

최종보고서(일반과제용)

보안등급

일반[✓], 보안[]

중앙행정기관명	국토교통부		사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업		
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	글로벌 기술협력			
공고번호	공고-제02호		연구개발과제번호	19CTAP-C152837-01-000000			
국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명	70%	2순위 소분류 코드명	30%	3순위 소분류 코드명	00%	
연구주제	(대분류) 건설교통		(중분류) 건설시공 재료		(소분류) 극한 시공기술		
연구개발과제명	국문	인도차이나 지역의 국제 지방조건을 만족하는 Phosphate-PCM계 복합물질 기반 보급형 저발열 콘크리트 기술개발					
	영문	Development and Application of low-heat concrete with phosphate-PCM composite to meet international specifications in Indochina region					
주관연구개발기관	기관명	주식회사 위드엠텍		사업자등록번호	871-86-00425		
	주소	(우)16229, 경기도 수원시 영통구 창룡대로 256번길 91, 지하층 비206, 비207호(이의동)		법인등록번호	135811-0287897		
연구책임자	성명	양완희		직위	연구소장		
	연락처	직장전화	031-8014-2793		휴대전화	dangchan74@empas.com	
		전자우편	010-8713-0667		국가연구자번호	1092 5589	
연구개발기간	전체	2019. 04. 01 - 2021. 12. 31(2년 9개월)					
	1년차	2019. 04. 01 - 2019. 12. 31(9개월)					
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년)					
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년)					
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금		연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물		합계
총계	550,000	57,500	437,500	-	-	1,007,500	
1년차	146,000	15,100	115,900	-	-	292,000	
2년차	204,000	21,400	162,600	-	-	408,000	
3년차	200,000	21,000	159,000	-	-	400,000	
공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고 역할 기관유형	
	공동연구개발기관	롯데건설	김광기	수석	02-3483-7864		iq0425@lotte.net
	한국콘크리트학회	이웅종	책임	010-3465-1982	woojon94@kci.or.kr	공동 기타	
	IBST	Hoang Minh Duc	Director	84-4-3836-0249	hmduc@yahoo.com	공동 기타	
위탁연구개발기관	실크로드 하노이	박종수	Director	0869-165-228	gmi77@silkradont.co.kr	위탁 기타	
	NEXCO	김병주	Director	62-21-8420-0066	selim3421@naver.com	위탁 기타	
연구개발기관 외 기관	-	-	-	-	-	-	
연구개발담당자 실무담당자	성명	정석만		직위	과장		
	연락처	직장전화	031-8014-2793		휴대전화	010-3312-3188	
	전자우편	juco0123@naver.com		국가연구자번호	1122 0431		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재
처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 03월 18일

연구책임자 :

양 완 희

주관연구개발기관의 장 :

주식회사 위드엠텍

공동연구개발기관의 장 :

롯데건설 주식회사

공동연구개발기관의 장 :

한국콘크리트학회

공동연구개발기관의 장 :

IBST

위탁연구개발기관의 장 :

SILKROAD HANOI USC

위탁연구개발기관의 장 :

PT. NEXCO INDONESIA

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		19CTAP-C152837-01-000000	
내역사업명		글로벌 기술협력					
국가과학기술표준분류		1순위 소분류 코드 E1	70%	2순위 소분류 코드 EA	30%	3순위 소분류 코드 -	00%
연구주제		(대분류) 건설교통		(중분류) 건설시공 재료		(소분류) 극한 시공기술	
연구개발과제명		인도차이나 지역의 국제 지방조건을 만족하는 Phosphate-PCM계 복합물질 기반 보급형 저발열 콘크리트 기술개발					
전체 연구개발기간		2019. 04. 05 - 2021. 12. 31(2년 9개월)					
총 연구개발비		총 1,100,000 천원 (정부지원연구개발비: 550,000 천원, 기관부담연구개발비: 550,000 천원, 지방자치단체: 0 천원, 그 외 지원금: 0 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(4단계) 종료시점 목표(9단계)	
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [☒]					
연구개발과제 특성		-					
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		Phosphate-PCM계 복합물질 기반, 인도차이나 반도 지역의 국제지방조건에 만족하는 저발열 콘크리트와 현장적용의 실용기술 개발				
	전체 내용		◦ Phosphate-PCM계 복합물질 기반 수화열 저감제 개발 - 분말형의 OPC-FA 2성분계 시멘트용 - 수화열 저감율 : 10% 이상(Plain 대비 최고온도 기준) ◦ Phosphate계 액상형 수화열 저감제 개발 - 액상형의 OPC-FA 2성분계 시멘트용 - 수화열 저감율 : 10% 이상(Plain 대비 최고온도 기준) ◦ Phosphate계 액상형 수화열 저감제를 활용한 콘크리트 개발 - 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 (1.5m×1.5m×1.5m 부재의 Mock-up 평가 기준) ◦ 수화열 저감제 시작품 제작(베트남/인도네시아) - Phosphate계 액상형 수화열 저감제의 시작품 제작 : 5톤 이상 - 시작품 제작 공정/품질관리 규정 제정 ◦ 해외 Mock-up 평가(베트남/인도네시아) - 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 - Mock-up 시험체의 규격 : 1.5m×1.5m×1.5m 이상(3m³ 이상) - 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 ◦ 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) - 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 - Test-Bed 규모 : (12m³ 이상) - 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 ◦ 수화열 저감제 적용 매스콘크리트의 해외 현장 활용 기술 개발 - 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 작성(베트남) - 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 작성(인도네시아) ◦ 수화열 저감제 현지화 방안 도출 - 핵심 소재 수출 시스템 구축(베트남, 인도네시아) - 현지 제품 제조 공정 구축(베트남, 인도네시아)				
	1년차	목표	구분	1년차 개발목표			
			(주)위드앰텍	◦ Phosphate-PCM계 복합물질 기반 수화열 저감제 개발 ◦ 국내 Mock-up 평가 및 해외 현지 시험			
			롯데건설	◦ 극서중 매스부재 요구성능 도출 ◦ Phosphate-PCM계 수화열 저감제 도입의 극서중 콘크리트 기본 배합설계 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험 평가(베트남)			
KCI			◦ 매스콘크리트 관련 국제 코드 조사				

				◦ 국내 Mock-up 시험 및 평가																
			IBST	◦ 베트남 매스 콘크리트 및 수화열 제어 현황 조사 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험 평가(베트남)																
			실크로드 하노이	◦ 베트남 매스 콘크리트 배합 조사 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험(베트남)																
		내용	(1차년)	<table><tr><td></td><td>국내</td><td>베트남</td><td>인도네시아</td></tr><tr><td>핵심 기술 개발</td><td>수화열 저감제 개발(분말형) (위드엠텍) ↓ 콘크리트 배합 실험(분말형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)</td><td></td><td></td></tr><tr><td>적용 기술 개발</td><td>콘크리트 Mock-up Test(분말형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)</td><td>현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이)</td><td></td></tr><tr><td>사업화 기반 구축</td><td></td><td>현지 기술 및 시장 조사 (위드엠텍/롯데건설/실크로드 하노이)</td><td></td></tr></table>		국내	베트남	인도네시아	핵심 기술 개발	수화열 저감제 개발(분말형) (위드엠텍) ↓ 콘크리트 배합 실험(분말형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)			적용 기술 개발	콘크리트 Mock-up Test(분말형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)	현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이)		사업화 기반 구축		현지 기술 및 시장 조사 (위드엠텍/롯데건설/실크로드 하노이)	
				국내	베트남	인도네시아														
핵심 기술 개발	수화열 저감제 개발(분말형) (위드엠텍) ↓ 콘크리트 배합 실험(분말형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)																			
적용 기술 개발	콘크리트 Mock-up Test(분말형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)	현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이)																		
사업화 기반 구축		현지 기술 및 시장 조사 (위드엠텍/롯데건설/실크로드 하노이)																		
		목표	구분	2년차 개발목표																
			(주)위드엠텍	◦ Phosphate-PCM계 수화열 저감제 개발 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험(인도네시아) ◦ 수화열 저감제 시작품 제작 및 해외 Mock-up 평가(베트남)																
		목표	롯데건설	◦ 규격별 배합설계 수립 ◦ Phosphate계 액상형 수화열 저감제를 이용한 콘크리트 개발 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험(인도네시아) ◦ 베트남 Mock-up																
			KCI	◦ 시공 지침 및 기준수립 ◦ 해외 Mock-up 평가(베트남)																
		목표	IBST	◦ 베트남 Mock-up 진행 및 성능평가 ◦ 베트남 공인, 매스부재 콘크리트 배합설계 승인 ◦ 베트남 공인, 수화열저감 및 콘크리트 시험성적서 발급																
			실크로드 하노이	◦ 수화열 저감제 시작품 제작(5t 이상) ◦ 베트남 현지 Mock-up 진행 및 평가																
		목표	NEXCO	◦ 인도네시아, 매스부재 콘크리트 배합설계 도출																
		내용	(2차년)	<table><tr><td></td><td>국내</td><td>베트남</td><td>인도네시아</td></tr><tr><td>핵심 기술 개발</td><td>수화열 저감제 개발(액상형) (위드엠텍) ↓ 콘크리트 배합 실험(액상형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)</td><td></td><td></td></tr><tr><td>적용 기술 개발</td><td></td><td>현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이) ↓ 수화열 저감제 시작품 제작 (위드엠텍/실크로드 하노이) ↓ 현지 Mock-up test (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이)</td><td>현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/넥스코)</td></tr><tr><td>사업화 기반 구축</td><td></td><td></td><td>현지 기술 및 시장 조사 (위드엠텍/롯데건설/KCI/넥스코)</td></tr></table>		국내	베트남	인도네시아	핵심 기술 개발	수화열 저감제 개발(액상형) (위드엠텍) ↓ 콘크리트 배합 실험(액상형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)			적용 기술 개발		현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이) ↓ 수화열 저감제 시작품 제작 (위드엠텍/실크로드 하노이) ↓ 현지 Mock-up test (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이)	현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/넥스코)	사업화 기반 구축			현지 기술 및 시장 조사 (위드엠텍/롯데건설/KCI/넥스코)
				국내	베트남	인도네시아														
핵심 기술 개발	수화열 저감제 개발(액상형) (위드엠텍) ↓ 콘크리트 배합 실험(액상형) (위드엠텍/롯데건설/KCI)																			
적용 기술 개발		현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이) ↓ 수화열 저감제 시작품 제작 (위드엠텍/실크로드 하노이) ↓ 현지 Mock-up test (위드엠텍/롯데건설/KCI/ IBST/실크로드 하노이)	현지콘크리트 배합 실험 (위드엠텍/롯데건설/KCI/넥스코)																	
사업화 기반 구축			현지 기술 및 시장 조사 (위드엠텍/롯데건설/KCI/넥스코)																	
		내용																		

3년차	목표	구분	3년차 개발목표																																																																	
		(주)위드애크	◦ 수화열 저감제 시작품 제작 및 공정/품질관리 제정(베트남/인도네시아) ◦ 해외 Mock-up 평가(인도네시아) ◦ 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) ◦ 사업화 추진 및 Test-Bed 평가																																																																	
롯데건설		◦ 해외 Mock-up 평가 및 시방서 도출(인도네시아) ◦ 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) ◦ 사업화 추진 및 Test-Bed 평가																																																																		
KCI		◦ 해외 Mock-up 평가(인도네시아) ◦ 수화열 저감제 적용 매스콘크리트의 해외 현장 시공 지침 도출(베트남, 인도네시아)																																																																		
IBST		◦ 베트남 Test-bed 모니터링 평가 ◦ 베트남 수화열 저감 매스 콘크리트의 현장 적용 지침 도출																																																																		
실크로드 하노이		◦ 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) ◦ 베트남 현지 수화열 저감제 제조 기반 구축 ◦ 베트남 마케팅																																																																		
NEXCO		◦ 수화열 저감제 시작품 제작(5t 이상) ◦ 해외 Mock-up 평가(인도네시아) ◦ 인도네시아 현지 수화열 저감제 제조 기반 구축 ◦ 인도네시아 마케팅																																																																		
3년차	내용	<table><tr><td>(3차년)</td><td>국내</td><td>베트남</td><td colspan="2">인도네시아</td></tr><tr><td rowspan="4">적용 기술 개발</td><td></td><td>현지 Test-bed (위드애크/롯데건설/KCI/IBST/실크로드 하노이) ↓ 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 도출 (롯데건설/KCI/IBST)</td><td colspan="2">수화열 저감제 시작품 제작 (위드애크/넥스코) ↓ 현지 Mock-up test (위드애크/롯데건설/KCI/넥스코) ↓ 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 도출 (롯데건설/KCI)</td></tr><tr><td rowspan="2">사업화 기반 구축</td><td>핵심 소재 수출 시스템 구축 (위드애크)</td><td>현지 제품 제조 공정 구축 (위드애크/실크로드 하노이)</td><td colspan="2">현지 제품 제조 공정 구축 (위드애크/넥스코)</td></tr><tr><td colspan="3">경제성 분석 (위드애크/롯데건설/실크로드 하노이/넥스코)</td></tr></table>				(3차년)	국내	베트남	인도네시아		적용 기술 개발		현지 Test-bed (위드애크/롯데건설/KCI/IBST/실크로드 하노이) ↓ 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 도출 (롯데건설/KCI/IBST)	수화열 저감제 시작품 제작 (위드애크/넥스코) ↓ 현지 Mock-up test (위드애크/롯데건설/KCI/넥스코) ↓ 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 도출 (롯데건설/KCI)		사업화 기반 구축	핵심 소재 수출 시스템 구축 (위드애크)	현지 제품 제조 공정 구축 (위드애크/실크로드 하노이)	현지 제품 제조 공정 구축 (위드애크/넥스코)		경제성 분석 (위드애크/롯데건설/실크로드 하노이/넥스코)																																															
		(3차년)	국내	베트남	인도네시아																																																															
적용 기술 개발		현지 Test-bed (위드애크/롯데건설/KCI/IBST/실크로드 하노이) ↓ 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 도출 (롯데건설/KCI/IBST)	수화열 저감제 시작품 제작 (위드애크/넥스코) ↓ 현지 Mock-up test (위드애크/롯데건설/KCI/넥스코) ↓ 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 도출 (롯데건설/KCI)																																																																	
	사업화 기반 구축	핵심 소재 수출 시스템 구축 (위드애크)	현지 제품 제조 공정 구축 (위드애크/실크로드 하노이)	현지 제품 제조 공정 구축 (위드애크/넥스코)																																																																
		경제성 분석 (위드애크/롯데건설/실크로드 하노이/넥스코)																																																																		
	연구개발성과	◦ 수화열 제감제 특허 출원 (국내1, 해외1) ◦ 수화열 제감제 특허 등록 (국내1) ◦ 수화열 제감제 국내 비SCI 논문 게재 (한국건축시공학회1, Asia Concrete Federation1) ◦ 보급형 수화열 저감제 시제품(베트남2, 인도네시아1) ◦ 보급형 수화열 저감제 적용 Mock-up Test(베트남2, 인도네시아1) ◦ 보급형 수화열 저감제 현장 적용 Test-Bed(베트남1) ◦ 수화열 저감제를 활용한 저발열 콘크리트 배합 ◦ 수화열 저감제를 활용한 저발열 콘크리트 시공 지침 ◦ 수화열 저감제를 활용한 저발열 콘크리트 베트남 시공 지침																																																																		
<정량적 연구성과 목표 및 도달수준> <table><tr><th colspan="2">구분</th><th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>계</th><th>도달수준</th></tr><tr><td rowspan="3">국외논문 게재</td><td>SCI</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>비SCI</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>계</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td rowspan="3">국내논문 게재</td><td>SCI</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>비SCI</td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>계</td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td rowspan="3">특허출원</td><td>국내</td><td></td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>국외</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>계</td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr></table>					구분		1차년도	2차년도	3차년도	계	도달수준	국외논문 게재	SCI			1	1	1	비SCI			1	1	1	계			1	1	1	국내논문 게재	SCI						비SCI		1		1	1	계		1		1	1	특허출원	국내		1		1	1	국외			1	1	1	계		1	1	2	2
구분		1차년도	2차년도	3차년도	계	도달수준																																																														
국외논문 게재	SCI			1	1	1																																																														
	비SCI			1	1	1																																																														
	계			1	1	1																																																														
국내논문 게재	SCI																																																																			
	비SCI		1		1	1																																																														
	계		1		1	1																																																														
특허출원	국내		1		1	1																																																														
	국외			1	1	1																																																														
	계		1	1	2	2																																																														

	특허등록	국내			1	1	1
		국외					
	인력양성	계			1	1	1
		석사					
	기술이전	박사					
		계					
		계약건수					
	국제 표준화	계약액					
		징수액					
		기고서 제출					
	국내 표준화	기고서 채택					
		표준안 채택					
		기고서 제출					
	등록·기탁 대상 성과물	기고서 채택					
		표준안 채택					
		보고서 원문	1	1	1	3	3
		연구시설·장비					
		기술요약정보					
		생명자원	생명정보				
			생물자원				
			신품종				
	기타	소프트웨어					
		화학물					
		시제품		1	1	2	2
		성과 홍보		1		1	1
		일자리 창출	1			1	1

연구개발성과
활용방안 및
기대효과

<1. 활용 방안>

- 수화열 저감제 현지화 방안 : 국내 기술을 기반으로 한 수화열 저감제를 인도차이나 반도 지역 현지에서 핵심소재를 수출하고 현지 업체와 협력하여 현지 제조 시스템의 구축으로 현지에서 시작품을 제조할 예정임.
- 현장 적용 방안 : 인도차이나 반도 지역에서 해당국가의 원재료 및 시공환경을 고려하여 실내 배합 시험 및 Mock-up test를 통해 성능을 검증하고 Test-bed를 통해 현장 적용기술을 확보하였음.
- 향후 활용 방안 : 롯데건설이 진출한 베트남, 인도네시아에서 공신력을 확보하여 타 건설회사까지 적용 확대를 추진할 예정이며, 이를 바탕으로 극서중 환경을 나타내는 다른 인도차이나 반도 지역 국가에 진출하여 현장 적용을 추진코자 함.

<성과물의 현장적용 활용 방안>

분야	목표	특징
건축구조물	1.5m를 상회하는 매스부재 (기초 및 건축물의 수직부재)	- 수화열 70도 이하 관리기준 - 7일 압축강도 설계기준강도 90% 이상
토목구조물	1.5m를 상회하는 매스부재 (수리 시설물 및 댐 등)	(Plain 배합 대비)

<2. 기대 효과>

1) 기술적 측면

- 수화열 저감제의 제조 및 활용 기술의 확보로 인도차이나 반도 지역은 물론 국내의 매스콘크리트 수화열 제어 기술의 향상을 기대할 수 있음.
- 향후 수화열 제어와 관련된 국내 혼화제의 기술발전에 기여가 가능하고, 향후 극서중을 나타내는 기타 국가의 진출에도 기술적 기반의 제공이 가능하여 국내 대형 건설사의 관련 기술력 향상이 기대됨.

2) 경제·산업적 측면

- 현장적용 실적과 국내 기술을 기반으로 핵심소재를 수출하고 인도차이나 반도 지역 현지에서 수화열 저감제를 제조하여 매스콘크리트에 활용을 목표로하는 제품의 사업화를

	추진 중임. ◦ 이를 위하여 해외 레미콘 및 매스 콘크리트 시장규모 등의 철저한 조사를 진행하였으며, 실제 현장적용 및 판매를 위한 해외(베트남, 인도네시아) 현지 제조업체 간 MOU 협약을 체결하였음. ◦ 국내 기술을 기반으로 한 핵심소재를 수출하고 인도차이나 반도 지역 현지에서 제조하고 활용하므로 관련 제품의 수출 효과가 기대됨. ◦ 극서중 환경에서 시공되는 콘크리트 구조물은 높은 수화열에 의해 하자발생이 빈번하므로 이러한 하자 발생을 절감하여 해외에 진출한 국내 건설업체의 원가 절감 효과가 기대됨. ◦ 인도차이나 반도 지역과 같은 극서중 환경에서 용이하게 적용이 가능한 수화열 제어 기술의 확보로 해외 진출이 필요한 국내 건설 회사의 기술 경쟁력 향상과 기술 격차 해소에 기여가 가능할 것으로 판단되며, 이에 따른 해외 project의 수주 증가와 국제 건설시장에서의 국가 경쟁력 향상이 기대됨.											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	2/2	2/2	3/3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
국문핵심어 (5개 이내)	매스콘크리트		저발열 콘크리트		시멘트 수화열		인산염		상변환물질			
영문핵심어 (5개 이내)	mass concrete		low-heat concrete		heat of cement hydration		phosphate salt		Phase Change Material			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	10
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	20
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	39
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	40
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	43
7. 참고 문헌	52

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

○ 연구 개발의 목표 및 내용

- 연구개발의 최종 목표 및 최종성과물

구분	내용 및 설정근거
최종 목표	Phosphate-PCM계 복합물질 기반, 인도차이나 반도 지역의 국제시방조건에 만족하는 저발열 콘크리트와 현장적용의 실용기술 개발임
세부 목표	- Phosphate-PCM계 복합물질 기반 수화열 저감제 개발 - 분말형의 OPC-FA 2성분계 시멘트용 - 수화열 저감율 : 10% 이상(Plain 대비 최고온도 기준) - Phosphate계 액상형 수화열 저감제 개발 - 액상형의 OPC-FA 2성분계 시멘트용 - 수화열 저감율 : 10% 이상(Plain 대비 최고온도 기준) - Phosphate계 액상형 수화열 저감제를 활용한 콘크리트 개발 - 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 (1.5m×1.5m×1.5m 부재의 Mock-up 평가 기준) - 수화열 저감제 시작품 제작(베트남/인도네시아) - Phosphate계 액상형 수화열 저감제의 시작품 제작 : 5톤 이상 - 시작품 제작 공정/품질관리 규정 제정 - 해외 Mock-up 평가(베트남/인도네시아) - 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 - Mock-up 시험체의 규격 : 1.5m×1.5m×1.5m 이상(3m³ 이상) - 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 - 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) - 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 - Test-Bed 규모 : (12m³ 이상) - 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 - 수화열 저감제 적용 매스콘크리트의 해외 현장 활용 기술 개발 - 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 작성(베트남) - 해외 현장 품질관리 기준 및 공사 시방서 작성(인도네시아) - 수화열 저감제 현지화 방안 도출 - 핵심 소재 수출 시스템 구축(베트남, 인도네시아) - 현지 제품 제조 공정 구축(베트남, 인도네시아)

- 최종성과물의 기술성숙도 설정근거

구분		1차년도	2차년도	3차년도	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☒	☐	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	☐	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☐	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☒	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	☒	TRL 9	현장적용/사업화 단계

최종성과물	기술성숙도(TRL)		설정근거
	연구시작시	연구종료시	
○인도차이나 지역, 국제시방조건에 만족하는 Phosphate-PCM계 저발열 콘크리트 개발 -수화열저감제 -수화열 저감형 매스콘크리트 제조기술 (베트남/인도네시아)	4	9	-(연구시작시) ○ (주)위드애크이 갖고 있는 분말형 수화열 저감제 기술을 현지의 재료, 설계, 공법 등과 매칭시키기 위한 현지화 연구 시작 -(연구종료시) ○ 인도차이나 반도 지역의 현지에서 활용할 수 있는 매스부재 수화열 저감의 핵심기술 개발 및 사업화 단계까지 확보하고자 함. 1) 현지화 수화열저감제 개발 -Phosphate-PCM계 복합물질 저감제 개발 -Phosphate 액상형 수화열 저감제 개발 2) 인도차이나 지역의 매스부재 콘크리트 설계 -단위결합재량 최소, 현지화 콘크리트 설계 -매스부재 수화열저감 콘크리트 설계 및 수화열저감 사용성 최적화 3) 수화열 저감제 시작품 제작 (베트남/인도네시아) -액상형 및 분말형 : 5톤 이상 -시작품 제작 공정/품질관리 규정 제정 4) 해외 Mock-up 평가(베트남/인도네시아) -단위결합재량 440g/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 -Mock-up : 1.5m×1.5m×1.5m 이상 -중심부 최고 수화열 70℃ 이하 5) 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) -단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 -중심부 최고 수화열 70℃ 이하 -품질기준 및 지침수립(베트남/인도네시아) 7) 수화열 저감제 현지화 방안 도출 -핵심 소재 수출 및 제조 시스템 구축 (베트남, 인도네시아) -현지 제조 공정 구축(베트남, 인도네시아)

- 연구 개발의 배경

- 본 과제는 ‘극서 환경에서 매스(Mass)형 부재 내외부 온도차 20℃이내, 최고온도 70℃이하를 만족시키는 콘크리트 수화열 저감 기술 개발’을 목적으로 하며, 목표 시장은 신흥 개발도상국(베트남, 인도네시아 및 캄보디아 등)이 집약되어 있는 인도차이나 반도 지역임.
- 목표 시장인 인도차이나 반도 지역의 경우 서중기 최고기온이 40℃에 육박하는 극서환경을 나타내고 있으나 콘크리트 온도 저감 설비를 구비한 레미콘 공장을 찾아보기 어려우며, 보통 34℃를 초과하는 콘크리트가 현장에 반입이 되고 있는 실정임.
- 이와 같이 높은 온도의 콘크리트를 반입 할 경우, 콘크리트의 초기 온도에서 단열온도 상승이 더해져 콘크리트의 최고 온도가 높아지고, 표면부의 온도차로 인해 다음 그림과 같이 온도균열을 유발하게 되며, 콘크리트의 수분 증발 및 경화 촉진으로 슬럼프 손실이 커지므로 시공성이 저하됨.
- 인도차이나 반도 지역은 극서 환경, 현장 인력의 시공 기술력, 원재료 수급 상황 등에 있어 국내와는 공사 환경이 크게 다르므로, 국내에서는 쉽게 해결할 수 있는 문제들도 많은 시행착오를 거치게 되고, 이러한 과정에서 공기가 연장되거나 공사비가 상승하는 경우가 빈번히 발생함.



[그림 1.1] 인도차이나 반도 지역 현장의 기초 매트 콘크리트 타설 및 보양 시공 사례
(롯데센터 하노이 현장, 롯데건설)

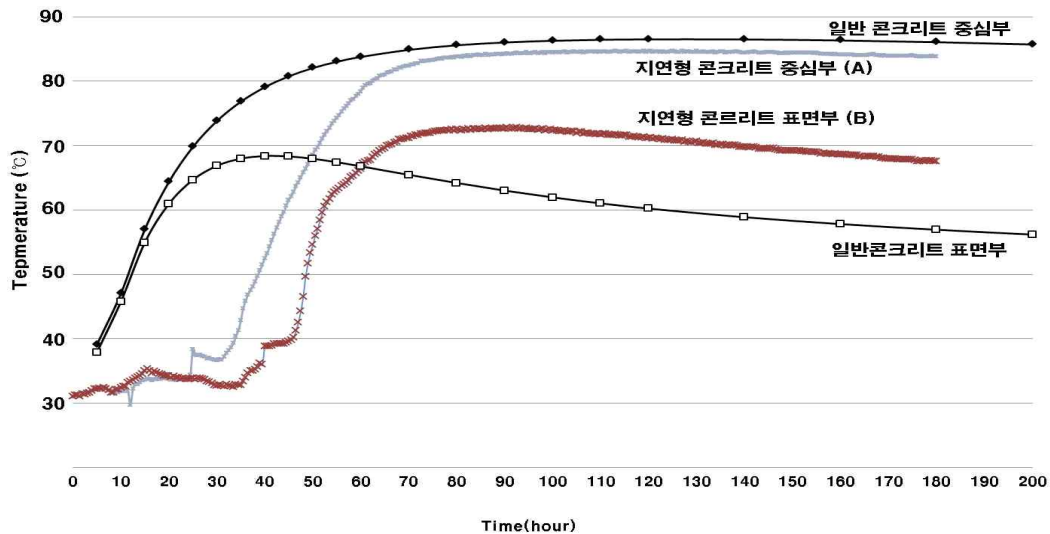


[그림 1.2] 매스콘크리트의 온도균열 발생 예

- [표 1.1]은 인도차이나 반도 지역 프로젝트의 매스콘크리트 시방조건을 나타낸 사례로서, 대부분의 공사시방서가 미국 및 유럽에서 적용하던 엄격한 기준들을 준용하고 있으므로 열악한 시공환경에서 이를 준수하기 위해서는 많은 검토와 상당한 노력이 요구됨.
- 매스콘크리트 관련 해외규정의 경우, ACI 301-16에서는 콘크리트의 최고 온도를 70℃ 이하, 표면과 중심부의 온도차를 20℃ 이하로 관리하도록 규정하고 있으며, BS 규정 역시 최고 온도를 70℃로 제한하고 있는데, 이는 매스콘크리트의 높은 내부 온도에 의한 Delayed Ettringite Formation(DEF) 발생 시 강도 및 내구성이 저하되고 내·외부 온도차가 과다할 경우 온도균열이 발생하기 때문으로, 이를 방지하기 위해 대부분의 프로젝트에서 매스콘크리트의 수화열 관리 방안을 요구하고 있음.
- 이러한 매스콘크리트의 온도제한 규정 준수를 위해 분할 타설을 적용하기에는 공사비 및 공기 증가가 불가피하고, 일체 타설을 통해 수화열을 제어하기에는 인도차이나 반도 지역 현지의 레미콘 생산, 타설 환경 하에서는 어려움이 있음.

[표 1.1] 인도차이나 반도 지역 프로젝트의 매스콘크리트 시방조건 사례

구분	콘크리트 강도 (MPa)	콘크리트 반입 온도	최고온도 (중심-표면 온도차)	기초두께
캄보디아 Satapana Bank	C40	35℃이하	70℃ / (20℃)	2.8m
인도네시아 Pondok Indah Mall 3	40	32℃이하	80℃ / (20℃)	2.2m
베트남 Landmark81	40	30℃이하	70℃ / (25℃)	5.0m
베트남 Vietin Bank	C40	35℃이하	70℃ / (20℃)	7.0m
베트남 Lotte Center Hanoi	40	32℃이하	80℃ / (25℃)	5.7m



[그림 1.3] 베트남 A프로젝트 수화열 그래프

- 이러한 현황을 고려하여 일부 인도차이나 반도 지역 프로젝트는 매스콘크리트의 온도제한을 일부 완화하여 제시하고 있지만 실시공에서는 최고온도가 80℃를 초과하고 중심부-표면의 온도차도 20℃를 초과하고 있는 것이 현실이며, 이로 인해 매스콘크리트의 시공은 인도차이나 반도 지역 건설 프로젝트 수행에 있어 비용 및 공기 측면에서 잠재적 리스크 요인으로 여겨지고 있음.
- 일반적으로 매스콘크리트의 수화열 제어는 아래와 같이 재료 및 배합, 생산, 타설, 보양 측면에서 다양한 관리기법이 고려될 수 있으나, 인도차이나 반도 지역 프로젝트에서 해당 항목들을 종합적으로 반영하여 관리하기에는 다음과 같은 한계가 있음.

[표 1.2] 인도차이나 현지 매스콘크리트의 수화열 제어 방안 검토(예)

항목		공법내용	장 점	단 점	현지 상황
시공	배합	초 저발열	■ 3성분계 프리믹스 시멘트 ■ 중용열, 저열 시멘트	■ 수화열 저감 최대	■ 비용 최대 증가
		저발열(3성분계)	■ 3성분계(OPC+FA+SP)	■ 수화열 저감 양호	-
		저발열(2성분계)	■ 2성분계(OPC+FA)	-	■ 수화열 저감 미흡
	시공/구조	■ 온도철큰 배근 ■ 파이프 쿨링	■ 일반시공으로 가능 ■ 수화열 저감	■ 철근량 증가, 비경제적 ■ 고비용, 효과적임, 정밀해석	■ 시공성 저하, 비용증가
		■ 응결시간차 공법	■ 수화열 관리 기능 ■ Max 5.7m 실적 보유	■ 최대두께 7.0m 실적없음 ■ 현지상황 고려한 연속타설 난이	■ 국내 혼화제 업체 현지 진출
보양	급열 양생	■ 수직분리타설 ■ 수평분리타설	- ■ 수화열 저감	■ 전단보강 비용, 수화열 저감 무 ■ 전단보강 비용	-
		■ 기본적인 보양계획	-	■ 급격한 수분 증발 :내/외부 구속력 증가→균열	■ 현지 외기온 높아 미 고려
	보온 양생	■ 증기 이용 급열 → 구조체 수화열 보충	-	■ 급격한 온도 증가 → 장기강도 저하(40℃ 이하 적합)	■ 현지 외기온 높아 미 고려
		■ 비닐+부직포2+ 천막	■ 시공성 우수	■ 부직포 자체 열전달률 높음 → 외기온 영향 큼	■ 현지 시공 실적 다수
	보온 양생	■ 버블시트 자체가 공기 가동 → 외기온 영향 적음	■ 단열 및 시공 성능 우수	■ 열에약함 ■ 비닐+부직포에 비해 고가	■ 현지 조달 여부 확인

- 첫째, 인도차이나 반도 지역 레미콘의 경우 수화열 저감을 위한 결합재 적용이 제한적임. 따라서 재료 및 배합설계 측면에서 혼화제 다량 치환 등의 수화열 저감 배합을 적극적으로 적용하기에는 품질확보 및 재료 수급 측면에서 한계가 있음.

- 둘째, 40℃에 이르는 최고 기온과 30℃ 전후의 일평균 기온, 콘크리트 온도 제어를 위한 레미콘 생산 설비 미비로 인해 현장 반입 콘크리트의 온도 저감에 한계가 있는데다가, 낙후된 교통 인프라에 의한 긴 운반시간으로 현장 반입 콘크리트 온도는 34℃ 이상의 외기온에 가깝게 관리되는 실정임.
- 셋째, 인도차이나 반도 지역 레미콘사들은 대부분 높은 단위수량과 결합재량에 기반한 부배합을 적용해 강도확보에 초점을 둔 배합설계를 하고 있으며, 고층·대형 건축물 납품 경험이 많지 않아 매스콘크리트와 같은 특수 콘크리트 배합설계 기술이 부족함.
- 마지막으로 시공측면에서 수화열 저감을 위해 고려할 수 있는 파이프쿨링은 비용이 크게 증가하고 기초의 특수설계 및 타설공법 등의 경험부족이라는 한계로 적용에 어려움이 있음.

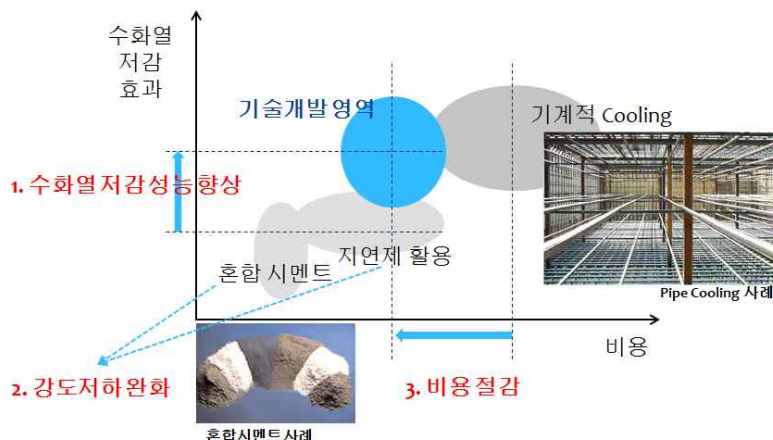
[표 1.3] 인도차이나 현지와 국내 매스콘크리트의 수화열 제어 기술 적용 환경의 비교 및 대안

분야	국내	인도차이나	비 고		대안
결합재	혼합시멘트, 특수시멘트 등 적절한 대책 가능	플라이애시만 사용가능	개선 불가	⇒	현지에서 경제적으로 적용 가능한 수화열 저감형 혼화제 활용 + 현지 여건 및 요구성능을 고려한 콘크리트 배합 도출
생산시설	칠러 등 냉각시설 보유	칠러 없음	개선 불가		
품질관리 인식	대형 매스부재의 연속생산 경험 많음	대부분의 경험 없음	개선 미흡		
콘크리트 온도	서중기간 28도 이내	연중 33도 이상	개선 불가		
배합설계	품질관리 중심의 최소 분체량 사용	압축강도 중심의 시멘트 다량 사용	개선 가능		
수화열관리방안	저발열 재료설계 통한 수화열 관리	파이프쿨링 등의 기계적 방법적용	개선 불가		

- 인도차이나 반도 지역 레미콘의 원재료 및 설비 현황, 시공환경, 기술수준을 고려했을 때 매스 부재의 수화열 저감을 위해 적용할 수 있는 방안은 제한적이고 그 효과 또한 미미한 수준임. 그러나 현지 인프라 환경에서 즉시 적용 가능하고 수화열 저감 및 제어 효과에 있어 검증된 기술을 발굴해 적용하는 것은 기술적, 경제적 파급효과가 클 것으로 판단됨.

- 연구 개발대상의 용도 및 적용 분야

- 본 기술은 무기질 수화 제어 물질과 유기질 PCM(Phase Change Material, 주변 온도의 변화에 따라 물질의 상태가 변화하며, 이 때 주변의 열을 흡수함) 을 이용한 유무기 복합형 수화열 저감재를 이용하여 매스콘크리트의 수화열을 저감하고 콘크리트의 유지관리 비용을 절감하는 기술임.
- 본 기술은 기존 기술 중 효과가 우수하나 고비용을 요구하는 기계적 Cooling 방법보다는 경제적이며, 혼합시멘트 등을 이용하는 방법보다는 우수한 성능을 발휘할 수 있는 영역을 대상으로 기술개발을 추진하고자 함.



[그림 1.4] 성능 및 비용과 관련된 본 기술개발의 영역

- 본 기술에서 사용하는 무기질 수화 제어 물질은 시멘트의 수화(특히 C3S)를 지연하는 무기 인산염(Phosphate acid)과 시멘트 광물의 반응성 향상을 위한 알칼리 무기염(Alkali Sulfate) 등으로 구성되며, 여기에 하이브리드 PCM 물질을 활용하여 수화열 저감 효과를 극대화하는 기술임.
- 시멘트의 수화열을 제어하기 위한 기존의 기술에서는 대부분 유기 지연제만 사용하여 수화열 저감에는 효과적이나 초기 강도 발현이 부진하여 거푸집 탈형이 지연되었으나 본 기술에서는 무기 촉진제(알칼리 무기염)와 병행하여 사용함으로써 이러한 현상을 완화할 수 있음.
- 이러한 기술을 활용하여 시멘트의 수화 발열 속도를 제어함으로써 궁극적으로 시멘트 수화열을 저감하면서도 강도발현을 촉진할 수 있음.
- 이 때 결합재의 초기 반응에서는 Phosphate acid에 의해 pH를 저감하고 이러한 효과에 의해 수화가 지연되며, 1일 이후의 반응에서는 Phosphate와 시멘트의 Calcium 이온의 반응에 의해 Calcium Phosphate hydrate의 생성과 Alkali Sulfate에 의한 시멘트의 수화촉진 현상으로 강도성능이 회복되는 효과를 가져올 수 있음.
- 무기 인산염(Phosphate salt)과 알칼리 무기염(Alkali salt)을 이용한 수화 제어 물질과 관련한 선행실험 결과, 기존의 유기 지연제보다 월등히 우수한 강도 성능을 나타내었으며, 수화열의 저감효과도 우수한 것을 확인함
- 또한 상변환 물질은 주변의 온도가 일정한 수준이 되면 상태가 변화하며 이 때 주변의 열을 흡수하여 추가적인 온도 상승을 억제할 수 있는데, 본기술에서 활용하고자 하는 PCM은 기존의 무기 잠열재보다 경제적이고 시멘트 수화 온도 영역(50~75℃)에서 더욱 효과적인 지방산계 유기 상변환 물질을 사용함.

[표 1.4] 신청기술 및 기존 기술의 비교

구분	기존 기술		신청 기술
수화열 저감 원리	저발열시멘트	- 4종 저발열 포틀랜드 (Alite 함유량 줄이는 방식) - 혼합 시멘트 (OPC 혼합량 줄이는 방식)	◦ 유무기 복합 지방산계 잠열재 기술 + ◦ 인산염 및 알칼리 염을 활용한 수화 제어 기술
	PCM	- 스트론튬계 잠열재 (88℃, 343J/g) : 상용화 - 바륨계 잠열재 (78℃, 266J/g) : 상용화 안됨 - 파라핀계 잠열재 (30℃~80℃, 약200J/g) : 캡슐화 건자재 적용, 콘크리트 적용 안됨	
수화열 저감 성능	저발열시멘트	혼입량에 따라 수화열 저감	◦ 흡열량은 기존 잠열재에 비하여 60 ~80% 수준 ◦ 상전이온도가 71℃로서 효과적 (75℃이하 관리)
	PCM	- 최고 온도 제어에 효과적(단, 상전이온도에 상관) - 80℃ 이하에서는 거의 효과 미미(스트론튬계)	
물리적 성능	저발열시멘트	강도 저하	◦ Plain 대비 7일강도 95%이상 ◦ Plain 대비 28일강도 100%이상
	PCM	Plain 대비 70(3일)~80%(28일)수준 강도 저하	
경제성	저발열시멘트	- 4종 저발열 시멘트 : 신청기술 대비 110 ~ 120% + 공기지연 - 혼합 시멘트 : 신청기술 대비 80 ~ 90% + 공기지연	◦ 신청기술을 100으로 볼 때 강도 지연에 따른 공기지연 x
	PCM	본 신청기술 대비 160 ~ 250% + 공기지연	

2) 연구개발과제의 연차별 목표

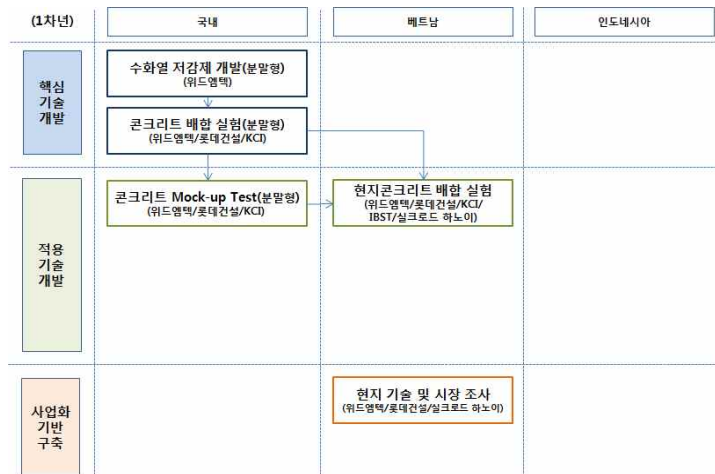
○ 1차 연도

- 개발 목표

[표 1.5] 1차년 개발 목표

구분	1차년 개발목표
(주)위드엠텍	◦ Phosphate-PCM계 복합물질 기반 수화열 저감제 개발 ◦ 국내 Mock-up 평가 및 해외 현지 시험
롯데건설	◦ 극서중 매스부재 요구성능 도출 ◦ Phosphate-PCM계 수화열 저감제 도입의 극서중 콘크리트 기본 배합설계 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험 평가(베트남)
KCI	◦ 매스콘크리트 관련 국제 코드 조사 ◦ 국내 Mock-up 시험 및 평가
IBST	◦ 베트남 매스 콘크리트 및 수화열 제어 현황 조사 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험 평가(베트남)
실크로드 하노이	◦ 베트남 매스 콘크리트 배합 조사 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험(베트남)

- 개발 내용 및 범위



[그림 1.5] 1차년 연구개발 내용 및 범위

○ 2차 연도

- 개발 목표

[표 1.6] 2차년 개발 목표

구분	개발목표
(주)위드엠텍	◦ Phosphate-PCM계 수화열 저감제 개발 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험(인도네시아) ◦ 수화열 저감제 시작품 제작 및 해외 Mock-up 평가(베트남)
롯데건설	◦ 규격별 배합설계 수립 ◦ Phosphate계 액상형 수화열 저감제를 이용한 콘크리트 개발 ◦ 해외 현지 실내 배합 실험(인도네시아) ◦ 베트남 Mock-up
KCI	◦ 시공 지침 및 기준수립 ◦ 해외 Mock-up 평가(베트남)
IBST	◦ 베트남 Mock-up 진행 및 성능평가 ◦ 베트남 공인, 매스부재 콘크리트 배합설계 승인 ◦ 베트남 공인, 수화열저감 및 콘크리트 시험성적서 발급
실크로드 하노이	◦ 수화열 저감제 시작품 제작(5t 이상) ◦ 베트남 현지 Mock-up 진행 및 평가
NEXCO	◦ 인도네시아, 매스부재 콘크리트 배합설계 도출

- 개발 내용 및 범위



[그림 1.6] 2차년 연구개발 내용 및 범위

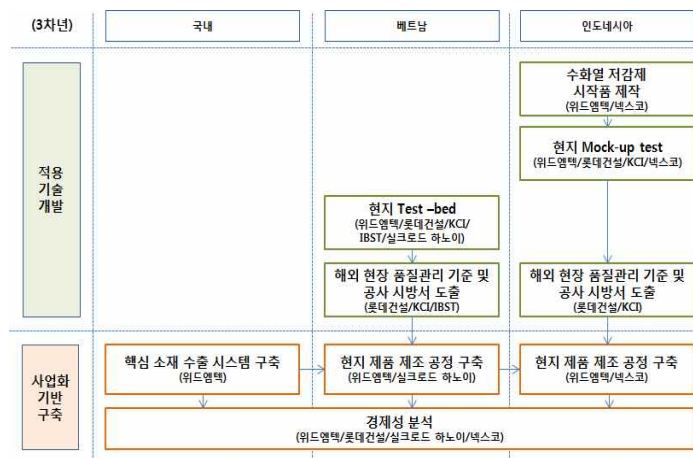
○ 3차 연도

- 개발 목표

[표 1.7] 3차년 개발 목표

구분	개발목표
(주)위드엠텍	- 수화열 저장제 시작품 제작 및 공정/품질관리 제정 (베트남/인도네시아) - 해외 Mock-up 평가(인도네시아) - 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) - 사업화 추진 및 Test-Bed 평가
롯데건설	- 해외 Mock-up 평가 및 시방서 도출(인도네시아) - 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) - 사업화 추진 및 Test-Bed 평가
KCI	- 해외 Mock-up 평가(인도네시아) - 수화열 저장제 적용 매스콘크리트의 해외 현장 시공 지침 도출 (베트남, 인도네시아)
IBST	- 베트남 Test-bed 모니터링 평가 - 베트남 수화열 저장 매스 콘크리트의 현장 적용 지침 도출
실크로드 하노이	- 해외 현장 Test-Bed 평가(베트남) - 베트남 현지 수화열 저장제 제조 기반 구축 - 베트남 마케팅
NEXCO	- 수화열 저장제 시작품 제작(5t 이상) - 해외 Mock-up 평가(인도네시아) - 인도네시아 현지 수화열 저장제 제조 기반 구축 - 인도네시아 마케팅

- 개발 내용 및 범위



[그림 1.7] 3차년 연구개발 내용 및 범위

[표 1.8] 년차별 연구개발 목표 및 내용

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년 차 (2019)	수화열 저감제 개발	시멘트 압축강도(7일)	75%	Plain대비 95% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 95%	15
		시멘트 압축강도(28일)	90%	Plain대비 100% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	10
		시멘트 수화열 저감율	5%	Plain대비 10% 이상	NA	15
	보급형 저발열 매스콘크리트 배합설계	콘크리트 압축강도(7일)	85%	Plain대비 95% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	20
		콘크리트 압축강도(28일)	90%	Plain대비 100% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	10
		콘크리트 최고 수화열	-	70 이하 (국내 Mock-up test 기준)	(Swiss-based global company, HolderChem) 70℃ 이하	30
	합계					100
2년 차 (2020)	수화열 저감제 개발	시멘트 압축강도(7일)	75%	Plain대비 95% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 95%	10
		시멘트 압축강도(28일)	90%	Plain대비 100% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	10
		시멘트 수화열 저감율	5%	Plain대비 10% 이상	NA	20
	보급형 저발열 매스콘크리트 배합설계 및 해외 Mock-up test 평가(베트남, 인도네시아)	콘크리트 압축강도(7일)	85%	Plain대비 95% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	15
		콘크리트 압축강도(28일)	90%	Plain대비 100% 이상	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	15
		콘크리트 최고 수화열	-	70 이하 (해외 베트남 Mock-up test 기준)	(Swiss-based global company, HolderChem) 70℃ 이하	30
	합계					100
3년 차 (2021)	해외 현장 Test-Bed 평가(베트남)	콘크리트 최고 수화열	-	70 이하 (해외 베트남 Test-bed 기준)	(Swiss-based global company, HolderChem) 70℃ 이하	100
	합계					100

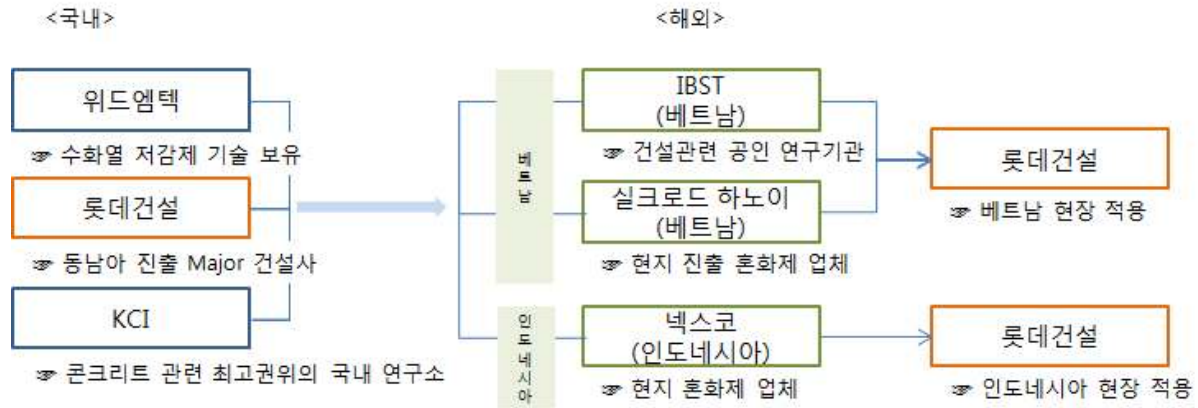
※ 시멘트 평가의 결합재의 구성은 OPC-FA 2성분계 시멘트를 기준으로 함.

※ 콘크리트 평가는 단위결합재량 440kg/m³, 35MPa급 이상 매스콘크리트를 대상으로 실시하며, 결합재의 구성은 OPC-FA 2성분계 시멘트를 기준으로 함.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

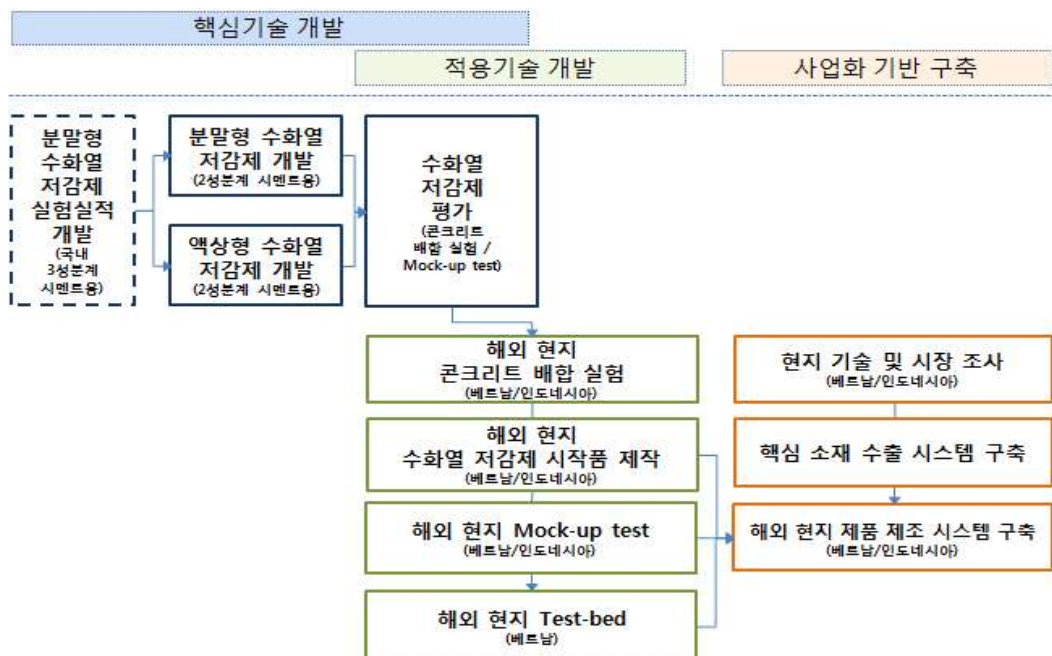
○ 연구개발 추진전략 · 방법

- 본 과제는 국내 기술을 기반으로 한 수화열 저감제를 인도차이나 반도 지역 현장에 적용하기 위한 project로, 국내 기술개발 및 검증을 위한 기업 및 기관, 해외 진출을 위한 현지 협력 기관과 업체, 현지 현장 적용을 위한 국내 대형 건설사로 참여기관이 구성되어 있음.



[그림 2.1] 참여기관의 전반적인 업무 흐름

- 이에 따라 국내에서는 수화열 저감제 기술을 보유하고 있는 (주)위드엠텍과 인도차이나 반도 지역에 진출한 롯데 건설, 국내 콘크리트 관련 연구에 권위를 갖는 KCI가 참여하여 기술의 검증 및 적용 기술 확보를 담당할 예정이며, 해외에서는 베트남 현장 적용을 위해 베트남의 건설관련 공인 연구기관인 IBST, 현지에 진출한 혼화제 업체인 실크로드 하노이가 관련 시험 및 평가를 지원하며, 인도네시아에서는 현지 혼화제 업체인 NEXCO에서 관련 시험 및 평가를 지원할 예정임.
- 또한 성공적인 사업화 기반 구축을 위해, 국내 기술을 기반으로 한 수화열 저감제를 인도차이나 반도 지역에 핵심소재를 수출하고 현장에 적용하기 위한 적용기술의 확보를 목표로 하며, 이에 따라 국내와 해외에서 각각 핵심기술 개발 및 적용 기술 개발, 사업화 기반까지 확보할 예정임.



[그림 2.2] 사업화 기반 구축을 위한 단계별 추진 계획

○ 연구개발 추진체계

[표 2.1] 기관 별 연구개발 추진체계 및 내용

연구개발과제		총 참여 연구원			
과제명	인도차이나 지역의 국제시방조건을 만족하는 Phosphate-PCM계 복합물질 기반 보급형 저발열 콘크리트 기술 개발	주관연구책임자 양완희 외 총 39명			
기 관 별 참 여 현 황					
구 분	연구기관수	참여연구원수			
대 기 업	1	롯데건설:10명			
중소기업	3	위드엠텍:10명 실크로드:4명 NEXCO:4명			
기 타	2	KCI:4명 IBST:8명			
(주) 위 드 엠텍					
인도차이나 지역의 국제시방조건을 만족하는 Phosphate-PCM계 복합물질 기반 수화열 저감제 개발 및 사업화 기반 구축					
양완희 외 9명					
담당기술개발내용					
■ Phosphate-PCM계 복합물질 기반 콘크리트 수화열 저감제 기술개발 ■ Phosphate-PCM계 복합물질 기반 콘크리트 수화열 저감제 해외 시제품 제작 ■ 국내외 Mock-up 시험 및 평가 ■ 수화열 저감제 현지화 방안 도출					
롯데건설		KCI	IBST	실크로드 하노이	NEXCO
김광기 외 9명		김영진 외 3명	Hoang Minh Duc외 7명	박종수 외 3명	김병주 외 3명
담당기술개발 내용		담당기술개발 내용	담당기술개발 내용	담당기술개발 내용	담당기술개발 내용
수화열 저감재를 활용한 보급형 저발열 콘크리트 제조 및 시공기술 개발		수화열 저감재를 활용한 매스 콘크리트의 시공 지침 도출	수화열 저감재를 활용한 매스 콘크리트의 베트남 적용 시공 지침 도출	베트남 현지 수화열 저감제 적용시험 및 제조 기반 구축	인도네시아 현지 수화열 저감제 적용시험 및 제조 기반 구축

○ 연구개발 추진일정

[표 2.2] 년차 별 연구내용 및 추진 일정

1차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위:천 원)	책임자 (소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Phosphate-PCM계 수화열 저감제 개발													162,000	양완희(위드엠텍)
2	극서중 매스부재 요구성능 도출 및 배합설계													30,000	김광기(롯데건설)
3	수화열 저감제를 이용한 보급형 저발열 콘크리트 개발													30,000	김광기(롯데건설)
4	매스콘크리트 관련 국제 코드 조사													10,000	김영진(KCI)
5	국내 Mock-up 시험 및 평가													20,000	김영진(KCI)
6	베트남 매스 콘크리트 현황 조사													30,000	Hoang(IBST)
7	해외 현지 실내 배합조사 및 배합실험(베트남)													10,000	박종수(실크로드)
2차년도															

1	Phosphate계 액상형 수화열 저감제 개발															70,000	양완희(위드엠텍)
2	규격별 배합설계 수립															30,000	김광기(롯데건설)
3	Phosphate계 액상형 수화열 저감제를 활용한 콘크리트 개발															30,000	김광기(롯데건설)
4	보급형 저발열 콘크리트 시공 지침 및 기준수립															30,000	김영진(KCI)
5	수화열 저감제 시작품 제작 (베트남)															95,000	양완희(위드엠텍) 박종수(실크로드)
6	해외 Mock-up 평가 (베트남)															118,000	박종수(실크로드) 양완희(위드엠텍) 김광기(롯데건설) Hoang(IBST)
7	공인 매스부재 배합 승인 및 공인성적서															20,000	Hoang(IBST)
8	해외 현지 실내 배합 실험(인도네시아)															15,000	김병주(NEXCO)
3차년도																	
1	해외 현장 Test-Bed 평가 (베트남)															82,000	김광기(롯데건설) 양완희(위드엠텍) 박종수(실크로드)
2	현지 Test-bed 모니터링 평가 (베트남)															50,000	Hoang(IBST) 김광기(롯데건설)
3	베트남 현지 수화열 저감 매스 콘크리트의 현장 적용 지침 도출															30,000	Hoang(IBST) 김광기(롯데건설)
4	보급형 저발열 콘크리트 시공 지침 도출															30,000	김영진(KCI)
5	수화열 저감제 시작품 제작 (인도네시아)															53,000	양완희(위드엠텍) 김병주(NEXCO)
6	해외 Mock-up 평가 (인도네시아)															82,000	김병주(NEXCO) 양완희(위드엠텍) 김광기(롯데건설)
7	수화열 저감제 현지화 방안 도출															50,000	양완희(위드엠텍)
8	현지 제품 제조 공정 구축 (베트남)															3,000	박종수(실크로드)
9	현지 제품 제조 공정 구축 (인도네시아)															10,000	김병주(NEXCO)
10	베트남 현지 마케팅															2,000	박종수(실크로드)

○ 국제공동연구 추진현황

- 추진 배경

◦ 국내 건설사 베트남 및 인도차이나 반도 지역 건설 시장 진출 활발

: 롯데건설은 현재 베트남 하노이 쇼핑몰 공사(2019 ~ 2023년), 베트남 호치민 주택공사 2건, 도시개발 공사 1건, 캄보디아 건축공사(2018~2021년), 인도네시아 건축 및 플랜트 공사 등 7건의 공사가 진행 중 이거나 예정임.

◦ 건축물 기초 매스콘크리트 구조물로 수화열 저감이 필요하나 현지 여건상 대책마련이 쉽지않음.

◦ 또한 베트남 및 인도차이나 반도 지역 시장에서 고강도 콘크리트 및 매스 구조물의 증가로 매스콘크리트에 대한 수화열 저감 기술 확보에 대한 시장의 요구가 필수적인 상황임.

- 성공 가능성

- **주관연구기관인 위드엠텍**은 금회 개발하고자 하는 복합물질 기반 콘크리트 수화열 저감제의 핵심기술인 유기계 수화열 저감제에 대한 지적재산권을 기 보유하고 있기 때문에 무기계 수화열 저감제와 복합한 재료개발이 가능함.
- **KCI**는 국내 콘크리트 기술인증기관 및 관련분야 최고 연구기관으로 개발기술의 성능평가 및 현장 적용 시 품질 및 성능 부분에서 최고 성능 확보를 위한 기술력을 보유함.
- **IBST**는 베트남 현지에서 현재 수화열을 저감하기 위한 기술 및 재료개발에 대한 국가 차원의 의지가 있어 금회 개발하고자 하는 기술에 대한 개발열의가 있으며, 현지에서 건설관련 연구, 법 개/제정, 공사 감독 및 국가공인시험기관의 업무를 수행하는 핵심연구기관임.
- **롯데건설**은 현재 베트남 및 인도차이나 반도 지역 국가에서 공사를 수행 중으로 수화열 저감 재료기술 개발 시 현장 적용을 할 수 있는 프로젝트가 현재 진행 및 예정 중임.
- 따라서 본 연구단의 구성은 원재료 개발, 개발 기술의 현장 적용 프로젝트 보유, 개발기술 현장 적용을 위한 베트남 정부 연구, 국가공인시험 및 감리를 수행기관 참여, 개발 기술 현장 적용을 위한 현지 혼화제 회사와의 공동연구로 개발 기술의 현장 적용이 유리함.

구분	1차년도 2019 (9M)		2차년도 2020 (12M)		3차년도 2021 (12M)	
추진일정	1. 수화열 저감 복합물질 개발 2. 개발재료 이용 수화열 저감성능 평가 3. 적용 대상 현장 조사 4. 현장 시방/요구조건 분석		1. 레미콘 규격별 최적 배합 도출 2. Mock-up Test 실시		1. 현장 적용 실험 실험 2. 현장 적용 3. 성능평가 및 모니터링	
사진						
현지 체제 일정	[현장 / 요구성능 조사]		[적용현장 배합/성능평가 시험 수행]		[적용현장 배합/성능평가 시험 수행]	
	베트남 3회	인도네시아 1회	베트남 3회	인도네시아 2회	베트남 3회	인도네시아 3회
	1) 과제회의/ 원재료 조사 2) 현장조사 3) 현지실험	1) 원재료/현장 조사	1) 현장 적용 협의 2) 배합실험 3) Mock-up 실험 4) 배합승인/성적서 발급	1) 실내 배합실험 2) 개발제품 수요자 미팅	1) 현장 적용 2) 품질 모니터링 1차 3) 품질 모니터링 2차 및 공동사 회의 (지침개발)	1) 현장 적용 협의 2) Mock-up 실험/ 수화열평가 배합승인

[그림 2.3] 사업화 기반 구축을 위한 단계별 추진 현황

- 상대국의 공동연구기관 및 공동연구책임자의 실적·연구 능력

- **IBST**는 베트남 건설국 소속 건설과학기술연구원이며, **공동연구기관의 책임자인 Hoang Minh Duc 박사**는 해당연구원에서 1999년부터 현재까지 다년간 재료관련 정부 주도 연구과제를 성공적으로 수행하고 있으며 현재 건축파트 연구소장을 역임 중임.
- 해당 연구기관은 정부출연 연구기관으로 ACI, JCI 등 미국, 일본, 호주, 한국, 유럽 등과 매년 국제교류 및 심포지엄을 개최하고 있는 명실상부한 베트남 최고의 연구수행기관으로, 해당분야에 대한 다년간의 연구경험과 개발기술의 현장 적용을 통한 베트남 현지 매스콘크리트 수화열 저감 기술 개발 의지가 강하기 때문에 연구성과 도출 가능성이 높음.

- 연구개발비, 연구개발 인력, 연구시설 등의 이용 및 분담 내용

- **IBST**는 원재료, 배합 및 내구성 시험 등 콘크리트 관련 제반 시험장비를 보유하고 있으며 해당분야 시험업무를 수행하는 전문인력을 보유하고 있는 베트남 최고 수준의 정부출연 연구소임.
- **IBST**는 해당 기술개발에 대한 의지로 참여를 열망하여 1차년도 연구비로 현금 150만원을 출연하고자 하며, 현지에서 콘크리트 배합시험과 수화열 시험, 내구성능 평가 시험을 진행할 예정임.

- 추진일정 및 국내외 현지 체제 일정

- **1차년도** - 원재료 분석 및 수화열 저감제 개발
- **2차년도** - 적용 현장 조건 분석 및 매스구조물 대상 목업테스트 실시
- **3차년도** - 현장 적용 및 모니터링

○ 연구개발 수행내용

- 1차년도 국제공동연구 연구목표 및 내용

수화열 저감제	• OPC-FA 2성분계 시멘트용 • 수화열 저감율 : 10% 이상(Plain 대비 최고온도 기준) • 7일 압축강도 : Plain 대비 95% 이상(모르타르 시험 기준) • 28일 압축강도 : Plain 대비 100% 이상(모르타르 시험 기준)
수화열 저감제를 활용한 콘크리트	• 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 (1.5m×1.5m×1.5m 부재의 Mock-up 평가 기준) • 7일 압축강도 : Plain 대비 95% 이상 • 28일 압축강도 : Plain 대비 100% 이상
수화열 저감제 시작품 (베트남/인도네시아)	• Phosphate계 액상형 수화열 저감제의 시작품 제작 • 시작품 제작 공정/품질관리 규정 확보
해외 Mock-up 평가 (베트남/인도네시아)	• 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 • Mock-up 시험체의 규격 : (1.5m×1.5m×1.5m 이상(3m³ 이상)) • 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 • 매스콘크리트의 시방서 작성
해외 현장 Test-Bed 평가 (베트남)	• 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 • Test-Bed 규모 : 12m³ 이상 • 중심부 최고 수화열 : 70℃ 이하 • 콘크리트 배합 설계 도출

[그림 2.4] 1차년 연구목표 및 내용

- 1차년도 연구내용 및 성과물(기관별)

구분	주진 내용	성과물
(주)위드애크	• Phosphate-PCM계 복합물질 기반 수화열 저감제 개발 • 국내 Mock-up 평가 및 해외 현지 시험	• 중간 보고서 취합 • 국내 실내 실험 결과 • 국내 Mock-up 시험 결과 • 해외 배합 실험 결과
롯데건설	• 극서중 매스부재 요구성능 도출 • Phosphate-PCM계 수화열 저감제 도입의 극서중 콘크리트 기본 배합설계 • 해외 현지 실내 배합 실험 평가(베트남)	• 극서중 매스부재 요구성능 도출 및 극서중 콘크리트 기본 배합설계 보고서
KCI	• 매스콘크리트 관련 국제 코드 조사 • 국내 Mock-up 시험 및 평가	• 매스콘크리트 관련 국제 코드 조사 보고서
IBST	• 베트남 매스 콘크리트 및 수화열 제어 현황 조사 • 해외 현지 실내 배합 실험 평가(베트남)	• 베트남 매스 콘크리트 관련 현황 보고서
실크로드 하노이	• 베트남 매스 콘크리트 배합 조사 • 해외 현지 실내 배합 실험(베트남)	• 베트남 매스 콘크리트 배합 조사 보고서 • 베트남 실내 배합 실험 결과 보고서

[그림 2.5] 1차년 연구내용 및 성과물

◦ 기술개발 및 현장 적용을 위한 준비 단계로 공동연구를 위한 다양한 회의 및 실험을 진행하였으며, 구체적인 내용은 다음과 같음.

- 국내 과제 추진 회의(일시 : 2019. 04.29, 장소 : 위드애크)
- 국내 추진 점검 회의(일시 : 2019. 05.20, 장소 : 위드애크)
- 해외 킥오프 회의(일시 : 2019. 06.25, 장소 : 베트남 IBST)
- 국내 배합 실험 계획 회의(일시 : 2019. 08.13, 장소 : 롯데건설)
- 국내 배합 실험(일시 : 2019. 08.29, 장소 : 실크로드 시앤티)
- 국내 배합 실험 결과 협의 및 목업 실험 계획 회의(일시 : 2019. 10.30, 장소 : 위드애크)
- 국내 목업 실험(일시 : 2019. 09.24, 장소 : 동탄역 롯데캐슬 현장)
- 해외 배합 실험(일시 : 2019. 10.30, 장소 : 베트남 실크로드 하노이)



[그림 2.6] 1차년 해외 킥오프 미팅

- 2차년도 국제공동연구 연구목표 및 내용

수화열 저감제	• OPC-FA 2성분계 시멘트용 • 수화열 저감율 : 10% 이상(Plain 대비 최고온도 기준) • 7일 압축강도 : Plain 대비 95% 이상(모르타르 시험 기준) • 28일 압축강도 : Plain 대비 100% 이상(모르타르 시험 기준)
수화열 저감제를 활용한 콘크리트	• 중심부 최고 수화열 : 70°C 이하 (1.5m×1.5m×1.5m 부재의 Mock-up 평가 기준) • 7일 압축강도 : Plain 대비 95% 이상 • 28일 압축강도 : Plain 대비 100% 이상
수화열 저감제 시작품 (베트남/인도네시아)	• Phosphate계 액상형 수화열 저감제의 시작품 제작 • 시작품 제작 공정/품질관리 규정 확보
해외 Mock-up (베트남/인도네시아)	• 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 • Mock-up 시험체의 규격 : (1.5m×1.5m×1.5m 이상(3m³ 이상)) • 중심부 최고 수화열 : 70°C 이하 • 매스콘크리트의 시방서 작성
해외 현장 Test-Bed (베트남)	• 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 • Test-Bed 규모 : 12m³ 이상 • 중심부 최고 수화열 : 70°C 이하 • 인도차이나반도의 매스콘크리트 배합 설계 제시

[그림 2.7] 2차년 연구목표 및 내용

- 2차년도 연구내용 및 성과물(기관별)

기관명	추진 내용	성과물
(주)위드애크	- 수화열 저감제 시작품 제작(베트남) - 해외 현지 시험(인도네시아) - 해외 Mock-up 평가(베트남)	- 국내 실내 실험 보고서 - Mock-up 시험 보고서 - 수화열 저감제 적용 공인 시험 성적서 - 수화열 저감제 특허 출원 - 총괄 연차 보고서
롯데건설(주)	- 인도차이나 반도의 매스콘크리트의 규격별 배합설계 수립 - 해외 현지 시험(인도네시아) - 해외 Mock-up 평가(베트남)	인도차이나 반도의 매스콘크리트 현황 및 기본 배합설계 보고서
KCI	- 시공 지침 및 기준수립 - 해외 Mock-up 평가(베트남)	- 극서중 매스콘크리트 시공 지침 및 시방서(안) - 수화열 저감제 적용 관련 논문 게재
IBST	- 베트남 현지 Mock-up 평가 - 베트남 공인 매스부재 배합 승인	- 베트남 현지 Mock-up 평가 보고서 - Mock-up 평가 공인 성적서
SILKROAD HANOI JSC	- 수화열 저감제 시작품 제작(베트남) - 베트남 현지 Mock-up 시험	- 시작품 제작 5Ton 이상 - 시작품 제작 관련 보고서
PT. Nexco indonesia	- 인도네시아 매스콘크리트 배합 조사 - 인도네시아 실내 배합 시험	- 인도네시아 매스 콘크리트 배합 조사 보고서 - 인도네시아 실내 배합 실험 결과 보고서

[그림 2.8] 2차년 기관별 연구내용 및 성과물

- 코로나 19의 영향으로 활발한 해외 교류 및 공동실험에는 제약이 있지만 3개국 각 기관들이 비대면 연계 및 실험을 진행하였으며, 구체적인 내용은 다음과 같음.
- 국내 과제 추진 회의(일시 : 2020. 02.06, 장소 : KCI)
- 국내 추진 점검 회의(일시 : 2020. 04.21, 장소 : 위드애크)
- 국내외 킥오프 비대면회의(일시 : 2020. 05.13, 장소 : 위드애크, BST)
- 국내 목업 실험(일시 : 2020. 07.08, 장소 : 기장 우신레미콘)
- 해외 배합 실험(일시 : 2020. 07.30, 장소 : 베트남, 실크로드 시앤티)
- 해외 목업 실험(일시 : 2020. 08.05, 장소 : 베트남, IBST)
- 해외 배합 실험(일시 : 2020. 09.01, 장소 : 인도네시아, NEXCO)
- 국내외 배합 및 목업 실험 결과 회의(일시 : 2020. 10.14, 장소 : 위드애크)



[그림 2.9] 2차년 연구과제 추진1



[그림 2.10] 2차년 연구과제 추진2

- 3차년도 국제공동연구 연구목표 및 내용

수화열 저감제	• OPC-FA 2성분계 시멘트용 • 수화열 저감율 : 10% 이상(Plain 대비 최고온도 기준) • 7일 압축강도 : Plain 대비 95% 이상(모르타르 시험 기준) • 28일 압축강도 : Plain 대비 100% 이상(모르타르 시험 기준)
수화열 저감제를 활용한 콘크리트	• 중심부 최고 수화열 : 70°C 이하 (1.5m×1.5m×1.5m 부재의 Mock-up 평가 기준) • 7일 압축강도 : Plain 대비 95% 이상 • 28일 압축강도 : Plain 대비 100% 이상
수화열 저감제 시작품 (베트남/인도네시아)	• Phosphate계 액상형 수화열 저감제의 시작품 제작 • 시작품 제작 공정/품질관리 규정 확보
해외 Mock-up (베트남/인도네시아)	• 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 • Mock-up 시험체의 규격 : (1.5m×1.5m×1.5m 이상(3m³ 이상)) • 중심부 최고 수화열 : 70°C 이하 • 매스콘크리트의 시방서 작성
해외 현장 Test-Bed (베트남)	• 콘크리트 배합 : 단위결합재량 440kg/m³ 이상, 28일 압축강도 35MPa 이상 • Test-Bed 규모 : 12m³ 이상 • 중심부 최고 수화열 : 70°C 이하 • 인도차이나반도의 매스콘크리트 배합 설계 제시

[그림 2.11] 3차년 연구목표 및 내용

- 3차년도 연구내용 및 성과물(기관별)

기관명	추진 내용	성과물
(주)위드애크	- 수화열 저감제(HHRⅡ) 연구개발 - 수화열 저감제 현지화 방안도출 - 수화열 저감제 적용 관련 논문 게재 - 수화열 저감제 해외 특허 출원	- 수화열 저감제 현지화 방안 도출 (베트남, 인도네시아 취급업체 MOU 체결) - 수화열 저감제 국외 특허 출원서 - 총괄 연차 보고서
롯데건설(주)	- 베트남 현지 수화열 저감 매스콘크리트 현장 적용 평가 - 현장 준비 및 지침도출 - 인도네시아 현지 Mock-up 평가	- 인도차이나 반도의 롯데건설 매스콘크리트 현장 확인 및 수화열 저감제 적용 가능한 현장 리스트 - 수화열 저감제의 국외 논문 게재
KCI	시공 지침 및 기준 수립	- 극서중 매스콘크리트 시공 지침 및 시방서 - 국문/영문(각 1부)
IBST	베트남 현지 현장 Mock-up 평가	- 베트남 현장 Mock-up 평가 보고서 (Mock-up 평가 공인 성적서)
SILKROAD HANOI JSC	- 수화열 저감제 제품 제조 공정구축(베트남) - 현장평가용 시제품(5t) 생산(베트남) - 베트남 현지 매스콘크리트 현장적용 - 베트남 현지 마케팅	- 제조 공정 구축 및 시제품 생산 보고서 - 베트남 현장 적용 Test-Bed 결과 보고서 - 현지(베트남) 수화열 저감제 취급업체 MOU체결
PT. Nexco indonesia	- 수화열 저감제 제품 제조 공정구축(인도네시아) - 인도네시아 실내 배합실험(인도네시아) - 수화열 저감제 시제품(5t) 생산(인도네시아) - 인도네시아 현지 Mock-up 시험	- 제조 공정 구축 및 시제품 제작 보고서 - 인도네시아 실내 배합 실험 결과 보고서 - 인도네시아 Mock-up 평가 보고서 - 현지(인도네시아) 수화열 저감제 취급업체 MOU체결

[그림 2.12] 3차년 기관별 연구내용 및 성과물

- 코로나 19의 영향으로 활발한 해외 교류 및 공동실험에는 제약이 있지만 3개국 각 기관들이 비대면 연계 및 실험을 진행하였으며, 구체적인 내용은 다음과 같음.
- 국외 현장적용 1차 회의(일시: 2021. 03. 30, 장소: 위드애크)
- 국외 현장적용 2차 회의(일시: 2020. 06. 14, 장소: 위드애크)
- 국내외 킥오프 비대면 회의(일시: 2021. 03. 30, 장소: 위드애크, IBST, 실크로드 하노이)
- 해외(베트남) 배합 실험(일시: 2021. 05. 17, 장소: 실크로드)
- 해외(인도네시아) 배합 실험(일시: 2021. 05. 11, 장소: 넥스코)
- 해외 Test-Bed (일시 : 2021. 07. 16, 장소: 하노이 롯데몰)
- 해외 Mock-up Test(일시: 2021. 07. 02, 장소: 인도네시아, NEXCO)
- 국내/외 성과점검 회의(일시 : 2021. 12. 14, 장소 : 위드애크)



[그림 2.13] 3차년 연구과제 추진 I



[그림 2.14] 3차년 연구과제 추진 II

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 1차년도 주요 연구수행 및 결과사항



[그림 3.1] 1차년 주요연구 수행사항

- 본 기술은 무기질 수화 제어 물질과 유기질 PCM을 이용한 유무기 복합형 수화열 저감제를 이용하여 매스콘크리트의 수화열을 저감하고 콘크리트의 유지관리 비용을 절감하는 기술임.
- 1차년에는 콘크리트 배합 실험 및 Mock-up test를 통해 개발 기술을 검증하였으며, 향후 현장 적용 가능성이 높은 상태임.
- 이에 따라 국내에서는 수화열 저감제 기술을 보유하고 있는 (주)위드엠텍과 인도차이나 반도 지역에 진출한 롯데 건설, 국내 콘크리트 관련 연구에 권위를 갖는 KCI가 참여하여 기술의 검증 및 적용 기술 확보를 담당할 예정이며, 해외에서는 베트남 현장 적용을 위해 베트남의 건설관련 공인 연구기관인 IBST, 베트남 현지에 진출한 혼화제 업체인 실크로드 하노이가, 인도네시아에서는 현지 혼화제 업체인 NEXCO에서 관련 시험 및 평가를 지원할 예정임.
- 향후 수출 증대는 물론 해외 project의 설계 및 수주 단계에서부터 국내 건설사의 경쟁력 강화가 기대됨.

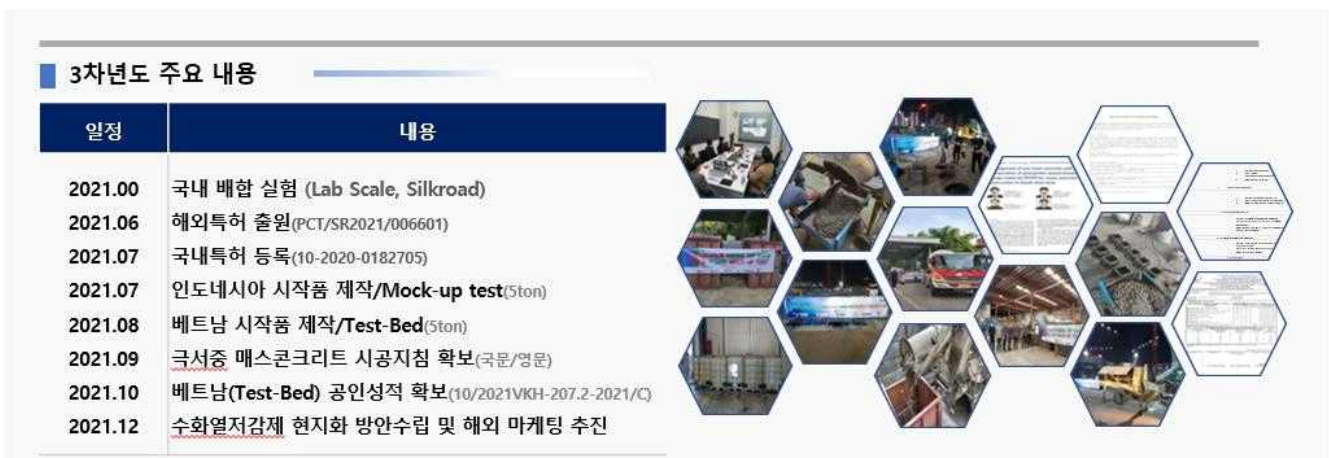
○ 2차년도 주요 연구수행 및 결과사항



[그림 3.2] 2차년 주요연구 수행사항

- 코로나 19의 영향으로 활발한 해외 교류 및 공동실험에는 제약이 있지만 3개국 각 기관들이 비대면 연계 및 실험을 진행하였음.
- 2차년에는 베트남 현지에서 시작품을 5Ton 생산하여 콘크리트 배합 실험 및 Mock-up test를 통해 개발 기술을 검증하였으며, 향후 현장 적용 가능성이 높은 상태임.
- 이에 따라 국내에서는 수화열 저감제 기술을 보유하고 있는 (주)위드엠텍과 인도차이나 반도 지역에 진출한 롯데 건설, 국내 콘크리트 관련 연구에 권위를 갖는 KCI가 참여하여 기술의 검증 및 적용 기술 확보를 담당할 예정이며, 해외에서는 베트남 현장 적용을 위해 베트남의 건설관련 공인 연구기관인 IBST, 베트남 현지에 진출한 혼화제 업체인 실크로드 하노이가, 인도네시아에서는 현지 혼화제 업체인 NEXCO에서 관련 시험 및 평가를 진행 함.
- 평가결과 수화열 상승 곡선의 기울기를 낮추는 경화지연형 수화열 저감제와 3일 이후 강도를 회복하는 촉진제의 조합으로 별도의 장비 및 설비가 필요하지 않아 기존 기술 대비 경제적 차별성 및 수화열 저감 경쟁력이 있는 기술로 평가할 수 있음.
- 향후 수출 증대는 물론 해외 project의 설계 및 수주 단계에서부터 국내 건설사의 경쟁력 강화가 기대 됨.

○ 3차년도 주요 연구수행 및 결과사항



[그림 3.3] 3차년 주요연구 수행사항

- 실용화 대상국인 베트남 및 인도네시아는 코로나 19 팬데믹의 영향으로 노동력, 건설자재 투입에 더 많은 물류 및 생산 비용이 투입되고, 공기의 지연이 발생하고 있어 추가 분쟁을 방지하고 건설 품질확보를 위한 최적화 된 기술임.
- 주관 연구기관인 위드엠텍은 개발하고자 하는 수화열 저감제의 핵심기술 관련 국내(출원/등록), 국외(PCT출원) 지적재산권을 보유하고 있으며, 롯데건설은 현재 베트남 및 인도차이나 반도 지역 국가에서 다양한 project를 수행하고 있으므로, 기술개발은 물론 현장 적용까지 적극적인 수행이 가능함.
- 이에 따라 국내에서는 수화열 저감제 기술을 보유하고 있는 (주)위드엠텍과 인도차이나 반도 지역에 진출한 롯데 건설, 국내 콘크리트 관련 연구에 권위를 갖는 KCI가 참여하여 기술의 검증 및 적용 기술 확보를 하였으며, 이를 기반으로 해외기관 Mock-up test 및 베트남 현장 적용(Test-Bed)을 실시함.
- 현장적용 실적과 국내 기술을 기반으로 핵심소재를 수출하고 인도차이나 반도 지역 현지에서 수화열 저

감제를 제조하여 매스콘크리트에 활용을 목표로하는 제품의 사업화를 추진 중임.

- 또한, 베트남 현지에서의 롯데몰 현장적용(Test-Bed) 실적을 기반으로 성능 입증과 더불어 콘크리트의 안정성을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 현지(베트남, 인도네시아)의 제조업체와 MOU 협약을 체결하여 사업화를 추진 중임.
- 이를 위하여 해외 레미콘 및 매스 콘크리트 시장규모 등의 철저한 조사를 진행하였으며, 실제 현장적용 및 판매를 위한 해외(베트남, 인도네시아) 현지 제조업체 간 MOU 협약을 체결하였음.
- 향후 인도차이나 반도 지역과 같은 극서중 환경에서 용이하게 적용이 가능한 수화열 제어 기술의 확보로 해외 진출이 필요한 국내 건설 회사의 기술 경쟁력 향상과 기술 격차 해소에 기여가 가능할 것으로 판단되며, 이에 따른 해외 project의 수주 증가와 국제 건설시장에서의 국가 경쟁력 향상이 기대됨.

○. 제품 현지화 및 해외 마케팅

롯데건설 해외 현장정보



1. 공사명: VND스타레이크
2. 위치: 베트남 하노이북동리엡구띠이호띠이지역
3. 용도: 오피스, 호텔, SR

1. 하노이 VND 스타레이크



1. 공사명: 롯데월드코 스마트 시티
2. 위치: 베트남 호찌민2군 두띠엡선도시 지구
3. 용도: 아파트, 오피스, 호텔 등 복합시설

2. 두띠엡 에코 스마트 시티



- 공사명: 싱가포르 통합교통허브 프로젝트
 위치: Land Transport Authority (싱가포르 육상교통청)
 용도: 오피스 (LTA 본사), 상업시설, 스포츠센터, 도서관, 버스 환승소 등

3. 싱가포르 통합교통허브 프로젝트



- 공사명: LINE (LOTTE Indonesia New Ethylene complex) Project
 위치: 인니 쾰레곤, BantenProvince
 용도: 에틸렌 생산 플랜트

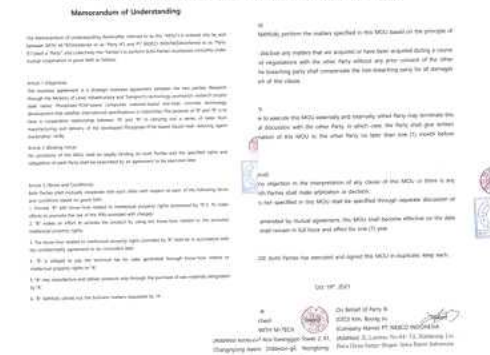
4. LINE project

해외업체 협약(MOU) 체결

<“Vina Fly Ash and Concrete Co., Ltd.” MOU 체결>



<“PT. NEXCO INDONESIA” MOU 체결>



[그림 3.4] 3차년 제품 현지화 마케팅 준비

(2) 정량적 연구개발성과

○ 연구과제 개발목표치 및 도달수준

- 정량적 연구성과 목표

[표 3.1] 년차 별 정량적 연구성과 목표

구분		1차년도	2차년도	3차년도	계	도달수준
국외논문 게재	SCI					
	비SCI			1	1	1
	계			1	1	1
국내 논문 게재	SCI					
	비SCI		1		1	1
	계		1		1	1
특허출원	국내		1		1	1
	국외			1	1	1
	계		1	1	2	2
특허등록	국내			1	1	1
	국외					
	계			1	1	1
인력양성	석사					
	박사					
	계					
기술이전	계약건수					
	계약액					
	징수액					
국제 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
국내 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	1	1	1	3	3
	연구시설·장비					
	기술요약정보					
	생명 자원	생명정보				
		생물자원				
		신품종				
	소프트웨어					
	화학물					
기타	시제품		1	1	2	2
	성과 홍보		1		1	1
	일자리 창출	1			1	1

○ 1차년도

- 기술개발 결과의 검증을 위하여 공인시험 성적 2건, 목업 시험 보고서 1건을 확보함.
- 또한 일자리 창출의 실적 1건 발생으로 주관기관인 주식회사 위드엠텍에서 신규채용을 하여 2019.08.01.~ 현재까지 재직중에 있음.

○ 2차년도

- 논문 ‘인산계 무기염을 이용한 콘크리트의 수화 발열특성에 관한 실험적 연구’ 한국건축시공학회에 투고 하여 심사 완료하였으며 12월 게재 완료.
- 특허명 ‘경화 지연형 수화열 저감제 및 이를 이용한 수화열 저감 콘크리트 조성물’ 11월 출원 완료.

○ 3차년도

- 해외논문 ‘Development of low-heat concrete with incorporation of phosphate-based phase change material (PCM) for mass concrete construction in South-East Asia.’ ACF(Asian Concrete Federation) Magazine에 투고하여 2021년 9월 게재 완료. [Sep.2021 Vol.3 No.1, page 8-13] [ISSN : 2384-4264]
 - 국내 특허 ‘액상형 수화열 저감제 조성물 및 이를 이용한 수화열 저감 콘크리트’ 출원 및 등록 완료. [출원번호: 102020018270(출원일: 2020.12.24.)], [등록번호: 1022901930000(등록일: 2021.08.10.)]
 - 해외 특허 ‘LIQUID-TYPE HYDRATION HEAT-REDUCING AGENT COMPOSITION AND HYDRATION HEAT-REDUCING CONCRETE USING THE SAME’ PCT 출원 완료. [PCT/KR2021/006601], [International filing date(27.05.2021)]
 - 본 기술은 유무기 복합형 수화열 저감제를 인도차이나 반도 지역에 적용하는 것을 목적으로 하며, 3차년에는 베트남에서 B/P test 및 Test-Bed를 진행하였고 인도네시아 현지에서 실내 배합실험 및 Mock-up Test 진행하여 경화 지연형 수화열 저감제의 평가를 실시함.
 - 해외에서는 베트남 현장 적용을 위해 베트남의 건설관련 공인 연구기관인 IBST, 베트남 현지에 진출한 혼화제 업체인 실크로드 하노이가, 인도네시아에서는 현지 혼화제 업체인 NEXCO에서 관련 시험 및 평가를 진행 함.
-

(3) 세부 정량적 연구개발성과

○ 연구과제 개발목표치 및 도달수준

- 연구개발목표

[표 3.2] 년차 별 세부 정량적 연구성과 목표

평가 항목 (주요성능 Spec)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업	연구개발 전 국내수준	개발 목표치		
			성능수준	성능수준	1차년도 2019년	2차년도 2020년	3차년도 2021년
1. 시멘트 압축강도(7일)	MPa	15	(Swiss-based global company, HolderChem) 95%	75	Plain대비 95% 이상	Plain대비 95% 이상	-
2. 시멘트 압축강도(28일)	MPa	10	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	90	Plain대비 100% 이상	Plain대비 100% 이상	-
3. 시멘트 수화열 저감율	%	15	N/A	5	Plain대비 10% 이상	Plain대비 10% 이상	-
4. 콘크리트 압축강도(7일)	MPa	20	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	85	Plain대비 95% 이상	Plain대비 95% 이상	Plain대비 95% 이상
5. 콘크리트 압축강도(28일)	MPa	10	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	90	Plain대비 100% 이상	Plain대비 100% 이상	Plain대비 95% 이상
6. 콘크리트 최고 수화열	℃	30	(Swiss-based global company, HolderChem) 70℃ 이하	-	70 이하 (국내 Mock-up test 기준)	70 이하 (베트남 Mock-up test 기준)	70 이하 (베트남 Test-bed 기준)

* 시멘트 평가의 결합재의 구성은 OPC-FA 2성분계 시멘트를 기준으로 함.

* 콘크리트 평가는 단위결합재량 440kg/m³, 35MPa급 이상 매스콘크리트를 대상으로 실시하며, 결합재의 구성은 OPC-FA 2성분계 시멘트를 기준으로 함.

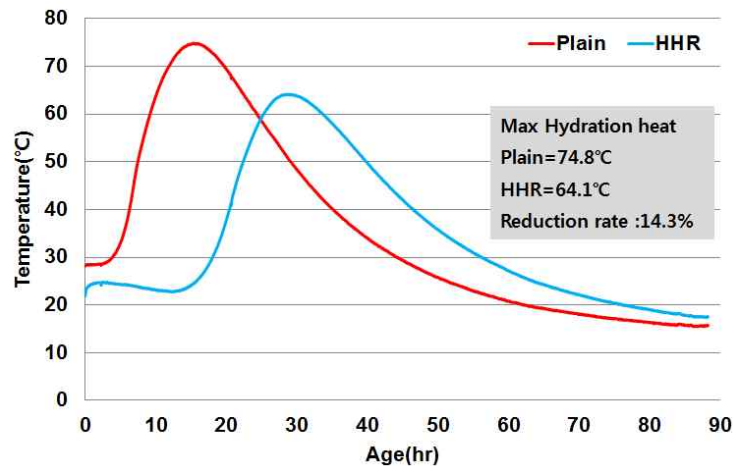
○ 1차년도

- 본 기술은 유무기 복합형 수화열 저감제를 인도차이나 반도 지역에 적용하는 것을 목적으로 하며, 1차년에는 국내에서 Mock-up test를 진행하고 베트남 현지에서 배합실험을 진행함.
- 본 성능 평가에 사용된 Phosphate-PCM계 수화열 저감제(HHR)는 앞서 평가한 모르타르의 특성과 수화열 평가결과에 따라 도출된 최적조성으로 배합실험을 실시하여 모르타르 성능 평가를 진행하였으며, 성능 평가 실시 항목은 모르타르의 압축강도(7일, 28일), 모르타르의 수화열을 측정하여 최고 수화열 온도를 확인함.

[표 3.3] 1차년도 세부 정량적 연구성과

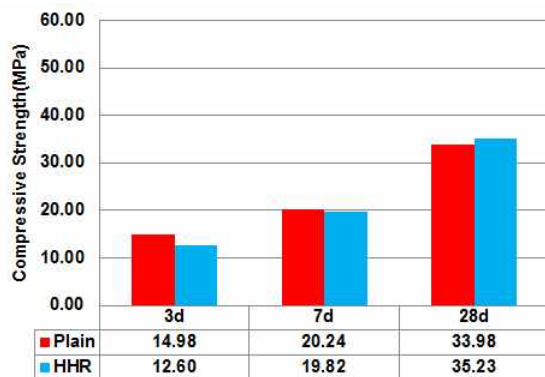
평가 항목 (주요성능 Spec)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업	연구개발 전 국내수준	개발 목표치	개발 완료치	
			성능수준	성능수준	1차년도 (2019년)	도달수준	1차년도 개발완료 DATA
1. 시멘트 압축강도(7일)	MPa	15	(Swiss-based global company, HolderChem) 95%	75	Plain대비 95% 이상	96.0 %	Plain 26.1 MPa
							HHR 25.6 MPa
2. 시멘트 압축강도(28일)	MPa	10	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	90	Plain대비 100% 이상	103.9 %	Plain 40.8 MPa
							HHR 42.4 MPa
3. 시멘트 수화열 저감율	%	15	NA	5	Plain대비 10% 이상	14.3 %	Plain 74.8 ℃
							HHR 64.1 ℃
4. 콘크리트 압축강도(7일)	MPa	20	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	85	Plain대비 95% 이상	97.9%	Plain 20.2 MPa
							HHR 19.8 MPa
5. 콘크리트 압축강도(28일)	MPa	10	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	90	Plain대비 100% 이상	103.7%	Plain 34.0 MPa
							HHR 35.2 MPa
6. 콘크리트 최고 수화열	℃	30	(Swiss-based global company, HolderChem) 70℃ 이하	-	70 이하 (국내 Mock-up test 기준)	61.4℃	Plain 71.4 ℃
							HHR 61.4 ℃

- Phosphate-PCM계 수화열 저감제(HHR)를 혼입한 모르타르의 압축강도를 평가하기 위해 <표 3.1>의 배합에 따라 모르타르 시험체를 제조하였으며, 재령일 7일, 28일 시험체에 대한 압축강도 측정을 KS L ISO 679의 시험 방법에 준하여 실시함.
- 본 기술개발에 있어 유무기 복합형 수화열 저감제의 모르타르 압축강도의 개발목표는 재령일 7일에 Plain대비 95% 이상, 28일에 Plain대비 100% 이상으로 시험결과는 재령일 7일에 Plain은 26.1MPa, HHR은 25.6MPa로 확인되었으며, 재령일 28일에 Plain은 40.8MPa, HHR은 42.4MPa로 재령 7일에 HHR 시험체는 Plain대비 96% 성능 향상이 되었으며, 재령 28일에 Plain대비 103.9% 성능이 향상되어 개발 목표를 만족함.

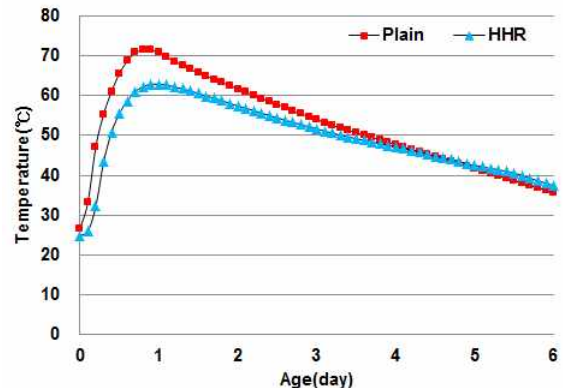


[그림 3.5] 시멘트 수화열 실험결과 그래프

- 본 기술은 유무기 복합형 수화열 저감제를 인도차이나반도 지역에 적용하는 것을 목적으로 하며, 1차년에는 국내에서 Mock-up test를 진행하고 베트남 현지에서 배합실험을 진행함.
- 국내 Mock-up test 결과 Plain 대비 12.6% 수준의 수화열 저감 성능을 확보하였으며, 베트남 배합 실험 결과 10% 이상 수화열이 저감되는 것을 확인함.
- 압축강도 측정 결과로는 Plain, HHR의 순서로 3일에 14.98MPa, 12.60MPa 측정되었으며, 7일에 20.24 MPa, 19.82 MPa, 28일에 33.98 MPa, 35.23MPa 측정됨.
- 수화열 저감 성능 확보에도 불구하고 강도 성능은 재령 7일 기준으로 Plain 대비 95% 이상의 성능을 나타내므로, 향후 인도차이나 지역의 매스 콘크리트 제조에 활용이 가능할 것으로 기대됨.



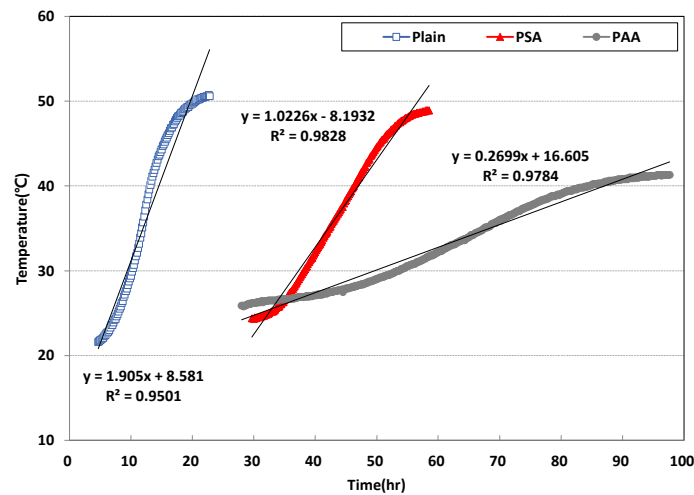
[매스콘크리트의 Mock-up Test(압축강도)]
(재령 7일 Plain 대비 압축강도 성능 97.9%)
(재령 28일 Plain 대비 압축강도 성능 103.7%)



[그림 3.6] 1차년 국내 Mock-up Test 결과

○ 2차년도

- 본 기술은 유무기 복합형 수화열 저감제를 인도차이나 반도 지역에 적용하는 것을 목적으로 하며, 2차년에는 베트남에서 Mock-up test를 진행하고 인도네시아 현지에서 배합실험만을 진행 예정이었으나 코로나 19로 인하여 국내 Mock-up test를 추가로 진행하여 경화지연형 수화열 저감제의 평가를 국내외 동시 검증 실시함.
- 국내 및 국외 Mock-up test 결과 Plain 대비 각각 13.8%, 22.2% 수준의 수화열 저감 성능을 확보하였으며, 인도네시아 배합 실험 결과 10% 이상 수화열이 저감되는 것을 확인함.
- 수화열 저감 성능 확보에도 불구하고 강도 성능은 재령 7일 기준으로 Plain 대비 95% 이상의 성능을 나타내므로, 향후 인도차이나 지역의 매스 콘크리트 제조에 활용이 가능할 것으로 기대됨.



[그림 3.7] 시험체별 수화 발열 곡선의 기울기

[표 3.4] 2차년도 세부 정량적 연구성과

평가 항목 (주요성능 Spec)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업	연구개발 전 국내수준	개발 목표치	개발 완료치	
			성능수준	성능수준	2차년도 (2020년)	도달수준	2차년도 개발완료 DATA
1. 시멘트 압축강도(7일)	MPa	15	(Swiss-based global company, HolderChem) 95%	75	Plain대비 95% 이상	95.0 %	Plain 27.30 MPa HHR II 25.94 MPa
2. 시멘트 압축강도(28일)	MPa	10	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	90	Plain대비 100% 이상	103.9 %	Plain 39.70 MPa HHR II 41.25 MPa
3. 시멘트 수화열 저감율	%	15	NA	5	Plain대비 10% 이상	11.0%	Plain 53.5 °C HHR II 47.6 °C
4. 콘크리트 압축강도(7일)	MPa	20	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	85	Plain대비 95% 이상	97.9%	Plain 26.6 MPa HHR II 26.5 MPa
5. 콘크리트 압축강도(28일)	MPa	10	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	90	Plain대비 100% 이상	103.7%	Plain 40.7 MPa HHR II 42.2 MPa
6. 콘크리트 최고 수화열	°C	30	(Swiss-based global company, HolderChem) 70°C 이하	-	70 이하 (베트남 Mock-up test 기준)	52.1 °C	목표치 ≤ 70 °C HHR II 해외: 52.1 °C

- 상기의 연구 목표치를 만족하기위하여, 한국산업기술시험원에서 공인인증 시험의뢰를 진행하였으며, 그 결과는 [표 3.4]와 같음.

- 선행으로 개발된 수화열 저감제(액상형)를 적용하여 시멘트 모르타르의 강도를 평가한 결과 7일 강도는 25.94MPa로 나타나 Plain 7일 강도 27.30MPa와 유사한 값을 나타냄. 목표치 95%와 유사한 데이터를 확보함. 28일의 강도는 Plain 39.70 MPa, HHR 41.25 MPa로 측정되어 Plain 대비 103.9%의 압축강도 발현율을 확인할 수 있었음.
- 동일 배합의 시멘트 모르타르의 수화열 측정결과 Plain 53.5 °C, HHR 47.6 °C로 각각 측정되었으며 Plain 대비 11.0% 수준으로 저감하여, 2차년도 연구 목표치에 만족하는 결과를 확인할 수 있었음.
- 저발열 콘크리트의 재령 별 압축강도 측정에 따른 국내 공인성적을 확보하기 위하여 동일재료를 사용하여 산업기술시험원의 참관하에 콘크리트 배합실험을 진행하였음.
- 콘크리트 배합실험 결과 Plain, HHR의 순서로 7일에 26.6 MPa, 26.5 MPa 측정되어 HHR의 경우 Plain 대비 97.7% 수준을 확인하였으며, 28일에는 40.7 MPa, 42.2 MPa로 측정되어 Plain 대비 103.7%의 압축강도 발현율을 확보할 수 있었음.
- 저발열 콘크리트 (베트남) Mock-up test 실시결과 베트남에서 제작된 시작품을 활용하여 베트남 공인성적시험 기관인 IBST에서 Mock-up test를 진행하였으며 시험체 크기는 1.5m×1.5m×1.5m(3.3m3)로 목표치 3m3를 달성하였으며 중심부 수화열 최고온도는 52.1°C를 나타내 목표치 70°C이하를 만족함.

○ 3차년도

- 본 기술은 유무기 복합형 수화열 저감제를 인도차이나 반도 지역에 적용하는 것을 목적으로 하며, 3차년에는 베트남에서 Mock-up test 및 Test-Bed를 진행하였고 인도네시아 현지에서 실내 배합실험 및 Mock-up Test 진행하여 경화 지연형 수화열 저감제의 평가를 실시함.
- 인도네시아 Mock-up test 콘크리트 3 m3 타설 결과 440kg/m3 이상 기준 28일 압축강도 35MPa 이상의 성능을 확보함. 수화 발열온도 측정결과 수화열 저감제가 Plain 대비 10.8% 감소하였으며, 중심부의 최고 온도 66.4 °C로 측정되어 연구목표인 70.0°C 이하 범위를 만족함.
- 베트남 Test-Bed, B/P test 결과 콘크리트 배합 단위 결합재량 440kg/m3 이상 기준 28일 압축강도 35MPa 이상의 성능을 확보하였으며, 수화열 저감제가 혼입된 콘크리트 타설 부재의 수화발열 측정결과 중심부의 최고온도 61.0 °C로 측정되어 연구목표인 70.0°C 이하 범위를 만족함.
- 수화열 저감 성능 확보 및 현장적용에 따른 성과검증을 기반으로 향후 인도차이나 지역(베트남, 인도네시아 등)의 매스 콘크리트 제조 및 활용에 따른 사업화가 가능할 것으로 기대됨.

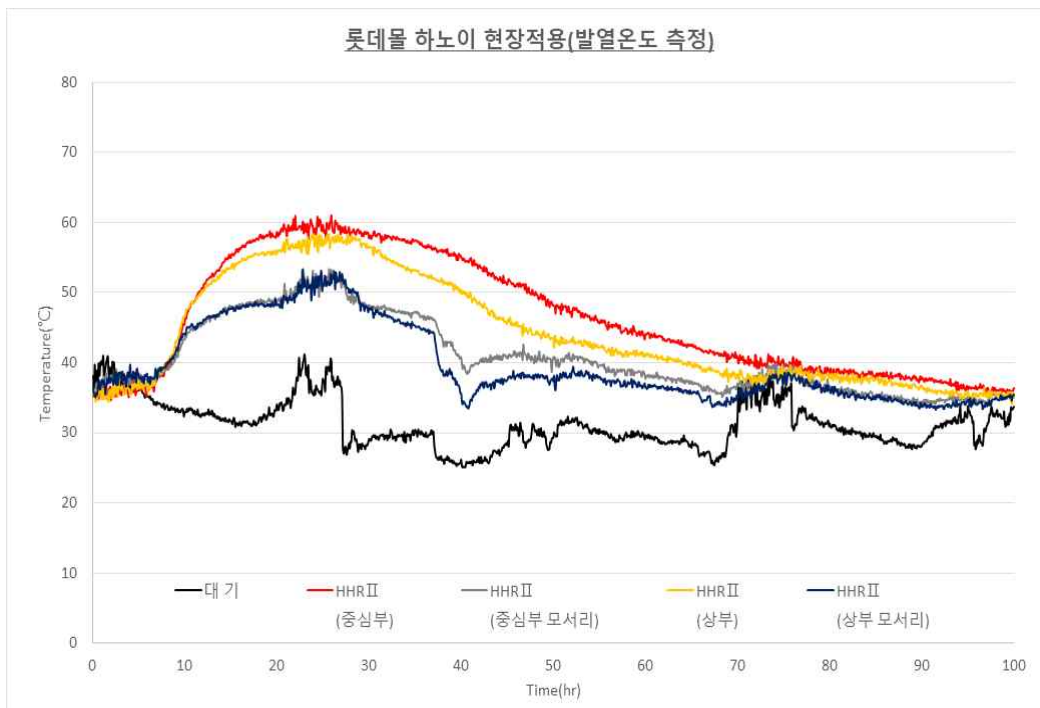


[그림 3.7] 3차년 주요 연구내용

[표 3.5] 3차년도 세부 정량적 연구성과

평가 항목 (주요성능 Spec)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업	연구개발 전 국내수준	개발 목표치	개발 완료치	
			성능수준	성능수준	3차년도 2021년	도달수준	차년도 개발완료 DATA
4. 콘크리트 압축강도(7일)	MPa	20	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	85	Plain대비 95% 이상	97.7%	Plain 38.4 MPa HHR II 37.5 MPa
5. 콘크리트 압축강도(28일)	MPa	10	(Swiss-based global company, HolderChem) 100%	90	Plain대비 95% 이상	103.5%	Plain 43.2 MPa HHR II 44.7 MPa
6. 콘크리트 최고 수화열	℃	30	(Swiss-based global company, HolderChem) 70℃ 이하	-	70 이하 (베트남 Test-bed 기준)	61.0℃	목표치 ≤ 70 ℃ HHR II 61.0

- Phosphate계 복합물질 기반 수화열 저감제의 Test-Bed 적용에 따른 품질 시험결과 압축강도 측정결과와 HHR II 혼입 시험체가 7일에 Plain 대비 97.7%, 28일의 경우 103.5% 수준의 우수한 강도 성능을 확인함. 발열량 측정결과와 경우 중심부 최고온도 HHR II 61.0 ℃로 측정되어 개발 목표치에 만족하는 성능을 확인할 수 있었음.
- Test-Bed 현장시험 측정결과 현장 타설 콘크리트의 유동성 및 압축강도는 연구목표에 부합하는 데이터를 확보할 수 있었으며, 수화열 저감제가 혼입된 콘크리트 타설 부재의 수화발열 측정결과 중심부의 최고온도 61.0 ℃로 측정되어 연구목표인 70.0℃이하 범위를 만족할 수 있었음.



[그림 7.8] 베트남 현장 매스콘크리트 수화 발열온도 그래프

- 상기 일련의 과정을 통하여 베트남 현지에서의 Phosphate계 복합물질 기반 수화열 저감제가 혼입된 콘크리트의 현장적용을 성공적으로 마칠 수 있었으며, 콘크리트의 성능 또한, 연구목표를 모두 만족/달성하는 데이터를 확보할 수 있었음.

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	인산계 무기염을 이용한 콘크리트의 수화 발열 특성에 관한 실험적 연구	한국건축시 공학회 논문집	정석만	20(6)	대한민국	한국건축시공 학회	비SCIE	2020-12	1598-2033	100%
2	Development of low-heat concrete with incorporation of phosphate-based phase change material (PCM) for mass concrete construction in South-East Asia	ACF(Asian Concrete Federation) Magazine	김영선	Vol.3 No.1	태국	Asian Concrete Federation	비SCIE	2021-09	2384-4264	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2019	연구개발 연차보고서(1차년 보고서) (Phosphate-PCM계 복합물질 기반 보급형 저발열 수화열 저감제의 기술 개발)	2019.12.	등록예정
2	2020	연구개발 연차보고서(2차년 보고서) (Phosphate계 복합물질 기반 보급형 저발열 수화열 저감제의 기술 개발)	2020.10.	등록예정
3	2021	연구개발 연차보고서(최종보고서) (Phosphate계 복합물질 기반 보급형 저발열 수화열 저감제의 현장적용 및 사업화 구축)	2021.12.	등록예정

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	액상형 수화열 저감제 조성물 및 이를 이용한 수화열 저감 콘크리트 조성물	대한민국	주식회사 위드엠텍, 롯데건설 주식회사	2020년 12월 24일	10-2020-0 182705	주식회사 위드엠텍, 롯데건설 주식회사	2021년 08월 10일	10-2290-1 930000	100%	활용 예정
2	특허	LIQUID-TYPE HYDRATION HEAT-REDUCING AGENT COMPOSITION AND HYDRATION HEAT-REDUCING CONCRETE USING THE SAME	베트남	주식회사 위드엠텍, 롯데건설 주식회사	2021년 05월 27일	PCT/KR20 21/006601	-	-	-	100%	활용 예정

☐ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
	√										

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

☐ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

☐ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	수화열 저감제	2020-08-05	실크로드 하노이	Charmvit Tower, 117 Tran Duy Hung Street, Trung Hoa Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam	매스콘크리트	2022~		
2	수화열 저감제	2021-08-02	실크로드 하노이	Charmvit Tower, 117 Tran Duy Hung Street, Trung Hoa Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam	매스콘크리트	2022~	-	-
3	수화열 저감제	2021-07-13	넥스코	JL.Lanbau No.64-72, Kampung Liobaru Desa Sanja-Bogor Jawa Barat Indonesia	매스콘크리트	2022~	-	-

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	Phosphate-PCM 계 액상형 수화열 저감제의 현장적용(Test-Bed)	2021-07-16	롯데건설(주)	실크로드 하노이	베트남 하노이시 락롱구 롯데몰 현장 (604 Đ. Lạc Long Quân, Phú Thượng, Tây Hồ, Hà Nội)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)			합계(명)
			2019년	2020년	2021년	
1	인도차이나 지역의 국제 시방조건을 만족하는 Phosphate-PCM계 복합물질 기반 보급형 저발열 콘크리트 기술개발	(주)위드엠텍	1	-	-	1
합계						

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	-
		생산인력	-
	개발 후	연구인력	1
		생산인력	-

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	(주)위드엠텍	2019.08.01	2019.08.01.~재직중	1	1

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

□ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	학술발표회 및 정기총회 기술홍보	한국건설순환지 원학회	[국토교통기술촉진연구사업]Phosphate계복합물질 기반 보급형 저발열 콘크리트 개발(MOCK-UP TEST)	2020.11.26.~27

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○ 해당 사항 없음.

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○ 해당 사항 없음.

<참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기를 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	지식재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등

<참고 2> 「국가연구개발혁신법」 시행령 제33조 제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설 · 장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상(부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동 활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보(소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함)
기탁	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

2) 목표 달성 수준

(1) 1차년 연구 목표 달성도

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
수화열 저감제 개발(분말형)	수화열 저감제를 이용한 모르타르 성능 (공인성적서 확보)	100
보급형 수화열 저발열 콘크리트 개발	수화열 저감제를 이용한 매스콘크리트의 성능 (공인성적서 확보)	100
국내 Mock-up Test	Mock-up Test 시험보고서	100
합계		100

(2) 2차년 연구 목표 달성도

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
수화열 저감제 개발	수화열 저감제를 이용한 모르타르 성능 7일 압축강도, 수화열 공인성적서 완료 28일 압축강도 공인성적서 발급 완료 5Ton 시작품 제작 완료	100
매스부재 배합설계	실내 콘크리트 배합실험 완료	100
보급형 저발열 콘크리트 개발	공인기관시험 성적서 확보 7일 압축강도, 수화열 공인성적서 완료 28일 압축강도 공인성적서 발급 예정 국내 Mock-up Test 완료 베트남 Mock-up Test 완료	100
해외 수화열 매스콘크리트의 자료조사	인도네시아 매스콘크리트 조사 완료	100
현지 매스콘크리트 배합설계	인도네시아 실내 콘크리트 배합실험 완료	100
합계		100

(3) 3차년 연구 목표 달성도

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
현지 수화열 저감제 제조기반 구축 및 시작품 제작	베트남 5 Ton 시작품 제작 완료 <실크로드 시작품 제작보고서> 인도네시아 5 Ton 시작품 제작 완료 <넥스코 시작품 제작보고서>	100
매스부재 배합설계	베트남, 인도네시아 실내 콘크리트 배합실험 완료 <배합실험 보고서>	100
보급형 저발열 콘크리트 개발	베트남 Mock-up Test 완료 <현지 공인시험성적서-IBST> 인도네시아 Mock-up Test 완료 <현지 Mock-up Test 보고서>	100
해외 현장 Test-Bed 현장 타설(베트남) 및 평가	베트남 Test-Bed 완료 <현장 타설 보고서-실크로드>	100
해외 수화열 매스콘크리트의 자료조사	베트남, 인도네시아 시장 조사 완료	100
사업화 추진	베트남, 인도네시아 시장 조사에 따른 사업화 추진 <베트남, 인도네시아 마케팅>	100
합계		100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○

-

○

-

2) 자체 보완활동

○

-

○

-

3) 연구개발 과정의 성실성

○

-

○

-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

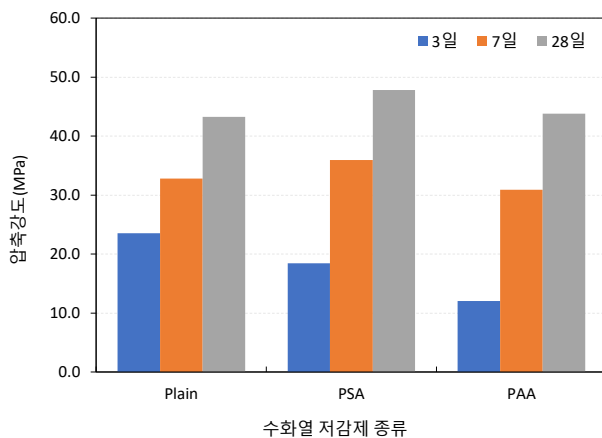
○ 기존 기술의 수준

- 인도차이나 반도 지역은 극서 환경, 현장 인력의 시공 기술력, 원재료 수급 상황 등에 있어 국내와는 공사 환경이 크게 다르므로, 국내에서는 쉽게 해결할 수 있는 문제들도 많은 시행착오를 거치게 되고, 이러한 과정에서 공기가 연장되거나 공사비가 상승하는 경우가 빈번히 발생함.
- 매스콘크리트 관련 해외규정의 경우, ACI 301-16에서는 콘크리트의 최고 온도를 70℃ 이하, 표면과 중심부의 온도차를 20℃ 이하로 관리하도록 규정하고 있으며, BS 규정 역시 최고 온도를 70℃로 제한하고 있는데, 이는 매스콘크리트의 높은 내부 온도에 의한 Delayed Ettringite Formation(DEF) 발생 시 강도 및 내구성이 저하되고 내·외부 온도차가 과다할 경우 온도균열이 발생하기 때문으로, 이를 방지하기 위해 대부분의 프로젝트에서 매스콘크리트의 수화열 관리 방안을 요구하고 있음.
- 이러한 매스콘크리트의 온도제한 규정 준수를 위해 분할 타설을 적용하기에는 공사비 및 공기 증가가 불가피하고, 일체 타설을 통해 수화열을 제어하기에는 인도차이나 반도 지역 현지의 레미콘 생산, 타설 환경 하에서는 어려움이 있음.
- 이러한 현황을 고려하여 일부 인도차이나 반도 지역 프로젝트는 매스콘크리트의 온도제한을 일부 완화하여 제시하고 있지만 실시공에서는 최고온도가 80℃를 초과하고 중심부-표면의 온도차도 20℃를 초과하고 있는 것이 현실이며, 이로 인해 매스콘크리트의 시공은 인도차이나 반도 지역 건설 프로젝트 수행에 있어 비용 및 공기 측면에서 잠재적 리스크 요인으로 여겨지고 있음.
- 일반적으로 매스콘크리트의 수화열 제어는 아래와 같이 재료 및 배합, 생산, 타설, 보양 측면에서 다양한 관리기법이 고려될 수 있으나, 인도차이나 반도 지역 프로젝트에서 해당 항목들을 종합적으로 반영하여 관리하기에는 다음과 같은 한계가 있음.
- 첫째, 인도차이나 반도 지역 레미콘의 경우 수화열 저감을 위한 결합재 적용이 제한적임. 따라서 재료 및 배합설계 측면에서 혼화재 다량 치환 등의 수화열 저감 배합을 적극적으로 적용하기에는 품질확보 및 재료 수급 측면에서 한계가 있음.
- 둘째, 40℃에 이르는 최고 기온과 30℃ 전후의 일평균 기온, 콘크리트 온도 제어를 위한 레미콘 생산 설비 미비로 인해 현장 반입 콘크리트의 온도 저감에 한계가 있는데다가, 낙후된 교통 인프라에 의한 긴 운반시간으로 현장 반입 콘크리트 온도는 34℃ 이상의 외기온에 가깝게 관리되는 실정임.
- 셋째, 인도차이나 반도 지역 레미콘사들은 대부분 높은 단위수량과 결합재량에 기반한 부배합을 적용해 강도확보에 초점을 둔 배합설계를 하고 있으며, 고층·대형 건축물 납품 경험이 많지 않아 매스콘크리트와 같은 특수 콘크리트 배합설계 기술이 부족함.
- 마지막으로 시공측면에서 수화열 저감을 위해 고려할 수 있는 파이프쿨링은 비용이 크게 증가하고 기초의 특수설계 및 타설공법 등의 경험부족이라는 한계로 적용에 어려움이 있음.
- 인도차이나반도 지역 레미콘의 원재료 및 설비 현황, 시공환경, 기술수준을 고려했을 때 매스 부재의 수화열 저감을 위해 적용할 수 있는 방안은 제한적이고 그 효과 또한 미미한 수준임. 그러나 현지 인프라 환경에서 즉시 적용 가능하고 수화열 저감 및 제어 효과에 있어 검증된 기술을 발굴해 적용하는 것은 기술적,

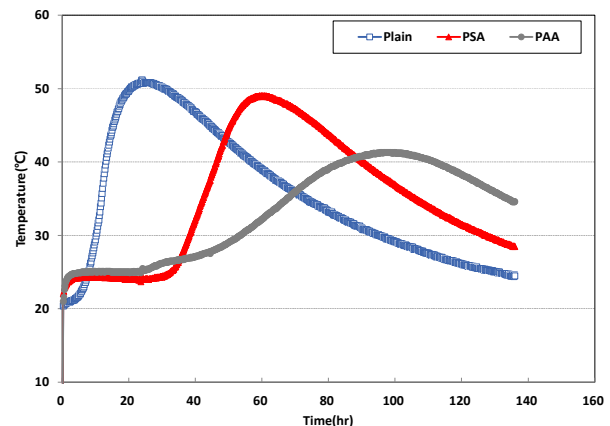
경제적 파급효과가 클 것으로 판단됨.

○ 연구개발 성과

- 인도차이나 반도 지역 레미콘의 원재료 및 설비 현황, 시공환경, 기술수준을 고려했을 때 매스 부재의 수화열 저감을 위해 적용할 수 있는 방안은 제한적이고 그 효과 또한 미미한 수준임.
- 그러나 수화열 저감제의 경우 현지 인프라 환경에서 즉시 적용 가능하고 수화열 저감 및 제어 효과에 있어 검증된 기술을 발굴해 적용하는 것은 기술적, 경제적 파급효과가 클 것으로 판단됨.
- 수화 지연형 수화열 저감제는 응결지연형(Settling retarder)과 경화지연형(Hardening retarder)로 구분되며, 경화지연형이 수화열 상승곡선의 기울기가 응결지연형보다 낮아 수화열 저감에 유리한 것으로 나타남.
- 인산계 무기염 및 알칼리 무기염을 기반으로 한 수화열 저감제를 실험한 결과 두 물질 모두 경화지연형으로 나타났으며 단독 사용시에는 수화열은 저감되지만 강도발현도 되지 않는 것으로 나타남.



(a) 콘크리트 압축강도 측정그래프



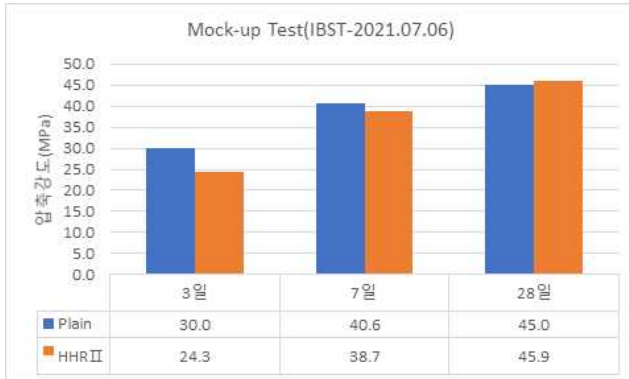
(b) 콘크리트 수화열 측정그래프

[그림 5.1] 2차년 주요 연구내용

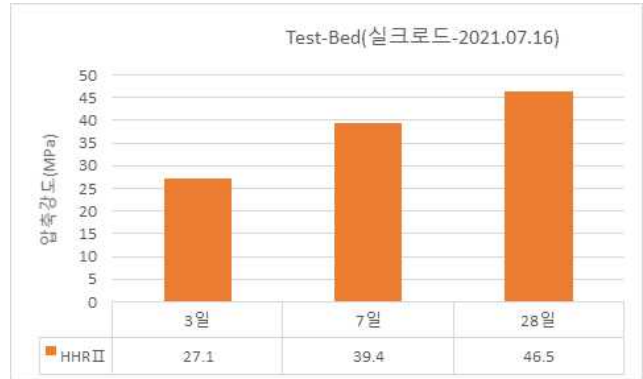
- 경화지연형 수화열 저감제의 경우 7일 이후 강도를 회복할 수 있는 보정형 촉진제가 필요하며 초기 경화지연기간 동안은 반응을 하지 않는 촉진제를 사용해야 함. 또한 사용되는 촉진제의 경우 온도에 따른 반응성을 고려하여 높은 온도에서도 상온과 비슷한 반응성을 나타내는 촉진제를 사용해야 함.
- 수화열 온도 계측의 경우 시험체의 크기에 영향을 받아 실험실에서의 소규모 시험결과와 Mock-up 규모의 시험 결과가 상이하게 나타나는 현상이 기존 연구 및 본 연구 결과에서도 나타나 수화열 저감제 평가 시 실규모 평가를 실시 하는 등 실용화의 검증 단계가 필요한 것으로 나타남.
- 인산계 무기염, 알칼리 무기염 및 촉진제를 기반으로 한 수화열 저감제를 실험한 결과 두 종류의 무기염의 조합과 촉진제를 혼입한 배합에서 우수한 수화열 저감율을 나타냈으며 강도도 목표치에 만족하는 것으로 나타남.

○ 현장적용 성과

- 하노이 현장의 Test-Bed를 통하여 매스콘크리트 타설 부재의 중심부 최대 수화 발열 온도 측정결과 연구목표인 70.0℃ 이하를 만족하였으며, Plain의 B/P Test를 통하여 압축강도 확인결과 Plain 대비 7일 95% 이상, 28일 100%(35MPa↑) 이상을 만족할 수 있었음.

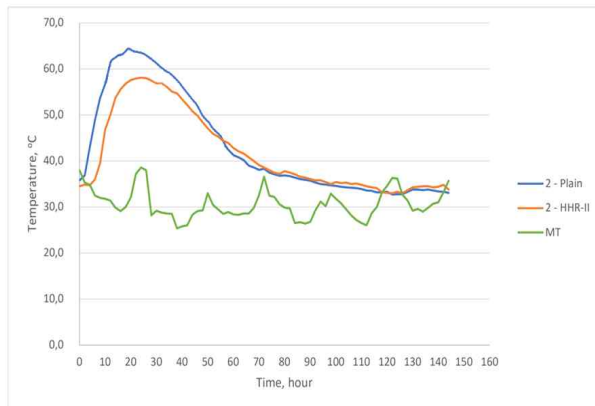


(a) Mock-up Test 압축강도

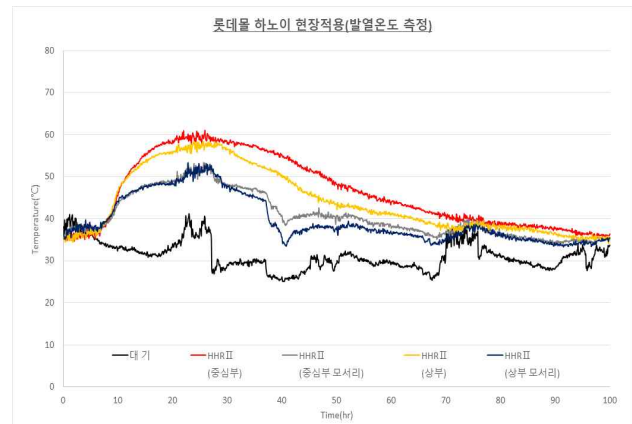


(b) Test-Bed 압축강도

[그림 5.2] 3차년 주요 연구내용(압축강도)



(a) Mock-up test 수화열



(b) Test-Bed 수화열

[그림 5.3] 3차년 주요 연구내용(수화열)

- 3차년에는 베트남 현지에서 시작품을 5Ton 생산하여 롯데건설 현장의 Test-Bed를 통해 개발 기술을 검증 및 연구목표 달성을 하였으며, 향후 현장 적용 및 상용화를 위한 사업화를 추진 중임.
- 3차년에는 인도네시아 현지에서 시작품을 5Ton 생산하여 콘크리트 배합 실험 및 Mock-up test를 통해 개발 기술을 검증하였으며, 향후 현장적용 가능성이 높은 상태임.
- 베트남 현지에서의 롯데몰 현장적용(Test-Bed) 실적을 기반으로 성능 입증과 더불어 콘크리트의 안정성을 확인할 수 있었음.
- 이를 바탕으로 하는 실적과 국내 기술을 기반으로 핵심소재를 수출하고 인도차이나 반도 지역 현지에서 수화열 저감제를 제조하여 매스콘크리트에 활용을 목표로하는 제품의 사업화가 가능할 것으로 기대됨.
- 인도차이나 반도 지역과 같은 극서중 환경에서 용이하게 적용이 가능한 수화열 제어 기술의 확보로 해외 진출이 필요한 국내 건설 회사의 기술 경쟁력 향상과 기술 격차 해소에 기여가 가능할 것으로 판단되며, 이에 따른 해외 project의 수주 증가와 국제 건설시장에서의 국가 경쟁력 향상이 기대됨.

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 연구개발 성과 활용 계획

- 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 목표 시장인 인도차이나 반도 지역의 경우 서중기 최고기온이 40℃에 육박하는 극서환경을 나타내고 있으나 콘크리트 온도 저감 설비를 구비한 레미콘 공장을 찾아보기 어려우며, 보통 32~34℃를 초과하는 콘크리트가 현장에 반입이 되고 있는 실정임.
- 현지에 진출해 있는 국내 대형 건설사에서는 국내와는 다른 원재료 수급 환경과 레미콘 제조 여건에 따라 이러한 수화열 상승에 의한 구조물 품질저하에 적절히 대응하지 못하고 있는 실정임.
- 또한 인도차이나 반도 지역 현지에서는 콘크리트의 수화열 저감을 위한 특수 화학 혼화제가 요구되고 있으나 낙후된 기술과 산업환경에 따라 적절한 제품과 기술을 활용하기 곤란함.
- 이에 따라 주관기관에서는 국내에서 확보하고 있는 수화열 저감제 기술을 활용하여 인도차이나 반도 지역 현지 여건에 따라 기술을 보완하고 현지에 진출해 있는 국내 대형 건설사의 시공 현장에 해당 혼화제를 납품하고 적용하고자 함.

[표 6.1] 성과물의 현장적용 활용 방안에 따른 매스콘크리트의 범위

적용 범위		주요 해당 부재 Scale	목표	시공조건 및 적용범위
건축구조물	☐ 고층건물 기초	· 20층 이상 고층건물 기초	건축구조물 매스부재 적용 (기초 및 건축물의 수직부재)	- 27~50 MPa - 콜드조인트 우려 - 3시간 이상의 작업시간 필요 - 수화열 70도 이하 관리기준
	☐ 수직 구조 부재	· 기둥		- 35~60MPa - 펌핑을 위한 점성관리 필요 - 수화열 70도 이하 관리기준
	☐ 일반 구조 부재	· 슬라브		- 24~30MPa - 대단면 외기 노출 상태에서의 작업 - 수화열 70도 이하 관리기준
토목구조물	☐ 지하 구조물	· 지하 연속벽 · 현장타설 말뚝	토목구조물 매스부재 적용 (수리 시설물 및 댐 등)	- 35~60MPa - 500mm 플로우 - 3시간 이상의 작업시간 필요 - 수화열 70도 이하 관리기준
	☐ 대형 구조물 (댐, 수리 시설물)	· 아치식 콘크리트 댐 · 중력식 콘크리트 댐		- 21~27MPa - 수화열 70도 이하 관리기준

- 인도차이나 반도지역의 성과물 현장 적용 및 활용을 위한 방안으로 상기의 [표 6.1]과 같이 성과물 적용이 가능한 매스콘크리트의 범위를 나타내었음. 적용범위로 크게는 건축구조물과 토목구조물로 나뉘며, 건축구조물로는 고층건물의 기초부분, 수직 구조부재, 일반 구조부재가 대표적이며, 토목구조물로는 지하구조물과, 대형구조물(댐, 수리, 시설물) 등이 있음.

- 향후 인도차이나 반도 지역 등의 극서지역에 진출하고 있는 국내 대형 건설사가 증가할 것으로 기대되며, 수화열 저감제는 우리나라보다 해외 극서지역에서 그 효과가 더욱 우수하므로 이러한 환경을 고려할 때 본 비즈니스 모델은 매우 전망이 밝은 것으로 판단됨.

- 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

- 인도차이나 반도 현지에서는 고로슬래그 미분말의 활용이 불가하여 플라이애시만을 혼합하여 사용하고 있는 실정이며, 이러한 경우 강도저하 현상으로 플라이애시 사용량 증대에 한계가 있어 수화열 저감 효

과의 확보가 곤란함.

- 본 기술은 화학 혼화제를 활용하여 강도저하 현상을 완화한 상태에서 효과적인 수화열 저감이 가능하며, 이에 따라 현지의 수화열 저감형 시멘트보다 우수한 기술 경쟁력을 확보하고 있음.
- 또한 기존의 무기계 수화열 저감제 보다 경제적이며, 적용성이 우수하여 저렴한 비용으로 수화열을 제어할 수 있는 장점이 있음.

○ 사업화 전략

- 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- 해외 시장의 경우 수화열 저감제 제조를 위한 핵심소재(분말 압축형)를 현지에 수출하고 현지 혼화제 제조사(참여기관인 실크로드 하노이 및 넥스코)에서 수화열 저감제를 제조하여 레미콘사에 공급하고 현장에 적용할 예정임.



[그림 6.1] 국외 비즈니스 모델

- 현지에서 제조된 수화열 저감제는 다국적 화학 회사의 제품대비 경제적이므로 향후 적용 확대가 용이할 것으로 기대됨.
- 현장적용에 따른 제품의 안정화 검증 및 연구 개발부터 현장 실증까지 일련의 성과를 기반으로 사업화를 진행코자 함.
- 베트남의 레미콘 현황으로는 베트남의 레미콘 협회가 없는 관계로 베트남 시멘트 협회의 통계자료를 기반으로 작성되었으며, 총 시멘트 소비량의 수출량을 제외한 내수시장의 소비량을 콘크리트 결합재량으로 계산하여 아래의 [그림 6.2]와 같이 나타냄.

▶▶ 베트남 레미콘 현황

SILKROAD

1) 2022년 베트남 전체 레미콘 예상 출하량(저열시멘트)

87,412,987m³

* 산출근거 : (총시멘트소비량 - 수출) / 2(포시멘트) / 1m³ 평균시멘트사용량=(98,727,273톤 - 37,538,182톤) / 2 / 350kg =87,412,987m³

2) 2022년 하노이 레미콘 예상 출하량(저열시멘트)

17,482,598m³ (약 20%)

* 산출근거 : 베트남 전체 레미콘 회사 약 670개 / 하노이 레미콘 업체수 약 55개 = 업체수로 8%정도 비율을 차지하나 생산 물량을 감안했을시 약 20%정도로 추정됨

[출처 : 베트남시멘트 협회]

1. <https://ximang.vn/bien-dong-thi-truong/thi-truong-xi-mang/thang-11-nhu-cau-tieu-thu-xi-mang-trong-nuoc-iang-tro-lai-13404.htm>
2. <https://ximang.vn/doanh-nghiep/chan-dung/vicem-phat-trien-thi-truong-xi-mang-roi-10109.htm>

THE LEADER OF ADVANCED CONSTRUCTION MATERIALS

[그림 6.2] 2022년 베트남 저발열 시멘트 예상 출하량

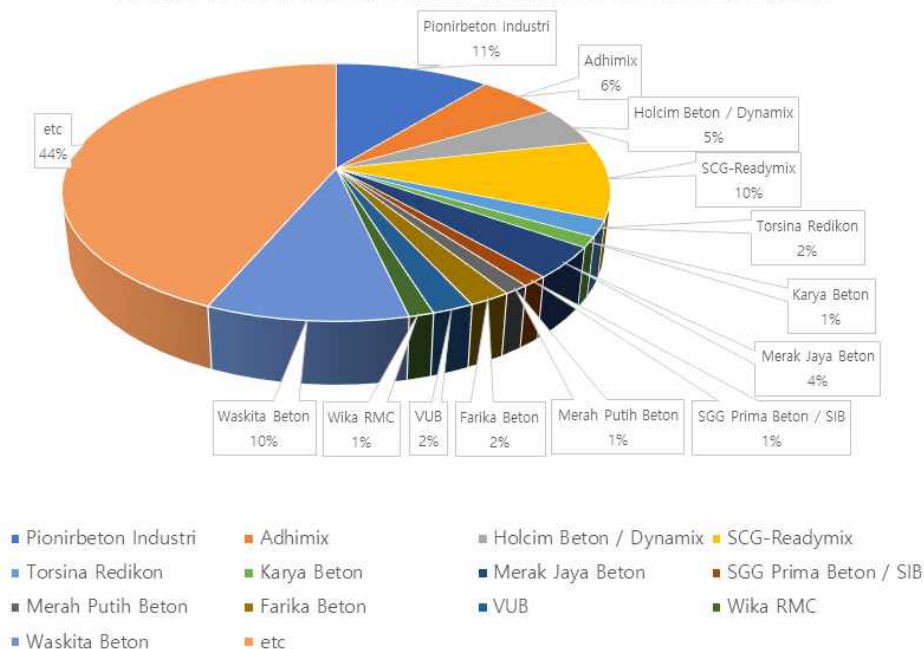
o 상기와 같이 베트남 시장을 확인해 본 결과 2022년 베트남 전체 레미콘 예상 출하량은 87백만 m³로 확인하였으며, 이중 하노이 레미콘은 약 20%에 해당되는 17백만 m³로 확인함. 매스콘크리트의 경우 전체 레미콘 물량의 약 10%의 비중을 차지하는 것으로 확인하였음. 이에 따라 하노이 지역의 매스콘크리트용 저발열 콘크리트를 대상으로 본 개발기술의 수화열저감제 혼입율 6.5%로 산정하여 베트남 단위결합재량 350kg/m³로 가정하여 산출해 보면 **수화열 저감제의 약 40,000 톤의 연간 시장규모를 확인**할 수 있었음.

- 인도네시아 고객사 조사

[표 6.2] 인도네시아 레미콘 현황 및 2021년 저발열 콘크리트 판매 내역(인도네시아 전체지역)

2021 Indonesia RMC Market Survey		
Company	RMC m3/month	RMC m3/year
PionirbetonIndustri	21,000	244,000
Adhimix	11,000	132,000
Holcim Beton / Dynamix	9,500	114,000
SCG-Readymix	18,800	218,400
TorsinaRedikon	4,000	48,000
KaryaBeton	2,500	30,000
MerakJaya Beton	7,500	90,000
SGG Prima Beton/ SIB	2,500	30,000
Merah PutihBeton	2,400	28,800
FarikaBeton	4,000	34,000
VUB	4,000	48,000
WikaRMC	2,400	28,800
WaskitaBeton	19,300	231,600
etc	83,992	1,122,400
TOTAL	192,892	2,400,000

2022 Indonesia RMC Market Share Status



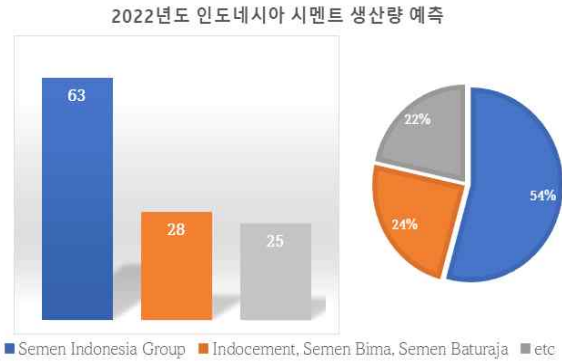
[그림 6.3] 2022년 인도네시아 RMC 예상 판매량

o 해당 사업의 경우 본 연구의 개발기술을 기반으로 사업화에 따른 인도네시아 고객사의 유치가 가장 중

요하다고 판단되며, 인도네시아의 레미콘 고객사 현황은 [표 6.2]와 같음.



(a) 연도별 시멘트 소비량

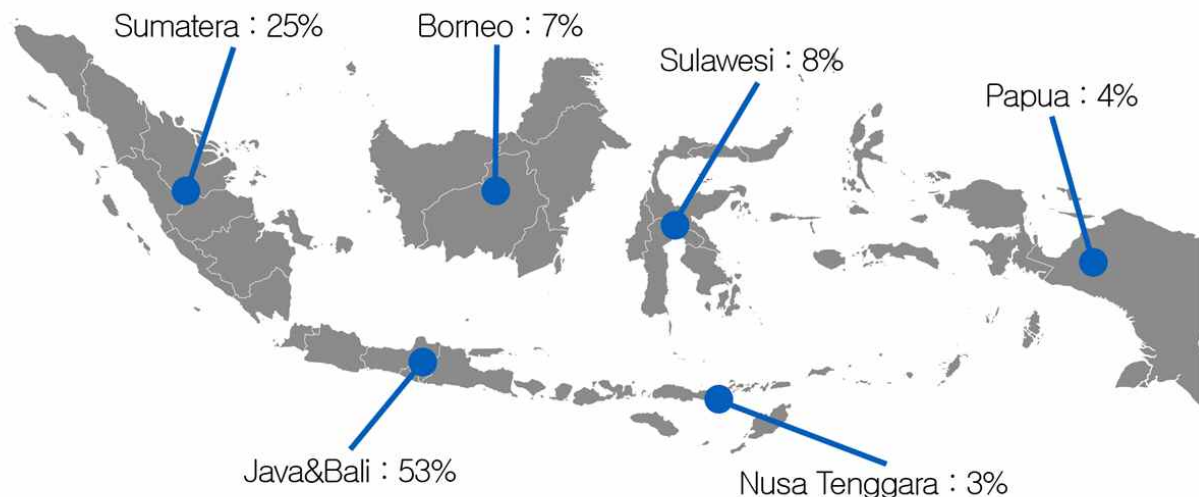


(b) 2022년 시멘트 생산량 예측

[그림 6.4] 인도네시아 시멘트 연도별 소비량 및 2022년 생산량 예측

- 인도네시아의 레미콘 현황으로는 인도네시아 또한 레미콘 협회가 없는 관계로 인도네시아 시멘트 협회의 통계자료를 기반으로 작성되었으며, 베트남과 동일하게 총 시멘트 소비량의 수출량을 제외한 내수시장의 소비량을 콘크리트 결합재량으로 계산하여 [그림 6.3]과 같이 나타냄.
- 또한, 연도별 6개년 인도네시아 시멘트 소비량 및 2022년 시멘트 생산량 예측사항을 그래프화 하여 [그림 6.4]와 같이 나타내었음.
- 상기와 같이 인도네시아 시장을 확인해 본 결과 2021년 인도네시아 전체 레미콘 예상 출하량은 2.4백만 m^3 로 확인하였으며, 이중 자카르타 레미콘은 약 53%에 해당되는 1.3백만 m^3 로 확인함. 매스콘크리트의 경우 전체 레미콘 물량의 약 10%의 비중을 차지하는 것으로 확인하였음. 이에 따라 본 개발기술의 수화열저감제 혼입율 6.5%로 산정하여 인도네시아 단위결합재량 350kg/ m^3 로 가정하여 산출해 보면 **수화열저감제의 약 3,000 톤의 연간 시장규모를 확인할 수 있었음.**

인도네시아 지역별 시멘트 소비율



[그림 6.5] 2022년 인도네시아 지역 별 시멘트 소비율

○ 현지 진출 건설사의 해외 현장정보 리스트

롯데건설 해외 현장정보



1. 공사명: SND스카레이크
2. 위치: 베트남
하노이북동리엔구띠이호띠이지역
3. 용도: 오피스, 호텔, SR

1. 하노이 SND 스카레이크



1. 공사명: 두티엠티코 스마트 시티
2. 위치: 베트남 호치민 2군 두티엠티신도심 지구
3. 용도: 아파트, 오피스, 호텔 등 복합시설

2. 두티엠티 에코 스마트 시티



- 공사명: 싱가포르 통합교통허브 프로젝트
위치: Land Transport Authority (싱가포르 육상교통청)
용도: 오피스 (LTA 본사), 상업시설, 스포츠센터, 도서관, 버스 환승소 등

3. 싱가포르 통합교통허브 프로젝트



- 공사명: LINE (LOTTE Indonesia New Ethylene complex) Project
위치: 인니 쾰레곤, Banten Province
용도: 에틸렌 생산 플랜트

4. LINE project

[그림 6.6] 2022년 동남아시아 롯데건설 해외 현장정보

- 극 서중 지방의 동아시아 현지에 진출해 있는 롯데 건설사의 해외 현장정보는 상기의 [그림 6.4]와 같음. 이를 기반으로 해당 현장으로 납품 되어지는 레미콘사의 영업을 통하여 개발기술의 활성화 및 제품이 활용될 수 있도록 파트너사를 통하여 추진할 계획임.

○ 해외 혼화제 제조 및 판매업체 MOU 협약체결(파트너사)

- 베트남 파트너사: Vina Fly Ash and Concrete Co., Ltd.

- 협약명칭: Memorandum Of Understanding(업무협약서)
- 체결 일자: 2021-10-19
- 협약 기간: 2021-10-19 ~ 2022-10-18(1년 자동갱신)
- 협약 내용: 본 업무협약은 양 당사자간 전략적 업무협약으로 대한민국의 국토교통부 기술촉진 연구사업 (과제명: 인도차이나 지역의 국제 시방조건을 만족하는 Phosphate-PCM 계 복합물질 기반 보급형 저발열 콘크리트 기술개발)을 통해 연구 개발된 Phosphate-PCM 계 액상형 수화열저감제(이하: HHR)의 제조 및 납품까지 일련의 업무를 수행함에 있어 “갑”과 “을”이 상호 협력관계를 갖는 것을 목적으로 함.



[그림 6.7] 베트남 파트너사 MOU 협약 체결

- 인도네시아 파트너사: PT. NEXCO INDONESIA

- o 협약명칭: Memorandum Of Understanding(업무협약서)
- o 체결 일자: 2021-10-18
- o 협약 기간: 2021-10-18 ~ 2022-10-17(1년 자동갱신)
- o 협약 내용: 본 업무협약은 양 당사자간 전략적 업무협약으로 대한민국의 국토교통부 기술혁신 연구사업 (과제명: 인도차이나 지역의 국제 시장조건을 만족하는 Phosphate-PCM 계 복합물질 기반 보급형 저발열 콘크리트 기술개발)을 통해 연구 개발된 Phosphate-PCM 계 액상형 수화열저감제(이하: HHR)의 제조 및 납품까지 일련의 업무를 수행함에 있어 “갑”과 “을”이 상호 협력관계를 갖는 것을 목적으로 함.



[그림 6.8] 인도네시아 파트너사 MOU 협약 체결

○ 사업화 계획

- (주)위드애크

o 핵심원료 판매 - 해당국의 파트너사로 핵심원료 수출

o HHR II (P)(개발기술 원료) 판매단가: \$1,265/ton(2022년 01월 달러 환율 기준)

- 파트너사(Vina Fly Ash and Concrete Co., Ltd., PT. NEXCO INDONESIA(2개사))

o 개발 기술품(HHR II) 제조/판매 - 해당국의 레미콘사로 기능성첨가제(수화열저감제) 판매

: HHR II(개발기술) 판매단가: \$1,700/ton(2022년 01월 달러 환율 기준)

○ 사업 목표

- 해외시장(위드애크)

1) 베트남: 하노이 시장의 10 %($4,000\text{ton} \times 0.4(\text{고형분율}) = 1,600\text{ton}$), $1,600\text{t} \times \$1265 = \$2,024,000$
→ \$2,024,000(한화: 약 24.3억원) 목표

2) 인도네시아: 자카르타 시장의 20%($600\text{ton} \times 0.4(\text{고형분율}) = 240\text{ton}$), $240\text{t} \times \$1265 = \$303,600$
→ \$303,600(한화: 약 3.6억원) 목표

- 해외시장(파트너사)

1) 베트남: 하노이 시장의 10 %($4,000\text{ton} \times \$1,700 = \$6,800,000$)
→ \$6,800,000(한화: 약 81.6억원) 목표

2) 인도네시아: 자카르타 시장의 20%($600\text{ton} \times \$1,700 = \$1,020,000$)
→ \$1,020,000(한화: 약 12.2억원) 목표

○ 개발제품의 경쟁력

o 전 세계적인 에너지 절약 정책에 따라 전기나 기타 에너지를 적게 사용하여 거주공간의 온도편차를 스마트하게 줄일 수 있는 PCM 적용이 늘어나고, 직간접적으로 관련된 매스콘크리트용 수화열 저감목적의 PCM 적용시장이 급격하게 커지고 있음.

[표 6.3] PCM 시장 성장 형태 및 기타 인자들.(2014년 Frost&Sullivan NF00-39)

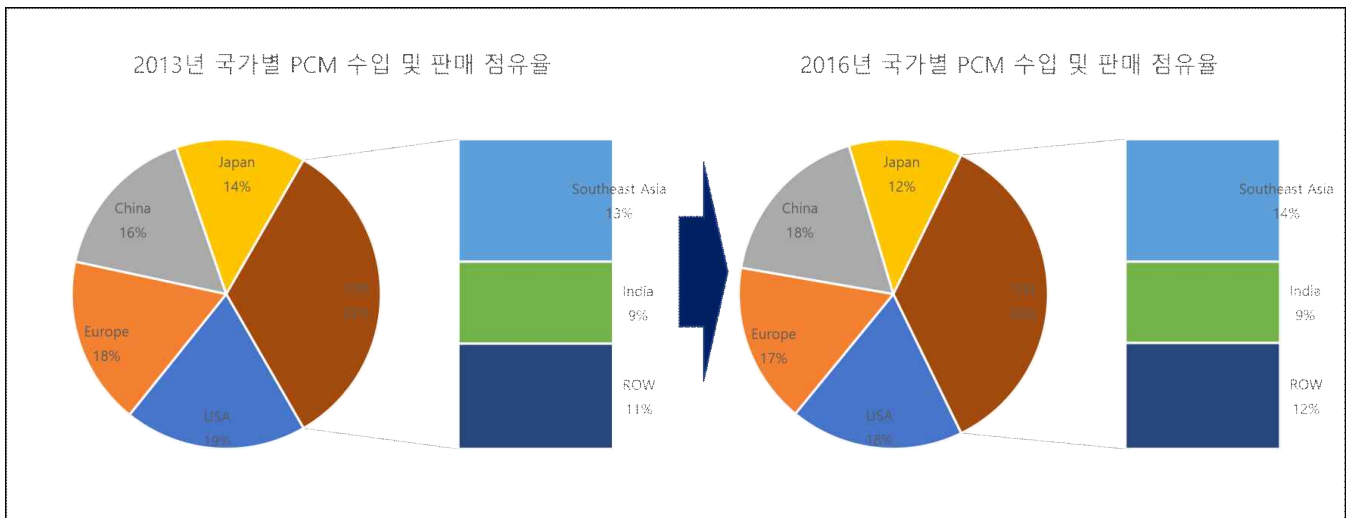
- Factor	- Current	Future
Growth Trend	High growth	Stable
Primary Driver	Energy efficiency	Fire-resistance, lightweight and high phase change performance in hospitals, hotels, airports, and other public building and construction. Increasing applications in residential buildings subject to price reductions.
Dominant Material	Organics—higher revenue share	— Organics
Materials Used	Paraffins—higher volume share	Slow but steady substitution by bio-based — MPCMs

- 상기의 [표 6.3]과 같이 전 세계적인 공동 이슈인 지구온난화와 에너지 절약에 대한 관심이 증가하면서, 전세계 PCM 원재료 시장은 2014년부터 CAGR 20.8%로 2025년에는 약 \$4,395 million(약 5조 원)에 이를 것으로 전망됨. (2014 ReportsnReports, "Advanced Phase Change Material Market by Type and Application")
- PCM 판매 수입(9천억원) 중 55 %가 글로벌 기업이 차지하고 있으나, 유럽과 미국 글로벌 기업의 비중은 점차 감소되고 있지만, 수입은 오히려 2배씩 증가하고 있으며, 미국과 유럽 중심의 시장규모에서 중국과 일본 등 아시아 시장도 유럽시장 만큼 커져가고 있음. 이에따른 국가별 PCM 판매 수입 및 판매 점유율을 아래의 [표 6.4], [그림 6.9]와 같이 나타냄.

[표 6.4] 국가별 PCM 판매 수입 및 판매점유율(2013 ~ 2016)

(단위: M USD)

Nation	구분	2013	2014	2015	2016
USA	수입	92.20	105.62	120.37	136.19
	점유율(%)	19.15	19.06	18.49	18.17
Europe	수입	84.94	95.50	110.72	125.85
	점유율(%)	17.65	17.24	17.01	16.79
China	수입	79.05	92.77	111.44	132.27
	점유율(%)	16.42	16.74	17.12	17.64
Japan	수입	65.60	71.73	80.21	89.03
	점유율(%)	13.63	12.95	12.32	11.88
Southeast Asia	수입	63.64	74.77	90.24	105.38
	점유율(%)	13.22	13.50	13.86	14.06
India	수입	41.28	49.34	59.73	69.67
	점유율(%)	8.58	8.91	9.17	9.29
ROW	수입	54.65	64.30	78.30	91.27
	점유율(%)	11.35	11.61	12.03	12.18
Total	수입	481.35	554.03	651.02	749.67
	점유율(%)	100.0	100.0	100.0	100.0



[그림 6.9] 2016년 국가별 PCM 수입 및 판매 점유율 변화

- o 본 연구개발품의 유사재료 경제성 비교 및 분석을 위하여 아래의 [표 6.5]와 같이 다국적 기업 리스트 확보 및 기업별 PCM 매출 현황을 나타내었음. 가장 큰 시장의 점유율을 확보 중인 4개의 다국적 기업을 선정하였으며, 제품의 제조지, 제품명, 단가 등을 정리하여 나열하였음.

[표 6.5] 다국적 기업 리스트 및 PCM 매출 현황(2016 기준)

기업명	Sales Regions	Manufacturing Locations of PCM	Market Position	PCM Product Type	Price (USD/Tonne)
BASF	Global	Europe	Global Leader	Micronal® PCM	27,758
Cropak	Global	USA	Global Leader	Phase 5™	30,515
Entropy Solutions Inc.	Global	USA	-	PureTemp 15	27,717
Climator Sweden AB	Global	Sweden	Global Leader in energy storage	PureTemp 15	24,418

- o 본 연구개발 품의 단가 정보는 아래의 [표 6.5]와 같이 나타내었음. 기존의 다국적 기업의 2016년 판매 단가의 경우 가장 저렴한 판매단가 제품(Climator Sweden AB사의 PureTemp 15)을 선정하여 비교를 실시하였으며, 그 결과 본 연구개발품 “HHR”의 단가가 기존대비 약 93.0% 수준인 것을 확인하였음.

[표 6.6] 본 연구 개발품의 사업화에 따른 기업 정보 및 판매 정보 (목표치)

재료업체 기업명	Sales Regions	제조업체 기업명	Manufacturing Locations of PCM	Market Position	PCM Product Type	Price (USD/Tonne)
WITHMTECH	Korea (Incheon)	Vina Fly Ash and Concrete Co., Ltd.	Southeast Asia (Vietnam)	Vietnam Leader	HHR	1,700
		PT. NEXCO INDONESIA	Southeast Asia (Indonesia)	Indonesia Leader		

- o 기존의 시장형성 단가와 대비하여 상대적으로 낮은 금액으로 원활한 사업화가 기대됨. 이와같이, 극단적인 단가 저감이 가능한 이유는 국내에서 핵심 원재료 조달에 따른 현지 제품 생산화 시스템에 있음. 국내에서 핵심 원재료 조달을 통하여 국제 운반비의 대폭 절감이 가능하므로 합리적인 가격에 현지 업체로 납품이 가능함. 이에 따라, 현지 업체에서도 핵심원료 수급에 부담이 없을뿐더러 이를 활용하여 제조/생산에 따른 현지 거래처 현장에 납품을 통한 원활한 공급이 가능함.

7. 참고 문헌

1. 송석준. (2010). “지하철 콘크리트 박스 구조물의 수화열에 대하여 다중회귀분석에 의한 온도 균열지수 산정방안 연구”, 박사학위논문, 서울과학기술대학교, 서울
 2. 쌍용양회공업주식회사, (2009). “매스콘크리트 설계 가이드북”, pp. 14~26건설교통부. (1997). “초저발열콘크리트의 개발 및 대형매스콘크리트구조물의 수화열 제어 시공기술연구”, pp.98~123
 3. 국토해양부. (2016). 콘크리트 표준시방서 해설, 제18장 매스 콘크리트
 4. ACI Committe 207, “Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete”, ACI 207.2R-07
 5. Justnes, H., Wuyts, F., & Van Gemert, D. (2008, June). Hardening retarders for massive concrete. In 5th Int. Conf. on High Performance Concrete Location, Manaus, Brazil.pp. 18-20
 6. Young, J. F. "A review of the mechanisms of set-retardation in Portland cement pastes containing organic admixtures." Cement and Concrete Research 2.4 (1972): 415-433.
 7. Lerch, William, and Robert Herman Bogue. The heat of hydration of portland cement pastes. Portland Cement Association at the National Bureau of Standards, 1934.
 8. M. E., and A. B. Adams. "Introduction to producers' papers on water-reducing admixtures and set-retarding admixtures for concrete." Symposium on Effect of Water-Reducing Admixtures and Set-Retarding Admixtures on Properties of Concrete. ASTM International, 1960.
 9. MWALUWINGA, Shaaban, and Seiji KAMETAKA. "Study on properties of low heat and highly flowable concrete." 콘크리트工学年次論文報告集 17.1 (1995): 139-144.
 10. Bishop, Maximilienne, and Andrew R. Barron. "Cement hydration inhibition with sucrose, tartaric acid, and lignosulfonate: analytical and spectroscopic study." Industrial & engineering chemistry research 45.21 (2006): 7042-7049.
-

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.