

R&D/
18AUDP-B
069637-06

슈퍼콘크리트

활용

저비용

· 장수명

· 고품질

구조물

개발

2020

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

최종보고서

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()

건설기술연구사업 제6차 연도 최종보고서

R&D /
18AUDP-B069637-06

SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발 최종보고서

2020. 3. 11.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 대림산업

(주)포스코건설

(주)씨알디

(주)삼현피에프

(주)인터컨스텍

(사)한국선급

(주)이디시엠

서울대학교

충남대학교

조선대학교

위탁연구기관 / (사)한국도로협회

한국과학기술원

한양대학교

금오공과대학교

국토교통부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발’(연구개발 기간 : 2013. 12. ~ 2019. 12.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 3. 11.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원 (한승현)



공동연구기관명 : 대림산업(주) (박상신), (주)포스코건설 (이영훈)
(주)씨알디 (정민선), (주)삼현피에프 (김재우, 이한우)
(주)인터컨스텍 (민영택), (사)한국선급 (이정기)
(주)이디시엠 (송금숙), 서울대학교 (김성철)
충남대학교 (김영국), 조선대학교 (김재수)

위탁연구기관명 : (사)한국도로협회 (김학송), 한국과학기술원 (신성철)
한양대학교 (좌용호), 금오공과대학교 (곽호상)

주관연구기관책임자: 김병석

공동연구기관책임자: 윤자걸 / 김철환

정민선 / 김충언

김동석 / 장화섭

윤식재 / 홍성걸

윤현도 / 조창근

위탁연구기관책임자: 황훈희 / 곽효경

이한승 / 한상묵

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서(3세부)

과제 고유 번호	18AUDP-B069637-06	해당 단계 연구 기간	2013. 12. ~ 2019. 12.	단계구분	1/1
연구사업명	건설기술연구사업				
연구과제명	SUPER Concrete 활용 저비용 · 장수명 · 고품질 구조물 개발				
연구책임자	김 병 석	해당단계 참여연구원 수	총: 147명 내부: 147명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 12,705,500 천원 민간: 5,967,110 천원 계: 18,672,610 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 147명 내부: 147명 외부: 명	총 연구비	정부: 12,705,500 천원 민간: 5,967,110 천원 계: 18,672,610 천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주관기관)한국건설기술연구원 인프라안전연구본부, (공동기관)대림산업 특수교량팀, 포스코건설 R&D센터, 씨알디, 삼현피에프 기술연구소, 인터컨스텍, 한국선급, EDCM, 서울대학교, 충남대학교, 조선대학교			참여기업명: SK건설, 효명이씨에스, 비엔지 컨설턴트, 대림C&S, 위드웍스, 리폼시스템, 홍성이엔씨, 누리가온	
국제공동연구	상대국명: 없음			상대국 연구기관명: 없음	
위탁연구	연구기관명: 한국도로협회, 한국과학기술원, 한양대학교, 금오공과대학교			연구책임자: 황훈희, 곽효경, 이한승, 한상목	
※ 국내 · 외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	○ 본 연구과제의 기술적 구성요소는 크게 재료 개발 및 실용화, 구조설계지침 개발, 구조 기술 개발로 구성되어 있고, 개발된 재료와 이를 활용한 저비용 · 장수명 구조물의 설계 · 제작 기술 및 구조요소기술이 본 연구단 이외 타 유사 연구개발 분야 및 국내 SOC시설물 건설시장과 세계 시장으로 제공이 가능하므로 연구과제 보안등급의 분류 상 일반과제로 분리하는 것이 합당한 것으로 판단됨.				

9대 성과 등록 · 기탁번호

구분	논문	특허 등록	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록 · 기탁 번호	67	29	-	-	-	16	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설 · 장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

- 연구목표
 - 1, 2세부에서 개발한 SUPER Concrete 재료 및 설계지침을 활용한 교량 상부구조물, 풍력타워, 부유식구조물, 건축물 등 SUPER Structure의 설계 · 시공 기술 개발을 통한 콘크리트 구조물 중량 30% 저감, 건설 · 유지관리 비용 10~20% 절감 및 내구수명 50~100% 증진 기술 확보를 통한 국가예산 절감 및 고부가가치 해외 사업 수주 견인
- 연구내용
 - SUPER Concrete 활용 200m~1000m급 사장교 상부구조 시스템 개발
 - SUPER Concrete 활용 60m 이상 장지간 상부구조 시스템 개발
 - SUPER Concrete 활용 40m~60m급 하이브리드 상부구조 시스템 개발
 - SUPER Concrete 활용 프리캐스트 풍력타워 시스템 개발
 - SUPER Concrete 활용 부유식 구조 시스템 개발
 - SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술 개발
- 연구 개발 성과
 - 현장적용(연구단 기준): 해외현장적용 3건, 국내현장적용 18건, 기술이전 10건
 - 지침: 17종 (설계예제 12종 별도)
 - 논문게재: SCI(E) 15건, 일반논문 52건, 국내외 학술발표 198건
 - 지식재산권 및 시제품: 특허출원 39건, 특허등록 29건, 시제품 8건, 신기술지정 1건 등
 - 홍보: YTN, KBS 등 언론보도 다수(국제 UHPC 혁신상 수상, 공학한림원 15선 선정 등)
- 활용 계획
 - 교량, 터널 등 SOC 시설물의 공사비·유지관리비용 저감으로 국가예산 절감에 기여
 - 콘크리트 부재 슬림화에 따른 물량 30% 이상 절감으로 CO2 발생량 저감 효과
 - 기타 해양, 항만, 원자력발전소, 방폐 구조물 등 내구성, 수밀성이 요구되는 구조물에 활용 가능

보고서 면수

124면

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 1, 2세부에서 개발한 SUPER Concrete 재료 및 설계지침을 활용한 교량 상부구조물, 풍력타워, 부유식구조물, 건축물 등 SUPER Structure의 설계·시공 기술 개발을 통한 콘크리트 구조물 중량 30% 저감, 건설·유지관리 비용 10~20% 절감 및 내구수명 50~100% 증진 기술 확보를 통한 국가예산 절감 및 고부가가치 해외 사업 수주 견인 - SUPER Concrete 활용 200m~1000m급 사장교 상부구조 시스템 개발 - SUPER Concrete 활용 60m 이상 장지간 상부구조 시스템 개발 - SUPER Concrete 활용 40m~60m급 하이브리드 상부구조 시스템 개발 - 부재간 이음부, 이종 재료간 이음부 등 각종 연결부의 연결방안 및 구조 상세 개발 - 개발 시스템의 제작 및 가설 공법 개발 - 파일럿 설계 및 비교 설계, 경제성 분석, 테스트베드 및 현장적용 시공 - 최적 SUPER Concrete 프리캐스트 풍력타워 시스템 및 연결부 기술 - 최적 SUPER Concrete 프리캐스트 풍력타워 해석·설계·제작 기술 - 최적 SUPER Concrete 프리캐스트 풍력타워 시공 기술 및 시스템 인증(설계평가) - SUPER Concrete 활용 부잔교의 사양 설정 및 최적 설계, 안정성 평가 - 부잔교 해양외력 하중 특성 분석 및 부잔교 시제품의 성능평가 - SUPER Concrete 활용 부잔교의 설계지침(안) 개발 및 경제성 분석 - SUPER Concrete 활용 부유식 교량의 설계 사양 결정 및 설계평가 프로세스 개발 - SUPER Concrete 활용 부유식 교량의 설계지침(안) 개발 및 경제성 분석 - SUPER Concrete 활용 고성능 영구 거푸집 제작 기술 및 곡면 구조요소 기술 개발 - 고성능 패널 제품 시공·경제성 평가 및 제작·설계 지침서 작성 - SUPER Concrete 활용 건축 구조물 PSC 적용 기술 및 하이브리드 구조 시스템 개발				
연구개발성과	○ SUPER Concrete 활용 사장교 구조시스템 - 상부공사비 10% 절감, 수명 50% 증진 ○ SUPER Concrete 활용 장지간 상부구조 시스템 - 자중 30% 저감, 상부공사비 10% 절감, 수명 50% 증진 ○ SUPER Concrete 활용 하이브리드 상부구조 시스템 - 공사비 10% 절감, 이종재료간 100% 합성기술 ○ SUPER Concrete 활용 프리캐스트 풍력타워 - 초기공사비 20% 절감, 내구수명 100% 향상 ○ SUPER Concrete 활용 부유식 구조물 개발 - SUPER Concrete 활용 부잔교 설계 시제품 및 부유식 교량 설계지침(안) - 부잔교 설계/인증 가이드라인, 부유식교량 설계/인증 가이드라인, 부유구조물 최적단면 ○ SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술 개발 - 고성능 패널 완성품, PSC 적용 부재, 하이브리드 구조 시스템 각 2종 이상 - 개발 구조 요소·시스템의 설계·제작·시공지침(안) 3종 이상 - 개발 구조 요소·시스템의 현장적용 및 설계예제 각 1건 이상				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 교량, 터널 등 SOC 시설물의 공사비·유지관리비용 저감으로 국가예산 절감에 기여 ○ 고성능 재료 및 활용 기술 선점에 따른 국내 건설업체의 해외시장 진출 견인차 역할 및 이로 인한 외화 획득 기대 ○ 형태미, 구도, 기술력 및 보전성 등을 고려한 아름답고 친근한 콘크리트 구조물 개발로 콘크리트 구조물에 대한 거부감 해소 ○ 콘크리트 부재 슬림화에 따른 물량 30% 이상 절감으로 CO2 발생량 저감 효과 ○ 고성능 재료 제조 관련 무기재료, 화학혼화제, 레미콘 산업, 시공장치와 관련된 기계 산업의 발전에 기여 ○ 기타 해양, 항만, 원자력발전소, 방폐 구조물 등 내구성, 수밀성이 요구되는 구조물에 활용 가능				
국문핵심어 (5개 이내)	콘크리트 구조물	세계선도	저탄소	장수명	고성능 재료
영문핵심어 (5개 이내)	Concrete structures	Global leading	Low-carbon	Long life	High-performance materials

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	11
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	101
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	115
붙임. 참고 문헌	123

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목표

(1) 최종 목표

- SUPER Concrete 활용 구조(SUPER Structure)의 설계·시공 기술 개발을 통한 콘크리트 구조물 중량 30% 저감, 건설·유지관리 비용 10~20% 절감 및 내구성명 50~100% 증진을 달성하여 국가예산 절감 및 고부가가치 해외 사업 수주 전인

(2) 세부 목표

- SUPER Concrete를 활용하여 상부공사비가 10% 절감된 200~1,000 m급 사장교 상부구조 시스템 개발
- SUPER Concrete를 활용하여 상부공사비가 10% 절감된 지간장 60 m 이상의 장지간 교량 상부구조 시스템 개발
- SUPER Concrete를 활용하여 이중 재료와 합성을 통해 교량 형고 10% 축소 및 경간장 20% 이상 확장된 지간장 40~60 m 하이브리드 거더 시스템 개발
- 기존 재료를 대체하여 초기공사비 및 유지관리비를 20% 절감하고 내구성을 100% 이상 향상시킬 수 있는 SUPER Concrete 활용 프리캐스트 풍력타워 시스템 개발
- 기존 재료를 대체하여 초기공사비 및 유지관리비를 10% 절감하고 내구성을 50% 이상 향상시킬 수 있는 SUPER Concrete 활용 부유식 구조 시스템 개발
- SUPER Concrete를 활용하여 건설·유지관리 비용 절감 및 시공기간이 단축된 건축 구조물 성능향상 기술 개발

(3) 연차별 연구 목표

구분	기관명	연차					
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
교량	한국건설 기술 연구원 (주관)	■ SC 활용 교량 상부구조의 구조 형식 개발	■ SC 활용 교량 상부구조의 최적 설계 및 구조상세 도출	■ SC 활용 교량 상부구조의 단면 개선 및 구조상세 개발	■ SC 활용 교량 상부구조의 실용화 기술 개발	■ SC 활용 교량 상부구조의 현장 적용 추진	■ SC 활용 교량 상부구조의 현장 적용 추진
	대림산업 (공동)	■ 콘크리트 사장교 시공 기술 현황 분석	■ 부분 프리캐스트 콘크리트 사장교 구조요소 설계 및 제작기술 개발	■ 부분 프리캐스트 콘크리트 사장교 시공기술 개발	■ 현장타설 콘크리트 사장교 시공 기술 개발	■ SC를 활용한 현장 타설 사장교 시공지침서 작성	■ SC를 활용한 프리캐스트 사장교 시공지침서 작성
	포스코 건설 (공동)	■ 요소기술 조사 및 설계인자 분석	■ SC 주두부 시공을 위한 가설구조물 설계 및 시공 기술	■ SC 활용 스트럿 요소 개발 및 검증	■ SC 활용 실물실험 및 실용성 검토	■ SC 적용 스트럿 최적화 설계방안 연구	■ SC 적용 스트럿 설계예제 및 지침서 작성
	삼현 피에프 (공동)	■ SC 활용 하이브리드 교량구조의 개발	■ SC 활용 하이브리드 거더구조의 설계기술 개발	■ SC 활용 하이브리드 거더구조의 성능검증	■ SC 활용 하이브리드 거더구조의 성능검증 및 제품화 기술개발	■ SC 활용 하이브리드 거더 구조의 상용화 기술개발	■ SC 활용 하이브리드 거더 구조의 상용화 기술안정화 및 개선

구분	기관명	연차					
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
	씨알디 (공동)	■ SC 활용 U-거더 및 중지간 박스거더 구조형식 연구	■ SC 활용 U-거더 개발 및 실험	■ SC 활용 중지간 박스거더 개발 및 실험	■ SC 활용 중지간 (50m급) 분절형 박스거더 개발 및 실험	■ SC 활용 중지간 거더의 실용화를 위한 검증 실험	■ SC 활용 중지간 거더의 현장적용성 평가
	인터 컨스텍 (공동)	■ SC 활용 교량 상부구조의 구조 형식 개발	■ SC 활용 교량 상부구조의 최적 설계 및 구조상세 도출	■ SC 활용 교량 상부구조의 성능 평가 및 설계도서 작성	■ SC 활용 교량 상부구조의 실용화 기술 개발 ■ 슬래브 일체형 거더 가설법 검토	<조기종료>	-
	한양 대학교	■ 이종 압축강도 콘크리트 접합부의 부착 및 전단 성능 평가	■ 이종재료(SC-N C) 수직·수평 접합부의 응력전달 거동 평가 및 해석	■ 이종재료(SC-N C) 접합성능 향상 기술 및 FEM 해석 기법 개발	■ 이종재료(NC-N C, SC-SC, NC-S C) 현장 이음부의 사용성 평가 및 휨인장 내력에 대한 평가모델 제시	■ 콘크리트(SC-S C, SC-NC) 이음부의 평가 모델 제시 및 설계 방안 작성	-
	KAIST	■ SC적용 PSC구조 해석 기술 개발 방향 정립 및 개발	■ SC적용 PSC 구조계 정착구의 설계변수 도출	■ SC적용 PSC 구조 설계변수에 따른 부재 안전성 평가	■ SC적용 PSC 구조계 정착구의 설계기법 검증 및 단면설계 가이드 라인 작성	-	-
	금오공과 대학교	■ SC 활용 U-거더 및 중지간 박스거더 구조형식 해석 연구	■ SC 활용 U-거더 단면 해석 및 거동 분석	■ SC 활용 중지간 박스거더 단면 해석 및 거동 분석	■ SC 활용 중지간 분절형 박스거더 단면 해석 및 거동 분석	■ SC 활용 중지간 U-거더 검설계지침 작성	■ SC 활용 중지간 박스거더 설계지침 작성
	한국도로 협회	■ SC 적용 바닥판 최소두께 기준(안) 작성 ■ SC 적용 바닥판 사용성 기준(안) 작성	■ SC80, SC100 및 SC120 적용 바닥판 최소두께 기준(안) 정립 ■ SC 적용 바닥판 사용성 목표 성능(안) 정립	■ SC120f/ SC150f 적용 바닥판 최소 두께 기준(안) 정립 ■ SC 적용 바닥판 사용성 검증	■ SC 적용 바닥판 기준 개발	■ SC 적용 바닥판 기준(안) 보완	■ SC 적용 바닥판 실용화 지원 기술 개발
풍력	한국건설 기술연구원(주관), 대림산업 (공동)	■ 풍력타워 관련 기술현황분석 ■ 비교설계를 통한 타당성 검토 및 최적시스템 도출	■ 프리캐스트 풍력 타워에 적합한 SC 요구성능 제시 ■ 풍력 타워 최적화 기술 및 상세설계를 위한 통합하중 해석 및 설계안 검토	■ 현장조건에 따른 풍력타워 해석 및 설계 기술, 개선된 설계 도출 ■ 세그먼트간 연결부 역학 성능 평가 ■ 최적 시공프로세스 제안	■ 현장조건에 따른 풍력타워 해석 및 설계 정립 ■ 상세설계(안) 및 경제성 평가 ■ 제작성능, 역학 성능 등 검증 ■ 최적 시공프로세스 구현	<조기종료>	-
	한국건설 기술연구원(주관), 한국전금 (공동), 이디시엠 (공동)	■ SUPER Concrete를 활용한 부잔교의 기본안 도출	■ SUPER Concrete를 활용한 부잔교 시제품 개발(I) ■ SUPER Concrete 활용 부잔교 안전성 평가 및 설계/인증 가이드라인 개발	■ SUPER Concrete를 활용한 부잔교 시제품 개발(II) ■ 부유식 교량의 기술현황 분석 및 SUPER Concrete 적용성 분석	■ SUPER Concrete 활용 부잔교 실용화를 위한 설계 및 거동 평가	<조기종료>	-
건축	서울대 (공동), 충남대 (공동), 조선대 (공동)	■ SUPER Concrete를 활용한 건축 구조요소 상세 개발	■ SUPER Concrete를 활용한 건축 구조요소 성능 평가	■ SUPER Concrete를 활용한 건축 구조요소 성능 평가 및 응용	■ SUPER Concrete를 활용한 건축 구조요소 설계 기법 개발 및 발전	■ SUPER Concrete를 활용한 건축 구조요소 시공·경제성 평가 및 지침서 작성	-

나. 연구개발 필요성

(1) 연구개발 개요

(가) 총괄 기술의 정의

SUPER Structure 2020의 정의

첨단 재료기술과 핵심 설계·제작·시공 기술의 융·복합을 통한
세계 최고 수준의 콘크리트 구조물 건설기술
**SUPER Structure 2020: Sustainable, Ultra performing, Pioneering, Economic,
Remarkable Structure with 20% cost reduction and 20% share of oversea market by 2020**

- **첨단 재료기술(SUPER Concrete):** 압축강도 80MPa~180MPa급의 현장타설 및 공장제작이 가능한 저비용·장수명·고품질 성능 맞춤형 콘크리트
 - ※ 향후 2단계 사업 추진 시, 300MPa까지 확장 가능
- **세계 최고 수준의 콘크리트 구조물(SUPER Structure):** SUPER Concrete를 활용하여 공사비 20% 절감 및 해외시장 점유율 20%를 달성할 수 있는 저비용·장수명·고품질 콘크리트 구조물
- **세계 최고 수준:** 기존 구조물 대비 동등 이상의 성능을 유지하면서 공사비는 20% 절감할 수 있는 기술 수준
 - ※ 기존 기술보다 동등 이상의 성능을 유지하면서 공사비를 10~20% 절감해야만 시장 진입에 성공할 수 있고, 이를 시작으로 시장 점유율이 상승하게 되는 것이므로 이를 세계 최고 수준의 기술로 정의



[기술의 정의 및 개념]

(나) 총괄 사업구성 및 세부과제 기술의 정의

① 사업 구성

- 1세부과제: 80MPa~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발
- 2세부과제: SUPER Concrete 구조 성능 검증 및 설계지침 개발
- 3세부과제: SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발

② 3세부과제: SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발

- 정의: SUPER Concrete 또는 SUPER Concrete와 이종재료를 합성하여 저비용·장수명·고품질의 구조물 기술 개발
- 주요 연구 내용
 - SUPER Concrete 활용 교량 상부구조 개발
 - SUPER Concrete 활용 교량 상부구조 테스트베드 및 현장적용
 - SUPER Concrete 활용 프리캐스트 풍력타워 개발
 - SUPER Concrete 활용 부유식 구조물 개발
 - SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술 개발

(2) 연구개발 대상의 국내외 현황

(가) 기술동향 분석

- ① 국내외에서 콘크리트 I형 거더 교량은 보통 콘크리트를 사용하여 지간장 40m 정도에 대해서만 단면 효율화에 초점을 맞추어 개발되어 현장에 다수 적용되고 있음.
- ② 최근 60MPa~70MPa급 고강도 콘크리트를 사용하여 지간장을 60m까지 확장한 경우가 있으나(인터컨스텍, Seg Beam; 한국도로공사, EX-거더; 미국, SUPER Girder) 장경간 거더에 대한 연구는 중소규모 거더에 비해 연구 개발이 매우 부족한 상태임.
- ③ 국내에서 설계강도 180MPa급 초고성능 콘크리트의 개발이 완료된 상태이나, 경제성 문제를 극복해야 일반 교량까지 확대 적용될 수 있음. 철근은 인장강도 800MPa급, 고강도 강연선은 2400MPa까지 개발되어 있으나 관련 기준의 미비와 연구개발의 부족으로 실용화 단계까지는 이르지 못하고 있는 상황이며 이는 국외의 경우도 마찬가지 상황임.
- ④ 신재료를 적용하여 경제성까지 확보한 연구 사례로는 180MPa급 UHPC를 200m~800m급 사장교에 적용한 사례가 있으나 이는 공장제작에 한정된 것임(KICT, SUPER Bridge 200 Project)
- ⑤ 풍력개발의 경제성 제고를 위해 저풍속용 육상풍력기나 대형 해상풍력기의 필요성이 높아지고 있으나, 이들 풍력기는 기존의 90m 높이의 강재타워로는 경제성인 건설이 불가능하며, 현재 세계 각국에서는 콘크리트를 적용한 풍력타워 개발을 추진하고 있음.
- ⑥ 풍력 타워에서 재료를 강재에서 콘크리트로 대체할 경우 (1) 유지관리비용이 낮고, (2) 경제적이고, (3) 타워 높이와 현장조건에 따라 다양한 설계와 시공이 가능하고, (4) 높은 감쇠비로 인해 동적성능이 우수하고, (5) 강재타워 대비 친환경적인 장점이 있음.

- ⑦ 콘크리트를 적용할 경우 90m 이상에서 경제적인 것으로 판단되며, 강재타워 대비 2배 수준인 40년~60년의 수명이 가능할 것으로 예상될 뿐만 아니라 강재타워대비 탄소배출량이 낮은 것도 특징임.
- ⑧ 특히 80MPa~180MPa 강도의 SUPER Concrete를 합리적으로 활용한 풍력타워를 개발할 경우 일반콘크리트의 약점인 강도 대비 무거운 중량을 보완할 수 있을 것으로 판단되며, 프리캐스트 형식을 적용하여 상대적으로 빠른 시공이 가능하므로 이에 대한 최적 시스템과 시공기술의 개발이 필요함.
- ⑨ 따라서 본 과제에서 추진하는 SUPER Concrete를 합리적으로 적용한 프리캐스트 풍력 타워는 기존 강재 타워 대비 초기공사비 및 내구성 측면에서 우수하고, 보다 높은 타워 높이에 대응할 수 장점이 있으며, 향후 국내외 풍력 타워 시장에서 그 활용도가 높을 것으로 기대됨.
- ⑩ 특허기술 분석 결과, 주요 기술은 부양력 향상을 위한 부력체 형상을 재구성하는 기술 및 다수의 부력체 유닛을 연결하기 위한 연결구조, 수면 변화에 대응하기 위한 높이 조절 장치 등이 주요 기술이며, 사용재료는 경량 콘크리트, 알루미늄, 강재, FRP재료의 활용을 고려하고 있음.
- ⑪ 본 연구에서 대상으로 하는 고성능 콘크리트인 SUPER Concrete를 활용한 부유체 구조물에 관한 기술은 개발사례가 없으며, 신재료를 활용한 단면 개선, 연결부 구조 및 장치, 부유체 조립 방법 등에 관한 기술 선점이 가능할 것으로 판단되며, 특히 FRP 및 경량재료와 SUPER Concrete를 합성하는 하이브리드 형태의 부유체 구조물에 관한 기술선점이 가능할 것으로 판단됨.

(나) 시장동향 분석

- ① 국내 도로교는 총 27,381개(2010년)로 매년 약 1,000개씩 증가하고 있고, 연간 교량 수주액도 2000년 이후 꾸준히 증가하고 있으나, SOC 전체 투자 예산은 2009년 24.8조 원에서 2012년 22.6조 원으로 감소 추세임.
- ② 따라서 한정된 예산으로 SOC 시설물을 효율적으로 건설하기 위해서는 비용절감형 SOC 시설물 기술 개발이 필요함.
- ③ 국내 SOC 시설물에 대한 국가예산은 감소 추세인 반면, 동남아시아를 비롯한 개발도상국 및 중동 지역을 중심으로 한 해외 건설시장은 섬과 육지 간의 연결, 해양-지하 공간 확충, 초고층 건물 건설 등 다양한 환경에 대한 건설 수요가 급격히 증가하고 있음.
- ④ 최근 중동지역의 민주화 사태가 마무리됨에 따라 기 예정된 발주물량 이외에 각종 전후 복구사업의 추가로 인프라 발주가 확대될 가능성이 매우 높음.
- ⑤ 아프리카, 알제리의 경우 2014년까지 약 420억 달러를 투입하여 인프라를 구축할 예정이며 남수단에서도 인프라 개발 10개년 계획에 따라 주바와 주도를 잇는 교량 건설을 계획 중임.
- ⑥ 기후 변화, 환경오염, 에너지 고갈 등 글로벌 이슈의 등장으로 인해 정부는 “저탄소녹색성장”으로 대응하고 있으며, 이로 인해 신재생에너지의 중요성이 증대되고 있으며, 특히 풍력발전에 대한 비중이 증대할 것으로 예상됨.

- ⑦ 전세계 풍력 시장은 평균풍속 6-7m/s의 저풍속 지역의 시장이 급증하고 있으며, 해상풍력시장이 점진적으로 확대되고 있는 것으로 요약할 수 있음.
- ⑧ 현재 2.5MW-3MW급의 고풍속용 육상풍력이 주종을 이루나 향후 (1) 3MW급 저풍속용 육상풍력과 (2) 5MW이상의 대형 해상풍력이 시장을 주도할 것으로 예측됨.
- ⑨ 국내에서는 2015년까지 동북아시아를 선도하는 마리나허브국가로 도약하는 계획을 세우고, 2015년까지 요트 및 보트 등 석박규모가 3배 이상으로 확대될 전망이며, 이를 기준으로 할 때 약 75km이상(양면 접안기준)의 추가적인 부두시설과 이를 보호하기 위한 50km 이상의 소파제 시설이 필요하므로 이를 모두 부유식으로 건설하는 경우에는 부두용 부잔교에 약 7,500억원(1억원/m), 항구 보호시설용 부잔교에 2,500억원(0.5억원/m) 등 총 1조원 규모의 시장임.
- ⑩ 최근에 해양레저산업에서 급부상하고 있는 아시아권은 경제 발전과 소득수준 향상에 따라 중국과 한국을 중심으로 성장세를 유지하고 있으며, 현재 세계 마리나 시장규모는 약 300억 달러 정도이고 매년 43% 수준의 증가세를 기록하고 있음. 이러한 마리나 시장에서 부잔교를 적용한 시설물의 비율을 약 5%로 가정한다면 2012년 현재 1.8조원/년의 시장규모임.

(다) 인프라수준 분석

- ① 국내에 콘크리트 구조물 관련 연구를 수행하는 인력은 다수 있으나 전체적인 연구 인력의 능력이 외국에 비해 떨어지는 것으로 조사됨.
- ② 구조물의 설계, 해석분야의 석, 박사급 연구 인력은 매우 많으나, 특화된 건설 분야 연구 인력은 많지 않은 수준임.
- ③ 국내에서는 한국건설기술연구원, 철도기술연구원, 명지대학교, 현대건설, 대우건설, RIST 등이 대형 구조실험동을 보유하고 있어 콘크리트 구조물과 관련된 연구결과의 실증적 검증을 위한 연구기자재 인프라는 충분한 것으로 판단됨.
- ④ 다만 비선형 정밀구조해석을 위한 소프트웨어 및 관련 인력은 부족하며 실 시공을 위한 다양한 현장시공 장비는 국내개발이 되지 않은 상태로 연구를 통하여 개발할 예정임.
- ⑤ 연구 인프라 수준은 전반적으로 국제기술협력, 기술이전 부분에서 부족하지만, 산학연 공동연구기반은 선진국 대비 동등 수준임.
- ⑥ 우리나라의 마리나 시설을 비롯한 리조트에 적합한 소형의 부유체에 대한 기술개발은 최근의 레저수요에 힘입어서 대학과 중소기업을 중심으로 일부 진행되면서 시공되는 사례도 있으며, 최근에는 충주의 탄금호에 1.4 km 길이의 부유식 교량(부체교)을 (주)쌍용에서 콘크리트 폰툰을 이용하여 시공한 사례가 있으나, 미국 및 일본 등의 대규모 해상 인프라 건설 프로젝트와 비교하여 기술개발 및 적용 초기 단계임.
- ⑦ 미국 등 선진국은 대형 콘크리트 부유체 건설을 위한 기술로서 합체의 설계 및 시공, 테더링 기술 등이 활발하게 진행되고 있으나 고성능 콘크리트를 적용한 본격적인 연구는 아직 미진함.

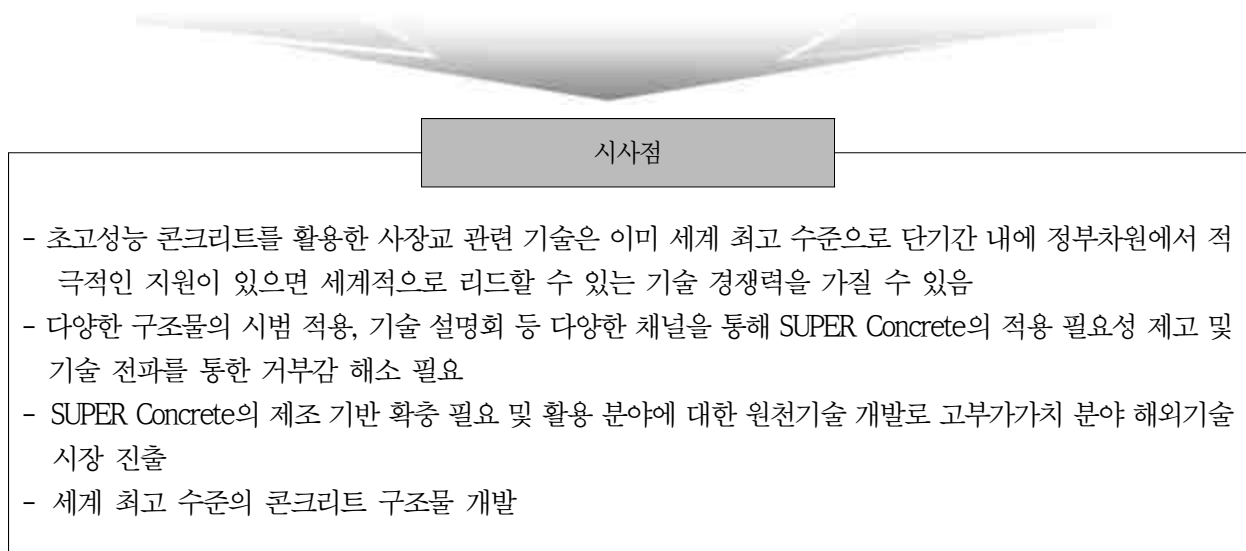
(라) 기술개발수준 및 경쟁력 분석

- ① 고성능 콘크리트 활용 교량 기술은 초고성능 콘크리트 활용 사장교 분야에서는 세계 최고 수준을 보유하고 있음.
- ② 반면, 일반교량 적용 기술 및 공법 관련 기술의 수준은 최고기술 보유국 대비 70%~80% 수준임.
- ③ 전문 인력은 선진국 대비 부족하지만 대부분의 분야에서는 국내 연구진들로 기술개발이 가능하다고 판단됨.
- ④ 또한 (초)고성능 콘크리트 활용 교량 기술 분야는 새롭게 시도되는 분야로서 집중적인 투자를 통해 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단됨.
- ⑤ 유럽에서는 노르웨이를 중심으로 한 북구유럽과 이태리를 중심으로 하는 지중해 연안국가가 콘크리트를 이용한 부유체의 연구개발이 활발하고 실제 현장적용이 가능한 수준이나 초고성능 콘크리트를 적용한 건설기술은 아직 시작단계임.
- ⑥ 미국의 경우에는 미해군을 중심으로 대형 부유체의 연구개발 요구가 크고 민간부분에서는 부유식 교량과 중/소형 부잔교에 초고성능 콘크리트를 적용한 기술개발의 여지가 큼.
- ⑦ 초고성능 콘크리트를 이용한 부잔교의 설계 및 제작 기술은 아직 초보단계에 있으나 해상구조물에서의 장점이 많은 이 재료를 이용한 부잔교의 제작 및 건설기술이 강재를 대체하거나 강재와 복합하여 적용될 가능성이 매우 큼.

(3) 내·외부 환경 SWOT 분석

내부 환경 분석	【 강 점(S) 】 - 180MPa급 초고성능 콘크리트를 활용한 세계 최고 수준의 사장교 관련 기술 확보 - 이 분야에 특화된 연구인력 보유 - 실증실험이 가능한 인프라 시설 보유 - 세계 최고층 빌딩 및 최대 규모 비정형 건설 프로젝트 경험을 통한 세계 최고 수준의 시공 기술력 확보 - 중국, 동남아, 중동 국가와의 우호적인 관계로 대형 건설 시장 진출 유리 - 프랑스, 미국, 독일과 같은 관련 기술 최선두 국가 대비 재료비와 인건비가 저렴하여 가격경쟁력 확보	【 약 점(W) 】 - 국내 건설시장의 침체 - (초)고성능 콘크리트 제조 기반 미약 - 국내 건설사, 설계사 등 고성능 건설재료의 기술력 부족 - 단일 성능과 공장제품에 한정된 제작방법의 초고성능 콘크리트 기술력 - 국내 건축분야 실적 및 홍보 부족 - 관련 분야 데이터베이스 부족
외부 환경 분석	【 기 회(O) 】 - 동남아시아 등 해외 건설시장의 확대 - 국가 예산 절감형(건설비용 절감 및 장수명화) 인프라 시설 수요 증대 - 국가예산 절감형 SOC 시설물 수요 증대 - SOC 시설물의 건설·유지관리 비용 절감 및 내구성 향상 필요 - 국내외적 개발/적용초기 단계로서 기술선점을 통한 향후 시장 점유 가능성 - 미래 신성장 동력 창출	【 위 험(T) 】 - 선진국에서도 미래 신성장 동력으로 인식하고 국가 차원의 적극적인 지원 - 국내 건설사, 설계사, 발주처에서 고성능 건설재료의 적용 필요성 부족 - 막연한 신재료 및 고성능 재료의 불안감 - 국내 건설경기 침체로 현장 적용 어려움 - 잦은 정부정책 변경에 따른 R&D 예산 및 연구기간 변경 - 고가의 신재료, 고성능 재료 사용시 초기 건설비용

- 초고층, 대공간 구조물 등 대형 구조물 증가에 따른 재료의 고성능화 요구 - 시공 현장에서 젊은 기능인력 부족현상에 따른 노동집약적 공법 탈피 요구됨 - BIM 발전에 따른 자유형상 콘크리트 수요 증대 - 노후 건축물 리모델링 및 보수/보강시 과도한 비용과 불편 발생에 따른 건축물 내구성 향상 요구 증대 - 일본, 중국 등 인접국가의 대규모 지진 피해사례와 국내에서의 잦은 지진 발생에 따른 불안감 증대로 건축 구조물 안전성 향상 요구 증대	이 높아짐 - 연구 종료 후 실용화 추진 시 연구비 부족으로 인해 진행이 불가한 경우가 생길 수 있음 - 건축분야 연구 개발 및 현장 적용 실적 전무
---	---



(4) 연구개발의 중요성

(가) 기술적 측면의 연구개발 중요성

- ① 온실가스 배출량을 줄이기 위한 국가적 정책 요구 증대에 따라 이를 뒷받침하기 위한 친환경 기술개발의 중요성이 부각되고 있음.
- ② 교량 분야에서도 탄소 배출량 저감을 위해 건설재료의 절감, 건설재료 라이프사이클 연장, 급속시공 등의 기술개발이 요구되는 상황임.

(나) 경제·산업적 측면의 연구개발 중요성

- ① 본 연구단에서 추진하고자 하는 과제의 산업정책적/국토개발정책적 중요성은 다음과 같음.
 - 교량의 신소재 기술개발은 기존 교량의 주재료인 콘크리트 및 강재 사용량을 절감시켜 재료의 생산, 시공 과정에서 발생하는 탄소 발생량을 최소화 시킬 수 있음.
 - 탄소배출량 저감 측면 외에 본 연구단을 통한 기술개발은 교량 수명연장 및 공기단축을 통한 사회비용 절감효과 측면에서 국가적으로 중요하게 부각되고 있음.
 - 국내 건설산업 침체를 타파하기 위하여 국토해양 R&D 전략에서도 세계 최고 기술개발과 이를 통한 해외 시장 점유율 확대를 주요한 목표로 설정하고 있음.

- ② 탄소배출량 저감과 해외시장 개척을 위한 정부의 정책지원 및 사회비용 절감 측면에서 본 연구단의 산업, 국토개발 정책적 중요성은 타당하게 서술되어 있다고 판단됨.

(다) 사회·문화적 측면의 연구개발 중요성

- ① 본 연구단의 추진으로 다음과 같은 사회문화적 기여를 예상할 수 있음.
- 첨단 재료 및 설계·제작 핵심기술 확보에 따라 구조물 장수명화를 이룰 수 있으며 주요 구조물의 시공 및 유지관리 관련 국가 예산 절감에 기여
 - 월드베스트 기술의 확보로 세계 건설시장 수주 확대에 기여하며, 관련기술의 국제 경쟁력 강화에 기여
 - 본 사업을 통해 개발된 기술의 교량, 건물 등의 시설물에 적용을 통한 관련기술 보급 효과
 - 제안 기술은 기존 기술 대비 내구성 및 안전성이 강화된 기술로서 재해·재난에 대한 안전성 강화 및 예방 중심적 기술로서 국민행복 기술에 해당

(라) 정부지원 필요성

- ① 본 연구단을 구성하는 세부과제별로 정부지원의 타당성을 서술하고 있으며, 내용은 다음과 같음.
- 구조물의 저비용·장수명화에 요구되는 기술개발 및 활용에 필요한 관련기준 개발은 공공적 성격이 강함.
 - 관련 연구에 대한 기업 및 대학에서의 개별적 진행으로 설계기준·지침 및 시방서 등을 제시하기 위한 데이터의 축적이 이루어지지 못함.
 - 설계기준 및 시방서는 관련 기술의 실용화를 위한 필요조건으로 이는 정부차원에서 지원하는 것이 마땅하다고 판단됨.
 - 연구개발의 실용화를 위한 테스트베드 후보지 선정 및 건설에 정부의 적극적인 지원이 필요함.
 - 콘크리트 구조물은 주요 선진국에서도 가장 큰 비중을 차지하는 구조물로 미국, 프랑스, 독일 등 주요 국가들에서 정부 차원에서 예산을 지원하여 콘크리트 구조물의 품질 및 내구성 향상을 위해 고성능 및 초고성능 콘크리트를 활용하기 위한 기술개발에 박차를 가하고 있으므로 이들 국가들과 경쟁하기 위해서는 정부차원의 연구개발 투자가 반드시 필요함.
 - 본 연구단의 과제들은 단기 영업이익을 산출하기보다는 장기적인 연구개발이 필요하며, 국제적인 기술우위를 점유하기 위해서는 정부지원 하에 체계적인 연구개발이 필요함.
- ② 개별 진행되는 연구 통합, 사회간접비용 절감, 건설분야 탄소배출량 저감 및 장기적인 연구개발의 필요 측면에서 본 연구단에 대한 정부의 지원은 타당하다고 판단됨.

2. 연구수행내용 및 성과

가. SC활용 200~1,000m 사장교 상부구조 시스템 개발

(1) SC활용 사장교 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 개발

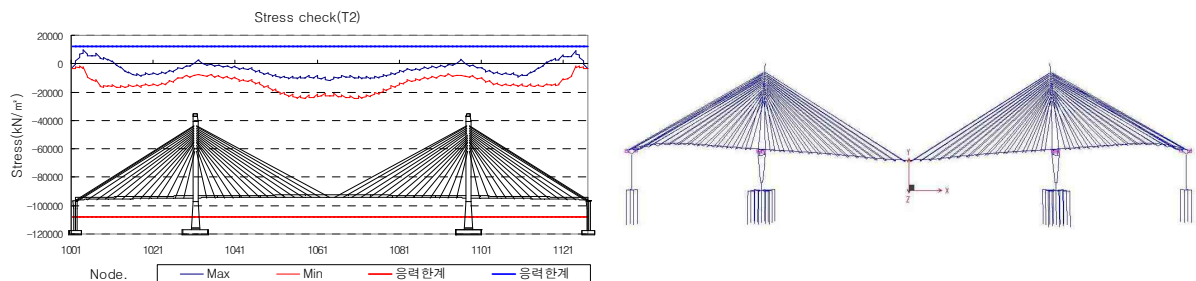
(가) SC활용 200m급 사장교 상부구조 시스템 개발 및 경제성 분석

① 설계 대상 교량 선정

- 최근 설계된 주경간장 150~250m급의 국내 콘크리트 사장교 중 최신 기술과 설계 기준이 적용된 경제적인 사장교를 대상으로 SC를 활용한 비교 설계 실시
→ 상기 목적에 가장 부합하는 주경간장 250m인 영광대교*를 대상 교량으로 선정
*영광대교: 중앙 경간장 250m, 총 연장 470m인 2주탑 콘크리트 사장교(교폭 15.0m)
- 동일한 설계기준 및 부재사용률을 적용하여 설계 후 공사비 비교

② SC 활용 최적 구조시스템 도출 및 단면 설계

- 국내 콘크리트 사장교 18개소에 대한 단면형상과 주경간장, 폭원 등에 대한 분석 결과를 토대로 시공성과 물량 측면에서 유리한 에지거더 형식으로 단면 형상 결정
- 내진 및 내풍해석을 포함한 구조해석 결과를 토대로 SC재료별로 최적단면 도출



[구조해석 결과 예시]

③ 물량 산출 및 경제성 분석

㉠ 주요 수량

명칭	콘크리트(m³)	케이블(톤)	종방향 강연선(톤)	강봉(톤)
원안(NC45)	4,986	311.150	69.632	-
SC 80	3,465	225.490	139.519	-
SC100	3,208	221.160	149.653	-
SC120	3,014	213.390	157.046	-
SC150f	2,537	199.980	78.441	96.80
SC180f	2,344	194.630	60.652	96.80

㉡ 상부공사비

공사비(억 원)	원안(NC45)	SC80	SC100	SC120	SC150f	SC180f
상부공(케이블 제외)	65.2	66.1	67.8	69.5	93.4	96.8
케이블 공	70.0	52.7	51.9	50.3	47.6	46.5
기 타	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
상부공 전체	163.9	147.6	148.4	148.5	169.7	172.1
비율(%)	100.0%	90.1%	90.5%	90.6%	103.6%	105.0%

- 굵은 골재를 사용한 SC80~SC120은 8.6~9.9% 공사비 절감 (☞ 현장타설)
- 강섬유를 사용한 SC150f, SC180f는 3.6~5.0% 공사비 증가 (☞ 프리캐스트)

㉔ 총공사비(하부공사비 포함)

공사비(억 원)	원안(NC45)	SC80	SC100	SC120	SC150f	SC180f
상부공	163.9	147.6	148.4	148.5	169.7	172.1
하부공	148.6	134.6	133.1	132.5	128.3	127.4
총공사비	312.5	282.2	281.5	281.0	298.0	299.5
비율(%)	100.0%	90.3%	90.1%	89.9%	95.4%	95.8%

- 주탑 및 기초를 포함한 총공사비는 재료에 따라 3.4~10.1% 공사비 절감 가능
- 원안 및 SC80~SC120은 현장타설, SC120f~SC180f는 프리캐스트 제작으로 가정

(나) SC활용 400m급 사장교 상부구조 시스템 개발 및 경제성 분석

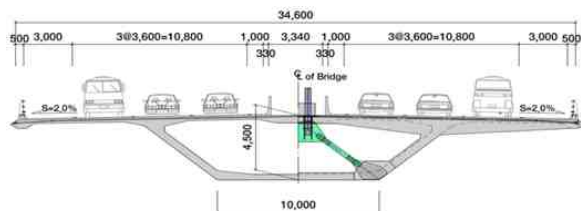
① 설계 대상 교량 선정

- 초장대교량 사업단에서 최신 기술을 망라하여 경제적으로 설계한 고덕대교*(구리-안성 간 고속도로의 한강 회단교량)로 비교 대상 선정

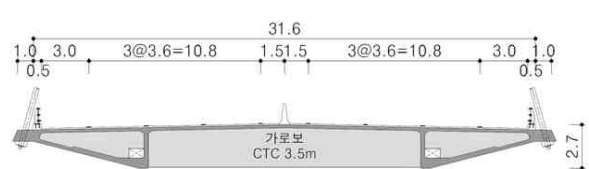
*고덕대교: 중앙 경간장 350m, 총 연장 700m인 2주탑 콘크리트 사장교(교폭 34.6m)

② SC 활용 최적 구조시스템 도출 및 단면 설계

- 원 설계인 박스거더와 에지거더, 이를 변형한 형식 등에 대해 검토한 결과 시공성과 경제성 측면에서 유리한 에지박스거더 형식으로 선정



(a) 원 설계(박스거더)



(b) SC 적용 단면(에지박스거더)

[SC 적용 단면 형상 도출]

- 기본 검토를 거쳐서 SC 재료별로 시공단계를 고려한 설계 수행 후 최적 단면 도출

재료	원안(NC50)	SC80	SC100	SC120	SC120f	SC150f	SC180f
거더높이	4.5m	2.7m	2.7m	2.7m	2.7m	2.7m	2.7m
바닥판두께	250mm	200mm	195mm	190mm	160mm	155mm	150mm
복부두께	430mm	260mm	250mm	240mm	220mm	210mm	200mm
가로보두께	N/A	300mm	280mm	260mm	240mm	220mm	200mm

③ 경제성 분석

㉕ 상부공사비

공사비(억 원)	NC50	SC80	SC100	SC120	SC120f	SC150f	SC180f
상부공(케이블 제외)	203.2	164.6	169.0	176.4	227.7	234.8	257.3
케이블 공	141.3	123.9	121.1	118.1	111.9	109.0	106.0
상부공 전체	344.5	288.5	290.1	294.5	339.6	343.8	363.3
비율(%)	100.0%	83.7%	84.2%	85.5%	98.6%	99.8%	105.5%

- 굵은 골재를 사용한 SC80~SC120은 14.5~16.3% 상부공사비 절감 (☞ 현장타설)

- 강섬유를 사용한 SC120f~SC180f는 원안 대비 큰 차이가 없음 (☞ 프리캐스트)

㉑ 총공사비(하부공사비 포함)

공사비(억 원)	원안(NC50)	SC80	SC100	SC120	SC120f	SC150f	SC180f
상부공	344.5	288.5	290.1	294.5	339.6	343.8	363.3
하부공	163.7	157.4	155.6	156.6	151.6	151.3	150.6
총공사비	508.2	445.9	445.7	451.1	491.2	495.0	513.9
비율(%)	100.0%	87.8%	87.7%	88.8%	96.7%	97.4%	101.1%

- 총공사비는 재료에 따라 굵은 골재 사용 SC는 10% 이상 절감되나, 프리캐스트로 시공되는 SC120f~SC180f는 유사한 수준으로 분석됨.

(다) SC활용 600m급 사장교 상부구조 시스템 개발 및 경제성 분석

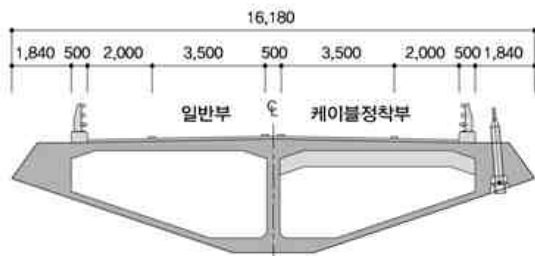
① 설계 대상 교량 선정

- 중앙 지간장 500m 이상인 국내외 콘크리트 사장교 중에서 자료 확보가 가능하고 국내 최장의 콘크리트 사장교인 화양대교*로 선정

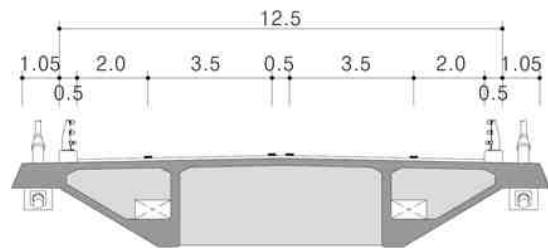
*화양대교: 중앙 경간장 500m, 총 연장 854m인 2주탑 콘크리트 사장교(교폭 12.5m)

② SC 활용 최적 구조시스템 도출 및 단면 설계

- 원 설계인 박스거더를 포함 적용 가능한 다양한 형식에 대한 검토 결과 경제적이면서도 장대교량에서 중요한 내풍성능을 고려하여 에지박스거더 형식으로 결정
- 기본 검토를 거쳐서 SC 재료별로 시공단계를 고려한 설계 수행 후 최적 단면 도출
- 거더 높이 : 원안 3.5m, SC 적용안 2.5m



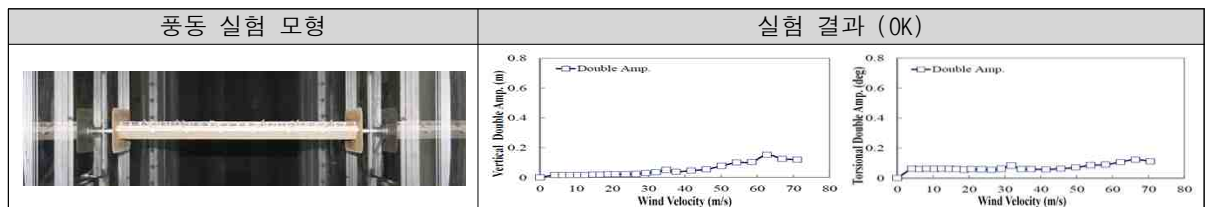
(a) 원 설계(박스거더)



(b) SC 적용 단면(에지박스거더)

[SC 적용 단면 형상 도출]

- 내풍 안정성 평가 : 도출된 최적단면을 대상으로 모형 제작 후 풍동실험 실시



- 와류 및 플러터 안정성 평가 결과 한계풍속(60.5m/s)을 상회하는 70m/s 이상 플러터에 대해 안정하고, 난류 및 감쇠상태에서 와류진동에 대해 안정함을 확인함

③ 경제성 분석

㉓ 상부공사비

공사비(억 원)	NC45	SC80	SC100	SC120	SC120f	SC150f	SC180f
상부공(케이블 제외)	134.8	115.4	119.7	125.3	165.4	171.2	186.7
케이블 공	143.2	120.9	119.4	118.3	112.3	110.4	108.1
상부공 전체	278.0	236.3	239.0	243.6	277.7	281.5	294.9
비율(%)	100.0%	85.0%	86.0%	87.6%	99.9%	101.3%	106.1%

- 굵은 골재를 사용한 SC80~SC120은 원안 대비 12.4~15.0% 상부공사비 절감
- 프리캐스트로 시공되는 SC120f~SC180f는 원안 대비 다소 공사비가 증액됨

㉔ 총공사비(하부공사비 포함)

공사비(억 원)	원안(NC45)	SC80	SC100	SC120	SC120f	SC150f	SC180f
상부공	278.0	236.3	239.0	243.6	277.7	281.5	294.9
하부공	335.1	316.7	312.8	311.2	307.8	306.1	304.3
총공사비	621.9	562.4	561.0	563.7	585.5	587.6	599.2
비율(%)	100.0%	90.2%	90.0%	90.5%	95.5%	95.8%	97.7%

- 총공사비는 재료에 따라 2.3~10.0%까지 절감 가능한 것으로 나타남

(라) SC활용 800m급 사장교 상부구조 시스템 개발 및 경제성 분석

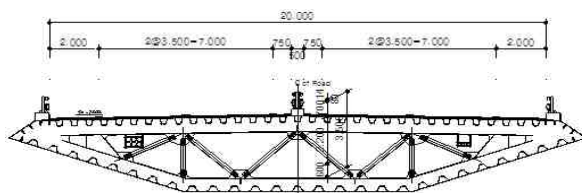
① 설계 대상 교량 선정

- 주경간장이 800m 이상인 국내외 사장교는 모두 강박스로 설계되어 있으며, 이 규모에서는 일반콘크리트로 계획자체가 불가하므로 대상교량을 인천대교*로 선정

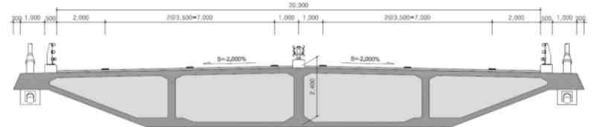
* 인천대교: 중앙 경간장 800m, 총 연장 1,480m인 2주탑 강사장교(교폭 33.4m)

② SC 활용 최적 구조시스템 도출 및 단면 설계

- 원 설계의 폭원이 6차로로 일반적이지 않아 향후 적용성 등을 고려하여 4차로로 조정
- 대부분의 장대교량에서는 내풍 안정성 등의 이유로 박스거더를 사용하고 있으며, 이러한 점을 고려하여 원안과 유사하게 박스거더 형식으로 결정
- 기본 검토 및 시공단계 해석 후에 SC 재료 4종에 대해 현장타설과 프리캐스트 공법으로 분리하여 각각에 대해 최적 단면 도출



(a) 원 설계(강박스)



(b) SC 적용 단면(박스거더)

[SC 적용 단면 형상 도출]

[SC 재료별 부재 두께(mm)]

구분	SC80	SC120	SC120f	SC180f
바닥판 슬래브 t_s	200	195	160	150
내측복부 $t_{w,1}$	400	380	360	350
외측복부 $t_{w,2}$	300	280	260	250
하부슬래브 t_b	200	195	160	150

③ 경제성 분석

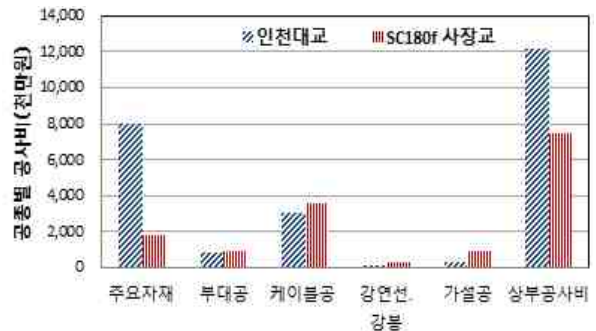
㉓ SC 재료별 상부공사비 비교

공사비(억 원)	SC80		SC120		SC120f		SC180f
	현장타설	프리캐스트	현장타설	프리캐스트	현장타설	프리캐스트	프리캐스트
상부공(케이블 제외)	216.2	252.5	248.2	279.7	284	318.1	389.7
케이블 공	399.8	399.8	390.8	390.8	361.9	361.9	354.7
상부공 전체	616	652.4	639	670.5	645.9	680	744.5
비율(%)	100%	105.9%	103.7%	108.9%	104.8%	110.4%	120.9%

- SC80 기준으로 현장타설은 3.7~4.8%, 프리캐스트는 2.8~14.1% 정도 차이 발생
- 동일 재료 사용시 현장타설과 프리캐스트 적용에 따라 약 5% 정도 차이 발생
- 장대교량에서 콘크리트 현장타설이 가능한 지에 대해서는 추가적인 검토 필요

㉔ 원안과 SC180f(프리캐스트) 적용 시의 상부공사비 비교(단위: 천만 원)

구분	원안(강재)	SC180f	증감액
주요자재	8,038.4	1,775.2	- 6,263.3
부대공	856.9	938.0	81.0
케이블공	3,037.4	3,547.3	509.9
강연선/강봉	-	308.1	308.1
가설공	270.9	876.1	605.2
상부공사비	12,203.6	7,444.6	- 4,759.0



- 강사장교인 원안 대비 SC180f 적용 시 상부공사비 39.0% 절감 가능

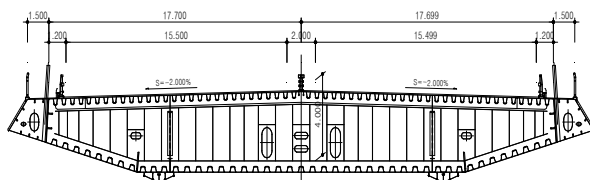
(마) SC활용 1000m급 사장교 상부구조 시스템 개발 및 경제성 분석

① 설계 대상 교량 선정

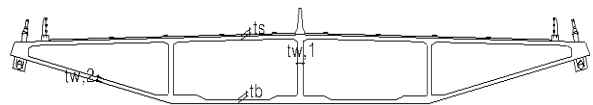
- 주경간장이 1000m 이상인 사장교 중 다소의 설계자료가 알려진 수통대교로 선정
- * 수통대교(중국): 중앙 경간장 1,088m, 총 연장 2,088m인 2주탑 강사장교(교폭 35.4m)

② SC 활용 최적 구조시스템 도출 및 단면 설계

- 800m급 사장교와 유사한 조건이므로 다중박스거더 단면을 채택하고, SC 재료 4종에 대해 현장타설과 프리캐스트 공법으로 분리하여 각각에 대해 최적 단면 도출



(a) 원 설계(강박스)



(b) SC 적용 단면(박스거더)

[SC 적용 단면 형상 도출]

③ 경제성 분석

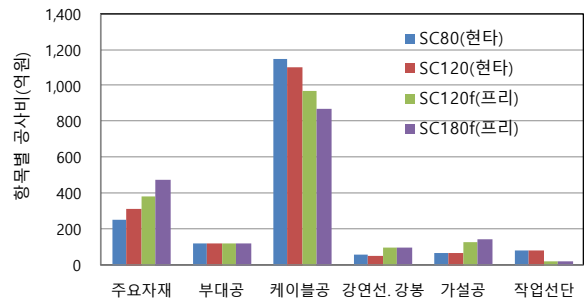
㉓ SC 재료별 상부공사비 비교

- 주요 수량 비교

구분	콘크리트(m³)		케이블(ton)		강연선(ton)		강봉(ton)
	수량	비율	수량	비율	수량	비율	수량
SC80(현장타설)	46,163	100.0%	8,756	100.0%	700	100.0%	-
SC120(현장타설)	43,926	95.2%	8,374	95.6%	626	89.4%	-
SC120f(프리캐스트)	38,422	83.2%	7,412	84.7%	1,159	165.6%	6.48
SC180f(프리캐스트)	36,846	79.8%	6,648	75.9%	1,146	163.7%	6.08

- 상부공사비 비교(억 원)

구분	SC80 (현타)	SC120 (현타)	SC120f (프리)	SC180f (프리)
상부공 (케이블 제외)	579	627	757	864
케이블 공	1,146.1	1,096.2	970.5	870.6
상부공 전체	1,725	1,723	1,727	1,734
비율(%)	100.0%	99.9%	100.1%	100.5%



- 상부공사비에서 케이블공의 영향이 절대적이어서 재료별, 공법별 차이가 거의 없음

㉔ 원안과 SC 적용 시의 상부공사비 비교(단위: 천만 원)

구분	원안(강재)	SC80(현타)	SC120(현타)	SC120f(프리)	SC180f(프리)
상부공(케이블 제외)	2,011	579	627	757	864
케이블 공	820	1,146	1,096	971	871
상부공 전체	2,831	1,725	1,723	1,727	1,734
비율(%)	100.0%	61.0%	60.9%	61.0%	61.3%

- 강사장교인 원안 대비 SC 적용 시 상부공사비 약 39% 정도 절감 가능

㉕ 총공사비(하부공사비 포함)

공사비(억 원)	원안(강재)	SC80(현타)	SC120(현타)	SC120f(프리)	SC180f(프리)
상부공	2,831	1,725	1,723	1,727	1,734
비율(%)	100.0%	61.0%	60.9%	61.0%	61.3%
하부공	943	1,224	1,214	1,186	1,156
비율(%)	100.0%	129.8%	128.8%	125.8%	122.7%
총공사비	3,773	2,971	2,960	2,911	2,887
비율(%)	100.0%	78.2%	77.9%	77.2%	76.6%

- 하부공사비는 원안 대비 22.7~29.8% 정도 증가

- 총공사비는 SC 적용시 약 23%까지 절감 가능

- 다만, 주경간장 600m 이상 장대교량 상부구조물에 콘크리트를 적용한 사례가 없으므로 가설기간, 캠버관리, 강연선 시공방법, 하부구조 대형화, 야적장(프리캐스트) 등에 대한 추가 검토 필요

(바) SC활용 사장교 상부구조 현장 적용 기술

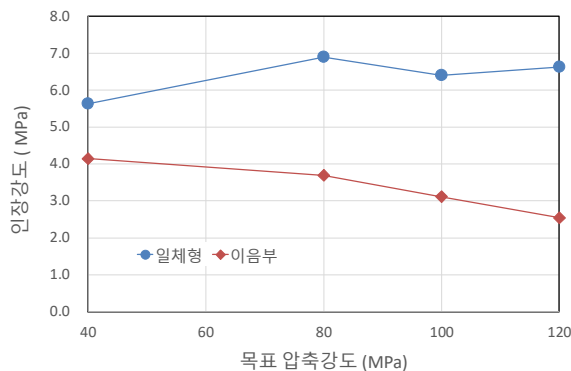
① 굽은 골재 사용 SC의 현장 이음부 구조성능평가

㉠ 실험 개요

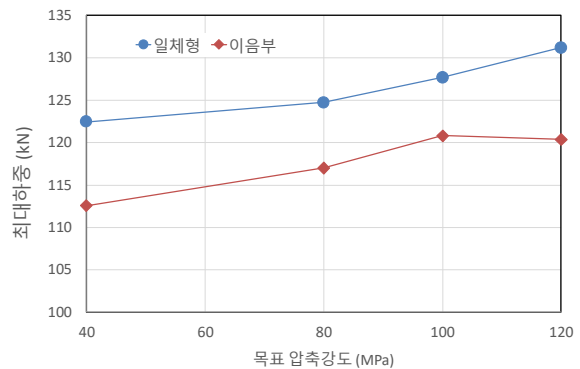
- FCM 공법 과정에서 나타나는 신·구 콘크리트 간의 이음부에 대한 휨인장 성능을 평가하고 적절한 이음부 설계방법을 제시하고자 함
- 보통 콘크리트(40MPa, NC40), SC80, SC100, SC120의 연결 시 1차 콘크리트의 접합면에 치핑 처리 후 2차 콘크리트를 타설한 실험체에 대해 성능 평가 수행

㉡ 실험 결과 및 분석

- 일체타설 대비 분리타설한 경우의 인장강도는 NC40, SC80, SC100, SC120에 대해 각각 73.7%, 53.5%, 48.6%, 38.4% 수준으로 나타나서, 압축강도가 증가할수록 현장이음부의 인장강도(균열강도)는 상대적으로 감소하므로 이를 고려한 설계 필요
- 일체형 대비 분리형의 휨강도는 NC40, SC80, SC100, SC120에 대해 각각 91.9%, 93.8%, 94.6%, 91.8%의 유사한 수준으로 모두 90% 이상으로 나타남



[일체형과 분리형의 인장강도 비교]



[일체형과 분리형의 휨강도 비교]

(2) SC활용 사장교 상부구조 시공 기술 개발

(가) 콘크리트 사장교 시공기술 현황 분석

① 국내외 콘크리트 사장교 가설공법 현황 조사 및 분석

㉠ 국내 10개소 및 국외 11개소 콘크리트 사장교에 대한 상세 분석

㉡ SC 활용에 따른 품질 및 가격 경쟁력 확보를 위한 핵심 시공기술 도출

- 콘크리트 사장교는 시공 중 부모멘트가 공용 중보다 큰 경우가 많아 설계 지배
- 시공 중 부모멘트 저감에 의한 단면 최적화 및 공기 단축이 핵심 기술

② 프리캐스트 및 현장타설 제작에 따른 최적 가설방안 및 핵심기술 제시

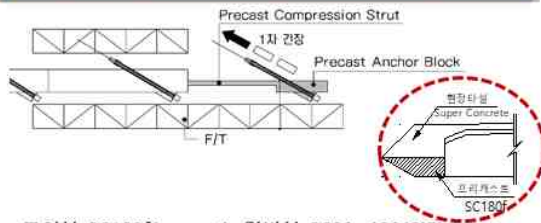
㉠ 프리캐스트 가설 방안

- SC 재료의 장점을 극대화할 수 있는 부분 프리캐스트 콘크리트 사장교가 최적
- 핵심시공기술 : 최적의 SC 재료 선정 및 부분 프리캐스트 콘크리트 시공기술

㉡ 현장타설 가설 방안

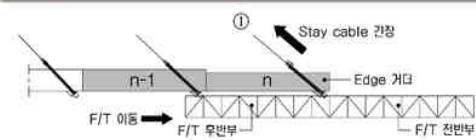
- 경제성, 공기, 시공성 및 품질 측면에서 중량배분방식 F/T 공법이 가장 유리
- 핵심시공기술 : 공기단축형 중량배분식 F/T 운영방안

프리캐스트 콘크리트 사장교 부분 프리캐스트 콘크리트 사장교 시공기술



- 코어부 SC180f(precast), 일반부 SC80~120(CIP)
- 보강형 및 F/T 규모 감소 통한 원가절감 효과 기대

현장타설 콘크리트 사장교 중량배분 F/T 적용 현장타설 콘크리트 사장교 시공기술



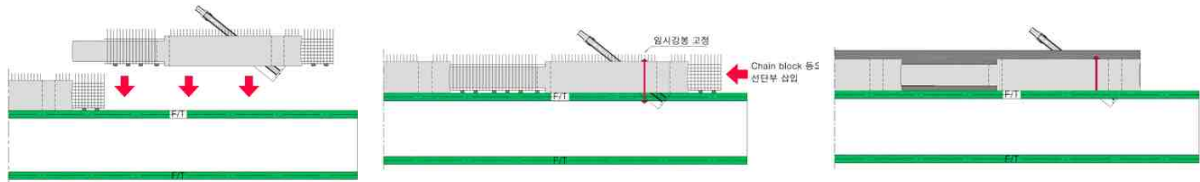
- F/T 중량비(Front : Middle+Rear)=1:3 → 부모멘트 감소
- 일회 런칭시 (n-1)번째 슬래브, 가로보와 n번째 거더 동시 타설로 공기 단축 효과 → 경제성 향상

[SC 활용 콘크리트 사장교의 최적 가설방안]

(나) 부분 프리캐스트 콘크리트(Partial Precast Concrete; PPC) 사장교 시공기술 개발

① PPC 사장교의 개념

- 케이블 정착부가 매입된 프리캐스트 블록(코어부)을 제작해서 F/T 위에 설치한 후 바로 케이블을 1차 긴장해 현장타설시 케이블이 지지할 수 있으며, 동시에 F/T에 작용하는 힘도 줄일 수 있는 공법



(a) 코어 거치

(b) 임시강봉 체결 및 케이블 1차 긴장

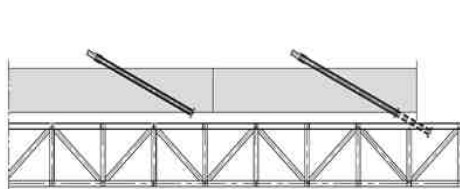
(c) 현장타설 및 케이블 2차 긴장

[PPC 사장교 시공 방안]

② PPC 사장교 구조요소 설계 및 제작기술 개발

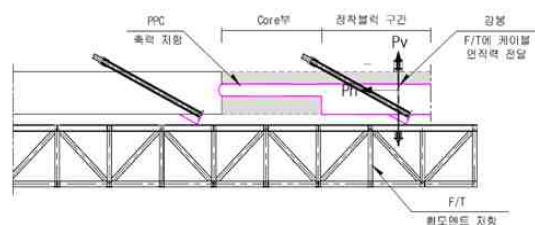
㉞ 코어부와 일반부의 재료 조합에 따른 최적 단면 도출

- 대상교량 : 거북선대교(주경간장 230m)
- 코어부(프리캐스트)와 일반부에 대해 재료별 조합을 달리하여 구조해석을 실시하여 각 조합별 최적단면 도출



- F/T에 고정된 케이블 1차 긴장→현장타설→양생 →2차긴장
- F/T에 케이블 압축력 작용으로 F/T응력 증가 및 F/T 과대

(a) 원안



- 코어 거치 → Core와 F/T 연결 → 1차긴장 → 현장타설 → 양생 → 2차긴장
- 케이블 축력 Core 부담으로 F/T 경감, 케이블 선설치로 현장타설부 응력 저감

(b) PPC 적용 안

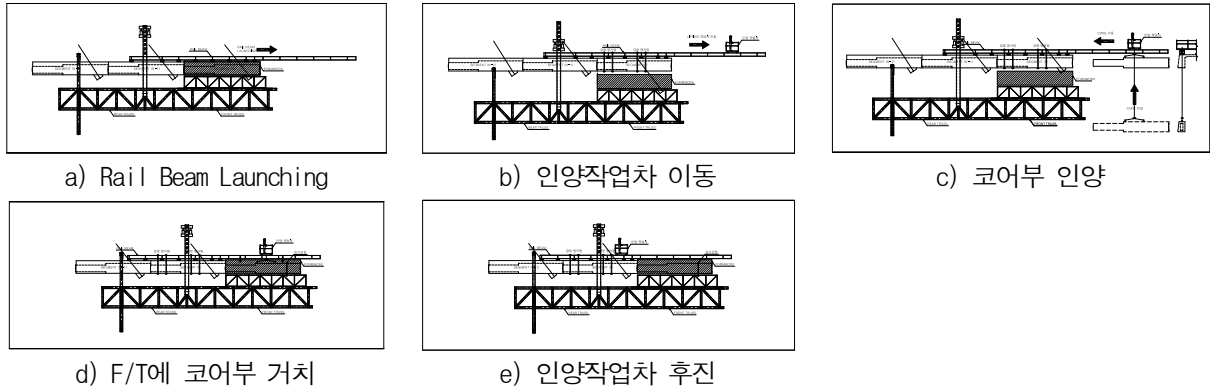
[기존 방법 및 PPC 적용 안 비교]

③ 프리캐스트 공법 적용을 위한 가설장비 설계

㉓ Lifting F/T 제안 배경

- 경제성 : F/T 레일빔 단면 증가, 작업대차/인양장비 추가, 가설하중의 증가, 작업대차 및 인양장비 제작비 발생
- 시공성 : 코어부 수직 인양, 작업대차 운용이 다소 복잡하여 작업 효율이 낮고 철근 배근시 및 콘크리트 타설시 레일과의 간섭 문제

㉔ 가설장비 운용 프로세스



[Lifting F/T의 작업공정]

㉕ 공사비 분석

- 공사비 산정을 위하여 Lifting F/T 공법 및 크레인 적용시 재료조합별 물량 집계
- PPC 공법 적용시 **상부공사비 약 10% 절감 가능** 확인

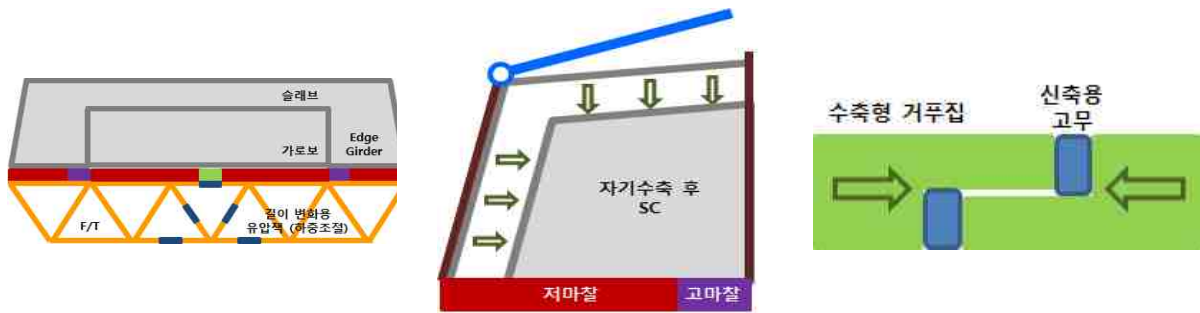
[가설방법 별 공사비 비교]

구분	원안 (NC40)	PPC-SC80/SC120		PPC-SC80/SC120f		PPC-SC80/SC150f		PPC-SC80/SC180f	
		Lifting F/T	Crane	Lifting F/T	Crane	Lifting F/T	Crane	Lifting F/T	Crane
공사비 (억 원)	145.68	135.02	134.71	136.14	135.87	134.65	134.40	131.61	131.10
	100.0%	92.7%	92.5%	93.5%	93.3%	92.4%	92.3%	90.3%	90.0%

(다) 현장타설 콘크리트 사장교 시공기술 개발

① SC 현장타설용 중량배분식 F/T 설계

- 시공이음부 처리 위해 깊이 6mm를 만족하는 문양거푸집 적용
- SC 단위중량에 따른 측압 대비 및 유동성 대비 경사타설을 위한 상면 거푸집 적용
- 각 세그먼트마다 모양이 변하는 케이블 정착부와의 간섭을 피하기 위해 힌지를 이용한 퍼즐형 상면 거푸집 적용
- SC의 자기수축에 대응하기 위해 수축형 F/T 적용



(a) 엣지거더 상면거꾸집

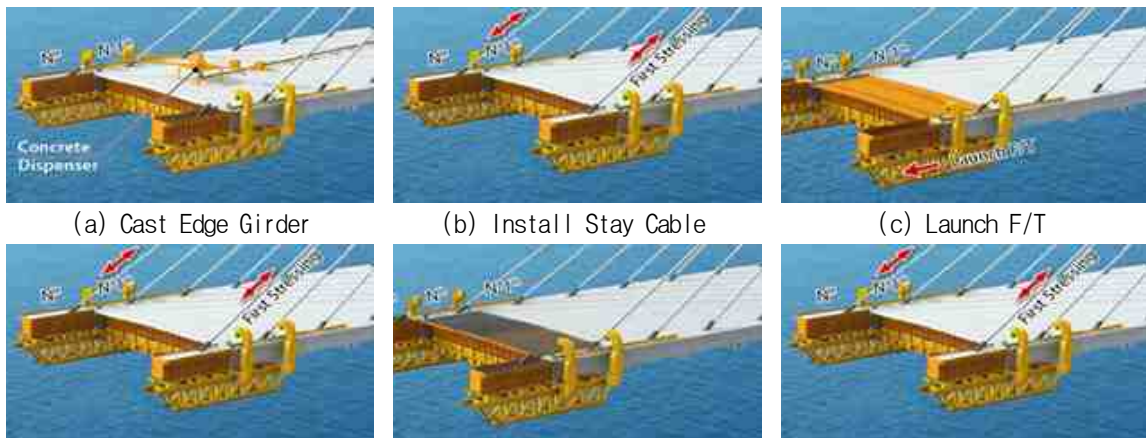
(b) 평면도

(c) 상세도

[수축형 거꾸집 적용 개념]

② 중량배분식 F/T 운용방안 도출

- 중량배분식 F/T 운용방안 검토 결과 1회당 13.5일 소요(케이블 3차 긴장 도입)
- 현장타설 SC 강도별 시공단계해석을 통한 SC 강도별 최적 단면 선정
- 경제성 검토 결과 원안 대비 상부공사비 10.9 ~ 14.7% 절감 가능 확인



(a) Cast Edge Girder

(b) Install Stay Cable

(c) Launch F/T

(d) Install Stay Cable

(e) Cast Cross Beam & Slab

(f) Install Stay Cable

[중량배분식 F/T 운용 방안]

[SC 강도별 경제성 검토 결과]

구분	원안	NC40	SC80	SC100	SC120	SC120f
부대공	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
상부공사비	162.7	154.2	138.8	141.6	141.8	145.0
증감	100%	94.8%	85.3%	87.0%	87.2%	89.1%

나. SC활용 60m 이상 장지간 상부구조 시스템 개발

(1) SC활용 장지간 상부구조시스템 해석 및 설계 기술 개발

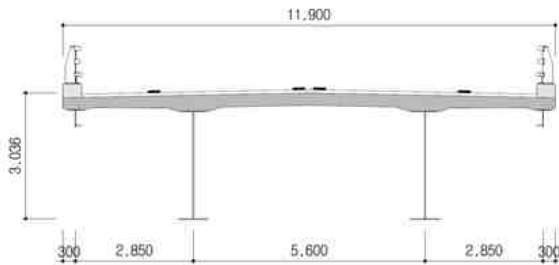
(가) SC활용 60m급 장지간 거더 시스템 개발

① 구조 형식 및 대상교량 선정

- 기존의 거더교 형식은 일반적으로 30~50m까지의 중지간 교량에 적용
- 60m 이상은 강박스거더나 PSC박스거더 형식 또는 특수교량이 대부분을 차지
- SC 재료의 고강도 특성을 이용해 상부구조를 슬림화하면 60m 이상 거더교도 가능
- SC 활용 사장교의 접속교에 SC 활용 장지간 거더교를 적용하면 시너지 효과 기대
- 국내외 거더 형식 교량에 대한 사례조사 및 기본 검토를 통해 U-형 단면으로 결정
- 최근에 설계된 지도대교 접속교*를 대상으로 하여 비교설계를 수행하면서 단면 최적화 및 경제성 분석 실시

* 지도대교 접속교 : 중앙 경간 65m인 4경간 연속 강합성 소수주거더교 (교폭 11.9m)

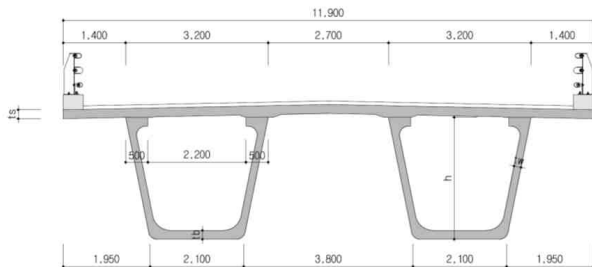
(경간 구성 : 55m+65m+65m+65m = 250m)



[비교대상 교량(소수거더교, 2차로)]

② SC 재료별 단면 최적화

- 예비 설계 후 개략 공사비 산정을 통해 최적 거더 개수 및 거더 높이 결정
- 주경간장은 대상교량과 마찬가지로 65m로 설정하고, 경간 구성도 동일하게 적용
- U-거더는 프리캐스트로 제작하고, 바닥판 슬래브는 현장타설하는 것으로 설계
- 관련 설계기준에 의거하여 극한 및 사용한계상태에서 단면 검토 수행



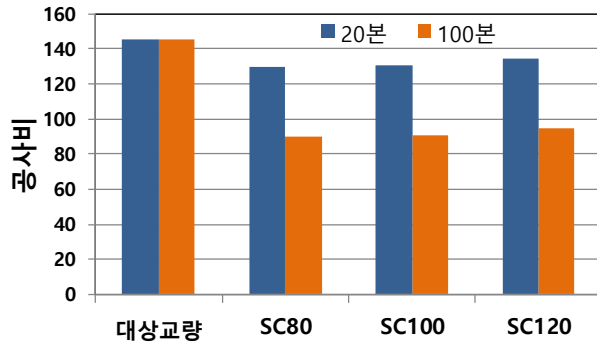
[SC 재료별 부재 치수]

구분	SC80	SC100	SC120
거더높이(m)	2.75	2.50	2.25
바닥판(mm)	200	190	180
복부(mm)	160	150	140
하부슬래브(mm)	200	200	200

③ 공사비 분석

- 프리캐스트 제작이므로 제작 물량(거더 본수)에 따라 거더 제작비에 큰 차이 발생
(예) 거더 20본 제작 시에 비해 100본 제작 시 거더 1본당 가격이 30% 정도 감소
- 거더 20본 제작 시 원안 대비 8.6 ~ 10.8% 공사비 절감

- 거더 100본 제작 시 원안 대비 26.2 ~ 28.3% 공사비 절감



구분	대상교량	SC80	SC100	SC120
20본 제작시	145.5	129.8	130.5	132.9
비율	100.0%	89.2%	89.7%	91.4%
100본 제작시	145.5	89.7	90.4	92.9
비율	100.0%	61.7%	62.1%	63.8%

[거더 1본당 공사비 비교(단위: 만원)]

(나) SC활용 지간장 100m급 장지간 거더 시스템 개발

① 구조 형식 및 대상교량 선정

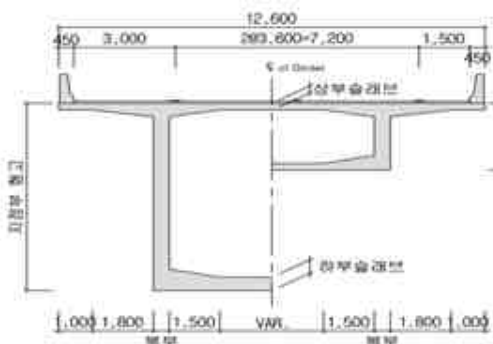
- 주경간장 100m 이상인 교량형식에 대한 조사 결과, 대부분 FCM 교량으로 분석됨
- 국내 FCM 교량에 대한 조사 결과, 주경간장 120m 내외가 가장 빈도가 높음
- 주경간장 120m, 총 연장이 260m를 대상 교량으로 설정하고, 콘크리트 강도를 변수로 하여 설계 최적화를 실시하고 공사비 산출 통해 경제성을 비교함



[선정 교량(FCM) 종단면도]

② SC 재료별 단면 최적화

- 예비 검토 결과 강섬유가 함유된 SC120f ~ SC180f는 경제성 확보가 어려워 SC80 ~ SC120에 대해 설계함. 비교를 위해 현재 주로 사용되는 40MPa 콘크리트도 적용
- 단면 효율을 위해 지점부와 중앙부의 단면을 변단면으로 설계
- 관련 설계기준에 의거하여 시공단계를 고려한 구조 검토를 통해 최적 단면 도출
- 모든 경우에 대해 부재 사용률이 80~90% 수준이 되도록 설계하여 공정성 부여
- 현장타설인 경우와 프리캐스트인 경우로 구분하여 설계함으로써 적용 확장성 고려

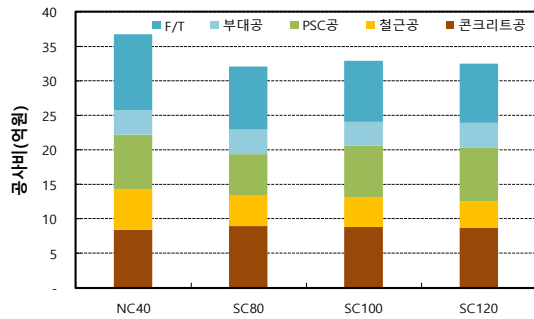


[SC 재료별 부재 치수]

구분		NC40	SC80	SC100	SC120
거더 높이 (m)	지점부	7.0	6.0	6.0	6.0
	중앙부	2.5	2.0	2.0	2.0
부재 두께 (mm)	바닥판	250	200	190	180
	복부	250~500	200~400	190~380	180~360
	하부	470	260	250	240

③ 공사비 분석 - 현장타설

㉑ 현장타설 제작인 경우



구 분	NC40	SC80	SC100	SC120
콘크리트	8.4억	9.0억	8.8억	8.6억
철근	5.9억	4.3억	4.2억	4.0억
강연선	7.9억	6.6억	7.6억	7.8억
부대	3.5억	3.5억	3.5억	3.5억
운반 및 가설	11.1억	9.2억	8.8억	8.6억
상부공	36.8억	32.1억	32.9억	32.5억
비 율	100.0%	87.3%	89.5%	88.3%

- 기존 재료(NC40) 대비 상부공사비 10.5~12.7% 절감 가능

㉒ 프리캐스트 제작인 경우



구 분	NC40	SC80	SC100	SC120
콘크리트	7.6억	8.2억	9.1억	10.5억
철근	5.7억	4.1억	3.9억	3.8억
강연선	8.8억	7.5억	7.2억	6.9억
부대	3.5억	3.5억	3.5억	3.5억
운반 및 가설	9.6억	7.3억	7.1억	6.9억
제작장	12.0억	10.2억	10.2억	10.2억
상부공	47.2억	40.8억	41.0억	41.8억
비 율	100.0%	86.4%	86.9%	88.6%

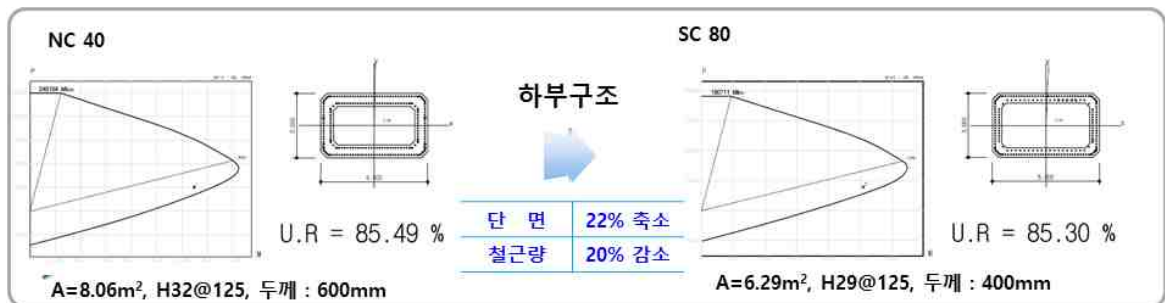
- 기존 재료 대비 SC 적용 시 11.4~13.6%의 상부공사비 절감 가능

㉓ 하부 공사비에의 영향 검토

- 콘크리트 물량이 기존 대비 30% 정도 줄어들에 따라 상부 하중 감소로 인해 기초 물량의 축소가 가능해져서 추가 공사비 절감 가능

구분	NC40	SC80	SC100	SC120
콘크리트(m³)	2,647	1,910	1,836	1,765
비율(%)	100%	72.2%	69.4%	66.7%

- <예시> SC 80 적용으로 NC 대비 상부구조물 자중이 28.8% 감소 시 하부구조에서 단면 22% 축소 및 철근량 20% 감소 가능 → 하부공사비 13% 정도 절감 효과

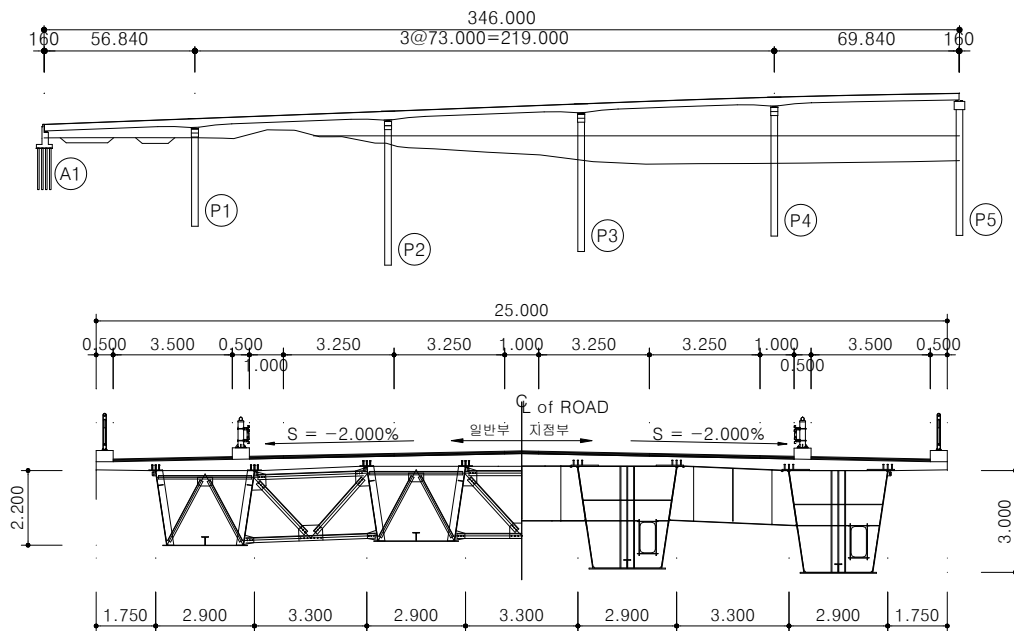


(다) 섬유보강 SC 활용 장지간 거더 시스템 개발

① 대상교량 선정

- 60m 이상의 지간장을 갖는 거더교량에 섬유보강 SUPER Concrete 중 가장 저렴한 SC120f를 적용하여 동 규모에서 경쟁력을 갖춘 구조시스템 도출이 목적
- 기존의 강박스교에 준한 형고를 가지면서 섬유보강 SUPER Concrete 전용 배치플랜트에서 세그먼트를 제작한 후 차량으로 현장까지 운반 가능한 시스템으로 설계
- 최근에 설계된 레고랜드 진입교량 접속교*를 대상으로 하여 비교설계를 수행하면서 단면 최적화 및 경제성 분석 실시

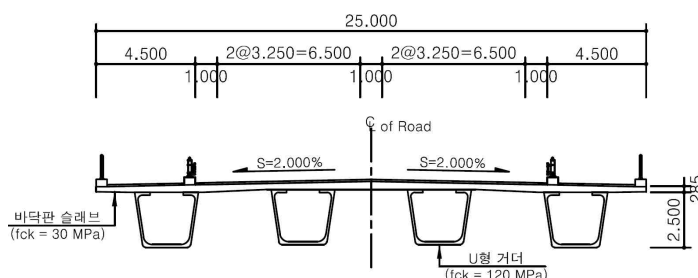
* 레고랜드 진입교량 접속교 : 주경간 73m인 5경간 연속 강합성 박스거더교 (교폭 25.0m)



[레고랜드 진입교량 접속교의 종·횡단면도]

② 거더 형식 선정 및 단면 최적화

- SUPER Concrete의 적용에 유리한 단면으로 U-거더 형상을 거더 형식으로 선정하고 형고, 중량, 부재두께, 강연선 배치 등을 변수로 하여 가능한 단면을 도출하고 개략 공사비 산정 통한 최적단면 결정
- U-거더는 프리캐스트로 제작하고, 바닥판 슬래브는 현장타설하는 것으로 설계
- 관련 설계기준에 의거하여 가설 중 및 공용 중 단면 검토 수행



[U-거더 단면 제원]

구분	SC120f
거더높이	2.5 m
바닥판 두께(mm)	240 mm
복부(mm)	100 mm
하부플랜지(mm)	135 mm

③ 공사비 분석

- 원안(강교) 대비 **약 10% 정도 상부공사비 절감 가능**

[상부공사비 비교(단위 : 백만 원)]

명칭	거더	바닥판	부대공	상부공사비	비고
원안(강거더)	8,047	1,664	2,761	12,473	100%
SC120f	6,721	1,664	2,761	11,147	89.4%



[공종별 직접공사비 비교]

(라) SC 활용 상부구조물의 생애주기비용(LCC) 분석

① 생애주기비용 분석 목적 및 산출방법

- 교량의 생애주기비용(Life-cycle Cost; LCC) 분석은 초기투자비, 유지관리비, 사용자 비용, 사회·경제적 손실비용, 해체·폐기 비용 등 구조물의 공용연수 동안 발생하는 생애주기 비용의 일부 또는 전부를 산출하기 위한 목적으로 수행
- LCC 비용은 다음 식을 사용하여 산출할 수 있으며, 여기서 C_{INI} 는 초기투자비용, C_{INS} 는 진단점검비용, C_{MAIN} 는 유지관리비용, C_F 는 손상비용이고, r 은 할인율

$$\begin{aligned}
 C_{LCC} &= C_{INI} + C_{INS} + C_{MAIN} + C_F \\
 &= C_{INI} + \Sigma \left[\frac{C_{insp}}{(1+r)^t} \right] + \Sigma \left[\frac{C_{main}}{(1+r)^t} \right] + C_f \cdot \max(P_f)
 \end{aligned}$$

- SC의 경우 초기비용은 다음의 식을 사용하여 산출하며, C_{design} 은 설계비용, C_{super} 는 감리비용, C_{comp} 는 보상비용, C_{NC} 는 일반콘크리트 공사비용임

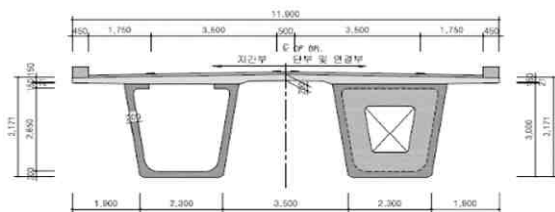
$$\begin{aligned}
 C_{INI} &= (C_{design} + C_{super} + C_{comp}) + C_{const} \\
 &= (C_{design} + C_{super} + C_{comp}) + (1 \pm \alpha) \cdot C_{NC}
 \end{aligned}$$

- SC 강도별 재료단가는 다음과 같음(2019년 기준)

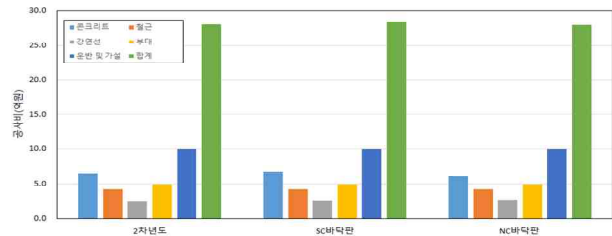
재료단가 (VAT 별도)	굵은 골재 사용 SUPER Concrete			섬유보강 SUPER Concrete		
	SC80	SC100	SC120	SC120f	SC150f	SC180f
국내(만원/m ³)	19~21	28~31	40~45	90~100	110~120	120~130
국외(만원/m ³)	41	55	121	170~200	250~300	390
SC 비용(만원/m ³)	15~17	21~23	28~32	30~70	75~90	105~115
국내 대비 절감(%)	19~21	25	29~30	30~33	25~32	12~13
국외 대비 절감(%)	58~63	58~61	73~76	64~72	64~75	70~73

② SC활용 교량의 LCC 분석

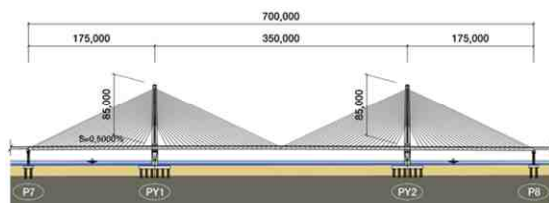
- SC 강도별(SC80/100/120)로 복부 및 슬래브 두께를 변화시켜 SC 적용 단면 개발
- 굵은 골재 사용 SC 활용 장지간 U-거더교에 대한 NC 대비 SC80 상부 공사비와 NC 대비 SC 활용 400m급 사장교 상부 공사비는 다음과 같음



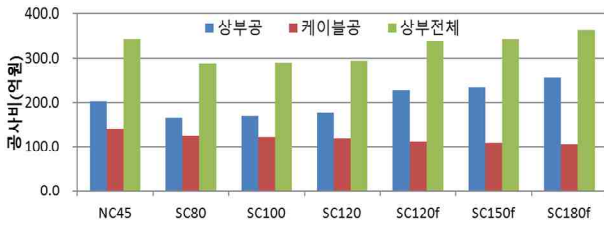
[장지간 U-거더교 단면]



[U-거더교 SC80 상부공사비 비교]

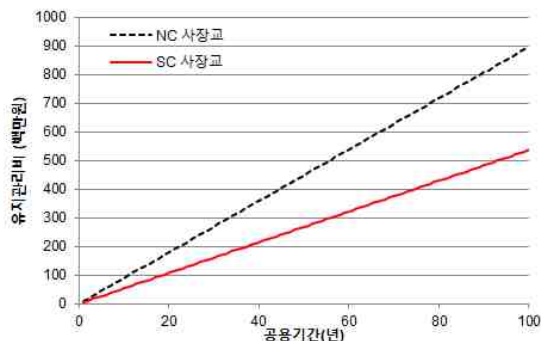


[400m급 사장교]

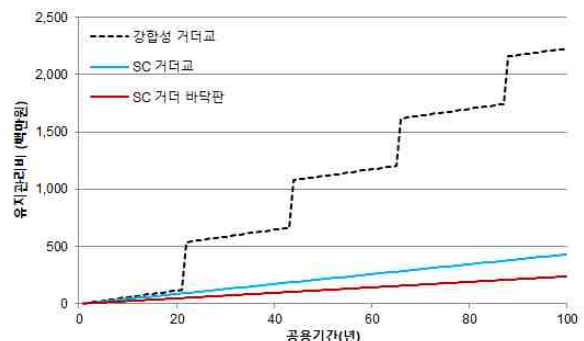


[400m급 사장교 상부공사비 비교]

- 400m급 사장교의 유지관리비용은 NC 대비 SC 적용시 약 90.7% 수준으로 평가됨. 단, 부대공을 제외한 거더 및 바닥판에 대해서만 분석한 결과는 60% 수준임
- 60m 거더교의 유지관리비용은 강합성 거더교 대비 SC 거더 적용 시 약 90% 수준 이고, 교면 포장 등 부대공 제외 시에는 약 20% 수준에 불과함



[400m 사장교 유지관리비용 비교(거더 비용)]



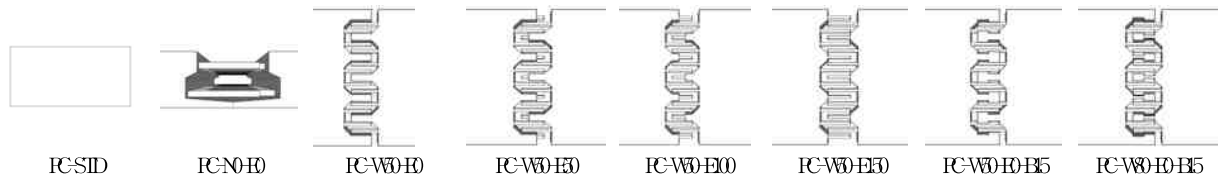
[60m 거더교 유지관리비용 비교(거더 비용)]

(마) 현장 적용을 위한 각종 검증 실험

① SC 바닥판의 현장이음부 구조거동 및 구조상세 최적안 도출

㉠ 실험 개요

- SC180f의 적용에 따른 현장이음부의 구조적 거동을 규명함과 동시에 프리캐스트 콘크리트 슬래브의 부착성능 증진을 목적으로 정량적인 성능검증을 위한 4점 휨 실험 실시



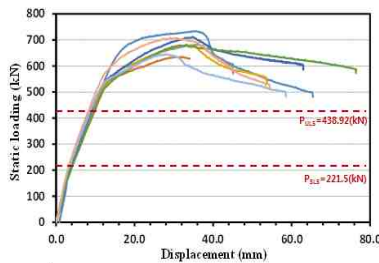
[실험 변수 - 연결부 형상]

㉡ 실험 결과 및 분석

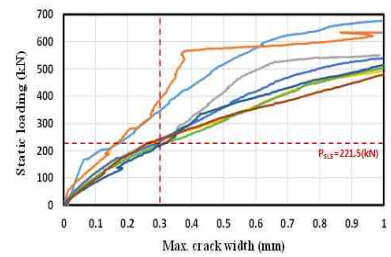
- 이음부가 있는 실험체 중에서는 성능이 우수한 실험체는 PC-W50-E100으로 나타났으며, PC-STD에 비해 2.9%의 하중 감소율만을 보임
- 일부 실험체(W50-E0-B15)를 제외한 나머지 실험체는 균열폭 기준(0.3mm)에 근접하지만 규정을 만족하는 것으로 나타남



[실험 전경]



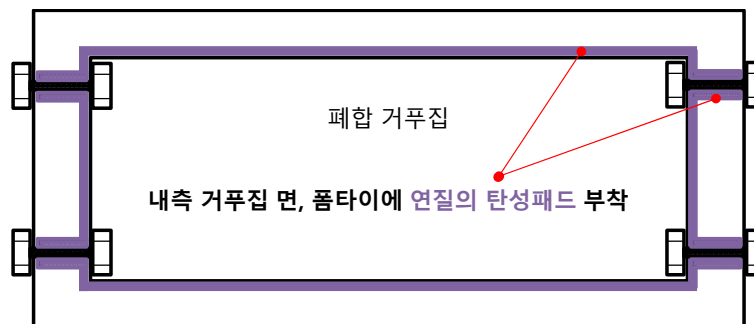
[하중-처짐 관계]



[하중-균열폭 관계]

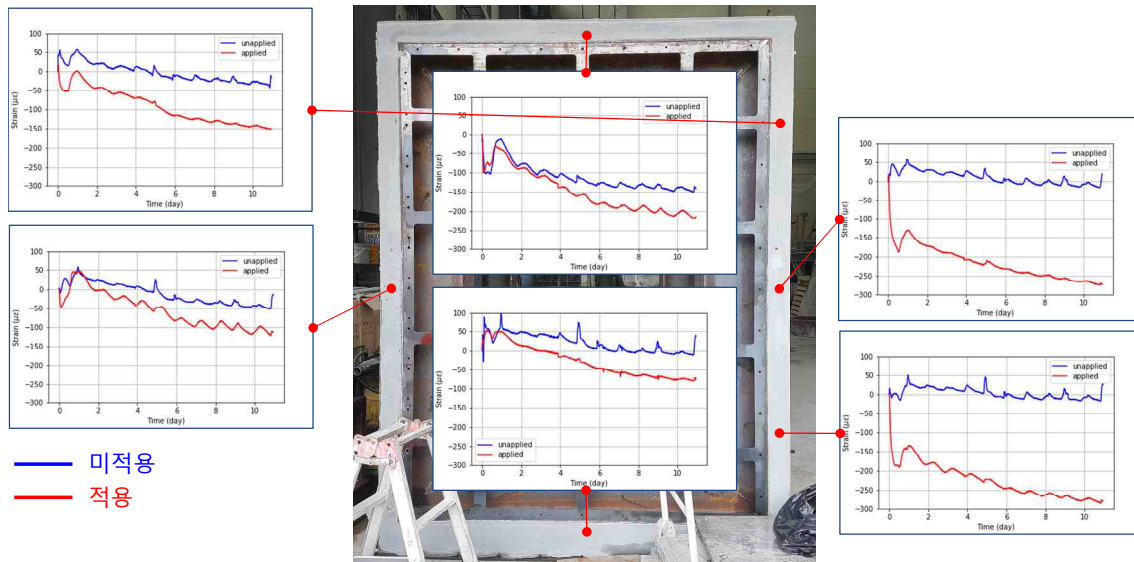
② SC에 적용 가능한 수축 균열 방지 방안

㉠ 수축 균열 방지 방안 고안



㉡ 실험 및 결과 분석

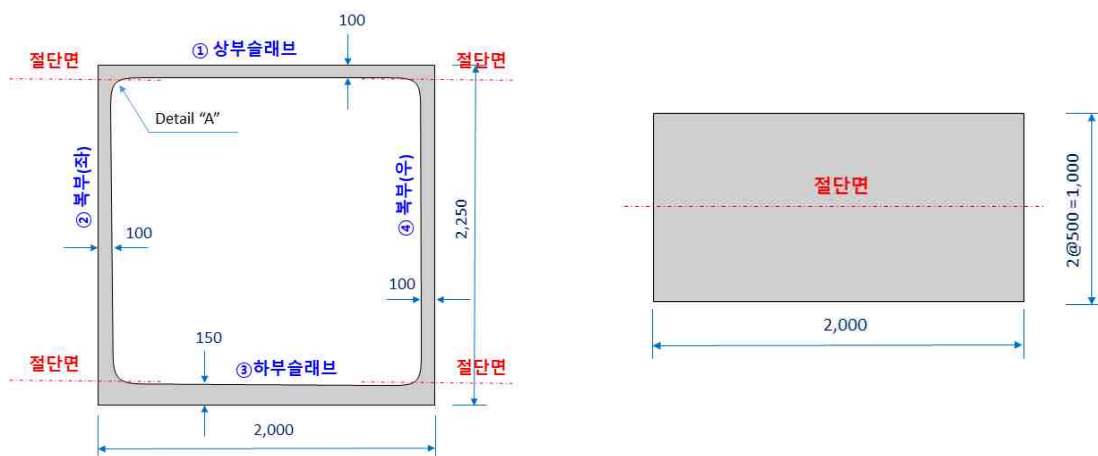
- 고안한 균열 방지 방안은 수축 변형을 덜 구속함을 확인



③ SC 박판 폐합단면의 시공성 및 구조성능 검증

㉠ 실험 개요

- 섬유보강 SC를 박스구조 형상으로 교량에 적용하면 긴장재와 강섬유의 역할에 의해 철근 없는 구조가 가능
- 높이가 높으나 부재의 두께는 얇은, 폐합형 구조인 경우 수축에 의해 균열이 발생할 수 있으며, SC 타설 방법에 따라 각 부위별로 품질과 성능 차이 발생 우려
- 섬유보강 SC로 실제 교량을 참조하여 실험체를 제작한 후 품질을 확인하고, 각 부위별로 절단하여 휨실험을 실시하여 구조 성능을 비교



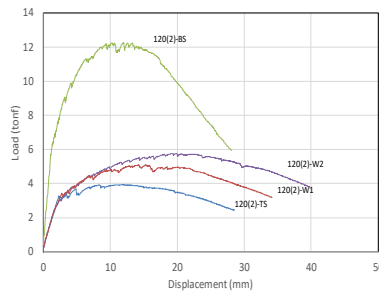
㉡ 실험 및 결과 분석

- 실험 변수는 타설방법과 SC 강도(SC120f, SC180f)로 SC120f에 대해 타설방법을 달리하여 실험체를 제작함
- 탈형 후 표면 상태 확인 결과, 슬럼프 플로우를 크게 하여 슈트를 바닥까지 닿게 한 상태에서 타설을 시작하여 콘크리트가 차오르게 하는 방법이 표면 상태 양호

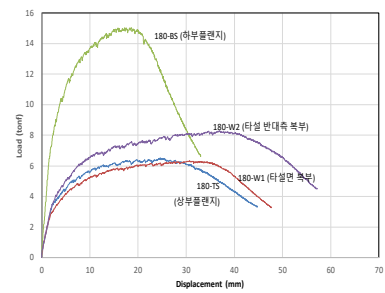
- 동일한 두께를 가진 복부와 상부슬래브에 대한 부재 절단 후 휨강도 평가 결과 타설면 반대측 복부가 가장 큰 휨성능을 보였으며, 표면 상태도 가장 양호함



[실험체 제작 및 휨실험]



[SC120f 결과]



[SC180f 결과]

(바) SC 활용 교량 상부구조물 설계·시공지침(안) 개발

① 설계지침(안)

㉠ 작성 방향

- SC의 재료적인 특성 및 교량 상부구조물의 설계 항목을 접목시킨 설계지침 개발
- 도로교설계기준(한계상태설계법) 대비 2세부 작성 SC구조설계지침 각 조항별 일대일 비교·분석 → SC 적용에 따른 차이점 집중 설명
- 일반적인 수준의 교량 설계 경험을 가진 설계자가 실무 적용에 가능한 가이드라인으로서의 기능을 부여하여 SC 교량 설계를 확장하는 것이 궁극적인 목적

㉡ 목차 구성 및 내용

- 일반사항, 조사 및 계획, 재료, 설계 등 도로교설계기준과 동일한 체계로 목차 구성
- 굵은 골재 SC와 강섬유 보강 SC로 구분하여 작성
- 지침은 별책으로 구성

② 시공지침(안)

㉠ 작성 방향

- 도로교 표준시방서(한계상태설계법) 대비 1세부 작성 SC 시공지침서(안) 간의 일대일 비교·분석을 통해 SC 시공지침(안) 작성
- 현장에서 시공 기술자가 SC로 설계된 교량 상부구조물에 대하여 손쉽게 시공할 수 있도록 SC 재료의 생산, 부재 제작 및 시공 등을 수행하는데 있어서 필요한 시공 가이드라인 제시
- SC 재료의 특성상 일반 콘크리트와 구별되는 특성 위주로 기술

㉡ 목차 구성 및 내용

- 일반사항, 재료, 시공 등 도로교표준시방서와 동일한 체계로 목차 구성
- 굵은 골재 SC와 강섬유 보강 SC로 구분하여 작성
- 지침은 별책으로 구성

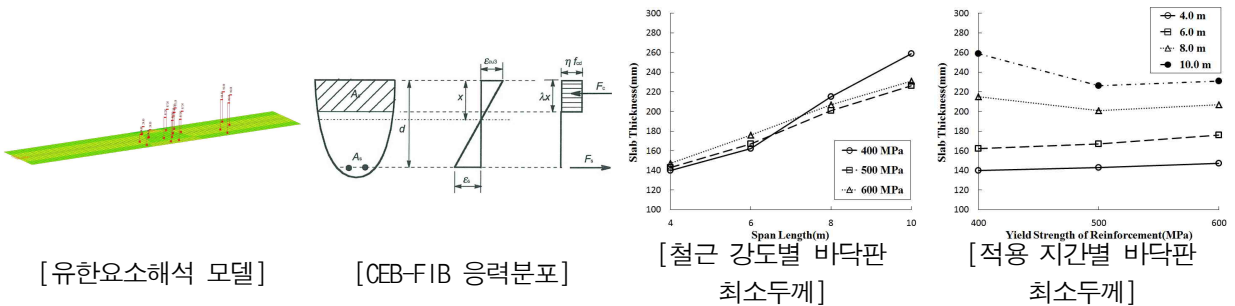
(사) SC적용 바닥판 기준(안) 개발

① 바닥판 최소두께 기준에 대한 개념 설정

- 최소두께 : 설계기준에서 요구하는 성능을 충족시키는 최소수준의 두께
- 비용측면 : SUPER Concrete 및 고강도철근의 사용량에 따른 비용 조합을 고려하여 기존 재료 사용 대비 가격 경쟁력을 유지할 수 있는 적정 수준의 두께
- 적정두께 : 현장에서 시공이 가능한 상세(철근 간격 등)를 가지며, 현행 설계기준의 제반 규정을 만족하는 수준의 두께

② SC 적용 바닥판 최소두께(안) 도출

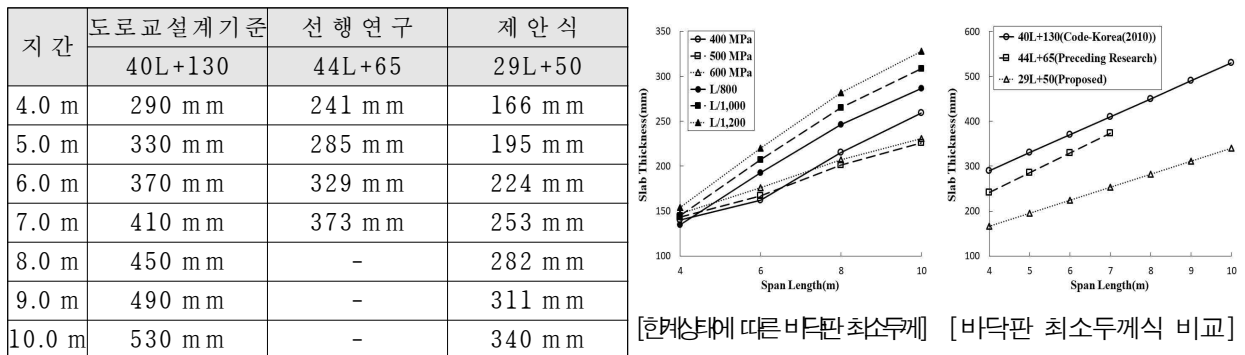
- 구조해석을 통해 외부하중 효과에 의한 요구성능 도출
- 휨강도, 편칭전단강도, 처짐 검토에 의한 최소두께(안) 도출



- 바닥판 최소두께 식 제안 및 비교

$$t_{\min} = 29L + 50 \text{ (mm)}$$

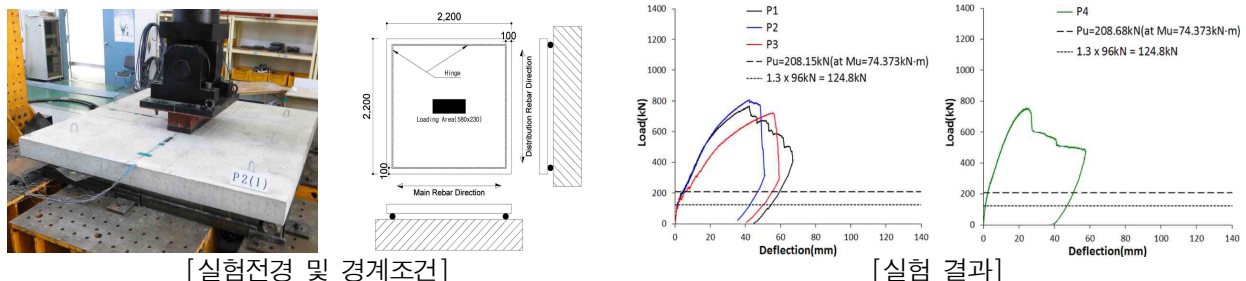
여기서, $t_{\min}$ 은 바닥판의 두께(mm), L 은 바닥판의 지간(m)으로 4.0 m ~ 10.0 m 범위



③ 굵은 골재 SUPER Concrete 적용 바닥판 구조성능 검증

㉠ SC80 적용 바닥판 최소두께 적용 성능 검증 실험

- SC80을 적용하여 이론적 설계가 가능한 최소두께(150 mm)의 정적 거동 분석

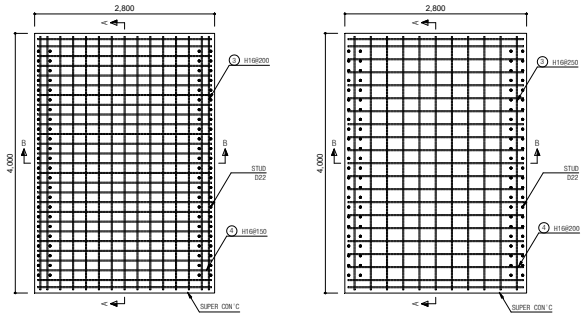


㉔ SC80 적용 바닥판 정적 및 피로성능 검증 실험

- 실무적용이 가능한 수준*의 최소두께(200 mm)를 갖는 SC80 바닥판의 구조성능 검증

* 현장에서 시공이 가능한 상세(철근 간격 등)를 가지며, 최소두께 규정을 제외한 현행 설계기준의 제반 규정을 만족하는 수준

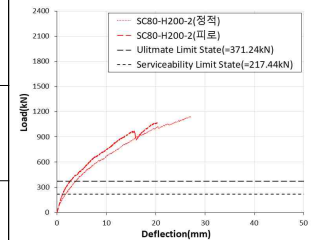
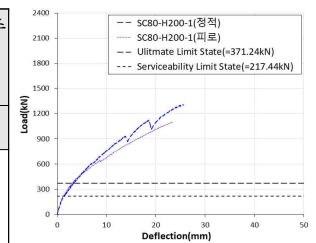
실험체명	비 고
SC80-H200-1	- 기존 RC 바닥판(두께 240 mm) 대비 유사 휨 강도 - 기존 RC 바닥판 대비 유사 상세(철근량, 간격)로 철근 배근, 두께 최소화
SC80-H200-2	검증 대상 두께에 대해 설계(극한한계상태)에서 요구되는 최소수준의 철근 배근하여 경제성 향상



[실험체 평면도]

- 200만회 피로하중 재하 후 최대하중은 정적 대비 약 84~94% 정도이나, 극한한계상태(설계모멘트) 대비 2.89~2.96배(피로), 3.09배~3.53배(정적) 수준 → 요구강도 대비 충분한 내력 확보 확인

실험체명	최대하중에서 처짐 (mm)	정적 최대하중 (kN)	잔류 최대하중 (kN)	극한한계상태 하중조합 (설계모멘트)	극한한계상태 대비 최대하중	정적 최대하중 대비 잔류 최대하중
		①	②	③	① or ② / ③	② / ①
SC80-H200-1 (정적)	25.66	1309.21	-	317.24	3.53	1.00
SC80-H200-2 (정적)	23.36	-	1098.06		2.96	0.84
SC80-H200-1 (피로)	27.08	1146.11	-		3.09	1.00
SC80-H200-2 (피로)	20.60	-	1073.80		2.89	0.94



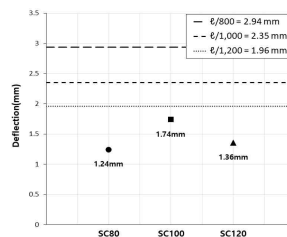
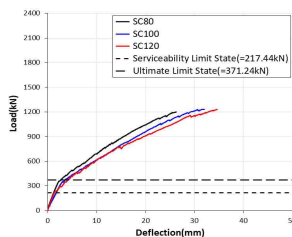
[실험 결과 비교]

㉔ SC100, SC120 적용 바닥판 구조성능 검증 실험

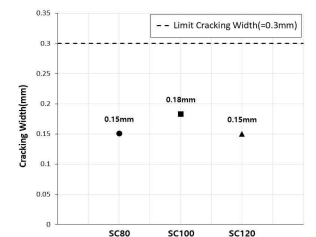
- 실무적용이 가능한 수준의 최소두께를 갖는 SC100, SC120 바닥판의 구조성능 검증
- 바닥판 두께 : 200 mm(SC80, 비교실험체), 190 mm(SC100), 180 mm(SC120), 철근 : SD600 적용, 자중 : 약 78~87 %, 두께 : 약 75~83 % 수준



[실험 전경]



[실험 결과]



④ 섬유보강 SUPER Concrete 적용 바닥판 구조성능 검증

㉠ SC120f 적용 PSC 바닥판 정적성능 검증

- SC120f(강섬유 혼입률 1.0 %)를 적용한 PSC 바닥판의 휨 성능 검증 및 교량 바닥판 거동* 분석, 이음부 유/무에 따른 바닥판 휨 성능 및 바닥판 거동 비교

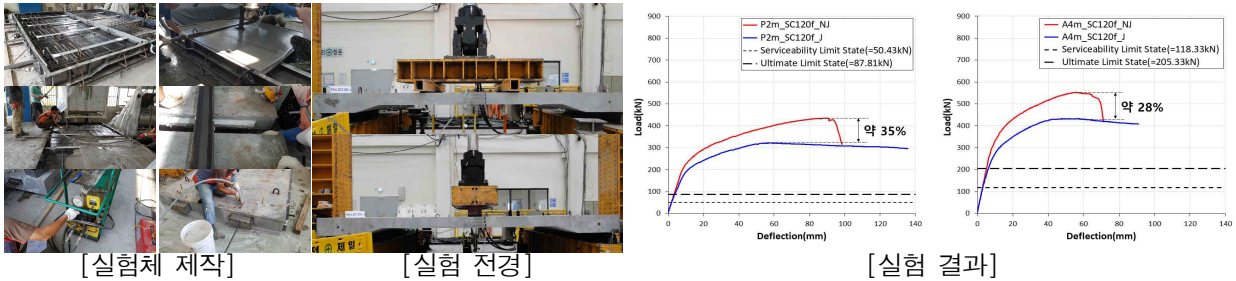
* 축하중을 재하하여 인접한 윤하중의 영향을 고려한 Global 및 Local 거동 분석

실험체명		적용두께 (mm)	휨 강도* M_d (kNm/m)	극한한계상태** M_u (kNm/m)	①/②
			①	②	
휨성능 검증 실험체	P2m_SC120f_J	150	163.16	61.47	2.65
	P2m_SC120f_NJ		178.50	61.47	2.90
실물 실험체	A4m_SC120f_J		163.16	61.47	2.65
	A4m_SC120f_NJ		178.50	61.47	2.90

* 이음부 유/무에 따라 SUPER Concrete 인장강도 적용

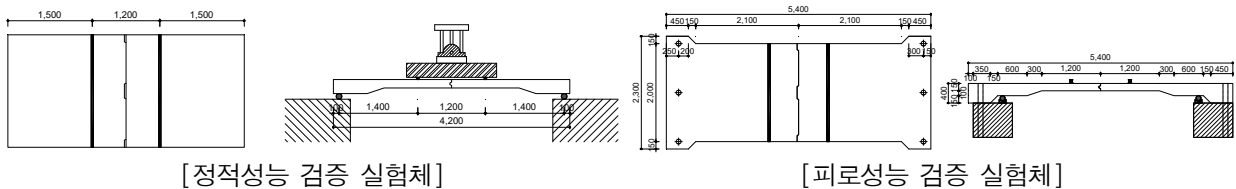
** ○○대교 사장교 바닥판 구조계산서 참조 (바닥판 국부 정모멘트 폭 2.37m 일 때 145.69 kNm)

- 이음부가 있는 경우 연속체에 비해서 휨실험체는 약 35%, 바닥판 실험체는 약 28% 정도 최대하중이 감소하나, 설계기준 요구강도 대비 2.5배 이상의 여유가 있음



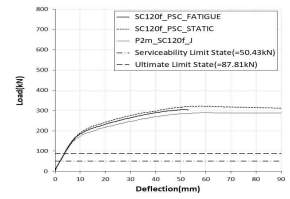
㉡ SC120f 적용 PSC 바닥판 피로성능 검증

- SC120f(강섬유 혼입률 1.0 %)를 적용한 PSC 바닥판의 피로성능 검증
- SC120f 적용 PSC 바닥판 정적성능 검증 실험체와 모두 동일하나 피로하중을 위한 고정부를 추가로 제작하여 피로하중 재하 실험 수행



- 정적강도 대비 피로누적 후 잔류강도가 0.95배와 1.05배로 큰 차이가 없고, 요구강도 대비 약 3.47배로 200만회 피로누적 후에도 충분한 내력 확보 확인

실험체명		최대하중 (kN)	최대하중 에서의 처짐 (mm)	극한한계상태 하중(87.81 kN) 대비	정적강도 대비 잔류강도
SC120f_PSC_FATIGUE	①	304.53	50.48	3.47	① / ② : 1.05
SC120f_PSC_STATIC	②	289.04	60.18	3.29	
P2m_SC120f_J	③	322.07	58.60	3.67	① / ③ : 0.95



[실험 결과 비교]

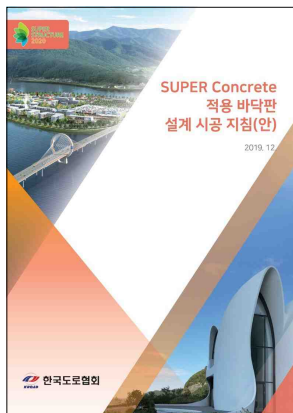
⑤ SUPER Concrete 적용 바닥판 기준 개발

㉓ SUPER Concrete 적용 바닥판 설계·시공 지침

- 최신 국가건설코드 반영, 재료특성 상세 규정, SC 적용 바닥판 실험 결과를 바탕으로 바닥판의 두께, 사용성 검토 등의 규정을 상세히 작성
- 별책으로 구성

㉔ SUPER Concrete 적용 바닥판 설계예제집 작성

- 기 수행된 실험체 설계를 바탕으로 실무자 측면의 설계예제 개발
- 최신 SUPER Concrete 적용 구조설계지침, KDS, KCS 등 최신 개정 국가건설기준 코드 적용
- 교량 등급 및 제원, 하중조건, 내구성 설계, 설계 단면 및 하중 산정, 한계상태 검토 등
- 별책으로 구성



SUPER Concrete 적용 바닥판 설계·시공 지침 목차(안)	
▶ 제1장 총칙 · 적용범위, 용어 정의 기호	▶ 제5장 프리스트레스트 바닥판 · 설계 가정, 휨 부재의 허용응력설계, 프리스트레스트의 손실, 휨 부재의 강도 설계, 정착구역 설계 등
▶ 제2장 사용재료 · 일반, 기준강도, 인장강도, 응력-변형률 관계, 탄성계수 등	▶ 제6장 바닥판 연결부 · 지지 요소부재와의 연결, 프리캐스트 바닥판 연결부 등
▶ 제3장 설계 일반 · 하중, 하중조합 및 하중계수, 구조해석 및 단면설계, 배근상세 등	▶ 제7장 제작 및 시공 · 제작, 기본배합, 양생, 타설, 인양장치, 허용오차, 쉬스 및 긴장재, 그라우트, 가설하중, 신축이음부, 난간과 방호울타리, 배수장치, 교면표장 등
▶ 제4장 구조상세 · 피복두께, 보강강재 등	



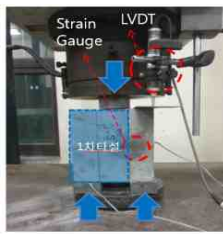
[SUPER Concrete 적용 바닥판 설계·시공 지침(안) 및 설계예제집]

(아) 이종강도 콘크리트 접합성능 향상 기술

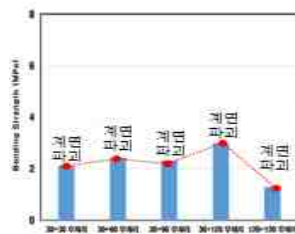
① 이종재료(SC-NC) 수직·수평 접합부의 부착 및 응력거동 평가

㉓ 접합부 계면처리 및 강도비 설정에 따른 직접전단실험(Direct shear test)에 의한 전단부착성능 평가

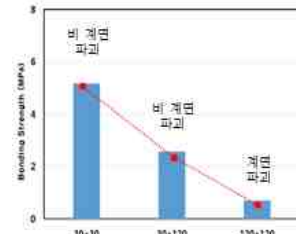
- NC30과 SC120f를 분리타설하여 무처리, Wire brush, 접착제 3개의 면처리 방법으로 접착강도 측정
- 접합면에 접착제 처리에서 무처리 대비 압축전단 접착강도가 약 276% 향상되었으며, Wire brush 방법보다 약 132% 향상되고 비계면 파괴를 유도함을 확인



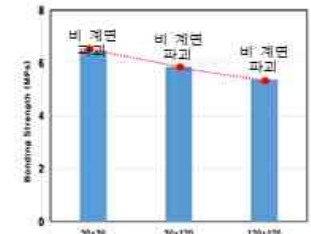
[직접전단실험]



[무처리]

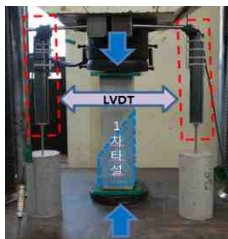


[wire brush]

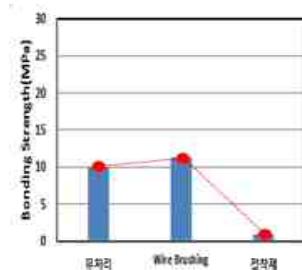


[접착제]

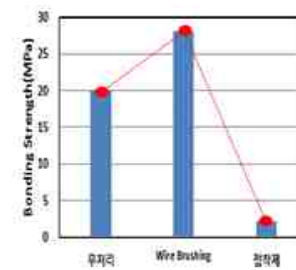
- ㉠ 접착면 면처리 및 강도비 설정에 따른 경사압축전단 실험(Slant shear test)을 통한 압축전단성능 평가
- NC-SC, SC-SC의 면처리 방법에 따른 경사압축전단 실험 실시
 - 무처리, Wire Brush 처리의 경우 비계면 파괴가 일어났고, 접착제 처리의 경우 계면파괴 발생
 - 접착제 처리의 경우 고온 양생 과정에서 수분 침투로 인해 접착제의 성능을 발휘하지 못하는 것으로 추정됨



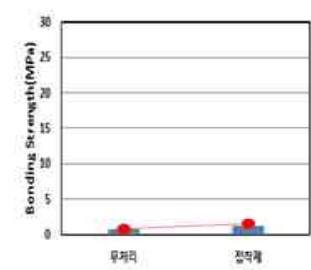
[경사전단실험]



[NC30 + SC180f]



[SC120 + SC180f]

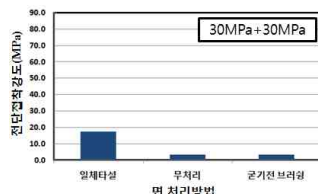


[SC180f + SC180f]

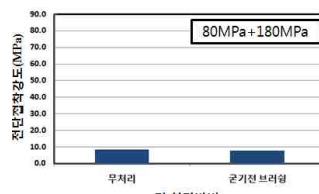
- ㉡ 콘크리트 접합부 계면처리방법 및 사용강도에 따른 직접전단실험(Direct shear test)에 의한 전단부착성능 평가
- 동종강도(NC30, SC180f) 및 이종강도 콘크리트를 100×150×150(mm) 1차 타설, 50×150×150(mm) 2차 타설하여 직접전단실험 실시
 - 계면부 무처리의 전단접착강도와 비교시, 지연제 처리 후 워터젯의 경우가 130%, 요철의 경우 44%의 성능 증가를 확인함



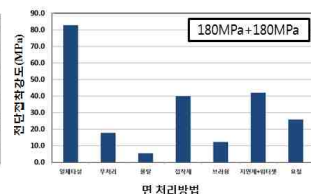
[직접전단실험]



[NC30 + NC30]



[SC80 + SC180f]



[SC180f + SC180f]

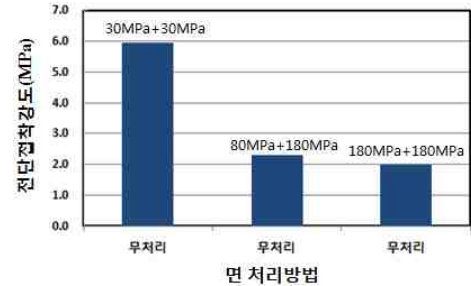
- ㉢ 강도비 설정에 따른 경사압축전단 실험(Slant shear test)을 통한 압축접착전단성능평가
- 동종강도(NC30, SC180f) 및 이종강도(HC80f-SC180f) 콘크리트를 분리타설하여 고온양생 후 경사압축전단실험 실시

- 동종강도(NC30)의 경우 5.9MPa의 경사전단접착강도를 확인할 수 있었고, 이종강도(HC80f-SC180f)와 동종강도(SC180f)의 경우 2.3MPa와 2.0MPa를 보여, 초고강도 콘크리트를 경사압축부에 2차타설할 경우 적절한 계면처리가 필요함



[경사전단시험]

구분	면처리방법	접착강도 (MPa)	평균전단강도 (MPa)
NC30+NC30	무처리	7.1	5.9
		5.8	
		4.9	
SC80+SC180f	무처리	2.1	2.3
		2.2	
		2.5	
SC180f+180f	무처리	2.1	2.0
		1.1	
		2.8	

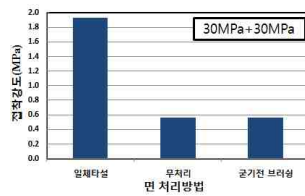


[실험 결과]

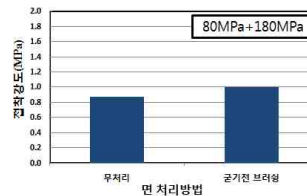
- ㉞ 접착면 면처리 및 강도비 설정에 따른 접합성능시험(Pull-off Test)에 의한 접착성능평가
 - 이종 압축강도 콘크리트 실험체(50×150×150mm)의 접착성능평가



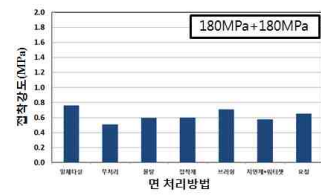
[Pull-off test]



[NC30 + NC30]



[SC80 + SC180f]



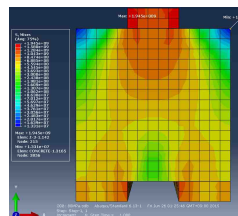
[SC180f + SC180f]

- ㉞ 강도비 설정에 따른 휨시험(Bending test)에 의한 접착성능평가
 - Bending shear test의 경우 면처리가 없는 상태에서 실험을 실행하였고, 그 결과 30MPa의 경우 실험체의 이어치기가 없을 경우와 비교해 69%의 강도저하가 나타났고, 180MPa의 경우 이어치기가 된 실험체의 접착강도를 측정하기가 불가능한 수준이라는 것을 확인

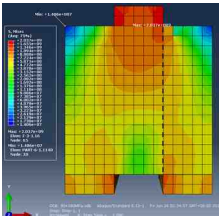
- ㉞ FEM 해석을 통한 접착계면 응력분포 분석
 - ABAQUS를 사용하여 직접전단 실험체 접착계면의 응력분포 파악
 - 분리타설이 설정된 요소분할(Mesh)에서 이종강도(HC80f-SC180f), 동종강도(SC180f)의 접착계면이 동종강도(NC30) 접착계면보다 취약한 이유는 동종강도(NC30)를 제외한 이종 강도(HC80f-SC180f), 동종 강도(SC180f)의 경우 접합계면에서 일체타설된 실험체의 전단접착강도보다 높은 응력집중 때문으로 판단됨



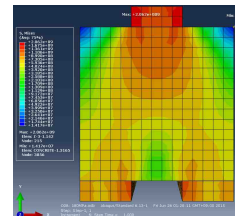
[해석 대상 시편]



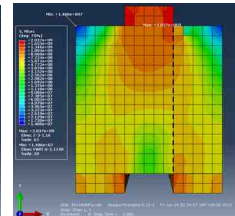
[SC80 일체타설]



[SC80 + SC180f]



[SC180 일체타설]

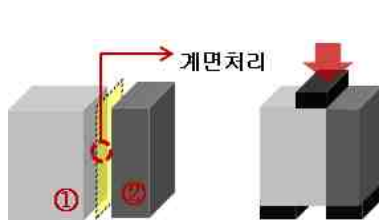
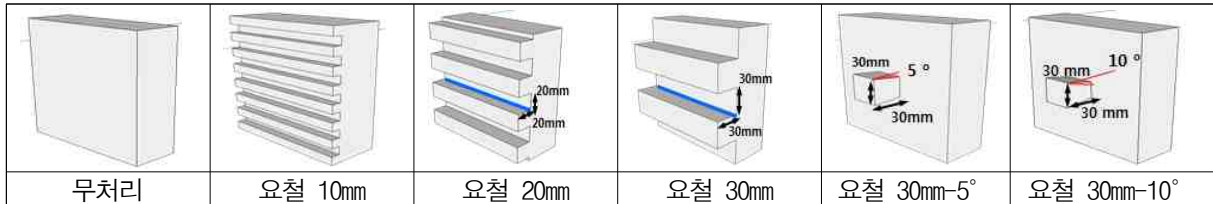


[SC180f 분리타설]

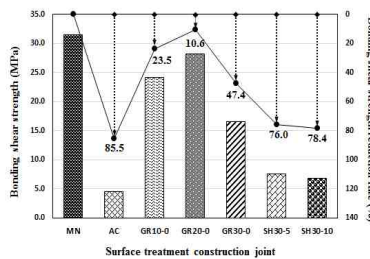
② 이종재료(SC-NC) 접합부의 정적성능평가 및 전단연결방안 제시

㉑ Direct shear test를 통한 SC접합부의 최적 계면처리방안 도출

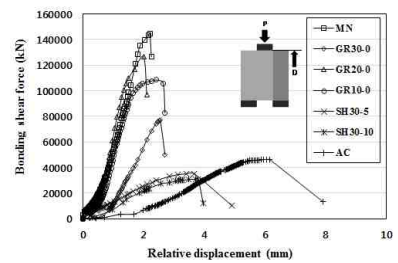
- 일체타설, 무처리, 전단키 크기에 따른 동일강도(SC180f) 접합부의 직접전단실험
- 전단부착강도의 크기는 요철20>요철10>요철30>요철30-5>요철30-10>무처리의 순으로, 요철20의 경우 일체타설 대비, 전단부착강도 감소율은 약 11%로 나타나 가장 우수한 전단부착성능으로 나타남



[직접전단실험]



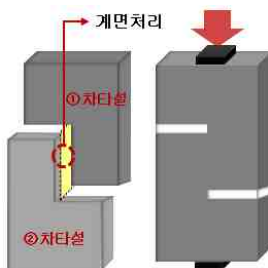
[전단부착강도 및 전단부착강도 감소율]



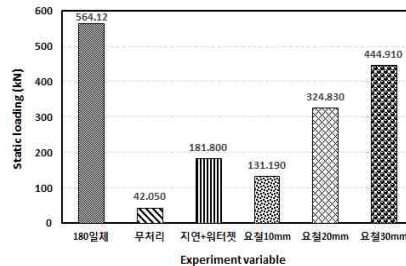
[하중-변위 관계]

㉒ 콘크리트 표면처리 방법에 따른 이종압축강도(SC-NC) 접합부의 정적성능평가

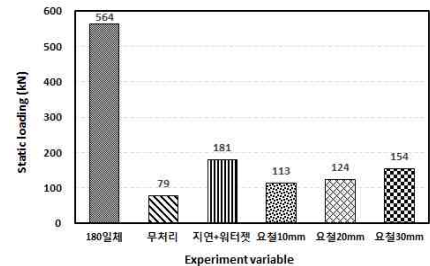
- 일체타설, 무처리 및 요철크기에 따른 이종강도(NC30-SC180f) 접합부 인발실험 (Push-out test) 실시
- 실험 결과 전단부착강도의 크기는 일체타설>요철30>요철20>요철10>무처리 순서로 나타나며, 요철30으로 접합부 계면처리를 실시한 경우, 무처리 대비, 전단부착강도는 약 5.1배 증가한 것을 확인



[Push-out test]



[동일강도(SC180f+SC180f) 전단부착강도]



[이종강도(NC30+SC180f) 전단부착강도]

㉓ 콘크리트(SC-SC, SC-NC) 시공이음부의 전단부착강도 예측식

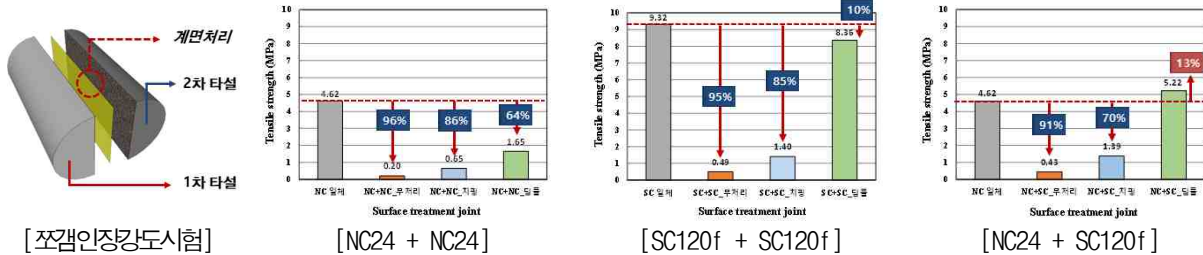
- ACI-318의 전단마찰 강도 모델을 바탕으로 SC의 전단부착강도 예측식 제안
- 콘크리트 점착력을 대상으로 본 연구에서 제안한 콘크리트 점착력 부담분 :

$$V_c = (\alpha_1 \sqrt{f_{ck}} \ln(x) + 0.25 \sqrt{f_{ck}}) A_c$$

③ 이중재료(SC-NC) 이음부의 휨인장 연결방안 제시

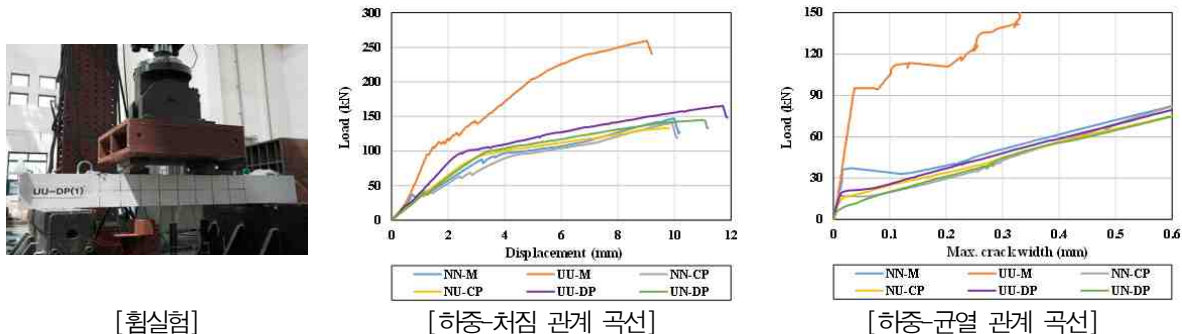
㉓ 이중재료(SC-NC) 현장이음부의 쪼갬 인장 성능 평가

- 원주형 공시체(100×100mm)의 단면 형상을 변수로 쪼갬인장강도 시험 실시
- 계면을 치핑 처리한 경우 NC+NC 및 SC+SC는 일체타설 대비 약 85% 정도 인장성능 저하, NC+SC의 경우 약 70% 정도의 인장성능이 저하됨을 확인
- 계면 형상이 덩플인 경우 NC+SC인 경우 NC 일체타설 대비 약 13% 증진효과가 있으나, NC+NC와 SC+SC는 일체타설 대비 각각 64%, 10% 정도 부착성능 감소



④ 콘크리트(NC-NC, SC-SC, NC-SC) 현장 이음부의 휨인장 연결 성능 분석 및 사용성 평가

- FCM 공법 적용시 발생하는 시공조인트(이음부)의 성능평가를 위해 일체타설, 치핑, 덩플로 계면처리를 변수로 하였으며, 실험변수당 3개씩 실험체 제작, 실험



㉔ 콘크리트(SC-SC) 현장이음부의 연결 성능에 대한 평가 모델 제시

- 상기의 실험 결과 및 정밀해석 결과 등을 종합하여 전단부착성능 증진을 위한 요철의 크기, 형상, 개수 및 길이 등을 고려할 수 있는 접합부 상세에 대한 평가식 제안

• 철근이 없는 경우,

$$V_n = \min(0.2f_{ck}A_c, 3.3 + 0.08f_{ck}A_c) - (\alpha + \beta\mu)$$

• 철근이 있는 경우,

$$V_n = A_{vf}f_y\mu - (\alpha + \beta\mu)$$

정방향 보강 철근량 고려

$\beta = \frac{1}{n - \frac{c}{10}}$ 요철 개수, 요철 크기

콘크리트 압축강도 $1 + a$ (실험상수)

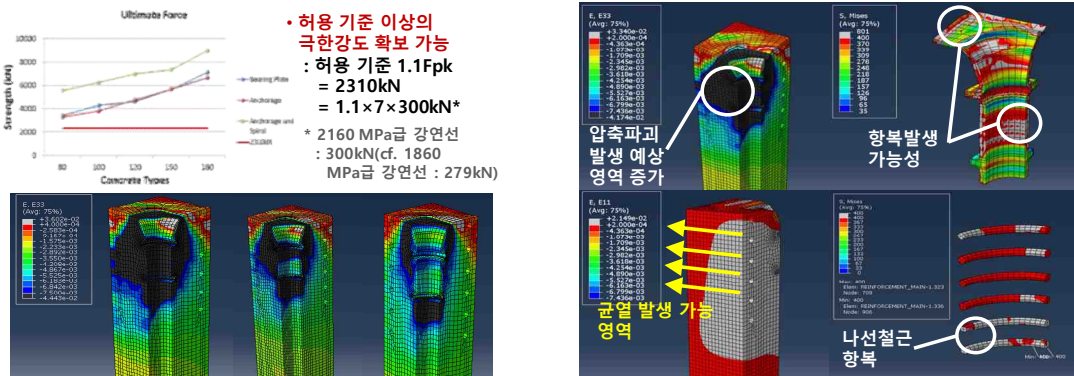
1.4λ 일체 타설
1.0λ 거친 표면에 타설
0.6λ 거칠지 않은 표면에 타설
0.7λ 보강 스티드나 철근에 의하여 압연구조 강재에 정착

(자) SC적용 PSC 구조의 설계변수에 따른 부재 안전성 평가

① 연구 수행 내용

㉓ SC 적용 PSC 구조해석 방향 정립

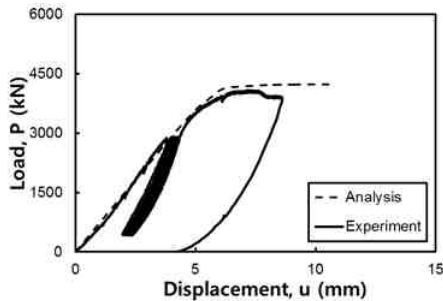
- 응력집중부 해석기술, SC 적용 슬림거더의 구조 비선형성 유발인자 조사
- SC 적용 PSC 거더 응력집중 발생 가능 위치 및 요인 분석
- 정착구를 포함한 내부 정착부 상세 모델링 및 매개변수연구 수행



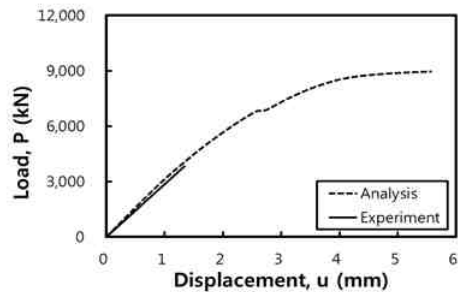
[매개변수해석 및 그 결과]

㉔ SC 적용 PSC 구조해석 수행

- SC 재료 비선형성 반응을 위한 재료 모델 검증
- 기존 및 SC 적용 정착구의 실험결과 비교를 통한 비선형 해석 기법 검증



[실험 및 해석 비교(RIST-1)]



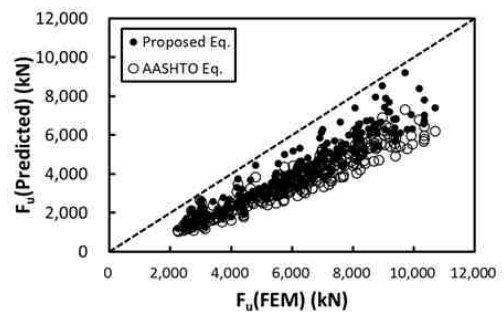
[실험 및 해석 비교 (서경대학교-ANRE)]

- SC 적용 슬림거더 정착구의 비선형 구조 해석을 통한 주요 설계변수 도출
- 슬림거더 안전성 평가를 위한 해석 기법 개발
- 기존 PSC 거더 대비 SC 적용 슬림거더의 설계변수별 거동 차이 분석
- 설계변수 변화에 따른 SC 적용 정착구 극한 저항력 산정식 제안

<제안식>

$$F_u = 0.8f'_{ci} \left(\frac{A}{A_g} \right)^{0.5} A_b + k(n)f_{lat} \left(1 - \frac{s}{D_{sp}} \right) A_{core}$$

$$k(n) = 0.695(n) + 3.305, \quad n = f'_c / 35 \text{ MPa}$$



[제안식과 설계기준 비교]

㉞ 측압시험 결과

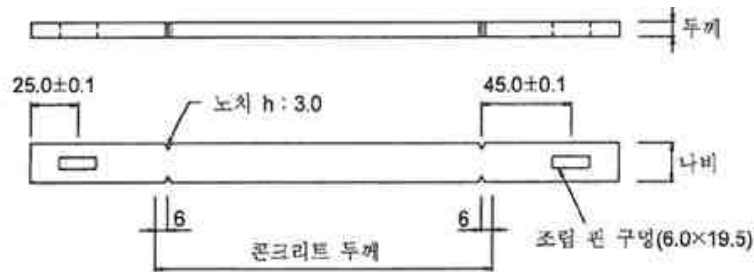
- 80MPa급 콘크리트는 액압 수준의 측압 계측됨
- 일반콘크리트 단위중량($2,350\text{kg/m}^3$) 사용시 액압을 최대 3% 정도 초과함
→ 단위중량 $2,450\text{ kg/m}^3$ 적용이 적함
- 타설속도가 빠를수록 하부의 측압이 크고, 시간경과에 따른 측압 감소량 작음

② 거푸집 긴결재(평타이) 인장 실험

㉞ 실험 목적

- 고유동성인 SC 콘크리트는 액압으로 거푸집 설계를 수행하여야 함
- 기존 유로폼을 이용한 SC 타설시 폼타이의 파괴로 인한 거푸집 붕괴 발생 가능성 높음
- 기존 폼타이 강도 증진방안 및 KS규격(거푸집 긴결재 KS F 8023) 개선 방안 도출

㉞ 거푸집 긴결재(평타이) KS 규격 (두께 4mm)



㉞ 측압실험 결과

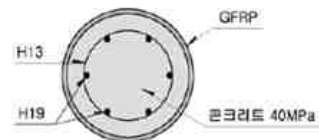
- 실험결과 4mm 두께의 폼타이는 긴결재 내부 핀 단부에서 축력에 의한 지압파괴가 선행 발생한 후, 핀 주위의 인장파괴 발생
- KS규격 표준안의 긴결재 파단하중은 19.2kN이었으며, 이는 KS규정 최소인장 하중 29.4kN(핀 구멍 미고려한 하중)보다 크게 못 미침
- 이에 따라 KS규정에 대한 재질 변경(SM490이상)이 필요함. (기존 유로폼의 핀 구멍을 고려할 때 긴결재의 순단면 증가는 기대하기 어렵기 때문에, 재질 변경이 현실적인 대안임)

(나) 스트럿 SC 적용 기술 개발

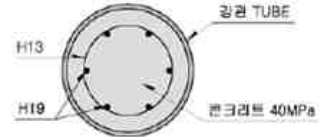
① PSC박스거더 SC적용 스트럿 기술

㉞ 재료강도별 검토 매개변수

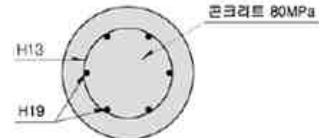
- Case1 : 40MPa일반 콘크리트 + GFRP
(콘크리트 직경340mm, FRP 두께 5mm)



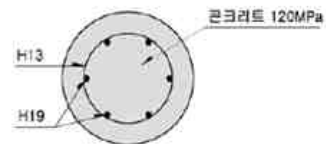
- Case2 : 40MPa일반 콘크리트 + Steel Tube
(콘크리트 직경340mm, Steel 두께 5mm)



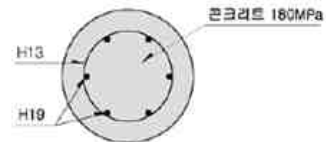
- Case3 : SC80 (fck=80MPa) 콘크리트
(SC80 직경 350mm)



- Case4 : SC120 (fck=120MPa) 콘크리트
(SC120 직경 300mm)



- Case5 : SC180f (fck=180MPa) 콘크리트
(SC180 직경 250mm)



㉠ 스트럿 매개변수 검토 결과,

- 경계조건(고정단 또는 힌지)에 따른 단면력은 스트럿 강성이 거더 강성에 비해 무시할 정도의 수준이라 1% 내외의 차이만 발생하며, 연결 경계조건은 구조거동이 아닌 가설방법에 의해 결정(프리캐스트 또는 현장타설)
- 공시체 압축실험 결과 NC40+FRP는 SC80(직경350mm)과 저항성능이 유사하고, NC40+Steel은 SC120(직경300mm)과 저항성능이 유사한 것으로 나타남
- 비선형 해석결과 SC 스트럿이 현행 FRP 또는 강관 스트럿에 비해 2배 이상 구조 성능이 우수한 것으로 나타남

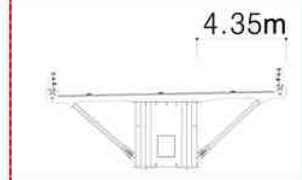
㉡ 스트럿 경제성 검토 결과,

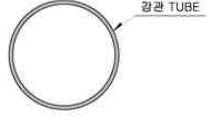
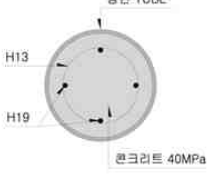
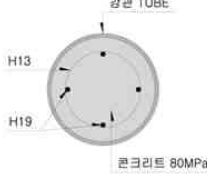
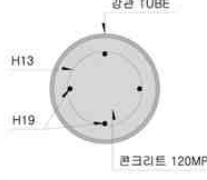
- 콘크리트 스트럿의 경우 SC80 only, SC120 only, SC180f only, 40MPa+Steel 순으로 재료비가 가장 저렴함 (40MPa + FRP의 경우가 가장 비쌈)
- 현재 40MPa+FRP 스트럿이 국내 PSC박스거더교에 다수 적용되어 있는 실정임. 이를 SC80 Only로 대체할 경우, 재료비 기준 90% 절감 가능(FRP는 고가 재료임)

구 분	비 고	재료비 (40MPa+기준)
40MPa + FRP	직경340mm, 두께 5mm	100%
40MPa + Steel	직경340mm, 두께 5mm	29%
SC80 only	직경350mm	10%
SC120 only	직경300mm	14%
SC180f only	직경250mm	27%

② 강합성 박스거더 SC 적용 스트럿 기술

㉓ 재료강도별 검토 매개변수

구 분	기준사례1 (형연결재+강관스트럿)	기준사례2 (브라켓)	개선안 (강관스트럿 only)
형단면			
구성 및 제원	- 형 연결재 (H-400×400×12×14) - 중 정착거더 (H beam) - 강관 스트럿 (Φ216.3×8t)	강재 브라켓 (H-912×302×18×34)	- 형 연결재 및 중 정착거더 無 - 강관스트럿 (Φ273.0×8t)
처짐량	$\delta z = 2.022\text{mm}$	$\delta z = 2.790\text{mm}$	$\delta z = 2.138\text{mm}$

Case 1 강관 Φ273×80t	Case 2 강관 Φ244.5×50t+NC40	Case 3 강관 Φ216.3×50t+SC80	Case 4 강관 Φ190.7×50t+SC120
			

㉔ 스트럿 매개변수 경제성 검토 결과

- 강관 및 CFT스트럿의 경우 SC120+Steel > SC80+Steel > 40MPa+Steel > Steel only tube 순으로 재료비가 저렴함 (SC120+Steel의 경우, Steel only tube에 비해 재료비 42% 수준임)
- 현재 Steel Only 스트럿이 국내 강합성박스거더교에 다수 적용되어 있는 실정임. 이를 SC80 CFT로 대체할 경우, 재료비 기준 48% 절감 가능

구 분	비 고	재료비 (Steel Only기준)
Steel only	직경 216.3 mm, 두께 8 mm	100%
40MPa + Steel	직경 190.7 mm, 두께 5 mm	59%
SC80 + Steel	직경 165.2mm, 두께 5mm	52%
SC120 + Steel	직경 165.2mm, 두께 3.5mm	42%

③ 박스거더 바닥판 상관관계를 고려한 스트럿 검토

㉓ 검토 조건

- 캔틸레버 길이, 스트럿 간격, 재료 종류를 반영하여 스트럿과 바닥판에 대해 동시 검토

㉔ 검토 결과

- PSC 박스거더교는 SC80+D350의 경우가 안전하고 경제적이며, 스트럿 간격은 4.0m의 경우가 최적인 것으로 검토
- 강합성 박스거더교는 Φ216.3×5.0t+SC80의 경우가 안전하고 경제적이며, 스트럿 간격은 3.0m의 경우가 최적

(다) SUPER Concrete 적용 스트럿 설계예제집 및 설계지침서

① 설계예제집 및 지침서 작성 개요

㉑ 작성 목적 및 적용범위

- SC 적용 스트럿 및 연결부 설계의 절차와 방법, 관련 규정을 제시함으로써 설계자에게 실무적인 도움과 경제적인 교량설계의 방향성 제시
- 스트럿 설계예제집 및 설계지침서는 개정된 최신 기준인 LRFD로 고강도 콘크리트 적용 스트럿 관련 부재 구조검토 방법 정립하였으며, 특히 SUPER Concrete연구단에서 수행한 결과물 (콘크리트 물성치 등)을 반영
- 일반 설계 실무자에게 쉽게 사용 할 수 있는 구조계산 예제 및 설계지침서를 제시하였으며, 이를 기초로 설계에 즉시 활용 가능

㉒ 관련 설계기준

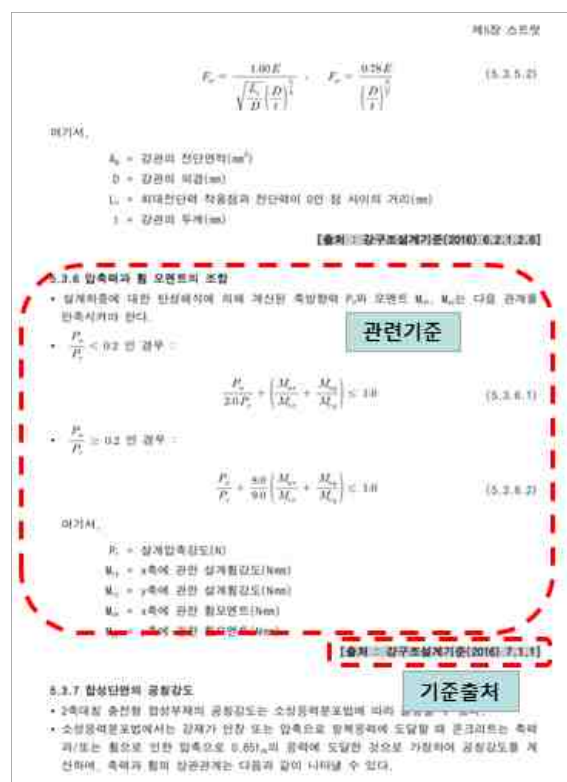
- SUPER Concrete 구조설계지침(2019)
- 도로교 설계기준 한계상태설계법(2016)
- 강구조 설계기준(2016)
- 콘크리트 구조설계기준(2012)
- 도로교 표준시방서(2015)
- AISC Specification for Structural Steel Building
- AISC Design Examples Ver 14.1

② 설계예제집 및 지침서 구성

- 설계예제집은 계산서 내용과 관련 설계기준 조항을 표기
- 설계지침서는 계산관련 상세기준과 기준 출처를 표기하여 설계 즉시 활용 가능



[설계예제집 구성 사례]



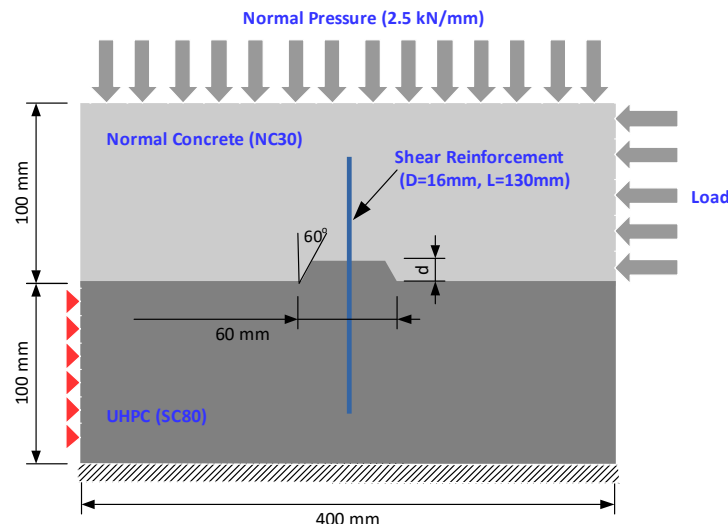
[설계지침서 구성 사례]

다. SC활용 40~60m 하이브리드 상부구조 시스템 개발

(1) 40~60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 개발

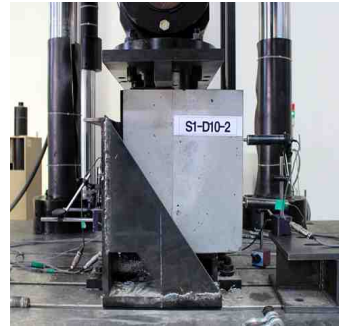
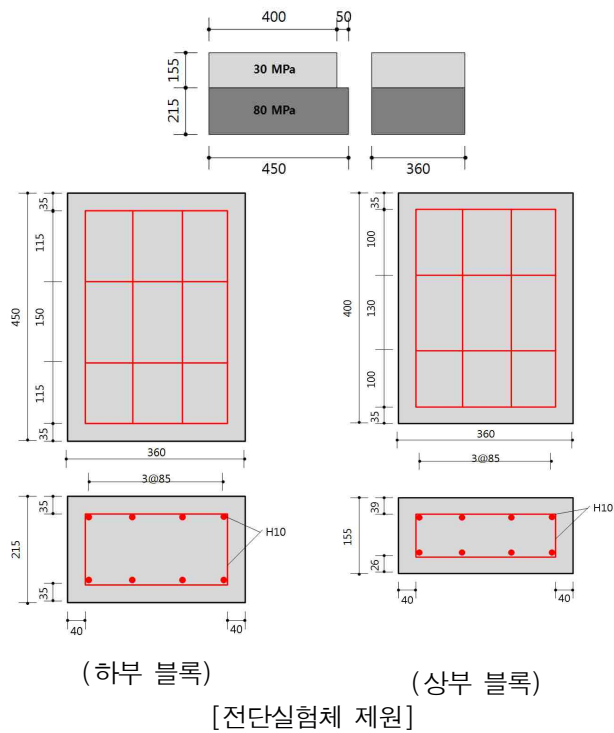
(가) SC활용 하이브리드 거더구조의 연결부 구조상세 최적화

- ① SC 하이브리드 거더 구조의 케이싱-바닥판 연결부 구조 검토
 - ㉠ 기초 검토를 통해 강재 거더와 SC 케이싱블록이 합성된 형태의 거더와 콘크리트 바닥판 합성 단면을 SC 하이브리드 거더의 기본 구조로 선정하고, 강재 거더와 SC케이싱블록은 일반적인 전단 스티드 연결로 설계하고, SC 케이싱블록과 콘크리트 바닥판은 전단철근 연결로 설계
 - ㉡ SC 케이싱블록과 콘크리트 바닥판 간의 전단저항 성능 확보를 위해 인위적인 요철면을 형성하여 요철면에서의 계면저항력을 활용하는 방안에 대해서 적용 가능성 검토
- ② 유한요소해석을 통한 연결부 계면 전단거동 평가
 - ㉠ SC활용 하이브리드 거더 단면의 SC블록과 바닥판간 연결부처럼 압축강도가 다른 경우에 연결부 계면조건을 고려한 전단강도 평가식의 적용성 평가를 위해 요철부 계면을 갖는 부재 연결부의 압축강도가 서로 다른 경우를 가정하여 유한요소해석 수행



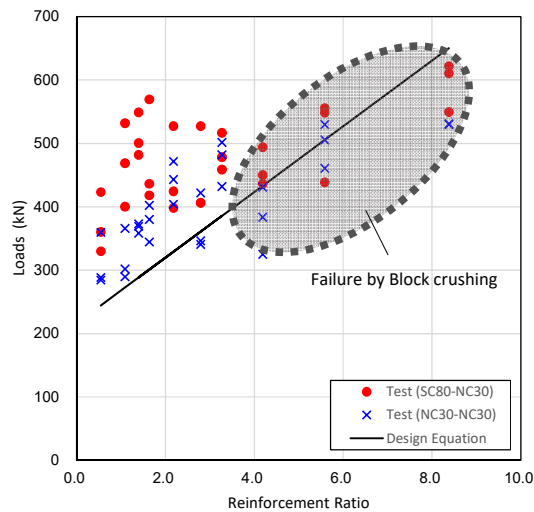
[이종강도 콘크리트 계면의 전단강도 평가를 위한 해석 모델]

- ㉡ 설계기준의 전단강도 평가식은 실제 예상되는 전단강도에 비해 약 1.3배의 안전율 수준으로 저평가되는 결과를 얻었으며, 중간 콘크리트 강도가 다른 경우에 낮은 강도의 물성치를 대입하여 전단강도를 계산하면 안전율이 약 1.6으로서 보수적인 전단강도 설계값을 얻게 됨
- ③ 전단실험을 통한 이종강도 콘크리트 연결부 평가
 - ㉠ 이종강도 콘크리트 연결부의 계면조건에 따라 표면처리 유무, 철근직경, 전단연결재 개수에 따라 구분 제작하여 전단실험을 통해 연결부 상세에 따른 거동을 평가
 - ㉡ 블록 연결은 SC80-NC30 의 이종강도 연결인 경우와 NC30-NC30의 동일 강도 연결인 경우로 구분하여 설계변수에 따라 총 30 개의 케이스에 대해 실험 수행



[전단시험 전경]

- ㉔ 케이싱블록과 바닥판 콘크리트가 압축강도 30MPa로 동일한 경우(NC30-NC30), 실제 전단강도는 설계식을 이용한 계산값에 비해 평균적으로 약 20% 정도 상회하는 강도를 보이며, 케이싱블록에 SC80을 적용하는 경우(SC80-NC30)는 실제 전단강도가 설계식 계산값에 비해 약 50% 상회하는 결과를 얻음



[전단시험결과 비교]

(나) SC활용 하이브리드 거더구조의 설계 표준화

① SC 하이브리드 거더 개요

- ㉔ SC 하이브리드 거더는 I형 강재거더 상부플랜지에 SC 활용 케이싱 콘크리트가 합성되어 압축부 구조성능이 향상된 합성거더

- ④ SC 하이브리드 거더는 2개의 접합 구조를 가지고 있으며, 강재와 케이싱 콘크리트는 스테드 전단연결재로, 케이싱 콘크리트와 바닥판 콘크리트는 전단철근으로 합성



[SC 하이브리드 거더 단면 형상]

② SC 하이브리드 거더 제작 방법

단 계	내 용	저항단면
제1단계	강재거더 중앙부근에 임시 지지점 설치 	강재단면
제2단계	상부플랜지 위에 케이싱 콘크리트 타설 	강재단면
제3단계	양생 후 양단으로 지점 이동하여 적치 	강재+케이싱
제4단계	합성거더 가설 및 바닥판 콘크리트 타설	강재+케이싱 콘크리트
제5단계	합성후 고정하중 및 활하중 재하	강재+케이싱+바닥판

③ SC 하이브리드 거더 최적화

- ㉠ SC 강도, 임시지지점 위치, 케이싱 및 강재단면 변수 변화를 통한 40m~60m 경간장별 최적 단면 산출

교량길이	형고	SC강도	임시지지점위치	케이싱 규격
40m	1.7m	80 MPa	$Le/3.0$	400×400
45m	1.8m	100 MPa	$Le/3.0$	400×400
50m	1.8m	120 MPa	$Le/3.0$	475×400
55m	2.0m	120 MPa	$Le/3.0$	450×400
60m	2.4m	120 MPa	$Le/3.0$	425×400

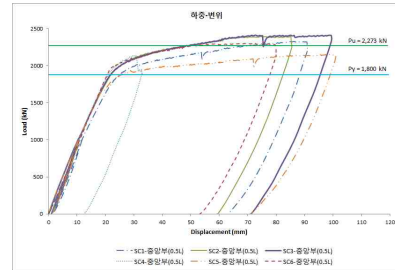
④ SC 하이브리드 거더 구조성능 검증

㉑ 1차 성능 검증 : SC 하이브리드 거더 수평접합부 검증 평가 (2015.05)

- 6종류의 각기 다른 접합상세를 가진 실험체의 성능 검증
- 수평접합 취약부 확인 및 상세 검증 / 실교량 적용시 구조적 안전성 확인



[실험 전경]



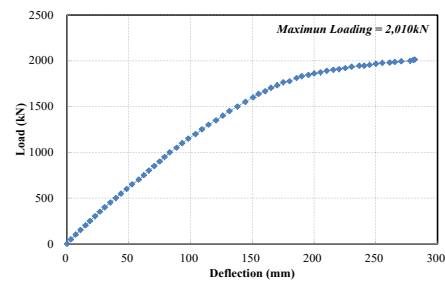
[실험 결과 (하중-변위 곡선)]

㉒ 2차 성능 검증 : SC 하이브리드 거더 실교량 실험체 휨강도 평가 (2017.03)

- 동적성능검증 결과 교량 구조물로서의 합리적 결과 도출
- 정적하중재하 시험 결과 사용하중의 3배 이상에서 하부플랜지가 항복함에 따라 충분한 구조적 안전성 확보



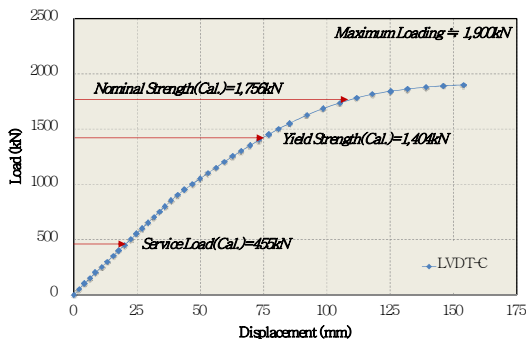
[실험 전경]



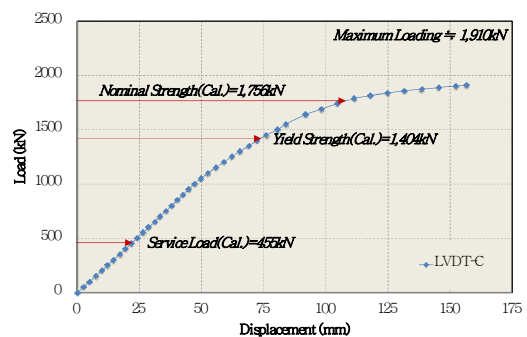
[실험 결과 (하중-변위 곡선)]

㉓ 3차 성능 검증 : 수평 전단상세가 다른 2종류 실험체 극한휨강도 평가 (2018.03)

- 전단상세에 따른 구조물의 거동 차이는 크지 않았으며, 2종류의 실험체 모두 사용하중의 3.2배~3.6배에서 단면이 항복함으로서 충분한 구조적 안전성 확보



[SG 실험체 하중-변위 곡선]



[RG 실험체 하중-변위 곡선]

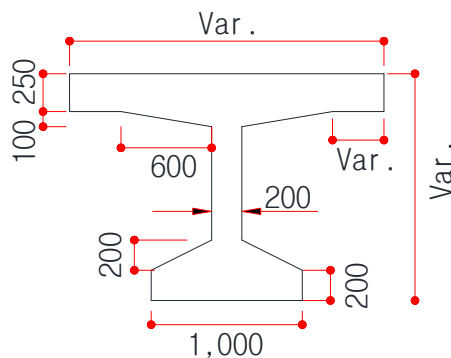
① 개요

- 고정

- 고강도 콘크리트를 사용할 경우 거더 단면을 줄일 수 있으며, 대부분의 I형 거더의 경우 폭에 대해서는 이미 최적화가 되어 있어 단면 축소는 보통 형고의 감소로 나타남
- 형고를 줄이게 되는 경우 PSC 거더에서는 강연선의 편심 길이가 짧아지게 되기 때문에 동일하중에 대해 견디도록 설계하기 위해서는 그 만큼 많은 강연선이 필요
- 콘크리트에 비해 강연선 비용 단가가 비싸기 때문에 강연선의 증가는 비용 증가의 요인이 될 수 있음
- 즉, 고강도 콘크리트를 사용하여 형고를 줄인다고 해서 거더 비용이 감소되는 것이 아니기 때문에 일반 PSC 거더와 경쟁해서는 경쟁력을 확보하기는 어려움
- 따라서, 이 연구에서는 강합성 계열 거더의 저형고를 구현하여 강합성 계열 거더와 경쟁함으로써 경쟁력을 확보하고자 하였으며, 또한 일반 거더와의 차별화된 장점을 위해 슬래브 시공을 대폭 줄여 공기 단축이 가능한 full depth 형태의 슬래브 일체형 거더를 고려함
- 슬래브 일체형 거더의 경우 일반 거더에 비해 중량이 많이 나가게 되므로 40m 이내의 중지간 교량에 적합하며, 상부 슬래브가 커 중립축이 일반 거더에 비해 높음
- 이는 형고를 낮추더라도 강연선의 편심을 일정 수준 유지할 수 있어 적은 강연선으로도 저형고를 구현하는데 유리한 형식이 되며, 또한 슬래브 타설 면적이 축소되어 슬래브 시공비용이 절감되고 공기단축의 효과가 있어 사회적 비용 절감에도 도움이 되는 형식이라고 할 수 있음

- 응력뿐만 아니라

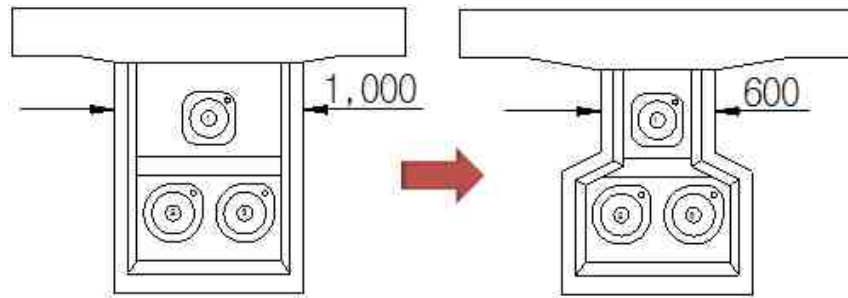
- 응력뿐만 아니라 처짐 등 사용성 측면을 고려하여 고강도 콘크리트를 사용한 단면 최소화를 수행
- 상부 플랜지 빗변 높이, 하부플랜지 폭, 하부플랜지 높이, 하부플랜지 빗변 높이, 웹 폭을 설계변수로 선정
- 중량 증가에 비해 강성 증가가 크게 되는 설계변수를 선택하는 방식으로 최적화를 수행
- 즉, 강성을 키워 처짐을 감소시키되 중량 증가로 인한 응력 손해를 최소화



[도출된 최적 단면]

③ 단부 단면 최적 설계

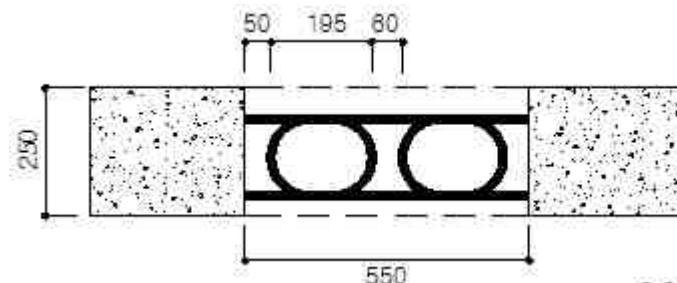
- 슬래브 일체형 거더는 슬래브의 일부가 거더에 포함된 형태이므로 거더 상태의 중량이 큰 편인데, 이는 가설비용의 증가를 야기함
- 따라서 가능하면 단면이 최소화 되는 것이 콘크리트 물량 감소뿐만 아니라 가설비용 감소에도 기여
- 이러한 사항을 고려하여 단부 정착구 부근 단면을 축소함



[중량 감소를 위한 단부 단면 축소]

④ 바닥판 연결부 상세

- 상부플랜지 폭을 고정하고 연결부 폭을 변화시키는 방법은 현황에 따라 연결부 폭이 상당히 넓어지는 경우가 발생할 수 있으며, 그럴 경우 슬래브의 현장타설 물량을 줄여 공기단축을 하겠다는 슬래브 일체형 거더의 목적이 약해질 우려가 있음
- 따라서 연결부 폭은 최소로 하는 방향으로 상세 개발하는 것이 유리
- 더욱이 횡경사를 거더 자체에서 구현하는 경우 좌우 균형을 맞추기 위해서는 상부플랜지 폭을 조절할 수 있는 것이 요구되는데 이와 같이 상부플랜지 폭 변화를 고려할 수밖에 없다면 연결부 폭을 최소한으로 고정하고 거더의 상부플랜지 폭을 변화시키는 방식이 거푸집 활용도나 현장타설 물량의 축소, 다양한 교량 폭에 대한 적용성 측면에서 유리할 것으로 판단
- 이러한 면을 고려하여 연결부 폭은 다음과 같이 결정: 80 MPa의 콘크리트를 사용할 경우 연결부 폭은 550 mm로 철근 사이의 유격 등 기본적으로 확보해야 하는 간격을 고려하여 결정



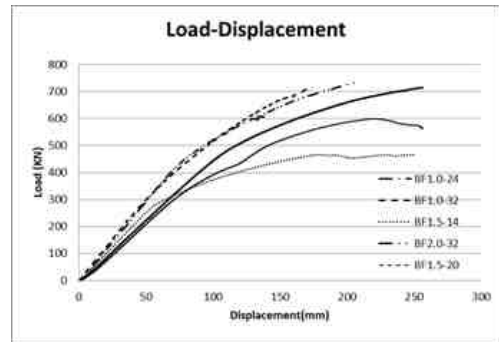
[Double loop 연결부 상세]

(라) SC활용 중지간 박스거더 최적설계

- ① SC 활용 중지간(50 m급) 분절형 박스거더 설계, 제작 및 성능평가

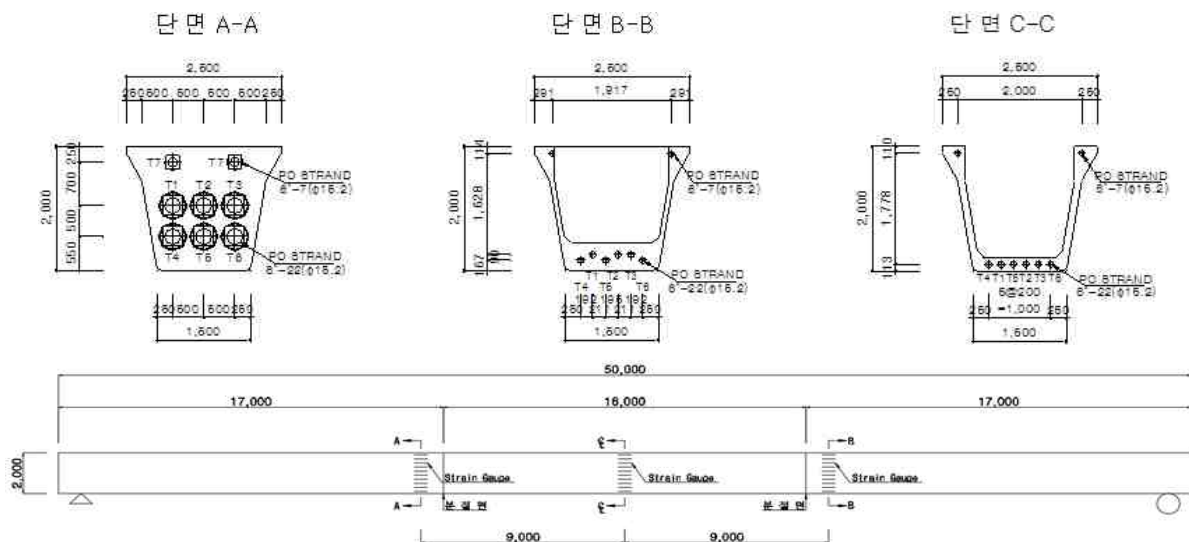
- 15 m급 요소 부재 실험을 통해 실용적인 최적단면의 50 m급 SC 박스거더 실험
- SC의 재료적 특성 고려한 중지간 분절형 박스거더 설계
- SC 활용 중지간(50 m급) 분절형 박스거더의 거꾸집 제작 및 시공체계 확립
- SC 활용 중지간(50 m급) 분절형 박스거더의 경제적인 강섬유 함유량과 철근조합 실험
- SC 활용 중지간(50 m급) 분절형 박스거더의 형고 및 최적단면 거더제작 및 실험

② 15m급 박스거더 실험



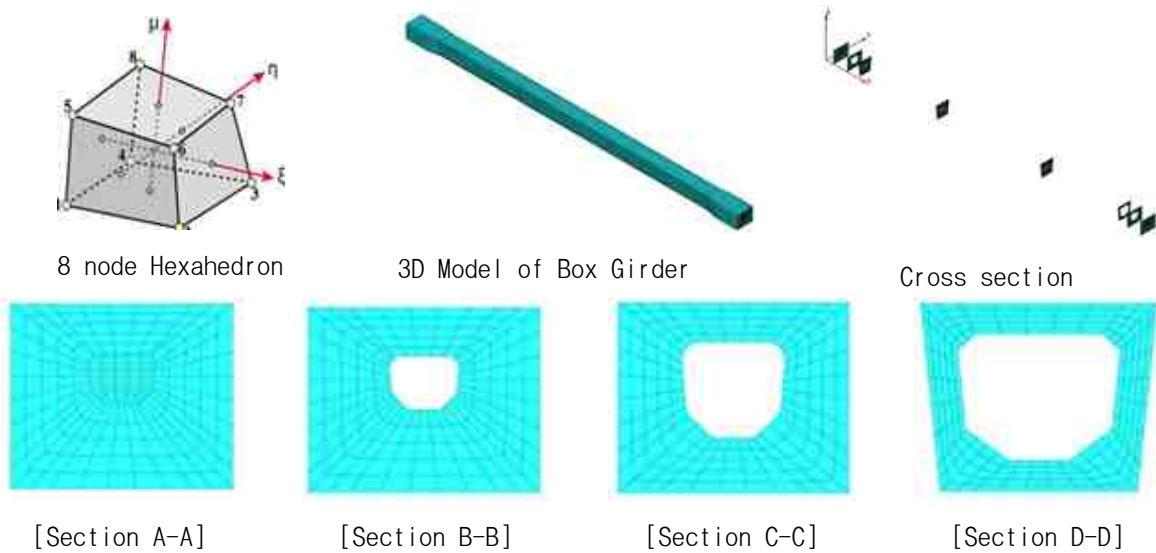
- BF1.5-20의 최대하중은 600 kN, 처짐은 252 mm를 나타냄
- 기존의 SC박스거더 실험 결과와 비교해 볼 때, 종방향 철근 및 전단철근을 배근하지 않고 체적대비 1.5%의 강섬유 보강 SC로 제작한 BF1.5-20의 하중-처짐 관계는 철근을 배근한 박스거더와 비교하여 거동의 흐름이 유사함을 알 수 있음. 강연선의 수에 따른 내하력의 변화를 볼 수 있음
- BF2.0-32와 BF1.0-32 거더는 강연선의 개수가 많음에도 BF1.0-24의 최대하중과 차이가 크지 않고 처짐은 작아서 과보강 PSC보임을 시사하며, BF1.0-24, BF1.5-14 및 BF1.5-20은 처짐이 250mm에 달하는 연성거동 특성을 가진 저보강보

③ 50 m급 박스거더 실험



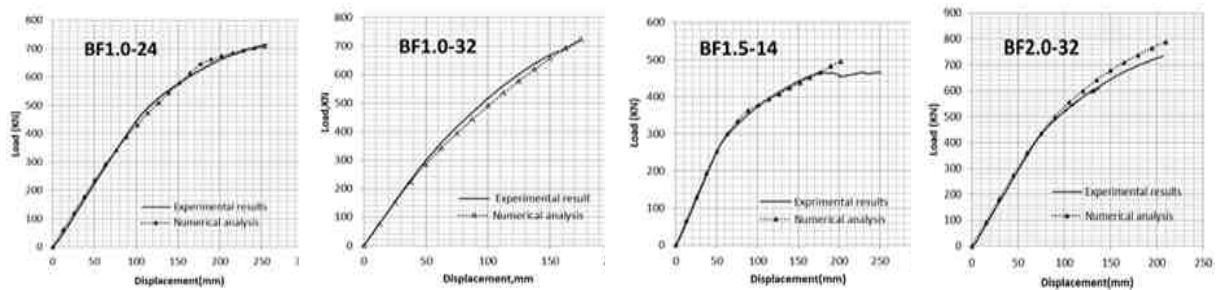
(마) SC활용 중지간 박스거더의 정밀해석 및 설계법 도출

① SC 활용 15 m 분절형 중지간 거더 단면해석 및 거동 분석



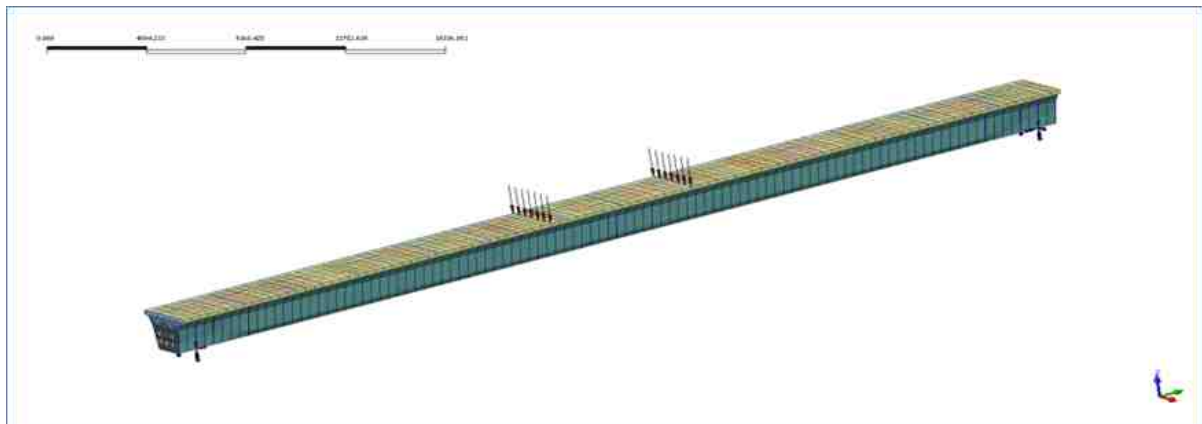
② SC 활용 15 m 분절형 중지간 거더 비선형 해석 통한 거동 분석

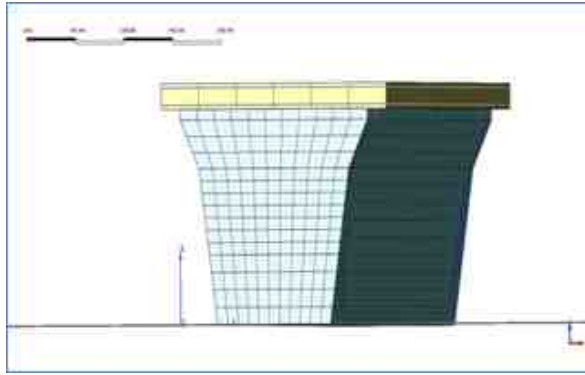
- 15 m 박스거더의 수치해석과 실험결과 비교
- 수치해석결과 값과 실험결과 값이 거의 일치



③ SC 120f 적용 50 m급 분절형 U-거더 실물 실험체 구조성능 평가 실험 및 결과

- SC 적용 50 m 박스거더의 수치해석





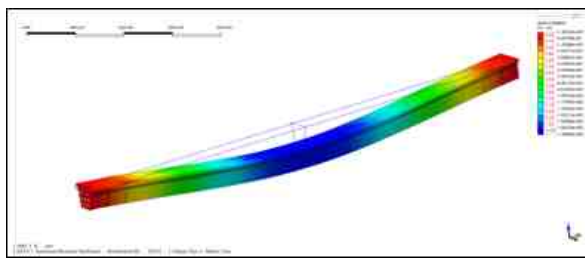
[50m 박스거더 모델링2]



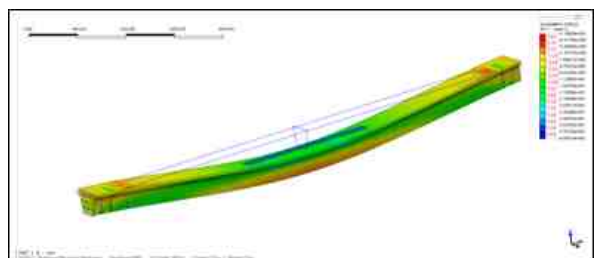
[50m 거더 제작1]



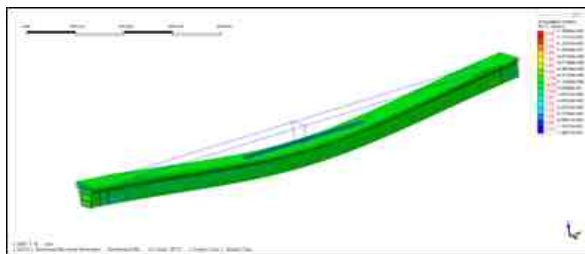
[50m 거더 제작2]



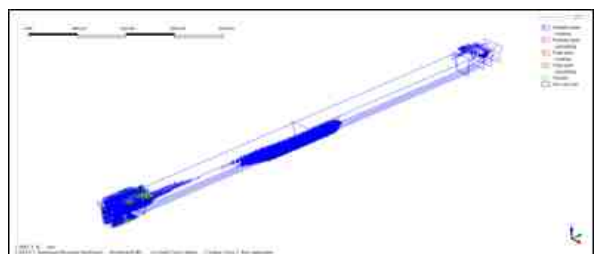
[Displacement of 50M Box-Girder
(최대처짐 : 169mm)]



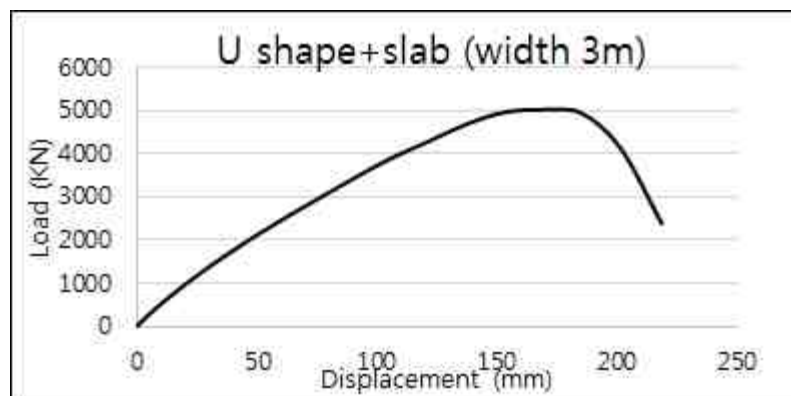
[Normal stress SPYY
(최대응력 : 88.2MPa)]



Shear stress SPYZ



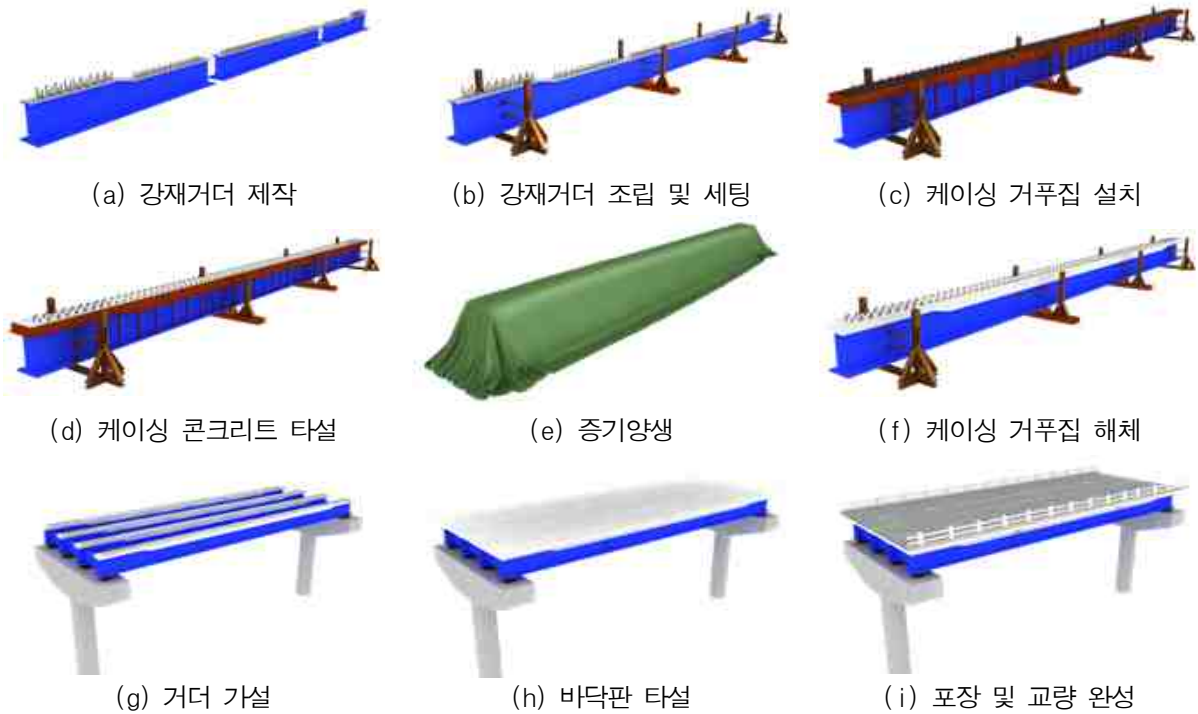
Crack status- Final step



[Expected result value]

- 50 m SC박스거더의 Midas FEA 수치해석 결과, 최대하중 5,028 kN에서 처짐 169 mm 발생 예상

㉔ SC 하이브리드 거더교 시공 순서도

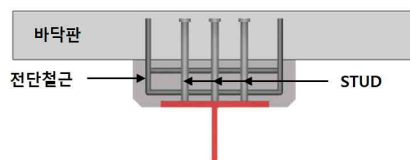


㉕ SC 하이브리드 거더교 경간장별 제원

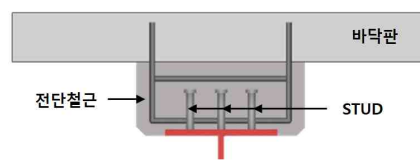
경간장 (m)	형 고 (m)	케이싱 강도 (MPa)	상부플랜지 (mm)	복부판 (mm)	하부플랜지 (mm)	케이싱 단면 (mm)	가설 중량 (tonf)
40	1.5	SC100	300×10	10×900	800×40	550×360	35.0
50	1.9	SC100	300×10	12×1300	800×44	550×360	49.0
60	2.2	SC120	300×10	15×1600	800×45	550×360	62.0

㉖ SC 하이브리드 거더/라멘교 위치별 단면 비교

- 전단력이 크게 발생하는 단부의 경우 전단연결재(STUD)와 전단철근을 적용하여 전단에 대한 구조적 안전성 향상



[단부 단면 전단 연결 상세]

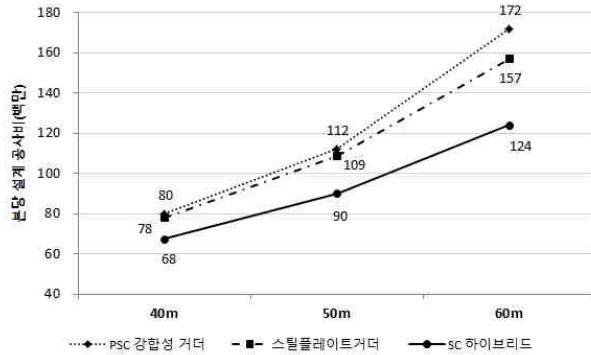


[중양부 단면 전단 연결 상세]

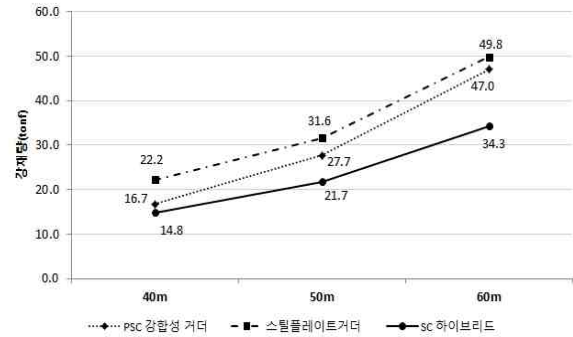
㉗ SC 하이브리드 거더 적용성

- 저형고 교량이 필요한 현장 (교량 형하공간/통수단면적 확보)
- 급속시공이 요구되는 현장 (공장 분절 제작시 현장공정의 최소화)
- 대용량 크레인이 작업하기 어려운 현장 (거더의 경량화로 운반 및 인양이 용이)
- 단순교 / 연속교 / 라멘교 등 다양한 형식의 교량에 적용 가능

㉠ SC 하이브리드 거더교 경제성 분석



[본당 설계 공사비]



[본당 강재량]

② SC 하이브리드 거더/라멘교 완성도 제고

㉠ 공장에서 분절 제작 시 현장 이음부 타설 재료의 성능 검증

- 시판중인 고강도 그라우트 재료의 시편 제작 및 재령/양생조건별 압축강도시험 수행
- 시험 결과 80MPa 강도 발현에 아무 문제가 없는 것으로 확인

㉡ 이음부 거푸집 제작 및 성능 검증

- SC 하이브리드 거더에 특화된 강재거푸집 제작 및 이에 대한 성능 검증 수행
- 1차 거푸집 제작 및 성능 검증 결과 작업성 및 수밀성에 문제가 있어 2차 거푸집 제작 및 성능 검증을 통해 거푸집의 사용성 및 안정성 확인

㉢ SC 하이브리드 거더/라멘교 테스트베드를 위한 지속적인 활동

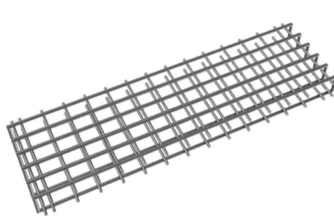
- 제품 브로슈어 제작 및 영업
- 학회 특별기사 수록 및 특별세션 발표를 통한 공법 소개 및 기술 홍보

(나) SC활용 교량 상부구조의 성능평가

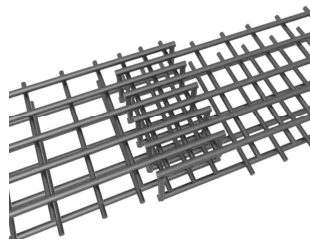
① 연결부 성능실험

㉠ 실험 개요

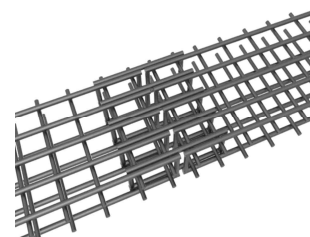
- 연결부에 적용한 double loop 방식은 중국 사례만 있을 뿐 국내 사례가 거의 없으므로 이에 대한 성능 검증 필요
- 설계 요구성능뿐만 아니라 기존 연결 방식과의 비교를 위해 연결부가 없는 일체형과 기존 single loop 방식의 실험체도 함께 제작하여 실험 수행
- 연결부의 콘크리트 강도도 변수로 추가



(a) 일체형



(b) Single loop

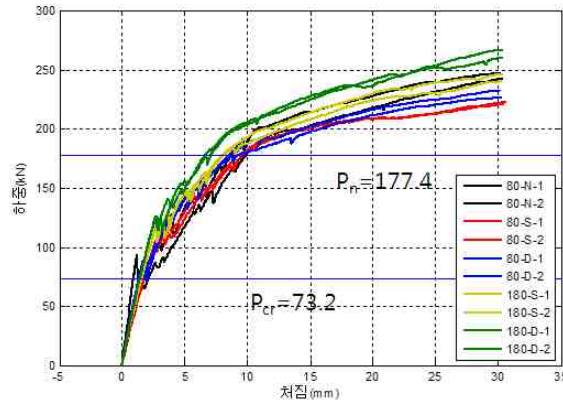


(c) Double Loop

[연결부 철근 배근 형상]

④ 실험 결과 및 분석

- 일체형 실험체를 제외하고 모든 경우에서 이론값 이상에서 균열이 발생하였으며, 강도 또한 더 크게 나타나서, 모든 실험체가 충분한 휨성능 발현 확인
- 연결부에 80MPa 콘크리트를 적용한 경우 Single loop 실험체가 더 큰 균열하중을 보였는데 이는 루프가 겹치는 중앙부에 철근이 두 배로 배근되면서 균열이 억제되고, 루프가 끝나는 위치는 3점 재하실험에서 모멘트 최대 위치가 아니므로 조금 더 큰 하중에서 균열이 발생하는 것으로 판단됨

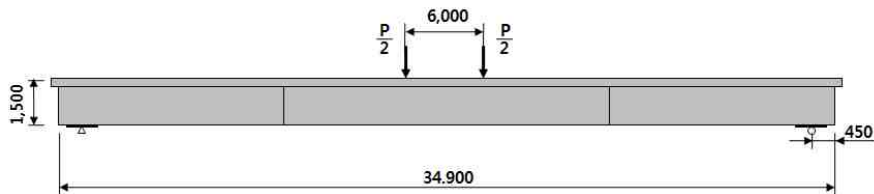


[하중-변위 그래프 (종합)]

② 슬래브 일체형 거더의 구조 성능 평가

㉑ 실험 개요

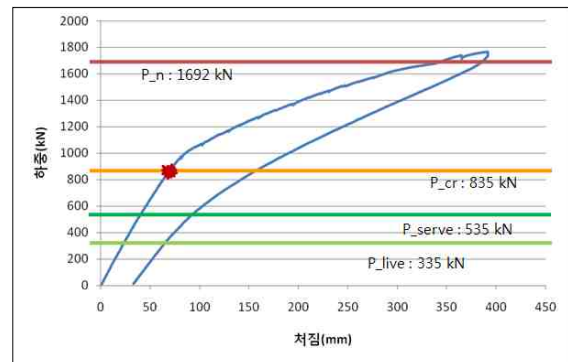
- 이 실험체의 형고 1.5 m는 40 m 경간에 대한 것이나, 실험실 여건과 기 제작한 거푸집의 활용을 위해 형고는 유지하고 경간장을 35 m로 줄여서 실험체 제작



[실험체 형상 및 하중 재하 위치]

④ 실험 결과 및 분석

- 본 실험체의 경간장은 35 m이나 40 m에 대한 구조성능을 평가하기 위해 경간 40 m일 때에 해당하는 활하중과 사용하중에 대해 구조성능 검증
- 초기균열은 예측값과 유사한 835 kN에서 발생
- 거더의 공칭강도 이상 재하를 통해 충분한 휨성능을 보유하고 있음을 확인

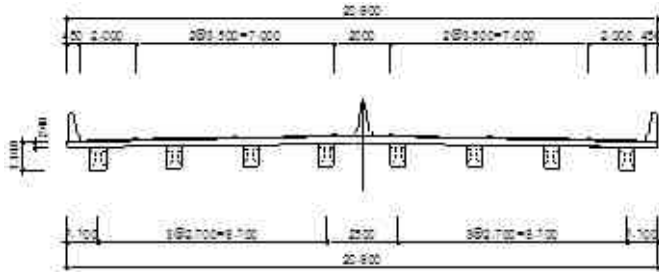


[하중-변위 곡선]

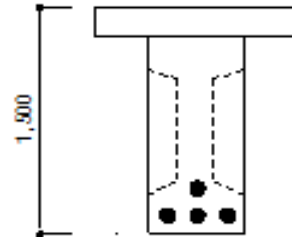
(다) SC활용 중지간 박스거더 경제성 평가

① SC 거더와 강합성 거더의 주요자재수량 비교

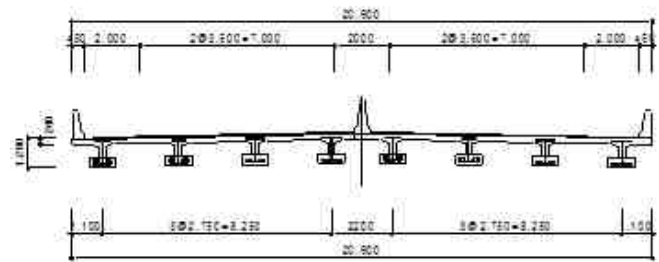
- SC 거더와 강합성 거더의 횡단면도 및 단면형상



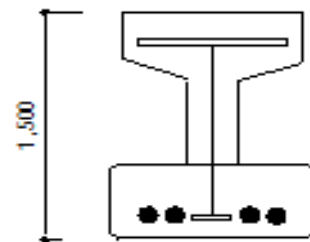
SC 거더 횡단면도



SC 거더 단면 형상



강합성 거더 횡단면도



강합성거더 단면 형상

- SC 거더와 강합성 거더(L=30 m, 4차로 기준)의 주요자재수량 비교

구 분	강합성 거더	SC 거더	비고
콘크리트	11.437 m ³ (100%)	10.475 m ³ (91.58%)	- 주요수량 강연선 및 철근을 제외한 품목에서 기존 거더 대비 약 7~11% 감소 - 거더 제작 규모에 따라 약 20~25% 공사비 절감
철근	2.131 ton (100%)	2.310 ton (108.39%)	
강재	8.793 ton (100%)	-	
강연선	1.515 ton (100%)	1.597 ton (105.41%)	

② SC 거더와 강합성 거더의 공사비 비교

- SC 거더와 강합성 거더(L=30 m, 4차로 기준)의 공사비 비교

구 격	강합성거더	SC 거더	비고
거더 제작	36,387,234 원	26,864,738 원	- 거더 제작비 26.2% 절감 - 거더 가설비 52.1% 절감 - 전체 공사비 27.1% 절감
거더 가설	1,348,637 원	645,836 원	
계	37,735,871 원	27,510,574 원	
비율(%)	100.0%	72.9%	

라. SC활용 프리캐스트 풍력타워

(1) 프리캐스트 풍력 타워 해석 및 설계 기술

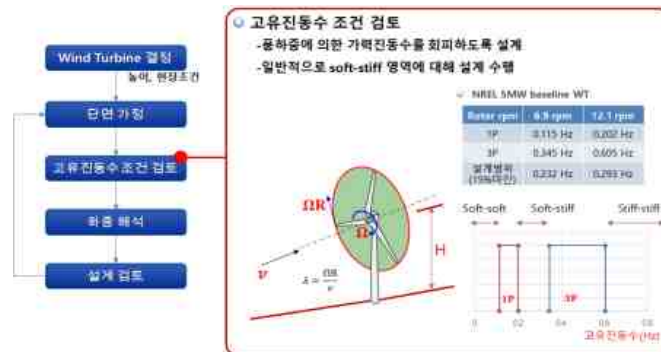
(가) 현장조건에 따른 풍력타워 해석 및 설계 기술 정립

① 풍력타워 비교설계를 통한 SC활용 프리캐스트 풍력타워 시스템 도출

- 국내외 설계 기준 및 문헌 분석, 최적화 문제 구성을 통해 설계 영향인자 분석
- 경제성 개략 평가를 통해 타워형식(단주식, 다주식) 및 재료별 적용 타당성을 분석하였고, 100 m ~ 150 m 급에서 단주식 SC80 타워 강재타워 대비 경제성 확인

② 다양한 현장조건 대응을 위한 풍력타워 최적화 기술

- 동일 터빈이 현장 조건에 따라 다양한 높이에서 적용되도록 프리캐스트 풍력타워의 초기 형상 결정을 최적화 문제 구성
- 터빈은 NREL에서 제공하는 5 MW로 가정, 최적화 문제는 전체 구조계의 진동수 및 허용응력을 만족시키면서 재료비를 최소화하는 초기 형상 결정으로 구성



[설계 절차]

③ 높이별(100 m, 130 m, 150 m) 설계 초기치 결정

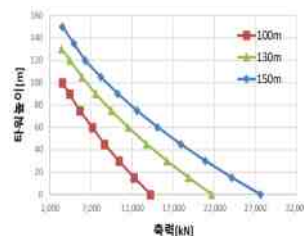
- SC80의 경제성이 확보되는 높이 100m 이상인 타워 3종(100 m, 130 m, 150 m)의 설계 초기 형상
- 타워 상단부 직경은 NREL 터빈을 기준으로 3.87 m로 고정, 하단부 직경은 6.06 m(100 m 타워), 8.66 m(130 m 타워), 10.53 m(150 m 타워)로 결정됨. 두께는 타워 높이와 관계없이 0.28 m로 동일하게 적용 가능

④ 풍력타워 설계용 하중 도출

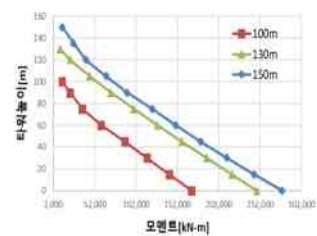
- GH-Bladed를 이용하여 IEC 61400-1에 근거한 통합하중해석을 실시하고 설계용 극한하중과 피로하중 산정



(a) 해석결과 위치



(b) 높이별 축력



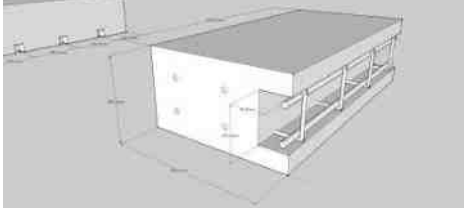
(c) 높이별 모멘트

[통합하중해석을 통한 설계하중 도출]

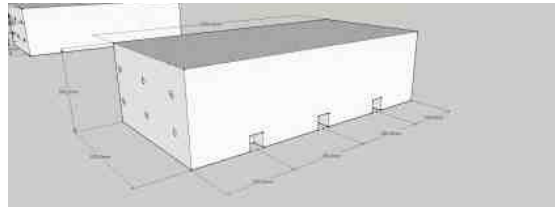
(나) 연결부 상세 도출

① 세그먼트 수직이음부 단면력 검토

- 프리캐스트 콘크리트 타워에 불가역적인 연결부의 성능 확보를 위하여 세그먼트 수직이음부에 대한 다양한 연결방법을 고려한 설계 검토 수행

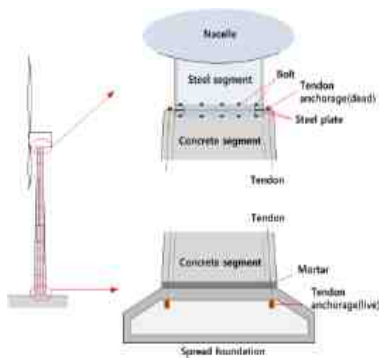


[UHPC 연결 개요도]

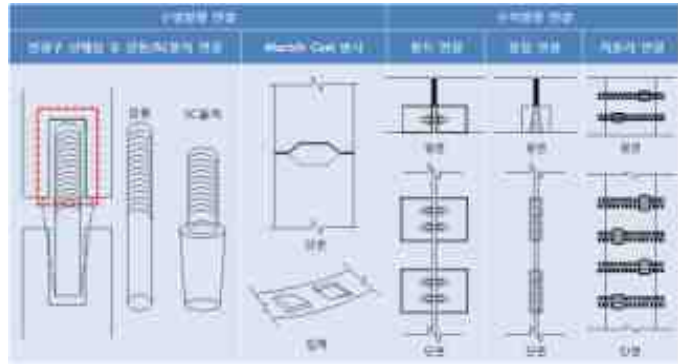


[볼트 연결 개요도]

② 세그먼트 수평이음부 상세 도출



[나셀-타워, 타워-기초 연결부]



[세그먼트간 연결부]

③ 이음부 성능평가

㉠ 수직이음부 전단거동 실험

- 프리캐스트 풍력타워의 수직이음 연결부 형식을 6가지로 선정, 형식별 성능평가
- 성능평가 결과 UHPC와 철근 조합 실험체가 시공성과 성능 면에서 가장 우수

㉡ 다주식 충전 PHC기둥 성능평가

- 다주식 풍력타워 제작시 경제성 확보 예상
- 일체형 충전 PHC 기둥과 긴장력을 다르게 도입한 2개의 UHPC 이음 실험체에 대한 휨실험 수행 결과, 연결부 없는 일체형의 성능이 가장 우수

㉢ 풍력타워와 기초판(footing) 연결부 성능 평가

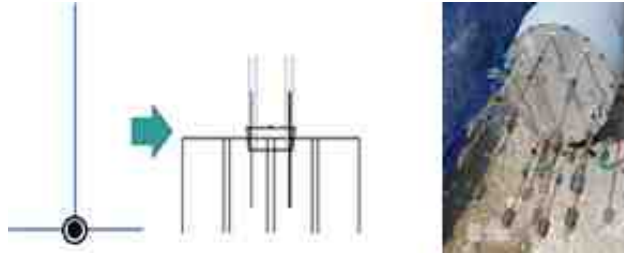
- PHC기둥 활용 실험체 3개(강결조건 실험체 1개, 부분힌지 조건 실험체 2개) 제작
- 부분힌지(PC강봉)가 다주식 풍력타워의 기초판 연결부에 유리



[수직이음부 평가]



[다주식 기둥 휨성능 평가]

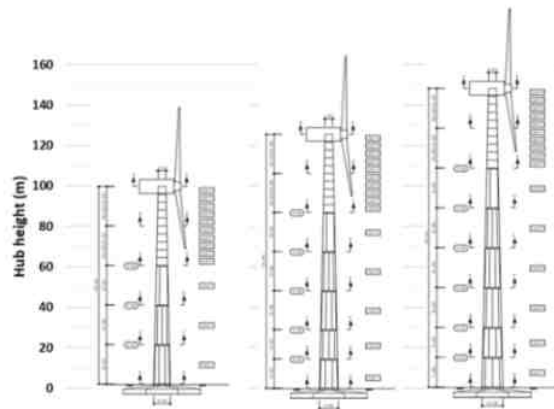


[기초판 연결부 평가 실험체]

(다) 최종 상세설계(안) 작성 및 경제성 평가

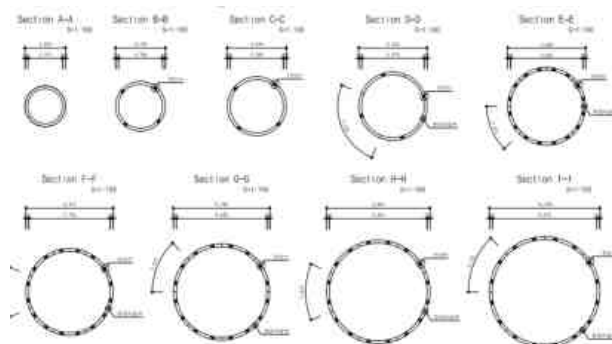
① 최종 구조검토 및 도면 작성

- 100 m, 130 m 타워는 기본설계, 150 m 타워는 상세설계 수행 및 도면 제시
- 기본설계 대상인 100 m, 130 m 타워에 대해서는 단면력이 가장 크게 발생하는 탑기부와 세그먼트간 연결부, 터빈과 연결되는 탑정부에 대하여 구조검토를 수행하였으며, 그 결과 사용한계상태와 극한한계상태에서 구조 안전성 만족 확인

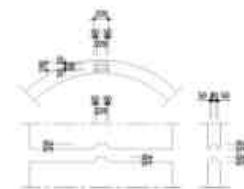


[프리캐스트 풍력타워 높이별 형상]

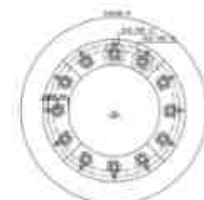
- 150 m 타워에 대해서는 피로검토, 개구부, 정착부 검토 등을 포함한 상세설계를 수행하고 도면을 제시함. 그 결과 150 m SC 풍력타워는 연구목표인 50년 내구수명 확보 확인



(a) 일반도



(b) 전단기 설계



(c) 강연선 정착구 설계

[150m 타워 상세설계 도면]

② 경제성 평가

- 기존 강재타워 대비 프리캐스트 콘크리트 풍력타워의 총 공사비 측면에서 경제성 분석
- 전체적인 시공 프로세스를 시공 상세도 작성을 통해 세부 공정으로 본체 제작, 세그먼트 운송, 풍력타워 시공, 기타 부대공으로 상세 공정 구분
- 평가 결과, 프리캐스트 콘크리트 타워는 강재 타워 대비 높이 100 m 에서는 91.3%, 높이 150 m 에서는 80% 수준으로 목표 수준(강재 대비 20% 절감)을 만족

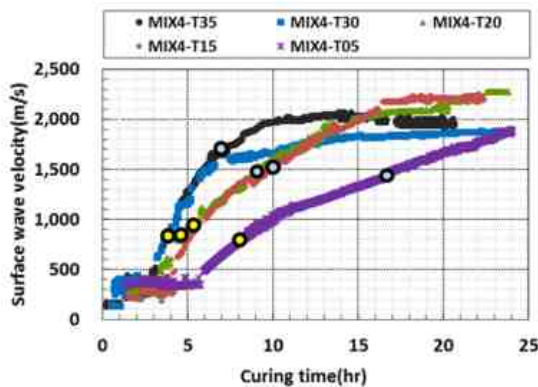


[경제성 분석 결과]

(라) 제작성능, 역학성능, 현장적용성 평가

① 프리캐스트 반복 급속 제작 검토를 위한 거푸집 내 SC80 초기강도 발현 평가

- 타설 후 24시간 동안 양생온도 별로 압축강도 및 관입저항강도 측정
- 거푸집 내에 타설된 SC80 콘크리트의 지속적인 강도 추정을 위해 표면과 속도를 함께 측정하고, 압축강도, 관입저항강도와의 상관관계 분석
- 실험 결과, 경화 정도에 따라 표면과 속도 증가를 확인하였으며 양생온도 15℃ 이상에서는 탈형강도(8 MPa) 도달까지 20시간 미만 소요



[경화에 따른 전파속도 증가]

[경화속도 도달시간 비교]

양생 온도	도달시간(hr)		
	초결	종결	압축강도 (8 MPa)
35℃	3.6	6.9	9.5
30℃	4.0	7.2	10.7
20℃	5.4	9.0	16.3
15℃	4.8	10.1	19.7
5℃	8.1	16.7	24시간 이상

② 부분실험체 제작을 통한 제작/역학성능/현장적용성 평가

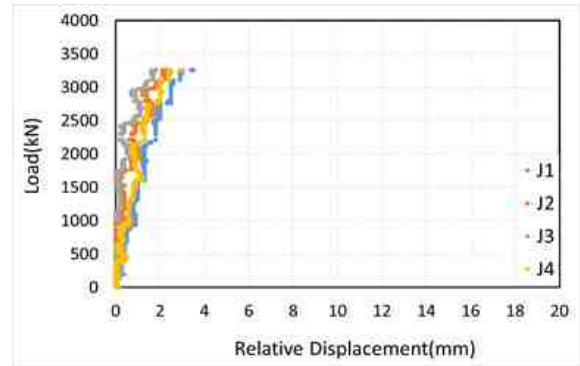
- 150 m 풍력타워의 나셀 하단 연결부 대상으로 부분 실험체를 제작하여 조립성 및 수직방향 이음부 전단성능 확인



[조립성 평가]



[UHPC 이음부 평가]



[UHPC 이음부 평가에 따른 하중-상대변위]

(2) 프리캐스트 풍력타워 시공 시스템 개발

(가) 150 m 풍력타워의 시공계획 도면 작성

- 육상운반 조건을 고려한 세그먼트 분할 및 직경이 큰 하단부는 원주방향으로 분할하여 운반한 후 현장에서 조립, 설치하는 것으로 계획

(나) 세그먼트 분할 및 운송을 위한 세그먼트의 분할 크기와 중량 결정

- 세그먼트를 운반하기 위한 장비를 최소 13.7 m, 최대 49.1 m의 트레일러로 선정하였고, 국내 도로법상 세그먼트의 무게가 총중량 제한을 초과하는 상태이기 때문에 실제 설치 시에는 관계처와 협의 필요

(다) 현장 조립 및 설치를 위한 시공 프로세스 검토

㉠ 부지 조성

- 풍력타워가 설치되는 위치에 기초 부지를 조성하고 바로 옆에 조립장을 배치하여 크레인의 작업범위를 최소화

㉡ 기초 가설

- 기초 터파기 후, 버림콘크리트를 타설하여 기초 설치면을 고르게 다지고 거푸집 설치 및 철근망을 조립하여 구체 콘크리트 타설 및 양생

㉢ 세그먼트 운반 후 적치

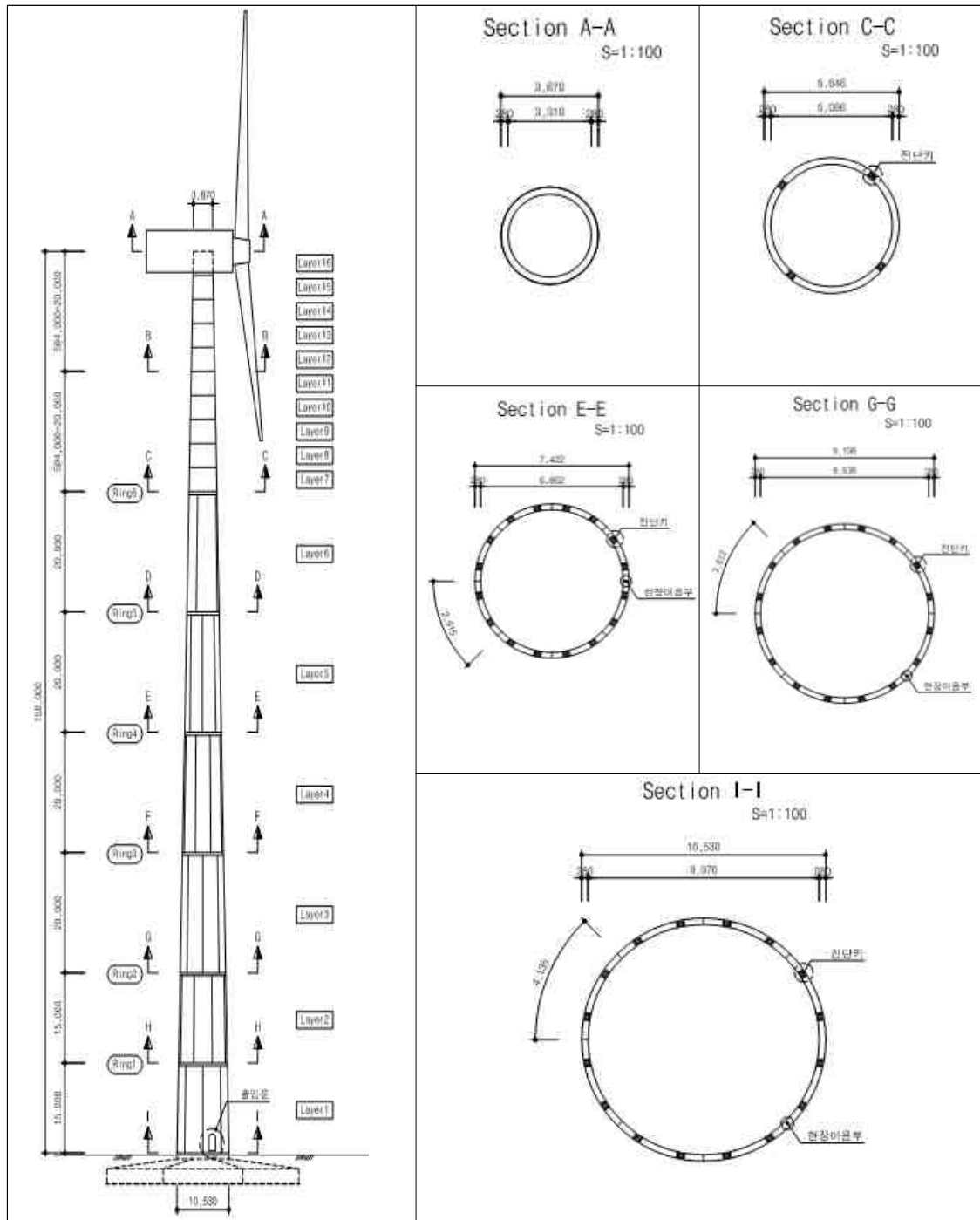
- (나)에서 검토한 트레일러로 운반된 세그먼트를 100톤 크레인을 이용하여 세그먼트 적치장에 적치

㉣ 세그먼트 조립

- 세그먼트 거치대 중심부에 강재 기둥을 설치하고 해당 세그먼트 거치대 설치
- 세그먼트의 반경에 맞도록 세그먼트 거치대의 내민 길이를 조정한 후 세그먼트 조립
- 작업대 및 인양 프레임을 세그먼트 상단부에 설치하고 1,250 톤 크레인을 이용하여 직상으로 인양해 기초 위에 설치

㉤ 3번째 Layer를 설치한 후 하단 강연선을 긴장

- 세그먼트 거치대에서 조립한 후 1,250 톤 크레인으로 인양해 타워 상단에 설치하고 3번째 Layer까지 구성한 뒤에 강연선을 설치 후 긴장



[150 m 세그먼트 분할도]

[세그먼트 분할정보]

타워 높이 (m)	Seg 갯수 (EA)	Seg 높이 (m)	Seg 두께 (m)	상단외경 (m)	하단외경 (m)	단위중량 (tf/m^3)	무게 (tf)
150	8	15	0.28	9.864	10.530	2.7	44.2
		20	0.28	8.310	9.198		50.3
130		15	0.28	8.976	9.642		40.2
		20	0.28	7.422	8.310		45.0
100		20	0.28	7.422	8.310		45.0

- ㉞ 4~6번째 Layer를 설치한 후 중간 강연선을 긴장
 - ㉞항과 동일하게 세그먼트 거치대에서 조립한 후에 1,250 톤 크레인으로 인양하여 타워 상단에 설치하고 6번째 Layer까지 설치한 후 강연선 설치 및 긴장
- ㉟ 7~16번째 Layer를 설치한 후 상단 강연선을 긴장
 - ㉞, ㉞항과 동일하게 세그먼트 거치대에서 조립한 후에 1,250 톤 크레인으로 인양하여 타워 상단에 설치하고 16번째 Layer까지 설치 후 강연선 설치 및 긴장
- ㊱ 터빈과 블레이드를 설치
 - 터빈부와 블레이드를 인양하고 터빈에 연결해 풍력타워 완성

(라) 강재타워 대비 SC80 콘크리트 풍력타워의 경제성 분석

- ① 100 m 강재타워대비 SC80 콘크리트 타워의 경제성 분석
 - ㉠ 전체적인 시공 프로세스를 시공 상세도 작성을 통해 상세 분석하였고 제작, 세그먼트의 운송, 풍력타워 시공, 기타 부대공으로 나누어 경제성 분석을 수행함
 - ㉡ 강재타워 본체 제작은 필요한 두께의 강판 구입, 가공비, 운송에는 Module Trailer 및 Blade Adaptor의 비용을 고려하여 산정함
 - ㉢ 강재타워의 시공은 기초 타설, 전기시설 Plant 설치, 강재타워 설치, 나셀의 조립 및 설치, Rotor 및 Blade의 설치, Cable 연결 및 마무리 작업으로 고려함
 - ㉣ 부대공의 경우, 부지조성을 위해 필요한 부지를 조성하는 것으로 검토하였음

강재타워		수량	단가(천원)	금액(천원)
제작	자재	417 Ton	800	333,600
	가공		950	396,150
소 계				729,750
운송	Module Trailer Blade adaptor 외	1기	289,000	289,000
소 계				289,000
시공	기초 타설	1 식	80,000	80,000
	Plant 설치		6,500	6,500
	Tower 설치		38,000	38,000
	나셀 조립		1,500	1,500
	나셀 설치		50,000	50,000
	Rotor, blade설치		55,000	55,000
	Cable 연결 및 마무리		3,500	3,500
소 계				234,500
부대공	부지조성	11,500 m ²	10	115,000
소 계				115,000
총 합				1,368,250

- ㉞ SC80 콘크리트타워 본체 제작은 SC80 프리캐스트 세그먼트 제작 및 수평연결을 위한 SC180으로 제작된 링 세그먼트, 그리고 기타 철근 및 강재로 이루어졌으며, 운송에는 3차년도 연구 성과에 고려된 Hydro Crane외에 Module Trailer 및 Blade Adaptor의 비용을 고려하여 산정함

㉞ SC80 콘크리트타워의 시공은 기초 타설, 전기시설 Plant 설치, Tower설치를 위한
 결속 강봉 및 작업대 설치, 수직방향의 PSC 설치, 나셀의 조립 및 설치, Rotor 및
 Blade의 설치, Cable 연결 및 마무리 작업으로 고려함

㉟ 부대공의 경우, 부지 조성을 위해 필요한 부지를 조성하는 것과 프리캐스트 풍력
 타워의 시공 가설 편의를 위한 가시설 제작으로 검토하였음

SC80 콘크리트타워		수량	단가(천원)	금액(천원)
본체제작	SC80	417.9㎥	267	111,600
링세그먼트	SC180	10.22 ㎥	1,470	15,000
철근및강재	-	40.8 Ton	880	35,900
소 계				162,500
운송	HydroCrane 외	1기	246,700	246,700
소 계				246,700
시공	기초 타설	1 식	80,000	80,000
	Plant 설치		6,500	6,500
	결속 강봉 및 작업대 설치		54,600	54,600
	PSC 설치		261,840	261,840
	나셀 조립		1,500	1,500
	나셀 설치		50,000	50,000
	Rotor, blade 설치		55,000	55,000
	Cable 연결 및 마무리		3,500	3,500
소 계				512,940
부대공	부지조성	11,500 ㎥	10	115,000
	가시설제작	1 식	200,000	200,000
소 계				315,000
총 합				1,237,140

② 150 m 강재타워대비 SC80 콘크리트 타워의 경제성 분석

㉠ 150 m 강재타워 대비 SC80 프리캐스트 풍력타워의 경제성 분석을 상기 100 m 강
 재타워 대비 SC80 콘크리트 타워의 경제성 분석과 동일하게 진행함

강재타워		수량	단가(천원)	금액(천원)
제작	자재	742 Ton	800	593,600
	가공		950	704,900
소 계				1,298,500
운송	Module Trailer Blade adaptor 외	1기	433,500	433,500
소 계				433,500
시공	기초 타설	1 식	80,000	80,000
	Plant 설치		6,500	6,500
	Tower 설치		57,500	57,500
	나셀 조립		1,500	1,500
	나셀 설치		50,000	50,000

	Rotor, blade설치		55,000	55,000
	Cable 연결 및 마무리		4,000	4,000
소 계				254,500
부대공	부지조성	11,500 m ³	10	115,000
소 계				115,000
총 합				2,101,500

- ㉠ 운송에는 약 1.5배의 시간이 소요될 것으로 고려되어 그에 해당하는 만큼의 비용이 더 필요할 것으로 보이며, 시공부분에서 전기 부대시설을 위한 Plant와 Cable연결 등의 작업은 동일하나, 타워 설치를 위해 필요한 작업도 약 1.5배의 시공비용이 필요할 것으로 검토되었음

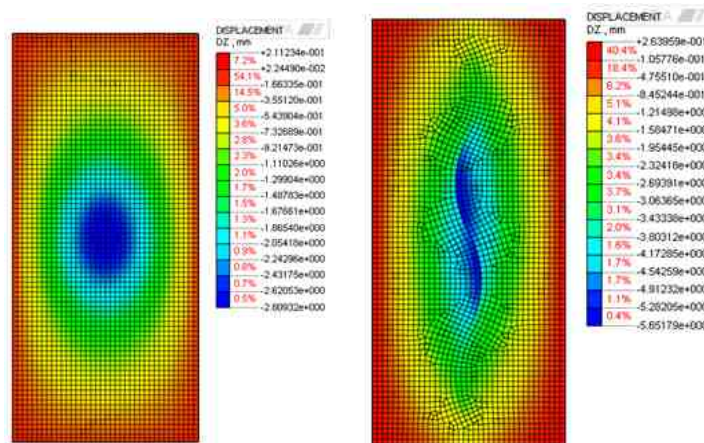
SC80 콘크리트타워		수량	단가(천원)	금액(천원)
본체제작	SC80	913.1m³	267	243,800
링세그먼트	SC180	21.89 m³	1,470	32,200
철근및강재	-	40.8 Ton	880	35,900
소 계				311,900
운송	HydroCrane 외	1기	246,700	246,700
소 계				246,700
시공	기초 타설	1 식	80,000	80,000
	Plant 설치		6,500	6,500
	결속 강봉 및 작업대 설치		81,900	81,900
	PSC 설치		361,800	361,800
	나셀 조립		1,500	1,500
	나셀 설치		50,000	50,000
	Rotor, blade설치		55,000	55,000
	Cable 연결 및 마무리		4,000	4,000
소 계				640,700
부대공	부지조성	11,500 m³	10	115,000
	가시설 제작	1 식	450,000	450,000
소 계				515,000
총 합				1,714,300

마. SC활용 부유식 구조 시스템 개발

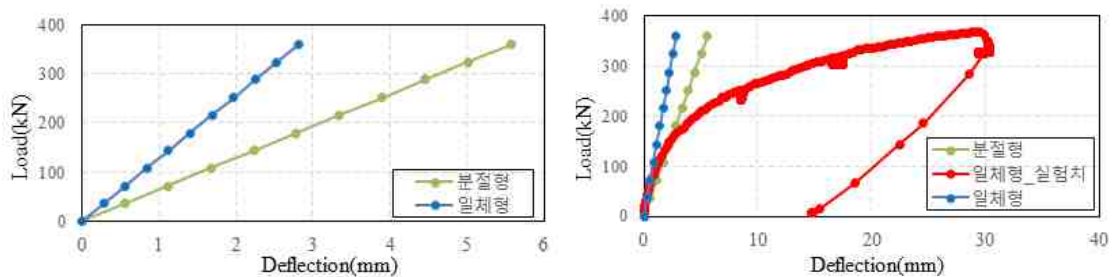
(1) SC활용 부잔교 시스템 개발

(가) 설계 제안의 구조거동 분석을 위한 상세 해석

- 각 해석모델의 상부바닥판에 발생하는 수직처짐 검토
- 최대하중(360 kN)에서 일체형 2.8 mm, 분절형 5.7 mm 처짐 발생
- 분절형의 경우 상부바닥판 하부에 도입되는 긴장력이 고려되지 않아 처짐값의 차이가 발생한 것으로 파악됨
- 일체형의 경우 실험값과 비교할 때 선형/탄성 구간에서는 유사한 구조성능을 보임



[해석결과 형상(일체형:-2.8 mm, 분절형-5.7 mm)]



[해석결과 처짐값 비교]

(나) SC 활용 부잔교 실용화를 위한 대형화 모형실험

① 실험체 제작과정

- 일체형 실험체와 분절형 실험체의 제작과정은 동일
- 하부바닥판 제작 후 벽체와 상부바닥판 제작하는 순으로 진행



[부잔교 실험체 제작 과정]

② 구조 실험

- 실험체 거치 및 센서 설치
- 하중은 2 mm/min로 가력



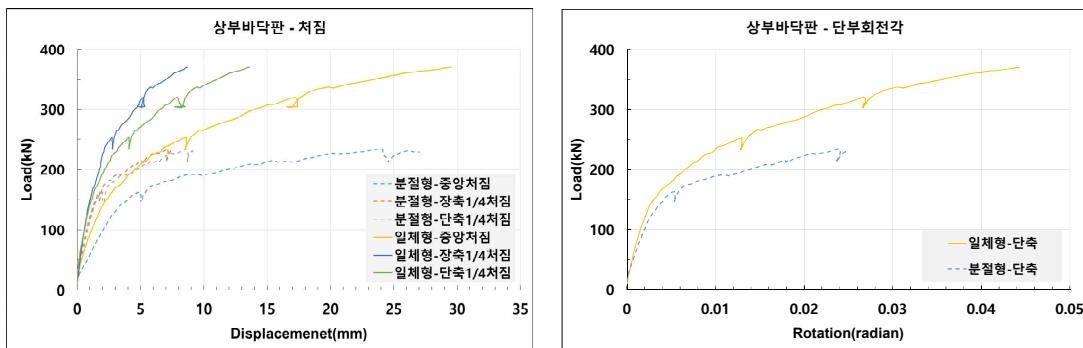
[실험 전경]

③ 실험 결과

- 상부바닥판 내하성능 비교결과 분절형이 상대적으로 낮은 성능을 보임. 분절형이 일체형과 비슷한 성능을 확보하기 위해서는 연결부의 보강이 필요함
- 단부 회전각은 일체형과 분절형에서 비슷한 경향을 보임
- 실험체가 1방향 슬래브이므로 단부 회전각은 단축방향이 높게 평가된 것임



[실험체 균열 형상]



[실험결과 처짐 및 단부회전각]

(2) SC활용 부잔교 최적 설계

(가) 안전성과 경제성을 확보한 부잔교 사양 선정

① 목적

- SC를 활용하여 기존 부잔교에 비해 건설·유지관리 비용을 10% 절감 및 내구수명을 50% 향상시키는 부잔교 개발

② 부잔교 사양 비교

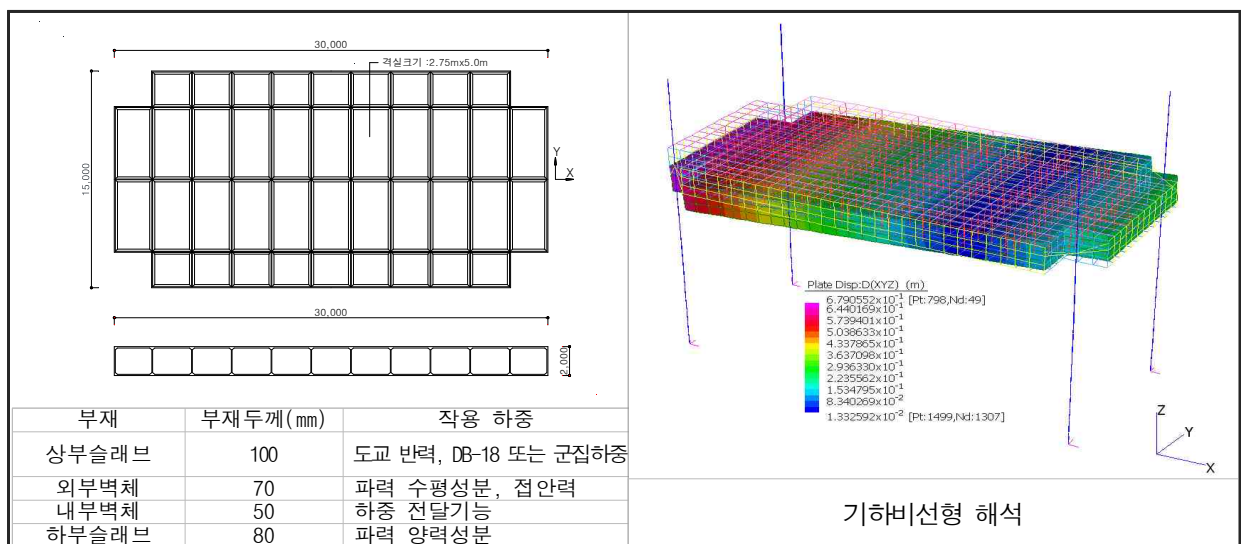
- 강재에 비해 부식에 강한 SC100을 활용한 부잔교는 내구성이 우수하고, 일반 강도 콘크리트에 비해 상부 및 하부 슬래브, 벽체 두께가 작아 건현 확보가 유리하고, 활하중에 대한 요동이 작아 사용성 또한 우수한 것으로 분석
- 건현이란 홀수선 위에 떠있는 높이를 말하며, 부잔교의 특성상 건현확보는 중량과 부력의 평형관계에서 산출되는데 중량이 작을수록 건현 확보가 유리

- 상부 및 하부 슬래브, 벽체 두께가 작을수록 유리하므로 SC 활용이 최적
- 시공성 확보를 위해 강섬유 없이 골재치수 10 mm 사용하여 현장배합이 가능한 SC100을 최적강도로 선정

구 분	단위	RC 부잔교	HPC, VHPC, UHPC 부잔교						
		35	80	100	120	150	180	150	180
크기 (B x L) 높이 (H) 제작방법	m	15x30 2.5	15x30 2.0	15x30 2.0	15x30 2.0	15x30 1.8	15x30 1.7	15x30 1.8	15x30 1.7
fck	MPa	35	80	100	120	150	180	150	180
최대골재치수	mm	19	10	10	5,강섬유	5,강섬유	5,강섬유	5,강섬유	5, 강섬유
콘크리트 단위 중량	kN/m ³	24.53	25.0	25.0	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5
상부 슬래브 보강부	mm	250						100	100
상부 슬래브 일반부	mm	100	135	100	95	85	80	60	60
하부 슬래브	mm	100	100	80	75	70	70	70	70
외부 벽체	mm	100	80	75	70	60	60	60	60
내부 벽체	mm	100	70	50	50	50	50	50	50
자중	kN	4759	3812	3042	2966	2583	2548	3758	3652
정적 안정검토 만재시 건현 / 홀수선	m	0.99	0.69	0.86	0.88	0.76	0.67	0.51	0.43
		1.51	1.31	1.14	1.12	1.04	1.03	1.29	1.27
정적 안정검토 경하시 건현 / 홀수선	m	1.45	1.15	1.32	1.33	1.22	1.12	0.96	0.89
		1.05	0.85	0.68	0.67	0.58	0.58	0.84	0.81
경제성 (강재 부잔교 100% 대비)	%	86.7%	83.6%	82.5%	86.9%	117.2%	120.1%	119.5%	151.2%

③ SC100 부잔교 제원 및 해석결과

- 부잔교의 주요제원은 BxLxH=15x30x2.0 [m], 격실 BxL=5.0x2.5 [m]
- 계류시설은 강관 ϕ 1,016 mm로 하여 수평 요동을 줄임
- 설계파랑은 50년 빈도 유의파고 $H_{1/3} = 0.6$ m, 주기 $T_{1/3} = 3.6$ sec (인천지역)로 선정



[UHPC 일체식 부잔교 개요도 및 해석결과]

(나) 콘크리트 부잔교 연결부 주요 재료

① 연결구조 선정

- 상하 요동이 작고, 단차 발생이 작은 고정식(강결식)이 우수하므로 선정

② 대규모 부잔교의 연결부 주요 재료

- 힌지방식이나 탄성연결방식에 비해 내요동성이 우수한 일체식으로 선정
- 연결부는 내부식성이 우수한 GFRP 보강근, CFRP 긴장재 사용

구분	내 용
GFRP 보강근 (10mm)	• 해상조건에서 내부식성이 우수한 GFRP 철근 사용 • 이음방법 : 해상 가설시 동요에 대한 저항을 위해 기계적 이음(커플러) 사용 • GFRP 철근의 문힘길이는 철근의 항복하중에 대해 철근이 뽑히지 않는 문힘길이 확보
CFRP 긴장재 (9.6mm)	• 2개의 부잔교의 수밀성 확보를 위한 밀착을 위해 긴장재를 사용 (하중저항 긴장재가 아님) • 해상조건에서 내부식성이 우수한 CFRP 긴장재 사용 • 긴장 공간확보를 위해 곡선형 긴장재 적용

[연결부 주요 재료]

(3) SC활용 부잔교 설계지침(안)

- 콘크리트 부잔교의 비교

구분	RC 부잔교	UHPC 부잔교
평면도		
제원	15 x 30 x 2.5m	15 x 30 x 2.0m
콘크리트 강도	35MPa	80~180MPa
특 징	• 해양구조물에 일반콘크리트 적용: 내구성 저하 • 중량물로 건설했을 경우 • 경제성 보통	• 해양구조물에 UHPC 적용 : 내구성 중대 • RC 부잔교에 비해 경량으로 건설했을 경우 • 경제성 향상

- SC 최적강도 도출 및 경제성 검토

구분	강재	일반, 35 MPa	80 MPa	100 MPa	120 MPa	150 MPa	180 MPa
강재제작, 설치							
콘크리트공	576	52	86	88	116	309	337
거푸집공		231	180	184	185	176	172
철근공		65	63	50	49	48	41
가설공		145	145	145	145	145	145
계	576	494 (85.8%)	475 (82.5%)	468 (81.3%)	495 (86.0%)	678 (117.7%)	695 (120.8%)

검토결과 • UHPC-100MPa는 일반콘크리트에 비해 견련확보가 유리하면서도 강재대비 공사비 19% 절감이 가능하므로 최적강도임

- 주요 하중

구분	하중	영향 부재
고정하중 (D)	구조물자중, 도교하중 (120kN)	상부슬래브
활하중 (L)	균중하중(5kN/m ²), DB-18 중 큰 값	상부슬래브
파력 (F)	정수압, 파압, 양력	하부슬래브, 외부벽체 내부벽체 (정수압)
풍하중 (W)	3kN/m ² (풍하중은 견련이 작으므로 큰 영향이 없음)	외부 벽체
접안력 (Pco)	적재중량 1000 ton 선박 접안에너지 고려	외부 벽체

• 상부슬래브는 활하중이 주요하중이며, 하부슬래브는 파력과 양력이 주요하중임

- 파력 (1)

고다(合田) 제안 식 (p126)	폰툰형 선박 (p151) 및 부잔교 (p1301)
• 직립제 및 고정식 구조물의 설계 파압에 적합 • 전, 후면 변동파압 미고려	• 전, 후면 측벽의 파압을 파고의 50~60%로 산정 • 하부슬래브의 양력 미고려
• 부잔교의 전, 후면면 변동 파압과 하부슬래브 양력을 동시 고려하는 파압 적용 필요	

- 파력 (2)

□ 적용 파압 및 양력 분포도

Y방향 (단변방향)	
X방향 (장변방향)	
• 부잔교 측면의 파압과 하부슬래브의 파압의 양력성분을 Y방향 및 X방향으로 재하	

한국건설기술연구원

[해설]

이 지침은 고성능 재료인 SC를 활용하여 프러세스트 방식으로 제작되어 현장에서 설치·설계·검열을 위한 부재료에 대한 설계자료집으로서 소통을 위한 지침서와 대응을 위한 현장조사 분석서 부분으로 구성된다. 부분료의 부재에 대한 설계 및 시공법을 대상으로 하고 기타 시설의 팔거양에 대해서는 별도의 설계기준(한반 및 외형설계기준 등)에 따른다.

1

구분	단위	BIC		BIC: 50% BIC: 10% 기준					
		80	100	80	100	150	200	250	300
100% (n = 1)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 2)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 3)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 4)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 5)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 6)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 7)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 8)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 9)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 10)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 11)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 12)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 13)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 14)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 15)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 16)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 17)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 18)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 19)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 20)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 21)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 22)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 23)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 24)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 25)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 26)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 27)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 28)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 29)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 30)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 31)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 32)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 33)	회	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93	15.93
100% (n = 34)	회	15.93	15.93	15.9					

① SC 활용 부잔교 설계/인증시 주요 검토 항목 도출

구분	항목	비고
1. 설계조건	환경조건	해저조건, 해상조건, 기상조건의 적정성
	구조조건	부체 규모의 적정성
2. 재료	재료상수	UHPC, 철근, PS 강선의 규격 및 재료상수의 설계 적용 일치성
3. 부식방식	최소 피복두께	콘크리트 최소 피복
	콘크리트 방식(필요시)	표면도장, 함침도장, 모르타르피복, 영구거푸집
	보강 강재의 방식(필요시)	피복방식, 전기 부식 방지, 내염성 철근
4. 부체 설계	부체에 작용하는 외력	자장, 상재하중, 수압/파력, 선박의 충격력, 연락교/도교 지점반력, 계류장치 반력
	부체의 안정	만재 시의 안정 및 필요 건현, 침수 시의 안정 및 최소 건현, 편재 시의 경사 및 최소 건현
	부체의 전체 강도	제작/설치 시, 예하 시, 파랑 적용 시 종방향 휨
	부체의 각부의 강도	적용 하중에 대한 상부슬래브, 측벽, 저판, 격벽 및 받침보와 지주의 발생 응력
5. 계류부 설계	계류 외력	선박의 접안력, 파력, 풍하중, 흐름에 의한 표류력
	계류체인 설계	최대 견인력, 계류체인 제원
	앵커 설계	앵커 체원, 수평지지력, 편심하중 지지력(deadweight 앵커), 앵커 정착(deadweight 앵커), 주변저항마찰력(pile 앵커), 최대 휨 모멘트(pile 앵커)

② 도출된 주요 검토 항목을 바탕으로 SC 활용 부잔교 설계/인증 체크리스트 제시

영문발행증
 (영문 Certificate of Issuance)


 Page 1 of 1

주 소	발행처	
발행일자		
발행처명		주 소
1. 영문발행증은 영문발행처에서 발행한 영문발행증에 대한 영문발행증 2. 영문발행증은 영문발행처에서 발행한 영문발행증에 대한 영문발행증 3. 영문발행증은 영문발행처에서 발행한 영문발행증에 대한 영문발행증		
영문발행증		
영문발행처명	영문발행처주 소	영문발행처주 소
1. 영문발행증은 영문발행처에서 발행한 영문발행증에 대한 영문발행증 2. 영문발행증은 영문발행처에서 발행한 영문발행증에 대한 영문발행증 3. 영문발행증은 영문발행처에서 발행한 영문발행증에 대한 영문발행증		

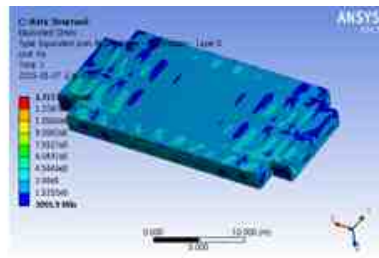
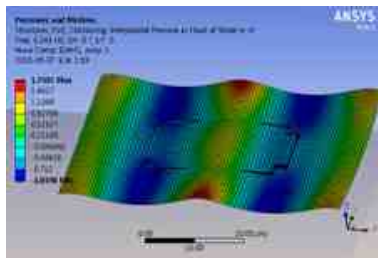
[illegible][illegible][illegible]

③ 부잔교 해양외력 산정 기준 분석

- 1차년도에 분석한 부유식 해양구조물 관련 기준/가이드라인 중 실질적인 부잔교 설계를 다루는 ‘항만 및 어항 설계기준(2005)’ 과 ‘부체식 계선안 설계 및 시공 매뉴얼(안) (2000), 일본 어항신기술개발연구회’ 에서 각각 제시하고 있는 부잔교 해양외력 산정 기준 비교·분석

(나) 부잔교 해석

- AQWA를 이용한 부잔교 거동 해석
- CFD 운동해석 결과와 비교 분석



- 이동식 해양구조물 규칙(KR), 부체식 계선안 설계 및 시공 매뉴얼(일본), 항만 및 어항설계 기준비교 분석

제1장 총칙	제4장 폰톤의 설계
1.1 목적	4.1 폰톤 제원 가정
1.2 적용범위	4.2 폰톤에 작용하는 외력
1.3 적용기준	4.2.1 상재하중
제2장 설계일반	4.2.2 수압 및 파력
2.1 정의	4.2.3 선박의 충격력
2.2 설계절차	4.2.4 연결도교 지점반력
2.3 설계조건	4.2.5 계류장치 반력
2.4 부잔교 배치 및 구성	4.2.6 카운터 웨이트(counter weight)
2.4.1 부잔교 배치	4.4 전체구조 강도 검토
2.4.2 부잔교 구성	4.5 국부구조 강도 검토
제3장 재료	4.6 폰톤의 건형, 안정성 검토
3.1 재료의 규격	4.6.1 건형 검토
3.2 설계 적용 재료상수	4.6.2 안정성 검토
3.3 허용응력도	제5장 계류시스템 설계
	5.1 계류시스템에 작용하는 외력
	5.2 계류체인인의 설계
	5.3 앵커의 설계
	제6장 연결도교의 설계

제1장 총칙	제4장 폰톤의 설계
1.1 목적	4.1 폰톤 제원 가정
1.2 적용범위	4.2 폰톤에 작용하는 외력
1.3 적용기준	4.2.1 상재하중
제2장 설계일반	4.2.2 수압 및 파력
2.1 정의	4.2.3 선박의 충격력
2.2 설계절차	4.2.4 연결도교 지점반력
2.3 설계조건	4.2.5 계류장치 반력
2.4 부잔교 배치 및 구성	4.2.6 카운터 웨이트(counter weight)
2.4.1 부잔교 배치	4.4 전체구조 강도 검토
2.4.2 부잔교 구성	4.5 국부구조 강도 검토
제3장 재료	4.6 폰톤의 건형, 안정성 검토
3.1 재료의 규격	4.6.1 건형 검토
3.2 설계 적용 재료상수	4.6.2 안정성 검토
3.3 허용응력도	제5장 계류시스템 설계
	5.1 계류시스템에 작용하는 외력
	5.2 계류체인인의 설계
	5.3 앵커의 설계
	제6장 연결도교의 설계

(다) SC 활용 부잔교 설계평가 수행

- 부잔교 설계/인증 가이드라인을 기반으로 SUPER Concrete 활용 부잔교 구조계산서에 대한 설계평가 수행

PROJECT SUPER Concrete 활용 부잔교 설계평가 CLIENT EDICM 제1장 총칙 1.1 목적 1.2 적용범위 1.3 적용기준 제2장 설계일반 2.1 정의 2.2 설계절차 2.3 설계조건 2.4 부잔교 배치 및 구성 2.4.1 부잔교 배치 2.4.2 부잔교 구성 제3장 재료 3.1 재료의 규격 3.2 설계 적용 재료상수 3.3 허용응력도	제4장 폰톤의 설계 4.1 폰톤 제원 가정 4.2 폰톤에 작용하는 외력 4.2.1 상재하중 4.2.2 수압 및 파력 4.2.3 선박의 충격력 4.2.4 연결도교 지점반력 4.2.5 계류장치 반력 4.2.6 카운터 웨이트(counter weight) 4.4 전체구조 강도 검토 4.5 국부구조 강도 검토 4.6 폰톤의 건형, 안정성 검토 4.6.1 건형 검토 4.6.2 안정성 검토 제5장 계류시스템 설계 5.1 계류시스템에 작용하는 외력 5.2 계류체인인의 설계 5.3 앵커의 설계 제6장 연결도교의 설계	제5장 계류시스템 설계 5.1 계류시스템에 작용하는 외력 5.2 계류체인인의 설계 5.3 앵커의 설계 제6장 연결도교의 설계	제6장 연결도교의 설계
---	---	--	---------------------

[설계평가 검토의견 (일부)]

바. SC활용 건축구조요소 시공기술 개발

(1) SC활용 고성능 패널 개발

(가) 건축용 초유동성의 SC개발 및 적용

① 서울대로고 박판 제작

- ㉠ 구조부재용 유동성 수준보다 한 단계 높은 슬럼프 플로 850 ± 50 mm (강섬유 2 vol% 혼입) 도출, 몰드의 표현상세를 SC로 고품질 표현



[스티로폼 몰드
제작완료]

[SC로 제작한 서울대로고
박판 패널]

[표면 광택 지속
(재령 28일 사진)]

② 건축외장용 백색 SC 개발

- ㉠ 백색재료 치환율에 따른 유동성저하가 기존 회색 SC 대비 없음,
- ㉡ KS F 2405 압축강도실험 및 KS L 679에 따른 휨강도실험 결과 압축강도는 기존 회색 SC 대비 3.2% 증가 (190 MPa), 휨강도는 3.5% 증가



[백색재료 치환]

[압축강도 및 휨강도실험]

③ SC의 색상연출기술 개발

- ㉠ 분체의 무기안료를 이용한 컬러콘크리트의 색상연출기술의 핵심은 분산성이며 소기의 고속믹싱과정을 통해 구현
- ㉡ 안료의 혼입으로 인한 유동성저하가 발생하지 않음
- ㉢ 안료의 혼입으로 인한 압축강도의 증감율이 5% 이내로서 모두 목표강도(200 MPa) 만족

④ 두께 6 mm의 SC 외장패널 제작

- ㉠ 패널 무게 약 25 kg으로 패널설치를 위한 작업성 향상
- ㉡ 탈형 후 패널과 몰드는 완벽히 이격되어 몰드의 재사용 가능
- ㉢ 깔끔한 표면품질을 나타내어 외장패널로서의 요건 충족

(나) 건축용 SC 패널의 현장적용

① 한국과학기술연구원(KIST) 50주년 기념물

- ㉠ 현장적용 프로젝트에 적용되는 핵심기술(SC를 활용한 타공형, 관통형 문자 및 형상 연출 공법) 대부분을 본 과제 1~2차년도에 개발



[두께 6 mm의 SC외장패널 제작]



[KIST 50주년 기념물]

[SNU 파빌리온]

② 서울대(SNU) 파빌리온

- ㉠ Grasshopper의 알고리즘 모델링을 이용하여 설계과정 자동화
- ㉡ 개별모듈을 위한 목재거푸집 설계과정 자동화 및 목재 CNC 가공
- ㉢ 초유동성을 활용한 SC180f급 배합 및 타설
- ㉣ 패널의 천공작업 및 볼트조립(2차년도 연구내용 활용)

(2) SC 활용 PSC 적용 부재 개발

(가) SC 활용 포스트텐션 접합부 성능평가 연구

- ① 비부착 강연선과 고강도 재료 적용 철근콘크리트 보-기둥 외부 접합부는 공칭전단강도 대비 높은 전단력(전단강도비: 1.5)에서도 층간변위 5%까지 내력의 저하 미미. ACI 374R.1-05에 기반하여 충분한 연성능력과 에너지 소산능력을 보임
- ② SC와 고강도 철근(SD600)은 기존의 내진기준에서 다루는 재료의 범위를 벗어나지만 우수한 내진성능을 보임. 특히 기존 ACI 352R-02 등의 내진상세를 만족시키기 위해서 고강도 철근의 사용은 중요
- ③ E-PT-H-2, -3은 비부착 강연선 긴장으로 인해 전단강도 대비 높은 전단력(전단강도비: 1.5)이 작용하였음에도 전단변형은 층간변위 약 4%까지 제어
- ④ 2~3%의 층간변위에서 위험단면의 주근 변형률은 항복 변형률에 도달, 확대머리 앞에서 측정된 변형률은 실험이 종료될 때까지 항복 변형률에 도달하지 않음. 이것으로 콘크리트와 확대머리철근 부착이 잘 이루어져서 일체거동 했다고 판단됨
- ⑤ 접합부내 횡보강근의 변형률도 3~5%의 층간변위에서 항복. 이는 고강도철근의 구속

효과도 적절했으며 기존 ACI352R-02 내진상세가 고강도강재에서도 유효함을 의미

- ⑥ 기존 ACI 318-11 식에 따라 구한 강연선의 공칭 모멘트 시 응력에 상응하는 힘 이상으로 작용되었으나 실험이 종료되기 전까지 복원력 발휘. 또한 비부착 강연선은 횡보강근과 더불어 콘크리트의 구속효과를 증대시켜 높은 층간변위에서도 접합부 건전성이 유지된 것으로 판단
- ⑦ 접합부는 상부면과 뒷면에서 상당한 콘크리트 팽창 발생, 상부면에서 보다 그 정도가 컸음. 부방향 가력일 때 보 주근에 인장력이 작용하고 이 때 주근이 상부면 방향으로 피복을 밀어내려는 현상이 발생하는데, 그럼에도 접합부에 보강한 U-bar 등이 항복하지 않았으므로 보 주근을 충분히 구속하고 있다고 사료됨
- ⑧ 강섬유를 부피비 1.0% 혼입함으로써 최상층 접합부에서 횡보강근 간격을 최대 1.5배까지 증가시킬 수 있음을 확인. 또한 정방향 휨모멘트가 약 10% 증가, 동시에 전단변형 구속



(a) E-PT-H-1



(b) E-PT-H-2



(c) E-PT-H-3



(d) K-RC-H



(e) K-HPFRC-H



(f) Re-bar failure of K-RC-H

[SUPER Concrete를 적용한 지붕층/외부 접합부 실험 후 사진]

(나) SC 적용 콘크리트 패널의 내충격성능 평가 연구

- ① 10mm 두께 SC180f와 백색SC180f 패널에서 모두 관통파괴 발생. 10mm 두께의 화강석 패널은 일반적으로 생산 및 사용되지 않으므로 평가대상에서 제외
- ② 패널두께 20mm의 화강석 패널은 충돌 시 관통파괴 후 취성적 파괴, 다수의 조각으로 쪼개짐. 그러나 SC180f와 백색SC180f 패널의 경우 관통 파괴되지 않고 충돌 전면으로 약 4mm 정도 관입, 배면파괴 발생
- ③ 패널두께 30mm에서 화강석 패널의 경우 고속비상체가 관통하지는 않았으나 충돌로 인해 취성적 파괴, 다수의 조각으로 쪼개짐. SC180f와 백색SC180f 패널은 전면에 약 4~5mm 관입 발생, 배면에는 균열 발견
- ④ 두께에 따른 충돌 후(시험체 총 질량 대비) 질량손실률은 패널의 두께 증가에 따라 질량손실률 감소. 10mm 두께의 패널은 모두 관통파괴가 발생하여 질량손실이 컸으며 두께 20mm에서는 전면 관입보다는 배면파괴로 인해 질량손실이 비교적 크게 발생. 두께 30mm의 경우 배면에 균열만 발생하여 충돌로 인한 질량손실이 적었음
- ⑤ SC 패널과 화강석 패널을 비교해보면 20mm 두께의 SC180f와 백색SC180f 패널이 이보다 두꺼운 30mm 두께의 화강석 패널에 비해 내충격성능이 우수한 것으로 나타

남. 따라서 견고한 외장재로 알려진 화강석 패널에 비해 SC 활용 패널의 내충격 성능이 뛰어나

- ⑥ 배면 중심의 변형률은 압축구간, 과도기 그리고 인장구간으로 구분 가능
- ⑦ 압축구간은 비상체 첫 충돌 시 시험체 내부에 압축응력파가 배면에 도달하면서 생기는 구간, 그 후 자유단의 중심으로 반사파 발생, 반사파는 인장력이 되어서 비상체에 의한 압축파 상쇄. 상쇄 후 압축파와 인장파가 비슷해지는 구간, 즉 보합구간 발생, 그 후 비상체의 운동에너지가 소진되면서 자유단을 중심으로 발생하는 인장응력이 콘크리트 파괴강도를 초과하면서 배면탈락이 발생한 것으로 사료됨
- ⑧ 배면의 탈락현상은 배면탈락 이론에 의한 인장응력의 영향으로 발생한 것으로 판단
- ⑨ 두께 20mm의 SUPER Concrete(SC180f) 패널은 지름 20mm(32g) 구슬형 비상체가 180m/s로 충돌하여도 관통 없이 충격 저항 가능 확인

(다) SC 적용 초고층 빌딩 코어시스템의 내진성능 평가 연구

- ① 강섬유가 없는 SC120 적용 시 지진피해 복구비용 측면에서는 재료 자체보다 구조시스템의 영향이 큰 것으로 나타남
 - ㉠ 코어월-모멘트골조 시스템은 코어월 시스템보다 경제적 측면에서 우수
 - ㉡ 일반 콘크리트와 SC120을 이용한 코어월 시스템에서 복구비용은 비슷하게 나타남
- ② 강섬유가 보강된 SC120f 적용 시 철근량 감소로 전체적으로 경제성 및 시공성 향상 효과가 나타났으나, 구조 요소별로 다소 차이가 있는 것으로 나타남
 - ㉢ 기둥과 전단벽 경계요소에서는 철근량 감소로 인한 비용 절감보다 SC120f 적용으로 인한 추가 비용 발생이 더 큰 것으로 나타남
 - ㉣ 반면, 연결보와 전단벽(주근, 전단근)에서는 철근량 감소가 두드러졌으며, 경제적인 효과가 큰 것으로 나타남

(3) SC활용 하이브리드 구조시스템 개발

- SC 활용 하이브리드 구조요소의 상세를 개발하여 성능평가 및 응용을 통해 설계기법을 개발하고 이를 해석적으로 구축함
- 우선적으로 SC를 활용한 특수 전단벽 연결보의 단순화 상세를 개발하여, 구조성능평가 실시
- 한편 강섬유 종류에 따른 강섬유 보강 SC의 성능평가를 통해 섬유 특성에 따른 SC의 특성을 제시하였으며, 이를 근거로 재료모델을 제시하여 연결보의 유한요소해석기술을 제안함
- 또한 섬유특성에 따른 SC의 재료모델을 제시하여 유한요소해석 실시

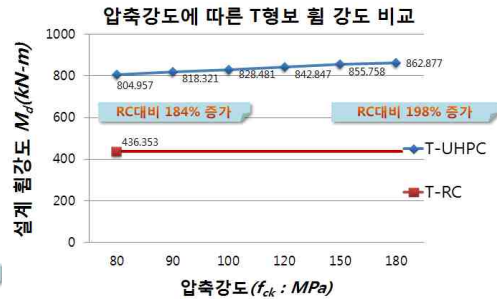
(가) SC 활용 하이브리드 구조요소 상세 개발

- 하이브리드 바닥구조 시스템 개발 및 특수 전단벽 연결보의 단순화 상세개발로써 SC를 활용한 건축용 구조부재의 설계강도 산정법을 제시하여 일반 RC 구조부재와 비교하였으며, SC를 적용한 슬래브가 기존 RC보다 휨성능이 뛰어난 것으로 판단됨
- 강섬유의 혼입률에 따른 강섬유 보강 SC의 연결보 상세 대체 가능성을 평가하였으며,

압축강도는 큰 차이를 보이지 않았고 휨 강도 평가결과 효율적인 섬유 혼입률은 1.5%로 판단됨



[단면높이에 따른 휨강도 비교]



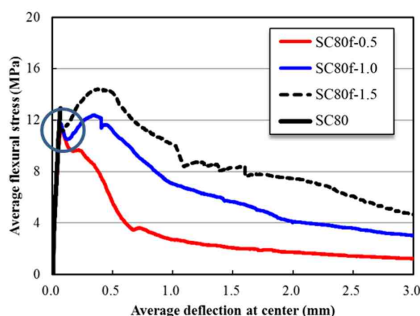
[압축강도에 따른 T형보 휨강도 비교]

(나) SC 활용 하이브리드 구조요소 성능 평가

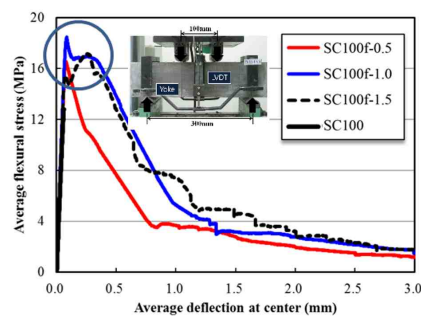
- 강섬유 혼입에 따른 SC의 역학적 특성을 평가하기 위해 압축강도(80, 100 MPa) 및 섬유혼입률(0, 0.5, 1.0, 1.5%)을 변수로 압축 및 휨실험 실시
- 섬유의 혼입이 압축강도 발현에 미치는 영향과 휨 거동의 초기균열 강도 변화 역시 크지 않았으며, 잔여강도 평가결과 SC80 섬유혼입률 1.25%에서 규정을 만족함
- 강섬유 보강 SC를 활용하여 형상비 2인 상세 단순화 연결보의 구조성능을 평가하고자 복합체의 종류 및 대체철근을 변수로 총 5개의 연결보 실험체를 제작
- SC를 활용한 경우 보통강도 연결보에 비해 강성 및 최대내력이 향상되었으며, 연성을 유지할 수 있는 것으로 나타남
- 보조철근 및 전단보강근을 강섬유로 대체한 SC 연결보 실험체의 강성 저하 및 에너지 소산 특성은 일반 SC 연결보 실험체와 유사하게 나타났으며, 강섬유를 사용한 SC를 사용할 경우 연결보의 상세 단순화가 가능할 것으로 판단됨

(다) SC 활용 하이브리드 구조요소 성능 평가 및 응용

- 강섬유의 종류에 따른 강섬유 보강 SC의 휨성능 특성을 평가함
- 국내에서 생산 및 시판되고 있는 다양한 강섬유를 사용하여 강섬유 혼입 SC의 역학적 특성을 평가하였으며, 강섬유의 형상비(64, 67, 80), 인장강도(1,000~1,600 MPa), 혼입률(0.5, 1.0%)을 주요변수로 SC80에 대한 휨실험 실시
- 강섬유의 혼입률 및 형상비의 증가에 따라 초기균열강도가 증가하는 경향이 나타났으며, 강섬유의 혼입률, 형상비, 인장강도 순으로 휨강도에 영향을 줌



(a) SC80 및 SC80f



(b) SC100 및 SC100f

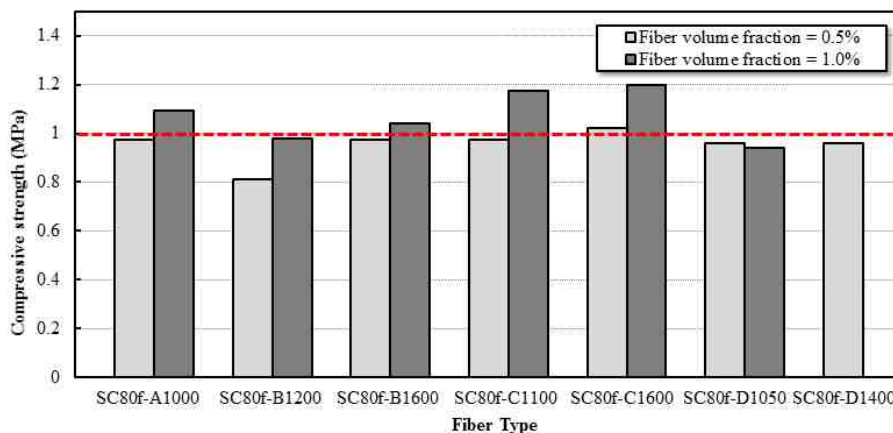
[휨 거동 양상]

(라) SUPER Concrete를 활용한 하이브리드 구조요소 설계 기법 개발

- SC 활용 고성능 건축용 슬림화/장경간 보 부재 활용기술 개발
- 강섬유 보강 SC의 특성을 고려하여 연결보의 유한요소해석방법을 제시하였으며, 노치 보 실험결과를 근거로 역해석을 실시하여 인장모델을 산정
- 변수해석결과 형상비의 증가에 따라 강도 및 강성이 증가하였으며, 이는 대각선 철근의 각도 때문으로 판단됨

(마) 강섬유 보강 SC의 인장 및 압축 구성모델 구축

- 강섬유의 인장강도 및 형상비에 따른 강섬유 보강 SC의 인장 및 압축구성 모델 제시 및 강섬유 보강 SC 노치보의 유한요소해석을 통한 신뢰성을 검증함
- 압축모델은 최대압축강도 이후 응력-변형률 곡선의 후반부가 완만해지는 Thorenfeldt 모델을 사용하였으며, 인장모델은 휨 성능평가에 근거한 역해석을 통해 산정함
- Hordijk 모델은 혼입률에 따라 큰 영향을 받으며, Trilinear 모델의 경우 강섬유 혼입률의 감소 및 형상비 증가에 따라 인장강도가 증가하였고, 혼입률이 증가함에 따라 인장강도 이후 일축인장 모델의 연성이 증가하는 경향을 보임



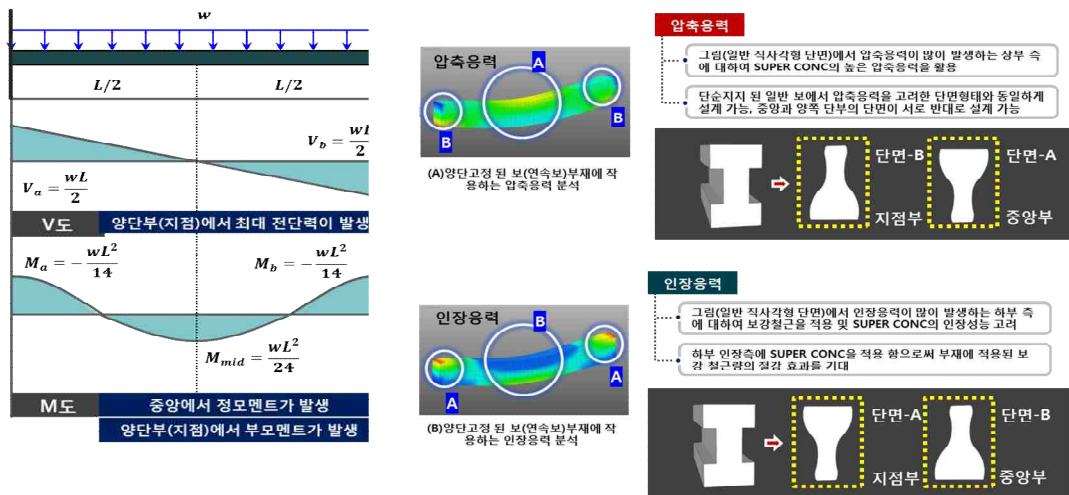
[섬유 혼입률 및 섬유 종류에 따른 압축강도의 변화]

(4) SC 활용 하이브리드 휨 구조시스템 개발

(가) SC 활용 건축 구조요소 상세 개발

① 주요 연구 내용

- UHPC-RC 건축용 구조부재의 기초 해석/설계법 개발
- UHPC 압축 및 인장 응력-변형률 특성, 휨부재 비선형해석모델 개발
- UHPC-RC 부재의 설계강도 산정법 개발
- UHPC-RC 보의 기초 휨성능 해석 및 평가 수행
- UHPC-RC 보 실험체 모델설정, 기존 RC 보와의 휨성능 평가 및 비교

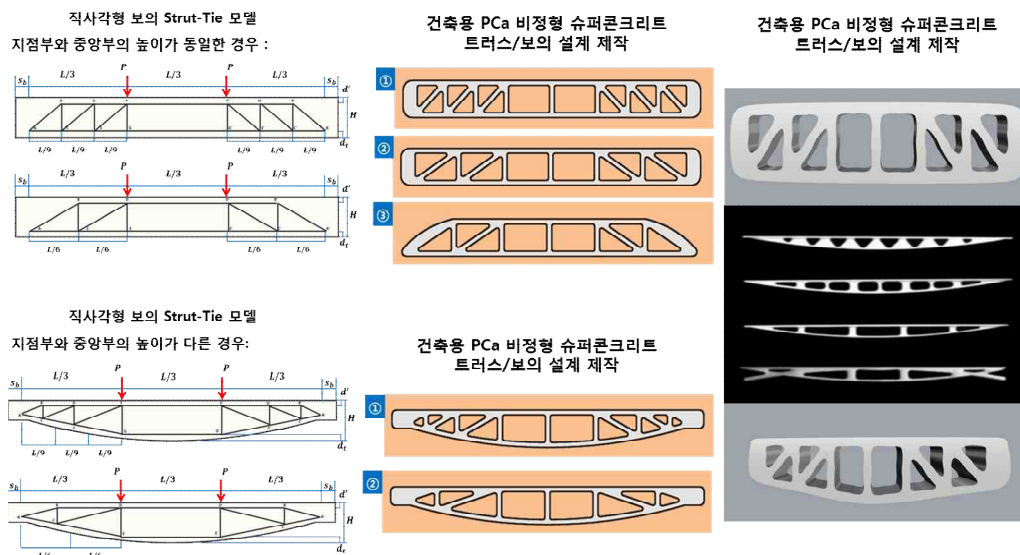


[양단 고정된(연속적인) 된 보 부재의 역학적 거동 분석]

(나) SUPER Concrete를 활용한 건축 구조요소 성능 평가

① 주요 연구 내용

- UHPC-RC 고성능 프리캐스트 보부재/슬래브 시스템 개발 및 설계
- UHPC-RC 고성능 프리캐스트/무거푸집 슬래브의 휨실험 및 성능 평가
- 1방향 슬래브 휨실험 및 슬래브 설계강도, 비선형해석모델 개발
- UHPC-RC 고성능 프리캐스트/무거푸집 슬래브의 설계강도 평가



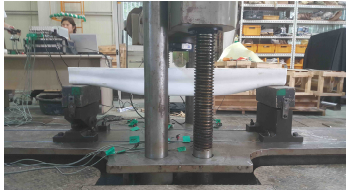
[SC 적용 고성능 프리캐스트 보부재의 트러스 비정형 형상 설계]

(다) SC를 활용한 건축 구조요소 성능 평가 및 응용

① SC 고성능 보부재의 휨/전단 실험 및 성능평가 수행

- 일반 RC 직사각형 설계강도 값보다 약 0.78배 높은 설계강도 값이 산정됨

- 하중재하실험결과 설계하중 값보다 최대내력하중이 더 크게 나타남

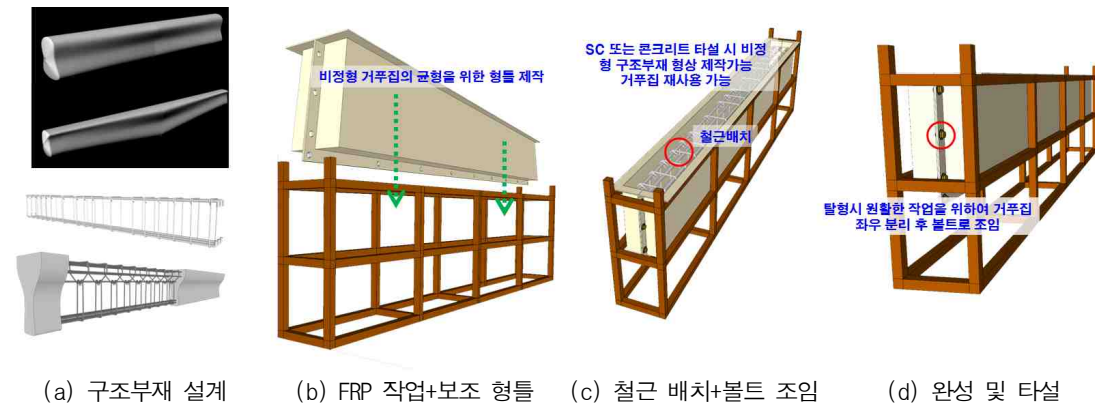


[휨/전단 지배형 실험체: 3중 재하 및 파괴양상]

- ② SC 적용 프리캐스트 휨파괴형 비정형 실험체의 실험적 및 해석적 결과분석
 - 일반 RC 직사각형 설계강도보다 더 큰 설계강도가 산정되었으며, 하중재하실험결과 설계하중 값보다 큰 최대내력하중이 나타남
 - 직사각형 RC부재 대비 최소 10%의 자중감소효과와 휨성능이 유리하게 나타남
 - 개발된 SC 적용 프리캐스트 비정형 휨 구조부재는 건축구조요소인 구조와 기능뿐만 아니라 미적인 역할까지 충족시킬 수 있을 것으로 기대됨

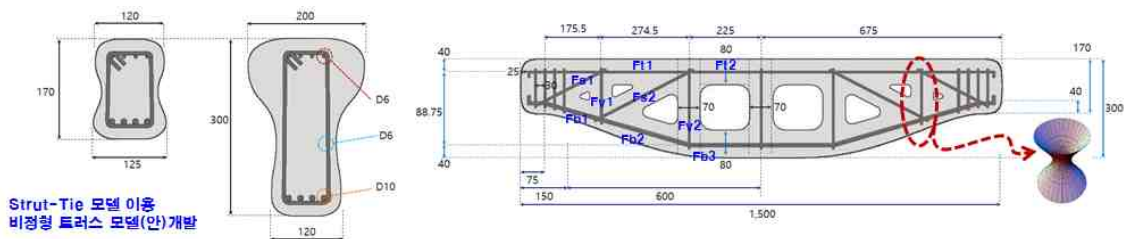
(라) SC 활용 고성능 건축 구조 부재 요소기술 개발

- ① SC 활용 프리캐스트 비정형 휨 구조시스템 제작 거꾸집 기술 개발
 - ㉠ 기존의 비정형 거꾸집 사례 기반 가성비 높은 가변형 거꾸집 기술 고안
 - ㉡ SC 활용 건축미가 고려된 곡선 및 비정형 구조부재 설계
 - ㉢ SC 활용 고성능 건축용 휨 구조부재(보) 설계 및 시공 지침(안) 작성



(a) 구조부재 설계 (b) FRP 작업+보조 형틀 (c) 철근 배치+볼트 조임 (d) 완성 및 타설

[FRP 시트를 활용한 가변형 거꾸집]



[비정형 프리캐스트 트러스 부재 단면 상세]

사. 현장 적용 실적

(1) 주요 현장 적용 실적 목록

현장명	세부과제별 적용 기술	기술적 의의
미국 아이오와 교량 교체 공사 (Hawkeye Bridge) (2015년)	180 MPa급 SUPER Concrete (SC180f) 재료 기술(1세부) - 섬유보강 SUPER Concrete 구조설계지침(2세부) - SUPER Concrete 활용 교량상부구조 기술(3세부)	- 일부 재료(시멘트, 모래)의 현지화 및 레미콘 트럭 믹싱 가능성 확인 - 미국 현지조건을 고려한 양생기법 적용(표준 고온양생(90℃)보다 낮은 온도(40~50℃)로 목표 강도 달성) - 연구단 제시 설계기준 및 설계도서, 시방지침에 따라 미국 현지 기술진에 의해 시공 완료 - 교량 선진국에서 설계단계부터 재료 제조 및 부재 제작 전 과정에 대한 검증 완료 → 향후 국내 및 동남아 적용 위한 실적 확보 - 국내 기술로 미국에 건설한 최초의 교량
미얀마 양곤-만달레이 고속도로 교량 확장공사 (M-UHPC Bridge) (2015년)	150 MPa급 SUPER Concrete (SC150f) 재료 기술(1세부) - 섬유보강 SUPER Concrete 구조설계지침(2세부) - SUPER Concrete 활용 교량상부구조 기술(3세부)	- 일부 재료의 현지화(시멘트, 모래, 충전재) 및 레미콘 트럭 믹싱 - 미얀마 현지조건을 고려한 양생기법 적용 (버블시트 양생 적용을 통해 고온양생 효과) - 연구단 제시 설계기준 및 설계도서, 시방지침에 따라 미얀마 현지 기술진에 의해 시공 완료 - 미얀마 MOC의 요청에 따라 향후 대규모 공사에서의 적용을 위한 파일럿 프로젝트의 성격으로 추진 - 향후 미얀마 등 동남아의 교량 프로젝트에 SC 적용 추진 기반(실적) 구축
강원도 춘천 레고랜드 진입 교량 (2015~2017년)	180 MPa급 SUPER Concrete (SC180f) 재료 기술(1세부) - 섬유보강 SUPER Concrete 구조설계지침(2세부) - SUPER Concrete 활용 교량상부구조 기술(3세부)	- 세계 최초로 도로 사장교에 180 MPa급 초고성능 콘크리트 적용¹⁾ - 대형공사(1회 타설량 40 m³, 세그먼트 47개 제작)에 초고성능 콘크리트 적용 - 대규모 실구조물 적용에 따른 현장 품질관리·제작 관련 실용화 노하우 확보
울릉도 힐링 플레이스 (2016~2017년)	120 MPa급 SUPER Concrete (SC120f) 재료 기술(1세부) - 섬유보강 SUPER Concrete 구조설계지침(2세부) - 연결부 등 구조상세(3세부)	- 세계 최초로 쉘형 외벽구조체에 120 MPa급 초고성능 콘크리트 적용²⁾ - 레미콘 시설과 레미콘 트럭에 의한 믹싱 및 펌핑에 의한 현장 타설 적용으로 대규모 건축물 적용 실용화 기술 확립 - 동절기 시공 가능성 확인

현장명	세부과제별 적용 기술	기술적 의의
광명동굴 VR 체험관 (2017~2018년)	• 압축강도 120MPa급 SUPER Concrete 배합, 제조 및 품질관리 기술(1세부) • 섬유보강 SUPER Concrete 구조설계지침(2세부) • 구조물 및 연결부 구조 상세 설계 기술(3세부)	• 울릉도 힐링 플레이스 및 광명동굴 VR 체험관과 같은 건축물에 슈퍼콘크리트 기술의 성공적인 적용을 통해 향후 건축물에 상용화 가능성 확인
세종-포천(안성-구리) 고속도로 건설공사 중 고덕대교 사장교 구간 (2018~2022년)	• 80 MPa급 SUPER Concrete (SC80) 재료 기술(1세부) • 80 MPa급 SUPER Concrete 구조설계지침(2세부) • SUPER Concrete 활용 교량상부구조 기술(3세부)	• 완공 시 콘크리트 사장교로는 세계 최대 주경간장 기록 보유³⁾ • 고덕대교에 SC80 기술 적용 확정 (기술실시계약체결, 2018.06.29.) • 국내 최초로 장대교량에 80 MPa급 콘크리트 적용 (2020년 1월부터 보강거더 공사 착수)
부산에코델타시티 2-3공구 제8 교 (72m 보도교) (2020~2021년)	• 150 MPa급 SUPER Concrete (SC150f) 재료 기술(1세부) • 섬유보강 SUPER Concrete 구조설계지침(2세부) • SUPER Concrete 활용 교량상부구조 기술(3세부)	• 입찰단계부터 기술지원을 하여 수주에 성공 • 거더 형식의 단경간 보도교로는 국내 최대 규모 • 박판 박스 형상의 변단면 형상을 갖는 대블록 공법 적용을 위한 제조 및 가설 기술 지원 예정 • 2020년 하반기 교량 공사 착공 예정

- 1) 초고성능 콘크리트(UHPC)로 건설된 사장교는 국내와 체코에 2개소가 있으며, 도로 사장교는 레고랜드 진입교량이 최초로서, 이는 2019년 6월 미국 FHWA 등에서 개최한 첫 번째 UHPC 혁신상 중 인프라부분 수상자로서 본 교량이 선정되었으며, 여기에 최초의 도로 사장교임이 명시되어 있음
- 2) 건축물로는 주로 외장재에 초고성능 콘크리트(UHPC)가 활용되었으며, 본 건축물이 쉘형 구조물로서는 세계 최초로서, 이는 2019년 6월 미국 FHWA 등에서 개최한 첫 번째 UHPC 혁신상 중 건축부문 수상자로서 본 건축물이 선정되었으며, 여기에 최초의 쉘형 구조물임이 명시되어 있음
- 3) 현존하는 최대 주경간장을 갖는 교량은 노르웨이의 스칸숀트 교량으로서 주경간이 530 m임. 고덕대교가 예정되기로 완공되면 540 m로서 이 분야에서는 세계 최장의 콘크리트 사장교로 자리매김하게 됨

(2) 주요 현장 적용 사례

(가) 사장교

① 춘천대교(레고랜드 진입교량) 현장 적용

㉠ 개요

- 교량 형식 및 제원 : 경간장 100m, 총 연장 200m 1주탑 콘크리트 사장교
- 단면 형식 : UHPC 에지거더(교폭 29.5m)
- 상부구조에 180 MPa급 초고성능 콘크리트(UHPC)인 SC180f 적용
- 공사기간 : 2015년 6월 ~ 2017년 12월 (30개월), 대림산업 시공



㉡ 주요 특징

- 세계 최초의 초고성능 콘크리트(UHPC) 도로 사장교
- 상부구조물 경량화에 따른 원형강재 주탑 적용한 경관 설계 가능
- 일반 콘크리트 적용에 비해 거더 자중 30% 저감(바닥판 두께 150mm, 형고 1.85m)
- 고내구성 재료 사용에 따라 교량 수명 200년 확보
- 길이 4m 단위로 총 47개의 세그먼트를 UHPC 전용 배치플랜트에서 프리캐스트로 제작 후 바지선을 이용하여 현장 이동 후 크레인으로 설치 후 조립
- 세그먼트 1개당 약 40m³의 UHPC 물량 소요, 총 2,000m³의 UHPC 소요
- 미국 FHWA 주관 제1회 ‘UHPC Innovation Awards’ 에서 인프라부문 수상(2019.6)

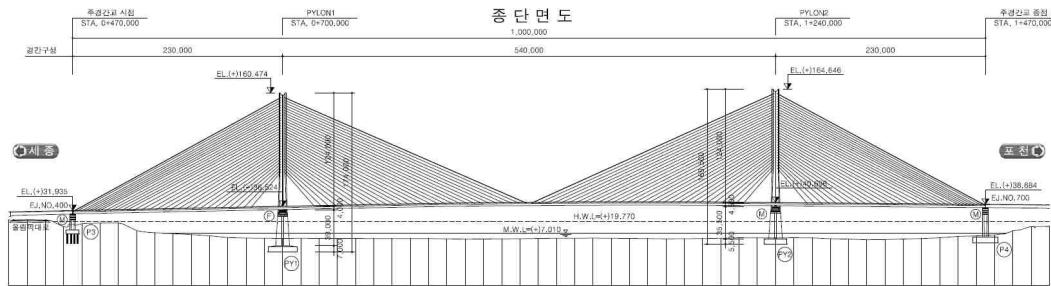
㉢ 주요 시공 사진



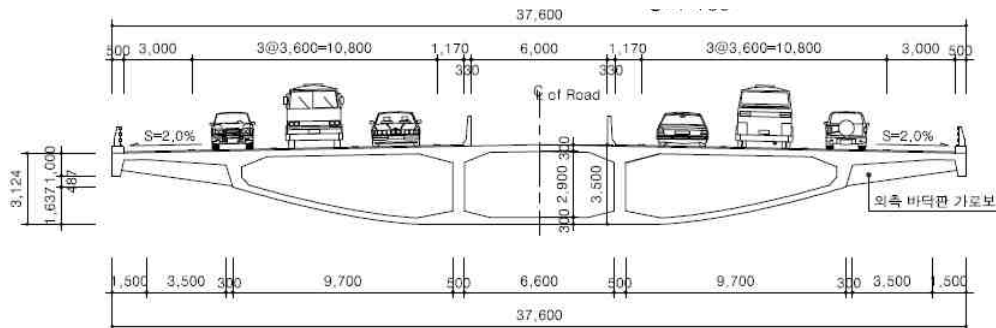
② 고덕대교(구리-안성간 고속도로 중 한강횡단교량) 현장 적용

㉠ 개요

- 교량 형식 및 제원 : 중앙 경간장 540m(세계 최장), 총 연장 1,000m 2주탑 콘크리트 사장교 (상부구조 3-cell 박스거더, 교폭 37.6m)
- 상부구조에 80 MPa급 고강도 콘크리트를 적용함에 따라 상부구조 시공 시 SC80 기술 적용에 대해 본 연구단과 기술이전계약 체결 완료(2018/06/29)
- 공사기간 : 2017년 1월 ~ 2022년 12월 (60개월), 현대건설 시공



[고덕대교 종단면도(시공사 제공)]



[고덕대교 표준단면도(시공사 제공)]

㉡ 기술 지원 내용

- 상부구조 시공 관련 원가절감(생산성 향상), 품질확보, 공정 개선 통해 주어진 기간 내에 고덕대교의 성공적인 완공을 꾀하는 것이 목적
- 1세부와 3세부가 공동으로 콘크리트 배합·양생·타설 등 품질관리 및 시공 중 형상관리 및 안전 관리 관련 기술 지원

㉢ 현재 진행 상황 및 향후 일정

- 상부구조 일반부에 대한 목업시험 실시 (2019/10/23 콘크리트 타설) → 목업시험 관련 협의 후 시험 참관, 펌핑타설 품질관리 및 배합 수정 등에 대해 자문
- 2020년 1월 주두부 타설 (80MPa 콘크리트, 기성 레미콘 사용)
- 2020년 2월 중 80MPa 콘크리트 생산 전용 배치플랜트 완성 → 재료 시험 등 품질관리 관련 기술 지원 예정
- 2020년 3월 이후 일반부에 대해 배치플랜트 이용 콘크리트 생산 후 세그먼트 본격 시공 예정

(나) 거더교

① 미국 아이오와주 Hawkeye UHPC Bridge 시험시공(2017. 11. 완공)

㉠ 개요

- 사업 내용 : 미국 아이오와주 뷰캐넌카운티 소재 구교량 철거 후 교체 공사
- 교량 형식 및 제원 : 지간장 15.8m, 교폭 9.9m인 π -거더 형식 (총 6개의 거더)
- 설계기준 : 미국 AASHTO LRFD, SC구조설계지침 적용
- 사용재료 : 미국 현지 재료를 혼용한 UHPC (180MPa, SC180f)



[기존 교량]



[교체 후 교량 및 단면 형상]

㉡ 주요 특징

- 재료의 부분 현지화 : 시멘트, 모래 등 부피가 큰 원료는 미국 현지 재료 사용
- 레미콘 트럭 활용 믹싱 및 이를 통한 현장타설 기술 확보
- 미국 현지조건을 고려한 양생기법 적용(표준고온양생인 90℃ 보다 낮은 온도인 40~50℃로 목표 강도 달성)
- 재령 1일 강도 70 MPa 이상, 40~50° C 3일 양생으로 188 MPa 발현(일반양생)
- 연구단에서 제시한 설계기준 및 설계도서, 시방지침에 따라 미국 현지 기술진에 의해 시공 완료
- 교량 선진국에서 설계단계부터 재료 제조 및 부재 제작 전 과정에 대한 검증 완료로 향후 국내 및 동남아 적용에 필요한 실적 확보
- 소규모이지만, 국내 순수기술로 미국에 시공한 첫 번째 교량



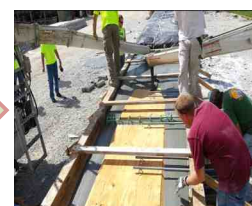
구교량 철거



거푸집조립



배합



K-UHPC 타설



고온양생



Post-tensioning



조립 및 연결부 타설



완료

② 미얀마 M-UHPC 시험교량 건설(2017. 10. 완공)

㉓ 개요

- 사업 내용 : 미얀마 “우정의 다리” 사업에 SUPER Concrete 적용을 위한 기반 조성을 위해 미얀마 MOC와 사전 검증 Pilot Bridge 건설 합의
- 양곤-만달레이 고속도로 상 교량 확장공사 구간에 위치
- 교량 형식 및 제원 : 지간장 12.2m, 교폭 6.7m인 π -거더 형식 (총 4개의 거더)
- 설계기준 : 미국 AASHTO LRFD, SC구조설계지침 적용
- 사용재료 : 시멘트, 모래 등 일부 재료를 현지화한 M-UHPC (150MPa)



[미얀마 M-UHPC Bridge (원 안의 교량 부분)]

㉔ 주요 특징

- 재료의 부분 현지화 : 시멘트, 모래 등 부피가 큰 원료는 미얀마 현지 재료 사용
- 레미콘 트럭의 드럼믹서로 믹싱 작업 후 4개의 거더를 동시에 제작
- 양생 시 버블슈트 사용만으로 양생 온도 68° C 확보 (현지 조건별 양생 다각화)
- 향후 미얀마 등 동남아 지역의 교량 사업에서 국내 건설사가 SUPER Concrete 기술을 적용할 수 있는 기반 구축



거더 거푸집 제작



M-UHPC 재료배합



M-UHPC 거더 타설



타설 후 버블슈트 양생



종방향 포스트텐션닝



M-UHPC 거더 조립



거더 연결부 타설



교량 가드레일 시공

(다) 건축물

① 울릉도 힐링 플레이스 코스모스 리조트 (2017. 7. 완공)

㉠ 개요

- 사업 내용 : 울릉도 리조트 공사의 A동과 B동 건물 2개동 건설공사
- 설계사/ 시공사 : 더시스템랩/ 코오롱글로벌(주)
- 설계기준 : 건축설계기준, SC구조설계지침 적용
- 사용재료 : SC120f (강섬유 1.2% + 유기섬유 0.3%)



[울릉도 힐링 플레이스 코스모스 리조트 전경]

㉡ 주요 특징

- 세계 최초의 초고성능 콘크리트 셸 구조물
- SC120f를 이용하여 설계자의 의도대로 복잡하지만 미려한 형상의 구조물 구현
- 레미콘 시설과 레미콘 트럭에 의한 믹싱 및 펌핑에 의한 현장 타설 적용으로 대규모 건축물 적용 실용화 기술 확립
- 강섬유 1.2%에 내화 목적으로 PP 섬유 0.3% 추가 혼입
- 일반 콘크리트 펌핑으로 시간당 20~30m³ 속도로 타설 (타설 높이 : 4~5m)
- 미국 FHWA 주관 제1회 'UHPC Innovation Awards' 에서 건축부문 수상(2019.6)



[울릉도 현지 레미콘공장]



[SC120f 생산]



[B동 1층 타설]



[A동 1층 타설]



[A동 2층 거푸집 조립]



[지붕 마감 공사]



[A동 완공 후]

아. 국제 표준화 노력 및 향후 계획

(1) 추진 내용

① 세계적 위상 정립 노력

- 국제교량학회(IABSE) 등 국제학술대회 초청강연(Keynote speaker) 5회
- 미국 제1회(2016), 제2회(2019) 국제 UHPC 심포지엄 패널 100분 토론에 아시아 대표로 참석

② 국제 기준화 노력

㉠ ISO/TC71 콘크리트 분야 관련 분과 위원회(TC 또는 SC) 신설 추진

- Working Group 개설 통해 본 연구 결과를 ISO에 반영하기 위한 노력 추진
- 21차(2015) 서울총회에서 Ad-hoc Committee 운영 결의, 22차(2016) 콜롬비아 총회에서 WG 구성 결의
- 23차(2017) 샤폰 총회에서 협의, 24차(2018) 모스크바 총회에서 UHPC SC 추진 협의
- 25차(2019) 버밍햄 총회에서 UHPC SC 또는 WG 신설 활동

㉡ ACF, fib 등 활동

- 아시아콘크리트학회(ACF)에서 UHPC 기준 제정을 주도적으로 추진 중
- 유럽콘크리트학회(fib) TG6.5(프리캐스트 콘크리트교량)에서 국내 개최 주관(2018) 및 UHPC 교량 설계예제 작성(2019)



[ISO 국제회의 및 ACF 회의 전경: 김병석 연구단장 참석]

(2) 향후 계획

- SUPER Concrete 관련 ISO 표준 및 Asian Code (ACF) 국제 건설기준 제정 추진
 - ISO, ACF 등 국제표준이 되는 기준 제정 주도 통해 기술 선도국으로서의 영향력 확보
 - 국내외 기준과 표준 정비를 통해 국내 업체의 해외 진출 토대 제공

자. 연구성과

(1) 연구성과 요약 (정량적 실적 대부분 초과달성)

성과명	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		6차년도		합계	
	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적
논문	3	4	14	16	15	19	18	20	5	7	1	1	56	67
논문발표	6	19	26	51	27	67	28	45	9	12	4	4	100	198
특허출원	6	5	11	10	10	14	3	7	2	2	-	1	32	39
특허등록	-	-	-	1	3	3	6	11	5	7	3	7	17	29
지침	-	-	1	1	1	1	2	5	5	5	5	5	14	17
설계예제	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	4	4	12	12
시제품	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	8	8
시작품	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
S/W	1	2	-	3	1	7	-	4	-	-	-	-	2	16
테스트베드 /현장적용	-	-	-	-	-	2	1	3	-	-	2 (국내1, 국외1)	2 (국외 추진중)	3	7
매뉴얼	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1
신기술 신청	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1
*신기술 등록	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1
도면	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1
기술이전	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0	1
홍보	-	-	-	-	-	-	1	2	-	6	1	4	2	12
달성도	(1차년도) 계획 대비 초과 달성		(2차년도) 계획 대비 초과 달성		(3차년도) 계획 대비 초과 달성		(4차년도) 계획 대비 초과 달성		(5차년도) 계획 대비 초과 달성		(6차년도) 국외현장 제외시 초과달성		-	

※ 건설신기술 제2266호 지정 (2020.01.22. 건설신기술 2차심사 통과)

(2) 논문 성과 (계획 56건, 달성 67건(비SCI 52건, SCI(E) 15건))

연차	순번	논문명	학술지명	주저자	SCI구분
1차년도	1	상온 양생한 초고성능 콘크리트(UHPC)의 경화 전과 후의 성능 관계	한국콘크리트학회지	강성훈	비SCI
	2	80 MPa급 고강도 콘크리트를 활용한 2거더교 RC 장시간 바닥판의 최소두께	한국안전학회지	배재현	비SCI
	3	Evaluation of the Shear Strength of Perfobond Rib Connectors in Ultra High Performance Concrete	Engineering	강재윤	비SCI
	4	골재크기 및 섬유혼입률에 따른 강섬유 보강 콘크리트의 휨 성능	대한건축학회지	장석준	비SCI
2차년도	1	고유동 고강도 콘크리트 거푸집 측압 특성에 관한 실험적 연구	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	고영곤	비SCI
	2	강섬유와 철근집합체 조합에 의한 초고강도 섬유보강 콘크리트 직사각형보의 연성거동에 대한 실험	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	한상묵	비SCI
	3	비선형 공진기법을 이용한 콘크리트의 화재 손상 영향인자 분석	한국비파괴검사학회 논문집	박강규	비SCI
	4	초고성능 콘크리트에 대한 Perfobond Rib 전단연결재 거동 평가	한국산학기술학회 논문지	강재윤	비SCI
	5	유한요소 해석을 통한 포스트텐션 정착구 형상 변수의 정착부 극한강도 영향 분석	한국전산구조공학회 논문집	권양수	비SCI
	6	A Study on the Flexural Performance of UHPC Precast Deck-Joint Interface by the Exposure of Steel Fiber	Engineering	정길제	비SCI
	7	Connection Between Concrete Layers with Different Strength	Engineering	강재윤	비SCI
	8	An Experimental Study on the Behavior of Shear Keys According to the Curing Time of UHPC	Engineering	김희석	비SCI
	9	A Study on the Wave Screening Effectiveness According to Trench Dimensions Using Ultrasonic Waves	Engineering	김희석	비SCI
	10	A Study on the Bond Strength Between High Performance Concrete and Reinforcing Bar	Engineering	최은석	비SCI
	11	와이어매쉬와 강섬유로 보강된 콘크리트 패널의 내충격성 규명을 위한 고속충격실험	한국콘크리트학회 논문집	김상희	비SCI
	12	고속충격하중을 받는 강섬유보강 콘크리트 패널의 내충격성능	한국콘크리트학회 논문집	김상희	비SCI
	13	표면처리 및 양생 조건이 초고성능 콘크리트-보통 콘크리트 계면 부착강도에 미치는 영향	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	강성훈	비SCI
	14	골재크기 및 섬유혼입률에 따른 강섬유보강 콘크리트의 압축거동	한국콘크리트학회 논문집	안경림	비SCI
	15	SP제 및 물 시멘트비 영향을 고려한 초유동 콘크리트의 흐름 실험 및 해석	한국콘크리트학회 논문집	조창근	비SCI
	16	Influence of Portland cement and ground-granulated blast-furnace slag on bleeding of fresh mix	Construction and Building Materials	임홍재	SCI
3차년도	1	이중강도 부재간 연결면 조건에 따른 전단강도 평가	한국산학기술학회 논문집	강재윤	비SCI
	2	Shear Behavior in Indented Concrete Layers with Different Strengths	Engineering	강재윤	비SCI
	3	고강도 콘크리트를 적용한 RC 바닥판의 정적 성능 평가	한국안전학회지	배재현	비SCI
	4	Evaluation of Bonding Shear Performance of Ultra-High-Performance Concrete with Increase in Delay in Formation of Cold Joints	Materials	이한승	SCI(E)
	5	콜드조인트 발생시간이 초고강도 섬유보강 시멘트 복합체의 전단 접착 성능에 미치는 영향에 관한 실험적 연구	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	김민성	비SCI
	6	시공이음부 계면처리방법에 따른 초고성능 콘크리트의 전단부착성능 평가에 관한 실험적 연구	한국건축시공학회 논문집	장현오	비SCI
	7	Evaluation of Freezing and Thawing Damage of Concrete Using a Nonlinear Ultrasonic Method	Smart Structures and Systems	임홍재	SCI(E)
	8	80MPa급 콘크리트를 활용한 이중합성 거더의 수평접합면 구조거동에 관한 실험적 연구	한국산학기술학회 논문집	양인욱	비SCI

연차	순번	논문명	학술지명	주저자	SCI구분
	9	강섬유와 철근집합체 조합을 이용한 초고강도 섬유보강 철근 콘크리트 I형 보의 연성거동에 관한 실험	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	박진영	비SCI
	10	Early-Age Strength of Ultra-High Performance Concrete in Various Curing Conditions	Materials	박종섭	SCI(E)
	11	Performance Evaluation of the High Performance Concrete Deck of Floating Pier	International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology	최은석	비SCI
	12	고흡수성 수지(SAP)를 이용한 내부양생이 초고성능 콘크리트(UHPC)의 수화반응, 자기수축, 내구성 및 역학적 특성에 미치는 영향	한국콘크리트학회 논문집	강성훈	비SCI
	13	Grasshopper를 이용한 Catenary Shell 설계 방법 제안	한국공간구조학회지	이주홍	비SCI
	14	비부착 강연선과 고강도 콘크리트를 적용한 철근콘크리트 외부 접합부의 내진 거동	한국지진공학회 논문집	권병운	비SCI
	15	강섬유보강 고강도콘크리트를 적용한 최상층 접합부의 내진성능 평가	한국콘크리트학회 논문집	김상희	비SCI
	16	Feasibility of Using High-Performance Steel Fibre Reinforced Concrete for Simplifying Reinforcement Details of Critical Members	International journal of Polymer Science	장석준	SCI(E)
	17	고연성 섬유복합체 적용 철근콘크리트 기둥의 성능기반 내진평가	대한건축학회 논문집	김호연	비SCI
	18	K-UHPC 교량의 긴장재 부식에 관한 신뢰성 기반 성능 평가 및 예측	한국안전학회지 논문집	권기현	비SCI
4차년도	19	Nonlinear analysis of containment structure based on modified tendon model	Annals of Nuclear Energy	곽효경	SCI(E)
	1	Numerical Analysis of Torsional Behavior of UHPFRC	Int. Journal of Advanced Research in Science, Engineering & Technology	박종범	비SCI
	2	80 MPa급 고강도 콘크리트를 적용한 RC 바닥판의 피로 성능 평가	한국안전학회지 논문집	배재현	비SCI
	3	초고성능 콘크리트 시공조인트의 전단부착성능 평가에 관한 실험적 연구	대한건축학회 논문집	장현오	비SCI
	4	A Tensile Criterion to Minimize FE Mesh-dependency in Concrete Beams under Blast Loading	Computers and Concrete	강한글	SCI(E)
	5	Evaluation of Flexural Behavior of Steel Concrete Hybrid Girder Using 80 MPa HSC	Int. Journal of Advanced Research in Science, Engineering & Technology	강재운	비SCI
	6	압축 플랜지에 80MPa급 고강도 콘크리트가 합성된 I형 강거더의 휨거동 특성	한국재난정보학회 논문집	이주원	비SCI
	7	초고강도 섬유보강 콘크리트 분절형 박스거더의 연성거동	한국건설순환자원학회 논문집	정민선	비SCI
	8	초고강도 섬유보강 콘크리트를 사용한 분절형 U거더 및 합성 U거더의 휨거동	한국건설순환자원학회 논문집	이승재	비SCI
	9	Evaluation of Early-Age Concrete Compressive Strength with Ultrasonic Sensors	SENSORS	윤혜진	SCI(E)
	10	PHC 파일 연결부의 성능실험에 관한 연구	한국콘크리트학회 논문집	김희석	비SCI
	11	고속충격을 받는 외장 UHPC 패널의 내충격성능	한국콘크리트학회 논문집	강현구	비SCI
	12	초고성능 섬유보강 콘크리트로 보강된 콘크리트의 계명 전단강도 결정을 위한 경사전단 실험	한국콘크리트학회 논문집	임우영	비SCI
	13	나선형 원형철근으로 보강된 집중배치 텐던 정착구역에 대한 하중전달시험	한국공간구조학회지 논문집	조아서	비SCI
	14	재령 및 섬유혼입물에 따른 고강도 강섬유보강 콘크리트의 휨 성능 평가	한국방재학회 논문집	장석준	비SCI
	15	하프 프리캐스트 SHCC 데크의 시공중 하중의 성능 평가	대한건축학회지회연합회 논문집	문형주	비SCI
	16	Experimental Study on Shear Performance of Plain Construction Joints Integrated with UHPC	Construction and Building Materials	장현오	SCI(E)

연차	순번	논문명	학술지명	주저자	SCI구분
	17	고강도 콘크리트를 적용한 얇은 RC 판부재의 정적 강도 안전성 평가	한국안전학회지 논문집	황훈희	비SCI
	18	FE Analyses and Prediction of Bursting Forces in Post-Tensioned Anchorage Zone	Computers and Concrete	김정래	SCI(E)
	19	Mechanical Properties of Various Concrete after High Temperature Exposure	International Journal of Latest Trends in Engineering & Technology	강성훈	비SCI
	20	Depth-dependent Evaluation of Residual Material Properties of Fire-damaged Concrete	Computers and Concrete	김규진	SCI(E)
5차년도	1	Microstructural Investigation of Heat-treated Ultra High Performance Concrete for Optimum Production	Materials	강성훈	SCI(E)
	2	100, 120 MPa급 고강도 콘크리트 적용 바닥판 적정두께 결정을 위한 실험적 연구	한국안전학회지 논문집	배재현	비SCI
	3	Numerical and Experimental Analysis of the Shear Behaviour of Ultra High Performance Concrete Construction Joints	Construction and Building Materials	장현오	SCI(E)
	4	초고강도 섬유보강 콘크리트 분절형 박스거더의 유한요소해석	한국복합신소재구조학회지	김도현	비SCI
	5	비정형 프리캐스트 초고강도 콘크리트 보의 설계 및 실험 평가	한국공간구조학회지	김호연	비SCI
	6	Evaluation of Ultimate Strength of Steel Concrete Hybrid Girder Using 80-MPa High Strength Concrete	International Journal of Advanced Research in SET	박희범	비SCI
	7	Finite element analyses and design of post-tensioned anchorage zone in ultra-high-performance concrete beams	Advances in Structural Engineering	김정래	SCI(E)
6차년도	1	Structural Safety Evaluation of Precast, Prestressed Concrete Deck Slabs Cast Using 120-MPa High-Performance Concrete with a Reinforced Joint	Materials	배재현	SCI(E)

(3) 특허출원 (계획 32건, 달성 39건)

연차	순번	특허명	출원일자	출원인	출원국	출원번호
1차년도	1	병렬 전단벽의 연결보 보강을 위한 강재 어셈블리	2014.02.27.	충남대학교 산학협력단	대한민국	10-2014-0022986
	2	강합성 거더의 제작 방법 및 이에 의해 제작된 강합성 거더를 이용한 교량 상부 구조의 시공 방법	2014.07.18.	(주)삼현피에프	대한민국	10-2014-0090875
	3	고흡수성 수지가 포함된 고강도 콘크리트 조성물	2014.07.21.	서울대학교 산학협력단	대한민국	10-2014-0092104
	4	프리텐션 프리캐스트 콘크리트 부재의 돌출 긴장재를 이용한 긴장력 도입 연속화 시공방법	2014.07.29.	한국건설기술연구원	대한민국	10-2014-0096373
	5	초고성능 콘크리트 프리캐스트 모듈과 강재를 결합한 합성거더 및 그 제작 방법	2014.08.04.	한국건설기술연구원	대한민국	10-2014-0099959
2차년도	1	(교량용) 강합성 거더 및 이에 의해 제작된 강합성 거더를 이용한 교량 상부 구조의 시공 방법	2015.01.23.	(주)삼현피에프	대한민국	10-2015-0011040
	2	시멘트 혼합물을 이용한 곡선형 단면의 건축용 콘크리트 보 (기존 특허명 : 콘크리트 구조물)	2015.03.31.	조선대학교 산학협력단	대한민국	10-2015-0045067
	3	슬래브 일체형 거더용 가변형 거푸집 장치	2015.04.14.	(주)인터컨스텍	대한민국	10-2015-0052326

연차	순번	특허명	출원일자	출원인	출원국	출원번호
	4	거푸집용 플랫타이	2015.04.28.	(주)포스코건설	대한민국	10-2015-0060056
	5	포스트텐션 앵커	2015.05.06	서울대학교 산학협력단	대한민국	10-2015-0063140
	6	프리캐스트 기둥 세그먼트 조립형 풍력발전타워 및 그 시공방법	2015.05.07.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2015-0063677
	7	다주 형식의 풍력발전타워 및 그 시공방법	2015.06.01.	대림산업	대한민국	10-2015-0077051
	8	밴드 링 세그먼트를 이용한 프리캐스트 분할편 조립형 타워구조물 및 그 시공방법	2015.06.03.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2015-0078407
	9	초고성능 콘크리트를 이용한 강재-콘크리트 합성거더 제작 방법 및 이를 이용한 프리캐스트 바닥판과의 연결부 시공방법	2015.06.04.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2015-0079230
	10	고유동 콘크리트를 이용하여 하향 횡구배 상면의 콘크리트 구조물을 제작하기 위한 거푸집 장치, 및 이를 이용한 하향 횡구배 상면의 콘크리트 구조물 제작방법	2015.06.15.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2015-0084052
	1	프리캐스트 바닥판연결블록을 이용하여 제작된 거더 및 이를 이용한 프리캐스트 바닥판시공방법	2015.07.29.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2015-0107049
	2	프리캐스트 코어를 이용한 상부구조물을 가지는 사장교의 시공방법 및 그에 의해 시공되는 사장교	2015.07.31.	대림산업(주)	대한민국	10-2015-0108750
	3	부잔교 합체의 수상 연결구조, 및 이러한 합체의 연결 구조를 구비한 부잔교	2015.08.11.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2015-0112891
3 차 년 도	4	덮개를 가지는 부잔교 합체의 수상 연결에 의한 부잔교 시공방법	2015.11.17.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2015-0160864
	5	초고강도 섬유보강 콘크리트 분절 박스거더 및 이의 시공방법	2015.11.18.	(주)씨알디	대한민국	10-2015-0161437
	6	강재거더 상부플랜지에 프리캐스트 콘크리트 부재가 결합된 강합성 거더의 제작방법	2016.04.08.	삼현피에프	대한민국	10-2016-0043350
	7	콘크리트 거더의 스트럿 현장 시공 방법 및 이에 이용되는 정착 플레이트 구조체	2016.04.18.	포스코건설	대한민국	10-2016-0046950
	8	UHPC 타이포그래피 패널 제작 장치	2016.05.04.	홍성걸, 강성훈	대한민국	10-2016-0055490
	9	풍력발전타워로 사용될 수 있는 지주 구조물, 내부 결합띠를 구비한 수평분할체의 일체 결합에 의한 지주 구조물의 시공방법, 및 이를 위한 내부 결합띠 구비한 수평분할체	2016.05.11.	대림산업(주)	대한민국	10-2016-0057721
	10	현장 타설 콘크리트 부재와의 접합면 분산 배치가 가능한 연결측면구조를 가지는 섬유보강 콘크리트 프리캐스트 슬래브, 및 현장 타설 콘크리트 부재와 섬유보강 콘크리트 프리캐스트 슬래브의 연결시공방법	2016.05.16.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2016-0059578
	11	3D프린터를 이용한 RC구조부의 시공이음부용 모듈러 거푸집 제작 방법	2016.05.23.	한양대학교 에리카산학협력단	대한민국	10-2016-0062548
	12	프리캐스트 반단면 데크를 이용한 강합성 거더교 시공방법	2016.06.03.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2016-0069350
	13	타설시기를 달리하는 콘크리트 연결면 시공 방법	2016.06.03.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2016-0069359
	14	튜브형 연결부재를 이용한 PHC말뚝의 무용집 연결구조 및 연결시공방법	2016.06.08.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2016-0071127
4 차 년 도	1	콘크리트 요철판 및 이를 이용한 타설 시기를 달리하는 콘크리트 연결면 시공방법	2016.09.26.	한국건설기술 연구원	대한민국	10-2016-0123081
	2	풍진동 제어 시스템	2016.10.24.	서울대학교 산학협력단	대한민국	10-2016-0138432
	3	콘크리트 부재의 접합측면 형성을 위한 접합측면용	2017.01.13.	인터컨스텍	대한민국	10-2017-0005985

연차	순번	특허명	출원일자	출원인	출원국	출원번호
		거푸집 장치, 이를 이용한 콘크리트 부재의 제작방법 및 콘크리트 부재의 집합연결구조				
	4	강재와 콘크리트의 연결부에서 하중전달능력이 향상된 강합성 거더	2017.05.08.	삼현피에프	대한민국	10-2017-0057586
	5	콘크리트 충전 타입 강관 및 콘크리트 충전 타입 강관을 이용한 교량 상부 시공 방법	2017.08.04.	(주)포스코건설	대한민국	10-2017-0099106
	6	직물 거푸집, 이를 이용한 비정형 콘크리트 부재 및 그 제조방법	2017.08.28.	조선대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0108953
	7	UHPC의 품질 모니터링 방법	2017.09.20.	서울대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0121150
5차년도	1	3D 프린팅 장치 및 이를 이용한 초고성능 콘크리트의 시공이음부 모듈러 거푸집 제작 방법	2018.06.27.	한양대학교 에리카산학협력단	대한민국	10-2018-0073838
	2	강도 검사 장치 및 이를 이용한 교량 바닥판 실험체 검사 방법	2018.07.04.	한국도로협회	대한민국	10-2018-0077912
6차년도	1	초고강도 섬유보강 콘크리트 영구거푸집 구조 및 이를 이용한 도로용 방호벽의 보수보강방법	2018.11.29.	(주)씨알디	대한민국	10-2018-0150760

(4) 특허등록 (계획 17건, 달성 29건)

순번	특허명	등록일자	등록인	등록국	등록번호
2차	1 병렬 전단벽의 연결보 보강을 위한 강재 어셈블리	2014.10.23.	충남대학교 산학협력단	대한민국	10-1456411
3차년도	1 다주 형식의 풍력발전타워 및 그 시공방법	2016.01.04.	대림산업	대한민국	10-1583704
	2 프리캐스트 기둥 세그먼트 조립형 풍력발전타워 및 그 시공방법	2016.02.25.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1599484
	3 슬래브 일체형 거더용 가변형 거푸집 장치	2016.02.25.	인터컨스텍	대한민국	10-1599238
4차년도	1 부잔교 합체의 수상 연결구조, 및 이러한 합체의 연결구조를 구비한 부잔교	2016.08.02.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1646712
	2 초고강도 섬유보강 콘크리트 분절 박스거더 및 이의 시공방법 (2019.11.28. 사사 보정서 첨부)	2016.09.01.	(주)씨알디	대한민국	10-1655403
	3 프리캐스트 바닥판연결블록을 이용하여 제작된 거더 및 이를 이용한 프리캐스트 바닥판시공방법	2016.09.26.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1661644
	4 덮개를 가지는 부잔교 합체의 수상 연결에 의한 부잔교 시공방법	2016.10.06.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1665638
	5 시멘트 혼합물을 이용한 곡선형 단면의 건축용 콘크리트 보	2016.10.17.	조선대학교 산학협력단	대한민국	10-1668329
	6 초고성능 콘크리트 프리캐스트 모듈과 강재를 결합한 합성거더 및 그 제작 방법	2016.11.07.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1675410
	7 풍력발전타워로 사용될 수 있는 지주 구조물, 내부 결합띠를 구비한 수평분할체의 일체 결합에 의한 지주 구조물의 시공방법, 및 이를 위한 내부 결합띠 구비한 수평분할체	2016.11.14.	대림산업	대한민국	10-1677673
	8 강합성 거더의 제작 방법 및 이에 의해 제작된 강합성 거더를 이용한 교량 상부 구조의 시공방법	2016.11.17.	삼현피에프	대한민국	10-1678999
	9 거푸집용 플랫폼이	2017.01.02.	포스코건설	대한민국	10-1693551
	10 밴드 링 세그먼트를 이용한 프리캐스트 분할판 조립형 타워구조물 및 그 시공방법	2017.03.02.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1713552
	11 교량용 강합성 거더 및 이의 제작 방법 및 이에 의해 제작된 강합성 거더를 이용한 교량 상부 구조의 시공 방법	2017.05.25.	삼현피에프	대한민국	10-1742046

순번	특허명	등록일자	등록인	등록국	등록번호
5 차 년 도	1 강재거더 상부플랜지에 프리캐스트 콘크리트 부재가 결합된 강합성 거더의 제작방법	2017.12.12.	삼현피에프	대한민국	10-1810203
	2 콘크리트 거더의 스트럿 현장 시공 방법 및 이에 이용되는 정착 플레이트 구조체	2018.01.02.	포스코건설	대한민국	10-1815923
	3 현장타설 콘크리트 부재와의 접합면 분산배치가 가능한 연결측면구조를 가지는 섬유보강 콘크리트 프리캐스트 슬래브 및 현장타설 콘크리트 부재와 섬유보강 콘크리트 프리캐스트 슬래브의 연결시공방법	2018.01.30.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1825375
	4 프리캐스트 코어를 이용한 상부구조물을 가지는 사장교의 시공방법 및 그에 의해 시공되는 사장교	2018.01.31.	대림산업	대한민국	10-1826119
	5 UHPC 타이포그래피 패널 제작 장치	2018.04.10.	서울대학교 산학협력단	대한민국	10-1849375
	6 콘크리트 요철판을 이용한 타설 시기를 달리하는 콘크리트 연결면 시공방법	2018.05.08.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1857536
	7 풍진동 제어 시스템	2018.06.19.	서울대학교 산학협력단	대한민국	10-1870927
6 차 년 도	1 콘크리트 부재의 접합측면 형성을 위한 접합측면용 거푸집 장치 이를 이용한 콘크리트 부재의 제작방법 및 콘크리트 부재의 접합연결구조	2018.10.12.	(주)인터컨스텍	대한민국	10-1909572
	2 프리캐스트 반단면 데크를 이용한 강합성 거더교 시공방법	2018.11.01.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1915960
	3 강재와 콘크리트의 연결부에서 하중전달능력이 향상된 강합성 거더	2018.12.19.	삼현피에프	대한민국	10-1932435
	4 콘크리트 충전 타입 강관 및 콘크리트 충전 타입 강관을 이용한 교량 상부 시공 방법	2019.01.03.	포스코건설	대한민국	10-1936597
	5 강도 검사 장치 및 이를 이용한 교량 바닥판 실험체 검사 방법	2019.01.04.	한국도로협회	대한민국	10-1937614
	6 초고강도 섬유보강 콘크리트 영구거푸집 구조 및 이를 이용한 도로용 방호벽의 보수보강공법	2019.05.08.	(주)씨알디	대한민국	10-1978443
	7 직물 거푸집, 이를 이용한 비정형 콘크리트 부재 및 그 제조방법	2019.05.10.	조선대학교 산학협력단	대한민국	10-1979510

(5) 현장적용(기술이전 제외) (계획 국내2건+국외1건, 달성 국내5건+국외2건)

순번	설계예제명	작성기관	국내외 구분
1	미국 IOWA주 교량 교체 공사: Hawkeye UHPC 교량 (2015년 10월 완공)	한국건설기술연구원	국외
2	미얀마 양곤-만달레이 고속도로 교량 확장 공사 (2015년 10월 완공)	한국건설기술연구원	국외
3	강원도 춘천 레고랜드 진입교량 사장교 구간에 SC180f를 적용하여 47개의 상부구조 세그먼트 제작 완료 (2017년 12월 완공)	한국건설기술연구원	국내
4	울릉도 힐링스테이 KOSMOS 리조트에 SC120f 기술 적용하여 쉘 구조물 건설 (2017년 11월 완공)	한국건설기술연구원	국내
5	광명동굴 VR 체험관 건립공사에서 구조물 및 연결부 구조상세 설계 기술 적용 (2017~2018년)	한국건설기술연구원	국내
6	부산 에코델타시티 2단계 3공구의 제8교인 장지간 보도교에 SC150f 적용 확정 (2020년 건설 예정)	한국건설기술연구원	국내
7	구리-안성 간 고속도로의 한강횡단구간에 있는 고덕대교에 SC80 기술 적용	한국건설기술연구원	국내
*	(거더제작) 구미시 소재 학서지 생태공원 조성사업에 SC 활용 120MPa급 중지간 거더 제작	씨알디	국내
**	(기술이전) 구리-안성 간 고속도로의 한강횡단구간에 있는 고덕대교에 SC80 적용 확정 및 기술이전계약 완료	한국건설기술연구원	국내

※ 국내현장은 초과 달성, 국외현장 1건이 현재 추진 중임

(6) SW 등록 (계획 2건, 달성 16건)

순번	SW명	등록일자	등록기관	등록번호
1	화재 발생/진화시 RC(철근 콘크리트 구조물)의 단면온도분포 열전달 해석프로그램	2014.07.10.	KAIST	C-2014-017158
2	국부손상영향을 반영한 RC/PSC 교량 구조해석프로그램	2014.08.08.	KAIST	C-2014-019174
3	균열폭 산정 프로그램 버전 1	2014.12.02.	한국건설기술연구원	C-2014-030402
4	편칭전단강도 산정 프로그램 버전 1	2014.12.02.	한국건설기술연구원	C-2014-030404
5	휨강도 산정 프로그램 버전 1	2014.12.02.	한국건설기술연구원	C-2014-030403
6	Cebcrp.for(시비크리프)	2015.12.18.	한국건설기술연구원	C-2015-031881
7	Crppm.for(크리프프린트)	2015.12.18.	한국건설기술연구원	C-2015-031886
8	Crpcft.for(크리프함수)	2015.12.18.	한국건설기술연구원	C-2015-031885
9	Aciinp.for(에이씨아이입력)	2015.12.18.	한국건설기술연구원	C-2015-031884
10	Acicrp.for(에이씨아이크리프)	2015.12.18.	한국건설기술연구원	C-2015-031883
11	Cebinp.for(시비입력)	2015.12.18.	한국건설기술연구원	C-2015-031882
12	Crperr.for(크리프에러)	2015.12.18.	한국건설기술연구원	C-2015-031887
13	균열폭 산정 프로그램 v1.2	2016.12.09.	한국건설기술연구원	C-2016-031865
14	휨강도 산정 프로그램 v1.2	2016.12.09.	한국건설기술연구원	C-2016-031866
15	UHPC 긴장재의 부식신뢰성 평가 프로그램	2016.12.19.	한국건설기술연구원	C-2016-032994
16	UHPC 부식개시시간 추정 프로그램	2016.12.19.	한국건설기술연구원	C-2016-033155

(7) 시제품/시작품 (계획 8+1건, 달성 8+1건)

순번	구분	시제품명	작성연차	작성기관
1	시제품	프리캐스트 풍력타워 비교설계	1차년도	한국건설기술연구원
2	*시작품	하이브리드 거더 연결부 전단성능 시험체 제작	2차년도	삼현피에프
3	시제품	SC-U 거더 시험체 제작	2차년도	씨알디
4	시제품	풍력타워 상세 설계 도면	2차년도	대림산업
5	시제품	150 m 프리캐스트 풍력타워 상세설계 도면	3차년도	한국건설기술연구원
6	시제품	SC 하이브리드 거더 실험교량 극한성능평가 시험체	4차년도	삼현피에프
7	시제품	150m 풍력타워 상세설계 도면	4차년도	한국건설기술연구원
8	시제품	SC 하이브리드 거더 실험교량 실험체 극한내하력 평가	5차년도	삼현피에프
9	시제품	SC 활용 120MPa급 중기간 거더	6차년도	씨알디

(8) 지침 (계획 14건, 달성 17건)

순번	지침명	작성연차	작성기관
1	부잔교 설계/인증 가이드라인	2차년도	한국선급
2	SC 활용 부잔교 설계 및 시공 지침(안)	3차년도	한국건설기술연구원
3	SC 활용 교량 상부구조 설계·시공 지침(안) - 초안	4차년도	한국건설기술연구원
4	SC 활용 바닥판 설계·제작·시공·유지관리 지침(안) - 초안	4차년도	한국도로협회
5	SC 적용 정착부 설계 지침	4차년도	KAIST
6	SC 활용 슬래브 일체형 거더의 설계·시공 지침	4차년도	인터컨스텍
7	SC 하이브리드 거더 시공 지침(안) - 초안	4차년도	삼현피에프
8	SC 활용 교량 상부구조 설계·시공 지침(안) - 보완본	5차년도	한국건설기술연구원
9	SC 활용 현장타설 사장교 시공 지침(안)	5차년도	대림산업
10	SC 하이브리드 거더 설계 지침(안)	5차년도	삼현피에프
11	SC 하이브리드 거더 시공 지침(안) - R&D시스템에 10번, 11번 1건으로 입력	5차년도	삼현피에프
12	SC 활용 중기간 U거더 설계 지침(안)	5차년도	금오공과대학교
13	SC 활용 프리캐스트 사장교 시공 지침	6차년도	대림산업

순번	지침명	작성연차	작성기관
14	SC 활용 교량 상부구조 설계 · 시공 지침	6차년도	한국건설기술연구원
15	SC 적용 바닥판 설계 · 시공 지침(안)	6차년도	한국도로협회
16	SC 활용 중지간 박스거더 설계 지침	6차년도	금오공과대학교
17	SC 적용 스트럿 설계 지침	6차년도	포스코건설

(9) 설계예제 (계획 12건, 달성 12건)

순번	설계예제명	작성연차	작성기관
1	SC 활용 200m급 사장교 설계예제(구조계산서, 도면 등)	1차년도	한국건설기술연구원
2	SC 활용 400m급 사장교 설계예제	2차년도	한국건설기술연구원
3	SC 활용 600m급 사장교 설계예제	2차년도	한국건설기술연구원
4	SC 활용 800 m급 사장교 설계예제	3차년도	한국건설기술연구원
5	SC 활용 하이브리드 거더 설계예제	3차년도	삼현피에프
6	1000 m급 사장교 설계예제	4차년도	한국건설기술연구원
7	슬래브 일체형 거더 설계예제	4차년도	인터콘스텍
8	SC 활용 중지간 U 거더 설계예제	5차년도	씨알디
9	SC 적용 바닥판 설계예제	6차년도	한국도로협회
10	장지간 교량 상부구조 설계예제 - 지간장 60m급 U-거더	6차년도	한국건설기술연구원
11	장지간 교량 상부구조 설계예제 - 지간장 100m급 FCM	6차년도	한국건설기술연구원
12	SC 활용 중지간 박스거더 설계예제	6차년도	씨알디

(10) 홍보 (계획 2건, 달성 12건)

순번	설계예제명	작성기관	국내외 구분
1	2017.08.25-26. YTN 방송 보도 5회 (SUPER Concrete 기술 개발 및 현장 적용 사례 소개)	한국건설기술연구원	국내
2	2017.02.01. 건설경제 신문보도 (수명 2배 · 공사비 10% 줄인 ‘슈퍼콘크리트 개발’)	한국건설기술연구원	국내
3	2017.10 대한토목학회 가을 학술대회 기술홍보용(SC 하이브리드 라멘교) 브로셔 배포	삼현피에프	국내
4	2018.05 한국강구조학회 봄 학술대회 합성구조위원회 특별세션 발표 (SC 하이브리드 거더 개요 및 성능검증)	삼현피에프	국내
5	2018.05 한국콘크리트학회 봄 학술대회 특별세션 발표 (세계 시장을 선도하는 신기술, “슈퍼 콘크리트”)	한국건설기술연구원	국내
6	2018.06 국토교통기술대전 부스 운영 (SC 기술 소개 및 교량과 건축물 대상 실용화 성과 홍보)	한국건설기술연구원	국내
7	2018.07 한국강구조학회지 특집기사 (고강도 콘크리트와 강거더가 합성된 신형식 교량)	삼현피에프	국내
8	2017-2018 언론(TV 및 신문) 보도 다수 (YTN 사이언스 다큐S프라임, 국토교통부 보도자료 외 관련기사 22건)	한국건설기술연구원	국내
9	2019.05 국토교통기술대전 부스 운영 (SC 기술 소개 및 교량 · 건축물 현장적용 성과 홍보)	한국건설기술연구원	국내
10	2019.05.30. 한국강구조학회지 특별세션 발표 (수평전단상세가 다른 SC 하이브리드 거더의 극한휨강도 비교 평가)	삼현피에프	국내
11	2019.06.05. 미국 FHWA 주관 UHPC Innovation Awards에서 빌딩과 인프라 2개 부문 단독 수상 (국내 건설신문 등 다수 매체에서 보도)	한국건설기술연구원	국내
12	2019.10.16. 한국공학한림원, 2019년 산업기술성과 15선에 SUPER Concrete 기술 선정	한국건설기술연구원	국내

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

(1) 연구개발의 최종 목표(3세부)

○ 핵심성과별 질적성과지표 및 양적 성과를 대부분 달성함

구분	핵심성과 (level1)		단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준			달성도 (%)		
					질적성과지표		목표치			
3 세부	A	SC 활용 200~1,000m 사장교 상부구조 시스템	A-1	SC 활용 200m~1000m급 사장교 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	상부 공사비	10% 절감	100		
					②	적용 기간장	200/400/600/800/1000m 내외			
					③	구조 성능	관련 설계기준 충족			
					④	현장적용	국내 1건			
			A-2	SC 활용 사장교 상부구조 시공 기술	①	주경간장	200m ~ 1000m 사장교	100		
					②	타설방법	프리캐스트, 현장타설			
	③	원가절감비용			일반 콘크리트 사장교 대비 10% 이상 저감					
	B	SC활용 60m 이상 장지간 상부구조 시스템	B-1	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	최적 단면	단면최적화 및 성능검증	100		
					②	구조 성능	요구성능 제시 및 설계기준 충족			
					③	설계·시공 지침(안)	상부구조 설계·시공 지침			
					④	설계예제	장지간 거더2종 설계예제			
					⑤	SC거더 경제성 분석	LCC 분석	100		
					⑥	바닥판 중량	15% 절감			
					⑦	NC-SC 합성 구조상세 지침	NC-SC 합성단면 접합성능 평가식 제시			
					⑧	설계법 연구	설계 가이드라인 작성			
			B-2	SC 및 고강도 강연선 활용 거더 구조상세 및 시공기술	①	지침서 작성	스트럿 설계지침서 작성	100		
			C	SC활용 40~60m 하이브리드 상부구조 시스템	C-1	40~60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	상부공사비	10% 이상 절감	100
	②	적용 기간장					40m~60m			
	③	형고					10% 이상 축소			
	④	구조성능					설계기준 충족			
	⑤	연결부 및 세그먼트 기술					설계기준 충족			
	⑥	최적설계 예제					경간장별 최적설계안			
	③	형고 공사비					강합성 계열 수준의 형고 10% 감소			
	④	설계예제					설계예제 작성			
	⑤	설계지침서					U-거더, 박스거더 설계지침서 작성			
	C-2	40~60m 상부구조 시공 기술					①	시공지침	시공지침 작성	
					②	최적 시공법	시공기간 단축			
					③	경제성	기존공사비 이하			
					D	SUPER Concr ete활용 프리캐스트 풍력 타워	D-1	프리캐스트 풍력 타워 해석 및 설계 기술	①	해석 및 설계법 정립
	②	강재대비 초기공사비 및 내구수명이 우수한 최적시스템							강재대비 초기공사비 20%절감, 내구성 100%향상	
	③	연결부 기술 및 세그먼트 기술	설계값의 100% 이상							
	D-2	프리캐스트 풍력 타워 시공 시스템	①	비교설계 및 상세설계			1건	100		
			②	최적시공법			1건			

구분	핵심성과 (level1)		단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준			달성도 (%)
					질적성과지표		목표치	
	E	SUPER Concrete 활용 부유식 구조 시스템 개발	E-1	SUPER Concrete활용 부잔교 시스템	①	시제품	1.7×15×30m 부잔교용 실험체 모듈	100
			E-2	SUPER Concrete활용 부잔교 최적설계	①	비용절감	10% 절감	
			E-3	SUPER Concrete 활용 부잔교 설계지침(안)	①	지침	SC 재료반영 지침	
			E-4	부잔교 설계/인증 가이드라인	①	가이드라인	SC 재료반영 구조물 인증	
	F	SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술	F-1	고성능 패넬	①	패넬 표현력	컬러, 표면디자인 각3종	100
					②	패넬 경량화	두께 20T 이하	
			F-2	PSC 적용 부재	①	성능	내충격 성능 기존기술 이상	100
					②	설계기술	재료특성 반영한 설계 기술	
			F-3	하이브리드 구조시스템	①	구조 성능	구조성능 달성	100
					②	설계기술 개발	개발완료	
					③	재료모델 개발	개발완료	
			F-4	하이브리드 휨 구조시스템	①	시공 배근량	5% 절감	100
			F-5	초고층 빌딩 코어시스템	①	내진성능	구조해석	100

(2) 핵심기술별 목표

(가) SC활용 200~1,000m 사장교 상부구조 시스템 개발

- 수행기관: 한국건설기술연구원, 대림산업

(KICT)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적성과지표		목표치	달성치	
1차년도	SC 활용 200m급 사장교 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	상부 공사비	10% 절감	10% 절감	특허출원 1건 논문발표 1건 설계예제 1건
		②	적용 지간장	200 m 내외	200m 내외	
		③	구조 성능	설계기준 충족	설계기준 충족	
2차년도	SC 활용 400m/ 600m급 사장교 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	상부 공사비	10% 절감	10% 절감	논문발표 2건 설계예제 2건
		②	적용 지간장	400m, 600m 내외	400m, 600m 내외	
		③	구조 성능	설계기준 충족	설계기준 충족	
3차년도	SC 활용 800m급 사장교 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	상부 공사비	10% 절감	10% 절감	논문발표 7건 설계예제 1건
		②	적용 지간장	800m 급	800m 내외	
		③	구조 성능	설계기준 충족	설계기준 충족	
4차년도	SC 활용 1000m급 사장교 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	적용 지간장	1,000m 급	1,000m 내외	설계예제 1건 테스트베드 1건 홍보 2건
5차년도	SC 활용 사장교 상부구조 현장 적용 기술	①	SC 사장교 현장 적용을 위한 검증 실험	현장 적용에 필요한 검증 실험 수행	현장적용 검증 실험 수행	논문발표 1건 기술이전 1건 홍보 3건
6차년도	SC 활용 사장교 상부구조 현장 적용 기술	①	현장적용	사장교 현장적용 1건	고덕대교 현장 적용 (2019.11. ~)	현장적용(국내) 1건 홍보 3건

(대림산업)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적성과지표		목표치	달성치	
1차년도	SC 활용 사장교 상부구조 시공기술	①	콘크리트 사장교 시공 현황 분석	SC 활용 사장교 핵심시공기술 도출	SC 활용 사장교 핵심시공기술 도출	논문발표 1건
2차년도	SC 활용 사장교 상부구조 시공기술	①	부분 프리캐스트 공법에 의한 시공기술	구조요소 설계 및 제작기술 개발	구조요소 설계 및 제작기술 개발	논문발표 1건
3차년도	SC 활용 사장교 상부구조 시공기술	①	부분 프리캐스트 공법에 의한 시공기술	시공계획 및 시공방안 도출	시공계획 및 시공방안 도출	특허출원 1건 논문발표 1건
4차년도	SC 활용 사장교 상부구조 시공기술	①	현장타설 공법에 의한 시공기술	SC 활용 현장타설 공법 적용 사장교 시공기술	SC 활용 현장타설 공법 적용 사장교 시공기술	논문발표 2건
5차년도	SC 활용 사장교 상부구조 시공기술	①	시공지침서	SC 활용 현장타설 공법 적용 사장교 시공지침	SC 활용 현장타설 공법 적용 사장교 시공지침	특허등록 1건 지침 1건
6차년도	SC 활용 사장교 상부구조 시공기술	①	시공지침서	SC 활용 프리캐스트 공법 적용 사장교 시공지침	SC 활용 프리캐스트 공법 적용 사장교 시공지침	논문발표 1건 지침 1건

(나) SC활용 60m 이상 장지간 상부구조 시스템 개발

- 수행기관: KICT, 도로협회, 한양대, KAIST, 포스코

(KICT)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준			양적 성과 건수	
		질적성과지표	목표치	달성치		
1차년도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	최적 구조형식	SC 활용 장지간 슬립구조 도출	-	
		②	요구성능	SC 재료 요구성능 제시		요구성능 충족
2차년도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	최적 단면	단면 최적화 및 성능검증	특허출원 1건 논문 1건 / S/W 3건 논문발표 2건	
		②	구조 성능	설계기준 충족		설계기준 충족
3차년도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	구조 상세	단면개선 및 구조상세 도출	특허출원 1건 현장적용 2건 논문 1건 논문발표 2건	
		②	구조 성능	설계기준 충족		설계기준 충족
4차년도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	설계지침(초안)	SC활용 장지간 상부구조 설계지침 초안	설계지침 작성	특허등록 1건 논문발표 7건 논문 1건 지침 1건 / S/W 4건 현장적용 2건
5차년도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	설계지침(안)	SC활용 장지간 상부구조 설계시공지침 보완본 제시	설계시공지침 작성	특허등록 1건 논문발표 4건 지침 1건 논문 1건
		②	SC 거더 경제성 분석 위한 근거자료 작성	LCC분석 등 최종 경제성 분석에 필요한 자료 도출	LCC 분석 근거자료 도출	
		③	SC 거더교 실용화 기술 개발	현장 적용 및 지침 작성 관련 보완 실험 수행	보완실험 수행	

6 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	설계-시공지침(안)	SC활용 장지간 상부구조 설계-시공지침 최종안 제시	최종안 작성 중	논문발표 2건 설계예제 2건 지침 1건
		②	설계예제	지침 최종안에 따른 장지간 거더 2중 설계예제 작성	설계예제 작성 중	
		③	상부공사비	10% 절감	10% 절감	
		④	현장적용	거더교 현장적용 추진	적용 추진 중 (미국)	현장적용 1건 추진 중

(한국도로협회)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준			양적 성과 건수	
		질적 성과지표	목표치	달성치		
1 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 바닥판 기준(안)	처짐 등 사용성 기준 제시	제시	국내논문 1건
2 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 바닥판 성능평가실험	바닥판 기준안 정적성능검증	수행	국내논문 1건 논문발표 1건
3 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 바닥판 성능평가실험	바닥판 기준안 피로성능검증	수행	국내논문 1건 논문발표 1건
4 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 바닥판 설계기준(안)	설계기준(안) 작성 및 공인화	작성	국내논문 2건 논문발표 1건 지침 1건
5 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 적용 바닥판 기준 (안) 보완	지침 작성 관련 보완 실험 수행	수행	특허출원 1건 국내논문 1건 논문발표 1건
6 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	설계예제	SC 적용 바닥판 설계예제 작성	작성	특허 등록 1건 SCI(E) 1건 설계예제 1건 / 지침 1건

(한양대학교)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준			양적 성과 건수	
		질적 성과지표	목표치	달성치		
1 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	NC-SC 접합부 성능평가실험	부착 성능 평가 보고서	연차보고서 제출	논문발표 1건
2 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	NC-SC 접합요소 모델	NC-SC 접합부 거동 해석	연차보고서 제출	논문발표 2건
3 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	NC-SC 접합부 성능향상기술	접합부 상세 따른 성능검증 및 최적안 제시	연차보고서 제출	SCI(E) 1건 / 논문 2건 논문발표 3건 특허출원 1건
4 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	오버레이층 갖는 접합부 성능평가	오버레이층 NC-SC 접합성능평가 및 최적안 제시	연차보고서 제출	SCI(E) 1건 논문 1건 논문발표 2건
5 차 년 도	SC활용 장지간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	NC-SC 합성 구조상세 지침	NC-SC 합성단면 접합성능 평가식 제시	연차보고서 제출	특허출원 1건 특허등록 1건 SCI(E) 1건 논문발표 1건

(KAIST)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적 성과지표		목표치	달성치	
1차년도	SC활용 장시간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	PSC 거더 응력집중부 현황보고서	보고서	100 %	논문발표 1건 S/W 2건
2차년도	SC활용 장시간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 적용 PSC 부재 응력집중부 비선형해석 모델 제작	정착부 비선형 해석 수행	100 %	논문 1건 SCI 1건 논문발표 3건
3차년도	SC활용 장시간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 적용 정착부의 부재 단위의 구조 거동 특성 평가	SC 적용 부재 단위의 구조거동 특성 평가	100 %	SCI(E) 2건 논문발표 1건
4차년도	SC활용 장시간 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술	①	SC 적용 PSC 구조 설계 가이드라인 작성	SC 적용 부재 응력집중부 해석/설계 지침안	100%	SCI(E) 3건+1건(5차년도 출판) 논문발표 2건 지침 1건

(포스코건설)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적 성과지표		목표치	달성치	
1차년도	SC 및 고강도 강연선 활용 거더 구조상세 및 시공기술	①	PSC 거더 주두부 설계현황 보고서	SC주두부 설계인자 도출	SC주두부 설계인자 도출	논문발표 1건
2차년도	SC 및 고강도 강연선 활용 거더 구조상세 및 시공기술	①	PSC 거더 주두부 가설구조물 설계, 시공기술	주두부 브라켓 설계 및 거푸집 측압실험 / 설계방안 도출	주두부 브라켓 설계 및 거푸집 측압실험 / 설계방안 도출	특허출원 1건 논문 1건
3차년도	SC 및 고강도 강연선 활용 거더 구조상세 및 시공기술	①	SC활용 스트럿 요소기술 개발	SC활용 스트럿 요소 기술개발 및 적용 실험	SC활용 스트럿 요소 기술개발 및 적용 실험	특허출원 1건 논문발표 2건
4차년도	SC 및 고강도 강연선 활용 거더 구조상세 및 시공기술	①	SC 활용실물 실험 및 실용성 검토	SC스트럿 실물제작실험	SC스트럿 실물제작실험	특허등록 1건 특허출원 1건 논문발표 1건
5차년도	SC 및 고강도 강연선 활용 거더 구조상세 및 시공기술	①	스트럿 최적화 설계예제	설계예제 작성	설계예제 작성	특허등록 1건 논문발표 1건
6차년도	SC 및 고강도 강연선 활용 거더 구조상세 및 시공기술	①	스트럿 설계지침서 작성	스트럿 설계지침서 작성	설계지침서 및 설계예제집 작성	특허등록 1건 지침 1건

(다) SC활용 40~60m 하이브리드 상부구조 시스템 개발

- 수행기관: KICT, 삼현피에프, 인터컨스텍, 씨알디, 금오공대 작성

(KICT, 삼현피에프)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준			양적 성과 건수
		질적성과지표	목표치	달성치	
1차년도	40~60m 상부구조시스템 해석 및 설계기술	①	재료 요구성능	경간장별 재료 요구성능 목표제시	특허출원 2건 논문 1건
		②	구조형식 요구성능	경간장별 특성 및 요구성능 제시	
		③	연결부 성능	하이브리드 연결방법별 성능분석	
	40~60m 상부구조 시공기술	①	경간장별 상부구조설계방안	상부 형식별 SC 재료 적용안 제시	
		②	시공방안	시공(안)제시	
2차년도	40~60m 상부구조시스템 해석 및 설계기술	①	세그먼트 연결부 구조상세	구조상세 도출	특허출원 2건 논문 2건 논문발표 1건 시작품 1건
		②	연결부 성능	설계값 100% 이상	
		③	거더 최적단면	40m급 거더 단면 최적 설계	
		④	거더 구조성능	설계기준 충족	
	40~60m 상부구조 시공기술	①	시공성	하이브리드 거더 시공단계 구조특성 분석	
3차년도	40~60m 상부구조시스템 해석 및 설계기술	①	거더 최적단면	50m급 거더 단면 최적 설계	특허출원 4건 논문발표 2건 설계예제 1건 논문 3건
		②	설계도서	설계도면 및 구조제안서 작성	
		③	설계표준	경간장별 설계표준화	
	40~60m 상부구조 시공기술	①	가설공법	가설공법 최적화	
		②	실교량 실험체	강재거더 제작성 평가	
4차년도	40~60m 상부구조시스템 해석 및 설계기술	①	거더 최적단면	60m급 거더 단면 최적 설계	특허출원 1건 디자인출원 3건 특허등록 3건 논문발표 1건 / 논문 2건 시제품 1건 / 지침 1건 홍보 1건
		②	거더 성능평가	설계기준 충족	
	40~60m 상부구조 시공기술	①	시공지침	시공지침서	
		②	경제성분석	경간장별 단가 비교	
5차년도	40~60m 상부구조시스템 해석 및 설계기술	①	극한성능시험	설계기준 충족	특허등록 3건 논문발표 1건 논문 2건 시제품 1건 지침 2건 홍보 2건
		②	설계지침	설계지침서	
	40~60m 상부구조 시공기술	①	현장적용성 평가	파일럿 프로젝트 추진	
		②	시공 및 유지관리 지침	시공/유지관리 지침서 작성	
6차년도	40~60m 상부구조시스템 해석 및 설계기술	①	설계도서 작성	연속교 설계도서 작성	특허등록 2건 도면(표준도) 1건 홍보 1건
	40~60m 상부구조 시공기술	①	제작성 평가	거더 적치시 온도에 의한 쏟음 영향 평가	

(인터컨스텍)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적성과지표		목표치	달성치	
1 차 년 도	SC 활용 교량 상부구조의 구조형식 개발	①	중지간 거더 형식 선정	거더 형식 및 단면 제시	100	-
2 차 년 도	SC 활용 교량 상부구조의 최적설계 및 구조상세 도출	①	최적 설계 및 구조 상세 도출	최적단면, 연결부 상세 제시 연결부 성능시험 수행	100	특허출원 1건
3 차 년 도	SC 활용 교량 상부구조의 성능평가 및 설계도서 작성	①	상부구조 성능평가	설계도서 작성 설대형 실험 수행	100	특허등록 1건 논문(발표) 1건
4 차 년 도	SC 활용 교량 상부구조의 실용화 기술 개발 및 현장 적용 추진	①	실용화 방안 검토 및 현장적용 추진	경제적 가설공법 제시 시공 지침안 작성 설계예제 작성	100	특허출원 1건 논문(발표) 1건 지침 1건 설계예제 1건

(씨알디)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적성과지표		목표치	달성치	
1 차 년 도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	SC 중지간 거더 구조형식 연구	SC 중지간 거더 구조형식 자료 조사	SC 중지간 거더 구조형식 자료 조사	-
	40-60m 상부구조 시공 기술 (C-2)	①	SC 중지간 거더 시공법 연구	SC 중지간 거더 시공법 자료 조사	SC 중지간 거더 시공법 자료 조사	
2 차 년 도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	구조성능	설계기준 충족	SC 활용 U-거더 실물 제작 및 실험 (15m급)	논문(발표) 2건 시제품 1건
	40-60m 상부구조 시공 기술 (C-2)	①	최적시공법	시공기간 단축	시공기간 단축	
3 차 년 도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	구조성능	설계기준 충족	SC 활용 박스거더 실물 제작 및 실험 (15m급)	특허(출원) 1건
	40-60m 상부구조 시공 기술 (C-2)	①	최적시공법	시공기간 단축	시공기간 단축	
4 차 년 도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	구조성능	설계기준 충족	SC 활용 중지간 거더 실물 제작 및 실험 (50m급)	논문 1건 논문(발표) 1건
	40-60m 상부구조 시공 기술 (C-2)	①	최적시공법	시공기간 단축	시공기간 단축	
5 차 년 도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	설계예제	U-거더 설계예제	U-거더 설계예제 작성	설계예제 1건 신기술 신청 1건 논문(발표) 1건
	40-60m 상부구조 시공 기술 (C-2)	①	경제성	기존 공사비 이하	5~10% 공사비 절감	
6 차 년 도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	설계예제	박스거더 설계예제	박스거더 설계예제 작성	설계예제 1건 특허출원 1건 특허등록 1건 시제품 1건 신기술지정 1건 현장적용 1건
	40-60m 상부구조 시공 기술 (C-2)	①	경제성	기존 공사비 이하	5~10% 공사비 절감	

(금오공대)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적성과지표		목표치	달성치	
1차년도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	SC 중지간 거더 관련 구조해석 방법 연구	SC 중지간 거더 구조해석 방법 도출	SC 중지간 거더 구조해석 방법 도출	-
2차년도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	SC 활용 U-거더 단면 해석 및 거동 분석 (15m)	최적단면 해석 및 설계기법 개발	최적단면 해석 및 설계기법 개발	논문 1건 논문(발표) 1건
3차년도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	SC 활용 박스거더 단면 해석 및 거동 분석 (15m)	SC의 재료적 특성을 고려한 비선형 유한요소 해석	SC의 재료적 특성을 고려한 비선형 유한요소 해석	논문 1건 논문(발표) 2건
4차년도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	SC 활용 중지간 거더 단면 해석 및 거동 분석 (50m)	SC 활용 중지간 거더의 경제적인 강섬유 함유량과 철근의 조합 해석	SC 활용 중지간 거더의 경제적인 강섬유 함유량과 철근의 조합 해석	논문 1건 논문(발표) 1건
5차년도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	중지간 거더 설계지침서	U-거더 설계 지침서 작성	U-거더 설계 지침서 작성	논문 1건 논문(발표) 1건 지침 1건
6차년도	40-60m 상부구조 시스템 해석 및 설계 기술 (C-1)	①	중지간 거더 설계지침서	박스거더 설계 지침서 작성	박스거더 설계 지침서 작성	논문(발표) 1건 지침 1건

(라) SC활용 프리캐스트 풍력타워 시스템 개발
- 수행기관: KICT, 대림산업

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준			양적 성과 건수
		질적성과지표	목표치	달성치	
1차년도	프리캐스트 풍력 타워 해석 및 설계 기술	①	해석 및 설계 기술현황보고서	국내외 현황 분석	-
		②	비교설계용 통합하중해석	비교설계용 하중 제시	
	프리캐스트 풍력 타워 시공 시스템	①	시공현황 분석보고서	시공장비 분석	시제품제작 1건
		②	비교 설계	최적풍력타워 시스템 제시	
2차년도	프리캐스트 풍력 타워 해석 및 설계 기술	①	상세설계용 통합하중해석 및 설계안 검토	상세설계용 하중제시	특허출원 2건 논문 2건 논문발표 3건
		②	SUPER Concrete 요구성능 도출	최적시스템용 요구성능 제시	
		③	연결부 상세 도출	연결부 3종 상세 제시	
		④	현장조건에 따른 풍력타워 최적화 기술	높이, 터바인 등 타워 적용조건에 따른 최적화 시스템 제시	
	프리캐스트 풍력 타워 시공 시스템	①	상세설계	설계기준 충족	특허출원 1건 논문발표 1건 시제품 1건
3차년도	프리캐스트 풍력 타워 해석 및 설계 기술	①	현장 조건에 따른 풍력타워 해석 및 설계 기술 도출	현장 조건에 따른 풍력타워 설계용 하중 제시	특허출원 1건 특허등록 1건 SCI(E) 1건 논문발표 6건 시제품 1건 SW 7건
		②	연결부 상세 보완 및 개선된 상세설계 도출 (1)	연결부 상세 제시	
		③	세그먼트간 연결부 역학 성능 평가	세그먼트간 연결부 역학 성능 실험	
	프리캐스트 풍력 타워 시공 시스템	①	최적시공프로세스 제안	최적시공프로세스 제시	특허출원 1건 특허등록 1건 논문발표 1건
		②	시공성을 고려한 상세설계 보완(1)	설계실시	
4차년도	프리캐스트 풍력 타워 해석 및 설계 기술	①	현장조건에 따른 풍력타워 해석 및 설계 기술 정립	현장조건에 따른 풍력타워 해석 및 설계기술	논문 1건 SCI(E) 1건 논문발표 9건 시제품 1건
		②	연결부 상세 보완	상세설계 반영 여부	
		③	최종 상세설계(안) 작성 및 경제성 평가	설계 및 경제성 평가 실시	
		④	제작성능, 역학성능, 현장적용성 평가	부분실물실험 및 탈형강도평가	
	프리캐스트 풍력 타워 시공 시스템	①	최적 시공프로세스 구현	최적시공프로세스 제시	논문발표 1건
		②	시공성을 고려한 최종 상세설계(안) 도출	상세설계 반영	

(마) SC활용 부유식 구조 시스템 개발
- 수행기관: KICT, 이디시엠, 한국선급

단위 성과 (level2)		최종 성과검점기준				양적 성과 건수
		질적성과지표	목표치	달성치		
1차년도	SUPER Concrete 활용 부잔교 시스템	①	요구성능	요구성능 제시	요구성능 제시	논문(발표) 1건
	SUPER Concrete 활용 부잔교 최적설계	②	변수 민감도	민감도 제시	민감도 제시	-
	SUPER Concrete 활용 부잔교 설계지침(안)	③	설계기준	국내외 기준 분석	국내외 기준 분석	
	부잔교 설계/인증 가이드라인	④	설계/인증사항분석	국내외 자료분석	국내외 자료분석	
		⑤	안전성과파라미터 분석	파라미터 도출	파라미터 도출	
2차년도	SUPER Concrete 활용 부잔교 시스템	①	연결부 성능검증	50년 피로내구성	50년 피로내구성 검증	논문(발표) 3건 논문 1건
		②	부재요서 성능검증	Fu>Fck	Fu>Fck	
	SUPER Concrete 활용 부잔교 최적설계	③	구조상세시설계	설계실시	설계실시	논문(발표) 1건
		④	최적단면 도출	단면제시	단면제시	
	SUPER Concrete 활용 부잔교 설계지침(안)	⑤	설계지침	지침(안)작성	지침(안)작성	-
	부잔교 설계/인증 가이드라인	⑥	하중특성/인증사항 도출	특성도출	특성도출	설계지침 1건
		⑦	가이드라인(안)	가이드라인(안)작성	가이드라인(안)작성	
3차년도	SUPER Concrete 활용 부잔교 시스템	①	시제품 성능검증	재현주기 50년 극치조건 만족	재현주기 50년 극치조건 만족	특허출원 2건 논문(발표) 4건 논문 1건 지침 1건 매뉴얼 1건
		②	기술이전	기술계약	기술계약	
	SUPER Concrete 활용 부잔교 최적설계	③	설계도면	도면작성	도면작성	논문(발표) 3건
		④	경제성	10% 절감	10% 절감	
	SUPER Concrete 활용 부잔교 설계지침(안)	⑤	설계지침	지침 작성	지침 작성	논문(발표) 1건
		⑥	품질평가지침서	지침작성	지침작성	
	SUPER Concrete 활용 부유식교량 최적설계	⑦	설계변수 분석	변수제시	변수제시	
	SUPER Concrete 활용 부유식교량 설계지침 (안)	⑧	설계기준 분석	기준분석	기준분석	
	부유식 교량 설계/인증 가이드라인	⑨	설계/인증사항 분석	국내외자료분석	국내외자료분석	
4차년도	SUPER Concrete 활용 부잔교 시스템	①	설계 제안의 구조거동 분석을 위한 상세 해석	상세 해석	상세 해석 수행	특허등록 1건 논문(발표) 2건
		②	SC 활용 부잔교 실용화를 위한 대형화 모형 실험	모형 실험	모형 실험 수행	
	SUPER Concrete 활용 부잔교 최적설계	③	SC 활용 부잔교 실용화를 위한 설계사양 결정	설계 실시	설계 실시 수행	
		④	실용화형 부잔교의 설계안 도출	설계안 도출	설계안 도출	

(바) SC활용 건축구조요소 시공기술 개발

- 수행기관: 서울대학교, 충남대학교, 조선대학교

(서울대학교)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 전수
		질적성과지표		목표치	달성치	
1 차 년 도	고성능 평면패널 상세 개발	①	Slump flow	850 mm 내외	850 mm 이상 달성	특허출원 1건 논문 1건 논문발표 2건
		②	고품질 평면패널 제작	제작완료	제작완료 달성	
	PSC 적용 부재	①	성능 목표	재료특성 반영한 성능 목표 제시	100	논문발표 3건
2 차 년 도	고성능 평면패널	①	스팬길이	3 m 이상	3 m 이상 달성	특허출원 1건 논문 2건 논문발표 5건
	콘크리트와의 부착강도	①	직접전단강도	3 MPa 이상	6 MPa 이상 달성	
	PSC 적용 부재	①	성능	내충격성능 기존기술 이상	100	논문 1건 논문발표 7건
3 차 년 도	고성능 패널의 표현력	①	컬러, 표면디자인 각 3종	각 3종 이상	각 3종 이상 달성	논문 2건 특허출원 1건 논문발표 11건
	PSC 적용 부재	①	성능	내충격 성능 기존기술 이상	100	논문 2건 논문발표 2건
		②	설계기술	재료특성 반영한 설계 기술	100	
4 차 년 도	고성능패널 두께	①	패널 두께	20T 이하	20T 이하 달성	논문 1건 SCI(E) 1건 특허출원 1건 논문발표 3건
	볼트조립식 시공기술	①	시공기술개발	개발완료	개발완료 달성	
	PSC 적용 부재	①	성능	내충격 성능 기존기술 이상	100	특허출원 1건 논문 2건 논문발표 4건
		②	설계기술	재료특성 반영한 설계 기술	100	
	초고층 빌딩 코어시스템	①	내진성능	구조해석	100	

(충남대학교)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적성과지표	목표치	달성치		
1차년도	SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술	①	구조 성능	구조성능 기존기술 이상	구조성능 달성	특허출원 1건 논문 1건 논문발표 8건
2차년도	SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술	①	구조 성능	구조성능 기존기술 이상	구조성능 달성	특허등록 1건 논문발표 13건 논문 1건
3차년도	SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술	①	구조 성능	구조성능 기존기술 이상	구조성능 달성	논문(발표) 13건 SCI(E) 1건
4차년도	SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술	①	설계기술	재료특성 반영한 설계기술	개발완료	논문(발표) 5건 논문 1건
5차년도	SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술	①	재료모델 개발	섬유특성 반영한 재료모델	개발완료	논문(발표) 1건

(조선대학교)

단위 성과 (level2)		최종 성과점검기준				양적 성과 건수
		질적성과지표	목표치	달성치		
1 차 년 도	-	-	-	-	-	-
2 차 년 도	하이브리드 휨 구조시스템	①	형상설계	재료특성 반영한 부재형상설계	초과	특허출원 1건 논문 1건 논문발표 2건
3 차 년 도	하이브리드 휨 구조시스템	②	구조성능	휨/전단성능평가, 구조성능 기존 기술 이상	초과	논문 1건 논문발표 4건
4 차 년 도	하이브리드 휨 구조시스템	①	설계기술	재료특성 반영한 설계기술	초과	특허출원 1건 논문 1건 논문발표 2건
5 차 년 도	하이브리드 휨 구조시스템	②	시공성	배근량 5% 절감	초과	논문 1건

나. 관련 분야 기여도

(1) 기술적 측면

- 압축강도 80~180MPa급인 SUPER Concrete(SC)를 적용하여 주경간장 200~1000m급 사장교에 적용 가능한 고효율 구조시스템 및 실무 적용이 가능한 수준의 설계예제 제시
- 연구 기간 중에 세계 최초의 도로 사장교인 춘천대교(레고랜드 진입교량) 사장교의 상부구조에 SC를 적용함으로써 현장 적용성 검증 및 사장교 적용 트랙레코드 확보
- 춘천대교 현장 적용 경험을 바탕으로 SC의 시공 중 요구되는 생산·운반·타설·양생 방안과 현장타설 및 프리캐스트 제작에 따른 최적의 가설공법 제시
- 주경간장 540m로서 세계 최장의 콘크리트 사장교로 건설 중인 고덕대교에 SUPER Concrete 기술을 상부구조에 적용함으로써 현장 적용성 검증 및 추가 실적 확보
- SC를 적용하여 지간장 60m급 및 지간장 100m급의 2종에 대해 최적의 상부구조 시스템을 도출하고 실무 적용이 가능한 수준의 설계예제 제시
- 교량 설계 경험을 가진 엔지니어가 손쉽게 접근 가능한 SC 활용 상부구조 설계·시공 지침을 제시하여 설계예제와 더불어 즉시 실무에 적용할 수 있는 기반 구축
- SC 적용에 필요한 각종 요소기술(이음부, 정착부, 바닥판 등) 개발로 즉각적인 실무 적용 가능 기술 확보
- 연구 기간 중에 미국 아이오와주와 미얀마에 SC 교량을 시험 적용함으로써 재료의 현지화를 통한 해외 시장에서의 적용성을 검증하고 국외 적용 트랙레코드 확보
- 기존의 강관 또는 FRP 관을 대체할 수 있는 SC 적용 스트럿을 개발하여 PSC박스거더와 강합성거더의 스트럿 공사비를 절감할 수 있는 방안을 도출하고, 설계에 즉시 활용 가능한 설계지침서 제시
- SC와 강재를 합성한 하이브리드 거더 시스템 개발을 통해 재료 효율 극대화 및 시공 기술 다변화를 꾀함으로써 형고 축소 및 적용 지간 확장이 가능한 구조형식 도출 및 지간장별 설계예제, 설계·시공지침 제시 통해 실무 적용 기반 구축
- 도심지 고가교 및 과선교와 같이 저형고와 급속시공이 요구되는 지역에서 강교를 대체할 수 있는 SC 활용 중지간 저형고 거더 시스템 개발 및 실무 적용이 가능한 설계지침 및 설계예제 제시를 통해 설계자의 선택 폭 확장(건설신기술 지정)
- 기존 재료(강재)를 대체하여 초기 공사비 및 유지관리비를 20% 절감하고 내구성을 100% 이상 향상시킬 수 있는 SC를 활용한 프리캐스트 풍력타워 시스템 개발
- 높이 150m, 130m, 100m의 SC8 프리캐스트 풍력타워에 대하여 육상풍력조건을 적용 탑기부와 세그먼트간 연결부, 터빈과 연결되는 탑정부에 대한 설계기술을 확보하여 향후 콘크리트 풍력타워 프로젝트에 대해 맞춤 설계가 가능한 기초자료 구축
- SC 활용 부유체 구조물 최적화 기술과 안정성 확보를 위한 설계기술 개발 통해 향후 해양공간 확보를 위한 해상구조물 전반의 설계기술 기반 확보
- SC를 활용한 내진 및 내충격 건축 부재와 건축, 인테리어 분야에 최적화된 섬세한 디자인의 구조 및 설치 요소에 적용 가능한 설계 및 제작 기술 확보
- SC를 활용한 건축 구조요소 및 시공기술 개발로 필요이상의 복잡한 배근상세를 갖는 부재의 철근 상세를 완화 및 다양한 성능을 갖는 구조부재의 설계 기반 구축

(2) 경제적 측면

- 지간장 200~1000m급 사장교에 적용 가능한 최적 구조시스템 개발을 통해 상부공사비 10% 이상 절감 가능 확인
- 춘천대교 현장 경험으로 쌓은 노하우에 기초한 SC 사장교의 가설공법 및 품질관리 방안을 토대로 기존 대비 10% 이상 공사비 절감이 가능한 시공기술 확보
- 춘천대교, 고덕대교의 현장 적용 실적을 토대로 국내 업체의 해외 시장 진출에서 기술 및 가격, 실적 면에서 경쟁력을 확보함으로써 해외 수주 통한 외화 획득에 기여
- SC를 적용한 장지간 거더교 2종(U-거더, FCM)에 대한 공사비 분석 통해 기존 재료를 사용한 경우에 비해 10% 이상의 상부공사비 절감 가능 확인
- SC 스트럿 적용으로 기존 대비 PSC박스거더는 90%, 강박스거더의 경우 40% 재료비 절감 가능 확인
- SC 하이브리드 거더 개발을 통하여 기존 강합성 거더 대비 강재량 30% 절감, 가설중량 50% 감소, 공사비 10% 이상 저감을 달성하여 경제성 확보
- SC 재료의 장점에 기인한 우수한 내구성으로 인해 기존 대비 생애주기비용(LCC) 측면에서도 충분한 경제성 확보
- SC적용 프리캐스트 풍력타워 시스템 마련으로 기존 강재 대비 높이 100~150m 높이에 서 기존 강재 대비 최대 20% 경제성 확보
- SC와 FRP 등을 부유식 구조물에 적용함으로써 건설 및 유지관리비용 10% 절감 및 내구수명 50% 증진
- 해상환경 저항성이 향상된 신재료 개발분야 및 관련 산업 성장에 파급효과
- SC를 초고층 빌딩에 적용하여 경제성과 시공성 향상 효과를 거둘 수 있으며, 외장패널 등 비구조요소에 적용 시 강재 또는 석재 대체 가능
- 이상과 같이 SC 활용을 통해 교량, 터널 등 SOC 건설물의 건설·유지관리비용 절감으로 국가예산 절감에 기여

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 연구결과의 활용방안

- 본 연구단에서는 과제 수행 중에 2장의 현장적용실적(p.83~p.84)에서 정리한 바와 같이 사장교를 포함한 교량과 건축물 등 개발대상이었던 구조물에 집중하여 현장 적용을 수행하였음
- 또한, 본 과제의 범위를 벗어난 구조물이지만, 장지간 보도교에 대한 현장 적용을 추진 중에 있으며, 조만간 기술실시계약을 체결하여 현장에서 기술지원을 수행할 예정임
- 이외에도 SUPER Concrete의 활용으로 인해 기존 제품의 한계를 극복하고 시장 경쟁력을 확보할 수 있는 분야로서, 인도 및 도로용 콘크리트 블록, 축사구조물인 콘-슬라트에 대해서도 관련 업체에의 기술이전 등을 통해 실용화할 수 있도록 노력중임
- 본 과제에서 제시한 각종 지침과 설계예제 등은 실제 현장에서 즉각 적용 가능한 수준으로 작성하였으므로, 교량 및 건축물 등의 설계 및 시공 시에 실무자가 곧바로 활용할 수 있음
- 본 연구단의 최종 목적은 국내보다는 국외 시장에서 국내 건설업체의 수주를 견인할 수 있는 기술을 개발하는 것이었으며, 이를 뒷받침하기 위해 국내는 물론 선진국의 대표로서 미국, 동남아 시장의 대표로서 미얀마에서 현장 적용을 실시함
- 따라서 해외 건설 시장에서도 본 연구단에서 거둔 성과를 활용하여 설계할 경우 기술 및 가격적인 우위를 점하면서 수주 확률을 높일 수 있을 것으로 기대됨
- 향후 후속사업 등을 추진하여 터널 라이닝과 철도교, 교량 하부구조, 차량방호책, 중앙분리대, 난간 등에 확대 적용하는 방안과 기존 교량 및 터널의 보수·보강·교체에 활용하는 방안을 개발할 예정임
- 이외에도 부식 환경에 놓여 있는 해안 및 해양 구조물, 내화화성 및 내부식성이 요구되는 각종 시설물, 조형미가 요구되는 건축물 또는 외장재 등에 대해서는 경제성 검토 등을 거쳐서 즉시 활용될 수 있는 분야임
- 한편, 당초 계획에 비해 조기 종료된 분야인 풍력타워와 부유식 구조에 대해서는 본 과제를 통해 개발한 내용을 기반으로 하여 실용화에 필요한 추가 연구를 위한 후속사업을 추진하여 이 분야에서도 실제 현장에 적용될 수 있도록 할 예정이며, 각 분야별 구체적인 활용 방안은 다음과 같음

(1) SC활용 200~1,000m 사장교 상부구조 시스템

- 추후 발주되는 국내외 장대교량사업 입찰 시 고성능 재료인 SC의 적용에 따른 기술적인 우위와 가격 경쟁력, 현장적용 실적을 토대로 설계에 반영될 수 있도록 적극 지원
- 상기 설계 입찰시 SC에 최적화된 가설공법 및 현장 적용 경험에 기초한 SC 품질관리 노하우를 이용하여 SC 활용 프리캐스트 및 현장타설 사장교 시공기술 적용

(2) SC활용 60m 이상 장지간 상부구조 시스템

- 장대교량의 접속도 또는 연도교 및 연육교 등 장지간 교량 입찰 시에 SC 적용 장지간

거더교의 고내구성 및 경제성을 장점으로 설계에 적극 반영 추진

- SC 적용 바닥판의 경우, 기존 교량 바닥판의 교체 또는 기존 재료를 사용한 거더교 등에도 적용이 가능하므로 SC 바닥판의 단독 적용도 적극 추진
- 이종 재료간 이음부 기술은 신설 교량뿐만 아니라 기존 교량의 보수·보강에도 적용 가능하므로 수요처 추가 발굴 통한 적용 범위 확대 추진
- SC 활용 정착부 설계기술은 고급기술에 해당하므로 특히 국외 시장에서 교량 선진국과 경쟁시 기술 우위에 따른 경쟁력 측면에서 유용하게 활용 가능
- SC 스트럿을 PSC박스거더와 강박스거더에 적용 시 기존 대비 가격 경쟁력 확보가 가능하므로 유사 교량의 설계 및 시공 시에 적극 반영 추진
- SC활용 교량 상부구조 설계·시공지침 및 교량 요소별 설계가이드라인과 설계예제는 교량 설계 실무자에 배포하여 실제 설계에 활용될 수 있도록 함

(3) SC활용 40~60m 하이브리드 상부구조 시스템

- SC 하이브리드 거더는 제작 및 시공이 용이하여 교량 거더는 물론 건축 보에 활용할 경우 많은 장점이 예상되는바 이에 대한 추가 연구를 검토 중에 있음.
- SC 활용 저형고 중지간 거더는 기존 콘크리트 계열의 거더보다 슬림하고 경량이며 급속시공이 가능하므로 도심지 고가교, 과선교에 유리하고, 라멘교에도 적용 가능

(4) SC활용 프리캐스트 풍력타워

- NREL 5MW급 Wind Turbine에 대하여 높이 150m, 130m, 100m의 육상풍력조건을 적용하여 단면 안전성 검토 수행
- 단면력이 가장 크게 발생하는 탑기부와 각 세그먼트간의 연결부, 터빈과 연결되는 탑정부에 대하여 기존 강재타워 대비 경제성을 확보한 설계법으로 활용

(5) SC활용 부유식 구조 시스템

- 부유체 단면 최적화 결과는 향후 해양인프라 건설사업을 위한 표준단면 제정에 활용하며, 관련 국가 기준 제정에 반영하여 국제기준에 부합하는 기준 정비에 활용
- 현재 국가주도로 성능중심의 건설기준 표준화 연구가 추진되고 있으며, 본 연구를 통해 도출되는 설계 가이드라인은 향후 성능중심 구조설계법 연구에 활용하여 후속연구 추진
- 설계기술 연구과정에서 습득한 부유체 구조물 최적화 기술과 안정성 확보를 위한 설계기술은 향후 해상공간 확보를 위한 해상구조물 전반의 설계기술 향상과 기준 합리화로 활용영역 확대

(6) SC활용 건축구조요소 시공기술

- SUPER Concrete는 고층 빌딩의 지붕층/외부 접합부에 적용할 경우 구조체의 단면적을 감소 및 우수한 내진 성능, 내구성, 건전성 등을 확보 가능하며, 우수한 내충격성을 이용하여 방호, 방폭 시설물에 활용 가능
- SUPER Concrete를 활용한 건축 구조요소 및 시공기술 개발로 필요이상의 복잡한 배

근상세를 갖는 부재의 철근 상세를 완화 및 다양한 성능을 갖는 구조부재의 실현이 가능함.

- SC 활용 프리캐스트 비정형 휨 구조시스템 제작 거푸집 기술 개발을 통해 기존의 비정형 거푸집 사례를 바탕으로 가성비 높은 가변형 거푸집 기술을 고안하고, FRP 시트를 활용한 가변형 거푸집 기술 개발 및 활용이 가능함

나. 실용화·제품화 방안

(1) SC활용 200~1,000m 사장교 상부구조 시스템

- SC 활용 사장교 상부구조 설계기술은 설계사 및 건설사 등에 기술이전 추진
- SC 활용 사장교 상부구조 시공기술
 - 춘천대교(레고랜드 진입교량) 시공 경험을 통해 SC 사장교 시공에 대한 기술력과 노하우 보유
 - 교량사업 설계/시공 일괄입찰을 통한 SUPER Concrete 기술적용 확대

(2) SC활용 60m 이상 장지간 상부구조 시스템

- SC 활용 장지간 거더교 설계기술은 설계사 및 건설사 등에 기술이전 추진
- 교량사업 설계/시공 일괄입찰을 통한 고강도 강연선 및 고강도 콘크리트 스트럿의 박스거더교 기술적용 확대

(3) SC활용 40~60m 하이브리드 상부구조 시스템

- 현재 SC 하이브리드 거더를 활용한 거더/라멘교 실용화 및 제품화가 마무리 된 상태이며, Test-Bed를 위하여 지속적인 기술 홍보 및 영업활동을 수행 중에 있음
- SC 하이브리드 거더/라멘교의 시장 진입 및 안정적인 정착 후 SC 하이브리드 거더의 건축 분야 활용 방안을 모색
- 도심지 고가교 및 과선교 등 수요 발생 시에 SC 활용 저형고 중지간 거더교의 홍보 및 적용 추진

(4) SC활용 프리캐스트 풍력타워

- 강재타워 대비 초기공사비 절감 및 내구성 향상이 기대되는 150m급 풍력타워 시스템의 장점을 부각하여 실용화·제품화 방안을 모색 중에 있음

(5) SC활용 부유식 구조 시스템

- 개발된 최적단면을 실무자들이 해당 형식의 부유식 구조 설계시에 적극 활용토록 유도하고 연구 성과물을 발주청에 적극적으로 홍보를 통한 실용화·제품화 방안 모색

(6) SC활용 건축구조요소 시공기술

- SC 적용 건축미가 고려된 곡선 및 비정형 구조부재 등 기존 재료와 차별화된 건축물의 시공에 적용 추진

다. 사업화 전략

(1) 공동연구기관: 대림산업

구분	구체적인 내용
형태/규모	○ 추후 발주되는 국내외 교량사업 입찰 시 개발기술 활용 계획 ○ 교량사업 설계·시공 일괄입찰을 통한 SUPER Concrete 교량 기술 적극 적용 ○ 교량사업 중 SUPER Concrete 적용은 특수교량 등 거더 자중 감소에 따른 공사비 절감 효과를 거둘 수 있는 구조물에 주로 적용되며, 매출액 기준 연간 약 50억~200억 예상
상용화 능력 및 자원 보유	○ 레고랜드 진입교량의 사장교 시공을 통해, SUPER Concrete 사장교 시공에 대한 기술력 및 노하우 독점 보유 ○ 다수의 국내외 설계·시공 일괄입찰 경험 및 인력 보유를 통한 기술적용 확대 가능
상용화 계획 및 일정	○ 국내외 특수교량 발주 물량 중 당사 참여 시 적용 가능성을 적극적으로 검토할 예정이며, 이때 주관연구기관인 KICT와의 협력이 매우 중요함

(2) 공동연구기관: 포스코건설

구분	구체적인 내용
형태/규모	○ SC활용 재료기술 및 요소기술 설계
상용화 능력 및 자원 보유	○ 기술연구소 및 사업본부
상용화 계획 및 일정	○ '18년 이후 교량분야 설계에 적용하기 위해 노력 지속 중

(3) 공동연구기관: (주)삼현피에프

구분	구체적인 내용
형태/규모	○ 상용화 형태: SOC 시설물(교량 거더) ○ 수요처 : 국토관리청, 관공서, 공사·공단, 시공사, 설계사 ○ 예상단가 : 6,800만원~12,400만원 (거더 본당) ○ 개발투입인력 및 기간 - 개발투입인력 : 매년 13명~15명 - 개발기간 : 2013.12 ~ 2019.06
상용화 능력 및 자원 보유	○ 교량거더 전문시공업체 ○ 강형제작 공장보유(15,000평, 연간 40,000톤 생산) ○ 연구개발 실용화 성공실적 : 5개 공법(상용 중) ○ 다수의 전문 인력 및 시공 실적 보유
상용화 계획 및 일정	○ 상용화 작업 완료 : SC 하이브리드 거더교/라멘교 (2018년)

	- o Test bed 구축 - 지속적인 영업관리 및 홍보활동을 통한 설계/시공 반영 추진
--	---

(4) 공동연구기관: (주)씨알디

구분	구체적인 내용
형태/규모	- o 수요처 : 각 지자체 및 도로공사, 농어촌공사, LH공사 등 - o 예상단가 : SC(120MPa급) 거더 본당(30m 기준) 2,700만원(직접비)
상용화 능력 및 자원 보유	- o SUPER Concrete 전용 분체콘크리트 프리캐스트 공장 구축 - o 실리카플로우, 고로슬래그 등 분체를 믹싱할 수 있는 사일로 보유 - o 회전시간을 조절할 수 있는 SC 전용 팬 믹서 보유 - o SC 제품을 생산할 수 있는 프리캐스트 공정 구축
상용화 계획 및 일정	- o SUPER Concrete 거더의 현장 적용 실적을 바탕으로 신규 건설 및 노후 교량 교체 시장 활발한 적용 - o 지간 대비 형고가 작은 SUPER Concrete 거더의 경제성 및 시공을 바탕으로 시장 진입 - o 신청한 건설신기술 취득(NET)으로 영업 활동에 박차

라. 사업화 모형 제시

(1) 공동연구기관: 대림산업

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 당사에서 시공한 레고랜드 진입교량 건설공사를 사업화 모형으로 제시함
- 계획/설계/시공 단계에서 주관연구기관과의 긴밀한 협업을 통해, SUPER Concrete를 상용화하고 세계 최초의 사장교를 건설하였음

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 사업화 모형의 목표

- 기존 사업화 모형을 바탕으로 시행착오의 최소화, 세부 기술보완 등을 통한 사업 안정화

(2) 핵심 경쟁 요인

- 일반 콘크리트 대비 가격 경쟁력(총 공사비에 미치는 영향 및 생애주기비용)

다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

- 국외 UHPC 제조업체(Lafarge 등) 및 연구기관
- 국내외 대형 건설사 등 입찰 경쟁 대상

(2) 시장 진입 장벽

-
- 교량사업의 수주 측면에서 시공원가가 큰 부분을 차지하므로 재료 원가에 대한 개선 필요
 - 시공 중 발생할 수 있는 SUPER Concrete의 이슈사항에 대한 설계단계 원가 반영 필요
- 라. 수익 확보 전략
- (1) 주요 고객군
 - 국내외 교량사업 발주처(일반적으로 국가사업)
 - (2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안
 - 국내외 교량사업 수주 및 시공을 통한 수익 창출
-

(2) 공동연구기관: 포스코건설

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 80~180 MPa (초)고성능 콘크리트 적용을 통한 공사비 절감 및 사업 경쟁력 필요

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

- (1) 사업화 모형의 목표
 - 80~180 MPa 콘크리트와 고강도 강연선 병용을 통한 교량 원가 절감
- (2) 핵심 경쟁 요인
 - SC 활용 콘크리트 스트럿 기술, 2,360 MPa 강연선 기술

다. 목표 시장 구조

- (1) 경쟁 기업 현황
 - 80 MPa 이하의 기존 콘크리트나 강재 교량 설계·시공
 - 중국산 1,860 MPa 일반 강연선 적용
- (2) 시장 진입 장벽
 - SC 원가의 시장 가격 불확실성
 - 국가코드체계의 적용 대상을 넘어서면서 발생하는 설계기준 문제

라. 수익 확보 전략

- (1) 주요 고객군
 - 건설사, 도로공사, 정부 및 지방자치
 - (2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안
 - 재료/생산/시공업체 협업체계 확대를 통한 원가절감
-

(3) 공동연구기관: (주)삼현피에프

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

- (초)고강도 콘크리트인 SUPER Concrete를 보다 효율적으로 활용할 수 있는 하이브리드 거더 개발의 필요성 대두
- 건설산업의 성숙기 진입으로 업체간 경쟁 심화, 순익 감소 → 경쟁력 확보 제품 개발 필요
- 기존 공법 대비 저형고, 저비용의 하이브리드 거더 개발을 목표로 핵심 기술 도출

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

- (1) 사업화 모형의 목표
 - 기존 공법 대비 품질·성능 개선, 가격 경쟁력 제고 통한 시장 진입 및 매출·순익 증대
 - (2) 핵심 경쟁 요인
 - 제작 및 시공의 개선
-

- 공장제작을 통한 품질 향상
- 고난이도 공정 배제로 제작의 간소화
- 현장공정 최소화로 시공성 향상
- 가격경쟁력 제고
 - 기존 공법 대비 30% 이상의 강재량 절감
 - 기존 공법 대비 50% 이상의 가설중량 감소
 - 기존 공법 대비 10% 이상의 공사비 절감

다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

- 특히 교량 공법 업체의 수는 지속적으로 증가하고 있으며, 현재 약 60개 정도로 파악
- 수의 업체 공법이 존재하여 경쟁 기업들의 시장점유율 측정은 곤란

(2) 시장 진입 장벽

- 특별한 시장 진입 장벽은 없으나, 업체간/공법별 경쟁이 갈수록 심화되고 있음

라. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 정부산하 : 국토관리청, 관공서
- 공사·공단 : 토지주택공사, 한국도로공사, 철도시설관리공단, 한국수자원공사 등
- 민간 : 시공사, 설계사

(2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- 발주처/시공사/엔지니어링 업체를 상대로 지속적인 홍보 활동을 통한 설계·시공 반영
- 확보된 기존공법 적용 현장의 설계변경

(4) 공동연구기관: (주)씨알디

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 2003년부터 초고강도 콘크리트에 대한 연구를 시작하였으며, 현재까지 다수의 특허와 이에 기반한 다양한 시공실적 보유
- 또한 본 연구단의 성과의 일환으로서 KICT와 공동으로 SC 활용 거더에 관한 건설신기술(NET) 획득(2020. 2.)

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 사업화 모형의 목표

- SC 재료의 효율적인 사용을 위한 철근집합체의 활용을 통해 기존 PSC 거더 대비 경제성 있는 구조 시스템을 개발하여 시장 경쟁력 확보

(2) 핵심 경쟁 요인

- 경제성, 장수명, 형하공간(저형고), 시공성, 유지관리, 경량화 등

다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

- 기존 중소규모 시장의 전문업체(신기술 PSC 거더 및 강합성 거더 제작업체 등)

(2) 시장 진입 장벽

- 점점 줄어들고 있는 국내 교량 시장 대비 계속 늘어만 가고 있는 신기술·특허 교

량업체로 인한 과당경쟁

- 새로운 기술에 대한 막연한 불안감에 기인한 거부감 등

라. 수입 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 지자체, 도로공사, 농어촌공사, LH공사 등

(2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- 신설교량 건설(거더, 슬래브 등)
 - 노후교량 교체(보수·보강)
-

붙임. 참고문헌

국토해양부 (2010), 도로교설계기준, 한국도로교통협회

국토해양부 (2013), 도로교표준시방서

국토교통부 (2018), 교량설계기준 (KDS 24)

국토교통부 (2018), 구조설계기준 (KDS 14)

국토교통부 (2018), 표준시방서-교량공사 (KCS 24)

국토교통부 (2018), 표준시방서-구조재료공사 (KCS 14)

한국콘크리트학회 (2012), 콘크리트구조기준 해설

한국콘크리트학회 (2012), 초고성능 콘크리트 K-UHPC 구조설계지침

한국콘크리트학회 (2019), 섬유보강 SUPER Concrete 구조설계지침

대림산업 (2015), 레고랜드 진입교량 건설공사 실시설계 보고서

대우건설 (2012), 영광-해제(칠산대교) 연도교 건설공사 실시설계 보고서

삼성건설 (2005), 인천대교 건설공사 실시설계 보고서

초장대교량사업단 (2014), 통합 Test Bed 설계지원

포스코건설 (2013), 지도-임자 도로건설공사 실시설계 보고서

현대건설 (2012), 화양-적금(3공구) 도로건설공사 실시설계 보고서

현대건설 (2017), 서울-세종고속도로 안성-구리 건설공사 14공구 실시설계 보고서

AASHTO (2002), Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition

AASHTO (2010), AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications 3th Edition

AASHTO (2012), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 6th Edition

ACI Committee 318 (2008), Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-08), American Concrete Institute

American Concrete Institute (2008), ACI 347-04 Guide to Formwork for Concrete, American Concrete Institute

ACI Committee 318 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14), American Concrete Institute

CEB-FIB (2010), fib Bulletin 55: Model Code 2010, First complete draft - Volume 1, The International Federation for Structural Concrete

CEB-FIB (2010), fib Bulletin 56: Model Code 2010, First complete draft - Volume 2, The International Federation for Structural Concrete

Euro-International Committee for Concrete (1993), CEB-FIP Model Code

European Committee for Standardization (2002), Design of Concrete Structures (Eurocode 2)

Graybeal, B. (2010), Construction of Field-Cast Ultra-High Performance Concrete Connections, FHWA Publication No: FHWA-HRT-12-038

Graybeal, B. (2012), Development of a Field-Cast Ultra-High Performance Concrete Composite Connection Detail for Precast Concrete Bridge Decks, Report No. PB2012-107569, National Technical Information Service, Springfield, VA.

Graybeal, B. (2012), Ultra-High Performance Concrete Composite Connections for Precast Concrete Bridge Decks, FHWA-HRT-12-042, PB2012-107569

Joint ACI-ASCE Committee 352 (2002), Recommendation for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02), American Concrete Institute (ACI)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.