

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명				국토교통기술사업화지원	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명					
공고번호	공고-제38호				총괄연구개발 식별번호				-		
					연구개발과제번호				20TBIP-C144472-03		
국가과학기술 표준분류	E10408	50%	EH1406		30%	EI1102		20%			
총괄연구개발명	국문	-									
	영문	-									
연구개발과제명	국문	순환자원을 90%이상 활용하는 원가절감형 노후 저수지 보강용 지반고화재 상용화 및 제조시스템개발									
	영문	Commercialization and manufacturing system development of low-cost type soil stabilizer using Recycled Resources over used 90%									
주관연구기관	기관명	㈜대웅				사업자등록번호	417-81-31729				
	주소	(59601)전남 여수시 읍촌면 여순로 827				법인등록번호	206211-0029641				
주관연구책임자	성명	윤성진				직위	연구소장				
	연락처	직장전화	070-4280-8235			휴대전화	010-3436-8416				
		전자우편	jiniyoon9@gmail.com			국가연구자번호	10058051				
연구개발기간	전체	2018. 04. 01 - 2021.06. 30(3년 3개월)									
	1년차	2018. 04. 01 - 2018. 12. 31(1년 9개월)									
	2년차	2019. 01. 01 - 2019. 12. 31(1년 12개월)									
	3년차	2020. 01. 01 - 2021. 06. 30(1년 6개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()		합계			연구개발비 외 지원금		
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계			
총계	1,415,000	97,400	861,600	-	-	-	-	97,400	861,600	2,374,000	-
1년차	200,000	13,400	120,600	-	-	-	-	213,400	120,600	334,000	-
2년차	315,000	24,000	201,000	-	-	-	-	339,000	201,000	540,000	-
3년차	900,000	60,000	540,000	-	-	-	-	960,000	540,000	1,500,000	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
						역할		기관유형			
공동연구기관	㈜지안산업	서세관	연구소장	010-3394-8528	ssg@gmail.com						
위탁연구기관											
연구기관 외 기관											
연구개발담당자	성명	임나영				직위	주임				
실무담당자	연락처	직장전화	061-692-4777			휴대전화	010-3149-4042				
		전자우편	dw4777@hanmail.net			국가연구자번호	11661094				

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

2021년 08월 30 일

주관연구책임자 : 윤 성 진

주관연구기관의 장 : ㈜대웅 김 이 진

국토교통과학기술진흥원장 귀하



< 요약 문 >

사업명		국토교통기술사업화 지원			총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명					연구개발과제번호		20TBIP-C144472-03	
국가과학기술 표준분류		EI0408	50%	EH1406	30%	EI1102	20%	
총괄연구개발명		-						
연구개발과제명		순환자원을 90%이상 활용하는 원가절감형 노후 저수지 보강용 지반고화재 상용화 및 제조시스템 개발						
전체 연구개발기간		2018. 04. 01. - 2022. 06. (3년 6개월)						
총 연구개발비		총 2,374,000 천원 (정부지원연구개발비 : 1,415,000천원, 기관부담연구개발비 : 959,000천원, 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		실용화						
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		순환자원을 90% 이상 활용하는 원가절감형 노후저수지 보강용 지반 고화재 상용화 및 제조시스템 개발					
	전체 내용		재활용율이 저조한 비철 정련슬래그 및 순환자원을 90%이상 활용하고, 친수환경에 유 해한 중금속 물질을 용출시킬 수 있는 보통포틀랜드시멘트(OPC)의 사용을 배제하는 환 경 친화적이고 원가경쟁력을 확보한 지반고화재를 개발하고, 노후저수지 보강공법에 적 용하여 개발제품의 사업화를 성공적으로 이루고자 한다.					
	1년차	목표	비즈니스모델수립 기존 기술 개선 및 검증 개발기술 적용성 검증 및 검증용 장비 제작					
		내용	비즈니스 모델 수립, 매입원가표 및 배합표 제시 시제품 제조기술 개발, 시제품 안전성 검증 지반고화재 납품 현장을 활용한 시험시공(현장시공성 검증) 개발기술의 실험 실 및 현장검증을 위한 장비 제작					
	2년차	목표	대량양산체계 시범구축 개발기술 개선 및 검증 및 적용성 검증 마케팅 및 홍보 전략 수립					
		내용	개발 제품 생산을 위한 pilot plant 설치 친수환경에서의 장기 성능 평가, 환경조건에 따른 장기 성능 평가 및 다양한 지반조건 에 대한 프로그램 해석 실시 시험시공, 외부기관을 통한 현장 성능 평가 및 장기모니터링 마케팅 전략 수립 및 양산, IR 자료 작성, 녹색기술 인증 획득					
	3년차	목표	판로개척, 범용성 및 적용성 검증, 개발 기술 평가					
		내용	개발 기술의 다양한 지반 보강공법 및 OPC 대체 적용성 검토 개발 기술의 타 공법 적용 및 성능 평가 시험 시공 현장의 장기 모니터링 및 인증 신청					
연구개발성과			1. 노후저수지 보수·보강 시공시 원가 절감 및 저수지 사용기간 연장 2. 재활용율이 낮은 저급 순환자원의 새로운 부가가치 창출 및 자원화 3. 친수환경에서 환경영향을 최소화하는 원가절감형 보강재료 개발 4. 기존 보강공법 원가절감 확보. 5. 무시멘트 상온 지반고화재 제조기술 상용화 6. 개발 지반고화재의 타공법 확대적용 가능					
연구개발성과 활용방안 및 기대효과			1. 본 기술개발로 인하여 저활용 순환자원이 새로운 부가가치를 창출할 수 있으며, 기 존 노후 저수지 사용 보강재료에 비하여 가격경쟁력과 친수환경에 환경부하가 적은 재료개발이 가능함. 2. 순환자원을 단순 혼합/가공하는 수준에서 벗어나, 각각의 특성을 가진 원료를 공정 처리를 통해 가공하고 최적비율로 조합하여 고기능성 소재로 개발이 가능하며, 즉, 순환자원을 복합적으로 사용하고 단순한 물리적 치환이 아닌 이들의 화학적 결합을 유도하여 기존 시멘트 대체 기술 확립가능.					

연구개발성과 활용방안 및 기대효과	3. 기존 시멘트 대신에 연약지반의 보강하는 기술은 선진국에서도 개발된 적이 없는 국내 고 유기술로서 향후 더욱 더 지반에 대한 환경 안정성이 부각되는 시점에 반드시 필요한 소재 가 될 것으로 예상되어 향후 동남아시아등 해외로 기술 이전이 가능할 것으로 판단됨.											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	1	2		1		6						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	순환자원		노후저수지		무시멘트		지반고화재					
영문핵심어 (5개 이내)	Circulation Resources		Aged Reservoir		Non-cement		Soil Stabilizer					

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	4
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	79
4. 목표 미달 시 원인분석(해당사항 없음)	89
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	90
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	91
참고문헌	93

별첨자료

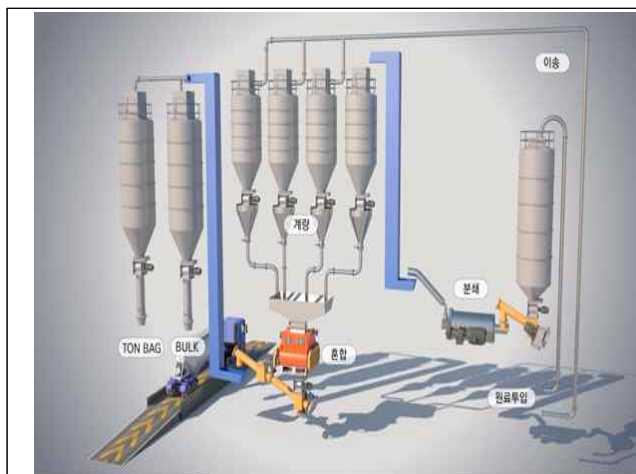
- 부록 1. 비즈니스모델 및 마케팅전략 보고서(전문가 검증의견 첨부)
- 부록 2. 기술가치 평가 보고서
- 부록 3. 성과증빙
- 부록 4. 시험시공 증빙

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발과제의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	순환자원을 90%이상 활용하는 원가절감형 노후 저수지 보강용 지반고화재 상용화 및 제조시스템 개발
세부 목표	- 순환자원을 90%이상 활용하는 원가절감형 지반고화재 개발 - 제철 공정 슬래그를 10%이상 적극 활용하는 원가절감형 지반고화재 개발 - 총순환자원 활용률 90%이상 활용 확보 - 기존 시멘트계 제품대비 동등 이상의 품질성능 확보 - 시멘트계 제품 대비 80%이하 원가 경쟁력 확보 - 환경 기준 성능 확보 - 개발 지반고화재 제조시스템 개발 - 제철 공정 슬래그 및 순환자원의 발생처별 발생원별 DB구축 - 제철 공정슬래그 및 순환자원의 전처리 시설 확보 - 개발 지반고화재 PILOT PLANT 설치 및 시제품 생산(10ton/hr) - 생산 시제품의 품질안정화 방안 확립 - 개발 지반고화재의 저수지 보강공법의 실내 및 현장 적용성 검증 - 다양한 저수지 보강공법별 적용방안 및 적용성능 검증 - 원심모형시험 및 진동대 모형시험을 통한 적용성능 검증 - 노후 저수지 현장 적용성 검증 및 모니터링 실시 - 개발 지반고화재의 공인성능인증 획득 - 실내시험 및 현장적용을 통한 결과를 토대로 녹색인증 및 환경표지 등의 객관적인 공인성능인증 획득

○ 사업화 대상 기술의 개념도



<개발 지반고화재의 청정제조공정 모식도>



NaOH, KOH 및 함유된 알칼리 자극제 사용에 따른 정제성 저감, 작업권 작업자의 화상, 급전에 따른 사공문, 자극제 잉여량의 높은 pH로 주변 환경오염에 심각한 수준

<기존 알칼리 자극제 사용의 부작용>

- 개발 지반고화재 제조시 고온의 소성(1,400℃)과정이 필요 없는 청정제조공정으로 개발제품을 생산할 수 있으며, 환경적으로 검증된 순환자원을 활용하여, 기존 노후 저수지 보강의 주재료인 시멘트의 6가크롬 용출 및 친수환경에 대한 환경부하에 대하여 원천적으로 대응할 수 있음.

- 고가의 기존 액상형 알칼리 자극제(규산소다, 소듐 실리케이트, 규산 칼륨 등)의 전량 대체 기술을 확보하여, 고가의 시약류 자극제가 아닌, 저가의 순환자원인 Free CaO가 다량 함유된 발열성

연소재를 슬래그의 알칼리 및 황산염 복합 자극제로 활용하는 기술로 원가절감형 지반고화재 제조 기술임.

○ 국내외 유사기술과 수준 비교

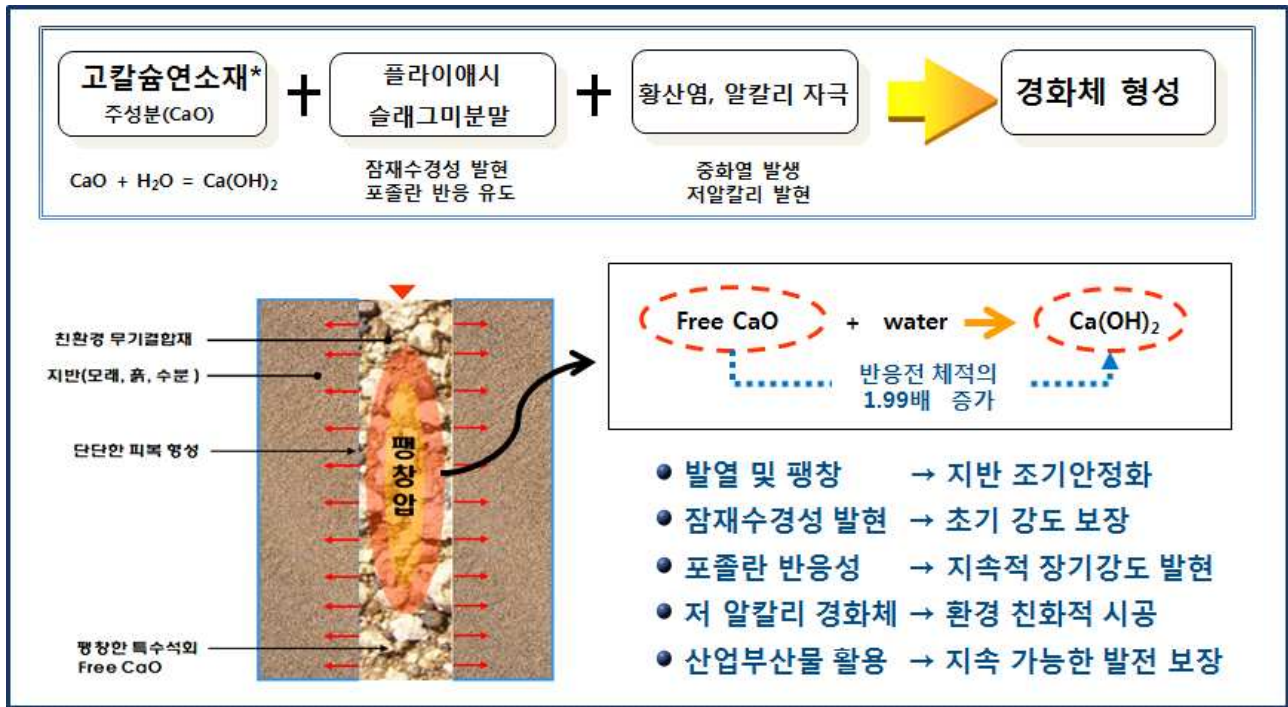
구 분	개발제품	기존제품(OPC)
▪ 기능/성능	투수계수 $4 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ (이하)	투수계수 $4 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ (이하)
▪ 장점	■ 순환자원 사용으로 환경보호 ■ 순환자원 활용으로 경제성 확보 ■ 비 소성공정으로 온실가스 배출 배제 ■ 수변지역 중금속 용출 우려 없음	■ 전국 동일 단가 적용 ■ 적용실적 다수
▪ 단점	■ 원거리 납품 시 운송비 과다 우려 ■ 수요자 인식 부족	■ 생산과정에서 온실가스 다량배출 ■ 수변지역 사용시 중금속 용출 가능 ■ 낮은 경제성
▪ 경제성 (납품가)	65,000(원/톤)	75,000(원/톤)

○ 사업화 대상 기술의 우수성에 대한 상세 설명 및 근거

- 개발 지반고화재의 주원료는 유리석회(Free CaO) 및 SO_3 가 다량 함유된 저품위 플라이애시로 기존 콘크리트 혼화재로 사용되는 상품위 플라이애시(F급) 기준(KS L 5405)에 부적합한 순환자원이며, 이에 따라 그 활용처가 매우 제한적인 단점이 있음.
- 그러나 유리석회(Free CaO) 및 SO_3 가 다량 함유된 플라이애시를 제철산업 순환자원인 고로슬래그와 함께 지반에 사용하게 되면 고로슬래그의 잠재수경성을 발현시키는 자극제로 적용이 가능하며, 강도발현에 필수적인 에트린자이트의 생성을 촉진하게 되어 지반의 강도개선이 가능하게 됨.
- 저품위 플라이애시와 제철산업 순환자원이 고로슬래그를 활용하여 지반보강공사에 대량적용이 가능하며, 자원순환사회 구축에 일조할 수 있을 뿐만 아니라, 저가의 순환자원을 사용하여 원가절감형 지반보강용 고화재 제조가 가능함.

<KS L 5405 플라이애시의 품질기준>

항목	종 류			
	플라이애시 1종	플라이애시 2종	플라이애시 3종	플라이애시 4종
이산화규소(%)	45.0 이상	45.0 이상	45.0 이상	45.0 이상
수분(%)	1.0 이하	1.0 이하	1.0 이하	1.0 이하
강열감량(%)	3.0 이하	5.0 이하	8.0 이하	5.0 이하
밀도(g/cm^3)	1.95 이상	1.95 이상	1.95 이상	1.95 이상
유리 CaO	2.5 이하	2.5 이하	2.5 이하	2.5 이하
반응성 CaO	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
SO_3 (%)	3.5 이하	3.5 이하	3.5 이하	3.5 이하



<기술개발 제품의 지반고화 메커니즘>

나. 연구개발과제의 년차별 목표

구분 (연도)	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	성과물
1차 연도 (2018)	■ 비즈니스모델 수립	■ 주관연구기관((주)대웅)에서 외부 위탁용역을 통한 비즈니스 모델 수립 ■ 매입원가표 및 배합표 제시	■ BM 보고서 1부
	■ 기존기술 개선 및 검증	■ 주관연구기관((주)대웅)에서 외부 전문기관을 통한 시제품 제조기술 개발 ■ 공동연구기관((주)지안산업)에서 외부 전문기관을 통한 시제품 안전성 검증	■ 공인시험성적서 ■ 매출액 5억 달성
	■ 개발기술 적용성 검증	■ 주관 연구기관((주)대웅)에서 지반고화제 납품 현장을 활용한 시험시공 2회(현장시공성 검증) ■ 공동 연구기관((주)지안산업)에서 지반고화제 납품 현장을 활용한 시험시공 4회(현장시공성 검증)	■ 시험시공 사진 ■ 공인시험성적서
	■ 개발기술 검증용 장비제작	■ 주관 연구기관((주)대웅)에서 개발기술의 실험실 및 현장검증을 위해 장비제작	■ 시험장비 견적서 ■ 시험장비 설계도 ■ 시험장비 사진
2차 연도 (2019)	■ 대량양산 체계 시범구축	■ 정부출연금 18백만원과 자체부담금 62백만원 등 총 80백만원을 투입하여 주관연구기관((주)대웅)에 개발제품 생산을 위한 PILOT PLANT 설치	■ PILOT PLANT 구축
	■ 개발기술 개선 및 검증	■ 공동 연구기관((주)지안산업)에서 외부 전문기관을 통한 산성, 염기 건설 반복 환경등 극한 환경에서 개발기술의 성능 평가 ■ 공동 연구기관((주)지안산업)에서 외부 전문기관을 통한 친수환경에서의 개발기술의 장기 성능 평가 ■ 공동 연구기관((주)지안산업)에서 다양한 지반조건에 대한 프로그램 해석 실시	■ 공인시험성적서 ■ 매출액 10억 달성
	■ 개발 기술 적용성 검증	■ 공동 연구기관((주)지안산업)에서 지반고화제 납품 현장을 활용한 시험시공과 외부 전문기관을 통한 현장성능 평가 및 장기모니터링	■ 시험시공 사진 ■ 공인시험성적서 ■ 계측보고서
	■ 마케팅 및	■ 주관 연구기관((주)대웅)에서 전문 컨설팅사에 의뢰하여	■ 마케팅 전략 및

	홍보 전략 수립	마케팅 전략 수립 및 양산, IR자료 작성 ▪주관 연구기관((주)대웅)에서 개발제품의 녹색기술인증 획득	IR 보고서 ▪녹색기술인증
3차 연도 (2020)	▪ 개발 기술 판로개척	▪주관 연구기관((주)대웅)에서 외부 전문기관을 통한 개발기술의 다양한 기반보강공법 시멘트(OPC)대체 적용성 검토 ▪주관 연구기관((주)대웅)에서 개발기술의 해외 기술이전 및 제품수출 방안 확립 및 홍보	▪공인시험성적서 ▪매출액 15억 달성
	▪ 개발 기술 범용성 검증	▪주관 연구기관((주)대웅)에서 외부 전문기관을 통한 개발기술의 타 공법(공동채움재, 콘크리트 2차제품 등) 적용 시 성능 평가	▪공인시험성적서
	▪ 개발 기술 평가	▪주관 연구기관((주)대웅)에서 외부 전문기관을 통한 개발기술의 기술가치 평가	▪기술가치평가서
	▪ 개발 기술 적용성 검증	▪공동 연구기관((주)지안산업)에서 2차년도 에 기반고화제 납품 현장을 활용한 시험시공의 외부 전문기관을 통한 장기모니터링	▪계측보고서
	▪사업화 관련 인증 신청(예정)	▪주관 연구기관((주)대웅)에서 신기술(NET) 인증 등 인증신청	▪공인인증서

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	지반고화제 개발	고화도 투수계수	-	$4 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 이하	KSF2322	3
		개발고화제 체적 수축율	-	1%미만		2
		호모겔 압축강도	-	2MPa 이상	KSF2405	2
		개발고화제의 환경영향성 평가	-	생존율 80% 이상	KSI3217	2
			-	고화제 중금속 용출 (기준치 이내)	폐기물공정시험 기준	
			-	고화제 토양오염공정시험 (기준치 이내)	토양오염공정시험기준	
2년차 (2019)	개발고화제의 성능평가 (상용화제품)	투수계수	-	$4 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 이하	KSF2322	7
		호모겔 압축강도	-	2MPa 이상	KSF2405	
	개발고화제의 환경영향성 평가 (상용화제품)	어독성 평가	-	생존율 80% 이상	KSI3217	7
		호모겔 중금속 용출	-	기준치 이내	폐기물공정시험 기준	
		호모겔 토양오염공정시험	-	기준치 이내	토양오염공정시험기준	
3년차 (2020)	개발 고화제의 성능평가(현장적용제품)	현장투수계수	-	$4 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 이하	KSF2322	5
		현장호모겔	-	2MPa 이상	KSF2405	
		유동성(적용처 확대 공동채움재)	-	60sec 이내	KSF4044	
		수중불분리성 확보 (적용처 확대 공동채움재)	-	탁도 50 NTU이하	먹는물 수질공정시험기준 (국립환경과학원고시 제 2021-15)	
	개발 고화제의 환경 영향성 평가 (현장적용 제품)	어독성 실험 (적용처 확대 공동채움재)	-	생존율 80%이상	KSi 3217	5
		중금속 용출 (적용처 확대 공동채움재)	-	기준치 이내	폐기물공정시험기준	
		고화제 토양오염 공정시험 (적용처 확대 공동채움재)	-	기준치 이내	토양오염 공정시험기준	

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가. 신청당시의 기술 수준 및 추가 연구개발 필요성

(1) 신청당시 기술 수준

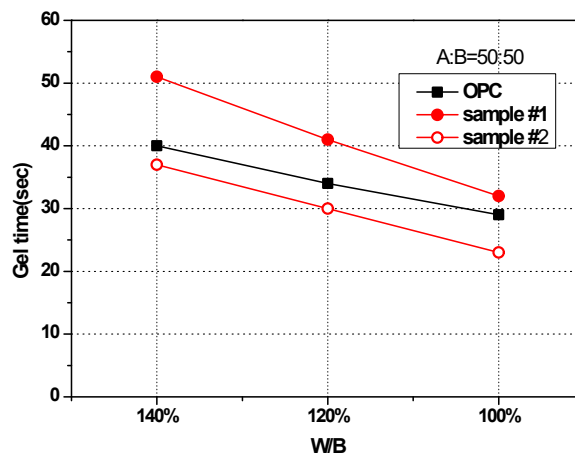
구분		표기	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	☐	【기초실험】 기본원리발견
	TRL 2	☐	【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립
실험 단계	TRL 3	☐	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증
	TRL 4	☐	【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발
시작품 단계	TRL 5	☐	【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증
	TRL 6	■	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발
실용화 단계	TRL 7	☐	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모
	TRL 8	☐	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증
양산 단계	TRL 9	☐	【사업화】 상용제품생산

○ 기존 개발고화재의 실험실급 성능평가 결과

- 기존 개발고화재의 실험실급 성능평가는 밀크주입재의 성능 및 약액의 혼합비율을 도출하기 위하여 겔타임시험과 호모겔강도 시험을 OPC와 함께 실시하여 비교하였으며, 배합은 다음의 시험배합표에 의하여 실시하였음. 시험결과 결합재의 종류에 관계없이 B액의 물-고화재(W/B)가 감소함에 따라 겔타임이 단축되었으며, 강도 또한 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 현장에서 요구되는 겔타임은 규산소다 3호 적용시 40~60초 이내로, sample #1의 겔타임이 가장 큰 값을 보였으며, OPC, sample #2의 순서로 측정됨. 호모겔 강도 측정값을 살펴보면, B액의 물-결합재비에 관계없이 sample #2가 가장 우수한 강도발현 성상을 보이고 있음을 확인하였음.

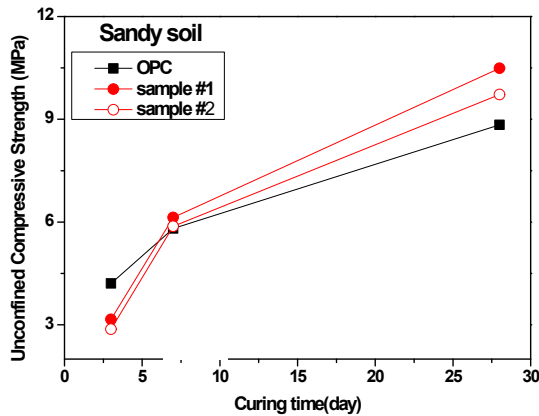
<기존 개발결합재 및 시멘트의 겔타임, 호모겔강도 시험 배합표>

A액 (50L)		B액 (50L)		
규산나트륨(3호)	물	시멘트(결합재)	물	W/B
25L	25L	29kg	41 kg	140
		33kg	40kg	120
		38kg	38kg	100

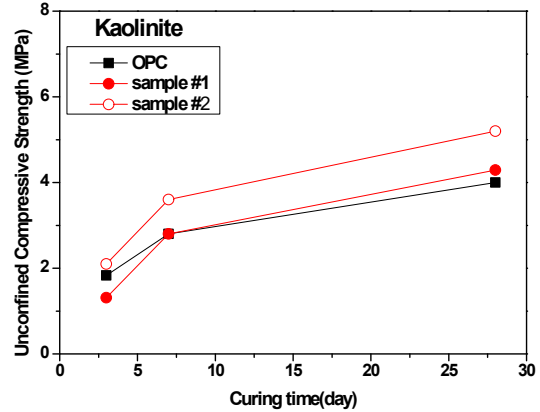


<기존 개발결합재 및 시멘트 W/B별 겔타임 측정결과>

- 지반고화재의 밀크주입재 성능평가를 위하여 표준점토인 Kaolinite와 경기도 OO지역의 아파트 현장에서 채취한 사질토를 채취하여 대상으로 사용하였으며, 고화토 일축압축시료를 제작하여 성능을 평가하였음. 일축압축시험결과 사질고화토의 경우 양생재령 3일 일축압축강도는 개발제품들의 강도가 OPC대비 작게 발현하는 것으로 나타났으나, 양생재령 7일에는 OPC대비 비슷하거나 약간 높은 강도가 나타났으며, 양생재령 28일에는 OPC대비 약 10~18%정도 강도가 더 발현하는 것으로 나타났음. 또한 점토 고화토의 경우 sample #1 사질고화토와 같이 양생재령일 3일에서는 OPC대비 작은 강도를 발현하나, 양생재령일 7일 이후부터는 OPC대비 동등이상의 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 또한 sample #2의 경우 재령일에 상관없이 OPC대비 일축압축강도가 비슷하거나 약간 높은 강도를 보임.



<사질고화토 일축압축시험결과>



<점성고화토 일축압축시험결과>

- 기존 개발 지반고화재의 환경안정성 평가를 위하여 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰하여 어류 급성독성시험을 진행하였으며, 시험결과 일반중독증상을 나타나지 않은 것으로 확인됨.

KTR

최 종 보 고 서(초안)

TBW-000270-2017

개발제품

개발제품의 어류(송사리, *Oryzias latipes*) 급성독성시험

한국화학융합시험연구원장

시험개요

시 험 제 목 : 개발제품의 어류(송사리, *Oryzias latipes*) 급성독성시험

시 험 번 호 : TBW-000270-2017

시 험 의뢰 자(Sponsor)

명 칭 : (주)대웅
소 재 지 : 전라남도 여수시 돌산면 대운로 827
대 표 자 : 김 성 현
연 락 처 : Tel. 061-392-4777 Fax. 061-692-4779

시 험 기 관[Test Facility]

명 칭 : (재)한국화학융합시험연구원 표준
소 재 지 : 전라남도 화순군 화순읍 산단길 12-63
문 명 책임자 : 홍 승 국
연 락 처 : Tel. 061-379-7700 Fax. 061-379-7777

시 험 방법[Test method]

OECD guidelines for the testing of chemicals 203, "Fish, acute toxicity test" (1992-07-17)

시 험 일 정 : 실험개시일

2017-04-24

순화기간

2017-04-17 ~ 2017-04-24

본시험

2017-04-24 ~ 2017-04-28

실험종료일

2017-04-28

최종보고서 초안 제출일

2017-05-15

시험종료일

시험책임자서명일

시험책임자

[Study director] 박 봉 수 (Park Bong-su, B.S.)

Date

TBW-000270-2017

Draft report

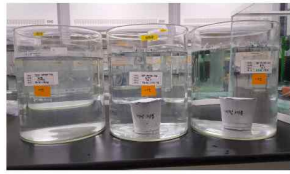
4. 결론 (Conclusion)

개발제품의 어류 (송사리, *Oryzias latipes*) 급성독성시험을 치수적으로 실시한 결과 독성대조군 및 시료(처리군)에서 지사 및 일반중독증상은 관찰되지 않았다.

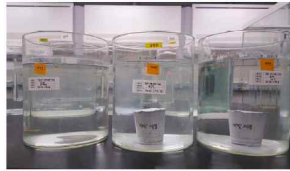
시험기간 중 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인은 발생하지 않았다.

7. 사진 (Pictures)

7.1. 시험 직후

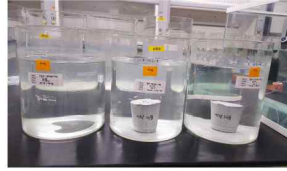


7.2. 48 시간 경과 후



page 11 of 12

7.3. 96 시간 경과 후



page 12 of 12

<기존 개발제품 급성 어독성 시험결과>

○ 기존 구축된 생산설비 활용가능

- 사업화기술의 신청기관인 (주)대웅은 순환자원을 대량 활용한 지반고화재를 생산할 수 있는 설비를 확보하고 있으며, 기확보한 설비는 원재료를 선별 및 분쇄 할 수 있는 진동스크린, 볼밀, 집진장치 및 혼합설비 등을 보유하고 있음.



<볼밀 및 진동스크린>



<정량공급장치 및 컨트롤장치>



<미립분 집진장치>



<생산설비 전체 전경>

(2) 추가 연구개발 필요성

○ 시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법) 개정

- 2017년에 공포된 시특법이 2018년 1월 18일자로 시행되었다. 개정된 시특법의 큰 특징은 특정 관리대상시설을 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 상 제3종시설물로 편입함으로시설물의 안전관리체계를 국토교통부로 일원화하고, 시설물의 중요도 및 안전취약도 등을 고려하여 안전점검 등의 안전관리체계를 정비하고 성능중심의 유지관리체계를 도입하는 등 전반적인 시설물의 안전 및 유지관리체계를 강화하도록 개정.

- 개정된 시특법의 기존 지자체가 관리하던 특정관리대상시설물 약 18만개가 추가되었으며, 대상 3종 시설물의 유지관리 비용은 시설물의 관리 추제(지자체)가 100%로 부담하게 되어있음.

- 우리나라 저수지는 약 17,000여개소가 전국에 산재하여 있으며, 이중 70%가량인 12,000여개소가 건설된 지 50년 이상 된 노후 저수지이다. 이중 354개소가 안전도 D·E등급을 받아 “저수지·댐 안전관리 및 재해예방에 관한 법률” 제 9조에 따라 재해위험 저수지로 지정되어 있으나, 재정 자립도가 낮은 남부권에 82%이상 집중적으로 분포하고 있어, 노후 재해위험 저수지들의 보수·보강이 지체부진한 상태로 노후 저수지 보수·보강공법의 원가절감 이 절실하게 필요한 실정임.

<관리기관별 지정 저수지 관리 현황, 국민안전처(2016)>

합계	농촌공사 (농식품부)	지자체 (시군)
17,427	3,377	14,050

<경과 연수별 지정 저수지 및 재해위험 저수지 지정현황, 국민안전처(2016)>

관리기관	경과연수별 현황				재해위험 저수지 지정	비고
	합계	30년 미만 (‘85년 이후)	30년 이상~ 50년 미만 (‘65~’84년)	50년 이상 (‘64년 이전)		
합계	17,427	743 (4.3%)	4,346 (24.9%)	12,338 (70.8%)	354	
농어촌공사	3,377	410 (12.7%)	647 (19.2%)	2,320 (68.7%)	-	
지자체	14,050	333 (2.4%)	3,699 (26.3%)	10,018 (71.3%)	354	

<지해위험 저수지 지역별 지정현황, 국민안전처(2016)>

계	대구	광주	세종	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	비고
354	1	2	9	18	9	3	20	47	131	59	55	



<2002년 강원 장현 저수지 붕괴>



<2002년 강원 동막 저수지 붕괴>



<2013년 경북 경주 산대저수지 붕괴>



<2014년 경북 영천 괴연저수지 붕괴>

○ 저활용 순환자원의 대량 재활용 방안 필요

- 일반적으로 제철제강공정에서 발생하는 철 1톤당 15~300kg, 비철금속 제련공정에서는 비철금속 1톤당 450~2,000kg의 슬래그가 발생하는 것으로 알려져 있으며, 우리나라의 슬래그 발생량은 제철제강분야에서 약 2,200만톤/년, 비철제련 분야에서 약 200만톤 정도가 발생하는 것으로 추산됨.

- 국내에서 발생하는 철강슬래그는 2011년 기준 전년대비 366만 증가한 2천35만9천톤이 발생했으며, 이 중 99.8%인 2천31만4천톤이 재활용되었음. 고로 슬래그는 발생량의 63.8%인 706만3천톤이 시멘트 원료에 투입됐고 도로용 골재(22.5%), 비료용(3.3%) 순으로 사용됐으며, 제강 슬래그는 도로용 골재(50.6%), 성토용 골재(26.5%), 기타 공정재(12.9%) 등으로 활용되었음.

- 비철제련 분야인 스테인레스 제강공정에서 발생하는 슬래그의 경우 일본 및 캐나다와 같은 선진국에서는 시멘트 제조용 원료, 토목용재료, 콘크리트용 골재, 활주로용 골재, 페로니켈 슬래그 대체재 등으로 다양하게 재활용되고 있으나, 국내에서는 골재로 쓰이거나 대부분 매립되고 있음. 일본의 경우, 골재 및 모래를 대체하거나 입도조절용으로 이용되었으며 지반고화재의 개발, 제올라이트, 실리콘 카바이드 등의 합성원료로 사용, 마그네슘 화합물의 제조, 기능성 소재의 기술 개발 등이 최근 이루어지고 있으며, 콘크리트용 잔골재, 시멘트원료, 활주로용 골재, 토목용 골재, 페로니켈 슬래그 대체재 등의 유효한 자원으로 활용되고 있음.

나. 기술 동향 분석 및 시장 분석

(1) 국내외 관련 기술 특허 동향

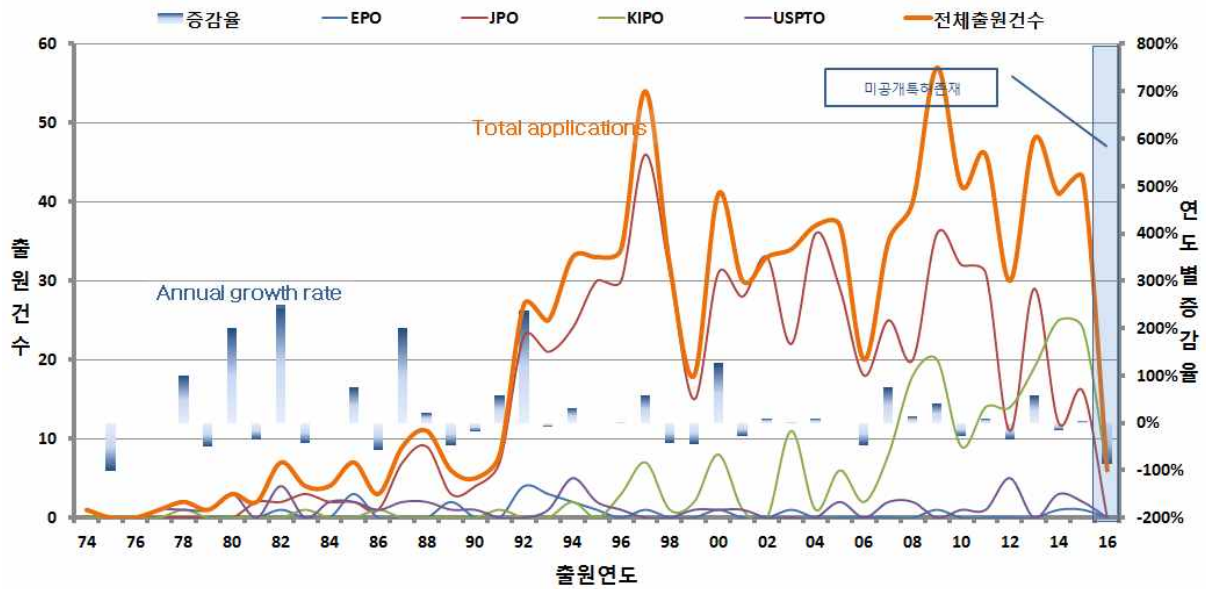
- 국내외 특허 동향 및 주요 핵심특허를 분석하여 특허 선행기술의 존재여부를 검토하기 위하여 특허 검색조건을 다양한 순환자원을 포함하는 고화재 제조하는 방법에 초점을 맞추고, 관련 기술에 대한 전반적인 내용을 포함하는 방향으로 특허를 검색하기 위하여 검색 식을 확정함.

- 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개 및 등록 특허를 대상으로 특허를 검색하였으며, raw-data 추출 후 개발기술의 기술적 특징에 부합하는 유효특허를 선별하였고, 유효특허 선별 결과 총 950건의 특허가 분석대상 특허로 도출되었으며, 도출된 유효특허에 대하여 특허동향분석 및 주요 특허분석을 진행함.

<검색DB 및 검색범위/검색식>

검색DB	웍스온(http://www.wipson.com)
검색국가	한국, 미국, 일본, 유럽
검색기간	~2017.07.18.
검색식	(지반* 토양* 흙 ground* soil*) near10 (개량* 강화* 고화* improv* strengthen* develop* harden* solidif* Solidification* solifica* grout* stabiliz*) and (고로* 용광로* 고형연료* 애쉬* 애쉬* 애시* 재 연소재* 플라이애쉬* 플라이애시* furnace* SRF (Solid* near5 Refuse* near5 Fuel*) RDF (Refuse* near5 Derived* near5 Fuel*) ash* cinder* slag*) and C04*.IPC. 주요 IPC C04 시멘트; 콘크리트; 인조석; 세라믹스; 내화물 C04B 석회; 마그네시아; 슬래그; 시멘트; 그 조성물, 예. 모르타르, 콘크리트 또는 유사한 건축재료; 인조석; 세라믹

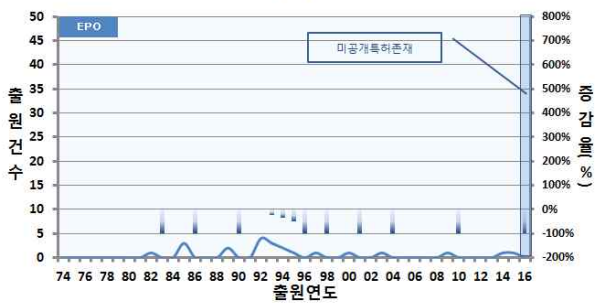
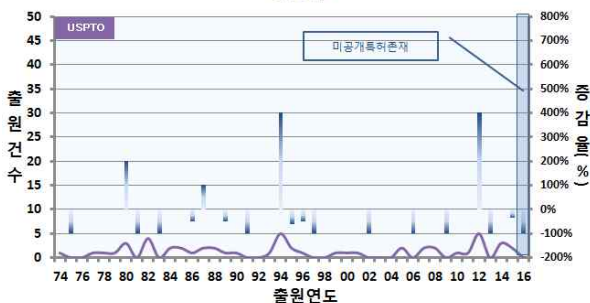
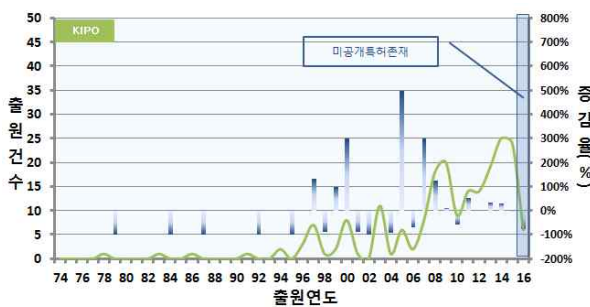
(가) 주요시장국 연도별 특허동향



<연도별 특허출원 동향>

- 신청과제는 순환자원을 90%이상 활용한 노후 저수지 보강용 지반고화재 기술로서 이에 관한 특허를 국가별로 살펴보면 미국 52건, 일본 671건, 한국 205건, 유럽 22건으로 총 950건의 관련 특허가 검색됨.

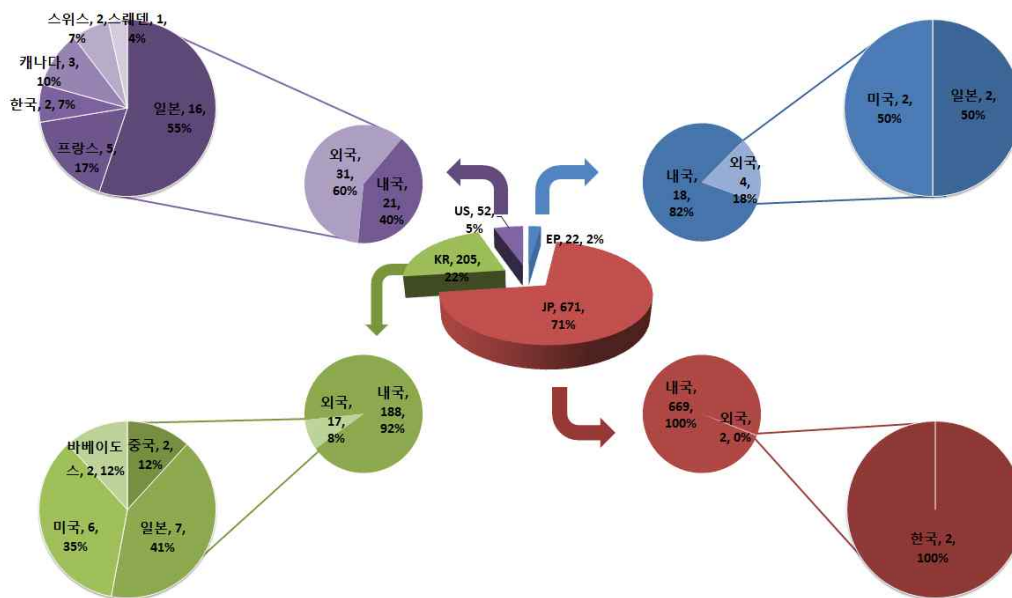
- 전체 특허출원동향은 1990년 초반부터 관련 기술에 대한 출원이 많이 증가하기 시작했으며, 1997년 및 2008년경에 출원건수가 가장 많은 것으로 나타나며 이러한 경향은 일본의 출원 경향과 일치함.



<국가별 특허출원 동향>

- 출원 국가별로 살펴보면, 한국은 1990년대 후반에 진입하여 출원이 증가되는 추세를 보이다 2006년 이후 출원이 큰 폭으로 상승한 것으로 나타나며, 최근들어 출원이 상승되는 추세를 보임.

- 미국은 전반적으로 특허출원이 저조한 경향을 보이고 있으며, 미국과 마찬가지로 유럽의 출원도 아주 미미한 것으로 나타나 이 분야에 대한 기술적 투자가 적음.
- 일본은 1990년대 초반부터 출원이 급격히 증가하기 시작되어 2000년대전반에 들어서 꾸준히 출원이 이루어지고 이 분야에서 주도적인 역할을 하다가 최근들어 출원률이 감소하고 있는 것으로 나타남.
- 다만, 연도별 동향 그래프에서 2016년 이후 데이터는 특허출원 후 1년 6개월이 경과하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허분석 데이터 상에 포함되지 않은 특허출원도 있으므로 명확한 의미를 부여하기 어려우므로 이를 고려해야함.



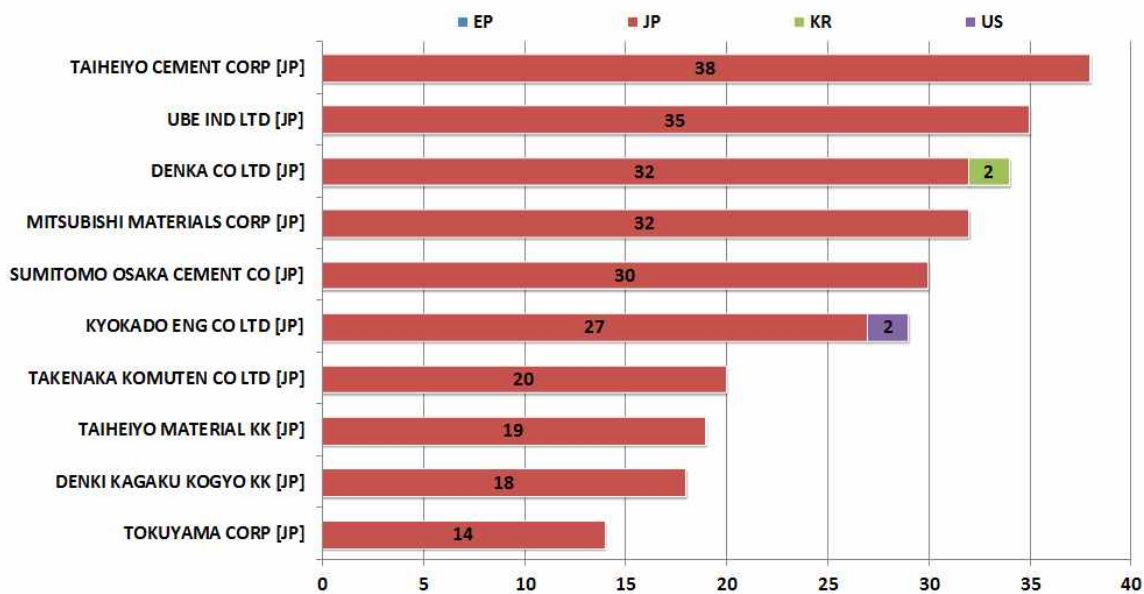
<출원인 국적별·국가별 특허출원 현황>

- 각 국가별 특허출원인의 국적을 통한 기술개발의 주체를 살펴보면, 전체적으로 일본 국적의 출원인의 특허 출원 활동이 전체의 71%로 지반고화재 기술을 주도하고 있으며, 이어 한국, 미국 국적의 출원인이 전체 특허 출원 중 각각 22%, 5%로, 일본이 주도하는 기술개발에서 한국이 제2위의 투자국으로 나타난 것으로 보임.
- 이외 기타 국적의 출원인으로는 프랑스, 스위스, 스웨덴과 같은 유럽국가와, 캐나다, 중국 등의 출원인이 있으나, 특허 출원 활동이 활발하지는 않은 것으로 나타남.
- 전체 특허출원의 71%의 출원활동이 일본의 출원에 의해 주도되고 있어, 지반고화재 기술은 일본의 출원인에 대한 의존도가 높은 것으로 판단됨.
- 국가별 특허출원 주체를 살펴보면, 한국의 특허출원은 한국 국적의 출원인에 의한 특허 출원이 가장 활발하여 기술개발이 자국 국적의 출원인에 의해 주도되고 있는 것으로 나타났으나, 반면, 한국 국적의 출원인의 경우 자국에서의 출원은 있으나, 미국 및 유럽, 일본에서의 출원은 미미한 것으로 확인됨.
- 미국의 특허출원은 미국 국적의 출원인이 전체 약 40%로 나타났고, 외국국적 출원인으로서 일

본 국적의 출원인, 프랑스 국적의 출원인 또한 각각 55%, 17%로 일본 국적 및 프랑스 국적의 출원인의 활동도 활발한 것으로 나타났고, 미국 국적의 출원인에 의한 타 국가 출원은 한국, 유럽에서 나타나고 있으나, 전체적인 특허출원수가 적어 영향력이 적다고 판단됨.

- 일본의 특허출원은 일본 국적의 출원인에 의한 출원이 약 99%로 나타나 일본 역시 자국인에 의한 기술개발이 가장 활발한 것으로 나타났으며, 일본 국적의 출원인에 의한 타 국가 출원은 한국, 미국과 유럽에서 다수를 차지하여 전체 기술시장에서 영향력이 큰 것으로 나타남.

- 유럽의 특허출원은 독일, 프랑스, 네덜란드 등의 유럽 국가들의 출원이 약 82%를 차지하고 있으며, 일본, 미국 등 비유럽 국가들의 출원이 약 18%를 차지하고 있음.

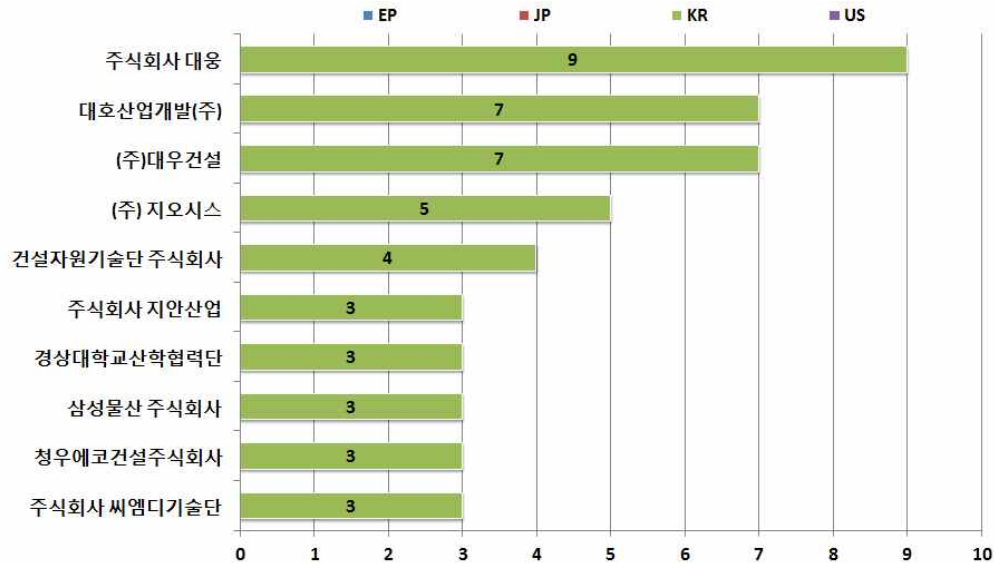


<상위 주요출원인-전체>

- 지반고화재 기술과 관련하여 주요출원인을 찾아보면 일본 국적의 TAIHEIYO CEMENT COR사가 38건의 특허 출원으로 최다 출원인으로 나타났으며, 전체 10위의 최다출원인이 전부 일본 국적 출원인으로 일본 출원인의 특허출원 집중도가 높은 것으로 분석됨.

- 전체 특허동향과 비교하여 볼 때 전체 950건의 특허 중 상위 10위의 출원인의 특허출원 비율이 약 28%로서, 친환경 지반 고화재 기술 개발은 특정한 기업 및 연구주체에 의해 독점적으로 기술 개발 및 특허장벽이 일부 형성되지는 않은 것으로 보임.

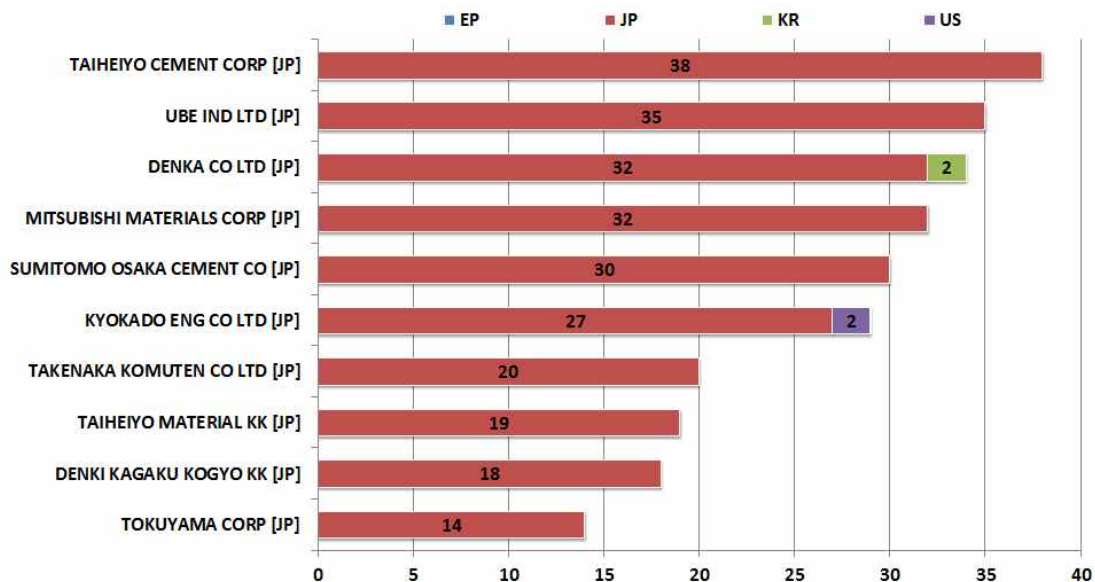
- 상위출원인의 기관 성격을 보면 기업 출원인이 대부분으로서, 해당 기술 분야의 성격은 상업화를 목적으로 하는 것으로, 조속한 시일 내에 기술개발에 투자한다면, 관련 시장 진입에 수월한 시점으로 판단됨.



<국내 주요 출원인 현황>

- 지반 고화재 기술 분야의 국내 주요 출원인 현황을 살펴보면, 신청과제 기관인 주식회사 대웅, 대호산업개발(주), (주)대우건설, 건설자원기술단 주식회사 등이 상위 5개사로 나타남.

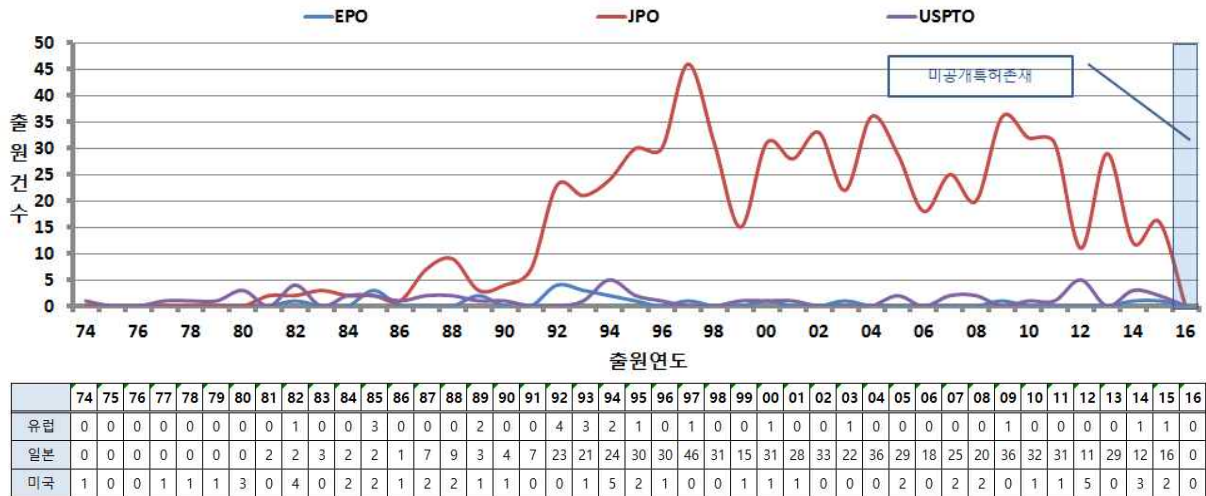
- 한국 국적의 출원인은 국내 출원을 위주로 하고 있어 해외 시장 진출보다는 자국 내 시장을 중심으로 활동하는 것으로 판단됨.



<국외 주요 출원인 현황 >

- 지반고화재 기술 분야의 외국 국적의 주요 출원인 현황을 살펴보면, TAIHEIYO CEMENT CORP [JP], UBE IND LTD [JP], DENKA CO LTD [JP], MITSUBISHI MATERIALS CORP [JP], SUMITOMO OSAKA CEMENT CO [JP] 순서로 다출원이 이루어졌으며, 모두 일본기업으로 해외 출원한 출원인은 DENKA CO LTD [JP], KYOKADO ENG CO LTD [JP]에 불과해 국내시장 중심의 기술로 판단됨.

(나) 해외 주요 특허 분석



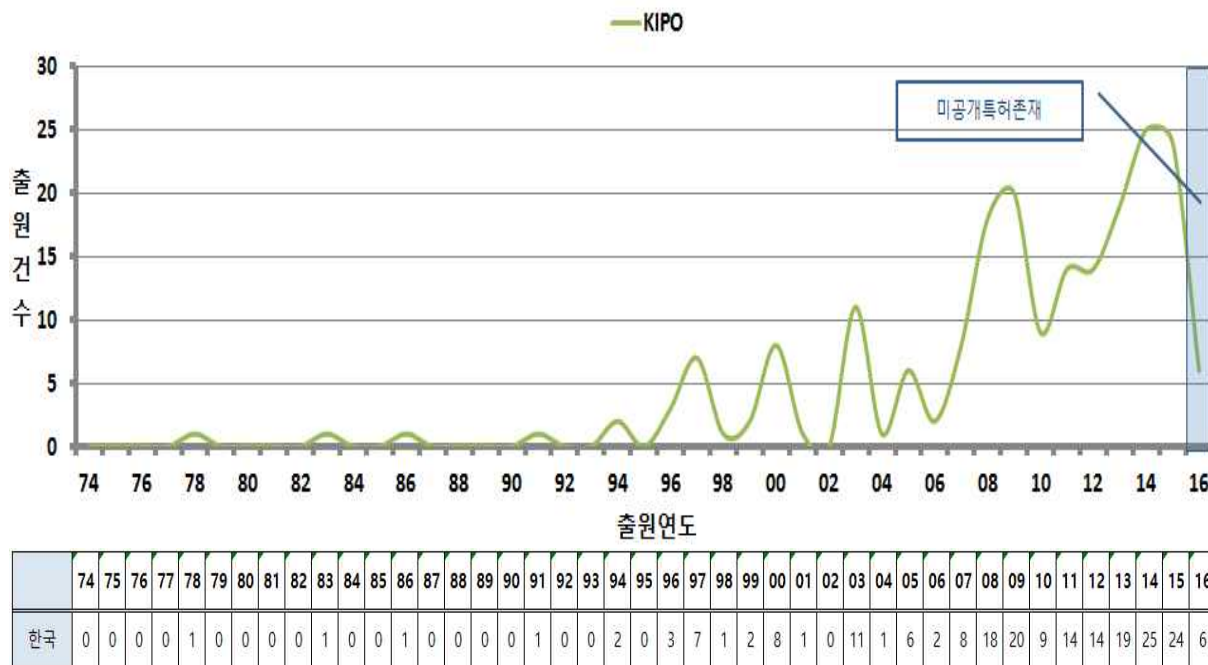
<연도별 해외 특허출원 동향>

- 지반고화재 기술에 관한 것으로 관련된 해외 특허를 분석한 결과, 1974년부터 2016년까지 미국 52건, 일본 671건, 유럽 22건으로 총 745건의 특허가 검색됨.
- 출원 국가별로 살펴보면, 일본의 특허출원의 경우 80년대 초반부터 출원이 시작되어 90년대에 들어서 특허출원이 가파르게 증가하였으며 그 이후 지속적으로 많은 특허출원이 이루어지고 있어 잦은 지진과 불안정한 지반을 가진 해양국가의 특성이 반영된 것으로 판단됨.
- 미국과 유럽의 특허출원의 경우 70년대부터 특허 출원이 있으나 최근까지도 출원건수가 미미하여 이는 지반이 안정적이고 넓은 국토를 가진 국가의 특성을 반영한 것으로 판단됨.
- 개발 기술은 노후 저수지 보강용 지반고화재로 관련된 해외 주요 특허는 다음과 같음.

관련문헌 1				
발명의 명칭		고화재 조성물		
등록번호		JP 4878432	등록일	2011.12.09
출원인		TOA HARBOR WORKS CO LTD		
패밀리				
기술요지		유동상 보일러-에서 발생하는 소각재와 산화칼슘 및/또는 수산화칼슘을 주성분으로 하는 알칼리토류 금속염을 혼합해 얻어진 고화재 조성물을 이용함으로써 과제를 해결할 수 있다. 이 고화재 조성물 100 질량부에 보통 포틀랜드 시멘트, 플라이 애시, 용광로 수쇄 슬래그, 이수 석고, 반수석고, 무수석고, 황산알루미늄, 황산철 중에서 선택된 1종 이상을 100 질량부 이하의 비율로 첨가하는 것이 바람직하다.		
유사점	신청기술	관련문헌		
	연소재 및 순환자원을 혼합사용하는 지반고화재	소각재를 사용하는 지반고화재		
차이점	슬래그 알칼리 활성화 반응 유도 순환자원 사용	유동상 보일러-에서 발생하는 소각재		
	지반보강용	토질안정용		
검토의견	관련문헌1은 산업체에서 나오는 연료의 소각재를 이용하여 고화재를 제조하는 전체적인 기술의 요지는 신청기술과 일부 유사하나, 관련문헌1은 유동상 보일러에서 나오는 연소재를 사용하는 토질안정용 고화재이고 개발기술은 슬래그 및 순환자원을 사용하는 지반고화재로 기술상 차이가 있음			관련도
				△

관련문헌 2			
발명의 명칭	노반재 및 그 제조 방법(路盤材およびその製造方法)		
등록번호	JP 5540286	등록일	2014.05.16
출원인	OJI PAPER CO		
패밀리			
기술요지	실트, 점토 등의 점토질 토양을 유효하게 이용하기 위해, 시멘트와 함께 연소재를 활용하고 중금속의 용출이 없고 노반재로서 충분한 강도를 얻는 것을 과제로 한다 실트, 점토 등의 점토질 토양에 대해서 50~400질량%의 연소재를 더해 또한 시멘트를 점토질 토양과 연소재의 혼합물 고형분에 대해서 35~80질량% 더해 고화시키는, 상기 점토질 토양은 0.004~0.06 mm로 구성되는 실트 주체인 것이 바람직하고 상기 연소재는 SiO₂의 비율이 40% 이하이며 CaO의 비율이 15% 이상인 것이 바람직하다.		
유사점	신청기술	관련문헌	
	연소재 및 순환자원을 혼합사용하는 지반고화재	연소재를 혼합한 고화재	
차이점	슬래그 알칼리 활성화 반응 유도 순환자원 사용	시멘트 사용	
	지반보강용	노반용	
검토 의견	관련문헌2는 산업체에서 나오는 연료의 연소재를 이용하여 고화재를 제조하는 전체적인 기술의 요지는 신청기술과 일부 유사하나, 관련문헌2는 시멘트를 혼합하여 사용하여 노반재로 사용되는 고화재이고 개발기술은 순환자원인 슬래그와 연소재인 플라이 애시를 사용함으로써 시멘트의 혼합이 지반을 보강하는 것으로 기술상 차이가 있음		관련도
			△

(다) 국내 주요 특허 분석



<연도별 국내 특허출원 동향>

- 개발 기술은 주변 지반침하 최소화 및 원가절감형 흙막이 벽체용 친환경 지반고화재 기술에 관한 것으로 관련된 국내 특허를 분석한 결과, 총 205건의 특허가 검색됨.
- 한국은 분석 초기 구간인 1970년대부터 1990년대 중반까지 특허출원이 이루어지지 않고 있다

가 1990년 중반부터 특허 출원이 서서히 이루어지기 시작하였으며, 2000년대 중반에 진입하여 본격적으로 출원이 이루어졌고, 2012년 이후 출원이 큰 폭으로 상승한 것으로 나타남.

- 개발 기술인 지반고화재 기술에 관련된 것으로 국내 주요 특허는 다음과 같음.

관련문헌 3				
발명의 명칭		소각 잔재물을 활용한 지반 개량용 조성물 및 이의 사용법		
등록번호		KR 10-0419799	등록일	2004.02.10
출원인		엔지니어스 주식회사		
패밀리				
기술요지		본 발명은 종래의 고화재에 상응하는 강도를 발현하면서도 소각 잔재물을 활용한 지반 개량제에 관한 것으로, 시멘트, 고로슬래그 분말, 플라이애시, 황산알루미늄 및 황산 칼슘으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 소각 잔재물을 활용한 지반 개량용 조성물을 제공한다. 상기 조성물은 시멘트 20~40중량%, 고로슬래그 분말 20~40중량%, 플라이애시 20~40중량%, 황산알루미늄 2~10중량% 및 황산 칼슘 2~10중량%로 이루어져 있으며, 고분자 유기 응집제를 전체중량 100%에 대하여 1~20중량%를 더 포함할 수가 있다.		
유사점	신청기술	관련문헌		
	플라이애시를 혼합사용	플라이애시를 혼합사용		
차이점	시멘트 사용 없음	시멘트 20~40중량%의 주재료		
검토 의견	관련문헌3은 산업부산물인 고로슬래그와 플라이 애시를 사용하여 토양 고화재를 제조하는 전체적인 기술의 요지는 신청기술과 일부 유사하나, 관련문헌3은 포틀랜드 시멘트를 사용하는 고화재이고 개발기술은 시멘트의 혼합 없는 노후 저수지 보강용 지반고화재로 기술상 차이가 있음.			관련도
				△

관련문헌 4				
발명의 명칭		플라이애시 및 시멘트를 사용하여 슬러지를 개량토로 개량하는 방법		
등록번호		KR 10-0426425	등록일	2004.03.29
출원인		가부시키가이샤 고쿠사이칸교우기켄		
패밀리				
기술요지		본 발명은 플라이애시 및 시멘트를 이용하여 슬러지를 개량토로 개량하는 방법에 관한 것으로, 화력발전소에서 배출되는 플라이애시 및 시멘트를 적정비율로 혼합한 것을 응집고화제로 사용하여 각종 건설현장이나 댐 등의 준설공사에 따라 발생하는 함수율이 높고 입자가 미세한 유동체 형상의 무기계 건설 오니(汚泥) 등의 슬러지를 응집고화함으로써, 슬러지를 개량토로서 유효하게 이용할 수 있게 한다.		
유사점	신청기술	관련문헌		
	플라이애시를 혼합사용	플라이애시를 혼합사용		
차이점	시멘트 사용 없음	시멘트 20~40중량%의 주재료		
	지반고화재	슬러지 응집고화용		
검토 의견	관련문헌4는 산업부산물인 플라이 애시를 사용하여 토양 고화재를 제조하는 전체적인 기술의 요지는 신청기술과 일부 유사하나, 관련문헌2은 포틀랜드 시멘트를 사용하고 슬러지 응집고화용이고 개발기술은 시멘트의 혼합없는 흙막이 벽체용 고화재로 기술상 차이가 있음			관련도
				△

(라) 선행기술 검토의견

- 신청기술은 순환자원을 90%이상 활용하는 원가절감형 노후 저수지 보강용 지반고화재 개발에 관한 것으로, 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 주재료로 사용하고 있는 고화재의 단점인 높은 시공비, 중금속 특히 Cr^{6+} 용출에 의한 주변토양 및 지하수 오염, 다량의 CO_2 발생 등의 문제를 해결하고 산업체에서 나오는 비철 슬래그 및 플라이애시 연소재 등의 순환자원을 대량으로 처리할 수 있는 기술임.
- 이상에서 언급된 특허들은 신청기술에서 목표로 하는 순환자원 90%이상 활용하는 원가절감형 노후 저수지 보강용 지반 고화재 기술과 동일하지는 않으나, 각 특허 기술들은 연소재등 순환자원을 사용한다는 점에서는 본 개발 기술의 과 일부 유사한 측면이 있음.
- 다만, 개발기술은 시멘트를 사용하지 않고 비철금속 슬래그 및 저급 플라이애시 연소재 등을 사용한 지반고화재 선행기술은 주로 포틀랜드 시멘트를 혼합하여 사용하는 지반안정용 고화재 기술이므로 개발기술은 선행기술과 차별화된다고 판단됨.

<선행기술 조사 결과>

특허번호	인용문헌 요약	관련도
일본 등록특허 JP 10-4878432	▶유사점 산업체에서 나오는 연료의 소각재를 이용하여 고화재를 제조 ▶차이점 선행기술은 유동상 보일러에서 나오는 연소재를 사용하는 토질안정용 고화재이고 개발기술은 비철금속 슬래그 및 저급 플라이애시를 사용하여 지반 고화재를 제조	Y
일본 등록특허 JP 10-4878432	▶유사점 산업체에서 나오는 연료의 연소재를 이용하여 고화재를 제조 ▶차이점 선행기술의 고화재는 시멘트를 혼합하여 사용하여 노반재로 사용되는 고화재이고 개발기술은 주성분을 순환자원으로 시멘트의 혼합이 불필요한 지반 고화재임.	Y
한국등록특허 KR 10-0419799	▶유사점 산업부산물인 플라이 애시를 사용하여 토양 고화재를 제조 ▶차이점 선행기술의 고화재는 포틀랜드 시멘트를 주성분으로 사용하는 고화재이고 개발기술은 시멘트의 혼합없이 플라이 애시를 주성분으로 사용하는 지반고화재임.	Y
한국등록특허 KR 10-0426425	▶유사점 산업부산물인 플라이 애시를 사용하여 토양 고화재를 제조 ▶차이점 선행기술의 고화재는 포틀랜드 시멘트를 주성분으로 하는 슬러지 응집고화용이고 개발기술은 시멘트의 혼합이 없이 플라이 애시 및 순환자원을 주성분으로 한 지반고화재.	Y

[관련도 표시기호]

X : 이 문헌에 의해 청구항에 기재된 발명(고안)의 신규성이 없는 것으로 인정

Y : 이 문헌과 2이상의 다른 문헌과 결합하여 청구항에 기재된 발명을 당해 분야의 기술자가 용이하게 발명할 수 있는 것으로 인정

A : 특별한 관련은 없으나 일반적인 선행기술내용을 포함하는 자료

(2) 국내외 시장분석 및 사업화 전망

- 지반고화재 시장은 토목공사의 지반·기반 공사에 사용될 수 있으므로, 목표 시장은 지반·기반공사에 사용되는 시멘트 대체 시장 지반고화재로 정의할 수 있음.

<본 기술의 목표 시장>



- 시멘트산업은 장치산업이며, 자본집약적, 내수 중심의 산업이다. 이에 따라 현재 국내의 시멘트 산업은 과점형의 구조를 유지하고 있으며 경쟁사의 공격적인 영업전략은 시멘트산업 전반의 수익성을 악화시킬 가능성이 존재함.
- 시멘트산업은 전형적인 내수산업이자 성숙기산업으로서, 업체간 품질이나 생산기술상의 차별성이 뚜렷하지 않아 제조원가나 물류비용의 절감을 통한 원가경쟁력이 주된 경쟁요소로 작용함.
- 시멘트산업은 전방산업인 건설경기에 따라서 변동하는 특징을 가지고 있어 건설경기의 회복이 지연되거나 악화될 경우, 수익성에 영향을 미칠 수 있다. 시멘트의 주요 생산원료인 석회석은 국내 부존 자원이 비교적 풍부하여 국내 조달이 가능하나 시멘트의 소성과정에서 필수적인 열에너지원인 유연탄은 해외에서 전량수입하여 사용하고 있는 바 국제 자원 가격 및 환율의 움직임에 영향을 받음.



<시멘트 산업구조 Supply Chain>

- 시멘트 내수는 1997년 6,175만톤을 정점으로, IMF 외환위기 직후인 1998년에는 4,462만톤으로 격감하였다가, 그 후 정부의 SOC투자 확대정책 등에 힘입어 꾸준한 회복세를 보여왔고, 2014년 하반기부터 건설 경기 선행 지표가 회복되는 추세를 보였으며, 2016년도 이후 경우 건설 투자 및 건설 수주 실적증가, 정부의 건설투자 확대정책 등에 힘입어 출하량 증가세가 유지됨.
- 시멘트산업은 생산시 에너지가 많이 소요되는 에너지다소비산업이며, 온실가스 배출이 많은 국내 3대업종(철강, 석유화학, 시멘트) 중 하나이다. 시멘트 1톤 생산시 CO₂도 약 0.8톤이 생산되는 것으로 알려져 온실가스가 과다 배출되는 공해산업으로 인식되고 있다. 그러나 최근에는 이전의 성장기반을 바탕으로 국가기반산업으로서의 성숙기에 접어들었으며 폐기물 재활용 등 기존의 굴뚝산업에서 친환경산업으로서의 이미지를 전환중임.

- 또한 시멘트 산업은 전방산업인 건설 및 토목 분야와 상관관계가 높고, 특히 이 산업들은 국민 주거와 공공재에 해당되는 경우가 많아 정부 정책에 영향을 많이 받음.

<시멘트산업의 폐자원 활용 필요성, 한국시멘트협회>



- 2020년은 코로나19 영향으로 마이너스 경제성장률을 기록한 가운데 건설경기는 비교적 선방하여 국내 시멘트 수요는 전년대비 5% 하락에 그친것으로 추정된다. 정부가 발표한 “공공주도 3080플러스 대도시권 주택공급 획기적 확대방안”에 따라 2021년 건설경기 회복에 대한 기대감이 커지고 있으나, 공공주도에 이은 민간의 참여, 실질적인 공급과의 시간차로 인해 단기적인 효과는 제한적일 것으로 전망됨.
- 시멘트 산업은 전방산업인 건설 및 토목분야와 상관관계가 높아 관계법령 및 정부의 규제에 영향을 받고 있어 정부의 시책 변동시 영향을 미칠 수 있는 특징이 있음. 시멘트는 건축 기초 원자재로 토목, 건축에 사용되어 건설 경기에 직접적인 영향을 받는다. 국내 건설업은 장기간의 불황 지속에도 불구하고 2021년 SOC 예산 26조로 대규모 정부주도의 꾸준한 건설투자와 건설수주가 이어지고 있다. 이는 건설산업에 긍정적 영향을 미칠 것으로 보이나, COVID-19 사태와 정부의 부동산 규제강화 등으로 인해 국내 건설업의 불확실성은 더욱 확대될 전망이다. 이에 관련 기업들은 우수한 품질을 앞세워 대형, 우량거래처를 중심으로 안정적인 판매망을 구축하고 새로운 건설자재 관련 사업을 모색하는 등 시장 대응을 위한 전략이 필요한 시점임.
- 시멘트 산업은 건설경기의 변화에 민감하여 기후조건 및 골조공사의 적합성 및 변화에 따라 변동성이 크다. 세계적으로 지구온난화 방지를 위한 이산화탄소 감축 협약에 따라 시멘트 산업도 이산화탄소 감축정책에 따른 대체기술 개발, 시멘트 생산으로 발생하는 분진, 소음, 석회석 광산개발에 따른 산림 훼손 등의 문제에 직면함.
- 시멘트는 물 또는 수용액과 혼합할 때 반응하여 경화하는 무기질 재료로 정의되며 그 종류는 기경성 시멘트(소석회, 마그네시아 시멘트, 석고 등)와 수경성 시멘트(포틀랜드 시멘트, 혼합시멘트, 알루미늄 시멘트, 초속경시멘트 등)로 분류된다. 시멘트산업은 석회석을 주원료로 하며 물 또는 용액으로 반죽했을 때 굳어져 교착제 또는 접착제의 에너지 및 원자재의 등락폭 확대, 환율 변동성 등의 원인으로 국가 간 시멘트 수출입 시장환경은 변동성 확대가 예상됨.
- 대한건설협회에 따르면 2020년 국내 건설수주는 전년 대비 6.0% 감소한 140조원을 기록할 것으로 전망되었다. 2017년 시작된 건설수주의 감소세가 2020년까지 연속으로 지속되었으며, 2019년에 이후 호조세가 종료되었다. 국내 건설수주가 감소하는 주된 원인은 공공 수주가 생활 SOC(Social Overhead Capital), 도시재생사업, 국가 균형 발전 프로젝트 등의 영향으로 증가했지만 민간 수주가 주택을 중심으로 상당 수준의 감소세를 기록할 것으로 예측함.

- 발주 부문별로 살펴보면 공공 수주는 생활 SOC, 도시재생사업, 국가 균형 발전프로젝트 등의 영향으로 8.7% 증가할 전망이다, 민간 수주의 하락 폭을 만회하기에는 부족할 것으로 전망되며, 공종별로 토목 수주가 국가 균형 발전 프로젝트를 비롯한 공공 토목사업 발주 증가, 민자 토목사업 증가 등의 영향으로 전년 대비 4.9% 증가할 것으로 전망함.
- 2020년 건설 투자는 전년 대비 2.5% 하락해 2018년 이후 3년 연속 감소세가 지속하며, 감소세는 소폭 완화될 것으로 전망되었다. 공종별로는 토목 투자가 전년 대비 증가하는 반면, 주거용 건축(주택)을 중심으로 건축투자가 감소하면서 2020년 건설 투자에 부정적 영향을 미칠 것으로 전망되었으며, 토목투자는 2018년 실질 토목 투자액이 1995년 이후 최저치를 재경신하면서 부진이 심각했으나, 2019년에 감소세가 멈춘 데 이어 2020년에는 정부 SOC 예산 증가, 민자 토목사업 기성 증가 등의 영향으로 전년 대비 증가할 전망이다.
- 2021년 정부 SOC 예산안은 2020년 대비 11.9% 증가한 26조원으로 결정되어 사상 최대금액이 책정되었다. SOC 예산은 정부의 SOC분야 지출 구조조정 등의 영향으로 2015년부터 2018년까지 지속적으로 감소 추세를 보였으나, 2019년 소폭 증가한 이후 2020년, 2021년 각각 10% 이상 큰 폭으로 늘어났다. 정부는 2024년까지 SOC예산을 연평균 6.0% 증액하기로 결정함으로써 향후 SOC예산은 지속적인 확대가 예상된다. 이는 민간부문 건설경기 부진에 따라 정부의 적극적인 재정역할이 필요하다는 인식이 영향을 미친 것으로 판단되며 또한 코로나19로 인해 부진한 경제상황이 우려되고 있어 건설투자의 중요성이 커진 것으로 평가할 수 있다. 결과적으로 2021년에도 정부 재정을 통한 공공사업에 대한 발주와 투자는 증가할 것으로 판단됨.
- 기반 조성 관련 전문 공사업에 속하는 보링, 그라우팅 및 굴정공사는 전문건설업으로 분류되는 시장으로 활용되는 지반의 상태를 파악하기 위한 지반조사, 구조물의 보강을 위한 그라우팅 및 앵커 공사, 사면보강공법 등 다양하다. 국내 보링, 그라우팅 및 굴정 공사업은 정부의 연약지반 공사 증대, 재개발·재건축 관련 규제 완화 등이 보링, 그라우팅 및 굴정 공사업 시장 성장의 촉진 요소로 작용하고 있으며, 정부의 제4차 국토종합계획 수정계획('11년~'20년)에 따르면 해안매립지 개발 증대와 서·남해안 매립지 개발계획 등으로 연약지반 공사가 증대되고 있다. 통계청에 따르면 국내보링, 그라우팅 및 굴정 공사업 출하금액은 2013년 8,868억원에서 2017년 9,786억원으로 증가하였으며, 시장 환경, 업황 등을 감안 시 연평균 2.5%씩 증가하여, 2022년 1조 1,072억원에 달할 것으로 전망됨.



보링, 그라우팅 공사업 시장규모 (단위 : 억원)

* 출처 : 코리아에스이 기술분석보고서, 한국 IR협의회, 2020.통계청

- 시멘트 내수시장은 1997년 6,175만톤을 정점으로, IMF 외환위기 직후인 1998년에는 4,462만톤으로 격감하였다. 이후 정부의 SOC투자 확대정책 등에 힘입어 꾸준한 회복세를 보여왔으며, 2014년 하반기부터 건설 경기 선행 지표가 회복되는 추세를 보였으며, 2016년도 이후 경우 건설 투자 및 건설

수주 실적증가, 정부의 건설투자 확대정책 등에 힘입어 출하량 증가세가 유지되었다. 2018년도는 정부의 SOC 예산 감축과 8.2부동산 대책, 10.24 가계부채 종합대책등으로 인한 건설수주 감소로 시멘트 수요는 감소하였고 2020년도에도 건설 수주와 건설투자가 감소세로 전환되어 하락세가 지속되었다. 2021년도는 SOC 예산이 전년에 비해 증가되었으나, 민간부문 건설경기의 지속적인 침체가 예상되는 가운데 국내시멘트 출하는 2020년대비 소폭 감소할 것으로 전망된다. 다만 정부의 SOC 투자확대, 부동산정책등 수요 증가에 따른 성장잠재력은 유효한 것으로 파악됨.

- 시멘트 내수 및 수출물량은 2016년 52,284천톤에서 연평균 3.84%씩 증가하여 2020년 60,799천톤에 달할 것으로 분석된다. 특히 2020년 시멘트 내수물량은 전년대비 1.68% 감소한 55,756천톤이며, 기간 수출물량은 약 48.8% 증가하여 수출비중이 증가하였다. 이는 시멘트 수요와 밀접한 건설시장 동향을 고려하고 특히, 민간 부문에 있어 정부 부동산 규제강화, 지방 주택공급 과잉, 건축주거부문 수주급감 등 의 요인들이 영향을 미친 것으로 분석됨.

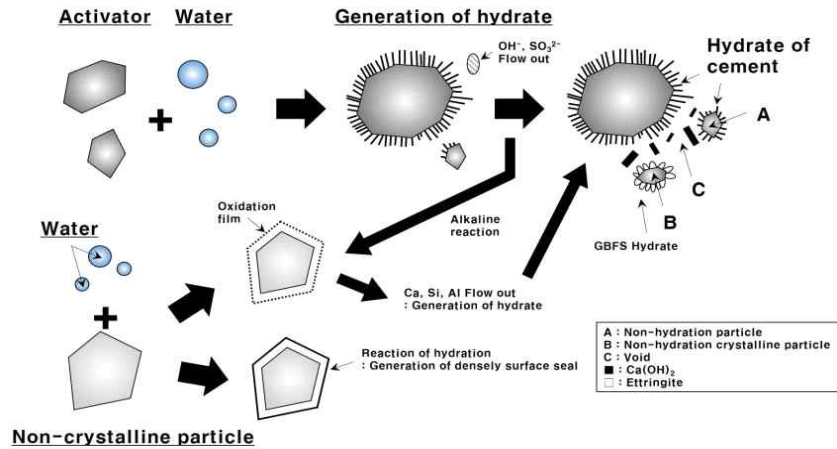
<국내·외 지반고화재 생산 경쟁사 및 제품가격>

경쟁사명	제품명	판매가격 (천원)	연 판매액 (천원)
① 쌍용양회공업(주)	쏘일크리트	120	1,200,000
② 제철세라믹	POS-AT	100	400,000
③ 포조텍	고화재	180	300,000
④ (주)지오시스	GEOTONE	120	4,000,000
⑤ 한국지오텍	슈퍼셈, 엠에스지	180	500,000

나. 연구개발 수행 과정 및 내용

(1) 순환자원을 90%이상 활용하는 원가절감형 노후저수지 보강용 지반고화재 제조 기술개발

본 연구개발을 통해 제조하고자 하는 결합재는 제철과정 부산물인 고로슬래그를 기반으로 하고 순환자원을 자극제 및 팽창제 등의 효과를 부여한 것으로, 순환자원을 활용한 고화재의 수화는 잠재수경성을 지닌 고로슬래그 미분말의 자극제로 Free CaO가 다량 함유된 순환자원(발열성 연소재)와 기타 SO₃ 함량이 높은 순환자원을 원료로 사용하여 순환자원에 존재하는 수산화물 또는 황산염과 같은 자극성분에 의해 비결정질 입자의 불규칙적 3차원 쇄상결합이 절단되면서, 망상구조체 내부에 함유된 Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ 등의 수식이온들이 용출되어 시멘트(OPC)와 같은 경화특성을 갖는 매카니즘을 활용하였음.



<개발 고화재의 수화반응 모식도>

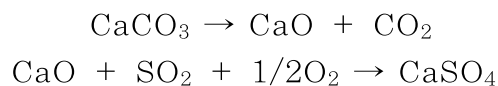
(가) 사용 순환자원의 DB 구축 및 최적 전처리 조건 확립

개발 기반 고화재의 수화 매카니즘을 활용하기 위한 순환자원의 사용여부를 판단하기 위해 당사에서 수급이 가능한 순환자원 및 배출처에 별도 요청하여 제공 받은 샘플등 다양한 순환자원의 성상을 분석하여 DB의 구축 및 결합재로 사용하기위한 전처리 조건 등을 검토하였다.

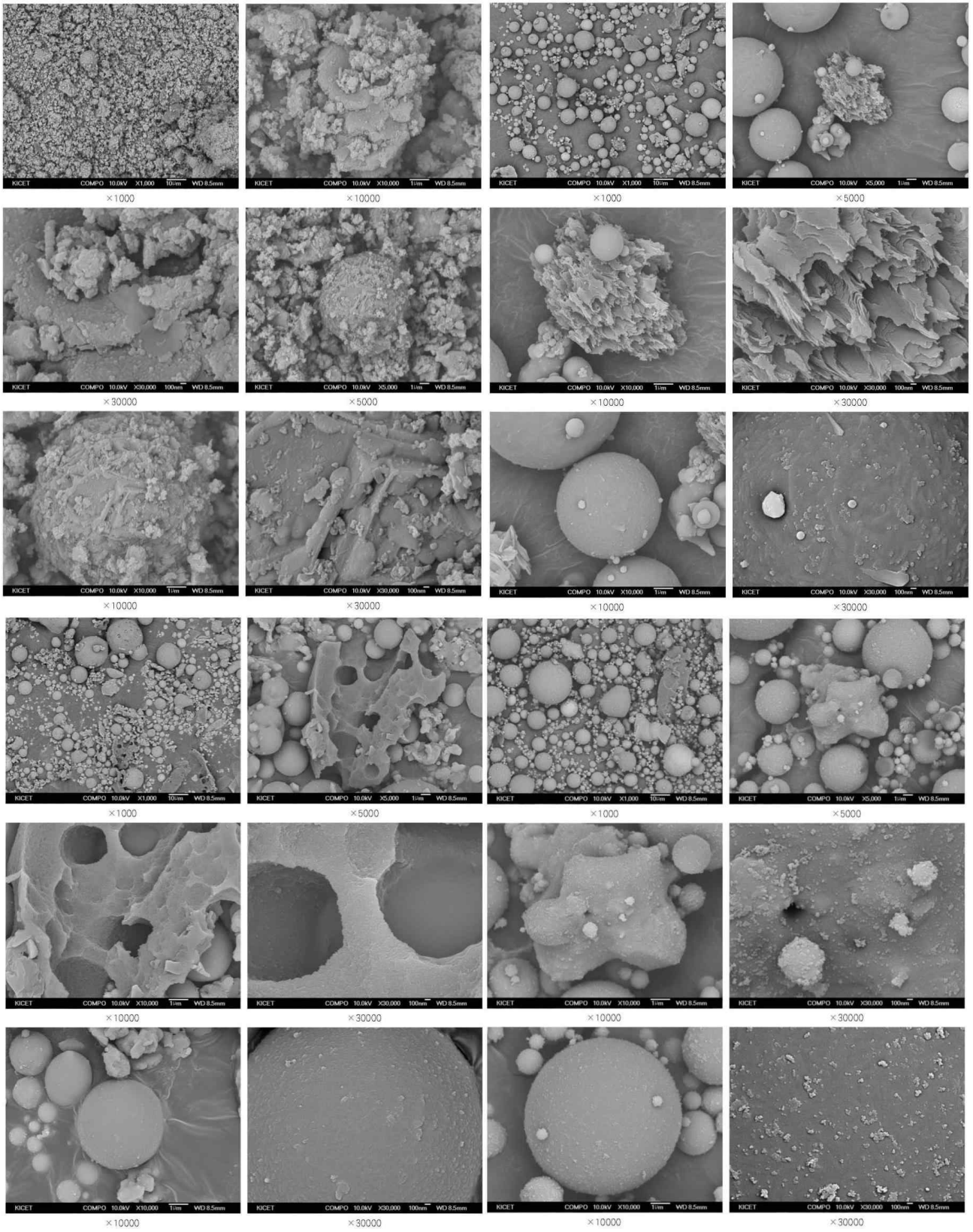
1) 사용 순환자원 성상 분석(CFBC 보일러 연소재 및 기타 연소재)

본 기술개발에 사용한 원료 중 순환유동층 연소 방식의 보일러에서 배출되는 연소재는 고로슬래그 미분말의 자극제로 주로 사용된다. 이러한 특성은 연소 공정 중 탈황제로는 석회석을 사용하며, 석회석의 주입으로 인해 발생 연소재 중에 f-CaO, CaO, SO₃ 성분이 포함되며, 해당 성분으로 인해 고로슬래그 입자를 감싸는 불투수성 수화피막이 파괴되어 Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ 등의 수식이온이 용출되며, 연소재 내의 lime(f-CaO), 석고(CaSO₄) 성분과 반응하여 Potlandite, Ettringite, C-S-H 생성 등 수화반응이 일어나기 때문이다.

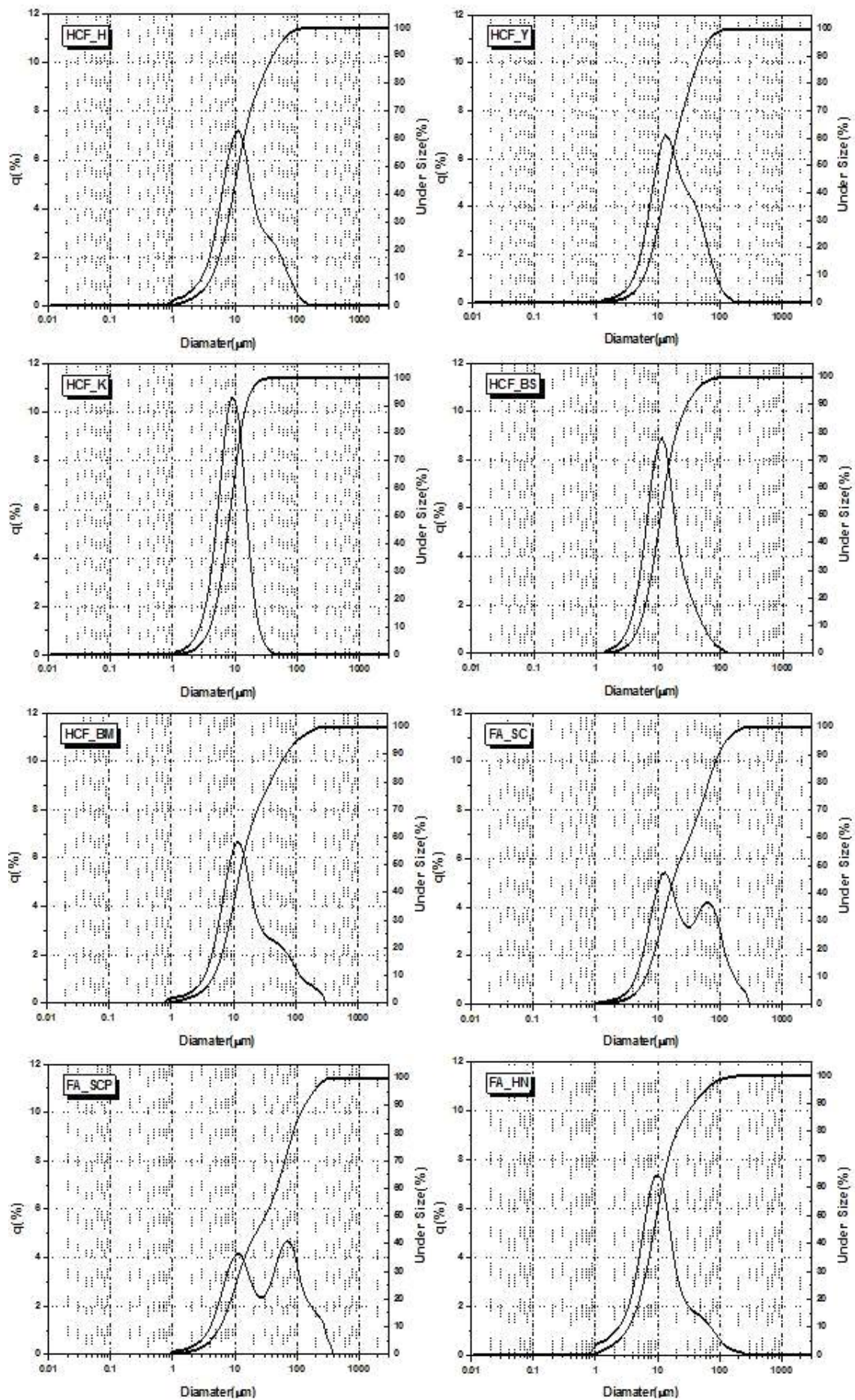
순환유동층 보일러에 투입된 석회석(탈황제)의 반응식은 다음과 같다.



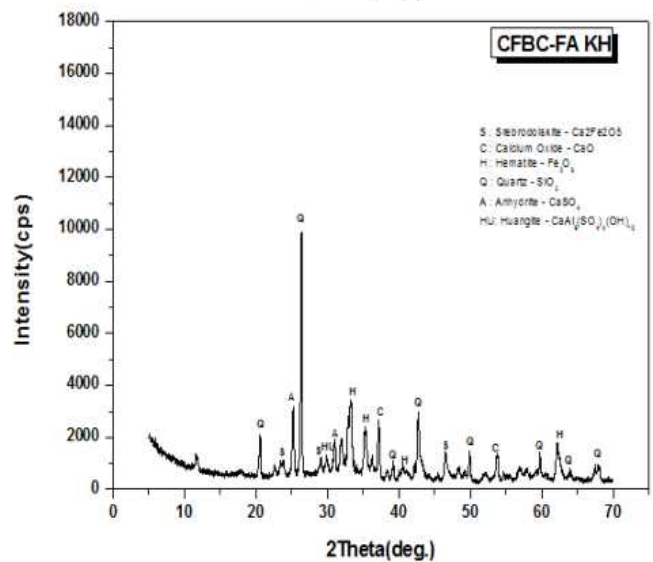
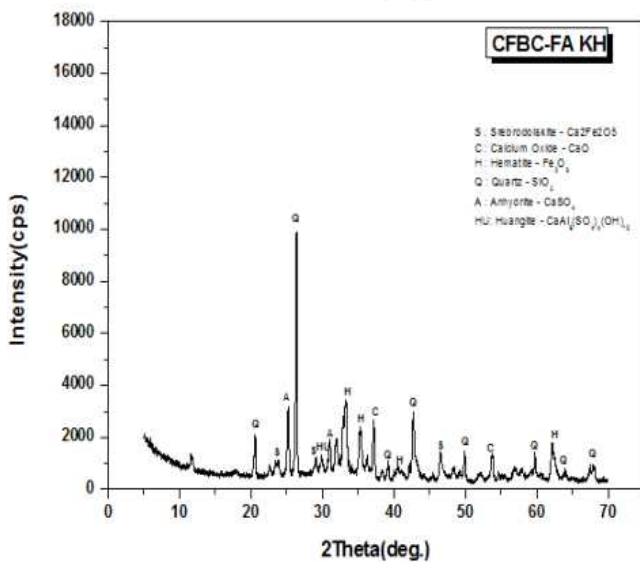
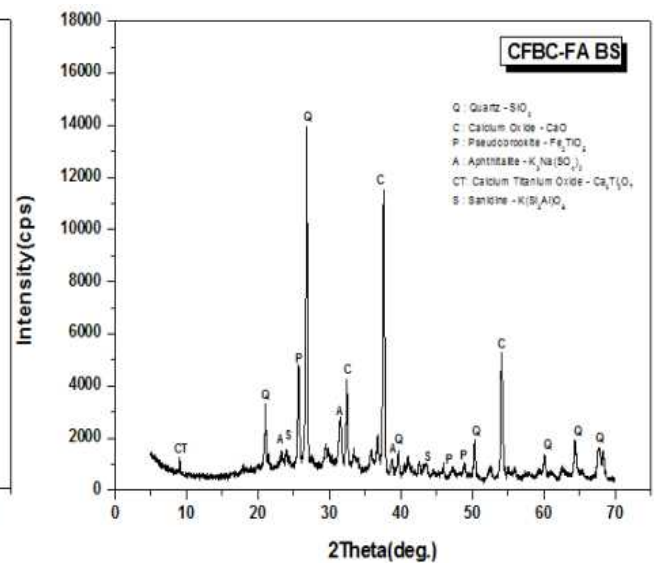
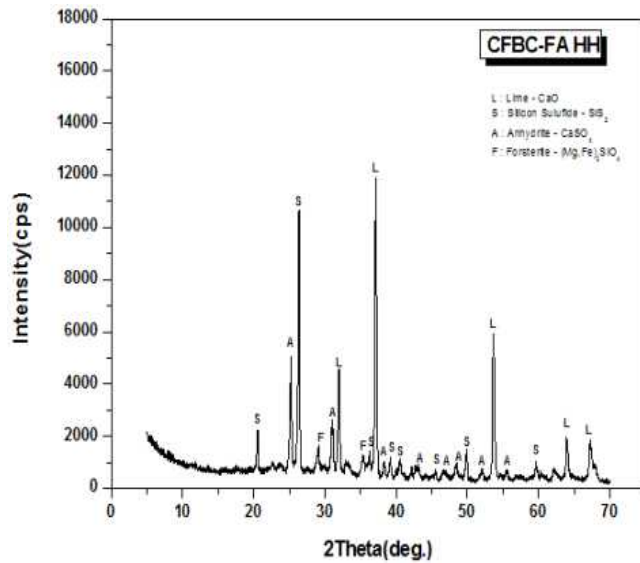
이 중 free-CaO는 물과 반응시 278kcal/kg · CaO 의 열을 발생시켜 고함수 토사에 적용시 토사의 탈수가 가능하며, 고로슬래그의 수화를 유도하는 역할로 활용이 가능하다. 이에 국내 발생 연소재의 간이 발열온도, 비중, 화학조성(XRF), SEM-EDS, free-CaO 함량에 대한 DB를 구축 하였다.



순환자원 DB 구축-SEM 이미지



순환자원 DB 구축-입도 분석



순환자원 DB 구축-XRD 분석

2) 사용 원료의 선별 및 범위 선정

발전소 및 배출처 별 순환자원의 발생량 및 품질에서 편차가 발생하므로, 본 기술 개발 및 제품 생산에 사용하는 CFBC 연소재 는 주요 성분과 발생량 및 편차를 고려하여 핵심 조성인 CaO, SiO₂, Al₂O₃의 함량 범위를 CaO는 25~55%, SiO₂는 20~40%, Al₂O₃는 10~20%로 한정하고, CFBC 연소재의 물성에 따라 별도의 첨가제를 투입함으로써 자극제로써의 성능을 최대한 발현을 유도하였다.

사용 순환 자원 핵심 화학조성 범위

(단위:wt%)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
25~55%	20~40%	10~20%

순환자원의 발생원 및 배출처별 화학조성의 평균 및 편차

(단위:wt%)

구분		산화물 조성비 (%)						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl
Y사	평균	26.25	14.6275	4.8925	42.125	4.275	5.5275	0.0371
	표준 편차	7.55	5.59	1.36	12.30	1.11	1.30	0.01
K사	평균	25.5	7.044	6.595	42.26	6.448	10.084	0.13974
	표준 편차	7.16	3.44	2.40	11.62	2.44	2.73	0.04
B사	평균	42.15	21.55	6.47333	21.025	2.43333	4.225	0.06973
	표준 편차	6.76	1.32	3.83	4.68	0.43	0.69	0.03
H사	평균	34.16	18.22	5.4125	29.68	4.228	6.352	0.0196
	표준 편차	2.79	1.69	1.71	3.91	0.75	1.47	0.00
J사	평균	7.27	4.12	0.5075	57.05	2.37	18.9	6.255
	표준 편차	1.44	0.16	0.44	6.01	0.44	2.55	1.22

3) 분쇄, 정제, 혼합 등 원재료별 최적 전처리 조건 확립

기술 개발 제품의 원료로 사용하는 순환자원의 최적 전처리 공정 선정을 위해 실험실급에서 분쇄 실험을 실시하였으며, 분쇄 시간에 따른 시료의 입경 변화 및 강도에 미치는 영향을 검토하였으며, 이 실험결과를 바탕으로 설비의 전처리 공정을 설계하였다.

CFBC보일러 연소재 중 바텀애시를 활용하기 위해 N사, B사, H사의 바텀애시의 전처리공정 전후의 품질특성을 비교하였다. 화학조성 분석 결과 분석 전·후의 큰 차이는 없었으며, Free-CaO의 경우 전복 H에너지를 제외한 2개의 발전사의 경우 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 문헌조사 결과 전처리 과정에서 CaO와 무수석고(Anhydrite)의 입자가 서로 분리되는 현상에 의한 것으로 판단되었다.

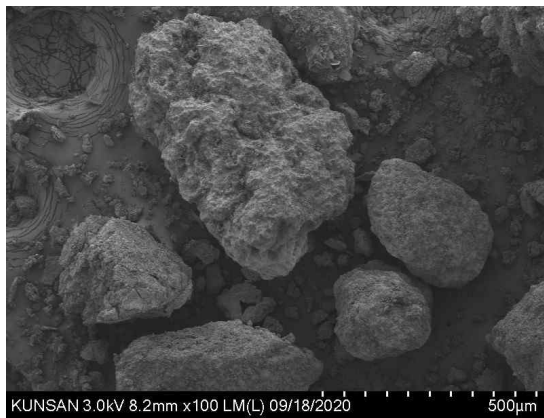
건식 바텀애시의 전처리 전·후 입도분석 결과

구분		평균사이즈	중간사이즈	통과 누적을 별 입자 사이즈			
				10%	50%	90%	100%
N사	전	128.94	149.11	9.61	128.94	300.09	678.26
	후	18.65	33.16	4.55	18.65	77.81	228.86
B사	전	258.13	306.81	10.82	258.13	636.18	1167.31
	후	18.70	31.45	5.13	18.70	73.62	228.85
H사	전	97.85	153.08	6.27	97.85	388.67	776.79
	후	13.91	23.47	3.91	13.91	57.28	174.44

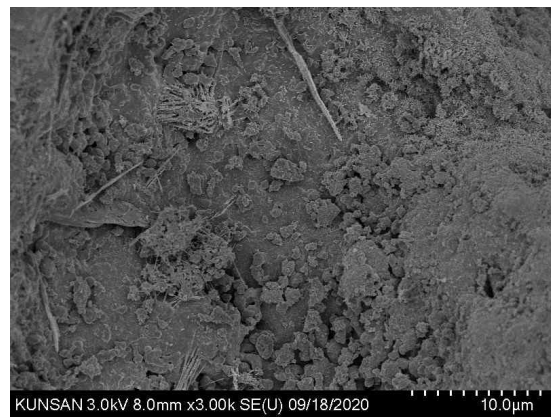
분쇄 시간 및 그에 따른 분쇄 정도가 건식바텀애시의 품질특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 전남 B사에서 발생하는 바텀애시를 대상으로 분쇄시간 조건을 달리하여 분쇄를 실시하였으며, 그 물성은 아래의 표 및 그림과 같다.

건식 바텀애시(B社)의 전처리 전·후 입도 분석 결과

구분		평균사이즈 (μm)	통과 누적을 별 입자 사이즈(μm)			
			10%	50%	90%	100%
B사	분쇄전	258.13	2.90	267.86	426.68	567.40
	분쇄	1	2.86	216.95	373.49	466.54
		3	3.40	155.67	335.55	428.78
		5	3.54	68.29	291.64	403.14
		7	3.11	34.70	206.61	360.01
		10	2.55	18.83	191.44	295.52

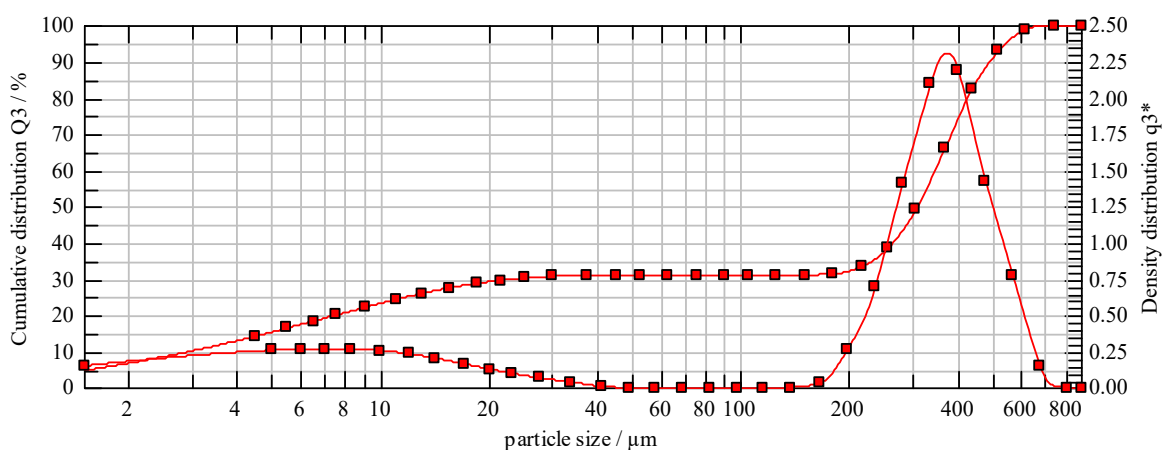


(a) 100배

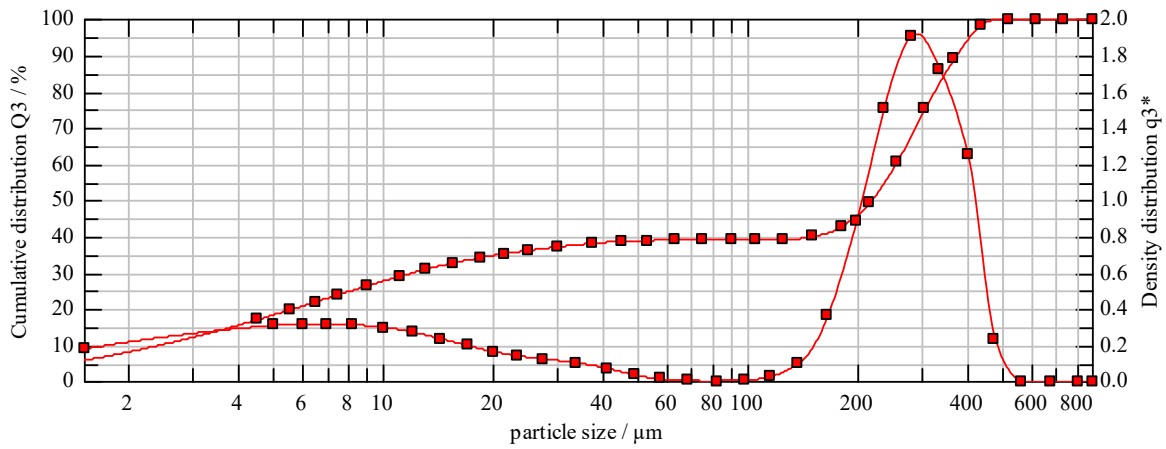


(b) 3000배

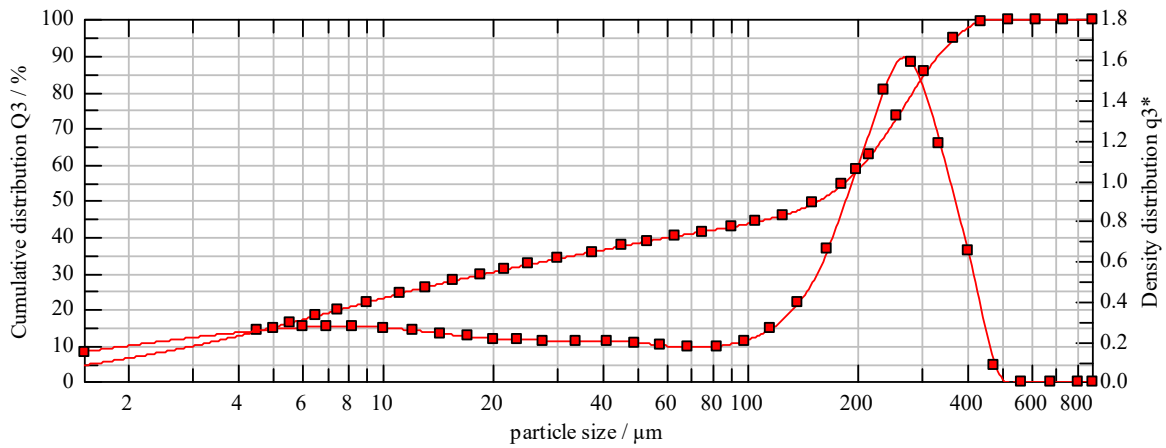
미분쇄 바텀애시 SEM image



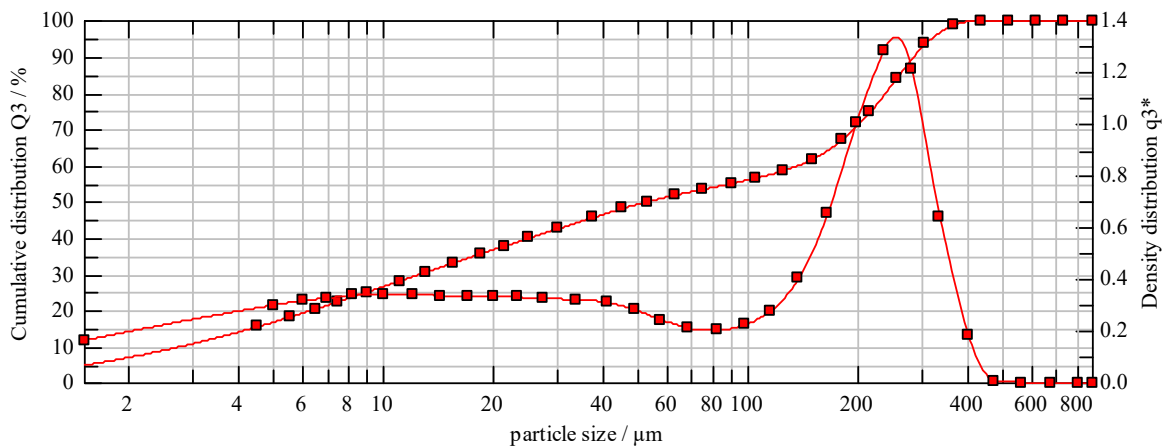
(a) 분쇄 시간 : non, 평균 입경 306.95 μm , 100% 통과율 : 625.68 μm



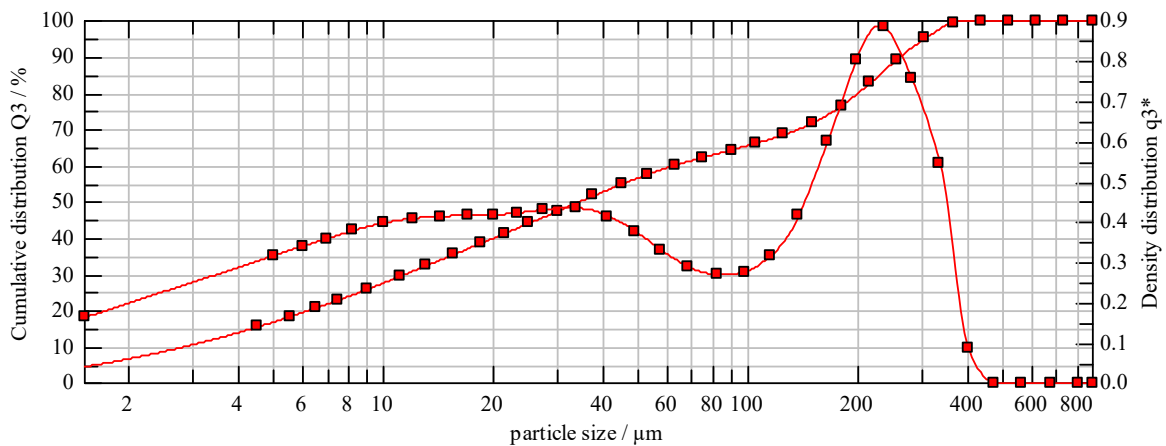
(b) 분쇄 시간 : 1min., 평균 입경 $216.95\mu\text{m}$, 100% 통과율 : $466.54\mu\text{m}$



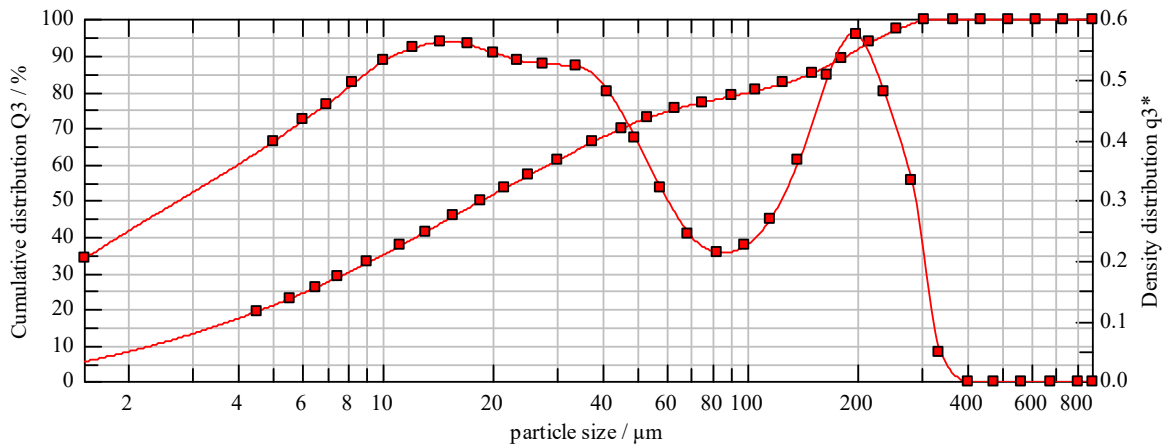
(c) 분쇄 시간 : 3min., 평균 입경 $155.67\mu\text{m}$, 100% 통과율 : $428.78\mu\text{m}$



(d) 분쇄 시간 : 5min, 평균 입경 $53.25\mu\text{m}$, 100% 통과율 : $387.36\mu\text{m}$

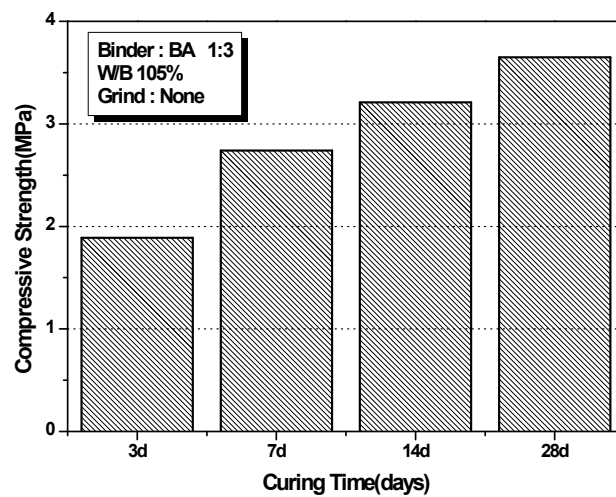


(e) 분쇄 시간 : 7min., 평균 입경 $34.70\mu\text{m}$, 100% 통과율 : $360.01\mu\text{m}$

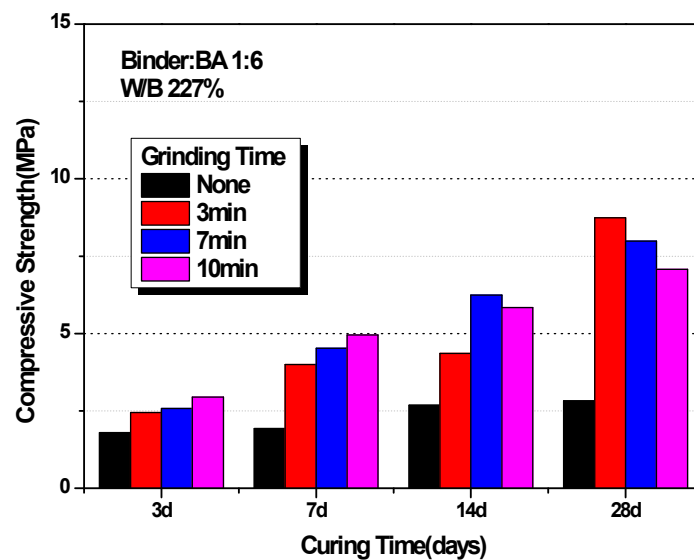


(f) 분쇄 시간 : 10min, 평균 입경 $18.61\mu\text{m}$, 100% 통과율 : $187.52\mu\text{m}$

분쇄 시간에 따른 바텀애시의 입도 분포 곡선



바텀애시 경화체의 재령별 압축강도(미분쇄, 1:3 배합)



분쇄 시간별 바텀애시 경화체의 압축강도(결합재:바텀애시 1:6, 물결합재 227%)

실험실급 분쇄기를 이용하여 CFBC 바텀애시의 분쇄 실험을 실시하여, 분쇄 시간에 따른 입경 변화 및 강도 실험을 실시한 결과, 3분 분쇄의 바텀애시의 강도 발현이 우수하였으며, 이때의 분말도는 $3,000\text{cm}^2/\text{g}$ 내외로 측정되었다.

본 기술개발에서 순환자원의 최적 전처리를 위해 선정한 공정은 분급기술에 의한 선별로, 표층 개량 공법에서는 대부분의 지반 개량 공법에서처럼 고분말의 지반 혼합재가 필요하지 않기 때문에, 원료 100% 전량의 분쇄가 아닌, 현 생산시스템의 이송 공정에 적용이 가능한 입경 0.7mm 이하 정도의 사이즈로만 분쇄하는 전처리 공정이 필요할 것으로 판단되어, 스크린 설치를 통해 입자 크기별로 원료를 분급하고, 분급한 원료를 볼밀을 통해 분쇄한 후 싸이클론을 통해 재분급하여 저장하는 공정을 설계하였다.

공기분급기에 의해 분급된 입자들은 싸이클론을 통하여 회수된다. 싸이클론은 구조가 간단하고 다수배치가 용이하기 때문에 생산 공정에서 널리 사용되고 있다. 이 시설은 건조공정에서 배출되는 미립산물과 공기를 분리하여, 미립산물은 저장조로, 공기는 백 필터로 배출하도록 설계되었다. 사이클론은 미립자의 분리효율이 낮은 것으로 알려져 있는데, 본 과제에서는 사이클론에서 배출되는 공기 중에 함유되어 있는 광물입자들은 백 필터에 재 집진되기 때문에 분리효율은 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 집진기에 의해 포집된 미립산물은 각각의 로터리 밸브에 의하여 배출되며, 스크류 피더와 버킷 엘리베이터를 통하여 별도의 저장조로 이송되도록 설계하였다. 이 경우 심층혼합공법용 고화재의 원료로 사용될 미립분의 목표 분말도는 $3,000\text{cm}^2/\text{g}$ 이상이며, 표층 개량 공법용 고화재의 원료로 활용될 경우 목표 분말도는 $2,000\text{cm}^2/\text{g}$ 내외로 설정하였다.

free-CaO가 존재하는 연소재의 경우 분말도 평균 $2,500\text{cm}^2/\text{g}$ 이상의 미분말이며, 폐기물 관리법상 사업장 폐기물로 오염물질이 관리되고 있어, 기존의 시작품 제작 plant에 대한 이송, 저장, 혼합 등의 적용성이 우수하여 분쇄, 정제 등의 전처리 과정이 필요하지 않은 것으로 판단되며, 간이 발열 온도와 XRF 측정으로 사용 가능 여부 판단 가능하다.

(나) 노후저수지 보강용 고화재 개발 실험

1) 고화재 배합도출 실험

가) 지반 고화용 배합도출 실험

① 배합도출 실험 1

순환자원을 활용한 고화재 배합을 도출하기 위해 아래의 표와 같은 배합조건으로 실험을 실시하여 재령별 압축강도 발현 특성을 관찰하였다.

고로슬래그의 비율을 50, 60%로 증가시키고 자극제의 종류를 달리한 경우 자극제 2는 1에 비해 초기 강도는 감소하였으나, 장기강도는 24.1~30.9 MPa 수준을 확보하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 순환자원에 포함되어 있는 Free-CaO 및 석고의 존재로 인해 고로슬래그의 잠재수경성을 활성화시켜 초기 수화를 진행시키기 때문이며, 석고의 경우 일정 비율 이상이 존재할 경우 강도의 증진에 미치는 영향이 미미하기 때문으로 판단된다.

압축강도 측정결과 모든 경우에서 재령이 증가할수록 압축강도가 증가하며, 그 증진을 또한 재령이 증가할수록 증가하여 순환자원을 활용한 무기결합재의 지반 고결효과를 확인할 수 있었다. 실험결과 점성토에 비해 실트질 토양의 적용성이 우수한 것으로 나타났으며, 무기결합재의 압축강도 시험결과와는 달리 고로슬래그의 혼입량이 60%인 8번 배합의 일축 압축강도가 우수한 것을 확인할 수 있었다. 이는 연약지반 개량 즉, 고화의 경우 흙 자체의 강도를 기본으로 하여 고화재 첨가에 의한 대상토의 함수비 저하, 이온교환반응, 단립화 등에 의해 물성의 개선이 이루어지기 때문으로, 고화토는 토립자 사이의 간격이 규산석회수화물($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 포졸란 반응생성물 등에 의해 충전되어 복잡한 간극구조를 가진 내부 조직이 형성된다. 즉 수화 및 이온교환에 의해 규산석회수화물($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)이 생성되기 위해서는 일정 비율 이상의 활성도가 높은 비결정질 물질이 포함되어야하며, 규산석회 수화물에 의한 토립자의 고결효과는 점성토보다 사질토에서 크게 나타나는 것으로 보고되고 있다.

개발 고화재 경화체의 재령별 압축강도

NO.	결합재 배합(wt%)					압축강도(MPa)		
	OPC	고로 슬래그	순환자원	자극제1	자극제2	3일 재령	7일 재령	28일 재령
1	—	30	70	—	—	7.61	11.54	23.42
2	—	30	60	10	—	8.58	13.90	26.08
3	—	40	60	—	—	10.38	17.79	26.10
4	—	40	50	10	—	12.37	19.98	28.96
5	—	50	50	—	—	5.17	11.25	24.13
6	—	50	40	—	10	4.64	10.58	26.92
7	—	60	30	—	10	8.80	20.21	29.73
8	—	60	30	—	10	10.3	22.97	30.95
9	100	—		—	—	10.65	21.72	37.73

나) 약액 주입용 고화재 배합도출 실험

최적의 배합비를 도출하기 위하여 비교군인 슬래그 시멘트(SC)를 포함하여, 9가지의 배합비를 가지고 시료를 제작하여, 3, 7, 28일에 대한 압축강도시험 및 휨강도시험을 실시하였으며, KS F 2413 : 2015(휨 강도 시험한 공시체로 콘크리트의 압축강도를 시험하는 방법)과 KS F 2408 : 2000(콘크리트의 휨 강도 시험방법)의 시험규격을 이용하여 시험을 진행하였다.

휨강도 와 압축강도 시험을 실시한 결과를 참고하여, 개발목표기준(압축강도 40MPa 이상)에 만족하는 2가지 배합을 경제성을 최대로 할 수 있는 배합비를 선정하여 결정하였다.

최적 배합비 도출용 배합시험

Type	슬래그시멘트	S	I	II	III	IV
1	100					
2		60	40			
3		60	35	5		
4		60	30	10		
5		50	30	10	10	
6		60	20	10		10
7		60	20		10	10
8		60	35			5
9		60	25			15



배합재료 및 증류수 준비



배합재료 및 증류수 혼합



휨강도 및 압축강도 몰드준비



밀크액 몰드 충전



밀크액 몰드 충전



휨강도 및 압축강도시료 제작완료 전경



탈형 완료 수침전경1



탈형 완료 수침전경2



탈형 완료 수침전경3



수중양생 전경



휨강도 측정전경



휨강도 측정 완료 전경



압축강도 측정 전경

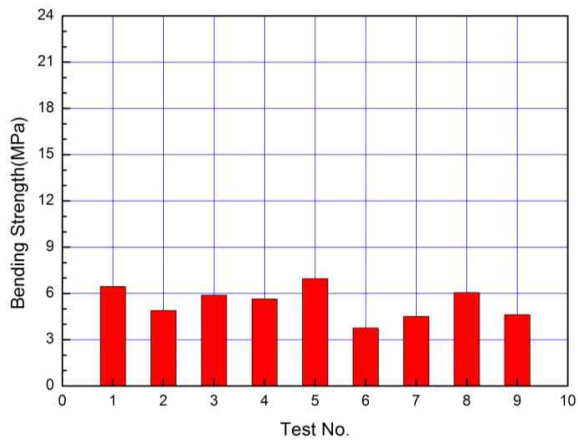


압축강도 측정완료 전경

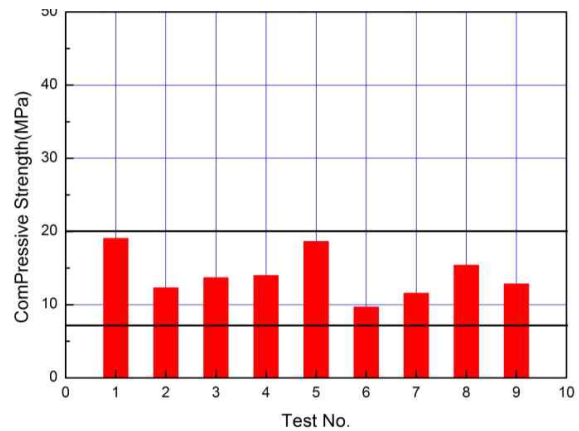
휨강도 와 압축강도 시험을 실시한 결과를 참고하여, 개발목표기준(압축강도 40MPa 이상)에 만족하는 2가지 배합을 경제성을 최대로 할 수 있는 배합비를 선정하여 결정하였다.

양생 3일 휨 및 압축강도시험결과

구분	휨강도			압축강도				
	시료1	시료2	평균	시료1	시료2	시료3	시료4	평균
1	6.60	6.33	6.46	19.01	19.8	17.33	20.25	19.10
2	4.95	4.82	4.89	11.78	11.9	13.28	12.44	12.35
3	5.78	6.00	5.89	14.58	13.2	13.5	13.67	13.74
4	5.71	5.58	5.64	14.22	13.4	14.85	13.63	14.03
5	6.63	7.28	6.96	18.72	18.44	19.18	18.45	18.70
6	3.90	3.61	3.76	9.63	10.28	9.35	9.66	9.73
7	4.66	4.36	4.51	11.56	11.99	11.61	11.29	11.61
8	5.87	6.23	6.05	15.28	16.37	15.1	15.03	15.45
9	4.89	4.36	4.63	13.11	12.44	12.65	13.29	12.87



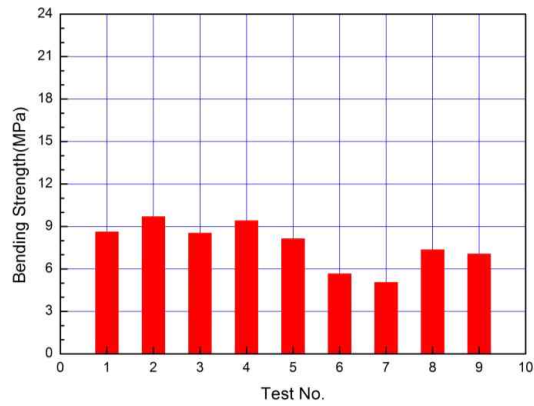
양생 3일 휨강도 측정결과



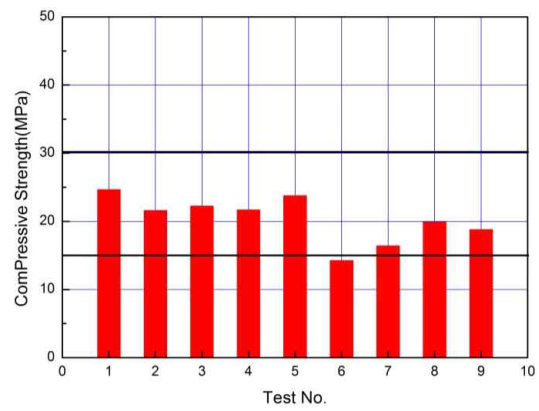
양생 3일 압축강도 측정결과

양생 7일 휨 및 압축강도시험결과

구분	휨강도			압축강도				
	시료1	시료2	평균	시료1	시료2	시료3	시료4	평균
1	8.56	8.70	8.63	22.88	25.9	23.06	26.95	24.70
2	9.75	9.68	9.71	21.63	21.78	22.21	20.91	21.63
3	7.88	9.22	8.55	22.58	23.05	22.58	20.99	22.30
4	9.55	9.32	9.43	22.23	22.09	22.56	20.06	21.74
5	8.50	7.81	8.15	23.65	24.11	24.3	23.26	23.83
6	5.02	6.33	5.68	14.55	15.51	14.02	13.16	14.31
7	4.89	5.25	5.07	16.83	16.96	15.81	16.18	16.45
8	8.04	6.69	7.37	21.06	20.61	18.93	19.09	19.92
9	6.76	7.38	7.07	19.13	19.96	18.81	17.41	18.83



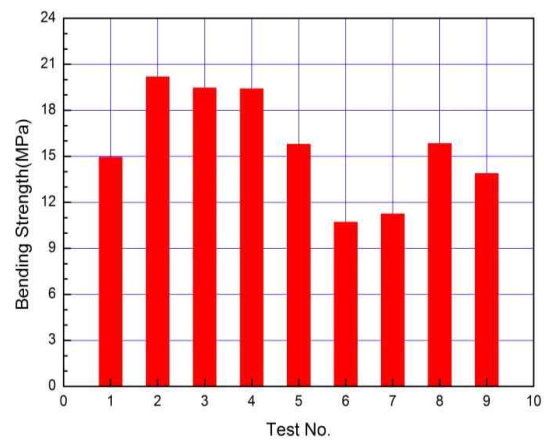
양생 7일 휨강도 측정결과



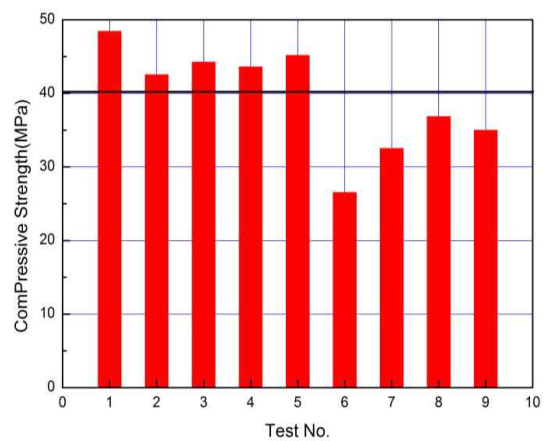
양생 7일 압축강도 측정결과

양생 28일 휨 및 압축강도시험결과

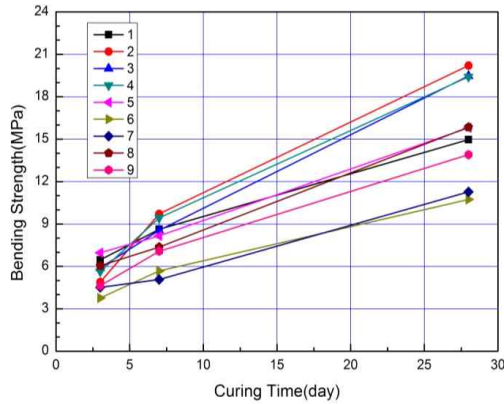
구분	휨강도			압축강도				
	시료1	시료2	평균	시료1	시료2	시료3	시료4	평균
1	15.41	14.52	14.96	45.038	48.762	51.338	48.79	48.48
2	20.13	20.28	20.20	45.052	40.068	43.792	41.342	42.56
3	20.03	18.90	19.47	45.752	50.05	40.222	41.104	44.28
4	17.82	21.02	19.42	42.378	43.274	42.224	46.676	43.64
5	16.54	15.06	15.80	45.514	38.248	45.36	51.632	45.19
6	11.07	10.39	10.73	24.472	25.34	28.504	27.972	26.57
7	11.62	10.93	11.27	33.852	33.502	33.138	29.624	32.53
8	15.85	15.85	15.85	36.778	36.624	39.13	34.93	36.87
9	16.19	11.62	13.90	33.88	34.482	36.694	35.00	35.01



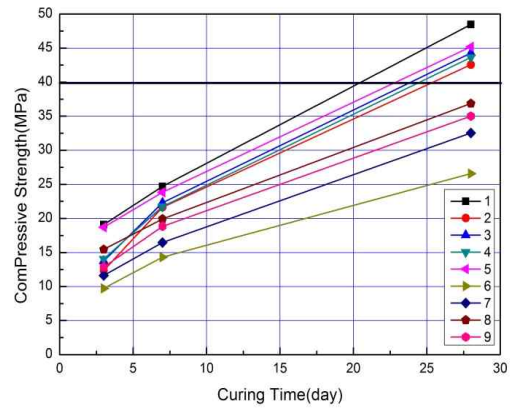
양생 28일 휨강도 측정결과



양생 28일 압축강도 측정결과



양생일별 휨강도 결과



양생일별 압축강도 결과

다) 고화재의 체적 팽창 실험

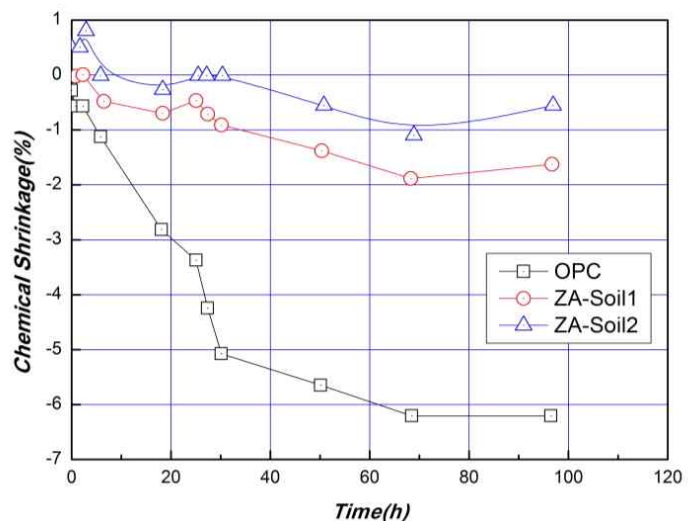
일반적으로 시멘트는 수화과정에서 체적수축이 발생함으로 현장 적용 시 수축 방지를 위하여 부 배합을 실시하거나, 벤토나이트 등의 수축방지제를 활용한다. 이에 본 개발제품의 체적수축현상 저 감을 평가하기 위하여 KS F 2478(시멘트 모르타르의 팽창높이 변화 시험방법)에 준하는 피펫법을 이용하여 체적수축을 측정하였다.

피펫법은 해당제품을 페이스트의 상태로 비빔을 실시한 후 피펫을 이용하여 수화반응 과정 중 발 생하는 체적 변화를 측정한 것으로 본 실험 결과 OPC에 비해 본 개발제품 ZA-Soil(2)의 수축량이 매우 적게 측정되었으며, 이는 벤토나이트를 첨가한 OPC 제품보다도 우수함을 확인할 수 있다.

아래 그림에서와 같이 OPC에 비해 수축량이 매우 적으며, 배합 후 10시간 전까지는 오히려 체적 이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 알칼리자극제로 활용한 고형연료 연소재에 포함된 CaO 의 영향 때문으로 판단되었으며, CaO 성분이 물과 반응하여 Ca(OH)₂를 형성할 때 생기는 체적 팽 창으로 인해 결합재의 수화반응 메커니즘에 의한 수축량을 보상하여 타설 직후 2~4시간에 일어나 는 소성 수축을 저감하는 효과가 발현될 것을 예측할 수 있었다.



체적수축시험 전경



개발약액주입 고화재의 체적수축시험결과

2) 노후저수지 보강용 고화재 물리적/역학적/환경적 특성 평가

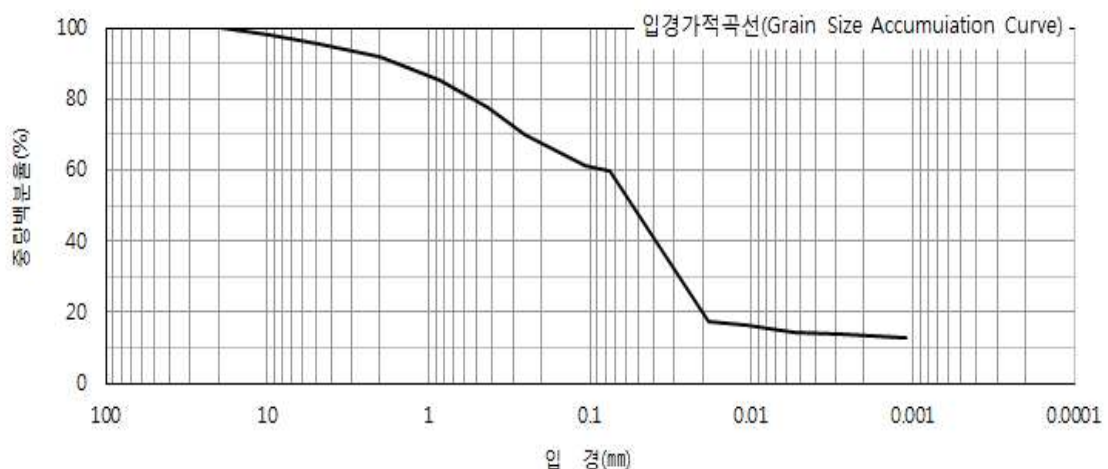
가) 지반 고화용 고화재 고화토 일축압축강도 시험

지반혼합공법에 의한 보강 공사의 경우 고화재를 지반과 혼합하여 적용하므로, 흙과 혼합 및 교반하여 일축압축강도를 측정하는 것으로 품질관리가 이루어지고 있으며, 설계시에도 사전에 배합시험 등을 진행하여 현장에 최적화된, 개발 고화재 투입비, W/B 등을 결정한다.

개발 고화재의 고화토 일축압축강도시험을 위하여 충남 보령에서 채취한 원지반토를 사용하였으며, 원지반토의 입도분포 및 물리적 성질은 다음과 같다.

대상토의 물리적 성질

구분	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수 (%)	200번채 통과량(%)	통일 분류
보령토	2.70	41.5	31.9	9.9	59.9	CL



사용 원지반의 입도분포 곡선

① 고화토 제작과정

고화토의 제작과정은 원지반토 함수비 측정, 원지반토 함수비 조절, 원지반토 계량, 지반 고화재 준비, 배합수 준비, 지반고화재와 배합수의 혼합 슬러리액 제작, 혼합 슬러리 및 원지반토 혼합, 몰드를 이용한 혼합토 시료제작, 양생(7, 14, 28, 56일), 일축압축강도시험 진행의 순으로 진행하였다.

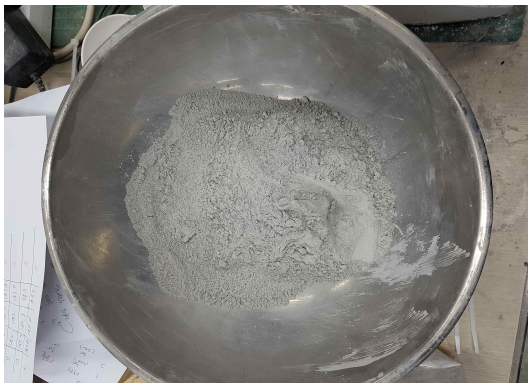
고화토 제작시 지반고화재의 투입량은 1m³당 230kg을 기준으로 하였으며, W/B비는 150%, 원지반 함수비 14%를 기준으로 하여 고화토를 제작하였다.



원지반토 함수비 측정



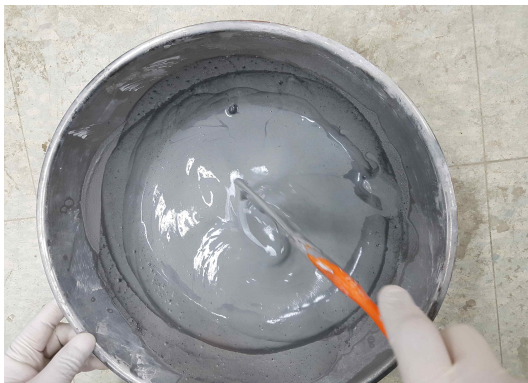
함수비조절 및 토사준비



지반고화제 준비



배합수 준비



슬러리 제작

원지반 슬러리액 혼합



혼합토 및 몰드 준비



시험시료 제작



시험시료 제작 완료



항온항습 상온양생



시험시료 탈형

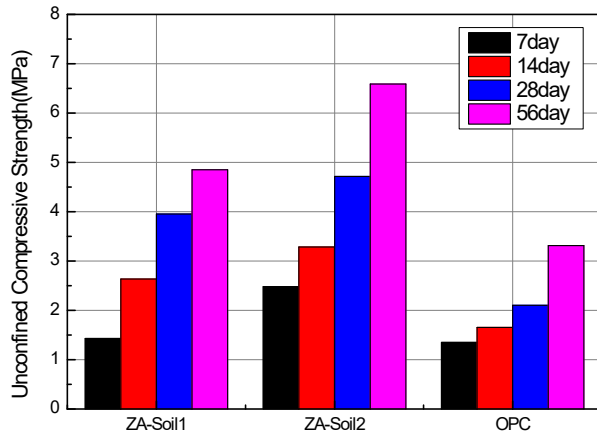
양생일별 시험진행

② 고화토 일축압축강도 측정 결과

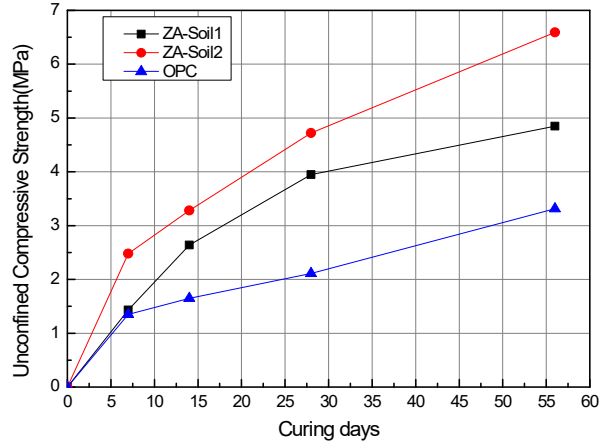
고화토 일축압축강도 측정 결과 시멘트(OPC)에 비하여, 개발 지반고화재 ZA-Soil1, ZA-Soil2 모두 일축압축강도가 1.46~1.99배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 지반혼합공법에 사용되는 가장 많은 재료는 흙인 원지반토이며, 지반고화재와 반응성이 고화토의 일축압축강도에 미치는 영향성이 큰 것으로 판단된다.

양생일별 고화토 일축압축시험 결과

구 분	7D			14D			28D			56D		
	1	2	평균	1	2	평균	1	2	평균	1	2	평균
ZA-Soil 1	1.46	1.57	1.43	2.62	2.65	2.64	3.99	3.92	3.95	4.75	4.95	4.85
ZA-Soil 2	1.57	1.54	2.48	3.29	3.28	3.28	5.20	4.23	4.72	6.63	6.54	6.59
OPC	1.38	1.32	1.35	1.60	1.70	1.65	2.08	2.13	2.11	3.21	3.42	3.31



양생일별 고화토 일축압축강도
측정결과(평균)



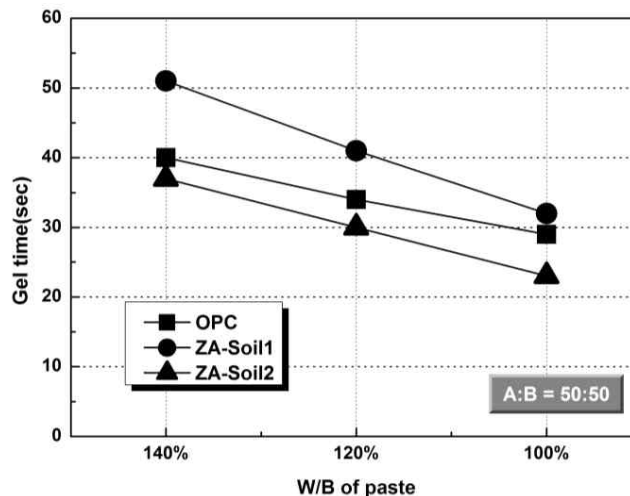
양생일별 고화토 일축압축강도 변화결과

나) 약액주입공법용 고화재의 호모겔 시험

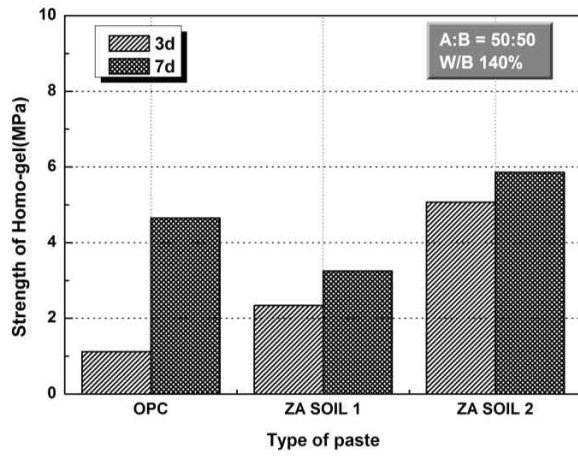
개발 약액주입공법용 고화재의 성능 및 적절한 고화재 및 약액의 혼합비율을 도출하기 위하여 겔타임시험과 호모겔강도 시험을 OPC와 개발한 시제품(ZA-Soil1, 2)에 대하여 실시하였으며, 배합은 다음의 시험배합표에 의하여 실시 하였다. 시험결과 결합재의 종류에 관계없이 B액의 물-결합재비(W/B)가 감소함에 따라 겔타임이 단축되었으며, 강도 또한 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 현장에서 요구되는 겔타임은 규산소다 3호 적용시 40~60초 이내로, ZA-Soil1의 겔타임이 가장 큰 값을 보였으며, OPC, ZA-Soil2의 순서로 측정되었다. 호모겔 강도 측정값을 살펴보면, B액의 물결합재비에 관계없이 ZA-Soil2)가 가장 우수한 강도발현 성상을 보이고 있음을 확인하였다.

겔타임 및 호모겔강도 시험 배합표

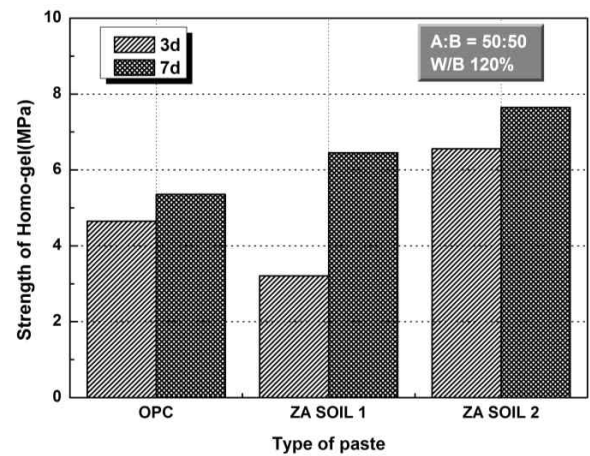
A액(50L)		B액(50L)		
규산나트륨(3호)	물	시멘트(결합재)	물	W/B
25L	25L	29kg	41 kg	140
		33kg	40kg	120
		38kg	38kg	100



결합재비(W/B)별 겔타임측정 결과



호모겔 강도(W/B 140%)



호모겔 강도(W/B 120%)

다) 약액주입공법용 고화재의 토질별에 일축압축강도 평가

토질별 고화재의 적용시험은 새만금 준설토(실트), 전남 여수시 묘도동에 있는 묘도준설투기장(점토), 및 수원시 광교 택지조성공사 현장(사질토)에서 시료를 채취하여 사용하였다. 사력토의 경우 광교 택지조성공사의 흙의 체분류하여 입도를 조정하여 사용하였다.



전남 여수시 묘도준설투기장 시료 채취전경(점토)



새만금조성공사 시료 채취 전경(새만금 준설토)



광교 택지조성공사 시료 채취전경(사질토 및 사력토)



사력토 준비를 위한 체분류 작업(광교 사질토 이용)

토질별 일축압축시험은 밀크액을 만들어 지반에 교반하는 습식방법을 기준으로 하여, 보통 포트랜드 시멘트(OPC) 개발 고화재인 ZA-Soil1, ZA-Soil2를 사용하여 일축압축강도시험용 시료를 제작하였다.

일축압축강도시험용 시료를 제작방법은 아래의 그림과 같이 고화재 준비, 대상토의 계량, 교반, 진동다짐, 시료상부정리, 양생 및 일축압축강도시험 순으로 진행하였다.

토질별 일축압축시험결과 사력고화토의 경우 양생재령 3일 일축압축강도는 개발제품들(ZA-Soil1, ZA-Soil2)의 강도가 OPC대비 작게 발현하는 것으로 나타났으나, 양생재령 7일에는 OPC대비 비슷하거나 약간 높은 강도가 나타났으며, 양생재령 28일에는 OPC대비 약 10~18%정도 강도가 더 발현하는 것으로 나타났다. 또한 사질 고화토와 점토고화토의 경우 ZA-Soil1은 사력 고화토와 같이 양생재령일 3일에서는 OPC대비 작은 강도를 발현하나, 양생재령일 7일 이후부터는 OPC대비 동등 이상의 강도를 발현하는 것으로 나타났다.

ZA-Soil2의 경우 양생 재령일에 관계없이 OPC대비 일축압축강도가 비슷하거나 약간 높은 강도를 갖는 것으로 나타났다.



결합재 및 증류수 교반



대상토의 계량



1차 수동 교반



1차 믹서 교반 (5분)



2차 수동 교반



2차 믹서 교반(5분)



1차 진동다짐



2차 진동다짐



시료 상부정리



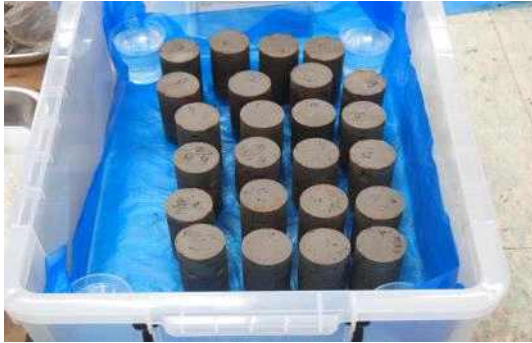
시료제작 완료 전경



탈형 작업전(양생재령 7일)



시료 탈형작업 후(양생 7일)



습윤양생 내부 전경



습윤양생 전경



실험실 양생 전경



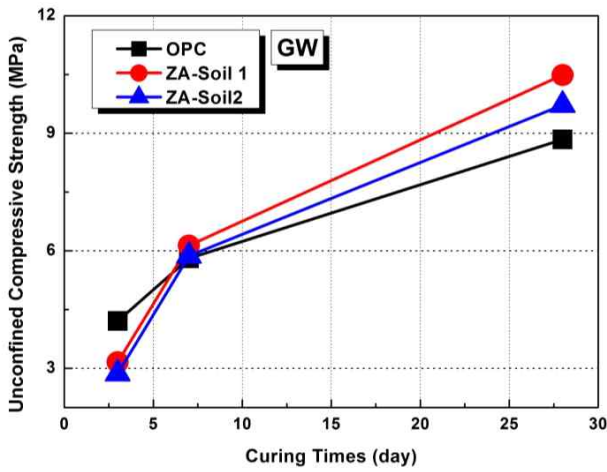
일축압축시험에 사용한 장비



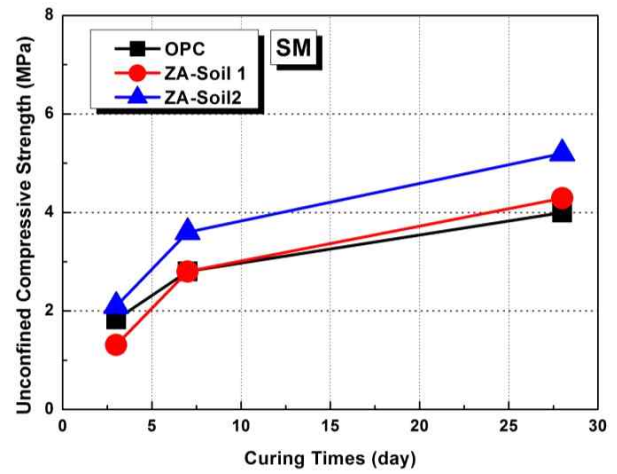
일축압축강도시험 종료(점토)



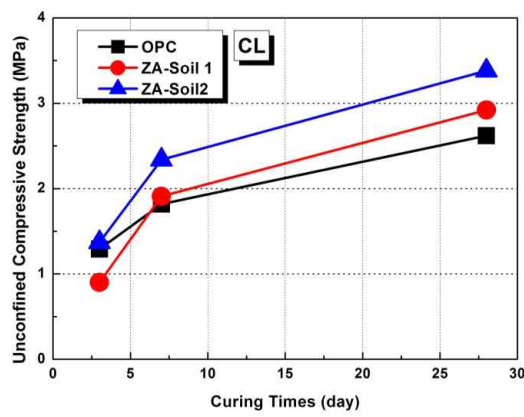
일축압축강도시험 종료(사질토)



양생일별 일축압축강도시험 결과(사력토)



양생일별 일축압축강도시험 결과(사질토)



양생일별 일축압축강도시험 결과(점토)

라) 약액주입공법용 고화재의 투수계수 평가

개발 약액주입공법용 고화재의 투수계수 평가는 경기 수원 광교 택지 조성공사현장에서 채취한 원지반토를 사용하여 시험을 진행하였으며, 이물질 및 큰 자갈 등을 걸러내기 위해서 건조로에 24 시간 이상 건조 후 No.4번 채로 대상토를 체가름하여 시험에 사용하였다. 사용한 대상토의 물리적 특성은 아래의 표와 같이 비중 2.66, 액소성한계는 측정되지 않았으며, 200번체 통과량은 43.7%로 나타나 통일분류법상 SM(실트질 사질토)로 분류되었으며, 이는 비교적 높은 투수계수를 확보하는 토질이다.



사력토 준비를 위한 체분류 작업(광교토 이용)

대상토의 물리적 성질

구분	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수 (%)	200번채 통과량(%)	통일 분류
광교토	2.66	N.P	N.P	N.P	43.7	SM

투수계수용 시료의 제작은 시료의 밀도를 맞추기 위해서 A다짐기준으로 시료를 제작하였으며, 투수계수의 개량효과를 확인하기 위해서 원지반, ZA-Soil1 시료, ZA-Soil2 시료 이렇게 3가지 종류로 실험을 진행하였다. 시험순서는 KS F 2322(흙의 투수 시험방법)을 이용하여, 변수위로 투수시험을 진행하였으며, 시험결과 원지반의 경우 $1.14 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$, ZA-Soil1의 경우 $1.12 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$, ZA-Soil2의 경우 $2.02 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 로 나타나, ZA-Soil1의 경우 원지반에 비해 약 100배, ZA-Soil2의 경우 원지반에 500배이상의 투수계수가 저감되는 것을 확인할 수 있었다.



변수위 시험기 및 포화장치



변수위 투수계수 시험 전경

마) 약액주입공법용 고화재의 내해수성 평가

인공해수는 ASTM D 1141에 준하여 2배 농도의 인공해수를 제조하였으며, 침지기간이 경과함에 따라 용액이 묻어지는 점을 고려하여 4주마다 인공해수를 교체하여 침지실험을 실시하였다.

내해수성 실험은 10일 재령의 약액주입공법에 사용하는 호모겔 시료를 인공해수에 침지시켜 소정의 재령(7, 14일)에서 압축강도를 KS L 5105에 의거하여 측정하였다. 호모겔 시료는 다음의 표와 같이 OPC의 경우 일반적으로 많이 사용하는 규산나트륨3호용액과 개발 고화재인 ZA-Soil은 ADG1, 2용액과 1:1로 혼합하여 시료를 제작하였다.

호모겔 시료 혼합비

고화재 종류	W/B	A:B	혼합비					
			Liquid A				Liquid B	
			SS (No.3)	ADG-1	ADG-2	Water	binder	Water
OPC	100	50:50	25.0	-	-	-	12.0	38.0
ZA-Soil	100	50:50	-	22.7	2.3	25	13.1	36.9

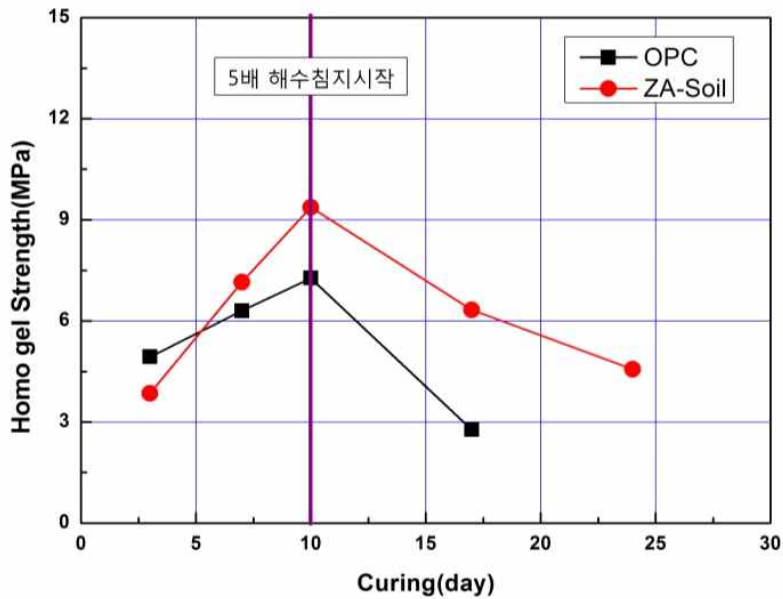
담수에 침지한 호모겔 시료의 압축강도는 기간이 경과함에 따라 증가하였으며 특히, 개발제품인

ZA-Soil은 OPC와 비교하여 높은 강도 발현 성상을 보였다.

한편 인공해수에 침지한 시멘트 호모겔은 침지 기간 14일에서 호모겔 시료가 조각으로 분리되는 현상이 나타나 압축강도 측정을 진행할 수가 없었으나, 개발제품인 ZA-Soil의 경우 일정부분 압축강도가 감소하였지만 기존 제품인 OPC보다 우수한 내해수성을 보이는 것으로 나타났다.

호모겔의 압축강도

양생일	규산-OPC (MPa)	ADG-Zasoil (MPa)
3	4.93	3.85
7	6.3	7.15
10	7.27	9.37
17(해수침지 7일)	2.77	6.33
24(해수침지 14일)	측정불가	4.57



약액주입용 호모겔 시료의 내해수성 시험 결과

바) 약액주입공법용 고화재의 어독성 시험평가

약액주입공법용 고화재의 어독성 시험은 규산나트륨3호 용액을 공통으로 사용하여, OPC와 ZA-Soil의 호모겔 시료를 제작하여 금붕어를 이용하여 시험의 진행하였다.

시험실의 온도는 약 20℃로 일정하게 유지되도록 하였으며, 동영상 촬영을 통하여 연속적으로 측정하였다. 호모겔 시료 8개를 약 20ℓ의 담수에 넣어 진행하였다.

약 18시간동안 시간동안 시험을 진행하였으며, OPC의 경우 경과시간 18시에 모든 시험 객체가 죽은 것을 확인하였으며, 개발제품인 ZA-Soil의 경우 18시간 경과후 시험객체의 지느러미에 하얀색 이물질이 생성되었으며, 움직임이 둔화한 것을 확인하였다.

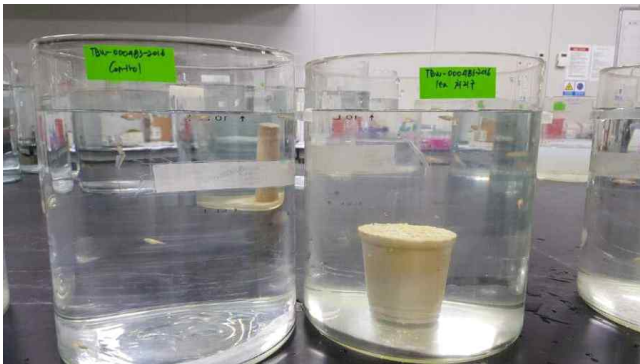
개발 고화재의 객관성을 확보하기 위하여 공인인증기관인 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰하여 어독성시험을 진행하였으며, 시험결과 기존 고화재인 OPC의 경우 치사량이 30%로 측정되었으며, 개발고화재는 치사량이 0%로 측정되어 기존 OPC 고화재보다 환경성이 우수한 것을 확인 하였다.

자체 어독성 시험결과 1

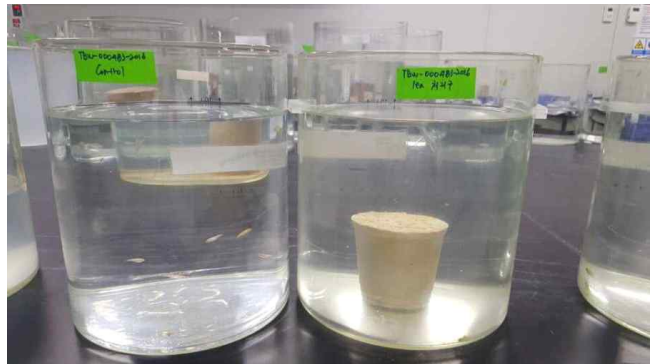
경과 시간	LW-OPC	LW-ZA Soil
Start		
	실험 개시	실험 개시
10분	 개체의 지느러미 주변에 흰색의 이물질이 부착되기 시작함	 변함 없음.
30분	 이물질 부착량이 늘어 개체의 움직임 둔화	 개체의 지느러미 주변에 흰색의 이물질이 부착되기 시작함 (비교군 10분후 보다 생성량 적음)

자체 어독성 시험결과 2

경과 시간	LW-OPC	LW-ZA Soil
1시간		
3시간	 대부분의 개체의 움직임 둔화 이물질 부착에 의해 개체의 움직임이 거의 없음	 개체의 지느러미 주변에 부착된 이물질에 의해 움직임이 둔화하기 시작함(비교군 30분 보다 생성량은 적음)
18시간 (실험 종료)	실험개체 모두 죽음	실험개체 움직임 둔화



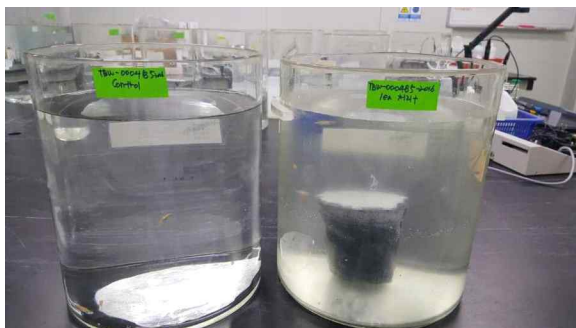
OPC+규산 어독성 시험전경(시험 직후)



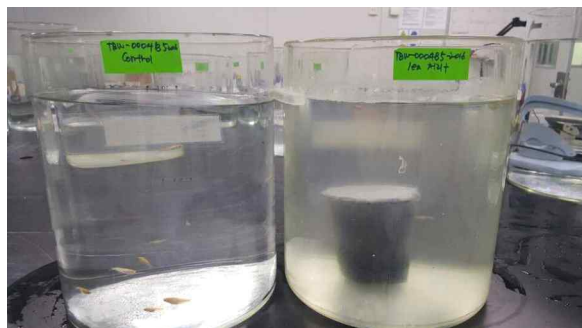
OPC+규산 어독성 시험 전경(48시간)



OPC+규산 어독성 시험전경(96시간 경과후)



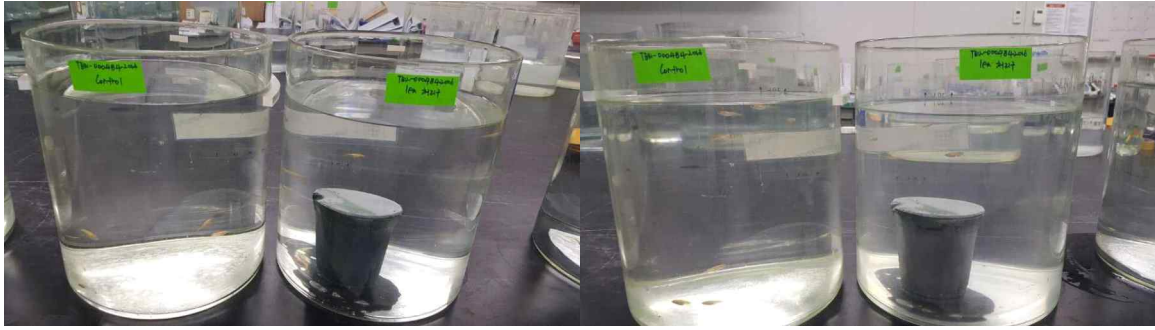
ZA-Soil+실리카졸 어독성
시험전경(시험 직후)



ZA-Soil+실리카졸 어독성
시험전경(48시간 경과후)

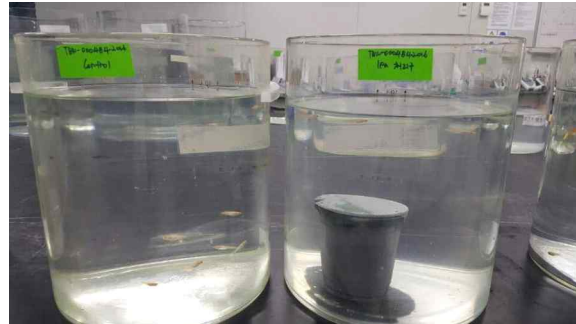


ZA-Soil+실리카졸 어독성 시험
전경(96시간 경과후)



ZA-Soil+규산 어독성 시험 전경
(시험직후)

ZA-Soil+규산 어독성 시험
전경(48시간 경과후)

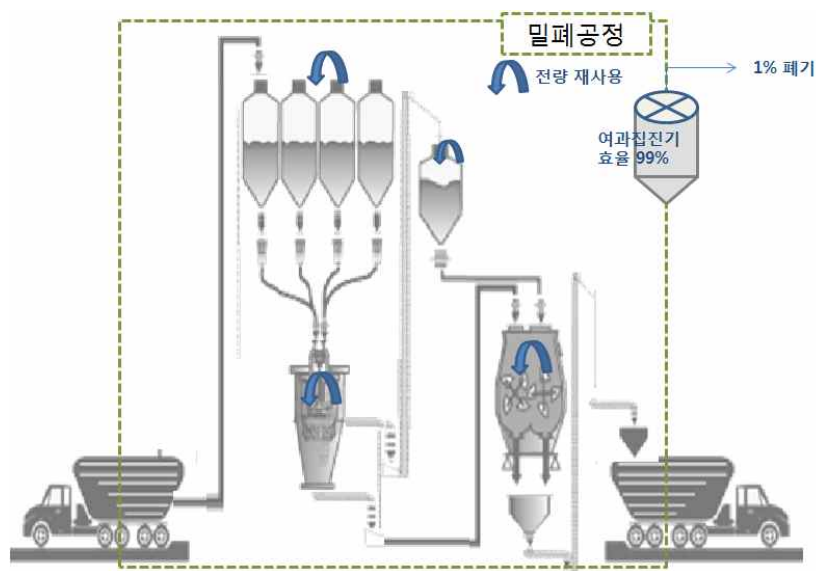


ZA-Soil+규산 어독성 시험
전경(96시간 경과후)

(다) 고화재 제조 공정 및 시제품 생산을 위한 Pilot Plant 및 제품 생산 공정 매뉴얼

1) 고화재 제조 공정 확립 및 pilot plant 설치

당사의 기존 설비를 활용 및 개선하여 개발제품의 생산을 실시하였으며, 제조 과정 및 전처리 계통도는 아래의 그림과 같다.



원료입고 ➔ 계량 ➔ 선별/분쇄 ➔ 혼합 ➔ 제품출하

개발 고화재 생산 시스템 및 계통도

원료 입고부터 출하까지 공정 전체가 자동화 시스템(프로그램)에 의해 가동되는 밀폐된 연속 공정으로써 집진기 등 방지시설에 포집된 입자상물질(원료 및 제품)이 시스템에 의해 외부에 반출 없이 자동으로 전량 제품제조 공정에 투입된다. 다만, 대기오염 배출시설 방지시설인 여과집진기는 99%의 효율로 가동되므로 전체 발생하는 입자상물질(원료 및 제품)의 약 1%가 폐기된다 할 수 있다. 즉, 폐기물재활용 처리에 의한 mass 손실율은 1%이며, 가열 및 냉각 공정이 없기 때문에 열에 의한 손실율은 0%라 할 수 있다.

원재료는 이송스크류를 통해 재료가 입고되며, 입도가 불균질한 재료는 볼밀을 통해 분쇄되고, 최종적으로 정량공급장치를 통해 혼합기에 일정량의 원재료를 투입함으로써 지반개량재의 품질을 균일하게 만든 후 저장 Silo를 거쳐 계량 및 혼합되어 포장되는 공정을 거쳐 생산된다.

주요 설비구성은 다음과 같다.

- ① 원료설비 : Silo, Screw Conveyor, Ball Mill, Un-loading System 외
- ② 제품설비 : Silo, Hopper Air Pulse, Unloader, Loading Pipe
- ③ 기타설비 : Truck Scale/ air compressor, Deck plates

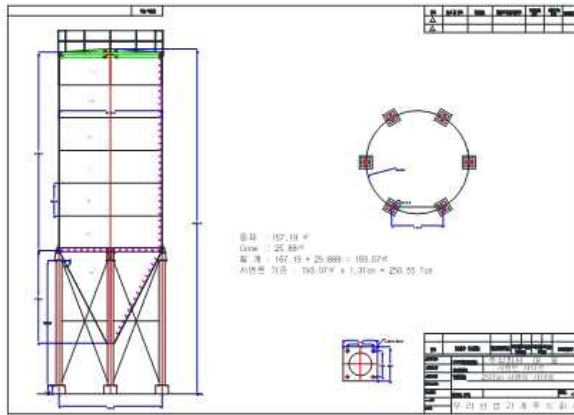
분쇄를 거치지 않는 기존의 개량재 생산 효율은 시간당 120ton으로, 연간 20만톤의 개량재 생산이 가능하지만, 분쇄 과정이 필요한 경우 볼밀 설비의 처리 효율이 5~8ton/hr 로 원료 중 40%를 분쇄하여 제작할 경우 전체 생산효율이 12~20 ton/hr 수준으로 현격히 저하되는 문제가 발생해, 분쇄 공정을 별도로 분리해서 실시하는 등의 문제가 있었다.

그러나 표층개량재의 경우 타 연약지반 개량재와 달리 미분의 사용이 필요하지 않을 것으로 판단되어, 볼밀 외부에 진동스크린을 설치하여 1차 분급을 실시하고, 분급 된 입자크기 0.8mm 이상의 원료 만을 볼밀을 통해 분쇄하는 공정을 설계, 설치하였다. 또한, 다양한 순환자원을 개발 고화재의 원료로 활용하기 위해 초미립분 저장 관련 pilot plant를 설치하였다.

공정 개선 결과 볼밀 설비의 처리 효율이 12~14 ton/hr 수준으로 소폭 상승하였으며, 장비의 막힘 현상이 발생하지 않았다. 이는 진동스크린 및 볼밀 내부에서 선별된 분쇄가 필요 없는 미립분을 버킷과 백필터 장치를 통해 집진을 실시하기 때문이다.



개발 제품 혼합, 생산 설비 전경



개발 제품 혼합, 생산 설비 도면 및 전경

2) 고화재 품질생산 관리 매뉴얼

(주)대웅의 내부 규정에 의거 고화재의 생산 공정 및 설비 관리를 실시하고 있으며, 시공 공법 및 현장의 요구성능을 만족하는 고화재를 납품하기 위해 품질관리 시설을 구비하여 품질관리를 실시하고 있다.

3) 지반보강공법별 시방서 및 요구 성능 분석

- 심층혼합처리공법 시방규정 및 요구성능

심층혼합처리공법(DCM공법)

1부. 일반사항

1.1. 적용범위

1.1.1 요약

본 장은 개량 대상층에 Cement Slurry를 주입, 교반, 혼합하여 원지반을 고결하는 심층혼합처리공법(DCM, $\phi 1,000\text{mm} \times 4\text{축}$)을 적용하여 설계기준강도 이상의 강도 및 지지력을 확보할 수 있도록 개량 대상지층을 안정시키는데 필요한 인력, 장비, 재료 및 기타 필요한 사항을 규정한다.

1.2 제출물

1.2.1 시공 계획서

1. 공사 착수전에 시공계획서를 작성하여 감리원에게 제출한다.
2. 계획서에는 장비동원 계획서, 안전관리 계획서가 포함되어야 한다.

1.3 일반조건

1.3.1 계약상대자는 시공에 앞서 현장의 각종 상황(지하매설물, 구조물, 주변건물, 지반, 노면, 교통등)을 고려한 시공계획서를 작성하여 공사감독관의 승인을 받아야 한다.

1.3.2 시공계획서는 상세한 위치, 사용기계, 공정, 장애물 처리방법 등을 고려하여야 한다.

1.3.3 계약상대자는 설계도에 의한 시공이 곤란할 때는 그 부분의 변경 시공도 및 계산서를 공사감독관에게 제출하여 승인을 받아야 한다.

2부. 재료

2.1 재료

2.1.1 시멘트는 KSL 5201(포틀랜드 시멘트) 또는 KSL 5210(고로 슬래그 시멘트)를 사용한다.

2.1.2 배합에 사용되는 물은 담수 또는 해수로 사용 한다.

2.1.3 물-시멘트 중량비율은 시공성 및 안정성 등을 고려하여 통상 1:0.7~1:1.2 범위 내에서 결정한다.

2.2 품질 요구 조건

2.2.1 본 공사에서 규정한 심층혼합처리공의 개량체 제원은 다음과 같다.

<표1> 심층혼합처리 제원

시멘트 종류	시멘트 배합량 (kgf/m ³)	물:시멘트 중량비	실내배합강도1)	설계기준강도3)	허용압축응력5)	허용전단응력6)
고로 슬래그 시멘트	250	1:0.7 ~ 1:1.2	26.0	8.67	4.33	2.17

2.2.2 상기에 규정된 실내배합(26.0kgf/cm²) 및 설계기준강도(8.67kgf/cm²)는 재령 28일 강도를 기준으로 한 것이며 시멘트 배합량, 물-시멘트 중량비는 참고사항이므로 심층혼합공 실시공 전에 반드시 원지반 흙(점성토층)에 대한 시험시공 및 실내배합 시험을 실시하여 공사감독자 또는 발주자의 승인을 받은 후 최적의 시멘트 배합량, 물-시멘트 중량비를 확정하여야 한다

2.2.3 설계기준강도는 확인조사(개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 최소 기준값이다.

2.2.4 허용압축응력과 허용전단응력은 DCM을 4축으로 시공할 경우에 대해 설계기준 강도에 따라 정의한 것이다.

2.2.5 설계기준강도의 신뢰성을 확보하기 위해 원지반에서 시험시공을 실시하여 배합비와 시공속도를 확정하도록 한다.

2.2.6 시험시공으로 배합비와 시공속도를 확정하는 경우에는 재령 28일의 설계기준

강도를 적용하기 어려우므로 7일 강도에 의한 재령 28일강도를 추정하도록 한다. 고로 슬래그 시멘트에 대해서는 재령 7일의 일축압축강도에 1.49를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하고, 보통 포틀랜드 시멘트는 재령 7일의 일축압축강도에 1.59를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하도록 한다.

2.2.7 시험시공 개량체의 재령 7일 강도를 기준으로 본 시공을 실시하며, 추가적으로 재령 28일 강도를 확인하여 설계기준강도의 만족여부를 확인한다.

2.3 배합설계

2.3.1 강도, 시멘트, 물 등의 단위 재료량의 배합설계는 시험시공을 통한 현장강도를 통해 최종적으로 결정해야 하며, 실내배합시험은 이를 확인하기 위한 사전 준비 및 참고자료로 사용한다. (3.3 시험시공 참조)

2.3.2 개량토의 실내배합강도는 재령 28일에서 일축압축강도를 8.66 kg/cm²이상으로 한다.

2.3.3 재료는 중량으로 계량하고 혼합시간 등은 높은 강도를 얻을 수 있도록 한다.

2.3.4 재령에 대한 공시체의 수는 3개를 표준으로 하며 재령별 기준은 7일, 28일, 90일 3종류로 구분한다.

2.3.5 배합설계에 필요한 원지반 시료채취는 충분한 배합설계가 되도록 채취량을 결정해야 한다.

2.3.6 배합설계를 위한 시료채취 위치는 설계시 조사된 토질조사 결과치를 근거로 하여 작성된 토층단면도, 평면 위치도를 참고하여 평면상 대상 구역에서 시료를 채취하는 것을 원칙으로 하나, 공사감독원과 협의하여 재조정 될 수 있다.

2.3.7 실내 배합시험은 Sampling한 시료에 해당 소요만큼의 Cement Slurry를 넣어 혼합한 개량토를 소요기간동안 양생한 후 일축압축강도 시험을 실시하여야 한다.

2.3.8 배합시험은 KSF 2328 (흙 시멘트의 압축강도 시험방법) 및 KSF 2329 (시험실에서 흙 시멘트의 압축 및 휨 강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법)에 준하되 사전에 감독원과 협의하여 결정한다.

2.3.9 시험결과는 다음 항목에 대하여 정리한다.

시멘트, 물 등 단위 재료량 결정

개량토의 일축압축강도

시멘트 첨가율과 개량토의 일축압축 강도와의 관계

3부. 시 공

3.1 사용장비

사용장비는 기초의 계획심도까지 시공이 가능하며 시공중 파일의 수직도 및 심도를 육안으로 확인 가능한 장치가 내장된 신뢰성 있는 장비로 한다.

3.1.1 장비구성

1. 파일 드라이브 : 1대
2. 교반 혼합처리기(4축): 1대
3. 교반용 빗트(Φ1,000mm-4축) : 1조
4. 슬러리(slurry)생산 및 주입 플랜트 : 1Set
5. 심층혼합처리 및 주열식 흙막이 공사에 투입되는 장비 및 기기는 항상 청결한 상태를 유지하여야 하며 파손 또는 사용할 수 없는 장비 및 기기는 즉시 수리 또는 반출하여야 한다.
6. 안전관리 책임자 및 해당 장비에 숙련된 담당자에 한하여 책임 운전하여야 하며 모든 작업자는 안전용구를 착용하여 시공 중 재해가 없도록 하여야 한다.

3.1.2 부속장비

1. 발전기 : (교반 혼합처리기용)
2. 발전기 : (그라우팅 믹서용)
3. 그라우팅 믹서
4. 그라우팅 펌프
5. 수중펌프
- (1) 공기 압축기(필요에 따라)
- (2) 시공관리계(심도기록계, 주입량 기록계, 물-시멘트 배합비 기록계)

3.2 조사 및 계획

3.2.1 조사 및 시험

시공자는 본 공사를 착수하기 전에 해당구역의 측량 및 원지반 토사를 채취하여 설계조건과의 상이 여부, 시공조건 등을 조사, 분석한 후 그 결과를 감독원에게 제출하여야 한다.

3.2.2 시공계획서

시공자는 합리적이고 효율적인 시공이 될 수 있도록 다음 사항들이 포함된 시공계획서를 제출하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

1. 시공계획 및 예정공정표
2. 장비 및 인원 투입계획
3. 시멘트 확보계획
4. 물-시멘트비 사용량
5. 장비제원 및 성능
6. Slime 처리방법

3.2.3 공사계획 변경

공사 시행중 현장조건 및 시공 상태에 따라 변경이 필요할 경우 이미 승인한 내용들을 발주처의 승인에 의해 변경할 수 있다.

3.3 시험시공

3.3.1 도급자는 조립된 심층혼합장비의 시운전 및 지지층의 상이 여부 및 AUGER의 부하량을 측정하기 위하여 시험시공을 실시하여야 한다.

3.3.2 시험시공 위치는 (개량대상 구간중 설계시 지질조사 또는 실내배합시험을 위한 원지반 시료채취 위치 또는 근접한곳), 심도(개량층 하부까지), 시공방법(1회왕복-굴착주입 및 선단고화 후 인발주입) 및 시공량에 대하여는 감독원과 협의하여 정한다

3.3.3 시험시공 중에 실시하는 개량체는 원지반과 혼합 교반된 개량체에 PVC pipe를 삽입하여 시료를 채취하여 습윤 양생후 7일, 28일, 일축압축강도를 확인해야 한다. (PVC Pipe사용 규격은 φ75~100mm 내외로 한다)

3.3.4 설계기준강도의 만족여부는 재령 28일을 기준으로 하나 시험시공시에는 7일 강도를 기준으로 재령 28일 강도를 간접적으로 추정한다.

3.3.5 시험시공에 의한 현장 일축압축강도는 재령 28일일 때 8.66kg/cm' 이상을 기준으로 한다.

3.3.6 도급자는 시험시공 완료와 동시에 다음과 같은 항목에 대한 분석 보고서를 공사 감독자에게 제출하여야 한다.

3.3.7 시험결과는 다음 항목에 대하여 정리한다.

1. 장비의 관입, 인발에 대한 Cycle time, 장비 위치 이동시간
2. Slurry 주입 펌프용량

3. 최종개량심도 확인방법
4. 시멘트 Slurry 토출량 및 시간
5. 개량토의 일축압축강도
6. 기타 본 공사에서 시공관리상 필요로 하는 항목

3.4 시공

3.4.1 시공심도

1. 연약토층의 개량은 모래층 또는 모래 자갈층 상단 이상을 원칙으로 도면에 표기된 심도까지 시공하되 N값 30이상은 과부하로 인한 효율저하가 예상되므로 이에 해당하는 견고한 지층을 한계깊이로 한다.
2. 개량토 말뚝의 선단부에서는 Slurry 주입량(교반시간)을 증가(2~4분)시켜 일체가 되도록 보강하여야 한다.

3.4.2 시공방법

1. 관입 작업전에 Mixing plant 에서는 배합설계 및 시험시공에 의해 결정된 배합기준에 의하여 시멘트 Slurry를 혼합한다.
2. Rod의 관입은 미리 준비된 시멘트 Slurry를 주입하면서 시험 시공시 정해진 속도로 굴착 관입시킨다.(지반조건에 따라 ROD관입시간이 길어져 주입량 관리가 어려울 경우 관입시 시멘트 슬러리 대신 물을 사용할 수 있다)
3. 소요 지층까지 관입이 완료되면 선단고화를 위해 제위치에서 2~4분 정도 주입교반 후 Rod를 시험 시공시 정해진 속도로 주입교반 상승시켜 개량을 완료하며, 개량길이 및 지층구성이 같을 경우 주입교반에 소요되는 시간, 주입량은 항상 일정하도록 시공 관리계획의 작동을 예의 주시하여 관찰하여야 한다.
4. 시멘트 Slurry는 항상 충분한 양이 준비되어 교반 주입시 중단되는 일이 없도록 해야 한다.
5. 시공간격과 깊이는 반드시 도면에 표기된 간격에 맞춰서 시공하여야 하고, 지반조건이 설계조건과 상이할 경우 감리자와 협의하여야 한다.
6. 시공시 발생하는 슬라임은 개량체 상부에 채움 재료로 유용한다.
7. 개량의 연직도는 장비에 부착된 수직/수평 측정기를 통해 시공중 항상 연직이 되도록 유지하여야 한다.

3.4.3 시공관리

1. 교반·혼합 처리기는 지반을 개량하는 것으로 장비에 이상이 발생되었을 때는 즉시 작업을 중단하고 신속하게 보수 처리하기 위하여 현장에는 항상 예비부품을 확보하여야 한다.
2. 장비 Setting시 접지압이 확보되도록 필요시 굴착면의 토사를 선굴착하여 포설하고, 특히 작업난이로 인한 지반교란 등을 방지하기 위해 필요시 소요두께의 양질토사를 굴착 포설한다.
3. 타설 위치는 오차 범위내에 정확하게 Setting된 후에야 개량작업을 할 수 있다.
4. 개량의 연직도는 장비에 부착된 수직 Gauge에 의하여 시공중 수직이 되도록 유지하여야 한다.
5. 주입 및 승하강속도, 회전수는 시험시공시 결정된 속도 및 회전수를 기준 한다.
6. 관입심도는 부착된 심도계로 관리한다.
7. 시멘트 Slurry의 토출량은 토출량계(유량계)로 관리한다.
8. 선단부 확인은 굴착속도 및 부하량 또는 와이어 처짐으로 판단한다.
9. 지속적인 굴착 및 중장비의 가동시 주변 생태지역의 진동 및 소음에 의한 피해가 발생하지 않도록 유의한다.

3.5 확인시험, 시공기록 및 검사

3.5.1 검사 및 시료채취

1. 본 시공시 개량체 확인시험은 개량체 조성후 28일 이상 경과한 후 실시하며, 개량체의 균일성과 시공심도를 확인하기 위하여 본 시공시 개량체 300공당 1회 시료를 채취한다. 채취된 시료에 대해서는 일축압축강도(1~3회), 단위체적중량시험 등이 수행되어야 한다. 또한 시료채취는 연속채취를 원칙으로 한다.
2. 시공후 개량체 확인시험시 채취된 시료의 시험분석결과 28일의 설계기준강도를 만족시키지 못하였을때는 우선적으로 실내배합시험, 시공시 및 시공후 확인조사결과를 토대로 90일 강도를 예측하여 설계기준강도의 만족여부를 판단하며, 90일 강도가 만족되지 않을 경우에는 도급

자는 감독원과 협의하여 적절한 대책방안을 수립한다.

3.5.2 시험결과

1. 도급자는 시공된 각 개량토 말뚝에 대하여 다음과 같은 기록부를 작성하여 감독원에게 제출하여야 한다.

- (1)작업 일시(시작, 종료), 작업 당시의 기상조건
- (2)시멘트 Slurry 등 사용재료의 배합비 및 계량치
- (3)개량공변 및 개량심도
- (4)일일 개량면적
- (5)시멘트 Slurry의 토출량 및 주입압

2. 시멘트량은 실내시험 및 시험시공에 의해 결정된 시멘트 배합비에 따라 산출한다.

3. 심층혼합 지반 개량공에 대한 시공오차는 다음과 같다.

- (1)개량토 말뚝의 천단고 : (+)10cm, (-)0cm
- (2)개량토 말뚝의 위치 : (±)10cm
- (3)연장 : (+) 규정 없음, (-)0cm
- (4)폭 : (+) 규정 없음, (-)0cm
- (5)개량심도 : 설계시 산정한 심도까지 (단 N치 30이상 지층 분포시 감리자 협의를 통해 조정가능)

- 지반 고화재 및 소일 시멘트의 요구성능 및 시방규정

흙과 고화재가 혼합된 경화체의 압축강도가 10~30kg/cm², 고화처리 대상토질 1m³에 첨가되는 시멘트량이 100kg 이하로서 그 용도가 도로기층 안정처리에 사용되는 경우 soil-cement 라는 명칭으로 일반적으로 적용되고 있다. 이와 같은 종래의 soil-cement는 고화재를 일정량 첨가한 후 최적함수비와 건조밀도를 측정하는 다짐시험을 통해서 배합설계를 하는 것이 일반적이다. 그러나 압축강도를 50~150kg/cm², 대상토질 1m³ 고화재 첨가량을 100~300kg으로 확대하고 유동성이 있는 plastic soil-cement로서 그 용도가 공원 산책로와 같은 경관포장의 표층재, 지반개량공법에 적용되는 표층혼합처리재의 경우 다짐시험을 통한 배합설계는 적용하기 어렵다.

한편, 고강도형 soil-cement는 종래의 soil-cement와는 역학적인 특성에 상당한 차이가 있으며, 오히려 빈배합 콘크리트의 물성과 유사한 강성을 갖고 있기 때문에 soilcrete라고 명칭한다.

soilcrete는 도로기층처리, 초연약 표층안정처리, soil mixing wall 또는 column, soil mixing block 등 사용범위가 광범위하고 오래된 재료이지만 동결융해저항성, 수축균열, 표면마모 저항성 등의 측면에서 내구성이 떨어지고, 품질의 균질성을 확보하기 힘들기 때문에 내구적인 목적으로 사용하기 어려웠다.

또한 함수율, 토질의 종류, 고화재 종류 및 함량 등에 따라 작업성과 강도발현 특성이 크게 영향을 받기 때문에 사용성이 떨어지는 문제점이 있었다. 그러나 최근 환경 친화적인 목적에 관심이 커지면서 공원 산책로, 농로, 임로, 골프장 보행로 등 경포장에 자연감을 유지하고, 파손된 후 짧은 시간에 자연으로 안전하게 회귀될 수 있는 soilcrete 포장의 적용사례가 증가하고 있다.

시멘트계 경화제의 대표적인 것으로 포틀랜드 시멘트, 고로 시멘트 등이 있다. OPC는 당초부터 사용되어 왔으나, 시멘트계 고화재의 사용은 얼마 되지 않았다. 시멘트계 고화재는 시멘트에 석고, 슬래그, 플라이애시, 알루미나 시멘트를 첨가한 것이다.

연약 지반 고화재(개량제) 및 각종 공법에 따른 Soil Cement의 시방 규정은 아래에 정리 해놓은

내용과 같으며, 각종 일반 및 전문시방서상 소일시멘트의 재료로는 KS L 5201 포틀랜드 시멘트에 적합한 재료를 사용하도록 하며, 동등 이상의 성능을 가지고 있는 경우 감독의 권한으로 사용할 수 있도록 하고 있다. 지반 고화재에 관한 요구성능은 각 적용 공법의 시방 및 규정에 따르고 있다.

▣ 토목공사 일반표준시방서

02611 소일시멘트 안전처리공

제 1항 일반사항

1.1 적용범위

1.1.1 이 시방서는 본바닥에 이어지는 설치 공사전에 본바닥흙, 시멘트, 골재, 모래 및 물로 혼성된 소일 시멘트 혼합재를 포설하여 물리적으로 안정시키는 지반처리에 관한 시방을 제시한다.

제 2항 기자재

1. 2.1 혼합재료

2.1.1 굵은 골재 : 02212 골재재료에 명시된 A2 종의 골재재료

2.1.2 잔골재: 02212 골재재료에 명시된 A6 종의 골재재료

2.1.3 바닥 흙 : 02211 흙재료에 명시된 S2 종의 흙재료

2.1.4 시멘트 : KS L 5201 포틀랜드시멘트, 보통시멘트 또는 내황산 시멘트

2.4 소일시멘트 혼합제

2.4.1 파낸 흙, 시멘트 및 골재는 도로공사 시방서의 해당요건에 따라 혼합해야 한다.

1. 시멘트량은 무게로 마른 혼합재료의 10%를 넘어서는 아니된다.

2. 혼합재의 7일 압축강도는 30kgf/cm² 이상이라야 한다.

2.4.2 물을 혼합물에 넣고 균질하고 덩어리가 없는 것은 혼합물이 되게 하고 젖은 소성재가 되지 않게 해야 한다.

2.4.3 혼합재료를 치기 전에 감리자의 승인을 받아야 한다.

▣ 건축공사 일반표준시방서

03015 흙막이공사

8. 소일시멘트(soil cement) 주열식 흙막이 벽

2. 8.3 재료

8.3.1 소일 시멘트를 사용할 때 시멘트는 03125.2(재료 및 허용응력도)에 따른다.

8.3.2 시멘트계 고화재 및 혼화재에 대해서는 공사시방서에 따른다.

8.5 시공

8.5.2 계획서에 따라 소일 시멘트 기둥의 시공순서에 주의하여 소정의 강도, 지수성을 확보하도록 신중히 시공하여야 한다.

3. 8.5.3 시멘트 밀크의 조합 및 주입량은 지반·지하수의 상태를 고찰하여 조성된 소일 시멘트의 강도나 지수성이 확보되도록 결정하여야 한다.

8.5.4 시멘트 밀크의 주입에 있어서 그 지반의 최적압력·토출량을 유지하면서 공내의 균일한 소일 시멘트가 되도록 충분히 고려하여 시공하여야 한다.

현장 요건 즉, 현장 지질 및 적용 공법에 따른 요구 성능 및 시방규정은 각각의 공법 시방서에 따른다. 각 공법 및 지질 조건에 따른 시방 규정은 다음과 같다.

▣ T.D.R 공법 시방서 및 요구성능

① 품질 요구조건

1) 본 공사에서 규정한 심층혼합처리(Ø550mm×3축) 개량체는 재령 28일(개량깊이나 계절적인 요인에 따라 미소한 차이를 보임)을 기준으로 설계기준강도를 산정한다.

2) 다음의 설계기준강도는 재령 28일을 기준으로 하며, 시멘트의 종류, 시멘트 배합량, 물:시멘트 중량비 등에 따라 토질조사결과에 의한 원지반의 상태를 감안하여 개략적으로 평가한 값으로 개량대상 원지반 흙에 대한 실내배합시험을 실시하여 변경할 수 있다.

<표 1> 지층별 시멘트 페이스트 표준 배합비 (재령28일을 기준)

토 질	재 료(㎡당)			실내배합강도 (kg/㎡)	현장강도 (kg/㎡)	비고
	시 멘 트	벤토나이트	물			
점 성 토	400	10	550	1~20	0.5~10	S.C.W 표준 배합비
사 질 토	350	20	550	20~80	10~40	
사 력	350	20	550	60~120	30~60	

① 실내배합강도는 원지반 흙과 시멘트 슬러리를 실내에서 배합한 후 28일간 습윤양생된 공시체에 대해 실시한 일축압축강도의 평균값으로 공시체의 최소 수량은 3개로 한다.

② 현장강도는 확인(조사개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 평균값으로 공시체 수량은 최소 3개로 한다.

③ 설계기준강도는 확인(조사개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 최소기준값이다.

④ 확인조사 결과 (현장강도일축압축강도)의 평균값이 <표 1>에서 제시한 현장강도값 이상이면 설계기준강도를 만족하는 것으로 평가한다.

3) 설계기준강도의 신뢰성을 확보하기 위해서는 원지반에서 시험시공을 실시하여 배합비와 시공속도를 확정하는 것이 바람직하다.

4) 시험시공으로 배합비와 시공속도를 확정하는 경우에는 재령 28일의 설계기준강도를 적용하기 어려우므로 7일 강도에 의한 재령 28일강도를 추정하도록 한다. 고로 슬래그 시멘트에 대해서는 재령 7일의 일축압축강도에 1.20~3.40를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하고, 보통 포틀랜드 시멘트는 재령 7일의 일축압축강도에 1.17~3.00를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하도록 한다.

5) 시험시공 개량체의 재령 7일 강도를 기준으로 본 시공을 실시하며, 추가적으로 재령 28일과 90일 강도를 확인하여 설계기준강도의 만족여부를 확인한다.

▣ SCW공법 시방서 및 요구성능

① 설계 및 시험

1) 소일시멘트벽은 현위치의 토사를 그대로 골재로서 사용하는 공법이기 때문에 시멘트 용액의 배합계획에는 현위치 토사를 점성토, 사질토, 사력토로 대별하여 강도, 지수성 등을 생각하여 시멘트량을 결정한다.

2) 현장조건을 고려하여 축압용 응력재(H형강등)를 삽입하여 설계하거나 지수벽으로 응력재 없이 설계하되 보일링이나 파이프의 방지에 유용한 경제적인 공법이 되게 설계하여야 한다.

3) S.C.W의 시멘트 슬러리의 W/C비와 설계배합비는 다음표를 표준으로 하되 S.C.W 강도 건 토질과 지하수의 상황에 따라서 양질의 균일한 벽체가 축조되는 혼합조건을 가하여 결정되어야 하며 미리 조사된 토질조사서에 따라 조합을 계획하여 감독자의 지시에 따라 최종적인 조합을 결정하여야 한다.

토 질	배 합 비 (kg)			압축강도 (kg/㎡)
	시 멘 트	벤토나이트	물	
보 통 토 사	400~700(550)	5~15(10)	800~1400(800)	20~80
사력토 및 풍화대	300~600(450)	10~30(15)	600~1200(600)	60~120

※ ()안은 표준안, W/C : 100~200%

② 강도시험

S.C.W의 선정 및 관리시험을 행하되 다음 중 일정한 품질관리가 될 수 있도록 사전 시험 계획서를 제출하여 감독자의 승인을 득하고, 이 계획서에 의거하여 강도시험을 행한 후 결과를 정리 제출하여야 한다.

- 1) 시공하기전에 원위치의 토사를 채취하여 실내시험반죽을 하는 방법 (실내시험법)
- 2) 시공시에 시료 채취봉을 소일시멘트 혼합토중의 소정심도까지 삽입하여 시료를 채취하여 강도시험을 하는 방법 (시료채취 시험법)
- 3) 근입 시공시에 소정의 깊이에서의 벽면에 코아를 채취하여 그 강도시험을 하는 방법(현장코아 시험법)
- 4) 공시체는 직경 100M, 높이 200M 굴하고 일축압축강도의 평가는 동일 공시체 3본 이상의 시험결과에 의한다.

▣ 약액주입공법 시방서 및 요구성능(LH전문시방서)

31055 약액주입공법

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 절은 약액을 지반에 투입시켜 지반의 투수계수를 감소시키거나 지반의 강도를 증진시키기 위하여 시행하는 주입공법의 일반적 요건을 제시한다.

1.2 관련시방

이 공사와 관련이 있는 사항 중 이 절에서 언급된 것 이외의 사항은 다음 절의 해당사항에 따른다.

11510 제출물관리

11010 공사일반(공사사진 및 비디오 촬영)

12010 품질관리

12520 환경관리

1.3 제출물

다음 사항은 "11510 제출물관리"에 따라 제출한다.

1.3.1 시공 계획서

"11010 공사일반 1.16 시공계획서 작성"에 명시된 내용에 포함하여 작성 제출한다.

가. 안정제사용 계획서, 안전관리 계획서

1) 주입 책임기술자(인적사항 및 경력사항)

2) 시공환경조사(토질, 지하수위의 상황, 주변지역의 환경 및 매설물조사)

3) 지하수, 음용수원 감시계획 및 음용수원대책

4) 수질의 분석기관명

5) 사용주입재의 종류와 성분

6) 주입계량범위와 주입간격, 주입량(1로트(Lot) 및 총사용량, 단위토량당 등)

7) 주입방법 및 공법의 설명

8) 시공관리방법의 설명(품질, 수량, 겔타입 배합시험 P-Q 관리도, 잔토 및 배출처리 계획 등)

9) 재료의 반입, 유통경로, 보관 및 잔재의 처분방법

10) 주입설비공의 배치계획

나. 기타, 감독자가 필요하다고 요구하는 사항

1.4 일반요건

가. 이 절에 기재가 없는 사항은 설계서 및 다른 규정에 따른다.

나. 약액주입재료는 지하수 오염 등 지반환경에 유해한 물질이 포함되지 않아야 한다.

다. 시공시 지반에 일어나는 침하, 지반의 융기 등을 항상 관찰하여 시공의 안정성이 항상 확보되도록 한다.

라. 시공 중 예기치 않은 지반의 변동이 생긴 경우에는 즉시 시공을 멈추고 감독자의 지시에 따른다.

2. 자 재

2.1 물유리계

알칼리계, 비알칼리계, 특수실리카계, 기·액반응계

2.2 고분자계

크롬리그닌계, 아크릴아미드계, 요소계, 우레탄계

3. 시공

3.1 현장주입시험

약액주입공사의 시공에 있어서는 미리 주입계획지반 또는 이것과 동등한 지반에 있어서 설계대로의 약액이 주입되었는지 조사한다.

3.2 약액주입

가. 약액의 주입작업 시에는 주입압력과 주입량을 항상 감시하고 예상치 못한 변화가 생기는 경우 즉시 주입을 중지하고 그 원인을 조사한 후 적절한 조치를 취해야 한다.

나. 지하매설물에 근접하여 약액의 주입을 행할 경우 약액이 해당 지하매설물에 유출되지 않도록 필요한 조치를 취해야 한다.

다. 천공이 완료되면 원활한 주입작업이 이루어지도록 공내의 슬라임 등을 청수의 순환으로써 세척하되 청수가 배출될 때까지 실시한다

라. 사용수는 신선하고 깨끗하며 점토, 이토, 알칼리 등 품질에 유해한 물질이 포함되지 않는 것이라야 한다

마. 주입량 및 주입압은 필히 자동기록 장비를 사용하여 관리를 하여야 한다.

바. 할렬주입으로 인해 수압파쇄(Hydro-fracturing), 지반응기 현상 등이 일어나지 않도록 주입압, 약액농도, 주입률 등을 검토하여야 하며, 반드시 현장에서 주입시험을 거쳐 약액주입을 하여야 한다

사. 주입은 대상지반의 토질 및 지하수의 특성에 따라 정량주입보다는 정압주입을 하여야 한다

아. 투수계수가 커서 주입폭이 두꺼울 때는 주입공의 간격을 줄이고 주입력을 증대시켜야 한다.

자. 시공에 있어 수직성, 시공심도 등을 신중히 관리하여야 한다. 특히 기존 시설물 손상 방지에 만전을 기하여야 한다.

차. 시공도중 또는 시공 후 보일링, 용기 등의 발생여부에 대하여 수시로 감독자의 검사를 받아야 한다

3.3 약액의 보관

가. 현장에서의 약액의 보관은 비산, 누출, 동결, 도난, 화재 등의 예방에 힘써야 한다.

나. 약액은 가능한 한 시건장치가 된 창고에 보관한다.

3.4 재해발생방지

가. 약액주입공사 및 주입장소의 굴삭공사에 있어서는 “12510 안전 및 보건관리”에 따라 조치를 취하여 노동재해의 예방에 철저를 기한다.

나. 시공착수 전 안전교육을 실시하고, 보호구를 착용한다.

다. 밀폐된 구역에 있어서는 환기를 철저히 한다.

3.5 잔재, 잔토 및 배출수 등의 처리

가. 약액을 주입한 지반으로부터 발생한 굴삭잔토의 처리는 지하수 및 공공용 수역 등을 오염시키지 않도록 적절한 조치를 취한다.

나. 잔재의 처리는 사람의 건강에 피해가 발생치 않도록 조치한다.

다. 주입기기의 세정수, 약액주입장소로 부터의 용수 등의 배출수를 공공수역에 배수할 경우

우에는 “하수도법”의 규정에 따른다.

라. 배수시설에 발생되는 니토 등 진흙은 “폐기물 관리법”과 기타 법령이 정하는 바에 따라 적합하게 처리한다.

3.6 지하수 등의 수질의 관리

- 가. 약액의 주입에 의한 지하수 및 공공용 수역 등의 수질오염을 방지하기 위해 약액주입 장소 주변의 지하수 및 공공용 수역 등의 수질오염을 항시 감시 한다.
- 나. 수질의 관리는 다음의 3.7 가항의 지점에서 채취하고 “지하수법” 및 “수질환경보전법”의 규정에 적합한 수질기준이 되도록 관리한다.
- 다. 수질측정치가 음용수기준에 부적합하거나 위험성이 있는 경우에는 즉시 공사를 중지하고 감독자에게 보고 후 필요한 조치를 취해야 한다.

3.7 지하수 배수

- 가. 지하수에 대해서는 약액주입장소 및 그 주변의 지형 및 지반의 상황, 지하수의 흐름 방향등에 응하는 감시의 목적을 달성하는데 필요한 장소를 선정한다. 이 경우에 있어서 주입장소로부터 10m 이내에 적어도 2개 이상의 장소에 채수지점을 설치한다.
- 나. 채수는 관측정을 설치하여 수행하되 상황에 따라 우물을 이용해도 된다.
- 다. 공공용 수역 등에 대해서는 상황에 따라 감시의 목적을 달성하기 위해 필요한 장소를 선정한다.

3.8 채수횟수

- 가. 채수횟수는 다음에 따른다.
- 1) 공사착수 전 1회
 - 2) 공사 중 매일 1회 이상
 - 3) 공사 종료 후

가) 2주간을 경과할 때까지 매일 1회 이상(해당지역에 있어 지하수의 상황에 현저한 변화가 없다고 인정될 경우 조사횟수를 감축해도 감시의 목적이 충분히 달성된다고 감독자가 판단한 경우에는 주 1회 이상으로 조정할 수 있다.)

나) 2주간 경과 후 반년을 경과할 때까지 사이에 있어서는 월 2회 이상 채수하여 관리한다.

▣ 조사 공법별 요구성능 및 성능확인 시험방법 조사결과

구 분	사용재료		시험방법	시방기준
	종 류	성능기준		
PHC파일 주입재	OPC Slag Cement	無 (지반상태에 따른 압축강도, 약5~10MPa 수준)	동재하/ 정재하시험	LN공사기준
약액주입용 무기결합재	약액주입공법	겔타임 : 60~90초 압축강도 : 2MPa이상(7일)	수경성시멘트 모르타르의 압축강도시험 (KS L 5105) 앵커인발시험	국토해양부기준 BS코드 FHWA코드
SCW용 무기결합재	OPC Slag Cement 지오톤 (60%사용)	7일 압축강도	흙시멘트 압축강도시험 (KS F 2326)	표준품셈기준
		1~2MPa(3.38MPa)		
		1~2MPa(3.78MPa)		
심층(중층) 고화재	OPC Slag Cement 지오톤 (70%사용)	1~3MPa(3.40MPa)		
		1~3MPa(3.86MPa)		
표층 고화재	토사치환 잡석치환 지오톤	2~3일 압축강도 2MPa 이상		

(3) 현장시험시공을 통한 시제품 성능 평가

가) 개발제품 적용 노후 저수지 보강 현장 시험시공

시제품 성능 및 현장 적용성 평가를 위해 노후 저수지 3곳을 대상으로 현장 시험시공을 실시하였음.

1) 전북 완주군 노후저수지 현장시험 시공

: 2019.08.02. ~ 2019.12.15. , 그라우팅공법(약액주입공법) 실시, 시공보고서 별첨
노후 저수지 보강 현장에서의 시제품 성능 확인을 위해 호모겔타입과 호모겔 압축강도를 측정하였으며, 현장에서 요구되는 성능을 충분히 만족하는 것으로 확인되었음. 또한 보강 전후의 노후저수지 지반의 전기 비저항 탐사에서 차수성이 증가한 것으로 확인되었음.

건설품질시험원
CONSTRUCTION QUALITY TESTING CENTER
www.cqtc.co.kr

시 험 성 적 서

CQTC-2019-0436

시 토 명 : ZA-Soil
공 사 명 : 일양재 노후저수지 보강공사
의뢰인 : 시세권
주 소 : 전북 완주군 삼례읍 삼례로 443, 본관 802호

접 수 일 자 : 2019. 10. 14

~ 시 험 결 과 ~

연번	시험·검사종목	단 위	시험·검사방법	시험·검사결과	제정기준 자극종류 및 자극종 번호	성 명	서 명
1	gel time	sec	의뢰자 제시	83	건설재료시험기사 03202140988H	이성택	
2	gel time	sec	의뢰자 제시	91			
3	gel time	sec	의뢰자 제시	92			

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않습니다.
2. 이 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없으며, 의뢰 시 제출한 목적 이외의 이용을 금지합니다.

※ 시료 채취 장소 : 전북 완주
※ 성과 이용 목적 : 품질관리

2019년 10월 17일

(주) 건설품질시험원장

전화번호 : 063-287-8405-2, 팩스번호 : 063-287-8405
주 소 : 전라북도 완주군 완안로 5146 (여왕동)

성 명 : 이 성 택
1페이지 중 1페이지

건설품질시험원
CONSTRUCTION QUALITY TESTING CENTER
www.cqtc.co.kr

시 험 성 적 서

CQTC-2019-0438

시 토 명 : ZA-Soil
공 사 명 : 일양재 노후저수지 보강공사
의뢰인 : 시세권
주 소 : 전북 완주군 삼례읍 삼례로 443, 본관 802호

접 수 일 자 : 2019. 10. 14

~ 시 험 결 과 ~

연번	시험·검사종목	단 위	시험·검사방법	시험·검사결과	제정기준 자극종류 및 자극종 번호	성 명	서 명
1	3일 압축강도	Mpa	KS F 2405	3.0	건설재료시험기사 03202140988H	이성택	
2	3일 압축강도	Mpa	KS F 2405	3.3			
3	3일 압축강도	Mpa	KS F 2405	3.1			

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않습니다.
2. 이 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없으며, 의뢰 시 제출한 목적 이외의 이용을 금지합니다.

※ 시료 채취 장소 : 전북 완주
※ 성과 이용 목적 : 품질관리

2019년 10월 18일

(주) 건설품질시험원장

전화번호 : 063-287-8405-2, 팩스번호 : 063-287-8405
주 소 : 전라북도 완주군 완안로 5146 (여왕동)

성 명 : 이 성 택
1페이지 중 1페이지

현장 Gel-time 시험성적서

건설품질시험원
CONSTRUCTION QUALITY TESTING CENTER
www.cqtc.co.kr

시 험 성 적 서

CQTC-2019-0443

시 토 명 : ZA-Soil
공 사 명 : 일양재 노후저수지 보강공사
의뢰인 : 시세권
주 소 : 전북 완주군 삼례읍 삼례로 443, 본관 802호

접 수 일 자 : 2019. 10. 14

~ 시 험 결 과 ~

연번	시험·검사종목	단 위	시험·검사방법	시험·검사결과	제정기준 자극종류 및 자극종 번호	성 명	서 명
1	7일 압축강도	Mpa	KS F 2405	5.0	건설재료시험기사 03202140988H	이성택	
2	7일 압축강도	Mpa	KS F 2405	5.1			
3	7일 압축강도	Mpa	KS F 2405	4.8			

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않습니다.
2. 이 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없으며, 의뢰 시 제출한 목적 이외의 이용을 금지합니다.

※ 시료 채취 장소 : 전북 완주
※ 성과 이용 목적 : 품질관리

2019년 10월 22일

(주) 건설품질시험원장

전화번호 : 063-287-8405-2, 팩스번호 : 063-287-8405
주 소 : 전라북도 완주군 완안로 5146 (여왕동)

성 명 : 이 성 택
1페이지 중 1페이지

현장 호모겔 양생 7일 압축강도

현장 호모겔 양생 3일 압축강도

건설품질시험원
CONSTRUCTION QUALITY TESTING CENTER
www.cqtc.co.kr

시 험 성 적 서

CQTC-2019-0501

시 토 명 : ZA-Soil
공 사 명 : 일양재 노후저수지 보강공사
의뢰인 : 시세권
주 소 : 전북 완주군 삼례읍 삼례로 443, 본관 802호

접 수 일 자 : 2019. 10. 14

~ 시 험 결 과 ~

연번	시험·검사종목	단 위	시험·검사방법	시험·검사결과	제정기준 자극종류 및 자극종 번호	성 명	서 명
1	28일 압축강도	Mpa	KS F 2405	6.2	건설재료시험기사 03202140988H	이성택	
2	28일 압축강도	Mpa	KS F 2405	6.4			
3	28일 압축강도	Mpa	KS F 2405	6.0			

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않습니다.
2. 이 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없으며, 의뢰 시 제출한 목적 이외의 이용을 금지합니다.

※ 시료 채취 장소 : 전북 완주
※ 성과 이용 목적 : 품질관리

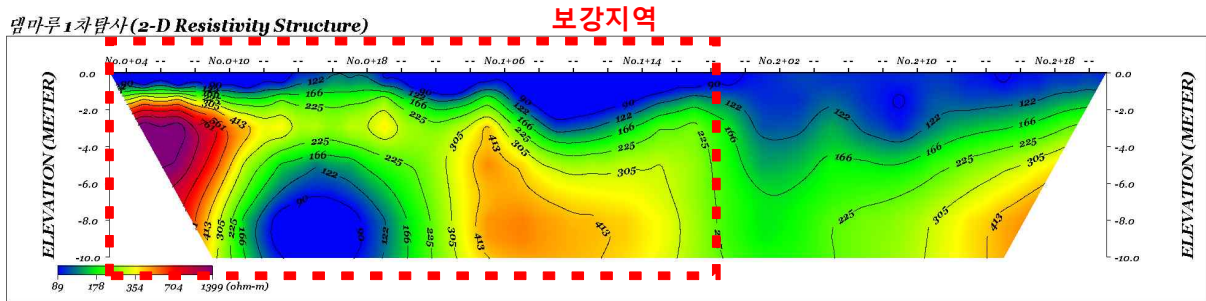
2019년 11월 12일

(주) 건설품질시험원장

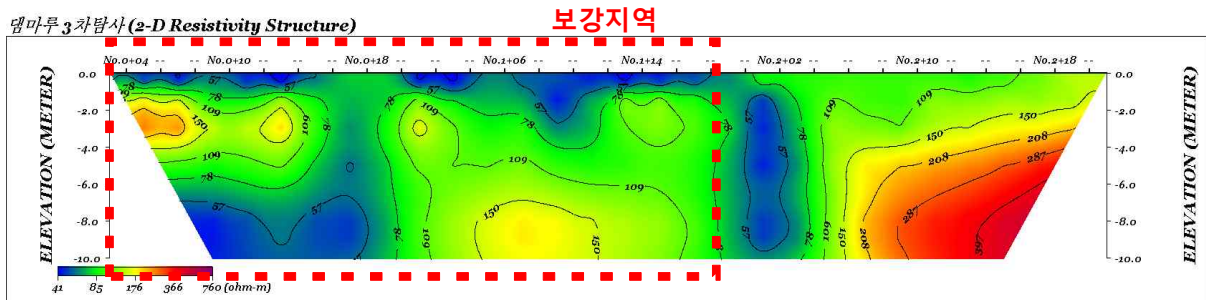
전화번호 : 063-287-8405-2, 팩스번호 : 063-287-8405
주 소 : 전라북도 완주군 완안로 5146 (여왕동)

성 명 : 이 성 택
1페이지 중 1페이지

현장 호모겔 양생 28일 압축강도



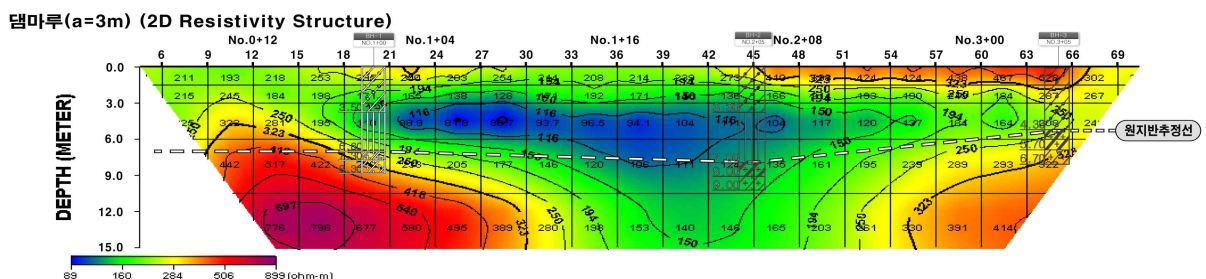
보강전 전기비저항 시험결과



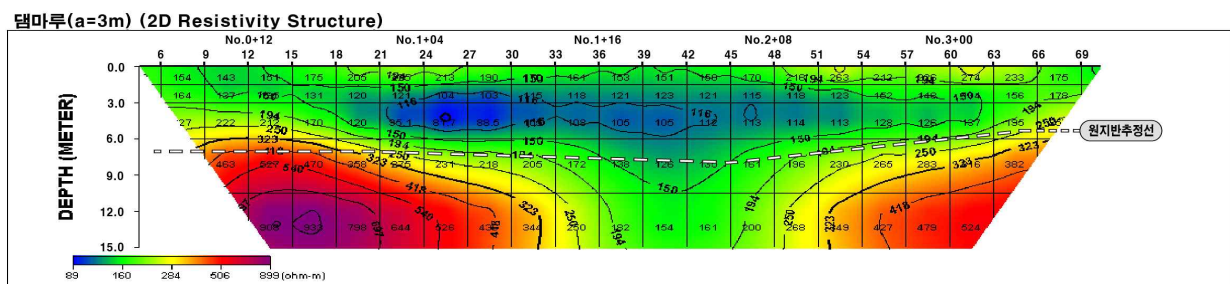
보강후 28일 경과 전기비저항 시험결과

2) 고창군 노후저수지의 현장시험시공

: 2020.03.30.~2020.04.30., 약액주입공법 실시, 시공보고서 별첨.



보강 전 전기비저항 시험결과



보강 후 28일 경과 전기비저항 시험결과

나) 개발제품의 적용처 확대를 위한 현장시험시공

1) 충남 보령시 청소면 시공(시험시공) 적용성 평가 및 지반 안정성 평가

본 시험 시공은 개발 제품에 대해 표층 개량 및 비탈면 안정 공법 적용 및 성능을 평가하기 위해 시험시공을 실시하였다. 현장 시험시공 위치는 충남 보령시 청소면 일원에 위치하며, 서해안고속도

로와 인접한 공장 신축부지에서 진행하였다.

시험시공 전 현장 모습은 다음과 같으며, 평탄화 작업후 장비 및 차량의 이동으로 표층에 요철이 과도하게 발생하였으며, 비탈면의 경우 강우에 의한 세굴이 발생하였다. 개발고화재의 적용성을 평가하기 위해 시험시공을 표층구간과 비탈면 구간으로 진행하였으며, 표층구간의 경우 평판재하시험을 진행하여 적용 효과를 비교하였다.



표층 개량 구간



표층 개량 시공전경



비탈면 세굴 발생



비탈면 시공전경

시험시공 순서는 시험시공범위 측량, 표토제거, 원지반 다짐, 원지반 집토 및 표층개량재 혼합, 혼합 고화토 부설 및 다짐의 순으로 시공하였으며, 시공시 사용성 및 기존 건설장비와의 작업성은 우수한 것으로 나타났다.



원지반 평판 재하시험

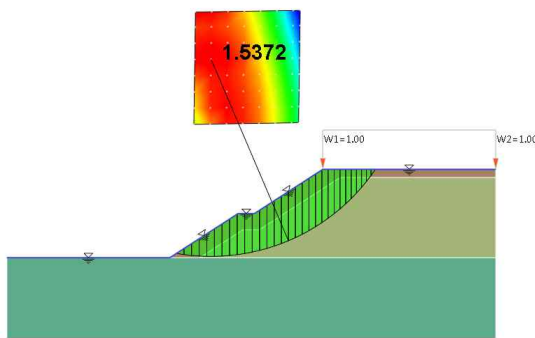


개발고화재 적용지반 평판재하시험

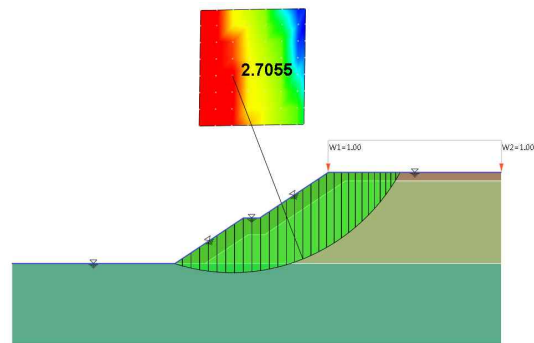
표층개량공법 적용 지반에 대하여 평판재하시험을 진행한 결과 원지반의 경우 허용 지지력인 194.5kN/m^2 , 개발고화재를 적용한 지반의 경우 허용지지력이 675.0kN/m^2 으로 나타나, 약 3.5배 정도 지지력이 상승하는 것으로 확인되었다.

구분	항복하중 (kN/m ²)	10%D (kN/m ²)	최대재하 하중(kN/m ²)	안전율 (F.S)	허용지지력 (kN/m ²)
원지반	389.00	719.00	900.00	2.0	194.50
개발 고화재 적용지반	1,350.00	2,354.00	2,550.00	2.0	675.00

비탈면 안정공법 성능평가는 원지반 및 고화토의 지반정수를 사용하여 원호활동 검토로 진행하였다. 원지반 지반정수를 이용한 원호활동 검토의 경우 안전율이 약 1.54로 해석되었으며, 개발고화재를 적용한 비탈면의 경우 안전율이 약 2.71로 해석되어, 원지반에 비해 안전율이 약 1.76배 정도 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 원지반의 경우 강우에 의한 세굴이 발생하였으나, 개발고화재 적용 이후 우기철이 지나서도 세굴의 발생은 확인 되지 않아, 세굴에 대한 저항성이 증대된 것으로 확인 되었다.



원지반원호활동 안전율



개발 고화재 적용 안전율

2) 충남 보령시 청소면 시공(시험시공) - 고유동 저강도 채움재(CLSM)시공
: 2021.06.29. 시험시공 보고서 별첨



타설

타설 후

타설 3시간 후

CLSM 시험시공 현장 사진

다. 사업화 및 마케팅 전략

(1) 사업화 가능성 평가

개발 기술에 대한 사업성 분석을 외부 기관에 의뢰하였으며, 아래의 그림과 같은 평가를 받았음.

당사는 2005년에 설립한 콘크리트용 혼화재, 고화재를 전문으로 제조하는 비금속 광물 제조업체이며, 한국표준협회의 KS 인증취득(플라이애시), 한국산업기술협회, Q마크 품질보증인증서 획득, 기술혁신형 중소기업(INNO)-BIZ) 확인, 녹색기술 인증, 녹색전문기업 확인, 국토교통 신기술지정, 환경표지인증 등 다양한 대내외 인증을 통해 역량있는 기업임.

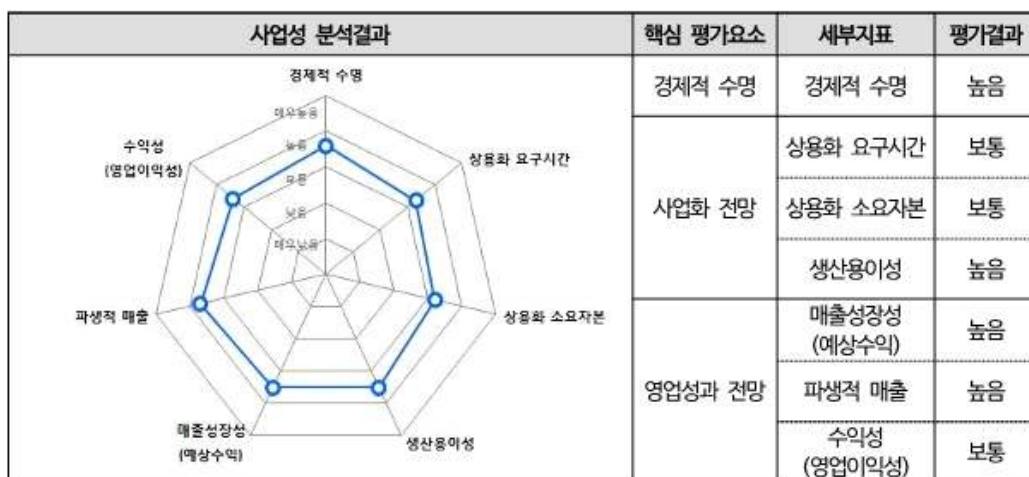
(주)대웅은 기존의 업력을 바탕으로 개발 제품을 빠른 시일내에 상용화하고 제품으로 판매하여 매출 실현을 계획중이다. (주)대웅은 이미 개발 제품에 대한 물리적·환경적 물성 평가를 완료했으며, 환경표지인증 및 녹색기술 인증 등 실용화 단계에 있어 사업화 관련 위험은 매우 제한적인 것으로 판단된다. 또한 (주)대웅의 업력과 대표자의 경력, 보유 지식재산을 비롯한 전반적인 기술축적의 수준, 사업의 진행상황 등을 종합적으로 고려했을 때 평가대상기술에 대한 동사의 사업화 역량은 양호하다고 판단된다.

또한, 시멘트 산업은 환경오염 문제의 대두 및 순환자원에 대한 대량활용 등으로 인한 대체제 개발 필요성이 증대되고 있다. 평가대상기술은 이러한 문제를 해결 할 수 있을 것으로 판단되며, 다양한 분야에 적용 가능할 것으로 판단된다.

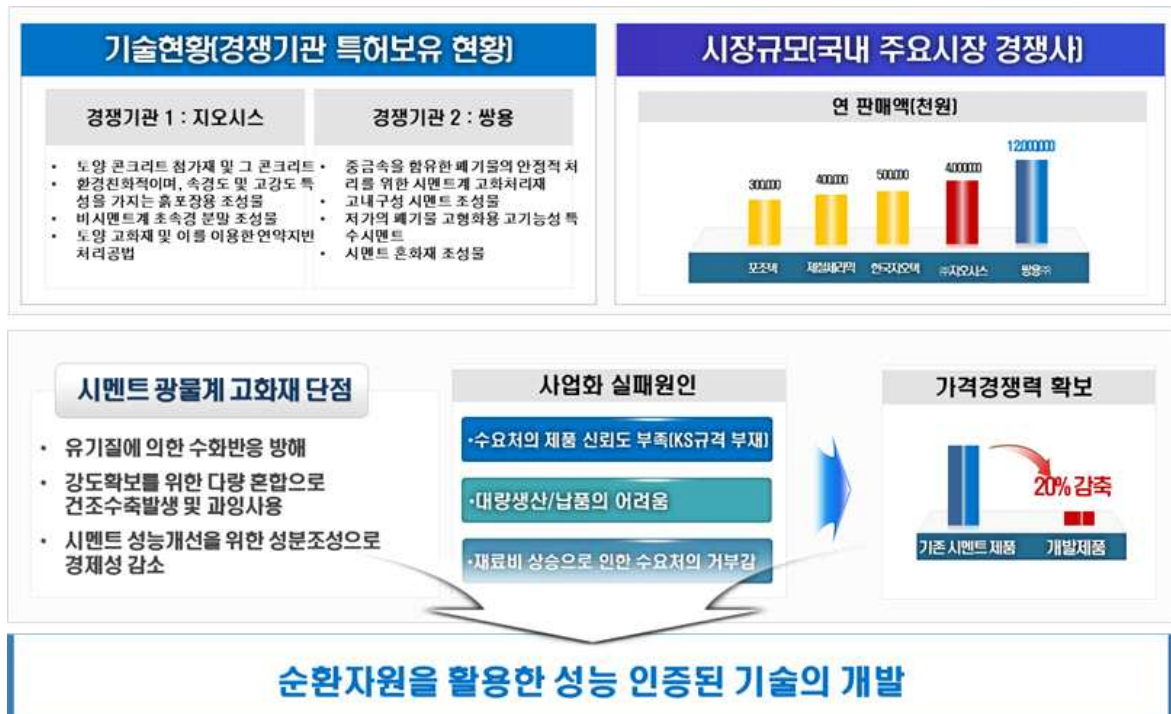
시멘트 산업과 관련 제품은 소비자의 기호가 다양해지고 이에 대응할 수 있는 제품 개발 속도가 빨리 짐에 따라, 제품의 수명주기는 점차 짧아지고 있으며 이로 인한 대체제의 발생 가능성은 ‘높음’ 수준인 것으로 분석된다.

개발 제품이 속한 시멘트 시장의 경우 주요 제조사들이 시장을 지배하고 있으며, 가격경쟁력 확보 및 신기술 개발 등으로 이러한 지배 구조는 당분간 지속될 것으로 전망되는 바 시장 내 업체 간 경쟁정도는 ‘높음’ 수준인 것으로 분석된다.

이런 평가 결과를 근거로 사업화 가능성 및 시장 진입, 시장 확대의 가능성은 충분할 것으로 예상됨.



사업성 분석 결과



(2) 제품 생산 및 원료 수급 계획

제품의 생산을 위해 필요한 산업부산물의 수급은 (주)대웅이 위치한 전남 여수의 발전소와 원료 수급 계약 상태이며, 매년 갱신을 진행하고 있음.

(3) 제품 가격 경쟁력-단가 비교

개발 제품은 제철 공정 슬래그 및 산업부산물을 90%이상 활용하여 제조 생산함으로써 기존의 시멘트 대비 원가절감이 가능함.

(4) 제품 판매 및 영업 전략

아래의 그림은 개발 제품의 원료 공급 및 제품 판매에 관한 것으로 (주)대웅이 위치하고 있는 여수 산업단내의 산업부산물을 수급하여 제품을 생산하고, 기존의 판매처를 통해 영업 및 판매 활동을 지속하고자 함. 또한, 보령에 제 2공장을 준공함으로써 전북, 충남 권역의 산업부산물 수급 및 제품의 영업 활동을 진행할 계획임.

단기적으로는 민간공사를 대상으로 개발제품의 적용 실적을 확보하고, 장기적으로는 신기술 또는 신제품 인증 획득을 통해 대외 신뢰도를 확보하여 제품의 시장 확장을 계획하고 있음.

(5) SWOT 분석

- 본 개발 기술에 대하여 종합결론을 SWOT분석을 활용하면 다음과 같은 결론이 도출됨.

① S-O전략 (강점을 가지고 기회를 살리는 전략)

- 친환경 고화제 개발을 통해 순환자원 재활용의 활성화 시장을 선점, 기존 업체와 차별화된 친환경 업체로의 이미지 구축

- 노후 저수지 보강공사와 같이 소규모 공사를 요하는 시장에 가격경쟁력 확보를 통한 시장확장

② S-T전략 (강점을 가지고 위협을 회피하거나 최소화하는 전략)

- 가격경쟁력을 통한 기존 과점구조의 대기업 사업 영역과 다른 틈새시장을 공략.
- 노후 저수지 보강공사와 같은 기존 전통적인 전방산업(주거, 비주거용 건설)의 경기에 영향을 받지 않는 유지보수시장과 같은 신시장 개척

③ W-O전략 (약점을 보완하여 기회를 살리는 전략)

- 주요 거래 업체에 Trial Test를 제안을 통한 인지도 향상 및 기술력 홍보
- R&D 및 기술상용화 관련 정부지원사업 참여를 통해 비용지원 받아 사업화 진행
- 국내외 기술관련 추가 특허 등록 후 이를 이용해 투자유치

④ W-T전략 (약점을 보완하면서 동시에 위협을 회피하거나 최소화하는 전략)

- 생산제품에 대한 대리점 및 통상실시권 등의 기술제휴 및 업무협약을 통해 생산제품에 대한 판매처 확보
- 국내외 시장 개척을 위한 마케팅 및 영업 전문인력 충원

Strength	Weakness
- 일반적인 시멘트에 대비 60%~70% 원가율로 가격경쟁력 확보. - 친환경 고화재로 폐기물 관리법 등에 부합함. - 고화재 시장의 경우 상대적으로 경쟁업체가 적고 대부분 영세기업이므로 경쟁 우위가 있을 것으로 기대.	- 생산, 제품생산, 유통까지의 전후방 상호연관관계 네트워크망 취약. - R&D 및 기술상용화 관련 비용 부족. - 마케팅 및 영업 등 전문 인력의 부족. - 기업브랜드 인지도 미약.
Opportunity	Threat
- 순환자원에 대한 대량활용 필요성 증가. - 노후 저수지 보강공사 증가추세에 따른 대책 수립 시급. - 지반보강용 시멘트 대체재 개발의 필요성.	- 전방산업(건설 등)침체에 직접적으로 영향을 크게 받음. - 독과점산업구조에 의해 자본력에 의한 기술 잠식 위험이 있음.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과 - 성적서 별첨

평가 항목(주요성능)	단위	연구개발 목표치	달성치
고화재 투수계수	cm/sec	4×10^{-6} cm/sec이하	1.2×10^{-8} cm/sec
개발고화재 체적 수축율	%	1%미만	0%
호모겔 압축강도	MPa	2MPa이상 (실내, 현장)	9.5MPa
유동성(적용처확대공동채움재)-호모겔타임	sec	60sec이내	40.90sec
수중불분리성 확보(적용처확대 공동채움재)	NTU	탁도 50 NTU 이하	25.4
어독성(개발 지반고화재 및 공동채움재)	%	생존율 80%이상	생존율 100%
고화재 중금속 용출 (개발 지반고화재 및 공동채움재)	mg/L	폐기물공정시험 기준 이내	기준치 만족
고화토 토양오염 공정시험 (개발 지반고화재 및 공동채움재)	mg/kg	토양오염 공정시험 기준 (토양오염 우려기준 1지역)	기준치 만족

(2) 정량적 연구개발성과

- 증빙자료 별첨

구분	성과지표명		목표치	달성치
경제적 성과	사업화/제품화(매출실적)		매출액 3,000백만원	매출액 5,213백만원(11건)
기술적 성과	특허	출원	4건	4건
		등록	2건	2건
	소프트웨어(S/W)		0건	5건
	신기술지정 (제품인증, 품질인증 등 포함)		1건(신청)	3건(획득)
	시작품제작		4건	8건
학술적 성과	국내외 학술지 게재 (일반학술지)		-	4건
기타성과	국내외 학술회의 발표		-	4건
	현장시험 및 검증		-	19건
	인력양성		-	1건
	포상		-	2건

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	노후 저수지 보강을 위한 환경 친화적 그라우팅 주입재 적용에 관한 기초 연구	한국농촌 건축학회	임양현	21(2)	대한민국	한국농촌 건축학회	비SCIE	2019.06.30	1229-2532	80
2	순환자원 활용 기반차수재의 노후저수지 보강 적용사례 및 성능검증에 관한 연구	한국농촌 건축학회	서세관	22(3)	대한민국	한국농촌 건축학회	비SCIE	2020.08.31	1229-2532	40
3	표층안정재를 사용한 노후 농업용 저수지의 보강효과 분석에 관한 연구	한국지반 신소재 학회	조대성	19(2)	대한민국	한국지반 신소재 학회	비SCIE	2020.06.30	2287-9528	40
4	표층안정재로 보강된 노후 저수지의 보강효과 분석에 관한 연구	한국지반 환경공학회	서세관	21(9)	대한민국	한국지반 환경공학회	비SCIE	2020.09.30	2714-1233	80

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2018 대한토목학회 정기학술대회	순환자원을 90%이상 활용한 노후 저수지 보강용 지반고화재 개발 연구	서세관	2018.10.19	경주화백 컨벤션센터	대한민국
2	2018 대한토목학회 정기학술대회	순환자원을 90%이상 활용한 지반고화재의 내해수성 비교연구	서세관	2018.10.18	경주화백 컨벤션센터	대한민국
3	2018 대한토목학회 정기학술대회	순환자원을 90%이상 활용한 노후 저수지 보강용 지반고화재 실용화 연구	박영준	2018.10.19	경주화백 컨벤션센터	대한민국
4	2020 한국폐기물자원순환학회 춘계학술연구발표회	사용수에 따른 약액 그라우팅 호모젤의 압축강도 비교연구	서세관	2020.06.18	원주오크밸리 리조트	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		
1	특허	압밀그라우팅 공법용 건조 모르타르 조성물 및 이를 이용한 압밀 그라우팅 공법	KR	(주)대웅, (주)지안산업	2018.10.17	10-2018- 0123991	(주)대웅, (주)지안산 업	2019. 09.05	10- 2021116	100	
2	특허	지반보강 압밀 그라우팅 공법용 건조모르타르 조성물 및 이를 이용한 지반 압밀그라우팅 공법	KR	(주)대웅	2019.11.14	10-2019- 0145844				100	
3	특허	건조 모르타르 조성물 및 이를 이용한 압밀 그라우팅 공법	KR	(주)대웅, (주)지안산업	2019.11.15	10-2019- 0146295	(주)대웅, (주)지안산 업	2020. 07.21	10- 2138008	100	
4	특허	다단 사일로 및 그를 이용한 다단 지반 보강 공법	KR	(주)대웅, (주)지안산업	2021.06.30	10-2021- 0855299				100	

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1	√	√	√								
2	√	√	√								
3	√	√	√								

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	순환자원 XRF 분석프로그램	2019.02.28	임양현	2019.03.19	C-2019-007915	(주)대웅	100
2	다층 지층에서의 평균강도정도 산정 프로그램	2020.09.17	윤성진	2020.09.22	C-2020-032529	(주)지안산업	100
3	말뚝기초가 설치되는 지반에서의 지중응력 산정 프로그램	2020.09.23	윤성진	2020.09.28	C-2020-033192	(주)지안산업	100
4	노후 저수지 대상 흙 재료의 분류 프로그램	2020.09.29	윤성진	2020.10.08	C-2020-034462	(주)지안산업	100
5	흙의 기본적 특성에 따른 공학적 등급평가 프로그램	2020.10.02	윤성진	2020.10.08	C-2020-034463	(주)지안산업	100

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		
1	녹색기술인증	환경산업기술원/환경 부	해양 및 연약지반 혼합처리 개량공법용 고화재 제조 기술	GT-19-00784	2019.12.27	KR
2	녹색기술인증	환경산업기술원/환경 부	철강부산물을 이용한 연약지반 처리용 지반고화재 제조 기술	GT-20-00905	2020.07.16	KR
3	환경 표지인증	환경산업기술원/환경 부	지반차수재(DWM-So il 300)/슬래그 재활용 지반 차수 주입재	22363	2020.07.02	KR

☐ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

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

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	지반고화재C	2018.08.01	(주)대웅, (주)지안산업	전북 김제시	표층 연약지반 개량용 지반고화재			
2	지반고화재A	2018.08.01	(주)대웅, (주)지안산업	전북 익산시	중금속용출방지용 지반고화재			
3	지반고화재B	2018.08.01	(주)대웅, (주)지안산업	경기도 광명	다용도 지반고화재 (노후저수지 보수보강용 지반고화재)			
4	초미립분 싸이클론 포집장치	2018.11.09	삼영규사(주)	(주)대웅	개선제품 생산을 위한 초미립분 선별 및 포집			
5	순환자원을 활용한 노후 저수지 보강용 교반이송장치	2018.11.30	나라정밀	(주)대웅	실내시험 및 현장 검증			
6	지반고화재_완도	2019.08.14	(주)대웅, (주)지안산업	전남완도군	지반차수용 고화재			
7	초미립분 저장장치	2019.08.19	우리산업기계	(주)대웅	개선제품 생산을 위한 초미립분 저장 장치			
8	노후저수지 보강용 지반고화재	2019.10.23	(주)대웅, (주)지안산업	전북 완주	노후저수지 보강용			

☐ 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)		
1	지반 차수재 및 고화재	2018	860,071	-	860,070	고화재 납품액
2	지반 차수재 및 고화재	2019	2,546,015	-	2,546,014	
3	지반 차수재 및 고화재	2020	1,807,610	-	1,807,610	
합계			5,213,696	-	5,213,696	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			사업화 기술 제품 판매		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		3년		
	소요예산(천원)		1,500,000천원		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			4,000,000	4,500,000	5,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	0.34	0.51	0.68
		국외	-	-	-
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		그라팅용 지반고화재, 콘크리트 2차제품용 고화재, CLSM용 고화재			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2019년	2020년	
1	고화재 제조	(주) 대웅	0	6	6
2	시공 및 검증	(주)지안산업	0	4	4
합계			0	10	10

□ 고용 효과

구분				고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력		6
		생산인력		8
	개발 후	연구인력		7
		생산인력		9

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

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

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

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

[사회적 성과]

□ 법령 반영

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

□ 정책활용 내용

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

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	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	학위취득	2018	1				1					1	

□ 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
1	학회 우수논문상	우수논문상	우수논문 선정	임양현	2019.11.10	한국농촌건축학회
2	학회 우수논문상	우수논문상	우수논문 선정	서세관	2018.10.19	대한토목학회

[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)

○

-

○

-

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○

-

○

-

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 순환자원을 90%이상 활용하는 원가절감형 지반고화재 개발 - 제철 공정 슬래그를 10%이상 적극 활용하는 원가절감형 지반고화재 개발 - 순환자원 활용률 90%이상 활용 확보 - 기존 시멘트계 제품대비 동등 이상의 품질성능 확보 - 시멘트계 제품 대비 80%이하 원가 경쟁력 확보 - 환경 기준 성능 확보	○ 원가 절감형 지반 고화재 개발 - 제철 공정 슬래그 50% 및 산업부산물 활용한 지반 고화재 배합비 도출 및 성능 평가 완료 : 개발 제품 공인기관 시험의뢰 및 성적서 발급 : 작업공정일지 별첨 - 개발 제품 환경기준 성능 확보 : 개발 제품 공인기관 시험의뢰 및 성적서 발급 -제품의 제조 원가 및 판매 단가 65,000원/톤 시멘트(88,000원/톤) 대비 26% 원가 절감 가능	100
○ 개발 지반고화재 제조시스템 개발 - 제철 공정 슬래그 및 순환자원의 발생처별 발생원별 DB구축 - 제철 공정 슬래그 및 순환자원의 전처리 시설 확보 - 개발 지반고화재 PILOT PLANT 설치 및 시제품 생산(10ton/hr) - 생산 시제품의 품질안정화 방안 확립	○ 개발 지반고화재 제조시스템 개발 - 프로그램 개발을 통한 제품의 품질안정화 방안 확보 : 개발 프로그램 저작권 등록 완료 - 제철 공정 슬래그 및 순환자원의 전처리 설비 개선 및 보완 완료 -개발 지반 고화재 pilot plant 설치 완료	100
○ 개발 지반고화재의 저수지 보강공법의 실내 및 현장 적용성 검증 - 다양한 저수지 보강공법별 적용방안 및 적용성능 검증 - 원심모형시험 및 진동대 모형시험을 통한 적용성능 검증 - 노후 저수지 현장 적용성 검증 및 모니터링 실시	○ 노후 저수지 보강공법의 현장시험 및 검증 실시 - 노후저수지 보강 시험시공 3건 - 시제품 현장적용성능 평가 7건 -개발 고화재의 환경성능 평가 및 성능 평가 실시	100
○ 개발 지반고화재의 공인성능인증 획득 - 실내시험 및 현장적용을 통한 결과를 토대로 녹색인증 및 환경표지 등의 객관적인 공인성능인증 획득	○ 공인성능 인증 획득 -환경표지 인증 획득(제22363호) -녹색기술 인증 획득 (제GT-10-00784호, 제GT-20-00905호)	100

최종성과 점검기준표

구분	핵심 연구 성과 (level 1)	단위 성과 (level 2)	총괄 질적 성과					해당 기관	총괄 양적 목표					
			질적 성과지표	목표치	측정방법	달성치	검증방법		목표치	달성치				
총괄	순환 자원을 90% 이상 활용하는 원가 절감형 지반 고화재 개발	지반 고화재 개발	개발고화재의 사업화 효율 증진	수익 흐름에 따른 비즈니스 모델 제시	비즈니스모델 보고서	완료	전문가 검증	특허: 출원 4건 등록 2건 시제품: 4건 SW: 0건 매출액 2,000백만원 신규고용 1명 신기술인증 1건 비즈니스모델 수립 1건 마케팅전략 도출 1건 기술기평가 1건	특허: 출원 4건 등록 2건 시제품: 8건 SW: 1건 매출액 5,125백만원 신규고용 2명 신기술인증 3건 비즈니스모델 수립 1건 마케팅전략 도출 1건 기술기평가 1건					
				마케팅전략 도출	마케팅 전략 보고서	완료								
				가치평가 도출	기술가치 평가보고서	완료								
			개발 고화재의 성능 평가	투수계수 $4 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 이하	KSF2322	$1.2 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$	주관							
				개발고화재 체적 수축율 1%미만	KSF2433	0%								
				호모겔 압축강도 2MPa이상 (실내, 현장)	KSF2405	9.5MPa								
				유동성 60sec이내 (적용처확대 공동채움재)	KSF4044	40.9sec								
			개발 고화재의 환경 영향성 평가	수중불분리성 확보 (적용처확대 공동채움재)	탁도 50 NTU이하	25.4NTU	공인시험 성적서							
				생존율 80% 이상(개발 지반고화재 및 공동채움재)	KSI3217	생존율 100%								
				개발 고화재의 환경 영향성 평가	고화재 중금속 용출 (개발 지반고화재 및 공동채움재)	폐기물 공정시험기준	기준치 만족			참여				
					고화토 토양오염 공정시험(개발 지반고화재 및 공동채움재)	토양오염 공정시험기준	기준치 만족							
			계										특허: 출원 4건 등록 2건 시제품: 4건 SW: 0건 매출액 3,000백만원 신규고용 2명 신기술인증 1건 비즈니스모델 수립 0건 마케팅전략 도출 0건 기술기평가 0건	특허: 출원 4건 등록 2건 시제품: 8건 SW: 5건 매출액 5,213백만원 신규고용 2명 신기술인증 3건 비즈니스모델 수립 1건 마케팅전략 도출 1건 기술기평가 1건

4. 목표 미달 시 원인분석-해당사항 없음.

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○

-

○

-

2) 자체 보완활동

○

-

○

-

3) 연구개발 과정의 성실성

○

-

○

-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 측면

- 기존의 저수지 보강공법에는 주로 OPC를 사용한 약액 주입공법이 적용되었으나, 본 연구개발을 통해 시멘트를 100% 대체할 수 있는 원가 절감형 결합재의 개발 및 상용화를 달성하였음.
- 개발 제품은 고로슬래그 미분말 등의 비결정질 물질과 Free CaO가 다량 함유된 제철 사업부산물을 원료로 사용하고, 별도의 소성공정이 필요 없는 단순 혼합 공정의 청정공정으로 제품생산이 가능하며, CO₂ 저감 및 산업부산물인 순환자원의 재활용에 따른 환경적 부하 감소 및 새로운 부가가치 부여가 가능함.
- 본 개발 제품은 시멘트를 사용하지 않고 비철금속슬래그를 50%이상 주원료로 사용하고 있으며 기타 원료 또한 산업부산물을 사용함으로써 천연자원을 최소화하고 순환자원(유효자원) 재활용율이 90% 이상임.
- 순환자원을 이용하여 기존 시멘트 대신에 노후저수지 보수보강을 할 수 있는 기술은 선진국에서도 개발된 적이 없는 국내 고유기술로서 향후 더욱 더 지반에 대한 환경 안정성이 부각되는 시점에 반드시 필요한 소재가 될 것으로 예상되어 향후 해외로 기술 이전이 가능할 것으로 판단됨.
- 본 개발제품은 말뚝 관입용, 연약한 지반 보강용, 공동을 충전하거나 뒷채움을 위한 저강도 기포 혼합 고화재로도 널리 활용이 기대되며, 또한 향후 개발한 기술의 활용분야로는 하천, 농로, 해안 간척지 등의 연약지반의 고화 및 터널 그라우팅, 하수관, 전기배선관 등 다양한 구조물의 뒷채움재 등으로의 용도확대가 기대됨.

○ 생산 에너지 절감 및 온실가스 배출 최소화

- 개발 제품의 제조공정이 전처리-배합-계량-혼합-제품화(출하)로 단순 공정으로 구성되기 때문에 시멘트 제조 공정의 소성과정이 생략되어 제품 제조에 필요한 에너지 감소 효과 및 CO₂ 발생량 저감효과를 기대할 수 있음.
- 개발 제품의 제조 공정 중 필요한 연료는 전력으로 석탄, 석유, 전력 등을 복합적으로 사용하는 시멘트에 비해 에너지 절감이 가능함.
- 시멘트 1톤 제조시 총 필요 연료량은 석탄류 85.6kg, 석유류 16.9L 및 전력량 45.0 kWh/ton 임. 이에 비해 개발 제품의 제조를 위한 필요한 연료는 전력으로 제품 1톤 생산당 2.3kWh/ton(생산 공장 월별 제품 생산량 대비 전력 사용량 기준)이 소요되므로 전력량만을 기준으로 할 때 약 95%의 에너지 절감이 가능함.
- 생산과정 중 소성과정이 필요없어 소성과정 중 발생하는 CO₂ 발생량을 줄일 수 있음. 국내 시멘트 생산량(5,700만톤 기준)의 1% 대체시 약 54만톤의 CO₂ 배출량 감축 목표 달성 가능함.
- 시멘트를 대체한 개발 제품 사용에 따른 온실가스 감축량 산출 근거

구 분		산출근거	비 고
시멘트 온실가스 배출량		- 포틀랜드 시멘트를 제조 하기위한 원료의 생산에 따른 생석회 소성 및 혼합설비 등의 에너지 사용량 - 산출식 : 0.944 kg CO₂e/kg	- 국가 LCI - 데이터베이스
고화재 온실가스 배출량	슬래그 분쇄	- 슬래그 분쇄에 따른 분쇄설비 및 운송에 따른 전기 사용 - 산출식 : 탄소배출계수 0.0255 kg CO₂e/kg	2006년 IPCC 가이드라인 온실가스 산정 방법론
		- 바닥재 분쇄 및 선별 따른 설비의 전기 사용 - 산출식 : 탄소배출계수 0.0196 kg CO₂e/kg	
	플라이 애쉬 정제	- 바닥재 분쇄 및 선별 따른 설비의 전기 사용 - 산출식 : 탄소배출계수 0.0196 kg CO₂e/kg	
		소계	
최종 온실가스 감축량		- 시멘트 사용량을 고화재로 대체하였을 경우 고화재 제조에 따른 배출량에 시멘트 미사용에 따른 감소분을 합산한 양으로 산출 - 산출식 : (0.0255 + 0.0196) - 0.944 kg CO₂e/kg = 0.8989 kg CO₂e/kg	산출근거에 따라 추정

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 연구개발 성과

- 제철 공정 슬래그 및 순환자원의 적정 전처리를 통해 노후 저수지 보강용 고화재의 개발을 완료하였으며, 순환자원의 전처리 설비 개선 및 품질 안정화 방안 확보 등을 통해 균질한 품질의 제품을 대량 생산할수 있게 되었으며, 생산한 제품의 시험 시공을 통해 품질성능 및 시공성능, 환경안정성 등을 검토 완료하였음.

○ 확대 적용 방안

- 개발 제품은 노후저수지 보강공법용이지만 혼합처리공법, 지하수 차수공법, 저강도·고유동 채움 공법, 사면 세굴방지, 옹벽 배면채움, 기초하부 치환 지지층 확보, 도로하부 연약지반 보강, 토류벽 뒷채움, 연약지반 표층개량 및 PHC 파일 채움재 등으로 확대 적용이 가능함.
- 또한, 해양구조물 기초에 적용하는 해상 심층혼합처리공법에 적용이 가능함.



○ 개발 제품의 확대 적용 제품과 매출 예상액은 아래의 표와 같음.

구 분		사업화 연도					
		2021년도	2022년도	2023년도	2024년도	합계	
사업화 기술제품 및 확대 적용 분야		그라우팅용 지반고화재	그라우팅용 지반고화재	그라우팅용 지반고화재, 콘크리트 2차제품용 고화재	그라우팅용 지반고화재, 콘크리트 2차제품용 고화재		
투자계 획	소요인원	2명	3명	4명	4명	13명	
	제조시설	－	－	－	15억원	15억원	
	시험시설	－	－	－	1억원	1억원	
판매 계획	내수	시장점유율(%)	0.17	0.34	0.51	0.68	－
		판매량(단위:톤)	25,000	30,000	50,000	60,000	165,000
		예상가격 판매단가(원)	65,000	65,000	65,000	65,000	－
		국내매출액 (백만원)	1,625	1,950	3,250	3,900	10,725
	당사 생산능력		500톤/일	500톤/일	500톤/일	500톤/일	

○ 향후 추가 기술 개발 계획 및 추진 방향

- 세계정서 불안과 에너지 자원의 고갈에 따라 에너지 자원절감 중요성이 극대화 되는 시점에 최근 세계적으로 관심이 집중되고 있는 기술개발은 탄소중립으로, 국내의 기술개발 방향 또한 탄소중립이 대세를 이루고 있음. 이에 건설/토목 재료 분야에서의 탄소 중립을 달성하기 위해 보다 적극적인 순환자원 활용 및 수치화된 탄소 중립화를 진행하고자 한다.
- 또한 개발 기술 및 제품의 탄소 중립화를 수치화하여 본 제품 사용시 시공처 및 발주처의 가점 제도 부여 등에 필요한 정책 제언 등을 실시하고자 한다.

[별첨자료] 참고문헌

1. “폐기물관리법 시행규칙”, 2016년 7월 21일 개정.
2. 홍원표, “표층고화처리된 초연약지반의 거동(I)”, ‘실내모형시험’, 대한토목학회논문집, 제 17권 34호, 1997.
3. 홍원표, “표층고화처리된 초연약지반의 거동(II)”, ‘현장 실험’, 대한토목학회논문집, 제 17권 34호, 1997.
4. 고희우 외, “탈황분진을 활용한 친환경 안정재의 심층혼합공법 적용성 평가”, 한국지반신소재학회 논문집, 제 15권 2호. 2016.
5. 한국세라믹학회 시멘트부, “사회환경 머터리얼”, 한림원, 2009.
6. 한국콘크리트학회, “콘크리트와 환경”, 제 2판, 기문당, 2016.
7. 한국지반신소재학회 단기강좌, “10.2 표층처리공법”, 2008.
8. 장창수, “준설풀토지반의 개량을 위한 표층고화처리에 관한 연구”, 경북대학교 석사학위논문, 2016.
9. 이병태 외, “중금속 오염토양의 생태영향 평가를 위한 지렁이의 독성동역학적 연구”, 대한자원환경지질학회, 2006.
10. Barton, N. (2007), Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy, Taylor & Francis, London, UK.
11. Choi, J. R., Kim, S. S., Park, S. K., Shin, K. S., and Kang, B. C. (2013), “A Case Study of Electrical Resistivity and Borehole Imaging Methods for Detecting Underground Cavities and Monitoring Ground Subsidence at Abandoned Underground Mines”, Journal of the Korean Earth Science Society, Vol. 34, No. 3, pp. 195~208.
12. Kim, H. M., and Jang, K. J. (2011), “Evaluation of Field Application for the Mix Properties of the Thixotropic Grout”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 9, pp. 4223~4238.
13. Korea Power Exchange (2019), 2019 Electricity Market Trends and Analysis, Annual Report, Korea Power Exchange, Naju, Republic of Korea.
14. Korea Power Plant Byproduct Recycling Association (2020), Generation and Recycling of Power Plant Byproducts from 5 Power Company, Static Information, Korea Power Plant Byproduct Recycling Association, Seoul, Republic of Korea.
15. KS L 5105 (2007), Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortar, Korea Standards Association.
16. KS L 5405 (2016), Fly Ash, Korea Standards Association.
17. LAZARD (2020), Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis, Annual Report, LAZARD, New York, USA.
18. Lee, B. (2014), “Collapse Risk and Safety Management of Aging Reservoirs”, Journal of Disaster Prevention, Vol. 16, No. 4, pp. 20~25.
19. Lee, D. B., Lim. H. D., and Song, Y. S. (2018), “Permeation Grouting Effect for Repair and Reinforcement of Old Dam”, The Journal of Engineering Geology, Vol. 28, No. 2, pp. 277~295.
20. Lee, S. J., Kang, H. J., Lim. H. T., Jin, J. H., and Kim, Y. S.. (2019), “A Study on Application a Permeable Compacting Grout for Reservoir Impermeability Reinforcement”, Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference, Vol. 2019, pp. 161.
21. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (2018), Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture 2017, Government Publications Registration Number:11-1380000-000014-10.
22. Ministry of Trade, Industry and Energy (2020), The 9th Basic Plan on Electricity Demand and Supply, Announce No. 2020-741, Ministry of Trade, Industry and Energy, Sejong, Republic of Korea.
23. Park, D. S., and Lim, H. D. (2016), “Stabilization of Dam Embankment by Low Pressure Permeation Grouting”, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 16, No. 6, pp. 325~

24. Park, D. S., and Oh, J. H. (2016), "Statistical Analysis on In-situ Material Properties for Aged Cores of Earth-Cored Fill Dams", *Journal of the Korean Society of Hazard Migigation*, Vol. 16, No. 3, pp. 243~256.
25. Park, J. T., and Oh, H. S. (2018), "A Study on the Pozzlan Reactivity and Mechanical Characteristic of Blended Portland Cements using CFBC Fly Ash", *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol. 6, No. 3, pp. 207~213.
26. Park, J. T., Oh, H. S., Jung, G. S., and Kang, C. H. (2020), "Application on the CFBC Fly Ash as a Stimulant to Improve the Early Strength of Hydration Portland Cement", *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol. 8, No. 1, pp. 8~16.
27. Park, S. Y., Shim, H. G., Kang, H. J., Lim, O. B., G. F. Sami, and Kim, Y. S. (2017), "A Study on Hybrid Grout Material for Reservoir Embankment Reinforcement", *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol. 16, No. 3, pp. 21~30.
28. Seo, S. G., Kim, Y. S., Lim, Y. H., and Cho, D. S. (2018), "Performance Evaluation of Pile-Filling Material Using High Calcium Ash by Field Loading Test", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 34, No. 6, pp. 17~24.
29. Shin, E. C., and Lee, J. K. (2012), "Safety Management Improving Way of Small Agricultural Reservoir", *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol. 11, No. 3, pp. 53~58.
30. Soil Environment Conservation Act. No. 2017-22 (2017), *Standard Test Method for Soil Contamination*, Ministry of Environment.
31. Song, C. S. (2019), "Analysis of Deterioration Degree for the Dam Body of Agricultural Reservoir in Chungbuk Area by Management Agency", *Journal of Agricultural Science-Chungbuk National University*, Vol. 35, No. 1, pp. 19~31.
32. Song, S. H., and Seo, S. G. (2019), "A Study on the Application of Chemical Grouting Method for Aging Reservoir Reinforce according to the Change of Binder and using Water", *Journal of the Korean Institute of Rural Architecture*, Vol. 21, No. 4, pp. 45~52.
33. Rural Research Institute (2003), *Development of Long-Term Monitoring Technique to Delineate the Leakage of Reservoir Dike*, Report, Rural Research Institute, Ansan, Republic of Korea.
34. You, K. H., Jie, H. K., Seo, K. W., Kim, S. J., and You, D. W. (2012), "A Study on the Correlation between the Rock Mass Permeability Before and After Grouting & Injection Volume and the Parameters of Q System in a jointed Rock Mass Tunnel", *Journal of Korean Tunneling and Underground Space Association*, Vol. 14, No. 6, pp. 617~635.

< 별첨 >

별첨 자료

1. 상세보고서

1. 비즈니스 모델 및 마케팅전략 보고서(전문가 검증의견 첨부)

2. 기술가치 평가 보고서

3. 성과증빙자료

4. 시험시공 증빙자료

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술 사업화 지원사업 기술 개발’ 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.