

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부			사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업				
전문기관명	국토교통과학기술진흥원			내역사업명	내역사업명		국토교통기술촉진연구사업				
공고번호	공고-제05호			총괄연구개발 식별번호	20CTAP-C157045-01						
				연구개발과제번호	20CTAP-C157045-01						
국가과학기술 표준분류	건설안전 관리기술	62%	토목시공기술	20%	시멘트 콘크리트 내화물		20%				
총괄연구개발명	국문	블랙아이스 도로안전을 위한 표면구조 제어 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발									
	영문	Development of icephobic cement composite technology for surface structure control for black ice road safety									
연구개발과제명	국문	블랙아이스 도로안전을 위한 표면구조 제어 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발									
	영문	Development of icephobic cement composite technology for surface structure control for black ice road safety									
주관연구기관	기관명	우석대학교 산학협력단			사업자등록번호	402-82-15573					
	주소	(우 55338) 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443			법인등록번호	210171-0005758					
주관연구책임자	성명	강석표			직위	교수					
	연락처	직장전화	043-532-2903		휴대전화	010-8838-5816					
		전자우편	ksp0404@empas.com		국가연구자번호	10134132					
연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(21 개월)									
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(9 개월)									
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원	기관부담		그 외 기관 등의 지원금		합계			연구개발비 외 지원금		
	연구개발비	연구개발비		자발적채 기타()							
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계			
총계	369,000			-	-	-	-	369,000	-		
1년차	159,000			-	-	-	-	159,000	-		
2년차	210,000			-	-	-	-	210,000	-		
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
						역할		기관유형			
공동연구기관											
위탁연구기관											
연구기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명	김상진			직위	석사과정					
	연락처	직장전화	043-532-2903		휴대전화	010-7739-5911					
		전자우편	sjkim9701@naver.com		국가연구자번호	11531832					

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

2022 년 02 월 04 일

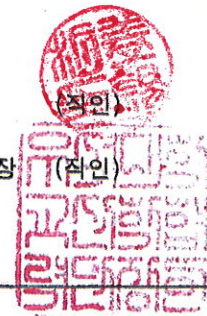
주관연구책임자 :

강 석 표

주관연구기관의 장 :

우석대학교 산학협력단장

국토교통과학기술진흥원장 귀하



최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[☒], 보안[☐]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명		국토교통기술촉진연구사업			
공고번호	공고-제05호				총괄연구개발 식별번호		20CTAP-C157045-01				
					연구개발과제번호		20CTAP-C157045-01				
국가과학기술 표준분류	건설안전 관리기술	62%	토목시공기술		20%	시멘트 콘크리트 내화물		20%			
총괄연구개발명	국문	블랙아이스 도로안전을 위한 표면구조 제어 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발									
	영문	Development of icephobic cement composite technology for surface structure control for black ice road safety									
연구개발과제명	국문	블랙아이스 도로안전을 위한 표면구조 제어 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발									
	영문	Development of icephobic cement composite technology for surface structure control for black ice road safety									
주관연구기관	기관명	우석대학교 산학협력단				사업자등록번호		402-82-15573			
	주소	(우 55338) 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443				법인등록번호		210171-0005758			
주관연구책임자	성명		강석표		직위		교수				
	연락처	직장전화	043-532-2903		휴대전화		010-8838-5816				
		전자우편	ksp0404@empas.com		국가연구자번호		10134132				
연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(21 개월)									
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(9 개월)									
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그외기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()		합계			연구개발비 외 지원금		
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	지원금		
총계	369,000			-	-	-	-	369,000	-		
1년차	159,000			-	-	-	-	159,000	-		
2년차	210,000			-	-	-	-	210,000	-		
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편		비고				
							역할		기관유형		
공동연구기관											
위탁연구기관											
연구기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명		김상진		직위		석사과정				
	연락처	직장전화	043-532-2903		휴대전화		010-7739-5911				
		전자우편	sjkim9701@naver.com		국가연구자번호		11531832				

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

2022 년 02 월 04 일

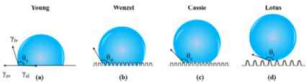
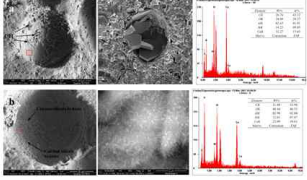
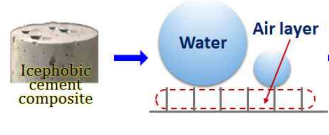
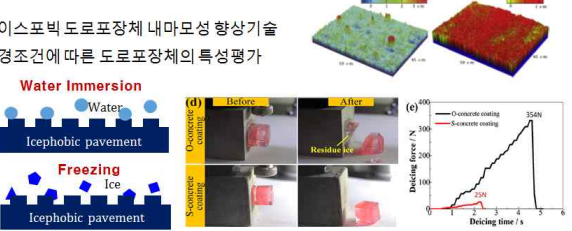
주관연구책임자 : 강 석 표 (직인)

주관연구기관의 장 : 우석대학교 산학협력단장 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통 연구개발사업		총괄연구개발 식별번호		20CTAP-C157045-01		
내역사업명		국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		20CTAP-C157045-01		
국가과학기술 표준분류		건설안전 관리기술	62%	토목시공기술	20%	시멘트 콘크리트 내화물	20%	
총괄연구개발명		블랙아이스 도로안전을 위한 표면구조 제어 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발						
연구개발과제명		블랙아이스 도로안전을 위한 표면구조 제어 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발						
전체 연구개발기간		2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(21 개월)						
총 연구개발비		총 369,000 천원 (정부지원연구개발비 : 천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)						
연구개발단계		기초[☒] 응용[☐] 개발[☐] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[☐]		기술성숙도		착수시점 기준(6) 종료시점 목표(8)		
연구개발과제 유형		지정공모 [☐] 자유공모 [☒]						
연구개발과제 특성		일반과제						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	본 연구의 최종목표는 초소수성의 특성을 갖고 포장도로와 얼음의 접착력을 약화시키 는 및 얼음의 제거효율을 향상시킴으로서 블랙아이스에 의한 사고발생을 예방하는 “블랙아이스(Blackice) 도로안전을 위한 아이스포빅(Icephobic) 도로포장체 기술”을 개발하고자 함. 2020년도 국토교통기술촉진연구사업 기초연구과제 블랙아이스 도로안전을 위한 아이스포빅 포장체 기술 1차년도 초소수성 에멀전 혼입 시멘트 복합체 - 초소수성 에멀전 혼화제 포물레이션 기술개발 초소수성 에멀전 혼화제 포물레이션 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 시멘트 복합체 물성 평가 에멀전 혼입 시멘트 복합체 표면특성 평가 Silane Siloxane Stirring Hydrophobic emulsion - 초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 아이스포빅 시멘트 복합체 물성평가 아이스포빅 시멘트 복합체 표면특성 평가 Hydrophobic emulsion Cement Icephobic cement composite 2차년도 생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 - 아이스포빅 도로포장체 생체모방 표면구조 제어기술 시멘트 포장체 배합 기초설계 생체모방 표면구조 제어기술 시스템형 생체모방 표면구조 물성 검토 Water Immersion Freezing Icephobic pavement Icephobic pavement - 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술 내마모성 성능 개선에 배합설계 도로포장체의 표면 물성평가 도로포장체의 접착특성 평가 Water Air layer						
	전체 내용	(1) 1차 연도 ① 개발 목표 초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발 ② 개발 내용 및 범위 - 초소수성 에멀전 혼화제 포물레이션 기술개발 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 물성 평가 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술 (2) 2차 연도 ① 개발 목표 - 생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발 ② 개발 내용 및 범위 - 아이스포빅 도로포장체 제조기술 - 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술 - 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술 - 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가						
	1년차	목표	초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발					
		내용	실란/실록산 및 나노입자를 사용하여 에멀전 혼화제의 포물레이션 기술을 확립하고, 시멘트 복합체의 수화반응, 물성 및 표면 특성을 평가하여 아이스포빅 시멘트 복합체를 개발하고자 함. - 초소수성 에멀전 혼화제 포물레이션 기술개발 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 물성 평가					

		- 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술 초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발 ▪ 초소수성 에멀전 포물레이션 기술개발 ▪ 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석 ▪ 아이스포빅 시멘트 물성 평가 ▪ 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술   
2년차	목표 생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발 내용 아이스포빅 포장체의 기초배합 설계와 1차년도에 확립된 초소수성 시멘트 복합체에 생체모방 표면구조 제어기술을 적용하여 블랙아이스 도로 안전을 위한 아이스포빅 도로포장체를 개발하고자 함. - 아이스포빅 도로포장체 제조기술 - 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술 - 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술 - 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가 생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발 ▪ 아이스포빅 도로포장체 제조기술 ▪ 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술 ▪ 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술 ▪ 환경조건에 따른 도로포장체의 특성평가  	
연구개발성과	(1) 정성적 연구개발성과 ① 1차년도 본 연구의 1차년도에는 실란/실록산 및 나노입자를 사용하여 에멀전 혼화제의 포물레이션 기술을 확립하고, 시멘트 복합체의 수화반응, 물성 및 표면 특성을 평가하여 아이스포빅 시멘트 복합체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음. ○ 초소수성 에멀전 혼화제 제조기술 - 초소수성 에멀전 혼화제 제조기술 개발을 위하여 초소수성 에멀전 포물레이션 저장 안전성 평가, Lab Scale 포물레이션 기술 확립 등을 검토하였음. ○ 초소수성 에멀전 혼화제의 시멘트 수화반응 해석 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석을 위하여 시멘트 수화반응 생성물 분석, 시멘트 수화반응 조직 관찰 및 응결시간, 미니슬럼프 등을 검토하였음. ○ 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술개발을 위하여 아이스포빅 시멘트 복합체 기초물성 평가, 표면특성 평가, 최적배합 선정 등을 검토하였음. - 시멘트 복합체의 접착각, 슬라이딩각, 압축강도에 대한 목표 성능을 공인기관 시험 성적서로 제출 ② 2차년도 본 연구의 2차년도에는 아이스포빅 포장체의 기초배합 설계와 1차년도에 확립된 초소수성 시멘트 복합체에 생체모방 표면구조 제어기술을 적용하여 블랙아이스 도로 안전을 위한 아	

이스포빅 도로포장체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

○ 아이스포빅 도로포장체 제조기술

- 아이스포빅 도로포장체 제조기술 개발을 위하여 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 도로포장체 배합 설계(압축강도, 휨 및 인장강도, 수축율, 내마모성 등), 아이스포빅 도로포장체 최적 배합선정 등을 검토하였음.
- 아이스포빅 도로포장체의 압축강도, 휨강도에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출

○ 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술

- 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술 개발을 위하여 생체모방 표면구조 제어기술 기초검토, 스템핑, 생체모방 표면구조의 물성검토, 최적 스템핑 생체모방 표면구조 제어기술 확립 등을 검토하도 하였음.
- 아이스포빅 도로포장체의 접착각, 슬라이딩각에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출

○ 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술

- 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술 개발을 위하여 아이스포빅 도로포장체의 내마모성 성능 개선제 배합설계, 생체모방 표면구조 제어 아이스포빅 도로포장체의 표면물성 평가 등을 검토하였음.
- 아이스포빅 도로포장체의 마모저항성에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출

○ 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가

- 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가를 위하여 도로포장체의 아이스포빅 특성평가, 아이스포빅 포장체의 물성 평가, 아이스포빅 포장체의 유지관리, 아이스포빅 포장체의 접착특성평가, 최적배합 선정 등을 검토하였음.
- 아이스포빅 도로포장체의 동결융해저항성, 부착강도에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출

(2) 정량적 연구개발성과

① 1차년도

본 연구의 1차년도에는 실란/실록산 및 나노입자를 사용하여 에멀전 혼화제의 포몰레이션 기술을 확립하고, 시멘트 복합체의 수화반응, 물성 및 표면 특성을 평가하여 아이스포빅 시멘트 복합체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

○ 특허출원 1건

- 특허명 : 초소수성 시멘트 복합체
 - 특허출원번호 : 10-2020-0138561
 - 특허출원일 : 2020.10.23.

○ 논문(비SCI) 2건

- 논문제목 : 표면 성상에 따른 수용성 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 발수특성
 - 게재지 : 한국구조물진단유리관리공학회
 - 저자명 : 강석표, 강혜주, 홍성욱, 양승현
 - 게재일 : 2020.12
- 논문제목 : 실란/실록산계 에멀전 발수제를 혼입한 시멘트 페이스트의 발수특성
 - 게재지 : 한국건축시공학회
 - 저자명 : 강석표, 강혜주, 홍성욱, 양승현
 - 게재일 : 2021.02

② 2차년도

본 연구의 2차년도에는 아이스포빅 포장체의 기초배합 설계와 1차년도에 확립된 초소수성 시멘트 복합체에 생체모방 표면구조 제어기술을 적용하여 블랙아이스 도로 안전을 위한 아이스포빅 도로포장체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

	○ 특허출원 2건 - 특허명 : 블랙아이스 방지 흡포장 조성물 및 시공방법 · 특허출원번호 : 10-2021-0184129 · 특허출원일 : 2021.12.21. - 특허명 : 초소수성 에멀전 조성물 및 이를 첨가한 초소수성 시멘트 페이스트 · 특허출원번호 : 10-2021-0033582 · 특허출원일 : 2021.03.15. ○ 특허등록 1건 - 특허명 : 초소수성 에멀전 조성물 및 이를 첨가한 초소수성 시멘트 페이스트 · 특허등록번호 : 10-2358366 · 특허등록일 : 2022.01.27. ○ 논문(SCI) 1건 - 논문제목 : Strength and Water-Repelling Properties of Cement Mortar Mixed with Water Repellents · 게재지 : materials · 저자명 : 강석표, 강혜주, 이병기 · 게재일 : 2021.09 ○ 논문(비SCI) 1건 - 논문제목 : 발수제종류별 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 발수특성 · 게재지 : 한국건축시공학회 · 저자명 : 강석표, 강혜주, 김상진, 서정인 · 게재일 : 2021.12											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ 블랙아이스에 의한 도로 안전사고 예방 활용 ○ 지붕, 계단, 보도, 경사로, 출입구 등 미끄럼방지 생활안전 건축자재 활용 ○ Self-cleaning에 의한 미세먼지 오염저감 건설자재 활용 ○ 유해물질 침투 방지에 의한 내구성 개선 건설자재 등과 같은 건설산업분야의 기반기술 활용 ○ 극한지 건설시공 산업의 새로운 분야를 도출 ○ 콘크리트 구조물의 강도향상과 효과적인 유지관리가 가능해 질 것이며 콘크리트 구조물의 장수명화의 활용											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화학물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	4	1	1									
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	초소수성			생체 모방		도로포장재		아이스포빅		블랙아이스		
영문핵심어 (5개 이내)	Superhydrophobic			Biomimicry		Pavement		Icephobic		Black ice		

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	6
1) 초소수성 에멀전 포물레이션 기술개발	6
2) 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 물성 및 수화 메카니즘	9
3) 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술	16
4) 아이스포빅 도로포장체 제조기술	37
5) 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면 구조제어기술	44
6) 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술	48
7) 아이스포빅 도로포장체의 최적배합 도출	53
8) 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체 특성평가	56
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	60
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	68
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	68
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	69

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

구분	내용 및 설정근거
최종 목표	본 연구의 최종목표는 초소수성의 특성을 갖고 포장도로와 얼음의 접착력을 약화시켜 눈 및 얼음의 제거효율을 향상시킴으로서 블랙아이스에 의한 사고발생을 예방하는 “블랙아이스(Blackice) 도로안전을 위한 아이스포빅(Icephobic) 도로포장체 기술” 을 개발하고자 함.
세부 목표	□ 초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발[1차년도] 실란/실록산 및 나노입자를 사용하여 에멀전 혼화제의 포몰레이션 기술을 확립하고, 시멘트 복합체의 수화반응, 물성 및 표면 특성을 평가하여 아이스포빅 시멘트 복합체를 개발하고자 함. - 초소수성 에멀전 혼화제 포몰레이션 기술개발 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 물성 평가 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술 □ 생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발 [2차년도] 아이스포빅 포장체의 기초배합 설계와 1차년도에 확립된 초소수성 시멘트 복합체에 생체모방 표면구조 제어기술을 적용하여 블랙아이스 도로 안전을 위한 아이스포빅 도로포장체를 개발하고자 함. - 아이스포빅 도로포장체 제조기술 - 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술 - 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술 - 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가

2020년도 국토교통기술혁신연구 기반연구

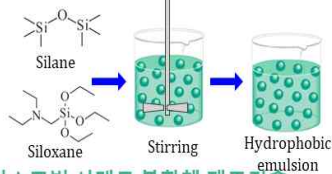
블랙아이스 도로안전을 위한 표면구조 제어 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발

1차년도

초소수성 에멀전 혼입 시멘트 복합체

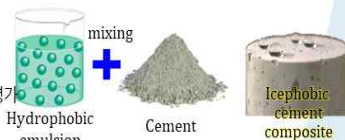
■ 초소수성 에멀전 혼화제 포몰레이션 기술개발

초소수성 에멀전 포몰레이션
초소수성 에멀전 저장안정성 평가
에멀전 혼입 시멘트 표면특성 평가



■ 초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술

아이스포빅 시멘트 수화메카니즘
아이스포빅 시멘트 복합체 물성평가
아이스포빅 시멘트 복합체 표면특성 평가



2차년도

생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체

■ 아이스포빅 도로포장체 생체모방 표면구조 제어기술

시멘트 포장체 배합 기초설계
생체모방 표면구조 제어기술
스탬핑 생체모방 표면구조 물성 검토



■ 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술

내마모성 성능 개선제 배합설계
도로포장체의 표면 물성평가
도로포장체의 접착특성 평가



[그림 20] 본 연구의 최종목표

나. 최종성과물의 기술성숙도 설정근거

구분		연구착수	연구종료	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	
초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체	2	4	본 연구의 최종성과물 중 하나인 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체는 초소수성을 가지는 시멘트 복합체로 적용하기 위한 기술로서 실험실 환경에서 기초기술을 확보하고자 하는 실험적 연구를 수행한 최종 결과물임. ☐ 주요성과물 - 초소수성 에멀전 혼화제 포물레이션 기술 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술
생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체	2	4	본 연구의 최종성과물 중 하나인 생체모방 표면구조 아이스포빅 포장체는 1차년도에 확보된 아이스포빅 시멘트 복합체를 도로에 적용하기 위하여 생체모방 표면구조 제어 가능한 실험적 연구를 수행한 최종 결과물임. ☐ 주요성과물 - 아이스포빅 도로포장체 제조기술 - 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술 - 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술

2) 연구개발과제의 년차별 목표

1) 1차 연도

① 개발 목표

초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발

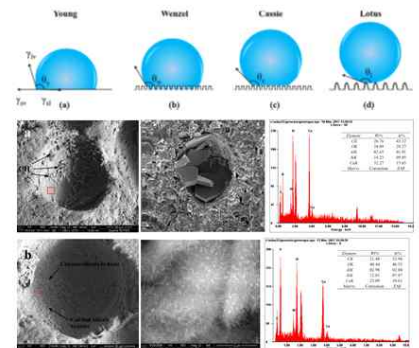
② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)

- 초소수성 에멀전 혼화제 포몰레이션 기술개발
- 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 물성 평가
- 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석
- 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술

연차	주요 연구활동	세부 연구내용
1 차 년 도	■ 국내외 연구동향 조사 및 분석	- 아이스포빅 도로포장 관련 국내외 연구동향 조사 - 아이스포빅 특성 평가를 위한 KS, ISO, JIS, ASTM 등 국내·외 관련 표준(기준) 조사 및 분석 - 국내·외 실란/실록산 및 나노입자를 이용한 에멀전의 제조·활용·처리 현황 및 기술자료 조사
	■ 초소수성 에멀전 포몰레이션 기술개발	- 초소수성 에멀전 포몰레이션 : 원재료 종류 및 배합비, 혼합순서, 공정온도, 교반속도 등 - 저장안전성 평가 : 경시 및 온도변화에 따른 상분리, pH변화, 점도 등 - Lab Scale 포몰레이션 기술 확립
	■ 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 물성 평가	- 시멘트 응결시간 및 유동성 평가 : 응결시간 측정, 미니슬럼프 측정 등 - 시멘트 표면특성 평가 : 물점측각, 슬라이딩각 등 - 최적 초소수성 에멀전 혼화제 선정
	■ 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석	- 시멘트 수화반응 생성물 분석 : XRD, FTIR 등 - 시멘트 수화반응 조직 관찰 및 혼화제 분산상태 확인 : SEM, EDX 등
	■ 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술	- 아이스포빅 시멘트 복합체 기초물성 평가 : 응결시간, 플로우, 공기량, 단위용적중량, 압축강도, 흡수비 등 - 아이스포빅 시멘트 복합체 표면특성 평가 : 물점측각, 슬라이딩각, 표면연마 후 물점측각 및 슬라이딩각 등 - 아이스포빅 시멘트 복합체의 최적배합 선정

초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발

- 초소수성에멀전포몰레이션기술개발
- 아이스포빅시멘트수화메카니즘해석
- 아이스포빅시멘트물성평가
- 아이스포빅시멘트복합체제조기술



2) 2차 연도

① 개발 목표

- 생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발

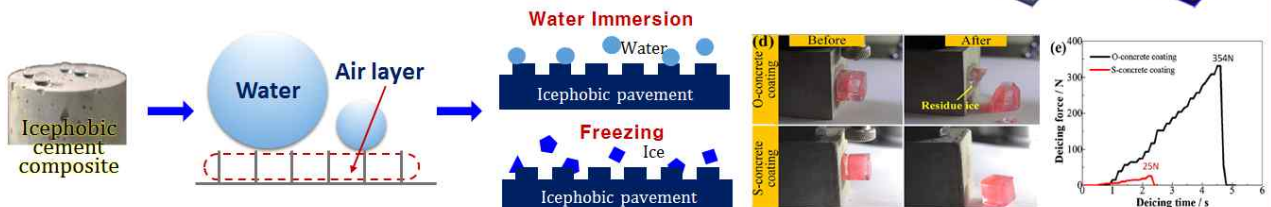
② 개발 내용 및 범위

- 아이스포빅 도로포장체 제조기술
- 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술
- 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술
- 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가

연차	주요 연구활동	세부 연구내용
2 차 년 도	■ 아이스포빅 도로포장체 제조기술	- 시멘트 도로포장체 배합 기초 설계 : 압축강도, 휨강도, 인장강도, 균열 등 : 최적 시멘트 도로포장체 배합비 선정 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 도로포장체 배합 설계 : 압축강도, 휨 및 인장강도, 수축율, 내마모성 등 - 아이스포빅 도로포장체 최적 배합 선정
	■ 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술	- 생체모방 표면구조 제어기술 기초검토 : 표면 마감 방법에 따른 스탬핑(stamping) 효과 확인 : 표면거칠기(AFM), SEM 등 - 스탬핑 생체모방 표면구조의 물성 검토 : 물접촉각, 내마모성 등 - 최적 스탬핑 생체모방 표면구조 제어기술 확립
	■ 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술	- 아이스포빅 도로포장체의 내마모성 성능 개선제 배합 설계 : 마모량, 마모깊이 평가 - 생체모방 표면구조 제어 아이스포빅 도로포장체의 표면물성 평가 : 내마모성, 물접촉각, 슬라이딩각, 표면연마 후 접촉각 및 슬라이딩각 변화 등
	■ 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체 특성평가	- 도로포장체의 아이스포빅 특성 평가 : 얼음 부착강도, 얼음 형성시간 평가 : 마모량에 따른 얼음 부착강도, 얼음 형성시간 평가 등 - 아이스포빅 포장체의 물성 평가 : 응결시간, 플로우, 압축강도, 휨 및 인장강도, 흡수비, 균열, 내마모성 등 - 아이스포빅 포장체의 접착특성 평가 : 소재별(콘크리트, 아스팔트 콘크리트 등) 부착강도 평가 - 아이스포빅 포장체의 최적배합 선정

생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발

- 아이스포빅 도로포장체 제조기술
- 도로 포장체의 생체모방 표면구조제어기술
- 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술
- 환경조건에 따른 도로포장체의 특성평가



생체모방 표면구조 제어기술을 적용한 도로안전 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발

[주관기관] 우석대학교 산학협력단

1차년도
(2020년)

국내외
연구동향
조사

국내외연구동향조사

표준(기준)조사 및 분석



실란/실록산 조사

초수성
에멀전
포몰레이션
개발

저장안정성평가

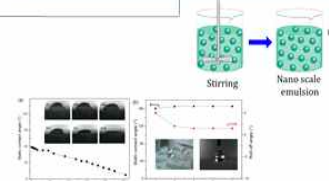
초수성 에멀전 포몰레이션

Lab Scale 포몰레이션 기술 확립

아이스포빅
시멘트
물성평가

시멘트응결시간
및 유동성평가

시멘트 표면특성 평가



최적 초소수성 에멀전 혼화제 선정

아이스 포빅
시멘트 수화
메커니즘
해석

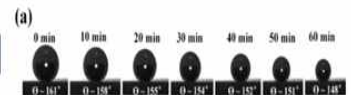
시멘트 수화반응 생성물 분석

수화반응 조직 관찰 및 혼화제 분산상태 확인

아이스포빅
시멘트
복합체
제조기술

아이스포빅시멘트
복합체 기초물성평가

시멘트 표면특성 평가



최적배합 선정

2차년도
(2021년)

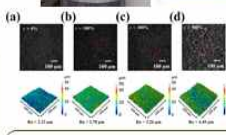
아이스 포빅
도로포장체
제조기술

시멘트 도로포장체
배합기초 설계

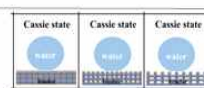
아이스포빅 도로포장체
배합설계

최적 배합 선정

생체모방
표면구조
제어기술



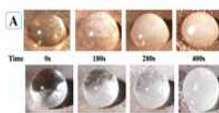
스탬핑 생체모방
표면구조의 물성 검토



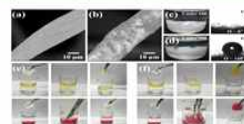
최적 스탬핑 생체모방 표면구조 제어 기술 확립

생체모방 표면구조 제어기술 기초검토

내마모성
향상기술



아이스포빅 도로포장체의 표면물성평가



내마모성 성능 개선제 배합선정

환경조건에
따른
특성평가

도로포장체의아이스포빅 특성평가

아이스포빅 포장체의
물성평가

아이스포빅 포장체의
접착특성 평가

아이스포빅 도로포장체 개발완료

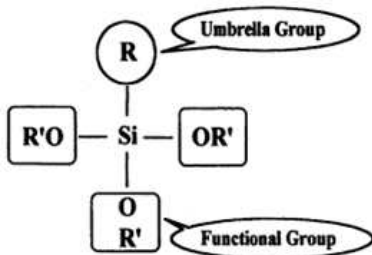
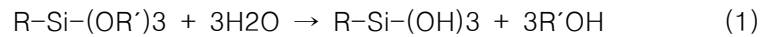
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

1) 초소수성 에멀전 포몰레이션 기술개발

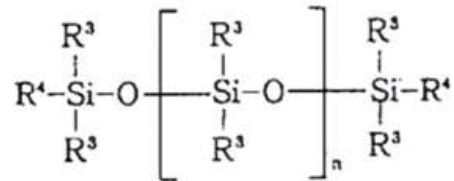
(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

- 시멘트 복합체 첨가용 초소수성 에멀전 혼화제는 시멘트의 수화 및 경화반응과 시멘트 복합체의 작업성 및 압축강도 등에 미치는 영향을 최소화하면서 초소수성을 발현시키기 위해서 기존에 사용되고 있는 침투성 발수제의 주원료인 실란의 사용량을 최소화하고, 실록산의 사용량을 상대적으로 높게 설계하여 검토하고자 함.
- 실란 및 실록산의 분자구조는 그림과 같음. 그림 1에서 실란은 물과 접촉되면 식 (1)과 같이 functional group이 가수분해되어 알코올이 발생되므로 실란의 사용량이 높게 되면 알코올의 발생량이 많아져 시멘트의 수화반응을 지연시키게 됨. 실란의 발수성은 그림에서 Umbrella group인 R에 의존하고, 침투성 발수제는 일반적으로 R = 4(butyl group), 8(octyl group)이 원료로 사용되고 있음. 그림에서 말단기인 R4는 메톡시기, 하이드록시기로 구성되어 있음.



[그림] 실란의 분자구조



[그림] 실록산의 분자구조

- 상기와 같은 특성을 갖는 실란 및 실록산을 발수제의 주원료로 사용하여 시멘트 복합체의 첨가용 초소수성 에멀전 혼화제를 제조하는데 있어서, 활성성분의 함량이 40wt%가 되도록 제조배합비를 설계하고, 시멘트의 수화반응에 특이한 영향을 미치지 않도록 pH를 중성영역으로 설정하여 에멀전을 제조하고 제조한 에멀전을 사용하여 시멘트 응결시간을 측정하였고, 상온에서 4개월 이상 보관시 상분리가 발생하지 않도록 저장안정성을 확보하고자 함.

② 사용재료

- 시멘트 복합체 첨가용 초소수성 에멀전 혼화제의 제조를 위한 연구로서 발수성을 부여하기 위한 주원료로 3종의 실란 및 2종의 실록산을 사용하였고, 유화제로 소르비탄 모노스테아레이트(SPAN 60)과 폴리옥시에틸렌 소르비탄 모노올레이트(TWEEN 80)를 사용하였으며, 제조된 초소수성 에멀전의 보관안정성을 향상시키기 위한 유화보조제로 폴리비닐알코올을 사용하였고 용매로는 물을 사용하였으며, 초소수성 에멀전의 제조배합 조건은 표와 같음.

[표] 초소수성 에멀전 혼화제 제조배합

구 분	원재료명	SHPS※-1	SHPS※-2	SHPS※-3	SHPS※-4	SHPS※-5
실 란	Butyltrimethoxysilane	10		10		
	Octyltrimethoxysilane		10		10	5
	Glycidoxypropyltrimethoxysilane	1	1	1	1	1
실록산	메톡시 관능형 실록산	30	30			
	OH-terminated siloxane			30	30	35
유화제	TWEEN 80	1	1	1	1	
	SPAN 60	1	1	1	1	
유화보조제	폴리비닐알코올	2	2	2	2	2
용 매	1차 증류수	55	55.5	55.5	55.5	55.5
합 계		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

* SHPS : Super Hydrophobic Sample

③ 에멀전 제조방법

- 초소수성 에멀전 혼화제의 제조는 그림 3의 유화반응기를 사용하였고, 제조순서는 용기에 표 1의 배합 비로 먼저 증류수를 넣고, 유화제인 TWEEN 80과 SPAN 60을 첨가하여 상온에서 1200rpm으로 30분간 고속으로 교반하였고, 실란 및 실록산을 dropping하여 첨가한 후 10분간 1500rpm으로 고속으로 교반하였으며, 마지막으로 폴리비닐알코올을 첨가하여 30분간 1200rpm으로 교반하여 5종의 에멀전을 제조함.
- 초소수성 에멀전 혼화제의 저장안정성 시험은 500mL 플라스틱 용기에 넣고, 상온에서 4개월간 보관하여 상분리 발생 여부를 관찰하여 확인함.



[그림] 유화반응기



[그림] 길모어침

④ 시험방법

- 시멘트 응결시험은 혼합수에 위의 표와 같이 제조한 초소수성 에멀전 혼화제를 시멘트 중량대비 0.5, 1.0, 2.0, 3.0%를 첨가하여 길모어침으로 초결 및 종결시간을 측정하였음. 여기에서 물시멘트비는 0.28로 동일하게 하였고, 시멘트는 아래 표와 같이 국내 S사에서 시판하고 있는 비표면적 3.144cm²/g, 밀도 3.15g/cm³ 인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였음.

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss	Chemical composition (%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC※	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

* OPC : Ordinary portland cement

(2) 실험결과 및 분석

- 초소수성 에멀전 혼화제의 4개월간 저장안정성을 시험한 결과는 표와 같이 제조원료의 구분에 관계없이 모두 안정하게 나타났음.

[표] 초소수성 에멀전 혼화제의 저장안정성

구 분	SHPS-1	SHPS-2	SHPS-3	SHPS-4	SHPS-5
	양호	양호	양호	양호	양호
제조직후					
6개월후	양호	양호	양호	양호	양호
					

[표] 초소수성 에멀전 혼화제를 첨가한 시멘트의 응결시간

구 분	OPC	SHPS-1				SHPS-2				SHPS-3				SHPS-4				SHPS-5			
		0.5	1.0	2.0	3.0	0.5	1.0	2.0	3.0	0.5	1.0	2.0	3.0	0.5	1.0	2.0	3.0	0.5	1.0	2.0	3.0
초결시간(분)	275	295	320	360	400	285	300	320	350	280	290	310	340	280	280	290	320	275	275	280	290
종결시간(분)	370	400	430	490	540	390	420	450	510	380	390	410	460	375	380	400	430	370	370	380	390

- 위의 표에서 초소수성 에멀전 혼화제를 첨가한 시멘트의 응결시간은 첨가량이 증가할수록 초결시간과 종결시간이 지연되는 것으로 나타났고, 실란의 종류에 있어서 butytrimethoxysilane을 첨가한 경우에 octyltrimethoxysilane보다 초결시간과 종결시간이 지연되는 것으로 나타났으며, 실록산 종류에 있어서 메톡시 관능형 실록산을 첨가한 경우에 OH-terminated siloxane보다 초결시간과 종결시간이 지연되는 것으로 나타났음. 특히 실란의 첨가량이 가장 적고, OH-terminated siloxane의 첨가량을 증가시킨 SHPS-5를 첨가한 경우에 사용량에 따른 수화지연 영향이 가장 적어 양호한 결과를 나타냄.

○ 소결론

- 3종의 실란 및 2종의 실록산을 주원료로 하여 고형분 함량 40wt%로 제조배합비를 설계하여 중성의 pH 영역(pH = 6~8)에서 시멘트 복합체 첨가용 초소수성 에멀전 혼화제 5종을 제조한 결과 원재료의 제조배합비에 관계없이 4개월간 저장안정성이 양호한 에멀전을 제조할 수 있는 것으로 나타남.
- 초소수성 에멀전 혼화제 5종을 시멘트에 0.5~3wt% 첨가하여 응결시간을 측정한 결과, 초소수성 에멀전 혼화제의 첨가량 증가에 따라 초결 및 종결시간이 지연되는 현상을 확인하였고, 지연현상은 사용된 원재료에 의존하고 있는 것으로 판단됨. OPC 대비 가장 유사한 초결 및 종결시간을 보인 에멀전은 SHPS-5로 나타났으며, 향후 SHPS-5의 제조배합비를 사용하여 제조한 에멀전과 현재 시판되고 있는 침투성 발수제를 사용한 시멘트 복합체의 소수특성에 대한 검토를 진행하고자 함.

2) 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 물성 및 수화 메카니즘

(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

- 시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하고자 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트 제조를 위한 실험계획을 아래 표에 나타내었음. 결합재로는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, W/C는 0.3으로 설정하였음. 또한 실란/실록산계 혼합형 발수제의 사용량은 시멘트 중량에 대해 0%, 0.5%, 1.5%, 3%가 되도록 혼합수에 첨가하여 시멘트 페이스트를 혼합하였음. 평가항목으로 시멘트 페이스트의 초기 수화성능 및 유동성능을 확인하기 위하여 응결시간과 플로우를 측정하였고, 재령별 압축강도와 표면연마 전후의 물접촉각 및 흡수율을 측정하였음.

[표] 실험 계획

Type of binder	Addition rate of water repellent to cement(%)	Mix design	Test items
OPC	0 (PP) 0.5 (PD5) 1.5 (PD15) 3 (PD30)	W/B = 0.30	Flow Setting time SEM XRD

② 사용재료

- 시멘트 : 본 연구에서 사용한 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트로서 물리·화학적 특성을 아래 표에 나타내었음. 시멘트는 비표면적 3,144 cm²/g, 밀도 3.15 g/cm³, 강열감량 1.32이며, 화학 성실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 응결시간은 KS L 5103 길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법에 준하여 시험하였음.

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss	Chemical composition (%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

- 발수제 : 본 연구에서 페이스트 혼입용으로 사용한 실란/실록산계 혼합형 발수제의 물리·화학적 특성을 아래 표에 나타내었음. 발수제의 활성성분은 40wt%이고, 주요한 활성성분은 n-octyltriethoxysilane과 methoxy-terminated aminosilisesquioxane으로 구성되어 있으며, 비중은 1.01, pH는 6~8임.

[표] 발수제의 시멘트의 물리·화학적 특성

Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
water repellent	40	1.01	6 ~ 8

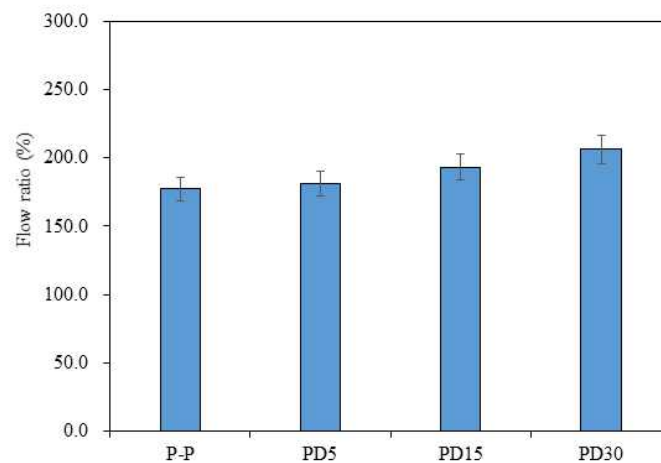
③ 실험방법

- 페이스트 배합 및 양생 : 페이스트의 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 먼저 혼합수와 실란/실록산계 발수제를 혼합한 뒤 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 의거하여 페이스트를 제조하였음. 제조된 시멘트 페이스트는 시편제작용 몰드에 타설하여 측정시까지 온도 20±2°C, 상대습도 50%에서 양생하였음.
- 응결시간 : 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 응결시간은 KS L 5103 길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법에 준하여 시험하였음.

- 플로우 : 시멘트 페이스트의 플로우 시험은 KS L 2476에 준하여 측정하였음.
- 수화생성물 확인을 위하여 샘플을 3, 28일의 재령별로 수집하여 24시간 동안 ethyl alcohol에 침지시켜 수화를 중지시켰음. 이어서 샘플을 40℃ 오븐에서 24시간 동안 건조시켰음. 건조된 샘플을 X-Ray Diffraction 및 SEM 분석에 사용하였음.

(2) 실험결과 및 분석

- 플로우 : 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 플로우 측정결과를 아래 그림에 나타내었음. 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 플로우는 발수제 첨가량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났음. 플로우는 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 PP는 177 mm를 나타내었음. 실란/실록산계 발수제를 5 % 첨가한 PD5의 경우 181 mm, 1.5%를 첨가한 PD15의 경우 109mm, 3.0%를 첨가한 PD30의 경우 116mm로 나타났음.



[그림] 플로우

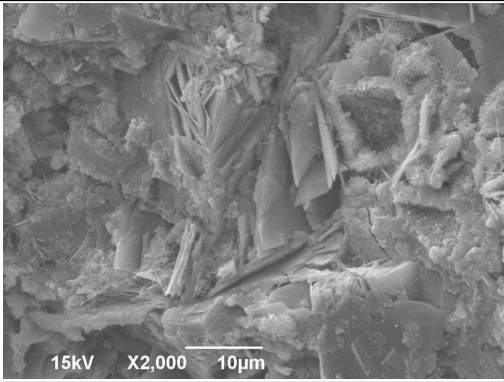
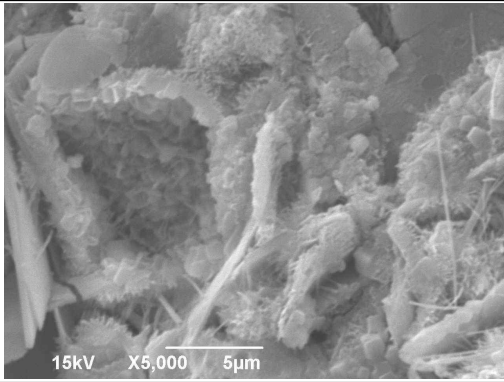
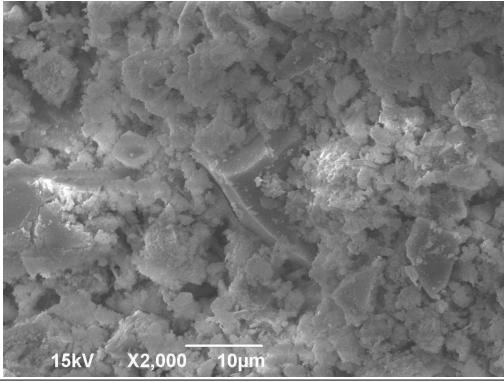
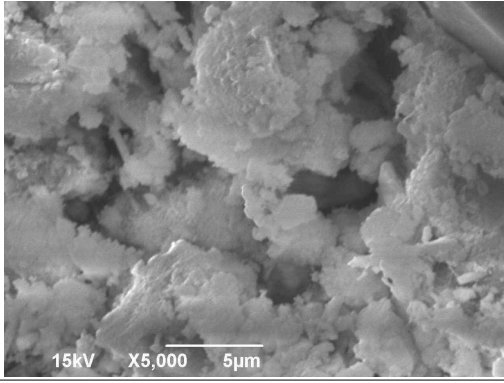
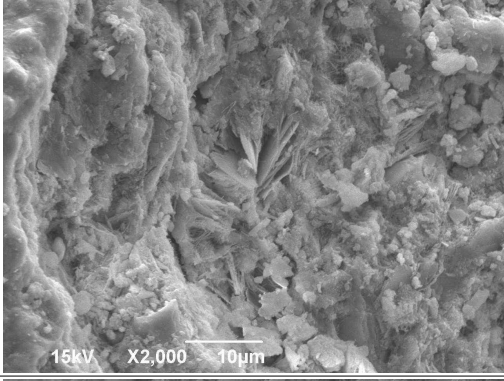
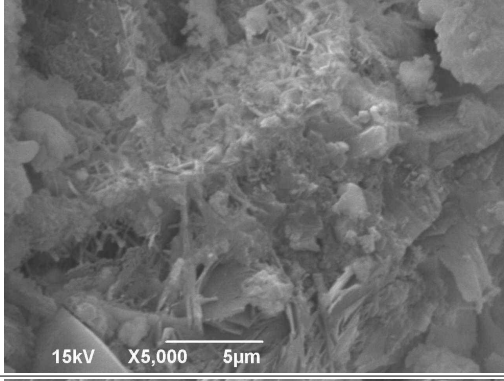
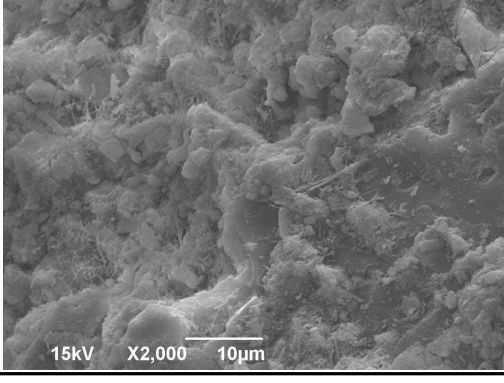
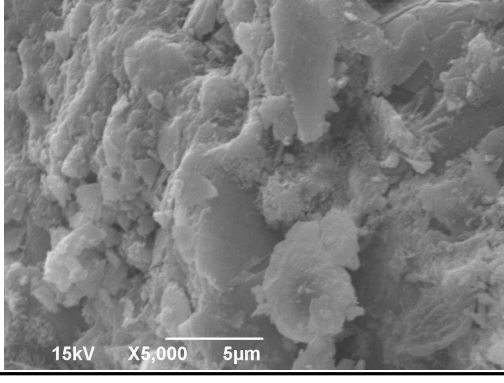
- 응결시간 : 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 응결시간 측정결과를 아래 표에 나타내었음. 응결시간 측정결과 실란/실록산계 발수제를 첨가할 경우 시멘트 페이스트의 종결 시간은 지연되는 것으로 나타났으며, 첨가량이 증가할수록 응결시간은 더욱 지연되는 것으로 나타났음. 초결시간은 발수제를 첨가하지 않은 PP의 경우 105분을 나타냈으며, 실란/실록산계 발수제를 3.0%첨가한 PD30의 경우에도 105분을 나타냈음. 종결시간은 발수제를 첨가하지 않은 PP의 경우 4.75시간을 나타냈으며, 발수제를 0.5, 1.5% 첨가한 PD 5, PD 15는 5시간을 나타냈음. 실란/실록산계 발수제를 3.0%첨가한 PD30의 경우 5.25시간으로 나타났음.

[표] Setting time

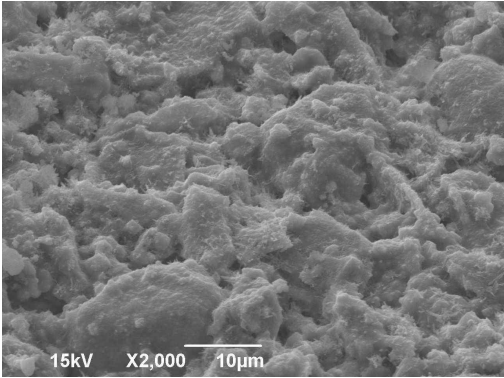
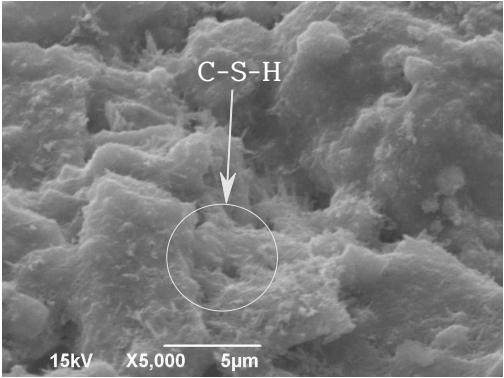
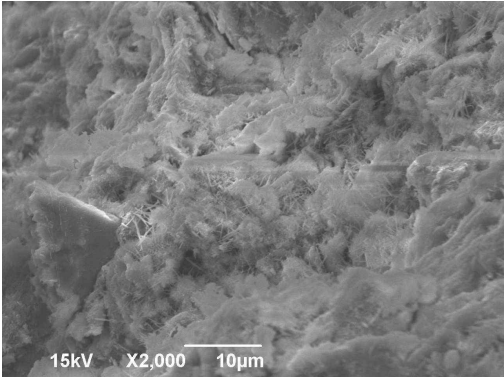
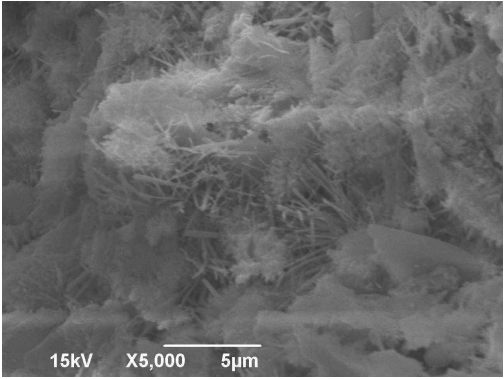
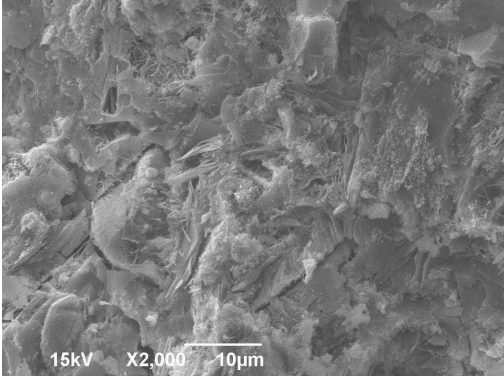
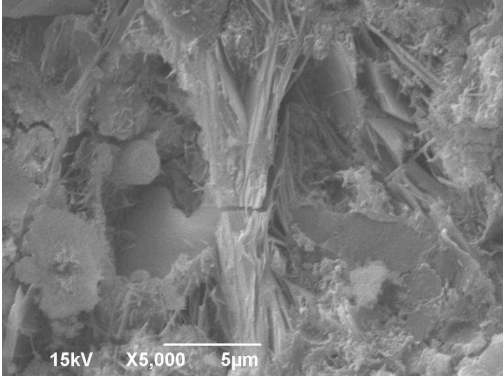
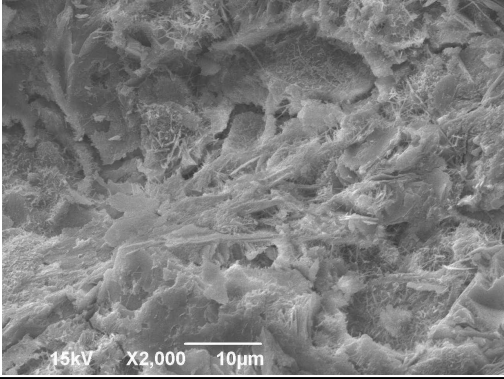
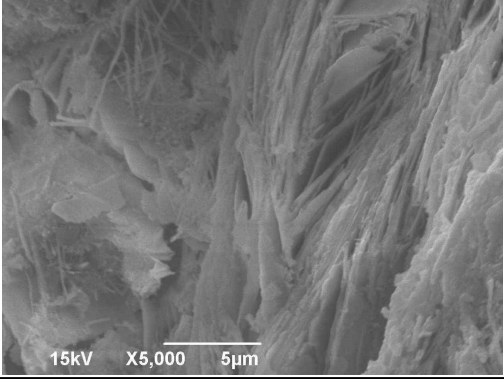
Samples	Setting time	
	Initial (min)	Final (hour)
PP	105	4.75
PD5	105	5
PD15	105	5
PD30	105	5.25

- SEM 관찰결과 : 실란/실록산계 발수제의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 수화생성물을 관찰하기 위하여 PP와 비교하여 재령 3일 및 28일 SEM images를 아래의 그림과 같이 나타내었음.
재령 3일 PP의 SEM image에서 박편형의 Ca(OH)_2 를 관찰할 수 있고, 섬유상 조직의 ettringite 및 C-S-H를 관찰할 수 있고, 시멘트 수화생성물 사이에 기공이 형성되어 있음을 관찰할 수 있음. 반면에 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시편의 경우 박편형의 Ca(OH)_2 , 섬유상 조직의 ettringite 및 C-S-H가 실란/실록산계 발수제에 의해 코팅되어 명확하게 관찰되지 않고 있고, 실란/실록산계 발수제의 첨가량 증가에 따라 시멘트 수화생성물 사이의 기공이 채워져 있음을 관찰할 수 있음.
- 재령 28일 PP의 SEM image에서 박편형의 Ca(OH)_2 는 거의 관찰할 수 없고, 수화생성물은 대부분 C-S-H로 관찰되고 있으며, 미세기공이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있음. 반면에 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시편의 경우 시멘트 단독 수화생성물을 명확하게 구분할 수 없고, 시멘트 수화생성물의 표면에 섬유상의 생성물이 코팅되어 있음을 관찰할 수 있으며, 수화생성물이 코팅되어 미세기공이 채워져 있음을 관찰할 수 있음.

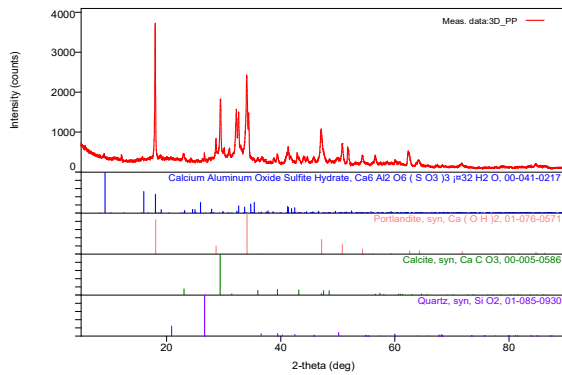
[Ⅲ] 3D SEM

Samples	3D	
	×2,000	×5,000
PP		
PD5		
PD15		
PD30		

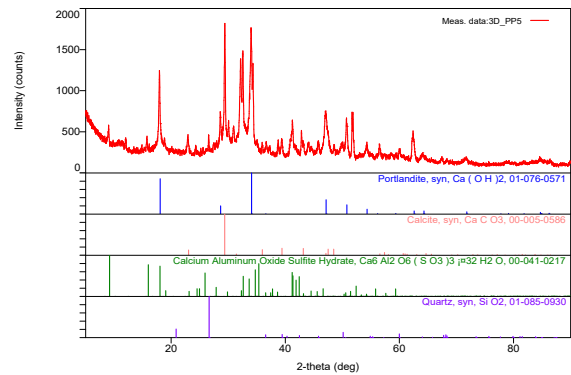
[丑] 28D SEM

Samples	28D	
	×2,000	×5,000
PP		
PD5		
PD15		
PD30		

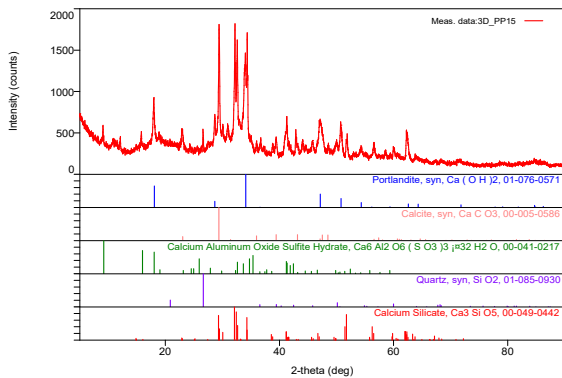
- XRD 분석결과 : 실란/실록산계 발수제의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 수화생성물을 확인하기 위하여 PP와 비교하여 재령 3일 및 28일 XRD patterns을 그림과 같이 나타내었음.
- 재령 3일 아래의 그림 (a) PP에서 2θ값 약 18°, 28°, 34°, 47°, 50.7° 및 54.5° 부근에서 Ca(OH)₂의 피크와 2θ값 약 9.8°, 24°, 30.9° 부근에서 ettringite의 peak 및 2θ값 약 6.6°, 29.3°, 49.7° 부근에서 C-S-H 및 Tobermorite의 peak를 확인할 수 있음. 실란/실록산계 발수제의 첨가량 증가에 따라 PP에서 상대적 강도가 가장 높게 나타난 2θ값 18° 부근의 Ca(OH)₂의 main peak는 감소하면서, 압축강도 발현에 영향을 미치는 C-S-H 및 Tobermorite peak의 상대적 강도가 PP15까지 증가하고, 실란/실록산계 발수제의 첨가량이 가장 높은 PP30에서 다시 감소하고 있음을 확인할 수 있음. 이에 따라 3일 재령에서 실란/실록산계 발수제의 첨가량이 1.5%까지 압축강도가 PP 대비 동등 이상이 나타났고, 3.0% 첨가한 경우 압축강도가 감소하는 현상을 설명할 수 있음.
- 재령 28일 아래의 그림 (b) PP에서 2θ값 18° 부근의 Ca(OH)₂의 main peak는 재령 3일과 비교하여 상대적 강도가 크게 감소하였고, 상대적으로 C-S-H 및 Tobermorite peak의 상대적 강도가 증가하고 있음을 확인할 수 있고, 실란/실록산계 발수제를 첨가한 경우에 PP5까지 2θ값 18° 부근의 Ca(OH)₂의 main peak의 상대적 강도가 PP보다 높게 유지되어 지속적으로 수화반응이 진행되고 있음을 확인할 수 있고, PP15 및 PP30에서 감소함을 보이고 있어 압축강도가 PP5에서 가장 높게 나타난 현상을 설명할 수 있음.



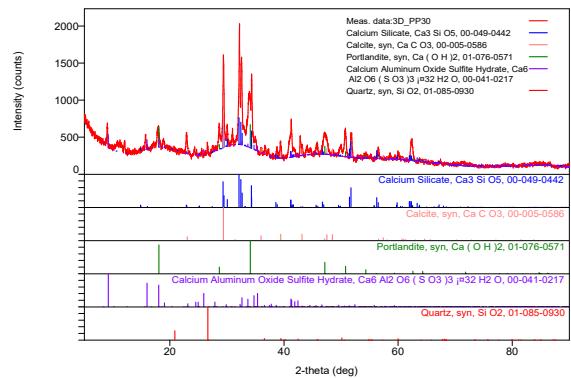
(a) PP



(b) PD5

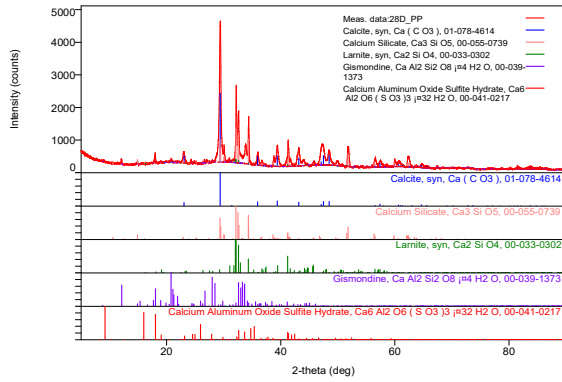


(c) PD15

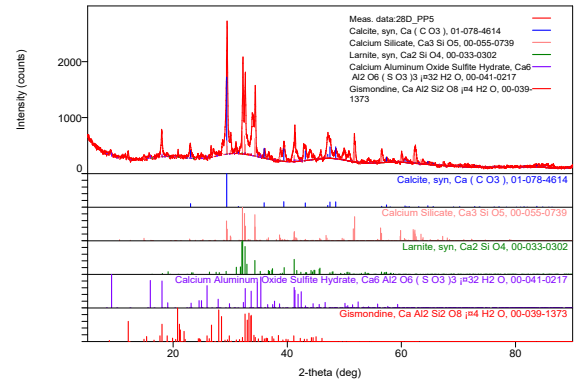


(d) PD30

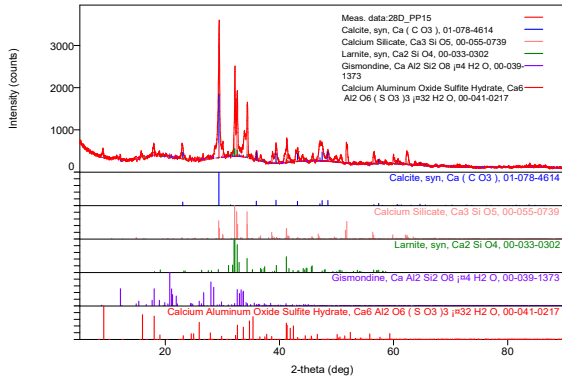
[그림] 3D XRD



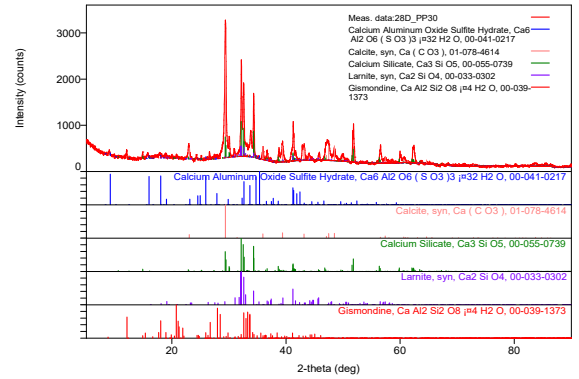
(a) PP



(b) PD5



(c) PD15



(d) PD30

[그림] 28D XRD

(4) 결론

- 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 플로우는 발수제 첨가량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 실란/실록산계 발수제를 1.5 %이하 첨가한 경우 표준대비 증가 10%이내를 나타내었음.
- 응결시간 측정결과 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가할 경우 시멘트 페이스트의 초결시간은 발수제를 첨가하지 않은 경우와 같은 시간을 나타냈으며, 종결시간은 첨가량이 증가할수록 지연되는 것으로 나타났음. 실란/실록산계 발수제를 1.5 %이하 첨가한 경우 초결시간은 증가하지 않았으며 종결시간은 표준대비 증가 10%이내를 나타내었음.
- SEM분석결과 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 페이스트에 첨가하게 되면 재령 28일에도 침상형의 수화물이 지속적으로 발견되었음.
- XRD 분석결과 PP의 경우 3일부터 주요 피크로 포틀랜드이트가 나타났으며, 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가할 경우 칼사이트, 칼슘실리케이트의 피크가 크게 나타났음. 28일의 경우 칼사이트, 칼슘실리케이트 등을 모든 시편에서 비슷한 피크를 나타냈음.

3) 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술

(1) 실험계획

- 실란/실록산 및 나노입자를 사용하여 에멀전 혼화제의 포물레이션 기술을 확립하고, 시멘트 복합체의 수화반응, 물성 및 표면 특성을 평가하여 아이스포빅 시멘트 복합체를 개발하기 위하여 아래와 같이 실험을 계획하였음.

- ① 초소수성 에멀전 5종 시멘트 페이스트 발수실험
- ② 초소수성 에멀전 5종 시멘트 모르타르 물성실험
- ③ CoSHP-40첨가 페이스트 및 모르타르 물성실험
- ④ CoSHP-50개질 플라이애시를 첨가한 시멘트 모르타르 물성실험
- ⑤ 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르 물성실험

① 초소수성 에멀전 5종 시멘트 페이스트 발수실험

○ 실험계획

- 시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하고자 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트를 제조하고자 함. 이를 위하여 발수제 A, B, C, D, E (CoSHP-10, CoSHP-20, CoSHP-30, CoSHP-40, CoSHP-50)를 시멘트에 대해 0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2% 물과 혼입하여 시멘트 페이스트를 제작하여 종류와 혼입량에 따른 발수 성능을 확인하고자 함.

[표] 실험계획 및 배합

	OPC	W/C	발수제(발수제/시멘트)				
			A	B	C	D	E
0	100	45					
A-3			0.3				
A-6			0.6				
A-9			0.9				
A-12			1.2				
B-3				0.3			
B-6				0.6			
B-9				0.9			
B-12				1.2			
C-3					0.3		
C-6					0.6		
C-9					0.9		
C-12					1.2		
D-3						0.3	
D-6						0.6	
D-9						0.9	
D-12						1.2	
E-3							0.3
E-6							0.6
E-9							0.9
E-12							1.2

○ 사용재료

[시멘트(OPC)]

- 보통 포틀랜드 시멘트는 국내 S사에서 시판하고 있는 비표면적 3.144cm²/g, 밀도 3.15g/cm³ 인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였음.

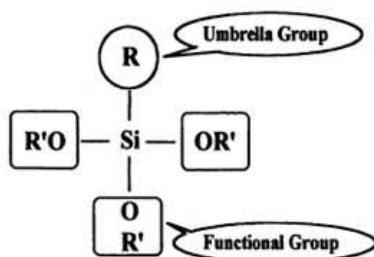
[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss	Chemical composition (%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC1)	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

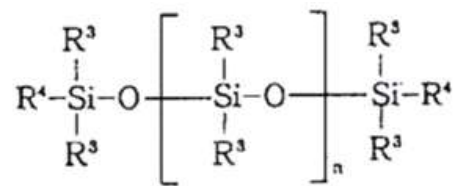
1) OPC : Ordinary portland cement

[발수제]

- 시멘트 복합체 첨가용 초소수성 에멀전 혼화제의 제조를 위한 연구로서 발수성을 부여하기 위한 주원료로 3종의 실란 및 2종의 실록산을 사용하였고, 유화제로 소르비탄 모노스테아레이트(SPAN 60)과 폴리옥시에틸렌 소르비탄 모노올레이트(TWEEN 80)를 사용하였으며, 제조된 초소수성 에멀전의 보관 안정성을 향상시키기 위한 유화보조제로 폴리비닐알코올을 사용하였고 용매로는 물을 사용함. 5가지의 발수제를 제조하였음.



[그림] 실란의 분자구조



[그림] 실록산의 분자구조



[그림] 초소수성 에멀전 혼화제

○ 실험방법

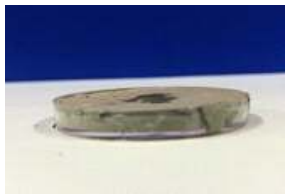
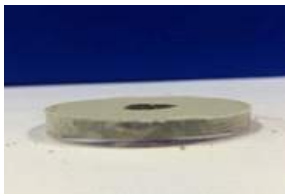
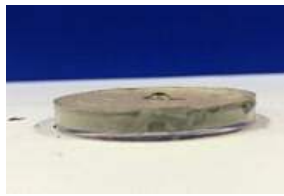
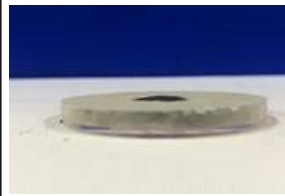
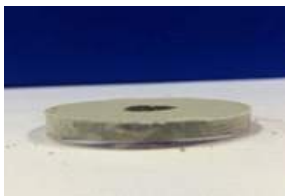
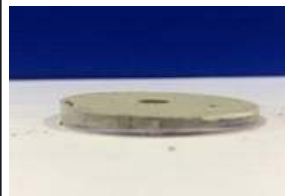
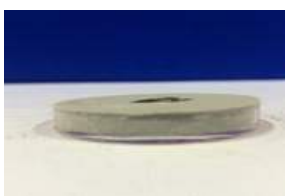
[페이스트 배합]

- 시멘트에 대해 0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2%의 발수제 A, B, C, D, E (CoSHP-10, CoSHP-20, CoSHP-30, CoSHP-40, CoSHP-50)를 물과 혼합한 후 시멘트에 첨가하여 모르타르 믹서에 약 5분간 혼합함. 페이스트 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 의거하여 페이스트를 제조함.

[발수력 실험]

- 발수력 측정을 위한 시편은 Ø 3.5 × 0.5 cm 샬레에 페이스트를 타설하여 제작함. 발수력 측정은 3ml 스포이드로 시편 위에 물방울을 떨어뜨려 발수력을 확인한 후 접촉각을 측정함. 시험체는 연마 전과 후를 측정하였으며, 연마전의 시험체는 제작된 시편을 그대로 사용하고, 연마 후의 시편은 #60의 사포로 표면을 연마 한 후 사용함. 발수력은 7일에 측정함.

[표] 7일 발수력 측정결과

	연마 전	연마 후	연마 전	연마 후
A				
	A-6	A-6	A-12	A-12
B				
	B-6	B-6	B-12	B-12
C				
	C-6	C-6	C-12	C-12
D				
	D-6	D-6	D-12	D-12
E				
	E-6	E-6	E-12	E-12

- 발수제 A, B의 경우에는 연마 전, 후 모두 발수성능이 없었음. 발수제 C의 경우에는 연마 전 코팅된 듯 발수성능을 보였으나 연마 후 물을 흡수하며 발수성능이 없어짐.
- 발수제 D, E의 경우에는 타 발수제 중 가장 우수한 발수성능을 보였음. 연마 전 보다 연마 후의 발수 성능과 발수제의 혼입량이 증가할수록 발수성능이 더욱 우수해짐.

② 초소수성 에멀전 5종 시멘트 모르타르 물성실험

○ 실험계획

- 시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하고자 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르를 제조하고자 함. 이를 위하여 발수제 A, B, C, D, E (CoSHP-10, CoSHP-20, CoSHP-30, CoSHP-40, CoSHP-50)를 시멘트에 대해 1% 물과 혼입하여 시멘트 모르타르를 제작하여 종류와 혼입량에 따른 발수 성능 및 강도를 검토하고 모르타르에서 최대 성능을 나타내는 발수제를 확인하고자 함.

[표] 발수 모르타르 실험계획

발수제 종류	C : S	W/C	발수제/C	평가항목
CoSHP-10	1 : 3	0.45	0.01	발수테스트 (7일-연마전후, 28일-연마전후) 압축강도 (7일, 28일)
CoSHP-20				
CoSHP-30				
CoSHP-40				
CoSHP-50				

[표] 발수 모르타르 실험배합

(단위 : g)

시편명	C	S	W	발수제				
				CoSHP-10	CoSHP-20	CoSHP-30	CoSHP-40	CoSHP-50
MP1	450	1350	202.5					
MA1	450	1350	202.5	4.5				
MB1	450	1350	202.5		4.5			
MC1	450	1350	202.5			4.5		
MD1	450	1350	202.5				4.5	
ME1	450	1350	202.5					4.5

○ 실험방법

[모르타르 배합]

- 시멘트에 대해 1%의 발수제 A, B, C, D, E (CoSHP-10, CoSHP-20, CoSHP-30, CoSHP-40, CoSHP-50)를 물과 혼입한 후 건비빔 한 시멘트와 골재에 첨가하여 모르타르 믹서에 약 5분간 혼합함. 모르타르 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 의거하여 모르타르를 제조함.

[발수력 실험]

- 발수력 측정을 위한 시편은 $\varnothing 3.5 \times 0.5$ cm 살레에 모르타르를 타설하여 제작함. 발수력 측정은 3ml 스포이드로 시편 위에 물방울을 떨어뜨려 발수력을 확인한 후 접촉각을 측정함. 시험체는 연마 전과 후를 측정하였으며, 연마전의 시험체는 제작된 시편을 그대로 사용하고, 연마 후의 시편은 #60의 사포로 표면을 연마 한 후 사용함. 발수력은 7일 28일에 측정함.

[압축강도]

- 압축강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 7일 및 28일에 측정하였으며 평균 압축강도의 값으로 하였음. 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법 준하여 측정하였음.



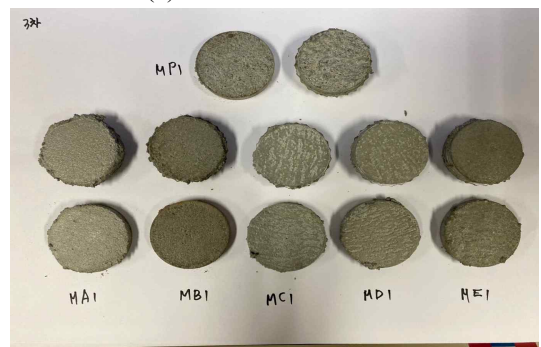
(a) 혼합



(b) 압축강도 측정전경



(c) 제작 시험체 전경

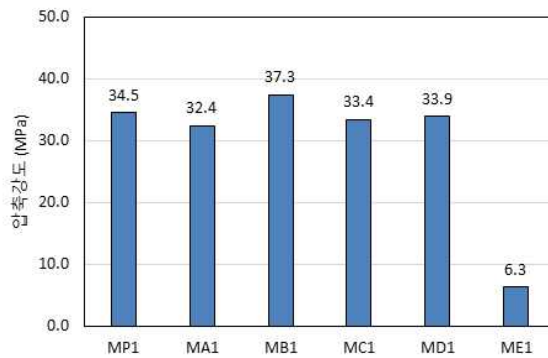


[그림] 실험전경

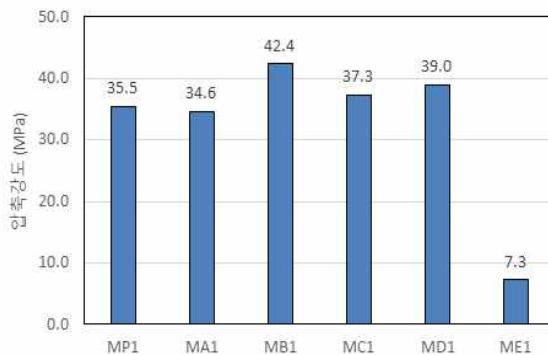
○ 실험결과 및 분석

[압축강도]

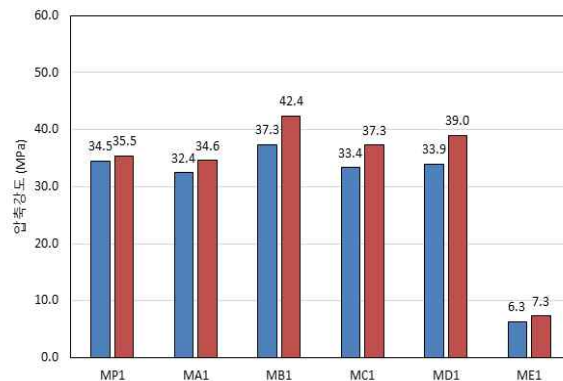
- MP1의 경우 7일 압축강도는 34.5MPa이며 28일강도는 35.5MPa로 1MPa이 상승함.
- MA1의 경우 7일 압축강도는 32.4MPa이며 28일강도는 34.6MPa로 2.2MPa이 상승함.
- MB1의 경우 7일 압축강도는 37.3MPa이며 28일강도는 42.4MPa로 5.1MPa이 상승함.
- MC1의 경우 7일 압축강도는 33.4MPa이며 28일강도는 37.3MPa로 3.9MPa이 상승함.
- MD1의 경우 7일 압축강도는 33.9MPa이며 28일강도는 39.0MPa로 5.1MPa이 상승함.
- ME1의 경우 7일 압축강도는 6.3MPa이며 28일강도는 7.3MPa로 1MPa이 상승함.
- MB1>MD1>MC1>MP1>MA1>ME1 순으로 28일 압축강도가 높은 것으로 나타났으며 ME1의 경우에는 다른 발수제에 비해 현저히 낮은 강도 수준을 보였음.



(a) 7일 압축강도 시험결과



(b) 28일 압축강도 시험결과



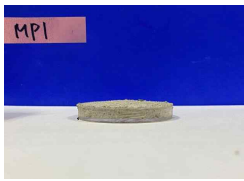
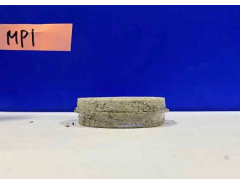
(c) 7일 및 28일 압축강도 시험결과

[그림] 압축강도 측정결과

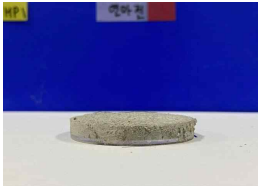
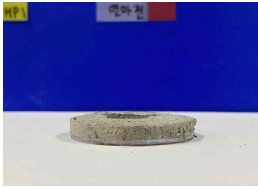
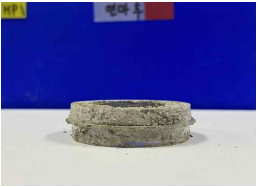
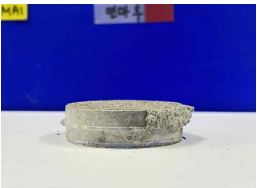
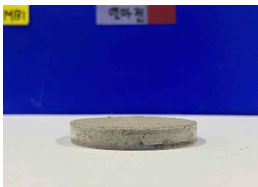
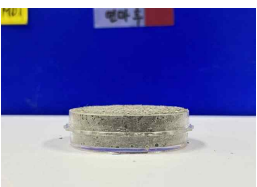
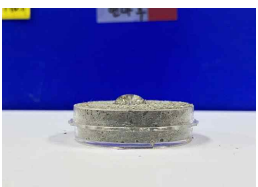
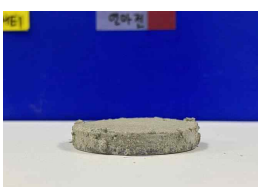
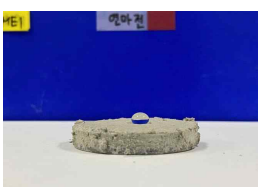
[발수력]

- MP1의 경우에는 연마 전, 연마 후 모두 발수성이 없음.
- MA1의 경우에는 MP1과 비교하여 연마 전 발수능력이 조금 보였으나 시간 경과 후 흡수됨. 연마 후 발수성은 없음.
- MB1의 경우에는 MA1과 비교하여 연마 전 발수능력이 조금 보였음. 연마 후 발수성은 없음.
- MC1의 경우에는 연마 전 발수능력이 MB1에 비교하여 조금 더 우수하였음. 연마 후 발수성은 없음.
- MD1의 경우에는 표면이 코팅되어 물을 흡수하진 않았으나 물방울 모양이 퍼짐. 연마 후 발수성이 더욱 좋아짐.
- ME1의 경우에는 연마 전, 연마 후 모두 다른 시험체와 비교하여 발수성이 가장 우수함.

[표] 7일 발수력 측정결과

	연마 전		연마 후	
	낙하 전	낙하 후	낙하 전	낙하 후
MP1				
MA1				
MB1				
MC1				
MD1				
ME1				

[표] 28일 발수력 측정결과

	연마 전		연마 후	
	낙하 전	낙하 후	낙하 전	낙하 후
MP1				
MA1				
MB1				
MC1				
MD1				
ME1				

③ CoSHP-40첨가 페이스트 및 모르타르 물성실험

○ 실험계획

- 기존 5개의 발수제 중 강도와 발수 성능을 고려하여 선정된 발수제 D(CoSHP-40)를 시멘트에 대해 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 %를 첨가하여 페이스트와 모르타르를 제작하고 품질평가 항목인 발수테스트 및 압축강도를 평가하고자 함.

[표] 페이스트 실험계획 및 배합

C	W/C	발수제/시멘트	평가 항목
보통 포틀랜드 시멘트	45	0	발수테스트 (7일-연마전 후, 28일-연마전 후) 압축강도 (28일)
		0.5	
		1	
		1.5	
		2	
		2.5	
		3	

[표] 모르타르 실험계획 및 배합

C	C : S	W/C	발수제/시멘트	평가 항목
보통 포틀랜드 시멘트	1 : 3	45	0	발수테스트 (7일-연마전 후, 28일-연마전 후) 압축강도 (7일, 28일)
			0.5	
			1	
			1.5	
			2	
			2.5	
			3	

○ 사용재료

[시멘트(OPC)]

- 보통 포틀랜드 시멘트는 국내 S사에서 시판하고 있는 비표면적 3.144cm²/g, 밀도 3.15g/cm³ 인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였음.

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss	Chemical composition (%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC1)	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

1) OPC : Ordinary portland cement

[골재]

- 연구에서 사용한 골재는 KS L ISO 679의 표준사를 사용하였음.

[발수제 (CoSHP-40)]

- 발수제는 기존 선행연구에서 선정된 발수제를 사용하였음.

[표] 발수제의 물리·화학적 특성

Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
water repellent	40	1.01	6 ~ 8

○ 실험방법

[페이스트 및 모르타르 배합 및 양생]

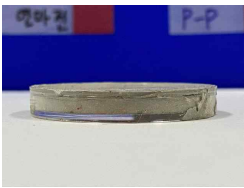
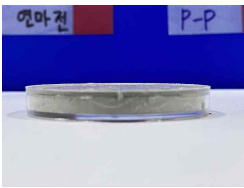
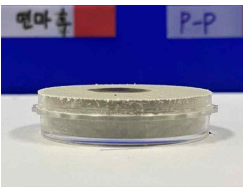
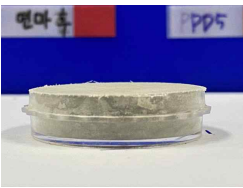
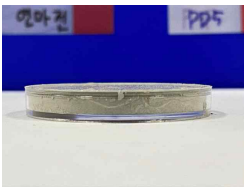
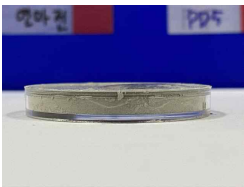
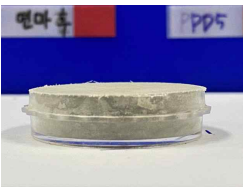
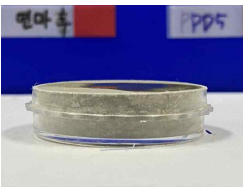
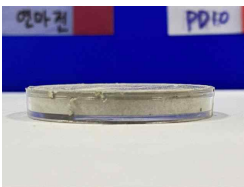
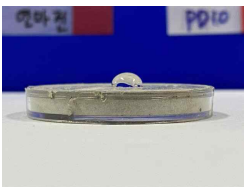
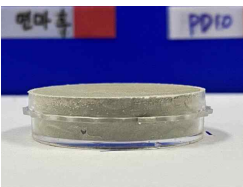
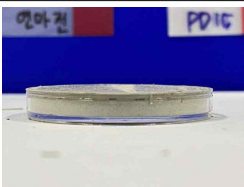
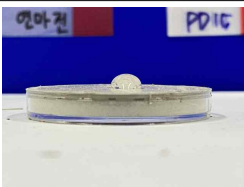
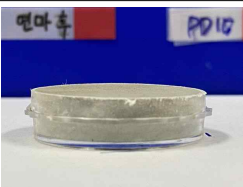
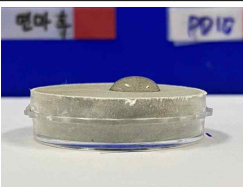
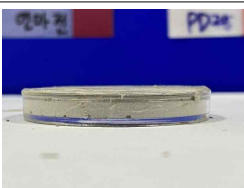
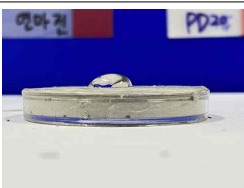
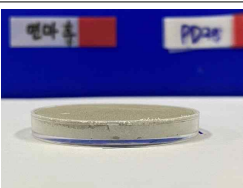
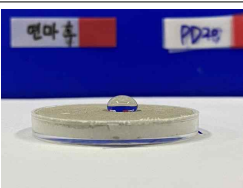
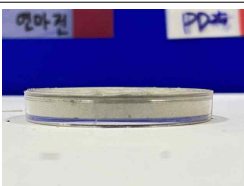
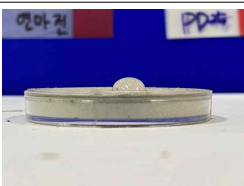
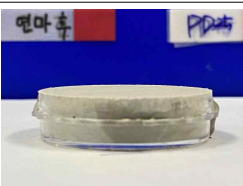
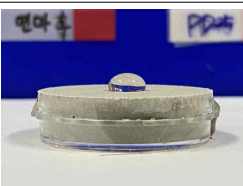
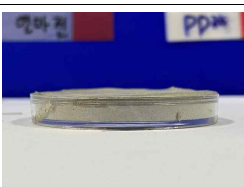
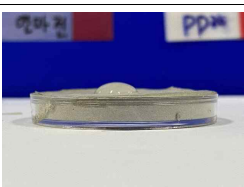
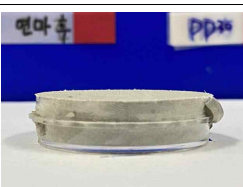
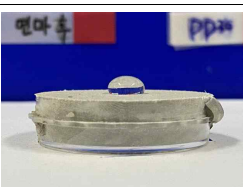
-배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 먼저 혼합수와 실란/실록산계 발수제를 혼합한 뒤 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 의거하여 페이스트 및 모르타르를 제조함. 제조된 시멘트 페이스트 및 모르타르는 시편제작용 몰드에 타설하여 측정시까지 온도 $20\pm2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 50%에서 양생함.

[압축강도]

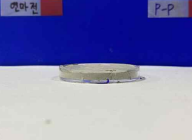
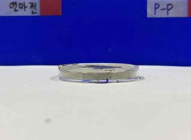
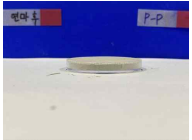
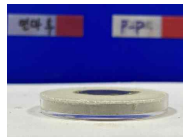
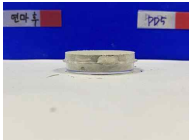
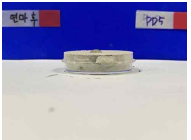
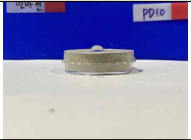
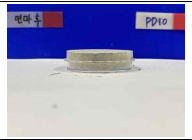
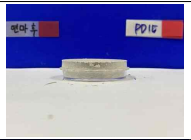
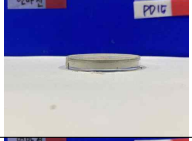
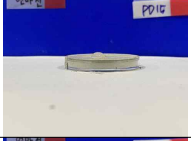
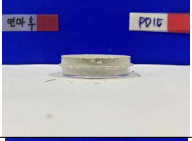
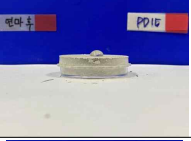
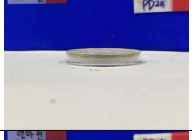
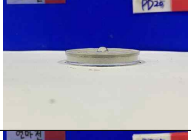
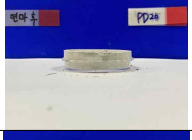
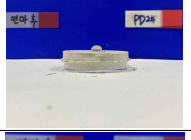
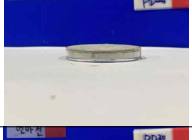
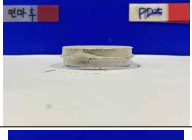
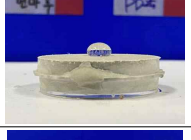
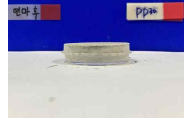
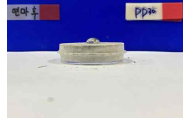
- 압축강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 3일, 7일 및 28일에 측정하였으며 평균 압축강도의 값으로 함. 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법 준하여 측정하였음.

○ 실험결과 및 분석

[표] 페이스트 7일 발수력 측정결과

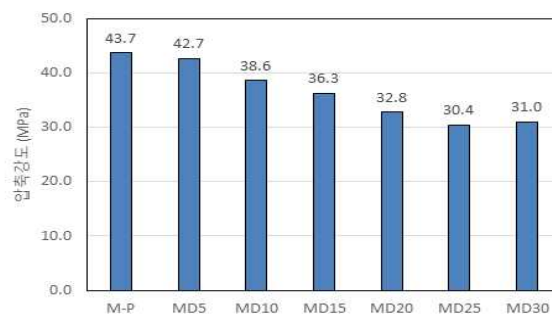
	연마 전		연마 후	
	낙하 전	낙하 후	낙하 전	낙하 후
P-P				
PD5				
PD10				
PD15				
PD20				
PD25				
PD30				

[표] 페이스트 28일 발수력 측정결과

	연마 전		연마 후	
	낙하 전	낙하 후	낙하 전	낙하 후
P-P				
PD5				
PD10				
PD15				
PD20				
PD25				
PD30				

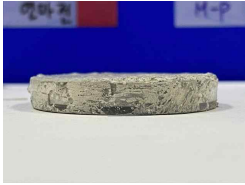
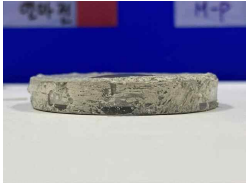
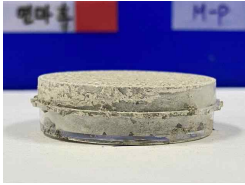
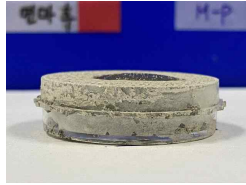
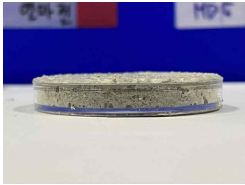
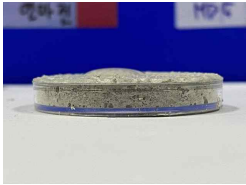
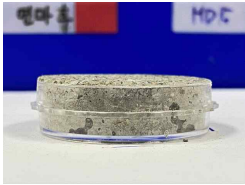
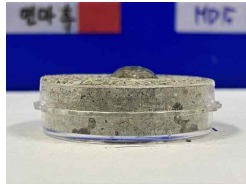
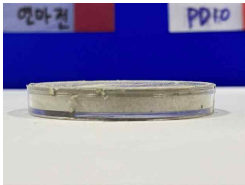
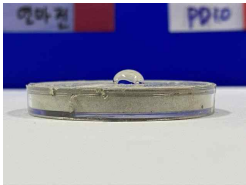
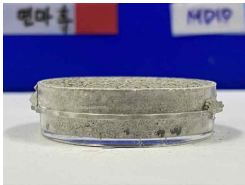
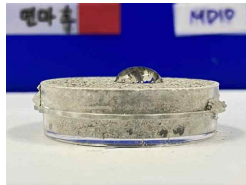
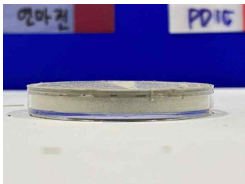
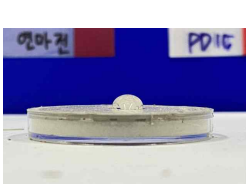
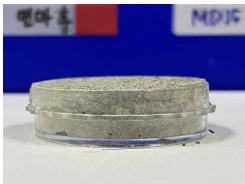
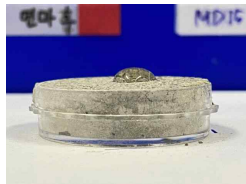
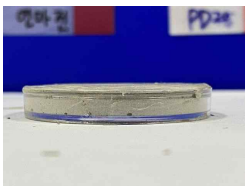
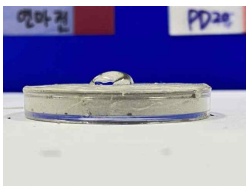
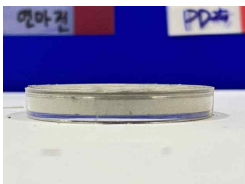
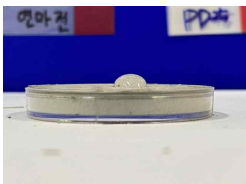
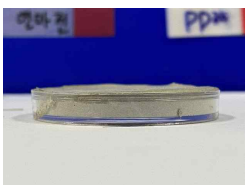
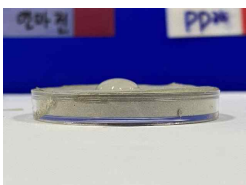
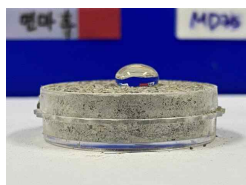
[표] 모르타르 압축강도 측정결과

	제작시험체(MPa)			Average(Mpa)
	1	2	3	
M-P	46.6	42.8	41.7	43.7
MD5	41.9	43.3	42.9	42.7
MD10	38.8	40.2	36.9	38.6
MD15	34.3	37.5	37.1	36.3
MD20	33.5	31.9	32.9	32.8
MD25	33.2	28.6	29.5	30.4
MD30	33.9	25.6	33.5	31.0

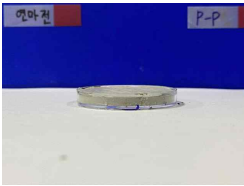
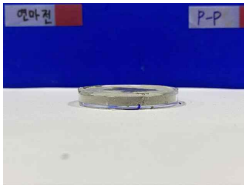
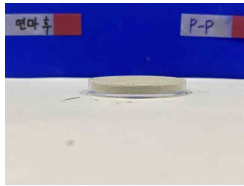
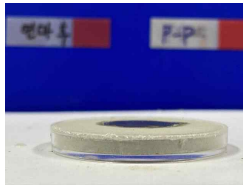
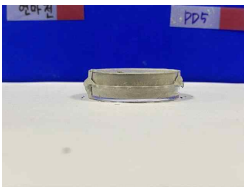
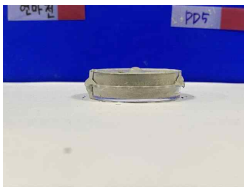
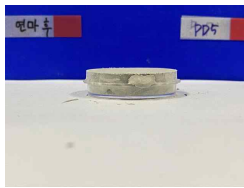
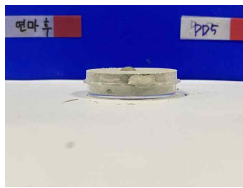
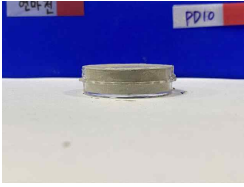
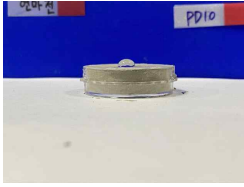
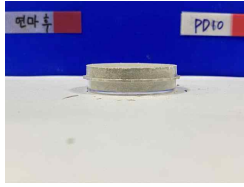
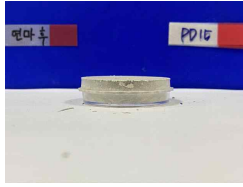
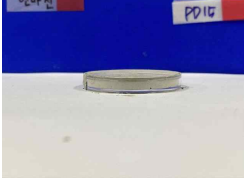
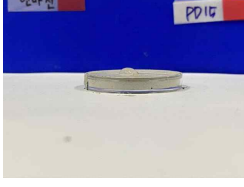
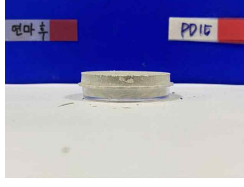
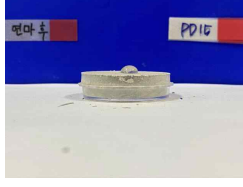
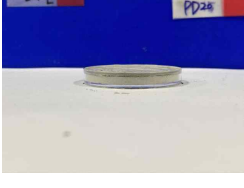
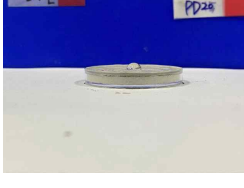
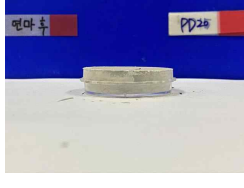
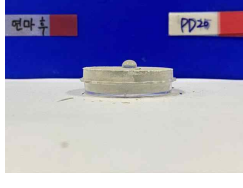
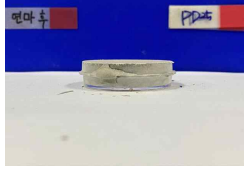
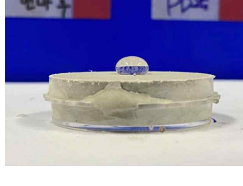
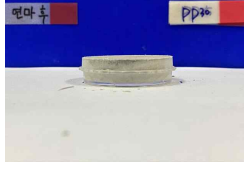
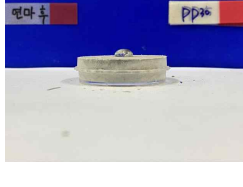


[그림] 28일 압축강도 시험결과

[표] 모르타르 7일 발수력 측정결과

	연마 전		연마 후	
	낙하 전	낙하 후	낙하 전	낙하 후
M-P				
MD5				
MD10				
MD15				
MD20				
MD25				
MD30				

[표] 모르타르 28일 발수력 측정결과

	연마 전		연마 후	
	낙하 전	낙하 후	낙하 전	낙하 후
P-P				
PD5				
PD10				
PD15				
PD20				
PD25				
PD30				

④ CoSHP-50개질 플라이애시를 첨가한 시멘트 모르타르 물성실험

○ 실험계획

- 기초실험을 통하여 E발수제 첨가 시 감소되는 모르타르의 강도를 개선하기 위하여 발수제를 개질한 후 모르타르에 첨가하여 시험체를 제작하고자 함. 발수제는 플라이애시(FA) 및 바텀애시(BA)에 발수제를 0, 5, 10% 첨가하여 혼합한 뒤 건조하여 제조함. 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 제조는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 C:S는 1:3, W/C는 0.45를 Plain으로 하였음. 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르는 발수제 종류 FA계 3수준, BA계 3수준을 시멘트에 각각 10%를 첨가하여 제조함.

[표] 발수제 개질 실험계획

발수제 종류	개질재료	발수제/개질재료
CoSHP-50	FA	0
	BA	0.05
		0.1

[표] 개질발수제 배합

개질발수제	개질발수제 (g)		
	발수제	개질재료	
		FA	BA
FA	0	100	-
E-FA5	5	100	-
E-FA10	10	100	-
BA	0	-	100
E-BA5	5	-	100
E-BA10	10	-	100

[표] 모르타르 실험계획

Type of binder	Mix design	발수제 종류	발수제 첨가량 (%)	측정항목
Ordinary portland cement	· C:S = 1:3 · W/B = 0.45	FA E-FA5 E-FA10 BA E-BA5 E-BA10	0 10	발수력 압축강도

[표] 모르타르 배합

시편명	C	S	W	발수제					
				FA	E-FA5	E-FA10	BA	E-BA5	E-BA10
Plain	450	1350	202.5	-			-		
MF1	450	1350	202.5	45			-		
MFE1	450	1350	202.5		45		-		
MFE2	450	1350	202.5			45	-		
MB1	450	1350	202.5	-			45		
MBE1	450	1350	202.5	-				45	
MBE2	450	1350	202.5	-					45

○ 사용재료

[시멘트]

- 본 연구에서 사용한 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트이며 물리·화학적 특성을 아래 표에 나타내었음. 본 연구에서 사용한 보통 포틀랜드 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였음.

[표] 시멘트의 물리화학적 특성

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss	Chemical composition (%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC1)	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

[발수제]

- 발수제는 선행연구에서 사용한 발수제를 사용하였음.

[개질재료]

[표] Physical properties and chemical composition of binder

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss	Chemical composition (%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
FA	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

[골재]

- 본 연구에서 사용한 골재는 KS L ISO 679의 표준사를 사용하였음.

○ 실험방법

[발수제 개질 및 모르타르 배합]

- 발수제의 개질은 개질재료인 FA, BA를 모르타르 믹서에 넣고 혼합하면서 발수제 5% 및 10% 분무하였음. 이후 혼합된 개질 발수제를 50℃의 건조기에서 24시간 건조함. 모르타르 배합은 모르타르 믹서를 사용하여 시멘트와 표준사 및 건조된 개질발수제를 첨가하여 건비빔 한 후 물을 첨가하여 약 5분간 혼합하였음. 제조된 시편은 온도 20±2℃, 상대습도 50%의 항온항습기에서 재령일까지 양생함.

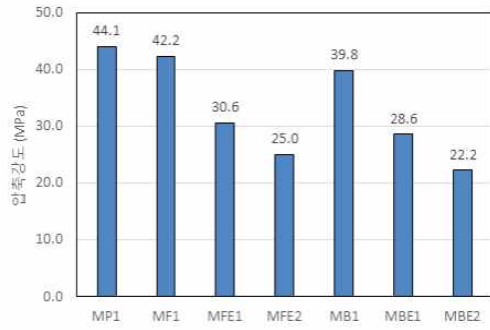
[발수력 테스트]

- 발수력 측정을 위한 시편은 Ø 3.5 × 0.5 cm 샬레에 모르타르를 타설하여 제작함. 발수력 측정은 3ml 스포이드로 시편 위에 물방울을 떨어뜨려 발수력을 확인한 후 접촉각을 측정하였음. 시험체는 연마 전과 후를 측정하였으며, 연마전의 시험체는 제작된 시편을 그대로 사용하고, 연마 후의 시편은 #60의 사포로 표면을 연마 한 후 사용하였음. 발수력은 7일, 28일에 측정함.

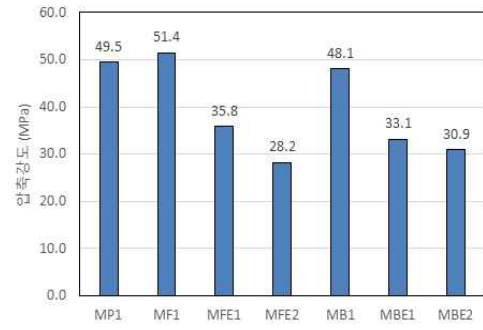
[압축강도]

- 압축강도 측정을 위한 시편은 5×5×5cm의 정방형 몰드에 모르타르를 타설하여 제작함. 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르는 7일, 28일이 경과한 후에 압축강도 시험방법에 따라 압축강도를 측정하였음.

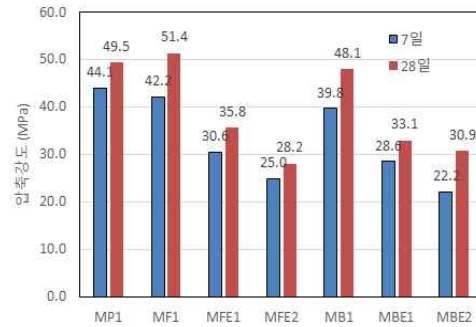
○ 실험결과 및 분석



7d



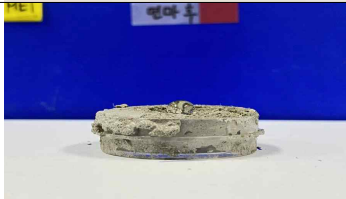
28d



7d 및 28d

[그림] 압축강도 측정결과

[표] 28일 발수력 측정결과

	연마전	연마후
Plain		
ME		
MF		
MFE5		
MFE10		

⑤ 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르 물성실험

○ 실험계획

- 시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하고자 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르 제조를 위한 실험계획을 [표]에 나타내었음. 결합재로는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로는 표준사를 사용하였으며 C:S는 1:3, W/C는 0.45로 설정하였음. 또한 실란/실록산계 혼합형 발수제의 사용량은 시멘트 중량에 대해 0%, 0.5%, 1.5%, 3%가 되도록 혼합수에 첨가하여 시멘트 모르타르를 혼합하였음. 평가항목으로 시멘트 모르타르의 초기 수화성능 및 유동성능을 확인하기 위하여 응결시간과 플로우를 측정하였고, 재령별 압축강도와 표면연마 전후의 물접촉각 및 흡수율을 측정하였음.

[표] 실험 계획

Type of binder	Addition rate of water repellent to cement(%)	Mix design	Test items
OPC	0 (M-P) 0.5 (MD5) 1.5 (MD15) 3 (MD30)	C:S = 1:3 W/B = 0.45	Compressive strength Sandpaper abrasion contact angle (before and after) Water absorption rate

○ 사용재료

[시멘트(OPC)]

- 본 연구에서 사용한 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트로서 물리·화학적 특성을 아래의 표에 나타내었음. 시멘트는 비표면적 3,144 cm²/g, 밀도 3.15 g/cm³, 강열감량 1.32이며, 화학 성실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 응결시간은 KS L 5103 길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법에 준하여 시험하였음.

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss	Chemical composition (%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

[발수제]

- 본 연구에서 모르타르 혼입용으로 사용한 실란/실록산계 혼합형 발수제의 물리·화학적 특성을 아래의 표에 나타내었음. 발수제의 활성성분은 40wt%이고, 주요한 활성성분은 n-octyltriethoxysilane과 methoxy-terminated aminosilanesquioxane으로 구성되어 있으며, 비중은 1.01, pH는 6~8임.

[표] 발수제의 물리·화학적 특성

Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
water repellent	40	1.01	6 ~ 8

- 잔골재 : 본 연구에서 사용한 골재는 KS L ISO 679의 표준사를 사용하였음.

○ 실험방법

[모르타르 배합 및 양생]

- 모르타르의 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 먼저 혼합수와 실란/실록산계 발수제를 혼합한 뒤 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 의거하여 모르타르를 제조하였음. 제조된 시멘트

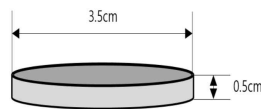
모르타르는 시편제작용 몰드에 타설하여 측정시까지 온도 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 50%에서 양생하였음.

[압축강도]

- 압축강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 3일, 7일 및 28일에 측정하였으며 평균 압축강도의 값으로 하였고, 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법 준하여 측정하였음.

[물접촉각]

- 물 접촉각의 측정을 위한 시편은 $\varnothing 3.5 \times 0.5 \text{ cm}$ 살레에 모르타르를 타설하여 아래 그림과 같이 제작하고 28일동안 양생하였음. 양생한 후 시편은 입도 100의 사포위에 2kg이하의 추를 올린 후 수평 방향으로 10cm, 수직방향으로 10cm 이동하여 표면을 마모하였음. 사포마모 전후 시편을 아래 그림의 피코 표면 접촉각 측정기를 통하여 측정하였음. 접촉각 시험은 KS L 2110 기판유리 표면의 젖음성 시험방법에 의거하여 측정하였고, 또한 스포이드로 시험체 표면에 물방울을 떨어뜨려 육안 관찰을 실시하였음.



[그림] 접촉각 측정용 시편

[그림] 접촉각 측정기

[흡수율]

- 흡수율을 평가하기 위한 흡수율 시험체는 $5\times 5\times 5\text{cm}$ 의 정방형 몰드에 모르타르를 타설하여 제작하였고, 3개의 시험체를 28일 양생 후 건조하고 시편의 측면을 에폭시로 실링 처리하였음. 제조된 시험체를 약 20°C 의 물에 2~10mm 정도의 깊이로 담근 후 24시간에 물 흡수량을 측정하였음. 흡수율은 KS L 2476에 준하여 계산하였으며 (식)을 아래에 나타내었음.

$$W_a = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (\text{식})$$

여기에서, W_a : 흡수율 (%)

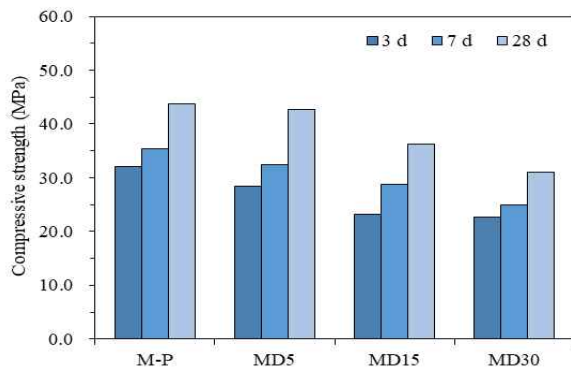
W_0 : 건조 후의 질량 (g)

W_1 : 흡수 후의 질량 (g)

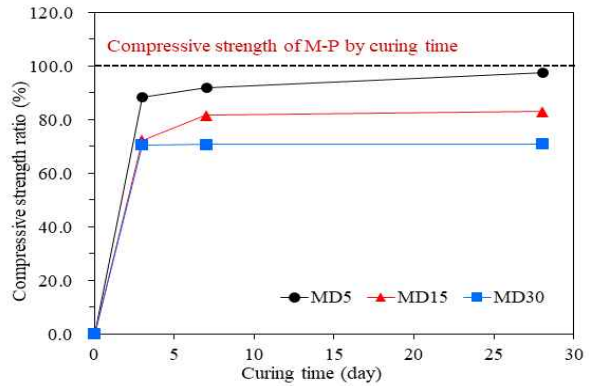
○ 실험결과 및 분석

[압축강도]

- 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 압축강도 측정결과를 나타내었으며, M-P에 대한 압축강도비를 나타내었음. 압축강도 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 압축강도는 감소하며, 첨가율이 높아질수록 감소하는 경향을 나타냈음. 시멘트 모르타르의 28일 압축강도는 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 M-P가 43.7MPa를 나타냈음. 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 42.7MPa로서 M-P의 97.7%를 나타냈음. MD15의 경우 36.3MPa로서 M-P의 83.0%, MD30의 경우 31.0MPa로서 M-P의 70.9%로 실란/실록산계 발수제를 3.0% 첨가한 경우 압축강도는 최대 약 30%까지 감소하는 것으로 나타났음. 이러한 압축강도의 감소는 발수제의 물을 튕겨내는 특성으로 인하여 수화를 지연 및 방해하여 압축강도가 저하된다고 보고하고 있음. 또한 액상의 발수제의 첨가는 단위수량을 증가시켜 압축강도 증가에 영향을 끼친 것으로 판단됨.



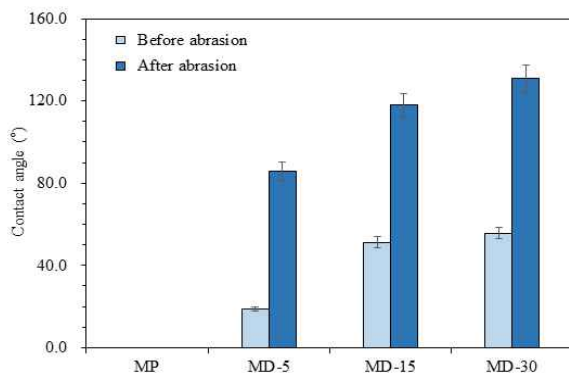
[그림] 압축 강도



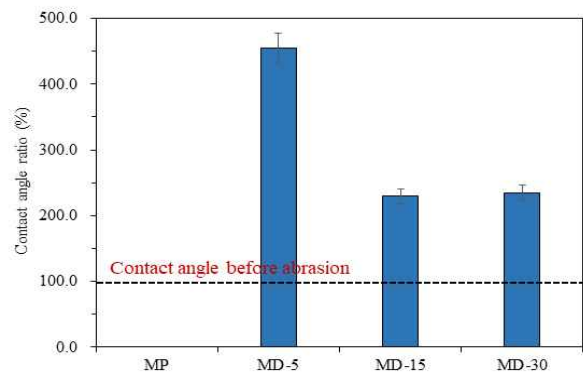
[그림] 압축 강도 비

[접촉각]

- 접촉각 측정결과를 나타내었으며 표면연마 전에 대한 연마 후의 접촉각에 대한 비율을 나타내었음. 또한 접촉각 측정사진을 아래의 표에 나타내었음. 접촉각 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우친수성이 개선되며 소수성을 나타내 접촉각이 커지는 것으로 나타났음. 또한 발수제 첨가량이 증가할수록 접촉각이 커지는 것으로 나타났음. 또한 표면연마 후 접촉각은 연마 전 보다 커지는 것으로 나타났음. 표면연마 전 접촉각은 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 M-P의 경우 물방울을 떨어뜨림과 동시에 표면에서 물이 흡수되어 접촉각 측정이 불가능하였음. 표면연마 전 접촉각은 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 18.9°, 1.5%를 첨가한 MD15의 경우 51.3°, 3.0%를 첨가한 MD30의 경우 55.7°를 나타내었음. 표면연마 전 접촉각은 발수제를 첨가할수록 커졌으나 모두 소수성 접촉각 기준으로 정의되는 90°이상을 나타내지 못하고 모두 친수성을 나타냈음. 표면연마 후 접촉각은 실란/실록산계 발수제를 0.5 % 첨가한 MD5의 경우 85.9°로서 연마 전과 비교하여 약 455% 높아졌으며, 발수제를 1.5% 첨가한 MD15의 경우 117.9°로서 연마 전과 비교하여 230%, 발수제를 3.0%첨가한 MD30의 경우 130.8°로서 연마 전과 비교하여 234% 높아졌음. 실란/실록산계 발수제를 1.5%, 3.0% 첨가한 시멘트 모르타르는 접촉각 90 °이상으로 모두 소수성을 나타냈음. 이와 같이 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 표면에서도 약간의 소수성을 나타내며 표면연마로 인한 손상된 표면과 단면에서도 소수성을 나타내었음. 본 실험에서는 MD30의 경우 가장 큰 접촉각을 나타냈지만 초소수성의 기준각도인 150°이상을 나타내지는 못하여 물방울이 떨어졌을 때 물방울이 공극(cavity)을 채워 표면 위에 떠 있는 상태(Cassie-Baxter state)와 같은 연잎의 로터스 효과(lotus effects)는 나타나지 않았음. 향후 더 높은 소수성을 나타내기 위하여 혼합형 발수제의 성능을 개량하고, 표면과 물방울 사이에 공극을 형성하여 물방울이 공극을 채우지 않고 떠있는 상태를 유지하기 위한 표면 거칠기를 조절할 필요가 있을 것으로 판단됨.

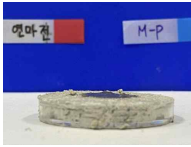
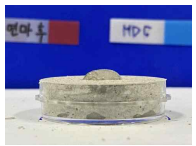
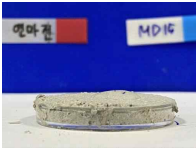
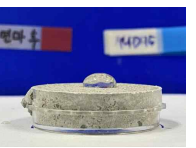
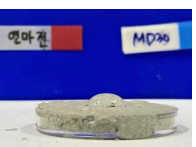
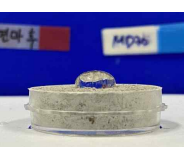


[그림]접촉각



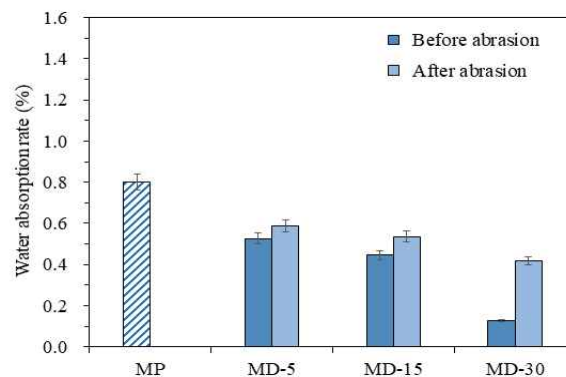
[그림] 접촉각 비

[표] 접촉각 사진

Type of mortar	Contact angle (°)	
	Before abrasion	After abrasion
M-P		
MD5	 	 
MD15	 	 
MD30	 	 

[흡수율]

- 흡수율은 소수성을 평가하기 위한 중요한 지표임. 흡수율 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 발수제의 첨가량이 증가할수록 흡수율이 낮아지는 것으로 나타났음. 또한 표면 연마 후 흡수율은 연마 전 보다 높아지는 것으로 나타났음.
- 흡수율 측정결과 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 M-P가 0.8%를 나타냈음. 표면연마 전 흡수율은 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 0.53%를 나타냈음. MD15의 경우 0.45%, MD30의 경우 0.13%로 감소하는 것으로 나타났음.
- 흡수율이 낮은 경우 시멘트 매트릭스가 밀실하여 많은 기공을 가진 시멘트 복합체보다 높은 강도를 나타냄. 또한 공극의 증가는 모르타르의 압축강도를 감소시킴. 그러나 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 경우 첨가량이 증가할수록 강도는 감소하고 흡수율도 감소하는 것으로 나타났음.



[그림] 흡수율

○ 결론

- 초소수성 에멀전 혼입 시멘트 복합체를 제조하기 위하여 ① 초소수성 에멀전 5종 시멘트 페이스트 발수실험, ② 초소수성 에멀전 5종 시멘트 모르타르 물성실험, ③ CoSHP-40첨가 페이스트 및 모르타르 물성실험, ④ CoSHP-50개질 플라이애시를 첨가한 시멘트 모르타르 물성실험, ⑤ 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르 물성실험을 진행하였음
- 압축강도 측정결과 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며 최대 첨가량 3.0%일 경우 압축강도는 최대 30%까지 감소하는 것으로 나타났음. 이는 발수제가 시멘트의 수화를 지연 및 방해하여 압축강도가 저하된 것으로 판단됨.
- 접착각 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 친수성이 개선되며 소수성을 나타내 접착각이 커지는 것으로 나타났음. 또한 표면연마 후 접착각은 표면연마 전보다 커지는 것으로 나타났음. 실란/실록산계 혼합형 발수제의 첨가는 표면뿐만 아니라 표면연마로 인한 손상된 표면과 단면에서도 소수성을 나타내었음.
- 흡수율 측정결과 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 흡수율은 낮아져 1% 미만을 나타내었음. 또한 사포 연마 후 흡수율은 사포 연마 전보다 커지는 것으로 나타났음. 소수성을 나타내는 모르타르는 수분의 침투와 다공성과는 관계가 없을 것으로 판단

4) 아이스포빅 도로포장체 제조기술

(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

- binder는 보통 포틀랜드 시멘트(C)와 초속경 시멘트(R)를 사용하였고, 모래는 규사 5호사를 사용하였음. 배합비는 기존 보고된 논문을 참고하여 B:S:W:R = 40:40:15:5로 하였음.
- 배합에서 발수제를 첨가할 때 발수제의 고형분량 50%를 고려하여 물양을 조절하였음. 발수제를 첨가하지 않은 배합은 전체 배합에서 발수제를 제외하였음. 또한 초속경 시멘트를 사용한 경우 작업시간을 확보하기 위해 0.5%의 지연제(성분명)를 첨가하였음.

[표] 실험계획

Type of binder	Water repellent	Mixed design	test items
Ordinary Portland Cement(C) Rapid hardening cement(R)	Oligomer(O) Monomer(M)	B:S:W:R = 40:40:15:5	compressive strenght XRD TG-DTG Water contact angle (before and after abrasion) water absorption FT-IR Length change

② 사용재료

- 본 연구에서 사용한 시멘트는 두 종류로 보통 포틀랜드 시멘트(C) 및 초속경 시멘트(R)를 사용하였으며, 이의 물리·화학적 특성을 아래 표에 나타내었음.
- 모래는 규사 5호사를 사용하였으며, 14~20 mesh로 직경은 1.2~0.8 mm임. 모르타르 혼입용으로 사용한 발수제는 실란 및 실록산계 발수제이며, 발수제의 물리·화학적 특성을 아래 표에 나타내었음.
- 발수제는 실록산계(올리고머), 실란계(모노머) 발수제를 사용하였으며, 이의 물리·화학적 특성을 아래 표에 나타내었음.

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type	Blaine (cm ² /g)	Setting time		Density (g/cm ³)	Chemical composition(%)						
		Initial (min)	Final (hour)		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. loss
Ordinary portland cement*	3,300	200	5.5	3.15	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	2.4
Rapid hardening cement**	5741	25	0.67	2.91	13	19	3	48	25	11	2

* C : Ordinary portland cement

** R : rapid harding cement

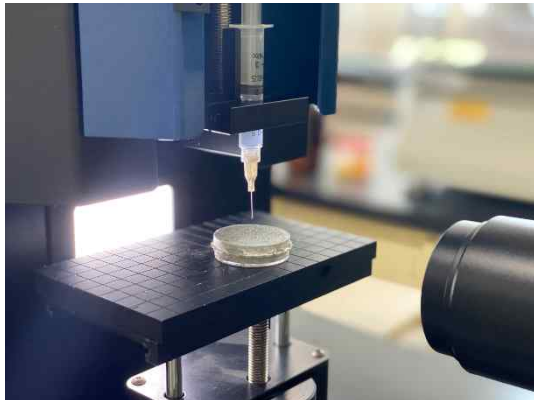
[표] 발수제의 물리적 특성 및 화학적 구성

Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
Oligomer	60 이상	1.01	6 ~ 8
Monomer	40 이상	1.01	6 ~ 8

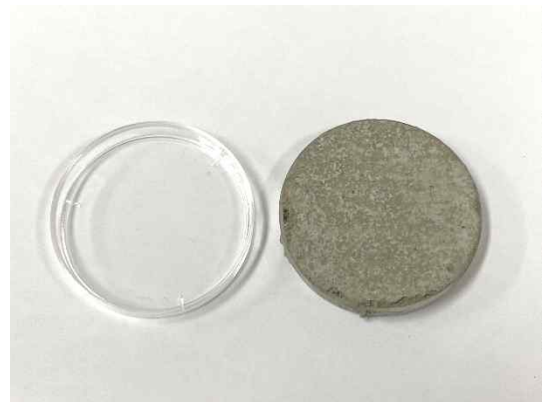
③ 실험방법

- 모르타르의 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 혼합물의 제조는 모르타르 믹서에서 바인더와 모래를 건비빔 한 후 물에 발수제를 첨가하여 혼합한 뒤 믹서에 투입하는 순서로 하였음. 모르타르는 KS L ISO 679 Methods of testing cements - Determination of strength에 따라 제조되었음.
- 압축강도 값은 배합별로 3개의 시험체에 동일한 조건을 적용하여 측정하였고, 측정된 3개 시험체 값의 평균 값으로 산출하였음. 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 시험체는 3일, 7일 및 28일, 초속경 시멘

- 트를 사용한 시험체는 3시간, 1일, 7일 28일에 측정되었음. 압축강도는 KS L ISO 679 Methods of testing cements – Determination of strength에 따라 시험되었음.
- 수화물을 검사하기 위해 크기가 10mm 이하, 생후 28일 이내인 시료를 채취해 아닐드루 에틸알코올에 1일 담가 수분을 중단시켰음. 이 샘플들은 40°C에서 3일 동안 오븐에 건조하였음. 건조된 샘플은 XRD 분석을 위해 200 메시 체를 통과하여 분쇄되었음(일본, SmartLab, Rigaku). XRD 분석은 45 kV와 200 mA에서 CuKα 파장과 $2\theta = 5\sim 75^\circ$ 범위에서 $4^\circ/\text{min}$ 에서 수행되었음. 열중력-차동 열분석(TG-DTG)은 약 20-800 °C의 온도와 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 가열률에서 실시되었음.
 - 물 접촉각의 측정을 위한 시편은 $\varnothing 3.5 \times 0.5$ cm 살레에 모르타르를 타설하고 온도 $20\pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 50%에서 28일 동안 양생하였음. 양생한 후 시편은 입도 100의 사포로 표면을 2mm 마모하였음. 사포마모 전후 시편을 ‘피코 표면 접촉각 측정기’를 통하여 측정하였음. 접촉각 시험은 KS L 2110 기관유리 표면의 젖음성 시험방법에 의거하여 측정하였음.
 - 길이변화율을 측정하기 위한 시험체는 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ 몰드에 시멘트 모르타르를 타설하고 24시간 동안 온도 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 에서 경화시킨 후 1일 후 탈형하고 지정된 재령까지 온도 $20\pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 50%에서 양생하였으며, 양생기간 중 1일, 2일, 3일, 4일, 5일, 7일, 14일, 21일, 28일 재령에 따라 3개의 공시체에 대해 다이얼 게이지를 사용하여 길이변화를 측정하였으며, 평균값으로 길이변화율을 산출하였음 KS F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험방법에 의거하여 측정하였음.
 - 흡수율 시험체는 제조된 모르타르를 28일간 양생 후 입방체 샘플($5 \times 5 \times 5\text{cm}$) 3개에 대해 수행되었음. 샘플을 물에 2~10mm의 정도의 깊이로 담근 후 물에 담그기 전과 물에 담근 후 24시간의 질량을 측정하였음.
 - 각 배합의 28일 재령 샘플에 대해 FTIR 스펙트럼을 얻었음. 스펙트럼은 $4000 \sim 400\text{cm}^{-1}$ 범위에서 4cm^{-1} 의 해상도에서 각 측정에 대해 평균 64 회 스캔을 얻었음.



[그림] 접촉각 측정기



[그림] 접촉각 측정용 시편



[그림] 길이변화 측정기

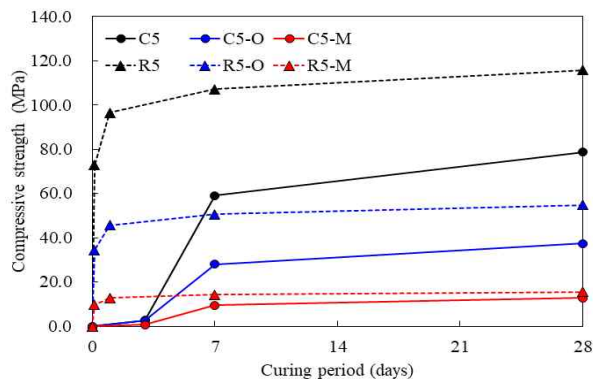


[그림] 길이변화 측정용 시편

(2) 실험결과 및 분석

① 압축강도

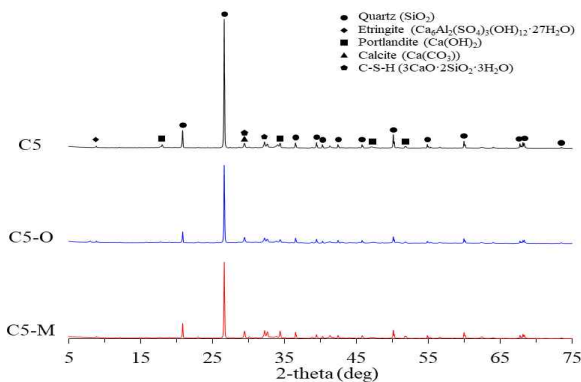
- OPC 모르타르의 28일 압축강도는 C5의 경우 78.7MPa이며, C5-O는 37.4MPa, C5-M는 12.8MPa를 나타내고 있음. OPC 모르타르에 발수제를 첨가할 경우 압축강도는 감소하며 올리고머 발수제의 첨가한 모르타르는 첨가하지 않은 모르타르의 약 47%, 모노머 발수제를 첨가한 모르타르는 약 16%를 나타내었으며 올리고머 발수제보다 모노머 발수제가 모르타르의 강도를 더 감소시켰음.
- 초속경 시멘트 모르타르의 28일 압축강도는 R5의 경우 115.8MPa이며, R5-O는 54.8MPa, R5-M는 15.5MPa를 나타내고 있음. 초속경 시멘트 모르타르에 발수제를 첨가할 경우 OPC 모르타르와 마찬가지로 압축강도는 감소하며, 올리고머 발수제를 첨가한 모르타르는 첨가하지 않은 모르타르의 약 47%, 모노머 발수제를 첨가한 모르타르는 약 13%를 나타내었으며, 올리고머 발수제보다 모노머 발수제가 모르타르의 강도를 더 감소시켰음.
- 초속경 시멘트 모르타르에 올리고머 발수제를 첨가한 경우 OPC 모르타르와 비교하여 강도를 빠르게 발현할 수 있으며, OPC 모르타르 사용 시 보다 높은 강도를 유지할 수 있음.



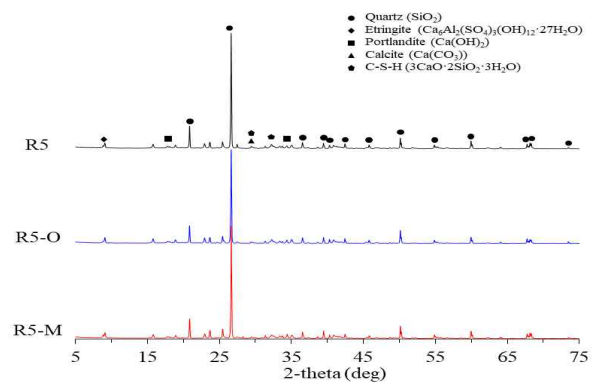
[그림] Compressive strength

② XRD

- 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 28일 재령의 XRD 결과에서 portlandite 및 ettringite와 같은 Typical hydration products와 모래로 인한 Quartz가 확인되었음. XRD 결과는 시멘트 종류와 상관없이 발수제 첨가에 따른 새로운 반응 생성물은 형성되지 않았음
- 아래 그림의 (a)에서 OPC 모르타르의 경우 발수제를 첨가하지 않은 C5는 2theta 18°에서 Ca(OH)_2 의 피크가 나타나고 있음. 기존 논문에서 Portlandite는 시멘트 수화 과정에서 알칼리 기공 용액 농도를 유지하는 데 도움을 주기 때문에 C-S-H 겔 형성을 향상시킨다고 보고하고 있음. 그러나 발수제를 첨가한 C5-O 및 C5-M의 경우 Ca(OH)_2 의 피크가 나타나지 않으며 이로 인하여 C5와 비교하여 압축강도의 발현이 낮은 것으로 판단됨
- 초속경 시멘트 모르타르의 경우 R5, R5-O 및 R5-M의 모든 배합에서 강도를 발현하는 Ca(OH)_2 의 피크가 나타나고 있음. 또한 초속경 시멘트를 사용한 경우 2theta = 9°에서 에트링가이트를 확인



(a) C

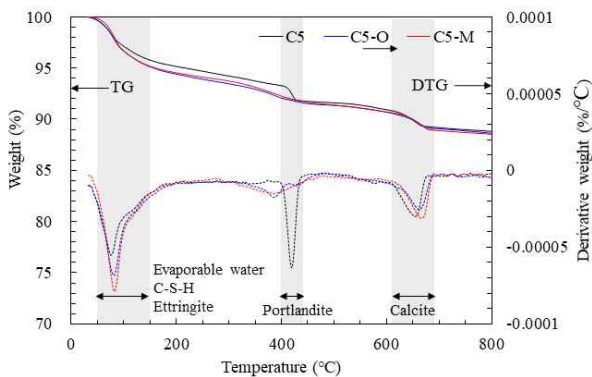


(b) R

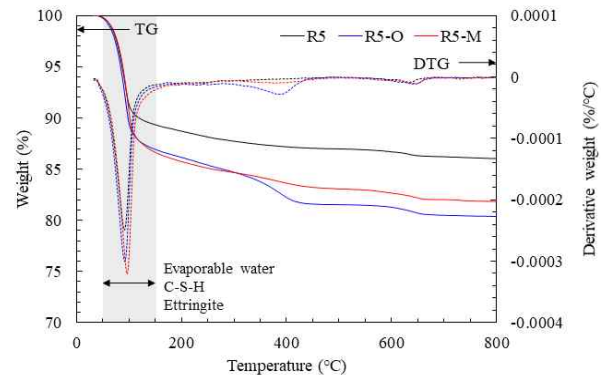
[그림] XRD

③ TG-DTG

- 아래의 그림 (a)는 OPC 모르타르의 TG-DTG 결과에서는 50 ~ 150℃구간에서 evaporable water가 증발되고 에트링가이트, C-S-H의 일부의 분해로 인하여 질량이 감소되고 있음. 이 구간에서는 C5보다는 C5-O 및 C5-M가 더 많은 질량감소가 나타나고 있음. 이러한 50 ~ 150℃ 구간의 C5-O 및 C5-M의 질량감소는 수화생성물 보다는 시험체의 미반응 수분에 의한 것으로 판단됨.
- 또한 400~450℃ 구간에서는 C5의 경우 포틀랜드이트의 분해를 DTG curves로서 정확하게 판독할 수 있으며, temperatures at the dehydroxylation reaction으로 인한 질량손실이 뚜렷하게 나타나고 있음. C5는 400~450℃ 구간에서 약 1.5%의 질량손실을 보이고 있음. 반면에 C5-O 및 C5-M의 경우 뚜렷한 질량손실을 보이고 있지 않으며, C5-O는 0.5%, C5-M는 0.6%의 질량손실만 나타났음.
- 이는 XRD 결과와 마찬가지로 OPC 시멘트 모르타르에 발수제를 첨가함으로써 portlandite가 거의 형성되지 않았음을 확인할 수 있음. 또한 600℃에서 700℃구간에서 모든 시험체에서 칼사이트에 의한 질량손실을 나타내고 있음. 최종 가열온도인 800℃에서 전체적인 질량감소는 같으나 발수제를 첨가하지 않은 OPC 모르타르는 400~450℃구간의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 감소이며 발수제를 첨가한 모르타르의 경우 100~150℃ 구간의 증발수의 감소임을 확인할 수 있음.
- 아래 그림 (b) 초속경시멘트 모르타르의 tg-dtg 결과에서는 50 ~ 150℃구간에서 OPC 모르타르와 마찬가지로 모든 시험체가 질량손실이 나타나고 있으나 OPC 모르타르와 비교하여 질량 감소량이 크고 dtg curves도 매우 강하게 나타나고 있음. 이는 초속경 시멘트 모르타르의 XRD 결과에서 나타난 에트링가이트 감소에 의한 것으로 판단됨.
- 또한 50 ~ 150℃구간에서 R5-O 및 R5-M의 경우 R5보다 질량감소율이 매우 큰 것으로 나타났음. 이는 OPC 모르타르와 마찬가지로 수화생성물보다는 발수제의 첨가로 인하여 많은 수분을 가지고 있기 때문에 더 많은 수분손실로 인한 질량감소라고 판단됨.



(a) C

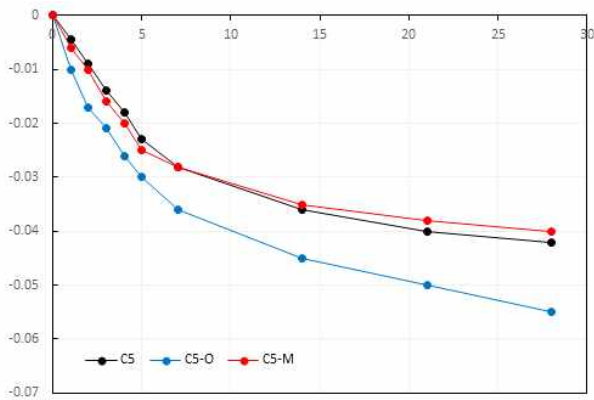


(b) R

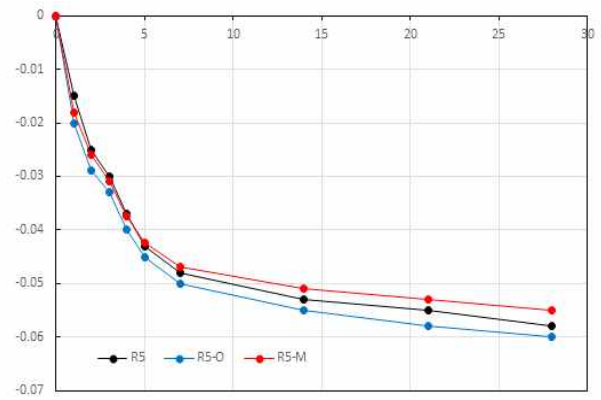
[그림] TG-DTG

④ 길이변화율

- 길이변화율 측정결과 OPC 모르타르 및 초속경 모르타르의 길이변화율은 7일까지 급격하게 변화한 이후에 완만하게 나타나는 경향을 보이고 있고, 특히 OPC 모르타르의 길이변화율이 초속경 시멘트 모르타르의 길이변화율에 비해 작게 나타나고 있어 치수안정성이 양호한 것으로 판단됨
- 모노머 발수제를 첨가한 OPC 모르타르의 경우 재령 28일까지 지속적으로 길이변화율이 급격하게 변화하고 있음을 나타내고 있어, 치수안정성이 저하되는 것으로 보이고, 초속경 모르타르의 경우 OPC 모르타르와 비교하여 큰 차이를 보이지 않고 있음
- 올리고머 발수제를 첨가한 경우 재령에 따른 전반적인 길이변화율의 경향은 OPC 모르타르 및 초속경 모르타르와 마찬가지로 7일까지 길이변화율이 급격히 변화하고 이후 완만하게 나타나고 있음. 특히 7일 이후에 올리고머 발수제를 첨가한 모르타르가 OPC 및 초속경 모르타르보다 안정적으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 OPC 및 초속경 모르타르에 올리고머 발수제를 첨가하게 되면 수축으로 인한 물리적 성능 저하 또는 모르타르의 크랙발생에 큰 영향이 낮을 것으로 보여짐



(a) C

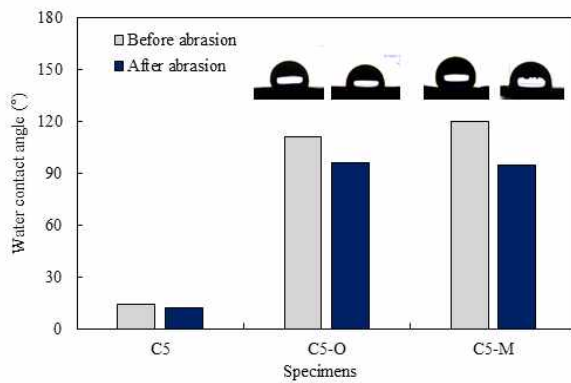


(b) R

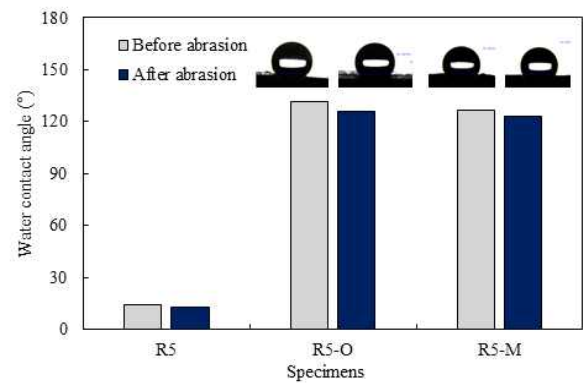
[그림] 길이변화를

⑤ 접촉각

- 아래 그림의 (a)에서 C5는 표면에서 물방울이 흡수되어 측정 불가하였으며, C5-O는 111° , C5-M은 120° 을 나타내었음.
- 표면을 연마할 경우 C5-O는 96° , C5-M은 94° 로 연마를 하게되면 접촉각이 낮아져 90° 정도의 접촉각을 나타내었음.
- 아래 그림의 (b)에서 R5는 표면에서 물방울이 흡수되어 측정 불가하였으며, R5-O는 132° , R5-M은 126° 을 나타내었음. 표면을 abrasion할 경우 R5-O는 126° , R5-M은 123° 로 연마를 할 경우 접촉각이 낮아졌으나, 낮아진 정도는 5%미만으로 낮았음.
- 발수제를 첨가한 초속경 시멘트 모르타르는 OPC 모르타르와 비교하여 큰 물 접촉각을 보였으며, 시험체를 연마하여도 초속경 시멘트 모르타르는 접촉각을 유지하여 내부에서도 친수성을 개선하며 발수성을 나타내었음.



(a) C

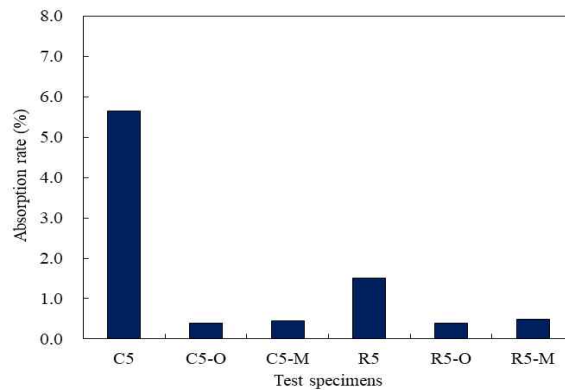


(b) R

[그림] Water contact angle

⑥ 흡수율

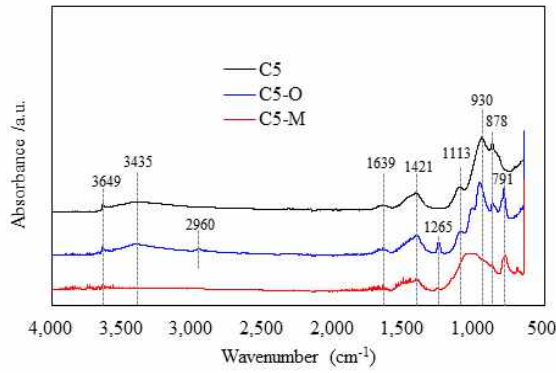
- 수분 흡수율은 발수제를 첨가하지 않은 OPC 모르타르인 C5가 5.65%, 초속경 시멘트 모르타르인 R5가 1.51%를 나타내고 있음. 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르는 시멘트 종류와 관계없이 모두 1% 미만을 나타내고 있음.
- 혼합된 모르타르의 모세관 수분흡수는 혼합물의 조성뿐만 아니라 모르타르 매트릭스 내부의 분포에 따라 달라질 수 있음. 수분 흡수율은 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르가 표면 및 구체에서 나타나는 발수성으로 인하여 수분을 흡수하지 않으며 이는 일반적으로 강도가 낮은 경우 흡수율이 높은 경향과 상반됨.



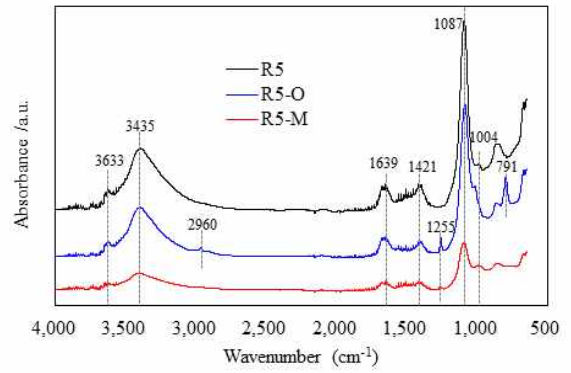
[그림] Water absorption rate

⑦ FT-IR

- 아래의 그림 (a)에서 수화된 OPC모르타르의 FT-IR 피크는 $3,435\text{cm}^{-1}$ 과 3649cm^{-1} 에서 O-H stretching, $1,639\text{cm}^{-1}$ 에서 O-H bending, 1421cm^{-1} 과 878cm^{-1} 에서 C-O stretching, 1121cm^{-1} 에서 S-O stretching, 930cm^{-1} 에서 Si-O stretching를 보이고 있음. 모르타르의 골재에 기인한 Si-O-Si의 피크는 1105cm^{-1} 과 950cm^{-1} 에서 관찰될 수 있지만, Si-O stretching의 피크와 겹쳐 있기 때문에 확인이 어려움.
- OPC모르타르에 올리고머 발수제를 첨가한 C5-O의 경우 2975cm^{-1} 에서 -CH_3 stretching, 1265cm^{-1} , 791cm^{-1} 에서 Si-CH₃ stretching 피크가 보이기 때문에, 실록산 -Si-CH_3 의 존재를 확인할 수 있음.
- OPC 모르타르에 모노머 발수제를 첨가한 C5-M은 1265cm^{-1} , 800cm^{-1} 부근에서 Si-CH₃ stretching 피크가 관찰됨으로써 -Si-CH_3 를 관찰할 수 있음.
- 발수제를 첨가한 C5-O는 발수제를 첨가하지 않은 C5의 경우와 비교하여 $3,435\text{cm}^{-1}$ 과 3649cm^{-1} 에서 낮은 O-H stretching 피크가 나타나고 있음. 반면 C5-M의 경우 O-H stretching 피크가 거의 나타나지 않고 있어 수화생성물이 양이 매우 적은 것으로 판단되며, 이는 XRD 및 TG-DTG에서 포틀랜드이트의 생성이 매우 적은 것과 일치함.
- 아래 그림 (b)에서 수화된 초속경 시멘트 모르타르는 OPC 모르타르와 달리 피크의 강도가 매우 높게 나타났음. 수화된 초속경 시멘트 모르타르의 FT-IR 피크는 $3,435\text{cm}^{-1}$ 과 3633cm^{-1} 에서 O-H stretching, $1,639\text{cm}^{-1}$ 에서 O-H bending, $1430(1,421)\text{cm}^{-1}$ 에서 C-O stretching, $1,113(1087)\text{cm}^{-1}$ 에서 S-O stretching, $1,004\text{cm}^{-1}$ 에서 Si-O stretching를 보이고 있음.
- 골재에 기인한 Si-O-Si의 피크는 1105cm^{-1} 과 950cm^{-1} 에서 관찰될 수 있지만, Si-O stretching의 피크와 겹쳐 있기 때문에 확인이 어려움.
- 초속경 시멘트 모르타르에 올리고머 발수제를 첨가한 R5-O의 경우 $2,960\text{cm}^{-1}$ 에서 -CH_3 stretching, 1255cm^{-1} , 791cm^{-1} 에서 Si-CH₃ stretching 피크가 관찰됨으로써 -Si-CH_3 가 존재하여 실록산의 -Si-CH_3 를 관찰할 수 있음. 그러나 모노머 발수제를 첨가한 R5-M은 Si-CH₃ stretching 피크가 관찰되지 않고 있음.
- 초속경 시멘트 모르타르를 사용한 경우 발수제를 첨가한 R5-O 및 R5-M은 $3,435\text{cm}^{-1}$ 에서 O-H stretching 피크가 나타나고 있으며, 특히 R5-O는 $3,633\text{cm}^{-1}$ 에서도 O-H stretching 피크가 명확하게 나타나고 있음.



(a) C



(b) R

[그림] FT-IR spectra

(3) 결론

- 본 연구에서는 발수제를 초속경 시멘트 모르타르에 혼입하여 짧은 시간에 긴급보수가 가능하고 시간경과 및 마모에 관계없이 발수성능을 유지하는 시멘트 모르타르를 제조하고자 하였음.
- 시멘트 모르타르에 발수제를 첨가할 경우 압축강도는 낮아지나 표면 및 시험체 내부에서도 발수성을 발현하는 것으로 나타났음. 표면 코팅방식보다는 모르타르 제조 시 발수제를 첨가하여 구조체를 제조하는 방식이 수분침투로 인한 내구성 저하를 개선 가능할 것으로 판단됨.
- 본 연구에서는 초속경시멘트에 올리고머 발수제를 첨가하는 배합이 강도 및 발수성 측면에서 우수한 것을 확인하였음. 향후 실란 및 실록산 첨가에 따른 시멘트 모르타르의 기공구조 및 흡수율에 대한 검토와 발수성능을 가지는 초속경 시멘트 모르타르의 경제성에 대한 검토가 필요할 것으로 판단됨.

5) 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면 구조제어기술

(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

- 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 표면 스탬핑 사이즈는 mesh #80, #150, #300으로 표면을 스탬핑하여 표면구조를 제어하였으며 이를 스탬핑하지 않은 플레인과 비교검토 하였음. 잔골재 비율은 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 배합에서 시멘트와 잔골재 비율(Cement:Sand, C:S)을 1:1, 1:2, 1:3으로 설정하였음. 본 연구에서 발수제는 모르타르 첨가용으로 전체중량에 대하여 5%로 하였고, 물시멘트비는 37.5%로 설정

[표] 실험계획

바인더	W/B (%)	C:S	전체배합에 대한 발수제 비율(%)	모래종류	Mesh	측정 항목
초속경	37.5	1:1 1:2 1:3	5	7호사	0 #80 #150 #250	압축강도 물접촉각 표면형상

② 사용재료

- 본 연구에서 사용한 시멘트는 초속경시멘트(R)를 사용하였으며, 이의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타내었음. 초속경시멘트(Union Co., Ltd., Korea)는 비표면적 5741 cm²/g, 밀도 2.91 g/cm³로 setting time은 initial 25min, final 0.67min임. 모래는 S사의 규사 7호사를 사용하였으며, 14~20 mesh로 직경은 1.2~0.8 mm임. Mesh size는 80, 150, 300mesh를 사용하였으며, 모르타르 혼입용으로 사용한 발수제는 실란 및 실록산계 발수제이며, 발수제의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타냄
- 실록산계(올리고머) 발수제의 활성성분은 60wt%이고, 주요한 활성성분은 Poly(dimethylsiloxane), hydroxy terminated으로 구성되어 있으며, 비중은 1.01, pH는 6~8임.

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type	Blaine (cm ² /g)	Setting time		Density (g/cm ³)	Chemical composition(%)						
		Initial (min)	Final (hour)		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. loss
Rapid hardening cement*	5741	25	0.67	2.91	13	19	3	48	25	11	2

* R : rapid harding cement

[표] 발수제의 물리적 특성 및 화학적 구성

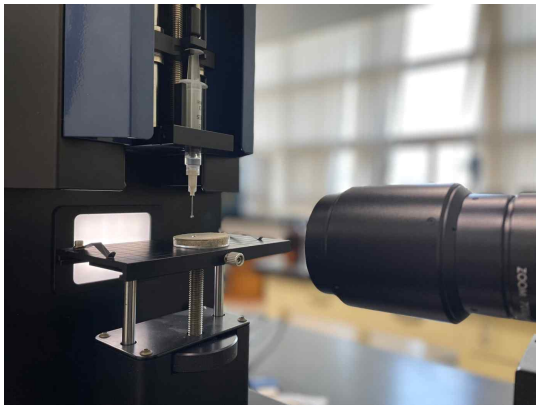
Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
Oligomer*	60 이상	1.01	6 ~ 8

* O : Oligomer

③ 실험방법

- 모르타르의 배합은 강제식 모르타르 므서를 사용하였으며, 혼합물의 제조는 모르타르 므서에서 바인더와 모래를 건비빔 한 후 물에 발수제를 첨가하여 혼합한 뒤 므서에 투입하는 순서로 하였음. 모르타르는 KS L ISO 679 Methods of testing cements – Determination of strength에 따라 제조됨

- 압축강도 측정을 위한 시험체는 40 x 40 x 160mm 몰드에 시멘트 모르타르를 타설하고 24시간 동안 온도 20±2°C에서 경화시킨 후 1일 후 탈형하고 지정된 재령까지 온도 20±2°C, 상대습도 50%에서 양생함
- 압축강도 값은 배합별로 3개의 시험체에 동일한 조건을 적용하여 측정하였고, 측정된 3개 시험체 값의 평균 값으로 산출하였음. 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 시험체는 3일, 7일 및 28일, 초속경 시멘트를 사용한 시험체는 3시간, 1일, 7일 28일에 측정되었음. 압축강도는 KS L ISO 679 Methods of testing cements - Determination of strength에 따라 시험함
- 물 접촉각의 측정을 위한 시편은 Ø 3.5 × 0.5 cm 살레에 모르타르를 타설하고 온도 20±2°C, 상대습도 50%에서 28일 동안 양생하였음. 양생한 후 시편은 입도 100의 사포로 표면을 2mm 마모하였음. 사포마모 전후 시편을 ‘피코 표면 접촉각 측정기’를 통하여 측정하였음. 접촉각 시험은 KS L 2110 기관유리 표면의 젖음성 시험방법에 의거하여 측정함
- 표면 형상 측정을 위한 시편은 Ø 3.5 × 0.5 cm 살레에 모르타르를 타설하고 온도 20±2°C, 상대습도 50%에서 28일 동안 양생하여 측정함



[그림] 접촉각 측정기

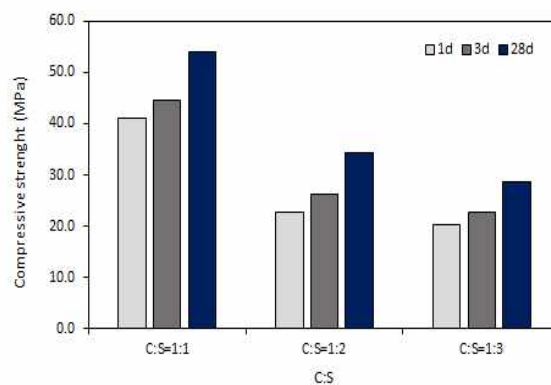


[그림] 접촉각 측정용 시편

(2) 실험결과 및 분석

① 압축강도

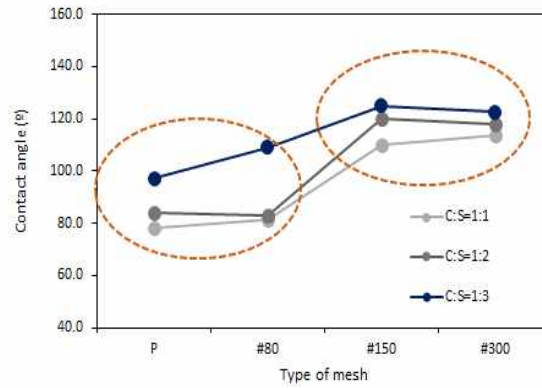
- 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 잔골재 비율별 재령에 따른 압축강도 측정결과를 그림 1에 나타내었음. 압축강도 측정결과 잔골재 비율이 높아지고 시멘트량이 줄어들수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났음. 본 연구에서는 초속경시멘트를 사용하여 모든 배합에서 1일 압축강도 약 20.0MPa이상을 발현하고 있음. 압축강도가 가장 낮은 C:S=1:3의 배합에서도 1일 압축강도는 20.4MPa로서 28일 압축강도 28.6MPa의 71.3%를 발현하고 있음.



[그림] 압축강도 측정결과

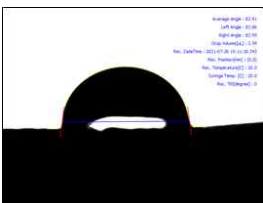
② 접촉각

- 표면구조 제어를 위한 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 잔골재 비율과 스탬핑 사이즈에 따른 접촉각 측정결과를 그림 2에 나타내었음. 접촉각 측정결과 잔골재 비율이 높아질수록 접촉각은 크게 나타났음. 접촉각은 스탬핑에 의해 표면구조를 변화시키면 증가하였고, 스탬핑 사이즈가 작을수록 증가하였음.

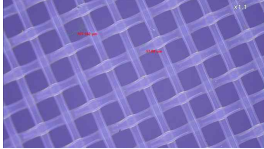
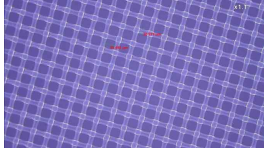
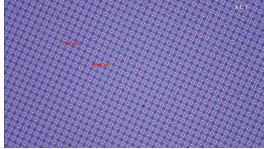
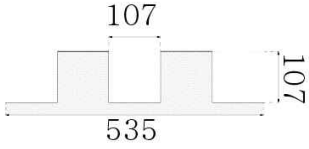
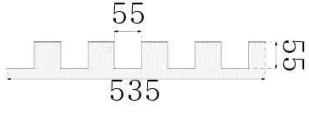
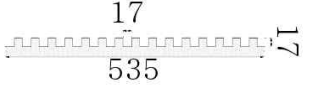


[그림] 접촉각 측정결과

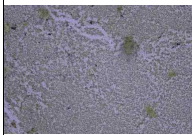
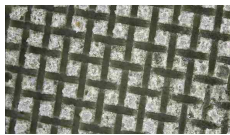
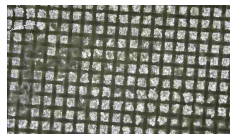
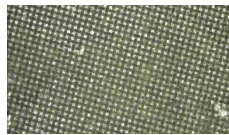
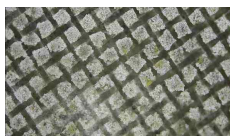
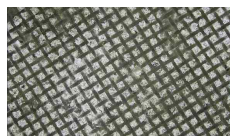
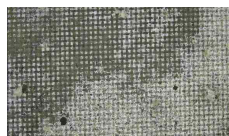
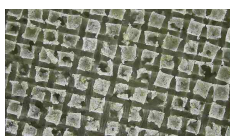
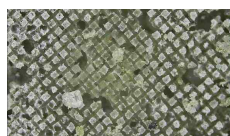
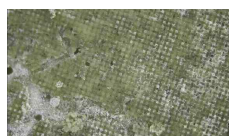
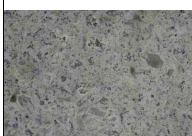
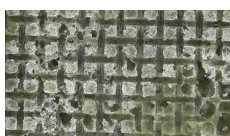
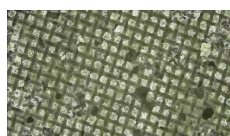
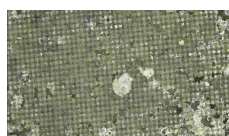
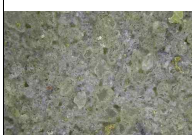
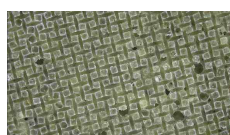
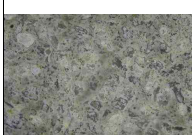
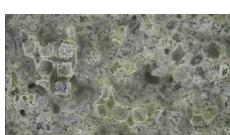
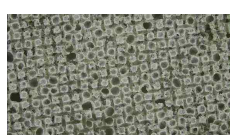
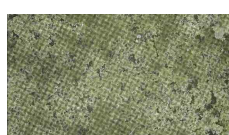
[그림] Contact angle (°)

샘플명	접촉각(°)		샘플명	접촉각(°)	
R1		Left	103.26	R1-80	
		Right	103.26		
		평균	103.26		
R1-150		Left	110.22	R1-300	
		Right	110.14		
		평균	110.18		
R2		Left	83.86	R2-80	
		Right	83.95		
		평균	83.91		
R2-150		Left	120.23	R2-300	
		Right	120.38		
		평균	120.31		
R3		Left	98.14	R3-80	
		Right	96.08		
		평균	97.11		
R3-150		Left	124.91	R3-300	
		Right	124.9		
		평균	124.91		

③ 표면 거칠기

	80mesh	150mesh	300mesh
×160 배율			
표면거칠기 (형태, um)			
	단위 : um		
표면거칠기 (요철면적, $\mu\text{m}^2/\text{in}^2$)	915,920 (107x107x80)	453,750 (55x55x150)	86,700 (17x17x300)

④ 표면형상

Type		0	80mesh	150mesh	300mesh
RHC	R0.5				
	R1				
	R1.5				
	R2				
	R2.5				
	R3				

(4) 결 론

- 접촉각 측정결과 잔골재 비율이 높아질수록 접촉각은 크게 나타났음. 접촉각은 스탬핑에 의해 표면구조를 변화시키면 증가하였고, 스탬핑 사이즈가 작을수록 증가하였음. mesh#150의 표면 스탬핑에서 접촉각이 특히 증가하는 것으로 나타났음.

6) 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술

(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

- 발수제 종류 및 잔골재입도가 시멘트 모르타르의 압축강도 및 발수성에 미치는 영향을 검토하기 위한 실험계획을 Table 1에 나타내었음. 발수제 종류는 실란계 모노머 발수제와 실록산계 올리고머 발수제를 사용하였으며, 잔골재는 입도가 다른 규사 5호사, 7호사를 사용하였음. 평가항목으로는 재령별 압축강도, 휨강도를 측정하였고, 표면 연마전후의 물점측각과 흡수율을 측정하였으며, 수화특성은 XRD, TG-DTA 및 FT-IR 분석으로 관찰하였음.

② 사용재료

- 본 연구에서 사용한 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트로서 물리·화학적 특성을 Table 2에 나타내었음. 시멘트는 비표면적 3,144cm²/g, 밀도 3.15g/cm³, 강열감량 1.32이며, 화학성분은 SiO₂(21.7 %), Al₂O₃(5.7%), Fe₂O₃(3.2 %), CaO(63.1 %), MgO(2.8 %), SO₃(2.2 %)로 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 S 사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였음.
- 본 연구에서 모르타르 첨가용으로 사용한 발수제는 실란계 모노머 발수제와 실록산계 올리고머 발수제를 사용하였으며 발수제의 물리·화학적 특성을 Table 3에 나타내었음. 올리고머 발수제의 활성성분은 60wt%이며 주요한 활성성분은 Poly hydroxy terminated으로 구성되어 있으며 비중은 1.01, pH는 6~8임. 모노머 발수제의 활성성분은 40wt%이며 주요한 활성성분은 n-octyltriethoxysilane과 diethoxy-octyloxy-silane으로 구성되어 있으며 비중은 1.01, pH는 6~8임. 본 연구에서 사용한 잔골재는 S사의 규사 5호사, 7호사를 사용하였으며, 5호사의 경우 18~24mesh로서 입자크기는 0.7~1.2mm이며, 7호사의 경우 60~150mesh로서 입자크기는 0.17~0.25mm임.

[표] 실험계획

Water repellent	Fine aggregate		Mix design	Test items
Oligomer(O)	Silica Sand No. 5	[C5-O]	B:S:W:R = 40:40:15:5	Compressive strength
	Silica Sand No. 7	[C7-O]		Flexural strength
Monomer(M)	Silica Sand No. 5	[C5-M]	B:Binder S:Sand W:Water	Water contact angle (before and after abrasion)
	Silica Sand No. 7	[C7-M]	R:Repellent	Water absorption XRD TG-DTA FT-IR

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Specific surface area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Ig. loss	Chemical composition (%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

[표] 발수제의 물리적 특성 및 화학적 구성

Type of	Main ingredient	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
Oligomer(O)	Poly Hydroxy terminated	60	1.01	6 ~ 8
Monomer(M)	n-octyltriethoxysilane diethoxy-octyloxy-silane	40	1.01	6 ~ 8

③ 실험방법

○ 모르타르 배합 및 양생

- 모르타르의 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 혼합물의 제조는 모르타르 믹서에서 바인더와 모래를 건비빔 한 후 물에 발수제를 첨가하여 혼합한 뒤 믹서에 투입하는 순서로 하였음. 모르타르는 KS L ISO 679 Methods of testing cements - Determination of strength에 따라 제조되었음.

○ 강도특성 실험방법

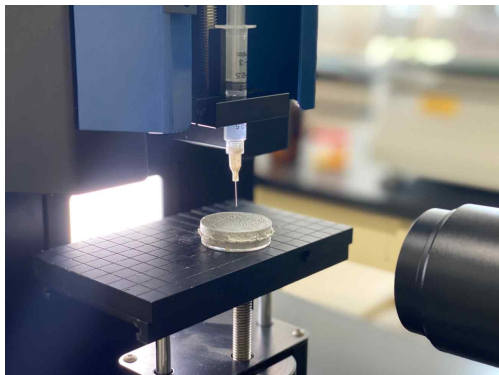
- 압축강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 재령 3일, 7일 및 28일에 측정하였으며

평균 압축강도의 값으로 하였음. 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법에 준하여 측정하였음. 휨강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 3일, 7일 및 28일에 측정하였으며 휨강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 준하여 측정하였음.

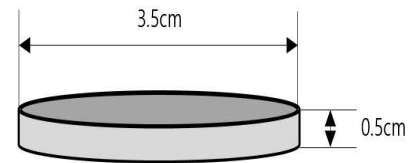
- XRD 분석(X-Ray Diffractometer)은 45 kV 및 200 mA에서 CuK α 파장을 사용하고 $2\theta = 5\sim 75^\circ$ 범위에서 $4^\circ/\text{min}$ 에서 수행하였음.(Rigaku, SmartLab, Tokyo, Japan) TG-DTA 분석(Thermo-gravimetry-differential thermal analysis)은 약 20-800°C의 온도와 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 가열 속도에서 공기 중에서 수행하였음.

○ 발수특성 실험방법

- 물 접촉각의 측정을 위한 시편은 $\varnothing 3.5 \times 0.5\text{cm}$ 살레에 모르타르를 타설하여 제작하고 28일 동안 양생하였음. 양생한 후 시편은 입도 100의 사포위에 2kg이하의 추를 올린 후 수평방향으로 30cm, 수직방향으로 30cm 이동하여 표면을 마모하였음. 접촉각 시험은 KS L 2110 기판유리 표면의 젖음성 시험 방법에 의거하여 측정하였음.
- 흡수율을 평가하기 위한 흡수율 시험체는 $5 \times 5 \times 5\text{cm}$ 의 정방형 몰드에 모르타르를 타설하여 제작하였음. 3개의 시험체를 28일 양생 후 건조하고 시편의 측면을 에폭시로 실링 처리하였음. 제조된 시험체를 약 20°C의 물에 2~10mm 정도의 깊이로 담근 후 24시간에 물 흡수량을 측정하였음. 흡수율은 KS L 2476에 준하여 계산하였음.
- 발수제가 시멘트 매트릭스 내부에 결합되어져 있는지를 확인하기 위하여 각 배합의 재령 28일 샘플에 대해 푸리에 변환 적외선 분광기 분석(FT-IR, Fourier Transform Infrared Spectroscopy)을 실시하였음. 본 연구에서 적용한 FT-IR 분석은 스펙트럼 $4000\sim 400\text{cm}^{-1}$ 범위에서 4cm^{-1} 의 해상도이고 각 측정에 대해 평균 64회 스캔하였음.(Thermo, Nicolet 6700, U.S.)



(a) Contact angle meter



(b) Contact angle sample

[그림] Water contact angle measurement process

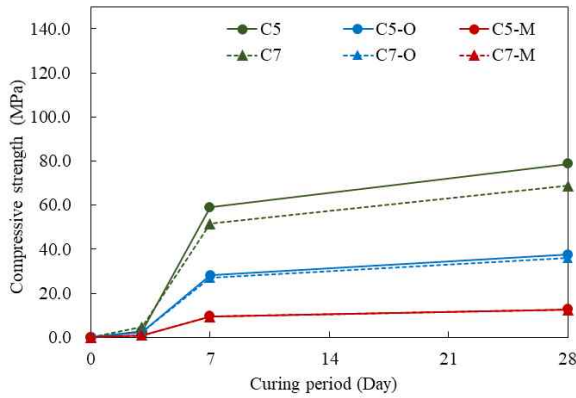
(2) 실험결과 및 분석

① 압축강도

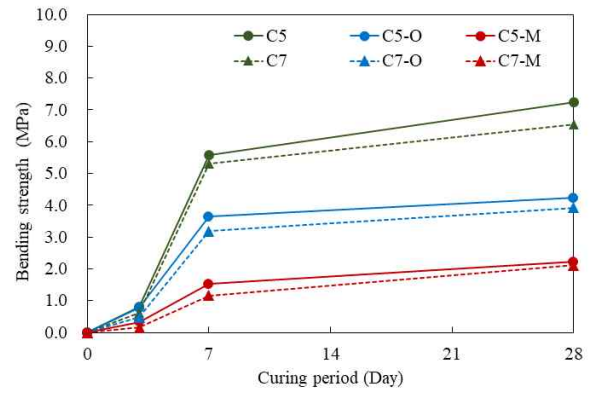
- 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 압축강도는 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 감소하였고, 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 압축강도는 모노머계 발수제와 비교하여 높게 나타났음. 재령 28일 압축강도의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 68.7~78.7MPa, 올리고머 첨가 모르타르는 36.2~37.4MPa, 모노머 첨가 모르타르는 12.5~12.8MPa로 나타났음. 또한 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르 압축강도 영향은 크게 나타나지 않았음. 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 압축강도의 경우 최대 약 80%까지 감소하는 것으로 나타났음.

② 휨강도

- 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 휨강도는 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 감소하였고, 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 휨강도는 모노머계 발수제와 비교하여 높게 나타났음. 재령 28일 휨강도의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 6.55~7.23MPa, 올리고머 첨가 모르타르는 3.92~4.23MPa, 모노머 첨가 모르타르는 2.11~2.21MPa로 나타났음.



[그림] Compressive strength



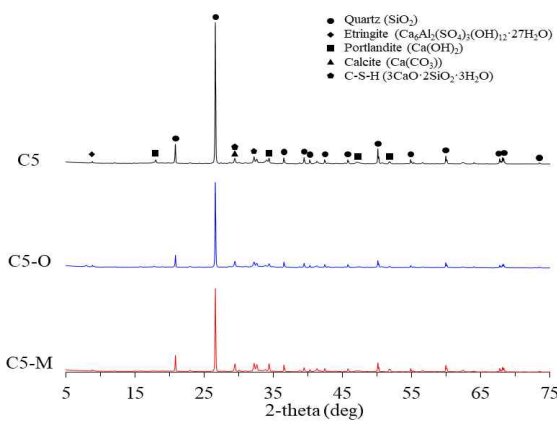
[그림] Bending strength

③ XRD

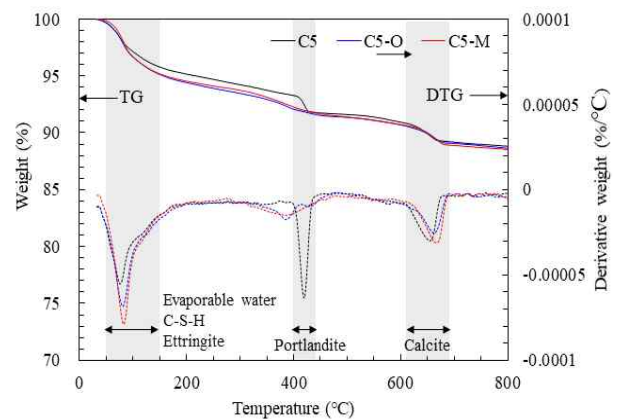
- XRD 측정결과 발수제 첨가에 따른 새로운 반응 생성물은 형성되지 않았음. 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 경우 발수제를 첨가하지 않은 C5는 2theta 18°에서 Ca(OH)₂의 피크가 나타나고 있음. 그러나 발수제 첨가 모르타르의 경우 Ca(OH)₂의 피크가 나타나지 않으며 이로 인해 발수제 무첨가와 비교하여 압축강도의 발현이 낮은 것으로 판단됨.

④ TG-DTA

- TG-DTA 측정결과 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 TG-DTA 결과에서는 50~150°C 구간에서 물이 증발되고 에트링가이트, C-S-H의 일부의 분해로 인하여 질량이 감소되고 있음. 이 구간에서는 발수제 무첨가 시멘트 모르타르 보다는 발수제 첨가 모르타르가 더 많은 질량감소가 나타나고 있음. 발수제 무첨가 시멘트 모르타르의 400~450°C 구간에서 약 1.5%의 질량손실을 보이고 있음. 반면에 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 경우 뚜렷한 질량손실을 보이고 있지 않으며, 0.6%의 질량손실만 나타났음. 또한 600~700°C 구간에서 모든 시험체에서 칼사이트에 의한 질량손실을 나타내고 있음. 최종 가열온도인 800°C에서 전체적인 질량감소는 같으나 발수제를 무첨가 시멘트 모르타르는 400~450°C 구간의 Ca(OH)₂ 감소이며 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 경우 100~150°C 구간의 증발수의 감소임을 확인할 수 있음.



[그림] XRD



[그림] TG-DTA

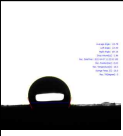
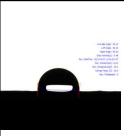
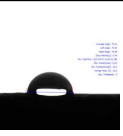
⑤ 접착각

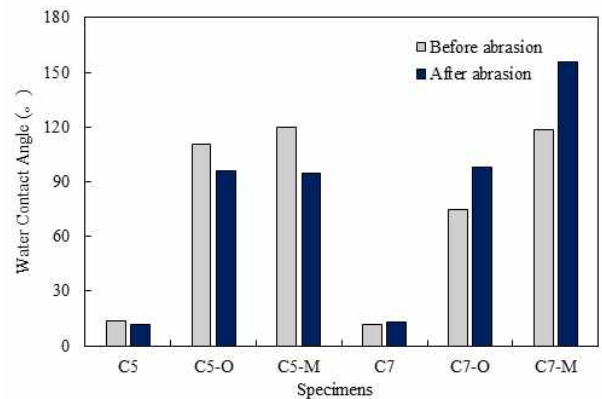
- 발수제 첨가 모르타르의 접착각은 무첨가 모르타르와 비교하여 증가하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제가 상대적으로 증가하였음. 본 연구 결과에서는 입도가 큰 5호사 잔골재를 사용한 모르타르에서는 기존 연구결과와 유사한 경향을 나타내었지만 입도가 작은 7호사 잔골재 모르타르에서는 상이한 경향을 보이고 있음.
- 표면연마 전 접착각의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 12~13.94°, 올리고머 첨가 모르타르는 75.01~110.78°, 모노머 첨가 모르타르는 118.68~119.88°로 나타났음. 또한 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 접착각은 모노머계 발수제와 비교하여 접착각이 작아지는 것으로 나타났음. 이러한 경향은

잔골재의 입도가 작은 7호사에서 더 크게 나타났음. 모노머 첨가 모르타르의 접촉각은 올리고머계 발수제 첨가 모르타르와 비교하여 잔골재 입도가 큰 5호사에서 9.1°크게 나타났고 입도가 작은 7호사에서는 43.67° 크게 나타났음.

- 표면연마 후 접촉각의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 12~13°, 올리고머 첨가 모르타르는 96.1~97.97°, 모노머 첨가 모르타르는 94.42~156.08°로 나타났음. 또한 5호사의 경우 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 접촉각은 모노머계 발수제와 비교하여 접촉각이 커지는 것으로 나타지만, 7호사의 경우 5호사 이러한 경향은 잔골재의 입도가 작은 7호사에서 더 크게 나타났음. 모노머 첨가 모르타르의 접촉각은 올리고머계 발수제 첨가 모르타르와 비교하여 잔골재 입도가 큰 5호사에서 9.1°크게 나타났고 입도가 작은 7호사에서는 43.67° 크게 나타났음. 연마 후에 접촉각은 연마 전과 비교하여 다소 차이는 있지만 90°이상을 유지하고 있음.

[표] water droplet shape

	Silica Sand No. 5		Silica Sand No. 7	
	Before abrasion	After abrasion	Before abrasion	After abrasion
Oligomer(O)				
Monomer(M)				



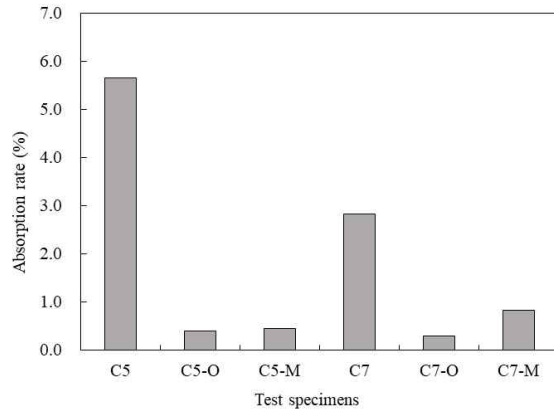
[그림] Water contact angle

⑥ 흡수율

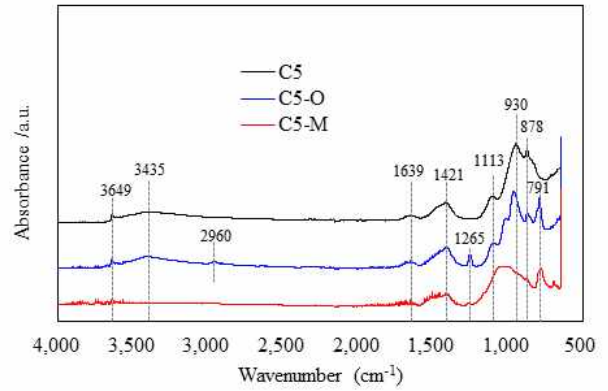
- 발발수제 첨가 시멘트 모르타르의 흡수율은 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 크게 감소하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 흡수율이 상대적으로 다소 증가하였으나 잔골재의 입도와 관계없이 모두 1% 미만을 나타내고 있음. 발수제 무첨가 모르타르의 흡수율 측정결과 2.82~5.65%를 나타내었고 올리고머계 첨가 모르타르의 경우 0.29~0.39%, 모노머계 첨가 모르타르는 0.45~0.83%로 나타났음.

⑦ FT-IR

- FT-IR 측정결과 수화된 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 FT-IR 피크는 3,435cm⁻¹과 3,649cm⁻¹에서 O-H stretching, 1,639cm⁻¹에서 O-H bending, 1,421cm⁻¹과 878cm⁻¹에서 C-O stretching, 1,121cm⁻¹에서 S-O stretching, 930cm⁻¹에서 Si-O stretching를 보이고 있음. 모르타르의 골재에 기인한 Si-O-Si의 피크는 1,105cm⁻¹과 950cm⁻¹에서 관찰될 수 있지만, Si-O stretching의 피크와 겹쳐 있기 때문에 확인이 어려움. 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 경우 2,975cm⁻¹에서 -CH₃ stretching, 1,265cm⁻¹, 791cm⁻¹에서 Si-CH₃ stretching 피크가 보이기 때문에, 실록산 -Si-CH₃을 존재를 확인할 수 있음. 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 경우 1,265cm⁻¹, 800cm⁻¹ 부근에서 Si-CH₃ stretching 피크가 관찰됨으로써 -Si-CH₃를 관찰할 수 있음. 특히, 올리고머계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르는 발수제 무첨가 모르타르와 비교하여 3,435cm⁻¹과 3,649cm⁻¹에서 상대적으로 낮은 O-H stretching 피크가 나타나고 있음. 반면 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 O-H stretching 피크가 거의 나타나지 않고 있어 수화생성물이 양이 매우 적은 것으로 판단되며, 이는 XRD 및 TG-DTA에서 포틀랜드라이트의 생성이 매우 적은 것과 일치함.



[그림] Water absorption



[그림] FT-IR spectra

(4) 결 론

- 발수제 첨가 모르타르의 강도 및 발수성에 미치는 다양한 요인 중에서 발수제 종류 및 잔골재 입도에 대한 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었음.
- 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 압축강도는 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 감소하였고, 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 압축강도는 모노머계 발수제와 비교하여 높게 나타났음. 또한 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르 압축강도 영향은 크게 나타나지 않았음.
- 발수제 첨가 모르타르의 접착각은 무첨가 모르타르와 비교하여 증가하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제가 상대적으로 증가하였음. 또한 연마 전후 접착각은 잔골재 입도에 따라서 상이한 경향을 보이고 있음.
- 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 흡수율은 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 크게 감소하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 흡수율이 상대적으로 다소 증가하였으나 잔골재의 입도와 관계없이 모두 1% 미만을 나타내고 있음.

7) 아이스포빅 도로포장체의 최적배합 도출

(1) 최적배합 및 사용재료

① 최적배합

- 아이스포빅 도로포장체의 최적배합은 [표]에 나타내었음.

[표] 최적배합

(단위 : g)¹⁾

시멘트	잔골재	물	폴리머	발수제	합계
382	382	150	36	50	1000

1) 아이스포빅 도로포장체 전체중량(1kg)에 대한 각 재료의 중량비율

② 사용재료 물성

○ 시멘트

- 본 연구에서 사용한 시멘트는 초속경시멘트를 사용하였으며, 이의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타내었음. 초속경시멘트(Union Co., Ltd., Korea)는 비표면적 5741 cm²/g, 밀도 2.91 g/cm³로 setting time은 initial 25min, final 0.67min임.

Type	Blaine (cm ² /g)	Setting time		Density (g/cm ³)	Chemical composition(%)						
		Initial (min)	Final (hour)		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. loss
Rapid hardening cement*	5741	25	0.67	2.91	13	19	3	48	25	11	2

○ 잔골재

- 잔골재는 S사의 규사 7호사를 사용하였으며, 14~20 mesh로 직경은 1.2~0.8 mm임.

○ 폴리머

- 본 연구에서 사용한 폴리머는 EVA폴리머를 사용하였으며 이의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타내었음. EVA폴리머는 흰색미세분말의 형태를 사용하였고 비중은 475±50g/L, 평균 입자 지름은 Max. 2%>400 μ m, pH는 9.1임.

Type	Appearance	Specific gravity(g/L)	Average particle diameter(μ m)	pH
EVA	White fine powder	475±50	Max. 2%>400	9.1

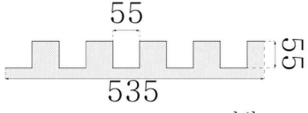
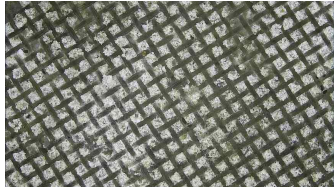
○ 발수제

- 발수제는 실란계 발수제이며, 발수제의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타내었음. 실란계(올리고머) 발수제의 활성성분은 60wt%이고, 주요한 활성성분은 Poly(dimethylsiloxane), hydroxy terminated으로 구성되어 있으며, 비중은 1.01g/cm³, pH는 6~8임.

Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
Oligomer*	60 이상	1.01	6 ~ 8

(2) 성능평가

① 표면 성능평가

항목	결과	비고
표면거칠기	 단위 : μm (요철면적 : $453,750 \mu\text{m}^2/\text{in}^2$) ($55 \times 55 \times 150$)	mesh 150# 스탬핑
표면형상		mesh 150# 스탬핑

② 역학적 성능평가

항목	목표치	결과	목표 달성여부	시험방법	비고
압축강도	표준대비 10%이내	9%	달성	KS F 4042 : 2012	- 표준 : $41.4\text{N}/\text{mm}^2$ - 성과물 : $37.7\text{N}/\text{mm}^2$ - 공인시험성적서 제출(A-1-①)
휨강도	표준대비 10%이내	9%	달성	KS F 4042 : 2012	- 표준 : $7.7\text{N}/\text{mm}^2$ - 성과물 : $7.0\text{N}/\text{mm}^2$ - 공인시험성적서 제출(A-1-②)
내마모성	2.0mm 이하	0.2mm	달성	ASTM C779 B법	- 공인시험성적서 제출(A-3-①)
동결융해 저항성	80%이상	86%	달성	KS F 2456	- 공인시험성적서 제출(B-4-②)



시험성적서

시 료 명	아이스포빅 도로포장재	접 수 번 호	QR21-24550
성과 이용 목적	품질관리용	접 수 일 자	2021-08-30
의 의 인	주 소 : 전라북도 완주군 상례읍 상례로 443 우석대학교	발 급 일 자	2021-12-03
	성 명 : 우석대학교 산학협력단	측 정 조	1/1

의뢰하신 시료에 대한 시험결과를 다음과 같이 알려드립니다.

시험결과

항목	시험종목	시험방법	시험결과	단위
01	동결 융해에 대한 저항성 (A법, 상대동결강도)	KS F 2456 : 2013	86	%

이 시험 결과는 당초 의뢰 시 제출한 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금합니다.

책임기술자

신원재(신원재) 14201103080 김 원 수

품질안전기술연구원

시험결과 문의 : 263121 강원도 원주시 장수로 52, 한원빌딩 (070-4454-5200)

1. 이 성적서는 최초 발주 계약 시의 시료와 같은 시험결과를 판독자로부터 받은 품질을 보증하지 않습니다.
2. 이 성적서를 본 문서 외의 다른 용도로 사용, 복제, 배포 및 소용도로 사용할 수 없습니다.

시험성적서

1. 성적서 번호 : CT21-13036K
2. 의뢰자 : 우석대학교 산학협력단
주 소 : 전라북도 완주군 상례로 443 (우석대학교내)
3. 시험기간 : 2021년 12월 09일 ~ 2021년 12월 09일
4. 시험성적서의 용도 : 일반 연구용
5. 사 료 명 : 아이스포빅 도로포장재
6. 시험방법 : (1) ASTM C779/C779M-19 골짜기 B
7. 시험결과 : 1) 아이스포빅 도로포장재

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고	시험종소
동결융해성	mm	(1)	0.2	-	A

* 시험사유 : (의뢰자) 회사
* 시험장소 : A : 서울특별시 강남구 가산디지털로 199 (가산동)

— 끝 —

확인

작성일자

인구원

인원

기술책임자

인원

조영근

발급 : 1. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증기관에 의해, 의뢰자가 제시한 시료 및 시험명에 한하여 결과로서 전체 내용에 대한 효용을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 최초, 중간, 결과 및 소용도로 사용될 수 있으며, 복제 및 이의의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.co.kr)에서 확인 가능합니다.

2021년 12월 09일

한국건설생활환경시험연구원

결과문의 : (025023) 서울특별시 강남구 가산디지털로 199 (가산동) ☎ 02212102-2768

용 : (025023) 용 : (025023) 용 : (025023)

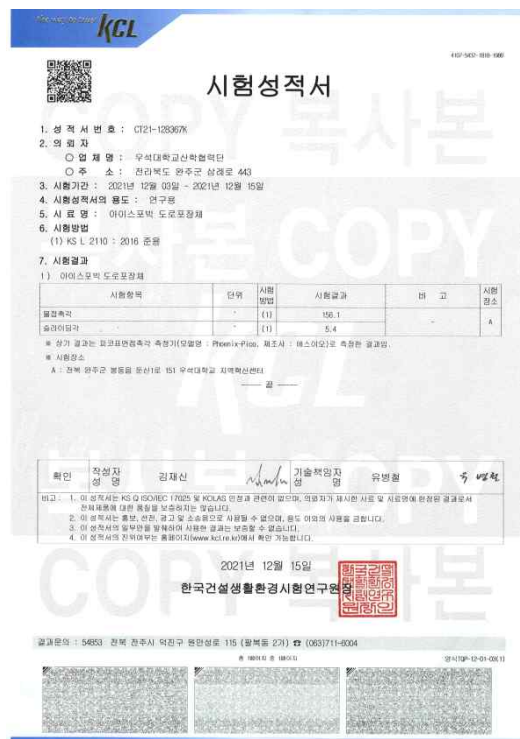
용 : (025023) 용 : (025023) 용 : (025023)

[그림] 동결융해저항성 공인시험성적서

[그림] 내마모성 공인시험성적서

③ 발수 성능평가

항목		목표치	결과	목표 달성여부	시험방법	비고
접촉각	마모전	150°이상	156.1°	달성	KS L 2110	- 공인시험성적서 제출(A-2-③)
	마모후	150°이상	150.2°	달성	KS L 2110	- 자체평가
슬라이딩각	마모전	6° 이하	5.4°	달성	KS L 2110	- 공인시험성적서 제출(A-3-④)
	마모후	6° 이하	6.1°	달성	KS L 2110	- 자체평가



[그림] 동결융해저항성 공인시험성적서

접촉각	마모 전	
	마모 후	
슬라이딩각	마모 전	
	마모 후	

(3) 경제성 평가

- 발열형 융설 도로포장 기술과의 경제성
 - 발열형 융설 도로포장 건설신기술 (건설신기술790호) 원가계산서 비교 참조
 - 아이스포빅 결빙방지 도로포장 기술은 초속경 LMC 건설신기술(건설신기술665호) 원가계산서 참조
- 본 연구개발 기술은 발열형 융설 도로포장 기술과 비교하여 4배 이상의 경제성이 있는 것으로 평가됨

[표] 경제성 비교

공법명	단위	공사비 (원)	경제성비교 (%)	비고
발열형 융설 도로포장 기술	m2	638,974	443	건설신기술790호
아이스포빅 결빙방지 도로포장 기술	m2	143,326	100	건설신기술665호×120% 초소수성 에멀전 혼화제 추가비용 고려

8) 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체 특성평가

(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

- 본 연구에서는 LMC(PMC)아이스포빅 환경조건에 따른 도로포장체의 부착특성을 검토하기 위한 실험계획을 아래 표에 나타내었음. 폴리머와 발수제 첨가 유무에 따른 시멘트 모르타르의 결빙시간 및 얼음과 포장면과의 부착성능을 평가하였음.
- 본 실험의 시험체 배합은 아래 표와 같음

[표] 실험계획

샘플명	폴리머 ¹⁾	발수제 ²⁾	측정항목
R	-	-	- 얼음형성시간
RW	-	5%	
RP	5%	-	- 얼음부착강도
RPW	5%	5%	

1) 폴리머는 시멘트에 대한 중량 대체율 (5%)

2) 발수제는 전체 중량에 대한 중량 비율 외할첨가 (5%)

[표] 최적배합

(단위 : g)¹⁾

샘플명	시멘트	잔골재	물	폴리머	발수제	합계
R	400	450	150			1000
RW	400	450	150		50	1050
RP	380	450	150	20		1000
RPW	380	450	150	20	50	1050

1) 아이스포빅 도로포장체 전체중량(1kg)에 대한 각 재료의 중량비율

2) 폴리머는 시멘트에 대한 중량 대체율 (5%)

3) 발수제는 기준배합(R, RP) 전체 중량에 대한 중량 비율 외할첨가 (5%)

② 사용재료

- 본 연구에서 사용한 시멘트는 초속경시멘트(R)를 사용하였으며, 이의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타내었음. 초속경시멘트(Union Co., Ltd., Korea)는 비표면적 5741 cm²/g, 밀도 2.91 g/cm³로 setting time은 initial 25min, final 0.67min임. 모래는 S사의 규사 7호사를 사용하였으며, 모르타르 혼입용으로 사용한 발수제는 실란계 발수제이며, 발수제의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타내었음.
- 실록산계(올리고머) 발수제의 활성성분은 60wt%이고, 주요한 활성성분은 Poly(dimethylsiloxane), hydroxy terminated으로 구성되어 있으며, 비중은 1.01, pH는 6~8임.
- 본 연구에서 사용한 폴리머는 EVA폴리머를 사용하였으며 이의 물리·화학적 특성을 [표]에 나타내었음. EVA폴리머는 흰색미세분말의 형태를 사용하였고 비중은 475±50g/L, 평균 입자 지름은 Max. 2%>400 μ m, pH는 9.1임.

[표] 시멘트의 물리·화학적 특성

Type	Blaine (cm ² /g)	Setting time		Density (g/cm ³)	Chemical composition(%)						
		Initial (min)	Final (hour)		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. loss
Rapid hardening cement*	5741	25	0.67	2.91	13	19	3	48	25	11	2

[표] 발수제의 물리적 특성 및 화학적 구성

Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm ³)	pH
Oligomer*	60 이상	1.01	6 ~ 8

[표] 폴리머의 물리적 특성 및 화학적 구성

Type	Appearance	Specific gravity(g/L)	Average particle diameter(um)	pH
EVA	White fine powder	475±50	Max. 2%>400	9.1

③ 실험방법

- 모르타르의 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 혼합물의 제조는 모르타르 믹서에서 바인더와 모래를 건비빔 한 후 물에 발수제를 첨가하여 혼합한 뒤 믹서에 투입하는 순서로 하였음. 모르타르는 KS L ISO 679 Methods of testing cements - Determination of strength에 따라 제조되었음.
- 얼음부착강도 측정을 위한 시험체는 50x50x50mm 몰드에 시멘트 모르타르를 타설하고 4시간 동안 온도 20±2°C에서 경화시킨 후 1일 후 탈형하고 지정된 재령까지 온도 20±2°C, 수중에서 27일 동안 양생하였음.
- 제작한 시험체는 [그림]과 같이 항온항습기에 넣어 -10°C의 온도로 고정시킨 후 결빙 실험을 진행하였으며, 물이 어는 단계별로 완전히 결빙될 때까지 걸리는 시간을 5분 단위로 시간을 측정하였음. 폴리머, 발수제 유무에 따른 시험체를 같이 넣어 결빙방지 효과를 비교하였고, 각 단계별 구분은 [표]에 나타내었음.
- 얼음부착강도를 측정하기 위하여 혼합물 첨가량에 따른 시험체 표면 위에 얼음을 형성하였음. 얼음이 모든 시험체 표면에 부착되어 형성된 것을 확인한 후 수평으로 고정하여, 폴리머 및 발수제 유무에 따른 얼음부착강도를 측정하였음.

[표] 얼음형성시간 실험 단계적 분류

Classification		Designation
Freezing	Thin ice	The beginning of a thin ice
	Surface ice	Surface frozen
	Entire ice	Whole frozen



[그림] 항온항습기



[그림] 얼음부착강도 측정용 시편

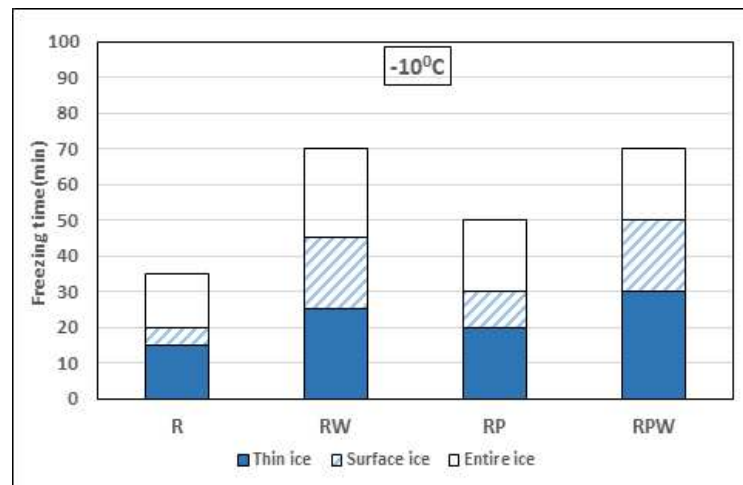
(2) 실험결과 및 분석

[얼음형성시간]

- 폴리머 및 발수제 유무의 결빙 효과를 확인하기 위해 항온항습기를 사용하여 -10°C 의 온도 조건으로 증류수가 결빙단계에 이르는 시간을 측정하였음.
- -10°C 온도 조건에서 폴리머, 발수제 유무에 따른 결빙시간을 측정한 결과 완전 결빙시간은 적게 5분에서 최대 25분까지 지연시키는 효과를 보였음. -10°C 에서는 RPW가 초기 결빙부터 표면 결빙이 될 때까지 지연효과가 가장 높았으나, 완전 결빙시간에서 RW실험체와 동일한 시간에 결빙이 이루어졌음. 폴리머만 혼합한 P5의 경우 P와 시간이 같거나 5분 정도의 차이를 보여주어 결빙지연에 영향이 크지 않은 것으로 나타났음.

[표] 얼음 형성시간

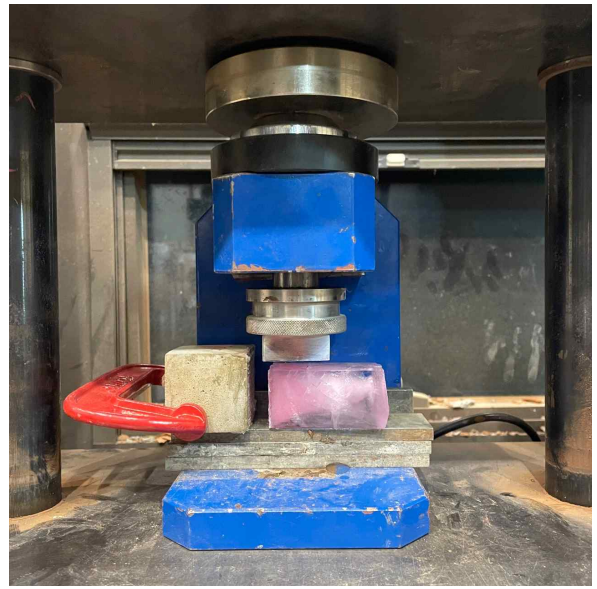
Freezing time Specimen Temperature		Thin ice	Surface ice	Entire ice
		Time (min)	Time (min)	Time (min)
-10°C	R	15	30	45
	RW	25	45	70
	RP	20	30	50
	RPW	30	50	70



[그림] Measurement result of freezing time at -10°C

[얼음부착강도]

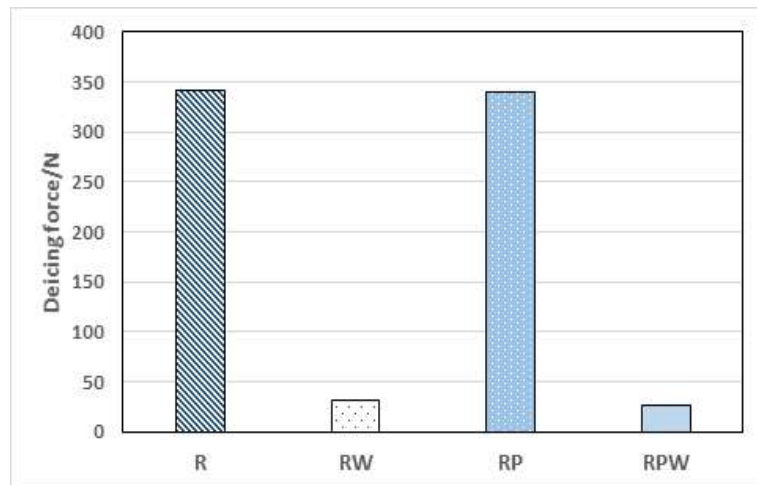
- LMC(PMC)아이스포빅 환경조건에 따른 도로포장체 결빙방지 특성을 분석하고자 혼합물 첨가량에 따른 얼음과 포장면과의 부착성능을 평가하였음. 혼합물 유무 및 첨가량에 따른 시험체(R, RW, RP, RPW)에 대하여 얼음 부착강도를 실시하였음. 얼음 부착강도시험은 그림과 같이 실시하였으며 측정 후 부착강도를 비교·분석하였음.
- 시험체 R의 경우 342N의 부착강도를 보이며 얼음과 시험체 면과의 결합력이 크게 발생한 것으로 나타남. 시험체 RW의 경우 31N의 낮은 부착강도가 나타났으며 얼음과 시험체 면과의 결합력이 낮아진 것으로 나타남. 시험체 RP의 경우 340N의 부착강도를 보였으며 시험체 R의 부착강도보다 조금 낮아진 모습을 볼 수 있었음. 시험체 RPW의 경우 26N의 부착강도가 나타났으며 발수제의 혼입이 시험체 면과 얼음과의 결합력을 저하시키게 하는 것을 다시 한번 확인할 수 있었음.



[그림] 얼음부착강도 측정사진

[표] 얼음부착강도 측정결과

Temperature	Specimen	Deicing force(N)			Average(N)
-10℃	R	337	346	342	342
	RW	31	28	33	31
	RP	340	347	334	340
	RPW	26	22	29	26



[그림] 얼음부착강도 측정 결과

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

본 연구는 초소수성의 특성을 갖고 포장도로와 얼음의 접착력을 약화시켜 눈 및 얼음의 제거효율을 향상시킴으로서 블랙아이스에 의한 사고발생을 예방하는 “블랙아이스(Blackice) 도로안전을 위한 아이스포빅(Icephobic) 도로포장체 기술”을 개발하는 것으로서 현재 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

① 1차년도

본 연구의 1차년도에는 실란/실록산 및 나노입자를 사용하여 에멀전 혼화제의 포물레이션 기술을 확립하고, 시멘트 복합체의 수화반응, 물성 및 표면 특성을 평가하여 아이스포빅 시멘트 복합체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

- 초소수성 에멀전 혼화제 제조기술
 - 초소수성 에멀전 혼화제 제조기술 개발을 위하여 초소수성 에멀전 포물레이션 저장안전성 평가, Lab Scale 포물레이션 기술 확립 등을 검토하였음.
- 초소수성 에멀전 혼화제의 시멘트 수화반응 해석
 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 수화메카니즘 해석을 위하여 시멘트 수화반응 생성물 분석, 시멘트 수화반응 조직 관찰 및 응결시간, 미니슬럼프 등을 검토하였음.
- 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술
 - 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 제조기술개발을 위하여 아이스포빅 시멘트 복합체 기초물성 평가, 표면특성 평가, 최적배합 선정 등을 검토하였음.
 - 시멘트 복합체의 접착각, 슬라이딩각, 압축강도에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출

② 2차년도

본 연구의 2차년도에는 아이스포빅 포장체의 기초배합 설계와 1차년도에 확립된 초소수성 시멘트 복합체에 생체모방 표면구조 제어기술을 적용하여 블랙아이스 도로 안전을 위한 아이스포빅 도로포장체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

- 아이스포빅 도로포장체 제조기술
 - 아이스포빅 도로포장체 제조기술 개발을 위하여 초소수성 에멀전 혼화제 혼입 아이스포빅 도로포장체 배합 설계(압축강도, 휨 및 인장강도, 수축율, 내마모성 등), 아이스포빅 도로포장체 최적 배합선정 등을 검토하였음.
 - 아이스포빅 도로포장체의 압축강도, 휨강도에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출
- 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술
 - 아이스포빅 도로포장체의 생체모방 표면구조 제어기술 개발을 위하여 생체모방 표면구조 제어기술 기초검토, 스템핑, 생체모방 표면구조의 물성검토, 최적 스템핑 생체모방 표면구조 제어기술 확립 등을 검토하도 하였음.
 - 아이스포빅 도로포장체의 접착각, 슬라이딩각에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출
- 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술
 - 아이스포빅 도로포장체 내마모성 향상기술 개발을 위하여 아이스포빅 도로포장체의 내마모성 성능 개선제 배합설계, 생체모방 표면구조 제어 아이스포빅 도로포장체의 표면물성 평가 등을 검토하였음.
 - 아이스포빅 도로포장체의 마모저항성에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출
- 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가
 - 환경조건에 따른 아이스포빅 도로포장체의 특성평가를 위하여 도로포장체의 아이스포빅 특성평가, 아이스포빅 포장체의 물성 평가, 아이스포빅 포장체의 유지관리, 아이스포빅 포장체의 접착특성평가, 최적배합 선정 등을 검토하였음.
 - 아이스포빅 도로포장체의 동결융해저항성, 부착강도에 대한 목표 성능을 공인기관 시험성적서로 제출

(2) 정량적 연구개발성과

본 연구는 초소수성의 특성을 갖고 포장도로와 얼음의 접착력을 약화시켜 눈 및 얼음의 제거효율을 향상시킴으로서 블랙아이스에 의한 사고발생을 예방하는 “블랙아이스(Blackice) 도로안전을 위한 아이스포빅(Icephobic) 도로포장체 기술”을 개발하는 것으로서 현재 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

① 1차년도

본 연구의 1차년도에는 실란/실록산 및 나노입자를 사용하여 에멀전 혼화제의 포물레이션 기술을 확립하고, 시멘트 복합체의 수화반응, 물성 및 표면 특성을 평가하여 아이스포빅 시멘트 복합체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

○ 특허출원 1건

- 특허명 : 초소수성 시멘트 복합체
 - 특허출원번호 : 10-2020-0138561
 - 특허출원일 : 2020.10.23.

○ 논문(비SCI) 2건

- 논문제목 : 표면 성상에 따른 수용성 발수제 혼입 시멘트 모르타프의 발수특성
 - 게재지 : 한국구조물진단유리관리공학회
 - 저자명 : 강석표, 강혜주, 홍성욱, 양승현
 - 게재일 : 2020.12
- 논문제목 : 실란/실록산계 에멀전 발수제를 혼입한 시멘트 페이스트의 발수특성
 - 게재지 : 한국건축시공학회
 - 저자명 : 강석표, 강혜주, 홍성욱, 양승현
 - 게재일 : 2021.02

② 2차년도

본 연구의 2차년도에는 아이스포빅 포장체의 기초배합 설계와 1차년도에 확립된 초소수성 시멘트 복합체에 생체모방 표면구조 제어기술을 적용하여 블랙아이스 도로 안전을 위한 아이스포빅 도로포장체를 개발하는 것으로서 정성적 연구개발 성과는 다음과 같음.

○ 특허출원 2건

- 특허명 : 블랙아이스 방지 흙포장 조성물 및 시공방법
 - 특허출원번호 : 10-2021-0184129
 - 특허출원일 : 2021.12.21.
- 특허명 : 초소수성 에멀전 조성물 및 이를 첨가한 초소수성 시멘트 페이스트
 - 특허출원번호 : 10-2021-0033582
 - 특허출원일 : 2021.03.15.

○ 특허등록 1건

- 특허명 : 초소수성 에멀전 조성물 및 이를 첨가한 초소수성 시멘트 페이스트
 - 특허등록번호 : 10-2358366
 - 특허등록일 : 2022.01.27.

○ 논문(SCI) 1건

- 논문제목 : Strength and Water-Repelling Properties of Cement Mortar Mixed with Water Repellents
 - 게재지 : materials
 - 저자명 : 강석표, 강혜주, 이병기
 - 게재일 : 2021.09

○ 논문(비SCI) 1건

- 논문제목 : 발수제종류별 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 발수특성
 - 게재지 : 한국건축시공학회
 - 저자명 : 강석표, 강혜주, 김상진, 서정인
 - 게재일 : 2021.12

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재 - 4건

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
	Strength and Water-Repelling Properties of Cement Mortar Mixed with Water Repellents	Materials	HyeJu Kang	14	Switzerland	MDPI	SCI	2021.09	1996-1944	50%
	표면 성상에 따른 수용성 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 발수특성	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	강석표	24(6)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCI	2020.12	2234-6937	
	실란/실록산계 에멀전 발수제를 혼입한 시멘트 페이스트의 발수특성	한국건축시공학회 논문집	강석표	21(1)	대한민국	한국건축시공학회	비SCI	2021.02	2233-5706	
	발수제중류별 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 발수특성	한국건축시공학회 논문집	강석표	21(6)	대한민국	한국건축시공학회	비SCI	2021.12	2233-5706	

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표 - 1건

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
	2021 가을학술발표대회	생태모방 표면구조 제어에 의한 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 특성	김상진	2021.11	서울	대한민국

☐ 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

☐ 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		
	특허	초소수성 시멘트 복합체	대한민국	우석대학교 산학협력단	2020.10 .13	10-2020- 0138561					
	특허	블랙아이스 방지 흡포장 조성물 및 시공방법	대한민국	우석대학교 산학협력단	2021.12 .21	10-2021- 0184129					
	특허	초소수성 에멀전 조성물 및 이를 첨가한 초소수성 시멘트 페이스트	대한민국	우석대학교 산학협력단	2021.03 .15	10-2021- 0033582					
	특허	초소수성 에멀전 조성물 및 이를 첨가한 초소수성 시멘트 페이스트	대한민국				우석대학교 산학협력단	2022.01. 27	10-23583 66		

○ 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)

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 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)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

☐ 고용 효과

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

☐ 정책 활용 내용

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

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (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)

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	박사취득	2021	1					1		1			
2	학사졸업	2021			2		2			2			

☐ 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

☐ 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)-해당사항 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)-해당사항 없음

2) 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
■ 최종개발 목표 :블랙아이스(Blackice) 도로안전을 위한 아이스포빅(Icephobic) 도로포장체 기술개발	초소수성의 특성을 갖고 포장도로와 얼음의 접착력을 약화시켜 눈 및 얼음의 제거효율을 향상시킴으로서 블랙아이스에 의한 사고발생을 예방하는 “블랙아이스(Blackice) 도로안전을 위한 아이스포빅(Icephobic) 도로포장체 기술”의 달성내용은 다음과 같음.	100
-1차년도 개발 목표 :초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발	• 초소수성 에멀전 혼입 아이스포빅 시멘트 복합체 기술개발 -특허출원 : 특허출원번호 10-2020-0138561, 2020.10.23 -비SCI논문 게재 2건 -접촉각, 슬라이딩각, 압축강도 공인기관시험성적서	
-2차년도 개발 목표 :생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발	• 생체모방 표면구조 아이스포빅 도로포장체 기술개발 -특허출원 : 특허출원번호 10-2021-0033582, 2021.03.15. 특허출원번호 10-2021-0184129, 2021.12.21. -특허등록 : 특허등록번호 10-2358366 2022.01.27 -SCI논문 게재 1건 -비SCI논문 게재 1건 -압축강도, 휨강도, 접촉각, 슬라이딩각, 동결융해저항성, 부착강도 공인기관시험성적서	

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)-해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 측면

- 극한지 건설시공 산업의 새로운 분야를 도출
- 나노소재 기반 도로 안전사고 예방시스템의 핵심기술을 확보
- 극저온 등의 환경적인 한계에 의한 시공 및 운영 제한 문제 와 같은 한계점을 해결
- 전문연구인력 양성, 탄소나노튜브 기술이외의 특수 첨단 신소재의 토목분야 적용 등이 가능하므로 학문의 발전가능
- 다학제간 연계를 통한 창의적인 연구 아이디어의 창출로 전 반적인 융·복합 연구발전에 기여

○ 경제적 · 산업적 측면

- 현재 결빙방지 기술인 염화물 살포 방식은 초기 투자비용이 경제적이거나 동절기 염화물 살포를 위한 인력, 제설재 등의 지속적인 비용이 발생하게 됨. 그러나 아이스포빅 도로 포장체의 경우 한번 시공으로 지속적인 결빙방지 효과를 발현하여 유지관리 비용이 감축 가능함.
- 초소수성 시멘트 복합체는 표면의 얼음과 눈을 완전히 제거하기 보다는 표면과 얼음의 접착력을 약화시켜 결빙 의한 사고발생을 억제시키는데 초점을 맞추어 환경오염 없이 경제적인 시공이 가능
- 국내 초소수성 재료 시장은 5,000억 원 이상 예상되며 전기전자 산업의 지문방지와 방오성 코팅분야가 1,000억 원, 도로 산업 분야의 방수/방오분야가 1,200억 원, 섬유 산업분야의 발수 발유가공분야가 800억 원, 기타 광학렌즈를 포함한 산업분야의 소수성 표면개질분야가 1,000억 원의 시장을 형성하고 있음
- 주요 내외장재의 시장 규모를 보면 2015년 현재 외장재, 패널강판, 사이딩, 지붕재, 천장재, 창호재 규모가 10조 규모이며 매년 증가율이 평균 7%이상의 증가율을 적용
- 중국 및 동남아 진출 국내 건설업체의 질적인 향상과 단순한 가격경쟁이 아닌 신 기능성 초발수 건설재료 제품의 개발이 적용된다면 새로운 시장의 창출을 통하여 세계시장을 선점 가능
- 초발수성에 의한 방오염 기술에 대한 국내 제품 출시 및 성능이 입증되면 향후 국내시장의 활성화는 물론이고 수출도 10배 이상으로 예측될 만큼 수요가 확대될 것으로 예상
- 나노재료를 기반으로 극한환경에서의 얼음과 눈 제거 효율을 향상시킬 수 있는 기술을 확보하여 건설과 신기술간의 융합기술 개발을 통해 건설재료 분야의 성장 동력을 확보
- 콘크리트 구조물의 강도향상과 효과적인 유지관리가 가능해 질 것이며 콘크리트 구조물의 장수명화로 이어짐
- 콘크리트 구조물의 장수명화는 이산화탄소 배출량 감소에 효과

○ 사회적 측면

- 생활안전을 위한 건축자재, 교통 표지판 등 여러 건설산업의 다양한 분야에 걸쳐 매우 광범위한 파급효과 기대
- 나노기술 기반 다기능 건설핵심기술 확보를 통해 건설 분야의 글로벌 리더에 진입
- 건설신소재 분야 연구의 패러다임을 선진국 추종형에서 창의적이고 도전적인 융합성 선도연구로 전환
- 미래 건설신소재로 세계시장 선점이 가능한 고부가가치의 기능화 된 건설재료 활용 원천기술을 확보
- 관련 차세대 건설재료 분야의 해외 의존도를 최소화하며 국내 창조형 체제로 전환하고 이로 인한 신규 일자리 창출기대

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 블랙아이스에 의한 도로 안전사고 예방 활용

- 도로안전 아이스포빅 시멘트 복합체는 최근 들어 급증하고 있는 블랙아이스에 의한 사고발생을 친환경적 이면서 경제적으로 예방할 수 있는 기술
- 서리·결빙 상태의 전국 도로에서 발생한 사고는 2014년부터 2018년까지 약 1300건으로 집계되며 5년간 사망자는 198명, 부상자는 1만1837명으로 나타남.- 도로교통공단 ‘5년간 도로 노면 상태별 교통사고’
- 블랙아이스와 같은 노면결빙을 방지하는 기술은 현재 노면을 가열하는 방법, 노면에 염화물을 살포하는 방법, 지열을 이용한 방법, 지하의 저수조를 이용하는 방법 등이 개발되고 있음.
- 현재 결빙방지를 위하여 가장 많이 채택하는 방식은 염화물 살포 방식으로 도로의 여건의 구애가 적고 가역하는 기술에 비해 비용적 측면에서 경제적이거나 염화칼슘 사용으로 인한 부작용이 발생하고 있음.
- 아이스포빅 시멘트 복합체 도로는 도로포장의 얼음과 눈을 완전히 제거하기 보다는 도로포장과 얼음의 접착력을 약화시켜 블랙아이스에 의한 사고발생을 억제시키는데 초점을 맞추어 환경오염 없이 경제적인 시공이 가능

○ 빙판길 생활 안전사고 예방 활용

- 도로안전 아이스포빅 시멘트 복합체는 동절기 빙판길 낙상에 의한 생활 안전사고를 예방할 수 있는 보도 블록, 계단, 지붕, 경사로 등의 건설자재로 활용 가능
- 아파트 출입구 빙판에 넘어진 경우 아파트관리업체와 소장이 30% 공동책임을 져야 한다는 판례 (서울중앙지법 2015가단5230887)
- 동절기 공동주택관리주체는 강설이나 결빙 등에 따른 위험성에 비례해 사회통념상 일반적으로 요구되는 안전성을 갖춰야 한다고 판시
- 만 65세 이상 고령자 안전사고 사례를 분석한 결과 일상생활을 영위하는 주거공간인 ‘주택’이 60.5%(3,506건)로 대부분을 차지

○ 셀프클리닝(Self-Cleaning) 건축자재 활용

- 건축자재에 초친수성 피막을 형성하여 배기가스나 매연, 모래, 미세먼지, 황사 등 오염물을 빗물 등 흐르는 물에 의하여 스스로 자정능력을 가지는 셀프클리닝(Self-Cleaning) 건축자재 활용가능
- 1990 년대 후반 재료표면의 초소수성(super hydrophobic)이 발견되면서 일본을 중심으로 셀프클리닝 기능성 재료(특히건축자재)개발이 대단히 활발하게 진행되어 오고 있음
- 2014년형 일본 닛산은 유럽형 모델 닛산 노트 슈퍼미니에 초소수성 ‘울트라 에버 드라이’ 페인트를 코팅해 세차가 필요 없는 셀프클리닝 기술을 도입
- 우리나라도 이제는 삶의 질이 크게 높아짐에 따라 깨끗하고 쾌적하며 위생적인 주거 및 (빌딩등) 생활 공간에 대한 국민적 관심이 점점 더 커지고, 셀프클리닝을 적용한 타일, 유리등과 같은 고기능성 친환경 건축자재에 대한 수요가 크게 증대될 것으로 예상됨.

○ 사업화 전략

○ 목표 시장 현황

- 국토교통부 2020년 예산을 살펴보면 지출규모는 50.1조로서 전년대비 16% 상승하였고 2020년 국토부 예산 특징 중의 하나로서 도로결빙방지와 같은 건설안전 투자에 매년 지속적으로 증가시켜 2020년에는 4.8조가 편성되었음
 - ※ 특히 최근 ‘블랙 아이스(도로 표면에 생기는 얇은 빙판)’ 등 겨울철 도로 교통사고가 잇따라 발생하면서 정부가 예산을 투입해 자동염수분사시설을 설치하기로 함.
 - ※ 일반국도 도로포장 1,800km를 보수하고, 지난 14일 연쇄추돌사고를 일으킨 상주~영천 고속도로의 블랙아이스나 겨울철 적설·결빙으로 인한 교통사고를 예방하기 위해 안전 취약 구간인 고갯길, 교량, 또는 터널 입출구 등에 자동으로 제설용 염수를 뿌리는 염수분사시설을 설치하기로 함
- 국내 블랙아이스로 인한 교통사고가 급증함에 따라 초기설치 후 지속적인 투자가 필요하지 않은 아이스포빅 결빙방지기술이 보급 가능할 것 판단됨.



[그림] 사업화 목표시장

○ 시장 진입장벽

- 현장 활용실적 부족으로 인한 기술 신뢰도 구축 필요

※ 초소수성의 특성을 갖고 포장도로와 얼음의 접착력을 약화시켜 눈 및 얼음의 제거효율을 향상시킴으로서 블랙아이스에 의한 사고 발생을 예방하는 아이스포빅 도로포장체는 친환경적이고 경제적인 도로안전기술로서 선진외국에서 활발하게 연구개발되고 있으나 국내의 경우 기술도입이 이루어지지 않고 있어 기술축적이 전무한 상태임

- 초소수성 소재의 국내 원천 제조기술 부재

※ 아이스포빅 도로포장체의 핵심기술은 초소수성 에멀전 소재의 합성기술로서 국내의 원천기술 수준이 현재까지는 부족하고 주요 글로벌 회사들의 초소수성 에멀전을 기반으로 포물레이션 기술을 개발하고 함.

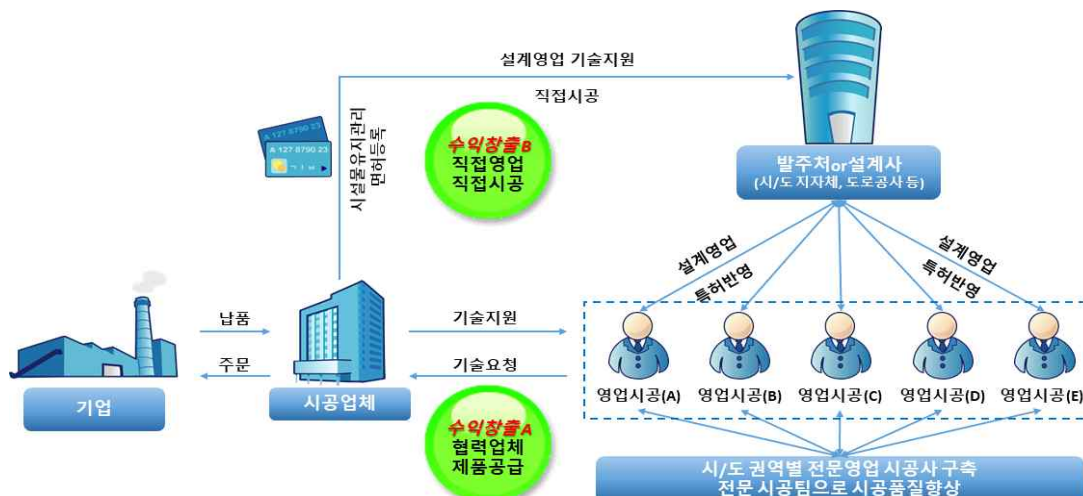
○ 수익 확보 전략

- 주요 고객군

※ 관공서 및 설계업체, 도로포장 시공업체

※ 기존 결빙방지 기술을 적용하려는 고객군에게 가격경쟁력이 우수하고 친환경적인 아이스포빅 도로포장체를 지방자치단체, 한국도로공사 등의 관공서와 이를 적용할 수 있는 설계업체, 도로포장 시공업체 등을 대상으로 기술소개 및 마케팅 추진 예정

- 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안



[그림] 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

< 참고문헌 >

1. Oh, H.; Kim, Y.; Jang, N. Strength and durability characteristics of MPC mortar used for repairing concrete pavements. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* 2019, 19, 185–193.
2. Lee, B.D.; Choi, Y.S.; Kim, Y.G.; Choi, J.S.; Kim, I.S. A study on the durability improvement of highway-subsidiary concrete structure exposed to deicing salt and freeze-thaw. *J. Korea Inst. Struct. Maint. Insp.* 2016, 20, 128–135.
3. Cho, Y.I.; Hong, K.N.; Kim, M.S.; Park, J.K. Effect of curing temperature on mechanical properties of polymer mortar for urgent repairing. *J. Korean Soc. Saf.* 2016, 31, 109–116.
4. Wang, W.; Wang, S.; Yao, D.; Wang, X.; Yu, X.; Zhang, Y. Fabrication of all-dimensional superhydrophobic mortar with enhanced waterproof ability and freeze-thaw resistance, *Constr. Build. Mater.* 2020, 238, 117626.
5. Song, J.; Li, Y.; Xu, W.; Liu, H.; Lu, Y. Inexpensive and non-fluorinated superhydrophobic concrete coating for anti-icing and anti-corrosion. *J. Colloid Interface Sci.* 2019, 541, 86–92.
6. Flores-Vivian, I.; Hejazi, V.; Kozhukhova, M.I.; Nosonovsky, M.; Sobolev, K. Self-assembling particle-siloxane coatings for superhydrophobic concrete. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2013, 5, 13284–13294.
7. Zhu, C.; Lv, J.; Chen, L.; Lin, W.; Zhang, J.; Yang, J.; Feng, J. Dark, heat-reflective, anti-ice rain and superhydrophobic cement concrete surfaces. *Constr. Build. Mater.* 2019, 220, 21–28.
8. Zhu, J.; Liao, K. A facile and low-cost method for preparing robust superhydrophobic cement block. *Mater. Chem. Phys.* 2020, 250, 123064.
9. Falchi, L.; Zendri, E.; Müller, U.; Fontana, P. The influence of water-repellent admixtures on the behaviour and the effectiveness of Portland limestone cement mortars. *Cem. Concr. Compos.* 2015, 59, 107–118.
10. Tittarelli, F.; Carsana, M.; Ruello, M.L. Effect of hydrophobic admixture and recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability aspects of no-fines concrete. *Constr. Build. Mater.* 2014, 66, 30–37.
11. Zhang, P.; Zhao, T.J.; Dai, J.G.; Guo, P.G. Experimental study of the water repellency and chloride resistance of modified concrete with silane. *China Civ. Eng. J.* 2011, 44, 72–78.
12. Yang, J.; She, W.; Zuo, W.; Zhang, Q. Rational application of nano-SiO₂ in cement paste incorporated with silane: Counterbalancing and synergistic effects. *Cem. Concr. Compos.* 2021, 118, 103959.
13. Sharma, P.; Sharma, N.; Singh, P.; Verma, M.; Parihar, H.S. Examine the effect of setting time and compressive strength of cement mortar paste using iminodiacetic acid. *Mater. Today Proc.* 2020, 32, 878–881.
14. Maravelaki-Kalaitzaki, P. Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry. *Cem. Concr. Res.* 2007, 37
15. Venkatesh, C.; Nerella, R.; Chand, M.S.R. Role of red mud as a cementing material in concrete: A comprehensive study on durability behavior. *Innov. Infrastruct. Solut.* 2021, 6, 1–14.
16. Hanif, A.; Parthasarathy, P.; Ma, H.; Fan, T.; Li, Z. Properties improvement of fly ash cenosphere modified cement pastes using nano silica. *Cem. Concr. Compos.* 2017, 81, 35–48.
17. Tsivilis, S.; Kakali, G.; Chaniotakis, A.; Souvaridou, A. Study on the hydration of Portland limestone cement by means of TG. *J. Therm. Anal.* 1998, 52, 863–870.
18. Ramachandran, V.S. Thermal analyses of cement components hydrated in the presence of calcium carbonate. *Thermochim. Acta* 1988, 127, 385–394.
19. Li, W.; Wittmann, F.H.; Jiang, R.; Zhao, T.; Wolfseher, R. In *Metal Soaps for the Production of Integral*

- Water Repellent Concrete, Proceedings of the Hydrophobe VI, Rome, Italy; Borelli, E., Fassina, V., Eds.; Aedificatio Publisher: Rome, Italy, 2011; pp. 45–154.
20. Alhozaimey, A.; Fares, G.; Al-Negheimish, A.; Jaafar, M.S. The autoclaved concrete industry: An easy-to-follow method for optimization and testing. *Constr. Build. Mater.* 2013, 49, 184–193.
 21. Chen, Y.; Wang, R.; Wang, H.; Hu, F.; Jin, P. Study on PVA-siloxane mixed emulsion coatings for hydrophobic cement mortar. *Prog. Org. Coat.* 2020, 147, 105775.
 22. Lanzon, M.; Garcia-Ruiz, P.A. Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars, made with powdered waterproofing additives. *Constr. Build. Mater.* 2009, 23, 3287–3291.
 23. Song, M.G.; Kim, J.Y.; Kim, J.D. Effect of sodium stearate and calcium ion on dispersion properties of precipitated calcium carbonate suspensions. *Colloid Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 2003, 229, 75–83.
 24. Bader, T., Waldner, B. J., Unterberger, S. H., & Lackner, R. (2019). On the performance of film formers versus penetrants as water-repellent treatment of High-Performance Concrete (HPC) surfaces. *Construction and Building Materials*, 203, 481–490.
 25. Bhushan, B., & Jung, Y. C. (2011). Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. *Progress in Materials Science*, 56(1), 1–108.
 26. Chen, H., Feng, P., Du, Y., Jiang, J., & Sun, W. (2018). The effect of superhydrophobic nano-silica particles on the transport and mechanical properties of hardened cement pastes. *Construction and Building Materials*, 182, 620–628.
 27. Gao, M. L., Zhao, S. Y., Chen, Z. Y., Liu, L., & Han, Z. B. (2019). Superhydrophobic/Superoleophilic MOF Composites for Oil-Water Separation. *Inorganic chemistry*, 58(4), 2261–2264.
 28. Kim, W. S., & Lee, H. S. (2020). Mechanical Properties and Absorption of Mortars Containing Hybrid Water-Repellent. In *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference* (pp. 88–89). The Korean Institute of Building Construction.
 29. Kim, W. S., Yang, H. M., Kim, Y. K., & Lee, H. S. (2019). An Experimental Study on Physical Properties and Water Repellent Performance of Cement Mortar According to Mixing Method of Water Repellent. In *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference* (pp. 99–100). The Korean Institute of Building Construction.
 30. Kobayashi, K., & Kojima, Y. (2017). Effect of fine crack width and water cement ratio of SHCC on chloride ingress and rebar corrosion. *Cement and Concrete Composites*, 80, 235–244.
 31. Li, Y., Zheng, M., Ma, L., Zhong, M., & Shen, W. (2008). Fabrication of hierarchical ZnO architectures and their superhydrophobic surfaces with strong adhesive force. *Inorganic chemistry*, 47(8), 3140–3143.
 32. Liu, H., Zhang, Q., Gu, C., Su, H., & Li, V. C. (2016). Influence of micro-cracking on the permeability of engineered cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 72, 104–113.
 33. Liu, S., Yang, J., Chen, X., Yang, G., & Cai, D. (2018). Application of mastic asphalt waterproofing layer in high-speed railway track in cold regions. *Applied Sciences*, 8(5), 667.
 34. Liu, K., & Jiang, L. (2012). Bio-inspired self-cleaning surfaces. *Annual Review of Materials Research*, 42, 231–263.
 35. Ma, Z., Zhu, F., & Zhao, T. (2018). Effects of surface modification of silane coupling agent on the properties of concrete with freeze-thaw damage. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(2), 657–669.
 36. Oltulu, M., & Şahin, R. (2014). Pore structure analysis of hardened cement mortars containing silica fume and different nano-powders. *Construction and Building Materials*, 53, 658–664.
 37. Safiuddin, M., & Soudki, K. A. (2015). Water vapor transmission and waterproofing performance of concrete sealer and coating systems. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(7), 837–844.
 38. Safiuddin, M. (2017). Concrete damage in field conditions and protective sealer and coating systems.

39. Soudki, K. A., Safiuddin, M., Jeffs, P., MacDonald, G., & Kroker, M. (2015). Chloride penetration resistance of concrete sealer and coating systems. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(4), 492–502.
40. Vazirinasab, E., Jafari, R., & Momen, G. (2018). Application of superhydrophobic coatings as a corrosion barrier: A review. *Surface and Coatings Technology*, 341, 40–56.
41. Wang, L., & Li, S. (2014). Capillary absorption of concrete after mechanical loading. *Magazine of concrete research*, 66(8), 420–431.
42. Wang, W., Wang, S., Yao, D., Wang, X., Yu, X., & Zhang, Y. (2020). Fabrication of all-dimensional superhydrophobic mortar with enhanced waterproof ability and freeze-thaw resistance. *Construction and Building Materials*, 238, 117626.
43. Wu, S., Cao, H., Yin, S., Zhang, X., & Chernow, V. (2009). Biomineralization and superhydrophobicity of BaCO₃ complex nanostructures. *Inorganic chemistry*, 48(21), 10326–10329.
44. Zheng, S., Li, C., Fu, Q., Li, M., Hu, W., Wang, Q., ... & Chen, Z. (2015). Fabrication of self-cleaning superhydrophobic surface on aluminum alloys with excellent corrosion resistance. *Surface and Coatings Technology*, 276, 341–348.
45. Kim YS, Yang SD, Yoo JK, Oh SK. An experimental study on the water repellent property of mortar applied water repellent agent of inorganic polymer type. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 2002 Apr;22(1):273–6.
46. Ryu JH, Shon MS. Evaluation of water resistance of penetrating water repellency for scaling by de-icing agent. *Conference Proceedings of Korea Concrete Institute*. 2015 Oct;401–2.
47. Park MJ, Noh JH. Porosity and abrasion resistance of concrete coated by surface enhanced type water repellent. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 2019 Jul;23(4):31–6. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2019.23.4.31>
48. Kanda T, Victor CL. Interface property and apparent strength of high-strength hydrophilic fiber in cement matrix. *Journal of materials in civil engineering*. 1998 Feb;10(1):5–3. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1998\)10:1\(5\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:1(5))
49. Sun HY, Yuan ZY, Yang GL, Shan GL, Shen MX. Status and prospect of test methods of quality silicone water repellent for protecting reinforced concrete. *Corrosion Science and Technology*. 2017 Jun;16(3):141–50. <http://dx.doi.org/10.14773/cst.2017.16.3.141>
50. Boesel LF, Reis RL. A review on the polymer properties of hydrophilic, partially degradable and bioactive acrylic cements(HDBC). *Progress in polymer science*. 2008 Feb;33(2):180–90. <http://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.09.001>
51. Pallapothu, Swamy NRG, Garje RK, Madduru Sri RC, Pancharathi, Rathish K. Influence of hydrophilic compounds on the performance of recycled aggregate concretes. *Journal of sustainable cement-based materials*. 2017 Jan;6(5):332–44. <https://doi.org/10.1080/21650373.2017.1280429>
52. Zeng Q ,Li K ,Fen CT ,Dangla P. Analysis of pore structure, contact angle and pore entrapment of blended cement pastes from mercury porosimetry data. *Cement and Concrete Composites*. 2012 Oct;34(9):1053–60. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.005>
53. Tian Q, Zhang H, Wang YJ, Guo F, Yao T, Liu JP. Determining the contact angle of hardened cement paste using thin layer wicking method. *Key Engineering Materials*. 2013 Jan;539:184–8. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.539.184>
54. Kim TY, Jeong J, Chung Id. Preparation of superhydrophobic surfaces using agglomeration control of silicananoparticles by organic solvent and non-fluoride self-assembled monolayers. *Journal of Adhesion*

- and Interface. 2015 Sep;16(3):116–21. <https://doi.org/10.17702/jai.2015.16.3.116>
55. Adolphs J, Setzer MJ, Heine P. Changes in pore structure and mercury contact angle of hardened cement paste depending on relative humidity. *Materials and Structures*. 2002 Sep;35(252):477–86. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02483135>
 56. Song KW, Chen GF, Zhang H, Shi CL, Yang J. Mechanism research of drying shrinkage of cement pastes based on the contact angle. *Applied Mechanics and Materials*. 2014 Oct;670–671:391–5. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.670-671.391>
 57. Klein NS, Bachmann J, Aguado A, Toralles CB. Evaluation of the wettability of mortar component granular materials through contact angle measurements. *Cement and concrete research*. 2012 Dec;42(12):1611–20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.001>
 58. Spaeth V, Lecomte JP, Delplancke MP, Orlowsky J, Buttner T. Impact of silane and siloxane based hydrophobic powder on cement-based mortar. *Advanced Materials Research*. 2013 Apr;687:100–6. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.687.100>
 59. Collodetti G, Gleize PJP, Monteiro PJM. Exploring the potential of siloxane surface modified nano-SiO₂ to improve the Portland cement pastes hydration properties. *Construction and Building Materials*. 2014 Mar ;54:99–105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.028>
 60. Meng X, Yoshida K, Taira Y, Kamada K, Luo X. Effect of siloxane quantity and pH of silane coupling agents and contact angle of resin bonding agent on bond durability of resin cements to machinable ceramic. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2011 Feb;13(1):71–8. <http://dx.doi.org/10.3290/j.jad.a20179>
 61. Feng Z, Fajun W, Xie T, Ou, J, Xue M, Li W. Integral hydrophobic concrete without using silane. *Construction and Building Materials*. 2019 Dec;227:116678. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116678>
 62. Baltazar L, Rodrigues MP, Correia JR. Hydrophobic protection for concrete: Short-term performance and durability. *Restoration of Buildings and Monuments*. 2013 Dec;19(4):267–78. <http://dx.doi.org/10.1515/rbm-2013-6607>
 63. Li Z, Lu D, Gao X. Analysis of correlation between hydration heat release and compressive strength for blended cement pastes. *Construction and Building Materials*. 2020 Nov;260:120436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120436>
 64. Kim JH, Kitagaki, R. Behavior of hydrates in cement paste reacted with silicate-based impregnant. *Cement and Concrete Composites*. 2020 Nov;114:103810. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103810>
 65. Kang S.P. Hong S.U. Kang, H.J. Yang, S.H. Water Repellent Characteristics of Cement Paste Added Silane/siloxane-based emulsion water repellent, *J. Korea Inst. Build. Constr.* 2021, 21(1), 31–39
 66. 11. Kim, W. S., Yoon, C. B., Cho, I. S., Lee, H. S. Material Properties Evaluation of Cement Mortar Mixed with Organic/Inorganic Combined Water-repellent. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, December 2020, 24(6), 50–58
 67. Li, W. Wittmann F.H. Jiang R. Zhao T. Wolfseher R. Metal soaps for the production of integral water repellent concrete. In: Borelli E, Fassina V, editors. *Proceedings of hydrophobe VI*. Rome: Aedificatio Publisher 2011. p. 45–154.
 68. Pan T. Zhiguang G. Bioinspired silica-based superhydrophobic materials, *Applied Surface Science*, 2017, 426, 1–18

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.