티, 칠레, 중국 등 세계적으로 대지진 피해가 발생하자 정부는 지진재해 대비를 위하여 주요 기간시설 및 공공시설 대상으로 “기존시설물 내진보강 기본계획(11~15)(국민안전처, 2010)”을 수립하였음

표 1. 기존시설물 내진보강 기본계획의 목표 및 주요내용 (소방방재청, 2009)

목표 및 주요내용
(1) 31종 기존시설물별 내진실태조사를 통해 국내 시설물의 내진실태 현황을 파악함.
(2) 31종 시설물별로 국내실정에 적절한 내진성능평가 및 내진보강방안을 제시함.
(3) 시설물별 중요도 구분을 통한 내진성능평가 및 보강 우선순위를 결정함.
(4) 시설물별 내진보강 소요예산을 산정하여 중·장기계획에 반영함.
(5) 내진성능 평가기관의 육성·지원 방안을 수립함.
(6) 내진보강 사업추진을 위한 재원확보 방안을 마련함.

- 정부는 지진재해대책법으로 내진설계가 의무화되기 전에 설치된 공공시설물의 내진기능을 단계적으로 보강하기 위해 기존 공공시설물 내진보강 기본계획을 세워 2011년부터 5년간 1단계 내진보강 기본계획을 추진한 결과 내진보강률이 37.3%에서 42.3%로 개선되었음
- 2015년에는 2016년부터 2020년까지 시행할 2단계 기존 공공시설물 내진보강 기본계획을 수립하였고, 2016년 9.12 경주 지진을 기점으로 2020년까지 지진대응체계를 완비하는 것을 목표로 지진 조기경보 및 국민안전교육 강화, 내진설계 의무화 대상 확대, 단층에 대한 체계적인 조사 등의 대책을 수립하였음

표 2. 기존 공공시설물 내진보강 기본계획의 추진전략 및 주요내용 (국민안전처, 2015)

추진전략	주요내용
(1) 공공시설물 내진성능 실태 조사	• 전수조사를 통한 공공시설물 내진성능 확보 여부 실태 파악
(2) 내진보강 우선순위 결정	• 시설물의 내진성능수준, 규모, 사회 및 경제적 중요도에 관한 자료를 통해 내진보강 우선순위 설정 • 소관기관의 경제, 사회, 행정적 여건도 병행 고려
(3) 내진보강 증장기계획 수립	• 부처별, 시도별, 시설물별 소요예산 등 증장기 내진보강 계획 수립
(4) 내진보강 가이드라인 제시	• 내진보강판정을 위한 예비평가 후 상세평가 체계 확립 • 상세평가 후 내진성능 미흡 시설물을 7종의 대표 구조물로 구분 각 대표구조물별 내진보강 가이드라인 제시 *대표구조물: 건축물, 교량, 지중구조물, 상수도 및 매설관로, 댐, 항만, 기초구조물

- 2017년 3월에는 국민안전처에서 건축물, 도로, 학교 등 공공시설물에 대한 내진보강 대책을 수립하여 발표하였음
- 2017년 11월 15일에는 경북 포항에서 지진이 발생하여 당일 1,316명이 실내체육관 등에 대피하고 2018학년도 대학수학능력시험이 미뤄지는 등 지진으로 인한 피해조사 및 해당지역의 응급구호를 우선적으로 실시하였고 이후에 후속 대책을 발표함

표 3. 포항 지진 피해 후속 대책 (행정안전부, 2017)

후속 대책	주요내용
(1) 학교시설 지진 피해 복구비 지원	• 학교시설 피해 복구비로 총 280여억 원을 지원 예정
(2) 144개교에 대한 내진보강을 지원	• 포항을 포함한 피해지역의 218개 학교 중 내진보강이 되어있지 않은 곳에 복구계획에 반영 및 지원 예정
(3) 재난특교세 추가 지원	• 포항시의 재정 부담을 덜어주고, 신속한 피해수습을 위해 재난특교세 40여억 원 추가 지원 예정
(4) 이재민 주거 안정 대책 및 재난 심리 서비스 강화	• 임대주택의 추가 물량 확보 • 장기 거주 필요 이재민의 임대 기간 연장 방안 검토 • 피해주민 자택 방문 포함, 재난 심리 서비스 지속적 추진
(5) 관련 절차 간소화 방안 포항시와 협의	• 피해를 입은 공동주택 재건축 시 추진위원회나 조합 설립 없이 지자체가 시행자로 참여 예정

나. 국외 지진 관련 법령 및 정책

□ 일본의 지진 관련 법령

- 1923년 관동 대지진을 계기로 내진설계의 필요성을 느껴 1924년에 내진설계에 대한 지침이 도입되었음
- 1981년 신내진기준 시행으로 강화된 내진설계기준이 제정되었으며 문부과학성은 이 기준 제정 이전에 지어진 학교건물의 내진화를 추진하였음
- 1995년 효고현 남부에 발생한 동일본 대지진으로 인해 피해를 받은 건물을 조사한

결과 신내진기준 시행 후 건축된 건축물은 큰 피해가 발생하지 않은 것으로 밝혀져 기존 시행 이전의 학교건물에 대한 내진화 추진 필요성이 강하게 지적되었음. 건설부에 의해 학교를 포함한 공공의 목적으로 사용되는 건물의 내진화를 의무화하는 법이 제정되었음

□ 일본의 지진 관련 정책

- 일본의 경우 1995년 1월에 발생한 한신·이와지 대지진 이후 ‘건축물의 내진 개수 촉진에 관한 법률(이하 내진개수촉진법)’을 제정하여 기존 건축물의 내진 보강 사업을 지속적으로 추진하였지만 2013년에 약 900만호의 주택과 6만호의 다중이용건축물에서 내진 성능이 확보 되지 않은 것으로 조사되어 당해 11월에 내진개수촉진법을 개정하였음
- 개정된 내진개수촉진법에서는 주택 및 다수가 이용하는 건축물에 대해서 내진화율을 2020년까지 95%로 상향시키는 것을 목표로 하고 있고 병원, 학교, 호텔 등 불특정 다수가 이용하는 대규모 건축물에 대하여 내진 진단의 실시 및 결과 보고가 의무화됨
- 내진진단 결과, 구조 안전에 위험이 있다고 판정되면 내진개수 공사를 요구하지만 이에 대한 비용 부담을 경감하기 위하여 국가나 지자체에서 자금 보조, 세제 혜택, 대출 등 다양한 지원 대책을 마련하고 있음

표 4. 내진진단 비용 (일본 내각부, 2011)

건축물의 종별		내진진단비용
목조주택		12~25만엔 정도 (도면이 있는 경우)
철근콘크리트조	연면적 3,000m ² 미만	평균 3.247엔/m ²
	3,000 ~ 5,000m ²	평균 1.443엔/m ²
	5,000m ² 이상	평균 1.128엔/m ²

□ 미국의 지진 관련 법령

- 미국의 내진관련 법령은 1933년 캘리포니아 주 의회에서 발의된 The Field Act와 The Riley Act가 있으며, The Field Act는 1933년 3월 10일에 발생한 Long Beach 지진 이후 한 달 내로 캘리포니아 주 의회에서 통과된 법안으로 내진설계의 주체, 검토기관, 시공업체의 역할 등을 규정하고 있음
- The Riley Act는 Long Beach 지진 이후 발효된 또 다른 법안으로 캘리포니아 주의 모든 건물은 규정된 횡력에 저항할 수 있게 설계되도록 규정하고 있으며, 이 법안은 1999년 모든 공립학교의 비구조재의 안전성을 확립하기 위하여 통과되었음
- 미국 캘리포니아의 내진기준들은 국제코드위원회(International Code Council), 건물 내진안전협의회(Building Seismic Safety Council), 미국토목학회(American Society of Engineers), 캘리포니아 지질 조사 및 미국 지질 조사 전문기관에 소속된 전문가 또는 학계 전문가에 의해 개발되며 18개월 마다 세부 규정을 업데이트 하며 3년마다 대규모 개정을 함

□ 미국의 지진 관련 정책

- 미국은 1988년에 제정된 스탠포드법에 근거하여 미국 연방 대통령은 재난이 발생한 지역을 ‘주요재난지역’으로 선포하여 재난지역의 피해자들을 지원할 수 있고 주 정부와 지방정부가 대규모의 피해를 입어서 재난에 대하여 효율적으로 대응하기 어려울 경우에는 연방정부에서 주정부와 지방정부에 지원을 할 수 있음

표 5. 스탠포드법 주요내용 (이진수, 2017)

항목	주요내용
(1) 재난대비 및 경감지원	재난대비 프로그램, 재난경고, 재난 전 위해 경감, 행정 기관간 대응팀 구성 등의 규정사항
(2) 주요재난과 위기에 대한 지원 행정	주요재난과 위기가 발생한 경우의 행정지원체계에 대한 사항
(3) 주요재난지원 프로그램	연방 대통령은 연방정부의 권한과 자원을 활용하여 주정부나 지방정부의 재난 대응을 지원
(4) 연방정부의 위기지원 프로그램	연방 행정기관은 위협에 대한 경고, 안전에 대한 정보 제공, 건강과 안전을 위한 조치를 제공, 위협을 관리 및 통제 등의 역할 수행
(5) 위기대비	연방위기관리청장은 위기대비활동 및 재난에 대한 대응에 있어 주도적인 행정기관으로 역할 수행

- 미국은 재난의 종류와 관계없이 그에 대한 대응에는 공통적인 프로세스가 있다는 전제 하에, 이른바 ‘모든 위협’을 대상으로 하는 대응모델(All Hazard Model)을 채택하고 있고, 이를 통하여 허리케인, 지진, 폭설 등의 자연재해, 사람에 의하여 발생하는 테러, 각종 폭발 사고 등의 재난 등에 공통적으로 대응함
- 2004년에는 국가차원의 재난대응 계획인 NRP(National Response Plan)를 마련하였고, 2008년에 NRF(National Response Framework)를 도입해 재난을 국가적 차원에서 극복할 수 있는 체계를 수립함

2절 국내외 시장현황 및 전망

□ 공공시설물 적용 TRC 영구거푸집 향 후 전망

- 조달청에서 제공하고 있는 보고서에서 2010년도부터 2016년도 까지 발주된 시설물 중 최근 포항에서 가장 많은 피해를 입은 학교 및 공공 시설물에 대하여 분석한 결과, 연간 평균적으로 초등학교 5건, 중/고등학교 5건, 및 청사(일반 및 대형) 12건으로 적지 않은 공사가 발주됨. 또한 그 외에도 경찰서, 우체국, 연구소 등 다양한 시설물에서도 연간 많은 공사가 진행되고 있으며, 이러한 공사는 규모가 보통 주택보다도 크므로 많은 공사비가 소요됨

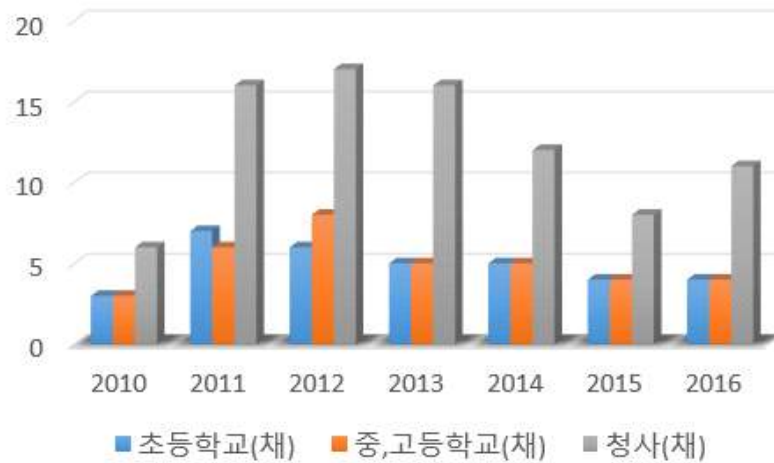


그림 21. 2010년부터 2016년까지의 공공시설물 발주 현황(조달청, 2011~2017)

- 각 시설물에서 거푸집에 적용되는 공사의 비율은 보통 골조 공사비의 30~40%임. 따라서 각 공공 구조물에서의 골조 공사 비율은 전체 공사비에서 최소 24%부터 최대 40%이므로, 거푸집 공사비는 전체 공사비의 약 10~20%임

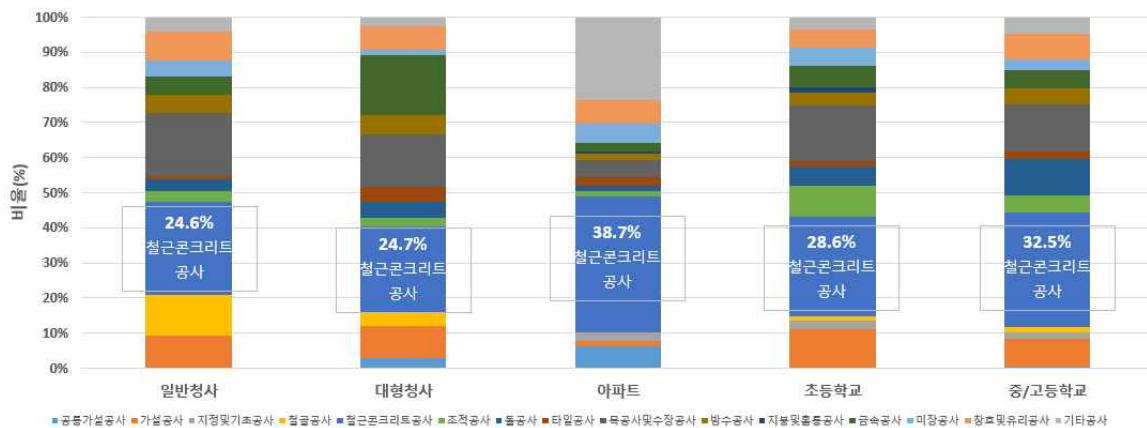
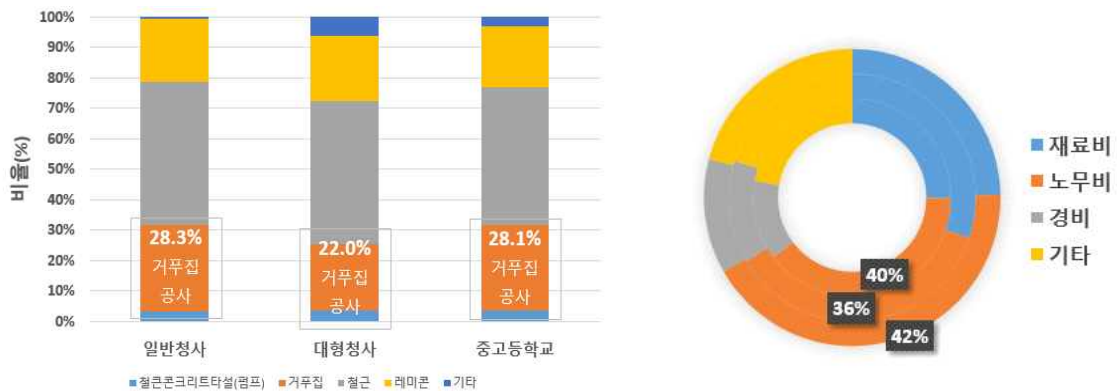


그림 22. 공공시설물 공사비에 따른 골조공사비 금액 비율

- 재료비, 노무비, 경비, 기타 등을 비교 분석하면, 노무비가 전체 공사비의 평균 40%로 가장 높은 비율로 나타나, 비탈형 영구거푸집을 활용한다면 불필요한 노무비용의 절감이 가능하므로 전체 공사비저감을 유도할 수 있음



(a) 공공시설물 별 골조공사에서의 세부에 따른 금액 비율 (b) 전체 공사에서 노무비의 비율
그림 23 공공시설물에서의 거푸집 공사 금액 분석

□ 내진성능 확보에 대한 향후 전망

- 공공 시설물을 포함하여 국가적 주요 구조물에 대한 향 후 내진성능 확보 계획에 대하여 공공 시설물 전체에서는 20년까지 54%, 교량에 대해서는 18년까지 100%, 철도 구조물에 대해서는 19년까지 100%, 학교에 대해서는 34년까지 100%, 공항 구조물에 대해서는 18년까지 100%로 계획되어 있음

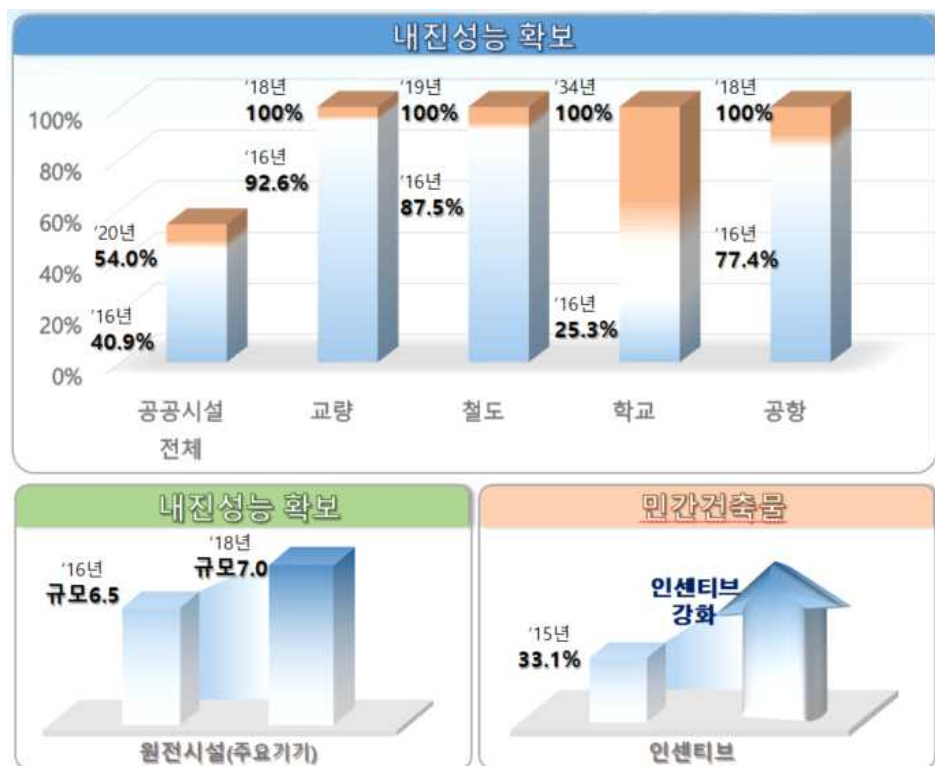


그림 24. 공공시설물 내진성능 확보 현황 및 향후 계획

- 16년도 기준으로 내진성능 확보된 현황으로는 공공 시설물 전체에서는 40.9%, 교량에 대해서는 92.6%, 철도 구조물에 대해서는 87.5%, 학교에 대해서는 25.3%, 공항에 대해서는 77.4%에 불과함

- 학교의 경우 포항 지진에서도 많은 피해를 입었지만 내진성능이 확보된 구조물은 25.3%에 불과하며, 34년까지 모든 학교에 내진성능을 확보하겠다는 국가 정책과 최근 지진으로 인한 피해사례로 인하여 구조물 보수/보강 시장은 증가될 추세임
- 국토교통부는 2018년 도로와 철도 등 SOC 내진보강을 위해 1,474억원을 지원할 예정이며, 지진에 취약한 건축물을 조사하고 내진보강 전략 마련을 위해 건축안전(내진) 예산을 새롭게 13억원을 추가 지원한다고 발표함

□ 성능기반 내진설계 관련 시장현황 및 전망

- 성능기반 내진설계는 미리 설정한 내진성능 목표에 따라 구조물의 내진 설계를 수행하는 것으로 1994년 미국 노스리지 지진 이 후 구조물의 내진설계 방법에 대한 패러다임 변화로 성능기반 내진설계(Performance-Based Seismic Design)가 도입되기 시작하였고, 최근에는 구조기술자에게 익숙한 최대지반운동가속도, 구조물의 주기에 대한 스펙트럼 가속도 등과 같은 물리량을 사용하는 대신 건축물의 사용자도 쉽게 이해할 수 있는 지표를 사용하는 차세대 성능기반 내진설계 기법이 개발됨

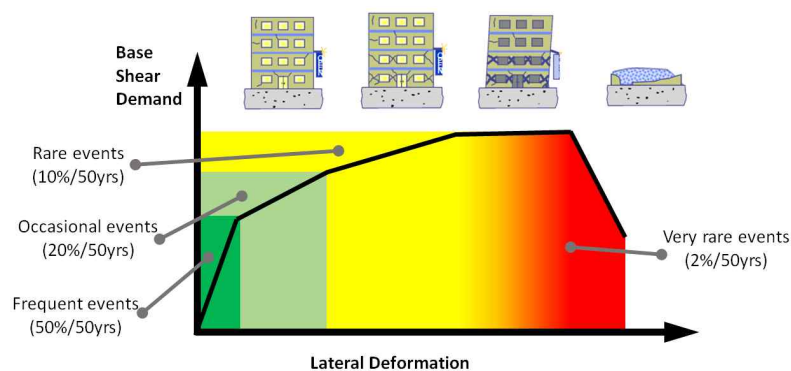


그림 25. 성능기반 내진설계 개념도

- 최근 한반도 인근 지역의 빈번한 지진발생에 따른 지진의 위험성 증가로 인하여 내진설계기준이 마련되기 이전에 건설된 기존 철근콘크리트 구조물의 내진성능 평가 및 내진보강에 대한 관심이 증가되면서 신축 구조물에 대한 신뢰성 있는 내진설계를 위해 성능기반설계방법의 도입이 모색되고 있는 중이고 현재, LH공사에서는 자체적으로 공동주택설계에 성능기반설계법을 개발하여 적용하고 구조물의 내진성능 평가 및 성능기반설계시 요구되는 비선형 해석을 위한 구조요소의 포락곡선(Backbone curve)은 FEMA356에서 제시하는 모델링 상수와 허용기준을 활용하고 있음(윤현도 외, 2016)
- 현재 건축구조기준(KBC2016)의 성능설계법 항목에서 구조부재, 비구조부재 및 그 연결부는 강도설계법에 따라 설계된 부재에서 기대되는 신뢰성 이상의 강도·강성을 보유한 것이 실험과 해석에 의하여 입증되어야 함을 요구함. 또한 지진저항력시스템을 성능설계법으로 설계하고자 할 때 표 6에 나타난 바와 같이 내진등급에 따른 최소성능목표 및 지진위험도를 제시하였음

표 6. 내진등급과 성능목표 (KBC2016, 0306.9 성능설계법)

내진등급	성능목표	
	성능수준	지진위험도
특	기능수행(또는 즉시거주)	설계스펙트럼가속도의 1.0배
	인명안전 및 붕괴방지	설계스펙트럼가속도의 1.5배
I	인명안전	설계스펙트럼가속도의 1.2배
	붕괴방지	설계스펙트럼가속도의 1.5배
II	인명안전	설계스펙트럼가속도의 1.0배
	붕괴방지	설계스펙트럼가속도의 1.5배

- 건축구조기준(KBC2016)의 성능설계법 항목에 따르면 구조물에 대한 내진성능 검증을 위해 비탄성정적해석과 비탄성동적해석법의 두 가지 방법을 모두를 사용하여야 하고 성능설계 결과는 설계자를 제외한 2인 이상의 내진공학 전문가로부터 그 타당성을 검증받도록 규정하였기 때문에 구조물의 내진성능 평가를 위한 적절한 해석모델이 반드시 필요함

□ 거푸집 관련 BIM 시장현황 및 전망

- 국토교통 R&D 전문기관인 국토교통과학기술진흥원의 국토교통부 연구개발 사업 중 하나인 초고층 빌딩 시공간기술연구단에서 비정형 테이블폼을 개발하여 2011년 12월 부산국제무역센터(지상 63층, 시공사 현대건설), 2012년 5월 시흥 6차 푸르지오 현장(지상23층, 시공사 대우건설)에 시범 적용하여 기술력과 실용성을 검증받음 (건설경제, 2014)

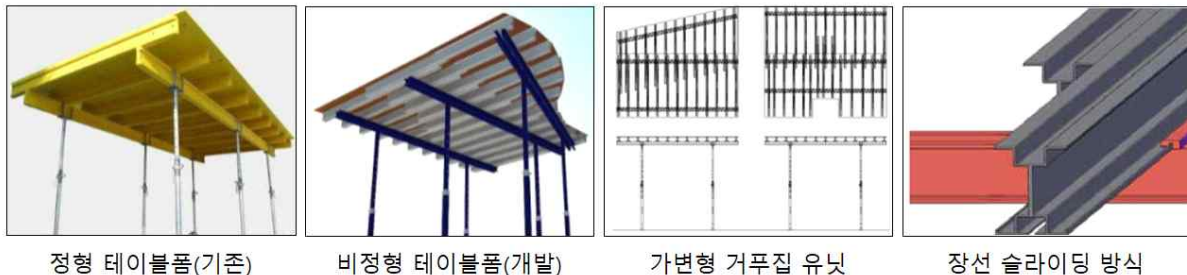


그림 26. 비정형 테이블폼(임현수 외, 2011)

- 국내 3D 거푸집 제작업체인 (주)뉴폼코리아에서는 국내 최초로 3차원 비정형 스틸거푸집을 설계하였으며 제작기술 개발에 성공하였으며 국내 현장은 물론이고 해외로도 수출을 하고 있음



그림 27. 뉴폼코리아 3D 비정형 거푸집 소개

- 초고층의 비정형화 추세는 앞으로도 지속될 것으로 판단되며 향후 비정형 거푸집 시장비율이 지속적으로 증가할 것으로 예상되며(조훈희 외, 2014), 비정형 외피재현을 위한 프로세스 개발 연구가 이루어지고 있음(임진규 외, 2014)
- 건축분야 이외의 기계분야에서는 비정형 거푸집을 만들 수 있는 가공기계에 관한 연구도 이뤄지고 있음
- 비정형 거푸집, 3D 프린터를 이용한 거푸집 생산기술 등은 개발되고 있으며 공사비 절감, 공기단축을 위한 거푸집연구의 중요성이 고조되고 있고 BIM을 이용하여 거푸집 물량산출 등을 하려는 노력은 계속 진행 중이지만, 형태적으로 다양해지는 건축물에 대응할 수 있는 거푸집 형태 생성 기술에 대한 개발은 아직 미흡한 실정임
- 이에 현재의 실정에 발맞추어 파라메트릭 거푸집 모델링 기술에 대한 연구가 이뤄져야 할 것으로 사료됨

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

가. 특허 동향

□ 영구거푸집 관련 특허 동향

- 비탈형 및 영구거푸집 관련 특허 중 일본이 54%로 가장 많은 특허를 보유하고 있으며, 한국의 경우 약 21%의 특허를 보유하고 있음. 대부분의 특허의 경우 새로운 방식의 영구거푸집 개발보다는 **시공방법에 대한 특허가 주를 이루고 있음**
- 국내 특허 동향을 분석한 결과, 대부분의 영구거푸집은 공사기간 단축을 위한 용도로 제작되어있으며, **내진성능 향상을 목적으로 하고 있는 기술은 미비함**
- 가장 많은 특허를 보유한 일본의 경우에도 구조물의 외관, 석회 세척양, 공사기간 단축 등 다양한 용도와 재질의 영구거푸집이 존재하지만 TRC를 이용하거나, 내진 성능향상을 위한 용도로 출원된 특허는 미비함

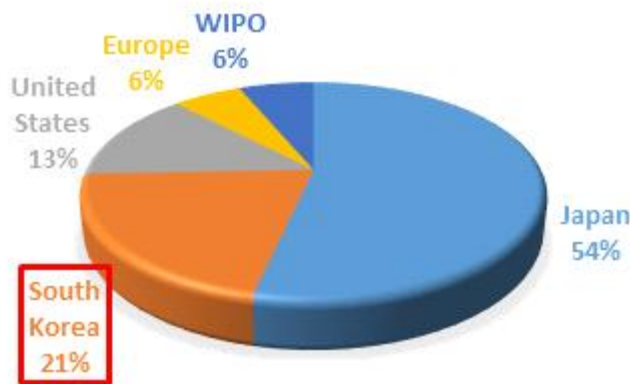


그림 28. 비탈형 및 영구거푸집 관련 특허 동향

표 7. 영구거푸집 관련 특허 동향

출원국	출원번호	특허명	내용
한국	10-2014-00155726	성형강판을 이용한 기동 영구거푸집	콘크리트 타설 시 거푸집의 역할을 하며, 콘크리트 경화 후 콘크리트와 일체로 합성되고 콘크리트에 대한 구속효과를 부여하는 성형강판을 이용한 영구거푸집임
한국	10-1995-0039467	브릭 형의 영구 거푸집	콘크리트를 성형하기 위하여 목재와 철재를 사용하여 거푸집을 설치하고 성형 후에는 탈형을 하지 않는 브릭 형의 영구거푸집임
한국	10-2009-0109770	강섬유 보강 시멘트 복합체를 사용한 고내구성 프리캐스트 영구 거푸집	시멘트, 반응성 분체, 모래, 충전재 및 강섬유로 구성된 강섬유 보강 시멘트 복합체를 사용하고, 콘크리트와 일체성을 확보하기 위해 돌기 형태의 리브와 굽은 골재로 구성된 표면을 가진 영구거푸집임
한국	10-2012-0018331	선조립 기동용 영구거푸집	PRC 및 PSRC의 철근망 제작 단계에서 거푸집을 미리 부착하고 현장에서 콘크리트 타설만으로 기동이 완성되는 영구거푸집임

일본	JP-0307827	Fiber-Reinforced Concrete-Made Permanent Form	공장에서 미리 제조 할 수 있는 섬유 강화 콘크리트 영구거푸집으로서, 경량의 형태로 운반이 용이하며, 현장에서 간단하게 조립 후 사용이 가능한 영구거푸집임
일본	JP-0220873	Assembling Permanent Form	경량, 취급용이, 콘크리트와 밀착성 우수 및 고급 기술이 요구되지 않으며 외부 단열이 우수한 영구거푸집임
일본	JP-0232968	Permanent Form Made of Fiber Reinforced Resin for Use of Reinforced Concrete Floor Slabs	섬유 강화 수지로 제조되었으며, 현장에서 운반이 용이 할 만큼 경량이며, 콘크리트 타설 후 슬래브의 일부가 되어 장기간 부식과 같은 외부 환경으로부터 보호하는 영구거푸집임
일본	JP-0104333	Ceramic Permanent Form and Construction Method Thereof	표면 장식용 보드로서의 역할을 수행하는 영구거푸집임
일본	JP-0256472	Wooden Permanent Form	목재로 이루어져 있으며, 석회 세척의 양을 줄이기 위한 영구거푸집임

□ Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 특허 동향

- TRC를 특허명과 초록으로 검색한 결과 국제 특허 총 55여개가 있으나 국내에 등록된 특허는 없음. TRC 관련 특허 일부분은 건축물의 구조적인 요소가 아닌 방음과 같은 용도로 출원되어있으며, 국내에서는 TRC 관련 특허는 없지만 Textile을 이용한 지오그리드 관련 특허 4건이 존재함
- 국외의 특허 동향을 살펴보면, 일부 보강을 위한 용도의 특허가 존재하지만 기초적인 방법론을 제시하고 있는 수준이며, 영구거푸집을 용도로 출원된 특허 사례는 없는 것으로 나타남

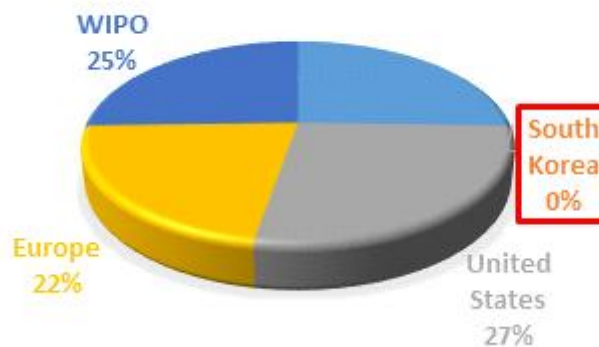


그림 29. Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 특허 동향

표 8. Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 특허 동향

출원국	출원번호	특허명	내용
오스트리아	AT-0000337	Prestressed Planar Load-Bearing Structure Made of Fiber Concrete and Textile Reinforced Concrete	섬유 콘크리트 및 직물 보강 콘크리트로 제조된 내하력을 지니는 얇은 벽 형상의 제품으로서 섬유의 프리스트레스에 의해 콘크리트와 함께 결합됨
미국	US-0402769	Textile-Reinforced Concrete Component	격자 배열에 의해 형성된 섬유강화 구조물을 포함하고 있으며, 격자모양의 섬유와 섬유 사이에 서브 횡단면을 갖는 이중로드를 포함함으로써 적절한 내하력을 지니는 복합 재료임
프랑스	FR-0051991	Composite System and Method for Reinforcing, In Particular, Structures Made from Reinforced Concrete or Masonry Comprising a Curable or Cured Matrix and Textile Reinforcement Grid Constituting Said System	경화된 매트릭스와 직물 보강 그리드를 포함하는 철근 콘크리트 또는 조적조로 시공된 구조물을 보강하기 위한 복합 시스템

□ 거푸집 관련 BIM 특허 동향

- 3D BIM 거푸집 관련 특허는 국내에 3개의 특허가 검색되었지만 다른 나라에서는 특허출원을 하지 않았음. BIM을 이용한 건축 건적 산출 및 물량산출을 위한 특허를 제외한 거푸집 관련 특허는 전무함

표 9. 거푸집 관련 BIM 특허 동향

출원국	출원번호	특허명	내용
한국	KR1020140132740	BIM을 이용한 건축 개산견적을 위한 단위단가 정보 연산 및 분류 방법	BIM을 이용한 구조 및 마감에 단위단가를 연계하여 건축물의 정보모델 생성과 함께 산출물량에 대해 개산견적을 실시간으로 확인할 수 있는 기술임
한국	KR1020140116546	건축설계 단계에서 BIM을 이용한 개산견적을 위한 자동 물량산출 연산 방법 및 정보 분류 시스템	건축설계단계(계획설계, 기본설계, 실시설계)에서 개산견적을 위한 자동 물량산출 연산 방법 및 정보 분류 시스템
한국	KR1020130019028	BIM을 이용한 골조 공사의 개산견적 연산 방법	BIM을 이용한 골조공사의 공사비 및 물량산출을 하는 방법

나. 논문 동향

□ 영구거푸집 및 Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 논문 동향

- 대다수의 연구들이 콘크리트와 영구거푸집 사이의 일체화를 위한 연구를 수행하였으며 일부 부재 실험을 통하여 휨 및 전단 거동에 대해 평가하였지만, 수평부재에 한하여 실험을 통해 평가되어 있음
- TRC를 이용한 영구거푸집 관련 논문은 없으며, TRC 경우에도 국내에서는 구조보강재 용도로서 실험적 성능평가가 수행되었지만, 기초적인 상황에 머물러 있음
- 국외의 경우 TRC를 적용한 RC보에 대하여 기존의 섬유보강과 비교를 통한 실험적 성능평가를 통해 TRC의 성능이 입증되었지만, 영구거푸집으로서의 성능을 평가한 사례는 없음

표 10. 영구거푸집 및 Textile Reinforced Concrete(TRC) 관련 논문 동향

키워드	저자	내용
영구거푸집	김형남 외 3인 (1999)	영구거푸집의 시공오차 및 주철근의 허용오차를 측정하고 영구거푸집 내부 충전용 콘크리트의 유동성 및 충전성을 분석함. 또한, 콘크리트 타설 시 문제가 되는 측압에 의한 변형을 영구거푸집과 합판거푸집으로 비교·분석하여 시공성능을 평가함
	김우재와 정상진 (2002)	영구거푸집의 가장 큰 문제점 중 하나인 콘크리트와 부착성능을 향상시키기 위하여 무기질계 영구거푸집의 내부에 여러 형상의 보강 재료를 적용하여 실험 후 분석하였음
	조규현 외 4인 (2003)	다양한 치수의 비탈형 거푸집을 생산할 수 있는 시스템 몰드에 대하여 제안함
	유승운과 배한욱 (2007)	FRP 판을 이용한 영구거푸집 및 인장 보강재로 활용을 위한 콘크리트 교량 바닥판 시스템 개발에 대한 기존의 문제인 콘크리트와의 일체성에 대하여 연구하였으며, FRP판과 타설 콘크리트 사이의 부착 및 슬립에 관한 새로운 방안을 제시하였음
	유승운 (2015)	기존의 철근 부식에 대한 문제점을 해결하고자 철근 대신 영구거푸집으로도 사용이 가능한 FRP판을 적용하여 실험을 통해 휨 및 전단 파괴거동에 대하여 분석하였음
	Fahmy et al. (2005)	균열 제어 및 충격에 우수하며, 높은 에너지를 흡수하는 영구거푸집 제작을 위해 철근 적층판을 사용하여 거푸집 제작 및 실험을 수행하여 성능을 평가하였음
Textile Reinforced Concrete (TRC)	정규산 (2017)	TRC의 안전한 사용을 위해 TRC의 박리로 인한 취성적인 거동을 보이는 TRC로 휨 보강된 RC 보의 거동을 예측하고자 실험을 수행하여 분석하였음
	박종호 (2017)	철근을 사용하지 않고 Mesh로 구성된 텍스타일의 횡방향 보강 방법 변화에 따른 부착성능을 비교 분석하고자 실험을 수행하여 분석하였음
	Larbi et al. (2010)	TRC를 적용한 RC보의 실험적 성능평가를 통하여 운반능력 및 휨 강성이 CFRP로 보강된 실험체보다 높음을 분석하였으며, Ritter-Morsch의 전단강도 예측 모델을 이용하여 실험값과 비교·분석을 통해 충분히 예측 가능성을 분석하였음
	Larbi et al. (2012)	하이브리드 솔루션을 이용하여 TRC 및 CFRP를 적용한 RC보의 실험값과 수치해석적 접근을 통하여 보강된 RC보의 전체 거동을 분석하였음

□ 거푸집 관련 BIM 논문 동향

- BIM을 이용한 거푸집의 설계에 관한 연구, 또는 BIM을 통한 물량산출로 인한 시공성 개선에 관한 연구에서 정확도 향상이 가능한 연구는 다수 있었으나 실제로 작업시간이 더 많이 소요되었거나 공기단축과 공사비 절감에 직접적인 관련을 맺기가 어려운 실정임
- 비정형 거푸집 관련 논문은 최근 들어 많이 발표되고 있으며 거푸집 제작 기계의 성능, 모듈 시공 방법 개선에 관한 연구들이 수행되었음. 하지만 아직 거푸집의 형태적인 제약에서의 한계를 보이고 있으며, 거푸집 모델의 Mock-up 단계까지 수행하여 실효성 입증에 한 연구가 미비한 실정임
- 국외의 경우 3D 프린터를 이용한 거푸집 제작에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 3D 스캐너를 이용한 역설계 등의 연구가 수행되고 있을 뿐, BIM을 이용한 거푸집 모델 자동생성을 하려는 시도는 희박함

표 11. 3D BIM기반 거푸집 관련 논문 동향

키워드	저자	내용
3D BIM 거푸집	전기현 외 1인 (2011)	BIM의 건적 활용성에 대하여 알아보고자 기본적인 콘크리트 량과 거푸집 량을 일반 2D 기반의 방식으로 물량을 산출하고, 3차원 캐드를 통해서도 같은 내용의 물량을 산출하여 BIM 건적의 활용성과 그 정확도를 검토하고 문제점들을 분석하여서 BIM의 효율성을 높이는 방법을 연구함
	황경훈 외 2인 (2012)	콘크리트 물량 부족과 과잉에 따른 낭비를 줄이고, 정확한 콘크리트 물량을 산출하기 위하여 철근 부피 공제가 콘크리트 물량에 미치는 영향에 관하여 분석하여 시공 현장에서 발생 가능한 여러 오차 원인을 배제하고, 철근 부피 공제만으로 인한 콘크리트 물량오차를 검토함
	최창훈 외 4인 (2014)	BIM기반의 물량산출 데이터를 활용하여 생산성을 분석할 수 있는 방안을 제시할 목적으로 진행하여 3D BIM기반 모델을 기반으로 부재의 물량정보를 활용하여 물량을 산출하였으며, 이를 활용하여 현장 생산성을 도출하여 통합 생산성 기준과 비교·분석함
	박성준 외 3인 (2017)	3D 형상과 텍스처를 고려한 콘크리트 구조물의 새로운 설계 과정을 제안 및 아이코닉 디자인을 사용한 파라메트릭 모델링을 사용하여 3D 폼웍을 제작함
	Mehmet Sakin (2017)	미래의 지속 가능한 주택을 위한 건물의 3D 프린터의 새로운 기술을 제시하고 BIM기술과 결합된 3D 프린팅 기술과 전통적인 건축 기술과 비교, 분석함
비정형 거푸집	이동훈 외 1인 (2015)	비정형 부재 생산을 위한 거푸집의 재료로 상변화물질 (Phase Change materail, PCM) 적용하여 비정형 콘크리트 생산 프로세스 개발함
	이동윤 외 3인 (2017)	비정형 거푸집의 생산성을 향상시키기 위한 QFD 접근법을 이용하여 사용자의 요구를 기술 특성에 반영하고 사용자의 요구 사항과 기술적 특성 간의 상관관계를 분석 한 다음 그 중요도에 따라 가중치를 부여함
	서정환, 홍대희 (2017)	비정형 건축물을 짓기 위한 EPS 거푸집 공법에서 EPS 거푸집을 가공하는 EPS Foam 가공기 메커니즘 개발에 대해 연구함

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

가. 연구개발 비전 및 목표

(1) 연구개발 비전

본 연구의 비전은 “지진에 대하여 안전하고, 경제적인 TRC 영구거푸집 개발”로 설정하고, 건축물에 대한 개인 및 국가의 안전수요(자연적·사회적 재해) 및 건설공사의 경제성을 체계적·실효적으로 확보하기 위하여, 건축공학 기술에 섬유기술을 융합하여 RC기둥의 TRC 영구거푸집 요소기술을 개발하는 것을 목표로 함

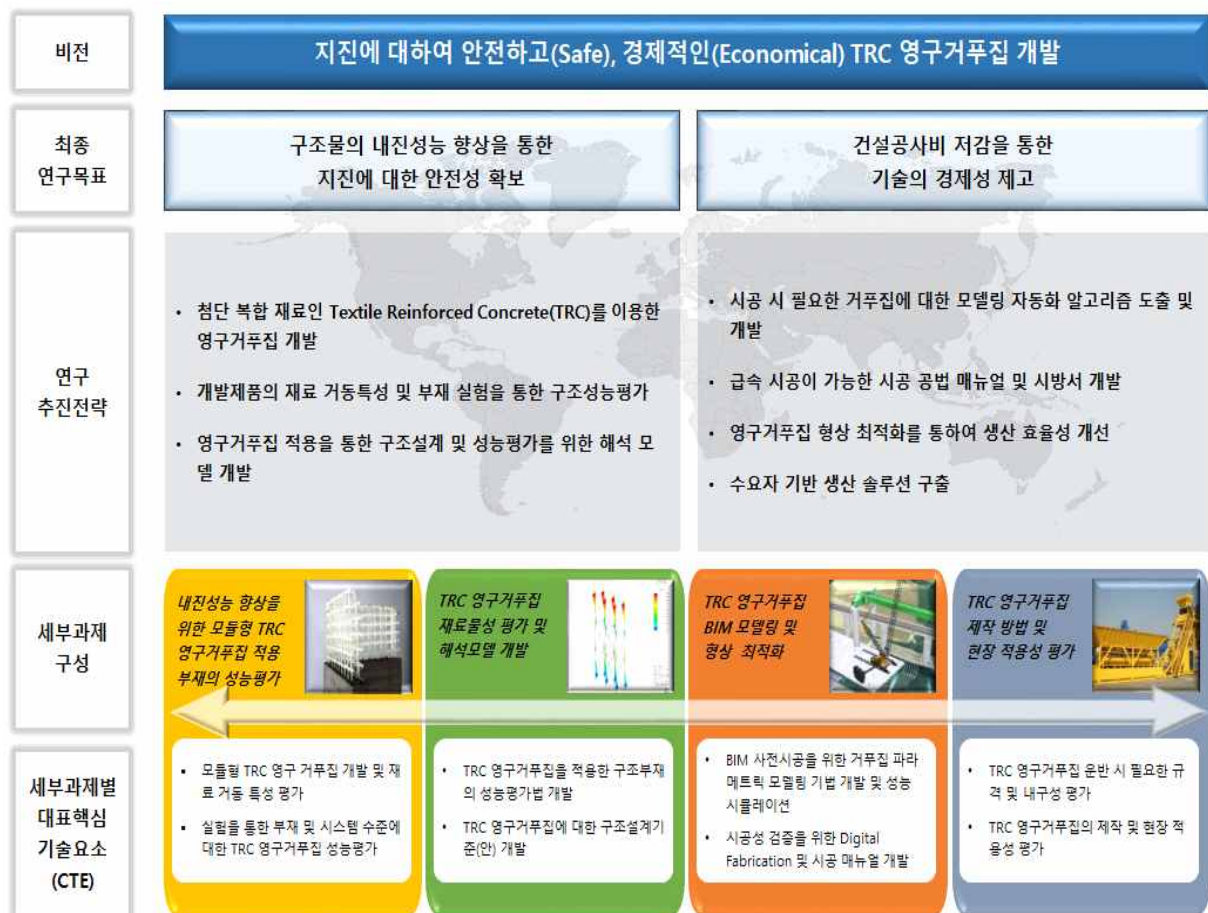


그림 30. 연구개발과제의 비전 및 목표

(2) 목표

본 기획연구는 지진위험도가 높은 대경권의 건축물의 내진성능향상 및 건설공사비 저감을 위하여 내진성능 향상을 위한 RC기둥의 TRC 영구거푸집 개발” 과제의 구성 및 추진전략 수립을 목표로 하며 대상으로 하는 연구개발 과제의 목표는 아래와 같음

□ TRC 영구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진성능평가

- TRC 영구거푸집의 모듈 및 접합상세 개발
- 콘크리트 유동성을 고려한 측압실험 및 성능평가
- 영구거푸집 적용 RC기둥 내진성능 실험평가 및 이력모델 개발

□ TRC 영구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발

- TRC 유효물성치 및 재료강도 미소역학 기반 평가
- 영구거푸집 국부해석 및 형상/물성 최적화
- 영구거푸집 적용 부재 비선형 유한요소해석모델 개발 및 구조설계기준(안) 제안

□ TRC 영구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화

- BIM 사전시공을 위한 거푸집 파라메트릭 모델링 기법 개발
- 거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용하여 정확한 물량산출 및 성능 시뮬레이션
- Digital Fabrication을 통한 모델 품질 및 시공성 검증
- TRC 영구거푸집 시공매뉴얼 개발

□ TRC 영구거푸집 제작 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화

- 제작공정 최적화 방법 평가
- 운반 및 시공성을 고려한 제품의 규격화 및 내구성 평가
- 영구거푸집 경제성 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화

(3) 연구개발 추진 전략

- 본 기획연구는 전 세계적 문제인 건설공사비 저감과 함께 경주 및 포항 지역에서 발생한 지진으로 인한 많은 피해가 발생한 대경권의 시급한 내진성능을 확보를 목표로 하고 있으므로 총 연구기간 2개년도로 한정함
- 첨단 복합 재료인 TRC를 이용하여 구현된 영구거푸집을 통한 내진성능을 확보를 통한 실용화를 증대시키기 위하여 지역대학 및 산업체와의 유기적 연계와 지자체·안전관리기관, 구조전문가들의 참여를 적극적으로 유도함
- 본 기획연구는 대경권 지역현안을 해결할 수 있는 기술개발 및 실용화를 목표로 하고 있으므로, 개발제품을 생산 및 현장적용성 평가를 통한 실용화가 가능한 지역 건설업체 또는 PC 생산업체의 참여를 필수로 함

나. 연구개발 세부내용

○ 연구목표 달성을 위한 개발 기술의 세부 개요는 다음과 같음

표 12. 연구개발 기관별 세부내용

과제명	세세부 과제 기술개요
[협동] TRC 영구 거푸집 상 세개발 및 적용 부재 의 내진성 능평가	○ TRC 영구거푸집 모듈/접합상세 개발 및 재료 거동특성 및 측압성능 평가 - 콘크리트 부재 피복 두께를 고려한 TRC 거푸집 모듈 개발 - 모듈형 TRC 영구거푸집 최적의 형상 및 접합 상세 개발 - TRC 영구 거푸집의 재료 실험을 통한 거동특성 평가 - 콘크리트 유동성을 고려한 TRC 영구거푸집 측압실험을 통한 성능평가 ○ TRC 영구거푸집을 적용한 철근콘크리트 기둥의 실험적 내진성능평가 - TRC 영구거푸집 적용 RC 기둥의 실험적 압축 성능 평가 - TRC 영구거푸집 적용 RC 기둥의 정적반복가력 실험을 통한 내진성능 평가 - TRC 영구거푸집 적용 RC 기둥의 이력모델 개발
[공동1] TRC 영구 거푸집 재 료물성 평 가 및 해석 모델 개발	○ TRC 유효물성치 및 재료강도 산정을 위한 미소역학 기반 해석 및 실험 평가 - 미소역학에 기반해 유한요소법을 활용한 유효물성치 평가 - 산정된 유효물성치를 부재레벨 3차원 유한요소해석에 활용하는 프로세스 확립 - TRC 시편 제작 및 실험을 통한 재료강도 평가 ○ TRC 영구거푸집 국부해석을 통한 형상 및 물성 최적화 - 다양한 형상 및 재료 구성으로 만들어진 TRC 영구거푸집에 대한 유한요소 응력 해석 수행 - 유한요소해석 결과를 바탕으로 TRC 영구거푸집 형상 및 물성 최적화 ○ TRC 영구거푸집 적용 구조부재 설계 및 성능평가를 위한 비선형 유한요소해석 모델 개발 - 최적화된 TRC 영구거푸집이 이용된 다양한 콘크리트 부재 해석 모델 개발 - 산정된 TRC 재료물성치 및 강도를 이용한 비선형해석 수행 - 해석 및 실험 결과를 바탕으로 TRC 구조부재 성능 평가법 제안 ○ TRC 영구거푸집에 대한 구조설계기준(안) 개발 - TRC 영구거푸집을 사용한 부재의 성능을 평가할 수 있는 구조설계기준(안) 개발
[공동2] TRC 영구 거 푸 집 BIM 모델 링 및 형상 최적화	○ BIM 사전시공을 위한 거푸집 모델링 기법 개발 - BIM 모델 정보 분석 및 IFC(Industry Foundation Classes) 구조 분석을 통하여 요구정보 분석 - 필요 정보 추출을 위한 LOD(Level of Detail) 수준의 정립 및 파라메트릭 지원도구(Rhino, Dynamo, CATIA)등 S/W를 활용한 모델링 기법 개발 및 구현 ○ 거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용하여 정확한 물량산출 및 성능 시뮬레이션 - 거푸집 모델로부터 물량산출 자동화를 위한 알고리즘 개발 - 물량산출 결과 리포팅 표준 템플릿 개발 - 결과의 정확도 검증 및 보완 ○ 모델 및 시공성 검증을 위한 Digital Fabrication 수행 및 시공매뉴얼 개발 - 3D 프린터를 활용하여 시공이전 제작 및 조립 단계 수행 - TRC 영구거푸집 시공을 수행할 경우 필요한 현장 준비사항, 시공순서 및 방법 등을 포함한 시공매뉴얼 개발

과제명	세세부 과제 기술개요
[공동3] TRC 영구거푸집 제작 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화	○ TRC 영구거푸집 제작공정의 최적화 방법 개발 및 제작 - TRC 영구거푸집 제작공정 최적화 방법 개발 - TRC 영구거푸집 품질확보 및 유지를 위한 공정 제시 및 제작 ○ TRC 영구거푸집 운반 시 필요한 규격화 및 내구성 평가 - TRC 영구거푸집 모듈의 규격화 - TRC 영구거푸집 운반 시 발생·가능한 손상을 고려한 내구성 평가 ○ TRC 영구거푸집의 현장 적용성 평가를 통한 실용화 - TRC 영구거푸집 테스트베드 기획 및 실증지원 - TRC 영구거푸집 경제성 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화

다. 과제개발 로드맵

○ 성과목표에 따른 기술개발 로드맵은 아래와 같음

표 13. 각 기관별 과제개발 로드맵

성과목표		1차년도	2차년도
[협동] TRC 영구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진 성능평가	• TRC 영구거푸집 모듈 시제품 • TRC 영구거푸집 내진성능평가 실험 보고서	• 콘크리트 부재 피복 두께 및 조립 방식을 고려한 TRC 영구거푸집 모듈 및 접합상세 개발 • 재료 거동특성 및 축압 성능 평가	• TRC 영구거푸집 적용 RC기둥의 압축 및 정적 반복가력 실험을 통한 내진성능평가 • TRC 영구거푸집 적용 RC 기둥의 이력모델 개발
[공동1] TRC 영구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발	• TRC 영구거푸집 적용 부재 성능평가 해석보고서 • TRC 영구거푸집 적용 부재의 구조 설계기준(안)	• TRC 유효물성치 및 재료 강도 산정을 위한 미소 역학 기반 해석 및 실험 평가 • TRC 영구거푸집 국부해석을 통한 형상 및 물성 최적화	• TRC 영구거푸집 적용 구조부재 설계 및 성능평가를 위한 비선형 유한 요소해석모델 개발 • TRC 영구거푸집에 대한 구조설계기준(안) 개발
[공동2] TRC 영구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화	• 거푸집 파라메트릭 모델링 지침서 • Digital Fabrication을 통한 시공성 및 성능 검증 보고서 • TRC 영구거푸집 적용 부재의 시공 매뉴얼(안)	• BIM 모델 정보 분석 및 IFC 구조 분석을 통하여 요구정보 분석 • 필요 정보 추출을 위한 LOD 수준의 정립 및 파라메트릭 S/W를 활용한 모델링 알고리즘 개발 및 구현	• 거푸집 3D 모델의 속성 정보를 활용한 물량산출 및 성능 시뮬레이션 • 모델 및 시공성 검증을 위하여 3D 프린터를 활용한 Digital Fabrication 및 시공매뉴얼 개발
[공동3] TRC 영구거푸집 제작 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화	• TRC 영구거푸집 테스트베드 및 실증보고서 • 적용 기술 경제성 분석 보고서	• TRC 영구거푸집 제작 공정 최적화 방법 개발 • TRC 영구거푸집 운반 시 필요한 규격 및 내구성 평가	• 테스트베드 기획 및 실증지원 • 경제성 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화

2절 추진전략 체계

가. 연구수행체계 제안

표 14. 연구수행체계 제안도

대경권 지역거점센터			전문기관	
과제명	내진성능향상을 위한 RC기둥의 직물섬유 보강 콘크리트(TRC) 영구거푸집 개발			국토교통과학기술진흥원
협동 연구기관		담당연구개발내용		
대학(기관)	과제명	TRC 영구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진성능평가		
	• TRC 영구거푸집의 모듈 및 접합상세 개발 • 콘크리트 유동성을 고려한 측압실험 및 성능평가 • 영구거푸집 적용 RC기둥 내진성능 실험평가 및 이력모델 개발			
공동1 연구기관		담당연구개발내용		
대학(기관)	과제명	TRC 영구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발		
	• TRC 유효물성치 및 재료강도 미소역학 기반 평가 • 영구거푸집 국부해석 및 형상/물성 최적화 • 영구거푸집 적용 부재 비선형 유한요소해석모델 개발 및 구조설계기준(안) 제안			
공동2 연구기관		담당연구개발내용		
대학(기관)	과제명	TRC 영구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화		
	• BIM 사전시공을 위한 거푸집 파라메트릭 모델링 기법 개발 • 거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용한 물량산출 및 성능 시뮬레이션 • Digital Fabrication을 통한 모델 품질 및 시공성 검증 • TRC 영구거푸집 시공매뉴얼 개발			
공동3 연구기관		담당연구개발내용		
참여기업	과제명	TRC 영구거푸집 제작 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화		
	• 제작공정 최적화 방법 평가 • 운반 및 시공성을 고려한 제품의 규격화 및 내구성 평가 • 영구거푸집 경제성 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화			

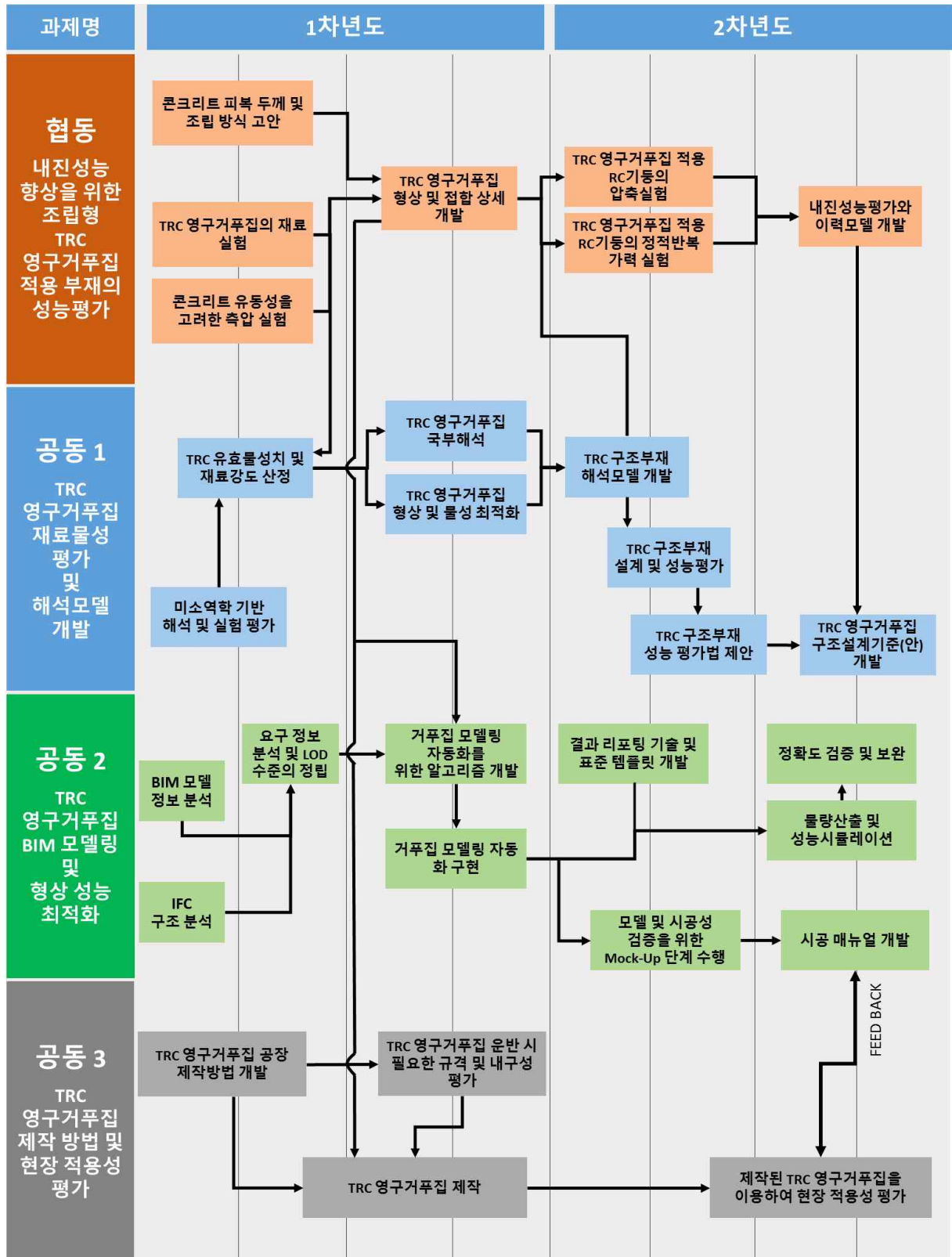


그림 31. 연구수행체계

나. 연도별 연구개발 추진일정

표 15. 연도별 연구개발 추진일정

과제 구분	개발내용	추진일정								비고
		1차년도				2차년도				
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
협동	콘크리트 부재 피복 두께 및 조립 장식을 고려한 TRC 영구거푸집 모듈 및 접합상세 개발									
	TRC 영구거푸집의 재료 실험 및 콘크리트 유동성을 고려한 측압실험을 통한 형상 개발									
	TRC 영구거푸집 적용 RC 기둥의 압축 실험을 통한 압축내력 평가									
	TRC 영구거푸집 적용 RC 기둥의 정적반복가력 실험을 통한 내진성능평가와 이력모델 개발									
공동1	미소역학 기반 TRC 유효물성치 및 재료강도 평가									
	TRC 거푸집에 대한 국부해석 수행 및 형상/물성 최적화									
	TRC 영구거푸집 적용 구조부재 설계 및 성능평가를 위한 해석모델 개발									
	TRC 영구거푸집에 대한 구조설계기준(안) 개발									
공동2	BIM 모델 정보 및 IFC 구조분석을 통한 요구정보 분석									
	거푸집 파라메트릭 모델링 알고리즘 개발									
	거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용한 물량산출 및 성능 시뮬레이션									
	3D 프린터를 활용한 Digital Fabrication 및 시공매뉴얼 개발									
공동3	제작공정 최적화 방법 평가 운반 및 시공성을 고려한 제품의 규격화 및 내구성 평가									
	영구거푸집 경제성 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화									

3절 자원 투입계획

가. 인력투입계획

○ 본 연구를 수행하기 위한 인력투입계획은 아래와 같음.

- 본 연구를 수행하기 위해 총 연구기간 2년 동안 총 65명의 연구진이 투입되어 수행할 계획임.
- TRC 영구거푸집 개발 및 부재 성능평가에서는 2년간 책임급 6명, 수석급 6명과 연구원급 16명으로 총 28명의 연구인력이 투입될 계획임.
- TRC 영구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발을 위해서는 책임급 2명, 수석급 2명과 연구원급 5명으로 총 9명의 연구인력을 투입될 계획임.
- TRC 영구거푸집 모델링 자동화 및 형상 최적화를 위해 책임급 2명, 수석급 4명과 연구원급 6명으로 총 12명의 연구인력을 투입할 계획임.
- TRC 영구거푸집 제작 방법 및 현장 적용성 평가를 위해 참여기업에서 책임급 4명, 수석급 2명과 연구원급 10명으로 총 16명의 연구인력을 투입할 계획임.
- 각 세부별 공법 실용화는 독립적인 부분도 있겠지만 기본적으로 각 세부간의 협력을 통해 최종적인 제품을 개발하며 개발된 제품의 경제성 및 시공성을 높이기 위해 참여기업과의 적극적인 협업관계를 확립 및 추구할 예정임.

표 16. 연차별/세부과제별 인력투입계획

연 차 세부기술명	연차별 투입 인원(명)		
	1차년	2차년	합계
협동. TRC 영구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진성능평가	14 (책임급: 3명 수석급: 3명 연구원급: 8명)	14 (책임급: 3명 수석급: 3명 연구원급: 8명)	28
공동1. TRC 거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발	4 (책임급: 1명 수석급: 1명 연구원급: 2명)	5 (책임급: 1명 수석급: 1명 연구원급: 3명)	9
공동2. TRC 영구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화	6 (책임급: 1명 수석급: 2명 연구원급: 3명)	6 (책임급: 1명 수석급: 2명 연구원급: 3명)	12
공동3. TRC 영구거푸집 제작 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화	8 (책임급: 2명 수석급: 1명 연구원급: 5명)	8 (책임급: 2명 수석급: 1명 연구원급: 5명)	16
합 계	32	33	65

나. 소요예산 산정

○ 본 연구를 수행하기 위한 소요예산 산정은 아래와 같음

- 2016년 경주지진 및 2017년 포항지진으로 인해 큰 재산 및 인명 피해를 본 대경권 건물의 지진으로 인한 피해를 줄이고자 개발하는 기술인만큼 대경권 내의 연구 기관 및 기업을 50%이상 참여도록 함. 특히 대경권 내 중소기업 또는 중견기업을 2/3 이상 참여도록 하여 대경권 건설기업의 연구 참여를 활성화시킴
- 이를 감안하여 정부출연금 10억에 대한 기업부담금 33%로 소요예산 총연구개발비를 산정한 결과는 표 18과 같으며, 정부출연금에 대한 각 연구주제별 소요예산을 산정한 결과는 표 19와 같음
- 총 책임연구를 맡는 협동 연구기관은 연간 2.25억원의 연구비를 필요로 하며, 공동1 및 공동2 연구기관은 연간 0.75억원을 소요할 것으로 예상되며, 공동3 연구기관도 연간 1.25억원을 필요로 할 것으로 예산 편성하였음

표 17. 소요예산 총연구개발비 (단위: 천원)

구분			협동	공동1	공동2	공동3	계
1차년도	정부출연금		225,000	75,000	75,000	125,000	500,000
	기업 부담금	현금	-	-	-	16,667	16,667
		현물	-	-	-	150,000	150,000
		소계	-	-	-	166,667	166,667
	합계		225,000	75,000	75,000	291,667	666,667
2차년도	정부출연금		225,000	75,000	75,000	125,000	500,000
	기업 부담금	현금	-	-	-	16,667	16,667
		현물	-	-	-	150,000	150,000
		소계	-	-	-	166,667	166,667
	합계		225,000	75,000	75,000	291,667	666,667
총계	정부출연금		450,000	150,000	150,000	250,000	1,000,000
	기업 부담금	현금	-	-	-	33,333	33,333
		현물	-	-	-	300,000	300,000
		소계	-	-	-	333,333	333,333
	합계		450,000	150,000	150,000	583,333	1,333,333

표 18. 정부출연금 연구주제별 소요예산

구 분		연차별 예산 (단위: 천원)		
연구목표	연구주제	1차년	2차년	합계
협동. TRC 연구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진성능평가	콘크리트 부재 피복 두께 및 조립 장식을 고려한 TRC 연구거푸집 및 접합상세 개발	80,000	-	80,000
	모듈형 TRC 연구거푸집의 재료 실험 및 콘크리트 유동성을 고려한 축압실험을 통한 형상 개발	145,000	-	145,000
	모듈형 TRC 연구거푸집 적용 RC 기둥의 압축 실험을 통한 압축내력 평가	-	85,000	85,000
	모듈형 TRC 연구거푸집 적용 RC 기둥의 정적반복가력 실험을 통한 내진성능평가와 이력모델 개발	-	140,000	140,000
	합계	225,000	225,000	450,000
공동1. TRC 연구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발	미소역학 기반 TRC 유효물성치 및 재료강도 평가	30,000	-	30,000
	TRC 거푸집에 대한 국부해석 수행 및 형상/물성 최적화	30,000	20,000	50,000
	TRC 연구거푸집 적용 구조부재 설계 및 성능평가를 위한 해석모델 개발	-	50,000	50,000
	TRC 연구거푸집에 대한 구조설계기준(안) 개발	-	20,000	20,000
	합계	60,000	90,000	150,000
공동2. TRC 연구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화	BIM 모델 정보 및 IFC 구조분석을 통한 요구정보 분석	25,000	-	25,000
	거푸집 파라메트릭 모델링 알고리즘 개발	50,000	-	50,000
	거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용한 물량산출 및 성능 시뮬레이션	-	30,000	30,000
	3D 프린터를 활용한 Digital Fabrication 및 시공매뉴얼 개발	-	45,000	45,000
	합계	75,000	75,000	150,000
공동3. TRC 연구거푸집 제작 방법 및 현장 적용성 평가	TRC 연구거푸집 공장 제작을 위한 최적의 방법 개발 및 제작	200,000	-	200,000
	TRC 연구거푸집 운반 시 필요한 규격 및 내구성 평가	91,667	-	91,667
	생산된 TRC 연구거푸집 현장 적용성 평가	-	291,667	291,667
	합계	291,667	291,667	583,333
합계		651,667	681,667	1,333,333

제 4 장 실용화 전략

1절 현황 분석

가. 기술현황 분석 결과

- 국내에서는 직물섬유를 적용한 TRC에 대한 기술을 확보하고 있는 업체는 없는 상황이나 국외에서는 일부 연구소에서 TRC 관련 연구를 수행과 동시에 제작을 진행하고 있으며, TRC를 생산하는 업체가 있음
- Institution of Textile Technology(ITA) - 독일 아헨공대(RWTH) 기계공학과내 Textile Technology 연구소
 - ITA는 직물섬유 기술 중에서 Weaving Fabric 제조기술이 발전되어있으며, 다양한 직물섬유를 생산 중임
 - Textile Reinforced Concrete 용 Weavend Fabric에 사용되는 섬유는 Carbon, AR-Glass, Basalt(현무암) Fiber임
 - ITA 건물의 외벽도 TRC 패널로 시공한 사례가 있음
 - Weaven Fabric에 에폭시 등 폴리머를 함침시키는 경우 성형이 가능하여 현장에서 콘크리트 타설 시 성형성이 유리하지만 섬유를 함침시키는 비용이 직물 비용과 유사함

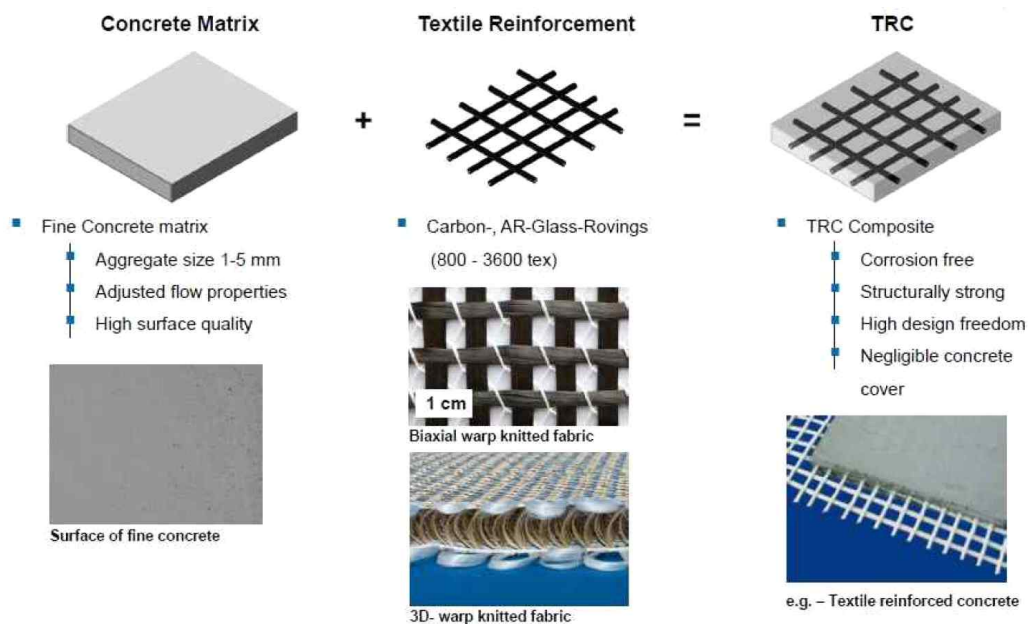


그림 32. TRC 개요(RWTH)

○ 비금속 보강재를 이용한 시공회사 ‘Solidian’

- 섬유 보강재는 산화하지 않기 때문에 철근을 대체할 경우 부식으로 인한 피해를 방지할 수 있으며, 재활이 가능함
- 특히 이 기업의 주요 수요처는 공공 부문의 고객인, RC 구조물 보강 및 교량과 같은 Pre-Stress 구조물을 건설하는 업체임
- 외관 패널의 경우, TRC를 사용하면 최대 80%의 비용절감이 가능함



그림 33. TRC 생산 제품 개요(Solidian)

나. 지역의 현안

- 대경권 지역은 지진 데이터 관측 시점 이래부터 3.0이상 규모의 지진 발생 빈도가 가장 높은 지역이며, 최근 경주 및 포항 지진에서는 국내 최대 규모를 나타냄
- 경주 지진으로 인한 피해는 일부 구조물에서 미비한 수준의 구조적인 손상이 발생하였으며, 포항 지진으로 인한 피해는 필로티 및 일부 아파트 구조물에 전단균열과 같은 심각한 구조적 손상이 발생하였음
- 내진보강 사업이 추진되고 있는 학교와 같은 공공시설물에서도 피해가 발생하여 지진 피해에 의한 심각성이 높아지고 있음
- 최근 포항 지진에 대하여 한국지질자원연구원에서는 지난 경주지진으로부터 북동쪽 약 40km 지점에서 발생한 것으로 지진 유발단층은 지표면상에 존재가 보고된 적이 없는 단층대를 따라 발생하였다고 보고하였으며, 이를 통하여 대경권 지역은 앞으로 지속적인 지진 발생 가능성을 나타내고 있음
- 대구의 경우 섬유산업에 포함하여 메카트로닉스, 전자정보기기 등을 지락산업으로 선정하여 중점 육성하고 있으나 수출추이는 점차 감소하는 추세로 섬유산업의 신 분야 개발 등이 이루어질 필요가 있으며, 건설재료로의 활용분야 확대 방안도 검토할 필요가 있음
- 따라서 첨단섬유소재를 활용하여 내진성능을 향상시킬 수 있는 TRC 영구거푸집 개발을 통해 대경권 지역의 지진위험에 노출된 건축물의 안전성을 확보하고 침체된 대구 섬유산업의 경쟁력을 강화시킬 수 있다고 판단됨

2절 거점 내 수요처 분석

- 개발제품인 TRC 영구거푸집의 경우 시공업체와 연계하여 건설현장에서 골조 공사 시 사용될 수 있으며, 내진성능 향상이 가능한 영구거푸집은 전국에서 유일무이하므로 수요처는 대경권 건설업체뿐만 아니라 전국 건설업체로 확대 가능함
- 대구/경북 지역의 건설업체는 국내 건설업체의 약 12%를 차지하고 있으며, 통계청 자료에서 2017년 10월 ‘공사지역/발주자별 건설수주액’을 분석하면, 대구 지역은 435,199백만원으로 광역시 중 5번째이며, 경북 지역은 302,342백만원으로 전국에서 8번째로 높음
- 포항 지진에 의하여 피해를 가장 많이 받은 필로티 구조물의 경우 보수/보강 및 내진성능 확보에 대한 본 개발 제품의 수요처가 될 수 있으며, 전국 필로티 추정 건축물은 236,810동으로 추정됨
- 대경권의 경우 전체 건축물 분포가 가장 큰 서울 및 경기도를 제외하면 대구 15,869동 및 경북 18,583동으로 가장 높은 비율을 차지하고 있음
- 이를 통하여 대경권 지역에서 수요가 많음을 판단할 수 있으며, 나아가 국내 유일 기술로 전국에 적용한다면, 높은 매출 증대 효과 가능

표 19. 지역별 필로티 건축물 추정현황 - 단위 : 동

시/도명		전체 건축물	필로티 건축물	비율	필로티 추정 건축물 용도별 현황	
					주거용	비주거용
전국		7,108,562	236,810	3.3	200,588	36,222
광역시/ 자치시	울산광역시	135,314	10,712	7.9	9,521	1,191
	서울특별시	612,345	46,608	7.6	42,165	4,443
	인천광역시	219,359	14,562	6.6	12,206	2,356
	대구광역시	254,118	15,869	6.2	14,286	1,583
	대전광역시	133,602	7,026	5.3	6,153	873
	광주광역시	141,642	5,754	4.1	4,946	808
	세종특별자치시	33,480	1,303	3.9	1,188	115
	부산광역시	370,073	14,067	3.8	10,622	3,445
광역시도	경기도	1,143,256	44,040	3.9	36,559	7,481
	경상남도	708,605	17,395	2.5	14,561	2,834
	제주특별자치도	169,235	4,140	2.4	3,425	715
	경상북도	802,961	18,583	2.3	16,078	2,505
	충청남도	521,868	10,703	2.1	8,826	1,877
	전라북도	444,066	9,127	2.1	7,619	1,508
	충청북도	381,976	6,751	1.8	5,344	1,407
	강원도	401,350	5,353	1.3	3,751	1,602
	전라남도	635,312	4,817	0.8	3,338	1,479

3절 시장진출전략

가. 기술 표준화 전략

- 개발목표 수준을 명확히 도출하여 개발 완료 후 상품화 단계를 거쳐 판매가 가능한 수준의 연구결과를 도출하도록 함
- 테스트베드 기간 동안 실증이 가능하도록 충분한 실험을 통해 검증을 받을 수 있는 수준의 TRC 영구거푸집 개발
- 내진성능 향상이 가능한 영구거푸집 개발을 통하여 내진보강 사업과 연계하여 기술의 확산 가능성이 높음
- TRC와 같은 복합재료에 대해 TRC 영구거푸집 적용 설계기준(안)의 개발 및 구조부재 성능 평가법을 제안하여 구조 해석 및 검토 관련 실무에서 직접적으로 활용
- 개발제품의 장점을 극대화하기 위하여 급속시공이 가능한 시공 공법 매뉴얼 및 시방서 개발을 통해 새로운 기술 적용에 대한 실무자와의 숙련도에 대한 부족함을 해소
- 기술개발 성과에 대한 연구논문 발표를 통해 학계 및 산업계에서의 기술 인증을 위한 노력을 요하며, 과업 기간 종료 시점 이전까지 최대한 많은 논문 성과 도출을 통해 기술 표준화에 대한 노력 입증
- 최근 내진설계 관련 기준이 강화됨에 따라, 내진설계를 강화하고자 하는 국가 정책에 부합하고 있으며, 별도의 보강재를 사용하지 않고 거푸집만으로 내진성능을 향상시키는 점을 부각 할 필요가 있음

나. 기술 실용화 전략

- 테스트베드를 통한 연구 성과 검증
 - 기술 개발을 위한 연구 기간 내에 테스트베드를 통하여 기술개발 성과를 정략적 지표를 토대로 입증을 함으로서 신규 수요 창출을 기대 가능함
 - 실증적 검증을 통해 언론매체, 지자체 등 홍보를 이용하여 개발 기술의 실용화를 위하여 노력
- 상품화 연구개발
 - 테스트베드 기간 동안 정확한 실증이 가능하도록 충분한 실험 및 해석을 통하여 검증을 받을 수 있는 수준으로 기술을 개발
 - 기술 개발 결과를 이용하여 신기술(NET) 및 국내·외 지적재산권 등록 등을 활용하여 역량 강화
 - 실질적 타겟이 될 수 있는 필로티 및 저층 구조물의 급속시공으로 수익성 증대
 - 복합소재인 TRC의 대량생산으로 인한 원가 절감을 통하여 경쟁력 확보

- 특수 구조물 등 고객 맞춤형 제작을 통하여 수직을 증대
- BIM 도구인 Revit 등을 이용한 건축물 모델링 기반으로 거푸집 모델 자동 생산 알고리즘을 개발하여 현재 시중에서도 사용 중인 3D 프린터를 이용하여 거푸집을 생산

4절 기대효과

가. 사회적 측면

- 최근 경주(2016) 및 포항(2017)의 지진발생에 의한 구조물의 피해로 인하여 내진설계를 강화 및 지원하려는 정부정책에 부합
- 최근 잦은 지진과 같은 자연재해 발생으로 인하여 불안감이 고조되고 있으며, 이러한 상황에서 불안감을 억제하고 시민들의 삶의 질 향상 가능
- 조달청에서는 2016년부터 맞춤형 서비스로 집행하는 모든 건설공사에 BIM 설계도입을 의무화함. 이에 발맞추어 시공단계에서 BIM모델을 기반으로 거푸집 생산하여 공기단축, 공사비 절감을 이뤄 정책에 기여할 것으로 기대됨

나. 기술적 측면

- 내진 관련하여 소외된 거푸집 관련 분야에서 첨단 기술 도입을 이용한 내진성능 향상 기술의 선진화를 통하여 관련 분야 독자적인 기술을 선점하여 국제적인 경쟁력 확보 가능
- 우수한 Textile이 내장된 영구거푸집을 적용하여 RC기둥의 내진성능 향상을 통한 대경권 구조물의 지진 안정성 확보
- 국내의 내진성능 향상 가능한 영구거푸집에 대한 독자적인 설계기준(안) 확보가 가능하며, 이를 적용한 구조부재의 성능 평가법을 이용하여 국내 기술의 선진화 가능
- BIM 도구를 이용한 생산 자동화 및 3D 프린터 등과의 융합적 활용을 통한 신사업 창출효과가 기대됨
- 지진 관련 연구를 수행하는 연구원 및 학생들에게 제공하여 전문 인력 양성이 가능

다. 경제적 측면

- 공장에서 제작되어 운반 및 설치되고 비탈형이므로 건설현장에서 공기 및 공사비 절감이 가능
- 기존 RC 기둥 대비 전단철근 및 피복두께 감소(하중 저감)을 통한 공사비 절감
- 대경권 관련 업계(직물섬유, PC 및 건설)의 경쟁력 강화 및 매출 증대 효과를 제고
- 영구거푸집을 통한 내진성능 확보를 통하여 지진과 같은 자연재해로 인한 구조물의 손상 및 피해를 저감함으로써, 재난 시 복구에 드는 사회적 비용 절감 가능

- 높은 부가가치 창출이 가능한 영구거푸집의 국내 독자적인 개발을 통하여 관련 분야의 해외시장 점유율 확대 가능
- 거푸집 자동생산 알고리즘을 통한 제품생산 및 물량산출을 통해 공사비 절감 효과가 기대되며, 기존에 없는 기술이므로 개발 후 기술의 수출을 통한 경제적 이윤 창출 또한 기대됨

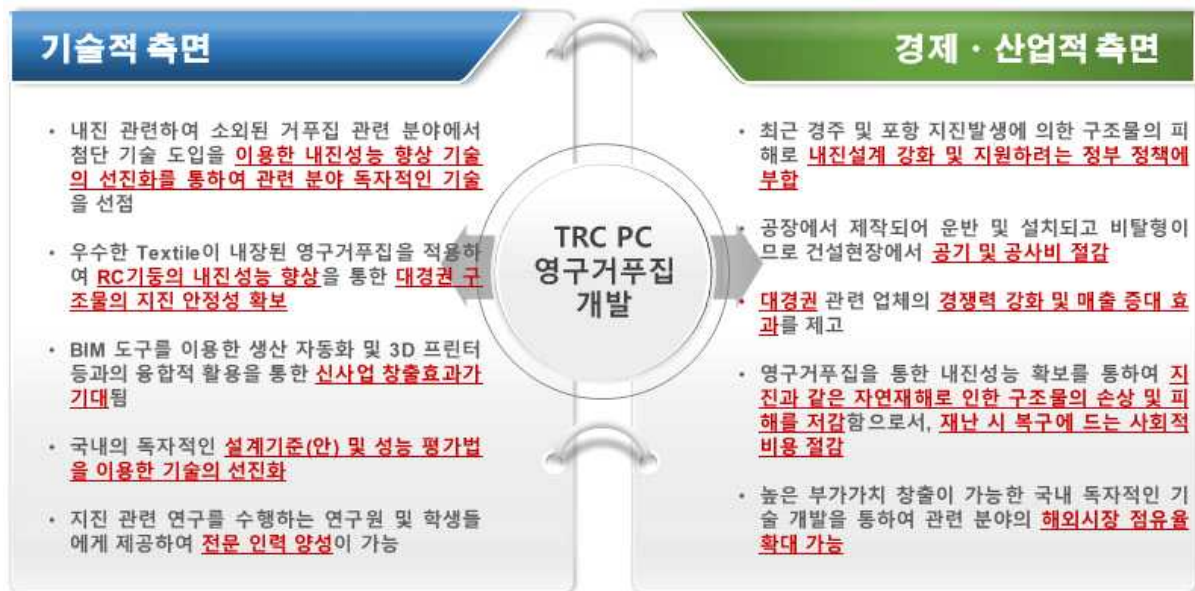


그림 34. TRC 영구거푸집 개발을 통한 기대효과

제 5 장 과제 제안요구서(RFP)

과제명	내진성능 향상을 위한 철근콘크리트 기둥의 TRC 영구거푸집 개발
1. 연구개발 목표	○ 직물섬유 보강 콘크리트(Textile Reinforced Concrete, 이하 TRC)를 이용한 건축물의 내진성능향상 및 건설 공사비 저감을 위한 영구거푸집 설계 및 활용기술 개발 - TRC 영구거푸집의 모듈/접합부 상세개발 및 내진성능평가 - TRC 영구거푸집을 적용한 부재의 해석모델 개발 - TRC 영구거푸집의 BIM 모델링 및 형상 성능 최적화 - TRC 영구거푸집의 현장 적용성 평가 및 실용화
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	☐ 지역현안 해결의 시급성 ○ 지진위험도가 높은 대경권 건축물의 지진피해 저감을 위한 내진성능 확보기술 개발의 시급성 - 최근 대구경북권(이하 대경권)에서 국내 관측 사상 최대 규모인 경주 지진(2016년 9월) 및 포항지진(2017년 11월)으로 인하여 상당수의 건축물이 심각한 피해를 입었음 - 대경권의 주된 주거형식 중 하나인 필로티 건축물의 주요 피해 원인은 내진설계가 적용되었음에도 불구하고 도면과 상이하게 시공되거나 불량시공으로 인하여 내진성능이 확보되지 않은 점에 기인함 - 1978년 국내지진계측 이후 내륙지역 규모 3.0이상 지진 발생 빈도는 대경권에서 54%를 차지하고 있음에도 불구하고 2017년 내진설계 적용 대상 기준으로 해당 지역의 내진설계확보율은 각각 8.2% 및 3.5%에 그치고 있음 - 따라서 대경권 건축물의 지진피해 저감을 위하여 내진성능을 향상시킬 수 있으며 경제적인 시공이 가능한 기술개발이 시급함 ○ 대경권 섬유산업 부가가치 창출을 통한 지역 경제 활성화의 시급성 - 지역 섬유산업은 의류업종에 대다수가 집중되어 있는데, 의류업종은 대표적인 노동집약산업으로서 전반적인 경기하락과 개발도상국과의 경쟁력 심화에 어려움을 겪고 있음 - 대구의 경우 섬유산업을 포함하여 메카트로닉스, 전자정보기기 등을 지략산업으로 선정하여 중점 육성하고 있으나, 수출추이는 점차 감소하는 추세로 섬유산업의 신 분야 개발 등이 이루어질 필요가 있음 - 따라서 대경권 섬유업계의 경쟁력 강화 및 매출 증대를 위하여 건설재료로의 활용분야로 확대함으로서 지역 경제 활성화 유도가 필요함

□ 기술개발의
필요성

○ **내구성 확보 및 공사비 저감을 위한 고성능 비탈형 영구거푸집 개발 필요**

- 거푸집 공정은 골조 공사비의 30~40%를 차지하는 고비용 공정으로 탈형작업에 의한 공기연장 및 인건비 상승에 따라 공사비가 증가되고 있음. 따라서 공사비 저감형 비탈형 영구거푸집 개발이 필요함
- 기존 비탈형 영구거푸집의 경우, 내구성 저하 및 자체 하중에 의한 하중증가로 인하여 제작 및 현장 시공성에 많은 문제점을 지니고 있어 구조성능 및 시공성을 가진 고성능 영구거푸집 개발이 필요함

○ **우수한 내진성능 및 경제성을 가진 TRC 거푸집 개발 필요**

- 인장성능 및 내구성이 우수한 직물섬유와 콘크리트의 복합체인 TRC는 기존 구조물의 내진성능을 향상시킬 수 있음
- 성형이 자유로운 Textile을 이용한 TRC는 요구성능에 따라 물성최적화가 가능하며, 기존 비탈형 영구거푸집 대비 피복두께가 감소하여 콘크리트 합성부재의 경량화를 통한 경제성 확보가 가능함
- TRC 영구거푸집은 기존 비탈형 영구거푸집과 비교하여 향상된 내부식성 및 내화성능 확보가 가능함

○ **건축물 설계 요구에 부합하고 품질확보가 가능한 거푸집 형상 최적화 기술 개발 필요**

- 현재 시공되는 대부분의 구조물에서 설계도면에 따라 시공되어지지만 철근의 배근과 같은 구조적인 요소에 대한 정확한 검토가 이루어지지 않고 있으며, 콘크리트 타설 이후에는 품질확보에 대한 검증이 어려움
- 대부분의 거푸집 및 보강재는 현장에서 제작 및 시공되어지므로 작업자의 능력에 따른 개인차로 인해 품질성능이 좌우되므로 프리캐스트 방식을 이용하여 공장생산을 통한 균일한 품질을 확보할 수 있는 대체 기술이 필요함
- BIM 사전시공을 통해 도면상의 오류나 설계상 간섭, 누락 요소 등을 사전에 발견하고 해결하여 시공 과정에서 발생할 수 있는 품질저하, 재시공 등을 방지하고 원가 절감 및 시공성 향상에 기여할 수 있음

□ 기술동향

○ **국내동향**

- 영구거푸집 관련 국내 기술은 대부분의 영구거푸집이 공사기간 단축을 위한 용도로 제작되어 있으며, 내진성능 향상을 목적으로 하고 있는 영구거푸집에 대한 개발은 미비함
- 강재 또는 FRP를 이용한 영구거푸집 관련 연구는 주로 보와 같은 휨 부재를 대상으로 실험을 통한 성능평가에 한정됨
- TRC를 보강재로 활용한 RC보의 연구나 3D Fabric 기반 TRC 판넬을

	이용한 철근콘크리트 기둥의 내진보강 공법 개발연구가 일부 수행된 사례가 있으나 영구거푸집 적용사례는 없음 - 비정형 거푸집과 관련하여 거푸집 제작 기계의 성능, 모듈 시공 방법 개선에 관한 연구들이 수행되었지만, 거푸집 모델의 Digital Fabrication 단계까지 수행하여 실효성 입증한 연구가 미비함 ○ 국외동향 - TRC 관련 연구는 대부분 TRC 재료성능평가에 한정되어 있으며, 부재 수준의 성능평가는 RC보의 구조 보강재로 적용하여 수행한 사례가 있음 - 철근콘크리트 혹은 조적조 구조물의 보강을 위해 여러 가지 TRC 보강 패널 관련된 특허가 출원되어 있으며, 이 중 일부는 상업적인 용도로 시판되고 있어 실제 건설현장에서 활용되고 있음 - 3D 프린터를 이용한 거푸집 제작에 관한 연구만이 수행되고 있음. 특히 BIM을 이용한 거푸집의 파라메트릭 모델링 기법 및 Digital Fabrication에 대한 연구는 매우 미비함
3. 연구개발 내용	
□ 세부과제 별 연구 내용	○ TRC 영구거푸집 상세개발 및 적용 부재의 내진성능평가 - TRC 영구거푸집의 모듈 및 접합상세 개발 - 콘크리트 유동성을 고려한 측압실험 및 성능평가 - 영구거푸집 적용 RC기둥 내진성능 실험평가 및 이력모델 개발 ○ TRC 영구거푸집 재료물성 평가 및 해석모델 개발 - TRC 유효물성치 및 재료강도 미소역학 기반 평가 - 영구거푸집 국부해석 및 형상/물성 최적화 - 영구거푸집 적용 부재 비선형 유한요소해석모델 개발 및 구조설계기준(안) 제안 ○ TRC 영구거푸집 BIM 모델링 및 형상 최적화 - BIM 사전시공을 위한 거푸집 파라메트릭 모델링 기법 개발 - 거푸집 3D 모델의 속성정보를 활용한 물량산출 및 성능 시뮬레이션 - Digital Fabrication을 통한 모델 품질 및 시공성 검증 - TRC 영구거푸집 시공매뉴얼 개발 ○ TRC 영구거푸집 제작 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화 - 제작공정 최적화 방법 평가 - 운반 및 시공성을 고려한 제품의 규격화 및 내구성 평가 - 영구거푸집 경제성 및 현장 적용성 평가를 통한 실용화

4. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	☐ TRC 영구거푸집 시제품 ☐ TRC 영구거푸집 적용 부재의 구조설계기준(안) ☐ TRC 영구거푸집 적용 부재의 시공매뉴얼(안) ☐ 적용 기술 경제성 분석 보고서
5. 활용방안 및 기대효과	
☐ 활용방안	- 지진위험도가 높은 대경권 건축물의 구조 안전성을 향상시켜 지진피해를 저감시킴 - 영구거푸집 적용 부재의 이력모델 및 구조설계기준(안)은 건축물 구조설계시 구조설계사무소에서 활용 - BIM을 활용한 형상최적화 및 시공매뉴얼은 PC 거푸집 제작 및 시공업체에서 활용 - 공기절감 및 품질확보를 위한 시공업체에서 기존 거푸집 대체기술로 활용
☐ 기대효과	○ 기술적 기대효과 - 구조물의 내진성능 확보 요소기술에서 소외된 거푸집 관련 분야에 첨단 기술 도입을 이용한 내진성능 향상 기술의 선진화를 통하여 관련 분야 독자적인 기술을 선점하여 국제적인 경쟁력 확보 가능 - 우수한 Textile이 내장된 영구거푸집을 적용하여 RC기둥의 내진성능 향상을 통한 대경권 구조물의 지진 안정성 확보 - 국내의 내진성능 향상 가능한 영구거푸집에 대한 독자적인 설계기준(안) 확보가 가능하며, 이를 적용한 구조부재의 성능평가법을 이용하여 국내 기술의 선진화 가능 - BIM 도구를 이용한 생산 자동화 및 3D 프린터 등과의 융합적 활용을 통한 신사업 창출효과가 기대됨 ○ 경제·사회적 기대효과 - 경주 및 포항 지진에 의한 구조물의 피해로 인하여 내진설계를 강화하고 내진보강 확대 사업을 시행하려는 정부정책에 부합 - 공장에서 제작되어 운반 및 설치되고 비탈형이므로 건설현장에서 공기 및 공사비 절감이 가능 - 기존 RC 기둥 대비 전단철근 및 피복두께 감소(하중 저감)을 통한 공사비 절감 - 대경권 관련 업계(직물섬유, PC 및 건설)의 경쟁력 강화 및 매출 증대 효과를 제고

- 영구거푸집을 통한 내진성능 확보를 통하여 지진과 같은 자연재해로 인한 구조물의 손상 및 피해를 저감함으로써, 재난 시 복구에 드는 사회적 비용 절감 가능 - 조달청에서는 2016년부터 맞춤형 서비스로 집행하는 모든 건설공사에 BIM 설계도입을 의무화함. 이에 발맞추어 시공단계에서 BIM모델을 기반으로 거푸집 생산하여 공기단축, 공사비 절감을 이뤄 정책에 기여할 것으로 기대됨	
6. 연구개발기간 및 소요예산	
○ 총 연구기간: 2년 ○ 총 연구비: 13억원(정부출연금 10억)	
7. 기 타	
○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시 ○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 국토교통 대형실험시설 12종 우선 활용	

참 고 문 헌

- 1) 건축법. (2017). 법률 제14792호
- 2) 공정식, 이학, 이도형, 박선규, 박대효. (2006). 성능 기반 설계 코드와 예시. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 921-924.
- 3) 국민안전처. (2015). 2단계(2016~2020) 기존 공공시설물 내진보강 기본계획. 국민안전처.
- 4) 국민안전처. (2017). 2017년 내진보강사업, 전년 대비 6배 이상 추진. 국민안전처.
- 5) 김병주, 정충원, 김범준, 김인재, 오현준, 진상윤. (2016). BIM기반 거푸집 물량 산출 생산성 향상을 위한 거푸집 모델링 자동화에 관한 기초 연구. 한국BIM학회 정기학술대회 논문집, 99-100
- 6) 김성아, 윤수원, 진상윤, 김태용. (2009). BIM 기반 공동주택 마감 물량 산출 생산성 향상을 위한 마감 모델링 자동화 시스템 개발. 대한건축학회 논문집-구조계, 25(9), 133-143.
- 7) 김우재, 정상진. (2002). 무기질계 영구거푸집의 성능평가를 위한 실험적 연구. 대한건축학회 논문집. 구조계 18(3).
- 8) 김지영, 김기도, 마향욱, 정철현. (2014). CFT를 이용한 모듈러 교각 기둥-기초 연결부의 내진성능. 대한토목학회논문집. 34(1).
- 9) 김창수, 박홍근. (2010). 철근콘크리트 기둥의 성능기반설계를 위한 주철근비. 콘크리트학회 논문집, 22(2), 187-197.
- 10) 김형남, 김우재, 김성식, 정상진. (1999). 비탈형 영구거푸집의 시공성능과 경제성 평가에 관한 실험적 연구. 대한건축학회 논문집 - 구조계. 15(4).
- 11) 김형준, 전세미. (2013). 특집기사: 성능기반 내진설계의 기본 개념과 절차. 한국강구조학회지, 25(4), 7-12.
- 12) 박대효, 윤성환, 최민철. (2006). 구조물의 성능기반설계를 위한 성능평가기법 비교. 대한토목학회 학술대회, 847-850.
- 13) 박종호, 김태균, 유정빈, 홍성남, 박선규. (2017). 텍스테일 횡방향 보강 방법에 따른 부착성능 비교. 496-497(21).
- 14) 서정환, 홍대희. (2017). 비정형 콘크리트 거푸집 제작을 위한 EPS Foam 의 3D 가공기계. 한국정밀공학학회지, 34(1), 35-39.
- 15) 소방방재청. (2009). 기존시설물 내진보강 기본계획. 소방방재청.
- 16) 유승운, 배한욱. (2007). 영구거푸집 및 인장 보강재료 활용한 FRP 판과 타설 콘크리트 사이의 부착 및 슬립에 관한 실험적 연구. 대한토목학회논문집. 27(1A).
- 17) 유승운. (2015). 영구거푸집으로 사용한 유리섬유 FRP판과 현장타설 고강도 콘크리트로 이루어진 합성보의 휨/전단파괴거동에 관한 실험적 연구. 한국산화기술학회 논문지. 16(6).
- 18) 윤성환, 박대효. (2009). 철근 콘크리트 구조물의 성능기반설계. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 129-130.
- 19) 윤수원, 김성아, 최종문, 금대연, 조찬원. (2015). 건축 설계 BIM 모델의 시공단계 활용성 향상을 위한 BIM 운영 방안 제시. KIBIM Magazine, 5, 1-10.
- 20) 윤종혁. (2015). 학교안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발. (RR 2015-39). 한국교육개발원.
- 21) 윤현도, 장석준, 장지원, 정권영, 서수연. (2015). 철근콘크리트 기둥의 성능기반설계를 위한 한국형 모델링 상수. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 113-114.

- 22) 이병국, 박대효, 이상열. (2008). 성능기반설계에서의 요구성능의 개념 정의 및 필요성. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 125-128.
- 23) 이진수. (2017). 미국 지진대응법제의 주요내용과 우리나라 법제에 대한 시사점-미국 연방 지진위험감소법과 캘리포니아 (California) 주 지진 법제를 중심으로. 법학논총, 34(1), 27-57.
- 24) 이형래. (2015). 성능기반설계법에 의한 철근콘크리트 구조물의 내진성능평가. 대한건축학회연합논문집, 17(5), 79-85.
- 25) 일본 내각부. (2011). 일본의 재해대책. 일본 내각부.
- 26) 임진규, 박정대, 이윤경. (2014). 비정형 건축물의 형태생성을 위한 외피재현 설계지원 프로세스. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 34(2), 29-30.
- 27) 임현수, 김태훈, 조훈희, 강경인. (2011). 비정형 초고층 건물의 골조공사를 위한 가변형 테이블폼. 춘계학술발표대회 논문집, 11(1)
- 28) 임현수, 김태훈, 조훈희, 강경인. (2012). 품질기능전개와 트리즐을 이용한 초고층 거푸집 시스템 설계 프로세스. 대한건축학회 논문집-구조계, 28(9), 173-182.
- 29) 장석, 김병수. (2012). 항공기 형상 모델링 자동화 및 표면 삼각 격자계 자동 추출 프로그램 개발. 한국조선유체공학회 학술대회논문집, 268-271.
- 30) 전기현, 윤석현. (2011). BIM 기반 물량산출 자동화를 위한 콘크리트와 거푸집 공사의 사례분석. Journal of KIBIM Vol, 1(1), 13-17.
- 31) 정규산, 서동우, 박기태, 한상훈, 홍기남. (2017). TRC로 휨 보강된 RC 보의 처짐 예측. 한국구조물진단유지관리공학회 논문집. 318-319(21).
- 32) 조규현, 김제섭, 전판근, 김우재, 정상진. (2003). 비탈형 거푸집의 경제성 향상에 관한 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집- 구조계. 23(1).
- 33) 조달청. 2011-06-30. 2010년 공공건축물 유형별 공사비 분석. 조달청.
- 34) 조달청. 2015-06-30. 2014년 공공건축물 유형별 공사비 분석. 조달청.
- 35) 조달청. 2016-06-29. 2015년 공공건축물 유형별 공사비 분석. 조달청.
- 36) 조달청. 2017-06-23. 2016년 공공건축물 유형별 공사비 분석. 조달청.
- 37) 조훈희, 임현수. (2014). 비정형 초고층 공사의 거푸집 시스템 기술. 건설관리, 15(6)
- 38) 지진화산재해대책법. (2017). 법률 제14839호
- 39) 최창훈, 박영진, 소지윤, 김성연, 이준복. (2014). 3D BIM 을 활용한 골조 거푸집 공사의 생산성 분석에 관한 연구. 한국건축시공학회지, 14(4), 292-300.
- 40) 하철석, 문소영, 문현석, 강인석. (2014). 3D 기반 비정형 토목구조물 물량산출 알고리즘 개발. 대한토목학회논문집, 34(2), 655-666.
- 41) 행정안전부. (2017). 경북 포항 지진 발생 및 대처상황 보고. 행정안전부.
- 42) A. Si Larbi, R. Contamine, E. Ferrier and P. Hamelin. (Oct2010). Shear strengthening of RC beams with textile reinforced concrete (TRC) plate. Construction and Building Materials, Vol. 24, Iss.10, 1928-1936.
- 43) Amir Si Larbi a, Amen Agbossou b and Patrice Hamelin a. (May 2013). Experimental and numerical investigations about textile-reinforced concrete and hybrid solutions for repairing and/or strengthening reinforced concrete beams. Composite Structures, Vol 99, 152-162.
- 44) Bournas, Dionysios A, Lontou, Panagiota V, Papanicolaou, Catherine G, Triantafillou and Thanasis C. (Nov/Dec 2007). Textile-Reinforced Mortar versus Fiber-reinforced Polymer Confinement in Reinforced Concrete Columns. ACI Structural Journal, Farmington Hills Vol. 104, Iss. 6, 740-748.

- 45) KBC (2016). 건축구조기준. 대한건축학회.
- 46) Triantafillou, Thanasis C, Papanicolaou, Catherine G, Zissimopoulos, Panagiotis, Laourdekis and Thanasis. (Jan/Feb 2006). Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets. ACI Structural Journal, Farmington Hills Vol. 103, Iss. 1, 28-37.
- 47) 건설경제, “비정형 테이블폼 상용화 ’눈앞’“, <http://www.cnews.co.kr>, (2014.04.10.)
- 48) 공관.<http://www.kongkwan.co.kr/>(2017.12.13)
- 49) solidian.<https://www.solidian.com/>(2017.12.13)
- 50) 기상청. “국외 지진 정보“, http://www.kma.go.kr/weather/earthquake_volcano/report.jsp, (2017.12.13)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.