

R&D/
18AUDP-B
069635-06

80
~
180
MPa
급
맞춤형
슈퍼콘크리트의
제조기술
및
재료모델·지침
개발
2020
국
토
교
통
부
국토교통과학기술진흥원

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개()

건설기술연구사업 제6차 연도 최종보고서

R&D /
18AUDP-B069635-06

80MPa~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발 최종보고서

2020. 3. 11.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

공동연구기관 / (주)포스코건설

(주)실크로드시앤티

동남기업(주)

한국건설생활환경시험연구원

대구대학교

청주대학교

한국교통대학교

금오공과대학교

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘80MPa~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발’(연구개발 기간 : 2013.12. ~ 2019.12.)의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 3. 11.

협동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (한승헌)

공동연구기관명 : (주)포스코건설 (이영훈)

(주)실크로드시앤티 (박민환)

동남기업(주) (김황수)

아세아시멘트(주) (이훈범)

한국건설생활환경시험연구원 (윤갑석)

대구대학교 (박세현)

청주대학교 (노근호)

한국교통대학교 (전문수)

금오공과대학교 (김동성)



협동연구기관책임자: 고 경 택

공동연구기관책임자: 정 상 현

차 철 용

이 동 규

김 원 기

정 상 화

강 수 태

한 민 철

이 건 철

장 일 영

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서(1세부)

과제 고유 번호	18AUDP-B069635-06	해당 단계 연구 기간	2013.12. ~ 2019.12.	단계구분	1/1
연구사업명	건설기술연구사업				
연구과제명	80MPa~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델 · 지침 개발				
연구책임자	고 경 택	해당단계 참여연구원 수	총: 92명 내부: 92명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부: 5,300,000 천원 민간: 1,852,000 천원 계: 7,152,900 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 92명 내부: 92명 외부: 0명	총 연구비	정부: 5,300,000 천원 민간: 1,852,000 천원 계: 7,152,900 천원
연구기관명 및 소속 부서명	(1세부 주관) 한국건설기술연구원 (1세부 공동) (주)포스코건설, (주)실크로드시앤티, 동남기업(주), 아세아시멘트(주), 한국건설생활환경시험연구원, 대구대학교, 청주대학교, 한국교통대학교, 금오공과대학교			(1세부) 참여기업명: (주)포스코건설, (주)실크로드시앤티, 동남기업(주), 아세아시멘트(주), 지양테크놀로지, 신우산업 개발, 모든콘크리트, (주)케미콘	
국제공동연구	상대국명: 없음			상대국 연구기관명: 없음	
위탁연구					

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	- SUPER Concrete 구조설계지침은 SUPER Concrete 적용 구조물의 설계, 시공, 유지관리 분야에 적극 활용하기 위한 것으로, 연구과제 보안등급의 분류상 <u>일반과제</u> 로 분류하는 것이 합당
----------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문 /학술대회	특허 등록/출원	보고서 원문	연구시설· 장비	기술요약 정보 (지침,매뉴얼)	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	33/118	4/15	-	2	13	3	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
KICT	이동식 SUPER Concrete 제조·사일로 시스템	1.5 m³	1 식	2016.09.01	144,000	대명산업	(주)KSC	NFEC-2017-05-237897

요약 ○ 연구목표 - 80MPa~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발 • SUPER Concrete 제조기술 개발 • SUPER Concrete 재료의 역학모델 및 지침개발 ○ 연구내용 - 80~120MPa급 굵은골재 사용 맞춤형 SUPER Concrete - 120~180MPa급 섬유보강 맞춤형 SUPER Concrete - SUPER Concrete의 표준시험법 및 재료모델 ○ 연구 개발 성과 - 80~120MPa급 굵은골재 사용 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술 개발 : 배합 3종(SC80, SC100, SC120), 제조비용 20~50%, 현장타설/공작제작 - 120~180MPa급 섬유보강 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술 개발 : 배합 3종(SC120f, SC150f, SC180f), 제조비용 20~50%, 현장타설/공작제작 - SUPER Concrete용 시험방법 및 재료모델 구축 : 시험법 6종, 재료모델 7종 ○ 활용 계획 - SUPER Concrete를 활용하는 국내외 건설 사업에 활용 - SUPER Concrete 건설시장의 확장 및 신뢰성 확보에 활용	보고서 면수 128면
---	---------------------------

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 연구의 목적 80MPa~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발 • 1차년도: SUPER Concrete 구성재료 도출 • 2차년도: SUPER Concrete 배합기술 확보 • 3차년도: 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 확보 • 4차년도: SUPER Concrete의 부재제작 기술 확보 • 5차년도: SUPER Concrete의 실용화 기술 개발(1) • 6차년도: SUPER Concrete의 실용화 기술 개발(2) ※ SC80, SC100, SC120: SUPER STRUCTURE 2020에서 개발한 압축강도 80MPa, 100MPa, 120MPa의 굵은골재 SUPER Concrete ※ SC120f, SC150f, SC180f: SUPER STRUCTURE 2020에서 개발한 압축강도 120MPa, 150MPa, 180MPa의 섬유보강 SUPER Concrete ○ 연구 내용 • 80~120MPa급 굵은골재 사용 SUPER Concrete - SC80, SC100, SC120 배합 및 제조기술 - 프리믹싱 결합재, 화학혼화제 - 제조시방 및 품질관리 지침 • 120~180MPa급 섬유보강 SUPER Concrete - SC120f, SC150f, SC180f 배합 및 제조기술 - 프리믹싱 결합재, 화학혼화제 - 제조시방 및 품질관리 지침 - SUPER Concrete용 고성능감수제 • SUPER Concrete의 표준시험법 및 재료모델 - SUPER Concrete의 표준시험법 - SUPER Concrete의 재료모델(레올로지·수화·역학적 거동·수축·크리프·내구수명 등) - SUPER Concrete의 장기성능 평가 ○ 연구 범위 • 배합 및 제조기술 • 프리믹싱 결합재 및 화학혼화제 • 표준시험법 및 재료모델
연구개발성과	○ 질적 연구개발성과 • 80~180MPa급 저비용(국내 대비 30% 이상, 해외 대비 70% 이상 절감) SUPER Concrete 6종 배합·제조기술 • 수축 600×10^{-6} 이하, 내구수명 100~200년 이상 • 내화성능 3시간 이상 확보 • 세계 최초 SUPER Concrete 사장교 및 셸구조 적용 • 세계 최장 콘크리트 사장교(고덕대교, 경간장 540m) 적용 중 • 미국, 미얀마, 베트남 등 해외 현지화 및 수출 • SUPER Concrete 제조시방 및 시험법 ○ 양적 연구개발성과 • 논문 게재: 33편 • 현장적용: 8건(국내 4건, 해외 4건), 1건(적용중), 1건(설계반영) • 상용화: 11건(국내 8건, 해외 3건) • 기술이전: 6건 • 지침·매뉴얼: 13종 • 지적재산권: 특허출원 15건(PCT 2건), 특허 등록(4건), S/W 등록 3건 • 장비: 2건

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	17
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	113
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	123
붙임. 참고 문헌	127

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목표

○ 저비용(제조비용 20%~50% 이상 절감), 장수명(내구수명 100% 증진), 성능 맞춤형(강도 80 MPa~180 MPa 5종, 제작·시공방법 현장타설/공장제작) SUPER Concrete 개발 및 실용화

구분		SC80*	SC100*	SC120* SC120f*	SC150f*	SC180f*
목표 압축강도 (설계기준강도) (MPa)		80	100	120	150	180
제작방법 (현장/공장)**		현장	현장	현장/공장	공장	공장
형태 (Con/FRC)***		Con	Con	Con/FRC	FRC	FRC
인장강도 (MPa)		-	-	- / 7	9	12
제조 비용	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
	비용 (만원/m ³)	15~17	21~23	28~32/ 60~70	75~90	105~115
	목표 국내 (%)	19~21	25	29~30/ 30~33	25~32	12~13
	목표 국외 (%)	58~63	58~61	73~76/ 64~72	64~75	70~73

* 압축강도, 제작방법, 형태, 인장강도는 구조물의 요구 성능 및 형식 등에 따라 변경될 수 있음

** 현장/공장: 현장타설/공장제품

*** Con/FRC: 굽은골재를 포함한 콘크리트/섬유보강 시멘트 복합체

**** 80 MPa: 현재 특수 제작된 콘크리트 가격, 100~150 MPa: 추정가격, 180 MPa: KICT 가격

***** 현장타설 80~120 MPa: 미국(50 MPa 30만원/m³) 고강도 콘크리트 가격 토대로 추정
공장제품 120~150 MPa: 180 MPa 가격을 토대로 추정

(1) 최종 연구 목표

공동/위탁과제명	최종목표	
1-1 80~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 제조 기술 개발 (한국건설기술연구원)	최종목표	압축강도 80~180 MPa급의 현장 타설 및 공장제작이 가능한 맞춤형 SUPER Concrete 개발
	기술성과 수준	- 압축강도 : 80~180 MPa(5종) - 타설방법 : 현장타설, 공장제작 - 제조비용 : 20~50% 저감 (기존 국내·외 동일강도 콘크리트 대비) - 내구수명 : 100년~200년 - 인장강도 : 9~12 MPa - 수축 : 일반 콘크리트 수준($600\sim700 \times 10^{-6}$ 이하)
1-2 SUPER Concrete용 저비용 맞춤형 결합재 기술 개발 (포스코건설)	최종목표	저비용 SUPER Concrete용 결합재 기술 개발
	기술성과 수준	- SUPER Concrete용 결합재 : 5종 - 건설현장 여건 맞춤형 결합재 : 강도 및 사용환경 - 타설방법 : 현장타설, 공장제작
1-3 굵은골재가 혼입된 SUPER Concrete용 화학 혼화제 개발 (실크로드시멘트)	최종목표	굵은골재 사용 SUPER Concrete용 고품질 화학혼화제 개발
	기술성과 수준	- 굵은골재 사용 SUPER Concrete용 고품질 화학혼화제 : 3종 - 종류 : 조강, 수축저감, 분말형 화학혼화제
1-4 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete용 화학 혼화제 개발 (동남기업)	최종목표	섬유보강 SUPER Concrete용 화학혼화제 개발
	기술성과 수준	- 섬유보강 SUPER Concrete용 고성능 감수제 : 3종 - 고성능 혼화제 기술의 국산화 및 20% 이상 비용 절감 - 20% 이상 수축저감형 고성능 혼화제 1종 이상
1-5 성능 등급별 결합재 Pre-mix 기술 개발 (아세아시멘트)	최종목표	성능 등급별 결합재 Pre-mix 기술 개발
	기술성과 수준	- 균질성: 신뢰도 95% 신뢰수준 - 성능등급: 5종 Pre-Packing
1-6 SUPER Concrete의 장기성능 평가 및 표준 시험법 개발 (KCL)	최종목표	SUPER Concrete의 장기성능 평가 및 표준시험법 개발
	기술성과 수준	- 장기성능 평가 및 장기거동 모델 1종 - SUPER Concrete 표준시험법 2종
1-7 섬유보강 효과를 고려한 SUPER Concrete의 재료모델 개발 (대구대)	최종목표	섬유보강 정도에 따른 SUPER Concrete의 역학적 거동 변화의 정량화 및 모델 확립
	기술성과 수준	- 섬유의 분산성 영향 모델 2종 - 섬유의 방향성 영향 모델 2종
1-8 저비용 SUPER Concrete용 적정 골재 사용 기술 개발(청주대)	최종목표	저비용 SUPER Concrete용 적정 혼합 잔골재 및 굵은골재 사용 기술 개발
	기술성과 수준	- 저비용 혼합 잔골재 및 굵은골재: 암종별 산지별 혼합 3종 이상 - 굵은골재 사용 120MPa SUPER Concrete에 적용
1-9 고탄성 폴리머 사용에 의한 SUPER Concrete의 인성 향상 기술 개발(교통대)	최종목표	고탄성 폴리머 사용에 의한 SUPER Concrete의 인성 향상 기술 개발
	기술성과 수준	- SUPER Concrete의 인성 향상 : 10% 이상 - 고탄성 폴리머 : 1종 이상

1-10 SUPER Concrete의 계면파괴 방지를 위한 적정 필러재 사용 기술 개발 (금오공대)	최종목표	SUPER Concrete의 계면파괴 방지를 위한 적정 필러재 사용 기술 개발
	기술성과 수준	- SUPER Concrete용 필러재 2종 - SUPER Concrete의 강도 10% 이상 증진
위탁 1-1 굵은골재가 혼입된 SUPER Concrete의 레올로지 특성 평가 및 예측 모델 개발(명지대)	최종목표	현장적용 SUPER concrete의 레올로지 특성 평가 및 예측 모델 개발
	기술성과수준	- 현장적용 SUPER concrete의 레올로지 특성 평가 및 배합에 따른 예측 모델 - 현장적용 부재의 형상 및 외부환경조건에 따른 레올로지 기준 제시 - 현장에서 측정이 가능한 레올로지 측정장비
위탁 1-2 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete의 레올로지 특성 평가 및 예측 모델 개발(UNIST)	최종목표	공장제작용 SUPER concrete의 레올로지 특성 평가 및 예측 모델 개발
	기술성과 수준	- 섬유보강 모르타르 타입 Super concrete의 레올로지 특성 평가 및 배합에 따른 예측 모델 - 공장제작용 SUPER concrete의 레올로지 측정장비 - 공장제작되는 부재의 형상을 고려한 레올로지 기준
위탁 1-3 무기계 섬유 사용에 의한 SUPER Concrete의 인성 향상 기술 개발(전남대)	최종목표	무기계 섬유 사용에 의한 맞춤형 SUPER Concrete의 인성 향상 기술 개발
	기술성과 수준	- SUPER Concrete의 인성 향상 : 20% 이상 - 무기계 섬유 : 1종 이상
위탁 1-4 SUPER Concrete의 수화모델 개발 (강원대)	최종목표	결합재의 종류 및 배합을 고려한 SUPER Concrete 수화반응 모델 개발
	기술성과 수준	- SUPER Concrete 수화반응 모델
위탁 1-5 SUPER Concrete의 초기 수축 평가 및 예측 모델 개발 (고려대, 한양대)	최종목표	압축강도 80~180 MPa급 SUPER Concrete의 초기 수축 평가 및 예측 모 델 제안
	기술성과 수준	- 수축응력발현시점 정의 : 초기 수축 데이터 신뢰성 증대 - 인장거동 예측 기술 개발 : 초기 채령 인장강도 평가 기법 및 인장강도 발현 예측 기술 개발 - 수축 평가 및 예측 기술 개발 - 균열 평가 및 예측 기술 개발
위탁 1-6 사계절 시공을 고려한 SUPER Concrete의 성능 평가(계명대)	최종목표	온도 변화를 고려하여 SUPER Concrete의 성능 평가
	기술성과 수준	- 동절기 또는 혹한지 : -5~5℃ 동절기 온도 환경에서의 SUPER Concrete의 성능 평가 - 하절기 또는 혹서지 : 30~45℃ 하절기 온도 환경에서의 SUPER Concrete의 성능 평가

(2) 연차별 연구 목표

1-1 세세부 : 80~180 MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 제조 기술 개발(한국건설기술연구원)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete의 구성재료 도출	- 선행 연구 및 기술 분석 - 구조물 종류·형식, 환경조건별 SUPER Concrete의 성능 도출 (3세부와 연관) - 성능 등급을 고려한 결합재 종류 분석(5종 강도) - 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete의 골재 종류 및 사용량 검토 - SUPER Concrete의 표준시험방법 개발(압축 거동) - Prototype SUPER Concrete의 배합 도출(SC80, SC180f MPa 2종)
2차년도	■ SUPER Concrete의 배합기술 확보	- Prototype SUPER Concrete 배합 도출(SC100, SC120, SC150f 3종) - 인성 등급을 고려한 적정 섬유 종류 도출 및 시제품 제작 - 타설방법을 고려한 결합재 종류 분석(현장타설, 공장제작) - SUPER Concrete의 장기거동 시험체 제작 - SUPER Concrete의 장기 내구성능 시험체 제작(10년) - SUPER Concrete의 표준시험방법 개발(직접인장 거동)
3차년도	■ 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 확보	- 경제성을 고려한 SUPER Concrete의 배합 최적화 (굵은골재 SC120, 섬유보강 SC180f) - 섬유의 하이브리드 기술 도출 - 현장타설을 고려한 SUPER Concrete의 믹싱방법 최적화 (레미콘, 배치플랜트 등) - 현장타설 구조물 조건에 따른 SUPER Concrete의 작업시간, 유동성 평가 - 현장타설을 고려한 SUPER Concrete의 양생기법 개발 - SUPER Concrete의 내구성 평가(동결융해, 탄산화 등) - 해외 현지 조건에 적합한 사용재료 분석
4차년도	■ SUPER Concrete의 부재제작 기술 확보	- 경제성을 고려한 SUPER Concrete의 배합 최적화 (굵은골재 SC80, SC100, 섬유보강 SC120f, SC150f) - 해외 현지 재료를 사용한 SUPER Concrete의 배합 기술 - 현장여건(온도 및 습도)을 고려한 제조 및 양생기술 - 부재 적용성 평가(3세부와 연관) - 인성 향상을 통한 섬유의 사용량 저감 기술 - 공장제작을 위한 SUPER Concrete의 양생기법 개발 - SUPER Concrete의 내구수명예측 모델 개발
5~6차년도	■ SUPER Concrete의 실용화 기술 확보	- 구조물 높이를 고려한 펌핑 성능 평가 - 내화성능 평가 - 현장 적용성 평가 및 피드백(3세부와 연관) - SUPER Concrete의 내구수명 예측 - 해외 현지를 고려한 SUPER Concrete의 팩키지화 - SUPER Concrete의 설계기준 재료특성 값 도출 - SUPER Concrete의 제조·제작·시공 지침 개발 (콘크리트표준시방서 규정 준수)

1-2 세세부 : SUPER Concrete용 저비용 맞춤형 결합재 기술 개발(포스코건설)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete의 구성재료 도출	- 선행연구 및 기술 분석 - 선행분석을 통한 개발대상 기술 도출 - 성능등급 및 타설방법을 고려한 결합재 종류 분석 - 건설현장 여건 맞춤형 결합재 기초물성 검토
2차년도	■ SUPER Concrete의 배합기술 확보	- 성능을 고려한 결합재 종류 및 사용량 저감 - 제조비용 분석 - 레미콘 적용기술 검토
3차년도	■ SUPER Concrete의 초기물성 확보 기술 개발 및 나라별 사용가능 결합재 종류 분석	- 조기강도 확보 방안 기술 검토 - 온도에 따른 강도 제어 기술 개발 - 나라별 사용가능 결합재 종류 분석
4차년도	■ SUPER Concrete의 내구성 향상 기술 개발 개발 및 해외 현지 결합재 성능 평가	- SUPER Concrete용 결합재의 탄산화 저항성 향상 기술 개발 - 해외 현지를 고려한 결합재의 성능 평가
5~6 차년도	■ SUPER Concrete의 실용화 기술 확보	- SUPER Concrete용 결합재 Pre-Packing (1-5세세부와 연계) - 현장적용을 통한 SUPER Concrete용 결합재 피드백 - SUPER Concrete용 결합재의 물성 기준 제시

1-3 세세부 : 굵은골재가 혼입된 SUPER Concrete용 화학혼화제 개발(실크로드시엔티)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete의 구성재료별 적합 혼화제 도출	- 기존 선행기술 및 문헌조사 실시 - 유기화합물의 중합반응조건에 따른 SUPER Concrete 전용 혼 화제의 분산 매커니즘의 정립 - 화학혼화제의 화학 구조가 분산성에 미치는 영향 검토 - 화학혼화제 모노머 종류에 따른 흡착, 유동특성 평가
2차년도	■ SUPER Concrete 전용 혼화제 중합기술 확보	- 경제성을 고려한 SUPER Concrete용 혼화제의 제조공정 기술 분석 - 화학혼화제 주쇄 및 측쇄 비율에 따른 분산성 평가 - 결합재 종류에 따른 맞춤형 혼화제 분석 - 강도(80 ~ 120 MPa)별 사용 결합재 및 유동성에 따른 고성능 혼화제 최적화
3차년도	■ 재료사용 변화에 맞는 SUPER Concrete 전용 혼화제 제어기술 확보	- 방청 성능 및 조강성이 부여된 기능성 혼화제 개발 - SUPER Structure용 맞춤형 혼화제 분석 - 결합재 종류에 따른 최적 합성 및 적용 기술 확보 - 수축저감 혼화제 개발
4차년도	■ 기능성이 발휘되는 SUPER Concrete 전용 혼화제 제조 기술 확보	- 경제성을 고려한 화학혼화제 배합 최적화 - 기능성 화합물이 첨가된 고성능 혼화제의 분말제조 기술 적용 - 국외 현장 및 공장 콘크리트 제조방식, 콘크리트 양생 조건에 적합한 분말 혼화제의 개발
5~6 차년도	■ SUPER Concrete 전용 화학혼화제의 현장 필수 제품화 기술 확보	- 현장 및 공장 타설 구조체에 맞는 화학혼화제 Formulation 기 술 표준화 - SUPER Concrete용 기능성 분말 혼화제의 Pre-Mixing 기술 개발 - SUPER Concrete 제조 시 혼화제의 현장 사용 표준 매뉴얼 제작

1-4 세세부 : 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete용 화학혼화제 개발(동남기업)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete용 화학 첨가제 개발	- 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete의 화학혼화제 관련 문헌적 검토 및 자료조사 - 기존 초고성능 혼화제의 성능개선용 화학 첨가 재료의 개발 - 압축강도 120~180 MPa급 FRC의 유동성 확보 - 매우 낮은 W/B에서 사용 가능한 고성능 감수제의 개발
2차년도	■ 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete용 화학 혼화제 성능 개선용 첨가 물질의 개발	- 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete용 화학 첨가제 개선을 통한 압축강도 120~180 MPa급 FRC의 가사시간 및 작업성 확보
3차년도	■ 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete용 수축저감제 시제품 개발	- 120~180 MPa급 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete의 자기수축 변형 저감
4차년도	■ 고기능성 혼화제 성능 개선용 첨가 물질의 개발 및 원가절감	- 고기능성 혼화제 성능 개선용 첨가 물질의 개발 및 초고성능 혼화제와의 혼용성 검토 - 고기능성 화학 혼화제의 분말화 방안 검토를 통한 생산 효율성 증대
5~6 차년도	■ 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete 실용화 기술 확보	- 공장 생산성 평가 - 현장 적용성 평가 및 피드백

1-5 세세부 : 성능 등급별 결합재 Pre-mix 기술 개발(아세아시멘트)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete 결합재의 Pre-mix 기술 및 효율성 평가 방법 도출	- Pre-mix에 대한 선행 연구 및 기술동향 분석 - Pre-mix의 효율성 평가 방법 도출 - 성능 등급을 고려한 결합재 종류별 Pre-mix 제조방법 검토
2차년도	■ SUPER Concrete 결합재의 Pre-mix 제조방법에 대한 최적 조건 도출	- 성능 등급을 고려한 결합재 종류별 Pre-mix 제조방법에 대한 최적 조건 도출 - 시험체 제작용 SUPER Concrete 결합재에 대하여 Pre-Mix 효율성 평가
3차년도	■ SUPER Concrete 결합재의 Pre-mix 제조 기술 확보(1)	- Pre-mix 설비를 활용하여 SUPER Concrete 결합재 제조(SC80, SC100, SC180f) - Pre-mix 설비를 활용하여 제조한 SUPER Concrete 결합재에 대한 Pre-Mix 효율성 평가
4차년도	■ SUPER Concrete 결합재의 Pre-mix 제조 기술 확보(2)	- Pre-mix 설비를 활용하여 SUPER Concrete 결합재 제조(SC120f, SC150f) - Pre-mix 설비를 활용하여 제조한 SUPER Concrete 결합재에 대한 Pre-Mix 효율성 평가
5~6 차년도	■ SUPER Concrete 결합재의 Pre-mix 실용화 기술 확보	- Pre-mix 설비를 활용하여 SUPER Concrete 결합재 제조 - Pre-mix 설비를 활용하여 제조한 SUPER Concrete 결합재에 대한 Pre-Mix 효율성 평가 - Pre-mix 결합재의 제조·시공 지침 작성

1-6 세세부 : SUPER Concrete의 장기성능 평가 및 표준 시험법 개발(KCL)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete 강도수준별 특성요인 도출 ■ 체적변화 평가기반 구축	- 국내외 표준시험방법 비교 및 검토 (휨인장강도 및 크리프) - 강도수준별 휨인장강도 특성요인 검토 - 건조수축, 크리프 평가기반 구축
2차년도	■ SUPER Concrete용 휨인장강도 시험방법 개발 ■ 장기내구성 및 장기거동 평가기법 적합성 평가 및 실험	- SUPER Concrete용 휨인장강도 시험방법 개발 - 염해저항성 폭로시험체 해양시험장 거치 - 건조수축, 크리프 평가기반 적합성 평가 - 건조수축, 크리프 장기거동 시험체 거치
3차년도	■ SUPER Concrete 염해 저항성 평가 ■ 크리프 표준시험 방법 개발	- SUPER Concrete의 염해 저항성 평가 - 염해저항성 폭로시험체 성능 예측(재령 1년) - SUPER Concrete의 크리프 표준시험 방법 개발 - 건조수축, 크리프 장기거동 시험체 예측(재령 1년)
4차년도	■ SUPER Concrete의 염해 내구수명 특성 평가 및 장기거동 시험체 예측	- SUPER Concrete의 염해내구수명 모델 개발 - 염해저항성 폭로시험체 성능 예측(재령 2년) - 건조수축, 크리프 장기거동 시험체 예측(재령 2년)
5차년도	■ SUPER Concrete 장기거동 시험체 예측 및 모델 개발	- SUPER Concrete 크리프 모델 개발 - 염해저항성 폭로시험체 성능 예측(재령 3년) - SUPER Concrete의 염해내구수명 예측 - 건조수축, 크리프 장기거동 시험체 예측(재령 3년)

1-7 세세부 : 섬유보강 효과를 고려한 SUPER Concrete의 재료모델 개발(대구대)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 기존 FRC의 섬유보강 효과 사례 분석	- 강도 및 배합구성별 비교 검토 - 섬유의 종류, 혼입률, 형상 등 영향의 경향 분석
2차년도	■ 골재구성 특성과 섬유보강 효과 관계 규명	- 골재크기에 따른 섬유보강 효과 규명 - 골재 사용량에 따른 섬유보강 효과 규명
3차년도	■ SUPER Concrete 레올로지 특성 연계 섬유보강 정량화	- 레올로지 특성과 섬유의 분산성 관계 규명 - 제조 프로세스에 따른 섬유 분포 특성 규명
4차년도	■ 섬유보강효과 연계 SUPER Concrete 연계 역학적 거동 모델 구축	- 압축 및 인장거동 특성 평가 - 섬유보강 효과를 고려한 역학적 거동 모델 구축 - 하이브리드 보강기법에 대한 정량적 고려 기법

1-8 세세부 : SUPER Concrete용 적정 골재 사용 기술 개발(청주대)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 콘크리트 성능 등급별 골재 도출	- 콘크리트 성능등급별 골재의 요구성능 도출 - 골재 압중별 잔골재 및 굵은골재의 물성 분석 - 골재종류 및 크기에 따른 콘크리트의 물성 평가 - 콘크리트 성능별 골재요구 성능 요인 도출
2차년도	■ SUPER Concrete의 성능 등급 및 경제성을 고려한 혼합 굵은골재 선정	- 혼합 굵은골재의 물성 분석 - 혼합 굵은골재를 사용한 SUPER Concrete의 물성 평가 - 경제적인 혼합 굵은골재의 최적조합 결정
3차년도	■ SUPER Concrete 성능 등급 및 경제성을 고려한 혼합 잔골재 선정	- 골재 종류 및 혼합에 따른 혼합 잔골재의 물성 분석 - 혼합 잔골재와 굵은골재를 사용한 SUPER Concrete의 성능등급별 물성 평가 - SUPER Concrete 성능 등급별 경제적인 혼합 잔골재와 굵은골재의 최적조합 결정
4차년도	■ SUPER Concrete의 부재 제작에 적용	- 경제성을 고려한 SUPER Concrete의 배합 최적화를 위한 최적 골재 조합 결정

1-9 세세부 : 고탄성 폴리머 사용에 의한 SUPER Concrete의 인성 향상 기술 개발(한국교통대)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 탄성재료의 종류별 성능 분석 및 선정	- 해외 탄성재료 및 탄성콘크리트 관련 자료 분석 - SUPER Concrete에 사용 가능 탄성재료의 종류별 물리적 역학적 성상 분석 및 선정
2차년도	■ 탄성에너지 흡수 시멘트 매트릭스 제조기술 개발	- 탄성 재료의 최적 사용 배합비 도출 - 시멘트 매트릭스의 제조기술 개발 물리적·역학적 성능 검토
3차년도	■ 탄성콘크리트 개발 및 성능 검증	- 탄성 콘크리트 개발 및 공학적 특성 검토 - 탄성 콘크리트의 탄성 흡수능력 검토
4차년도	■ 기존 강섬유 사용 SUPER Concrete와의 하이브리드화	- 기존 강섬유 사용 SUPER Concrete와의 하이브리드화를 위한 적정 폴리머 사용량 분석 - 하이브리드 SUPER Concrete의 기초 물성 및 역학적 특성 평가

1-10 세세부 : SUPER Concrete의 계면파괴 방지를 위한 적정 필러재 사용 기술 개발(금오공대)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete용 필러재 종류 분석	- 선행연구 및 기술 분석 - 국내외 사용가능 필러재 종류 도출 - 사용 가능 필러재의 물성 평가 - 필러재 종류에 따른 콘크리트의 물성 평가
2차년도	■ SUPER Concrete의 계면파괴 방지를 위한 적정 필러재 도출	- 강도등급에 따른 적정 필러재 종류 도출 - 강도등급에 따른 적정 필러재 혼입률 도출
3차년도	■ 필러재 사용 SUPER Concrete의 기초 물성 및 역학적 특성 평가	- 필러재 사용 SUPER Concrete의 기초물성 평가 - 필러재 사용 SUPER Concrete의 역학적 특성 평가
4차년도	■ 필러재 사용 SUPER Concrete의 내구성 및 경제성 평가	- 필러재 사용 SUPER Concrete의 내구성 평가 - 필러재 사용 SUPER Concrete의 경제성 평가

위탁 1-1 : 굵은골재가 혼입된 SUPER Concrete의 레올로지 특성 평가 및 예측 모델 개발(명지대)

연차	연구목표	주요연구내용
2차년도	■ 현장적용 SUPER Concrete의 레올로지 특성 분석 및 목표 성능 도출	- SUPER Concrete 배합별로 온도 및 배합조건(혼화제 사용량)에 따른 레올로지 특성 실험 - 재료분리저항성 및 유동성에 따른 레올로지 기준 설정
3차년도	■ 현장적용 SUPER Concrete에 대한 레올로지 시뮬레이션 및 현장시험 방법 도출	- 현장 적용 SUPER Concrete를 대상으로 기존 시험법 (슬럼프 및 슬럼프 플로우)에 대한 유동 시뮬레이션 - 레올로지 특성을 현장에서 간편하게 측정할 수 있도록 기존 시험법의 변경 또는 새로운 시험방법의 제안
4차년도	■ 현장적용 시험방법 개발 및 검증	- 유동 시뮬레이션으로부터 제시된 실험방법의 현장적용 SUPER Concrete 대상 실험을 통해 검증 - 현장적용 레올로지 측정 장치 개발
5차년도	■ 현장적용 SUPER Concrete의 레올로지 기준 및 예측모델 제시	- 현장적용 SUPER Concrete의 레올로지 기준 제시 - 배합별 레올로지 예측 모델 제시 - 측정된 레올로지와 펌핑 성능의 상관성 도출

위탁 1-2 : 섬유보강 모르타르 타입 SUPER Concrete의 레올로지 특성 평가 및 예측 모델(UNIST)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete의 레올로지 특성 분석 및 목표성능 도출	- SUPER Concrete 제조 시 사용할 배합을 고려하여, 비교군으로 일반 모르타르 배합의 레올로지 특성 측정을 통한 데이터베이스 구축
2차년도	■ SUPER Concrete 공장제작을 고려한 레올로지 시뮬레이션 기법 개발	- 공장제작 SUPER Structure 부재를 고려한 채움 성능(filling ability) 시뮬레이션으로 성형성 분석
3차년도	■ 공장제작용 SUPER Concrete의 레올로지 시험기 개발	- 레올로지 시뮬레이션을 통한 최적의 흐름 시험기 형상을 결정 하여 프로토타입 레올로지 시험기 설계
4차년도	■ 공장제작용 SUPER Concrete 배합 최적화를 위한 레올로지 기준 설정	- 공장제작되는 부재의 성형성을 확보할 수 있는 레올로지 특성의 기준 설정 및 검증 시험법 제시

위탁 1-3 : 무기질 섬유 사용에 의한 SUPER Concrete의 인성 향상 기술 개발(전남대)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 무기질 섬유를 활용한 SUPER Concrete의 가능성 검토	- 인성 향상을 위한 무기질 섬유의 선행 연구 및 기술 분석 - 기존 UHPC에 무기질 섬유의 적용성 검토 및 인성 향상 방안 도출
2차년도	■ 무기질 섬유를 활용한 SUPER Concrete의 기초 설계	- 무기질 섬유를 혼입한 UHPC의 성능 평가 - 무기질 섬유의 계면 특성 평가
3차년도	■ 맞춤형 SUPER Concrete에 적합한 최적 배합 도출	- 맞춤형 SUPER Concrete별 무기질 섬유의 특성(섬유 길이, 섬유 표면 특성) 최적화를 통한 최적 배합 도출
4차년도	■ 무기질 섬유를 활용한 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 확보	- 유동성 확보 등을 통한 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 확보 - 기존 강섬유 사용 SUPER Concrete와의 하이브리드 방안 분석 (적정 섬유 조합 등)

위탁 1-4 : SUPER Concrete의 수화모델 개발(강원대)

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ SUPER Concrete의 수화반응 모델 프로토타입 구축	- SUPER Concrete 결합재 화학 성분 분석 - 기존의 시멘트 수화반응 모델을 이용한 SUPER Concrete 수화반응 모델 구축 프로세스 수립
2차년도	■ SUPER Concrete의 수화반응 모델 구축	- SUPER Concrete 수화반응속도 및 수화반응도 예측 모델 구축 - SUPER Concrete 결합재 종류별 수화반응 모델 구축
3차년도	■ SUPER Concrete의 수화반응 모델을 이용한 역학적 성능 평가	- SUPER Concrete 수화반응 모델을 이용한 수화생성물량 예측 - SUPER Concrete 수화반응 모델을 이용한 압축강도 예측
4차년도	■ SUPER Concrete의 수화반응 모델을 이용한 열적 성능 평가	- SUPER Concrete 수화반응 모델을 이용한 수화발열 속도 및 발열량 예측 - SUPER Concrete 수화반응 모델을 이용한 SUPER Concrete 온도 변화 예측

위탁 1-5 : SUPER Concrete의 초기 수축 평가 및 예측 모델 개발(고려대, 한양대)

연차	연구목표	주요연구내용
2차년도	■ SUPER Concrete의 수축응력발현시점 정의	- 선행 연구 및 기술 분석 - 구속요인에 대한 SUPER Concrete의 초기 구속수축 거동 평가 - SUPER Concrete 초기 수화열 및 자유수축 거동 평가 - SUPER Concrete 응결특성 평가 - SUPER Concrete 수축응력 발현 시점 정의
3차년도	■ SUPER Concrete의 초기 인장거동 평가	- SUPER Concrete 극 초기 인장거동 시험장비 개발 - SUPER Concrete 초기 인장거동 평가 - 초기 인장강도를 고려한 SUPER Concrete의 인장강도 발현 예측모델 개발
4차년도	■ SUPER Concrete의 수축 평가 및 예측 기술 개발	- SUPER Concrete 자기수축, 건조수축 평가 - SUPER Concrete 구속수축 평가 - SUPER Concrete 자기수축 예측 모델 개발

위탁 1-6 : 사계절 시공을 고려한 SUPER Concrete의 성능평가(계명대)

연차	연구목표	주요연구내용
2차년도	■ 사계절 시공을 고려한 SUPER Concrete의 기초물성 평가	- 동절기 시공조건을 고려한 SUPER Concrete의 시공성 및 응결특성 등 굳지 않은 콘크리트의 특성 평가 - 하절기 시공조건을 고려한 SUPER Concrete의 시공성 및 응결특성 등 굳지 않은 콘크리트의 특성 평가
3차년도	■ 하절기 또는 혹서지를 고려한 SUPER Concrete의 경화 특성 평가	- 하절기 또는 혹서지를 고려한 열적 특성 평가 - 하절기 또는 혹서지를 고려한 강도발현 특성 평가
4차년도	■ 동절기 또는 혹한기를 고려한 SUPER Concrete의 경화 특성 평가	- 동절기 또는 혹한기를 고려한 강도발현 특성 평가 - 동절기 또는 혹한기에서 초기강도 확보를 위한 양생방법 분석

나. 연구개발 필요성

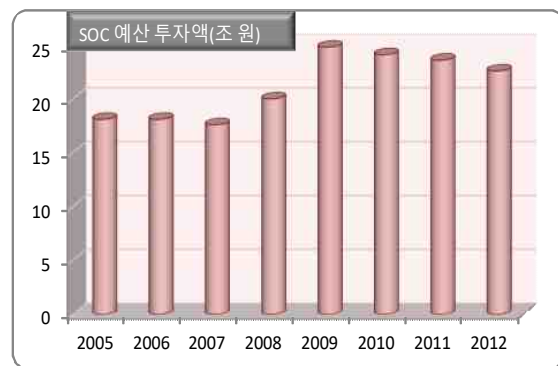
(1) 연구 배경 및 목적

□ 예산 절감형 SOC 시설물 기술 수요 증대

- 도로·철도 구조물 등 SOC 시설물은 국가 교통망의 핵심시설이며 대표적인 공공시설물로서 지역균형 개발, 물류·교통망의 구축, 해양공간의 효율적인 활용 등에 필수적이므로 향후에도 지속적인 수요가 예상됨
- 국내 도로교는 총 27,381개(2010년)로 매년 약 1,000개씩 증가하고 있고, 연간 교량수 주역도 2000년 이후 꾸준히 증가하고 있으나, SOC 전체 투자 예산은 2009년 24.8조 원에서 2012년 22.6조 원으로 감소 추세임
- 따라서 한정된 예산으로 SOC 시설물을 효율적으로 건설하기 위해서는 비용절감형 SOC 시설물 기술 개발이 필요함



[그림] 연도별 교량 수 변화



[그림] 연도별 SOC 투자 예산

□ SOC 시설물의 유지관리 비용으로 많은 국가예산 소요

- 비용 측면의 경쟁력으로 인해 SOC 시설물에는 콘크리트가 주로 사용되고 있음. 예를 들어 국내 교량 수의 80% 정도가 콘크리트 교량임
- 일반 콘크리트로는 SOC 시설물 비용절감에 한계가 있음. 국내 교량의 경우에 평균 수명은 30년~50년 정도로 선진국 50년~100년에 비해 상대적으로 짧아 유지관리비용이 많이 소요되어 국가예산 측면에서 상당한 부담이 있음



[그림] 나라별 교량 수명 비교

- SOC 시설물 중 대표적인 구조물인 교량의 잦은 보수·보강 및 교체 공사는 교통 체증 및 사고를 유발함으로써 국민 삶의 질을 저하시키고 물류비용을 증가시켜 엄청난 사회적 비용의 지출을 요구하게 되며 국가예산을 낭비시키는 원인이 됨

※ 전국 교통혼잡 비용은 2007년도 25.9조 원으로 1998년도 12.2조 원에 비해 2배 이상 증가되고 있음(국가통계포털, KOSIS, 2010)

- 따라서 SOC 시설물 수명을 연장시키는 것은 국민 삶의 질 향상뿐만 아니라 국가예산

절감 측면에서도 매우 중요함

※ 교량 수명 1년 연장 시 국가예산 연간 560억 원 절감

- **국내 신규건설 투자는 2007년 기준 약 85조 원, 유지관리 수요는 약 23조 원으로 꾸준히 증가하고 있으며 SOC 및 도시 건축 시설물의 노후화에 따라 관련분야 수요의 비중 또한 2007년 기준 건설투자비용에 약 27% 수준으로 꾸준히 증가하고 있음.** 이러한 유지관리비용의 비중은 시설물의 노후화가 많이 진행된 유럽·미국·일본 등과 비교할 때 아직 낮은 수준으로(서구 15개국 평균이 약 44%) 앞으로 국내 사회기반시설의 노후화가 30년을 넘는 시점부터 급격하게 증가할 것으로 예측됨

[표] 주요시설물 유지관리 추세 (대한유지관리협회, 단위 10억 원)

연도	2003	2004	2005	2006	2007
건설투자수요(A)	79,037	79,037	81,196	84,176	84,985
유지관리수요(B)	20,517	21,149	21,783	22,462	23,173
비중(B/A, %)	26.0	26.8	26.8	26.7	27.3

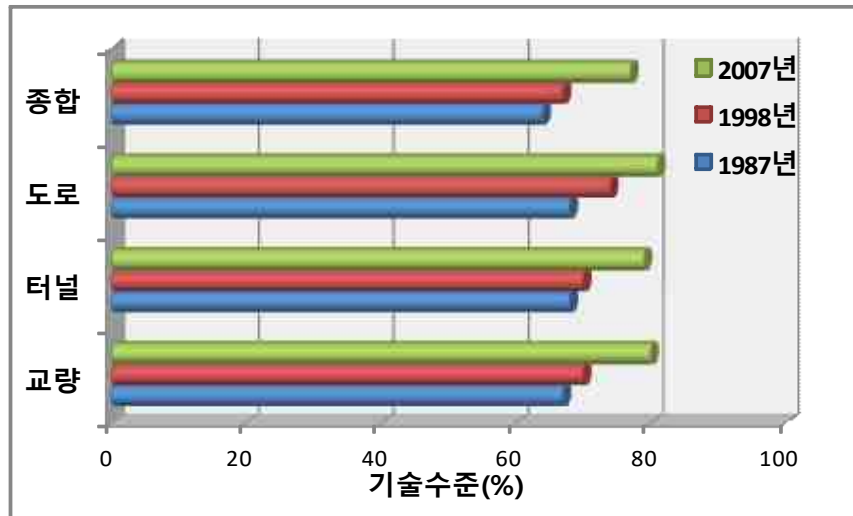
- **국내 건설산업 침체를 타파하기 위해 다양한 해외 건설시장 확대가 필수**
 - **국내 SOC 시설물에 대한 국가예산은 감소 추세인 반면, 동남아시아를 비롯한 개발도상국 및 중동 지역을 중심으로 한 해외 건설시장은 섬과 육지 간의 연결, 해양·지하 공간 확충, 초고층 건물 건설 등 다양한 환경에 대한 건설 수요가 급격히 증가하고 있음**
 - 최근 **중동지역**의 민주화 사태가 마무리됨에 따라 기 예정된 발주물량 이외에 각종 **전후 복구사업의 추가로 인프라 발주가 확대될** 가능성이 매우 높음
 - 아프리카, 알제리의 경우 2014년까지 약 420억 불을 투입하여 인프라 구축예정이며 남수단에서도 인프라 개발 10개년 계획에 따라 주바와 주도를 잇는 교량 건설을 계획 중임
 - 따라서 국내 건설산업 침체를 타파하기 위해서는 다양한 해외 건설시장 확대가 필수적으로 요구됨

[표] 해외 건설시장 현황

국가	사업 개요
태국	○ 중동 산유국과 동아시아를 연결하기 위해 말라카 해협 횡단 프로젝트를 계획 중이며, 많은 일반 교량, 장대교량이 포함된 고속도로 건설 등이 포함됨
베트남	○ 교량과 고속도로 및 항만공사 등 6개의 주요 SOC 시설물 건설을 위한 대규모 프로젝트가 계획되고 있어 향후 동남아 최대 건설시장 형성 가능
인도네시아	○ 경제개발 마스터플랜(2011년~2025년)의 주요사업 일환으로 순다해협을 가로질러 자바 섬과 스마트라 섬을 연결하는 순다해협대교(31 km, 약 19조 원 규모) 건설이 2025년 완공을 목표로 2013년부터 타당성 조사 시작 예정
라오스	○ 인도차이나 반도를 종단하는 메콩강 등에 많은 교량 건설 계획 중
GCC (걸프협력회의)	○ GCC 철도망 구축 프로젝트 (2012~2020, 120조 원 규모) GCC 회원국을 연결하는 2,000 km 철도망으로 구성 ○ 2022년 월드컵 개최를 앞두고 인프라 개발, 메트로 사업 등 수행 중 또는 계획: 2012년 말까지 메트로와 철도노선을 포함한 29개의 건설패키지(각 1.1조 원 규모) 발주 계획
중국	○ 1,100조 원대의 세계최대시장으로 부상한 중국의 경우, 한중 FTA 체결, 정부조달 시장 개방이 이루어질 경우 우리 기업 최대시장으로 부상할 가능성이 큼
아프리카	○ 사하라 이남 아프리카 지역의 건설시장은 세계 경제위기에도 불구하고 신규 유전 발전 등의 호재로 산유국(플랜트, 인프라)과 광물자원 보유국(발전, 인프라)을 중심으로 증가세 지속 ○ 2010년 말부터 주빌리 유전에서 석유생산이 시작된 가나의 경우 대규모 주택개발 및 플랜트 공사 등에서 수주 확대가 기대 ○ 국제금융기관 차관공사와 연계된 인프라 개발, 대형 주택단지 건설 분야 진출 확대 전망
기타 지역	○ 중남미 최대 시장인 브라질과 인프라 투자 확대 추세에 있는 멕시코, 개방화에 성공한 칠레, 페루, 콜롬비아 등을 중심으로 건설 투자가 지속 확대될 전망 ○ 브라질은 2014년 월드컵과 2016년 올림픽 개최로 대규모 인프라 공사가 예상 ○ 석유화학 및 발전 플랜트를 중심으로 수주확대 전망

□ 국내 기술력 미약으로 인한 해외시장 진출 분야 편중 및 순이익률 하락

- SOC 시설물에 대한 국내 기술력은 선진국 대비 80% 수준으로 낮으며(제4차 건설기술 진흥기본계획 수정계획(국토해양부), 2009. 7), 특히 건설엔지니어링 분야의 세계시장 점유율은 1.2%(수주액 8억 달러, 2012년 기준) 정도로서 고부가가치 분야에 대한 기술력은 미약한 수준



[그림] 주요 SOC 시설물의 선진국 대비 기술수준

[표] 엔지니어링 분야 세계시장 점유율 (단위: 백만 달러)

구분	2002년		2004년		2006년	
	매출액	비중	매출액	비중	매출액	비중
미 국	8,500.0	45.1%	10,106.7	41.8%	13,916.1	42.1%
캐나다	1,717.1	9.1%	2,280.9	9.4%	3,072.1	9.3%
유 럽	7,349.2	39.0%	9,094.4	37.7%	11,351.3	34.3%
일 본	542.3	2.9%	922.0	3.8%	938.0	2.8%
중 국	150.3	0.8%	249.8	1.0%	584.0	1.8%
한 국	6.9	0.04%	51.9	0.2%	528.6	1.6%
계	18,863.7	100.0%	24,154.7	100.0%	33,054.0	100.0%

- 이로 인해 해외건설 수주는 증가하고 있으나(2011년 해외건설 수주액은 580억 달러, 2012년 650억 달러 달성, 2013년 700억 달러 수주 목표), **플랜트가 80%를 차지할 정도로 한 분야에 편중되어 있고, 순이익률 또한 저조한 문제점을 야기함**
- 이러한 해외 건설시장 진출의 문제점을 극복하기 위해서는 다양한 SOC 시설물 분야에 대한 기술개발을 통해 설계 엔지니어링 등 **고부가가치 분야의 해외 진출이 필요함**
- 이를 위해서는 **R&D에 의해 가격 경쟁력이 확보된 원천기술을 개발하여야 할 뿐만 아니라 제도기준의 글로벌 스탠더드화를 주도하는 등 세계시장에서의 기술 우위권을 확보하여야 함**
- 또한 세계 시장 진출 시에는 **R&D에 의한 원천기술뿐만 아니라 민간기업의 설계·시공 기술과 함께 정부의 자금 조달 등 관리 기술이 함께 어우러진 패키지 형태의 진출이 이루어져야 함**

(2) 연구개발의 중요성

(가) 기술적 측면

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

(나) 경제-산업적 측면

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

(다) 사회적 측면

- 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 글로벌 경쟁력 강화에 기여
- 본 사업을 통해 개발된 기술의 교량, 건물 등의 시설물에 적용을 통한 관련기술 파급효과
- 제안 기술은 기존 기술 대비 내구성 및 안전성이 강화된 기술로서 재해·재난에 대한 안전성 강화 및 예방 중심적 기술로서 국민행복기술에 해당

(라) 정부정책적 측면

- 구조물의 저비용·장수명화에 요구되는 기술개발 및 활용에 필요한 관련기준 개발은 공공적 성격이 강함
- 관련연구에 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 필요

하며, 국제적인 기술우위를 점유하기 위해서는 정부지원 하에 체계적인 연구개발이 필요함

- 개별 진행되는 연구의 통합, 사회간접비용 절감, 건설 분야 탄소배출량 저감 및 장기적인 연구개발의 필요 측면에서 본 연구단에 대한 정부의 지원은 타당하다고 판단됨

2. 연구수행내용 및 성과

가. 80~120 MPa급 굵은골재 사용 SUPER Concrete

(1) 굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합

(가) 배합설계

① 이론 근거

- 물-결합재비 저감, 수화생성물의 증대 효과로 시멘트 경화체의 고강도화, 양질의 골재 사용, 강도등급에 따른 골재의 종류·크기 고려

② 결합재 종류 분석

○ 실험개요

- 실험변수 : 플라이애시(FA) 15%, 고로슬래그(BS) 30%, 실리카폼(SF) 10%
- 실험항목 : 슬럼프 플로, 압축강도

[표] 결합재 종류 검토용 배합

Type	W/B (%)	S/a (%)	SP/C (%)	Unit weight(kg/m ³)						
				W	C	BS	FA	SF	Agg	S
BS30	20	42	0.97	160	560	240	-	-	828	595
FA15	20	42	0.97	160	680	-	120	-	813	584
SF10	20	42	0.97	160	720			80	876	630

○ 실험결과

- 유동성 실험결과

- 동일한 고성능 감수제 사용량 조건에서 혼화제로 BS 30%, FA 15%를 사용한 콘크리트는 슬럼프 플로가 각각 800 mm, 750 mm 정도로 유동성이 우수
- SF 10%를 사용한 콘크리트는 슬럼프 플로를 측정할 수 없을 정도로 유동성이 크게 저하되는 것으로 분석됨

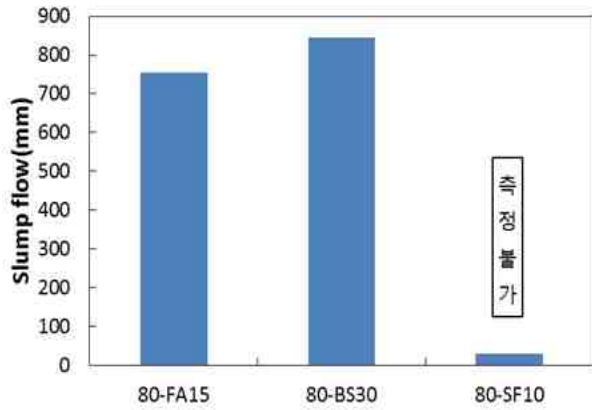
- 압축강도 실험결과

- 대상으로 한 모든 배합에서 재령 28일에서 압축강도 80 MPa 이상이 발현되었으나, 재령 28일에서 설계기준강도를 고려한 경우에는 BS30과 SF10 배합만 만족하는 것으로 나타남
- 일반적으로 고강도 콘크리트에서 SF를 혼화제로 사용하는 경우가 강도에 가장 유리하는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서 BS 30%를 사용한 경우가 재령에 관계 없이 가장 강도발현이 우수한 것으로 나타남

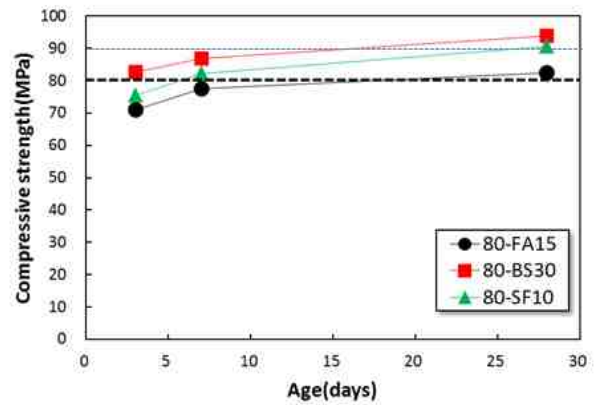
③ 물-결합재비 분석

○ 실험개요

- 실험변수 : W/B 0.15, 0.175, 0.2, 0.225, 0.25, 0.275
- 결합재 : 2성분계(OPC90+SF10)
- 골재 : 잔골재(부순모래:세척사=3:7 (F.M.=2.3)), 굵은골재(석회암(G_{max} :20 mm))
- 배합설계 : 슬럼프 플로 650±100 mm를 만족하는 범위에서 감수제 사용량 조정



(a) 유동성

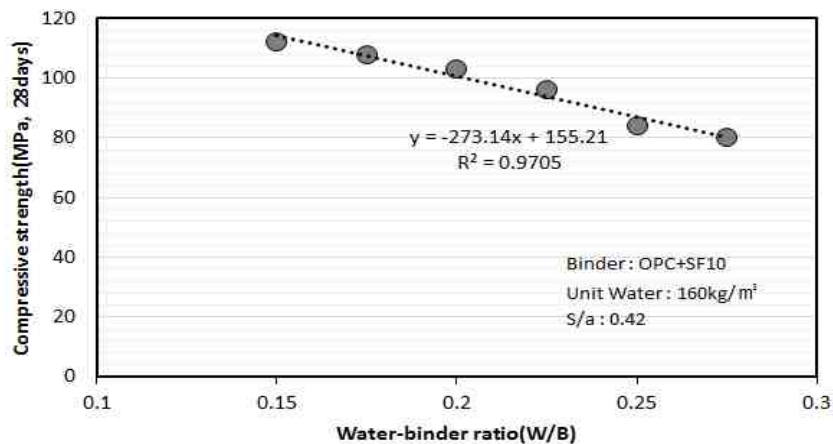


(b) 압축강도 발현

[그림] 결합재 종류에 따른 영향

[표] W/B 검토용 배합

W/B	S/a (%)	SP/C (%)	Unit weight(kg/m ³)				
			W	C	SF	S	G
0.15	42	0.97~0.60	160	960	107	488	697
0.175				823	91	540	773
0.20				720	80	579	828
0.225				640	71	609	871
0.25				576	64	633	905
0.275				524	58	652	933



[그림] W/B에 따른 SUPER Concrete의 압축강도(재령 28일)

○ 실험결과

- W/B가 낮을수록 압축강도가 향상되고 있으며, 이것은 기존의 물-결합재비 이론(Abrams) 및 결합재-물비 이론(Lyse)에 일치하는 결과임
- 적정 W/B 도출 : SC100은 0.2, SC120은 0.15가 적정한 것으로 분석됨. 여기서, SC120은 W/B 0.15로 목표강도를 달성하지 못하였으나, 적절한 혼화재 종류 및 사용량, 골재의 종류 및 크기 사용으로 강도를 향상시킬 수 있으므로 0.15로 결정하였음
- 여기서 도출한 W/B는 다양한 실험을 통해 그 결과에 따라 수정이 가능함

④ 골재 종류 분석

○ 굵은골재 종류

- 시험변수

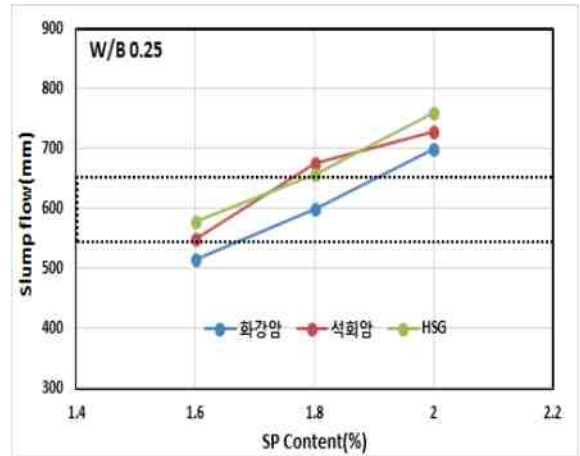
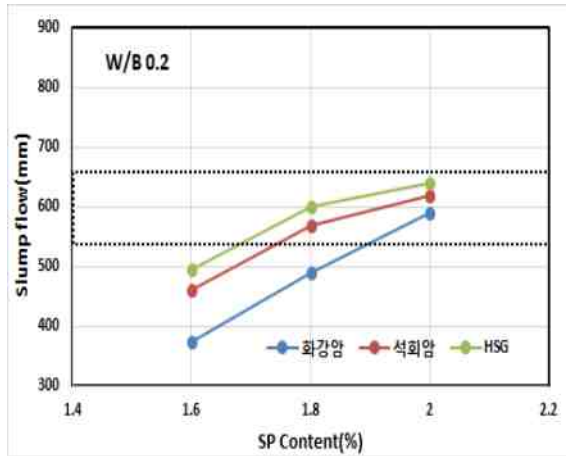
- 골재종류 : 화강암, 석회암, 실리카질 석회암(HSG)
- 물-결합재비(W/B) : 0.2, 0.25
- 고성능 감수제의 사용량(B×wt.%) : 1.6%, 1.8%, 2.0%
- 목표 슬럼프 플로 : 600 ± 50 mm

[표] 굵은골재 형상 및 가격

종류				
	화강암	순환 석회암	순환 실리카질 석회암(HSG)	현무암
가격 (원/㎥)	15,00원 ~20,500원 (평균 17,000원)	6,000원	5,500원	22,000원

- 유동성 시험결과

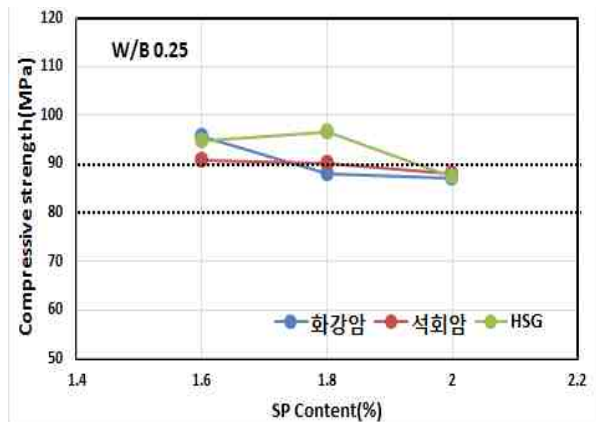
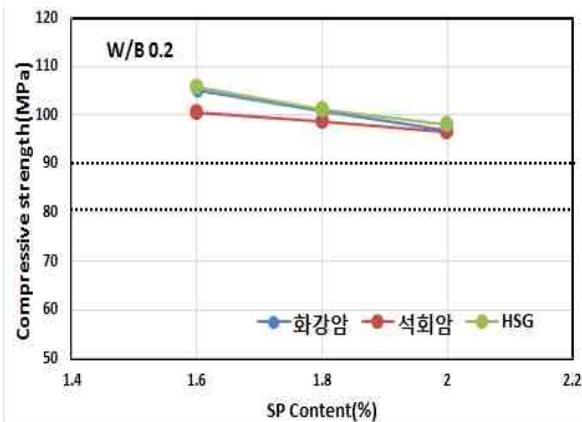
- W/B에 관계없이 고성능 감수제(SP) 사용량이 증가할수록 슬럼프 플로가 증가하고 있으며, 동일한 SP제 사용량에서 실리카질 석회암 골재(HSG), 석회암, 화강암 순서로 유동성이 증가하는 것으로 나타나고 있음
- W/B 0.2의 경우, SP제 사용량 1.8%일 때 석회암 골재와 HSG 골재는 목표 슬럼프 플로 600 ± 50 mm를 만족하고 있으나, 화강암 골재를 사용한 경우에는 목표 슬럼프 플로를 만족하지 못하고 있으며, 석회암 골재를 사용할 경우 화강암 골재에 비해 SP 사용량을 10% 정도 절감할 수 있는 것으로 분석됨
- W/B 0.25의 경우, SP제 사용량 1.6%일 때 석회암 골재와 HSG 골재는 목표 슬럼프 플로 범위를 만족하고 있으며, 화강암 골재에 비해 SP 사용량을 11% 정도 절감할 수 있는 것으로 분석됨



[그림] 굵은골재 종류와 W/B에 따른 고성능 감수제 사용량

- 압축강도 시험결과

- 설계기준강도 SC80을 만족할 수 있는 설계기준강도는 90 MPa로 설정할 경우에는 W/B 0.25에 석회암 또는 HSG 골재를 사용하고, SP제 사용량 1.8%의 배합조건에서 만족하는 것으로 분석됨



[그림] 굵은골재 종류와 W/B에 따른 압축강도

○ 잔골재 종류

- 시험변수

[표] 잔골재 종류 및 물성

분류		밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	실적률 (%)	조립률	0.08mm체 통과량
부순 모래	석회암	2.7	1.3	58.5	2.8	4.9
	화강암	2.5	2.7	54.3	3.3	4.6
세척사		2.5	2.3	58.8	2.2	1.54
전기로		3.4	1.9	55.8	3.1	9.3

			
석회암	화강암	세척사	전기로

- 유동성 시험결과

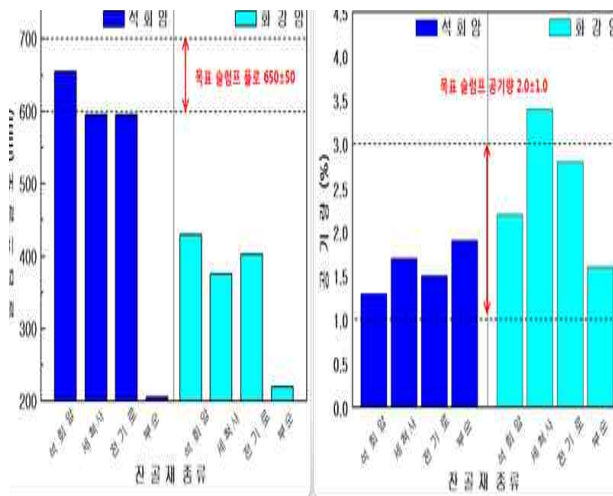
- 석회암 잔골재가 유동성이 가장 우수하고, 화강암 잔골재는 유동성이 크게 저하되는 것으로 나타남

- 압축강도와 탄성계수 시험결과

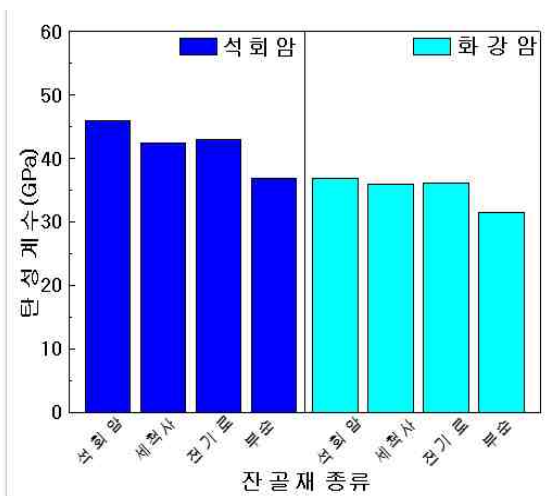
- 압축강도 : 석회암, 세척사, 전기로 골재는 거의 동등하며, 재령 28일에서 100 MPa 이상을 발현하고 있으나, 화강암 잔골재는 강도 저하가 발생하는 것으로 나타남
- 탄성계수 : 석회암 잔골재가 가장 크고, 화강암 골재의 가장 낮은 것으로 나타남

- 자기수축

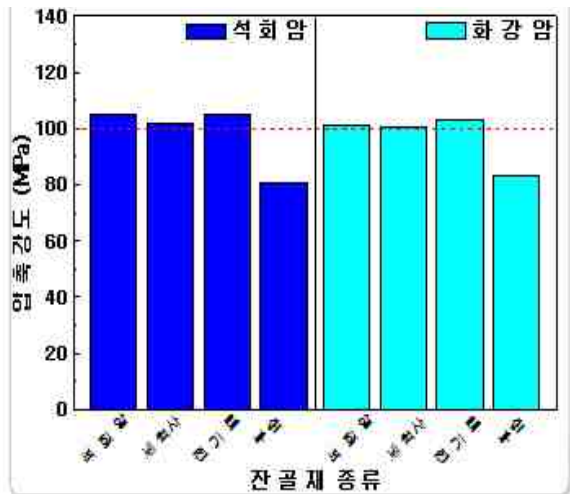
- 전기로 잔골재가 가장 작고, 세척사, 석회암 잔골재 순서로 자기수축이 감소하고, 화강암 부순모래는 굽은골재 종류에 관계없이 자기수축이 큰 것으로 나타남



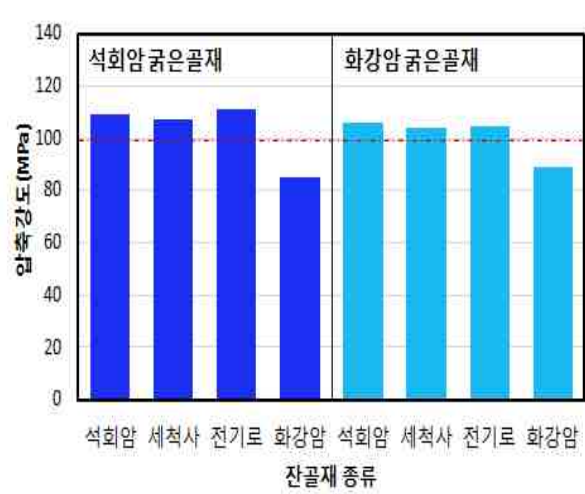
슬럼프 플로 및 공기량



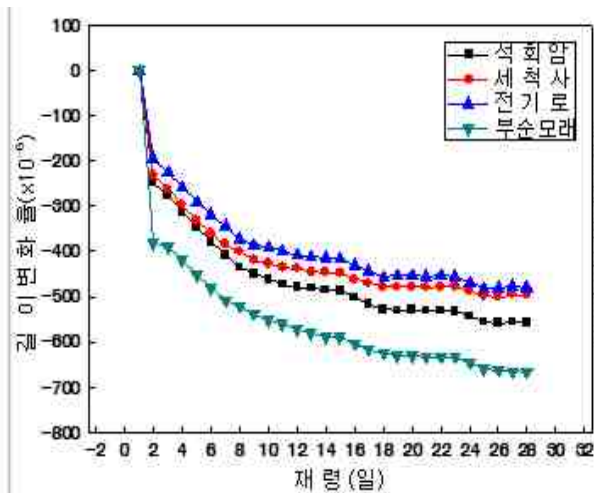
탄성계수(재령 28일)



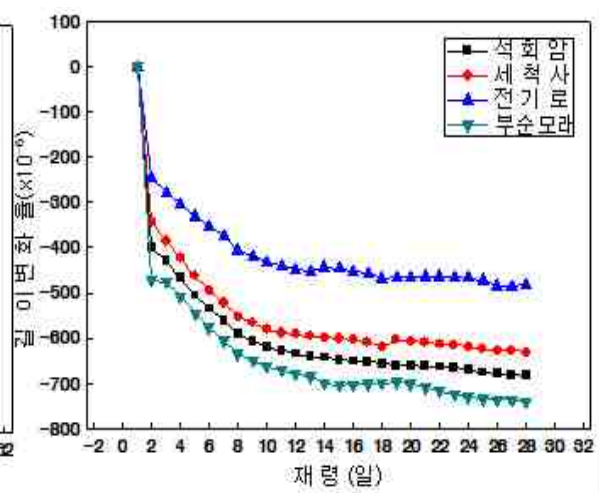
압축강도(재령 28일)



압축강도(56일)



자기수축(석회암 굵은골재)



자기수축(화강암 굵은골재)

[그림] 잔골재 종류에 따른 SC의 특성

④ SC80 배합

○ 시험변수

- 단위수량 : 140, 145, 150, 155, 160 kg/m³
- S/a : 34%, 38%, 42%
- 물-결합재비 : 0.2, 0.225, 0.25
- 결합재 구성비 : OPC:BS:FA=6:3:1, OPC:BS:FA=7:2:1

[표] 단위수량 변화 배합

W/B	G _{max} (mm)	S/a (%)	질량배합 (kg/m ³)						고성능 감수제 (%)
			W	C	BS	SF	S	G	
0.20	20	42	140	420	210	70	644	893	0.80
			145	435	217	72	629	873	0.77
			150	450	225	75	614	852	0.77
			155	465	232	77	600	832	0.77
			160	480	240	80	585	812	0.97

[표] 잔골재율 변화 배합

W/B	G _{max} (mm)	S/a (%)	질량배합 (kg/m ³)						고성능 감수제 (%)
			W	C	BS	SF	S	G	
0.25	20	0.34	140	336	168	56	563	1098	0.8
		0.38		336	168	56	629	1031	0.8
		0.42		336	168	56	695	965	0.8

[표] 물-결합재비 변화 배합

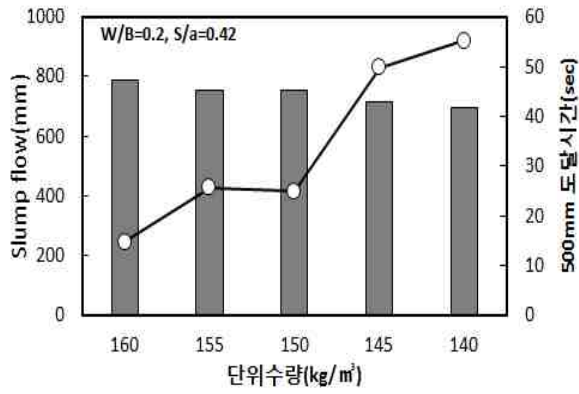
W/B	G _{max} (mm)	S/a (%)	질량배합 (kg/m ³)						고성능 감수제 (%)
			W	C	BS	SF	S	G	
0.2	20	42	140	420	210	70	644	893	0.8
0.225				373	186	62	672	933	0.8
0.25				336	168	56	695	965	0.8

[표] 결합재 구성 변화 배합

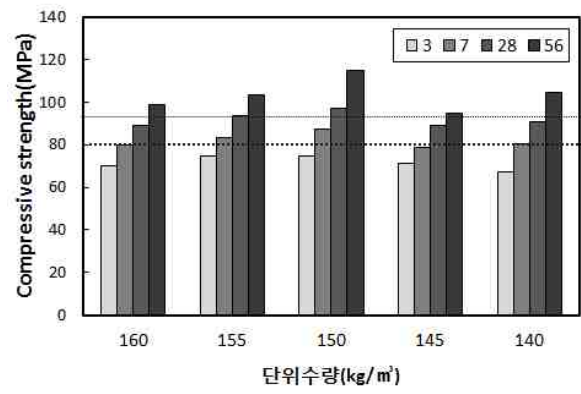
결합재	W/B	G _{max} (mm)	S/a (%)	질량배합 (kg/m ³)						고성능 감수제 (%)
				W	C	BS	FA	G	S	
OPC7+BS2+FA1	0.225	20	40	150	466	133	66	929	616	0.8
OPC6+BS3+FA1				150	400	200	66	926	614	0.8

○ 시험결과

- 적정 단위수량 : 150 kg/m^3
- S/a : 42%
- 적정 물-결합재비 : 0.225
- 적정 결합재 : OPC:BS:FA = 7:2:1(점도 저하와 압축강도 고려)

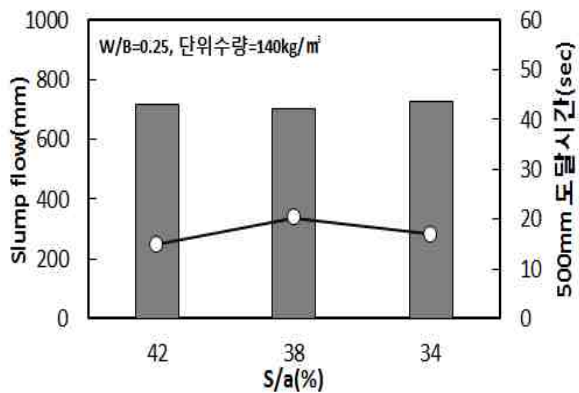


(a) 유동성

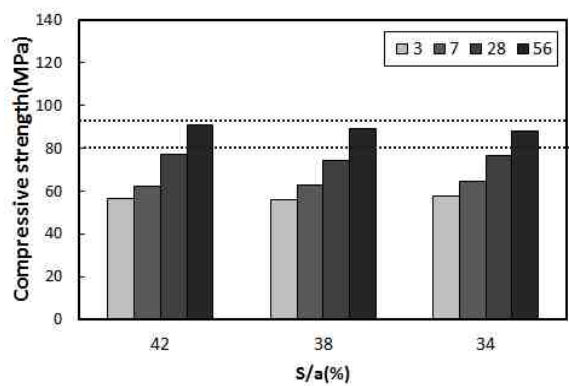


(b) 압축강도

[그림] 단위수량 변화

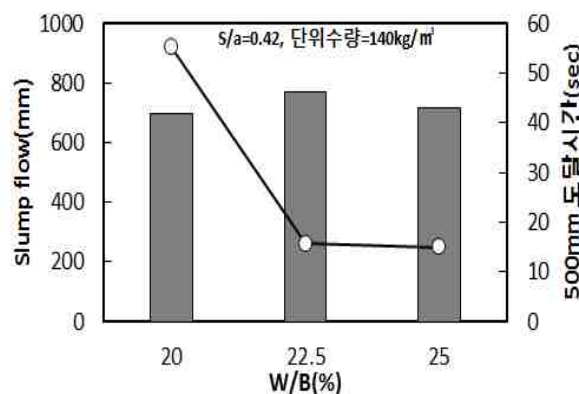


(a) 유동성

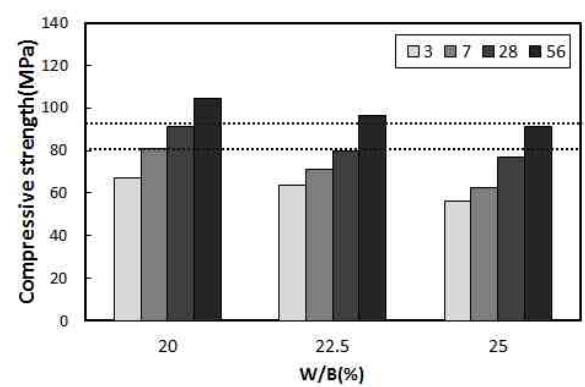


(b) 압축강도

[그림] 잔골재율 변화



(a) 유동성



(b) 압축강도

[그림] 물-결합재비 변화

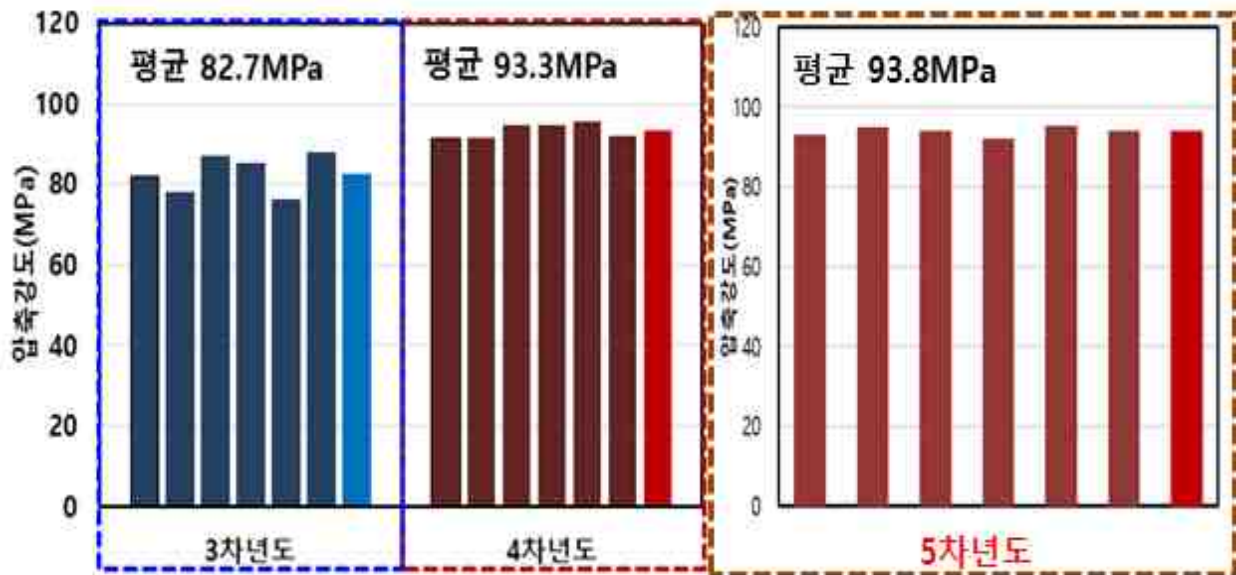
○ 배합설계

- 2~3차년도 : 배합강도 80 MPa는 만족하나, 설계기준강도 80 MPa은 만족하지 못하고 유동성 부족과 재료분리도 약간 발생함
- 4차년도 : 설계기준강도 80 MPa을 만족하나, 점도의 증가로 작업성 확보가 어려움
- 5~6차년도 : 설계기준강도 80 MPa을 만족하고 점도의 감소로 작업성 향상

[표] SC80 배합설계 과정

연차	W/B	S/a (%)	B (kg/m ³)	질량배합 (kg/m ³)							고성능 감수제 (%)	수축 저감제 (%)
				W	C	FA	BS	SF	S	G		
2~3차년도	0.24	45	650	160	390	52	208	-	703	859	0.9~1.2	-
4차년도			700	165	420	56	224	-	828	828	1.0~1.5	1~2
5~6차년도			700	165	420	56	189	35	828	828	1.0~1.5	1~2

	2~3차년도	4차년도	5~6차년도	공기량 2±0.5% 압축강도 93 MPa 탄성계수 42 GPa 자기수축 280×10 ⁻⁶
분체량 (kg/m ³)	650	700	700	
슬럼프 플로 (mm)	650	700	700	
재료분리	약간발생	없음 (점도증가)	없음 점도 감소	

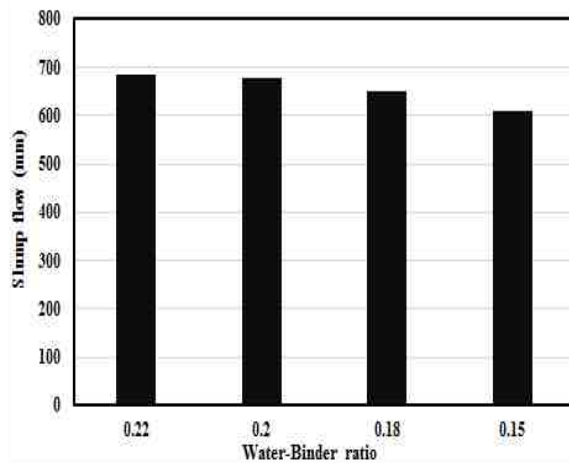


[그림] SC80 배합의 연차별 압축강도

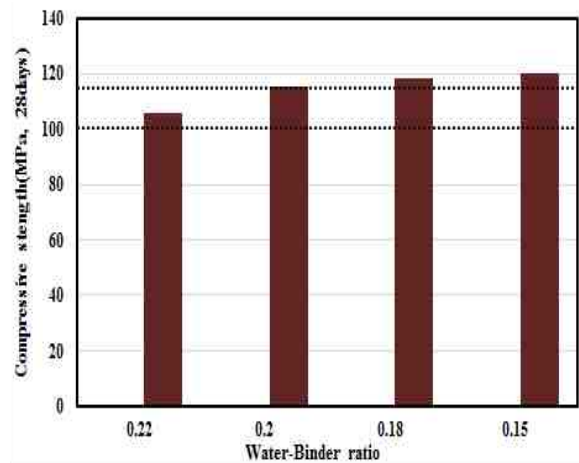
⑤ SC100

○ 시험변수

- W/B : 0.22, 0.2, 0.17, 0.15
- S/a : 41%
- 결합재 구성 : OPC70+BS20+SF10
- 단위수량 : 165 kg/m³
- 시험항목 : 슬럼프 플로, 압축강도
- 시험결과



(a) 슬럼프 플로



(b) 압축강도

[그림] 물-결합재비에 따른 슬럼프 플로와 압축강도(SC100)

○ 배합설계

- W/B 0.2, S/a 0.42, 단위수량 165 kg/m³, 결합재는 OPC+BS+SF로 구성하여 배합설계
- 설계기준 압축강도 100 MPa 만족하고, 유동성 확보와 수축저감 효과

[표] SC100의 표준배합과 기본 성능

목표 슬럼프 (mm)	W/B	G _{max} (mm)	S/a (%)	질량배합 (kg/m³)						고성능 감수제 (%)	수축 저감제 (%)
				W	C	BS	SF	S	G		
700±100	0.2	20	42	165	578	165	82	606	803	1.0~1.3	1.0

슬럼프 플로 (mm)	공기량 (%)	압축강도 (MPa)				탄성 계수 (GPa)	자기 수축 (×10 ⁻⁶)
		표준양생			고온양생		
		7일	28일	56일	28일		
700±100	2±0.5	95	112	118	115	43.5	320

⑥ SC120

○ 시험변수

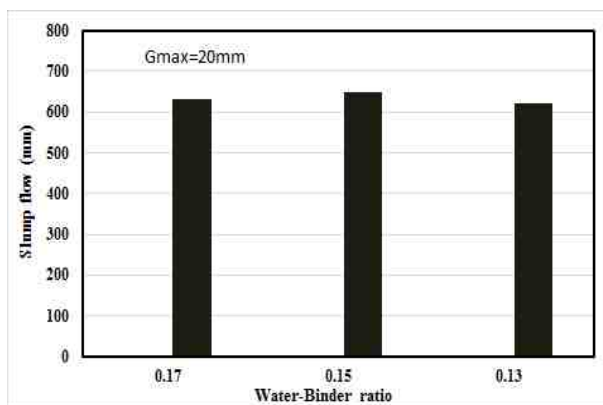
- 결합재 : OPC70+BS15+SF15
- 골재 : 석회암 굵은골재($G_{\max}$: 20 mm, 13 mm, 10 mm), 석회암 부순 잔골재
- W/B : 0.17, 0.15, 0.13
- S/a : 38%
- 단위수량 : 150 kg/m³

[표] SC120 배합설계 변수

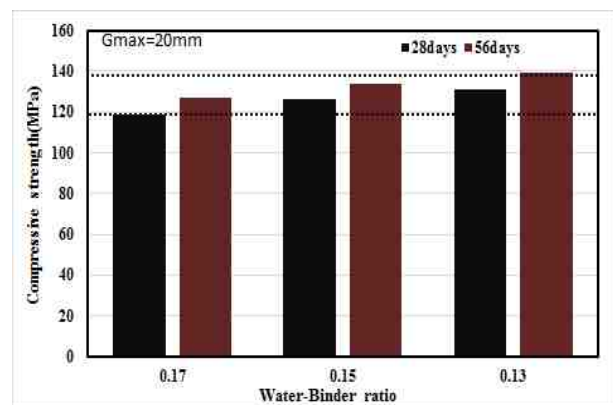
W/B	$G_{\max}$ (mm)	S/a (%)	질량배합 (kg/m ³)						고성능 감수제 (%)
			W	C	BS	SF	S	G	
0.17	13	0.38	150	612	133	133	580	768	1.2
0.15	20, 13, 10			700	150	150	531	704	1.2~1.5
0.13	13			808	173	173	470	623	1.4

○ 물-결합재비의 영향

- 재령 28일에서 평균 압축강도 120 MPa 이상을 만족하는 W/B는 0.15 이하이고, 배합 강도(138 MPa)를 고려한 경우에는 모두 만족하지 못하는 것으로 나타남



(a) 유동성

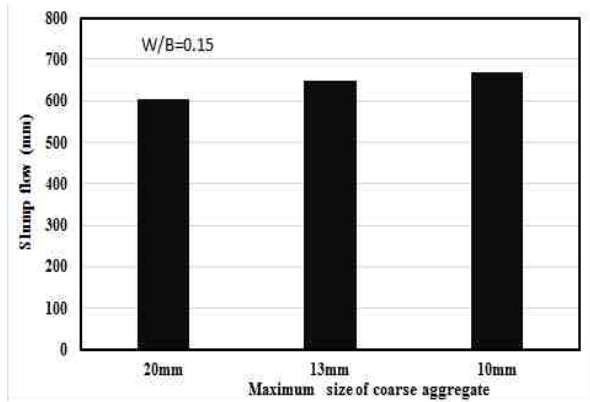


(b) 압축강도

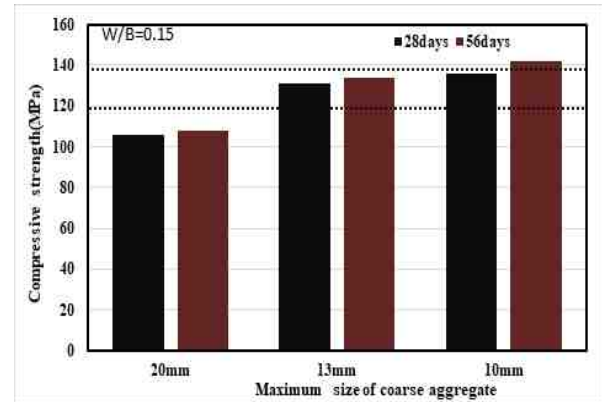
[그림] 물-결합재비에 따른 슬럼프 플로우와 압축강도(SC120)

○ 굵은골재 최대치수의 영향

- 굵은골재 최대치수가 작을수록 압축강도가 증진되는 것으로 나타남
- 초고강도 콘크리트에서 굵은골재 최대치수도 강도에 미치는 중요한 요인임
- 재령 28일에서 설계기준 압축강도 120 MPa를 만족하는 굵은골재 최대치수 13 mm와 10 mm임



(a) 유동성



(b) 압축강도

[그림] 굵은골재 최대치수에 따른 슬럼프 플로와 압축강도(SC120)

○ 배합설계

- 배합구성

- 물-결합재비 : 0.15
- 잔골재율 : 0.38
- 단위수량 : 150kg/m³
- 결합재 : OPC0.7+BS0.15+SF0.15
- 굵은골재 최대치수 : 13 mm

- 설계기준 압축강도 120 MPa 만족하고, 유동성 확보와 수축저감 효과

[표] SC120의 표준배합과 기본 성능

목표 슬럼프 (mm)	W/B	G _{max} (mm)	S/a	질량배합 (kg/m ³)						고성능 감수제 (%)	수축 저감제 (%)
				W	C	BS	SF	S	G		
700±100	0.15	13	0.38	150	700	150	150	468	765	1.5~2.0	1.0

슬럼프 플로 (mm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)				탄성 계수 (GPa)	자기 수축 (×10 ⁻⁶)
		표준양생			고온양생		
		7일	28일	56일	28일		
700±100	2±0.5	115	132	138	135	45	400

(나) 굵은골재 사용 SC의 성능

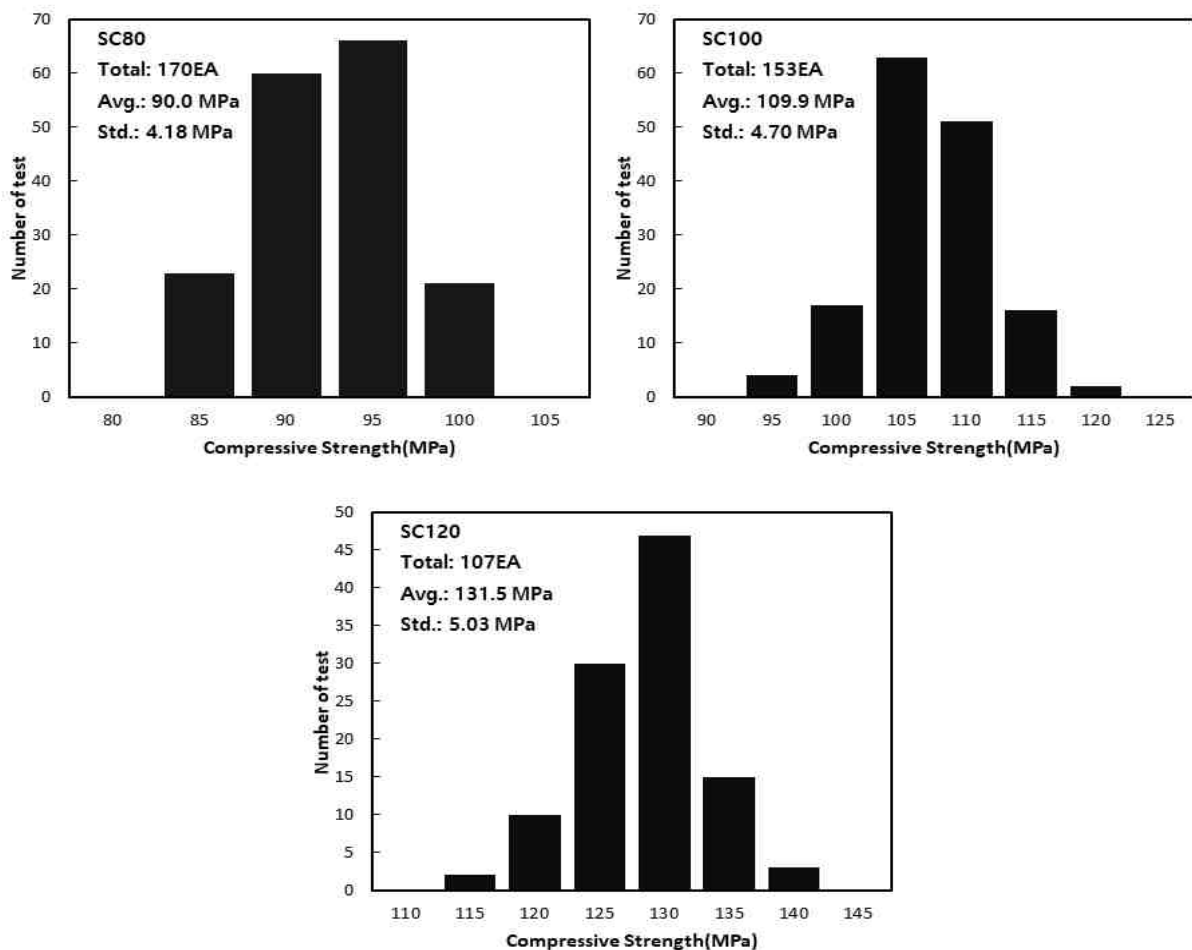
① 압축강도

○ 시험개요

- 시험체 : $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체
- 양생 : 표준양생 28일
- 시험방법 : KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)

○ 결과

- SC80 배합 : 데이터수 170개, 평균값 90.0 MPa, 표준편차 4.2 MPa
- SC100배합 : 데이터수 153개, 평균값 109.9 MPa, 표준편차 4.7 MPa
- SC120배합 : 데이터수 107개, 평균값 131.5 MPa, 표준편차 5.0 MPa



[그림] 배합별 압축강도 분포

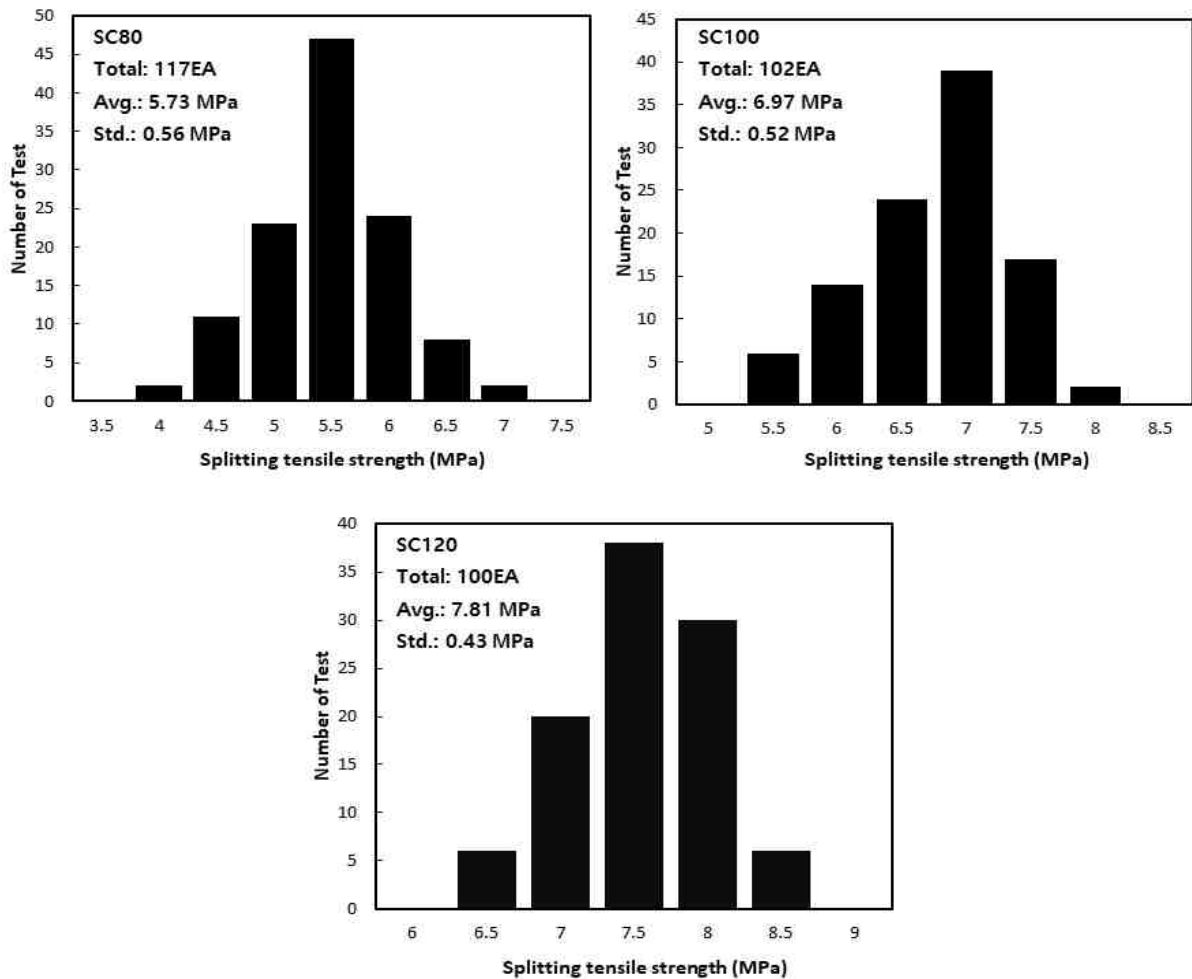
② 쪼갬인장강도

○ 시험개요

- 시험체 : $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체
- 양생 : 표준양생 28일
- 시험방법 : KS F 2423(콘크리트의 쪼갬 인장강도 시험방법)

○ 결과

- SC80 배합 : 데이터수 117개, 평균값 5.73 MPa, 표준편차 0.56 MPa
- SC100배합 : 데이터수 102개, 평균값 6.97 MPa, 표준편차 0.52 MPa
- SC120배합 : 데이터수 100개, 평균값 7.81 MPa, 표준편차 0.43 MPa



[그림] 배합별 쪼갬인장강도 분포

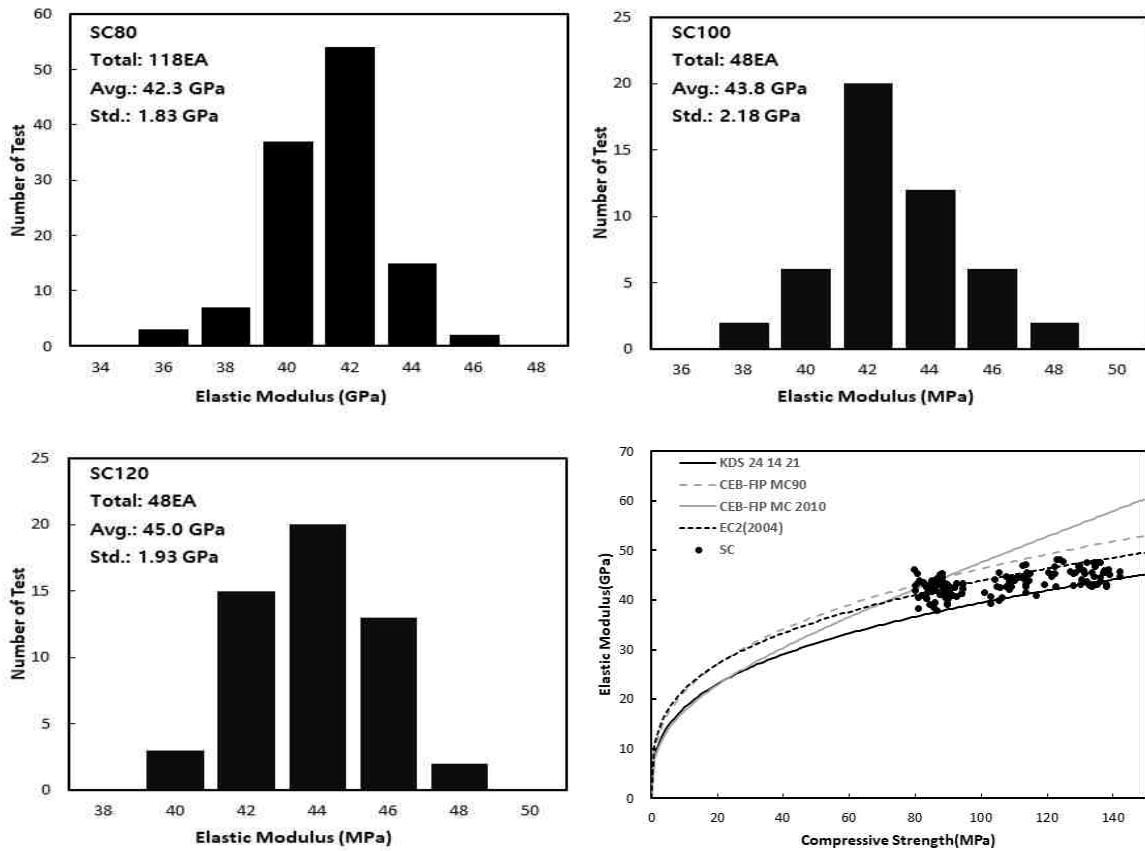
③ 탄성계수

○ 시험개요

- 시험체 : $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체
- 양생 : 표준양생 28일
- 시험방법 : KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아송비 시험방법)

○ 결과

- SC80 배합 : 데이터수 118개, 평균값 42.3 GPa, 표준편차 1.8 GPa
- SC100배합 : 데이터수 48개, 평균값 43.8 GPa, 표준편차 2.2 GPa
- SC120배합 : 데이터수 48개, 평균값 45.0 GPa, 표준편차 1.9 GPa
- 압축강도와 탄성계수의 관계는 KDS 24 14 21의 모델로 추정 가능



[그림] 배합별 탄성계수 분포

④ 수축특성

○ 골재 종류에 따른 수축특성

- 시험개요

- 골재 종류 : 화강암, 석회암, 현무암
- 배합 SC80

- 자기수축 시험 : KS F 2586(시멘트 풀, 모르타르, 콘크리트의 자기수축 및 자기팽창 시험방법)

- 시험결과

- 석회암 골재는 화강암 골재 또는 현무암 골재 보다 15~20%의 수축저감 효과

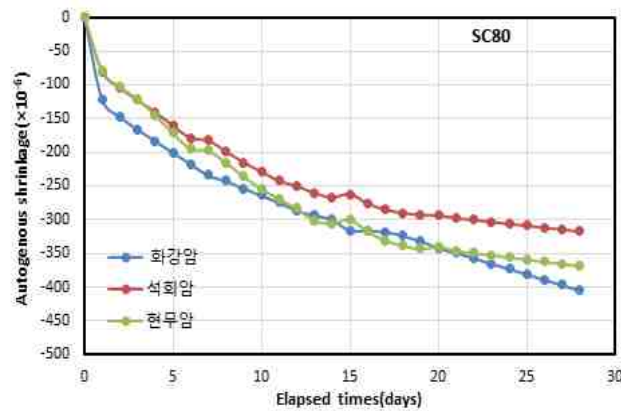
○ 수축저감재료 사용에 의한 수축저감

- 시험개요

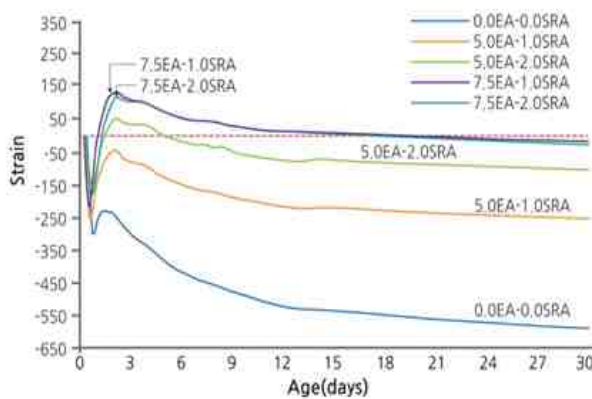
- 사용재료 : 팽창재, 수축저감제
- 시험종류 : 자기수축, 건조수축

- 시험결과

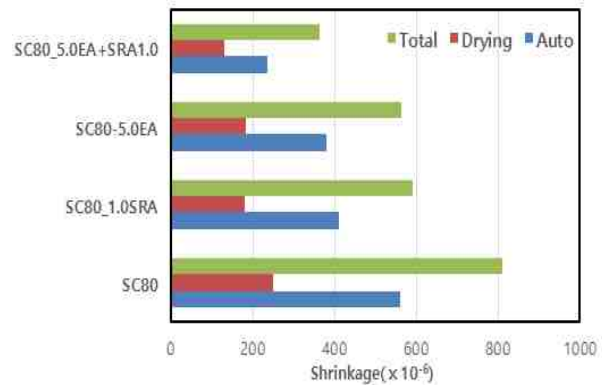
- 팽창재 또는 수축저감제의 사용은 50% 이상의 수축저감
- 수축저감제 1% 또는 팽창재 5% 이상 사용할 경우, 600×10^{-6} 이하로 수축을 제어할 수 있으며, 이들 재료를 조합사용할 경우, 400×10^{-6} 이하로 수축을 제어할 수 있음



[그림] 골재종류에 따른 자기수축



(a) 수축저감재료 사용에 따른 자기수축

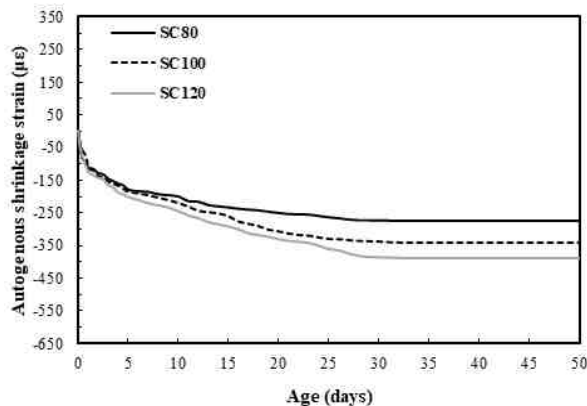


(b) 수축저감재료 사용에 따른 수축특성

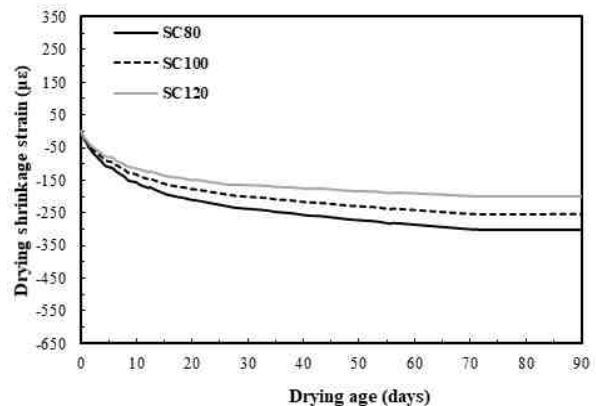
[그림] 수축저감재료 사용 SC80의 수축특성

○ 배합별 수축특성

- SC80 배합 : 자기수축 280×10^{-6} , 건조수축 300×10^{-6} , 전체수축 580×10^{-6}
- SC100배합 : 자기수축 350×10^{-6} , 건조수축 250×10^{-6} , 전체수축 600×10^{-6}
- SC120배합 : 자기수축 400×10^{-6} , 건조수축 200×10^{-6} 이하, 전체수축 600×10^{-6}



(a) 자기수축



(b) 건조수축

[그림] 굵은골재 사용 SC의 수축특성

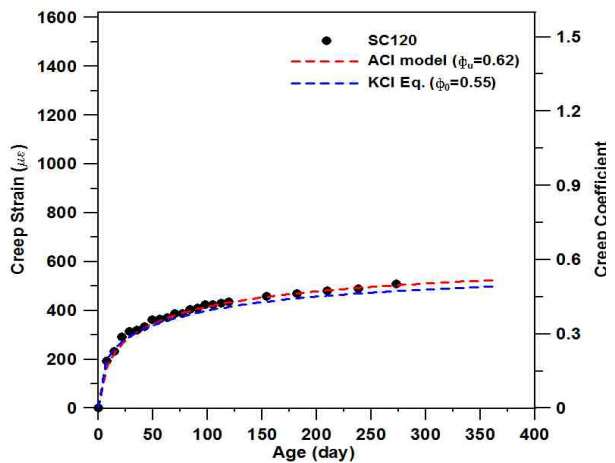
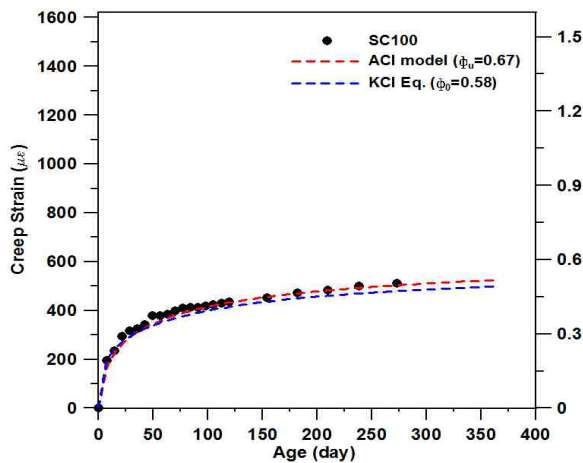
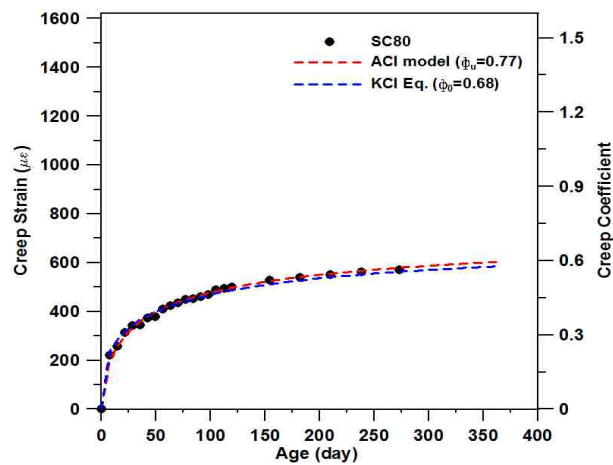
⑤ 크리프

○ 시험개요

- 배합 : SC80, SC100, SC120
- 시험방법 : KS F 2453
- 재하재령 : 28일

○ 최종 크리프 계수

- SC80 배합 : 0.77
- SC100배합 : 0.67
- SC120배합 : 0.65

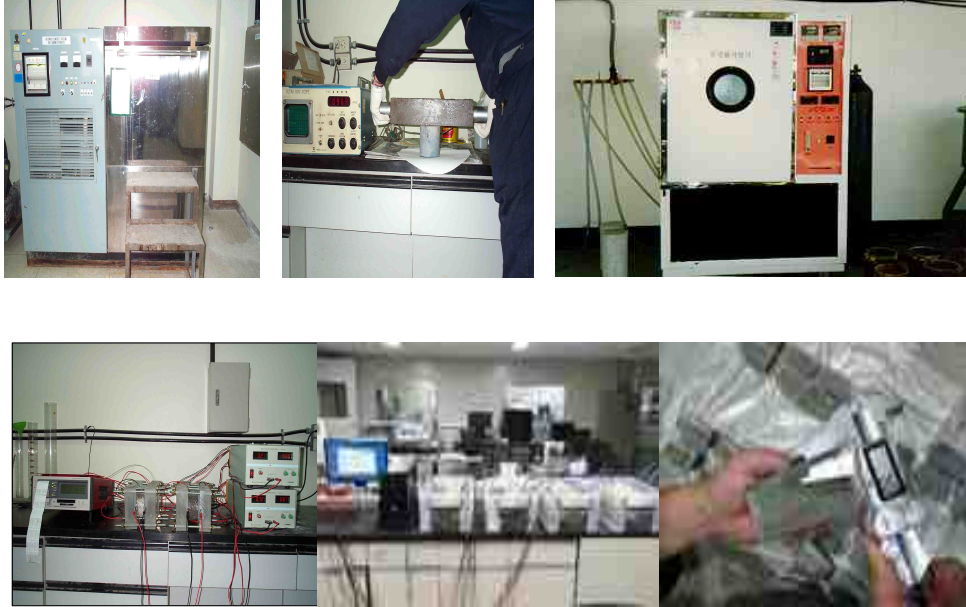


[그림] 굵은골재 사용 SC의 크리프 특성

⑥ 내구성

○ 내구성 시험 개요

- 배합 : NC40, SC80, SC100, SC120
- 시험항목 : 탄산화, 동결융해, 염해



[그림] 내구성 시험

○ 내구성 시험 결과

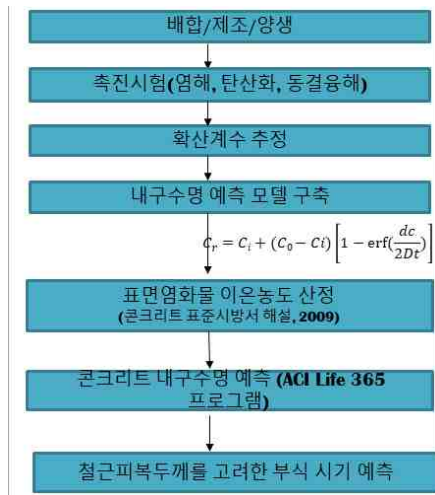
- SC80, SC100, SC120 배합은 탄산화, 동결융해, 염해의 급속시험 기간 동안 내구성능 저하가 발생하지 않고, 일반 고강도 콘크리트(NC40)에 비해 내구성이 월등히 우수한 것으로 나타남

[표] 내구성 시험결과

항목	NC40	SC80	SC100	SC120	비고
탄산화	4주 2.3 mm 8주 3.7 mm	4주 1.2 mm 8주 1.3 mm	4주 0 mm 8주 1 mm	4주 0 mm 8주 0 mm	KS F 2584 CO ₂ 5% 습도 60% 온도 20 ℃
동결융해	상대동탄성계수 92% 질량변화율 0.4%	상대동탄성계수 98% 질량변화율 0.2%	상대동탄성계수 100% 질량변화율 0.05%	상대동탄성계수 100% 질량변화율 0%	KS F 2456 기중동결수 중융해
염해	침투깊이 9.35 mm 확산계수 3.46 ⁻¹² m ² /s	침투깊이 1.6 mm 확산계수 0.15 ⁻¹² m ² /s	침투깊이 0.65 mm 확산계수 0.014 ⁻¹² m ² /s	침투깊이 0 mm 확산계수 3.46 ⁻¹² m ² /s	NT Build 492
	충전하량 1,850 Coulombs	충전하량 28 Coulombs	충전하량 18 Coulombs	충전하량 15 Coulombs	ASTM C 102

○ 내구수명 예측

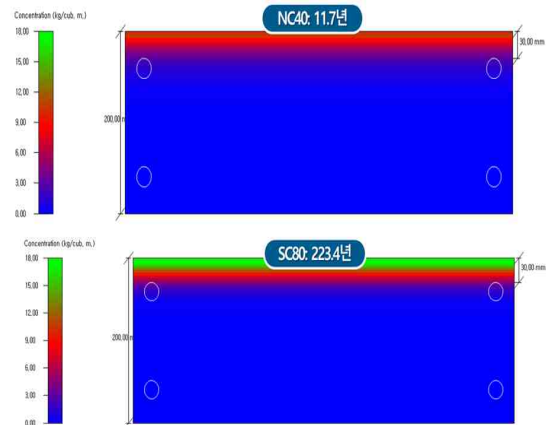
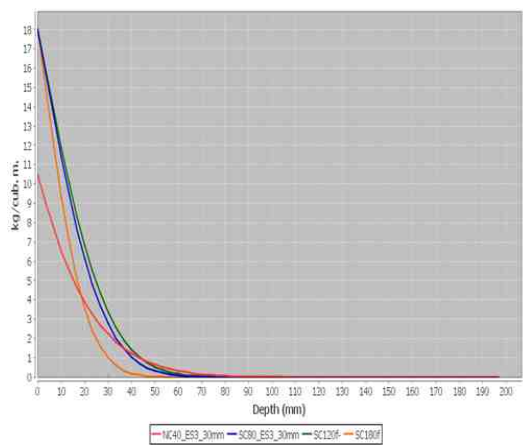
- 내구수명 예측방법 및 모델



노출종류	환경 조건	해당 노출 등급이 발생할 수 있는 사례
3. 염화물에 의한 부식		
ES1	보통의 습도	공기 중의 염화물에 노출된 콘크리트 표면
ES2	습윤, 드물게 건조한 상태	염화물을 함유한 물에 노출된 콘크리트 부위
ES3	수거적인 습윤과 건조 상태	염화물을 함유한 물보라에 노출된 교량 부위? - 토막
4. 해수의 염화물에 의한 부식		
ES1	해수의 직접적인 접촉없이 공기 중의 염분에 노출된 해상대기중	해안 근처에 있거나 해안가에 있는 구조물
ES2	양구적으로 침수된 해중	해양 구조물의 부위
ES3	간만에 혹은 물보라 지역	해양 구조물의 부위

해안구분	해수접촉부위	표면염화물이온농도 (kg/m3)
서,남해안	간만대	18.0
	물보라지역	7.5
	해상대기중	5.0
동해안	간만대	13.0
	물보라지역	7.0
	해상대기중	7.0

- 내구수명 예측결과



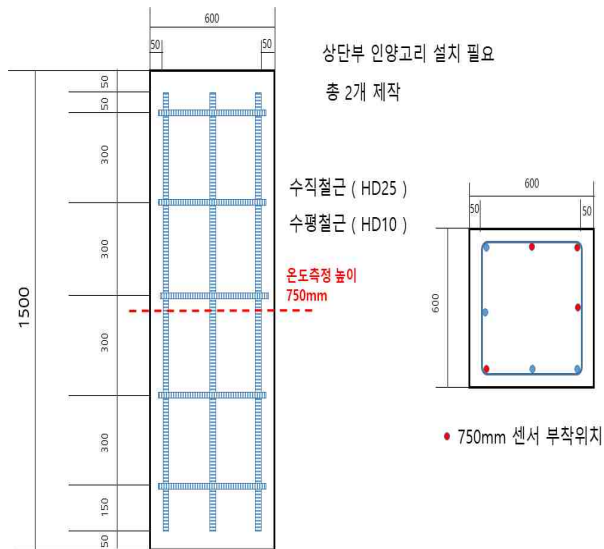
- 노출조건, 피복두께별로 내구수명

NC 40				SC100			
해안	노출조건	피복두께 (mm)	예측수명	해안	노출조건	피복두께 (mm)	예측수명
서,해안, 간만대	ES3 (18kg/m ³)	30	14년	서,해안, 간만대	ES3 (표면염화물량 18.0kg/m ³)	15	115년
		40	19년			20	160년
		50	25년			25	204년
		70	42년			30	248년
		100	79년			35	293년
		120	110년			40	342년
	ES1 (5kg/m ³)	30	28년			45	422년
		50	65년			500년 이상	500년 이상
		70	121년	동해안	ES3 (표면염화물량 18.0kg/m ³)	15	150년
		100	249년			20	203년
동해안	ES3 (13kg/m ³)	30	16년			25	256년
		70	50년			30	309년
		100	96년			35	356년
	ES1 (7kg/m ³)	30	21년			40	450년
		70	81년			500년 이상	500년 이상
		100	160년				

⑦ 내화성능

○ 시험개요

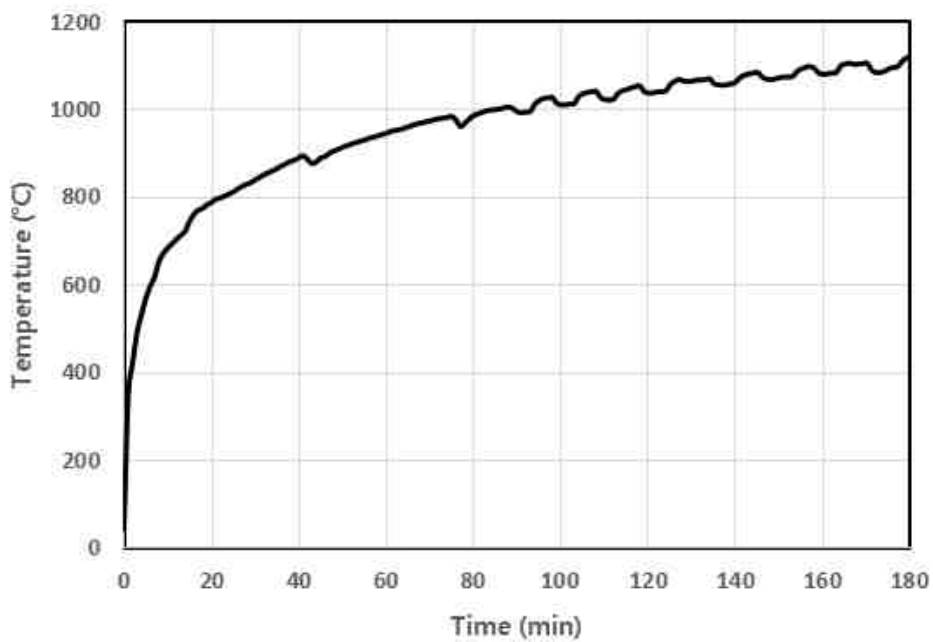
- 배합 : SC80+내화섬유 0.7%(체적)
- 시험방법 : KS F 2257



[그림] 내화시험 시험체

○ 실험 가열곡선

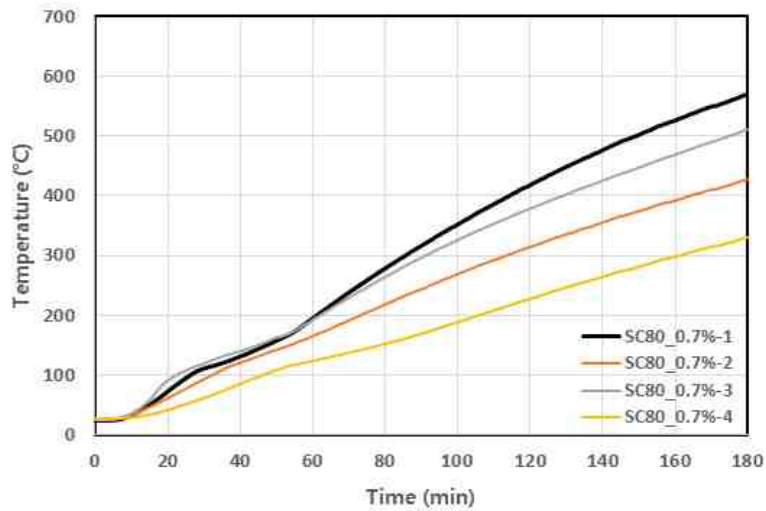
- 내화시험은 180분 동안 진행하였으며, 최대온도 1,100 ℃ 까지 도달하였고 KS F 2257의 표준시간-가열 온도곡선과 유사한 경향을 나타냄



[그림] 내화시험 시간-가열 온도 곡선<실측>

○ 내화성능

- 시험체 : 콘크리트 균열은 발생하였으나, 박리 및 폭발 현상은 발생하지 않음
- 온도 : 1시간에서 최고온도 200 ℃. 2시간에서 최고온도 420 ℃ 이하이고, 3시간에서 평균값은 459.8 ℃, 최대 온도는 569.2 ℃으로 내화기준 평균값이 538 ℃, 최고온도 649℃를 초과하지 않음
- 3시간의 내화성능 확보(유기섬유 사용 SC80)



[그림] 내화실험 결과

⑧ 펌핑성능

○ 레올로지 특성 평가 장비 개발 및 평가

- 레올로지 특성 평가 장비 개발 : 동축 레오미터 및 베인 형 스피들 사용



[그림] 동축 레오미터 및 베인 형 스피들

- 레올로지 특성 평가 압송거리에 따른 토출량 예측

- 슬럼프 플로우와 압송거리에 따라 토출량이 다르고, 슬럼프 플로우가 클수록 토출량이 크며 압송거리가 길어질수록 토출량이 작아짐.
- 슬럼프 플로우 720 mm 경우, 압송거리 500 m에서도 토출량이 41 m³/hr

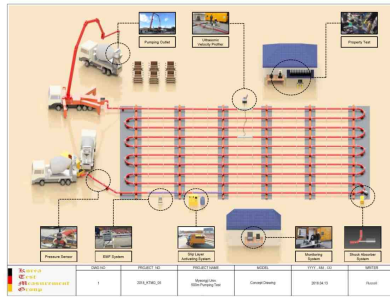
[표] 레올로지 특성 및 토출량 예측 결과

배합	슬럼프 플로우 (mm)	레올로지 특성				토출량 (m ³ /hr)			
		윤활층		콘크리트		압송거리 (m)			
		항복응력 (Pa)	점도 (Pa · s)	항복응력 (Pa)	점도 (Pa · s)	200	300	400	500
SC80	720	0.1	3.49	0.1	84.8	103	69	51	41
	550	15.7	5.02	8.2	121.2	71	47	36	28

※ 배관 내부 평균 최대압력 200bar 조건

○ 평가 개요

- 배합 : SC80
- 슬럼프 플로우 변화 : 650 mm, 500 mm
- 장소 : 용인(명지대)
- 일시 : 2018. 7. 27.
- 콘크리트 생산 : SC80(레미콘 BP)
- 콘크리트 펌핑실험 : 200 m
- 콘크리트 펌핑 배관 : 5인치
- 콘크리트 펌프 : 15,000 HP
- 시험에 사용된 콘크리트 양 : 변수당 5 m³
- 펌핑 전후의 물성 : 레올로지 특성, 강도 등
- 배관압력 계측 : 센서 16개소 설치(각 위치별 2개 설치)



[그림] SC80 배합의 펌핑성능 시험

○ 평가결과

- 펌핑 전후의 품질 비교

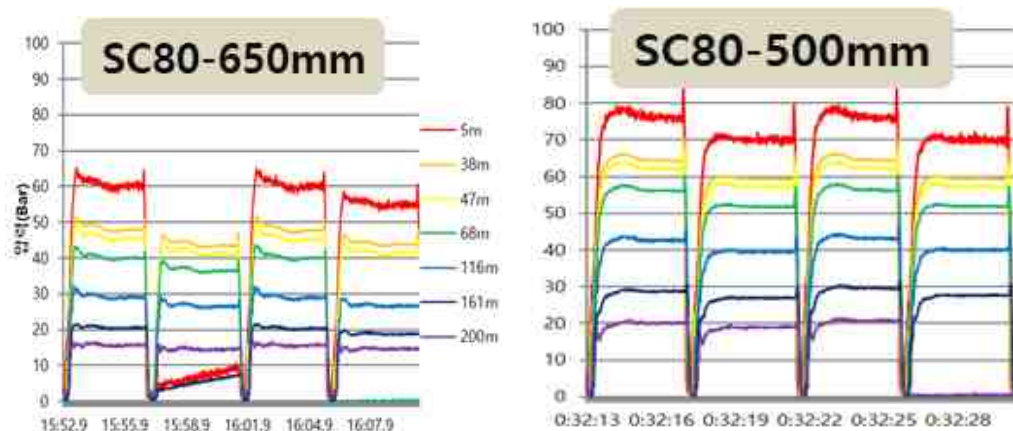
- 펌핑 후 슬럼프 플로는 증가하고, 점도는 감소
- 압축강도는 큰 차이는 없음

[표] 펌핑 전후의 품질 비교

배합	목표 슬럼프 플로 (mm)	조건	슬럼프 플로 (mm)	레올로지		압축강도(MPa)	
				항복 응력(Pa)	점도 (Pa · s)	재령 7일	재령 28일
SC80	650	펌핑 전	620	29.2	60.1	72.1	100.7
		펌핑 후	680	39.7	25.9	73.2	101.6
	500	펌핑 전	480	66.8	40.5	73.4	99.7
		펌핑 후	530	57.0	18.2	72.8	97.2

- 펌핑 압력 측정 결과

- 슬럼프 플로가 클수록 작은 압력이 소요되며, 압력차도 크지 않음
- 슬럼프 플로에 따른 토출량 차이는 크지 않음
- 슬럼프 플로 650 mm와 500 mm의 토출량은 각각 34.9 m³/hr과 36.8 m³/hr으로 목표 토출량 30 m³/hr를 초과하는 것으로 분석됨



[그림] SC80 배합의 펌핑 압력 측정 결과

[표] 펌핑 전후의 품질 비교

배합	유로폼 체적 (W x D x H m)	측정결과		Stroke (No./hr)	Filling rate (%)	예산 토출량 (m³/hr)	목표 토출량 (m³/hr)
		토출 시간 (s)	토출량 (m³/h)				
SC80-650	1.2 x 1.2 x 0.64	95	34.9	53.9	77.6	41.8	30
SC80-500		102	36.8	54.3	75.0	43.4	

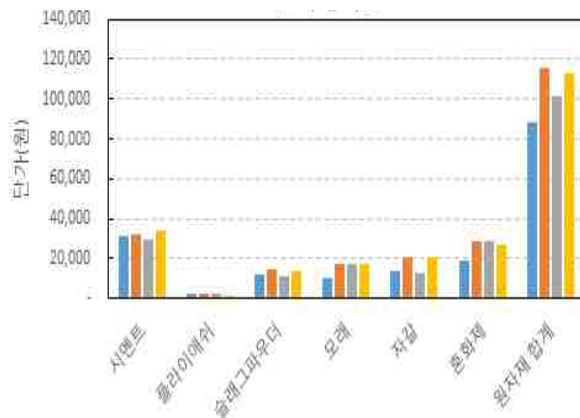
(다) 굵은골재 사용 SC의 제조비용

① 국내에서 제조비용

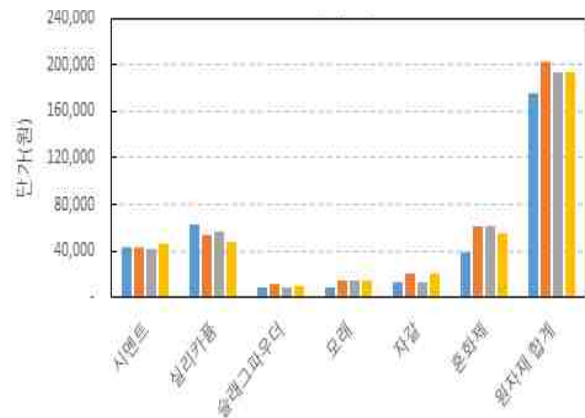
○ 제조비용 분석방법

- SC 구성재료 및 배합을 토대로 분석
- 레드믹스트 콘크리트 공장 3개소를 방문하여 공장의 재료와 설비 사용을 가정하여 원가 분석

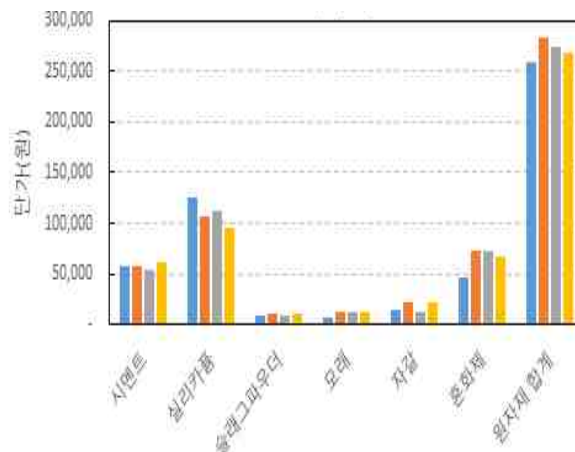
○ 구성재료 원가 분석



(a) SC80



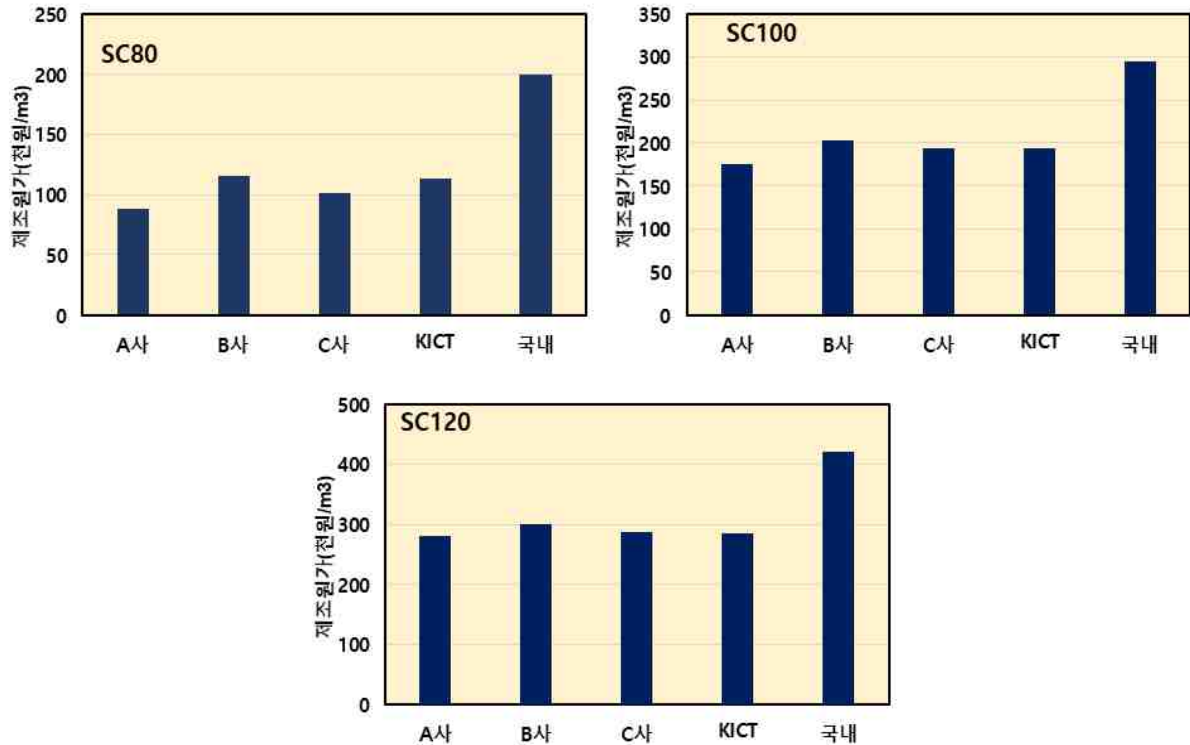
(b) SC100



(c) SC120

[그림] 배합별 구성재료의 원가 분석

○ 생산단가 분석



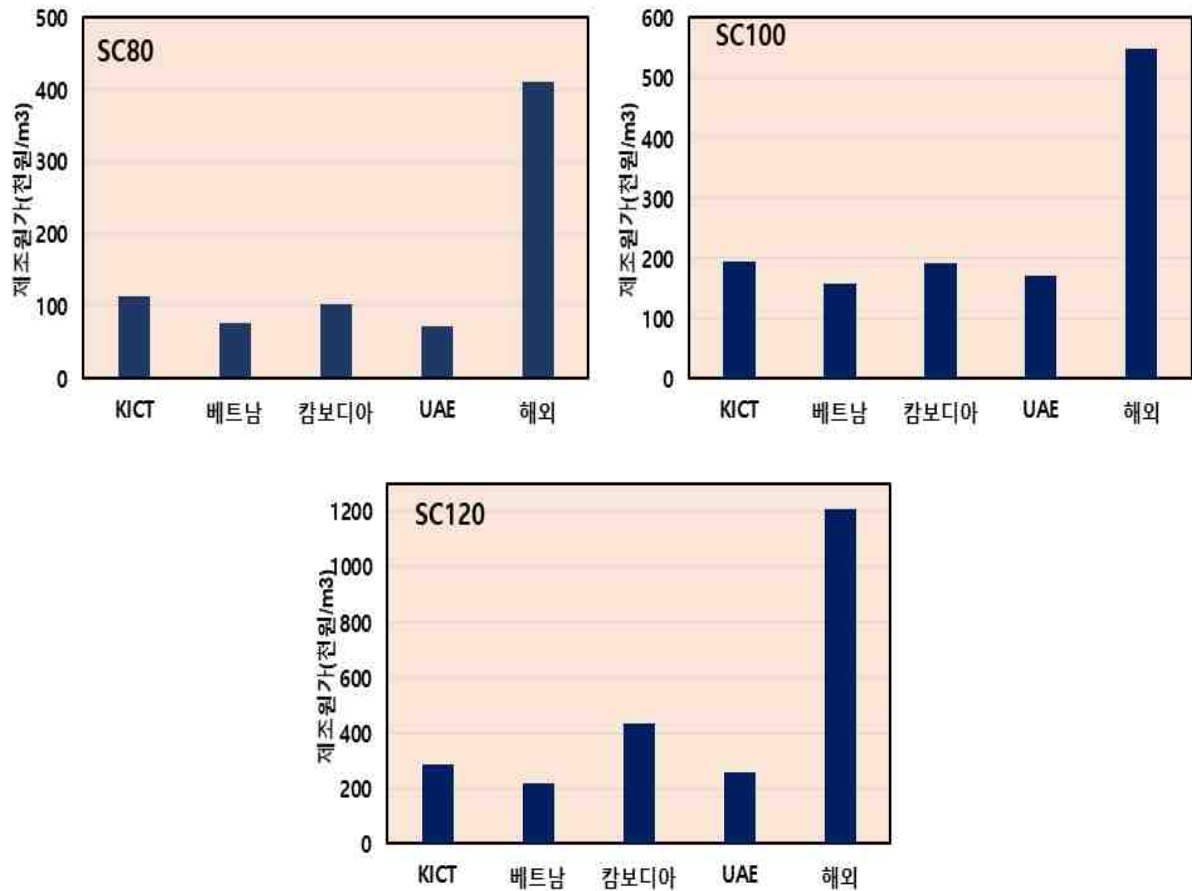
[그림] 배합별 생산단가 분석(국내)

② 해외에서 제조비용

○ 구성재료 원가 조사

구 분	베트남	UAE	캄보디아	비고
시멘트 (원/kg)	66.55	85.52	123 (50 kg 포대 기준)	80 (한국)
모래 (원/kg)	2.7(강사)	3.45	4.87	25
굵은골재 (원/kg)	4.68(쇄석)	8.62	5.30	25
특이사항	- 인터넷, 현지 건설사 등의 자료 종합 - 시멘트는 불법 시멘트 수입품 범람(톤당 30 달러) - 외국 시멘트 생산 증가(약 50% 차지) - 시멘트 종류: PCB30, PCB40 - 시멘트 특성: C₃A 성분 함량 높아 유동성 손실이 다소 큼. 초기강도는 한국 시멘트 보다 높고, 장기강도는 작은 경향 - 콘크리트 가격 : 5.1 만원/ m³(30 MPa)	- KOTRA 두바이 조사자료(아부다비 통계청 조사 근거) - 건설경기에 따라 자재 가격 상승폭 심함 - 콘크리트 가격 : 8.3 만 원 / m³(40 MPa)	- 자 료 원 : The National Committee for sub-national democratic development - 건설자재 수입이 대폭 증가 - 대부분 인근 저가 자재를 수입하여 사용	

○ 생산단가 분석



[그림] 배합별 생산단가 분석(해외)

③ SUPER Concrete의 제조원가 비교

배합	국내가격 (만원/m³)	해외가격 (만원/m³)	목표가격 (만원/m³)	제조가격 (만원/m³)	비고
SC80	19~21	41	15~17	11.3	목표대비 25~34% 초과
SC100	28~31	55	21~34	19.4	목표대비 9~43% 초과
SC120	40~45	121	28~32	26.5	목표대비 5~17% 초과

(라) 굵은골재 사용 SC의 제조시방

① 국문시방-고덕대교 설계심의 반영, 현장적용 시 반영

굵은골재 사용 SUPER Concrete의 제조 및 품질관리 지침 2019. 10.  한국건설기술연구원	목 차 <table> <tr> <td>1. 일반사항</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1.1 적용 범위</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1.2 용어 정의</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1.3 관련 시방서 및 기준</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1.3 참조규격</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2. SUPER Concrete의 구성 재료</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2.1 일반사항</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2.2 시멘트</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2.3 배합수</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2.4 잔골재</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2.5 굵은골재</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>2.6 혼화재</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2.7 화학 혼화재</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>3. 섬유보강 SUPER Concrete의 배합설계</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>3.1 일반사항</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>3.2 SUPER Concrete의 품질</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>3.3 배합설계 절차</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>3.4 사용재료의 선정</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>3.5 표준배합</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>4. SUPER Concrete의 제조</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4.1 일반사항</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4.2 제조 공장 선정</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4.3 재료의 저장</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4.4 재료의 계량</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>4.5 비비기</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>4.6 시험배합</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>5. 시험</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>5.1 굳지 않은 콘크리트 성능 평가</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>5.2 강도 시험용 공시체 제작</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>5.3 강도 시험</td> <td>15</td> </tr> </table>	1. 일반사항	1	1.1 적용 범위	1	1.2 용어 정의	1	1.3 관련 시방서 및 기준	1	1.3 참조규격	1	2. SUPER Concrete의 구성 재료	2	2.1 일반사항	2	2.2 시멘트	2	2.3 배합수	2	2.4 잔골재	2	2.5 굵은골재	4	2.6 혼화재	5	2.7 화학 혼화재	6	3. 섬유보강 SUPER Concrete의 배합설계	7	3.1 일반사항	7	3.2 SUPER Concrete의 품질	7	3.3 배합설계 절차	8	3.4 사용재료의 선정	9	3.5 표준배합	9	4. SUPER Concrete의 제조	10	4.1 일반사항	10	4.2 제조 공장 선정	10	4.3 재료의 저장	10	4.4 재료의 계량	12	4.5 비비기	13	4.6 시험배합	13	5. 시험	14	5.1 굳지 않은 콘크리트 성능 평가	14	5.2 강도 시험용 공시체 제작	15	5.3 강도 시험	15
1. 일반사항	1																																																												
1.1 적용 범위	1																																																												
1.2 용어 정의	1																																																												
1.3 관련 시방서 및 기준	1																																																												
1.3 참조규격	1																																																												
2. SUPER Concrete의 구성 재료	2																																																												
2.1 일반사항	2																																																												
2.2 시멘트	2																																																												
2.3 배합수	2																																																												
2.4 잔골재	2																																																												
2.5 굵은골재	4																																																												
2.6 혼화재	5																																																												
2.7 화학 혼화재	6																																																												
3. 섬유보강 SUPER Concrete의 배합설계	7																																																												
3.1 일반사항	7																																																												
3.2 SUPER Concrete의 품질	7																																																												
3.3 배합설계 절차	8																																																												
3.4 사용재료의 선정	9																																																												
3.5 표준배합	9																																																												
4. SUPER Concrete의 제조	10																																																												
4.1 일반사항	10																																																												
4.2 제조 공장 선정	10																																																												
4.3 재료의 저장	10																																																												
4.4 재료의 계량	12																																																												
4.5 비비기	13																																																												
4.6 시험배합	13																																																												
5. 시험	14																																																												
5.1 굳지 않은 콘크리트 성능 평가	14																																																												
5.2 강도 시험용 공시체 제작	15																																																												
5.3 강도 시험	15																																																												

② 영문시방

The Fabrication and Quality Control Guidelines for SUPER Concrete using Coarse Aggregate 2019. 10.  KICT KOREA INSTITUTE OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY	Contents <table> <tr> <td>1. General</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1.1 Scope</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1.2 Terminology</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1.3 Normative Reference</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2. Classification of SUPER Concrete</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2.1 Classes according to environmental exposures</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2.2 Classes according to hardened SUPER Concrete</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>2.3 Classes according to fresh SUPER Concrete</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3. Constitutive Materials of SUPER Concrete</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3.1 General</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3.2 Cement</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3.3 Mixing Water</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3.4 Fine Aggregate</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3.5 Coarse Aggregate</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>3.6 Mineral Admixture</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>3.7 Chemical Admixture</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>4. Mix Design of SUPER Concrete</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>4.1 General</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>4.2 Procedure</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>4.3 Selection of materials</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>4.4 Basic mix proportions of SUPER Concrete</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>5. Manufacturing of SUPER Concrete</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>5.1 General</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>5.2 Selection of production factory for SUPER Concrete</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>5.3 Storage of raw materials</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>5.4 Measuring of Materials</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>5.5 Mixing</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>5.6 Trial mixing</td> <td>14</td> </tr> </table>	1. General	1	1.1 Scope	1	1.2 Terminology	1	1.3 Normative Reference	1	2. Classification of SUPER Concrete	2	2.1 Classes according to environmental exposures	2	2.2 Classes according to hardened SUPER Concrete	4	2.3 Classes according to fresh SUPER Concrete	4	3. Constitutive Materials of SUPER Concrete	5	3.1 General	5	3.2 Cement	5	3.3 Mixing Water	5	3.4 Fine Aggregate	5	3.5 Coarse Aggregate	6	3.6 Mineral Admixture	7	3.7 Chemical Admixture	7	4. Mix Design of SUPER Concrete	8	4.1 General	8	4.2 Procedure	8	4.3 Selection of materials	9	4.4 Basic mix proportions of SUPER Concrete	9	5. Manufacturing of SUPER Concrete	10	5.1 General	10	5.2 Selection of production factory for SUPER Concrete	10	5.3 Storage of raw materials	10	5.4 Measuring of Materials	12	5.5 Mixing	13	5.6 Trial mixing	14
1. General	1																																																								
1.1 Scope	1																																																								
1.2 Terminology	1																																																								
1.3 Normative Reference	1																																																								
2. Classification of SUPER Concrete	2																																																								
2.1 Classes according to environmental exposures	2																																																								
2.2 Classes according to hardened SUPER Concrete	4																																																								
2.3 Classes according to fresh SUPER Concrete	4																																																								
3. Constitutive Materials of SUPER Concrete	5																																																								
3.1 General	5																																																								
3.2 Cement	5																																																								
3.3 Mixing Water	5																																																								
3.4 Fine Aggregate	5																																																								
3.5 Coarse Aggregate	6																																																								
3.6 Mineral Admixture	7																																																								
3.7 Chemical Admixture	7																																																								
4. Mix Design of SUPER Concrete	8																																																								
4.1 General	8																																																								
4.2 Procedure	8																																																								
4.3 Selection of materials	9																																																								
4.4 Basic mix proportions of SUPER Concrete	9																																																								
5. Manufacturing of SUPER Concrete	10																																																								
5.1 General	10																																																								
5.2 Selection of production factory for SUPER Concrete	10																																																								
5.3 Storage of raw materials	10																																																								
5.4 Measuring of Materials	12																																																								
5.5 Mixing	13																																																								
5.6 Trial mixing	14																																																								

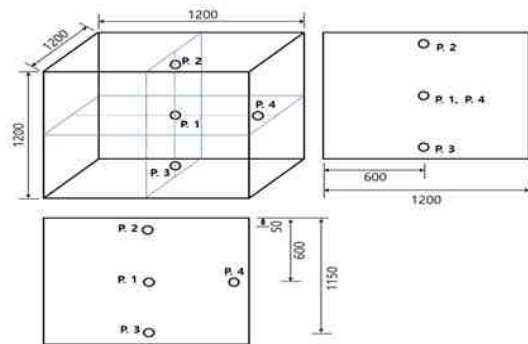
(마) 굽은골재 사용 SC의 현장적용 및 Mock-up 시험

① Mock-up 시험을 통한 SC 배합의 제조 성능 평가

○ 시험변수

Mock-up 시험체	- 레미콘 종류 및 양생조건에 따라 6개의 시험체 제작 (크기: 1.2m X 1.2m)
레미콘 종류	- 일반 레미콘 (30MPa) - SC80, SC100
양생 조건	- 대기양생 (기준양생): 천막 - 보온양생 (온도제어): 비닐 + 양생포 + 천막
측정 범위	- 측정 기간: 14일 - 측정 개소: 4point (중앙, 표면, 측면, 하면)

시험변수



Mock-up 시험체 개요

○ 레미콘 B/P 생산 성능 평가

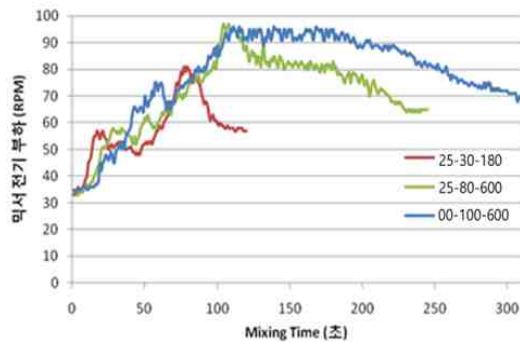
- 평가항목 : B/P 생산 시 전기부하율 및 콘크리트 작업성



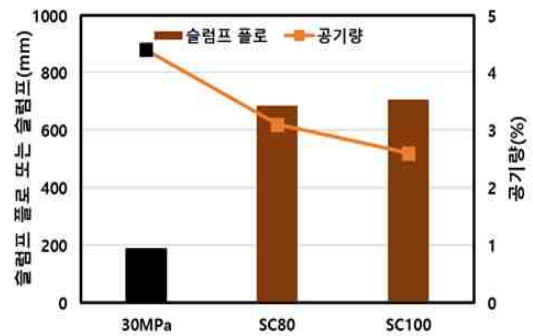
레미콘 B/P



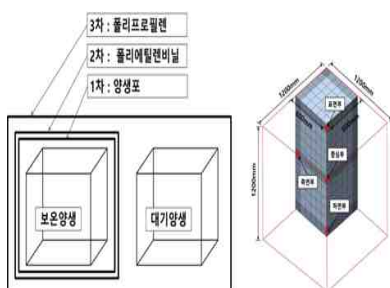
전기부하율



레미콘 B/P



전기부하율



Mock-up 시험 모습

② 현장적용

공사명	적용기술	기술적 의의
세종-포천(안성-구리) 고속도로 건설공사 중 고덕대교 사장교 구간 (2018~2022년)	기술 : 굽은골재 사용 80 MPa급 슈퍼콘크리트(SC80) 배합, 제조 및 품질관리	- 완공시 콘크리트 사장교로는 세계 최대 지간장 기록 보유 - 국내 최초로 장대교량에 80 MPa급 콘크리트 적용(상부구조는 2020년 상반기 착공 예정) - 고덕대교에 SC80 기술 적용 확정 (기술실시계약체결, 2018.06.29.)
베트남 수처리 현장 (2017년)	기술 : 굽은골재 사용 슈퍼 콘크리트용 수축저감 일액형 혼화제	- 참여기업(실크로드시엔티)의 해외공장(베트남)에서 생산하여 해외 현장에 적용을 통해 재료의 수출 기대 - SUPER Concrete 배합이외에도 일반 콘크리트에도 적용 가능
베트남 테저나사 룡하우 2차 제품 공장 (2019년)	기술 : 슈퍼 콘크리트용 조강성 일액형 혼화제	- 고강도 PHC 파일(80 MPa)에 적용 - 베트남 공인시험기관의 시험성적서 발급을 통한 현지 적용 확대 기반 구축 - 베트남 현지 수출 : 25.5 톤 - 참여기업(실크로드시엔티)의 해외공장(베트남)에서 생산하여 해외 현장에 적용을 통해 재료의 수출 기대

○ 고덕대교

- 시기 : 2016년~2022년(7년) ※ 2019년 하반기부터 상부구조 공사 진행
- 건설사 : 현대건설
- 교량제원 : 주경간 540m(폭 6차로) **세계 최장 콘크리트 사장교**, 2주탑
- 보강거더 단면 : 3cell 콘크리트 박스거더
- 적용배합 : **SC80**
- 적용기술 : 배합, 제조, 성능평가, 공사시방서
- 기술지원 : 설계 시 심의 및 질문사항에 대한 대응(배합, 품질관리, 자기수축 관리 등)
- 기술이전 완료 : 2018. 6.



○ 베트남 수처리장

- 제품명 : 수축저감용 고성능 혼화제 (PCR5000F)
- 목 적 : **베트남 호치민 수처리장의 장스팬**
균열 방지용으로 적용(**Test-Bed**)
- 일 자 : 2017. 07. 26.



수축저감 콘크리트 제조



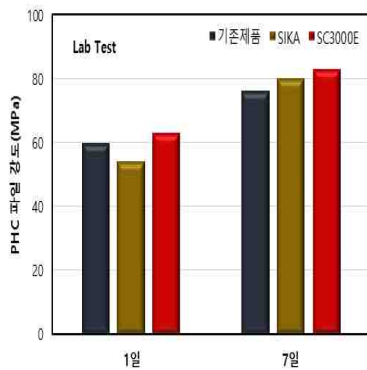
콘크리트 운반 및 타설



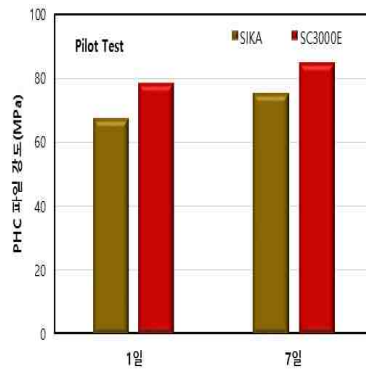
○ 베트남 2차제품 PHC 파일 공장

- 제품명: 조강성 일액형 화학혼화제 (SC3000E)
- 현장 : 베트남 테저나사 룡하우 2차제품 공장
- 일시 : 2019년 6월 25일~26일
- 베트남 공인기관 시험성적서 발급(2018. 11. 기술표준시험기관 센터3(Trung tâm 3))
- 효과 : 콘크리트의 유동성과 강도 향상

※ 유럽 기업(S사) 제품 대비 화학혼화제 사용량 13%(3.95→3.42 L/m³) 감소
강도 11% 향상(7일 강도 75.5→85.1 MPa) 향상

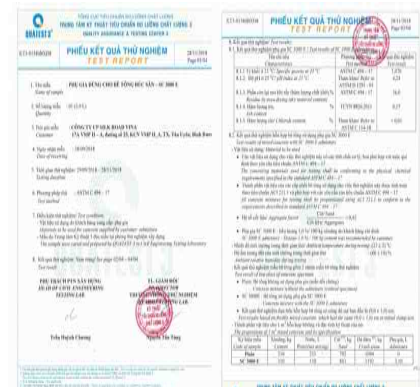


Lab 실험



생산 제품 평가

<그림> PHC 파일 강도 실험



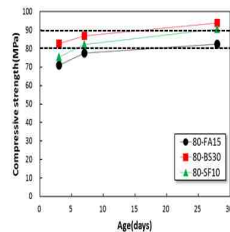
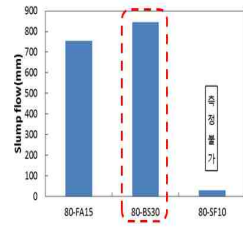
<그림> 공인기관 시험성적서



<그림> 베트남 PHC 파일 현장 모습 및 성능 평가

(나) 프리팩킹 결합재

○ 시작품(SC80)

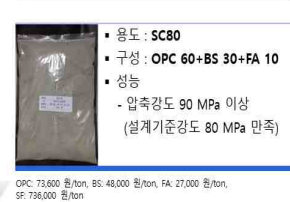
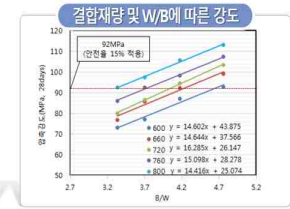


Type	제조원가(원/㎡)			
	OPC	BS	FA	SF
BS30	41,216	11,520	-	-
FA15	50,048	-	3,240	-
SF10	52,992	-	-	58,880
Total				
	52,736			

OPC: 73,600 원/ton, BS: 48,000 원/ton, FA: 27,000 원/ton, SF: 736,000 원/ton



- 용도 : SC80
- 구성 : OPC 70 + BS 30
- 성능
 - 유동성 700 mm
 - 압축강도 90 MPa 이상 (설계기준강도 80 MPa 만족)

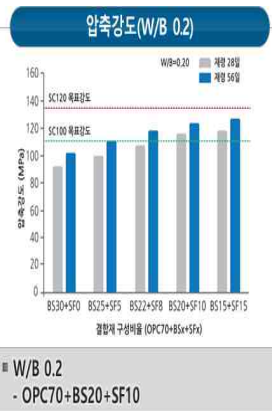


- 용도 : SC80
- 구성 : OPC 60+BS 30+FA 10
- 성능
 - 압축강도 90 MPa 이상 (설계기준강도 80 MPa 만족)

2성분계

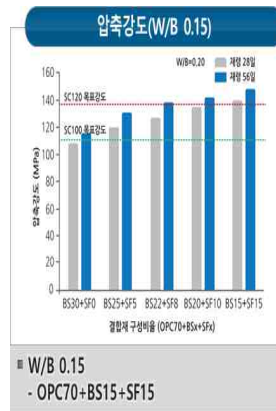
3성분계

○ 시작품(SC100, SC120)



구분	결합재 조성비율 (%)			
	OPC	BS	SF	계
SF0%	70	30	0	100
SF5%	70	25	5	100
SF8%	70	22	8	100
SF10%	70	20	10	100
SF15%	70	15	15	100

구분	SC100
용도	SC100 결합재
프리믹싱	5분
결합재종류	OPC:BS:Sf=7:2:1
가격(원/㎡)	107,679 (기준 SF10 111,972원)



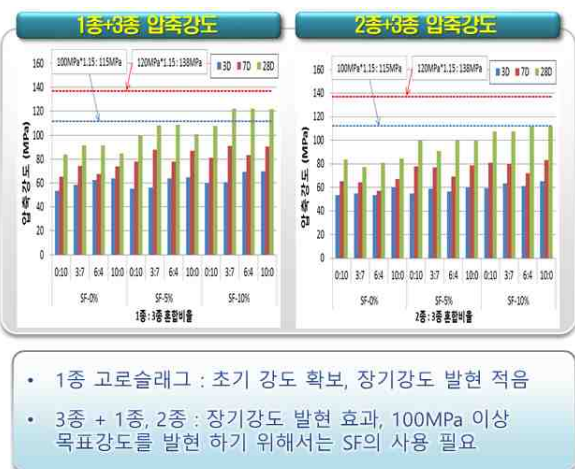
구분	결합재 조성비율 (%)			
	OPC	BS	SF	계
SF0%	70	30	0	100
SF5%	70	25	5	100
SF8%	70	22	8	100
SF10%	70	20	10	100
SF15%	70	15	15	100

구분	SC120
용도	SC120 결합재
프리믹싱	5분
결합재종류	OPC:BS:Sf=7:1.5:1.5
가격(원/㎡)	169,120 (기준 SF15 172,960원)

SC100

SC120

○ 고로슬래그 미분말 등급으로 고려한 시작품(SC80, SC120)



- 1종 고로슬래그 : 초기 강도 확보, 장기강도 발현 적음
- 3종 + 1종, 2종 : 장기강도 발현 효과, 100MPa 이상 목표강도를 발현 하기 위해서는 SF의 사용 필요

SC100용 결합재 시작품	
구분	SC100
용도	SC100 결합재
프리믹싱	5분
결합재종류	OPC:BS:Sf=7:2:1
가격(원/㎡)	107,348원 (기준 SF10 115,699원)

SC80용 결합재 시작품	
구분	SC80
용도	SC80 결합재
프리믹싱	5분
결합재종류	OPC:BS:FA=6:3:1
가격(원/㎡)	43,176원 (기준 SF7.5 86,296원)

고로슬래그 미분말 등급으로 고려한 시작품(SC80, SC120)

○ 시제품(SC80, SC120)



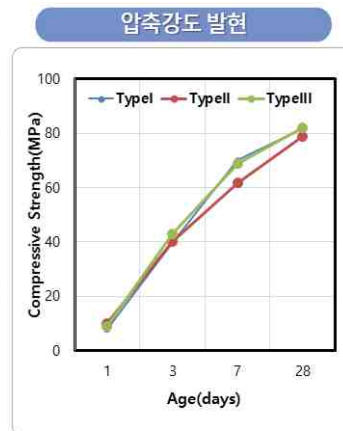
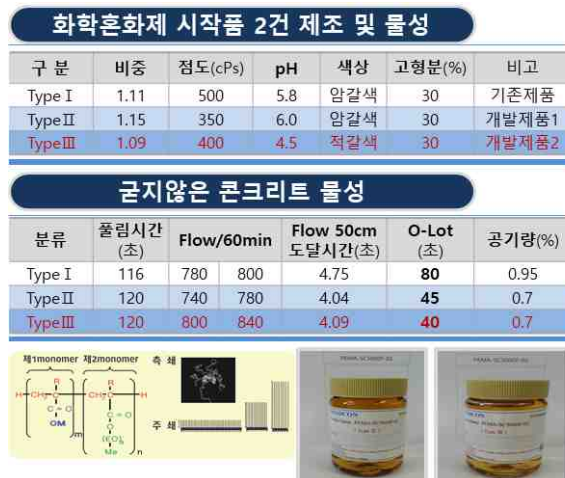
SC80



SC120

(다) 화학혼화제

○ 시제품(SC80-고성능감수제)



SC80용 고성능감수제 시제품

○ 시제품(SC100, SC120-고성능감수제)



SC100, SC120용 고성능감수제 시제품

○ 시작품(고성능감수제, 수축저감제, 방청제)

고성능 감수제 개선

- 재료분리 방지, 적절한 점성 확보

주성분	밀도 (g/m)	pH	점도 (cPs)	고형분 (%)
폴리카르본산계	1.09	4.5	400	30

- Monomer의 종류와 양, 고분자 구조의 주쇄와 측쇄의 조정

수축저감제 개발

- 시멘트 경화체의 표면장력 저하
- 주요성분 : 글리콜 에테르계
 $R-O-(EO)_n-(PO)_m-H$
 $R: C=1-6$ 의 알라기 및 수계기
 $n=0-10, m=0-10, n+m=1-20$

용도	비중	점도 (cPs)	pH	고형분 (%)
SC80	1.19	520	8.10	33.7
SC100				
SC120				

- 자기수축 30~50% 저감
- 전체수축 30~50% 저감

방청제 개발

- $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3Ca(NO_3)_2 \cdot 16-18H_2O$ 또는 $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O$ 시멘트와 반응생성
- 주요성분: 폴리글리콜 에스테르유도체 질소화합물

용도	비중	점도 (cPs)	pH	고형분 (%)
SC80	1.038	710	6.56	20
SC100				
SC120				

- 고성능감수제+방청제
- 방청효과 확인(공인시험기관)

고성능감수제, 수축저감제, 방청제 시작품

○ 시작품(분말형 혼화제, 방청용 혼화제)

분말형 혼화제 (시작품)

제품명	물성	
SRP5000F	외관	백색 미분말
	pH	4 ± 1.5 (1% 수용액)
	염화물	0.01% 이하
	주성분	폴리카르본산계

방청용 혼화제 (시작품)

제품명	물성	
PC15000F	외관	연갈색 액상
	pH	10.0 ± 1.0
	비중	1.11 ± 0.01
	고형분 (%)	30.0 ± 1.0

분말형 고성능감수제 시작품

방청용 혼화제 시작품

○ 시제품 및 Test Bed(수축저감제)

수축저감용 혼화제 (시제품)

제품명	물성	
PC15000F	외관	투명한 액상
	pH	4.5 ± 1.0
	비중	1.05 ± 0.01
	고형분 (%)	23.0 ± 1.0

- 제품명 : 수축저감용 고성능 혼화제 (PCR5000F)
- 목 적 : 베트남 호치민 수처리장의 장스팬 균열 방지용으로 적용(Test-Bed)
- 일 자 : 2017. 07. 26.

수축저감형 혼화제 시제품

Test Bed

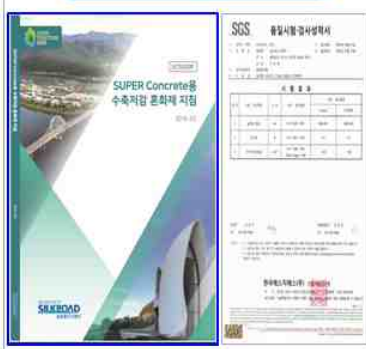
○ 시제품 및 Test Bed(조강성 일액형 화학혼화제)

시제품



- 용도 : **SC80**
- 제품명: 조강성 일액형 화학혼화제 (**SC3000E**)

매뉴얼



- 용도: **SC용** 수축저감 혼화제
- 구성: 물성, 특성, 용도, 사용량, 포장, 주의사항, 시험결과 등
- 적용: 베트남 수처리장

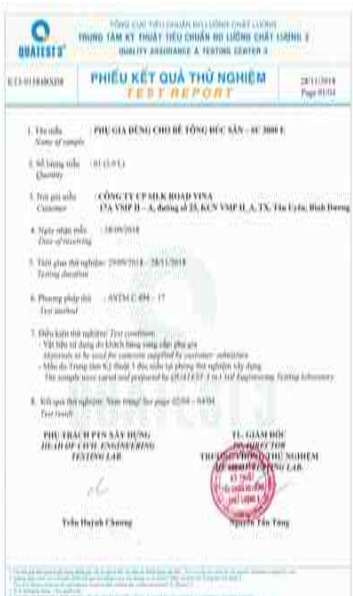
Test-Bed



- 제품: 조강성 일액형 화학혼화제 (**SC3000E**)
- 생산공장: 베트남 2차제품 업체 (**Nam Hong사**)
- 적용: 콘크리트 파일

조강성 일액형 화학혼화제 시제품 및 Test Bed

○ 상용화(수출 25.5 톤, 현장적용), 해외 공인기관 시험성적서 발급





- SC3000E 제품의 Pilot 및 공장 생산
- 25.5톤 생산 및 해외수출 :
- 매뉴얼 작성

- 현장 : 베트남 테저나사 롱하우 2차제품 공장
- 일시 : 2019년 6월 25일~26일




조강성 일액형 화학혼화제 상용화 및 해외 공인기관 시험성적서 발급

나. 120~180 MPa급 섬유보강 SUPER Concrete

(1) 섬유보강 SUPER Concrete 배합

(가) 배합설계

① 이론 근거

- 강도 증진 : 물-결합재비 저감, 반응성 결합재 사용으로 수화생성물의 증대 효과, 시멘트 페이스트와 골재 사이의 계면에 존재하는 공극을 채우기 위해 충전재 사용, 공극을 최소화하기 위한 소포제 사용, 굵은골재를 사용하지 않고 잔골재만 사용, 초기양생 후 고온증기양생 실시
- 인장강도 및 인성 향상 : 강섬유, 유기섬유, 폴리머 사용
- 시공성 향상 : 다량의 고성능 감수제 사용 등

② SC120f

○ 시험개요

- 적절 W/B, 반응성 결합재 조합 및 충전재 종류 도출 : 시공성, 강도특성
- 적정 강섬유 사용량 도출 : 역학적 특성

○ 저비용 충전재 및 잔골재에 대한 검토

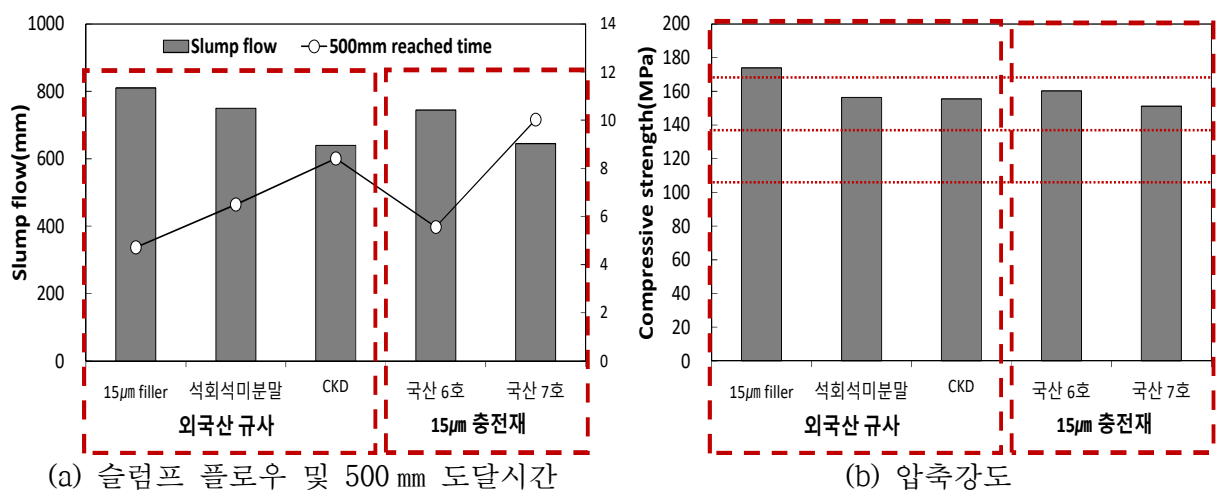
- 충전재 종류 : 외국산 규사(0.1~0.3 mm) 사용, 15 μ m 외국산 충전재, CKD(시멘트 킬른 덕트), 석회석 미분말
- 잔골재 종류 : 15 μ m 외국산 충전재 사용, 국산 7호 규사(0.1~0.35 mm)와 국산 6호 규사(0.35~0.7 mm)

○ 유동성 시험결과

- 슬럼프 플로우 600 mm 이상, 500 mm 도달시간 10초 이하로 양호한 시공성

○ 압축강도 시험결과

- 외국산 규사와 15 μ m 충전재를 사용한 배합은 고온양생 후 174 MPa로 가장 높게 나타났고, 국산 7호 규사와 15 μ m 충전재를 사용한 경우 고온양생 후 압축강도 151 MPa로 가장 낮게 나타남
- 설계기준강도 120 MPa를 확보하면서 경제적인 배합을 위한 충전재와 잔골재로서 CKD와 국산 7호 규사의 조합이 타당한 것으로 도출됨



[그림] 저비용 충전재 및 잔골재 사용에 따른 영향

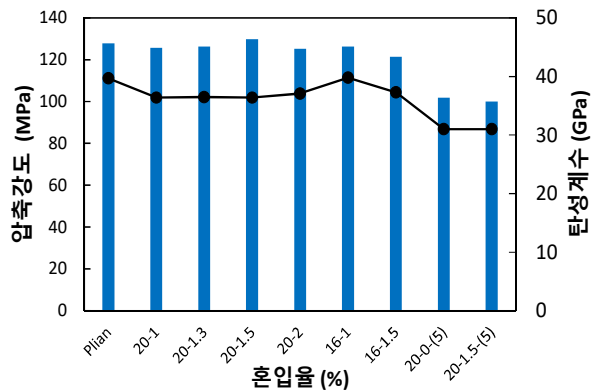
○ 섬유 종류와 혼입률에 대한 검토

- 섬유 길이와 혼입률 20 mm(0, 1, 1.3, 1.5, 2 vol.%), 16 mm(0, 1, 1.5 vol.%)

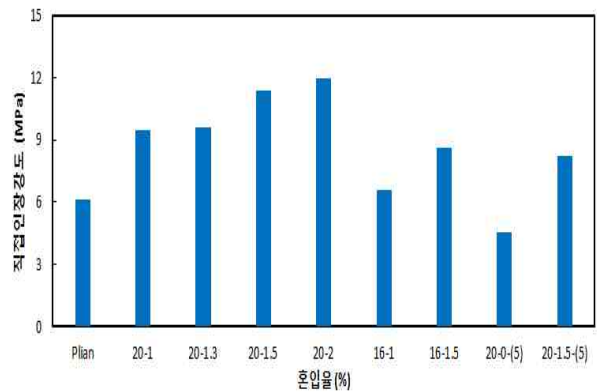
- 배합 : SC120f(W/B 0.23, Zr:BS=30:70, 국내 7호 규사, CKD 사용)

- 시험결과

- 압축강도 : 전반적으로 압축강도 120 MPa 이상으로 나타났고, 20 mm 섬유를 1.5% 사용한 경우에서 129 MPa로 가장 높게 나타남
- 인장강도 : 강섬유 혼입률이 많을수록 인장특성은 향상되는 경향을 보이며, 20 mm 섬유 1%를 사용한 경우에도 목표 인장강도 7 MPa 이상 발현하였으며, 특히 20 mm 2%를 사용한 경우에는 11.9 MPa로 가장 높게 나타남
- SC120f 배합에서 20 mm의 강섬유를 혼입률 1.0%로 하면 목표 인장강도 7 MPa를 달성할 수 있을 것으로 판단됨



(a) 압축강도 및 탄성계수



(b) 인장강도

[그림] 강섬유 혼입률에 따른 역학적 특성

○ SC120f 표준배합과 물성

W/B	단위질량(kg/ m³)						
	배합수	프리믹싱 결합재*	모래	강섬유(mm)		고성능 감수제	공기량 조절제
				16	20		
0.23	220.2	1252.9	842.4	-	78	17.6	0.7

* 프리믹싱 결합제: 시멘트, 저분말 실리카폼, 고로슬래그 미분말, 충전재, 수축저감재료

* SF:BS=30:70

구분	성능 목표	실험 결과
슬럼프 플로우	650±50 mm	645 mm
압축강도	설계기준강도 120 MPa	배합강도 151 MPa
인장강도	7 MPa	11.4 MPa

SC120f 사용재료	
반응성 분체	OPC:Zr:BS=1:0.75:0.175
잔골재	국내산 6호 또는 7호 규사
충전재	CKD 또는 석회석 미분말

③ SC150f

○ 시험개요

- 배합설계 절차 : W/B 0.20, 반응성 결합재의 비율 OPC : ZrSF : BS(ZrSF : BS = 50 : 50) = 1 : 0.125 : 0.125로 고정, 저비용 충전재와 잔골재를 사용하여 유동성과 역학적 특성을 검토 후 SC150f 배합을 도출하였으며, 강섬유 혼입물에 역학적 특성을 검토하여 적정 섬유 조합과 사용량을 도출하였음

○ 저비용 충전재 및 잔골재에 대한 검토

- 개요

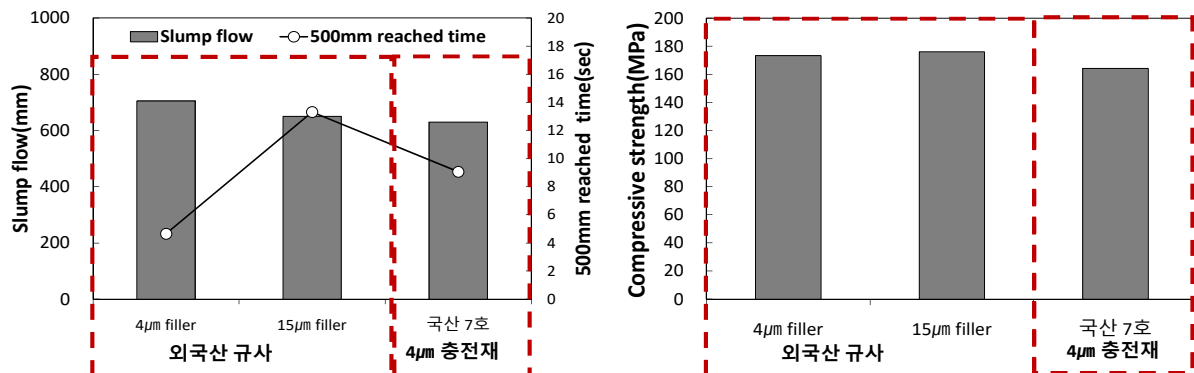
- 충전재 크기 : 외국산 규사(0.1~0.3 mm)에서 4 μ m와 15 μ m 외국산 충전재
- 잔골재 종류 : 4 μ m 외국산 충전재 사용, 국산 7호 규사(0.1~0.35 mm)

- 유동성

- 슬럼프 플로우 600 mm 이상, 500 mm 도달시간은 외국산 규사와 15 μ m 충전재를 사용한 경우 13초로 나타났는데, 점성의 증대로 기타 배합에 비하여 시공성이 저하하는 경향을 보임

- 압축강도

- 규사 종류 : 외국산이 국내산에 비해 강도가 크나, 그 차이는 7% 정도로 크지 않음
- 충전재 크기 : 압축강도에 미치는 영향은 크지 않고, 국산 규사를 사용하더라도 설계기준강도 150 MPa을 만족하는 것으로 분석됨



(a) 슬럼프 플로우 및 500 mm 도달시간

(b) 압축강도

[그림] 저비용 충전재 및 잔골재 사용에 따른 영향

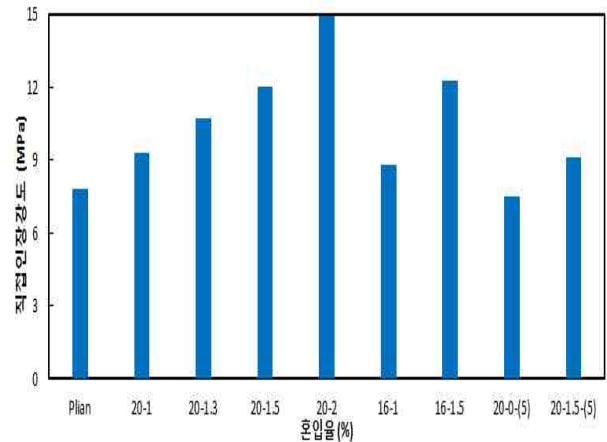
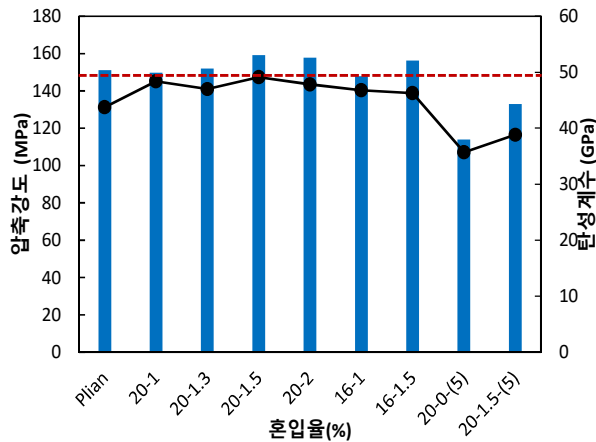
○ 강섬유 혼입물에 대한 검토

- 개요

- 강섬유 : 20 mm(0, 1, 1.3, 1.5, 2 vol.%), 16 mm(0, 1, 1.5 vol.%)
- 배합 : SC150f(W/B 0.20, Zr:BS=50:50, 국내 7호 규사, 4 μ m 충전재 사용)

- 결과

- 압축강도 : 모두 150 MPa 이상
- 인장강도 : 20 mm 섬유를 사용한 경우는 사용량 1%를 제외한 나머지 배합에서 목표 인장강도 10 MPa 이상 발현하였으며, 특히 20 mm 2%를 사용한 경우 14.9 MPa로 가장 높게 나타남
- 경제성을 고려하여 SC150f 배합의 섬유혼입물 1.5%(20 mm 1%, 16 mm 0.5%)를 사용하면 목표 인장강도에 충분히 도달할 수 있을 것으로 판단됨



(a) 압축강도 및 탄성계수

(b) 인장강도

[그림] 강섬유 혼입률에 따른 역학적 특성

○ SC150f 표준배합 및 물성

W/B	단위질량(kg/m³)					
	배합수	프리믹싱 결합재*	모래	강섬유		고성능 감수제
				16 mm	20 mm	
0.20	196.9	1287.8	866.4	39	78	24.4

* 프리믹싱 결합재: 시멘트, 저분말실리카폼, 고로슬래그 미분말, 충전재, 수축저감재료

* SF:BS=50:50

구분	성능 목표	실험 결과
슬럼프 플로우	650±50 mm	630 mm
압축강도	설계기준강도 150 MPa	배합강도 164 MPa
인장강도	9 MPa	12 MPa

SC150f 사용재료	
반응성 분체	OPC:Zr:BS=1:0.125:0.125
잔골재	국내산 7호 규사
충전재	4 μm 충전재

④ SC180f

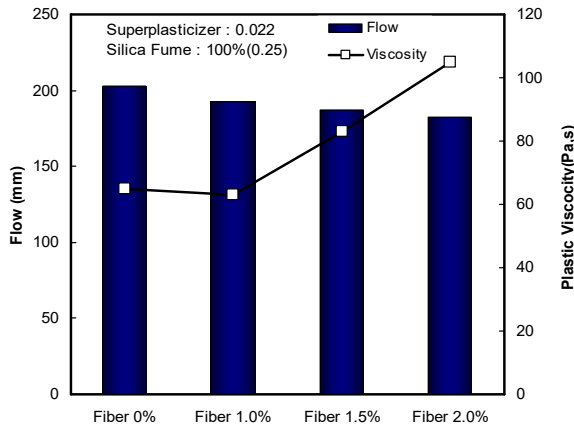
○ 저분말 실리카폼 사용에 따른 영향 분석

- 시험개요

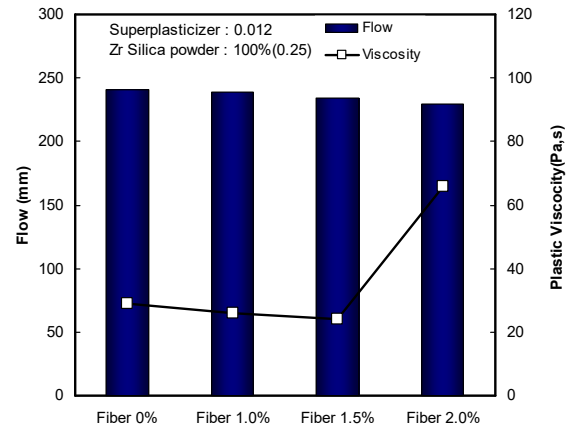
- 저분말 실리카폼 : 비표면적 80,000 g/cm³ 이상
- 잔골재 : 밀도 2.62 g/cm³, 평균입경 0.5 mm 이하, SiO₂ 93%
- 충전재 : 입자의 평균 크기 10 μm, SiO₂ 성분 99% 이상
- 고성능 감수제 : 폴리카르본산계, 밀도 1.08 g/cm³, 고형성분 30%
- 강섬유 : 밀도 7.5 g/cm³, 길이 20 mm, 직경 0.2 mm, 인장강도 2,000 MPa

- 강섬유 혼입률에 따른 영향

- ZrSF 미분말 사용 SC180f 배합은 강섬유의 혼입률이 증가하더라도 유동성과 점도의 변화는 크지 않는 것으로 나타났음
- SC180f 배합에서 일반 SF 대신에 저분말 SF 사용이 적절한 것으로 분석됨



(a) 일반 SF

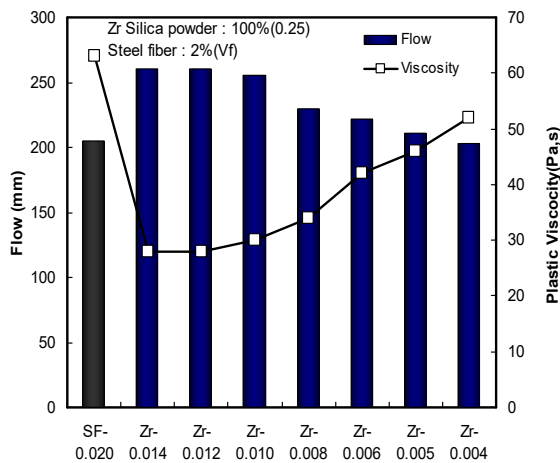


(b) 저분말 SF

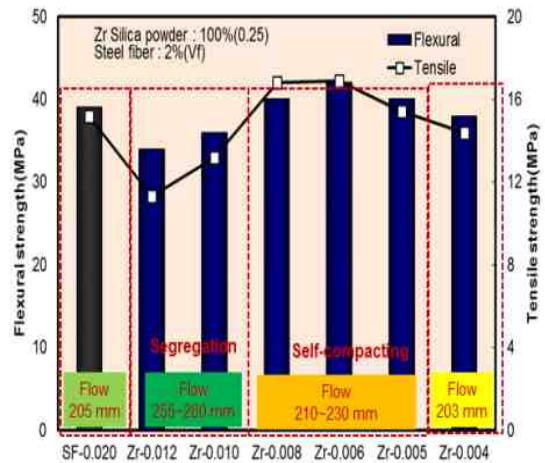
[그림] 실리카폼 종류에 따른 레올로지 특성

- 고성능 감수제 사용량에 따른 영향

- 레올로지 특성 : 저분말 SF를 사용할 경우에는 레올로지 특성이 향상되어 SP제 사용량을 60~70% 정도 적게 사용할 수 있음
- 역학적 특성 : 적절한 유동성이 확보된 경우, 섬유가 복합체 내의 골고루 분포되어 섬유의 보강효과가 발휘되어 휨강도와 인장강도 모두 향상됨



(a) 레올로지 특성

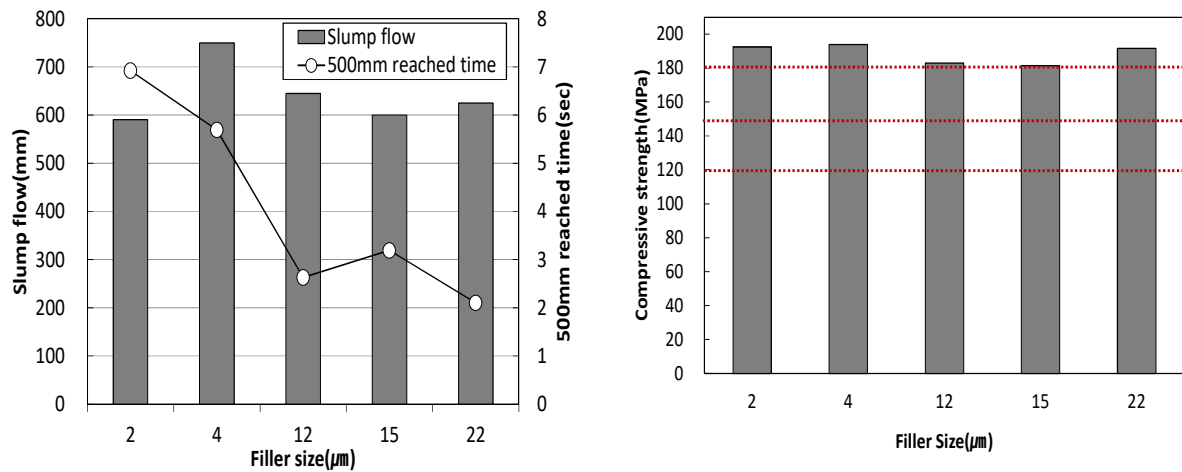


(b) 역학적 특성

[그림] 고성능감수제 사용량에 따른 영향

○ 충전재 크기에 따른 영향 영향 분석

- 충전재 크기 : 2, 4, 12, 15, 22 μ m(충전재 사이즈가 증가할수록 경제성 확보)
- 시험결과
 - 유동성 : 충전재 크기 4 μ m에서 가장 큰 유동성을 나타내었고, 500 mm 도달시간도 5.69초로 자기충전성 및 작업성이 우수한 것으로 나타남
 - 압축강도 : 충전재 크기가 압축강도에 미치는 영향은 크지 않으나, 4 μ m 크기의 충전재를 사용한 경우가 가장 양호한 것으로 나타남



[그림] 충전재 크기의 영향

○ SC180f 표준배합 및 물성

W/B	단위질량(kg/m ³)					
	배합수	프리믹싱 결합재*	모래	강섬유		고성능 감수제
				16 mm	20 mm	
0.20	187	1240	868	39	78	20
						공기량 조절제
						0.9

* 프리믹싱결합재: 시멘트, 저분말실리카폼, 충전재, 수축저감재료

구분	성능 목표	실험 결과	SC180f 사용재료	
슬럼프 플로우	650±50 mm	670 mm	반응성 분체	OPC:SFZr=1:0.25
압축강도	설계기준강도 180 MPa	배합강도 198 MPa	잔골재	외국산 규사
인장강도	11 MPa	12.7 MPa	충전재	4 μm 충전재

⑤ 해외 현지화

○ 개요

- 적용 가능한 해외 국가를 대상으로 SUPER Concrete의 해외 현지화를 목표로 함
- 해외 현지화는 현지재료 사용, 배합 조정, 현지 설비를 통한 제조 및 양생, 품질관리 등으로 구성되어 있음

○ 미국에서 현지화

- 현지화 방안
 - 미국산 재료 사용 : SC180f를 구성하는 재료 중에서 50% 이상의 양을 차지하고 있는 모래(0.15~0.6 mm, 습식 모래)와 시멘트(Type 1)는 미국산 재료 사용
 - 나머지 재료 한국에서 프리팩킹하여 화물로 배송 : 프리믹싱 결합재, 강섬유, 고성능감수제
 - 실험수행 기관 : Iowa 대학 LACT(Laboratory for Advanced Construction Technology)

- 제조절차 : SC의 영문 매뉴얼 사용
- 믹서
 - 드럼 믹서 : 속도 20 rpm
 - 이유 : 미국에서 콘크리트 제조는 레미콘 공장에서 사용재료만 공급받고, 건설현장에서 레미콘 트럭의 드럼 믹서로 이용하는 조건을 재현하기 위해
- 결과 : 미국 시멘트와 모래를 사용하여 압축강도를 평가한 결과, 재령 1일에서도 100 MPa에 근접하였고, 재령 28일에서 180 MPa 이상이 발현되어 미국에서 SC180f의 현지화를 성공하였음

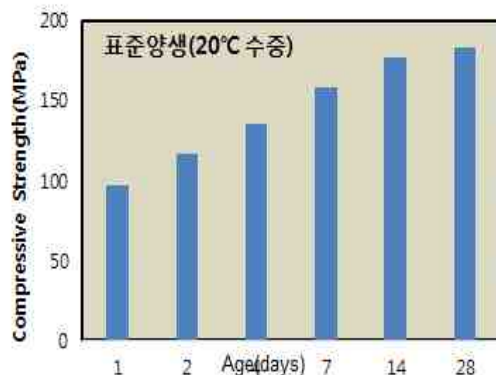


현지화에 사용된 재료 및 믹서



시험체 제작 모습

- 현지화 결과



재령별 압축강도

구분	현지화 내용
재료	▪ 시멘트, 모래 : 미국 현지재료 ▪ 그 외 재료 : 한국에서 프리팩킹을 통해 보급
믹서 및 제조	▪ 레미콘 트럭 드럼 믹서
배합 조정	▪ 현지여건에 따라 물-결합제비 및 고성능 감수제 사용량 조정
양생	▪ 표준양생 또는 고온양생

미국에서 현지화 방안

- 미국 교량 건설을 위한 재료 보급 및 시험배합
 - 재료보급 : 프리믹싱 결합재, 강섬유, 고성능 감수제, 소포제[총 40톤, 화물 컨테이너 12m 4대]
 - 시험배합 : 공급한 재료 및 1차의 재료 현지화의 결과를 검증하기 위해 시험배합을 통해 1차 현지화 기술과 공급한 재료가 문제가 없음을 검증함
 - 레미콘 트럭으로 제조 및 교량 부재 제작 : 미국에서 콘크리트를 제조하는 방식으로 SC180f 배합을 제조하였음
 - 재료의 투입방식, 믹싱방법 및 시간 등을 고려하여 미국에서 사용할 수 있는 제조매뉴얼을 마련하였음
 - 그 결과, 한국에서 제조하는 것보다 고성능 감수제의 사용량을 50% 정도 저감시킬 수 있었으며, 압축강도는 197 MPa를 달성하였음



재료보급



레미콘 트럭에 의한 제조



교량 건설을 위한 기초공사



부재제작 관련 논의



레미콘 트럭에 의한 시험타설



교량 건설을 위한 기초공사

○ 미얀마에서 현지화

- 현지화 방안

■ 미얀마 재료

- ✓ 시멘트 : Type 1(태국산, 미얀마산)
- ✓ 모래 : 강모래(밀도 2.6, 흡수율 1.6%, F.M. 2.3)
- ✓ 충전재 : 석회석 미분말

■ 나머지 재료 : 한국에서 보급

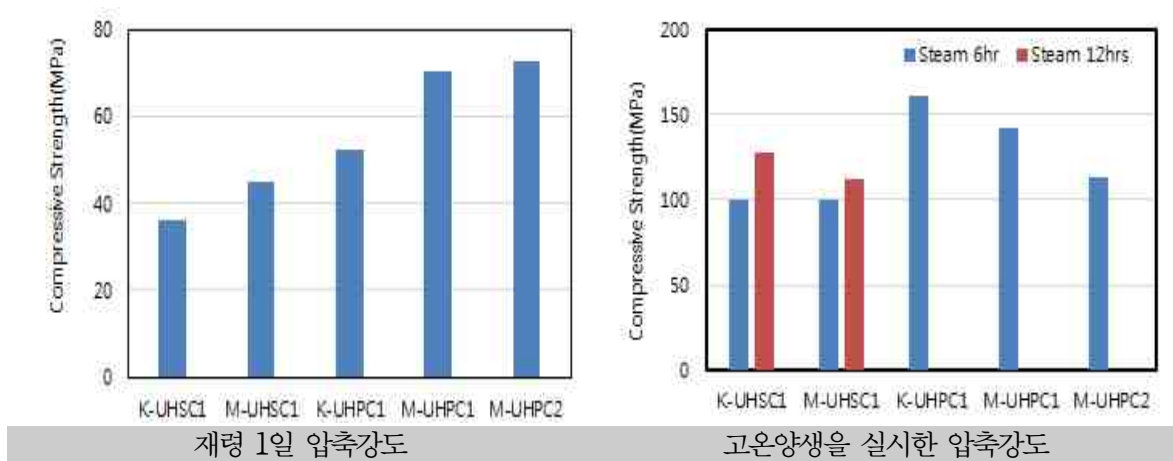
Name	Cement	Sand	Filler	Steel fiber	Curing
K-UHSC1	Korea	Myanmar	Korea (Silica Powder)	X	Steam (90 °C 6 hrs or 12 hrs) Water Sealing (Room Temp.)
M-UHSC1	Myanmar	Myanmar			
K-UHPC1	Korea	Korea			
M-UHPC1	Thailand	Myanmar			
M-UHPC2	Thailand	Myanmar	Myanmar (Limestone Powder)	O ($V_f=1.5\%$)	

- 시험개요

- 시험항목 : 슬럼프 플로, 압축강도
- 시험기관 : KICT와
미얀마 국립 협소 공동
- 믹서 : 팬 믹서(35rpm, 50 리터)



- 시험결과



- 재령 1일 강도 : 미얀마의 시멘트를 사용한 경우가 1일 압축강도가 우수하고, 압축강도 70 MPa 정도를 달성하였음
- 고온양생을 실시한 강도 : SC180f를 미얀마에서 제조하더라도 압축강도는 충분히 발현됨. 미얀마 시멘트와 모래를 사용한 M-UHPC1 배합은 6시간 고온양생을 실시한 결과, 140 MPa 정도이고, 미얀마 시멘트, 모래, 석회석 미분말을 사용한 M-UHPC2 배합은 120 MPa로 한국의 시멘트를 사용한 경우보다 강도발현이 저하되는 것으로 분석됨

(나) 성능

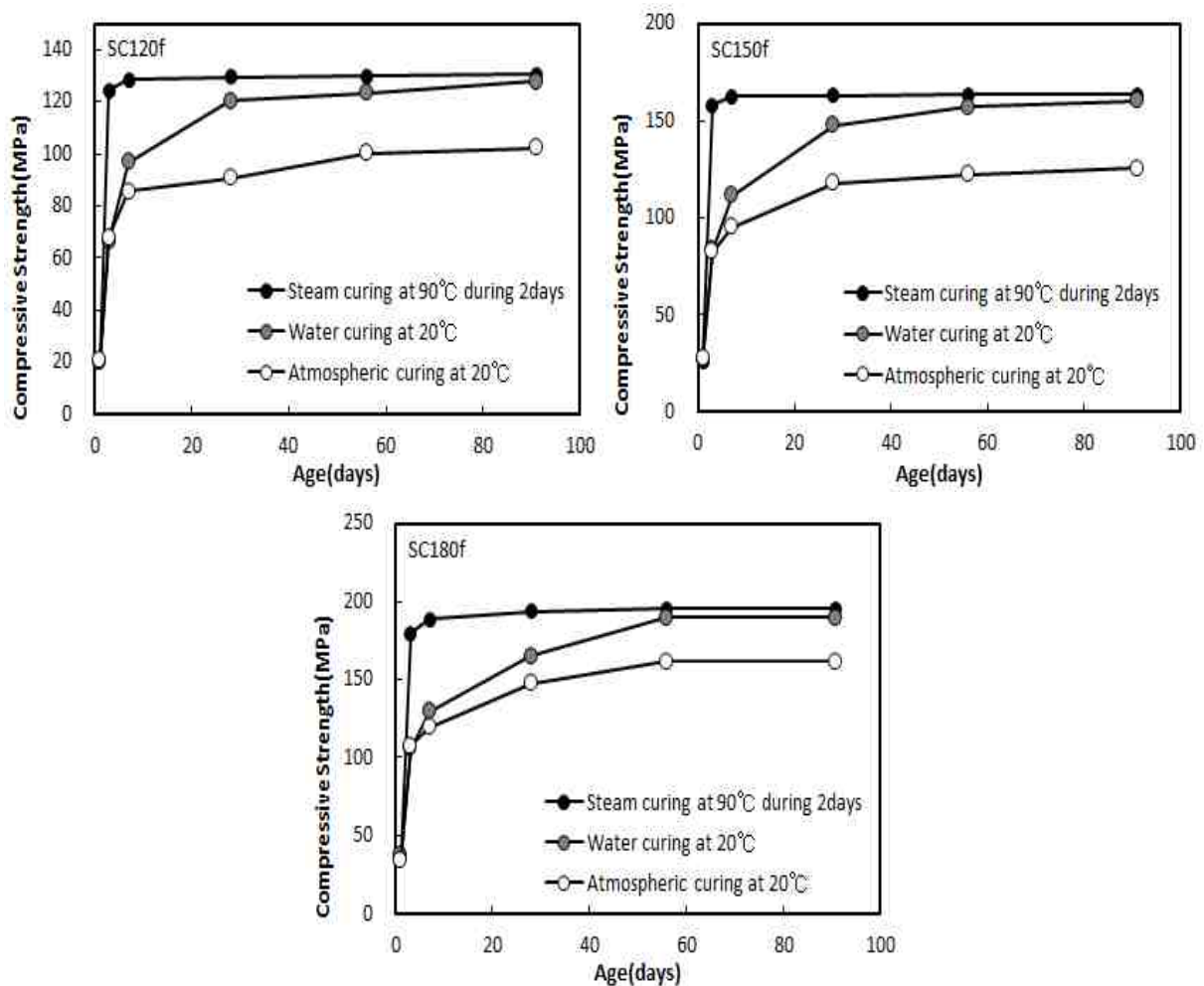
① 압축강도

○ 시험개요

- 시험체 : $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체
- 시험방법 : SUPER Concrete 시험법

○ 양생방법에 따른 강도발현

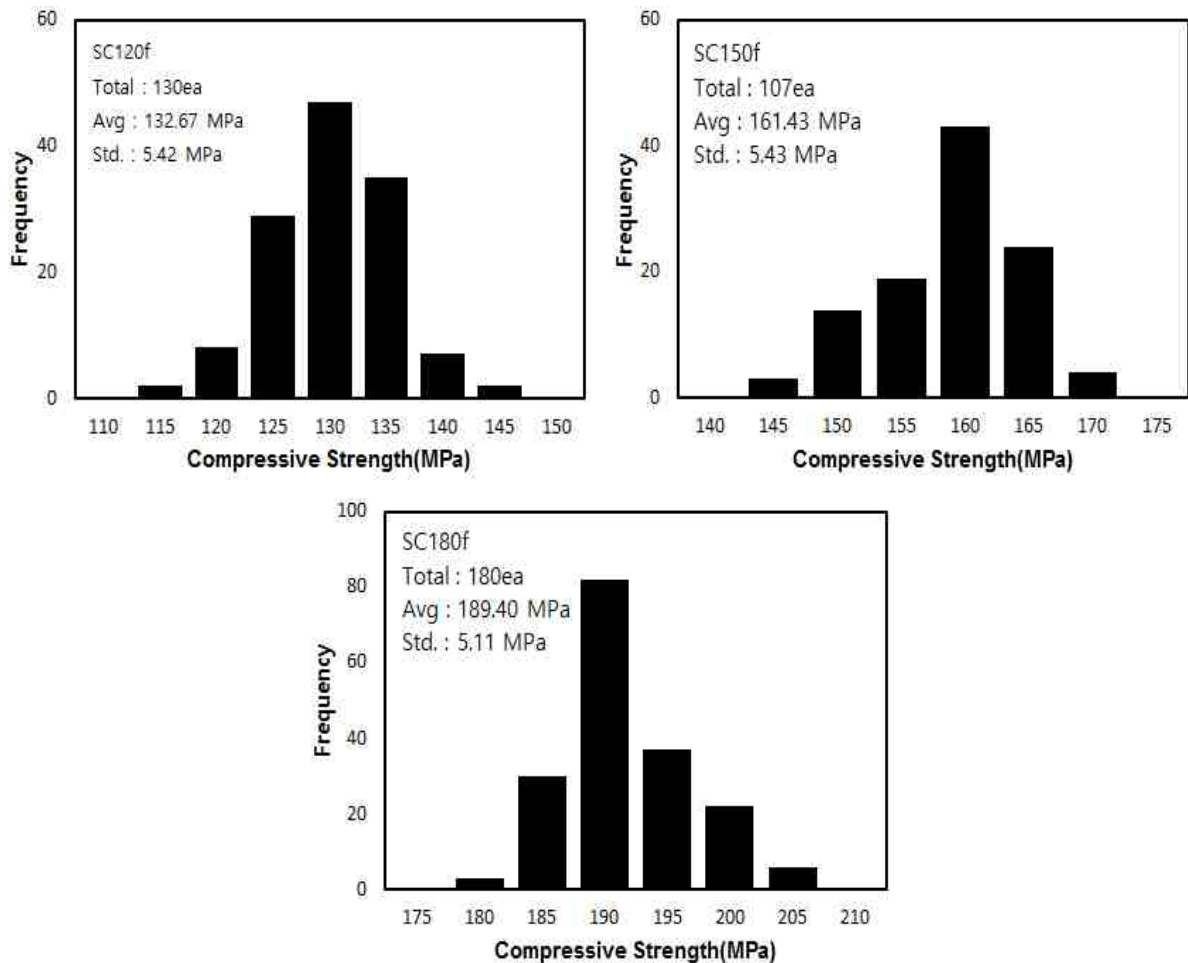
- 양생방법에 따라 강도발현 특성이 크게 다름
- 고온양생 : 양생종료 시점에서 거의 강도발현이 되고, 그 이후에 강도발현은 작으며, 설계기준강도는 고온양생 종료시점에서 도달하므로 설계기준재령을 7일로 설정이 가능함
- 수중양생 : 재령이 증가함에 따라 강도 발현되고, 재령 56일과 재령 91일 사이에 고온양생을 실시한 경우와 거의 유사한 수준에 도달함
- 기건양생 : 재령 7일과 28일 정도 이후에 강도발현이 거의 없기 때문에 특별한 조건이 제시되지 않은 경우에는 기건양생을 실시하지 않은 것을 기본으로 함



[그림] 섬유보강 SC의 압축강도 발현

○ 압축강도 분포

- SC120f : 데이터 수 130개, 평균 133 MPa, 표준편차 5.4 MPa
- SC150f : 데이터 수 107개, 평균 161 MPa, 표준편차 5.4 MPa
- SC180f : 데이터 수 180개, 평균 189 MPa, 표준편차 5.1 MPa



[그림] 섬유보강 SC의 압축강도 분포

○ 압축응력-변형률 곡선

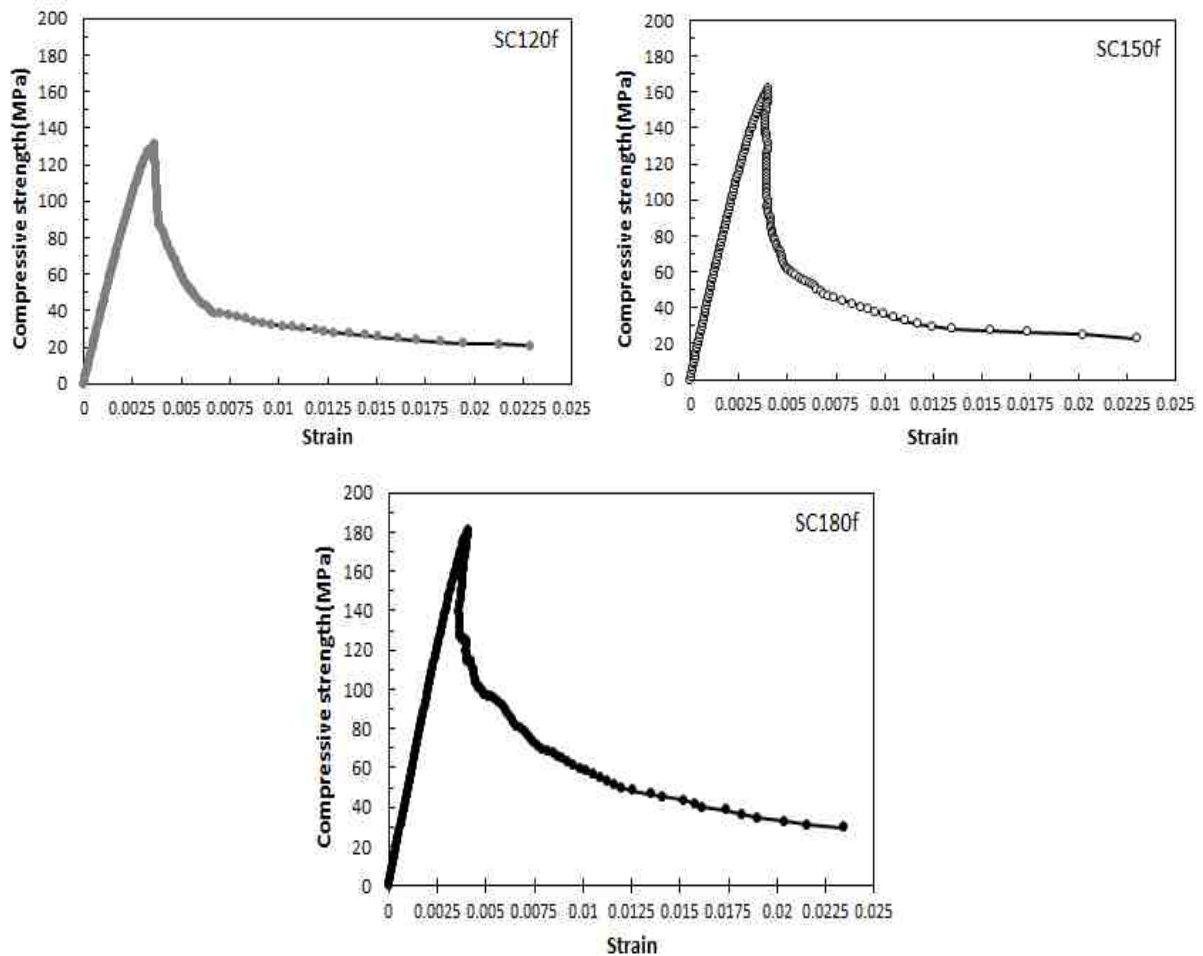
- 시험개요



[그림] 압축응력-변형률 시험

- 시험결과

- 강섬유 보강 효과로 인해 압축강도 이후 변형능력이 증가하고 있음



[그림] 압축응력-변형률 곡선

② 직접인장강도

○ 시험개요

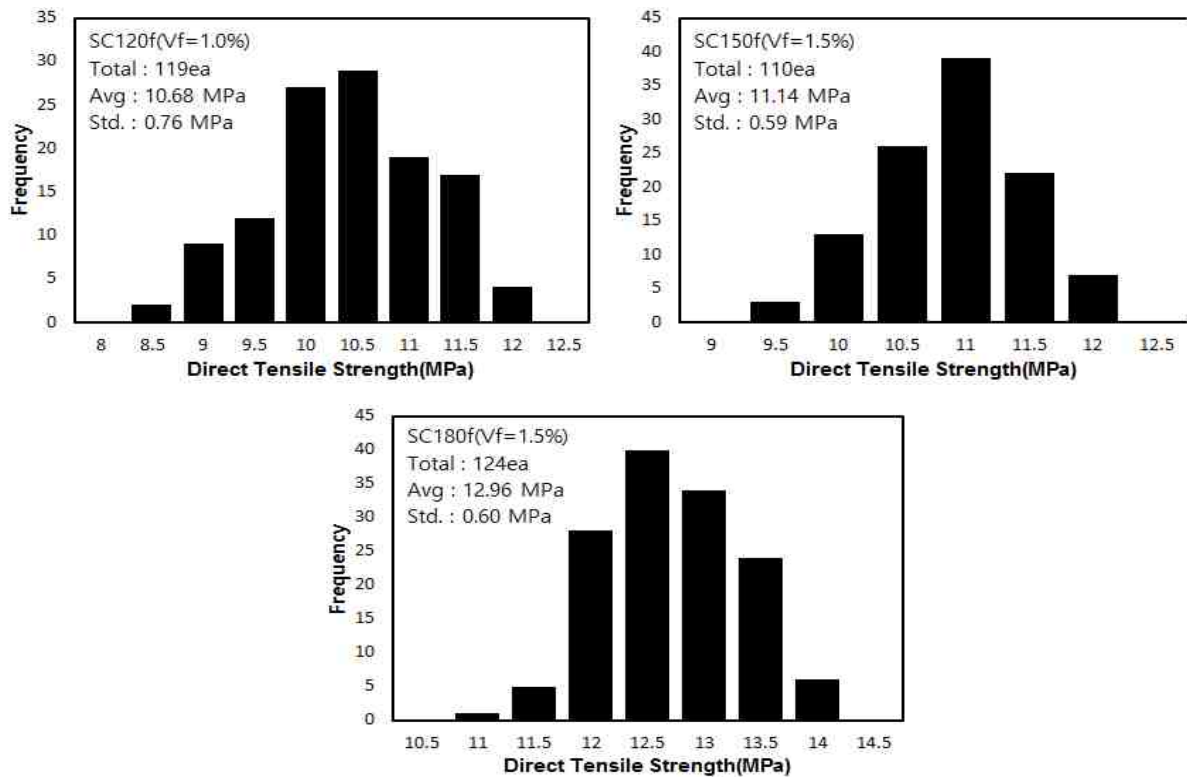
- 시험체 : SUPER Concrete 시험법에서 규정한 노치 직접인장시험체
- 시험방법 : SUPER Concrete 시험법

○ 인장강도 분포

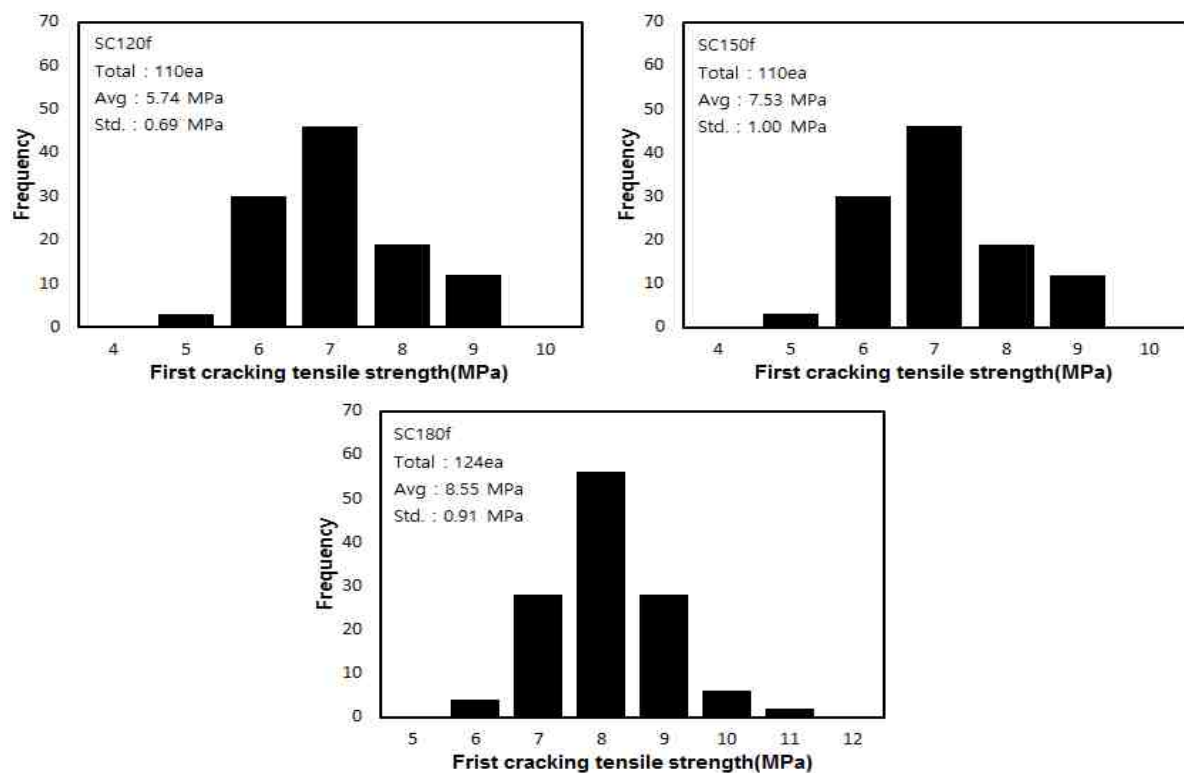
- SC120f : 데이터 수 119개, 평균 10.7 MPa, 표준편차 0.8 MPa
- SC150f : 데이터 수 110개, 평균 11.4 MPa, 표준편차 0.6 MPa
- SC180f : 데이터 수 124개, 평균 12.7 MPa, 표준편차 0.6 MPa

○ 균열발생 인장강도 분포

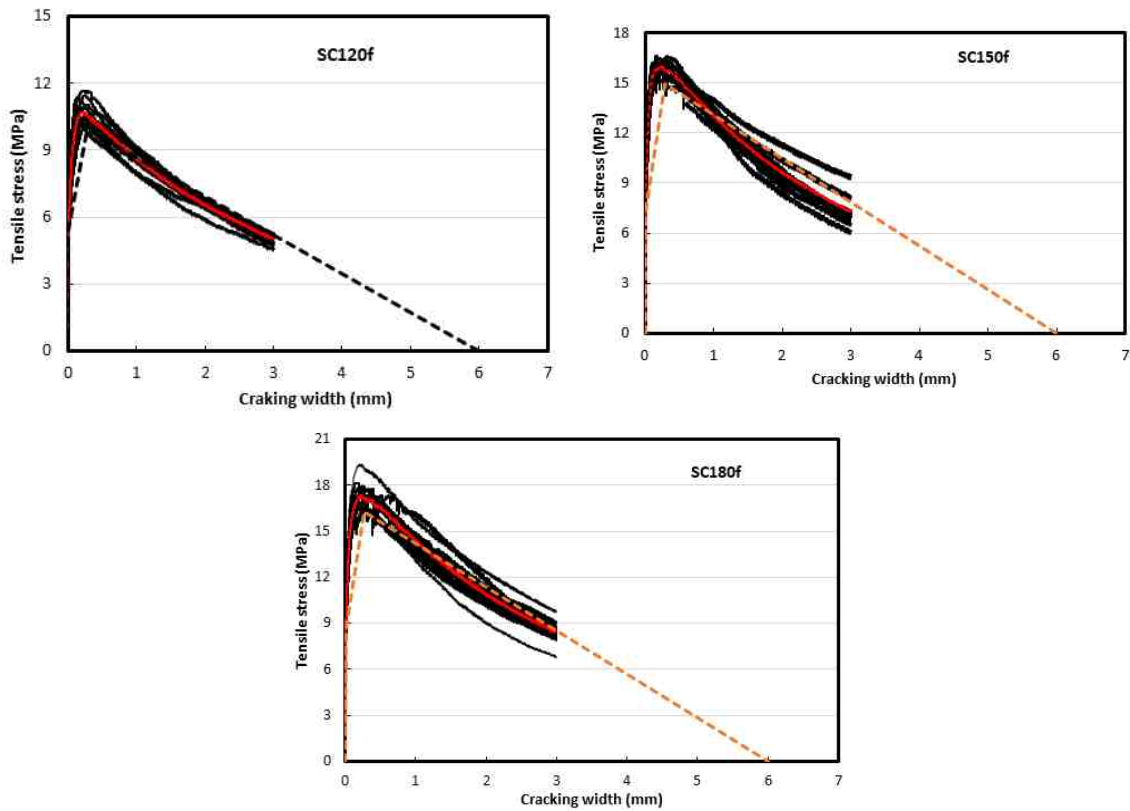
- SC120f : 데이터 수 110개, 평균 5.7 MPa, 표준편차 0.7 MPa
- SC150f : 데이터 수 110개, 평균 7.5 MPa, 표준편차 1.0 MPa
- SC180f : 데이터 수 124개, 평균 8.6 MPa, 표준편차 0.9 MPa



[그림] 직접인장도 분포



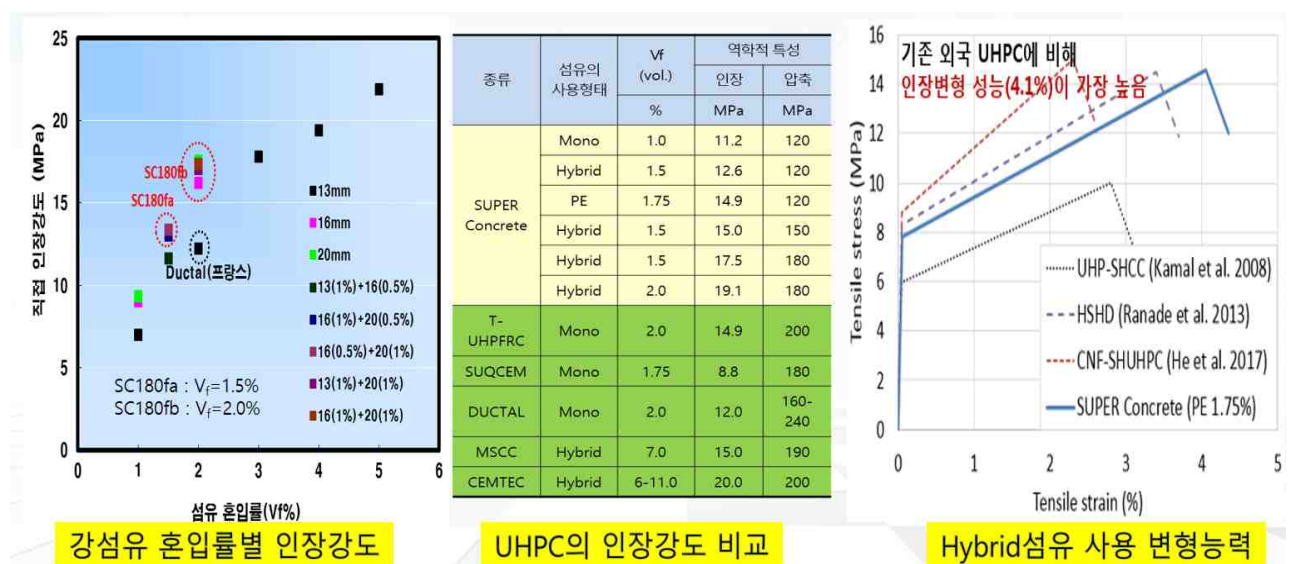
[그림] 균열발생인장강도 분포



[그림] 직접인장 거동

○ 강섬유의 종류 및 혼입률에 따른 직접인장강도

- 장단 강섬유 사용으로 강섬유의 혼입률 저감(V_f 0.5~1.0, 11.7~23.4 만원/ m^3)
- 동일한 강섬유 혼입률에서 세계최고의 인장강도 확보
: SC120f 14.9 MPa, SC150f 15.0 MPa, SC180f 19.1 MPa
- Hybrid 섬유 사용으로 균열저항 및 인장변형(4.1%) 성능 향상



[그림] 강섬유 종류 및 혼입률에 따른 직접인장강도

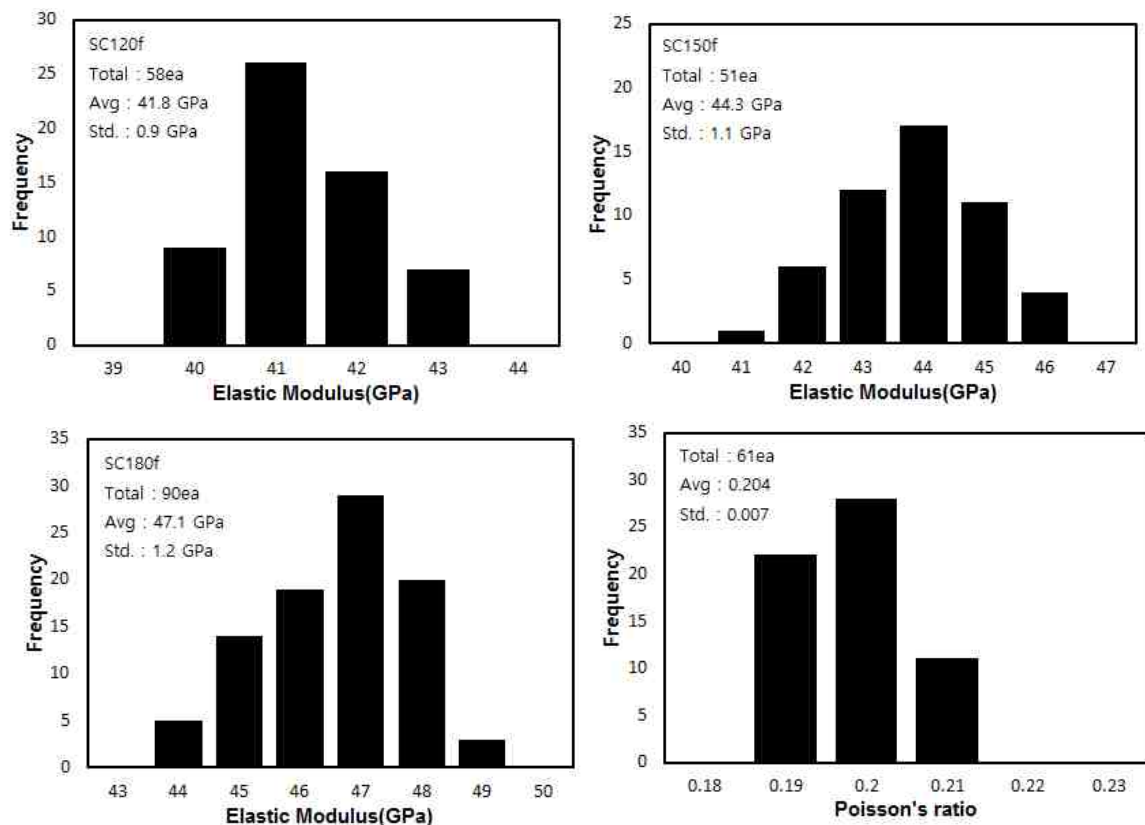
③ 탄성계수와 포아송비

○ 시험개요

- 시험체 : $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체
- 시험방법 : KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아송비 시험방법)

○ 시험결과

- SC120f : 데이터 수 58개, 평균 41.8 GPa, 표준편차 0.9 GPa
- SC150f : 데이터 수 51개, 평균 44.3 GPa, 표준편차 1.1 GPa
- SC180f : 데이터 수 90개, 평균 47.1 GPa, 표준편차 1.2 GPa
- 포아송비 : 데이터 수 61개, 평균 0.204, 표준편차 0.007



[그림] 탄성계수와 포아송비

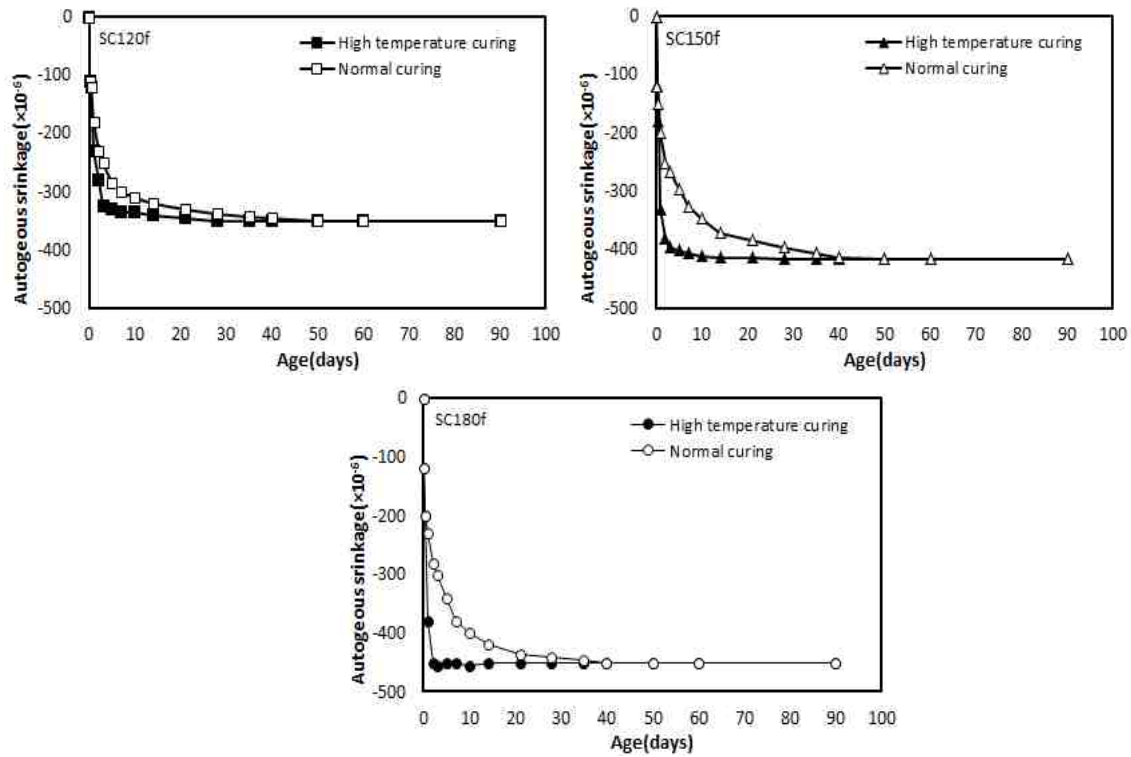
④ 수축특성

○ 시험방법

- 시험체 : $100 \times 100 \times 400$ mm
- 자기수축 시험 : KS F 2586(시멘트 풀, 모르타르, 콘크리트의 자기수축 및 자기팽창 시험방법)

○ 자기수축

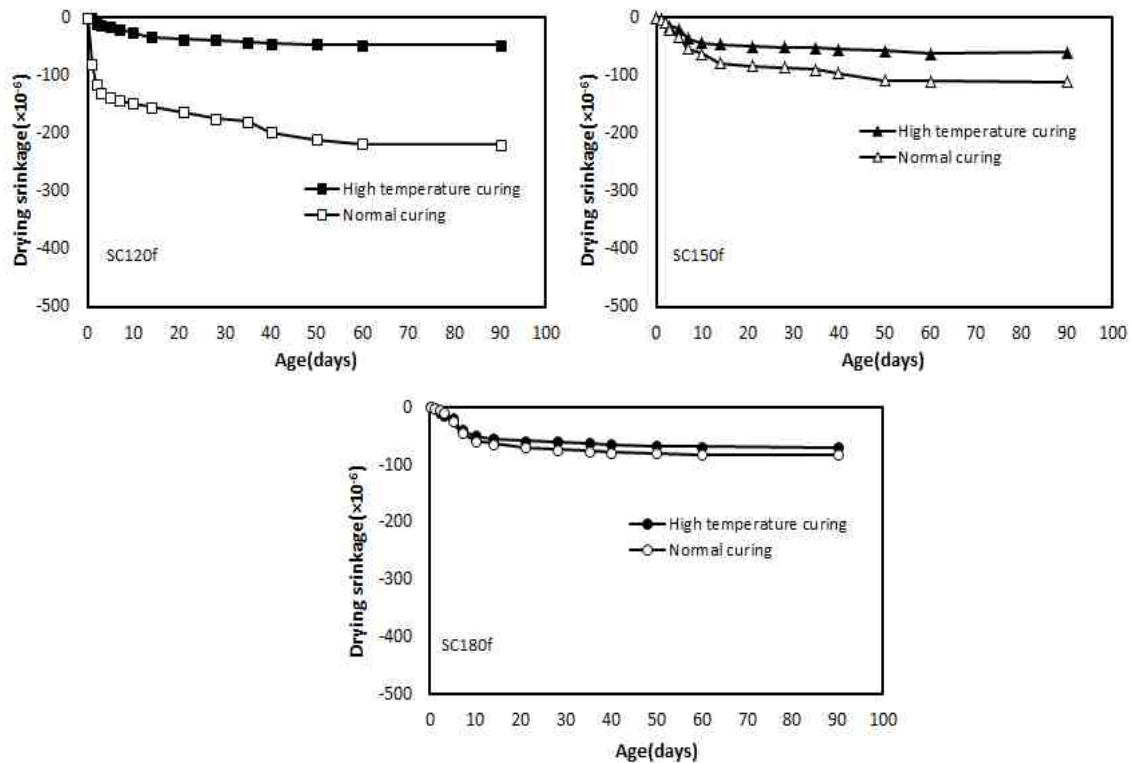
- 양생방법에 따라 초기수축 발현속도는 다르고, 최종 수축량은 차이가 없음
- SC120f $320 \sim 370 \times 10^{-6}$, SC150f $400 \sim 450 \times 10^{-6}$, SC180f $420 \sim 470 \times 10^{-6}$



[그림] 자기수축

○ 건조수축

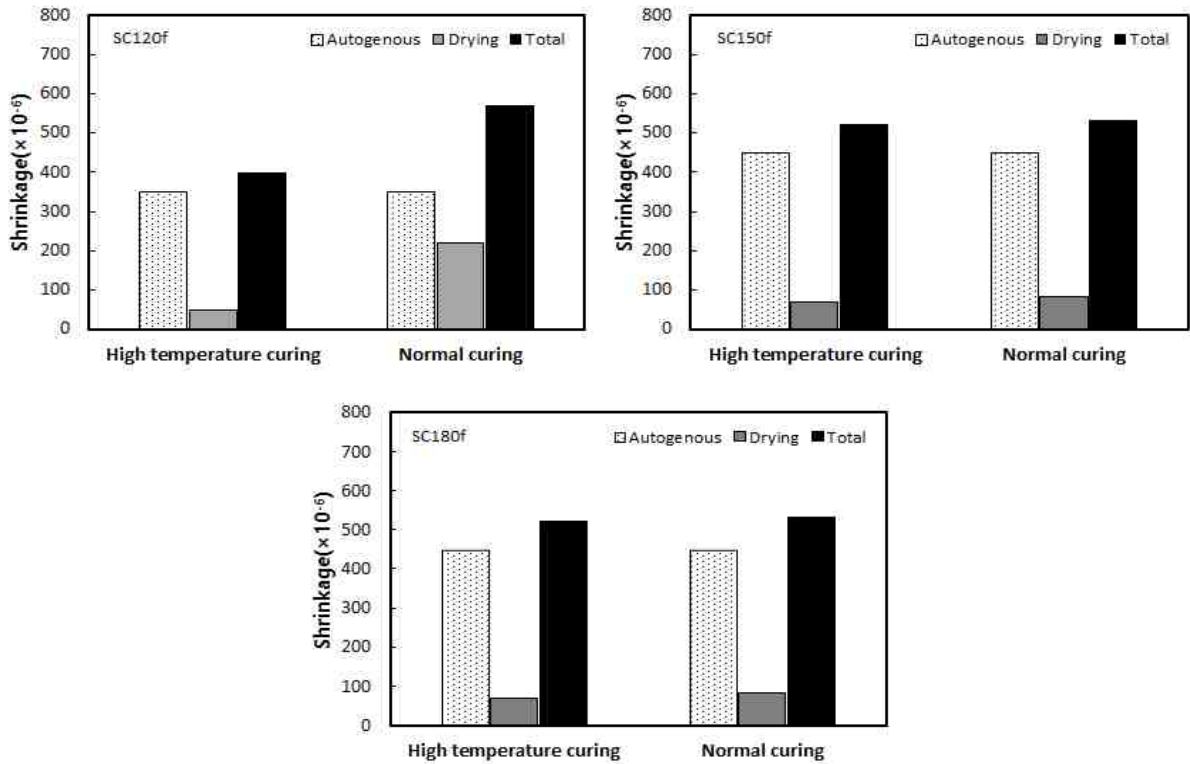
- SC120f : 고온양생 40~60 × 10⁻⁶, 일반양생 200~250 × 10⁻⁶
- SC150f : 고온양생 50~70 × 10⁻⁶, 일반양생 100~150 × 10⁻⁶
- SC180f : 고온양생 60~80 × 10⁻⁶, 일반양생 70~100 × 10⁻⁶



[그림] 건조수축

○ 전체수축

- SC120f : 고온양생 $370\sim420\times10^{-6}$, 일반양생 $550\sim600\times10^{-6}$
- SC150f : 고온양생 $450\sim500\times10^{-6}$, 일반양생 $500\sim550\times10^{-6}$
- SC180f : 고온양생 $500\sim550\times10^{-6}$, 일반양생 $500\sim550\times10^{-6}$



[그림] 전체수축

⑤ 크리프 특성

○ 시험개요

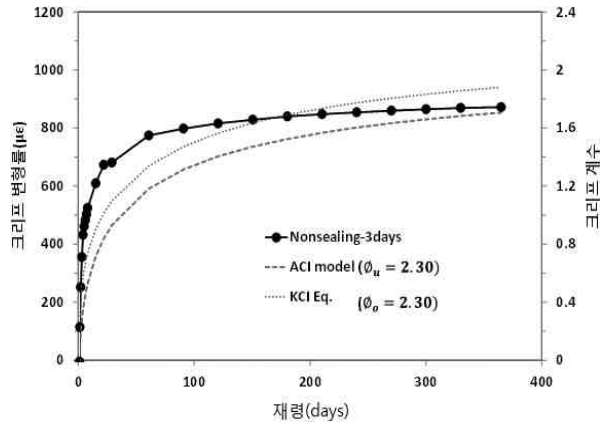
- 배합 : SC120f, SC150f, SC180f
- 시험방법 : KS F 2453
- 재하재령 : 3일 또는 28일

○ 재하 재령의 영향(표준양생)

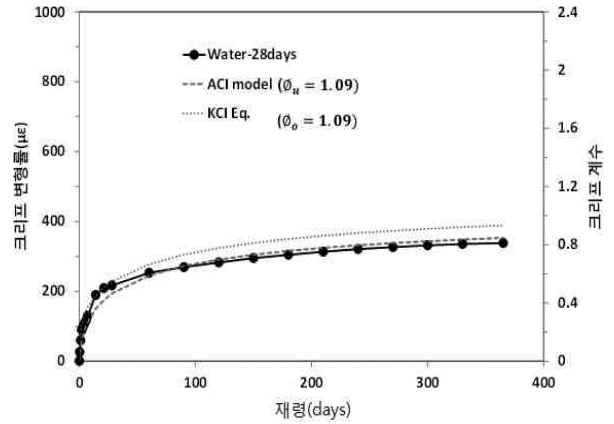
- SC180f 3일 재하 크리프 계수 2.3
28일 재하 크리프 계수 1.1
- SC120f 28일 재하 크리프 계수 0.7

○ 고온양생

- 최종 크리프 계수 0.45

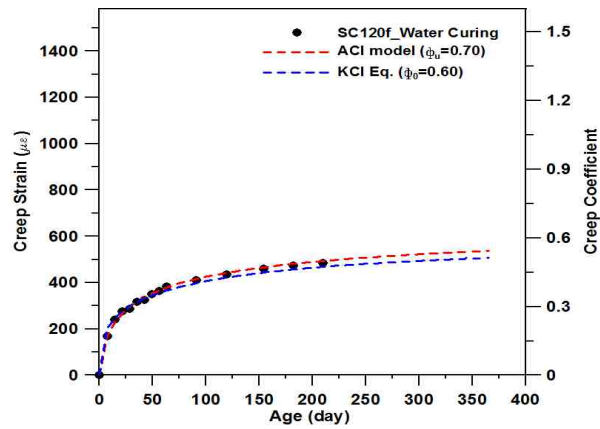


(a) 3일 재령 재하

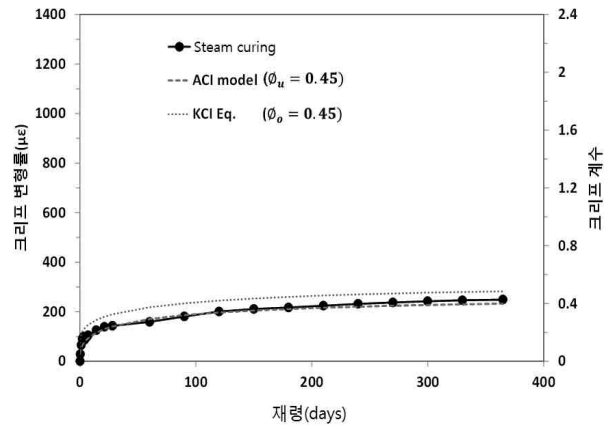


(b) 28일 재령 재하

[그림] 표준양생 크리프(SC180f)



[그림] 28일 재령 재하 크리프(SC120f)



[그림] 고온양생 크리프(SC180f)

⑥ 내구성

○ 내구성 시험 개요

- 배합 : NC40, SC120f, SC150f, SC180f
- 시험항목 : 탄산화, 동결융해, 염해

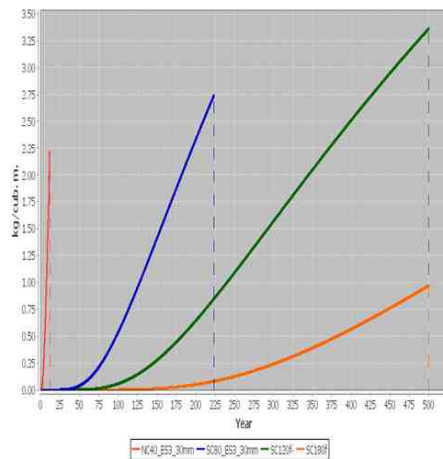
○ 내구성 시험 결과

- SC120f, SC150f, SC180f 배합은 일반 고강도 콘크리트(NC)에 비해 모든 내구성이 우수함
- SC150f과 SC180f 배합은 탄산화, 동결융해, 염해에서 열화가 발생하지 않음

[표] 내구성 시험결과

항목	NC40	SC120f	SC150f	SC180f	비고
탄산화	4주 2.3 mm 8주 3.7 mm	4주 0 mm 8주 1 mm	4주 0 mm 8주 0 mm	4주 0 mm 8주 0 mm	KS F 2584 CO ₂ 5% 습도 60% 온도 20 ℃
동결융해	상대동탄성계수 92% 질량변화율 0.4%	상대동탄성계수 100% 질량변화율 0%	상대동탄성계수 100% 질량변화율 0%	상대동탄성계수 100% 질량변화율 0%	KS F 2456 기중동결수중용 해
염해	침투깊이 9.35 mm 확산계수 3.46 ⁻¹² m ² /s	침투깊이 0 mm 확산계수 -	침투깊이 0 mm 확산계수 -	침투깊이 0 mm 확산계수 -	NT Build 492
	충전하량 1,850 Coulombs	충전하량 10 Coulombs	충전하량 8 Coulombs	충전하량 4 Coulombs	ASTM C 102

○ 내구수명 예측



SC120f				SC180f			
해안	노출조건	피복두께(mm)	예측수명	해안	노출조건	피복두께(mm)	예측수명
서,해안, 간만 대	ES3	30	500년 이상	서,해안, 간만 대	ES3	30	500년 이상
		40	500년 이상			40	500년 이상
	ES1	30	500년 이상		ES1	30	500년 이상
동해안	ES3	30	500년 이상	동해안	ES3	30	500년 이상
	ES1	30	500년 이상		ES1	30	500년 이상

⑦ 내화성능

○ 시험개요

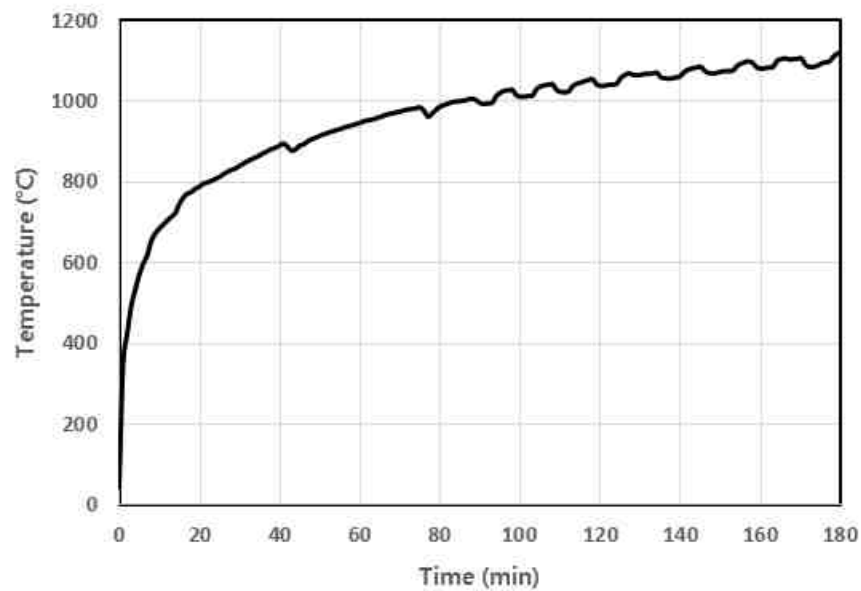
- 시험체 : SC120f+내화섬유 0.7%(체적)
- 시험방법 : KS F 2257



[그림] 내화시험 시험체

○ 실험 가열곡선

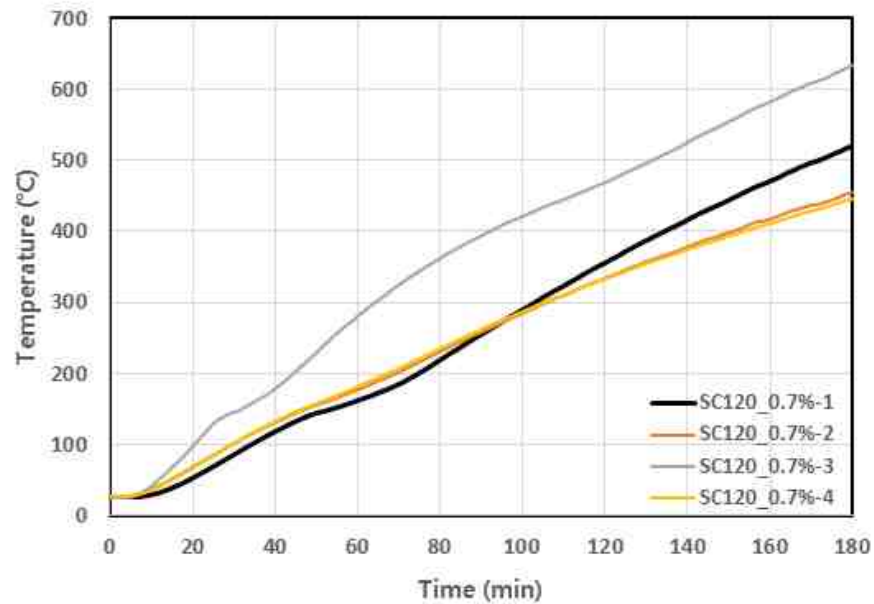
- 내화시험은 180분 동안 진행하였으며, 최대온도 1,100℃까지 도달하였고 KS F 2257의 표준시간-가열 온도곡선과 유사한 경향을 나타냄



[그림] 내화시험 시간-가열 온도 곡선<실측>

○ 내화성능

- 시험체 : 콘크리트 균열은 발생하였으나, 박리 및 폭렬 현상은 발생하지 않음
- 온도 : 1시간에서 최고온도 281℃, 2시간에서 최고온도 467℃ 이하이고, 3시간에서 평균값은 514℃, 최대 온도는 634℃으로 내화기준 평균값이 538℃, 최고온도 649℃를 초과하지 않음
- 유기섬유 사용 SC120f 배합은 3시간의 내화성능 확보



[그림] 내화실험 결과

⑧ 펌핑성능

○ 레올로지 특성 평가

- 슬럼프 플로와 압송거리에 따라 토출량이 다르고, 슬럼프 플로가 클수록 토출량이 크며 압송거리가 길어질수록 토출량이 작아짐
- 슬럼프 플로 670 mm 경우, 압송거리 500 m에서도 토출량이 37 m³/hr

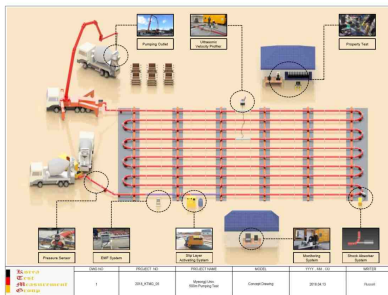
[표] 레올로지 특성 및 토출량 예측 결과

배합	슬럼프 플로 (mm)	레올로지 특성				토출량 (m ³ /hr)			
		유회층		콘크리트		압송거리 (m)			
		항복응력 (Pa)	점도 (Pa · s)	항복응력 (Pa)	점도 (Pa · s)	200	300	400	500
SC120f	800	0.1	5.17	0.1	111.6	72	48	36	29
	670	14.5	4.09	12.7	79.6	92	62	46	37

※ 배관 내부 평균 최대압력 200bar 조건

○ 평가 개요

- 배합 : SC120f
- 슬럼프 플로 변화 : 650 mm
- 콘크리트 생산 : SC120f(레미콘 BP+레미콘트럭)
- 콘크리트 펌핑실험 : 200 m



[그림] SC120f 배합의 펌핑성능 시험

○ 평가결과

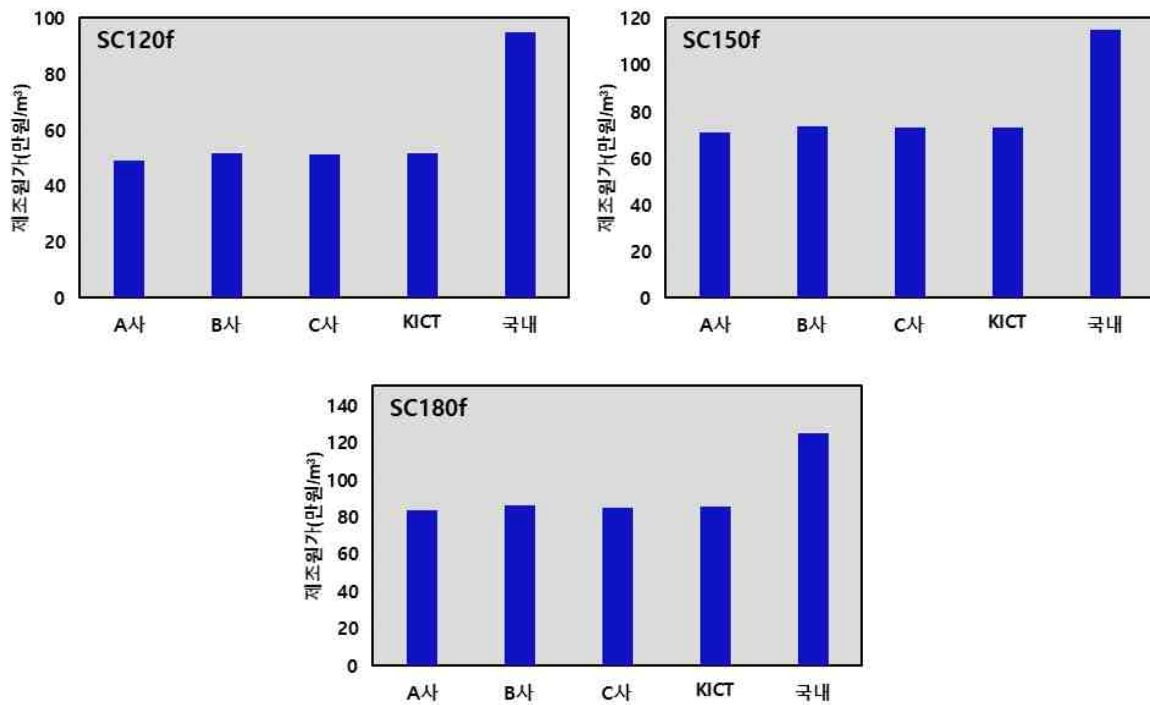
- 펌핑 압력 측정 결과
 - SC120f의 토출량은 38.5 m³/hr로 목표 토출량 30 m³/hr를 초과

[표] 펌핑 전후의 품질 비교

배합	유로폼 체적 (W x D x H m)	측정결과		Stroke (No./hr)	Filling rate (%)	예산 토출량 (m ³ /hr)	목표 토출량 (m ³ /hr)
		토출 시간 (s)	토출량 (m ³ /h)				
SC120f	1.2 x 1.2 x 0.64	75.7	38.5	837	75.7	41.8	30

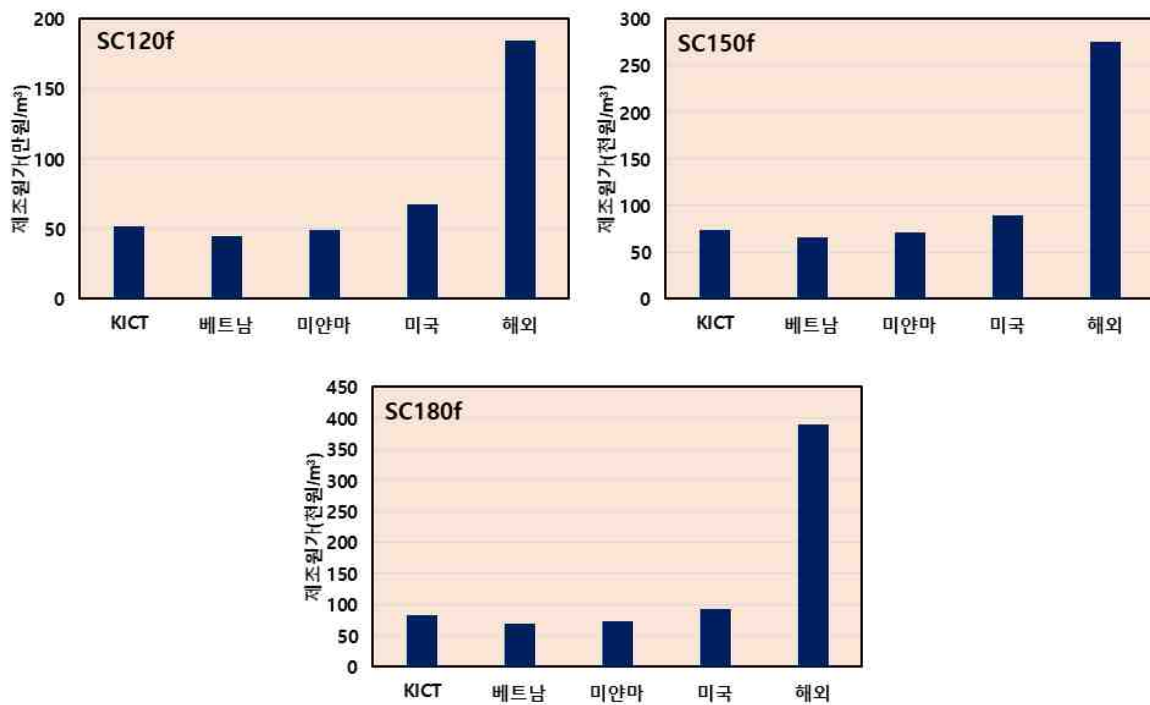
(다) 섬유보강 SUPER Concrete의 제조비용

① 국내에서 제조비용



[그림] 배합별 생산단가 분석(국내)

② 해외에서 제조비용



[그림] 배합별 생산단가 분석(해외)

배합	국내가격 (만원/㎥)	해외가격 (만원/㎥)	목표가격 (만원/㎥)	제조가격 (만원/㎥)	비고
SC120f	90~100	170~200	60~70	51.6	목표대비 15~27% 초과
SC150f	110~120	250~300	75~90	73.2	목표대비 2~28% 초과
SC180f	120~130	390	105~115	83.3	목표대비 21~38% 초과

① 국문시방

- 적용 현장 : 레고랜드 진입교량, 울릉도 힐링플레이스 등 국내 현장적용 시 반영
- 국가규격 반영 : 도로교표준시방서(한계상대설계법) 콘크리트 구조
 - 진행상황 : 중심의 통과(2018.12.), 2020년도 2차 적합성 평가(2020. 12. 제정예정)
 - 반영 내용 : 정의, 섬유의 규격, 고온양생, 운반 시 주의사항 등

– 74 –

② 영문시방

The Fabrication and Quality Control Guidelines for Fiber Reinforced SUPER Concrete 2019. 11.  KICT KOREA INSTITUTE of CONSTRUCTION TECHNOLOGY	Contents 1. Scope 3 2. Normative Reference 3 3. Definitions 5 4. Classification 7 4.1 Classes according to environmental exposures 7 4.2 Classes according to hardened fiber reinforced SUPER Concrete 8 4.3 Classes according to fresh fiber reinforced SUPER Concrete 9 5. Constitutive Materials of Fiber Reinforced SUPER Concrete 10 5.1 General 10 5.2 Pre-mixing binder 10 5.3 Cement 10 5.4 Supplementary cementitious materials(SCMs) 10 5.5 Filling powders 11 5.6 Aggregates 11 5.7 Fiber 11 5.8 Chemical admixture 12 5.9 Mixing water 12 6. Mix Design of Fiber Reinforced SUPER Concrete 13 6.1 General 13 6.2 Procedure 13 6.3 Basic mix proportion of fiber reinforced SUPER Concrete 14 7. Manufacturing of Fiber Reinforced SUPER Concrete 15 7.1 General 15 7.2 Storage of raw materials 15 7.3 Measuring of raw materials 16 7.4 Manufacturing method 17
--	--

- 적용 현장 : 미국 아이와 교량, 미얀마 교량 등 해외교량 현장적용 시 활용
- 국제 기준 반영 : ACF(아시아콘크리트협회) UHPC Materials Guidelines
 - 진행 상황 : 3차례 미팅, 반영예정(2020. 12. 최종 예정)
 - 반영 내용 : 정의, 사용재료, 믹싱방법, 제조, 타설 및 품질관리 등

Guidelines for UHPC Materials

Draft v1

2019. 07.

Contents

- 1. Scope 3
- 2. Normative Reference 3
- 3. Definitions 5
- 4. Classification 6
 - 4.1 Classes according to environmental exposures 6
 - 4.2 Classes according to hardened UHPC 8
 - 4.3 Classes according to fresh UHPC 8
- 5. Constitutive Materials of UHPC 9
 - 5.1 General 9
 - 5.2 Pre-mixing binder 9
 - 5.3 Cement 9
 - 5.4 Supplementary cementitious materials(SCMs) 9
 - 5.5 Filling powders 9
 - 5.6 Aggregates 10
 - 5.7 Fiber 10
 - 5.8 Chemical admixture 10
 - 5.9 Mixing water 11
- 6. Mix Design of UHPC 12
 - 6.1 General 12
 - 6.2 Procedure 12
- 7. Manufacturing of UHPC 13
 - 7.1 General 13
 - 7.2 Storage of raw materials 13

- 1 -



2nd Meeting of ACF UHPC Technical Committee in Pechu



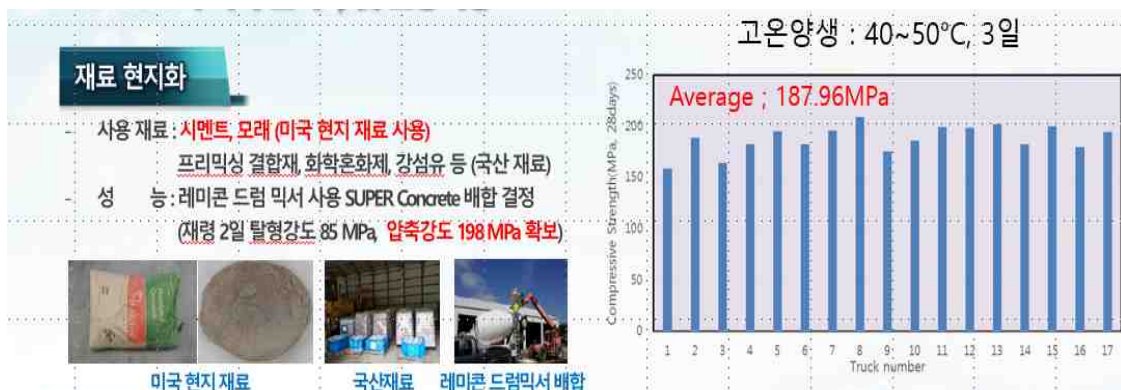
(마) 현장적용

공사명	적용기술	기술적 의의
미국 아이오와 교량 교체 공사 (Hawkeye UHPC Bridge) (2015년)	- 기술 : 180 MPa급 슈퍼콘크리트(SC180f) 배합, 제조 및 품질관리 - 소재 : 프리믹싱 결합재, 화학혼화제, 강섬유 - 기준 : 제조 시방	- 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) - 개발 소재 수출 - 연구단 제시 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)	- 기술 : 150 MPa급 슈퍼콘크리트(SC150f) 배합, 제조 및 품질관리 - 소재 : 화학혼화제, 강섬유 - 기준 : 제조시방	- 일부 재료의 현지화(시멘트, 모래, 충전재) 및 레미콘 트럭 믹싱 - 미얀마 현지조건을 고려한 양생기법 적용(버블시트 양생 적용을 통해 고온양생 효과) - 개발 소재 수출 - 연구단 제시 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)	- 기술 : 180 MPa급 슈퍼콘크리트(SC180f) 배합, 제조 및 품질관리 - 소재 : 결합재, 충전재 화학혼화제, 강섬유 - 장비 : 이동식 제조시스템 및 사일로 - 기준 : 제조시방	- 세계 최초로 도로 사장교에 180 MPa급 초고성능 콘크리트 적용 - 대형공사(1회 타설량 40 m³, 세그먼트 47개 제작)에 초고성능 콘크리트 적용 - 개발 소재 화학혼화제, 강섬유 상품화 - 개발 이동식 제조·사일로 시스템 활용 - 대규모 실구조물 적용에 따른 현장 품질관리·제작 관련 실용화 노하우 확보
울릉도 힐링 플레이스 (2016~2017년)	- 기술 : 120 MPa급 슈퍼콘크리트(SC120f) 배합, 제조 및 품질관리 - 소재 : 결합재, 충전재 화학혼화제, 강섬유 - 기준 : 제조시방	- 세계 최초로 쉘형 외벽 구조체에 120 MPa급 초고성능 콘크리트 적용 - 레미콘 시설과 레미콘 트럭에 의한 믹싱 및 펌핑에 의한 현장 타설 적용으로 대규모 건축물 적용 실용화 기술 확립 - 개발 소재 화학혼화제, 강섬유 상품화 - 동절기 시공 가능성 확인
삼성동 하나은행 리모델링 벽체 보강 (2016년)	기술 : 150 MPa급 슈퍼콘크리트(SC150f) 배합, 제조 및 품질관리	- 초고성능 콘크리트를 건축물 벽체 보강에 활용함으로써 현장 적용 실용화 기술 확립 - 향후 보강 분야로 적용 범위 확대 가능성 확인

공사명	적용기술	기술적 의의
광명동굴 VR 체험관 (2017~2018년)	- 기술 : 압축강도 120 MPa급 SUPER Concrete 배합, 제조 및 품질관리 - 소재 : 프리믹싱 결합재, 화학혼화제, 강섬유 - 기준 : 제조 시방	- 울릉도 힐링 플레이스에 성공적인 적용을 통해 향후 건축물에 상용화 가능성 확인 - 레디믹스트 콘크리트 공장 설비로 슈퍼 콘크리트를 제조하여 레미콘 트럭으로 운반하여 펌핑에 의한 현장 타설 적용 - 개발 소재 프리믹싱 결합재(벌크 형태로 제공), 화학혼화제, 강섬유 상품화
부산에코델타시티 2-3공구 제8교 (72 m 보도교) (2020~2021년)	- 기술 : 150 MPa급 슈퍼콘크리트(SC150f) 배합, 제조 및 품질관리 - 기준 : 제조 시방	- 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 교량 공사 착공 예정(현장 적용 전 기술실시계약 체결 예정)

① 미국 아이와 교량(Hawkeye UHPC Bridge)

○ 재료 현지화



○ 현장 적용

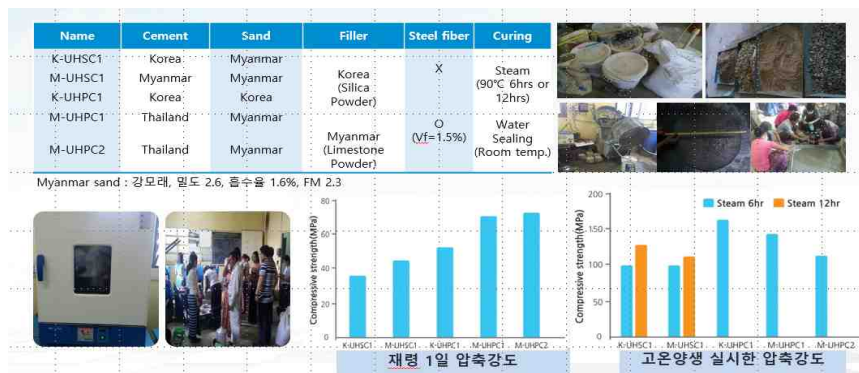
- 적용 현장 : 미국 아이와 Hawkeye UHPC Bridge
- 적용 시기 : 2015. 5. ~ 10.
- 적용 기술
 - SC180f 배합 · 제조 · 품질관리 기술
 - 거더 6개 제작 및 설치
 - 재료수출 : 프리믹싱 결합재, 화학혼화제, 강섬유
- 기술적 성과
 - 현지 시멘트와 모래를 사용
 - 레미콘 트럭 활용 믹싱 및 현장타설 기술 확보
 - 일반양생으로 품질확보 : 180 MPa 이상(28일)



[그림] 미국 Hawkeye UHPC 교량 건설 모습

② 미얀마 교량

○ 재료 현지화



○ 현장 적용

- 적용 현장 : 미얀마 양곤-만달레이 고속도로 교량 확장공사(M-UHPC Bridge)
- 적용 시기 : 2015. 7. ~ 10.
- 적용 기술
 - SC150f 배합 · 제조 · 품질관리 기술
 - 재료수출 : 화학혼화제, 강섬유
- 기술적 성과
 - 현지 시멘트와 모래를 사용
 - 레미콘 트럭 활용 믹싱 및 현장타설 기술 확보
 - 미얀마 현지조건을 고려한 양생기법 적용 (버블시트 양생 적용을 통해 고온양생 효과)



[그림] 미얀마 M-UHPC 교량 건설 모습

③ 춘천 레고랜드 진입교량 중 사장교(춘천대교) 구간

○ 공사개요

- 시공사 : (주)대림산업, 설계사 : (주)디엠엔지니어링
- 지간장 : $L = 100\text{ m} + 100\text{ m} = 200\text{ m}$ (2경간)
- 공사기간 : 2015. 6. ~ 2017. 12.

○ 적용기술

- SC180f 배합 · 제조 · 품질관리 기술
- 재료 상품화 : 화학혼화제, 강섬유
- 이동식 제조 시스템(현장 BP 설치)
- 제조시방

○ 기술적 성과

- 세계 최초로 도로 사장교에 180 MPa급 초고성능 콘크리트 적용
- 대형공사에 UHPC 적용 : 1회 타설량 40 m^3 , 세그먼트 47개 제작, 총 타설량 약 $2,000\text{ m}^3$
- 대규모 실구조물 적용에 따른 현장 품질관리·제작 관련 실용화 노하우 확보



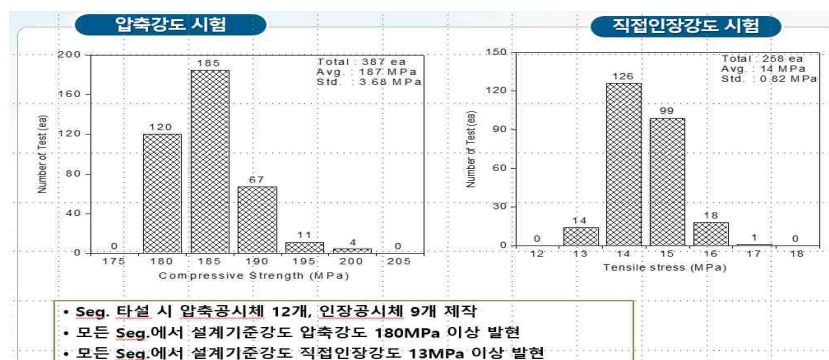
[그림] SC 적용 교량의 제원



[그림] 이동식 제조 시스템



[그림] 춘천대교 타설 및 교량 건설 모습



[그림] SC180f의 품질관리 시험결과

④ 울릉도 힐링 플레이스

○ 공사개요

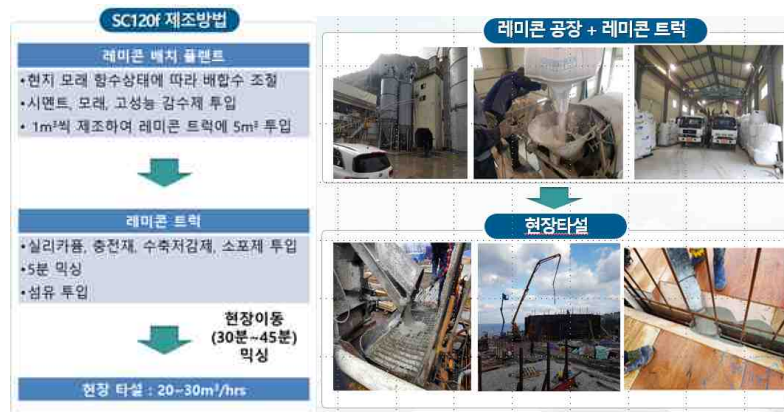
- 시공사 : 코오롱 글로벌(주), 설계사 : 더 시스템 랩
- 공사기간 : 2016. 6. ~ 2017. 8.

○ 적용기술

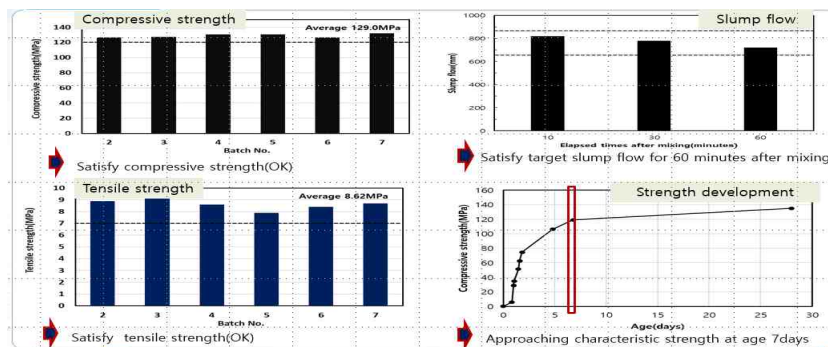
- SC120f 배합 · 제조 · 품질관리 기술
- 재료 상품화 : 화학혼화제, 강섬유
- 제조시방

○ 기술적 성과

- 세계 최초로 쉘 구조체에 120 MPa급 초고성능 콘크리트 적용
- 레미콘 시설과 레미콘 트럭에 의한 믹싱 및 펌핑에 의한 현장 타설 적용으로 대규모 건축물 적용 실용화 기술 확립



[그림] SC120f의 제조 및 현장타설 개요



[그림] SC120f의 품질관리 결과



[그림] 울릉도 힐링 플레이스 모습

⑤ 삼성동 하나은행 벽체 보수보강



⑥ 광명동굴 VR 체험관

- 사업 : 광명시 디지털광산체험관 건립공사
- 발주기관 : 광명시
- 적용배합 : SC120f(압축강도 120MPa, 인장강도 7MPa)
- 제조/타설 : 레미콘 시설/펌핑타설
- 현장적용 기술/지원사항 : 배합, 공사시방서, 재료(프리믹싱 결합제, 화학혼화제, 강섬유), 품질관리
- 설계 시 기술지원 사항 : 배합, 재료분석자료, 공사기간 산정, 제조/타설비용 견적, 타설일정 등
- 완공 : 2018. 10.



⑦ 부산에코델타시티 보도교 : 설계반영 및 현장적용 확정

- 사업 : 부산 에코델타시티 2단계 제3공구 조성공사
- 시기 : 2017년~2022년(63개월) ※ 2020년 SC 보도교 완공 예정
- 건설사 : 현대건설
- 교량제원 : 지간장 72.0m, 폭 6.1m
- 적용배합 : SC150f
- 적용기술 : 배합, 공사시방서
- 기술지원 : 설계 시 심의 및 질문사항에 대한 대응(품질관리, 내구성 예측 자료, 고온양생 시 주의사항 등)



(나) 프리팩킹 결합재

○ 시작품(SC180f, SC150f, SC120f)



제품명	SC180f
제조사	아세아시멘트(주)
프리믹싱시간	5min
단가*	벌크 : 60 만원/ton 톤백 : 66 만원/ton 지대(40 kg) : 77 만원/ton

※단가는 구입 양 및 구성재료에 따라 변경될 수 있음

SC180f

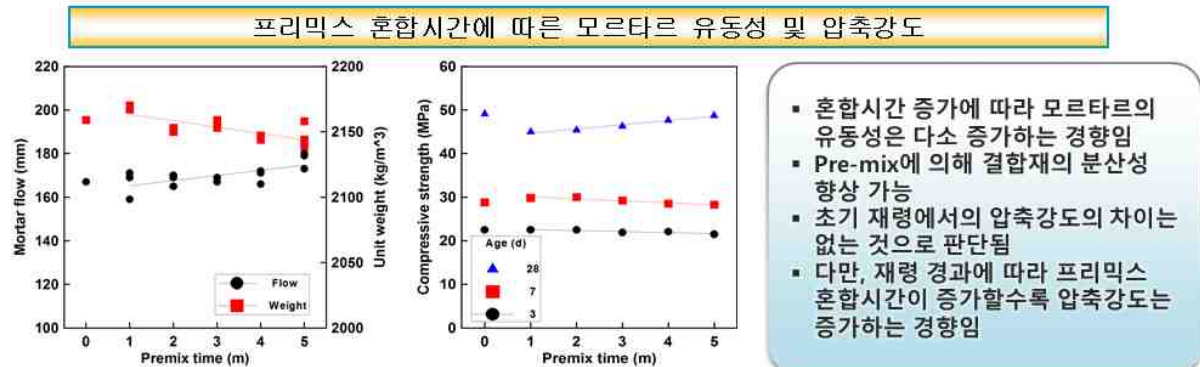


구분	SC120f	SC150f
용도	SC120f 결합재	SC150f 결합재
프리믹싱	5분	
반응성 분체	OPC:Zr:BS = 1.0:0.075:0.175	OPC:Zr:BS = 1:0.125:0.125

SC120f, SC150f

○ 시작품(SC180f)

성능등급	SC180f-B		SC180f-M	
결합재 비율(%)		OPC 62 Zr-SF 15 EA 4.5 Filler 18 SRA 0.5		OPC 37.2 Zr-SF 9 EA 2.7 Filler 10.8 SR 0.3 Sand 40



SC180f

○ 시제품 및 시제품(SC120f, SC150f)



시제품 및 상용화(SC180f)

○ 시제품, 상용화(수출 및 현장적용-SC180f)

■ SC180f 결합재 생산 및 출하 : 49톤

- 미국 아이오와주 교량공사용
- Zr-SF, Filler, 팽창재 3성분계 결합재
- 프리믹스 제조 및 소포장 생산
- 해외수출용 전용지대 제작 및 질량 표기방법 보완 필요



시제품 및 상용화(SC180f)

○ 시제품, 상용화(수출 및 현장적용-SC180f)



시제품 및 상용화(SC180f)

○ 시제품, 상용화(현장적용_SC120f)



•용도 : SC120f
•구성 : OPC+SF+충전재 등
•프리믹싱: 5분



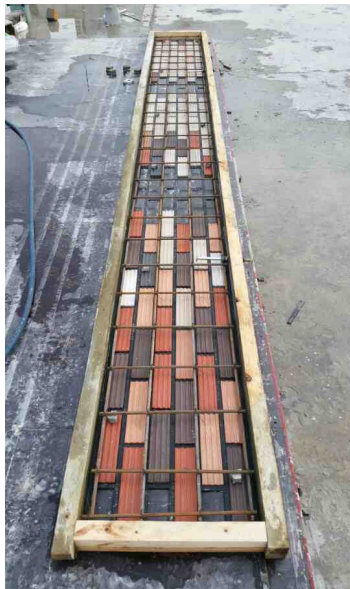
•용도 : SC120f
•구성 : OPC+SF+충전재 등
•프리믹싱: 5분



•적용 : 광명동굴 VR체험관
•물량 : 120톤
•매출액 : 33,320천원

시제품 및 상용화(SC120f)

○ 2차 제품 적용



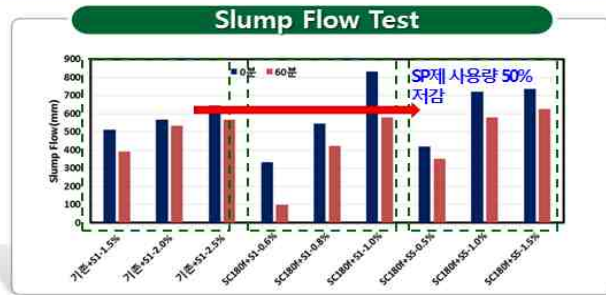
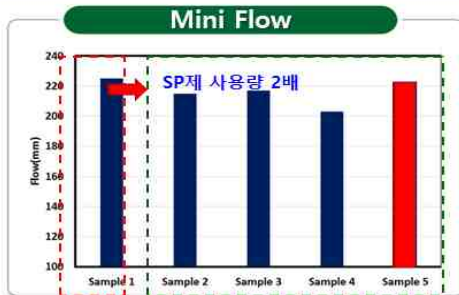
2차 제품 적용

(다) 화학혼화제

○ 시작품(고성능감수제)

화학혼화제 시작품 4건 제조 및 물성

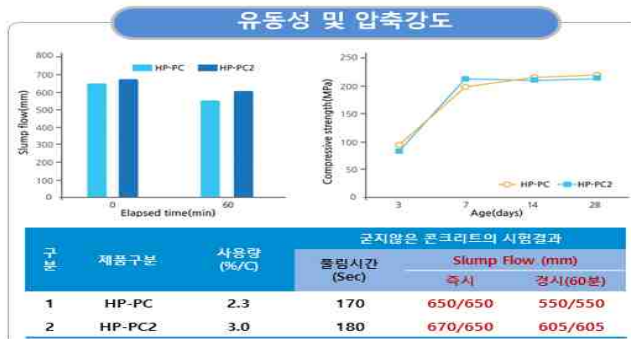
혼화제	제조사	제품명	고형분(%)	밀도 (g/ml)	가격(원/kg)	주 성분	폴리카르본산계
고강도 원료	동남	Sample 2	30.09	1.07	1,500~1,800	외 관	연갈색의 액상
		Sample 3	30.12	1.08		밀 도	1.08 ± 0.1(g/ml, at 20 °C)
		Sample 4	30.15	1.08		pH	5.0 ± 1.5
		Sample 5	30.18	1.07		염화물량 (%)	0.01 이하
가존 고가		Sample 1	30.06	1.07	10,000	알칼리량 (%)	0.01 이하



고성능감수제 시작품

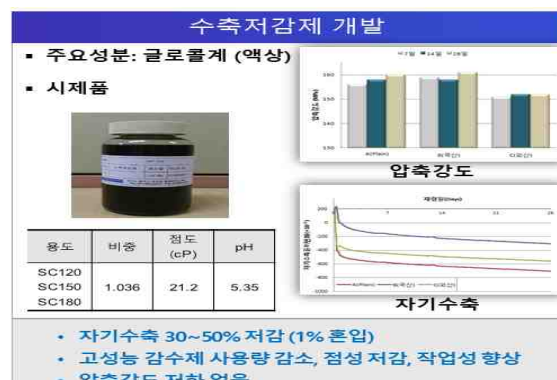
○ 시작품(고성능감수제)

● 작업시간이 확보된 고성능 감수제 시작품 HP-PC2 개발



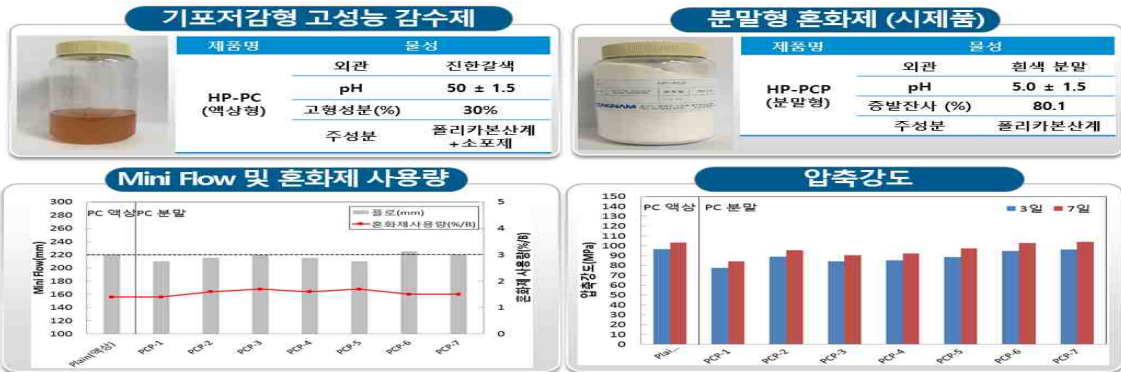
SC100, SC120용 고성능감수제 시작품

○ 시제품(소포제, 수축저감제)



시제품(소포제, 수축저감제)

○ 시작품(고성능감수제), 시제품(분말형 혼화제)



고성능감수제, 수축저감제, 방청제 시작품

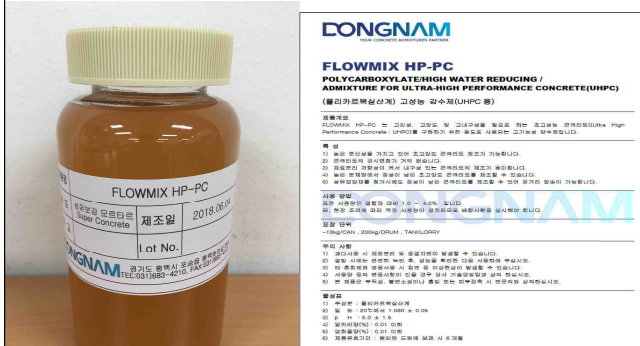
○ 시제품 및 상용화(제품, 현장 적용)



분말형 고성능감수제 시작품

방청용 혼화제 시작품

○ 제품화 : 고성능감수제

주성분	외관	밀도	pH	비고
폴리카르본산계	암갈색	1.04 ± 0.05	5.0 ± 1.5	

고성능감수제 제품

○ 제품화 : 고기능성 소포제

외관	밀도	pH	점도
암갈색	1.00 ± 0.1	6.0 ± 1.5	180 ± 20

고성능성 소포제 제품

○ 상용화 실적

[illegible]

고성능 제품

[illegible]

고기능성 소포제

다. SUPER Concrete의 표준시험법 및 재료모델

(1) SUPER Concrete의 표준시험법

(가) 개요

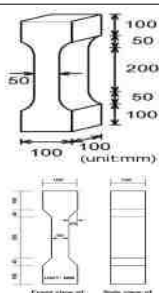
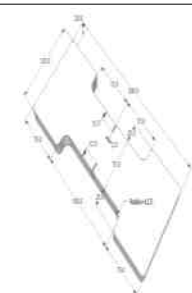
○ 목적

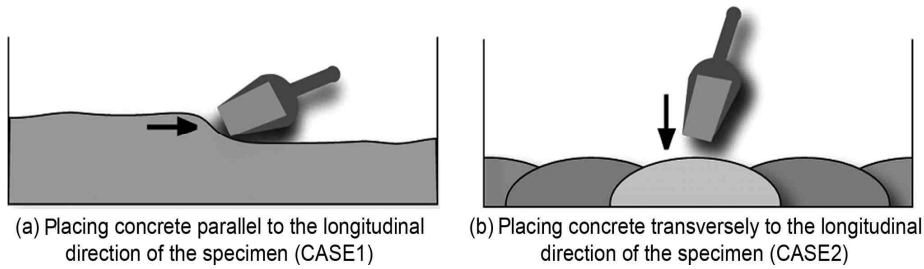
『SUPER Structure 2020 연구단』에서 통일된 방법으로 SUPER Concrete 시험체 제작과 및 시험방법으로 기본적인 재료시험을 수행하여 데이터 신뢰성을 제고

○ 구성

- 강도 시험용 공시체 제작방법
- SUPER Concrete의 압축강도 시험방법
- SUPER Concrete의 휨강도 시험방법
- SUPER Concrete의 직접인장강도 시험방법(노치 없는 공시체)
- SUPER Concrete의 직접인장강도 시험방법(노치 도입 공시체)
- SUPER Concrete의 크리프 시험방법

○ 강도 공시체 제작방법

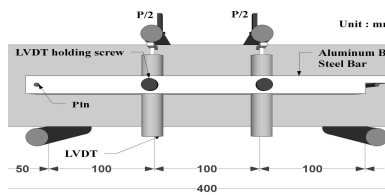
분류	압축강도	휨강도	직접인장강도 (노치 없는 공시체)	직접인장강도 (노치 도입 공시체)	크리프 시험방법
인용표준	KS F 2401, KS F 2403, KS F 2425, KS F 2453				
공시체 크기	기본: 원기둥형 (지름 100×길이 200 mm) 부가: 큐브형 (가로 50×세로 50 mm)	100×100×400 mm			지름 100× 길이 200 mm
공시체 제작방법	다짐기를 사용하지 않음 다만, 닫힌 기포 제거를 위해 고무망치로 몰드를 가볍게 칩	압축강도와 동일 단부에서 한 방향으로 상면까지 연속적으로 채우고, 타설범위는 최대 휨모멘트 구간을 고려하여 몰드의 단부로부터 L/4 이내로 함	압축강도와 동일 단부에서 길이방향으로 연속적으로 채움	압축강도와 동일 단부에서 길이방향으로 연속적으로 채움 노치는 양생 종료 후 폭 2 mm, 깊이 12.5 mm	다짐기를 사용하지 않음 다만, 닫힌 기포 제거를 위해 고무망치로 몰드를 가볍게 칩
탈형 및 양생	타설 후 탈형할 때까지 수분이 증발하지 않도록 조치 타설 후 24시간 동안 초기 양생 후, 고온습윤양생(48시간 90±5℃) 실시하는 것을 원칙				
보고사항	공시체의 식별기호, 시험의 목적, 실험실 온도 및 습도, 배합비, 사용재료와 품질, 믹서종류와 용량, 1회 비빔 양, 믹싱 순서 및 방법, 공시체 제작 일시, 양생방법 등				



[그림] 서로 다른 섬유 방향성 분포를 유도한 휨시험체 제작

○ 시험방법

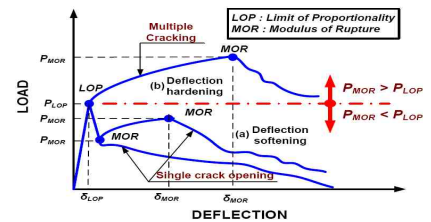
- 4점 재하 휨 시험, 250 kN 용량의 UTM, 변위제어 방식



휨강도 시험체



휨강도 시험모습



휨 하중-처짐 곡선도

[그림] SUPER Concrete의 휨 시험

○ 시험결과 분석

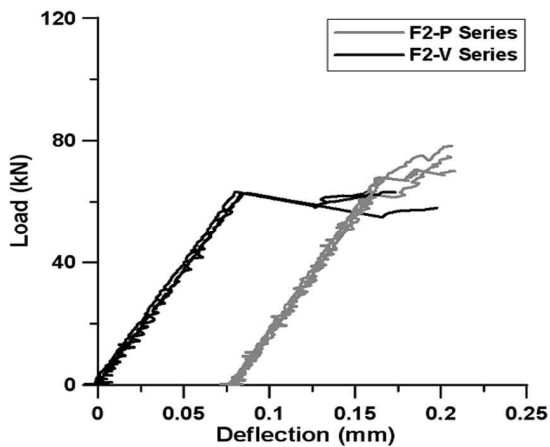
- 초기균열강도 : 타설 방향에 따라 휨강도의 차이는 크지 않음(5.5% 차이)
- 휨강도 : 타설 방향에 따라 휨강도의 차이는 매우 큼(최대 61% 차이)

○ 시험결과를 반영한 SUPER Concrete 표준시험법 개정

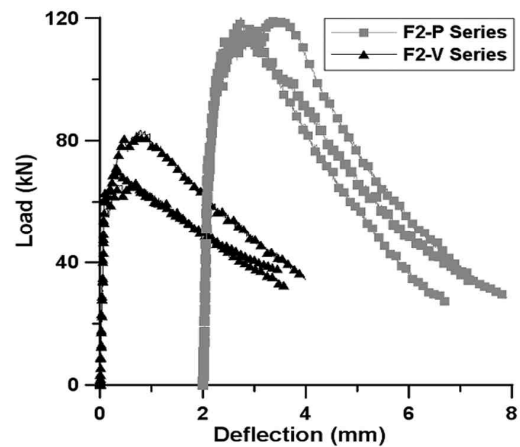
- 공시체 제작할 때 강섬유가 길이 방향으로 방향성을 가지도록 “몰드는 수평으로 설치하고, 타설은 몰드의 단부에서 한 방향으로 상면까지 연속적으로 채워 나간다.” 내용을 시험방법에 반영

[표] 타설방법에 따른 휨강도 시험결과

Type		First crack strength (MPa)			Flexural strength (MPa)		
		Measured value	Average value	Standard deviation	Measured value	Average value	Standard deviation
Case 1	1	20.8	20.0	1.2	34.2	35.4	1.0
	2	18.8			36.0		
	3	20.4			36.1		
Case 2	1	19.0	18.9	0.2	21.1	22.0	2.7
	2	18.9			19.9		
	3	18.9			25.0		



Load-deflection curves(first cracking)



Total load-deflection curves(failure)

[그림] SUPER Concrete의 타설 방향에 따른 휨강도 시험결과

(2) SUPER Concrete의 재료모델

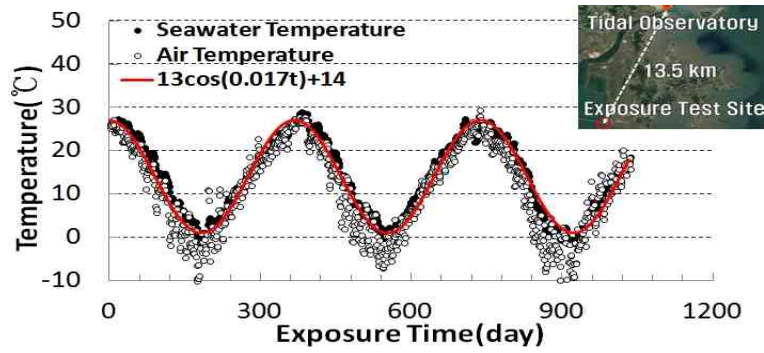
(가) 장기폭로시험

① 개요

옥외폭로 시험	거치위치	비말대, 간만대, 침지대
	시편종류	콘크리트, 철근콘크리트
	재령	0, 1, 2, 3, 5, 10년
공시체 종류	평가항목	시편 크기
콘크리트 공시체	압축강도, 탄성계수, 탄산화 깊이	Ø100×200 mm
	휨인장 강도	400×400×100 mm
	RCPT	Ø100×200 mm
	염분침투 프로파일	400×400×300 mm
	MIP	-
	EPMA	-
철근 콘크리트 공시체	자연전위, 분극저항	Ø150×300 mm
	발청 면적률	Ø150×300 mm

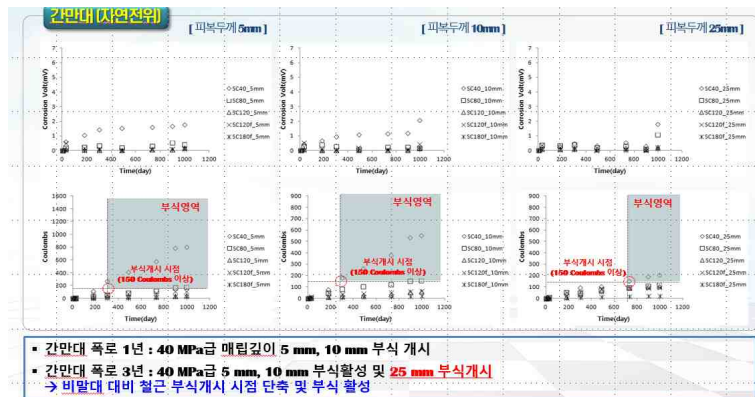
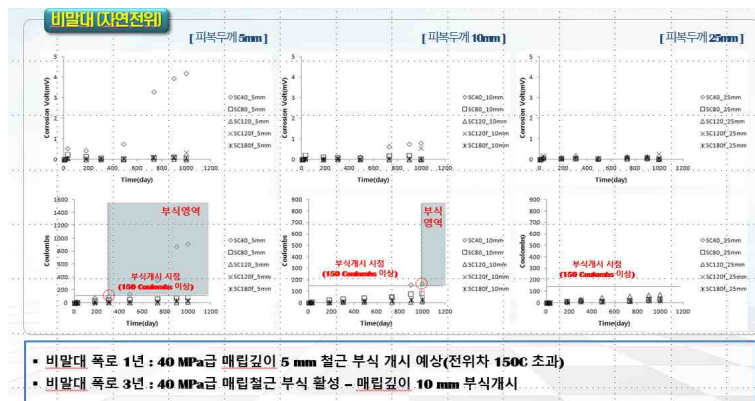
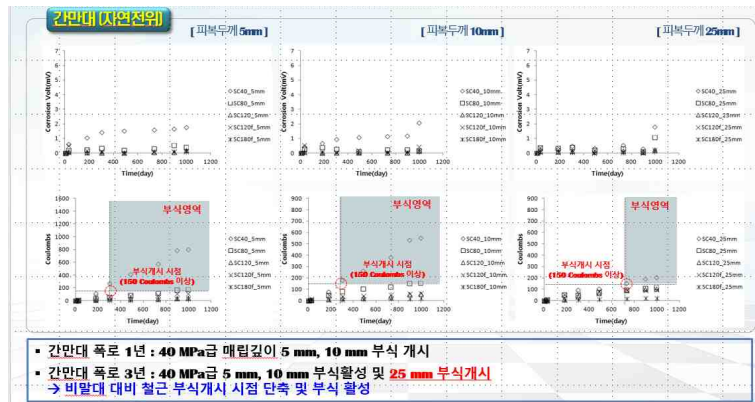


[그림] SUPER Concrete의 장기옥외폭로 시험개요



[그림] 해양폭로 시험장의 기온과 수온 이력

② 옥외폭로 시험 결과 - 3년차
○ 자연전위 결과



○ 철근적출에 의한 부식평가 결과

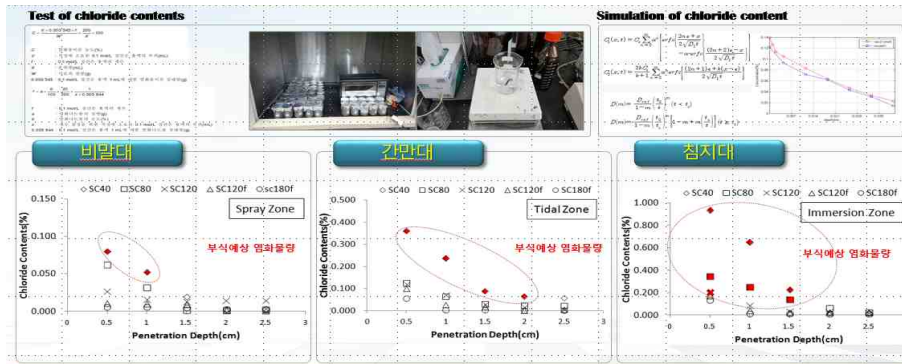
- 40 MPa 일반 고강도 콘크리트 시험체에서 철근 부식 관측
 - 비말대 : 5~10 mm, 간만대 : 5~25 mm, 침지대 : 5~10 mm
- SUPER Concrete에서 철근부식 미발생



[그림] 철근적출에 의한 부식 상황 모습

○ 염화물 프로파일 결과

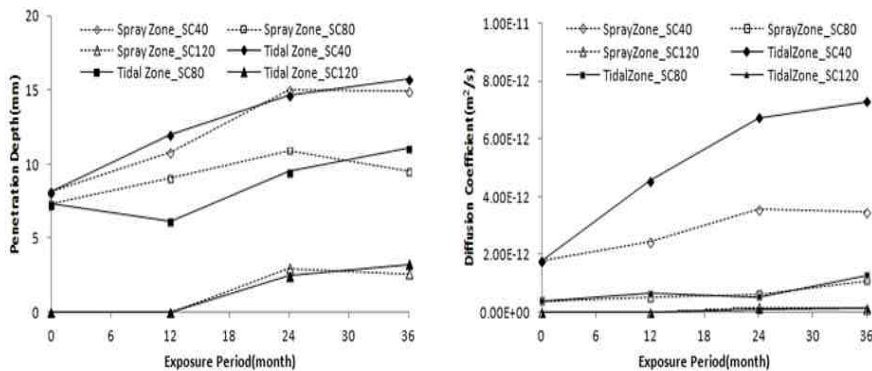
- 40 MPa 일반 고강도 콘크리트에서 염화물 침투 정도가 가장 높음
 - 비말대 5 mm, 간만대 · 침지대 5~10 mm에서 임계염화물량 초과
 - 염화물량 : 침지대 > 간만대 > 비말대 순



[그림] 노출환경에 따라 염화물 농도

○ 염해 저항성 평가 결과

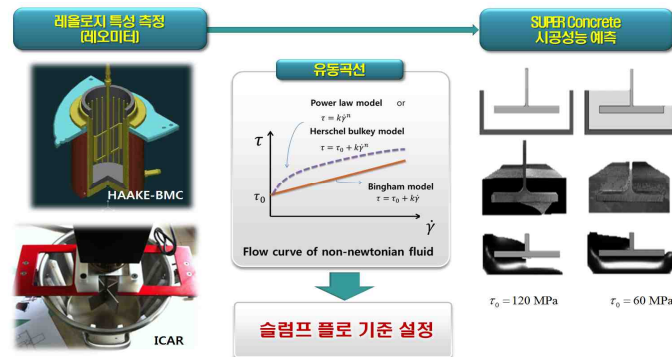
- 40 MPa 일반 고강도 콘크리트는 폭로환경 조건에 따라 영향을 크게 받음
- SUPER Concrete는 폭로 3년차까지 염소이온 침투가 되지 않음



[그림] 노출환경에 따른 염화물 침투깊이와 확산계수

(나) 레올로지 예측모델

① 개요



[그림] 레올로지 예측 흐름도

② 슬럼프 플로 시뮬레이션 및 데이터베이스 구축

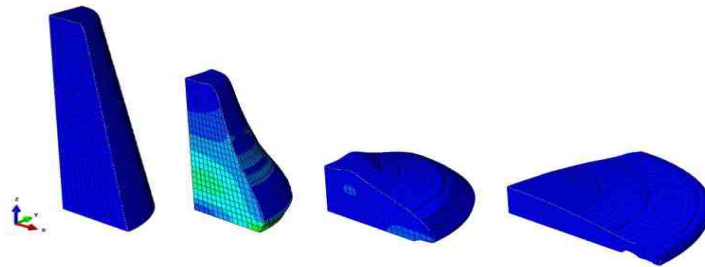
○ 목적 : 유동성 기준 설정

○ 유동특성의 범위

- 슬럼프 플로의 범위 : $S_f=550\sim750$ mm
- 지름 500 mm 도달 시간의 범위 : $T_{50}=5\sim10$ s

○ 슬럼프 플로 시뮬레이션

- ABAQUS 프로그램을 사용하여 슬럼프 플로 시험을 3차원으로 모델링
- 반지름은 500 mm이고 높이는 400 mm인 1/4 원판형태의 대칭모델을 구성하여, 8절점 선형 오일러리안 육면체 요소(EC3D8R) 약 10 mm 크기로 오일러리안 메쉬를 구성하였고, 총 사용된 요소의 개수는 44,840개임



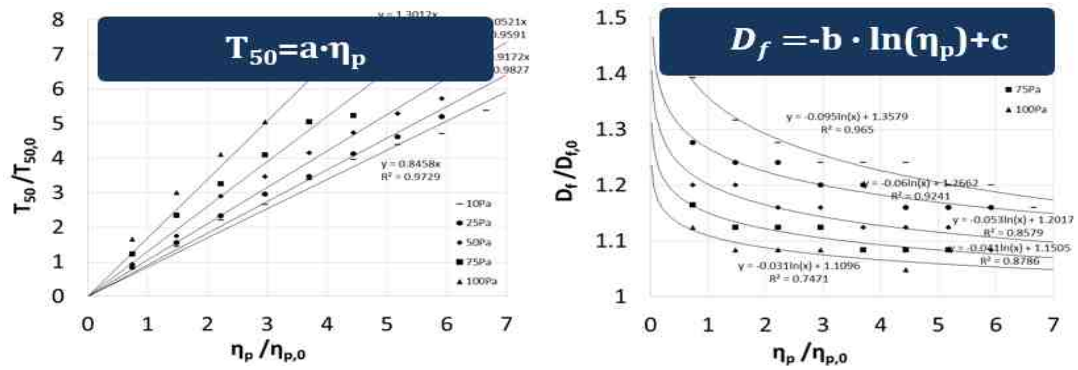
[그림] 슬럼프 플로 시뮬레이션

○ 레올로지 모델 데이터베이스 구축

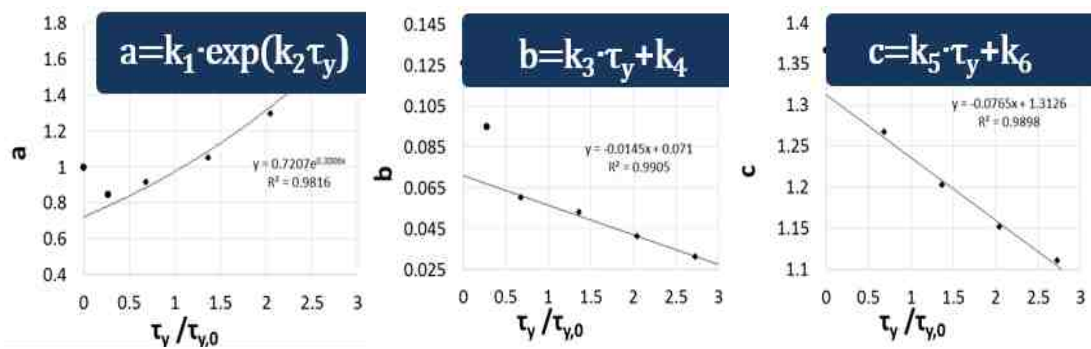
	20	50	100	150	175	200	225	250	275	300	325	350	400	450	500
0	sf=752, T50=0.71	sf=636, T50=1.74	sf=658, T50=2.83	sf=638, T50=3.97	sf=628, T50=5.08	sf=640, T50=5.10	sf=600, T50=6.37	sf=600, T50=7.15	sf=600, T50=7.68	sf=600, T50=8.88	sf=580, T50=9.12	sf=562, T50=9.67	sf=562, T50=10.3	sf=562, T50=12.8	sf=562, T50=14.3
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	sf=620, T50=0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	sf=600, T50=1.10	sf=582, T50=2.44	sf=562, T50=4.68	sf=562, T50=6.48	sf=540, T50=8.99	sf=560, T50=9.59	sf=550, T50=10.3	sf=540, T50=11.4	sf=520, T50=12.5	sf=500, T50=13.6	sf=480, T50=14.7	sf=460, T50=15.8	sf=440, T50=16.9	sf=420, T50=18.0	sf=400, T50=19.1
100	sf=580, T50=1.61	sf=542, T50=3.29	sf=542, T50=5.99	sf=542, T50=8.25	sf=500, T50=10.8	sf=560, T50=10.3	sf=540, T50=11.4	sf=520, T50=12.5	sf=500, T50=13.6	sf=480, T50=14.7	sf=460, T50=15.8	sf=440, T50=16.9	sf=420, T50=18.0	sf=400, T50=19.1	sf=380, T50=20.2
SC120f	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	-	-	-	-	-
SC150f	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	-	-	-	-	-
SC180f	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	-	-	-	-	-

[그림] 레올로지 데이터베이스

③ 레올로지 물성 계산 알고리즘 개발



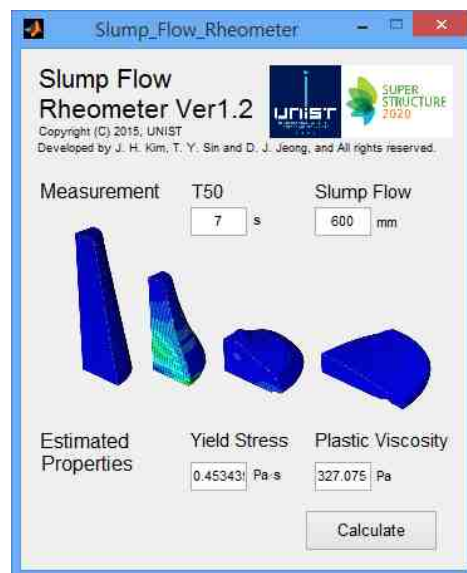
[그림] 레올로지 데이터베이스에 대한 회귀분석



[그림] 회귀분석 계수의 결정

[표] 회귀분석으로 결정된 매개변수

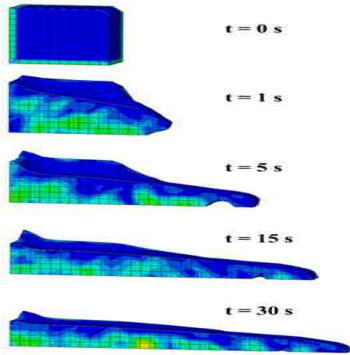
k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
0.721	0.301	-0.0145	0.071	-0.0765	1.31



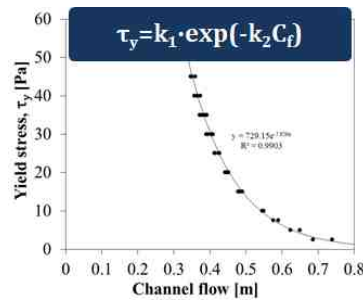
[그림] 레올로지 물성 계산 프로그램

④ 채널 플로 시뮬레이션 및 레올로지 물성 계산

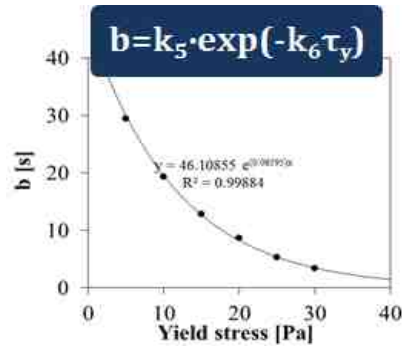
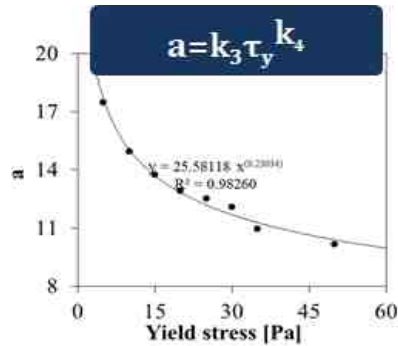
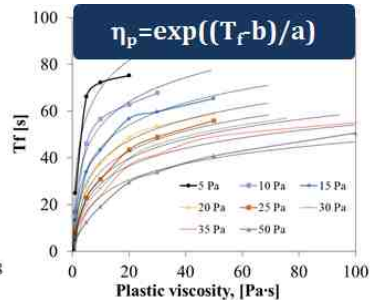
- 결정계수(Coefficient of determinant)는 대부분 0.95이상 적절한 곡선맞춤이 진행



[그림] 채널 플로 시뮬레이션



[그림] 채널 플로 데이터 베이스에 대한 회귀분석



[그림] 회귀분석 계수 결정

[표] 회귀분석으로 결정된 매개변수

k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
729.2	7.926	25.58	0.2303	46.11	0.08595

(다) 수화모델

① 수화반응 모델 구축을 위한 프로세스 수립

- SUPER Concrete의 모세관수 부족에 의한 수화반응의 영향 분석
- 고강도 콘크리트에서 수화반응 속도 감소를 유발하는 모세관수의 영향 분석
- SUPER Concrete 내 모세관수 예측 모델 구축

$$W_{cap} = W_0 - 0.4 \times C_0 \times \alpha - RCW_{SF} \times \alpha_{SF} \times P - RPW_{SF} \times \alpha_{SF} \times P$$

- 혼화재 혼입에 따른 SUPER Concrete의 수화반응의 영향 분석

$$\frac{d\alpha_{SF}}{dt} = \frac{m_{CH}(t)}{P} \frac{3\rho_w}{v_{SF} \Gamma_{SF0} \rho_{SF}} \frac{1}{\frac{\Gamma_{SF0}}{D_{eSF}} (1-\alpha_{SF})^{\frac{-1}{3}} - \frac{\Gamma_{SF0}}{D_{eSF}} + \frac{1}{k_{rSF}} (1-\alpha_{SF})^{\frac{-2}{3}}}$$

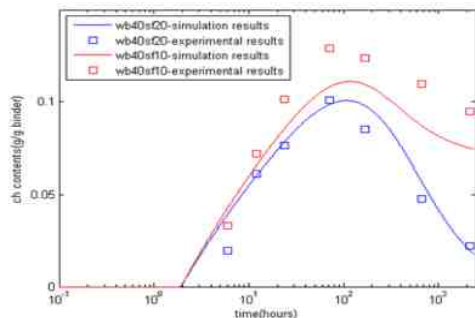
- 각종 혼화재 혼입에 의한 SUPER Concrete 수화열 분석

$$\frac{dQ}{dt} = C_0 \times \sum g_i H_i \frac{d\alpha}{dt} + P \times H_{SF} \times \frac{d\alpha_{SF}}{dt}$$

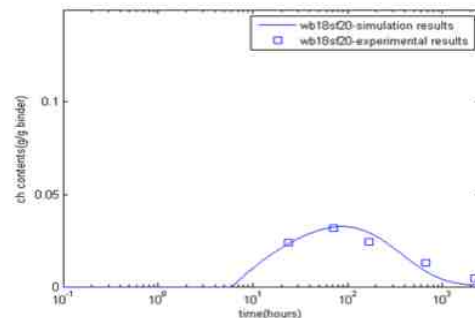
② 수화반응 모델 구축 및 성능 예측

- 수산화칼슘 양 예측 모델

$$CH = (1.5g_{c3s}\alpha_{c3s} + 0.5g_{c2s}\alpha_{c2s} - 2g_{c4sf}\alpha_{c4sf}) * 74.1 * Ce_0 - (1.85 * \gamma_s * f_{s,p} + 2.907 * \gamma_A * f_{A,p}) * \alpha_{reacted} * P$$



SC80

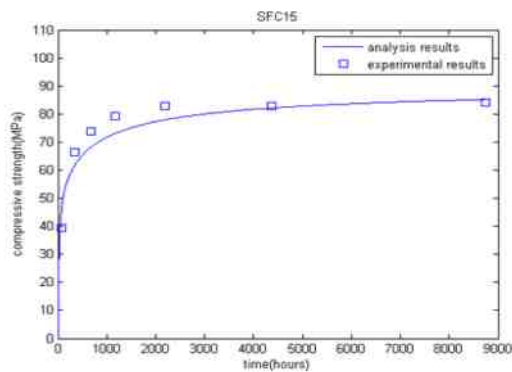


SC180f

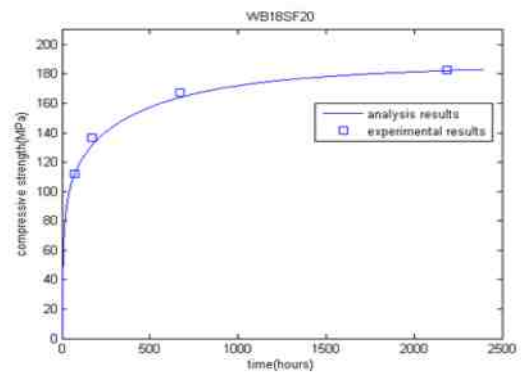
[그림] SUPER Concrete의 수산화칼슘 예측

- 압축강도 예측 모델

$$f_c = f_{UL}(C_3S, C_2S, FA, SL, SF) \left(\frac{v_c(T)Cv_c\alpha_c + v_p(T)Pv_{FS}\alpha_{FS}}{(C/\rho_c)\alpha_c + (P/\rho_{FS})\alpha_{FS} + W + V_{air}} \right)^n$$



SC80



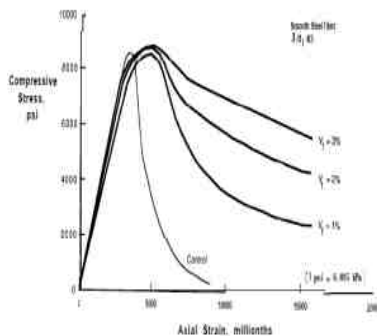
SC180f

[그림] SUPER Concrete의 압축강도 예측

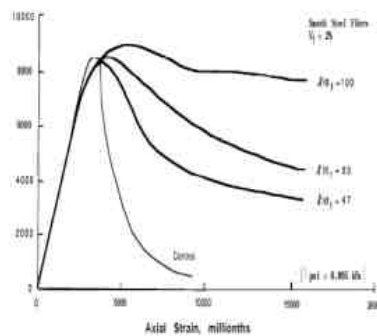
(라) SUPER Concrete의 섬유보강 효과 고려 재료모델

① 강섬유 보강 콘크리트의 섬유보강 효과 분석

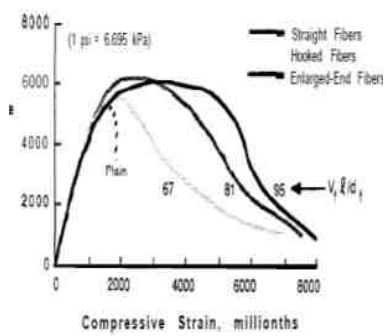
- 강섬유의 종류, 형상비, 혼입률 등에 따라 압축거동이 다르게 나타남
- 섬유 혼입에 따른 압축강도의 증가는 15% 이내임
- 압축보다 휨이나 인장에 대해 섬유보강효과가 훨씬 더 크게 나타남
- 인장거동 모델에서 섬유보강효과는 섬유와 매트릭스 계면의 부착강도, 섬유 형상비, 섬유 혼입률, 섬유 길이, 섬유 방향성 등을 고려하고 있음



FRC의 압축거동
(Shah, 1978)



섬유 혼입률의 영향
(Fanella & Naaman, 1985)

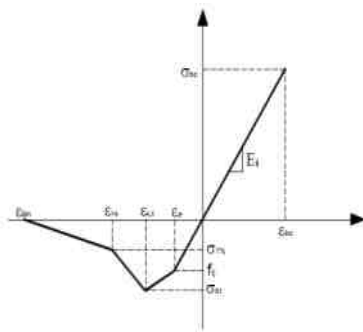


섬유 형상비의 영향
(Fanella and Naaman, 1985)

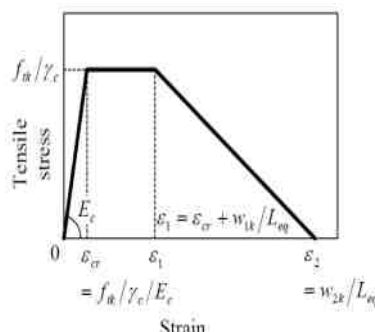
[그림] 강섬유 보강 효과 모델

② SUPER Concrete에서 섬유보강 효과 분석

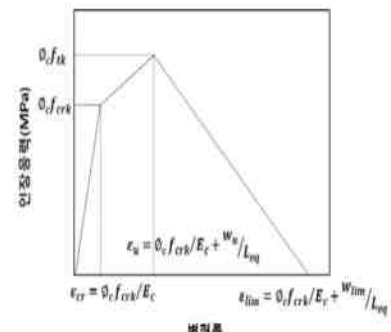
- SUPER Concrete에 관한 설계·시공지침은 프랑스, 일본, 우리나라 등에서 제정되어 있으며, 인장모델에 대해서 일반적인 재료의 변동성을 고려한 계수를 모두 적용하고 있으며, 이와 별도로 프랑스에서는 섬유방향성 분포 차이에 따른 거동의 변화를 섬유방향성 계수로 고려하고 있음
- 일반 FRC에 대한 섬유보강효과에 관한 모델식을 섬유보강 SC로 확장하여 적용한 결과, 그 경향이 동일하지 않음을 확인함



프랑스
(SETRA/AFGC)

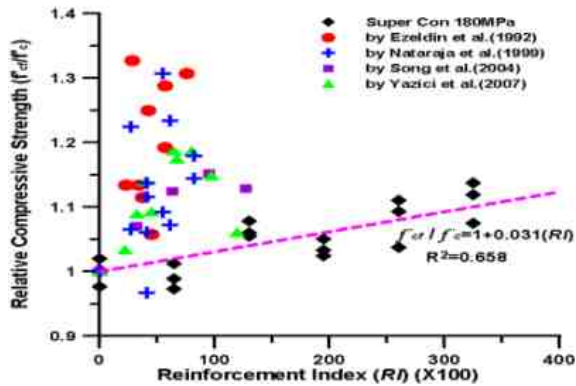


일본
(JSCE)

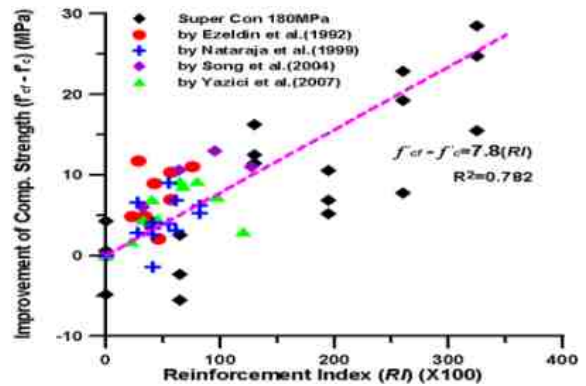


한국
(KICT, KCI)

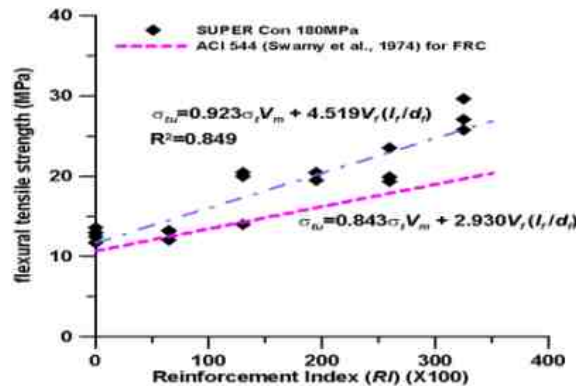
[그림] UHPC의 인장모델



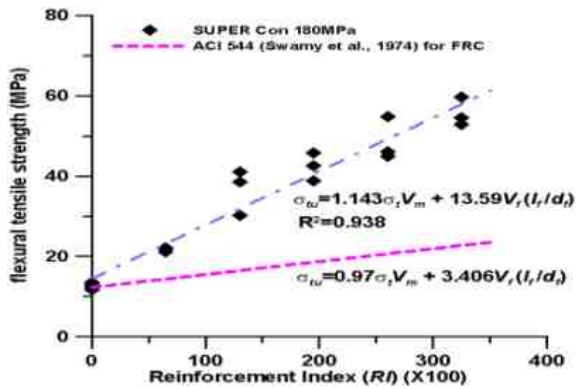
압축강도와 섬유보강지수의 관계



탄성계수와 섬유보강지수의 관계



초기균열발생강도와 섬유보강지수의 관계



휨인장강도와 섬유보강지수의 관계

[그림] 섬유보강 효과 재료모델

③ 섬유의 분산성을 고려한 SUPER Concrete의 재료모델

○ 타설방법

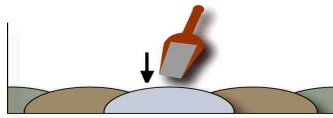
- 타설방법 A : 섬유배열을 유도하지 않고 수직방향에서 타설하는 경우
- 타설방법 B : 주인장의 방향으로 강섬유 배열을 유도한 경우

○ 인장강도 결과

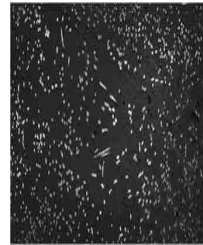
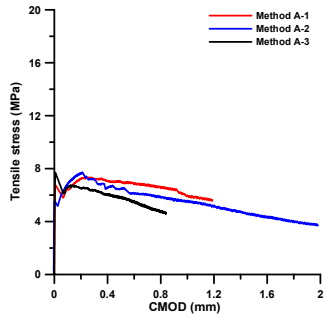
- 타설방법에 따라 인장거동이 확연히 차이가 발생
- 타설방법 B : 균열 발생 이후에 약 14 MPa에 도달하기까지 변형률 경화 거동
- 타설방법 A : 균열 발생 이후에 급격한 응력의 감소를 보이다가 다시 응력이 약간 회복 되지만, 회복 정도가 크지 않고 최대 응력이 8 MPa에 도달하지 못하는 결과를 보임

○ 섬유 분포

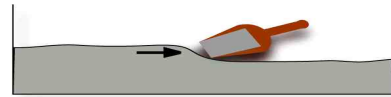
- 타설방법에 따라 육안으로도 쉽게 강섬유의 개체수와 방향성 분포가 서로 상이함을 확인
- 타설방법 A보다 타설방법 B가 단위 면적당 검출된 강섬유의 개체수가 훨씬 크고, 강섬유가 더 많이 인장력 작용방향과 나란하게 배열되어 있는 경향을 확인할 수 있음



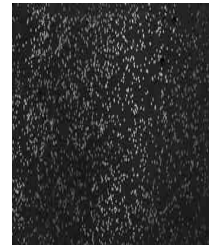
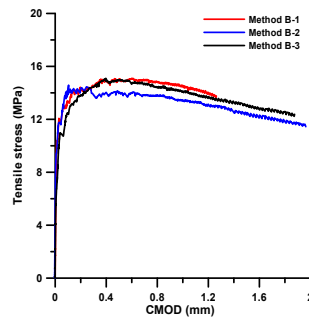
타설방법 A



단위면적당 섬유 개체수 0.227

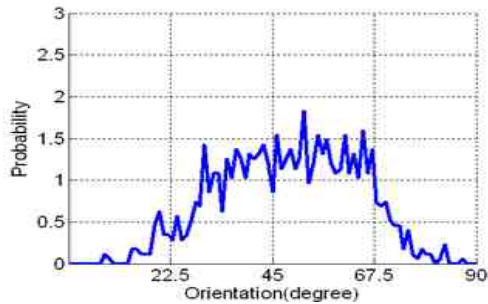


타설방법 B

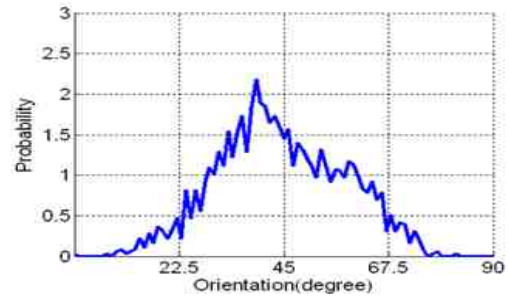


단위면적당 섬유 개체수 0.468

타설방법에 따른 인장거동 및 균열면 인근의 단면 강섬유 분포 이미지



타설방법 A



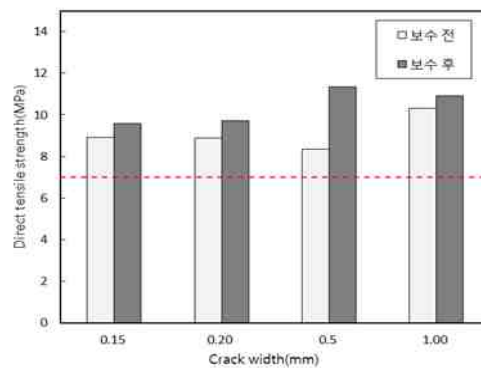
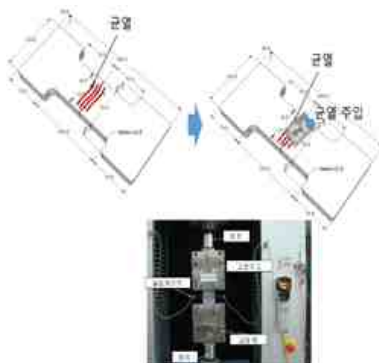
타설방법 B

타설방법에 따른 단면 매 강섬유의 방향성 분포

[그림] 타설방법에 따른 강섬유 분포가 인장거동에 미치는 영향

(마) SUPER Concrete의 보수보강을 위한 균열 보수 성능 평가

- 직접인장시험으로 균열 유도 : 균열 폭 0.15, 0.2, 0.5, 1.0mm
- 건설신기술 822호 균열보수 → 양생 → 직접인장시험
- 균열이 발생하더라도 에폭시 주입 등으로 보수할 경우, 구조물 안전성에 별다른 문제가 없을 것으로 판단



[그림] SUPER Concrete의 균열보수 시험

라. 연구성과

(1) 연구성과 요약

성과명	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		6차년도		합계	
	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적
논문	-	1	5	7	6	10	7	8	2	5	2	2	22	33
논문발표	10	16	13	34	14	31	15	26	6	7	4	4	62	118
특허출원	2	2	3	3	2	2	3	3	-	5	-	-	10	15
특허등록	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	3	4
지침·매뉴얼	1	2	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	12	13
시제품	2	2	-	-	-	-	4	5	2	4	2	2	10	13
시작품	2	3	4	6	4	5	4	6	2	2	-	-	16	22
S/W	-	-	2	2	1	1	-	-	-	-	-	-	3	3
현장적용	-	-	-	-	-	2	-	3	1	2	2	2	3	9
상용화	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	2	3	3	11
장비	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
기술이전	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	1	3	4	6
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) 계획 대비 초과 달성		(1-6차년도) 계획 대비 초과 달성	

(2) 국내외 논문 성과 (계획 22건, 달성 33건)

연차	순번	논문명	학술지명	주저자	SCI구분
1차년도	1	Modeling of temperature history in the hardening of ultra-high-performance concrete	한국건축시공학회 논문집	왕소용	-
2차년도	1	경제성을 고려한 80 MPa급 초고강도 콘크리트의 결합재 조합에 대한 검토	한국건설순환자원학회 논문집	박천진	-
	2	굵은 골재 압중 변화가 80 MPa급 초고강도 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향	대한건축학회	한민철	-
	3	Flexural Toughness dependent on Fiber Distribution of Ultra-High Strength Cementitious Composites with Steel Fibers	Advanced Science and Technology Letters	Su-Tae Kang	-
	4	섬유 조합에 따른 초고성능 콘크리트의 인장거동	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	이방연	-
	5	VAE 분말수지가 고강도 폴리머 시멘트 모르타르의 강도 특성에 미치는 영향	대한건축학회 논문집	최중구	-
	6	Influence of Portland cement and ground-granulated blast-furnace slag on bleeding of fresh mix	Construction and Building Materials	Hong-Jae Yim	SCI
	7	Analysis of the Optimum Usage of Slag for the Compressive Strength of Concrete	materials	Han-Seun g Lee	SCI
3차년도	1	서중 외기온도 조건에 따른 80 MPa 고강도콘크리트의 특성	한국산학기술학회논문집	정용욱	-
	2	실리카폼 종류가 초고성능 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향	한국건설순환자원학회논문집	박천진	-
	3	굵은 골재 압중 변화가 80 MPa급 초고강도 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향	대한건축학회 논문집-구조계	한민철	-
	4	Influence of steel fiber content and aspect ratio on the strength of high strength	Journal of Ceramic Processing Research	Kyoung-M in Kim	SCI
	5	Hybrid effects of steel fiber and microfiber on the tensile behavior of ultra-high performance concrete	Composite Structures	Su-Tae Kang	SCIE
	6	섬유 조합에 따른 초고성능 콘크리트의 인장거동	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	이방연	-
	7	Estimation of rheological properties of UHPC using mini slump test	Construction and Building Materials	Myoung Sung Choi	SCIE
	8	실린더 직경과 강연선 개수가 시멘트 페이스트의 블리딩에 미치는 영향	한국건설순환자원학회논문집	이정수	-
	9	A Microstructure Based Strength Model for Slag Blended Concrete with Various Curing Temperatures	ADVANCES IN MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING	Li-Na Zhang	SCIE
	10	광물질 혼화재를 혼합한 해양 콘크리트의 해석적 성능 평가	한국건설순환자원학회논문집	강수태	-
4차년도	1	전기로 산화슬래그 잔골재와 석회암 골재의 조합사용이 80 MPa급 초고강도 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향	한국건설순환자원학회 논문집	한민철	-
	2	Rheological Method for Alpha Test for Evaluation of Developing Superplasticizers' Performance: Channel Flow Test	Advances in Materials Science and Engineering	Jae Hong Kim	SCIE
	3	압축강도 및 양생조건에 따른 초고성능 콘크리트의 직접인장강도 특성	한국건축시공학회지	이건철	-
	4	강섬유 혼입률 및 형상비가 초고강도 콘크리트의 역학적 성질에 미치는 영향	한국건설순환자원학회논문집	이건철	-
	5	Influence of Hybrid Steel Fiber Addition on Direct Tensile Behavior of UHPC	Key Engineering Materials	Seung Hun Park	SCIE
	6	Improvement in Predicting the Post-Cracking Tensile Behavior of Ultra-High Performance Cementitious Composites Based on Fiber Orientation Distribution	Materials	Myoung Sung Choi	SCIE
	7	Tensile Behavior and Cracking Pattern of an Ultra-High Performance Mortar Reinforced by Polyethylene Fiber	Advances in Materials Science and Engineering	Jeong Il Choi	SCIE
	8	Kinetic Hydration Heat Modeling for High-Performance Concrete Containing Limestone Powder	Advances in Materials Science and Engineering	Xiao Yong Wang	SCIE
5차년도	1	전기로 산화슬래그 잔골재와 석회암 골재의 조합사용이 80 MPa급 초고강도 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향	한국건설순환자원학회논문집	문병룡	-

연차	순번	논문명	학술지명	주저자	SCI구분
도	2	Microstructural investigation of calcium aluminate cement-based ultra-high performance concrete (UHPC) exposed to high temperatures	Cement & Concrete Research	이남곤	SCIE
	3	강섬유 보강 UHPC의 직접인장 특성 및 신뢰성 검토에 관한 연구	한국건축시공학회논문집	이건철	-
	4	해양환경에 노출된 철근콘크리트의 물성평가 및 철근 부식특성	한국콘크리트학회논문집	서지석	-
	5	편심 및 균열을 가진 프리스트레싱 텐던 구조체의 부식특성	한국콘크리트학회논문집	권성준	-
6 차 년 도	1	Effect of the Type of Silica Fume and Filler on Mechanical Properties of Ultra High Performance Concrete	Key Engineering Materials	고경택	-
	2	Effects of mix proportion and curing condition on shrinkage behavior of HPFRCCs with silica fume and blast furnace slag	CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	류두열	SCIE

(3) 국내 · 국제 학술회의 발표(계획 62건, 달성 118건)

연차	순번	논문명	학술대회명	주저자	국내외 구분
1 차 년 도	1	Effect of Low Purity Lime Stone Aggregate on the Engineering Properties of High Strength Concrete	8th international Symposium between Japan, Korea and China, PICLS	정상운	국외
	2	BASIC CHARACTERISTICS OF HIGH ELASTICITY POLYMER USING CEMENT PASTE	8th international Symposium between Japan, Korea and China, PICLS	최중구	국외
	3	감수제 투입 방법이 초고성능 콘크리트의 기초적 특성에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	박천진	국내
	4	저온양생을 실시한 플라이애시 콘크리트의 강도 및 내구성	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	박천진	국내
	5	초고성능 콘크리트의 시공성 향상 연구	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	고경택	국내
	6	환경부하 저감형 경화촉진 혼화제 개발에 관한 실험적 연구	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	신승봉	국내
	7	해외 현지 시멘트에 대한 맞춤형 혼화제 개발에 관한 실험적 연구	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	신승봉	국내
	8	초고성능 콘크리트의 섬유간섭효과를 고려한 분포특성	한국전산구조공학회 2014년도 정기학술대회	강수태	국내
	9	산지별 고로슬래그 미분말 치환율 변화에 따른 순환잔골재 모르타르의 기초적 물성평가	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	자오양	국내
	10	반복 횡하중을 받는 원형기둥의 스테인레스 보강효과 연구	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	장일영	국내
	11	현무암 섬유인 인발 특성	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	백효진	국내
	12	채널 플로 시험기 개발을 위한 레올로지 민감도 분석	한국콘크리트학회 2014년도 봄학술대회	장혜림	국내
	13	복합 폴리머를 이용한 시멘트 페이스트의 기초적 특성	한국건축시공학회 2014년도 봄학술대회	최중구	국내
	14	난연제 혼입에 따른 콘크리트 내화보드의 열특성 비교	한국구조물진단유지관리공학 2014년 봄 학술발표회	조세아	국내
	15	폴리프로필렌 섬유의 인발 특성	한국구조물진단유지관리공학 2014년 봄 학술발표회	이방연	국내
	16	High Volume 플라이애시 시멘트 매트릭스의 파괴인성	한국건설순환자원학회 2014년도 봄학술발표회	방진욱	국내
2 차 년 도	1	W/B 및 골재 종류 변화에 따른 초고강도 콘크리트의 공학적 특성	한국콘크리트학회 2014년도 가을학술대회	정상운	국내
	2	80 MPa급 Super Concrete 모르타르 압축강도 특성평가	한국콘크리트학회 2014년도 가을학술대회	안상구	국내
	3	배합강도별 폴리머 시멘트 모르타르의 강도특성	한국콘크리트학회 2014년도 가을학술발표대회	최중구	국내
	4	지르코늄 미분말이 초고강도 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2014년도 가을학술발표대회	박천진	국내

연차	순번	논문명	학술대회명	주저자	국내외 구분
	5	80 MPa급 Super Concrete 결합재의 유연학적 특성평가	한국콘크리트학회 2014년도 가을학술발표대회	최성	국내
	6	지르코니아 실리카폼 사용이 UHPC의 섬유분산성에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2014년도 가을학술발표대회	강수태	국내
	7	VAE계 분말을 혼입한 고강도 폴리머 시멘트 모르타르의 강도 특성	한국건축시공학회 2014년도 가을학술발표대회	최중구	국내
	8	W/B 및 골재압중 변화에 따른 초고강도 콘크리트의 자기수축특성	한국건축시공학회 2014년도 가을학술발표대회	정상운	국내
	9	골재 종류 및 SP제 변화가 초고성능 콘크리트 기초적 특성에 미치는 영향	한국건축시공학회 2014년도 가을학술발표대회	이홍규	국내
	10	골재종류 변화에 따른 초고강도 콘크리트의 공학적 특성	한국건축시공학회 2014년도 가을학술발표대회	한민철	국내
	11	현무암 섬유 표면의 플루오르화 처리에 따른 인장 강도	한국구조물진단유지관리공학회 2014년 가을학술발표회	최정일	국내
	12	단위수량 변화에 따른 80MPa급 초고강도 콘크리트의 압축강도 특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	박천진	국내
	13	석회암 굵은 골재 사용 및 잔골재 변화에 따른 초고강도 콘크리트의 역학적 특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	이순재	국내
	14	석회암 굵은 골재 사용 초고강도 콘크리트의 잔골재 변화에 따른 기초 물성 분석	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	이홍규	국내
	15	80 MPa급 Super Concrete 결합재의 종류별 모르타르 배합성능에 관한 실험적 연구	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	안상구	국내
	16	80 MPa 고강도 콘크리트의 재료 역학적 특성 평가	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	신승봉	국내
	17	강섬유 혼입률이 고강도 콘크리트의 압축거동에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	최중구	국내
	18	하절기 시공환경을 고려한 고성능콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	정용욱	국내
	19	프리믹스 혼합시간에 따른 UHPC 결합재의 기초물성에 관한 연구	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	김기훈	국내
	20	Filler Size가 섬유보강 초고성능 콘크리트의 작업성에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	박천진	국내
	21	감수제 사용량에 따른 섬유보강 모르타르타입 초고강도 콘크리트의 굳지않은 특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	박천진	국내
	22	강섬유를 보강한 고강도 콘크리트 역학적 특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	이봉춘	국내
	23	잔골재 입경에 따른 초고성능 시멘트 복합체의 유동특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	강수태	국내
	24	섬유 보강 복합재료의 설계 및 제조	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	이방연	국내
	25	혼화제 종류에 따른 고성능 콘크리트의 수축거동 평가	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	원천봉	국내
	26	강섬유 혼입률에 따른 고강도 콘크리트의 유동특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	이건철	국내
	27	굵은 골재가 혼입된 80MPa SUPER Concrete의 유동특성 평가	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	장경필	국내
	28	굵은골재 및 잔골재 조합변화가 초고강도 콘크리트의 기초적 특성에 미치는 영향	한국건축시공학회 2015년도 봄학술발표대회	이순재	국내
	29	굵은 골재 및 잔골재 변화가 초고강도 콘크리트의 유동특성에 미치는 영향	한국건축시공학회 2015년도 봄학술발표대회	이홍규	국내
	30	강섬유 혼입률에 따른 고강도 콘크리트의 휨 거동 특성	한국건축시공학회 2015년도 봄학술발표대회	최중구	국내
	31	잔골재 혼합사용이 석회암 굵은 골재 사용 초고강도 콘크리트의 유동특성에 미치는 영향	한국건축시공학회 2015년도 봄학술발표대회	이홍규	국내

연차	순번	논문명	학술대회명	주저자	국내외 구분
	32	혼합 잔골재 변화가 석회암 굵은 골재 사용 초고강도 콘크리트의 기초적 특성에 미치는 영향	대한건축학회 2015년도 춘계학술발표대회	이홍규	국내
	33	혼합 잔골재 변화가 초고강도 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향	대한건축학회 2015년도 춘계학술발표대회	이순재	국내
	34	섬유 배향각에 따른 인장강도 특성	한국구조물진단유지관리공학회 2015년 봄학술발표회	최정일	국내
3 차 년 도	1	골재 종류 및 ERCO 혼입률 변화에 따른 초고강도 콘크리트의 자기수축 특성	한국건설순환자원학회 2016년도 봄학술표회	문병룡	국내
	2	골재 종류 및 석회암 골재에 전기로 산화 슬래그 치환율에 따른 초고강도 콘크리트의 자기수축 특성	한국건설순환자원학회 2016년도 봄학술표회	문병룡	국내
	3	전기로 산화 슬래그 잔골재 치환율 변화가 석회암 기반 초고강도 모르타르의 기초적 특성에 미치는 영향	한국건축시공학회 2016년도 학술논문발표회	문병룡	국내
	4	하절기 시공환경을 고려한 고성능콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	정용욱	국내
	5	팽창재 혼입률에 따른 UHPC의 길이변화 및 압축강도 특성평가	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	안상구	국내
	6	80 MPa급 SUPER Concrete의 펌프 압송성능에 관한 실험적 연구	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	안상구	국내
	7	광물질 혼화제의 등급별 모르타르 특성평가	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	안상구	국내
	8	UHPC 프리믹스 결합재의 분체구성 및 비빔시간에 따른 페이스트의 유동특성	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	구경모	국내
	9	80 MPa급 바닥판 일체형 거더의 실용화를 위한 콘크리트 배합 및 역학적 특성평가	한국콘크리트학회 2015년도 봄학술대회	신승봉	국내
	10	STUDY ON THE RHEOLOGY PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH CONCRETE ACCORDING TO STEEL FIVER VOLUME FRACTION	HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Gun-y oung, Lee	국외
	11	STRENGTH PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE DEPENDING ON REPLACEMENT RATIO STEEL FIBER	HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Jung Gu Choi	국외
	12	초고강도 섬유 보강 콘크리트의 직접인장강도 특성	대한건축학회 충북지회 춘계학술발표대회	박지웅	국내
	13	섬유 조합에 따른 UHPC의 압축강도 특성	한국구조물진단유지관리공학회 2015년 가을 학술발표대회	최정일	국내
	14	섬유 종류에 따른 UHPC의 인장 성능	한국콘크리트학회 2015년도 가을학술대회	최정일	국내
	15	Application Technology of KICT' Ultra High Performance Concrete(K-UHPC) to bridge Girder	4th International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and High Performance Construction Materials	Gum Sung Ryu	국외
	16	초고성능콘크리트용 자기수축저감제 개발	한국콘크리트학회 2016 봄 학술대회	유병현	국내
	17	물-결합재비 변화에 따른 UHPC의 시공성 및 강도 특성에 관한 연구	한국콘크리트학회 2016년도 봄학술대회	류금성	국내
	18	하이브리드 강섬유 혼입량에 따른 UHPFRC의 역학적 특성 평가	한국구조물진단유지관리공학회 2016년 봄 학술발표대회	박승훈	국내
	19	UHPC(Ultra High Performance Concrete)의 양생온도 및 물-결합재비에 따른 특성변화	한국콘크리트학회 2016년도 봄학술대회	이남곤	국내
	20	초고강도 콘크리트의 압축강도 및 연화구간 측정 방법 제안	한국콘크리트학회 2016년도 봄학술대회	조선두	국내
	21	SC 그라우트의 블리딩 예측에 관한 해석적 연구	한국콘크리트학회 2015년도 가을학술대회	이정수	국내
	22	UHPC 압축연화구간 측정실험	한국콘크리트학회 2015년도 가을학술대회	송은석	국내
	23	잔골재 입자 크기에 따른 모르타르의 레올로지 거동 변화	한국콘크리트학회 2015년도 가을학술대회	이진현	국내

연차	순번	논문명	학술대회명	주저자	국내외 구분
	24	합성형 구조모듈 충전용 콘크리트의 시공성능 평가	한국콘크리트학회 2016년도 봄학술대회	신태용	국내
	25	잔골재 입경에 따른 UHPC의 유동성 및 강도 변화	한국구조물진단유지관리공학회 2015년도 가을학술발표대회	서준영	국내
	26	Evaluating Early Age Properties of HPC by Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent	Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-14)	Tian-Feng Yuan	국외
	27	팽창재와 수축저감제를 이용한 초고성능 콘크리트 수축저감 특성	한국콘크리트학회 2016년도 봄학술대회	원천봉	국내
	28	LPF 적용에 따른 고강도 강섬유 콘크리트의 탄성계수 시험	한국구조물진단유지관리공학회 2016년도 봄학술발표대회	서지석	국내
	29	공기량 변화에 따른 80MPa 급 고강도 콘크리트의 압축강도 특성	한국콘크리트학회 2016년도 봄학술대회	안기홍	국내
	30	DEVELOPMENT OF ECONOMIC ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE	Proceedings of East Asia-Pacific Conference (EASEC-14)	고경택	국외
	31	강섬유의 종류 및 혼입량에 따른 UHPFRC의 역학적 특성평가	한국콘크리트학회 2016년도 봄학술대회	박승훈	국내
4차년도	1	결합재 종류별 모르타르 미소수화열에 관한 실험	한국콘크리트학회 2016년도 가을학술대회	안상구	국내
	2	물결합재(WB)에 따른 모르타르의 염소이온확산계수 평가	한국콘크리트학회 2016년도 가을학술대회	안상구	국내
	3	골재 종류 및 W/B 변화에 따른 초고강도 콘크리트의 기초적 특성	대한건축학회 충북지하 춘계학술대회	문병룡	국내
	4	석회암 및 전기로 산화슬래그 잔골재 혼합치환 초고강도 모르타르의 양생 온도 변화에 따른 압축강도 발현	대한건축학회 학술발표대회	문병룡	국내
	5	전기로 산화 슬래그 잔골재를 사용한 모르타르 강도 발현에 미치는 온도 민감도의 영향	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	문병룡	국내
	6	골재 및 결합재 종류 변화에 따른 초고강도 콘크리트의 공학적 특성	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	문병룡	국내
	7	동절기 시공환경이 80 MPa 고강도콘크리트의 특성에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2016년도 가을학술대회	김성현	국내
	8	사계절 외기온도 조건에 따른 고강도콘크리트의 강도발현 특성	한국구조물진단유지관리공학회 2017년도 봄 학술발표회	양준영	국내
	9	강섬유 종류가 UHPFRC의 직접인장거동에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	박승훈	국내
	10	강섬유 종류가 UHPFRC의 직접인장거동에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	박승훈	국내
	11	목표설계강도에 따른 노치타입 UHPC의 직접인장 특성	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	박지웅	국내
	12	REVIEW OF THE CONFIDENCE VIA DIRECT TENSILE STRENGTH TEST OF HYBRID UHPC BY DESIGN STRENGTH	Proceedings of 11th International Symposium	박지웅	국외
	13	LCD 폐유리 미분말과 잔골재(실리카 샌드) 치환율에 따른 콘크리트 강도 성능 비교	2016 대한토목학회 정기학술대회	장일영	국내
	14	LCD 폐유리 미분말을 혼입한 초고강도 콘크리트의 강도 및 미세구조 분석	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	장일영	국내
	15	초고성능 콘크리트의 폭렬특성	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	이방연	국내
	16	초고강도 콘크리트의 작업성 개선용 혼화제 개발	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	이민재	국내
	17	섬유를 혼입한 초고성능콘크리트용 프리믹스결합재의 유동성 및 강도 특성	한국건축시공학회 춘계학술발표대회	구경모	국내
	18	초고성능콘크리트(UHPC)용 고기능성 소포제 개발	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	손호정	국내
	19	해양환경에 노출된 철근콘크리트의 철근 부식특성	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	서지석	국내
	20	해양환경에 노출된 콘크리트의 염화물 침투 특성	한국구조물진단유지관리공학회	서지석	국내

연차	순번	논문명	학술대회명	주저자	국내외 구분
			2017년 봄 학술발표대회		
	21	he Particle Size of Fine Sand and the Properties of Ultra-High Performance Concrete	Proceedings of HPC-CIC Int' l Conference	Su Tae Kang	국외
	22	잔골재 입경 크기에 따른 UHPC 강도 변화	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	강수태	국내
	23	동축 레오미터를 사용한 콘크리트 유동특성 평가 시 정지 영역의 효과	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	이정수	국내
	24	Rheological Method for Alpha Test for Evaluation of Developing Superplasticizers' Performance: Channel Flow Test, Innovation in SCC Rheology	ACI Spring Convention 2017	Jae Hong Kim	국외
	25	폴리카복실레이트의 성능 평가를 위한 채널 플로 실험	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	김재홍	국내
	26	강판콘크리트(SC) 내부를 유동하는 콘크리트의 채움성 평가	한국콘크리트학회 2017년도 봄학술대회	신태용	국내
5 차 년 도	1	석회암 및 전기로 산화 슬래그 혼합 잔골재를 사용한 초고강도 모르타르의 자기수축 특성	한국콘크리트학회 2017년도 가을학술대회	문병룡	국내
	2	SUPER Concrete 개발 현황	한국콘크리트학회 2018년도 봄학술대회	고경택	국내
	3	일액형 균열저감 고성능 혼화제의 고강도 콘크리트 적용성 평가	한국콘크리트학회 2018년도 봄학술대회	이민재	국내
	4	강섬유 종류가 UHPFRC의 인장거동에 미치는 영향	한국콘크리트학회 2017 가을 학술대회	박승훈	국내
	5	시험체 제작조건에 따른 UHPC의 직접인장강도 특성	한국콘크리트학회 2017 가을 학술대회	박지웅	국내
	6	섬유종류 및 결합재의 프리믹스에 따른 초고성능콘크리트의 강도 및 자기수축 특성	국건축시공학회 2018년 춘계학술발표대회	구경모	국내
	7	해양환경에 장기 폭로된 콘크리트의 염화물 침투 특성 평가	한국콘크리트학회 2018년도 봄학술대회	서지석	국내
6 차 년 도	1	초고성능 콘크리트의 균열보수 성능 평가	한국건설순환자원학회 2018년도 학술발표회	고경택	국내
	2	슈퍼 콘크리트의 수밀성 평가	한국건설순환자원학회 2018년도 학술발표회	안기홍	국내
	3	슈퍼 콘크리트의 기밀성 평가	한국건설순환자원학회 2019년도 봄학술발표회	고경택	국내
	4	해양 구조물에서의 슈퍼 콘크리트	2019년 내비 컨퍼런스	고경택	국내

(4) 특허출원 (계획 10건, 달성 15건)

연차	순번	특허명	출원일자	출원인	출원국	출원번호
1 차 년 도	1	시공성을 향상시킨 초고강도 콘크리트 및 그 제조 방법	2014.07.30.	한국건설기술연구원	대한민국	10-2014-0097218
	2	유성타입의 표면 마감재를 이용하여 콘크리트 표면의 건조를 방지하는 초고성능 콘크리트의 제조 방법	2014.07.30.	한국건설기술연구원	대한민국	10-2014-0097221
2 차 년 도	1	고강도 콘크리트용 혼합재료 조성물 및 이에 의해 제조된 고강도 콘크리트 구조물	2015.01.07.	포스코건설	대한민국	10-2015-0002018
	2	시공성을 향상시킨 초고성능 섬유보강 콘크리트의 제조방법	2015.05.27.	한국건설기술연구원	대한민국	10-2015-0073695
	3	마이크로 현무암 섬유와 매크로 강섬유를 혼입한 초고성능 콘크리트 및 그 제조 방법	2015.08.08	한국건설기술연구원	대한민국	10-2015-0080327
3 차 년 도	1	모르타르의 유동성 평가 시험 방법 및 그 시험 장치	2016.04.28.	울산과학기술원	대한민국	10-2016-005202
	2	초고성능 섬유보강 콘크리트 및 그 제조방법	2016.08.08	한국건설기술연구원	대한민국	10-2016-0100930

연차 도	순번	특허명	출원일자	출원인	출원국	출원번호
4 차 년 도	1	균열방지 효과가 있는 분말상 콘크리트 혼화제 조성물 및 상기 콘크리트 혼화제 조성물을 사용한 콘크리트	2017.09.08.	(주)실크로드시엔티	대한민국	10-2017-0115069
	2	초고성능 섬유보강 콘크리트 및 그 제조방법	2017.08.07.	한국건설기술연구원	대한민국	PCT/KR2017/008483
	3	특허출원 알칼리 자극제를 활용한 친환경 고성능 콘크리트 조성물	2017.09.07	(주)포스코건설	대한민국	10-2017-0114512
5 차 년 도	1	조기강도 발현능력이 우수한 고성능 콘크리트 조성물	2017.10.26.	(주)포스코건설	대한민국	10-2017-0140277
	2	2종의 혼합 콘크리트 조성물을 이용하여 향상된 특성을 나타내는 건축물의 기초 매스 콘크리트 시공방법	2017.10.26.	(주)포스코건설	대한민국	10-2017-0140278
	3	이중 분말도의 고로슬래그 분말을 포함하는 PHC 파일용 콘크리트 조성물	2017.11.01.	(주)포스코건설	대한민국	10-2017-0144412
	4	고유동성 고성능 콘크리트 및 저유동성 고성능 콘크리트의 일괄타설 방법	2017.11.06.	한국건설기술연구원	대한민국	10-2017-0146577
	5	초고유동성 고성능 콘크리트 및 저유동성 고성능 콘크리트의 일괄타설 방법	2017.12.11.	한국건설기술연구원	대한민국	PCT/KR2017/014435

(5) 특허등록 (계획 3건, 달성 4건)

순번	특허명	등록일자	등록인	등록국	등록번호
1	고강도 콘크리트용 혼합재료 조성물 및 이에 의해 제조된 고강도 콘크리트 구조물	2016.08.31.	(주)포스코건설	대한민국	10-1654651
2	초고성능 섬유보강 콘크리트 및 그 제조방법	2017.06.21.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1751479
3	고유동성 고성능 콘크리트 및 저유동성 고성능 콘크리트의 일괄타설 방법	2018.04.17.	한국건설기술연구원	대한민국	10-1851337
4	알칼리 자극제를 활용한 친환경 고성능 콘크리트 조성물	2019.01.07	(주)포스코건설	대한민국	10-1937772

(6) 지침 및 매뉴얼(계획 12건, 달성 13건)

순번	지침명	작성연차	작성기관
1	SUPER Concrete의 제조시방 및 품질관리 지침(안) - SC 180 콘크리트 -	1차년도	한국건설기술연구원
2	SUPER Concrete의 재료 실험 방법(안)	1차년도	한국건설기술연구원
3	Provisional Specifications for the Fabrication and Quality Control Guidelines of SUPER Concrete - SC180 Concrete -	2차년도	한국건설기술연구원
4	SUPER Concrete의 재료 실험 방법(6종) - 시험체 제작법, 압축강도, 휨강도, 직접인장강도(노치 유무), 크리프	3차년도	한국건설기술연구원
5	굵은골재 사용 SUPER Concrete의 제조 시방서 -공작제작-	4차년도	한국건설기술연구원
6	굵은골재 사용 SUPER Concrete의 제조 시방서 -현장타설-	4차년도	한국건설기술연구원
7	섬유보강 SUPER Concrete의 제조 시방서 -공작제작-	4차년도	한국건설기술연구원
8	섬유보강 SUPER Concrete의 제조 시방서 -현장타설-	5차년도	한국건설기술연구원
9	섬유보강 SUPER Concrete의 제조시방 및 품질관리 지침	5차년도	한국건설기술연구원
10	SUPER Concrete용 수축저감 혼화제 지침서(SC5000F), (SC3000E)	5차년도	(주)실크로드시엔티
11	The Fabrication and Quality Control Guidelines for SUPER Concrete using Coarse Aggregate	6차년도	한국건설기술연구원
12	Manufacturing Manual SUPER Concrete Using Coarse Aggregate	6차년도	한국건설기술연구원
13	굵은골재 사용 SUPER Concrete의 제조 시방 및 품질관리 지침	6차년도	한국건설기술연구원

(7) 시제품/시작품 (계획 26건, 달성 35건)

순번	구분	제품명	작성연차	작성기관
1	시제품	FSC 180용 고성능감수제 (HP-PC)	1차년도	(주)동남기업
2	시제품	FSC 180용 결합제(UHPC-180)	1차년도	아세아시멘트
3	시작품	BSC-80 (굵은골재를 사용한 80 MPa급 SUPER Concrete 제조)	1차년도	한국건설기술연구원
4	시작품	BFSC-80 (굵은골재를 사용한 80 MPa급 SUPER Concrete 제조)	1차년도	한국건설기술연구원
5	시작품	PEMA-SC5000F-02 (굵은 골재가 사용되는 80 MPa급 SUPER Concrete 전용 혼화제)	1차년도	(주)실크로드시엔티
6	시작품	SC-100 (굵은골재를 사용한 100 MPa급 SUPER Concrete 제조)	2차년도	KICT-아세아시멘트
7	시작품	SC-120 (굵은골재를 사용한 120 MPa급 SUPER Concrete 제조)	2차년도	KICT-아세아시멘트
8	시작품	PEMA-SC 5500F (저점성 80MPa급 Super Concrete 전용 혼화제)	2차년도	(주)실크로드시엔티
9	시작품	SC-120f (120MPa급 SUPER Concrete용 결합제)	2차년도	KICT-아세아시멘트
10	시작품	SC-150f (150MPa급 SUPER Concrete용 결합제)	2차년도	KICT-아세아시멘트
11	시작품	HP-PC2 (섬유보강 SUPER Concrete용 화학혼화제)	2차년도	(주)동남기업
12	시작품	SC-180f (180MPa급 SUPER Concrete용 결합제)	3차년도	KICT-아세아시멘트
13	시작품	HP-DE (UHPC용 소포제)	3차년도	(주)동남기업
14	시작품	HP-RS (UHPC용 수축저감제)	3차년도	(주)동남기업
15	시작품	수축저감 화학 혼화제	3차년도	(주)실크로드시엔티
16	시작품	방청혼화제	3차년도	(주)실크로드시엔티
17	시제품	SC80 (SC80 배합 현장적용 및 부재제작을 대비하여 Pre-mix 결합제 시제품 제조)	4차년도	KICT-아세아시멘트
18	시제품	수축저감용 (PCR5000F)	4차년도	(주)실크로드시엔티
19	시제품	SC120f (플랜트 생산)	4차년도	KICT-아세아시멘트

순번	구분	제품명	작성연차	작성기관
20	시제품	SC150f (플랜트 생산)	4차년도	KICT-아세아시멘트
21	시제품	HP-PCP (섬유보강 SUPER Concrete용 고성능 감수제)	4차년도	(주)동남기업
22	시작품	SC80 (Pre-mix 설비를 활용한 SUPER Concrete 결합제 제조)	4차년도	KICT-아세아시멘트
23	시작품	SC120 (Pre-mix 설비를 활용한 SUPER Concrete 결합제 제조)	4차년도	KICT-아세아시멘트
24	시작품	방청용 1액형 혼화제 (PC15000F)	4차년도	(주)실크로드시엔티
25	시작품	분말형 고성능 혼화제 (SRP5000F)	4차년도	(주)실크로드시엔티
26	시작품	SC120f (소형 Pre-mix 설비)	4차년도	KICT-아세아시멘트
27	시작품	SC150f (소형 Pre-mix 설비)	4차년도	KICT-아세아시멘트
28	시제품	SC3000E (고성능 감수제와 조기 강도증진의 기능을 가진 조강성 일액형 화학혼화제)	5차년도	(주)동남기업
29	시제품	SC120f (프리믹스결합제, 충전제, 모래 포함)	5차년도	KICT-아세아시멘트
30	시제품	FLOWMIX HP-PC (UHPC용 고성능 감수제)	5차년도	(주)동남기업
31	시제품	FLOWMIX HP-DE (UHPC용 고성능 소포제)	5차년도	(주)동남기업
32	시작품	SC80 (Pre-mix 설비를 활용한 SUPER Concrete 결합제 제조)	5차년도	KICT-아세아시멘트
33	시작품	SC120f (Pre-mix 설비를 활용한 SUPER Concrete 결합제 제조)	5차년도	KICT-아세아시멘트
34	시작품	SC80 (Pre-mix 설비를 활용한 SUPER Concrete 결합제 제조)	6차년도	KICT-아세아시멘트
35	시작품	SC100 (Pre-mix 설비를 활용한 SUPER Concrete 결합제 제조)	6차년도	KICT-아세아시멘트

(8) SW 등록 (계획 3건, 달성 3건)

순번	SW명	등록일자	등록기관	등록번호
1	슬럼프 플로 시험 결과를 이용한 콘크리트 레올로지 물성 계산 프로그램	2015.05.06	울산과학기술대학교	C-2015-010695
2	다중섬유로 보강한 고강도 콘크리트의 균열면 거동 해석 프로그램	2015.04.09	전남대학교 산학협력단	C-2015-008068
3	입자의 충전밀도 계산 프로그램	2016.03.18.	울산과학기술원	C-2016-006828

(9) 현장적용 (계획 3건, 달성 9건, 진행중 2건)

순번	현장명	적용년도	국내외 구분
1	미국 아이오와 교량 교체 공사 (Hawkeye UHPC Bridge)	2015. 10.	국외
2	미얀마 양곤-만달레이 고속도로 교량 확장공사 (M-UHPC Bridge)	2015. 10.	국외
3	강원도 춘천 레고랜드 진입교량 중 사장교 구간 적용 (세계최초 UHPC 도로 사장교)	2017. 10. 완공 (2015.07 착공)	국내
4	울릉도 힐링 플레이스 현장 (세계최초 UHPC 셸 구조체)	2017 완공 (2016.07 착공)	국내
5	삼성동 하나은행 리모델링 벽체 보강	2016. 11.	국내
6	강원도 춘천 레고랜드 진입교량 중 연결부 및 에어포켓 구간 적용(섬유보강 SUPER Concrete 배합)	2017. 09.	국내
7	광명동굴 VR 체험관(섬유보강 SUPER Concrete 배합)	2018. 10.	국내
8	베트남 호치민 수처리장 : 수축저감 일액형 혼화제	2017. 07.	국외
9	베트남 테저나사 롱하우 2차 제품 공장 : 조강성 일액형 혼화제	2019. 06.	국외
10	고덕대교 사장교 상부구조 (세계 최장 콘크리트 사장교 : 경간장 540 m)	적용중	국내
11	부산에코델타시티 보도교	적용확정 (설계반영)	국내

(10) 상용화 (계획 3건, 달성 11건)

순번	제품명		장소	작성연차	사업화 업체
1	SUPER Concrete용 강섬유 : 855백만원 춘천대교(723백만원), 울릉도힐링플레이스(144백만원)		춘천, 울릉도	4차년도	지양테크놀로지
2	SUPER Concrete용 프리믹싱 결합제 : 13.3백만원		미국	4차년도	아세아시멘트
3	SUPER Concrete용 화학혼화제 (고성능 감수제)	281백만원 춘천대교 (244백만원) 울릉도 (37백만원)	춘천, 울릉도	4차년도	(주)동남기업
4	SUPER Concrete용 화학혼화제 (수축저감제)		춘천, 울릉도	4차년도	(주)동남기업
5	SUPER Concrete용 화학혼화제 (소포제)		춘천, 울릉도	4차년도	(주)동남기업
6	SUPER Concrete용 프리믹싱 결합제 : 2.5톤 수출		미국	5차년도	아세아시멘트
7	SUPER Concrete용 화학혼화제 : 37백만원		광명동굴	5차년도	(주)동남기업
8	SUPER Concrete용 강섬유 : 105백만원		광명동굴	5차년도	지양테크놀로지
9	조강성 일액형 화학혼화제(SC3000E) : 25.5톤 수출		베트남 테저나사	6차년도	실크로드시엔티
10	SUPER Concrete용 고성능 감수제 (FLOWMIX HP-PC)		논산 (누리가온) 외	6차년도	(주)동남기업
11	SUPER Concrete용 고성능 소포제 (FLOWMIX HP-DE)		논산 (케이에스씨) 외	6차년도	(주)동남기업

(11) 장비 (계 획 0건, 달성 2건)

순번	개발기술	작성연차	개발기관
1	배치플랜트 시스템 구성 (SUPER Concrete 15 m ³ /h 연속생산 가능)	4차년도	한국건설기술연구원
2	동적 레오메타 (SUPER Concrete의 레올로지 특성 분석)	4차년도	명지대학교

(12) 기술이전 (계 획 4건, 달성 6건)

순번	기술실시 계약명	기술이전일	정액기술료 (백만원)	실시기업
1	굵은골재 사용 SUPER Concrete 제작 및 활용 기술	2018.06.29.	30	(주)현대건설
2	광명동굴 디지털 광산체험관 건립공사중 SUPER Concrete 적용 기술	2018.01.11.	8	(주)다성건설
3	이동식 제조시스템을 활용한 SUPER Concrete의 배합/제조기술	2017.12.25.	20 경상(매출액의 2%)	(주)누리가온
4	프리캐스트 제품용 SUPER Concrete의 배합설계, 제조 및 활용기술	2018.08.02	20 경상(매출액의 1%)	(주)대일텍
5	내외장 패널 초고성능 콘크리트의 배합 및 제조 기술	2019.03.14	20 경상(매출액의 3%)	아키텍플랜트
6	이동식 제조시스템을 활용한 SUPER Concrete의 배합/제조기술 및 축사 패널용 SUPER Concrete 프리믹싱 배합 / 제조기술	2019.07.04	100 경상(매출액의 2%)	(주)케이에스씨

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

(1) 연구개발의 최종 목표

- 80~180 MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발
 - 핵심성과의 질적 성과 및 양적 성과를 모두 초과달성함

구분	핵심성과 (level1)	단위 성과 (level2)	질적 성과			양적 성과		달성도 (%)			
			성과지표	목표치	달성치	목표치	달성치				
1 세 부	A	80~120 MPa급 굵은골재 사용 SUPER Concrete	A-1 굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	80, 100, 120 MPa	설계기준강도 80, 100, 120 MPa	특허출원 : 3건 특허등록 : 1건 논문발표 : 10건 논문 : 6건 S/W : 1건 현장적용 : 1건	특허출원 : 3건 특허등록 : 1건 논문발표 : 20건 논문 : 8건 S/W : 1건 현장적용 : 1건 (고덕대교) 기술이전 : 1건 (3,000만원)	100	
				②	제조비용	20%(국내), 50%(국외)	국내 30~40% 국외 64~78%			100	
				③	수축량	600 ~ 700 ×10 ⁻⁶	600×10 ⁻⁶ 이하			100	
				④	내구수명	100년	100년 이상			100	
				⑤	펌핑성능	토출량 30m ³ /hrs	토출량 36.8m ³ /hrs			100	
				⑥	내화성능	1시간 이상	3시간 이상			100	
		A-2	프리캐킹 결합재	①	시작품	4종	7종	논문발표 : 4건 시작품 : 4건 시제품 : 3건	특허출원 : 4건 논문발표 : 4건 시작품 : 7건 시제품 : 3건	100	
				②	시제품	3종	3종			100	
		A-3	화학혼화제	①	시작품	4종	6종	특허출원 : 1건 논문발표 : 4건 시작품 : 4건 시제품 : 3건 매뉴얼 : 1건 상용화 : 1건 현장적용(해외) : 1건	특허출원 : 1건 논문발표 : 5건 시작품 : 6건 시제품 : 3건 매뉴얼 : 1건 상용화 : 1건 (베트남 수출 25.5톤) 현장적용(해외) : 2건	100	
				②	시제품	3종	3종			100	
				③	매뉴얼	1종	2종			100	
				④	상용화	1건	베트남 수출 25.5톤, 현장적용 2건			100	
		A-4	제조시방	①	지침 (현장타설, 공작제작)	1종	2종	매뉴얼 : 3건	매뉴얼 : 4건	100	
				②	지침 (국문, 영문)	1종	2종			100	
	B	120~180 MPa급 섬유보강 SUPER Concrete	B-1 섬유보강 SUPER Concrete 배합		①	압축강도	120, 150, 180 MPa	설계기준강도 120, 150, 180 MPa	특허출원 : 5건 특허등록 : 2건 논문발표 : 16건 논문 : 7건 현장적용 : 1건 기술이전 : 1건 (해외 2건, 국내 5건)	특허출원 : 6건 (PCT 2건) 특허등록 : 2건 논문발표 : 41건 논문 : 15건 (SCI급 6건) 현장적용 : 7건 기술이전 : 5건 상용화 : 2건 장비구축 : 1건	100
					②	인장강도	7, 9, 12 MPa	10.7, 11.4, 12.7 MPa			100
					③	제조비용	20%(국내), 50%(국외)	국내 31~43% 국외 70~79%			100
					④	수축량	600 ~ 700 ×10 ⁻⁶	고온양생 550×10 ⁻⁶ 이하, 일반양생 600×10 ⁻⁶ 이하			100
					⑤	내구수명	120, 150, 200년	200년 이상			100
					⑥	펌핑성능	토출량 30 m ³ /hrs	토출량 38.5 m ³ /hrs			100
					⑦	내화성능	1시간 이상	3시간 이상			100
					B-2	프리캐킹	①	시작품			4종

구 분	핵심성과 (level1)		단위 성과 (level2)		질적 성과			양적 성과		달성도 (%)
					성과지표	목표치	달성치	목표치	달성치	
C			결합재				논문발표 : 3건 시작품 : 4건 시제품 : 2건 상용화 : 1건	논문발표 : 6건 시작품 : 6건 시제품 : 3건 상용화 : 3건(해외2건)	100	
				②	시제품	2종				3종
		B-3	화학혼화제	①	시작품	3종	3종	논문발표 : 1건 시작품 : 3건 시제품 : 3건 상용화 : 1건	특허 출원 : 1건 논문발표 : 6건	100
				②	시제품	3종	4종		시작품 : 6건	100
				③	상용화	1종	2종		시제품 : 3건 상용화 : 3건(해외2건)	100
		B-4	제조시방	①	지침 (현장타설, 공작제작)	1종	2종	매뉴얼 : 3건	매뉴얼 : 4건	100
				②	지침 (국문, 영문)	2종	2종			100
			C-1	표준시험법	①	압축· 직접 인장 시험법	2종	4종	논문발표 : 2건 매뉴얼 : 4건	논문발표 : 2건 매뉴얼 : 4건
	②				휨인장· 크 리프 시험법	2종	2종	100		
	C-2		재료모델	①	SUPER Concrete의 레올로지 예측모델	2종	2종 이상	논문발표 : 22건 논문 : 9건 S/W : 2건	논문발표 : 34건 논문 : 10건 (SCI급 6건) S/W : 2건 장비구축:1건	100
				②	섬유보강 효과를 고려한 재료모델	85% 신뢰도 수준	90% 이상			100
				③	수화모델	1종	1종 이상			100
				④	자기수축 모델	1종	1종			100
				⑤	크리프 모델	1종	1종			100
				⑥	장기성능 평가 시험	2종 (3년 모니터링)	3종 (3년 모니터링)			100
	⑦	내구수명 예측모델	1종	1종	100					

(2) 연차별 질적 및 양적 성과

- 80MPa~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발
- 수행기관: (주)포스코건설, (주)실크로드시엔티, 동남기업(주), 아세아시멘트(주), 한국건설생활환경시험연구원, 대구대학교, 청주대학교, 한국교통대학교, 금오공과대학교

구분	단위 성과물 (level2)		성과점검 기준			정량목표	
			질적 성과지표	목표치	달성치		
1 차 년 도	A-1	굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	80 MPa	80, 100 MPa	특허 출원 : 1건 논문(발표) : 2건
	A-3	프리캐킹 결합재	①	시작품	1종 80MPa	2종 (80 MPa)	논문(발표) : 1건 시작품 : 1건
	A-4	화학혼화제	①	시작품	1종 (고성능감수제)	1종 (고성능감수제)	논문(발표) : 1건 시작품 : 1건
	B-1	섬유보강 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	180 MPa	180 MPa	특허 출원 : 1건 논문(발표) : 3건
			②	인장강도	12 MPa	12 MPa	
	B-3	프리캐킹 결합재	②	시제품	1종 (180 MPa)	1종 (180 MPa)	시제품 : 1건
	B-4	화학혼화제	②	시제품	1종 (고성능감수제))	1종 (고성능감수제)	시제품 : 1건
	C-1	표준시험법	①	압축강도 표준시험법	1종	3종 (압축, 휨, 인장강도) 1종 (제작시방 · 품질관리 지침)	매뉴얼 : 1건
	C-2	재료모델	①	레올로지 예측모델	1종 (180 MPa)	1종 (180 MPa)	논문(발표) : 3건
			②	수화반응모델	1종 (180 MPa)	1종 (80, 180 MPa)	
③			섬유보강 효과 고려 재료모델	-	섬유보강 효과 재료모델 (압축 · 탄성계수 · 휨특성)		
2 차 년 도	A-1	굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	100, 120 MPa	80, 100 MPa	특허 출원 : 1건 논문(발표) : 3건 논문 : 1건 S/W : 1건
	A-3	프리캐킹 결합재	①	시작품	1종	1종	논문(발표) : 1건 시작품 : 1건
	A-4	화학혼화제	①	시작품	1종	1종	논문(발표) : 1건 시작품 : 1건
	B-1	섬유보강 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	120, 150 MPa	120, 150, 180 MPa	특허 출원 : 2건 논문(발표) : 4건 논문 : 2건
			②	인장강도	7, 10 MPa	7, 10 MPa	
	B-3	프리캐킹 결합재	②	시작품	1종	1종	시작품 : 1건
	B-4	화학혼화제	②	시작품	1종	1종	시작품 : 1건
	C-1	표준시험법	①	휨인장강도 표준시험법	1종	섬유보강 SUPER Concrete의 제조시방 및 품질관리 지침(안) 개정 · 보완	논문(발표) : 1건 매뉴얼 : 1건
			①	직접인장강도 표준시험법	1종	섬유보강 SUPER Concrete의 제조시방 및 품질관리 지침(안) 개정 · 보완	
	C-2	재료모델	①	굵은골재 사용 SUPER Concrete의 레올로지 예측 모델	레올로지 특성 DB 5종 (80, 100, 120, 150, 180MPa)	SUPER Concrete의 레올로지 시험방법 및 장비	논문(발표) : 3건 논문 : 2건 S/W : 1건

구 분	단위 성과물 (level2)		성과점검 기준			정량목표	
			질적 성과지표	목표치	달성치		
			②	섬유보강 SUPER Concrete의 레올로지 예측 모델	레올로지 시뮬레이션 (1종)	SUPER Concrete의 레올로지 시험방법 및 장비	
			③	섬유보강 효과 고려 재료모델 (180 MPa급)	85% 신뢰도 수준	섬유보강 효과 고려 재료모델 (180 MPa급) 85% 신뢰도	
			④	수화모델 (120 MPa 급)	1종	수화모델 (120 MPa급)	
			⑤	자기수축 예측모델 (80, 180 MPa 수축발현 시점 정의)	2종	자기수축 예측모델 (80, 100, 180 MPa 수축발현 시점 정의)	
			⑥	장기성능평가시험	옥외폭로 시험체 제작 및 거치(10년)	장기성능 평가시험	
			⑧	크리프 모델	수축/크리프 시험체 제작 및 거치	크리프 모델	
			3 차 년 도	1-1-1	굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합	①	
②	제조비용	100 MPa 20%(국내) 50%(국외)				제조비용 : 19.4 만원/㎥ (목표 21~23 만원/㎥)	
③	수축량	800 ×10 ⁻⁶				자기수축 320×10 ⁻⁶	
1-1-2	프리믹스결합재	①		시작품	1종	시작품 2종 (SC80, SC100)	논문(발표) : 1건 시작품 : 2건
1-1-3	화학혼화제	①		시작품	1종	시작품 3종 (저점도 고성능감수제, 글리콜 에트르계 수축저감제, 폴리글리콜 에스테르유도체 질소화합물계 방청제)	논문(발표) : 1건 시작품 : 2건
1-2-1	섬유보강 SUPER Concrete 배합	①		압축강도	120, 150, 180 MPa	120, 150, 180 MPa	특허출원 : 1건 논문(발표) : 6건 논문 : 5건
		②		인장강도	7, 10, 12 MPa	12~15 MPa	
		③		제조비용	180 MPa 10%(국내) 50%(국외)	제조비용 : 82 만원/㎥ (목표 105~115 만원/㎥)	
		④		수축량	800 ×10 ⁻⁶	자기수축 366~568×10 ⁻⁶	
1-2-2	프리믹스 결합재	①		시작품	1종	시작품 1종 (SC180)	논문(발표) : 1건 시작품 : 1건
1-2-3	화학혼화제	①		시작품	1종	시작품 2종	논문(발표) : 1건 시작품 : 2건
1-3-1	표준시험법	①		휨인장, 크리프 표준시험법	제조시방 개정	SC180f의 제조 및 품질관리 지침 개정	논문(발표) : 3건 매뉴얼 : 1건
1-3-2	재료모델	①		굵은골재 사용 SUPER Concrete의 레올로지 예측모델	레올로지 현장시험 방법 1종	SUPER Concrete의 레올로지 시험법 및 장비 (레올로지 시험기 설계 및 특허출원, 항복응력과 소성점도 측정 프로그램, 슬럼프 플로 시험을 통한 레올로지 특성 평가방법 제안)	특허출원 : 1건 논문(발표) : 11건 논문 : 3건 S/W : 1건
		②		섬유보강 SUPER Concrete의 레올로지 예측 모델	레올로지 시험장비 1종	SUPER Concrete의 레올로지 시험법 및 장비 1종	

구 분	단위 성과물 (level2)		성과점검 기준			정량목표
			질적 성과지표	목표치	달성치	
			③	섬유보강효과 고려 재료모델	150 MPa 급 신뢰도 (85%)	섬유보강 효과 고려 재료모델(신뢰도 85%)
			④	수화모델	120 MPa 역학적 성능평가 (신뢰도 90%)	수화반응 모델을 이용한 수화생성물량 및 압축강도 예측 (신뢰도 90% 이상)
			⑤	자기수축모델	수축발현시점 정의 (100, 150 MPa)2종	자기수축 수축발현 시점 정의 2종
			⑥	장기설능 평가시험	옥외폭로 시험체 계측 (1년) 건조수축, 크리프 장기 거동 계측 (1년)	옥외폭로 시험체 계측 (1년) 장기거동 시험체 계측(6개월~1년)
4 차 년 도	1-1-1	굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	80, 100 MPa	SC80, SC100 배합 최적화
			③	제조비용	20%(국내) 50%(국외)	SC80: 11.3 만원/㎥, (국내 44%, 국외 72% 절감) SC100: 19.4 만원/㎥ (국내 34%, 국외 65% 절감)
	1-1-2	프리팩킹 결합재	①	시작품	1종 (해외 수출 고려)	프리팩킹 결합재(2종) SC80, SC100 2건
			②	시제품	1종	프리팩킹 결합재 (SC80 1건)
	1-1-3	화학혼화제	①	시작품	해외 현지화	해외 현지화 1건 (베트남 호찌민 수처리장 현장 적용)
			②	시제품	1종	시제품 1건 (수축저감용 일액형 혼화제)
	1-1-4	제도시방	①	현장타설	1종	현장타설 매뉴얼 1종
	1-2-1	섬유보강 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	120, 150 MPa	SC120f, SC150f 배합 최적화
			②	인장강도	7, 9 MPa	SC120f: 11.1 MPa($V_f=1.0\%$), 12.6 MPa($V_f=1.5\%$) SC150f: 14.98 MPa($V_f=1.5\%$)
			③	제조비용	20% (국내) 50% (국외)	SC120f: 51.6 만원/㎥, (국내 46%, 국외 72% 절감) SC150f: 73.2 만원/㎥ (국내 36%, 국외 73% 절감)
	1-2-2	프리팩킹 결합재	①	시작품	1종	2건 (SC120f, SC150f)
			②	시제품	1종	시제품 2건 (SC120f, SC150f) 상용화 1건 (SC180f, 미국 수출)
	1-2-3	화학혼화제	②	시제품	1종	시작품 1건, 시제품 1건 (분말형 고성능 혼화제)

구분	단위 성과물 (level2)		성과점검 기준			정량목표		
			질적 성과지표	목표치	달성치			
					상용화 3건 (고성능 감수제, 수축저감제, 소포제-레고랜드 진입 교량, 울릉도 힐링 플레임스 납품)	시작품 : 1건 상용화 : 3건		
	1-2-4	제조시방	②	공장제작	1종	공장타설 매뉴얼 작성	매뉴얼 : 1건	
	1-3-1	표준시험법	①	표준시험법	1종 (압축강도법 개정)	1종 (압축강도 시험법 개정)	매뉴얼 : 1건	
	1-3-2	재료특성 평가	①	SUPER Concrete의 압축거동 평가	1종	1종 (압축연화 재료모델)	논문(발표) : 11건 논문 : 4건 장비 : 1건	
			②	섬유보강 SUPER Concrete의 레올로지 예측 모델	신뢰도 90%	레올로지 예측 모델 (신뢰도 90% 이상) SUPER Concrete 측정용 레오미터 1건 SUPER Concrete의 펌핑 성능 예측 1건		
			③	섬유보강효과 고려 인장거동	신뢰도 90%	섬유보강 효과 고려 재료모델 (신뢰도 90% 이상)		
			⑤	자기수축 저감	자기수축 변형률 500×10^{-6}	자기수축 변형률 $(350 \sim 450 \times 10^{-6})$ 건조수축 변형률 $(20 \sim 260 \times 10^{-6})$ SUPER Concrete용 자기수축 예측 모델		
⑥			장기성능 평가 시험	육외폭로 시험체 계측 (2년)	해양폭로 시험체 계측 (2년)			
	건조수축, 크리프 장기 거동 계측 (2년)	장기거동 시험체 계측(2년)						
5차년도	1-1-1	굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	80 MPa	설계기준강도 80 MPa 이상	논문(발표) : 1건 논문 : 1건 기술이전 : 1건	
				펌핑성능	토출량 시간당 $30 \text{ m}^3/\text{hrs}$	$36.8 \text{ m}^3/\text{hrs}$ (압송거리 200m 펌핑 성능 평가 시험)		
				③	수축량	$600 \sim 700 \times 10^{-6}$ (SC80)		600×10^{-6} 이하
				④	내구수명	100년 (SC80)		100년 이상
	1-1-2	프리캐킹 결합제	②	시작품	1종	시제품 1종 (3개사 레미콘에서 적용성 평가)	논문(발표) : 1건 시작품 : 1건	
	1-1-3	화학혼화제	②	기술 표준화	1종	2종 (수축저감형 일액형 혼화제, 조강형 일액형 혼화제)	논문(발표) : 1건 시제품 : 1건 매뉴얼 : 1건	
			③	시제품	1종	1종 (조강형 일액형 혼화제) 해외 현지화 1건 (베트남 Nam Hong Precast 콘크리트 공장적용)		
	1-1-4	제조시방	②	공장제작(안)	1종	1종 (수축저감형 일액형 혼화제)	매뉴얼 : 1건	

구 분	단위 성과물 (level2)		성과점검 기준			정량목표
			질적 성과지표	목표치	달성치	
					현장사용 매뉴얼)	
	1-2-1	섬유보강 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	120MPa	특허 등록 : 1건 논문(발표) : 1건 논문 : 1건 현장적용 : 1건 기술이전 : 2건
				펌핑성능	토출량 시간당 20 m³/hrs	
			②	인장강도	7, 12 MPa (SC120f, SC180f)	
			④	수축량	600 ~ 700 × 10⁻⁶	
			⑤	내구수명	120, 200년 (SC120f, SC180f)	
	1-2-2	프리팩키지 결합재	②	시제품	1종	논문(발표) : 1건 시제품 : 1건 상용화 : 1건
	1-2-3	화학혼화제	②	시제품	1종	시제품 : 1건
	1-2-4	제조시방		공장제작(안)	1종	매뉴얼 : 1건
	1-3-2	재료모델	⑥	장기성능 평가시험	옥외폭로 시험체 계측 (3년)	논문(발표) : 1건
			⑦	내구수명 예측모델	-	
6 차 년 도	1-1-1	굵은골재 사용 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	80 MPa	논문(발표) : 1건 논문 : 1건 현장적용(국내) : 1건
				내화성능	1시간 이상	
			③	수축량	600 ~ 700 × 10⁻⁶ (SC100, SC120)	
			④	내구수명	100년 (SC100, SC120)	
	1-1-2	프리팩킹 결합재	②	시제품	1종	시제품 : 1건
	1-1-3	화학혼화제	②	매뉴얼	1종	상용화 : 1건 매뉴얼 : 1건 현장적용(해외) : 1건
			③	상용화	1종	
	1-1-4	제조시방	②	지침(국문, 영문)	1종	매뉴얼 : 1건
	1-2-1	섬유보강 SUPER Concrete 배합	①	압축강도	120 MPa	특허 등록 : 1건 논문(발표) : 1건 논문 : 1건 기술이전 : 1건
				내화성능	1시간 이상	
			②	인장강도	12 MPa (SC150f)	
			④	수축량	600 ~ 700 × 10⁻⁶ (SC150f)	

구 분	단위 성과물 (level2)		성과점검 기준			정량목표	
			질적 성과지표	목표치	달성치		
			⑤	내구수명	150년 (SC150f)	200년 이상	
	1-2-2	프리팩키지 결합재	②	시제품	1종	1종	논문(발표) : 1건 시제품 : 1건
	1-2-3	화학혼화제	②	상용화	1종	1종	상용화 : 1건
	1-2-4	제조시방		지침(국문, 영문)	1종	2종	매뉴얼 : 1건
	1-3-2	재료모델	⑥	장기성능 평가시험	-	장기성능 시험결과 분석(3년)	논문(발표) : 1건
			⑦	내구수명 예측모델	-	염해저항성 예측	

나. 관련 분야 기여도

(1) 기술적 측면

- 세계 최고 수준의 80~180 MPa급 콘크리트 기술 개발로 관련 분야 기술 세계선도
- 세계 최초의 초고성능 콘크리트 도로 사장교인 레고랜드 진입교량(춘천대교) 사장교, 세계 최장의 콘크리트 사장교인 고덕대교(경간장 540 m)의 상부구조에 슈퍼 콘크리트를 적용함으로써 배합·제조·시공기술 검증 및 사장교 적용 트랙레코드 확보
- 세계 최초의 셸 구조체(울릉도 힐링플레이스)에 슈퍼콘크리트를 적용함으로써 배합·제조·시공기술 검증 및 빌딩분야 적용 트랙레코드 확보
- 미국 아이와주와 미얀마 교량 건설에 슈퍼콘크리트를 적용함으로써 배합·제조·시공 분야의 현지화를 통한 해외 시장에서의 적용을 검증하고 국외 적용 트랙레코드 확보
- 프리믹싱 결합재, 화학혼화제 등 미국·베트남 등에 수출을 하고 해외 현장에서의 적용을 검증하고 국외 적용 트랙레코드 확보
- 슈퍼 콘크리트의 시방지침을 국가건설기준에 반영하고, ACF(아시아 콘크리트 협회)의 재료 가이드라인 작성 주도로 글로벌 리더 지위 확보
- 시설물의 잦은 보수교체에 따른 국민 불편 최소화
- 시설물의 안전성 향상을 통한 안전하고 편안한 사회 실현에 기여
- 시설물의 슬림화로 주변 환경과 조화롭고 수려한 외관 부여
- 국내외 다양한 수상을 통해 기술적 인증 : 미국 UHPC 혁신상 2건 수상(2019), 2017, 2018, 2019 국토교통 R&D 우수성과 선정, 국토교통부 해외건설우수사례 경진대회 우수상(2019), 영국 웰페이퍼 디자인 어워드에서 세계 최고의 건축물로 선정(2019), 2019 한림공학한림원 산업기술 우수성과 15선 선정, 한국건축시공학회 우수 학술상, 2019 한국건축문화대상-민간부문 본상

(2) 경제적 측면

- 슈퍼 콘크리트의 제조비용을 상용화·실용화 촉진 및 건설비용 절감에 기여
 - 국내 대비 30%, 국외 대비 70% 이상 저감(세계 최저 가격)
- 슈퍼 콘크리트의 배합·제조·시공 기술과 프리믹싱 결합재·화학혼화제·강섬유 등 소재 분야를 민간기업으로 기술이전을 통해 기업 이윤 창출
- SUPER Concrete의 고내구성 특성을 활용하여 구조물 주요 부재의 수명 100% 이상 증진을 통해 국가예산 절감
- 철근 및 콘크리트 사용량 30% 이상 절감
- 이산화탄소 배출량 40% 저감
- 국내 신설 콘크리트 교량에서 연간 약 8.7만 톤 절감
- 골재·석회석 등 천연자원 사용량 30% 절감
- 시설물의 교체주기 연장에 의한 건설폐기물 경감

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 활용방안

핵심성과명	연구성과물	활용분야	활용방안	추진기관	추진일정
(1-1) 80~120 MPa급 굵은골재 사용 SUPER Concrete	SC80, SC100, SC120 배합 및 제조기술	실용화	기술이전	KICT	고덕대교 적용중 (2020~)
	프리믹싱 결합재	실용화	기술이전/ 사업화	KICT 아세아시멘트 필요기관	기술이전을 통해 상품화 (2020~)
	SUPER Concrete용 고성능 감수제	실용화	기술이전/ 사업화	KICT 실크로시엔티	베트남 수출 실적 및 기술이전을 통해 제품화 확대 (2019~)
(1-2) 120~180 MPa급 섬유보강 SUPER Concrete	SC120f, SC150f, SC180f 배합 및 제조기술	실용화	기술이전	KICT	국내외 현장 적용 실적 부산에코델타시티 보도교 적용 예정 (2020) 민간업체에 기술이전을 통해 상용화 추진 중 (2018~)
	SC120f, SC150f용 프리믹싱 결합재	실용화	기술이전/ 사업화	KICT 아세아시멘트 필요기관	기술이전을 통해 상품화 (2020~)
	SUPER Concrete용 고성능감수제	실용화	기술이전/ 사업화	KICT 동남기업	국내외 상품화 실적 및 기술이전을 통해 제품화 확대 (2020~)
(1-3) SUPER Concrete 의 표준시험 법 및 재료모델	SUPER Concrete의 재료시험법	실무매뉴얼	국가규격 및 전문학회 표준화 (공개)	KICT	콘크리트학회 제규격 반영 (2017~)
	SUPER Concrete의 제도시방 및 품질관리 지침(국문, 영문)	실무매뉴얼	콘크리트 표준 시방서 등 및 전문학회 표준화 (공개)	KICT	도로교표준시방서 -콘크리트구조(한 계상태설계법) 반영 중(2020 제정 예정) ACF UHPC Materials 지침에 반영 중(2020 제정 예정)

나. 활용 실적(과제기간 중)

○ SUPER Concrete 배합 및 제조시방

- 강원도 춘천 레고랜드 진입 교량 공사 (사장교-SC180f)
- 울릉도 힐링 플레이스 신축 공사 (건축구조물-SC120f)
- 삼성동 하나은행 리모델링 벽체 보강 공사 (건축구조물-SC150f)
- 부산 에코델타시티 2단계 공사 제8교 (보도교-SC150f)
- 광명동굴 VR 체험관 (건축구조물-SC120f)
- 미국 아이오와 교량 교체 공사 (Hawkeye UHPC Bridge)
- 미얀마 양곤-만달레이 고속도로 교량 확장공사 (M-UHPC Bridge)
- 세종-포천 고속도로 고덕대교 (사장교-SC80) 등

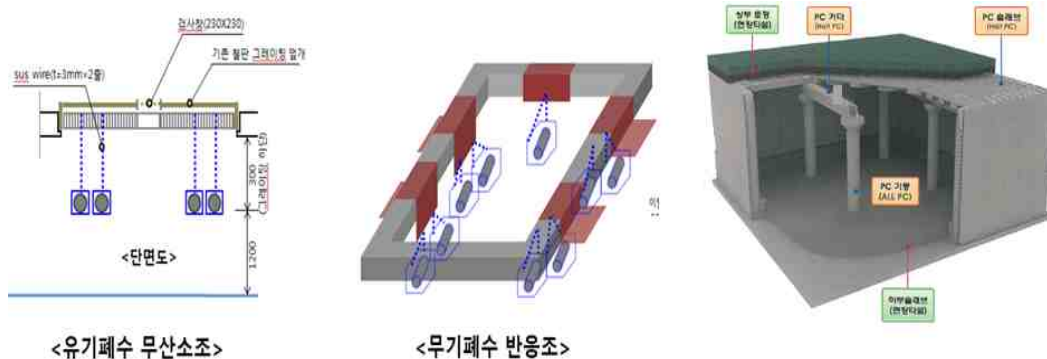
○ SUPER Concrete의 소재 및 재료

- 강원도 춘천 레고랜드 진입 교량 공사 : 화학혼화제, 강섬유
- 울릉도 힐링 플레이스 신축 공사 : 화학혼화제, 강섬유
- 삼성동 하나은행 리모델링 벽체 보강 공사 : 프리믹싱결합재, 화학혼화제, 강섬유
- 광명동굴 VR 체험관 : 프리믹싱 결합재, 화학혼화제, 강섬유
- 미국 아이오와 교량 교체 공사 (Hawkeye UHPC Bridge)
: 프리믹싱 결합재, 화학혼화제, 강섬유
- 미얀마 양곤-만달레이 고속도로 교량 확장공사(M-UHPC Bridge) : 화학혼화제, 강섬유
- 베트남 2차 제품 : 화학혼화제 등

다. 활용 계획 (과제 종료 후)

○ SUPER Concrete의 특성을 고려한 구조물 및 현장에 활용

- 내화화성이 요구되는 폐수처리장, 하수시설 등에 적용
 - OOO 폐수처리장에 슈퍼 콘크리트 성능 검증 중(10개월 폭로시험)
 - 축사 패널 및 오수처리장 등에 적용 검토 중(기술 이전)
 - 해양 및 제설제 환경 구조물



[그림] OOO 폐수처리장 적용 성능 평가 시험: 10개월 거치



[그림] 축사 오수처리 시설 및 해양 구조물 활용 사례

- 초고강도 · 고인성 · 고유동성 특성을 고려한 부재 및 구조물에 활용
- 내외장 패널 및 차도 블록 등 2차 제품 적용 (기술이전)



[그림] 내외장 패널 및 차도 블록 활용 사례

- 신설 구조물의 공사비 절감 및 유지관리 비용 절감
- 미관 · 경관을 고려한 건축물 및 교량



[그림] 미관 · 경관을 고려한 활용 사례

○ SUPER Concrete 기술 발전을 통한 적용 범위 확대

- 교량, 터널 등 SOC 시설물의 보수 · 보강 · 교체 적용을 위한 기술 개발
- : 스마트 유지관리 기획과제에 참여



[그림] 보수 · 보강 · 교체 적용 활용 사례

- 다양한 환경을 고려한 SUPER Concrete의 기술 개선 연구
- 미국, 미얀마, 베트남 등 해외에 적용 실적
- 북한 또는 북방 지역에 진출할 수 있는 급속시공, 혹한 조건을 고려한 특화기술 개발



[그림] 해외 및 북한 등에 적용 가능성

○ SUPER Concrete용 소재 제품화 및 해외시장 진출 확대

- 프리믹싱 결합재, 화학혼화제 및 강섬유 등 수출 경험
- 참여기업의 법인 등을 통해 수출 확대



[그림] 소재 제품화 및 해외시장 진출 확대

붙임. 참고문헌

1. 고경택, 류금성, “SUPER Concrete 개발 현황과 전망”, 한국건축시공학회지, Vol. 18, No. 1, 2018, pp. 10-19.22.
2. 고경택, 류금성, 안기홍, 박승훈, “SUPER Concrete 개발 현황”, 한국콘크리트학회 학술대회논문집, Vol. 30, No. 1, 2018, pp. 781-782.
3. 고경택, 류금성, 안기홍, 박승훈, “초고성능 콘크리트에서 순환재료의 활용”, 한국건설순환자원학회지, Vol. 13, No. 1, 2018, pp. 8-13.
4. 박지웅, 이건철, 고경택, 류금성, “강섬유 보강 UHPC의 직접인장 특성 및 신뢰성 검토에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, Vol. 18, No. 2, 2018, pp. 125-132.
5. 서지석, 이봉춘, 정상화, “해양환경에 노출된 철근콘크리트의 물성 평가 및 철근부식 특성”, 한국콘크리트학회논문집, Vol. 29, No. 6, 2017, pp. 597-605.
6. 안기홍, 고경택, 류금성, 이남곤, 박승훈, “공기량 변화에 따른 80MPa급 고강도 콘크리트의 압축강도 특성”, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, Vol. 28, No. 1, 2016, pp. 293-294.
7. 원천봉, 류금성, 고경택, 윤영수, “혼화제 종류에 따른 고성능 콘크리트의 수축거동 평가”, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, Vol. 25, No. 1, 2015, pp. 143-144.
8. 한민철, 문병룡, “전기로 산화슬래그 잔골재와 석회암 골재의 조합사용이 80MPa급 초고강도 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향”, 한국건설순환자원학회논문집, Vol. 5, No. 3, 2017, pp. 253-260.
9. Jang KP, Kwon SH, Lee JS, Koh KT, Ryu GS, “Evaluation on Rheological Property of 80MPa SUPER Concrete”, Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol.27, No.1, 2015.
10. Jung YW, Jang SS, Choi JO, Kim SH, Koh KT, “ Fresh Concrete properties of High Performance Concrete according to the summer construction environment”, Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol.27, No.1, 2015.
11. Kim SH, Ryu, GS, Koh, KT, “Flexural behavior characteristics of UHPC according to twisted steel fiber”, Advanced Materials Research, Vols. 652-654, 2013, pp. 1499-1504.
12. Kim SW, Choi S, Lee KM, Park JJ, “Autogenous shrinkage characteristics of ultra high performance concrete”, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 23, No. 3, 2011, pp. 295-301.
13. Kim DJ, Park SH, Ryu GS, Koh KT, “Comparative flexural behavior of Hybrid Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete with different macro fibers”, Construction and Building Materials, Vol. 25, No. 11, 2011, pp. 4144-4155.
14. Koh KT, Park CJ, Ryu GS, Ahn KH, “Compressive Strength Properties of 80MPa Ultra High Strength Concrete with Unit Water Content”, Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol.27, No.1, 2015.
15. Koh KT, Ryu GS, Kang ST, Park JJ, Kim SW, “Shrinkage properties of ultra-high performance concrete (UHPC)”, Advanced Science Letters, Vol. 4, No. 3, 2011, pp. 948-952.
16. Koh KT, Park JJ, Ryu GS, Kang ST, “Effect of the Compressive Strength of Ultra-High Strength Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites on Curing Method”, Journal of Korea Society Civil Engineering, Vol. 27, No. 3A, 2007, pp.

427-432.

17. Koh KT, Ryu GS, Ahn GH, Park SH, “Status of Development of SUPER Concrete” , Proceeding of Korea Concrete Institute, Vol. 30, No. 1, 2018, pp. 781-782.
18. Koh KT, Ryu GS, “Status and Future Issues of Development of SUPER Concrete” , Building Construction, Vol. 18, No. 1, 2018, pp. 10-19.
19. Koh KT, Park SH, Ryu GS, An GH, Kim BS, “Effect of the Type of Silica Fume and Filler on Mechanical Properties of Ultra High Performance Concrete” , Key Engineering Materials, Vol. 774, 2018, pp. 349-354.
20. Koh KT, Ryu GS, Ahn KH, Park SH, “Utilization of Recycled Materials in Ultra High Performance Concrete” , Magazine of Korean Recycled Construction Resources Institute, Vol. 13, No. 1, 2018, pp. 8-13.
21. Lee NK, Koh KT, Kim MO, Ryu GS, “Uncovering the role of micro silica in hydration of ultra-high performance concrete (UHPC)” , Cement and Concrete Research, Vol. 104, 2018, pp. 68-79.
22. Nguyen DL, Kim DJ, Ryu GS, Koh KT, “Size effect on flexural behavior of ultra-high-performance hybrid fiber-reinforced concrete” , Composites Part B: Engineering, Vol. 45, No. 1, 2013, pp. 1104-1116.
23. Park CJ, Koh KT, Ryu GS, Ahn KH, Ahn SG, “A Study on Economically-Efficient Binder Combination of 80MPa Ultra High Strength Concrete” , Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, Vol.3, No.1, 2015, pp. 64-71.
24. Park SH, Kim DJ, Ryu GS, Koh KT, “Tensile behavior of ultra high performance hybrid fiber reinforced concrete” , Cement and Concrete Composites, Vol. 34, No. 2, 2012, pp. 172-184.
25. Park JW, Lee GC, Koh KT, Ryu GS, “Study on Direct Tensile Properties and Reliability Review of Steel Fiber Reinforced UHPC” , Journal of Korea Institute of Building Construction, Vol. 18, No. 2, 2018, pp. 125-132.
26. Ryu GS, Kim SH, Ahn GH, Koh KT, “Evaluation of the direct tensile behavior characteristics of UHPC using twisted steel fibers” , Advanced Materials Research, Vols. 602-604, 2013, pp. 96-101.
27. Ryu GS, Kang ST, Park JJ, Koh KT, Kim SW, “Mechanical behavior of UHPC(Ultra High Performance Concrete) according to hybrid use of steel fibers” , Advanced Materials Research, Vols. 287-290, 2011, pp. 453-457.
28. Su-Tae Kang, Gum-Sung Ryu, Jung-Jun Park, Kyung-Taek Koh, Sung-Wook Kim, “Flexural Performance of Lightly Reinforced Concrete Beams with Ultra-High Strength Fiber-Reinforced Concrete (UHSFRC)” , Advanced Science Letters, Vol. 4, No. 3, 2011, pp. 1032-1038.
29. Yuan TF, Ryu GS, Koh KT, Yoon YS, “Evaluating of Shrinkage Properties of High-Performance Concrete Incorporating Different Admixtures” , Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 27, No.1, 2015, pp. 637-638.
30. Yuan TF, Kim YC, Ryu GS, Koh KT, Yoon YS, “Effect of Expansive Additives and Shrinkage Reducing Agent on the Shrinkage Properties of 80MPa High-Strength Concrete, Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 27, No. 2, 2015, pp. 473-474.

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.