17CTAP
-C1288
91-01

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

2019 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

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

국토교통기술촉진사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / ∞∞∞—∞∞∞

베트남 시장 개척을 위한 극서 환경에서 3시간 유지 성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 콘크리트 개발

최종보고서

2019.12.31.

주관연구기관 / (주)실크로드시앤티
협동연구기관 / 롯데건설(주)
(주)성신비나

국토교통부
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

2. 제출문

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

'베트남 시장 개척을 위한 극서 환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 콘크리트 개발' (연구개발 기간 : 2017. 04. 05~ 2019. 12. 31) 과제의 최종보고서 5부를 제출합니다.

2019. 11. 05.

주관연구기관명 : (주)실크로드시앤티 (대표자) 차철용 (인)

협동연구기관명 : 롯데건설(주) (대표자) 하석주 (인)

성신비나(주) (대표자) 안태욱 (인)

CÔNG TY TNHH SUNGSHIN VINA
H. HOÀI ĐỨC, TP. HÀ NỘI

주관연구기관책임자: 김정선

협동연구기관책임자: 김광기

이정범

참여기관책임자:

TỔNG GIÁM ĐỐC
AHN TAE WOOK

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C128891-01	해당 단계 연구 기간	2017.04.05~2019.12.31	단계구분	3차년도 (최종)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	베트남 시장 개척을 위한 극서 환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 콘크리트 개발			
	세부과제명				
연구책임자	김정선	해당단계 참여연구원 수	총: 33명 내부: 33명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 120,000천원 민간: 120,000천원 정부외: 천원 상대국: 15,000천원 계: 255,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 41명 내부: 41명 외부: 명	총 연구비	정부:480,000천원 민간:480,000천원 정부외: 천원 상대국:85,000천원 계:1,045,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	실크로드시앤티/기술연구소			참여기업명	
국제공동연구	상대국명: 베트남			상대국 연구기관명: SUNGSHIN VINA	
위탁연구	연구기관명:1) IBST 2) 실크로드 하노이 JSC			연구책임자:1) HOANG MINH DUC 2) 박종수	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호		2									

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용

본 과제는 극서 환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 콘크리트를 개발하고, 베트남 시장을 교두보로 하여 동남아, 중동 등과 같은 극서 환경에 속하는 글로벌 시장으로의 확대를 꾀하는 것이다.

본 연구는 총 3차년도 (31개월)에 걸쳐 진행하며 1차년도는 극서 환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학혼화제를 개발하고 파일럿 단계의 안정성 검증과 극서 모사조건에서 정량적 목표항목에 부합하는 실험 검증을 진행하였다. 2차년도는 극서 환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학혼화제의 시생산 안정성 검증과 성능 Upgrade를 진행하고 극서조건인 베트남 현지에서 성능검증과 B/P 및 Mock-up Test를 진행하였다. 마지막 3차년도에는 베트남 현지뿐만 아니라 캄보디아에서 현장적용 평가를 성공적으로 진행하였다. 세부적인 연구내용과 범위는 아래와 같다.

연차	연구범위	주요 연구 내용
1차 년도	■ 목표 시장 조사	• 베트남 화학 혼화제 시장 동향 조사 • 베트남 콘크리트용 재료 특성 평가 및 동향 파악
	■ 평가 시스템 구축 - 극서 환경 모사평가법 설정 - 극서중 콘크리트 설계	• 극서 환경 모사평가법 설정 - 콘크리트 평가실 극서 조건 모사 - 콘크리트용 재료의 고온 조건 확보 • 극서중 콘크리트 설계 - 베트남 현지 배합을 모사한 국내 배합 도출
	■ 포스페이트 도입 화학 혼화제 기술 개발 - 양산용 원료 수급 확보 - 파일럿 검증	• 양산용 원재료 수급 문제 해결 - 양산용 포스페이트계 원료 업체 확보 및 적용 • 파일럿 검증 및 포뮬레이션 튜닝 - 200kg 규모 파일럿 제조 조건 확립 - 극서 환경 평가 시스템 적용 성능 검증 - 포뮬레이션 튜닝을 통한 제품 완성도 제고
	■ 펌프압송성 검증	• 현장 섭외 및 하절기 적합 일정 설정 • B/P 및 펌프압송성 평가
2차 년도	■ 포스페이트 도입 화학 혼화제 양산성 검증	• 시생산 검증 및 양산 안정화 - 30톤 규모 양산 조건 확립
	■ 베트남 현지화를 위한 실용성 검증	• 부재 선정 • 부재별 극서중 콘크리트 배합 설계 및 성능 평가 • 부재별 B/P 검증 • 부재별 Mock-up 검증 • 펌프압송성 검증
3차 년도	■ 본격 시장 개척 - 현장 적용 및 마케팅/영업 - 시공기술 확립	• 현장 적용 및 마케팅/영업 착수 • 개발제품의 시공기술 확립, 경제성평가 - 현장적용 : 사타파나뱅크, Park city, An Sinh 병원

연구개발성과

포스페이트 도입 화학혼화제 (PFR3000)의 파일럿 (200KG) 검증과 양산 (30톤) 안정성 검증을 완료하였다. 극서환경 모사조건인 국내 하절기 조건에서 PFR3000이 적용된 콘크리트에 대한 Mock-up실험을 진행하였고 양질의 콘크리트 물성 (3시간 유지성능, 응결특성, 블리딩, 압축강도)을 확인하였다. 또한 베트남 현지 배합실험을 통해 PFR3000이 적용된 콘크리트가 베트남 규격에 적합함을 입증하였다.

2차년도 베트남 현지 Mock-up실험을 수행하여 PFR3000의 현장적용성을 검증하였다. 3시간 유지성능, 응결특성, 블리딩, 압축강도 모두 베트남 규격에 부합하였다. 또한 국내 기흥 힉스 도시첨단사업단지에 펌프압송을 통해 현장적용 평가를 완료하였다.

3차년도는 PFR3000의 현장적용을 진행, 총 3건의 현장적용을 성공하였으며 캄보디아 사타파나뱅크, 베트남 하노이 PARKCITY, 베트남 하노이 An Sinh현장이다. 현장적용된 PFR3000이 적용된 콘크리트 물성은 베트남과 캄보디아 규격에 부합하였으며 현재도 타설 진행 중이다.

현장명	위치	규모
사타파나뱅크	캄보디아	총 23층 (지하4층, 지상 19층) 건축면적 1,166㎡
PARKCITY	베트남 하노이	아파트 2개동 각 29층 (지항 28층, 지하 1층), 콘크리트 물량 80,000㎥
An Sinh병원	베트남 하노이	총 18층(지상 16층, 지하 2층) 콘크리트 물량 20,000㎥

<table>
<tr><td></td><td>유형적 성과로는 국내 특허 등록 2건, 해외출원 2건 (베트남, 인도네시아)을 완료하였다. 건축시공학회와 콘크리트학회에 3건의 학술발표 논문을 게재하였다.</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td>본 과제는 시장개척을 목표로 하고 있으므로 핵심성과물인 포스페이트 도입 화학혼화제 및 이를 적용한 극서중 콘크리트 배합의 일차적 활용방안은 현장 적용에 있다. 즉, 본 과제의 핵심성과물은 아래표에 계획되어 있는 극서 환경의 현장적용 분야에 활용될 것이다.

<table>
<tr><th>현장적용 분야</th><th>주요 해당 부재</th><th>현장 특징</th></tr>
<tr><td>■ 지하 구조물</td><td>• 지하 연속벽
• 현장타설 말뚝</td><td>• 35~60MPa
• 500㎜ 플로우
• 3시간 이상의 작업시간 필요</td></tr>
<tr><td>■ 고층건물 기초</td><td>• 20층 이상
고층건물 기초</td><td>• 27~50MPa
• 콜드조인트 우려
• 3시간 이상의 작업시간 필요</td></tr>
<tr><td>■ 수직 구조 부재</td><td>• 기둥</td><td>• 30~60MPa
• 펌핑 타설을 위한 점성 관리 필요
• 3시간 이상의 작업시간 필요</td></tr>
<tr><td>■ 일반 구조 부재</td><td>• 슬라브</td><td>• 24~30MPa
• 대단면 외기 노출 상태에서의 작업
• 3시간 이상의 작업시간 필요</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>핵심어
(5개 이내)</td><td>극서중 | 초유지 | 펌프압송성</td></tr>
</table>

5. 영문 요약문

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents

This project develops phosphate-incorporated chemical admixtures and concrete that exhibits three-hour maintenance performance in an extremely hot environment and aims to expand into a global market that belongs to the extremely hot weather such as southeast asia and the middle east with the Vietnamese market as a bridgehead.

This study is conducted for the third year in total (33 months). In the first year, we had developed a phosphate-introduced chemically compatible agent that exhibits three hours of maintenance performance in an extreme environment and conducted the stability of its pilot stage and the experimental verification in accordance with quantitative target item in the extremely hot condition. In the second year, we had verified the stability of new products and improved their performance and Performance verification and B/P and Mock-up tests are conducted in Vietnam. In the final third year, the field application evaluation was successfully performed in Vietnam as well as Cambodia. The details and scope of the study are as follows.

Annual	Research scope	Major Research Contens
First year	■ Target market research	• Vietnam chemical admixture market trend survey • Evaluating and characterizing the characteristics of materials for concrete in Vietnam
	■ Evaluation system construction - Setting up the estimation method for extremely hot condition simulation - Concrete design for extremely hot condition	• Setting up the estimation method for extremely hot environmental simulation - Simulation of the extremely hot condition of the concrete evaluation room - Ensuring high temperature condition of concrete materials • Concrete design for extremely hot condition - Domestic formulation derived from Vietnam local formulation
	■ Development of phosphate chemical admixture technology - Acquisition of raw materials - Pilot verification	• Solving raw material supply problem for mass production - Securing and applying raw material companies of phosphate for mass production • Pilot verification and formulation tuning - Establishment of 200kg scale-pilot manufacturing condition - Verification of performance using an extreme hot condition evaluation system - Enhance product completeness through formulation tuning
	■ Pumpability verification	• Establishment of schedule or field trip and summer season • Evaluation of B/P test and Mock-up
Second year	■ Mass production verification of new product	• Verification of mass production and stabilization of mass production - Establishment of mass production condition of 30 ton
	■ Practical verification for localization in Vietnam	• Selection of structural member • Design and performance evaluation of concrete composition for members under extremely hot condition • B/P verification for structural member • Mock-up verification for structural member • Pumpability verification
Third year	■ Pioneering a full-fledged market - Field application and market/sales - Establishment of construction technology	• Field application and marketing/starting business • Establishment of construction technology of developed products - Monitoring and securing D/B for application site - Economic evaluation for developed product

Results

The core research results are the development of phosphate-introduced chemical admixture, PFR3000 and the completion of verification of mass production stability of PFR3000 through the actual production of 30 tons scales. Secondly, completion of concrete mix design applying PFR3000 and B/P test and mock-up evaluation of the concrete in Vietnam, which is an extreme environment country, and the field application evaluation were completed through the pumping press at the Giheung Hicks urban high-tech industrial complex site in korea. In the third, a total of three field applications of PFR3000 were successfully performed. (Sathapana bank in Cambodia, Parkcity and An Sinh in Vietnam) The properties of the concrete of PFR3000 applied were in compliance with the Vietnamese and Cambodian standards. The application is also in progress.

As a quantitative achievement, We completed two patent registration (Korea) and two applications (Vietnam, Indonesia) and published three proceedings at Korea concrete institute and Korea construction engineering society. In addition, it has obtained approval of official test report and concrete mix design.

Expected Contribution

This project target is pioneer of global market, primary application plan of extremely hot weather concrete admixture that is core outcome and the concrete with PFR3000 is in the field application. In other words, the key achievements (PFR3000) of this project will be used in the field application of the extremely hot environment, which is planned in the table below.

Field application area	Major relevant member	Site features
■ Underground structures	• Underground continuous wall • Cast-in-place pile	• 35~60MPa • 500mm flow • Requires more than 3 hours of work
■ High-rise building foundation	• Over 20 stories high-building foundation	• 27~50MPa • Cold joint concerns • Requires more than 3 hours of work
■ Vertical structural member	• Pillar	• 30~60MPa • Viscous management required for pumping • Requires more than 3 hours of work
■ General structure member	• Slab	• 24~30MPa • Work in exposure to a large plane • Requires more than 3 hours of work

Keywords

Extremely hot weather	Super fluidity retention	Pumpability		

6. 영문 목차

〈 Table of contents 〉

1. Overview of development and research task ·····1
2. Development status of internal and external technology ·····8
3. Research content and achievement ·····15
4. Goal attainment and contribution of relevant area ·····102
5. Application plan of research and development result ·····104
6. External technology information ·····105
7. Security level of research and development result ·····105
8. Research facilities and equipments status of resister in national science and technology information system ·····105
9. Performance result of laboratory safety measure, performing development and research task ·····105
10. Representative result of development and research task ·····106
11. Et cetera ·····106
12. Reference ·····106

7. 본문 목차

〈 목 차 〉

1장. 연구개발과제의 개요 ·····1
2. 국내외 기술 개발 현황 ·····8
3. 연구수행내용 및 성과 ·····15
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····102
5. 연구개발성과의 활용 계획 ·····104
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····105
7. 연구개발성과의 보안등급 ·····105
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ·····105
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·····105
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····106
11. 기타 사항 ·····106
12. 참고 문헌 ·····106

8. 본문

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

본 과제는 '극서 환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 콘크리트 개발' 을 목적으로 한다. 본연구에서는 극서 환경은 일평균 30℃이상, 일최고 35℃이상인 조건으로 정의하였다. 본 과제의 목표 시장은 동남아 신흥 개발도상국으로 급부상 중인 베트남이다. 향후 베트남 시장을 교두보로 하여 동남아, 중동 등과 같은 극서 환경에 속하는 글로벌 시장으로의 확대를 꾀하고자 한다. 특히, 3시간의 초유지 성능을 목표로 한 이유는 본 과제의 목표 시장인 베트남과 같은 동남아 극서 환경 국가의 건설 기반 환경과 밀접한 관계가 있다. 즉, 동남아 국가의 교통 인프라 미흡은 레미콘 차량의 이동 시간을 지연시키는 경향이 있고, 타설 현장에서는 이를 담당하는 현장 인력의 스킬 부족으로 작업이 효율적으로 이루어지지 않는 경향이 있다. 이는 곧 시간 지연으로 이어지는데 레미콘의 필연적인 유동성 손실이 야기되므로 건전한 타설 작업에 상당한 장애물이 되는 것이다. 따라서 레미콘 생산 후 1시간 정도면 타설이 가능한 국내와 달리 극서 환경 국가에서는 레미콘이 적어도 3시간 이상의 유지성능을 보유해야만 하는 것이다.

2. 연구개발의 필요성

극서 환경에서의 콘크리트와 여기에 적용되는 화학 혼화제의 현황을 이해하려면 먼저 서중 콘크리트에 대한 설명이 필요하다. 극서중 콘크리트는 서중 콘크리트보다 훨씬 극한 조건에서 시공되는 콘크리트이므로 서중 콘크리트가 안고 있는 문제의 심각성이 크게 증폭되지만 그 핵심은 변하지 않을 것이기 때문이다. 서중 콘크리트란 높은 외부기온으로 인해 콘크리트의 슬럼프 저하나 급격한 수분 증발 등의 우려가 있는 경우에 시공되는 콘크리트이다. 이 때 서중 환경이란 일반적으로 하루 평균 기온이 25℃를 초과하는 경우[1)]를 말한다. 높은 기온으로 인한 급격한 수분 증발 및 수화 촉진은 굳지않은 콘크리트나 굳은 콘크리트에 다양한 문제를 야기하는데 이를 [표 1-1]에 정리하였다.

[표 1-1] 서중 콘크리트의 문제점

구분	굳지않은 콘크리트	굳은 콘크리트
급격한 수분 증발	• 슬럼프 손실로 인한 작업성 저하 • 블리딩수의 급격한 증발로 소성 수축 균열 발생	• 타설 시 작업성 확보를 위해 불가피한 가수의 경우 강도 저하 및 그로 인한 내구성 저하 • 수분 건조에 의한 건조수축 균열 및 그로 인한 내구성 저하
수화 촉진	• 응결 촉진에 의한 슬럼프 손실 심각	• 급격한 수화로 초기 강도 발현 우수하나 원활한 수밀성 확보 곤란 • 장기 강도 발현 미흡 및 그로 인한 내구성 저하 • 높은 수화열 발생으로 온도 균열 우려

[표 1-1]로부터 알 수 있듯이, 서중 콘크리트는 높은 기온으로 인해 작업성, 강도 및 내구성 모두에 문제를 야기하는 경향이 있다. 보다 구체적으로는 슬럼프 손실, 장기 강도 저하 그리고 균열로 요약될 수 있다. 균열의 경우에는 소성 및 건조수축 균열과 온도 균열로 분리해 생각할 수 있다. 상기 문제는 극서 환경에서는 더욱 심각할 텐데 극서중 콘크리트의 이러한 문제에 대해 현재까지 고려되고 있는 대책과 해결해야할 개선점은 [표 1-2]와

같다.

[표 1-2] 극서중 콘크리트 대책 및 개선점

핵심 문제		대책	개선점
슬럼프 손실		• 콘크리트 단위수량 증가 설계 (강도 보정 필요)	• 단위 시멘트량 증가로 비용 상승 및 수화열 상승으로 온도 균열 우려 • 수축 균열 야기 우려
		• 지연형 콘크리트 설계 (수화지연 성능의 화학 혼화제에 의존)	• 응결 지연으로 블리딩 증가 및 침하균열 우려 • 지연제 과량 적용 시 초기 강도 발현 불량 (극서 조건에서 일반적 현상)
		• 신속한 운반 및 타설	• 국가 SOC 및 작업자 습성에 의존
		• 저온 배합수 사용 (냉수, 얼음, 액체 질소 등)	• 설비 구비 및 비용 상승
		• 타설 전 감수제 후첨가	• 타설 전 콘크리트 성상에 의존 • 비용 상승
장기 강도 저하		• 지연형 콘크리트 설계 (화학 혼화제의 성능에 의존)	• 응결 지연으로 블리딩 증가 및 침하균열 우려 • 지연제 과량 적용 시 초기 강도 발현 불량 (극서 조건에서 일반적 현상)
균열	소성수축 균열	• 타설 후 급격한 건조 억제 (그늘막, 바람막이 등) • 소성수축 균열 발생 시 즉시 보수	• 극서 조건에서는 효과 미흡
		• 수축 저감제 적용	• 수축저감제 적용에 대한 정보 부족
	건조수축 균열	• 수축 저감제 적용	• 수축저감제 적용에 대한 정보 부족
		• 현장 가수 (슬럼프 손실 보상) 금지	• 이미 단위수량이 증가된 콘크리트 설계이므로 여전히 균열 우려
	온도 균열	• 저발열 콘크리트 설계	• 기온 변화에 민감, 초기 강도 발현 불량 우려

[표 1-1] 및 [표 1-2]에서 알 수 있듯이, 극서중 콘크리트가 안고 있는 문제는 결국 굳지않은 콘크리트의 작업성에 치명적인 급격한 슬럼프 손실을 해결하고자 하는 시도로부터 기인한다고 볼 수 있다. 즉, 급격한 슬럼프 손실은 높은 기온으로 인해 수분 증발이나 시멘트 수화가 빠르기 때문에 발생하는데, 이를 보상하기 위해 단위수량을 증가시키거나 지연형 혼화제를 적용함으로써 소성 및 건조수축 균열 또는 초기 강도 저하 현상이 나타나게 되는 것이다. 결국 이렇게 타설된 구조물은 내구성이 취약해질 수 있으므로 이 문제에 대해서 근본적인 해결이 필요하다. 뿐만 아니라 급격한 슬럼프 손실을 겪은 상태로 현장에 도착한 레미콘은 타설이 불가능하므로 회차해야 하는데 이러한 경우 발생하는 지급자재 낭비 비용도 만만치 않다. 이와 같은 문제를 근본적으로 해결하기 위한 바람직한 방법론은 슬럼프 손실을 억제하면서도 응결 지연 효과를 완화시키는 화학 혼화제를 도입하는 것인데 아직까지 명쾌한 해결책이 없는 실정이다.

본 과제가 목표로 하는 화학 혼화제는 극서 환경에서도 응결 지연을 완화시키면서 충분한 슬럼프 유지 성능을 발휘하는 '초유지' 개념이 도입된 혼화제이다. 이는 기존의 '초지연' 개념의 화학 혼화제와 근본적으로 차별화된 화학 혼화제이다. 참고로 초지연 개념의 화학 혼화제란 응결 지연 효과를 극대화한 반면 유지 성능은 미흡한 초지연제가 적용된 화학 혼화제를 말한다. 본 과제는 초지연 개념을 극복하여 극서 환경에 최적화된 초유지 개념의 화학 혼화제와 이를 적용한 콘크리트를 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 극서

환경에서도 슬럼프 유지력이 탁월하여 단위수량 증가 없이도 작업성 확보가 용이하고 또한 응결 지연 효과도 완화되어 강도 저하가 없는 콘크리트를 제공하고자 한다.

가. 기술의 우수성

본 과제를 통해 베트남 시장을 개척하고자 하는 초유지 성능의 화학 혼화제 및 이를 적용한 콘크리트 기술의 우수성은 극서 환경에서도 원활한 작업이 가능한 슬럼프 유지 성능을 발휘하면서도 응결 지연이 최소화되어 강도 저하 현상이 없다는 점에 있다. 이는 극서중 콘크리트가 고질적으로 안고 있는 작업성과 강도 등의 상충관계를 획기적으로 해결할 수 있음을 의미한다. 이를 통해 [표 1-3]에 나타낸 바와 같은 우수한 성능의 극서중 콘크리트를 구현할 수 있는 것이다.

[표 1-3] 초유지 성능의 화학 혼화제를 적용한 극서중 콘크리트의 성능 우수성

구분		목표 (초유지 개념)	Control (초지연 개념)
작업성	슬럼프 유지시간	3시간↑	3시간↓
수화 특성	응결시간	Control 대비 50%↑ 단축	응결 지연 발생
	압축강도	Plain과 동등 수준	Plain 대비 강도 저하 발생
내구성	블리딩	Control 대비 50%↑ 저감	블리딩에 의한 균열 발생 (소성수축균열, 침하균열 등)

※ 평가 조건
- 콘크리트 배합 : 극서중 콘크리트 배합 (베트남 적용 배합, 롯데건설 제공)
- 콘크리트 온도 : 35℃
- Plain : 화학 혼화제 비첨가, Control : BASF-161 제품 (초지연 개념의 화학 혼화제, BASF)

※ ↓ : 이하, ↑ : 이상

본 기술은 극서중 콘크리트 기술에 있어서 초지연 개념으로부터 초유지 개념으로의 패러다임 전환을 선도한 기술이다. 본 기술이 사업화되면, 극서 환경에서 자주 발생하는 문제인 급격한 슬럼프 손실로 인한 레미콘 회차에 따른 지급자재 손실 비용 또는 타설 시 압송 파이프 폐색 등의 압송성 문제로 인한 보수 비용과 같은 불필요한 비용을 극적으로 절감할 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 본 기술을 통해 시공품질 확보가 용이함에 따라 불합격 판정 요인을 최소화할 수 있다. 결과적으로 베트남과 같은 극서 환경에 속하는 국가의 코드 및 시방서에 요구되는 콘크리트 공사 조건을 확보할 수 있음으로써 베트남을 중심으로 지속적으로 인접 국가로의 시장 확대가 용이해진다.

나. 기술의 독창성

본 기술의 차별성은 극서중 콘크리트 기술에 있어서 초지연 개념으로부터 초유지 개념으로의 패러다임 전환을 선도한 기술이라는 점이다. 이를 구현하기 위한 독창적인 핵심기술은 일시적 수화 지연 성능을 가진 포스페이트계 분자를 PCE와 분자적으로 일체화시킴으로써 초유지 성능의 화학 혼화제를 구현하는 기술이다. [표 1-4]에 본 개발 기술의 독창성 및 차별성을 기술하였다.

[표 1-4] Phosphate 도입 화학 혼화제 기술의 차별성

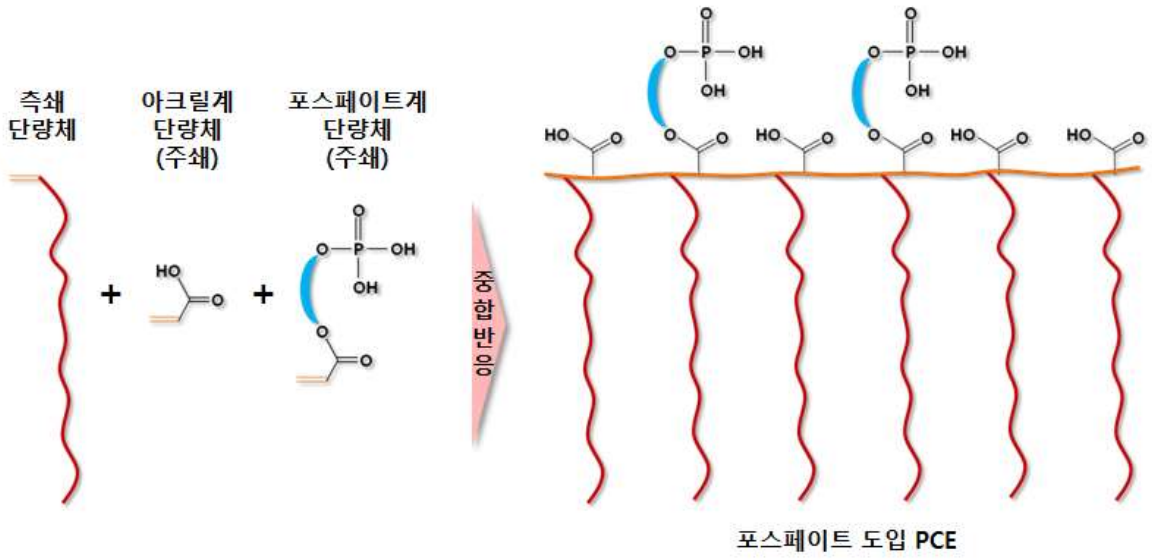
구분	기존 기술	개발 기술
기술 패러다임	• 초지연 개념	**• 초유지 개념**
주요 조성	• SG계 지연제와 PCE 혼합형	**• 포스페이트 도입 PCE (일체형)** **• 기존 PCE 대비 유지성능 향상**
흡착 메커니즘	• SG와 PCE의 경쟁 흡착 • 저분자인 SG의 흡착이 우세 • PCE의 성능 효율 저하	**• PCE 유지제로서 흡착** **• 포스페이트 해리 흡착 (가수분해)** **• 성능 시너지 (경쟁흡착 부작용 해소)**
수화 지연 메커니즘	• SG의 시멘트 표면 코팅 • 표면 코팅 고착으로 장기적인 수화 억제 야기 • 초기 강도 발현 지연	**• 포스페이트의 시멘트 표면 코팅, 일정 시간 후 재배열** **• 재배열 후 수화가능 표면 노출로 수화 재개** **• 초기 강도 발현 문제 해소**
슬럼프 유지성능	• PCE 유지성능 지속을 위해 SG의 장기적 수화 지연 효과에 의존	**• 포스페이트 일체형 PCE 자체 유지성능 및 해리된 포스페이트의 일시적 수화 지연 효과로 초유지 성능 발현**

※ SG : Sodium Gluconate (수화 지연제), PCE : Polycarboxylate Ether (3세대 화학 혼화제)

[표 1-4]에서 알 수 있듯이, 기존의 초지연 개념의 기술은 극서중 콘크리트의 슬럼프 손실을 억제하기 위해 SG계 지연제와 PCE를 혼합한 혼화제를 적용해왔다. 일반적으로 이와 같은 혼합형 혼화제는 개별 성분 간 경쟁흡착 현상이 불가피하므로 성능 효율이 떨어지는 경향이 있어 이를 보상하기 위해 사용량을 추가하는 경향이 있다. 이러한 상황에서 저분자인 SG는 고분자인 PCE보다 시멘트 표면으로의 흡착속도가 빨라 대체로 PCE보다 시멘트 표면을 먼저 코팅하게 되고 응결을 지연시키는 효과를 발휘한다. 동시에 PCE는 슬럼프 유지성능을 서서히 발휘함으로써 작업성을 제공하는 것이다. 그러나 SG는 일단 시멘트 표면에 코팅되면 그 배열 상태에 변화가 없어 장기간 시멘트 수화를 방해하는데 이러한 현상이 초기 강도 발현에 문제를 야기하는 것이다.

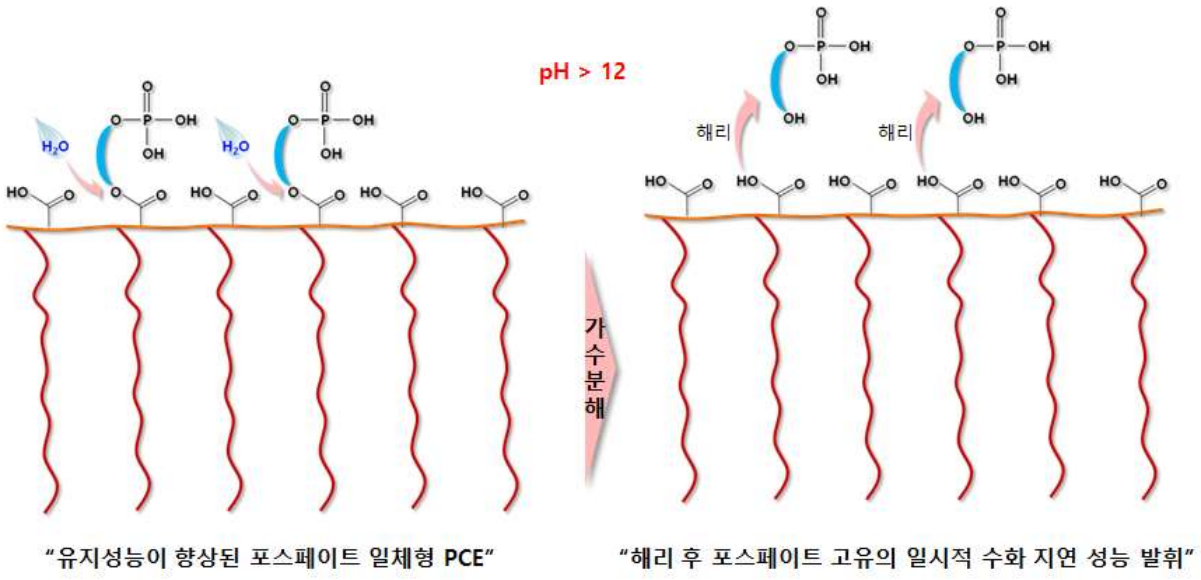
반면, 본 기술은 초유지 개념으로의 패러다임 전환을 이룬 기술로서 포스페이트계 분자와 PCE를 분자적으로 일체화시키는 것이 핵심이다. 이때 도입된 포스페이트계 분자는 일시적 수화 지연 성능을 가진 물질로서 PCE 주쇄에 결합되어 있다가 콘크리트에 투입되면 가수분해에 의해 해리되어 자체 기능을 발휘하도록 설계된 것이다. 한편 해리되기 전에는 일체형 PCE 자체로 유지성능이 향상된 화학 혼화제로서 작용한다. 이는 주관기관인 ㈜실크로드시앤티만의 고유한 PCE 분자설계 기술에 기인한다. 한편, 앞서 언급된 일시적 수화 지연 성능을 설명하면 다음과 같다. C. Lupu 등의 연구 결과[2)]에 따르면, 포스페이트계 물질은 시멘트 표면에 일단 흡착 코팅되면 그 배열 상태가 불변하는 SG와는 달리 흡착 코팅 후 일정 시간이 흐르면 흡착된 표면에서 공간상의 재배열이 일어나 시멘트 표면이 물에 노출됨으로써 수화가 재개된다. 이 연구에 따르면 코팅 표면의 재배열이 일어나는 시간은 흡착 후 약 3시간 후로 관찰되었음이 보고되었다. 이는 3시간 정도의 슬럼프 유지성능 확보와 더불어 이후의 수화가 원활히 일어나 강도발현 문제를 해소해 준다는 것을 의미하는 것이다. 본 기술은 이러한 분석적 근거를 갖는 포스페이트계 분자를 PCE 주쇄 구조에 일체화함으로써 초유지 성능을 구현한 것이다.

기술의 독창성에 대해 보다 구체적으로 설명하고자 한다. [그림 1-1]은 초유지 성능을 구현하기 위해 도입된 포스페이트를 PCE와 일체화시키기 위한 합성 반응의 모식도이다.



[그림 1-1] 포스페이트 도입 PCE 합성 모식도

[그림 1-1]에서 알 수 있듯이, 본 기술은 포스페이트를 PCE에 일체화시키기 위해 포스페이트계 단량체를 측쇄 단량체 및 아크릴계 주쇄 단량체와 함께 비닐 라디칼 중합반응을 시킨다. 이렇게 합성된 PCE의 기존보다 향상된 슬럼프 유지성능을 발현시키기 위해서는 이를 구현하는 분자설계 기술 및 최적화된 반응 공정 설계 기술이 핵심인데 이는 일반 혼화제 업체로서는 접근하기 어려운 기술에 속한다. 그러나 국내 화학 혼화제 기술을 선도하고 있는 주관기관인 ㈜실크로드시앤티는 이와 관련된 상용 기술 및 노하우를 보유하고 있어 상기와 같은 포스페이트 도입 PCE의 합성 및 성능 구현이 가능하다. 이렇게 합성된 포스페이트 도입 PCE는 콘크리트와 같이 pH>12인 높은 환경에서는 가수분해가 가능한 구조인데, [그림 1-2]에 가수분해 전후 작용 개념도를 나타냈다.



[그림 1-2] 포스페이트 도입 PCE의 가수분해 전후 작용 개념도

[그림 1-2]에서 알 수 있듯이, 포스페이트 도입 PCE를 콘크리트에 투입하여 시멘트 표면에 흡착할 때에는 일체형이므로 기존 기술의 경쟁흡착으로 인한 부작용이 없이 향상된 유

지성능을 발휘한다. 시간이 흐름에 따라 콘크리트의 pH가 상승하면 PCE 주쇄에 일체화된 포스페이트 분자가 서서히 가수분해가 되면서 해리되기 시작한다. 해리된 포스페이트 분자는 노출된 시멘트 표면에 흡착 코팅되어 수화 지연 성능을 발휘함으로써 초유지 성능이 가능한 것이다. 이때 포스페이트 분자의 수화 지연 성능은 앞서 설명한 바와 같이 일시적인 현상으로 흡착 후 3시간 정도 후에는 수화가 재개되므로 타설 작업을 마무리할 수 있는 시간이 확보될 뿐만 아니라 초기 강도 발현도 원활히 이루어지게 된다.

결과적으로 베트남 시장 개척을 위해 개발하고자 하는 초유지 성능의 포스페이트 도입 PCE는 일시적 수화 지연 성능을 가진 물질과 유지성능이 향상된 PCE의 일체화된 제품으로 극서중 콘크리트 기술에 있어서 초지연 개념으로부터 초유지 개념으로의 패러다임 전환을 선도한 기술이라는 점에서 기술적 우수성 및 독창성이 있다.

3. 연구개발 범위

가. 1차년도

연차	수행기관	주요 연구활동	개발 내용 및 범위
1차년도 ('17. 04 ~ '17. 12)	SILKROAD HANOI JSC SUNGSHIN VINA IBST	■ 목표 시장 조사	• 베트남 화학 혼화제 시장 동향 조사 • 베트남 콘크리트용 재료 특성 평가 및 동향 파악
	실크로드시앤티 롯데건설 SILKROAD HANOI JSC SUNGSHIN VINA	■ 평가 시스템 구축	• 극서 환경 모사평가법 설정 – 콘크리트 평가실 극서 조건 모사 – 콘크리트용 재료의 고온 조건 확보 • 극서중 콘크리트 설계 – 베트남 현지 배합을 모사한 국내 배합 도출
	실크로드시앤티 롯데건설	■ 파일럿 검증	• 양산용 원재료 수급 문제 해결 – 양산용 포스페이트계 원료 업체 확보 및 적용 • 파일럿 검증 및 포뮬레이션 튜닝 – 200kg 규모 파일럿 제조 조건 확립 – 극서 환경 평가 시스템 적용 성능 검증 – 포뮬레이션 튜닝을 통한 제품 완성도 제고
	실크로드시앤티 롯데건설	■ 펌프압송성 검증	• 현장 섭외 및 하절기 적합 일정 설정 • B/P 및 펌프압송성 평가

나. 2차 연도

연차	수행기관	주요 연구활동	개발 내용 및 범위
2차년도 ('18. 01 ~ '18. 12)	실크로드시앤티	■ 포스페이트 도입 화학 혼화제 양산성 검증	• 시생산 검증 및 양산 안정화 - 30톤 규모 양산 조건 확립
	실크로드시앤티 롯데건설 SILKROAD HANOI JSC SUNGSHIN VINA	■ 베트남 현지화를 위한 실용성 검증	• 부재 선정 • 부재별 극서중 콘크리트 배합 설계 및 성능 평가 • 부재별 B/P 검증 • 부재별 Mock-up 검증 • 펌프압송성 검증

다. 3차 연도

연차	수행기관	주요 연구활동	개발 내용 및 범위
3차년도 ('19. 01 ~ '19. 12)	실크로드시앤티 롯데건설 SILKROAD HANOI JSC SUNGSHIN VINA	■ 본격 시장 개척 - 현장 적용 및 마케팅/영업 - 시공기술 확립	• 현장 적용 및 마케팅/영업 착수
			• 초유지 화학 혼화제의 시공기술 확립 - 적용 현장에 대한 모니터링 및 D/B 확보 - 경제성 평가

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 현황

가. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

(1) 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

본 과제와의 유사연구 검토를 위해 검색을 수행한 결과, 유사성은 상당히 낮지만 [표 2-1]과 같이 2건의 과제를 검출하였다.

[표 2-1] 국가연구개발사업 유사연구 검토 (단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	기술 범주		
				혼화제	서중	극서중
중소기업청	첫걸음기술개발사업	RCF와 초지연형 화학혼화제를 활용한 바닥 모르타르 내균열성 향상기술 개발	0.87	0	X	X
교육과학기술부	일반연구자지원	PVA 분말 코팅법에 의한 콘크리트용 혼화제의 작용시간조절 연구	0.99	0	0	X

첫 번째 과제인 'RCF와 초지연형 화학혼화제를 활용한 바닥 모르타르 내균열성 향상기술 개발' 은 현재 진행 중인 과제로 2017년 4월에 종료 예정인 과제로서 미공개 상태이다. 일반적으로 모르타르는 부피수축이 커 타설 후 심한 균열이 우려되는 재료이다. 따라서 균열을 방지하기 위한 목적으로 기존의 혼화제의 신규 조합을 통해 문제를 해결하고자 하는 과제로 추정된다. 이는 극서중 콘크리트의 초유지 성능 및 강도 저하 현상을 해결하고자 하는 본 과제와 목적 및 개발 방향에 있어서 유사성이 전혀 없는 것으로 판단된다.

두 번째 과제인 'PVA 분말 코팅법에 의한 콘크리트용 혼화제의 작용시간조절 연구' 는 2010년 5월에 시작하여 2012년 4월에 종료된 1인 연구 과제이다. 이 과제는 급결제 또는 지연제를 PVA 고분자 캡슐에 가두어 콘크리트 내에서 각각의 성능이 서서히 발휘될 수 있도록 캡슐 피막의 두께를 최적화하고자 하는 연구를 통해 서중 또는 한중 콘크리트에 실용적 적용 가능성을 파악하고자 하는 과제이다. 그러나 실용화에 단계에 진입했다는 사례를 찾을 수는 없었다. 결론적으로 서중 콘크리트에 적용하는 혼화제 범주에 있다는 점을 빼면, 극서중 콘크리트와 초유지 개념의 혼화제 기술의 접근법에 있어서 본 과제와의 유사성은 전혀 없는 것으로 판단된다.

본 유사연구 검토를 통해 재확인한 사실은 극서중 콘크리트 기술은 실용화 기술 개발이 더욱 절실한 미완의 기술이라는 점이다.

(2) 국내 관련 기술 특허 동향

본 과제와 관련된 서중 또는 극서중 콘크리트의 국내 기술 수준 파악을 위해 관련 특허를 검토하여 [표 2-2]에 정리하였다. 또한 본 과제 기술과의 비교를 위해 각각의 특허에 대해 레미콘 제조 단계, 시공 단계 및 혼화제 조성물에 대한 기술 유형으로 구분하였다.

[표 2-2] 서중 또는 극서중 콘크리트 기술 관련 국내 특허

출원 년도	특허 번호	출원인	특허 명칭	기술 유형		
				레미콘	시공	혼화제
1987	10-0082330	후지사와 야꾸힝고교 가부시키가이샤	콘크리트혼화제	X	X	0
1999	10-0348852	니폰쇼쿠바이 컴파니리미티드	시멘트 혼화제 및 시멘트 조성물	X	X	0
2001	10-0322856	남영유화공업(주)	석고 및 시멘트의 수화 반응 지연제	X	X	0
2001	10-0416790	박군일	한중 및 서중 콘크리트의 제조를 위한 혼합수 공급시스템	0	X	X
2001	10-0436235	(주)선엔지니어링 종 합 건 축 사 사 무 소, 한천구, (주)두성기업	콘크리트용 초지연제와 이 초지연제를 이용한 매스콘크리트의 수화열 조정방법	X	0	0
2001	20-0234291	박군일	한중 및 서중 콘크리트의 제조를 위한 혼합수 공급장치	0	X	X
2002	10-0417528	(주)트라이포드	콘크리트의 방수 및 강도증진을 위한 2성분 규불화염계액상 첨가제 조성물 및 그 제조방법	X	X	0
2006	10-0581148	(주)선엔지니어링 종합건축사사무소	플라이애시와 고로슬래그 미분말과 화학 혼화제 형태조합에 따른 기초매스콘크리트의 균열저감 방법	X	0	0
2006	10-0581150	(주)선엔지니어링 종합건축사사무소	고로슬래그와 석회석미분말과 화학 혼화제 형태 조합에따른 기초매스콘크리트의 균열저감방법	X	0	0
2006	10-0597712	(주)포스코건설, (주)트라이포드, (주)삼표	콘크리트용 액상형 수축저감제 조성물과 이를 이용한콘크리트 조성물	X	X	0
2006	10-0645545	(주)선엔지니어링 종합건축사사무소	고로슬래그와 화학 혼화제 형태 조합에 따른 기초매스콘크리트의 균열저감방법	X	0	X
2006	10-0760586	가부시키가이샤 닛폰쇼쿠바이	시멘트 혼화제	X	X	0
2006	10-0796534	대림산업(주), (주)트라이포드, 계룡건설산업(주)	3성분계 결합재 및 3성분계 잠열성 수화열 저감제를 함유한저발열 콘크리트 조성물	X	X	0
2006	10-0826244	지에스건설(주)	콘크리트 초경화 지연제 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 초경화 지연방법	X	X	0
2006	10-1136355	W.R.그레이스앤드 캄파니-콘	콘크리트 표면 지연제	X	X	0
2007	10-0804099	가부시키가이샤 닛폰쇼쿠바이	시멘트 혼화제	X	X	0
2008	10-1086733	에이케이켐텍(주)	콘크리트용 폴리카르본산계 중합체 조성물 및 이를 포함한 콘크리트 조성물	X	X	0
2008	10-1289749	W.R.그레이스앤드 캄파니-콘	시멘트상 조성물에서 슬럼프 유지	X	X	0
2009	10-1407426	W.R.그레이스앤드 캄파니-콘	모르타르 및 콘크리트 표면의 응결을 지연 시키는 방법	X	0	X
2010	10-1010720	(주) 스페이스 인코, (주)청우 종합건축사사무소	글루콘산 나트륨을 함유하는 레이턴스 제거를 위한 이어치기면 처리제 조성물 및 이를 이용한 이어치기면 시공방법	X	0	0
2013	10-1534771	(주)실크로드 시앤티	시멘트 혼화제 제조용 모노머 및 이의 제조 방법	X	X	0
2014	10-1490502	(주)실크로드 시앤티	일액형 콘크리트 혼화제 및 이의 제조 방법	X	X	0

2. 국외 현황

가. 관련분야의 국외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

서중 콘크리트와 관련하여 콘크리트 온도가 강도에 미치는 효과에 대해서는 1950년대 초부터 1990년대에 걸쳐 지속적으로 연구가 이루어져 왔다[3)-10)]. 이들 연구는 고온 조건이 굳지않은 콘크리트의 표면에서의 수분 증발량에 직접적으로 영향을 미치며 따라서 동일 유동성을 유지하려면 더 많은 배합수가 필요함을 실험적으로 입증하였다. 특히 Kim[10)]은 콘크리트 온도에 따른 슬럼프 감소 거동 및 동일 슬럼프 유지를 위한 배합수의 증가 거동을 고찰하였고, 또한 응결시간 감소에 따른 슬럼프 감소 거동도 고찰하는 등 서중 콘크리트 거동 해석에 필요한 체계적인 분석을 수행하였다. 이러한 고찰을 통해 서중 콘크리트 적용 시 현장에서 발생할 수 있는 문제를 다음과 같이 지적하였다. 즉, 첫째, 슬럼프 감소를 보상하기 위해 시멘트량의 증가 없이 배합수만을 추가하면 콘크리트의 강도와 내구성을 저하시킬 수 있다. 둘째, 고온으로 인한 급격한 슬럼프 손실은 작업성에 치명적이며 마감 작업 시에도 문제를 야기할 수 있다. 셋째, 급격한 유동성 손실을 보상하려고 배합수를 높여 초기 슬럼프 값을 높이면 슬럼프 손실 속도가 더 크게 발생하는데, 이는 증가된 배합수가 오히려 수화속도를 높여 응결시간을 단축하기 때문인 것으로 해석하였다. 세 번째 지적 및 해석에 대해서는 2007년 Ait-Aidera[11)]에 의해서도 재조명된 바 있다.

상기 연구를 통해 도출된 서중 콘크리트의 문제를 해결하는 연구는 크게 두 갈래로 나눌 수 있다. 하나는 굳지않은 콘크리트의 온도를 낮추는 방향이고, 다른 하나는 화학 혼화제로 해결하고자 하는 방향이다.

먼저, 굳지않은 콘크리트의 온도를 낮추는 방향은 콘크리트 믹싱 온도를 낮추어 출하하는 방법과 시멘트의 일부를 플라이애시나 고로슬래그 미분말과 같은 광물 혼화재로 대체하여 수화 온도를 낮추는 방법이 있을 수 있다. 이 중 콘크리트 믹싱 온도를 낮추는 방안은 대체로 쉽게 떠오르는 것으로 저온 관리된 자재를 투입하고 냉수, 얼음 또는 액체질소 등을 사용하는 것이다. 그러나 이러한 처리 방안에 대해서는 설비나 비용 상승 등의 문제로 사용에 있어서 논란의 여지가 많다. 반면, 광물 혼화재로 시멘트를 대체하는 방향의 연구[12)-15)]도 활발히 진행되어 왔다. 광물 혼화재의 시멘트 대체 사용은 서중 환경에서 초기에 자주 발생하는 균열이 저감되는 효과[12)]를 보이며, 또한 장기 강도 발현성이 좋아 내구성 향상 효과[13)]도 있음이 보고되었다. 뿐만 아니라 광물 혼화재의 사용은 레미콘 원가절감에도 긍정적인 효과가 있어 최근에는 시멘트 중량의 15~20%는 광물 혼화재로 대체 사용하는 것이 일반화된 경향이 있다[15)].

화학 혼화제의 서중 콘크리트에 적용과 관련된 연구는 대부분 화학 혼화제에 의한 수화 지연 효과가 굳지않은 콘크리트나 굳은 콘크리트에 미치는 효과에 대한 것이다[16)-20)]. 일반적으로 지연제는 콘크리트 온도에 따라 적합한 수화 지연을 위해 최적 사용량을 결정해야 한다. 그러나 동일 사용량에서 기온 변화에 따른 수화 지연 효과가 민감하게 변하는 경향이 있다. 이는 곧바로 작업성과 강도에 문제를 야기할 것이다. 물론, 기온 변화가 거의 없는 환경에서 콘크리트 온도가 잘 통제되는 경우에는 대규모 연속 타설도 가능한 것으로 알려져 있다. 그러나 지연제를 사용할 경우에는 그 민감성으로 인해 항상 각별한 주의가 필요[20)]한 것은 확실하다.

B. Khan & M Ullah[21)]는 서중 조건에서 지연제가 응결시간에 미치는 영향에 대한 연구에 있어서 관련 문헌에 근거하여 지연제의 콘크리트 응결 메커니즘을 다음과 같이 네 가지 범주로 정리하였다. 일반적인 지연제는 이 네 가지 범주 중 하나 이상의 메커니즘에 따라 응결 지연 효과를 발휘한다고 언급하였다.

첫째는 지연제 분자가 시멘트 표면에 흡착하여 보호막을 형성함으로써 수화 속도를 지연시키는 메커니즘이다. 둘째는 지연제 분자가 수산화칼슘 결정핵에 흡착하여 그 성장을 억제함으로써 시멘트 수화 유도기간을 지연시키는 메커니즘이다. 셋째는 지연제 분자가 용액 중 칼슘이온과 착물을 형성하면서 칼슘이온의 용해도를 증가시켜 수산화칼슘의 핵 형성을 억제하는 메커니즘이다. 넷째는 pH>12로 높은 염기성 환경에서 지연제 분자가 불용성 유도체로 전환되어 시멘트 표면에 침전됨과 동시에 코팅막을 형성함으로써 수화가 지연되는 메커니즘[22]이다.

특히, 네 번째 메커니즘은 C. Lupu et al.[2]에 의해 수정이 되는데, 포스페이트 물질은 흡착 후 약 3시간 후 코팅막의 재배열로 인해 수화가 재개됨을 VSI (Vertical Scanning Interferometry) 및 XPS (X-Ray Photoelectron Spectroscopy) 분석법을 이용하여 확인하였다. 이 연구 결과는 포스페이트 물질이 일시적 수화 지연 성능이 가능함을 추론하게 하여 본 과제 기술의 초유지 개념을 구현하는 근거가 되었다고 할 수 있다.

서중 또는 극서중 콘크리트 연구 및 문제해결과 관련한 화학 혼화제 연구는 대체로 지연제 개념 위주로 전개되어 온 것으로 확인되고 있다. 이는 [표 1-4]에서 언급했던 초지연 패러다임에 국한된 것으로 볼 수 있어 향후에는 새로운 패러다임의 연구가 수행되어야 할 것이다. 이러한 측면에서 본 과제는 초유지 개념이라는 새로운 패러다임을 제시하는 방향으로의 연구에 있어 선도 역할을 수행한다고 말할 수 있을 것이다.

나. 국외 관련 기술 특허 동향

본 과제와 관련된 서중 또는 극서중 콘크리트의 국외 기술 수준 파악을 위해 관련 특허를 검토하여 [표 2-3]에 정리하였다. 또한 본 과제 기술과의 비교를 위해 각각의 특허에 대해 레미콘 제조 단계, 시공 단계 및 혼화제 조성물에 대한 기술 유형으로 구분하였다.

[표 2-3] 서중 또는 극서중 콘크리트 기술 관련 해외 특허

출원년도	특허번호	출원인	특허 명칭	기술 유형		
				레미콘	시공	혼화제
1979	US-4295415	Schneider	Environmentally heated and cooled pre-fabricated insulated concrete building	X	0	X
1997	JP-0218647	Chichibu Onoda Cement Corp.	Admixture for cement composition and its production	X	X	0
1999	JP-0063164	Nippon Shokubai Co. Ltd.	Cement admixture	X	X	0
1999	JP-0292592	Roquette Freres	Admixtures for mineral binders based on hydrogenated disaccharide, admixture-containing mineral binders, and a process for the preparation thereof	X	X	0
2000	JP-0121058	Kao Corp.	Admixture for hydraulic composition	X	X	0
2001	US-6648964	Roquette Freres	Admixtures for mineral binders based on hydrogenated disaccharide, admixture-containing mineral binders, and a process for the preparation thereof	X	X	0
2002	JP-0221265	Denki Kagaku Kogyo KK	Cement admixture, cement Composition, and cement concrete composition using the same	X	X	0
2004	WO-	Chryso	Use of dispersants to improve the	X	X	0

	4092092		retention of fluidity of concrete			
2004	EP-1611068	Chryso	Use of dispersants to improve the retention of fluidity of concrete	X	X	0
2006	US-7879146	National Research Council of Canada	Controlled release of chemical admixtures	X	X	0
2010	US-8404041	National Research Council of Canada	Controlled release of chemical admixtures	X	X	0
2011	US-8906986	BASF Construction Solutions GmbH	Additive for building product mixtures containing flow agents	X	X	0
2012	US-8858703	Pebble Technology, Inc.	Set retardant for hydraulic cement compositions and admixtures therefor	X	X	0
2012	US-8317916	Pebble Technology, Inc.	Set retardant for hydraulic cement compositions	X	X	0
2013	US-8361220	Construction Research & Technology GmbH	Strength improvement admixture	X	X	0

서중 또는 극서중 콘크리트 기술과 관련하여 [표 2-2] 및 [표 2-3]에 정리해놓은 국내외 특허를 보면, 몇몇 레미콘 및 시공 관련 기술 특허를 제외하면 대부분 화학 혼화제 기술에 관한 특허이다. 그러나 서중 또는 극서중 콘크리트에서 발생하는 문제 해결을 목표로 개발된 화학 혼화제 기술은 거의 검색되지 않았다. 다만 시멘트 수화를 지연시켜 서중 또는 극서중 콘크리트에 적용 가능성이 예측되는 지연제 또는 초지연제 기술이 대부분을 차지하고 있음을 확인하였다. 이러한 기술은 [표 1-4]에서 이미 살펴본 바와 같이 그 한계가 명확하여 본 과제 기술을 통해 해결하고자 함을 밝힌 바 있다.

결과적으로 서중 또는 극서중 콘크리트와 관련된 현재까지의 화학 혼화제 기술은 초지연 개념의 범용 기술 수준을 넘지 못하고 있는 것으로 파악되며, 따라서 본 과제와 같이 초유지 개념의 새로운 패러다임으로의 전환을 꾀하는 시도가 더욱 활성화되어야 할 것으로 판단된다.

다. 국외 시장분석 및 산업동향

시장 개척을 위한 본 과제의 목표 시장은 동남아 신흥 개발도상국으로 급부상 중인 베트남이다. 베트남은 2015년 말 우리나라와 자유무역협정(FTA)을 맺은 바 있는데, 중국과 미국에 이어 우리나라의 제 3위 수출상대국이기도 하다. 또한 최근 베트남과 중국의 관계가 악화되면서 한국 기업에 대한 호감도가 더욱 높아져 베트남 진출을 꾀하고 있는 한국기업에게는 베트남이 기회의 땅으로 인식되고 있다.

건설 시장 역시 베트남은 기회의 땅으로 볼 수 있다. 베트남의 첫 건설 수주로서 1966년 대림산업의 약 88만 달러 규모의 RACH-GIA 항만 파일 공사를 시작으로 2016년 3월까지의 누적 건수는 총 1,046건을 기록하였고 금액으로는 316억 달러 수준에 이르렀다. 2000년 이후 동일 시점까지의 누적 수주 물량 측면에서 볼 때 베트남이 약 300억 달러로 265억 달러인 싱가포르를 제치고 아시아 1위의 수주 국가로 올라섰다.

한편, 본 과제와 직접 관계있는 베트남의 레미콘 및 화학 혼화제 시장 규모를 파악할 필요가 있는데, 먼저 베트남 자국 내 시멘트 수요를 조사하여 [표 2-4]에 나타냈다.

[표 2-4] 베트남 자국 내 시멘트 수요 현황

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
수요량 (백만톤)	45.2	47.5	50.7	55.5	60.0

※ 출처 : 베트남 건설부 (Ministry of Construction : www.moc.gov.vn) 뉴스 자료

[표 2-4]에서 알 수 있듯이, 베트남 자국 내 시멘트 수요는 연평균성장율 (CAGR) 7% 수준으로 계속 증가하여 2016년에는 6,000만톤 수준이었다. 베트남 북부 및 중부 지역과 남부 지역의 수요는 대략 70:30의 비율로 나뉘는 것으로 파악되었다. [표 2-4]의 베트남의 자국 내 시멘트 수요를 통해 레미콘 및 화학 혼화제 시장 규모를 예측할 수 있는데 이를 [표 2-5]에 나타냈다.

[표 2-5] 베트남 레미콘 및 화학 혼화제 시장 규모 (단위 : 억원)

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
레미콘	40,064	42,102	44,939	49,193	53,182
화학 혼화제	3,146	3,306	3,529	3,863	4,176

※ 시장 규모 산출은 본 과제의 해외 공동연구기관 및 위탁기관으로 선정된 SUNGSHIN VINA와 SILKROAD HANOI JSC로부터 각각 제공받은 레미콘 및 화학 혼화제 가격 정보에 근거

[표 2-5]로부터 알 수 있듯이, 2016년 베트남의 레미콘 시장 규모는 5조3천억원이며, 화학 혼화제 시장 규모는 4천억원 수준으로 파악되었다. 참고로 국내 레미콘 시장은 약 8조3천억원이고 화학 혼화제는 약 2천억원 수준의 규모를 가지고 있다. 따라서 레미콘 시장 규모는 베트남보다 국내가 다소 높지만 화학 혼화제 시장 규모는 베트남이 국내보다 2배 수준으로 높은 것을 알 수 있다.

본 과제의 목표 제품의 접근가능 시장을 예측하는 것은 시장 개척 전략 수립에 있어서 접근가능한 한계를 명시한다는 점에서 중요할 것이다. 일반적인 화학 혼화제 신제품은 그 제품만의 특수성으로 인해 전체 시장 중 그 특수성을 요구하는 일부 시장만이 접근가능 시장이 되는 경향이 있다. 본 과제가 목표로 하는 극서중 콘크리트용 초유지 개념의 화학 혼화제 제품도 국내 시장을 대상으로 할 경우에는 하절기 서중 환경에 해당하는 일부 기간 및 지역에 국한한 특수한 접근시장만을 갖게 된다. 그러나 목표 시장인 베트남은 모든 지역이 본 기술의 핵심 관심사에 해당하는 극서 환경에 속하는 시장이므로 본 과제의 목표 제품은 베트남에서는 시장 전반에 적용될 수 있는 범용 제품으로서 판매가 가능할 것이다. 따라서 본 과제의 목표 제품의 접근가능 시장 규모는 베트남의 화학 혼화제 전체 시장인 4천억원 수준의 규모로 판단할 수 있는 것이다.

상기한 바와 같이, 본 과제의 목표 시장인 베트남에서의 화학 혼화제 접근가능 시장 규모는 4천억원 수준으로 국내 화학 혼화제 전체 시장의 2배에 해당하는 큰 시장이다. 새로운 제품 개발을 통해 새로운 시장을 개척하려면 그 시장의 특성을 제대로 알고 진입하는 것이 사업의 성패에 매우 중요하다. 익숙한 국내 시장으로의 신제품 출시가 아니라 해외 시장을 개척하는 경우에는 더욱 그러할 것이다. 이러한 측면에서 베트남 현지 기관 및 업체인 IBST (Vietnam Institute of Building Science and Technology), SUNGSHIN VINA 및 SILKROAD HANOI JSC와의 협업은 본 과제의 성공에 있어 지렛대로 작용할 것이다.

IBST는 베트남의 공인 인증기관이므로 본 과제 기술의 실효성에 대한 공신력을 부여해줌

으로써 시장 개척의 근거를 제공하고, 베트남만의 특수한 정보를 제공하며, 또한 자국 내 주요 기관들과의 네트워크의 중심점 역할을 할 것이다. IBST의 이러한 활동은 베트남 현지에서의 사업화 성공을 위해 반드시 필요하다.

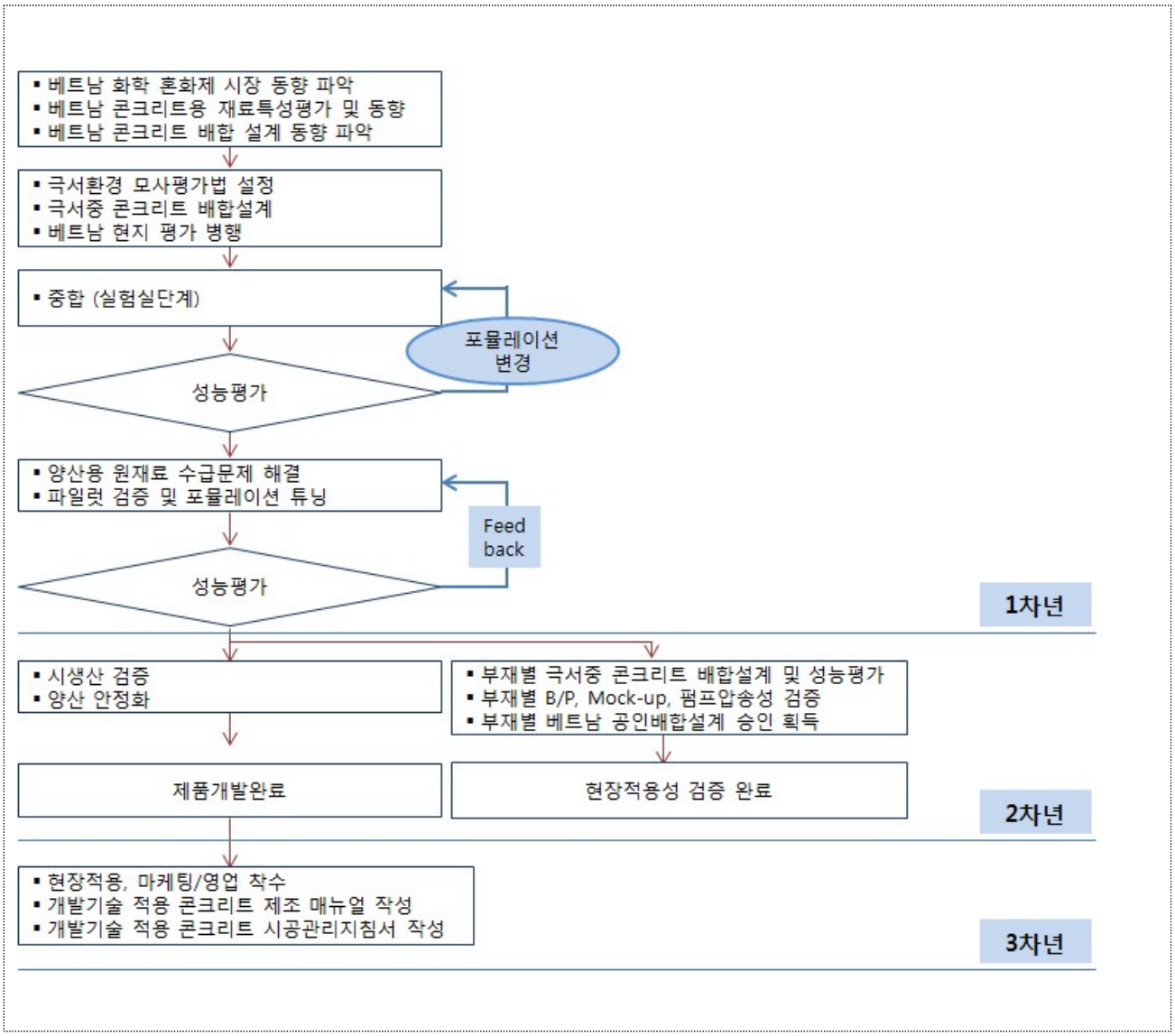
SILKROAD HANOI JSC는 본 과제의 주관기관인 ㈜실크로드시앤티로부터 2008년에 베트남 현지에 진출한 화학 혼화제 업체이다. SILKROAD HANOI JSC는 본 과제의 목표 제품인 극서중 콘크리트용 초유지 개념의 화학 혼화제 신제품을 베트남 시장에 안착시키고 그 저변을 확대시키기 위한 마케팅 및 영업활동을 수행할 것이다. SILKROAD HANOI JSC는 이미 베트남 현지의 유통 및 영업망을 갖춘 업체이므로 본 과제의 사업화 성공에 매우 유리한 조건을 제공할 것이다. 따라서 반드시 협력이 필요한 현지 업체인 것이다.

SUNGSHIN VINA는 2010년 성신양회에서 설립한 베트남 현지 레미콘 제조업체이다. 화학 혼화제는 일반적으로 시멘트 및 골재의 특성에 민감하게 작용하는 경우가 많다. 따라서 새롭게 개발된 화학 혼화제는 반드시 레미콘 적용을 통해 현장 성능이 검증되어야 하는데, 하물며 해외 시장은 국내와 풍토가 완전히 다르므로 현지의 시멘트 및 골재 등의 특성을 꿰고 있는 레미콘 업체의 면밀한 성능 검증이 반드시 필요하다. 이러한 측면에서 SUNGSHIN VINA는 본 과제에 있어 반드시 끌어들여야 하는 현지 업체인 것이다. 또한 SUNGSHIN VINA는 현지 레미콘 업체간의 네트워크를 통해 활발히 정보를 교류하고 있는 입장에 있다. 이는 성공적인 사업화를 위해 상당히 중요한 부분인데, 본 과제의 목표 제품이 SUNGSHIN VINA를 통해 그 실효성이 검증되고 실제 현장에 성공적으로 적용된 사례가 발생하면, 그러한 사실이 네트워크를 통해 쉽게 전파되어 제품의 홍보가 자연스럽게 이루어질 수 있기 때문이다.

제3장. 연구수행내용 및 성과

1. 연구개발의 추진전략 · 방법

가. 실크로드시앤티 (포스페이트 도입 화학 혼화제 개발)



나. 롯데건설 (극서중 콘크리트 배합 개발)



2. 연구개발 추진체계

연구개발과제	
과제명	베트남 시장 개척을 위한 극서 환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 콘크리트 개발

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원수
산 업 계	4	36	44
대 학	-	-	
국공립(연)	-	-	
출 연 (연)	1	8	
기 타	-	-	

주 관 연 구 기 관	(국내) 공 동 연 구 기 관	(국제) 공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관1	위 탁 연 구 기 관2
㈜실크로드시앤티	롯데건설	SUNGSHIN VINA	SILKROAD HANOI JSC	IBST (베트남)
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
주관연구책임자 (김정선)외10명	공동연구책임자 (김광기)외11명	(국제) 공동연구책임자 (이정범)외7명	위탁연구책임자 (박종수)외4명	위탁연구책임자 (HOANG MINH DUC)외7명
연구위원급 1명, 수석급 1명, 책임급 2명, 선임급 3명, 원급 4명	수석급 2명 책임급 4명, 선임급 4명, 원급 2명	책임급 1명, 선임급 7명	책임급 1명, 선임급 1명, 원급 3명	책임급 1명, 선임급 6명, 원급 1명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명	과제명	과제명	과제명	과제명
극서중 콘크리트용 포스페이트 도입 화학 혼화제 개발	극서중 콘크리트 및 현장적용 기술 개발	극서중 콘크리트용 화학 혼화제의 실용성 검증 및 현장적용	극서중 콘크리트용 화학 혼화제 시장 현황 및 사례조사	배합설계 인증 및 베트남 콘크리트 동향보고서
- 포스페이트 도입 화학 혼화제 개발 및 양산화	- 초유지 개념의 극서중 콘크리트 설계 및 성능 평가 - 실용성 검증 및 현장적용	- 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 콘크리트 성능 평가 - B/P, 실용성 검증 및 현장적용	- 화학 혼화제 및 콘크리트 성능 평가 - 시장 조사	- 공인인증시험 - 배합설계승인

3. 추진일정

수행 단계	담당 기관	세부 추진 내용 (연구수행 활동)	활동 별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도			2차년도				3차년도		
					2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4
■ 목표 시장 조사	SUNGSHIN VINA IBST SILKROAD HANOI	• 베트남 화학 혼화제 시장 동향 조사	보고서	20	20									
		• 베트남 콘크리트 재료특성 평가/ 동향 파악		20	20									
■ 평가 시스템 구축	실크로드시앤티	• 극서 환경 모사평가법 설정	-	10	10									
	롯데건설	• 극서중 콘크리트 설계	배합설계	50	50									
■ 포스페이트 도입 화학 혼화제 기술 개발	실크로드시앤티	• 양산용 원재료 수급 문제 해결	특허	5	5									
		• 파일럿 검증 및 포뮬레이션 튜닝	시제품	60	60									
■ 펌프압송성 검증	실크로드시앤티	• 현장 섭외 및 하절기 적합 일정 설정	-	15	15									
	롯데건설	• B/P 및 펌프압송성 평가	공인시험 성적서	150		150								
■ 포스페이트 도입 화학 혼화제 양산성 검증	실크로드시앤티	• 시생산 검증 및 양산 안정화	-	100				100						
■ 베트남 현지화를 위한 실용성 검증	실크로드시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA IBST SILKROAD HANOI	• 부재별 극서중 콘크리트 배합 설계 및 성능평가	배합설계	100				100						
		• 부재별 B/P 검증	-	80					80					
		• Mock-up 검증	공인시험 성적서	80					90					
		• 펌프압송성 검증	공인시험 성적서	90					90					
■ 본격 시장 개척	실크로드시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA SILKROAD HANOI	• 현장 적용 및 마케팅/영업 착수	매출	220								220		
		• 초유지 화학 혼화제의 시공기술 확립	보고서	20								40		
계				1,050	330			460				260		

4. 연구 개발 결과

가. 포스페이트 도입 모노머 합성기술 개발

(1) 개발 Concept

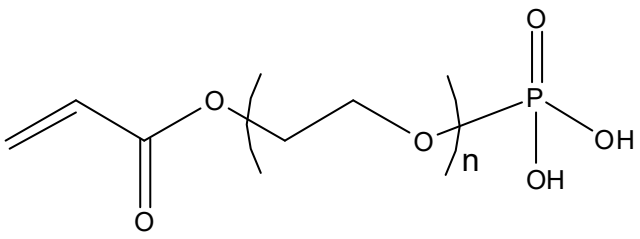
극서환경에서 3시간 유지가 가능한 화학 혼화제를 개발하기 위해서는 포스페이트 모노머의 선정이 매우 중요하다. 모노머의 구조에 따라 중합 전환율부터 콘크리트 물성까지 커다란 영향을 주기 때문이다. EO부가기술을 갖고 있는 H社에게 아래와 같은 포스페이트 모노머를 의뢰하였고 포스페이트 모노머로서 도입 가능한 물질은 포스페이트 도입이 가능한 구조인지와 중합 반응성을 갖고 있는 모노머인지로 판단하였다. 결과적으로 Acrylic acid를 시작물질로 EO가 3~5몰 이상 붙은 포스페이트 모노머가 채택되었다.

[표 2-1] 포스페이트 모노머 (PEA) 선정

구분	포스페이트 도입 시작물질	EO 부가 (mol)	포스페이트 도입 가능여부	중합 반응성	선정
#1	Methacrylic acid	2	○	×	×
#2		3	○	×	×
#3		4	○	×	×
#4		5	○	×	×
#5		6	○	×	×
#6	Acrylic acid	2	×	×	×
#7		3	×	×	×
#8		4	○	○	○
#9		5	○	○	○
#10		6	○	○	○

#1~#5는 Methacrylic acid를 기반으로 하는 물질로 포스페이트 도입은 가능하였으나 측쇄모노머와의 공중합반응에서 반응성이 발현되지 않는 문제가 발생하여 선정되지 않았다. #6~#10은 Acrylic acid를 기반으로 하고 포스페이트 도입은 EO가 4mol 이상 부가되었을 때 포스페이트가 도입 가능하였다. 또한 #8~#10은 측쇄모노머와의 공중합 반응성이 매우 높아 포스페이트 도입 모노머로서 선정하였다.

상기 3종 (#8~#10)의 포스페이트 모노머는 “PEA”로 명명하고 [그림 2-1]과 같은 화학구조를 갖으며 [그림 2-2]의 제조공정을 따른다. 그리고 다음 절에서 측쇄모노머와 산모노머와의 3성분계 혼합물 DOE를 통해 최적 포뮬레이션을 도출할 것이다.



PEA (2-(phosphonooxy)ethyl acrylate)

[그림 2-1] 포스페이트 도입 모노머 (PEA) 구조의 특징



[그림 2-2]포스페이트 도입 모노머 (PEA) 제조 공정

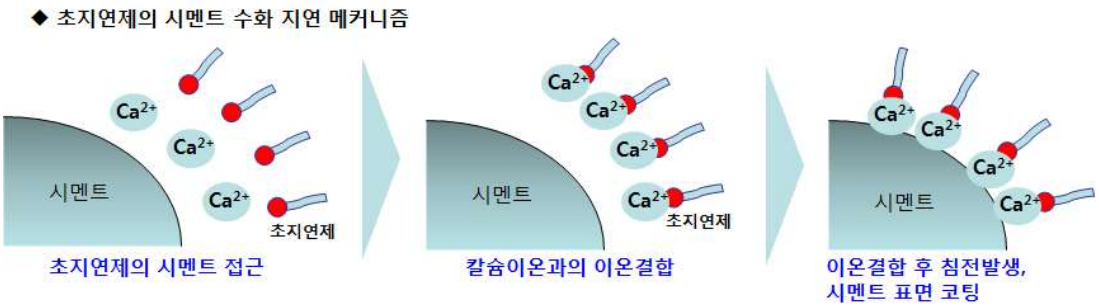
나. 포스페이트 도입 화학 혼화제 합성기술 개발

(1) 개발 concept

베트남과 같은 극서환경에서 콘크리트의 장기유지를 위해서 초지연제의 사용이 보편화되어있다. [그림 2-3]에서 처럼 일반 PCE (Polycarboxylate Ether)계 혼화제에 초지연제를 블랜딩하여 사용한 것이다. 이럴 경우 [그림 2-4]와 같은 시멘트 표면에서의 초지연 메카니즘에 의해 응결이 지연되고 블리딩이 유발되어 결국 콘크리트의 품질이 떨어지게 된다. 또한 초기 강도도 저하되어 공사기간을 지연시킬 우려가 매우 높다.



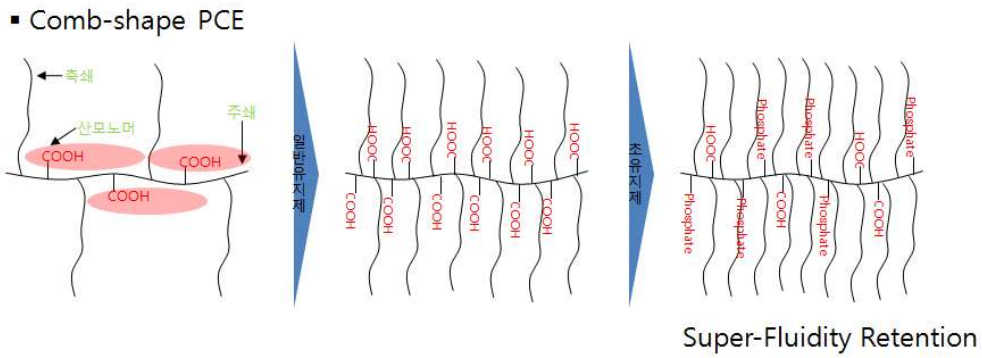
[그림 2-3] 기존의 초지연 혼화제 컨셉



[그림 2-4] 기존의 초지연 혼화제의 메카니즘

상기의 초지연제 사용시 발생할 수 있는 문제를 해결하기 위해서는 새로운 컨셉의 제품이 필요하다. 본 과제의 개발 제품인 포스페이트 도입 화학혼화제는 [그림 2-5]와 같이 PCE 구조만으로 극서환경에서 3시간의 유지성능을 발휘할 수 있는 제품이다. 일반적으로 PCE는 'Comb' 형태를 갖는 구조이며 핵심구조는 '측쇄'라 불리우는 Ethylene Oxide의 Polymer와 불포화 카복실산과 같은 산모노머, 측쇄와 산모노머가 중합반응을 통해 이어진 '주쇄'라 불리우는 구조로 구성된다. 여기서 PCE구조에 포스페이트 도입모노머를 도입함으로써 포스페이트가 일체화된 혼화제를 만들 수 있다. 이를 통해 포스페이트와 혼화제의 경쟁흡착을 막고 시간이 지남에 따라 가수분해되는 포스페이트가 시멘트 응결을 지연시켜 유지성능을 부가시키게 되는 것이다.

본 절에서는 앞절에서 확보한 포스페이트 모노머 3종에 대하여 PCE를 구성하는 측쇄모노머와 산모노머와의 3성분계 혼합물 DOE (Design of Experiment)를 통해 최적 포뮬레이션을 확보하는 것을 목적으로 한다.



[그림 2-5] 포스페이트 도입 화학혼화제

(2) 포스페이트 도입 화학 혼화제 중합기술 개발

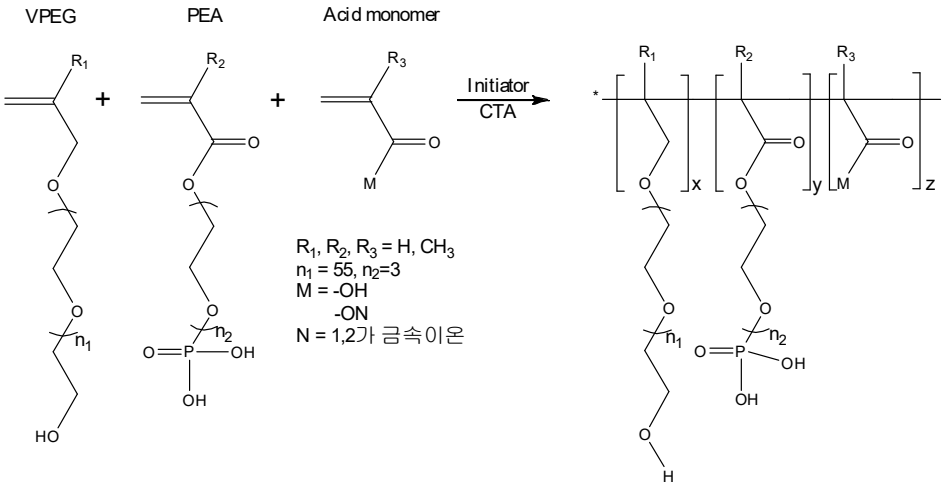
(가) 실험 및 평가 방법

최종 합성된 포스페이트 도입 모노머와 Ether-type 측쇄모노머인 VPEG를 적용한 PCE 화학 혼화제를 제조하고자 한다. [그림 2-6]에 화학 반응식을 나타냈으며, 이를 실행하기 위한 중합 시스템은 [그림 2-7]과 같다.

[그림 2-6]의 PCE 중합 반응은 라디칼 중합 (Radical Polymerization)으로서 이를 위해

서는 반응성을 갖는 라디칼을 형성시켜주는 라디칼 개시제 (Radical Initiator)와 반응 도중 라디칼을 이동시켜 분자량을 조절해주는 연쇄이동제 (CTA : Chain Transfer Agent)를 투입함으로써 진행된다. 공중합 반응의 구성은 [표 2-1]의 포스페이트 모노머인 #8~#10 각각을 VPEG와 산모노머와의 3성분계로 하였고 미니텝을 활용하여 포뮬레이션을 설정한 후 중합반응을 진행하였다.

제조된 화학혼화제의 유동성 평가는 베트남에서 판매중인 BASF社의 BASF-161을 기준으로 삼았다. 이 제품은 공동연구기관인 성신비나의 도움으로 확보할 수 있었다. BASF-161의 구성은 유지형 PCE와 초지연제로 구성되어 있는 것으로 추정되며, 베트남 현지에서 3시간 유지가 가능한 제품이다. 콘크리트 유동성 평가는 [표 2-2]의 콘크리트 배합표에 따라 KS F 2594에 의거하여 수행했다. 극서조건을 모사하기 위하여 [그림 2-8]과 같이 골재와 시멘트를 40℃로 세팅된 항온기에 24시간 보관하였고, 사용수 또한 40℃로 세팅하였다. 콘크리트 슬럼프 손실 실험 시, 온풍기를 설치하여 콘크리트 온도가 30℃ 이하로 떨어지는 문제를 방지하였다.



[그림 2-6] 포스페이트 도입화학혼화제의 화학반응식



[그림 2-7] PCE 중합반응 시스템

[표 2-2] 콘크리트 배합표 (25-24-150)

W/C	S/A	물 (kg/m³)	시멘트 (kg/m³)	F/A (kg/m³)	S1 (kg/m³)	S2 (kg/m³)	굵은골재 (kg/m³)	혼화제 (C×%)
45.3	50.2	176	298	53	542	305	1,092	0.9

※ 시멘트 : 베트남産 (성신비나 제공), F/A : 태안 화력, S1 : 세척사, S2 : 쇄사



a) 골재 및 시멘트 40℃ 유지



b) 사용수 온도 40℃ 유지



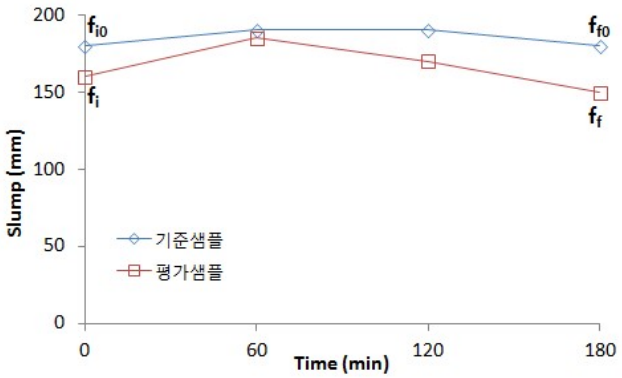
c) 실험실 30℃ 이상 유지



d) 콘크리트 온도 (35℃)

[그림 2-8] 극서환경 모사조건을 위한 실험실 세팅 (콘크리트온도 30℃ 이상)

유동성 평가에 있어서 [그림 2-9]와 같은 방법에 준하여 평가하여 개발제품에 대한 극서환경 모사조건에서 평가가 가능하도록 하였다.



(a) 콘크리트 유동성

$$\text{분산력 (\%)} = \frac{F_i}{F_{i0}} \times 100$$

$$\text{유지력 (\%)} = \frac{F_f / F_i}{F_{f0} / F_{i0}} \times 100$$

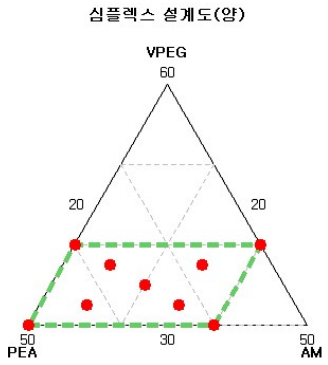
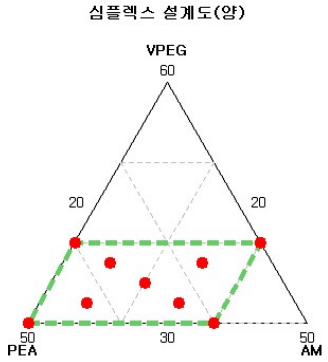
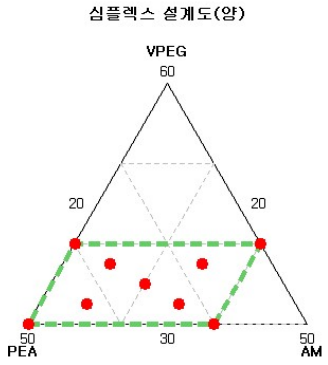
F_{i0} : 기준 시료 초기 Flow
F_{f0} : 기준 시료 나중 Flow
F_i : 평가 시료 초기 Flow
F_f : 평가 시료 나중 Flow

(b) 분산력 및 유지력 계산식

[그림 2-9] PCE의 콘크리트 유동성 평가법

(나) 포스페이트 모노머를 적용한 유동성 최적화 실험

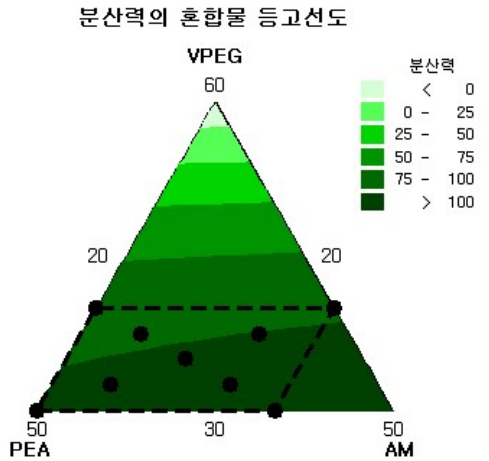
[표 2-3] 포스페이트 도입 초유지제의 유동성능 실험계획 (미니탭 혼합물설계)

포스페이트 도입 모노머	시료명	단량체 몰비 (%)			심플렉스 설계도 (3성분계)
		VPEG (측쇄 모노머)	PEA (포스페이트 도입 모노머)	AM (Acid Monomer)	
#8 (EO 4mol)	PFR-1	30	50	20	
	PFR-2	40	40	20	
	PFR-3	30	30	40	
	PFR-4	40	20	40	
	PFR-5	30	30	30	
	PFR-6	32.5	42.5	25	
	PFR-7	37.5	37.5	25	
	PFR-8	32.5	32.5	35	
	PFR-9	37.5	27.5	35	
#9 (EO 5mol)	PFR-10	30	50	20	
	PFR-11	40	40	20	
	PFR-12	30	30	40	
	PFR-13	40	20	40	
	PFR-14	30	30	30	
	PFR-15	32.5	42.5	25	
	PFR-16	37.5	37.5	25	
	PFR-17	32.5	32.5	35	
	PFR-18	37.5	27.5	35	
#10 (EO 6mol)	PFR-19	30	50	20	
	PFR-20	40	40	20	
	PFR-21	30	30	40	
	PFR-22	40	20	40	
	PFR-23	30	30	30	
	PFR-24	32.5	42.5	25	
	PFR-25	37.5	37.5	25	
	PFR-26	32.5	32.5	35	
	PFR-27	37.5	27.5	35	

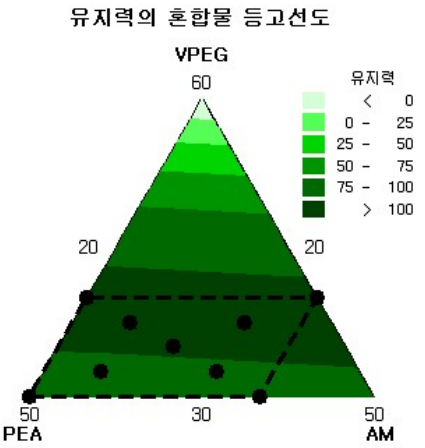
[표 2-3]의 포뮬레이션에 따라 중합을 시도하여 27종의 PCE 시료를 확보한 후 [표 2-2]의 콘크리트 배합표에 따라 KS F 2594에 의거하여 콘크리트 유동성을 평가했다. [표 2-4]에 그 결과를 나타냈다. 또한 이 결과를 미니탭 분석에 의한 회귀기법을 이용하여 분산력 및 유지력에 대한 등고선도를 도출하여 [그림 2-11]에 나타냈다.

[표 2-4] 미니탭 혼합물설계점의 콘크리트 유동성능

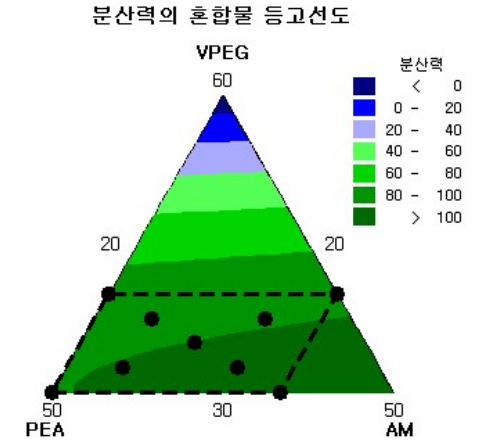
포스페이트 모노머	시료명	단량체 몰비 (%)			유동성능 (%, BASF-161 기준)	
		VPEG (측쇄 모노머)	PEA (포스페이트 도입 모노머)	AM (Acid Monomer)	분산력	유지력 (3시간)
#8	PFR-1	30	50	20	102	83
	PFR-2	40	40	20	88	103
	PFR-3	30	30	40	111	88
	PFR-4	40	20	40	95	104
	PFR-5	30	30	30	102	100
	PFR-6	32.5	42.5	25	102	92
	PFR-7	37.5	37.5	25	100	110
	PFR-8	32.5	32.5	35	104	98
	PFR-9	37.5	27.5	35	102	103
#9	PFR-10	30	50	20	100	81
	PFR-11	40	40	20	87	102
	PFR-12	30	30	40	107	87
	PFR-13	40	20	40	93	102
	PFR-14	30	30	30	99	99
	PFR-15	32.5	42.5	25	100	90
	PFR-16	37.5	37.5	25	97	107
	PFR-17	32.5	32.5	35	101	98
	PFR-18	37.5	27.5	35	101	101
#10	PFR-19	30	50	20	95	81
	PFR-20	40	40	20	83	99
	PFR-21	30	30	40	100	86
	PFR-22	40	20	40	89	97
	PFR-23	30	30	30	96	95
	PFR-24	32.5	42.5	25	97	90
	PFR-25	37.5	37.5	25	94	103
	PFR-26	32.5	32.5	35	95	93
	PFR-27	37.5	27.5	35	97	95
BASF-161		-	-	-	100.0	100.0



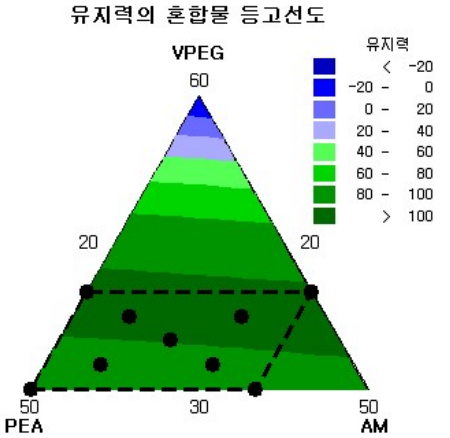
(a) 분산력의 등고선도 (PFR-1~PFR-9)



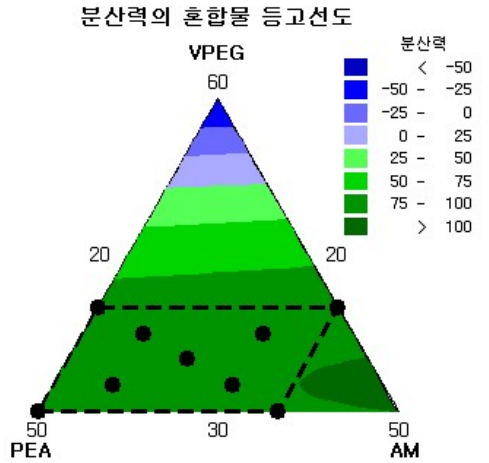
(b) 유지력의 등고선도 (PFR-1~PFR-9)



(a) 분산력의 등고선도 (PFR-10~PFR-18)



(b) 유지력의 등고선도 (PFR-10~PFR-18)



(a) 분산력의 등고선도 (PFR-19~PFR-27)



(b) 유지력의 등고선도 (PFR-19~PFR-27)

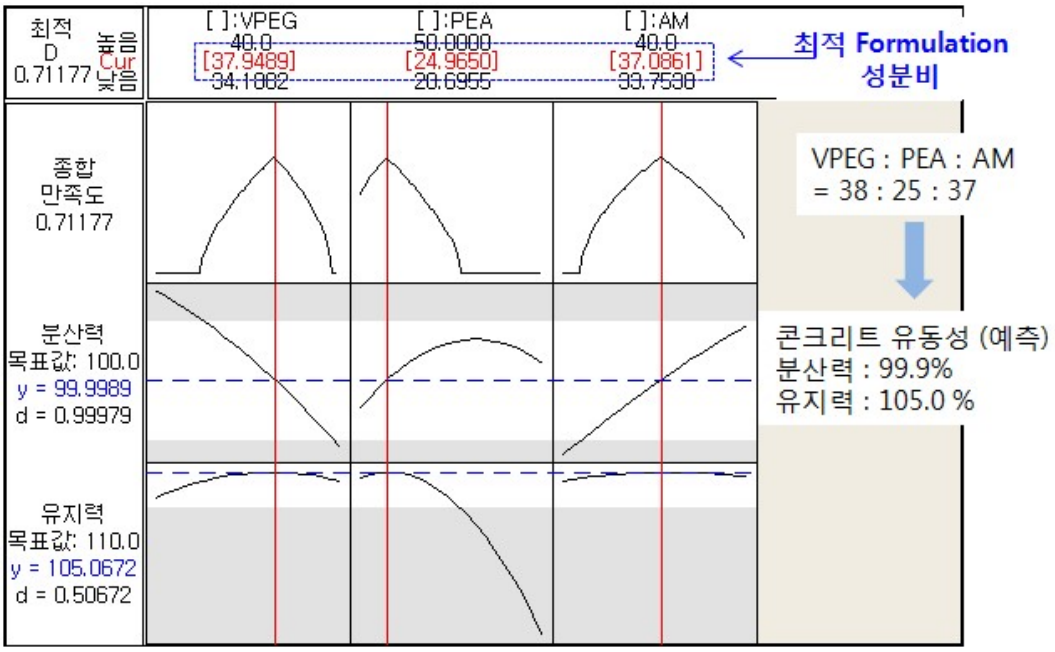
[그림 2-10] 미니탭 회귀분석을 통한 분산력 및 유지력 등고선도 (PFR-1~PFR-9)

[표 2-4]와 [그림 2-10]에서 볼 수 있듯이, PEA #8에서 #10으로 갈수록 전체적인 분산력과 유지력이 저하됨을 볼 수 있다. 즉 PEA의 분자구조에서 EO 몰수가 커짐에 따라 분산력과 유지력 값이 떨어진 것이다. 이는 PEA 분자구조가 EO로 인해 길어짐에 따라 PCE의 주쇄에 붙어있는 산모노머가 시멘트에 흡착할 때 방해요소로 작용하는 것으로 추정한다. 결국 #8이 포스페이트 도입 모노머 중 가장 효과적이었다.

포스페이트 도입 화학혼화제의 최적 포뮬레이션을 찾기 위한 DOE결과는 [그림 2-10]의 등고선도를 보듯이, 분산력에 있어서 VPEG 성분에 영향을 가장 많이 받았으며 설계 영역인 30~40% 성분량에서 BASF-161 대비 분산력 100% 달성이 가능해 보이며, 단지 PEA 성분에 반

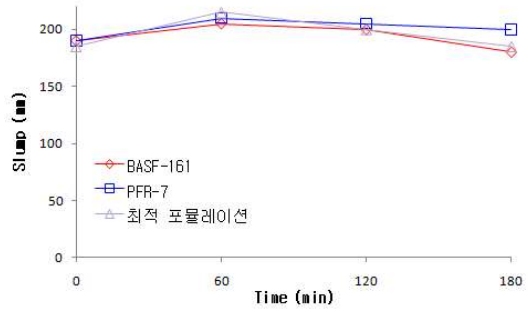
비례하는 경향이 다소 보였다. 이 경향은 PEA인 #8~10 모두 해당한다. 유지력에 있어서는 VPEG 성분의 영향이 컸으며 설계 영역 내에 110% 수준 (PFR-7)이 존재하였다. 또한 VPEG, PEA와 AM 성분에 대해서는 설계 영역 내에서 최적점이 존재할 것으로 판단된다.

결과적으로 #8을 PEA로 사용한 PFR-1~PFR9 내에서 미니탭 최적화기법을 이용하여 분산력 및 유지력이 최적화된 포뮬레이션을 얻고자 하였고 그 결과는 [그림 2-11]과 같다.

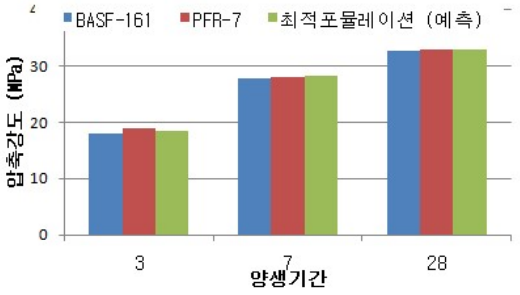


[그림 2-11] 미니탭 최적화기법에 의한 최적 포뮬레이션 도출

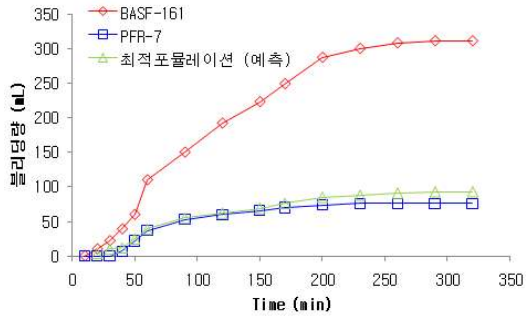
미니탭에 의해 도출된 최적 포뮬레이션의 단량체 성분비 (백분율로 환산)는 각각 VPEG 38%, PEA 25% 및 AM 37%이었으며 예측된 콘크리트 유동성은 분산력 99.9%, 유지력 105%였다. 하지만 포뮬레이션 PFR-7의 분산력과 유지력이 각각 100%와 110%을 달성한 바, 최적 포뮬레이션의 단량체 성분비로 중합하여 PFR-7과 목표항목에 대한 평가를 진행하여 최적 포뮬레이션을 도출하고자하였고, 그 결과는 [그림 2-12]와 같다.



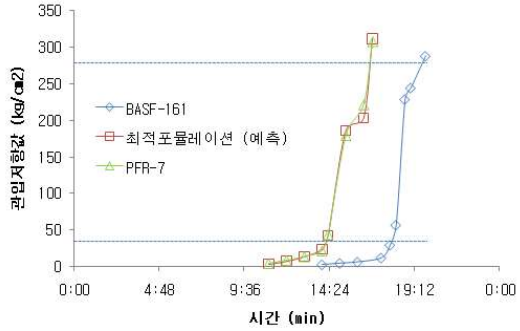
유동성 결과



압축강도



블리딩



응결특성

[그림 2-12] PFR-7과 미니텝 예측 최적 포뮬레이션 목표항목에 대한 성능 평가

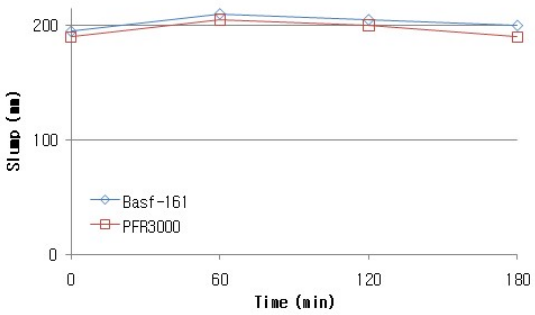
[그림 2-12]에서 보듯이, 미니텝이 예측한 최적 포뮬레이션보다 PFR-7의 유지성능이 우수하였고 압축강도는 동등 수준이었다. 블리딩 측면 또한 PFR-7이 다소 우수했으며 응결시간은 동등수준이었다. 따라서 유지성능과 블리딩 성능이 우수한 **PFR-7**을 최종 포뮬레이션으로 판단하였고 PFR3000으로 명명하기로 하였다.

(다) PFR3000의 콘크리트 성능 검증

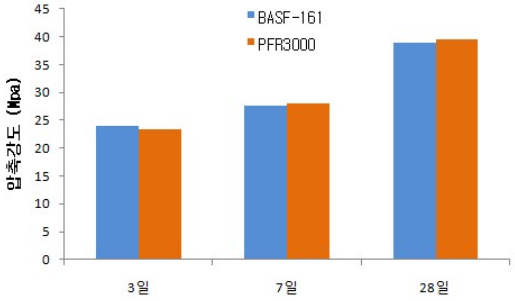
3성분계 혼합물설계 DOE법으로 도출된 최적 포뮬레이션에 따라 재중합하여 PFR3000 시료를 확보한 후 [표 2-5]와 같이 물성을 확인하고 [표 2-2]의 콘크리트 배합표에 따라 KS F 2594에 의거하여 콘크리트 유동성과 KS F 2403 및 2405에 의거하여 압축강도 그리고 KS F 2414에 의거하여 블리딩을 측정하고 KS L 5108에 따라 응결특성을 평가했다. 압축강도용 시료 제작 시 공기량 (KS F 2421)은 BASF-161은 4.4%이고 PFR3000은 3.9%였다. [그림 2-13]에 콘크리트 성능 결과를 나타냈다. 또한 콘크리트의 제조와 시간 별 슬럼프손실 측정은 30℃ 이상에서 진행하였다.

[표 2-5] PFR3000의 중합물성

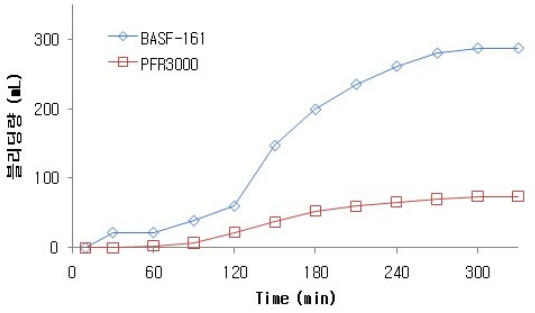
시료명	분자량 (MW)	전환율 (%)	고형분 (%)	점도 (cP)	pH
PFR3000 (PFR-7)	82,000	87.0	50.0	647	6.1



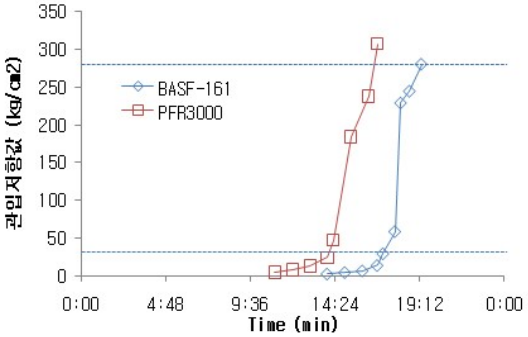
(a) 콘크리트 유동성능



(b) 재령별 압축강도



c) 블리딩



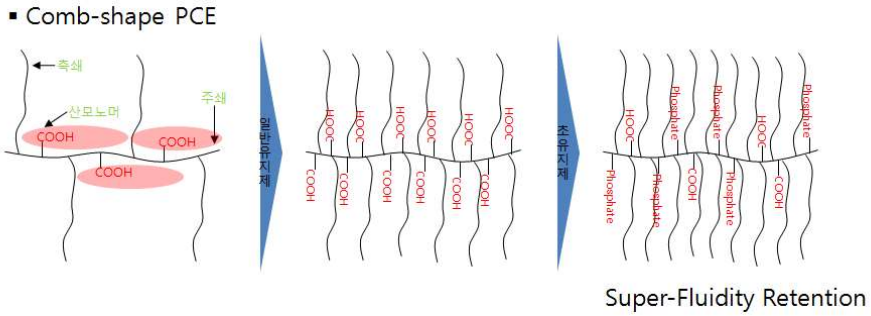
d) 응결 특성

[그림 2-13] PFR3000의 콘크리트 성능

[그림 2-13]에서 보듯이, PFR3000은 유동성 측면에서 분산력 100%, 유지력 110% 으로 앞절과 유동성 결과가 일치하였다. 압축강도 측면에서는 PFR3000이 1일강도가 더 높게 발현되었고 3, 7, 28일은 거의 동등한 수준이었다. 또한 블리딩 특성은 BASF-161 (287mL) 대비 74mL로써 73% 블리딩 억제능력을 보였으며, 응결특성 은 BASF-161 대비 초결 170분 단축, 종결 150분 단축시켰다. 이로써 극서환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학혼화제인 PFR3000 제조기술을 확보하였다.

(3) 소결

(가) 포스페이트 도입 화학혼화제 제조기술의 핵심컨셉은 포스페이트 모노머를 혼화제와 일체화시킴으로써 경쟁흡착을 막고 콘크리트 안에서 서서히 가수분해되어 포스페이트가 시멘트의 응결을 지연시킴으로써 초유지 성능을 발휘하는 것이다.



[그림 2-5] 포스페이트 도입 화학혼화제

(나) 포스페이트 도입 화학혼화제 제조기술을 개발하기 위해 극서환경을 모사할 필요가 있었고, 아래의 [그림 2-8]과 같은 설비를 활용하여 콘크리트와 실험환경을 30℃ 이상으로 유지할 수 있었다. 또한 기준 제품인 BASF-161이 국내 시멘트에서 성능발현이 미흡하여 베트남産 시멘트를 성신비나로부터 확보하여 가능한 한 베트남 조건에 맞추어 실험하였다.



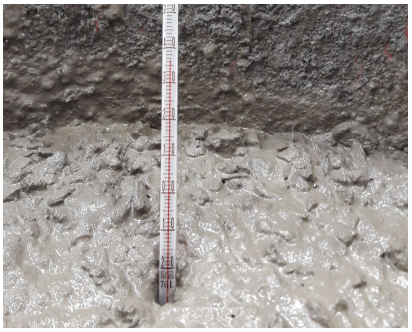
a) 골재 및 시멘트 40℃ 유지



b) 사용수 온도 40℃ 유지



c) 실험실 30℃ 이상 유지



d) 콘크리트 온도 (35℃)

[그림 2-8] 극서환경 모사조건 확립

(다) 포스페이트 모노머를 선정하기 위하여 10종의 포스페이트 도입 모노머 분자구조를 H社P에 의뢰하였고 최종적으로 3종 (#8~10)의 포스페이트 도입 모노머를 선정하였다. 선정된 3종의 포스페이트 도입 모노머 (PEA)와 VPEG, AM을 3성분계로 하는 미니탭의 혼합물설계

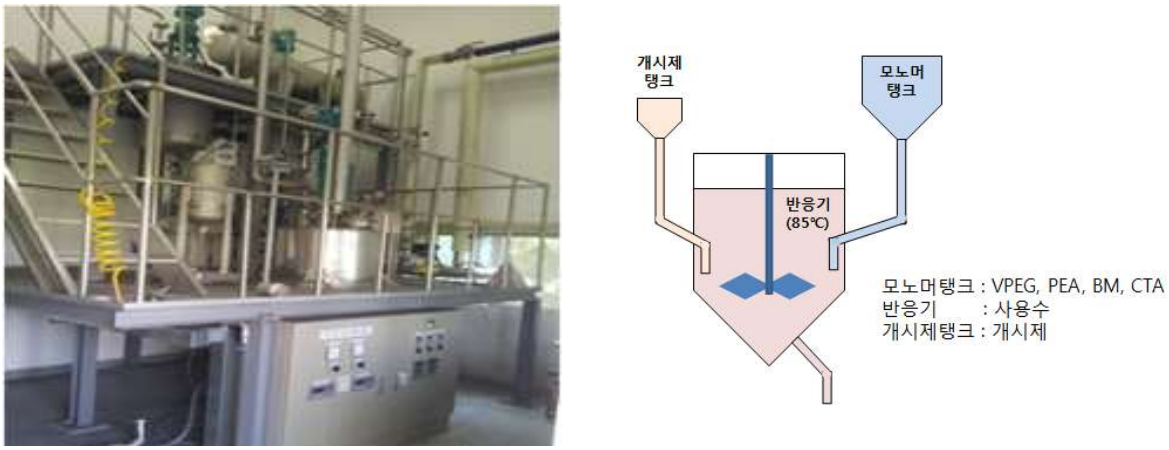
법을 활용하여 최적 포뮬레이션을 도출하였다.

(라) 결과적으로 포스페이트 모노머 #8이 가장 좋은 성능을 발휘하여고 최종 포스페이트 모노머는 #8로 선정하였다. 이렇게 중합된 최적 시료는 PFR-7이었고, BASF-161 대비 분산력 100%, 유지력 110% 수준의 유동성을 발휘, 압축강도는 1일강도가 26% 향상되고 3, 7, 그리고 28일 강도에서 동등한 성능을 확보하였다. 또한 블리딩 특성은 BASF-161 (287mL) 대비 74mL로써 73% 블리딩 억제능력을 보였으며, 응결특성 은 BASF-161 대비 초결 170분 단축, 종결 150분 단축시켰다. 이로써 극서환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학혼화제인 PFR3000 제조기술을 확보하였다. 이 최적 포뮬레이션은 PFR3000으로 명명하였다.

다. 포스페이트 도입 화학혼화제 양산성 검증 (200kg 규모 Pilot)

(1) 개요

본 연구의 PFR3000은 사업화를 전제로 개발된 제품이므로 양산성 검증은 필수 항목이다. 앞서 기술한 바와 같이, 본 연구의 PFR3000 개발에 있어 실험실 규모에서 계획된 모든 단계는 완료되었다. 따라서 본 절에서는 당사가 보유한 실험실 규모의 100배 수준의 규모인 200kg의 Pilot 규모에서 PFR3000 중합반응의 양산성을 확인하고자 한다. 당사 Pilot 설비와 PFR3000의 중합모식도는 [그림 2-14]을 따랐다.

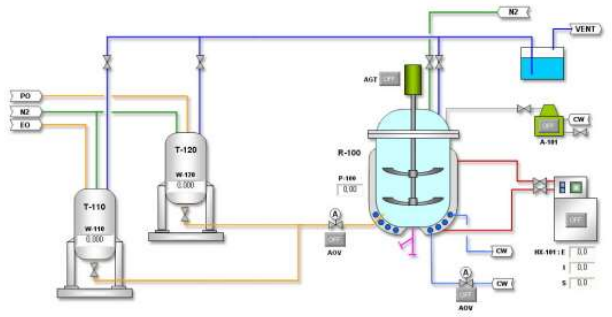


[그림 2-14] Pilot설비 (200kg) 및 PFR3000 제조 공정

PEA의 경우, H社로부터 아웃소싱을 협의하여 핵심원재료의 수급문제를 해결하였다. 또한 H社가 보유중인 150kg EO중합Pilot 설비로 시험 양산한 Pilot품과 Lab샘플의 NMR (Nuclear Magnetic Resonance) 비교분석을 통해 양산 안정성을 가늠하고자 한다. PEA가 분자량 300g/mol의 단분자 물질이기 때문에 NMR 분석만으로 안정성 검증은 가능하리라 판단된다.

(2) PEA (Phosphonooxy Ethyl Acrylate)의 양산성 검증

이전 절에서도 언급했듯이, 아크릴산과 다른 관능기의 합성은 아크릴산이 반응성이 매우 높고 열에 불안정하기 때문에 사실상 불가능하였다. 본 기술개발은 실험실 규모에서 이러한 문제를 해결하기 위해 저온 환경에서 아크릴산에 4mol EO를 부가하여 반응성과 열 안정성을 제어한 후 관능기인 포스페이트를 도입하였다. 이러한 PEA의 합성을 150kg 규모의 Pilot을 통해 양산안정성을 검증하는 것이 본 절의 목적이다. 양산안정성은 [그림 2-15]와 같은 Pilot설계를 통해 진행하였다. H社의 Pilot설비 정보는 보안이 필요한 관계로 기입하지 않았다.

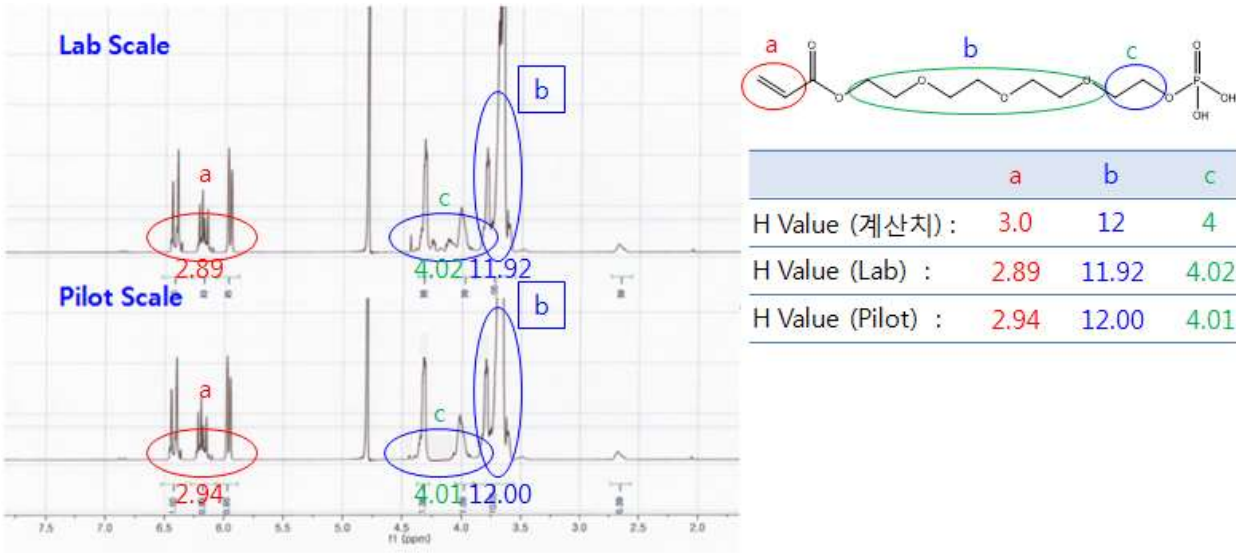


[그림 2-15] EO/PO Pilot설비 모식도

[그림 2-16]과 같이 실험실 수준의 PEA 샘플과 Pilot수준의 PEA 샘플을 NMR (Nuclear Magnetic Resonance)분석을 진행하였다. 이 분석을 통해 첫째 아크릴산의 불포화기가 깨지지 않았는지, 둘째 EO (Ethylene Oxide) 4mol이 정량적으로 도입되었는지, 포스페이트 기가 정량적으로 도입되었는지를 확인할 수 있다.

먼저 불포화기가 안정적으로 보존되었는지는 [그림 2-17]의 계산식을 통해 알 수 있다. Lab시료의 겨우, 불포화기 = $(a/c)/(a_{계산치}/c_{계산치})$ × 100 = 96.3%이므로 합성 후 96.3%의 불포화기가 안정적으로 보존되어있다고 할 수 있다. Pilot시료의 경우도 98%로 불포화기가 안정적으로 보존되었다.

둘째, EO (Ethylene Oxide) 4mol이 정량적으로 도입되었는지는 b와 c의 합이 12가 되는지를 확인한다. 구조적으로 EO 하나 당 H Value는 4이다. 그러므로 4mol의 EO가 정량적으로 도입되었다면 H Value는 16로 계측되어야 한다. 결과적으로 Lab과 Pilot샘플 모두 정량적으로 3mol의 EO가 도입되었음을 알 수 있다.



	a	b	c
H Value (계산치) :	3.0	12	4
H Value (Lab) :	2.89	11.92	4.02
H Value (Pilot) :	2.94	12.00	4.01

[그림 2-16] PEA Pilot품의 양산성 검증을 위한 NMR분석결과

셋째, 포스페이트 기가 정량적으로 도입되었는지는 b의 수치로 알 수 있다. b의 신호가 나타나는 이유는 포스페이트 기의 강한 전자결핍 상태로 인해 주위의 전자를 끌어들이려 하는 성질이 있다. 때문에 인접한 수소를 Red shift (신호가 좌측으로 이동하는 현상)시킨다. 원래 c의 위치에 있어야 할 신호가 b 위치에 나타나게 되는 것이다. 결국 Lab과 Pilot샘플 모두 정량적으로 포스페이트 기가 도입되었음을 알 수 있다.

결론적으로 Lab과 Pilot PEA 샘플은 거의 동등한 물성을 갖는 것으로 판단되며 양산안정성을 확인하였다.

(3) PFR3000 (포스페이트 도입 화학 혼화제)의 양산성 검증

PFR3000은 포스페이트 도입 화학 혼화제의 핵심 단량체인 PEA를 적용하여 중합함으로써 극서환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 제품이다. 실험실 규모에서 확보된 반응 조건인 [표 2-6]을 적용하여 200kg Pilot 규모로 양산성을 확인하는 것이 본 절의 목적이다.

[표 2-6] PEA 적용 PFR3000 중합 조건

단량체 성분비 (mol%)			반응온도	반응시간	Initiator	CTA
VPEG	PEA	BM				
34.3	39.2	26.5	85℃	10시간	0.35wt%	0.42wt%

본 중합 공정의 양산 안정성 검증을 위해 Pilot 중합을 6회 실시하였다. 1회는 Pilot설비의 이상유무 확인과 반응조건을 확립하기 위함이다. PFR3000은 기본적으로 콘크리트 유동성을 발현시키는 화학 혼화제이므로, 중합된 Pilot 시료의 유효성은 실험실 규모로 중합된 시료와의 중합물성과 콘크리트 유동성 차이를 비교하는 것이 적합하다. 콘크리트 유동성 차이 비교 실험은 실험실 규모에서 적용했던 콘크리트 배합표인 [표 2-2]을 따랐다. 총 5회 Pilot실험에 대한 중합물성 결과를 [표 2-7]에 기술하였다.

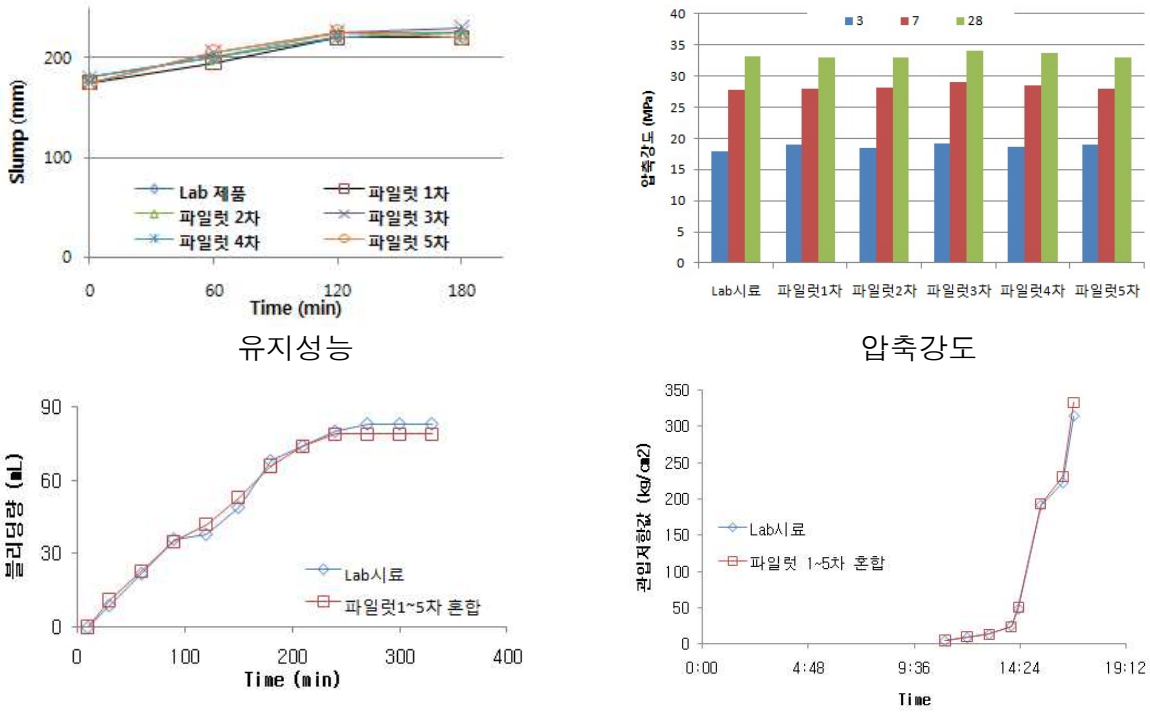
[표 2-7] PFR3000 Pilot시료의 중합물성 평가

실험횟수	분자량 (MW)	전환율 (%)	고형분 (%)	점도 (cP)	pH
Lab 샘플	82,000	87.0	50.0	647	6.1
파일럿1차	83,007	88.2	49.9	642	6.2
파일럿2차	81,896	87.5	49.7	640	6.1
파일럿3차	82,055	86.9	50.2	657	6.0
파일럿4차	82,700	87.3	50.0	655	6.3
파일럿5차	82,439	87.8	50.1	653	6.2

중합물성은 5가지 항목으로 구분하였다. 분자량, 전환율, 고형분, 그리고 점도와 pH 이다. 여기서 분자량과 전환율은 기술적 접근을 위한 항목이고 나머지 3개 항목은 당사의 제품 스펙을 구성하는 항목이다. 결과적으로 5회에 걸쳐 진행한 Pilot실험은 실험실 규모로 합성한 샘플과 거의 동등한 중합물성을 갖음을 확인하였다. 또한 PFR3000 Pilot시료와 Lab 시료의 유동성평가 결과는 [표 2-8]에 요약했으며, 이를 [그림 2-17]에 그래프로 나타내었다.

[표 2-8] PFR3000 Pilot 시료의 콘크리트 유동성 평가 결과

시료 구분		Slump/Flow (mm)				유동성능 (기준 : Lab)	
		초기	60분	120분	180분	분산력	유지력
Lab		180	200	220	225	100%	100%
Pilot	1차	175	195	220	220	103%	98%
	2차	180	200	225	225	98%	100%
	3차	175	205	225	220	100%	100%
	4차	180	200	220	225	97%	103%
	5차	175	205	225	220	100%	100%
	평균	177	201	223	224	100%	100%
	표준편차	2.7%	4.2%	2.7%	2.7%	2%	2%



유지성능 압축강도

블리딩 응결특성

[그림 2-17] PFR3000 Pilot 시료의 콘크리트 성능

[표 2-8] 및 [그림 2-17]에서 알 수 있듯이, 6회에 걸친 Pilot 시험 결과 200kg 규모의 PFR3000의 중합 반응 역시 실험실과 동일한 조건에서 콘크리트 유동성능이 재현되었다. 즉, 5개 시료에 대한 유동성능의 평균은 실험실 시료 대비 분산력 100% 및 유지력 100% 수준으로 나타났으며, 표준편차는 분산력과 유지력 모두 2% 수준으로 나타나 실험실 시료와 거의 동일한 결과를 보여주었다. 또한 파일럿 1차에서 5차까지 혼합한 파일럿시료 (평균)에 대해서 블리딩 특성도 Lab시료와 거의 동등했으며 응결특성도 동등 성능을 확인하였다. 결과적으로 PEA를 적용하여 PFR3000을 중합하는 공정 역시 양산성이 있는 것으로 나타났다.

(4) 소결

(가) PEA (Phosphonooxy Ethyl Acrylate)의 양산성 검증은 H社가 보유한 150kg Pilot설비로 진행하였고, NMR분석을 통해 Lab시료와 Pilot시료를 검증하였다. 검증 결과는 아래의 표와 같이 Pilot품의 양산안정성이 있음을 알 수 있다.

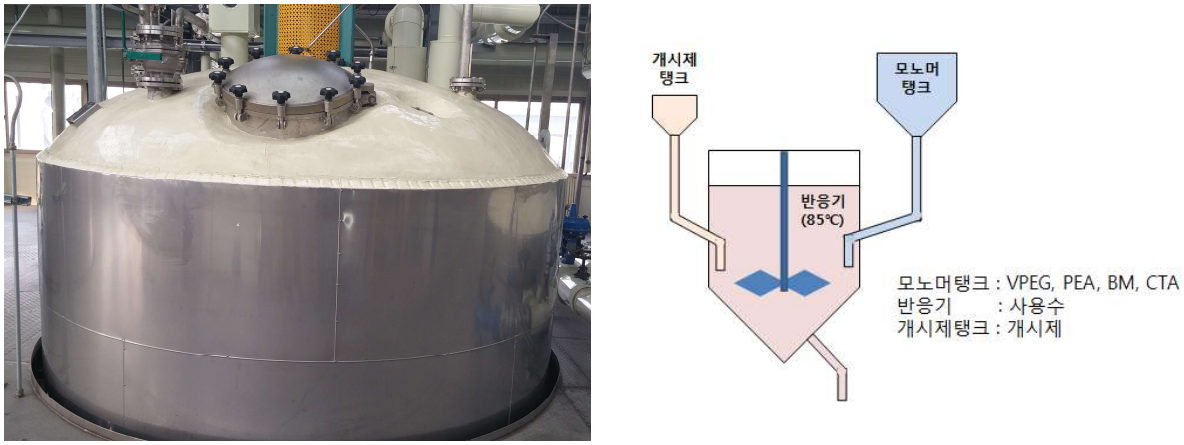
검증 항목	NMR 분석결과	양산안정성
불포화기 잔존량 (%)	Lab시료 : 96.3% Pilot시료 : 98.0%	OK
EO 부가량 (mol)	Lab시료 : 4mol 부가 Pilot시료 : 4mol 부가	OK
포스페이트 도입량	Lab시료 : 정량적으로 도입됨 Pilot시료 : 정량적으로 도입됨	OK
종합 결론		**OK**

(나) PFR3000의 양산성 검증은 200kg 규모로 6회 실시하였고, Lab시료와 Pilot시료의 중합물성 비교와 콘크리트 유동성 비교를 통해 진행하였다. 중합물성은 [표 2-8]에서 보듯이 Lab시료와 Pilot시료가 거의 유사하여 양산안정성이 있음을 알 수 있다. 콘크리트 유동성 평가 또한 [표 2-8]에서 보듯이 Lab시료와 Pilot시료의 분산력과 유지력이 각각 100%로 동일했고, 표준편차는 분산력과 유지력 모두 2% 수준이었다. 또한 파일럿 1차에서 5차까지 혼합한 파일럿시료 (평균)에 대해서 블리딩 특성도 Lab시료와 거의 동등했으며 응결특성도 동등 성능을 확인하였다. 결과적으로 PEA를 적용하여 PFR3000을 중합하는 공정 역시 양산성이 있는 것으로 나타났다.

라. 포스페이트 도입 화학 혼화제 (PFR3000) 양산성 검증 (30톤 규모 생산설비)

(1) 개요

본 연구의 PFR3000은 사업화를 전제로 개발된 제품이므로 양산성 검증은 필수 항목이다. 앞서 기술한 바와 같이, 본 연구의 PFR3000 개발에 있어 실험실 규모와 Pilot 규모(200kg)에서 계획된 모든 단계는 완료되었다. 따라서 본 절에서는 당사가 보유한 Pilot 규모의 150배 규모인 30톤 생산 규모에서 PFR3000 중합반응의 양산성을 확인하고자 한다. 당사 생산 설비와 PFR3000의 중합모식도는 [그림 2-18]을 따랐다.

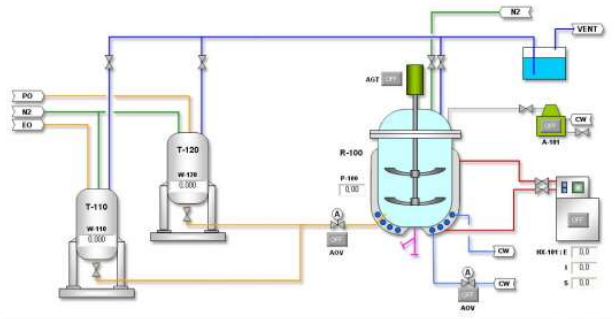


[그림 2-18] 양산설비 (30톤) 및 PFR3000 제조 공정

PEA의 경우, H社로부터 아웃소싱을 협의하여 핵심원재료의 수급문제를 해결하였다. 또한 H社가 보유중인 2톤 EO중합설비로 시험 양산한 양산품과 Pilot 샘플의 NMR (Nuclear Magnetic Resonance) 비교분석을 통해 양산 안정성을 가늠하고자 한다. PEA가 분자량 300g/mol의 단분자 물질임으로 NMR 분석만으로 안정성 검증은 가능하다.

(2) PEA (Phosphonooxy Ethyl Acrylate)의 양산성 검증

본 절에서는 150kg 규모의 Pilot에서 13배 수준의 2톤 규모의 양산설비에서의 안정성을 평가하고자 한다. 양산안정성은 [그림 2-19]와 같은 양산설계를 통해 진행하였다. H社의 양산설비 정보는 보안이 필요한 관계로 기입하지 않았다.

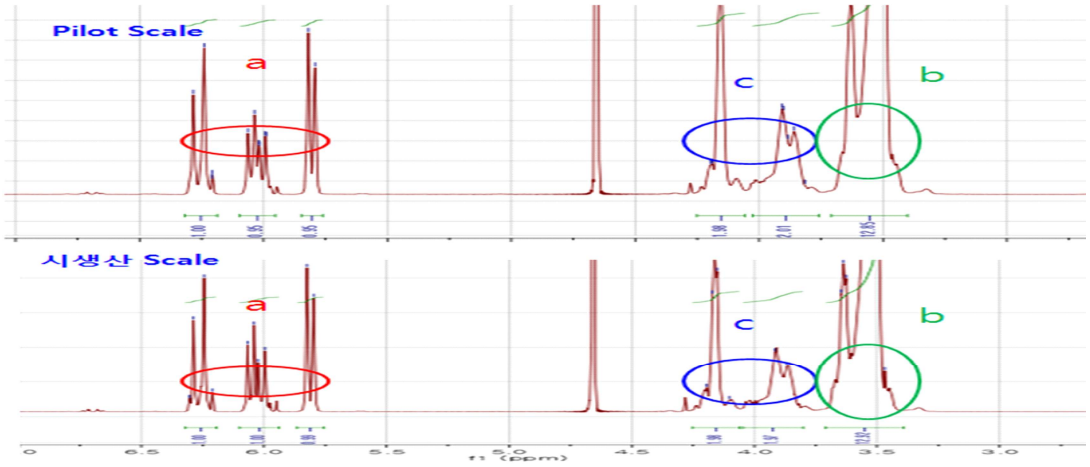


[그림 2-19] EO/PO Pilot설비 모식도

[그림 2-20]과 같이 Pilot수준의 PEA 샘플과 양산수준의 PEA 샘플의 NMR (Nuclear Magnetic Resonance)분석을 진행하였다. 이 분석을 통해 첫째 아크릴산의 불포화기가 깨지지 않았는지, 둘째 EO (Ethylene Oxide) 4mol이 정량적으로 도입되었는지, 포스페이트 기가 정량적으로 도입되었는지를 확인할 수 있다.

먼저 불포화기가 안정적으로 보존되었는지는 [그림 2-20]의 계산식을 통해 알 수 있다. Pilot 시료의 경우, 불포화기 = (a/c)/($a_{계산치}$/$c_{계산치}$) × 100 = 96.9%이므로 합성 후 96.9%의 불포화기가 안정적으로 보존되어있다고 할 수 있다. 양산시료의 경우는 거의 100%로 불포화기가 안정적으로 보존되었다.

둘째, EO (Ethylene Oxide) 4mol이 정량적으로 도입되었는지는 b와 c의 합이 16가 되는지를 확인한다. 구조적으로 EO 하나 당 H Value는 4이다. 그러므로 4mol의 EO가 정량적으로 도입되었다면 H Value는 16로 계측되어야 한다. 결과적으로 Pilot과 양산샘플 모두 정량적으로 4mol의 EO가 도입되었음을 알 수 있다.



[그림 2-20] PEA Pilot품의 양산성 검증을 위한 NMR분석결과

셋째, 포스페이트 기가 정량적으로 도입되었는지는 c의 수치로 알 수 있다. c의 신호가 나타나는 이유는 포스페이트 기의 강한 전자결핍 상태로 인해 주위의 전자를 끌어들이려 하는 성질이 있다. 때문에 인접한 수소를 Red shift (신호가 좌측으로 이동하는 현상)시킨다. 원래 b의 위치에 있어야 할 신호가 c 위치에 나타나게 되는 것이다. 결국 Pilot과 양산샘플 모두 정량적으로 포스페이트 기가 도입되었음을 알 수 있다.

결론적으로 Pilot과 양산 PEA 샘플은 거의 동등한 물성을 갖는 것으로 판단되며 양산 안정성을 확인하였다.

(3) PFR3000 (포스페이트 도입 화학 혼화제)의 양산성 검증

PFR3000은 포스페이트 도입 화학 혼화제의 핵심 단량체인 PEA를 적용하여 중합함으로써 극서환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 제품이다. 실험실과 Pilot 규모에서 확보된 반응 조건인 [표 2-9]을 적용하여 30톤 시생산 규모로 양산성을 확인하는 것이 본 절의 목적이다.

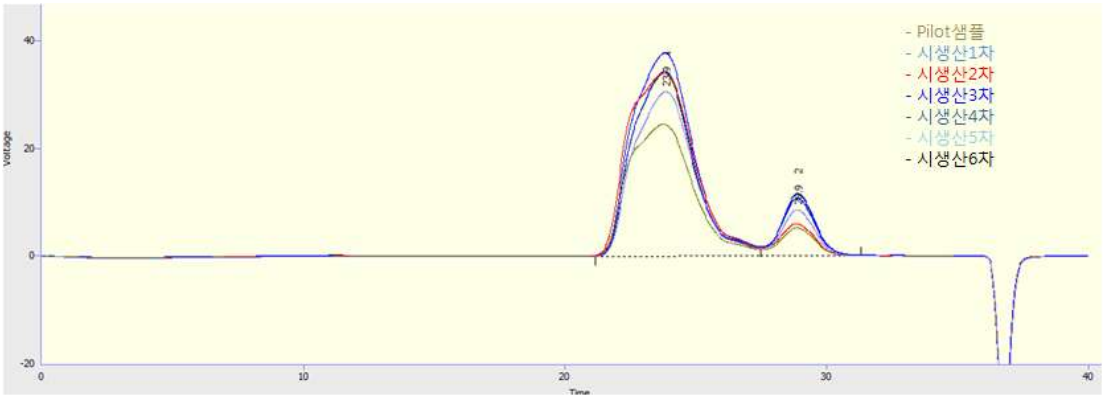
[표 2-9] PEA 적용 PFR3000 중합 조건

단량체 성분비 (mol%)			반응온도	반응시간	Initiator	CTA
VPEG	PEA	BM				
34.3	39.2	26.5	85℃	10시간	0.35wt%	0.42wt%

본 중합 공정의 양산 안정성 검증을 위해 시생산 중합을 6회 실시하였다. PFR3000은 기본적으로 콘크리트 유동성을 발현시키는 화학 혼화제이므로, 중합된 시생산 시료의 유효성은 Pilot 규모로 중합된 시료와의 중합물성과 콘크리트 유동성 차이를 비교하는 것이 적합하다. 콘크리트 유동성 차이 비교 실험은 Pilot 규모에서 적용했던 콘크리트 배합표인 [표 2-10]을 따랐다. 총 6회 시생산 실험에 대한 중합물성 결과를 [그림 2-21]의 GPC 결과와 [표 2-11]에 기술하였다.

[표 2-10] 콘크리트 배합표 (25-24-150)

W/C	S/A	물 (kg/m³)	시멘트 (kg/m³)	F/A (kg/m³)	S1 (kg/m³)	S2 (kg/m³)	굵은골재 (kg/m³)	혼화제 (C×%)
45.3	50.2	176	298	53	542	305	1,092	0.9



[그림 2-21] 시생산 실험에 대한 GPC 결과

[표 2-11] PFR3000 Pilot시료의 중합물성 평가

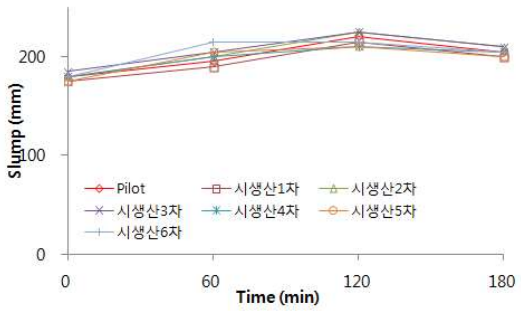
실험횟수	분자량 (MW)	전환율 (%)	고형분 (%)	점도 (cP)	pH
Pilot 샘플	57,000	86.6	50.0	645	6.1
시생산1차	55,900	87.0	49.9	638	5.8
시생산2차	56,400	87.5	49.9	639	6.1
시생산3차	57,055	86.9	50.1	654	6.0
시생산4차	57,100	87.6	50.0	659	6.0
시생산5차	56,800	87.1	50.2	640	5.8
시생산6차	56,300	87.4	50.0	632	5.9
평균	56,593	87.0	50.0	644	6.0
표준편차	472.6	0.3	0.1	10.4	0.1

※ 분자량 (MW)의 경우, GPC 컬럼의 환경에 따라 차이발생 (1차년도 Pilot품 분자량 82,000)

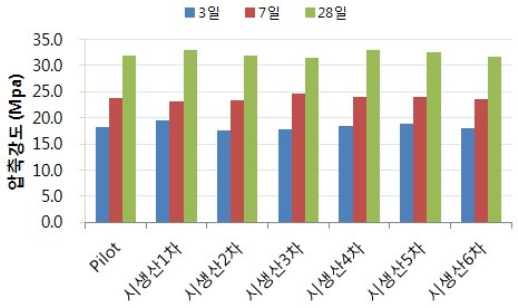
중합물성은 5가지 항목으로 구분하였다. 분자량, 전환율, 고형분, 그리고 점도와 pH 이다. 여기서 분자량과 전환율은 기술적 접근을 위한 항목이고 나머지 3개 항목은 당사의 제품 스펙을 구성하는 항목이다. 결과적으로 6회에 걸쳐 진행한 시생산 실험은 Pilot 규모로 합성한 샘플과 중합물성이 동등함을 확인하였다. 또한 PFR3000 Pilot시료와 시생산시료의 유동성평가 결과는 [표 2-12]에 요약했으며, 이를 [그림 2-22]에 그래프로 나타내었다.

[표 2-12] PFR3000 시생산 시료의 콘크리트 유동성 평가 결과

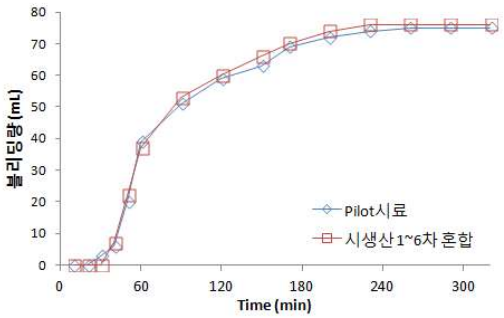
시료 구분		Slump/Flow (㎜)				유동성능(기준:Pilot)	
		초기	60분	120분	180분	분산력	유지력
Pilot		180	195	220	205	100	100
시생산	1차	175	190	215	200	97	100
	2차	180	200	225	210	100	102
	3차	185	205	225	210	103	100
	4차	180	200	210	205	100	100
	5차	175	205	210	200	97	100
	6차	180	215	215	205	100	100
	평균	179	203	217	205	100	100
	표준편차	3.8	8.2	6.8	4.5	2.1	1.0



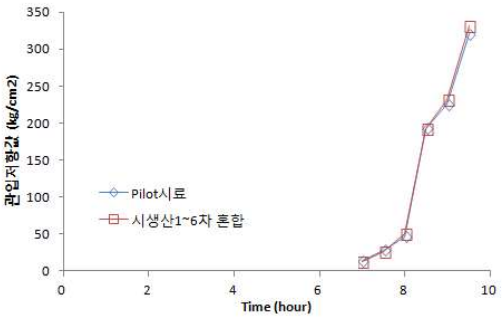
유지성능



압축강도



블리딩



응결특성

[그림 2-22] PFR3000 Pilot 시료의 콘크리트 성능

[표 2-12] 및 [그림 2-22]에서 알 수 있듯이, 6회에 걸친 시생산 시험 결과 30톤 규모의 PFR3000의 중합 반응 역시 Pilot과 동일한 조건에서 콘크리트 유동성능이 재현되었다. 즉, 6개 시료에 대한 유동성능 평균은 Pilot 시료 대비 분산력 100% 및 유지력 100% 수준으로 나타났으며, 표준편차는 분산력과 유지력 각각 2%, 1% 수준으로 나타나 실험실 시료와 거의 동일한 결과를 보여주었다. 또한 시생산 1차에서 6차까지 혼합한 시생산 시료 (평균)에 대해서 블리딩 특성도 Pilot 시료와 거의 동등했으며 응결특성도 동등 성능을 확인하였다. 결과적으로 PEA를 적용하여 PFR3000을 중합하는 공정 역시 양산 안정성이 있는 것으로 나타났다.

(4) 소결

(가) PEA (Phosphonooxy Ethyl Acrylate)의 양산성 검증은 H社가 보유한 2톤 양산 설비로 진행하였고, NMR분석을 통해 Pilot 시료와 양산 시료를 검증하였다. 검증 결과는 아래의 표와 같이 Pilot 품의 양산안정성이 있음을 알 수 있다.

검증 항목	NMR 분석결과	양산안정성
불포화기 잔존량 (%)	Pilot 시료 : 96.9% 시생산 시료 : 100.0%	OK
EO 부가량 (mol)	Pilot 시료 : 4mol 부가 시생산 시료 : 4mol 부가	OK
포스페이트 도입량	Pilot 시료 : 정량적으로 도입됨 시생산시료 : 정량적으로 도입됨	OK
종합 결론		**OK**

(나) PFR3000의 양산성 검증은 30톤 규모로 6회 실시하였고, Pilot 시료와 시생산 시료의 중합물성 비교와 콘크리트 유동성 비교를 통해 진행하였다. 중합물성은 [표 2-12]에서 보듯이 Pilot시료와 시생산 시료가 거의 유사하여 양산안정성이 있음을 알 수 있다. 콘크리트 유동성 평가 또한 [표 2-4]에서 보듯이 Pilot 시료와 시생산 시료의 분산력과 유지력이 각각 100%로 동일했고, 표준편차는 분산력과 유지력 각각 2%, 1% 수준이었다. 또한 파일럿 1차에서 6차까지 혼합한 파일럿시료 (평균)에 대해서 블리딩 특성도 Lab시료와 거의 동등했으며 응결특성도 동등 성능을 확인하였다. 결과적으로 PEA를 적용하여 PFR3000을 중합하는 공정 역시 양산성이 있는 것으로 나타났다.

마. 극서환경혼화제 (PFR3000) 성능검증 (극서환경 모사조건)

(1) 개요

본 과제가 목표로 하는 화학 혼화제는 극서중 환경에서 장시간 슬럼프를 유지하면서도 응결 지연을 저감시키는 '초유지' 개념이 도입된 혼화제이다. 이는 기존의 '초지연' 개념의 화학 혼화제와 근본적으로 차별화된 화학 혼화제이다. 참고로 초지연 개념의 화학 혼화제란 응결 지연 효과를 극대화한 반면 유지 성능은 미흡한 초지연제가 적용된 화학 혼화제를 말한다. 본 과제는 초지연 개념을 극복하여 극서 환경에 최적화된 초유지 개념의 화학 혼화제와 이를 적용한 콘크리트를 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 극서 환경에서도 슬럼프 유지력이 탁월하여 단위수량 증가 없이도 작업성 확보가 용이하고 또한 응결 지연 효과도 완화되어 강도 저하가 없는 콘크리트를 제공하고자 한다.

본 연구에서는 극서환경 모사조건에서 PFR3000에 대한 Mock-up시험과 현장 적용성 평가 결과를 실시하였으며, 본 연구결과는 2차년도 해외 실험의 기초자료로 활용하고자 한다.

(2) 실험방법 및 계획

(가) 실험방법

본 연구의 실험계획은 [표 2-13]과 같다. 실험은 모르타르 비교 실험을 통한 성능검토를 1차 실험, 개발품 강도별 Mock-Up Test를 2차 실험, 개발품 유지시간 별 압송 전후 물성 및 강도발현 성능 평가를 위한 현장 펌프압송성 Test를 3차 시험으로 구분하여 실시하였다.

1차 실험에서는 극서환경에서 사용되는 지연형 혼화제, 개발 혼화제, 국내용 준PC 혼화제, 3개의 혼화제를 검토대상으로 하였으며, 실험방법은 KS L ISO 679: 시멘트의 강도시험 방법을 기준으로 설정하였다. 시멘트, 혼화제의 타입 별 모르타르를 제작하여 유지성능, 응결, 강도발현 등을 검토하고자 하였으며, 개발품의 기초 물성 시험 결과로 활용하고자 하였다.

2차 실험에서는 국내에서 주로 사용되는 서중기 콘크리트 규격 중 25-27-150(일반강도) / 25-40-150(고강도)을 검토대상으로 하여 배치플랜트 테스트 (이하 B/P 테스트) 및 Mock-up 부재 시험을 통해 개발품에 대한 성능평가를 하고자 하였다.

3차 실험에서는 실제 현장에서 사용되어지고 있는 배합(25-27-150)으로 개발품을 적용시켜 3시간 유지성능 및 펌프압송성 테스트를 진행하고자 하였으며, 시간대 별 압송 전/후 물성평가일반 혼화제 대비 조기강도 발현성능 / 응결을 중점적으로 검토하였다.

평가를 위한 시험항목은 [표 2-13]에 나타난 바와 같이 굳지 않은 콘크리트에 대해서는 슬럼프, 및 공기량, 응결, 블리딩량, 수화열 검토를 실시하였으며, 경화 콘크리트에 대해서는 재령별 압축강도와 5MPa 발현 시간을 측정 하는 것으로 하였다.

[표 2-13] 실험계획

<table>
<tr><th rowspan="2">실험
차수</th><th colspan="3" rowspan="2">실험 인자</th><th colspan="2">시험 항목</th></tr>
<tr><th>굳지않은 콘크리트[5)]</th><th>경화 콘크리트</th></tr>
<tr><td rowspan="7">1차</td><td>시멘트</td><td>혼화제</td><td>모르타르 제조방법</td><td rowspan="7">■ 슬럼프 (㎜)
■ 경시변화 (3시간)
■ 응결(초결,종결)</td><td rowspan="7">■ 압축강도
(3, 7, 28일)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">국내시멘트</td><td>PFR3000[1)]</td><td rowspan="3">KS L ISO 679</td></tr>
<tr><td>BASF-161[2)]</td></tr>
<tr><td>HR1000[3)]</td></tr>
<tr><td rowspan="3">베트남시멘트</td><td>PFR3000</td><td rowspan="3">KS L 5108</td></tr>
<tr><td>BASF-161</td></tr>
<tr><td>HR1000</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2차</td><td>규격</td><td>실험체 부재</td><td>배합 (결합재) 종류[3)]</td><td rowspan="3">■ 슬럼프 (㎜)
■ 공기량 (%)
■ 경시변화 (3시간)
■ 응결(초결,종결)
■ 블리딩
■ 수화열</td><td rowspan="3">■ 압축강도
(5MPa발현시간)
(1, 3, 7, 28일)</td></tr>
<tr><td>25-27-150</td><td>벽체:
0.2*1.2*1.2
기둥:
1.2*1.2*1.2</td><td>① W/C 50% :
C65%+Bfs20%+FA15%</td></tr>
<tr><td>25-40-150</td><td>벽체:
0.2*1.2*1.2
기둥:
1.2*1.2*1.2</td><td>② W/C 32.7% :
C65%+Bfs20%+FA15%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3차</td><td>규격</td><td>실험인자</td><td>배합 (결합재) 종류[3)]</td><td rowspan="3">■ 슬럼프 (㎜)
■ 공기량(%)
■ 경시변화 (3시간)
■ 응결(초결,종결)</td><td rowspan="3">■ 압축강도
(5MPa발현시간)
(1, 3, 7, 28일)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">25-27-150</td><td>압송전후 물성[4)]</td><td rowspan="2">W/C 45.7% :
C80%+Bfs10%+FA10%</td></tr>
<tr><td>일반,극서중 비교[5]</td></tr>
<tr><td colspan="6">[1)] 본 개발제품
[2)] 베트남에서 판매되는 바스프제품
[3)] 국내에서 판매되는 준PCE계 혼화제
[4)] C (Ordinary Portland Cement) : 1종 보통포틀랜드 시멘트,
Bfs (Blast Furnace Slag) : 고로슬래그 미분말 3종
FA (Fly Ash) : 플라이애시 2종
[5)] 시간대별 유지성능 확인 및 압송 전후 물성 평가
[6)] 일반 배합 대비, 극서중 콘크리트 배합 응결 및 강도발현 특성 평가</td></tr>
</table>

(나) 사용재료

시멘트는 KS L 5201에 준한 밀도 3.15g/cm^3, 분말도 3,339cm^2/g의 특성을 가진 A사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 혼화재는 분말도 4,600cm^2/g, 밀도 2.2g/cm^3의 태안화력 플라이애시와 4,530cm^2/g, 밀도 2.9g/cm^3의 한국기초 생산 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 굵은골재는 최대크기 25mm, 비중 2.63g/cm^3의 화강암계 쇄석을 사용하고, 잔골재는 비중 2.58g/cm^3, 조립율 3.06의 혼합사(세척사 60%, 부순모래 40%)를 사용하였다. 혼화제는 [표 2-14]에 나타낸 바와 같은 유지형, 지연형, 준PCE 혼화제가 사용되었다. 혼화제는 본 연구의 개발제품인 PFR3000 및 비교제품인 BASF-161과 일반 준PCE계 혼화제인 HR1000 2개를 평가용으로 사용하였다. PFR3000은 포스페이트 도입 유지형 혼화제이며, BASF-161은 경쟁사 제품인 지연형 혼화제와 국내에서 많이 사용되고 있는 준PC 제품을 고려하여 선정하였다.

[표 2-14] 사용재료의 물리적 특성

사용재료	물리적 특성
시멘트	▪ 1종 보통포틀랜드 시멘트 ▪ 밀도 : 3.15g/cm^3, 분말도 : 3,630cm^2/g
잔골재	▪ 혼합사 (세척사 : 쇄사 = 6 : 4) ▪ 밀도 : 2.58 g/cm^3, 조립율 : 3.06, 흡수율 : 1.5%
굵은골재	▪ 화강암계 쇄석, 최대크기 : 25㎜ ▪ 밀도 : 2.63g/cm^3, 흡수율 : 0.9%
혼화제	▪ 개발품 (실크로드 PFR3000) : 포스페이트 도입 유지형 혼화제 ▪ 비교제품 1 : BASF-161 (지연형 혼화제) ▪ 비교제품 2 : HR1000 (국내 준PCE혼화제)

(다) 콘크리트 배합 및 시험체 제작

본 실험에 사용된 콘크리트의 배합은 [표 2-14], [표 2-15]와 같으며, 시험체 기호는 실험차수에 따라 구분하여 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 로마자로 각각 표기하였다. 1차 (Ⅰ) 시험에서는 시멘트 및 혼화제 의 반응 여부를 검토하고자 6수준의 모르타르 배합을 설정하였다.

시험체는 28일 표준압축강도와 응결테스트를 위한 시험체를 각각 제작하였다. 각 배합별로 모르타르를 믹싱하여 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험방법」에 준하여 [그림 2-23]과 같은 50×50×50㎜ 큐빅 몰드를 사용하여 시험체를 제작한 다음 24시간 후 탈형하였다. 표준 압축강도를 위한 시험체는 20±2℃의 수중에서 양생되었으며, 설정한 각각의 재령에서 평가되었다.

[표 2-14] 1차 (Ⅰ) 모르타르 배합

시험체 번호	시멘트 종류	혼화제 종류	W/B (%)	W (g)	C (g)	S (g)	AD (C*%)	비고
Ⅰ-1	국내[1)]	PFR3000[3)]	50	225	450	1,350	0.8	-
Ⅰ-2	국내[1)]	BASF-161[4)]						
Ⅰ-3	국내[1)]	HR1000[5)]						
Ⅰ-4	베트남[2)]	PFR3000[3)]						
Ⅰ-5	베트남[2)]	BASF-161[4)]						
Ⅰ-6	베트남[2)]	HR1000[5)]						

[1)] 국내 A사 시멘트 (Ordinary Portland Cement) : 1종 보통포틀랜드 시멘트

[2)] 베트남 XUAN THANH C (Ordinary Portland Cement) : 1종 보통포틀랜드 시멘트

[3)] 실크로드 : 포스페이트 도입 화학혼화제 (유지형 개발제품)

[4)] BASF-161: SG계 초지연형 화학혼화제

[5)] 실크로드 : 준PCE형 화학혼화제



[그림 2-23] 압축강도 시험을 위한 50×50×50㎜ 큐빅 몰드 전경

2차 (Ⅱ) 시험에서는 27 MPa, 40MPa 강도를 기준으로 하였으며, 각각 벽체부재(0.2m*1.5m*1.5m), 기둥부재(1.2m*1.2m*1.2m) 부재를 제작하여 Mock-Up Test를 진행 하였다.

3차 (Ⅲ) 시험에서는 롯데건설 **용인상미마을** 공동주택에서 사용중인 27MPa 배합을 대상을 기준으로 하였으며, 압송테스트를 위해 13층 수직, 수평부재에 실 타설을 진행하였다. 시험체는 28일 표준압축강도와 응결테스트를 위한 시험체를 각각 제작하였다. 각 배합별로 콘크리트를 믹싱하여 KS F 2403 「콘크리트의 강도시험용 시험체 제작방법」에 준하여 [그림 2-24]와 같은 ∅100×200㎜ 원주형 몰드를 사용하여 시험체를 제작한 다음 24시간 후 탈형하였다. 표준 압축강도를 위한 시험체는 [그림 2-25]과 같은 20±2℃의 수중에서 양생되었으며, 설정한 각각의 재령에서 평가되었다. 응결측정은 KS L 5108 「바카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결시간 시험방법」에 준하여 시험을 진행하였다.

[표 2-15] 2차, 3차 (Ⅱ,Ⅲ) 콘크리트 배합

시험체 번호	규격	W/B (%)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m³)	단위중량 (kg/m³)						고성능 감수제 (B×%)	비고
					C[1]	Bfs[2]	FA[3]	S1[4]	S2[4]	G		
Ⅱ-1	25-27-150	50.1	49.0	170	220	68	51	-	871	924	0.8	일반강도
Ⅱ-2	25-40-150	32.7	47.0	163	324	100	75	-	777	893	0.9	고강도
Ⅲ-1	25-27-150	45.7	50.0	166	291	36	36	350	525	885	0.8	일반
Ⅲ-2	25-27-150	45.7	50.0	166	291	36	36	350	525	885	0.8	극서중

[1] C (Ordinary Portland Cement) : 1종 보통포틀랜드 시멘트

[2] Bfs (Blast Furnace Slag Poweder) : 고로슬래그 미분말 3종

[3] FA (Fly Ash) : 플라이애시 2종

[4] S1: 부순모래 S2: 세척사



[그림 2-24] 압축강도 시험을 위한 ∅100×200㎜ 원주형 몰드 전경



[그림 2-25] 20±2℃의 수중양생 몰드 전경

(라) 시험방법

① 굳지않은 콘크리트 시험

굳지않은 콘크리트 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 「콘크리트의 슬럼프 시험」의 규정에 따라 실시하였고, 공기량은 KS F 2421 「압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법」, 그리고 블리딩은 KS F 2414 「콘크리트 블리딩 시험방법」에 따라 평가하였다.

- 압축강도 시험

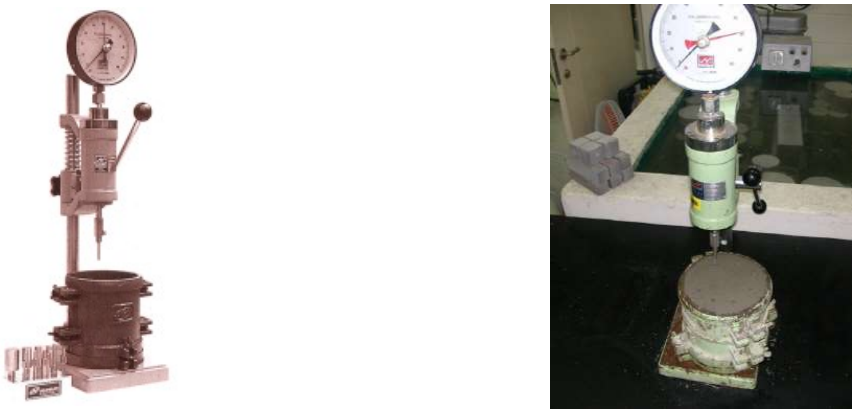
압축강도는 KS F 2405 「콘크리트의 압축 강도 시험 방법」에 준하여 실시하였다. 압축강도시험은 200ton용량의 압축강도시험기를 사용하였으며, 식 (1)에 의해 산출하였다. 각 재령별 압축강도는 콘크리트 공시체 3개의 평균값을 사용하였다.

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$ ·····식 (1)

여기서, σ_c : 압축강도 [MPa]
P : 최대하중 [N]
A : 시험체의 단면적 [mm^2]

- 응결

응결측정은 [그림 2-26]과 같이 KS L 5108 「바카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결 시간 시험방법」에 준하여 시험을 진행하였다.



[그림 2-26] 응결테스트 평가 전경

(3) 실험결과 및 고찰

(가) 모르타르 비교 Test (1차실험)

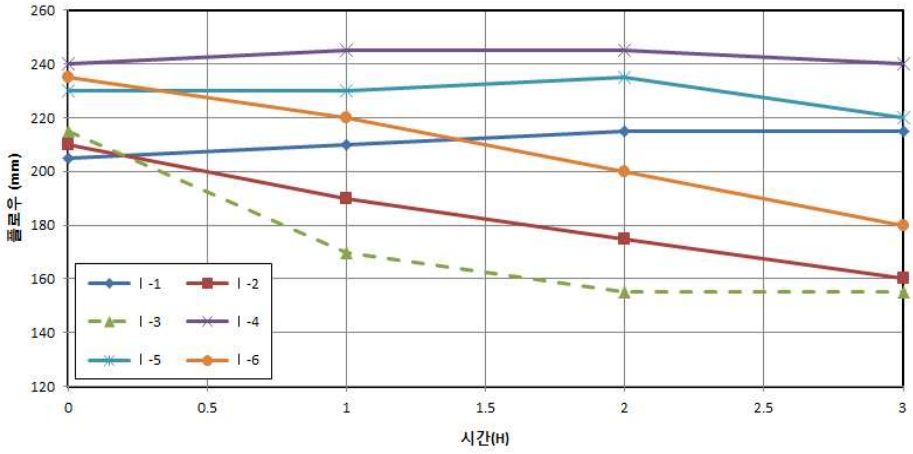
① 굳지않은 모르타르 물성 및 압축강도

[표 2-16] 및 [그림 2-27], [그림 2-28], 그리고 [그림 2-29]는 굳지않은 모르타르 물성 및 응결, 압축강도 시험결과를 나타낸 것이며, [그림 2-30]는 모르타르 비교실험 전경을 나타낸 것이다

[표 2-16] 굳지않은 모르타르 물성 및 응결,압축강도 시험결과 (1차)

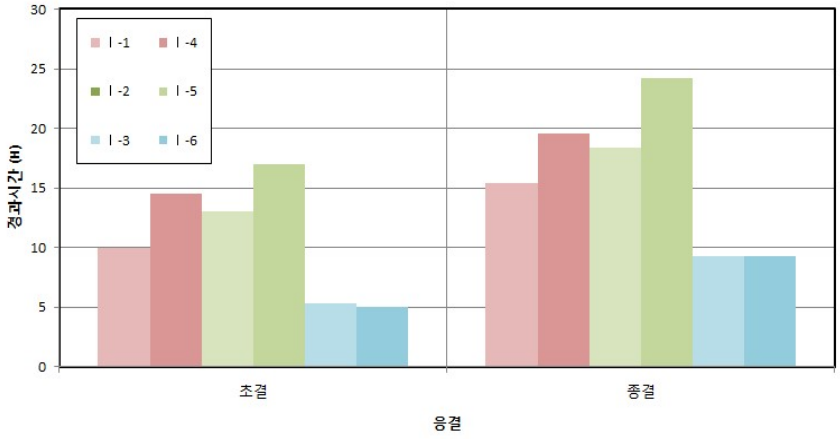
시험체 번호	플로우(mm)				응결(H)		압축강도 (MPa)			
	즉시	60분	120분	180분	초결	종결	3일	7일	14일	28일
Ⅰ-1(국내 C, PFR3000)	205	210	215	215	10	15.4	21.1	34.3	44.8	49.0
Ⅰ-2(국내 C, BASF161)	210	190	175	160	13	18.4	21.4	34.7	43.7	49.6
Ⅰ-3(국내 C, HR1000)	215	170	155	155	5.3	9.3	20.8	33.1	42.1	47.3
Ⅰ-4(Viet C, PFR3000)	240	245	245	240	14.5	19.6	23.4	37.7	47.2	52.9
Ⅰ-5(Viet C, BASF161)	230	230	235	220	17	24.2	24.0	37.3	46.8	53.1
Ⅰ-6(Viet C, HR1000)	235	220	200	180	5	9.3	23.1	35.9	44.5	50.3

비빔직후에서 3시간 경시변화 측정결과 Ⅰ-1, Ⅰ-4, Ⅰ-5 시험체의 플로우는 ±10㎜의 범위로 유사하게 나타나 3시간 유지성능을 확인하였다. 반면, 국내시멘트를 사용한 Ⅰ-2 시험체는 유지성능이 같은 혼화제를 베트남 시멘트에 사용한 Ⅰ-5 와는 다르게 플로우가 1시간이후 급격히 저하되는 것을 확인할 수 있었으며. Ⅰ-3, Ⅰ-6 시험체는 두 가지 시멘트 타입 모두 유지력이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 응결 테스트 결과는 시멘트 타입과는 관계없이 혼화제 HR1000 > PFR3000 > BASF-161 순으로 응결이 진행 되었으며 지연형 혼화제인 BASF-161 보다 개발제품인 PFR3000이 20% 응결진행이 더 빠르게 진행된 것을 확인할 수 있었다.

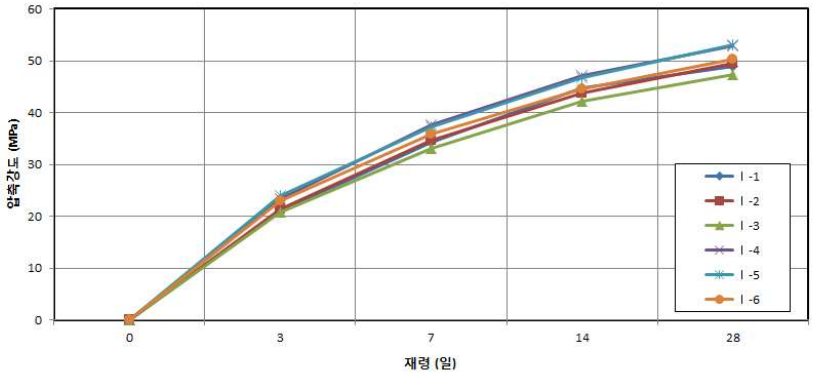


[그림 2-27] 배합종류에 따른 물성 유지성능 결과

압축강도 테스트 결과 3일 이후부터 측정을 시작하였으며, 강도 발현은 6개 시험항목이 비슷하게 강도 발현이 진행되었다, 다만 제품에 특성 평가를 위해 다음 실험에서는 응결이후 조기강도 발현에 대한 비교 실험이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 2-28] 배합종류에 따른 응결테스트 결과



[그림 2-29] 배합종류에 따른 압축강도 결과





(a) 1차 실험 플로우 테스트 전경



(b) 1차 실험 응결테스트 전경



(c) 1차 실험 압축강도 테스트 전경

[그림 2-30] 모르타르 비교실험 전경 (1차)

(나) PFR3000의 Mock-Up Test (2차실험, 장소 : **여주 한필E&C 내**)

① 굳지않은 콘크리트 물성 및 압축강도

[표 2-17]는 PFR3000의 Mock-Up Test 결과의 굳지않은 콘크리트 물성 및 압축강도 시험결과를 나타낸 것이다.

[표 2-17] 굳지않은 콘크리트 물성 및 압축강도 시험결과(2차) (콘크리트온도 :32℃)

시험체 번호	굳지않은 콘크리트 물성								압축강도 (MPa)		
	슬럼프 (mm)				공기량 (%)				3일	7일	28일
	즉시	60분	120분	180분	즉시	60분	120분	180분			
II-1	190	200	200	205	4.3	5.0	4.7	4.8	19.3	21.9	35.8
II-2	170	180	175	140	3.5	3.7	4.0	3.7	35.8	40.0	51.6

PFR3000의 굳지않은 콘크리트의 3시간 유지 성능을 확인 해본 결과 Ⅱ-1 (25-27-150)의 시험체의 경우는 3시간 유지가 된 것을 확인할 수 있었으며, Ⅱ-2 (25-40-150) 시험체의 경우 2시간 까지는 유지가 잘되어지다 3시간째에는 슬럼프 로스가 오는 것을 확인할 수 있었다. 이는 같은 혼화제를 사용하였을 때 일반강도에 비해 분체량이 높은 고강도 배합에서는 유지성능이 떨어짐을 확인할 수 있었으며, 고강도에서는 혼화제의 제품 비율을 조정할 필요가 있을 것으로 판단되어진다.

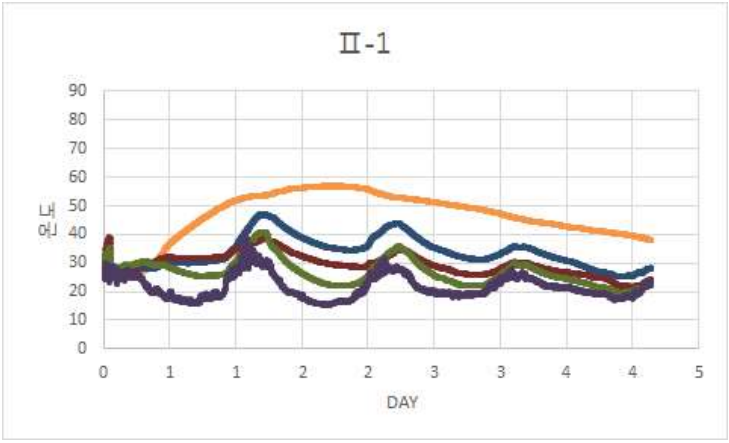
압축강도의 경우 28일 압축강도는 모두 설계기준 강도를 초과하여 목표로 하는 강도 값을 만족하는 것으로 나타났다. 1차 실험에서 확인 하였듯이 PFR3000의 경우 일반 혼화제 대비 장기 압축강도의 경우 특별한 차이는 없었으나, 제품에 현장적용성을 위해 [표 2-18]와 같이 조기 강도 발현성능을 확인할 필요성이 있었으며, 실제 현장에서 수직거푸집 제거 기준인 5MPa 도달 시간을 확인하였다. Ⅱ-1 시험체의 경우 19시간, Ⅱ-2 시험체의 경우 8시간에 5MPa에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 또 참고적으로 굳지않은 콘크리트 시험전경은 [그림 2-31]에 나타냈다.

[표 2-18] PFR3000의 배합별 응결 및 조기 압축강도 시험결과 (2차)

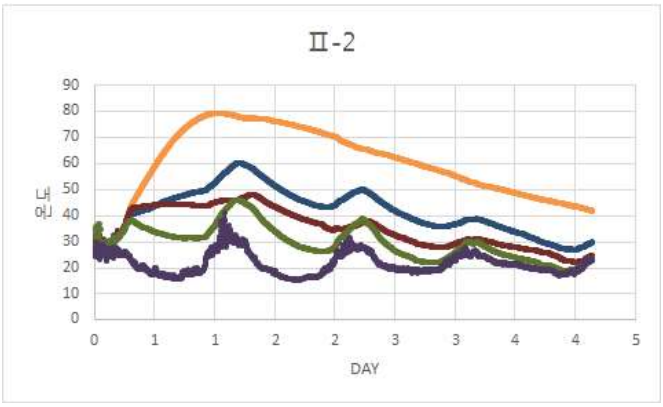
시험체 번호	응결(H)		5MPa 도달시간 (H)
	초결	종결	
Ⅱ-1 (25-27-150)	12.5	17	19
Ⅱ-2 (25-40-150)	3	6	8

② 수화열 평가

[그림 2-32],[그림 2-33]은 PFR3000을 사용한 Ⅱ-1,2 시험체의 수화열 변화를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 3시간 유지 혼화제를 사용한 시험체는 응결 전까지 온도 변화가 미비하지만, 응결이후 급격한 온도 상승을 하는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 2-32] Ⅱ-1 수화열측정 결과



[그림 2-33] Ⅱ-2 수화열측정 결과



(a) Mock-Up 전경



(b) 시험체 타설 전경



(c) Ⅱ-1 시험체 슬럼프 측정 전경



(d) Ⅱ-2 시험체 슬럼프 측정 전경



(e) 수화열 측정 전경



(f) 공시체 제작 전경

[그림 2-31] Mock-Up 실험 전경 (2차; 한필 E&C 내)

(다) PFR3000 현장 펌프압송성 Test (3차실험; 장소 : **용인 기흥 상미마을주택단지 현장**)

① 굳지않은 콘크리트 물성 및 압축강도

[표 2-19]은 PFR3000의 현장 펌프압송성 Test 결과의 압송 전, 후 굳지 않은 콘크리트 물성을 나타낸 것이다.

[표 2-19] 굳지않은 콘크리트 물성 시험결과 (3차)　　콘크리트 온도 : 33℃

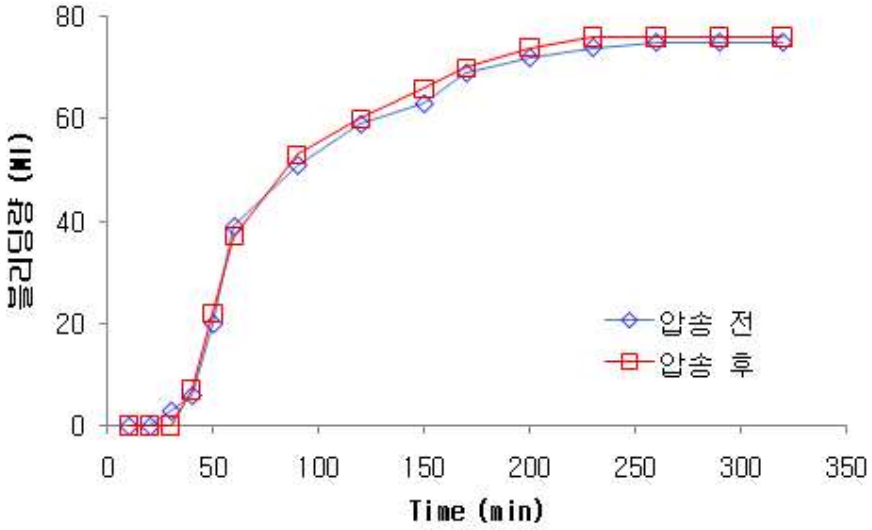
시험체 번호	굳지않은 콘크리트 물성															
	압송 전 슬럼프 (㎜)				압송 후 슬럼프 (㎜)				압송 전 공기량 (%)				압송 후 공기량 (%)			
	즉시	60분	120분	180분	즉시	60분	120분	180분	즉시	60분	120분	180분	즉시	60분	120분	180분
Ⅲ-1 (일반감수제)	145	-	-	-	120	-	-	-	3.6	-	-	-	3.6	-	-	-
Ⅲ-2 (PFR3000)	220	220	210	205	-	225	215	205	7.0	7.0	7.1	7.1	6.8	7.2	7.0	6.9

굳지않은 콘크리트의 3시간 유지 성능을 확인 해본 결과 Ⅲ-1의 시험체의 경우 현장에서 사용되어 지고 있는 혼화제로서 유지성능을 2시간이상 확인 불가 하였고, 압송 전 대비 압송 후에 물성이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. Ⅲ-2 시험체의 경우 3시간 까지는 유지가 잘되었으며, 압송전과 후에 물성차이가 없는 것을 확인하였다.

압송 후 블리딩 결과는 [표 2-20]과 [그림 2-34]와 같다. 압송 전과 후의 블리딩량이 거의 동등함을 볼 수 있다. PFR3000이 도입된 콘크리트 자체 유지력이 우수하며, 블리딩이 심하지 않았다. 이런 양질의 콘크리트의 경우 펌프압송 후에도 콘크리트의 품질 변동이 없는 것으로 판단된다.

[표 2-20] 압송 전후 블리딩 시험결과

	시간 (min)														
	10	20	30	40	50	60	90	120	150	170	200	230	260	290	320
압송전	0	0	3	6	20	39	51	59	63	69	72	74	75	75	75
압송후	0	0	0	7	22	37	53	60	66	70	74	76	76	76	76



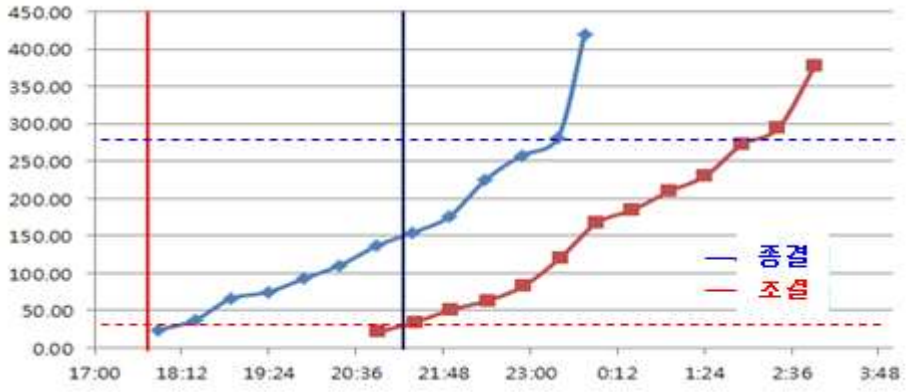
[그림 2-34] PFR3000 펌프 압송 전후 블리딩 변화

1,2차 실험에서 확인 하였듯이 개발 혼화제의 경우 일반 혼화제 대비 장기 압축강도의 경우 특별한 차이는 없었으나, 제품에 현장적용성을 위해 [표 2-21]와 같이 일반 혼화제 대비 개발 혼화제의 조기 강도 발현성능을 확인할 필요성이 있었으며, 실제 현장에서 수직거푸집 제거 기준인 5MPa 도달 시간을 확인하였다. Ⅲ-1 시험체의 경우 19시간, Ⅲ-2 시험체의 경우 22시간에 5MPa에 도달하는 것을 확인할 수 있었으며, 일반 혼화제 대비 개발품의 조기 강도 발현이 3시간 정도 늦어지는 것을 확인하였다.

[표 2-21] 응결 및 조기 압축강도 시험결과 (3차)

시험체 번호	응결(H)		5MPa 도달시간 (H)
	초결	종결	
Ⅲ-1 (일반감수제)	7	11	19
Ⅲ-2 (PFR3000)	10	14	22

[그림 2-35]은 개발 혼화제를 사용한 Ⅲ-1,2 시험체의 응결테스트 결과를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 일반 혼화제를 사용한 시험체는 초결 7시간, 종결 11시간을 나타냈으며, 개발품은 초결 10시간, 종결 14시간을 나타내었다. [그림 2-36]은 펌프압송성 테스트 전경사진이다.



[그림 2-35] 응결 테스트결과 (3차실험)



(a) 현장 전경



(b) Ⅲ-2 시험체 2시간 압송후 슬럼프 측정 전경



(c) Ⅲ-2 시험체 3시간 압송후 슬럼프 측정 전경

[그림 2-36] 현장 펌프압송성 실험 전경 (3차)

(4) 소결

사업화 연구과제를 통해 개발한 PFR3000의 성능과 현장의 펌프압송성 테스트를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 모르타르 비교실험을 통해 개발한 PFR3000은 기존 지연형 혼화제 (BASF-161)에 비해 유지성능 및 기타 역학적 특성에서 우수한 성능이 확인되었다.

(나) Mock-Up Test를 통해 굳지않은 콘크리트 물성 및 경화콘크리트(압축강도) 특성에서 PFR3000을 사용한 모든 시험체는 안정적인 유지성능, 강도발현 등을 확인할 수 있었다.

(다) 현장적용 펌프압송성 테스트는 롯데건설 용인상미마을 주택현장에서 배합실험 및 성능 평가 진행이 완료되었으며, 3시간 유지성능, 압축강도 발현성능, 압송전후 물성변동(슬럼프, 블리딩) 등의 항목으로 PFR3000을 확인한 결과 현장적용에 문제가 없음을 확인할 수 있었으며, 균열이 없는 우수한 품질을 나타냈다.

(라) 실험결과를 토대로 PFR3000은 유지성능을 필요로 하는 극서환경에서 콘크리트용 혼화제로서 사용이 가능한 것으로 확인되었다.

바. 극서환경에서 PFR3000 성능평가

(1) 개요

본 연구의 포스페이트 도입 화학혼화제인 PFR3000은 사업화를 목적으로 함에 있어 현장 적용에 대한 사전 검토가 매우 중요하다. 현장 적용을 위한 사전 검토를 위해서는 콘크리트의 재료뿐만 아니라 환경조건 그리고 콘크리트 배합 등이 매우 중요하다. 콘크리트 배합은 현지에서 니즈가 큰 배합을 선택하고 본 개발제품의 특성에 맞아야 하기 때문에 성신비나와 롯데건설이 주도적 역할을 수행하였다. [표 2-22]은 극서환경에서 PFR3000의 성능을 평가하기 위한 콘크리트 배합이다.

[표 2-22] 극서환경용 콘크리트 배합표

규격	W/C	S/A	물 (kg/m³)	시멘트 (kg/m³)	F/A (kg/m³)	잔골재 (kg/m³)	굵은골재 (kg/m³)	혼화제 (C×%)
20-30-180	48.7	50.7	182	307	67	951	893	0.96
20-35-180	44.1	51.5	179	333	71	922	901	0.96
20-40-180	51.2	50.6	181	360	79	888	899	0.96

※ 시멘트 : 베트남産 (성신비나 제공), 콘크리트 온도 : 30~35℃

위의 3가지 콘크리트 배합으로 BASF-161 (성신비나 제공)과 본 개발제품인 PFR3000을 [그림 2-37]와 같은 프로세스로 평가하였고, 콘크리트 온도는 30~ 35℃ 수준이었다.



a) 골재 준비 b) 콘크리트 제조

c) 콘크리트 유동성 평가 d) 콘크리트 압축강도 평가

e) 블리딩 측정 d) 응결특성 측정

[그림 2-37] 극서환경 콘크리트 성능평가 전경

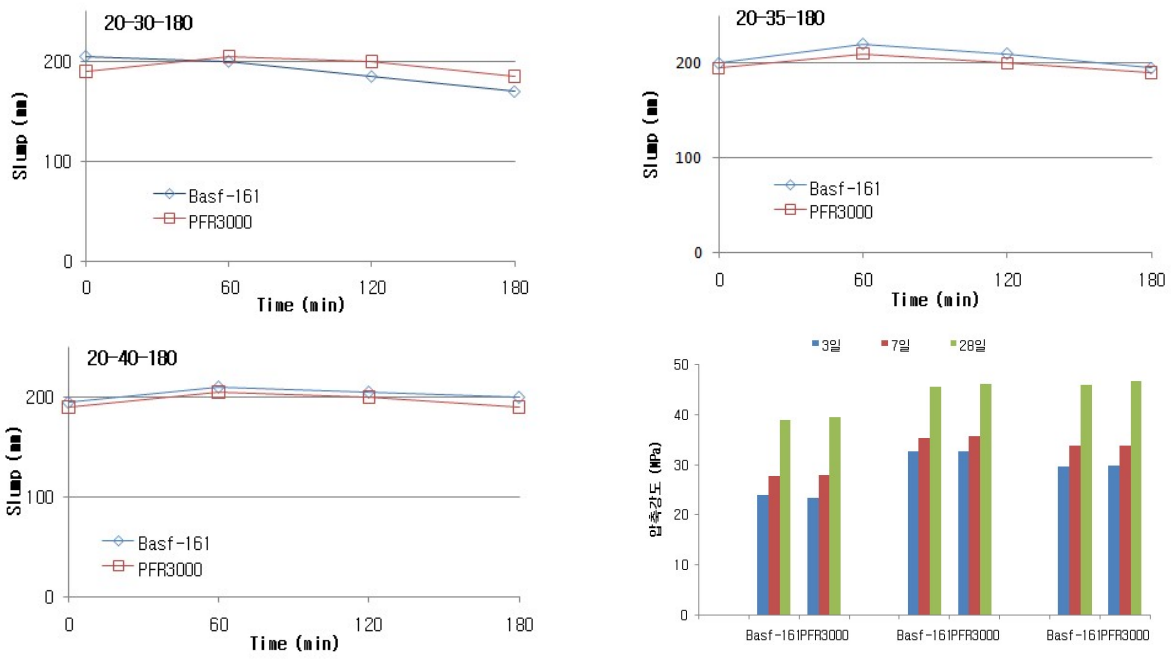
(2) PFR3000의 성능평가 결과

(가) 콘크리트 유동성 (3시간 유지성능 평가) 및 압축강도 결과

콘크리트의 작업성과 수화특성 측면에서 유동성과 압축강도를 본 절에서 평가하고자 한다. [표 2-23]에 따라 제작된 시료의 콘크리트 성능 결과 중 슬럼프와 압축강도를 [표 2-25]에 요약했고 이를 [그림 2-38]에 그래프로 나타냈다.

[표 2-23] 콘크리트 슬럼프 및 압축강도 결과

규격	혼화제	슬럼프 (mm)				압축강도 (MPa)		
		0min	60min	120min	180min	3일	7일	28일
20-30-180	Basf-161	205	200	185	170	23.9	27.7	39.0
	PFR3000	190	205	200	185	23.4	28.0	39.5
20-35-180	Basf-161	200	220/390	210/340	195	32.7	35.4	45.7
	PFR3000	195	210/380	200	190	32.7	36.7	46.2
20-40-180	Basf-161	195	210/370	205	200	29.6	33.8	46.0
	PFR3000	190	205/350	200	190	29.8	33.8	46.7



[그림 2-38] PFR3000과 BASF-161의 콘크리트 유동성 및 압축강도 평가결과

[그림 2-38]에서 보듯이 유동성 측면에서 PFR3000은 BASF-161과 거의 동등한 성능을 발휘하였고, 두 제품 모두 3시간 유지성능이 우수하였다. 압축강도에서도 두 제품 모두 목표강도를 만족하였다.

결과적으로 PFR3000은 극서환경에서 3시간 유지성능을 입증하였고, 압축강도는 기준과 동등하였다.

(나) 콘크리트 블리딩 성능 평가

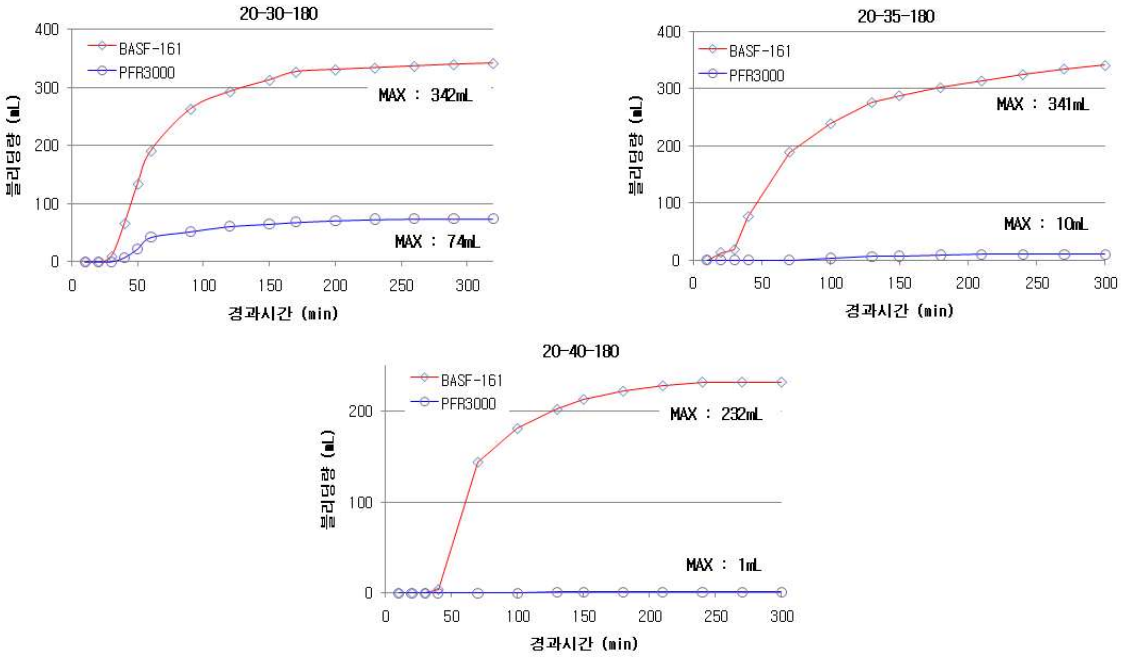
콘크리트의 블리딩은 콘크리트 내구성 측면으로 고려하였다. 블리딩으로 인해 발생하는 콘크리트 품질저하 문제가 심각하기 때문이다. 특히 초지연제의 사용은 블리딩을 증가시키는 것으로 알려져 있다.

본절에서는 PFR3000의 블리딩 특성을 BASF-161과 비교하여 평가하고자 한다. [그림 2-39]은 블리딩 시험 전경이다.



[그림 2-39] 블리딩 측정 전경

[그림 2-40]에서 보듯이 PFR3000은 BASF-161에 비해 극적으로 블리딩량을 줄여주는 것으로 나타났다. 설계배합별로 차이가 있지만, PFR3000은 [20-30-180]에서는 78.4% 블리딩 저감율을 보였고, [20-35-180]에서는 97.1%, 그리고 [20-40-180]에서는 99.6%라는 엄청난 블리딩 저감율을 보였다. 이 결과는 기존의 "초지연제 병용" 개념을 "초유지"라는 페러다임 전환을 통해 얻어진 결과라 할 수 있다.



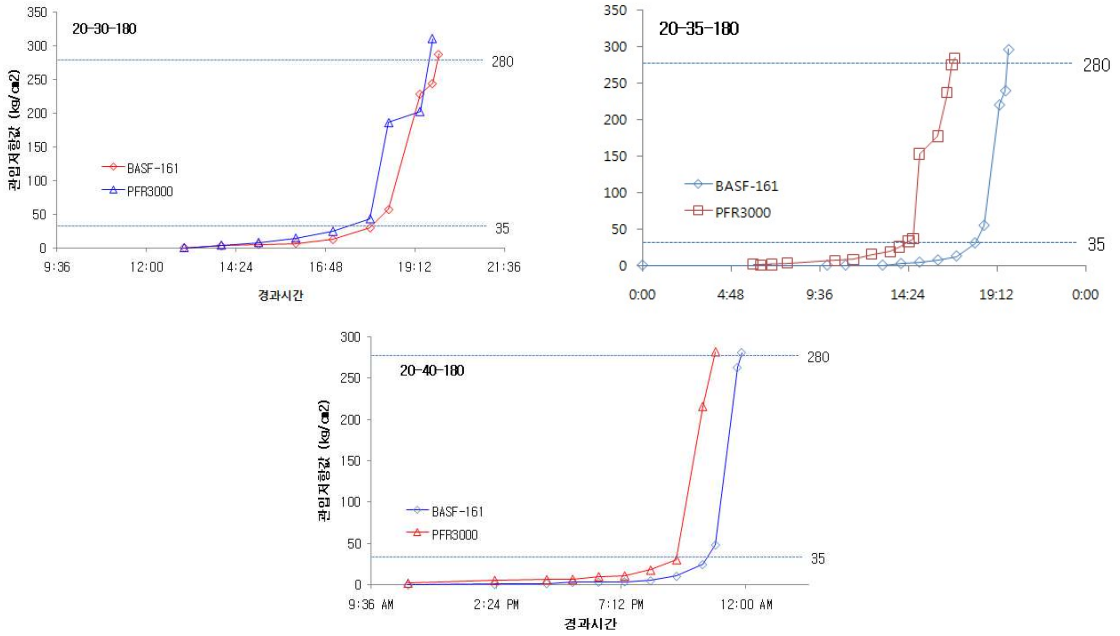
[그림 2-40] 설계배합별 PFR3000과 BASF-161 블리딩량 결과

(다) 콘크리트 응결특성 평가

콘크리트 응결실험은 KSF2436에 의거하여 [그림 2-41]과 같이 실시하였고 그 결과는 [그림 2-42]와 같다.



[그림 2-41] 콘크리트 응결특성 평가 전경



[그림 2-42] 각 설계강도별 PFR3000과 BASF-161 응결시험결과

[표 2-24] 응결특성 시험결과

설계강도	샘플명	응결특성		샘플 별 시간차 (min)	
		초결시간	종결시간	초결 시간차	종결 시간차
20-30-180	BASF-161	18:10	19:40	240	170
	PFR3000	14:10	16:50		
20-35-180	BASF-161	18:10	19:50	220	175
	PFR3000	14:30	16:55		
20-40-180	BASF-161	10:40	11:50	260	210
	PFR3000	6:20	8:20		

각 콘크리트 설계 별 평가결과는 [표 2-24]과 같다. [표 2-24]에서 보듯이 PFR3000은 BASF-161에 비해 응결시간이 [20-30-180] 설계배합에서 초결 240분, 종결 170분만큼 응결시간을 앞당겼고 [20-35-180] 설계배합에서는 초결 220분, 종결 175분 가량 응결을 앞당겼다. [20-40-180] 설계배합에서는 BASF-161 대비 초결 260분, 종결 210분 응결을 앞당겼다.

결과적으로 PFR3000은 BASF-161에 비해 응결을 상당히 단축시켰고, 조기강도 발현에 긍정적일 것으로 기대된다.

(3) 소결

현지조건을 이해하기 위해 콘크리트 재료에 대한 조사를 선행하고, 시제품인 PFR3000의 극서환경 조건에서 콘크리트 성능시험을 진행하였다. 시험항목은 콘크리트 슬럼프 (3시간 유지성능)와 압축강도 그리고 블리딩 특성과 응결특성이다. 이 시험결과를 바탕으로 2차년도에도 PFR3000의 계속적인 성능 업그레이드를 진행할 것이다.

(가) 베트남 시멘트 양회사가 난립하여 수십종의 시멘트가 존재하며, 성능 편차가 매우 심하다. 굵은골재의 경우 국내보다 비중이 높고 3.0 g/cm2 이상의 골재도 다수 있기 때문에 사용시 주의하여야 한다. 잔골재는 현재까지 강사를 쓰고 있으나 추후 해사와 쇄사가 사용될 가능성이 높다. 사용수의 경우 국내 조건과 유사한 특성을 갖고 있다.

(나) 극서환경에서 PFR3000의 콘크리트 슬럼프와 압축강도 특성을 평가하였다. PFR3000은 BASF-161과 동등하게 3시간 유지성능을 발휘하였으며, 압축강도 (3, 7, 28일) 성능 또한 BASF-161과 동등수준으로 발현되었다.

(다) PFR3000과 BASF-161의 블리딩 특성을 비교하였다. PFR3000은 [20-30-180]에서는 78.4% 블리딩 저감율을 보였고, [20-35-180]에서는 97.1%, 그리고 [20-40-180]에서는 99.6%의 블리딩 저감율을 보였다.

(라) PFR3000의 응결특성을 평가하였다. [표 2-23]와 같이 설계배합 3종에 대해서 BASF-161에 비해 응결시간을 평균적으로 초결 240분, 종결 185분을 단축시켰다.

바. 극서환경 국가인 베트남에서 PFR3000의 Mock-up실험을 통한 현장적용성 검증

(1) 개요

본 과제가 목표로 하는 화학 혼화제는 극서중 환경에서 장시간 슬럼프를 유지하면서도 응결 지연을 저감시키는 '초유지' 개념이 도입된 혼화제이다. 이는 기존의 '초지연' 개념의 화학 혼화제와 근본적으로 차별화된 화학 혼화제이다. 참고로 초지연 개념의 화학 혼화제란 응결 지연 효과를 극대화한 반면 유지 성능은 미흡한 초지연제가 적용된 화학 혼화제를 말한다. 본 과제는 초지연 개념을 극복하여 극서 환경에 최적화된 초유지 개념의 화학 혼화제와 이를 적용한 콘크리트를 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 극서 환경에서도 슬럼프 유지력이 탁월하여 단위수량 증가 없이도 작업성 확보가 용이하고 또한 응결 지연 효과도 완화되어 강도 저하가 없는 콘크리트를 제공하고자 한다.

본 연구에서는 극서환경인 베트남 현지에서 PFR3000에 대한 B/P 및 Mock-up시험을 실시하였으며, 본 연구결과는 3차년도 해외 현장적용 시 활용하고자 한다.

(2) 실험방법 및 계획

본 연구의 실험계획은 [표 2-24]와 같다. 또한 2차년도 상반기에 베트남에서 승인된 콘크리트 배합은 [표 2-25]과 같다. 일반 콘크리트배합 (20-40-180)과 고강도 콘크리트 배합 (20-60-600), 그리고 저발열 콘크리트 배합 (20-50-600) 총 3종이며 Mock-up시험 배합으로 적용하고자 한다. 다만 저발열 콘크리트 배합 (20-50-600)의 경우, 차년도에 계획된 베트남 하노이 시푸차 롯데몰 현장적용을 고려하여 추가한 저발열 배합임으로 제품평가에는 논외로 하겠다.

[표 2-24] 실험계획

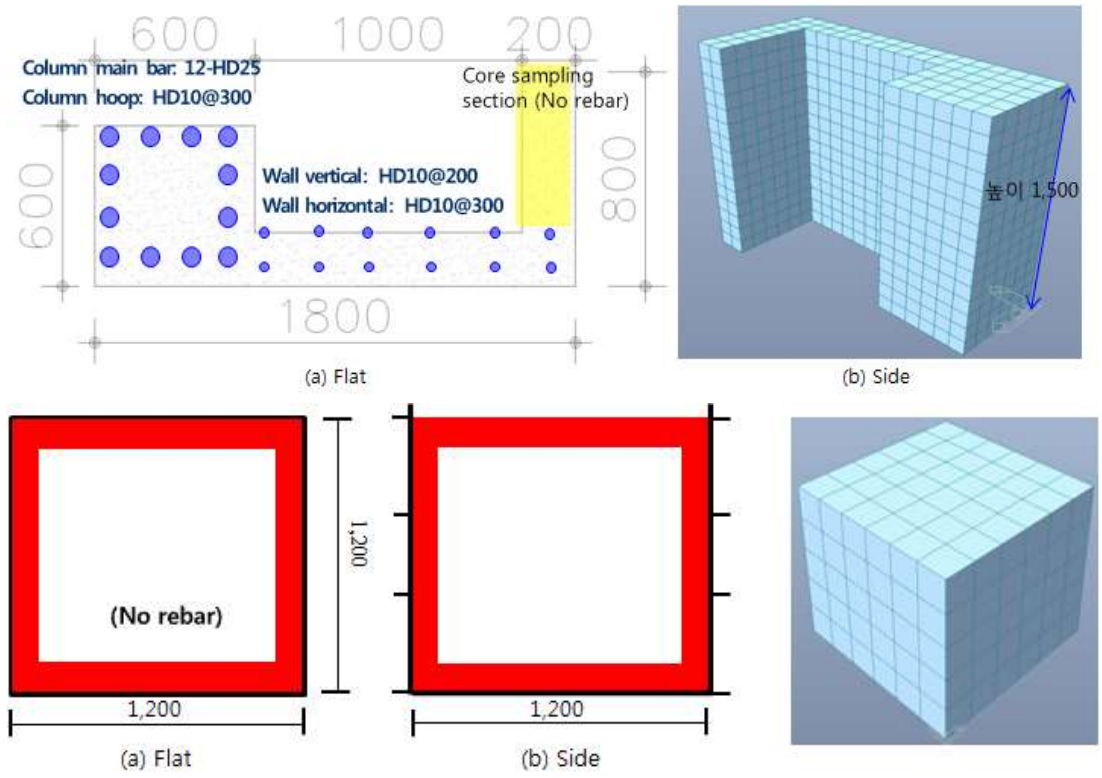
구분	평가항목	비고
사전 B/P 테스트	▫콘크리트 3시간 유지성능 ▫압축강도	예비실험
Mock-up 테스트	▫콘크리트 3시간 유지성능 ▫블리딩 특성 ▫응결특성 (초결, 종결) ▫압축강도 (1, 3, 7, 28일) ▫탈형 후 표면상태 ▫코어공시체 압축강도 (7, 28일)	본실험

[표 2-25] B/P, Mock-up용 콘크리트 배합

배합 구분			Cement	F/A	배합인자				비고
Grade		Slump/ Flow			Sand	Crushed stone	W (kg/m3)	AD	
일반 콘크리트	40MPa	180±20	359	79	851	954	176	-	-
저발열 콘크리트	50MPa	600±100	422	93	895	856	168	-	-
고강도 콘크리트	60MPa	600±100	489	107	838	851	164	-	-

상기의 3가지 콘크리트배합에 대하여 본과제의 개발제품인 PFR3000과 B社의 BASF-161(슬럼프 제품) 및 BASF-3019 (플로우 제품)을 비교 실험한다. 본 Mock-up실험에서는 총 6가지 항목을 측정하고자 한다. 3시간 유지성능 (TCVN3106:1993, KSF2594:2004)은 실제 콘크리트 제조 후 레미콘차량으로 40~60분 가량 이송하여 초기부터 매시간 3시간까지 유지성능을 평가한다. 블리딩 특성 (TCVN 3109:1993), 응결특성 (TCVN 9338:2012), 압축강도 (TCVN 3105:1993, TCVN 3118:1993)를 위한 공시체는 Mock-up현장 도착 후 바로 제조한다. 탈형 후 콘크리트 표면상태는 압축강도 5MPa 도달 즉시 탈형하여 관찰한다. 코어공시체 압축강도의 경우, 양생 7, 28일에 타공하여 공시체 확보 후 측정한다.

Mock-up부재의 구조는 아래 [그림2-43]과 같다. 콘크리트배합 [20-40-180], [20-60-600]에 대해서는 벽체구조와 기둥구조를 포함하는 구조를 적용하고 일부 벽체구조 (코어공시체 샘플링)를 제외하고 벽체구조와 기둥 구조에 철근을 배근하였다. 콘크리트 배합 [20-50-600]에 대해서는 가로, 세로 각각 1,200mm 인 정육각형 구조에 적용하였다. 총 6개의 Mock-up부재는 [그림 2-44]과 같이 배치한다. Mock-up부재 거치장소는 **IBST (Vietnam Institute for Building Science and Technology)**에서 제공하였다.

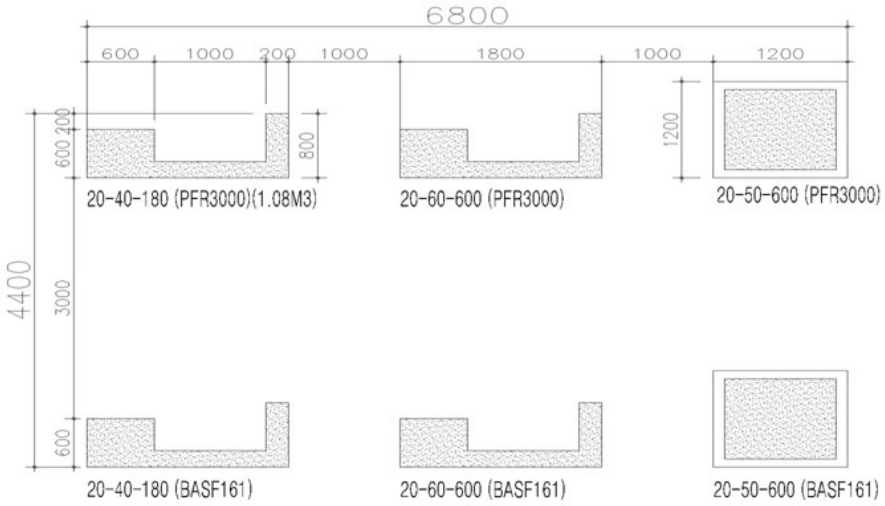


[그림 2-43] Mock-up부재 구조

(3) 실험 결과

(가) 사전 B/P 테스트

Mock-up시험에 앞서 콘크리트의 굳지 않은 성질과 굳은 성질을 점검하여 Mock-up시험을 원활히 진행하고자 했다. 시험배합은 [표 2-25]과 같이 [20-40-180], [20-50-600], 그리고 [20-60-600] 총 3가지 배합에 대해 진행했다. 실험진행은 [그림 2-45]과 같이 배처플랜트에서 콘크리트 제조 후, 초기부터 3시간 유지성능을 평가하였으며 유동성 평가 후에 압축강도 공시체를 제조하여 압축강도를 평가하였다.





[그림 2-44] Mock-up부재 배치도 및 전경 (IBST 내)

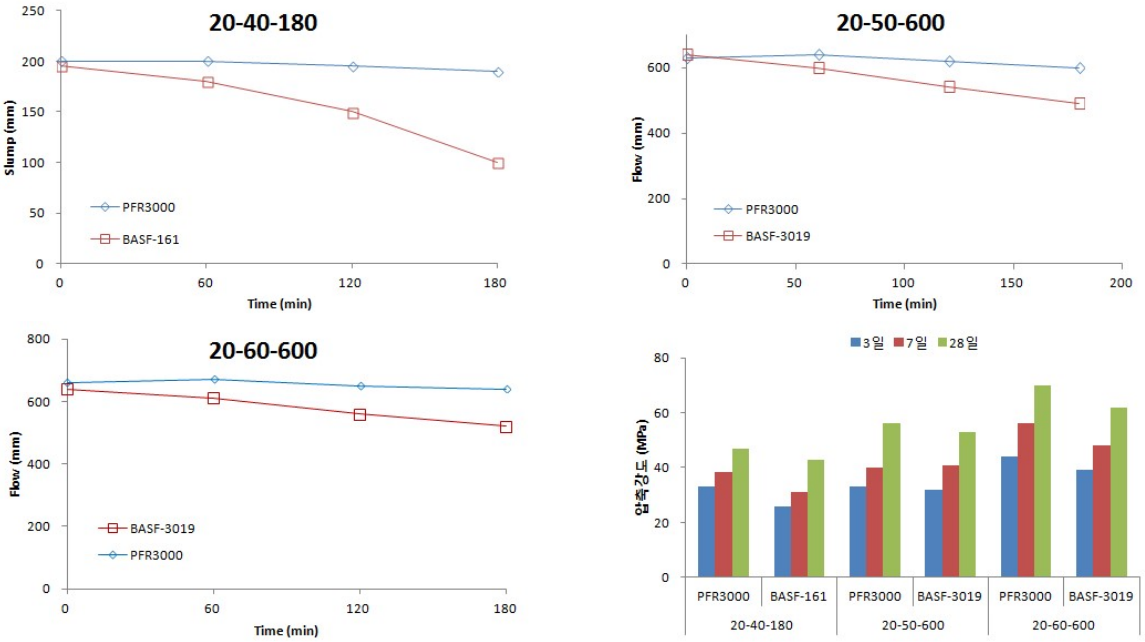


[그림 2-45] B/P 테스트 전경

[표 2-26]과 [그림 2-46]에서 보듯이 3종의 콘크리트배합에서 본과제의 개발제품인 PFR3000은 3시간 유지성능과 압축강도 (3, 7, 28일) 항목에 대해서 모두 기준에 도달하였다. 결국 본 B/P테스트 결과를 통해 3종의 콘크리트 배합설계에 대한 Mock-up실험이 적합함을 검증하였다.

[표 2-26] B/P테스트 (3시간 유지성능 및 압축강도)

구분		Slump&Flow (mm)				압축강도 (MPa)		
배합	제품	0분	60분	120분	180분	3일	7일	28일
20-40-180	PFR3000	200	200	195	190	33	39	47
	BASF-161	195	180	150	100	26	31	43
20-50-600	PFR3000	630	640	620	600	33	40	56
	BASF-3019	640	600	540	490	32	41	53
20-60-600	PFR3000	660	670	650	640	44	56	70
	BASF-3019	640	610	560	520	39	48	62



[그림 2-46] B/P 테스트 결과 (3시간 유지성능 및 압축강도)

(나) Mock-up 실험

본 Mock-up 실험은 극서환경국가인 베트남에서, 가장 더운 6월말에 수행했다. 다만 콘크리트 제조 후 Mock-up 현장까지의 교통 사정으로 인해 야간 Mock-up시험으로 진행하였으며 콘크리트 제조업체인 성신비나에서 Mock-up부재 장소인 IBST까지 40분가량 소요되는 것으로 판단하였으나 실제 실험 시 60분 이상이 소요되어 1시간 유지성능은 생략하였다. 아래 [그림 2-47]은 Mock-up실험 전경이다. 실험 당일 평균기온은 35℃이었고, 콘크리트온도는 30~32℃이었다.[표 2-5]의 모든 평가항목에 대해서 IBST가 참관 및 직접 참여하여 결과를 도출하였고 본실험을 바탕으로 본 과제의 목표항목에 대한 공인시험 성적서를 발행하였다.

① 3시간 유지성능 결과

베트남에서 콘크리트의 3시간 동안 물성 확보는 매우 중요하다. 베트남의 교통 상황과 특수성으로 인해 콘크리트의 초기 특성이 최소 3시간까지 확보되어야만 하는 것이다. [표 2-27]와 [그림 2-48]은 본 개발제품인 PFR3000과 BASF-161, 3019의 배합별 결과를 보여준다. PFR3000은 두 배합 모두 사전 B/P테스트 결과와 동일한 결과를 얻었다. BASF-161이나

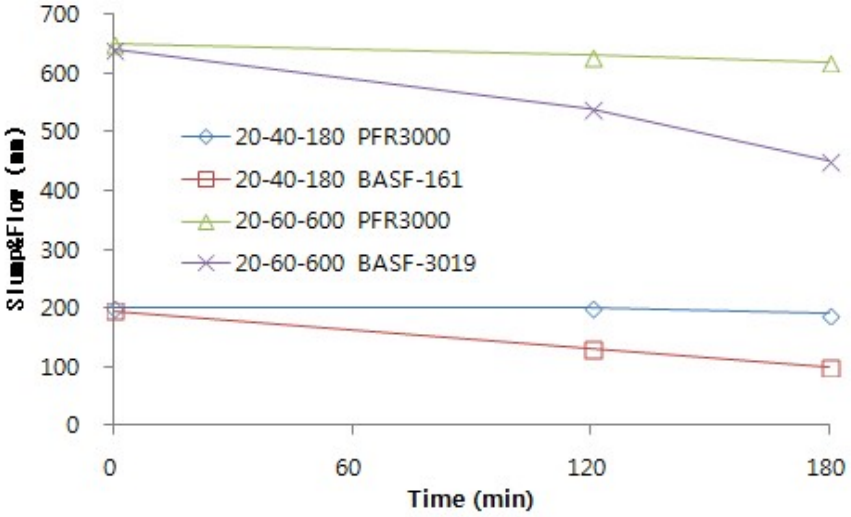
BASF-3019에 비해 3시간 유지성능과 콘크리트 품질이 우수하였다.



[그림 2-47] Mock-up실험 전경

[표 2-27] 3시간 유동성 결과

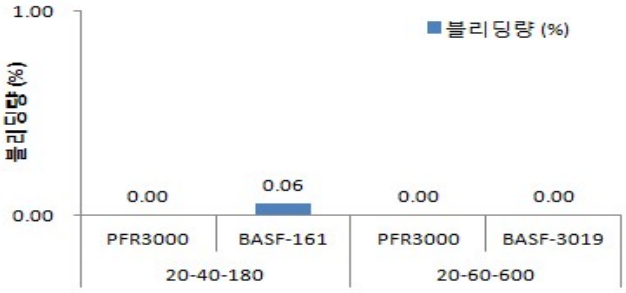
배합	제품명	0min	60min	120min	180min
20-40-180	PFR3000	200	-	200	190
	BASF-161	195	-	130	100
20-60-600	PFR3000	650	-	630	620
	BASF-3019	640	-	540	450



[그림 2-48] Mock-up실험 결과 (3시간 유지성능)

② 블리딩 특성

콘크리트의 블리딩은 콘크리트 내부의 잉여수가 상부표면으로 떠오르는 현상을 일컫는다. 이로 인해 침하균열이나 표면 박리현상 등을 야기할 수 있어 블리딩의 제어는 매우 중요하다. [그림 2-49]는 콘크리트 배합 [20-40-180]과 [20-60-600]에서의 본 개발제품과 B社의 제품 간의 블리딩 특성을 나타낸다. 콘크리트 배합 [20-60-600]에서 두 제품 모두 블리딩이 발생하지 않았으며, 콘크리트 배합 [20-40-180]에서 BASF-161만이 0.06% 가량의 블리딩이 발생하였다. 따라서 본 개발제품인 PFR3000이 BASF-161에 비해 블리딩 저항성이 있음을 알 수 있다.



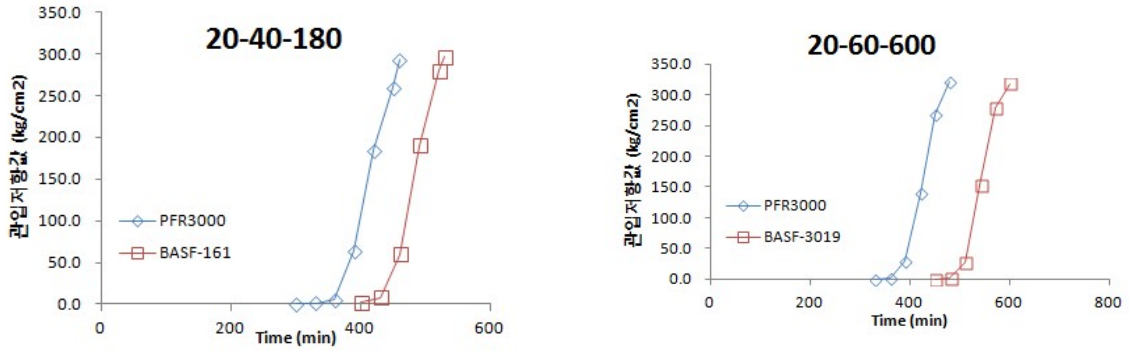
[그림 2-49] Mock-up 실험 결과 (블리딩 특성)

③ 응결 특성 (초결, 종결)

콘크리트의 응결 특성은 응결 이후에 발생하는 압축강도에 큰 영향을 끼친다. 특히 콘크리트 타설 이후 탈형 시기를 결정하는 중요한 요소이며 압축강도에도 중요한 영향을 끼친다. [그림 2-50]은 콘크리트 응결 특성을 보여준다. 일반강도 [20-40-180]의 경우 PFR3000이 BASF-161 대비 초결 및 종결이 각각 55분씩 단축되었다. 또한 고강도 [20-60-600]의 경우에는 PFR3000이 BASF-3019 대비 초결 및 종결이 각각 120분 및 115분 단축되어 PFR3000이 BASF 제품 대비 수화특성이 우수함을 확인하였다.

다만 [표 2-28]의 응결시간 단축률 계산식에 준하여 응결시간 단축률 산출이 곤란했는데

이는 극서환경에서 Plain 콘크리트의 응결시간을 정의할 수 없기 때문이다. 극서환경에서 Plain 콘크리트는 급격한 슬럼프 손실로 인해 1시간이 되기도 전에 유동성을 상실하기 때문에 동등 조건에서 응결시간을 측정할 수 없기 때문이다. 따라서 응결 특성에 가장 큰 영향을 받는 1일 압축강도 증진율을 달성률 계산에 활용하였다 [표 2-29]. 응결 특성을 측정하는 본질적인 이유를 고려해보면 거푸집 탈형 시기를 좌우하는 초기강도발현의 점검이라는 목적성이 있기 때문이다. 또한 현재수준의 응결단축으로도 콘크리트 압축강도에 큰 영향을 줄 것으로 판단할 수 있으며 뒤에서 설명하겠지만 1일 강도뿐만 아니라 3, 7, 28일 압축강도 평가결과도 이에 부합함을 확인하였다.



초, 종결 시간차:55min, 55min　　초, 종결 시간차:120min, 115min

[그림 2-50] Mock-up 실험 결과 (응결 특성)

[표 2-28] 응결시간 단축률 계산식

응결시간 단축율 = $((T_c-T_p)-(T_{PFR}-T_p))/(T_c-T_p)*100$

T_c = control의 응결시간
T_p = plain의 응결시간
T_{PFR} = PFR3000의 응결시간

[표 2-29] 응결특성 (대기온도 : 35℃)

배합 규격	제품	응결특성 (min)		1일강도에 의한 달성율 계산 (%)			
		초결	종결	1일 압축강도	강도 증진율	달성율	평균 달성율
20-40-180	PFR3000	360	455	18.9	51	102	83%
	BASF-161	415	510	12.5			
	응결시간차	55	55	강도차: 6.4			
20-60-600	PFR3000	370	450	35.2	33	66	
	BASF-3019	490	565	26.5			
	응결시간차	120	115	강도차: 8.7			

※ 강도증진율 = $(S_{pfr3000}-S_{control})/S_{control}$ * 100 (S : 1일 압축강도)
달성율 (%) = 강도증진율/50 *100

④ 탈형 후 콘크리트 표면상태 평가 (육안평가)

본 평가는 과제의 목표항목에는 포함되지 않으나 응결특성과 관련되어 탈형 시점을 육안으로 평가하는 방법이다. 본 실험에서는 5MPa 달성 시점에 Mock-up부재를 탈형하여 콘크리트 표면의 마름 정도를 육안으로 평가하였다. [그림 2-51]는 콘크리트 배합별, 제품별 탈형 후 콘크리트 표면을 관찰한 사진이다. 결과적으로 2종 콘크리트 배합에 대해 본 개발 제품(PFR3000)과 B社 제품 모두 표면상태가 양호하였다. 상기 응결특성 결과로 보면 표면상태 차이가 관찰되어야 하지만 양생 시점에서 현지 대기온도가 37℃까지 상승하여 그 차이를 줄인 것으로 보인다.



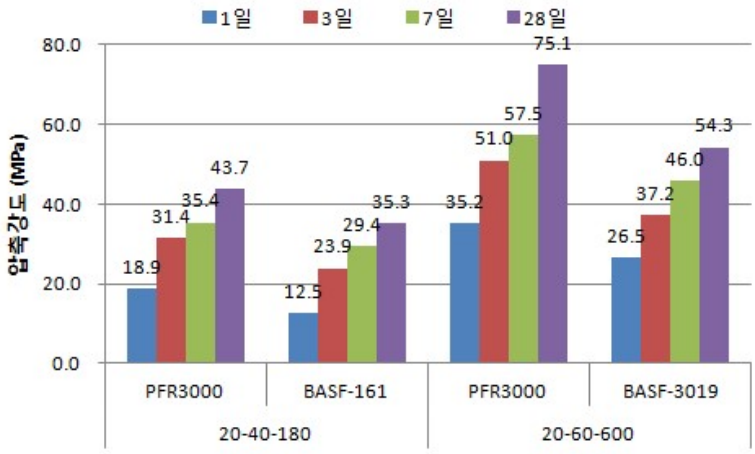
[그림 2-51] 탈형 후 콘크리트 표면 육안 검사

⑤ 압축강도

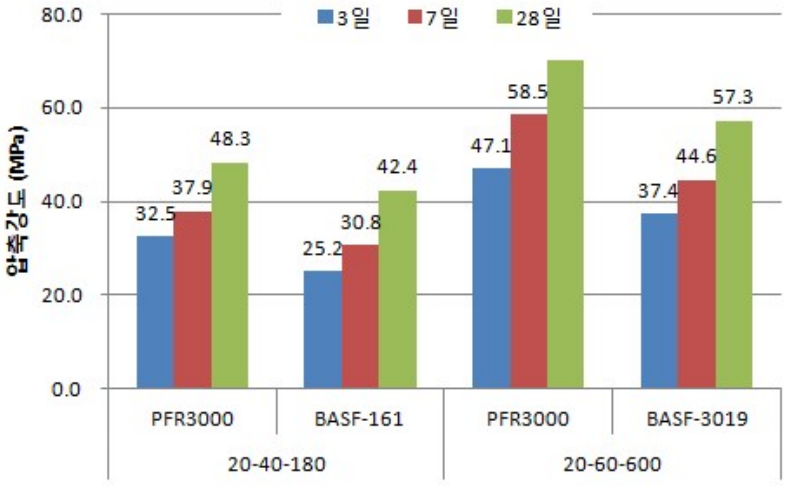
본 실험의 압축강도는 표준 양생 조건과 현장 양생 조건 각각에서 평가하였다. 표준 양생 조건에서는 3, 7, 28일 양생 조건에서 강도 측정하였으며, 현장 양생 조건의 경우 1, 3, 7, 28일 양생 조건에서 강도를 측정하였다. [그림 2-52]는 압축강도 측정 실험 사진이며 [그림 2-53]과 [그림 2-54]은 각각 현장 양생 조건과 표준 양생 조건에서 측정한 압축강도 결과이다. ③의 응결특성 결과와 일치하여 초결과 종결 시간이 단축된 본 개발제품인 PFR3000의 1일 강도가 더 높게 측정되었고 3, 7, 28일 강도 모두 B社 제품에 비해 우수하였다. 현장 양생 조건과 표준 양생 조건 모두 그 결과는 동일하였다.



[그림 2-52] 압축강도 시험 전경



[그림 2-53] 압축강도 결과 (현장 양생 조건)



[그림 2-54] 압축강도 결과 (표준 양생 조건)

⑥ 압축강도 (코어공시체)

Mock-up부재는 2일 후에 모두 탈형하였고 [그림 2-55]과 같이 7, 28일 코어공시체를 채취하여 강도를 측정하였다. [표 2-29]와 [표 2-30]은 각각 7일 , 28일 코어공시체의 압축강도 결과이다. 코어공시체의 압축강도에서도 본 개발제품인 PFR3000이 7일, 28일에 대한 모든 강도결과가 우수함을 알 수 있다. 결국 본 실험 결과는 현재수준의 응결시간 단축율로도 충분함을 의미하며 응결시간 단축율 목표가 과도했음을 보여준다.

[표 2-29] 코어공시체의 압축강도 (양생 7일)

배합	20-40-180						20-60-600					
샘플	PFR3000			BASF-161			PFR3000			BASF-3019		
위치	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
Diameter (mm)	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Height (mm)	181	183	186	187	185	182	184	183	185	180	184	186
Load, kN	270.1	276.0	280.6	253.9	224.5	226.6	408.4	410.9	391.2	335.3	355.1	336.6
압축강도 (MPa)	38.9	39.8	40.5	36.6	32.4	32.7	58.9	59.2	56.4	48.3	51.2	48.5
계수	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
환산 압축강도	45.2	46.2	46.9	42.5	37.5	37.9	68.3	68.7	65.4	56.1	59.4	56.3
환산평균 (MPa)	46.1			39.3			67.5			57.3		



[그림 2-55] 코어공시체 채취

[표 2-30] 코어공시체의 압축강도 (양생 28일)

배합	20-40-180						20-60-600					
샘플	PFR3000			BASF-161			PFR3000			BASF-3019		
위치	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
Diameter (mm)	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Height (mm)	184	182	186	183	184	185	184	183	186	184	183	187
Load, kN	346.2	378.0	369.9	331.9	301.3	291.3	480.2	483.6	528.3	425.5	432.0	401.1
압축강도 (MPa)	49.9	54.5	53.3	47.8	43.3	42.0	69.2	69.7	76.2	61.3	62.3	57.8
계수	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
환산 압축강도	57.9	63.2	61.9	55.5	50.4	48.7	80.3	80.9	88.4	71.2	72.2	67.1
환산평균 (MPa)	61			51.5			83.2			70.2		

(4) 소결

(가) 사전 B/P실험을 통해 3종의 콘크리트 배합에 대한 본 개발제품인 PFR3000의 3시간 유지성능과 압축강도를 평가하였고, 모든 배합에 대해 3시간 유지성능과 압축강도가 배합설계에 부합하였다.

(나) 베트남 현지에서의 Mock-up실험은 성신비나 공장에서 시험 콘크리트를 제조하였고 IBST에서 제공한 Mock-up부지에 부재설치 및 실험을 진행했다. 평가배합은 20-40-180과 20-60-600이며, 20-50-600의 저발열 배합은 차년도 진행할 시푸차 롯데몰 현장을 겨냥하여 진행한 실험으로 B社 제품과의 비교실험은 생략한다.

① 3시간 유지성능

[표 2-31]과 같이 PFR3000은 대기온도 35℃ 조건에서 초기부터 3시간까지 배합 규격에 모두 부합하였다. 따라서 목표항목인 3시간 유지성능을 달성한 것으로 볼 수 있다.

[표 2-31] 배합 규격에 따른 유동성 평가 (대기온도 : 35℃)

배합 규격		제품	Slump&Flow (㎜)			평가
			0분	120분	180분	
20-40-180	180±20	PFR3000	200	200	190	양호
		BASF-161	195	130	100	불량
20-60-600	600±100	PFR3000	650	630	620	양호
		BASF-3019	640	540	450	불량

② 블리딩 특성

[그림 2-49]와 같이 [20-60-600] 배합에서는 두 제품 모두 블리딩이 발생하지 않아 비교가 어려웠으며, [20-40-180] 배합에서 BASF-161의 경우 6%의 블리딩이 발생하였다. 따라서 비교제품에 비해 블리딩 저항성이 있음을 알 수 있으며 블리딩 특성의 목표를 달성한 것으로 볼 수 있다.

③ 응결 특성

[표 2-32]와 같이 PFR3000은 40MPa 배합에서 약 1시간, 그리고 60MPa 배합에서 2시간 가량의 응결시간 단축 효과를 보였다. 다만 극서환경의 Plain 콘크리트의 응결시간을 정의할 수 없었으므로 응결시간단축률 대신 1일 압축강도 증진율로 그 성능을 아래표와 같이 대체하였다.

[표 2-32] 응결특성 (대기온도 : 35℃)

배합 규격	제품	응결특성 (min)		1일강도에 의한 달성율 계산 (%)			
		초결	종결	1일 압축강도	강도 증진율	달성율	평균 달성율
20-40-180	PFR3000	360	455	18.9	51	102	83%
	BASF-161	415	510	12.5			
	응결시간차	55	55	강도차: 6.4			
20-60-600	PFR3000	370	450	35.2	33	66	
	BASF-3019	490	565	26.5			
	응결시간차	120	115	강도차: 8.7			

※ 강도증진율 = $(S_{pfr3000}-S_{control})/S_{control}$ * 100 (S : 1일 압축강도)
달성율 (%) = 강도증진율/50 *100

④ 탈형 후 콘크리트 표면상태 평가 (육안평가)

[그림 2-51]와 같이 40, 60MPa 콘크리트 배합에서 5MPa 도달 후 PFR3000의 콘크리트 표면상태를 육안평가하였고 두 콘크리트 배합에 대해서 두 제품 모두 양호한 표면 상태를 보였다.

⑤ 압축강도 (3, 7, 28일)

압축강도는 표준 양생 조건과 현장 양생 조건에서 각각 평가하였다. ③의 응결특성 결과와 일치하여 초결과 종결 시간이 단축된 본 개발제품인 PFR3000의 1일 강도가 더 높게 측정되었고 3, 7, 28일 강도 모두 B社 제품에 비해 우수하였다. 현장 양생 조건과 표준 양생 조건 모두 그 결과는 동일하였다. 결국 본 과제의 강도목표인 3, 7, 28일 양생조건에서 100% 이상을 달성하였다.

⑥ 코어공시체 압축강도 (7일, 28일)

코어공시체의 압축강도 측정은 ⑤ 압축강도의 보조지표로써 활용하고자 측정하였다. 코어공시체의 압축강도 실험에서도 본 개발제품인 PFR3000이 비교제품에 비해 압축강도가 우수하였다.

아. PFR3000의 펌프압송성 평가 (기흥 힉스 첨단산업단지)

동남아 및 중동지역은 35℃를 넘는 고온의 날씨와 열악한 인프라 환경으로 인해 콘크리트 생산에서 타설까지 2-3시간이 소요됨에 따라 콘크리트 혼화제로서 지연제의 사용이 보편화 되어 있다. 그러나 지연제 사용에 따른 콘크리트 응결 및 조기강도 발현 지연으로 인해 품질 및 공기지연 문제가 발생할 수 있으므로 포스페이트 도입 혼화제 (PFR3000)를 사용한 초유지 콘크리트를 개발하여 압송 전후의 물성 및 펌프 압송 시 배관 압력 계측을 통해 시공성 및 펌프 압송성을 평가하였다.

(1) 현장평가 계획

극서환경에서 3시간 유지성능을 갖는 초유지 콘크리트의 압송성 평가를 위해 [그림 2-56]의 롯데건설 기흥 힉스 도시첨단사업단지 신축현장에서 2018년 8월 18일에 [표 2-31]과 같이 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 경화 전후의 물성 및 펌프 압송 시 배관 압력을 비교 · 평가하였다.



[그림 2-56] 펌프 압송성 평가를 위한 기흥 힉스현장(10층 타설) 및 압송 장비(포터블 몰리)

[표 2-31] 콘크리트 물성 및 압송성 평가 개요

실험 변수	평가 항목		압송 조건
혼화제	콘크리트 물성	펌프 압송성	
A: 고성능 AE감수제	■ 응결 특성 (초결, 종결) ■ 슬럼프 (즉시, 1, 2, 3시간, 압송전후) ■ 블리딩 (압송 전, 압송 후) ■ 초기강도 (12~24시간)	■ 배관 직경 : Φ5 “ ■ 배관 길이 : 수평관 25m, 수직관 45m ■ 압력 계측 개소/위치 - 수평 2개, 3/15m from 몰리 - 수직 1개, 27m from 몰리	외기온 : 32℃ 타설 높이 10층 포터블 몰리 CPB 타설
B: PFR3000			

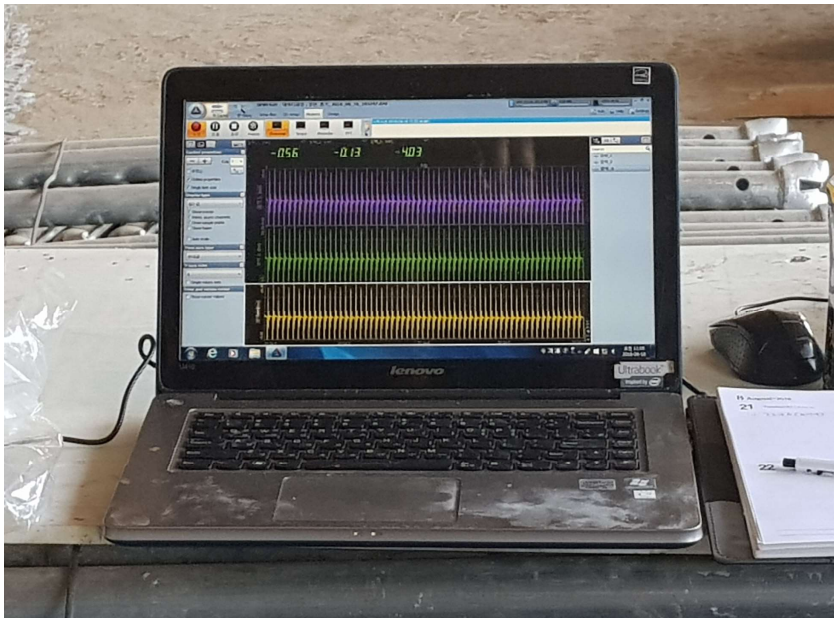
일반 콘크리트는 혼화제로 고성능AE감수제를, 초유지 콘크리트는 개발 혼화제인 포스페이트 도입 혼화제(PFR3000)를 사용하였다.

콘크리트의 물성 평가를 위해 초결 및 종결 시간, 슬럼프 경시변화, 압송 전후의 블리딩량, 24시간까지의 초기강도 발현 특성을 확인하였다. 펌프 압송성 평가를 위해 [그림 2-57]과 같이 몰리로부터 3m와 15m의 수평배관과 몰리로부터 27m의 L형 곡관 상부의 수직배관에 압력 게이지를 설치하였으며, [그림 2-58]과 같이 데이터 로거 및 컴퓨터로 배관 내 압력값을 모니터링 및 기록하였다.



(a) 수평 배관 2개소 (b) 수직 배관 1개소

[그림 2-57] 펌프 압송성 평가를 위한 압력게이지 설치



[그림 2-58] 펌프 압송 시 배관 내 압력 측정

평가 대상 콘크리트는 현장에 적용 중인 25-30-150규격으로서 시방배합은 [표 2-32]와 같으며, 초유지 콘크리트는 일반 콘크리트에서 혼화제만 변경하여 적용하였다.

[표 2-32] 콘크리트 배합표 (규격 25-30-150)

W/B(%)	S/a(%)	단위용적질량(kg/㎥)							혼화제 (×B%)
		W	OPC	SP	FA	S1	S2	G	
42.7	49.0	165	251	77	58	337	506	888	A(0.8) / B(0.8)

(2) 콘크리트 물성

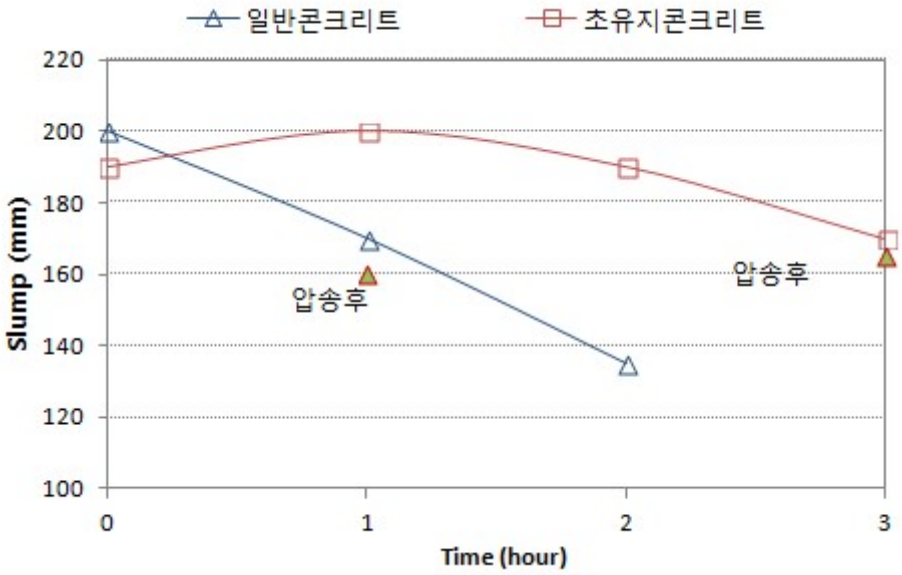
(가) 압송 전후의 슬럼프

콘크리트의 슬럼프 유지성능 평가는 레미콘 공장에서 생산 직후 슬럼프를 측정한 후, [그림 2-59]와 같이 현장에 도착한 트럭 믹서를 대기시킨 상태에서 1시간 간격으로 샘플링한 콘크리트로 슬럼프를 측정하였다. 압송 후 콘크리트의 슬럼프의 경우, 일반 콘크리트는 레미콘 생산 후 1시간 후에 압송을 실시하여 토출된 콘크리트의 슬럼프를 측정하였으며, 초유지 콘크리트는 3시간 후 압송된 콘크리트로 슬럼프를 측정하였다. [그림 2-60]과 같이 일반 콘크리트는 초기 200㎜의 슬럼프에서 경시에 따른 슬럼프 로스가 급격히 진행되어 1시간에는 슬럼프 170㎜로서 품질기준(150±25㎜)을 만족하지만 2시간 후에는 품질기준을 하회하는 것으로 나타났다. 초유지 콘크리트는 초기 190㎜의 슬럼프가 1시간에는 200㎜로 약간 상승한 후 2시간에 190㎜, 3시간에 170㎜로서 목표 슬럼프 유지시간인 3시간에 품질기준을 만족하였다. 일반 콘크리트는 2시간에 슬럼프 로스가 초기값에서 약 32% 발생하였지만, 초유지 콘크리트는 3시간에 초기값에서 약 10% 슬럼프 로스가 발생하여 안정적인 현장 품질관리가 가능할 것으로 판단된다.

압송 후 슬럼프는 일반콘크리트와 초유지 콘크리트 모두 압송 전과 유사하여 그 차이는 약 10㎜ 감소한 수준이었다. 즉 두 시료 모두 압송에 의한 급격한 슬럼프 손실은 없었다.



[그림 2-59] 슬럼프 유지성능 평가를 위한 트럭믹서 대기 전경



[그림 2-60] 일반 및 초유지 콘크리트 경시변화 및 압송후 슬럼프



[그림 2-61] 일반 콘크리트 압송 전 슬럼프 (1시간 경시, 슬럼프 170㎜)



(a) 2시간 경시, 슬럼프 190㎜



(b) 3시간 경시, 슬럼프 170㎜

[그림 2-62] 초유지 콘크리트 압송 전 슬럼프



일반콘크리트 (1h, 슬럼프 160㎜)



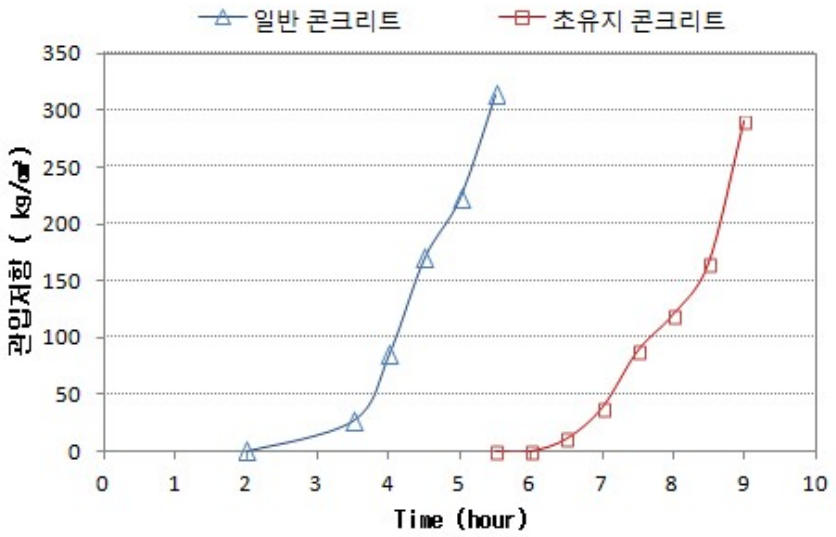
초유지콘크리트 (3h, 슬럼프 165㎜)

[그림 2-63] 압송 후 슬럼프

(나) 응결 특성

콘크리트의 응결 특성 평가를 위해 레미콘 생산 직후 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트를 샘플링한 시료에 대하여 KS F 2436의 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법에 따라 초결 및 종결 시간을 평가하였다.

[그림 2-64]은 경과 시간별 관입저항 측정값으로서 초결은 일반콘크리트가 3.5시간, 초유지 콘크리트가 7시간에 발생하였으며, 종결은 일반콘크리트가 5.5시간, 초유지 콘크리트가 9시간에 이루어 졌다. 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 응결시간 차이는 약 3시간 차이가 났다. 이러한 차이는 초유지 콘크리트의 3시간 이상의 작업성 확보에 기인하는 것으로 판단된다.



[그림 2-64] 일반콘크리트 및 초유지콘크리트의 응결특성

(다) 블리딩량

블리딩은 KS F 2414의 콘크리트의 블리딩 시험방법에 의거 [그림 2-65]과 같이 현장 반입 직후와 압송 후 샘플링한 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트에 대해 총 블리딩량을 측정하였으며, 그 결과는 [표 2-33]와 같다.

총 블리딩량은 초유지 콘크리트가 일반 콘크리트 대비 약 60% 낮게 측정되었으며, 압송 후 블리딩 증감은 거의 없는 것으로 나타났다.



(a) 압송 전



(b) 압송 후

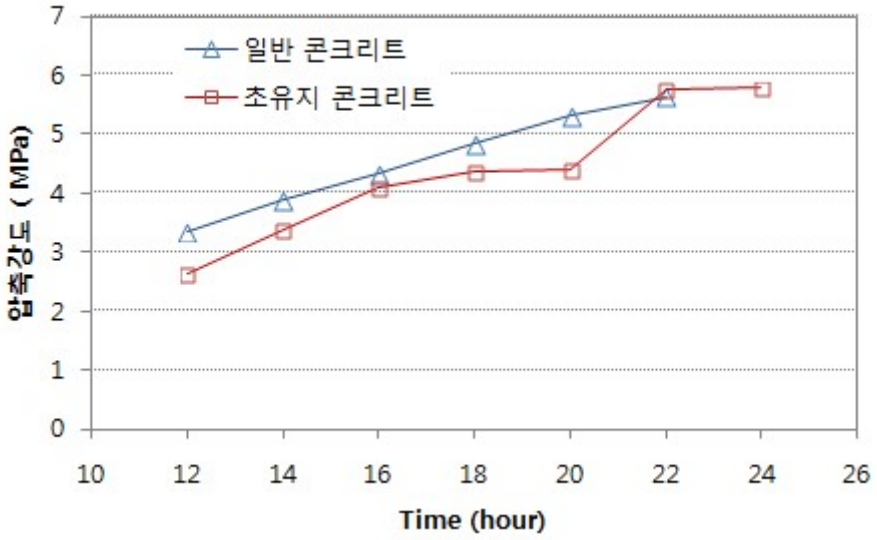
[그림 2-65] 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 압송 전후의 블리딩 측정

[표 2-33] 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 압송 전후의 블리딩량

콘크리트 Type	블리딩량 (㎤/㎤)	
	압송 전	압송 후
일반 콘크리트	0.03	0.03
초유지 콘크리트	0.01	0.01

(라) 압축강도

일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 초기강도 발현 특성 평가를 위해 생산 직후 Φ100 X 200㎜ 원주형 공시체를 제작하여 12시간 경과 시점부터 2시간 간격으로 압축강도를 측정하였으며, 압축강도 측정 결과는 [그림 2-66]과 같다.

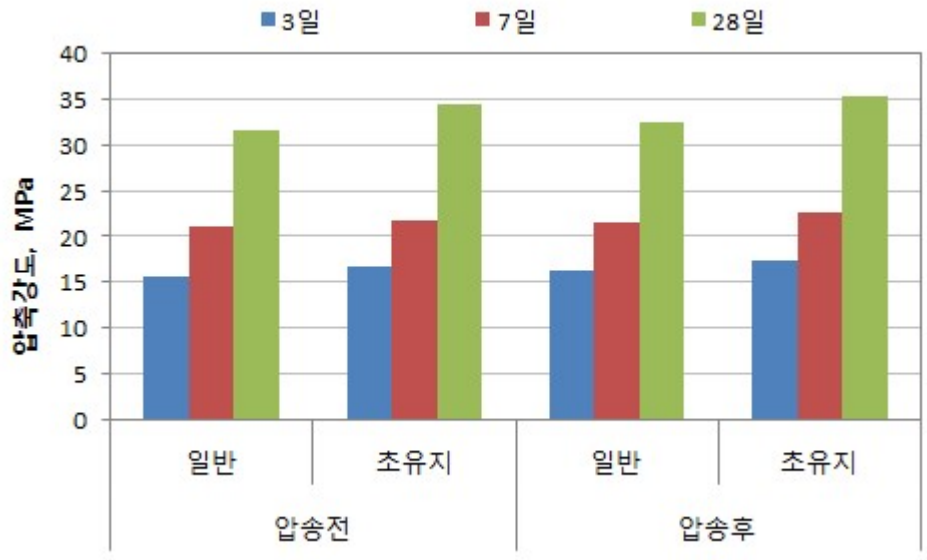


[그림 2-66] 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 초기 압축강도

초유지 콘크리트의 12시간 이후의 초기 압축강도는 일반 콘크리트 대비 지연된 응결시간으로 인해 약간 낮게 나타났지만 시간이 경과할수록 강도 차이를 줄여 콘크리트 생산 후 22시간에는 동등 이상의 압축강도를 발현하였다. 또한 초유지 콘크리트의 5MPa 발현은 약 21시간으로서 일반 콘크리트와 유사하게 나타나 거푸집 해체 지연에 따른 후속공정 영향은 없을 것으로 판단된다.

일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 압송 전후의 압축강도 평가를 위해 펌프 압송 전과 압송 후 콘크리트로 Φ100 X 200㎜ 원주형 공시체를 제작하여 재령 3일, 7일, 28일에 압축강도를 측정하였다.

[그림 2-67]은 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 압송 전후 재령 별 압축강도를 나타낸 것으로서 초유지 콘크리트는 모든 재령에서 일반 콘크리트의 압축강도 이상을 발현하였다. 압송 후 콘크리트의 압축강도가 압송 전에 비해 약 1MPa 내외로 높게 나타났는데 이는 높은 외기온에 의해 압송 중 콘크리트 내 수분 손실에 기인한 것으로 판단된다.



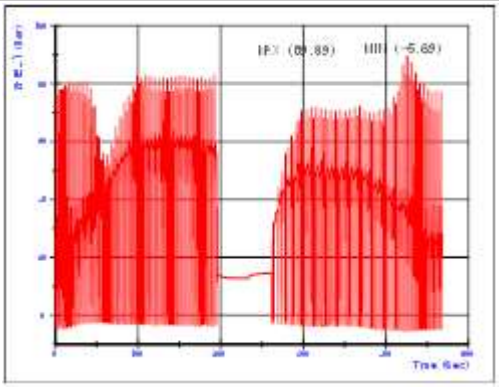
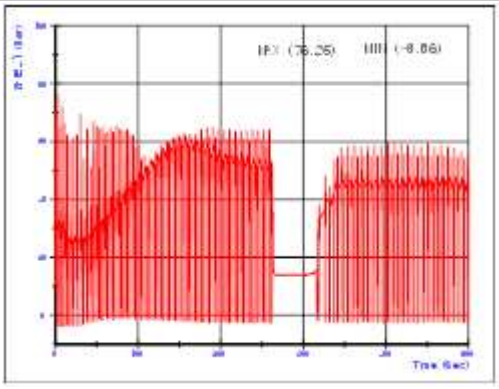
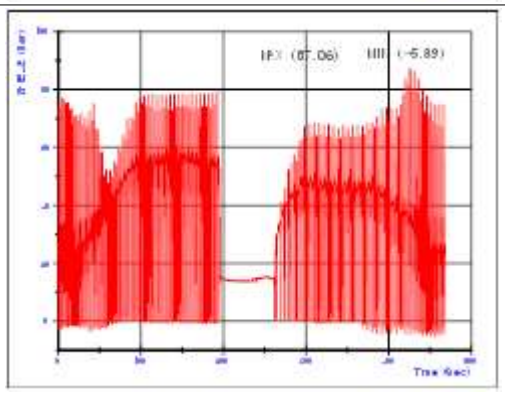
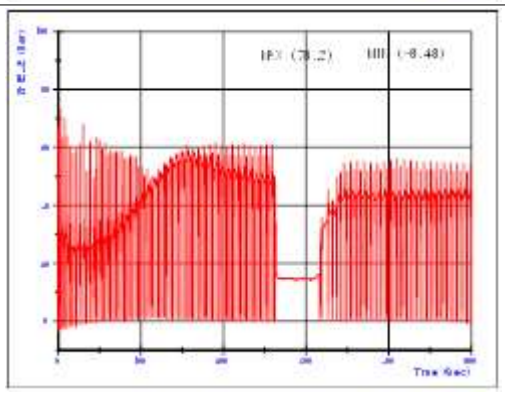
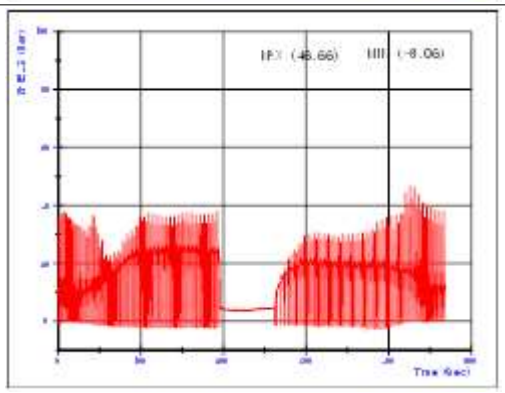
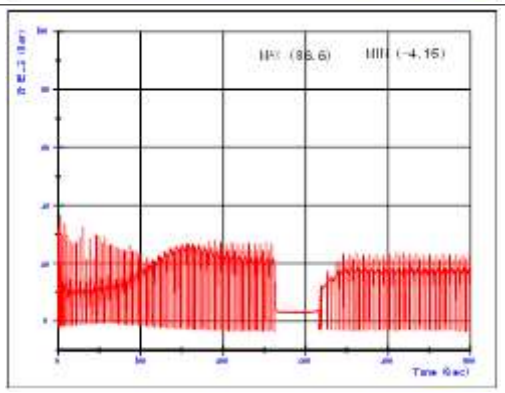
[그림 2-67] 압송 전후의 콘크리트 압축강도

(3) 펌프 압송성

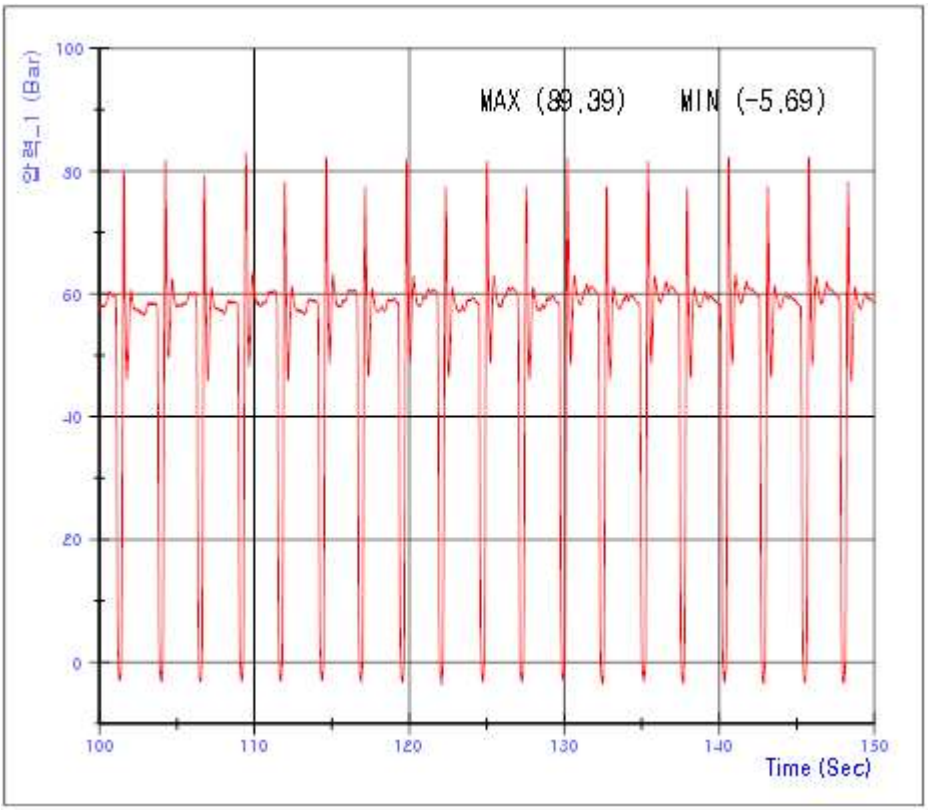
[표 2-34]은 일반 콘크리트와 초유지 콘크리트의 펌프 압송 시 위치별 배관 내 압력 계측값을 나타낸 것이다. 일반 콘크리트는 생산 후 1시간에, 초유지 콘크리트는 생산 후 3시간에 압송하였으며, 압송 직전 측정한 슬럼프 값은 170㎜로 동일하다. 압력 측정 위치는 수평관 1이 펌프로부터 3m, 수평관 2가 15m, 수직관 3이 27m 이격하여 위치한다.

[표 2-34]의 배관 압력 그래프에서 중간에 측정이 끊어진 구간은 압송 후 토출된 콘크리트 시료를 받을 때 발생한 것이며, 순간 최대 압력은 초유지 콘크리트가 일반 콘크리트 대비 약 10 bar 이상 낮게 나타났지만 평균값은 유사하였다. 이는 펌프 압송 시 3시간 경과한 초유지 콘크리트의 슬럼프 값과 1시간 경과한 일반콘크리트의 슬럼프값이 동일(유사한 워커빌리티)했기 때문으로, 초유지 콘크리트가 3시간 동안 목표한 워커빌리티를 확보할 경우 재료분리나 압송부하 증가 없이 콘크리트를 압송 시공할 수 있음을 확인하였다.

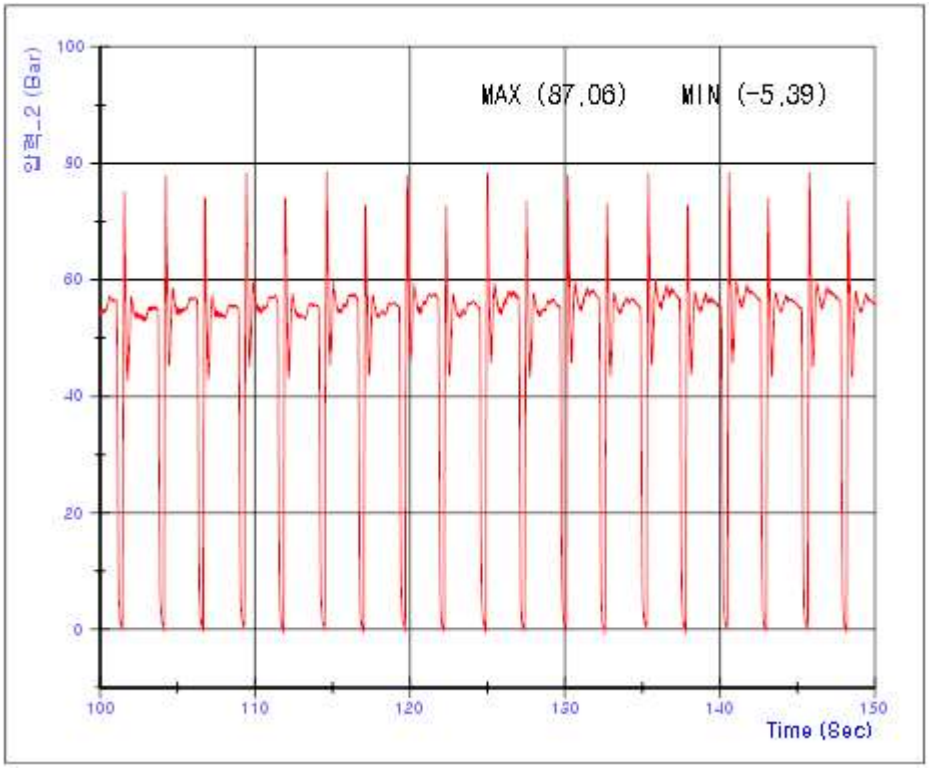
[표 2-34] 일반콘크리트와 초유지 콘크리트의 배관 위치별 압력 계측값

구분	일반 콘크리트	초유지 콘크리트
수평관 1		
수평관 2		
수직관 3		

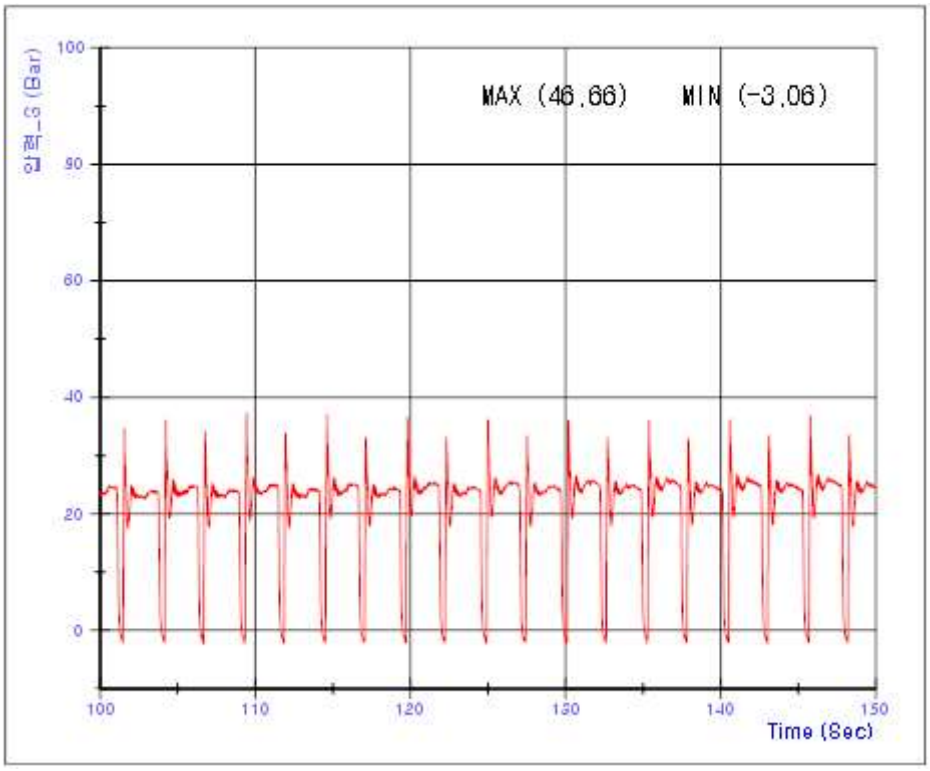
[그림 2-68]~[그림 2-70], [그림 2-71]~[그림 2-73]은 [표 2-17]의 일반콘크리트와 초유지 콘크리트의 계측 위치별 압력값의 일부를 나타낸 것으로서, 거리에 따른 압력손실은 유사한 수준으로 평가되었으나 초유지 콘크리트를 압송 시 배관 압력이 다소 낮게 측정되어 펌프 압송성은 양호한 것으로 판단된다.



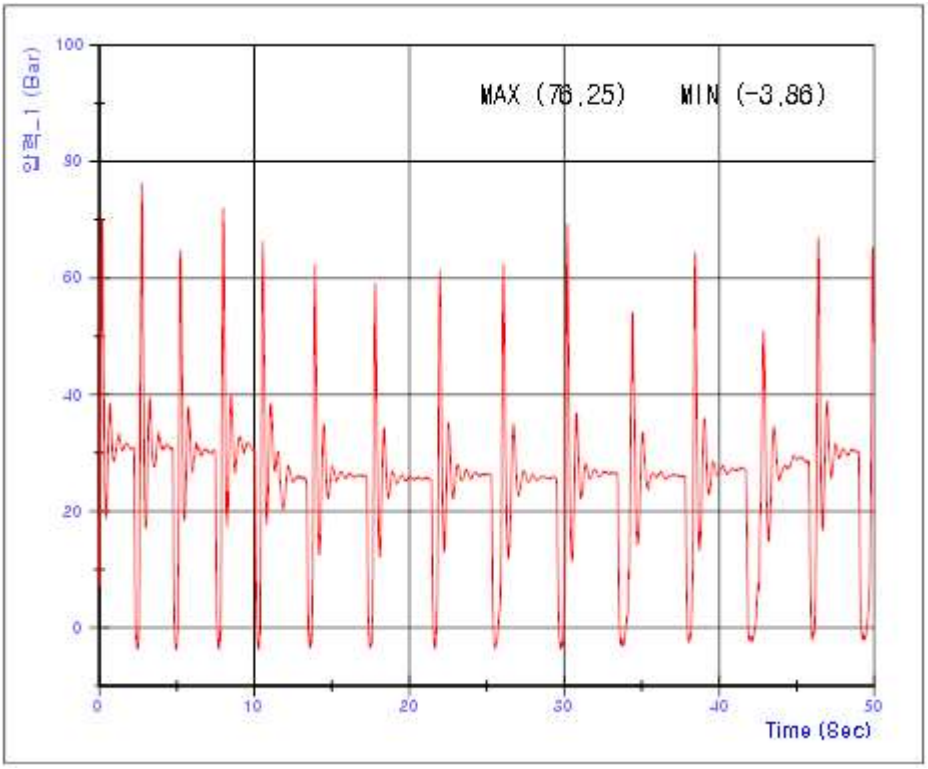
[그림 2-68] 일반 콘크리트 압송 시 수평관 1의 관내 압력값



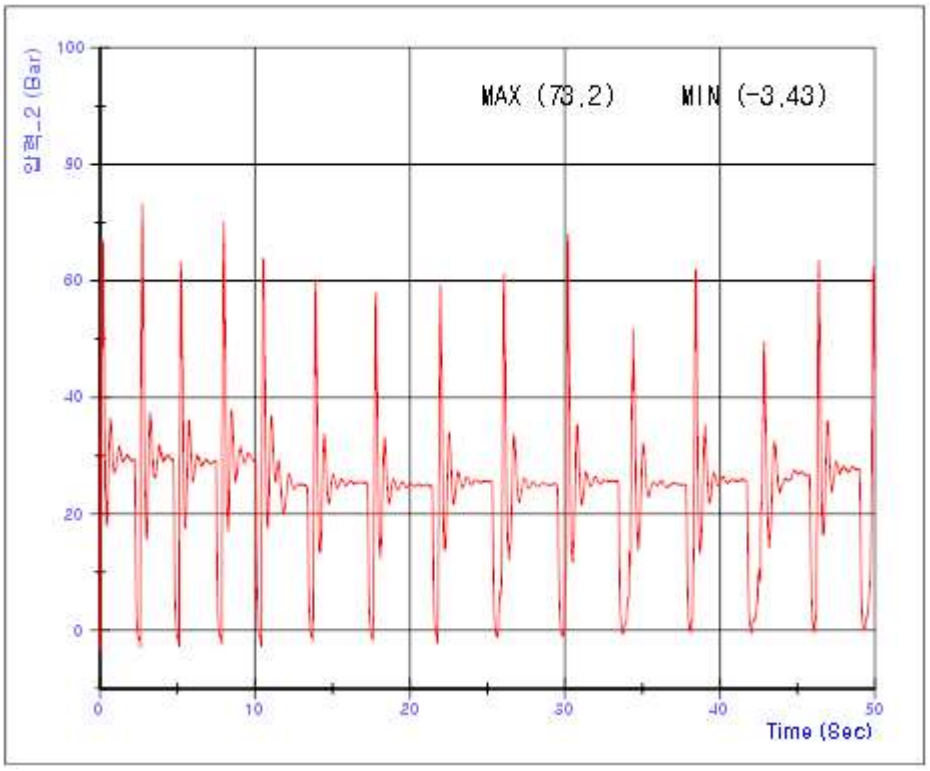
[그림 2-69] 일반 콘크리트 압송 시 수평관 2의 관내 압력값



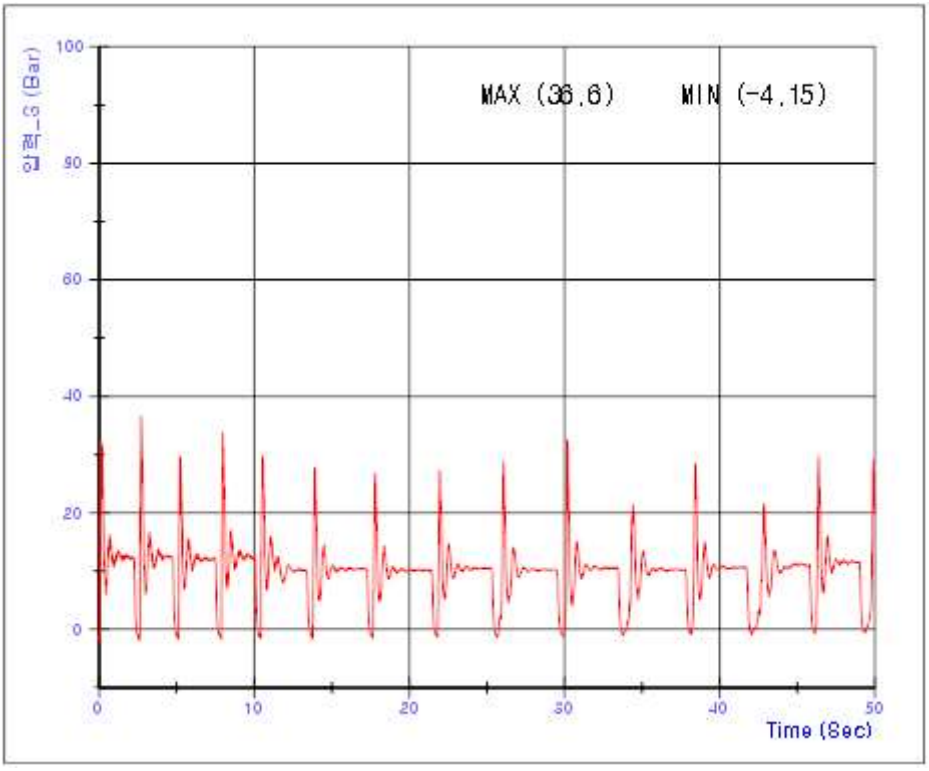
[그림 2-70] 일반 콘크리트 압송 시 수직관 3의 관내 압력값



[그림 2-71] 초유지 콘크리트 압송 시 수평관 1의 관내 압력값



[그림 2-72] 초유지 콘크리트 압송 시 수평관 2의 관내 압력값



[그림 2-73] 초유지 콘크리트 압송 시 수직관 3의 관내 압력값

(4) 소결

본 장에서는 포스페이트를 도입 혼화제를 사용한 초유지 콘크리트의 물성과 현장 펌프 압송성을 일반 콘크리트와 비교 · 평가하였다.

(가) 초유지콘크리트는 일반콘크리트 대비 뛰어난 유지성능에도 동등 수준의 조기강도 발현과 블리딩 저감 성능을 나타냈으며, 3시간 경시 콘크리트의 펌프 압송성이 일반 콘크리트의 1시간 경시 콘크리트와 유사하게 평가되어 극서환경에서 양호한 시공성 및 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

(나) 초유지 콘크리트와 일반 콘크리트의 펌프 압송에 따른 압력손실은 유사한 수준으로 평가되었으나 초유지 콘크리트를 압송 시 배관 압력이 다소 낮게 측정되어 펌프 압송성은 양호한 것으로 판단된다.

(다) 콘크리트 펌프 압송성 평가를 통해 초유지 콘크리트가 3시간 동안 목표한 워커빌리티를 확보할 경우 재료분리나 압송부하 증가 없이 콘크리트를 원활하게 압송 시공할 수 있을 것으로 판단된다.

자. 극서환경혼화제 (PFR3000)가 도입된 콘크리트의 현장적용

(1) 개요

1, 2차년도 다수의 실험결과를 기반으로 극서환경혼화제 (PFR3000)의 현장 적용을 위한 성능검증을 실시하였으며, 3차년도의 주요목표인 현장적용 3건을 달성하기 위해 롯데건설과 SUNGSHIN VINA의 협조를 받아 [표 2-35]와 같이 총 6건의 현장을 확보하고 현장적용을 추진하였다. 현재까지 6건 중 3건의 현장적용을 성공하였고 세부내용은 다음절에 기술하겠다.

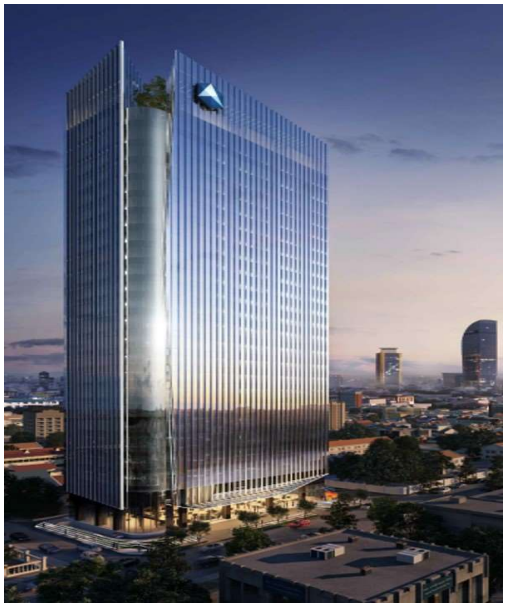
[표 2-35] 추진 현장 개요

구분	현장명	현장 위치	적용유무	비고
1	사타파나뱅크 현장	캄보디아 프놈펜	○	-
2	롯데몰 하노이 현장	베트남 하노이	×	공사지연
3	Vincity 현장	베트남 하노이	×	현장 내 자체 B/P 가동
4	Park City 현장	베트남 하노이	○	-
5	An Sinh병원 현장	베트남 하노이	○	-
6	HaiDang City 현장	베트남 하노이	×	공사지연

(2) 사타파나뱅크 현장

(가) 현장개요

[그림 2-74]은 본 연구에서 개발된 극서중 콘크리트가 적용된 캄보디아 사타파나 뱅크에 대한 현장 개요이다.



공 사 명	SATHAPANA TOWER
위 치	캄보디아 프놈펜(수도) CBD지역 Phum14, Street 172-41-174, Phnom Penh, Cambodia
발 주 처	MARUHAN CAMBODIA CORPORATION
규모 및 용도	지하4층 ~ 지상19층(H : 108m), 은행 본점 및 오피스
대지 면적	2,104 m^2 (636 평)
건축 면적	1,166 m^2 (352 평)
연 면 적	35,131 m^2 (10,628평)
공사 기간	28개월 (2018. 05. 07 ~ 2020. 08. 22, 연장기간(47일) 포함)

[그림 2-74] 현장 조감도 및 개요

(나) 적용배합 및 B/P테스트 결과

현장에 사용된 콘크리트의 배합은 [표 2-36]과 같으며, 기초, 수평부재, 수직부재로 구분하여 각각 표기하였다.

[표 2-36] 사타파나 콘크리트 배합

구분	규격	W/B (%)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m³)	단위중량 (kg/m³)						고성능 감수제 (B×%)	비고
					C[1]	Bfs[2]	FA[3]	S1[4]	S2[4]	G		
기초	C40(M)	38.8	46.0	155	240	-	160	-	843	988	0.9	FA40%
수평	C40	40.0	46.0	160	340	-	60	-	852	999	1.0	FA15%
수직	C50	36.4	45.5	160	366	-	65	-	834	997	1.0	FA15%

[1] C (Ordinary Portland Cement) : 1종 보통포틀랜드 시멘트
[2] Bfs (Blast Furnace Slag Poweder) : 고로슬래그 미분말 3종
[3] FA (Fly Ash) : 플라이애시 2종
[4] S1: 부순모레 S2: 세척사

실내실험을 통해 확정한 배합에 대하여 [그림 2-75]와 같이 B/P 테스트를 진행하였으며, 그 결과는 [표 2-37]과 같다. 굳지않은 콘크리트의 3시간 유지 성능을 확인 해본 결과 유지 성능에는 문제가 없었으며, 압축강도는 28일에 설계강도의 120% 이상 발현되었다.

[표 2-37] 굳지않은 콘크리트 물성 및 압축강도 시험결과

구분	굳지않은 콘크리트 물성				압축강도 (MPa)		
	슬럼프 (mm)				3일	7일	28일
	즉시	60분	120분	180분			
C40(M)	200	195	190	190	32.7	39.4	50.2
C40	195	200	195	190	35.2	43.4	56.7
C50	190	190	185	185	44.0	54.0	61.2



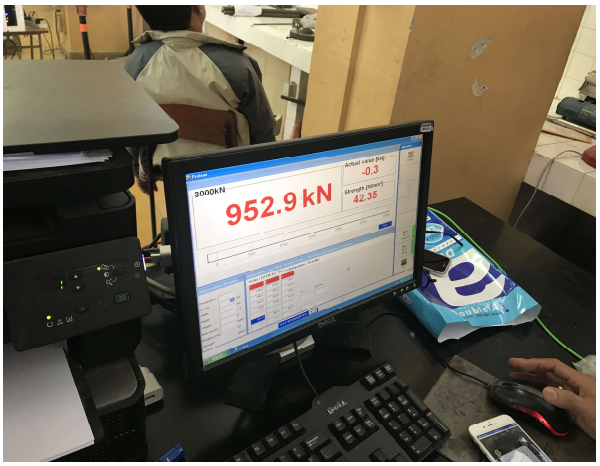
(a) BP 생산 전경



(b) 슬럼프 및 경시변화



(c) 공시체 제작

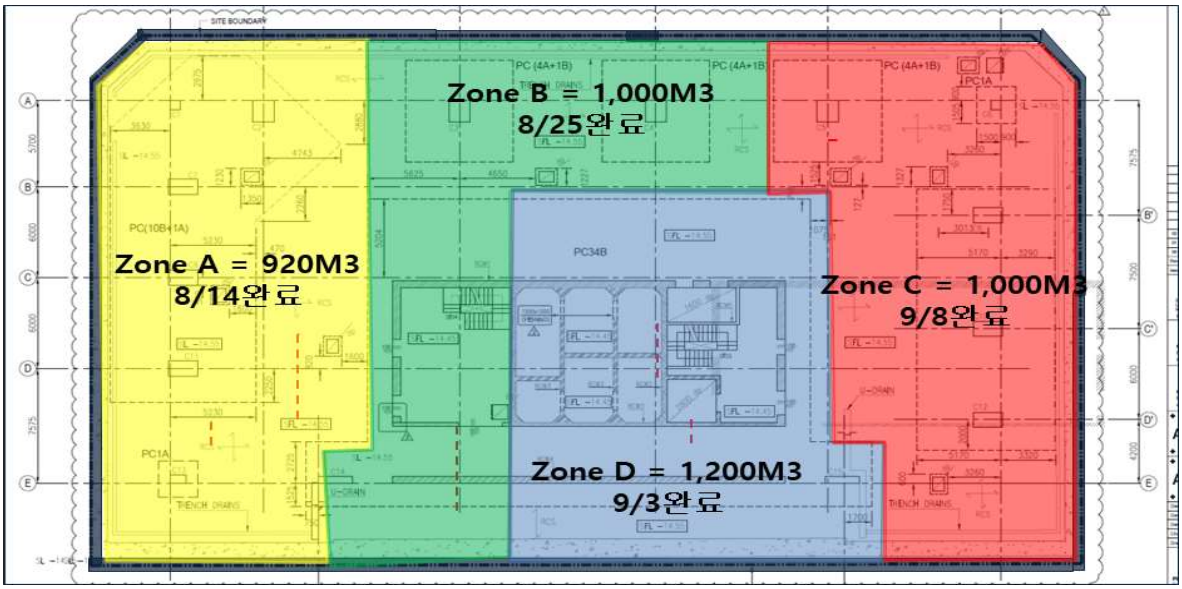


(d) 압축강도 측정

[그림 2-75] B/P테스트 사진

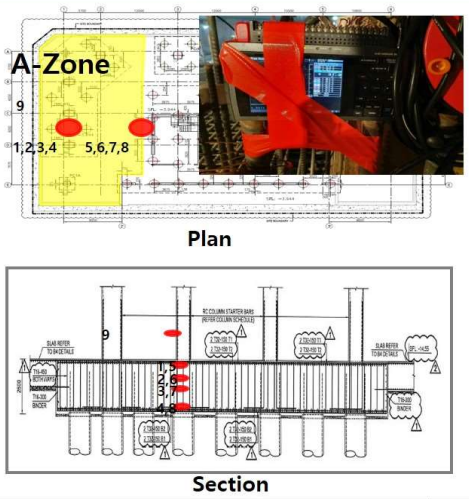
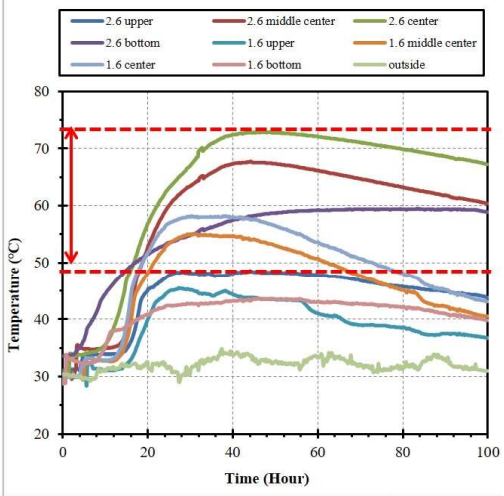
(다) 현장적용 (매트기초)

매트기초 타설은 현장 주변환경 및 레미콘 공급가능 범위를 고려하여 총 4개의 구획으로 타설을 진행하였고 그 범위는 [그림 2-76]과 같다.



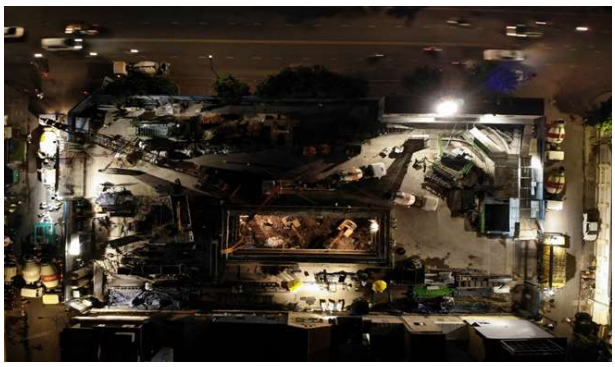
[그림 2-76] 매트기초 조닝 계획 및 타설량

[그림 2-77]은 매트기초의 수화열 변화를 나타낸 것이다. 매트두께 2.8m의 중심부 외부 온도 차이는 25℃ 이내로 관리가 되었으며, 유지시간 증가로 인한 매트기초 타설 시 콜드조인트 방지에도 효과가 있는 것으로 판단된다.

	Measuring position	Result
Hydration Temperature Result		

Maximum Temperature(℃)	THK 2.6m				THK 1.6 m				outside
	Top	2/3	Center	Bottom	Top	2/3	Center	Bottom	
	48.6	67.7	72.9	59.5	45.5	55.0	58.2	43.6	34.9

[그림 2-77] 수화열 계측 결과



(a) 매트기초 타설전경



(b) 매트기초 타설전경



(c) 매트기초 타설전경



(d) 수화열 측정 데이터 로거

[그림 2-78] 매트기초 타설

(3) Park City 현장

(가) 현장적용 개요

본 현장은 베트남 하노이 지역의 아파트 조성 현장으로 [그림 2-74]와 같이 2개동 각 29층 (지상 28층, 지하 1층) 규모의 현장이다. 총 콘크리트 물량은 80,000㎥이며 본 과제의 공동연구기관인 SUNGSHIN VINA가 총 물량의 절반인 40,000㎥를 타설할 계획이다.



구분	내용
현장명	Park Kiara
건물규모	2개동 각 29층 (지상28층, 지하 1층)
시공사	Ricons
공사규모	80,000㎥

[그림 2-74] Park City 현장조감도

(나) 적용배합 및 B/P 테스트

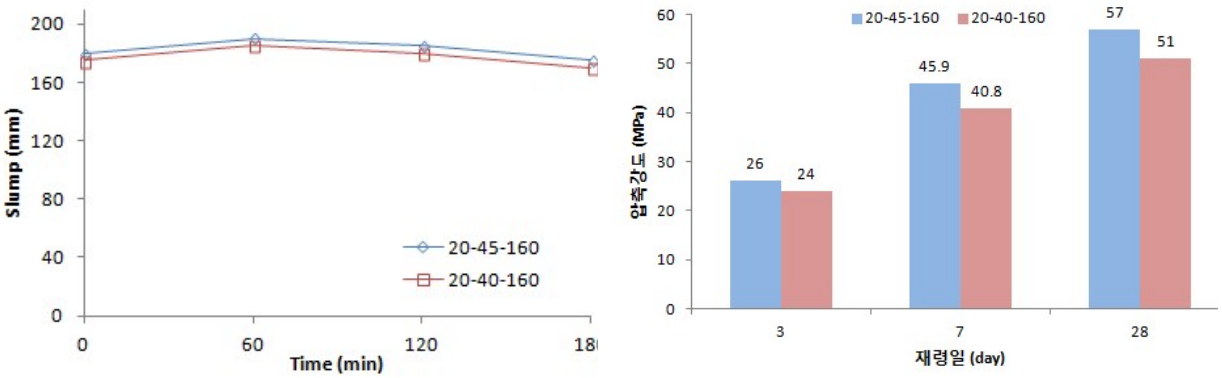
Park city 현장적용은 [표 2-38]과 같이 2종 콘크리트 배합을 적용하였고 보드파일용 배합이다. 먼저 사전 B/P 테스트를 진행하여 콘크리트 유동성 (3시간 유지성능)과 압축강도를 확인하였다.

[표 2-38] Parkcity 현장 콘크리트 배합

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위 수량 (kg/㎥)	단위중량 (kg/㎥)						고성능 감수제 (B×%)	비고
				C[1)]	Bfs	FA	S1	S2	G		
20-45-160	38	47	179	471	-	-	808	-	946	1.0	-
20-40-160	41	48	178	434	-	-	843	-	948	1.0	-

C (PCB40) : LONG SON
Bfs : 고로슬래그 미분말
FA (Fly Ash) : 플라이애시 2종
S1: 잔골재 (육사)
콘크리트온도 : 31℃

콘크리트 온도 31℃ 조건에서 [그림 2-75]와 같이 3시간 유지성능은 160±20에 부합하였으며, 압축강도 또한 설계목표에 부합하는 결과를 얻었다.



[그림 2-75] B/P 테스트 유동성 및 압축강도 결과



[그림 2-76] B/P 테스트 전경

(다) 현장적용

[그림 2-77]은 PARK CITY 현장의 보드파일 타설 전경이다. 이미 B/P 테스트 결과대로 타설 시 양호한 콘크리트 물성을 확인하였다. 현재 1,300㎥ 가량 타설이 진행되었다.








[그림 2-77] 보드파일 현장적용 테스트 전경

(4) An Sinh 병원 현장

(가) 현장개요

[그림 2-78]과 같이 An Sinh 병원현장은 지상 16층, 지하 2층 총 18층 규모로 콘크리트 물량은 20,000m^3 가량이다.



구분	내용
현장명	Benh Vien An Sinh
건물규모	총 18층 (지상16층, 지하 2층)
시공사	Unicons
공사규모	20,000m^3

[그림 2-78] An Sinh 병원 현장 조감도

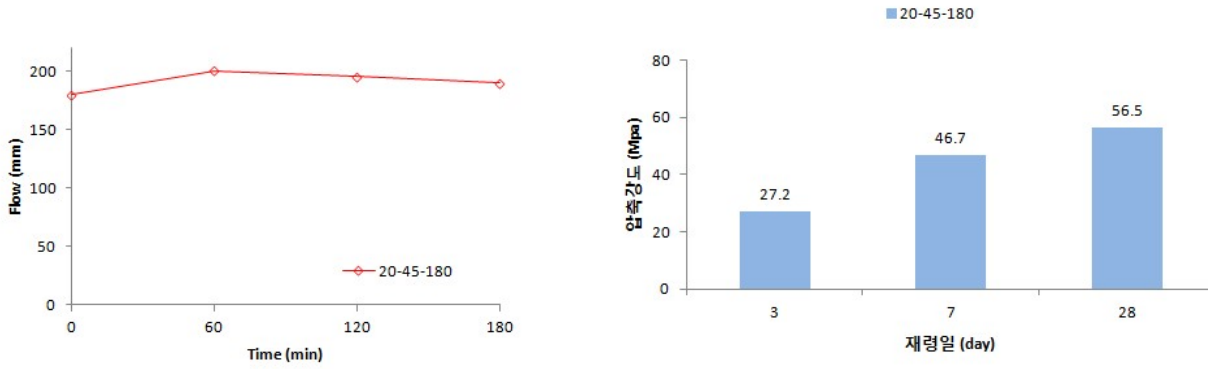
(나) 적용 배합 및 B/P 테스트

[표 2-39]와 같이 20-45-180 콘크리트 배합에 대해 B/P 테스트를 진행하였고 그 결과는 [그림 2-79]와 같다. 3시간 유지성능은 180±20 규격에 부합하였고, 압축강도도 설계강도에 부합하는 결과를 얻었다.

[표 2-39] An Sinh 병원 현장 콘크리트 배합

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m³)	단위중량 (kg/m³)						고성능 감수제 (B×%)	비고
				C[1)]	Bfs	FA	S1	S2	G		
20-45-180	37.4	46	179	479	-	-	787	-	959	1.0	-

C (PCB40) : LONG SON
Bfs : 고로슬래그
FA (Fly Ash) : 플라이애시 2종
S1: 잔골재 (육사)
콘크리트온도 : 32℃



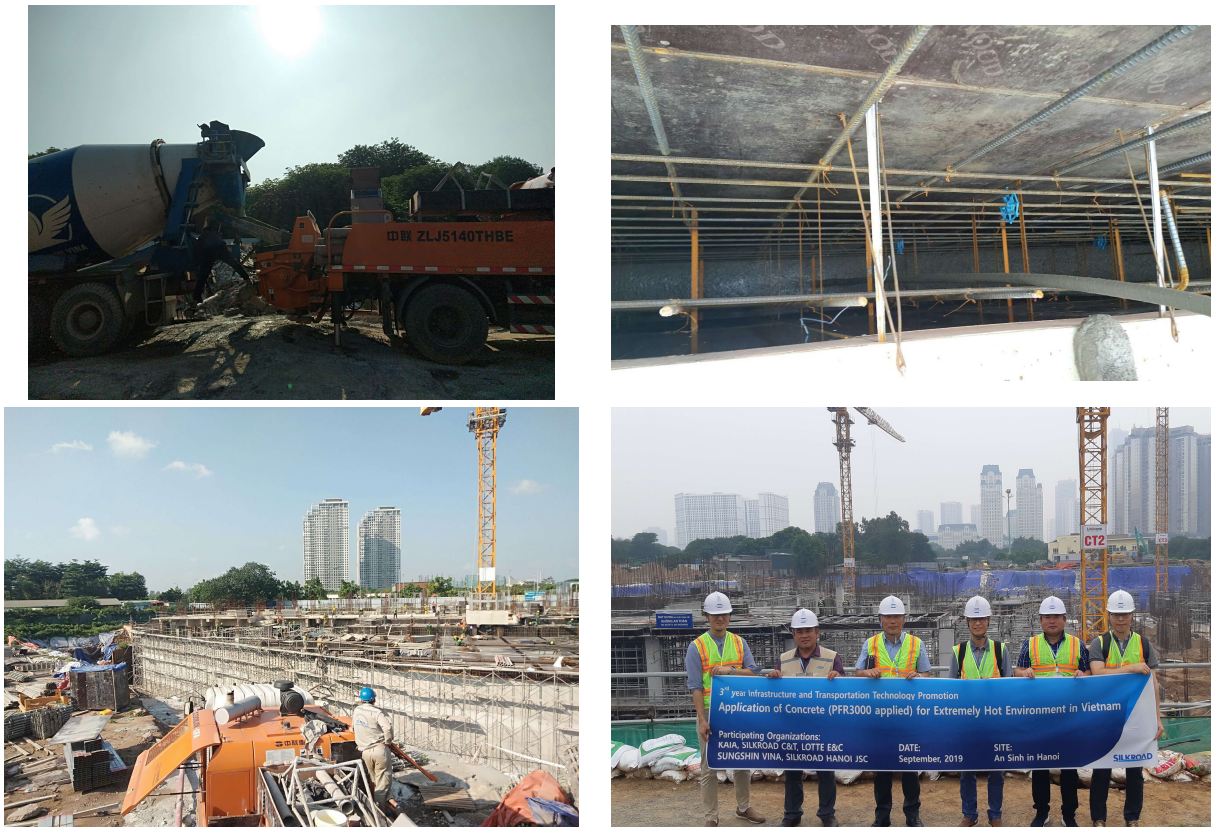
[그림 2-79] B/P 테스트 결과



[그림 2-80] B/P 테스트 전경

(다) 현장적용 (벽채구조)

An Sinh 병원 현장에서는 [그림 2-81]과 같이 벽체 구조에 적용되었다. B/P 테스트 결과대로 타설 시 양질의 콘크리트 물성을 발현하였다. 현재까지 700m³ 가량 타설되었고 추가적으로 타설 예정이다.



[그림 2-81] 현장적용 전경

(5) 소결

(가) 사타파나뱅크 현장적용은 메트부재에 적용하였다. B/P 테스트와 현장적용 시 굳지 않은 콘크리트 물성 (3시간 유지성능) 및 경화콘크리트 (압축강도) 특성 모두 양호하였다. 매트 기초에 총 4,100㎥의 콘크리트 타설을 완료하였으며, 추후 지하 및 지상 골조공사에 23,000㎥가 적용될 예정이다.

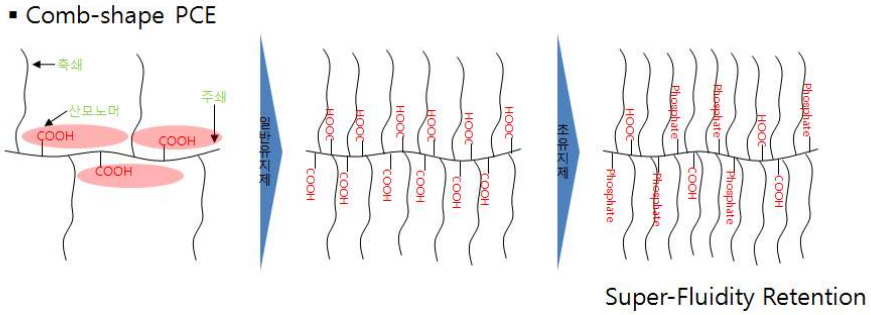
(나) Park city 현장적용은 보드파일에 적용하였다. B/P 테스트 및 현장적용 시 굳지않은 콘크리트 물성 (3시간 유지성능)과 경화콘크리트 (압축강도) 특성 모두 양호하였다. 현재 13,000㎥가 타설되었다.

(다) An Sinh 병원 현장적용은 벽체부분에 적용하였다. B/P 테스트 및 현장적용 시 굳지 않은 콘크리트 물성 (3시간 유지성능)과 경화콘크리트 (압축강도) 특성 모두 베트남 규격을 만족하였다. 현재 700㎥가 타설되었다.

차. 종합결론

(1) 포스페이트 도입 화학혼화제 합성기술 개발

(가) 포스페이트 도입 화학혼화제 제조기술의 핵심컨셉은 포스페이트 모노머를 혼화제와 일체화시킴으로써 경쟁흡착을 막고 콘크리트 안에서 서서히 가수분해되어 포스페이트가 시멘트의 응결을 지연시킴으로써 초유지 성능을 발휘하는 것이다.



[그림 2-5] 포스페이트 도입 화학혼화제

(나) 포스페이트 도입 화학혼화제 제조기술을 개발하기 위해 극서환경을 모사할 필요가 있었고, 아래의 [그림 2-8]과 같은 설비를 활용하여 콘크리트와 실험환경을 30℃ 이상으로 유지할 수 있었다. 또한 기준 제품인 BASF-161이 국내 시멘트에서 성능발현이 미흡하여 베트남産 시멘트를 성신비나로부터 확보하여 가능한 한 베트남 조건에 맞추어 실험하였다.



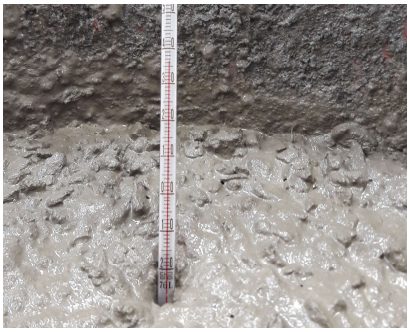
a) 골재 및 시멘트 40℃ 유지



b) 사용수 온도 40℃ 유지



c) 실험실 30℃ 이상 유지



d) 콘크리트 온도 (35℃)

[그림 2-8] 극서환경 모사조건 확립

(다) 포스페이트 모노머를 선정하기 위하여 10종의 포스페이트 도입 모노머 분자구조를 H社P에 의뢰하였고 최종적으로 3종 (#8~10)의 포스페이트 도입 모노머를 선정하였다. 선정된 3종의 포스페이트 도입 모노머 (PEA)와 VPEG, AM을 3성분계로 하는 미니탭의 혼합물설계법을 활용하여 최적 포뮬레이션을 도출하였다.

(라) 결과적으로 포스페이트 모노머 #8이 가장 좋은 성능을 발휘하여고 최종 포스페이트 모노머는 #8로 선정하였다. 이렇게 중합된 최적 시료는 PFR-7이었고, BASF-161 대비 분산력 100%, 유지력 110% 수준의 유동성을 발휘, 압축강도는 1일강도가 26% 향상되고 3, 7, 그리고 28일 강도에서 동등한 성능을 확보하였다. 또한 블리딩 특성은 BASF-161 (287mL) 대비 74mL로써 73% 블리딩 억제능력을 보였으며, 응결특성 은 BASF-161 대비 초결 170분 단축, 종결 150분 단축시켰다. 이로써 극서환경에서 3시간 유지성능을 발휘하는 포스페이트 도입 화학혼화제인 PFR3000 제조기술을 확보하였다. 이 최적 포뮬레이션은 PFR3000으로 명명하였다.

(2) 포스페이트 도입 화학혼화제 (PFR3000) 양산성 검증 (200kg 규모 Pilot)

(가) PEA (Phosphonooxy Ethyl Acrylate)의 양산성 검증은 H社가 보유한 150kg Pilot설비로 진행하였고, NMR분석을 통해 Lab시료와 Pilot시료를 검증하였다. 검증 결과는 아래의 표와 같이 Pilot품의 양산안정성이 있음을 알 수 있다.

검증 항목	NMR 분석결과	양산안정성
불포화기 잔존량 (%)	Lab시료 : 96.3% Pilot시료 : 98.0%	OK
EO 부가량 (mol)	Lab시료 : 4mol 부가 Pilot시료 : 4mol 부가	OK
포스페이트 도입량	Lab시료 : 정량적으로 도입됨 Pilot시료 : 정량적으로 도입됨	OK
종합 결론		**OK**

(나) PFR3000의 양산성 검증은 200kg 규모로 6회 실시하였고, Lab시료와 Pilot시료의 중합물성 비교와 콘크리트 유동성 비교를 통해 진행하였다. 중합물성은 [표 2-8]에서 보듯이 Lab시료와 Pilot시료가 거의 유사하여 양산안정성이 있음을 알 수 있다. 콘크리트 유동성 평가 또한 [표 2-8]에서 보듯이 Lab시료와 Pilot시료의 분산력과 유지력이 각각 100%로 동일했고, 표준편차는 분산력과 유지력 모두 2% 수준이었다. 또한 파일럿 1차에서 5차까지 혼합한 파일럿시료 (평균)에 대해서 블리딩 특성도 Lab시료와 거의 동등했으며 응결특성도 동등 성능을 확인하였다. 결과적으로 PEA를 적용하여 PFR3000을 중합하는 공정 역시 양산성이 있는 것으로 나타났다.

(3) 포스페이트 도입 화학혼화제 (PFR3000) 양산성 검증 (30톤 규모 양산설비)

(가) PEA (Phosphonooxy Ethyl Acrylate)의 양산성 검증은 H社가 보유한 2톤 양산 설비로 진행하였고, NMR분석을 통해 Pilot 시료와 양산 시료를 검증하였다. 검증 결과는 아래의 표와 같이 Pilot 품의 양산안정성이 있음을 알 수 있다.

검증 항목	NMR 분석결과	양산안정성
불포화기 잔존량 (%)	Pilot 시료 : 96.9% 시생산 시료 : 100.0%	OK
EO 부가량 (mol)	Pilot 시료 : 4mol 부가 시생산 시료 : 4mol 부가	OK
포스페이트 도입량	Pilot 시료 : 정량적으로 도입됨 시생산시료 : 정량적으로 도입됨	OK
종합 결론		**OK**

(나) PFR3000의 양산성 검증은 30톤 규모로 6회 실시하였고, Pilot 시료와 시생산 시료의 중합물성 비교와 콘크리트 유동성 비교를 통해 진행하였다. 중합물성은 [표 2-12]에서 보듯이 Pilot시료와 시생산 시료가 거의 유사하여 양산안정성이 있음을 알 수 있다. 콘크리트 유동성 평가 또한 [표 2-4]에서 보듯이 Pilot 시료와 시생산 시료의 분산력과 유지력이 각각 100%로 동일했고, 표준편차는 분산력과 유지력 각각 2%, 1% 수준이었다. 또한 파일럿 1차에서 6차까지 혼합한 파일럿시료 (평균)에 대해서 블리딩 특성도 Lab시료와 거의 동등했으며 응결특성도 동등 성능을 확인하였다. 결과적으로 PEA를 적용하여 PFR3000을 중합하는 공정 역시 양산성이 있는 것으로 나타났다.

(4) PFR3000 성능평가 (극서환경 모사조건)

사업화 연구과제를 통해 개발한 PFR3000의 성능과 현장의 펌프압송성 테스트를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 모르타르 비교실험을 통해 개발한 PFR3000은 기존 지연형 혼화제 (BASF-161)에 비해 유지성능 및 기타 역학적 특성에서 우수한 성능이 확인되었다.

(나) Mock-Up Test를 통해 굳지않은 콘크리트 물성 및 경화콘크리트(압축강도) 특성에서 PFR3000을 사용한 모든 시험체는 안정적인 유지성능, 강도발현 등을 확인할 수 있었다.

(다) 현장적용 펌프압송성 테스트는 롯데건설 **용인상미마을** 주택현장에서 배합실험 및 성능 평가 진행이 완료되었으며, 3시간 유지성능, 압축강도 발현성능, 압송전후 물성변동 (슬럼프, 블리딩) 등의 항목으로 PFR3000을 확인한 결과 현장적용에 문제가 없음을 확인할 수 있었으며, 균열이 없는 우수한 품질을 나타냈다.

(라) 실험결과를 토대로 PFR3000은 유지성능을 필요로 하는 극서환경에서 콘크리트용 혼화제로서 사용이 가능한 것으로 확인되었다.

(5)극서환경에서 PFR3000 (극서환경혼화제) 성능평가

현지조건을 이해하기 위해 콘크리트 재료에 대한 조사를 선행하고, 시제품인 PFR3000의 극서환경 조건에서 콘크리트 성능시험을 진행하였다. 시험항목은 콘크리트 슬럼프 (3시간 유지성능)와 압축강도 그리고 블리딩 특성과 응결특성이다. 이 시험결과를 바탕으로 2차

년도에도 PFR3000의 계속적인 성능 업그레이드를 진행할 것이다.

(가) 베트남 시멘트 양회사가 난립하여 수십종의 시멘트가 존재하며, 성능 편차가 매우 심하다. 굵은골재의 경우 국내보다 비중이 높고 3.0 g/cm2 이상의 골재도 다수 있기 때문에 사용시 주의하여야 한다. 잔골재는 현재까지 강사를 쓰고 있으나 추후 해사와 쇄사가 사용될 가능성이 높다. 사용수의 경우 국내 조건과 유사한 특성을 갖고 있다.

(나) 극서환경에서 PFR3000의 콘크리트 슬럼프와 압축강도 특성을 평가하였다. PFR3000은 BASF-161과 동등하게 3시간 유지성능을 발휘하였으며, 압축강도 (3, 7, 28일) 성능 또한 BASF-161과 동등수준으로 발현되었다.

(다) PFR3000과 BASF-161의 블리딩 특성을 비교하였다. PFR3000은 [20-30-180]에서는 78.4% 블리딩 저감율을 보였고, [20-35-180]에서는 97.1%, 그리고 [20-40-180]에서는 99.6%의 블리딩 저감율을 보였다.

(라) PFR3000의 응결특성을 평가하였다. [표 2-23]와 같이 설계배합 3종에 대해서 BASF-161에 비해 응결시간을 평균적으로 초결 240분, 종결 185분을 단축시켰다.

(6)극서환경 국가인 베트남에서 PFR3000의 Mock-up실험을 통한 현장적용성 검증

(가) 사전 B/P실험을 통해 3종의 콘크리트 배합에 대한 본 개발제품인 PFR3000의 3시간 유지성능과 압축강도를 평가하였고, 모든 배합에 대해 3시간 유지성능과 압축강도가 배합설계에 부합하였다.

(나) 베트남 현지에서의 Mock-up실험은 성신비나 공장에서 시험 콘크리트를 제조하였고 IBST에서 제공한 Mock-up부지에 부재설치 및 실험을 진행했다. 평가배합은 20-40-180과 20-60-600이며, 20-50-600의 저발열 배합은 차년도 진행할 시푸차 롯데몰 현장을 겨냥하여 진행한 실험으로 B社 제품과의 비교실험은 생략한다.

① 3시간 유지성능

[표 2-31]과 같이 PFR3000은 대기온도 35℃ 조건에서 초기부터 3시간까지 배합 규격에 모두 부합하였다. 따라서 목표항목인 3시간 유지성능을 달성한 것으로 볼 수 있다.

[표 2-31] 배합 규격에 따른 유동성 평가 (대기온도 : 35℃)

배합 규격		제품	Slump&Flow (mm)			평가
			0분	120분	180분	
20-40-180	180±20	PFR3000	200	200	190	양호
		BASF-161	195	130	100	불량
20-60-600	600±100	PFR3000	650	630	620	양호
		BASF-3019	640	540	450	불량

② 블리딩 특성

[그림 2-49]와 같이 [20-60-600] 배합에서는 두 제품 모두 블리딩이 발생하지 않아 비교가 어려웠으며, [20-40-180] 배합에서 BASF-161의 경우 6%의 블리딩이 발생하였다. 따라서 비교제품에 비해 블리딩 저항성이 있음을 알 수 있으며 블리딩 특성의 목표를 달성한 것으로 볼 수 있다.

③ 응결 특성

[표 2-32]와 같이 PFR3000은 40MPa 배합에서 약 1시간, 그리고 60MPa 배합에서 2시간 가량의 응결시간 단축 효과를 보였다. 다만 극서환경의 Plain 콘크리트의 응결시간을 정의할 수 없었으므로 응결시간단축률 대신 1일 압축강도 증진율로 그 성능을 아래표와 같이 대체하였다.

[표 2-32] 응결특성 (대기온도 : 35℃)

배합 규격	제품	응결특성 (min)		1일강도에 의한 달성율 계산 (%)			
		초결	종결	1일 압축강도	강도 증진율	달성율	평균 달성율
20-40-180	PFR3000	360	455	18.9	51	102	83%
	BASF-161	415	510	12.5			
	응결시간차	55	55	강도차: 6.4			
20-60-600	PFR3000	370	450	35.2	33	66	
	BASF-3019	490	565	26.5			
	응결시간차	120	115	강도차: 8.7			

※ 강도증진율 = $(S_{pfr3000}-S_{control})/S_{control}$ * 100 (S : 1일 압축강도)
달성율 (%) = 강도증진율/50 *100

④ 탈형 후 콘크리트 표면상태 평가 (육안평가)

[그림 2-51]와 같이 40, 60MPa 콘크리트 배합에서 5MPa 도달 후 PFR3000의 콘크리트 표면상태를 육안평가하였고 두 콘크리트 배합에 대해서 두 제품 모두 양호한 표면 상태를 보였다.

⑤ 압축강도 (3, 7, 28일)

압축강도는 표준 양생 조건과 현장 양생 조건에서 각각 평가하였다. ③의 응결특성 결과와 일치하여 초결과 종결 시간이 단축된 본 개발제품인 PFR3000의 1일 강도가 더 높게 측정되었고 3, 7, 28일 강도 모두 B社 제품에 비해 우수하였다. 현장 양생 조건과 표준 양생 조건 모두 그 결과는 동일하였다. 결국 본 과제의 강도목표인 3, 7, 28일 양생조건에서 100% 이상을 달성하였다.

⑥ 코어공시체 압축강도 (7일, 28일)

코어공시체의 압축강도 측정은 ⑤ 압축강도의 보조지표로써 활용하고자 측정하였다. 코어공시체의 압축강도 실험에서도 본 개발제품인 PFR3000이 비교제품에 비해 압축강도가 우

수하였다.

(7) PFR3000의 펌프압송성 평가 (기흥 힉스 첨단산업단지)

본 장에서는 포스페이트를 도입 혼화제를 사용한 초유지 콘크리트의 물성과 현장 펌프 압송성을 일반 콘크리트와 비교 · 평가하였다.

(가) 초유지콘크리트는 일반콘크리트 대비 뛰어난 유지성능에도 동등 수준의 조기강도 발현과 블리딩 저감 성능을 나타냈으며, 3시간 경시 콘크리트의 펌프 압송성이 일반 콘크리트의 1시간 경시 콘크리트와 유사하게 평가되어 극서환경에서 양호한 시공성 및 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

(나) 초유지 콘크리트와 일반 콘크리트의 펌프 압송에 따른 압력손실은 유사한 수준으로 평가되었으나 초유지 콘크리트를 압송 시 배관 압력이 다소 낮게 측정되어 펌프 압송성은 양호한 것으로 판단된다.

(다) 콘크리트 펌프 압송성 평가를 통해 초유지 콘크리트가 3시간 동안 목표한 워커빌리티를 확보할 경우 재료분리나 압송부하 증가 없이 콘크리트를 원활하게 압송 시공할 수 있을 것으로 판단된다.

(8) PFR3000의 현장적용성 평가

(가) 사타파나뱅크 현장적용은 메트부재에 적용하였다. B/P 테스트와 현장적용 시 굳지않은 콘크리트 물성 (3시간 유지성능) 및 경화콘크리트 (압축강도) 특성 모두 양호하였다. 매트 기초에 총 4,100㎥의 콘크리트 타설을 완료하였으며, 추후 지하 및 지상 골조공사에 23,000㎥가 적용될 예정이다.

(나) Park city 현장적용은 보드파일에 적용하였다. B/P 테스트 및 현장적용 시 굳지않은 콘크리트 물성 (3시간 유지성능)과 경화콘크리트 (압축강도) 특성 모두 양호하였다. 현재 1,300㎥가 타설되었다.

(다) An Sinh 병원 현장적용은 벽체부분에 적용하였다. B/P 테스트 및 현장적용 시 굳지않은 콘크리트 물성 (3시간 유지성능)과 경화콘크리트 (압축강도) 특성 모두 베트남 규격을 만족하였다. 현재 700㎥가 타설되었다.

(9) 질적 성과 요약

연도	단위성과	성과점검기준					측정방법
		질적 성과지표	목표치	결과	달성도	성과증빙자료	
1차년도		유지시간	3시간↑	3시간	100%	시험성적서/한국	KSF2402
		응결시간 단축률	50%↑	초결170분 단축 종결150분 단축	100%*	시험성적서/한국	KSF2436
		압축강도 (3,7,28일)	재령별 100%↑	100%	100%	시험성적서/한국	KSF2405
		블리딩	50%↓	73% 블리딩 억제	100%	시험성적서/한국	KSF2414
2차년도	작업성	유지시간	3시간↑	3시간	100%	시험성적서/베트남	TCVN3106
		압송 후 슬럼프 손실	20%↓	10%	100%	시험성적서/한국	KSF2402
		압송 후 블리딩 증가	5%↓	0%	100%	시험성적서/한국	KSF2414
	수화특성	응결시간 단축률	50%↑	40MPa: 51% (달성도 102%) 60MPa: 33% (달성도 67%)	평균 83%	시험성적서/베트남	TCVN9338
		압축강도 (3,7,28일)	재령별 100%↑	100% 이상	100%	시험성적서/베트남	TCVN3105
	블리딩특성	블리딩	50%↓	40MPa: PFR3000 :0%, B社제품 :0.06% 60MPa: PFR3000 :0%, B社제품 :0%	100%	시험성적서/베트남	TCVN3109
3차년도	현장적용	판매가격	100%↓	동등수준	100%	납품확인증	-
		현장적용 실적	3건 ↑	3건	100%	보고서	보고서

(10) 양적 성과 요약

(가) 특허 성과

No.	특허명칭	출원국	등록번호	등록일	출원인 (등록권리자)
1	서중 콘크리트용 화학 혼화제 및 이의 제조방법	대한민국	10-1876181	20180703	실크로드시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA
2	극서 콘크리트 형성용 조성물 및 이로부터 제조된 콘크리트	대한민국	10-1972571	20190419	실크로드시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA

No.	특허명칭	출원국	출원번호	출원일	출원인 (등록권리자)
1	서중 콘크리트용 화학 혼화제 및 이의 제조방법	베트남	1-2017-04658	2017.11.22	실크로드시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA
2	극서 콘크리트 형성용 조성물 및 이로부터 제조된 콘크리트	인도네시아	PID 2018 09040	2018.11.09	실크로드시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

구분	핵심성과 (CTE)	단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
1차 년도	기술적 측면	1-1	작업성	①	유지시간	3시간 ↑	100%	KSF2402	공인시험 성적서	20	특허 : 출원 1건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
				②	압송 후 슬럼프 손실	20% ↓	100%	KSF2402	자체평가	5	
				③	압송 후 블리딩 증가	5% ↓	100%	KSF2414	자체평가	5	
		1-2	수화특성	①	응결시간 단축률	50% ↑	100%	KSF2436	공인시험 성적서	10	
				②	압축강도 (3,7,28일)	재령별 100% ↑	100%	KSF2405	공인시험 성적서	5	
		1-3	블리딩특성	①	블리딩	50% ↓	100%	KSF2414	공인시험 성적서	5	
2차 년도	사업화 측면	2-1	작업성	①	유지시간	3시간 ↑	100%	TCVN3106	공인시험 성적서	10	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 건 시제품 : 1건 S/W : 건
				②	압송 후 슬럼프 손실	20% ↓	100%	KSF2402	공인시험 성적서	5	
				③	압송 후 블리딩 증가	5% ↓	100%	KSF2414	공인시험 성적서	5	
			수화특성	①	응결시간 단축률	50% ↑	83% ※	TCVN9338	공인시험 성적서	5	
				②	압축강도 (3,7,28일)	재령별 100% ↑	100%	TCVN3105	공인시험 성적서	5	
			블리딩특성	③	블리딩	50% ↓	100%	TCVN3109	공인시험 성적서	5	
3차 년도		3-1	경제성	①	판매가격	100% ↓	-	-	매출전표	5	특허 : 출원 건 등록 1건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
			현장적용	②	현장적용 실적	3건 ↑	-	-	보고서	10	
계					※ 응결 단축률 : 베트남 현지 여건상 Plain 콘크리트의 응결 시간을 정의할 수 없어 1일 압축강도 증진율로 평가함					100	특허 : 출원 4건 등록 2건 논문 : 0건 시제품 : 1건 S/W : 건

2. 관련 분야 기여도

콘크리트는 현대 구조물의 근간을 이루는 가장 효율적인 건설재료로서 고강도 고내구성을 갖춘 고성능 콘크리트 기술을 넘어 초고성능 콘크리트 개발에 이를 정도로 눈부신 기술 발전을 이루어 왔다. 그럼에도 불구하고 일부 극한 영역에서는 미완의 기술들이 잔재하며 해결책을 기다리고 있는데 극서중 콘크리트 기술 분야가 주요한 잔재 중의 하나에 해당한다. 이는 극서 환경에 노출되어 있는 베트남과 같은 동남아 국가들, 중동 및 아프리카 일부 국가들의 건설 붐과 함께 대두된 문제이기도 하다.

극서중 콘크리트의 기술적 난제는 앞서 설명한 바와 같이 여전히 초지연 콘크리트 개념에 머물러 있음으로 인해 그 이상의 기술적 진보가 이루어지지 않고 있다는 점이다. 즉,

기존의 기술로는 굳지않은 콘크리트의 작업성 확보를 위한 대책 또는 임기응변 활동으로 인한 굳은 콘크리트의 품질을 저하시키는 부작용을 해결하지 못하고 있다. 따라서 극서 환경에서의 콘크리트 공사에 적합할 것으로 추정되는 시방서는 있지만 기술이 이를 뒷받침하지 못하므로 그 실효성이 떨어지게 되는 것이다. 이는 사회·경제적 비용을 야기할 것임은 명약관화하다. 따라서 이러한 난제를 극복하기 위한 기술적 패러다임의 전환이 절실하다.

본 과제를 통해 위와 같은 난제에 대한 해결책을 제시하였다. 즉, 초지연 개념으로부터 초유지 개념으로의 패러다임 전환을 선도함으로써 극서중 콘크리트 기술에 있어 한 차원 높은 단계로의 진보를 이루었다. 현재까지 미완의 기술로 잔재하고 있는 극한 기술 중 하나인 극서중 콘크리트 기술을 완성하는데 지대한 기여를 했다고 생각한다.

3. 목표 미달성 시 원인 (사유) 및 차후대책 (후속연구의 필요성 등)

미달성 항목/ 달성도	해당 년도	사유	대책
응결시간 단축률/ 83%	2차년도	콘크리트 배합에 따라 블리딩특성과 응결특성이 유동적으로 변화됨	2차년도 평가위원회의 요청사항: 경쟁사 제품과의 비교가 아닌 해당국가 규격에 적합성 평가로 전환 →펌프압송성을 제외한 모든 항목에 대하여 베트남 규격에 부합함 (베트남에서 펌프압송성 평가에 대한 공인시험성적 확보 어려움)
논문/ 1건	3차년도	일정 지연으로 미게재	2020년에 게재 예정

제5장. 연구개발성과의 활용계획

본 과제는 시장개척을 목표로 하고 있으므로 핵심성과물인 포스페이트 도입 화학 혼화제 및 이를 적용한 극서중 콘크리트 배합의 일차적 활용방안은 극서환경국가에 영업과 제조가 가능한 법인의 적극적인 활용과 추가적인 법인을 설립하는 현지화 전략을 추진하는 것이다. 이미 실크로드시앤티는 베트남 하노이와 호치민에 영업소와 제조공장을 설립하여 영업활동을 영위하고 있으며, 2019년도 다낭에 영업소를 설립하여 현지화 전략을 추진 중이다. 또한 미얀마에 영업소 및 제조공장 설립을 추진 중이다. 이런 현지화 전략과 맞물려 본 과제의 개발제품인 PFR3000의 사업화를 추진하고자 계획 중이다.

[표 6-1] 실크로드시앤티 현지화 현황 및 계획

국가 및 지역	개설 기관	개설 연도	2019년 매출 (백만원)
■ 베트남 하노이	• 영업소/제조공장	2007년	21,200
■ 베트남 호치민	• 영업소/제조공장	2017년	5,500
■ 베트남 다낭	• 영업소	2019년	-
■ 미얀마	• 계획중 (1차적으로 영업소 개설 후 현지상황을 고려하여 제조공장 설립 추진)		

또한 콘크리트 유지성능을 극대화 할 수 있는 혼화제가 적극 적용될 수 있도록 베트남 규격인 TCVN 개정을 추진 중이다. 베트남 콘크리트 협회 (VCA)와 공동으로 TCVN 9340 (콘크리트 품질 관련)을 개정하고자 베트남 건설부에 제안서를 제출하는 등 적극적인 판매확대 전략을 추진 중이다.

공동연구기관인 롯데건설과 성신비나는 베트남과 캄보디아 등 동남아시아에 현장 적용을 확대하기 위하여 아래 [표 6-2]와 같이 현장을 수주하기 위해 총력을 기울이고 있다.

[표 6-2] 현장적용 확대를 위한 예상 현장 List

해당기관	현장적용 국가	현장명	비고
롯데건설	베트남	롯데하노이몰	-
	캄보디아	이온몰	-
성신비나	베트남	Vincity Dai Mo	-
		Gallaria Giang Vo	-

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

-

제7장. 연구개발성과의 보안등급

일반등급

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- (주)실크로드시앤티는 산업안전법에 의거 안전교육과 정기적인 점검 및 유지 보수를 진행하고 있음
- 정기적인 안전교육을 실시하고 있으며, 신입사원 입사시 실제 업무에 배치되기 전에 안전교육을 실시하여 안전의식을 더욱 강조하고 있음
- 연구실 인원포함 전사 공통으로 4대보험에 의해 산재보험에 가입하고 있으며, 건강검진 또한 지속적으로 실시하고 있음
- 특히, 연구실 출입인원에 대해서는 특수건강검진을 실시하여 위험인자 노출에 대하여 정기적으로 모니터링을 실시중임
- 최근 연구실 안전 환경조성에 관한 법률 (2015.07.01.)시행에 따라, 미래창조과학부 지정 정밀안전진단업체에서 정기 정검 및 정밀안전진단을 수행하였고, 그 점검 결과를 토대로 지속적으로 연구실 안전에 대한 조치를 수행 중임

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	서중 콘크리트용 화학 혼화제 및 이의 제조방법	실크로드 시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA		대한민국	-	2018.07.03	-	-
2	특허	극서 콘크리트 형성용 조성물 및 이로부터 제조된 콘크리트	실크로드 시앤티 롯데건설 SUNGSHIN VINA		대한민국	-	2019.04.19	-	-

제11장. 기타 사항

-

제12장. 참고 문헌

-

9. 뒷면지

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.