

표지

	(옆면)	(앞면)
과제 번호	안전 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호() 국토과학기술진흥원사업 제2차 연도최종보고서 R&D / 18TBIP-C144132-01 (견고덱31p) 고로슬래그 및 바텀애시를 이용한 상온 경화형 인공 잔골재 개발 최종보고서 2020. 3. 23. (견고덱15p) 주관연구기관 / (주)하우이씨엠 협동연구기관 / 울산과학기술원, 경기대학교 (견고덱 15.5p) 국토교통부 국토과학기술진흥원 (견고덱 20p)	
최 종 보 고 서 (견고덱 14p) 20xx (견고덱13p)		
소 관 부 처 명 전 문 기 관 명 (견고덱 17p)		

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘고로슬래그 및 바텀애시를 이용한 상온 경화형 인공 잔골재 개발’ (연구개발 기간 : 2018.04.01. ~ 2019.12.31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 03. 23.

주관연구기관명 : (주)하우이씨엠 (대표자) 장 인 배 (인)

참여기관명 : 울산과학기술원 (대표자) 정 무 영 (인)

참여기관명 : 경기대학교 산학협력단장 (대표자) 이 준 성 (인)

주관연구기관책임자 : 장 인 배

참여기관책임자 : 오 재 은

참여기관책임자 : 윤 세 윤

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	18TPIP-C144 132-01	해당 단계 연구 기간	2019.01.01.~2 019.12.31	단계구분	(2단계)/ (총2단계)
연구사업명	중사업명	국토교통연구개발사업			
	세부사업명	국토교통기술사업화지원사업			
연구과제명	대과제명	고로슬래그 및 바텀애시를 이용한 상온 경화형 인공 잔골재 개발			
	세부과제명	잔골재(모래)고갈 문제 해결을 위한 산업부산물(고로슬래그 및 바텀 애시)활용 20MPa급 잔골재 및 제조 공정 개발			
연구책임자	장 인 배 오 재 은 윤 세 윤	해당단계 참여연구원 수	총: 24명 내부: 24명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 607,000천원 민간: 405,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 1,012,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 24명 내부: 24명 외부: 명	총 연구비	정부:900,000천원 민간:605,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,505,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)하우이씨엠			참여기업명	울산과학기술원, 경기대학교
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자: 오재은, 윤세윤	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	6	4									

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

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

요약문

연구의
목적 및 내용

✓. 잔골재 안정 수급 필요성

- 잔골재(모래) 및 조골재(자갈)는 건설산업의 기초재료로서 안정적인 공급이 꼭 필요함.
- 하지만 천연자원인 골재는 보존량이 지속적으로 감소하고 있으므로, 정부는 천연골재 채취량을 크게 줄이고, 골재원의 다변화를 통해서 부족한 골재 공급량을 충족시키고자 함.
- 폐콘크리트에서 발생하는 순환골재는 천연 잔골재의 대체재로 사용되고 있지만, 흡수율이나 비중 등의 측면에서 KS 기준에 적합하지 않은 사례가 많이 보고되고 있으며, 이는 구조물의 품질 저하와 내구성 하락 등의 문제를 유발할 수 있음.

✓. 가격 경쟁력이 우수한 잔골재 대체재 개발

- 본 제안기술은 고로슬래그(화력발전소 부산물) 및 바텀애시(철강제철소 부산물)을 주원료로 하는 자원 순환형 친환경 기술임.
- 특히, 바텀애시 원재료는 자원순환기본법 (법률 제14532호, 공포일 2017.01.17., 시행일 2018.01.18.)에 의해 산업부산물 처리비용을 보전 받고 공급할 수 있음.
- 본 제안기술은 상온 양생만으로 고강도의 인공 잔골재를 양산화할 수 있어서, kiln과 같은 고가의 시설 설비 부담이 적어 생산비용을 줄일 수 있음.

✓. 잔골재 대량 생산 공정 개발 및 구축

- 개발된 잔골재용 결합재를 성형하기 위한 장비를 구축하고, 생산된 잔골재의 크기별 (1-5 mm) 분급 시스템을 개발.
- 개발 잔골재의 흡수율을 조절하기 위한 코팅 및 발수 기술을 개발.

✓. 개발 잔골재 및 잔골재를 이용한 모르타르와 콘크리트의 성능 평가

- 본 제안기술로 개발한 잔골재를 모르타르와 콘크리트에 혼입 · 배합.
- 개발 잔골재 성능(비중, 흡수율, 안정성, 불순물량, 염화물량)을 KS 기준에 따라 평가.
- 모르타르 성능(압축강도, 휨강도)을 평가.
- 콘크리트 성능(압축강도, 할렬인장강도, 공기량, 유동성)을 평가.

연구개발성과	1. 가격 경쟁력이 우수한 잔골재 대체재 개발 ○ 본 개발기술은 고로슬래그(화력발전소 부산물) 및 바텀애시(철강제철소 부산물)을 주원료로 하는 자원 순환형 친환경 기술임. ○ 특히, 바텀애시 원재료는 자원순환기본법 (법률 제14532호, 공포일 2017.01.17., 시행일 2018.01.18.)에 의해 산업부산물 처리비용을 보전 받고 공급할 수 있음. ○ 본 개발기술은 상온 양생만으로 고강도의 인공 잔골재를 양산화할 수 있어서, kiln과 같은 고가의 시설 설비 부담이 적어 생산비용을 줄일 수 있음. 2. 잔골재 대량 생산 공정 개발 및 구축 ○ 개발된 잔골재용 결합재를 성형하기 위한 장비를 구축하고, 생산된 잔골재의 크기별 (1-5 mm) 분급 시스템을 개발. ○ 개발 잔골재의 흡수율을 조절하기 위한 코팅 및 발수 기술을 개발. 3. 개발 잔골재 및 잔골재를 이용한 모르타르와 콘크리트의 성능 평가 ○ 본 개발기술로 개발한 잔골재를 모르타르와 콘크리트에 혼입 · 배합. ○ 개발 잔골재 성능(비중, 흡수율, 안정성, 불순물량, 염화물량)을 KS 규준에 따라 평가. ○ 모르타르 성능(압축강도, 휨강도)을 평가. ○ 콘크리트 성능(압축강도, 할렬인장강도, 공기량, 유동성)을 평가.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 본 개발기술을 통해 현재 심각한 천연골재 부족 문제를 해결하고, 환경 파괴 문제를 최소화할 수 있음. ○ 또한, 개발 잔골재 대량 제조 시설 구축을 통해 지역 내 새로운 일자리 창출과 더불어 건설재료 시장의 경쟁력을 제고 할 수 있음.				
국문핵심어 (5개 이내)	잔골재	고로슬래그	바텀애시	상온경화	펠렛타이징
영문핵심어 (5개 이내)	Fine aggregate	GGBFS	Bottom ash	Room temperature	Pelletizing

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	21
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	87
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	95
붙임. 참고 문헌	96

<별첨> 주관연구기관의 자체 평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 사업화 추진 배경

(1) 기술의 필요성

(가) 잔골재 안정 수급 필요성

- 국토교통부 제5차 골재수급기본계획 (2014~2018)에 따르면, 천연자원인 골재는 보존량이 지속적으로 감소하고, 더불어 환경규제 및 주민들의 반대로 인해서 골재 채취에 어려움이 있는 상황이다. 골재 [잔골재(모래) 및 조골재(자갈)]는 건설산업의 기초재료로서 안정적인 공급이 꼭 필요하지만, 수급에 어려움이 있어 이를 해결하기 위한 방안이 시급함.

이뉴스투데이. 2017.12

'모래가 없다'...내년 골재대란 '카운트다운'

남해·서해 바닷모래 채취, 정부 '오리무중'...가격 상승 도미노 예고, 부실 공사 배제 못해

건설경제. 2017.12

건설현장 덮친 '모래대란' 내년부터 더 막막해진다

기사입력 2017-12-29 06:00:15

정부, 2022년 목표의 골재수급 안정대책 확정

골재 중 바닷모래 비중 2022년까지
11%→5% 단계적 감축 로드맵 확정

정부 "매년 모래 8% 부족" 분석
업계는 "1000만 m³ 이상 부족" 우려
레미콘 등 자재단가 급등 불가피할 듯



건설경제. 2017.08

바닷모래 공급량 절반으로 '뚝'... 건설현장 '모래 파동' 재현되나

중소기업뉴스. 2017.11

"골재대란 해소할 정부대책 시급"

그림 1. 잔골재(모래) 공급량 부족 문제에 대한 언론 보도

- 정부는 연간 모래 부족량을 사용량의 8%인 800만m³로 분석했지만, 업계는 최소 1,000만m³ 이상 모자랄 것으로 보고 있는 상황임. 뿐만 아니라, 산림·파쇄모래 등 대안마저 부실한 점을 감안한다면 모래 수급은 점진적으로 어려워지고 이에 따른 자재단가 급등이 불가피할 전망이다.
- 최근까지 부족한 모래 자원 해소를 위해 바닷모래를 채취하여, 염분을 제거하여 사용하였지만, 최근 수산업계의 반발로 인해 "남해 EEZ 골재 채취"에 큰 차질이 발생하였음.



(가)



(나)

그림 2. 국내 천연모래 채취 모습

(가) 무분별한 골재 채취로 인해 자연이 파괴된 모습, (나) 바다모래 채취 하는 모습

- 따라서 정부는 2022년까지 천연골재 채취량을 크게 줄이고, 골재원의 다변화를 통해서 부족한 골재 공급량을 충족시키고자 함.
- 특히 중·장기적으로는 골재자원의 감소에 대비해서 암석이나 폐건축자재 등을 재활용하는 순환골재를 활성화하고, 천연골재를 대체하는 자재개발 연구 등을 통해 천연골재 사용량을 줄여나가기로 함.
- 한편 국내뿐만 아니라, 미국을 포함한 세계 곳곳에서 골재 부족이 심각한 문제로 대두되고 있음.



그림 3. 2017년 12월 국정현안점검조정회의에서 논의된 골재수급 안정대책 (출처: news1)

(2) 기술의 우수성

(가) 가격 경쟁력이 우수한 잔골재 대체재 개발

- 현재 국내에서 판매되고 있는 잔골재의 가격은 1㎥당 40,000원 수준이며, 천연 골재 채취량을 줄이기 위한 정부의 방침 및 천연 자원 고갈로 인해서 2020년까지 약 45,000원/㎥ 수준까지 가격이 상승될 것으로 예상된다.
- 기존 건설 현장에 사용된 천연모래는 자원 고갈 및 심각한 환경 훼손을 야기하는 반면, 본 사업화 대상기술은 화력발전소 및 철강제철소에서 발생하는 산업부산물(바텀애시 및 고로슬래그)을 주원료로 하는 자원 순환형 친환경 기술이다.
- 천연 모래는 공급량 부족으로 인해서 가격이 점차 증가하고 있는 반면, 본 사업화 대상 기술은 산업부산물을 이용하기 때문에 저렴한 가격으로 잔골재 생산이 가능하다.
- 특히, 바텀애시 원재료는 자원순환기본법 (법률 제14532호, 공포일 2017.01.17., 시행일 2018.01.18.)에 의해 산업부산물 처리비용을 보전 받고 공급할 수 있다.

천연 자연환경 훼손을
통한 모래 채취 현장

산업부산물을 이용한
친환경 잔골재 제조 기술

(자료: 국토교통부)

두 배 이상 뚝 모래 가격

- 2016년 평균: 16,000원/㎥
- 2017년 1월: 29,000원/㎥
- 2017년 5월: **40,000원/㎥**

우수한 가격경쟁력 확보

40,000원/㎥

(자원순환기본법에 의한 Bottom ash 구입비용 보전 및
고로슬래그 미분말 자체 분쇄를 통한 원재료 가격 절감)

그림 4. 기존 천연 잔골재 대비 본 연구기술의 친환경성 및 가격경쟁력

- 기존 인공골재 제조에는 1,200℃에서 소성하는 공정이 필수적으로 소요되는데 비하여 본 제안기술은 20~30℃정도의 상온에서 양생되므로 건조과정에서의 에너지 소모량이 기존 제조기술에 비해 약 1/10 이하임
- 인공모래 개발에서 가장 중요한 물성중 하나인 압축강도는 기존 인공골재의 최대 압축강도는 5MPa 정도이나, 해당 제안 과제 제품의 압축강도는 20MPa 이상임.
- 게다가, 자체적으로 대량 생산화 시스템을 개발 할 예정이어서 최종 잔골재 가격을 1㎥당 4만원대로 맞출 예정임.

(나) 본 과제 수행을 위한 (주)하우이씨엠과 울산과학기술원의 기술개요

- 본 과제를 통하여, 실제 콘크리트로 사용가능한 수준의 고로슬래그 및 바텀애시 기반 인공잔골재를 개발하여 사업화할 계획.

기관명	기술개요
(주)하우이씨엠	○ 잔골재 성형을 위한 디스크 펠렛타이저 보유 ○ 잔골재 제조 인력 및 공장 부지 보유 ○ 대량 생산 수준의 무시멘트 결합재 제조 경험 보유 ○ 무시멘트 결합재 개발을 위한 석사급 이상의 개발 인력 및 연구 공간 보유 ○ 개발된 인공 잔골재 판매를 위한 레미콘 회사와의 네트워크 형성 ○ 개발될 잔골재 제조를 위한 원재료 (바텀애시 및 고로슬래그 미분말) 공급
울산과학기술원	○ 실험실 수준의 원재료 배합 (고로슬래그 미분말과 저가형 활성화제) ○ 고강도 결합재 제조 기술 개발 ○ 개발된 결합재의 관련 논문과 특허 등록 ○ 개발된 결합재의 실험실 수준의 강도 테스트와 미세구조 분석기술 보유 ○ 본 결합재의 강도 발현 메커니즘을 규명 ○ 원재료 (고로슬래그 미분말 및 바텀애시)의 입자 크기 분석, 화학적 분석(XRF 및 XRD) ○ 개발된 재료의 내구성 테스트 기술 및 인력 보유

(3) 기술의 독창성

(가) 기존 인공 골재의 한계

- 부족해진 천연 모래 자원 문제를 해결하기 위한 일환으로, 순환골재, 제강 슬래그 및 바텀 애시를 천연 잔골재 대체로 사용하기 위한 연구가 최근 수행되었음.
- 제22회 국정현안점검조정회의에 따르면, 정부는 산림모래 및 부순모래의 공급을 확대하고, 해외 모래수입 등으로 골재원을 다변화한다는 골재수급 안정 대책을 확정하였고, 중장기적으로는 폐콘 크리트로부터 생산된 순환골재 (재생골재) 사용을 활성화하는 계획을 수립하였음.
- 하지만 순환골재는 흡수율이나 비중 등의 측면에서 KS 기준에 적합하지 않은 사례가 많이 보고되고 있으며, 이는 구조물의 품질 저하와 내구성 하락 등의 문제를 유발할 수 있음.
- 또한, 기 연구된 대체 잔골재들은 ① 입도(size)가 불규칙하고, ② 입자 형상(shape)이 불규칙하며, ③ 자체 골재 강도를 판단하기 어려울 뿐만 아니라 품질(형상 및 입도) 관리가 어려운 단점이 있음.
- 반면, 본 사업화 대상기술은 ① 고로슬래그 결합재 경화 기술 및 ② 입자 성형 펠렛타이징(pelletizing) 기술을 이용하여, 천연 모래와 비슷한 입도(size) 및 형상을 구현할 수 있으며, 자체 경화 기술을 통해 결합재 자체의 강도를 파악 가능하여, 대체 잔골재 생산이 가능함.

(나) 산업부산물을 활용한 친환경 건설재료: 고로슬래그 및 바텀애시

- 바텀애시 (Bottom ash)는 화력발전소에서 연소 후 발생하는 부산물로써 거의 대부분 매립 및 폐기되고 있어 심각한 환경오염을 야기하고 있음.
- 동시에 전 세계적으로 천연 모래가 고갈되는 상황에서, 바텀애시는 잔골재를 대체할 수 있는 건설재료로 적용될 수 있다는 가능성을 인정받고, 전 세계적으로 바텀애시를 활용할 수 있는 연구 개발이 진행되고 있음.

(다) 바텀애시 공급 전략

- 국내 총 발전량 대비 석탄화력발전은 2016년 기준 48.1%로 발전 에너지원 중 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 2018년 현재 총 58기의 석탄화력발전소가 운전 중에 있다.

(출처: 국가주요지표)

- 정부는 2018년 노후 석탄화력발전소 5기를 가동 중단하는 정책을 시작으로, 미세먼지 배출 저감을 위해 매년 노후 석탄화력발전소 가동 기수를 점차 축소할 전망이다. (2022년 내 7기 가동 중단)
- 하지만, 노후 석탄화력발전소의 가동 중단에도 불구하고, 아직까지도 많은 수의 석탄화력발전소가 가동되어 바텀애시(산업부산물)가 발생되고 있으며, 뿐만 아니라 화력발전소 9기 건설 예정 및 6기 건설 중이므로, 바텀애시 발생량은 쉽게 줄어들지 않을 것으로 판단된다.
- 현재 국내 바텀애시 발생량은 연간 200만톤 이상이며, 거의 대부분 폐기 매립되는 실정이며, 플라이애시 발생량은 연간 800만톤에 이르나 시멘트 원료로 일부 사용되고 레미콘 제조 시에도 부분적으로 사용되어 약 600만톤 정도가 활용되고 약 200만톤 정도가 매립되는 실정이나 최근 플라이애시 첨가 시멘트나 레미콘의 강도 발현 부족현상으로 인한 사용 자제 분위기가 고조되고 있어 폐기·매립되는 양이 더욱 증대될 것으로 예상된다.
- 따라서 본 제안 기술은 폐기·매립되는 바텀애시와 연간 1,000만톤 이상 발생하는 제철소 부산물인 고로슬래그를 주원료로 사용하는 것이 핵심기술의 하나이지만 지속적으로 바텀애시 발생량이 줄어들고 인공 잔골재의 수요량이 급격히 늘어난다면 성상이 유사한 폐기·매립되는 플라이애시도 원료로 사용할 계획이며, 또한 고로슬래그의 원료 비율을 상대적으로 높여 바텀애시의 비율을 낮추는 방안도 본 연구과제 진행시 함께 검토해 나갈 계획임.



(가)



(나)

그림 5. 친환경 잔골재에 사용되는 산업부산물

(가) 고로슬래그 (철강제철소 산업부산물), (나) 바텀애시 (화력발전소 산업부산물)

- 하지만 문헌조사에서 모래 대비 바텀애시 치환량을 0%에서 100%까지 대체된 모르타르의 양생 28일 압축강도 성능이 67.9%까지 감소한 결과가 보고되어 순수 바텀애시를 잔골재로 사용하기엔 부적합함.
- 본 연구팀은 플라이애시 (Fly ash), 고로슬래그 미분말, 레드 머드 (Red mud), 석분 슬러지 등 산업부산물을 경화시킬 수 있는 기술 및 연구능력을 보유하고 있다. 이전 기술을 활용하여 기존 무기바인더에 바텀애시를 최대 40%까지 치환 첨가한다면, 잔골재 대체제의 친환경성, 가격 경쟁력, 우수한 물리적 성능을 확보할 수 있을 것으로 기대됨.
- 고로슬래그 미분말과 바텀애시를 주원료로 하는 개발 시제품(잔골재 대체제)의 중금속 용출시험 성적서 제출과 친환경표지 인증 획득 예정

(2) 기술의 활용성

(가) 개발 친환경 잔골재의 현장적용성

- 본 제안기술은 산업부산물과 저가형 분말 활성화제를 이용하여 상온에서 제조 가능하기 때문 에너지 저감형 기술이며, 이를 통해 심각한 천연골재 부족 문제를 해결하고, 환경 파괴 문제를 최소화할 수 있음.
- 대량생산을 통해 향후 지속적으로 부족 현상이 심화되고 있는 천연잔골재를 대체할 수 있는 현실적 대안으로 제철소 및 화력발전소 인근에 적정 소요규모의 제조 시설을 구축하여 현지생산과 현지 판매를 통해 지역 내 새로운 일자리 창출과 더불어 생산된 인공골재 사용에 따른 물류비 절감을 통해 건설재료 시장의 경쟁력을 제고 할 수 있음.
- 잔골재는 각종 토목 및 건축, 건설 공사에 있어 기본이 되는 재료이므로 LH한국토지주택공사를 비롯한 국내외 건설사 및 국가 기반 인프라 사업, 프리믹스드 레미콘 기업 등 광범위한 수요기관을 대상으로 전개할 수 있음.

<콘크리트 적용>

포틀랜드 시멘트

굵은 골재 (자갈)

잔골재 (모래)

기존 콘크리트에 사용되는 잔골재를 대체가능한
'고로슬래그 및 바텀애시 기반 친환경 잔골재' 개발

그림 6. 고로슬래그 및 바텀애시 기반 친환경 잔골재의 현장적용성

나. 사업화 대상기술 요약

구분	기존 보유기술 또는 이전받은 기술	
▪ 과제명		
▪ 사업화 기술 및 분야	울산과학기술원에서 기술이전	
▪ 사업화 대상이 되는 기술의 지식재산권 * 특허, 실용신안 등 유형별 기재	(특허번호) 10-1640804	(특허번호) 10-1669564
	(특허명) 응결시간 지연제를 포함하는 무시멘트 결합재 및 이의 제조방법	(특허명) 무시멘트 결합재 및 이의 제조방법
	(권리자) (주)하우이씨엠	(권리자) (주)하우이씨엠
▪ 기존기술과 비교하여 성능 개선 등 차별화 내용	플라이애쉬(fly ash), 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 및 탄산의 알칼리 금속염을 포함하는 결합재 혼합물 및 3개 이상의 하이드록시기를 갖는 화합물 또는 이의 염을 1종 이상 포함하는 지연제를 포함하는 무시멘트 결합재는, 산업부산물물을 재활용하여 제조되므로 친환경적이고, 압축강도가 매우 우수하며, 특히 지연제의 사용에 의해 응결시간이 길어져 현장에서 사용하기에 용이하다.	플라이애쉬(fly ash), 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 및 탄산의 알칼리 금속염을 포함하는 무시멘트 결합재는, 산업부산물물을 재활용하여 제조되므로 친환경적이고, 압축강도가 우수하여 토목, 건축 등 분야에서 시멘트 대체재로서 유용하다.

다. 현재까지 확보된 기술개발 현황

개발과정	일 자	주요 진행내용	개발주체
기초기술 특허등록	2013.10	- 무시멘트 결합재 관련 기초기술 특허등록 - 특허명: 고로 슬래그를 포함하는 구조용 바인더 및 그것을 이용한 경화체 제조 방법 (등록번호: 10-1228815) - 고로슬래그 미분말을 기반으로한 결합재 제조 기술 개발	울산과학기술원
공동 연구진행	2013.12 ~ 2015.12	- 무시멘트 결합재 관련 공동연구과제 진행 - 과제명: 방글라데시 주택건설시장 진출 개척을 위한 방글라데시 현지 산업부산물물을 활용한 13 MPa급 무(無)시멘트 주택구조용 벽돌 제조 방법 및 생산 설비 - 방글라데시에서 발생하는 산업부산물인 플라이애시를 활용한 무시멘트 결합재 개발 기술 개발	울산과학기술원/ 하우이씨엠

기초기술 특허등록	2014. 03	- 무시멘트 결합재 관련 기초기술 특허등록 - 특허명: 고농도 유기폐수와 알루미늄실리케이트계 산업 부산물을 이용한 경화체 제조 방법 (등록번호: 10-1374884) - R/O 농축수, 하수슬러지, 중금속폐수 및 폐알칼리폐수를 이용한 결합재 개발	울산과학 기술원
기술이전	2014. 08	- (주)하우이씨엠(구 (주)네오본드)와 울산과학기술원(구 유니스트)와의 기술이전 계약 - 특허명: 고로 슬래그를 포함하는 구조용 바인더 및 그것을 포함하는 경화체 제조 방법 (등록번호: 10-1228815)	울산과학 기술원/ 하우이씨엠
기초기술 특허등록	2015. 05	- 무시멘트 결합재 관련 기초기술 특허등록 - 특허명: 무시멘트 혼화제 및 그 제조 방법 (등록번호: 10-1524298) - 초기 응결 제어 및 유동성능을 개선한 무시멘트 혼화제 제조 기술 개발	울산과학 기술원
기초기술 특허등록	2015. 10	- 무시멘트 결합재 관련 기초기술 특허등록 - 특허명: 석분 슬러지와 고로 슬래그를 이용한 토목 건축용 경화체 제조 방법 (등록번호: 10-1566547) - 석분슬러지, 고로슬래그 미분말를 기반으로한 결합재 제조기술 개발	울산과학 기술원
기초 연구진행	2015. 11 ~2016. 04	- 무시멘트 결합재 관련 기초연구과제 진행 - 과제명: 저탄소·고내구성 벨라이트-칼슘-설포알루미네이트 시멘트 제조기술 개발 - 기존 시멘트 회전로를 이용하여 벨라이트-칼슘-설포알루미네이트 시멘트 제조기술을 개발하고, 최종적으로 이를 원재료인 보크사이트 대신 산업부산물인 레드머드로 대체할 수 있는 가능성을 평가함.	울산과학 기술원
기초기술 특허등록	2016. 07	- 무시멘트 결합재 관련 기초기술 특허등록 - 특허명: 응결시간 지연제를 포함하는 무시멘트 결합재 및 이의 제조방법 (등록번호: 10-1640804) - 플라이애시를 기반으로 한 무시멘트 결합재 제조기술 개발	울산과학 기술원
공장인수	2016. 08	- (주)하우이씨엠 경북 영천시 소재 공장 인수	하우이씨엠
공동 연구진행	2016. 09 ~2017. 08	- 무시멘트 결합재 관련 공동연구과제 진행 - 과제명: 진주암 및 질석 팽창 골재와 고로슬래그 기반 무시멘트 결합재를 주원료로 하는 공기정화기능을 가진 불연 천장재 개발 - 소성 팽창된 진주암과 질석을 활용한 불연 천장재 개발 연구	울산과학 기술원/ 하우이씨엠
시장조사	2016. 10	- 각종 뉴스 등 언론매체를 통해 심각한 천연골재 부족현상 인지	하우이씨엠
기초 설비구상	2016. 10	- 플라이애시를 기반으로 한 잔골재 제조 공정을 위한 압출 롤러 성형기(Extrusion roller machine) 설비 구상	울산과학 기술원

기초 연구진행	2016. 11~	- 무시멘트 결합재 관련 기초연구과제 진행 - 과제명: 도로 포장 콘크리트의 초기 균열 제어를 위한 내부 양생 기법 적용 무시멘트 콘크리트 및 이를 위한 고강도 무시멘트 인공경량골재 개발 - 플라이애시 기반 인공골재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 개발	울산과학 기술원
기초기술 특허등록	2016. 12	- 무시멘트 결합재 관련 기초기술 특허등록 - 특허명: 흡음성 및 단열성이 우수한 무시멘트 경량 블록 및 이의 제조방법 (등록번호: 10-1686219) - 플라이애시를 기반으로 한 경량 블록 개발	울산과학 기술원
기초 연구진행	2017. 04~	- 무시멘트 결합재 관련 기초연구과제 진행 - 과제명: 원전 주요 설비 건전성 평가/관리기술 고급트랙 - 플라이애시를 기반으로한 방사선 차폐 인공골재 개발	울산과학 기술원
기초기술 특허등록	2017. 08	- 무시멘트 결합재 관련 기초기술 특허등록 - 특허명: 무시멘트 결합재 및 이의 응용 (등록번호: 10-1773961) - 플라이애시를 기반으로 한 결합재 개발	울산과학 기술원
시장조사	2017. 09	- 전문지 및 On-line을 통한 예상시장 규모 및 가격 파악	하우이씨엠
공장방문	2017. 10	- (주)하우이씨엠 영천 공장에 설비된 간이식 디스크 펠렛타이저(Disk pelletizer) 방식 확인	울산과학 기술원/ 하우이씨엠
공동 기술개발 협약	2017. 11	- 주관기관인 하우이씨엠과 울산과학기술원간에 인공골재 양산화기술 협의	울산과학 기술원/ 하우이씨엠
기술개발 회의	2018. 01	- 개발 인공 골재로 만든 콘크리트의 ball bearing 효과로 인한 콘크리트 유동성 향상 성능 인지	울산과학 기술원/ 하우이씨엠
시제품 제작	2018. 02	- 바텀애시와 고로슬래그를 사용한 인공 잔골재 프로토타입 제작	하우이씨엠

라. 추가 연구개발 필요성 (시장적용 필요성)

1. 산업부산물을 활용한 자원재활용 기술

- 국가경제성장 위주의 개발로 인한 산업부산물은 대한민국을 비롯한 전 세계에서 다량 발생되고 있으며, 이는 심각한 환경오염을 야기하기 때문에 이를 처리할 수 있는 폐기 및 자원재활용 기술 개발이 시급한 상황임.
- 특히, 연간 화력발전소에서 발생하여 연간 200만 톤 이상 폐기되는 바텀애시와 연간 1,000만 톤 이상 발생하는 고로슬래그는 강우 시 중금속 용출등의 환경문제를 야기할 수 있으므로, 이를 처리할 수 있는 기술 개발이 필수적임.
- 본 기술 개발의 연구 기반이 되는 무시멘트 결합재 기술은 석산 개발 시 발생하는 석분 슬러지 고형화 기술, 제철소에서 생하는 고로슬래그를 주원료로 하는 포틀랜드 시멘트 대체재 양상화 기술, 화력발전소에서 발생하는 플라이애시를 사용한 경량골재 기술, 바텀애시를 활용한 층간소음 방지보드 제조기술 등과 연관된 응용기술임.
- 따라서, 본 제안기술은 산업부산물을 활용하여 저가의 친환경 건설재료를 생산하는 자원재활용 기술이므로, 매년 누적되어 폐기가 곤란한 상태의 산업부산물을 처리할 수 있는 새로운 방안이 될 수 있을 것으로 기대됨.

2. 규사 가격 폭등으로 인한 잔골재 수급의 어려움

- 바닷모래 채취 허용량 감소나 해외로부터 골재 수입 등 국내 천연 잔골재의 고갈로 인한 천연자원인 골재의 보존량이 지속적으로 감소하여 안정적인 수급에 차질이 있음.
- 골재는 시멘트와 함께 건설분야의 기초 재료로써 안정적인 공급이 필수이기 때문에 이를 해결하기 위한 방안이 시급한 상황임.
- 게다가 잔골재 수급의 어려움으로 인한 골재의 가격은 계속해서 증가하고 있으며, 이는 건설 단가 상승을 야기할 것으로 판단됨.
- 본 제안 기술은 기존의 천연 잔골재를 대체할 수 있는 인공 잔골재 개발 기술로써 우수하고 가격이 저렴한 것이 특징이기 때문에, 본 제안기술을 통해 건설 산업 전반에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대됨.

(1) 사업화 대상 기술의 개념도

산업부산물 기반 원재료 배합

바텀애시 (화력발전소) 고로슬래그 (철강제철소)

<잔골재 제조 및 상온 양생>

잔골재 입도별 분급
시스템 개발을 통한
조립률(Fineness) 조절

- 저가형 활성화제
- 강도 증진제

고로슬래그 & 바텀애시
기반 **친환경 잔골재**

본 기술의 특징

- 산업부산물 85% 이상 포함 친환경 제품
- 압축강도 20MPa 급 잔골재 개발
- 상온에서 경화 가능

목표

- **천연 잔골재를 대체하여 골재 안정 공급에 기여**
- **우수한 가격경쟁력 확보**

(2) 국내외 유사기술과 수준 비교

구분	잔골재(모래) 고갈 문제 해결을 위한 산업부산물 (고로슬래그 및 바텀애시) 활용 20MPa급 잔골재 및 제조 공정 개발	순환자원(FNS & d BA)을 유효이용한 내구성 강한 반강성 도로포장재 개발	바텀애시를 잔골재로 사용한 경량 EPS 콘크리트 패널의 개발	석탄회의 알카리활성 반응을 이용한 대체시멘트 개발의 기초연구	광미분을 잔골재로 사용한 건자재의 개발
재료	▪산업부산물 85% 이상 활용	▪15~45 중량부의 일반 시멘트, 20~25 중량부의 초속경 특수 시멘트, 1~20 중량부의 재유화형 분말수지를 포함	▪바인더는 보통 시멘트 491 중량부, 초속경 시멘트 131 중량부, 팽창제 44 중량부 포함되고, 상기 보강섬유는 2 중량부 사용	▪산업부산물 플라이애시 활용 50% 이상	▪산업부산물 광미분 활용 70% 이상
공정	▪디스크 펠릿타이저를 이용해 골재 성형 후 23℃ 상온 양생 조건에서 28일간 양생	▪시멘트 밀크가 아스팔트 몸체 내로 침투하여야 하는 반강성 포장의 특성 상 일반 시멘트와 초속경 시멘트를 적절히 혼합	▪건식 원료 바텀애시를 1차 파쇄하여 입자크기 및 세장비를 낮추고 2차 마쇄하여 원료 바텀애시 표면의 강도가 약한 연소상을 제거하여 구형율을 높이고 내부공극을 가하도록 한 것	▪석탄회에 알칼리 활성화제를 30중량부 첨가하여 60℃ 고온 양생	▪입도 1mm 급 광미분을 이용하여 시멘트 중량 대비 3배 혼입 후 상온 양생
비용	▪최종 생산제품인 인공 잔골재의 가격은 1㎡당 40,000원으로 기존 모래보다 저렴하게 생산	▪일반 아스팔트 도로 포장 비용과 비슷	▪일반 경량 콘크리트 패널과 유사한 생산비용	▪기존 포틀랜드 시멘트 바인더보다 3~4배 비쌌 (톤당 300,000~400,000 원 수준)	▪산업부산물 광미분을 이용하여 기존 잔골재 가격보다 약간 저렴

가. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

① 국가연구개발사업 유사연구 검토

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
중소기업청	중소기업융복합기술 개발사업	순환자원(FNS & dBA)을 유효이용한 내구성 강한 반강성 도로포장재 개발	4.16	
중소기업청	산학연공동기술개발	바텀애시를 잔골재로 사용한 경량 EPS 콘크리트 패널의 개발	0.34	
과학기술부	특정기초연구지원	석탄회의 알카리활성 반응을 이용한 대체시멘트 개발의 기초연구	1.00	
중소기업청	산학연공동기술개발	광미분을 잔골재로 사용한 건자재의 개발	0.16	

② 사업화과제의 차별화 방안

1. 2015, 순환자원(FNS & dBA)을 유효이용한 내구성 강한 반강성 도로포장재 개발

- 해당 과제에서는 산업부산물로 Ferro-Nickel슬래그(니켈 생산 부산물)과 건식 바텀애시(화력발전소 부산물)을 사용하여 도로포장재를 개발하였다. 하지만 해당 과제에 포함된 산업부산물의 양은 50% 수준으로 85%이상의 산업부산물을 사용하는 본 제안기술에 비해 적은 양이 포함됨.
- 또한 도로포장재를 개발한 해당 과제에 비해서, 본 제안기술은 모르타르 및 콘크리트를 포함하여 건설 현장 전반에 사용될 수 있는 잔골재 개발을 목표하기 때문에 더욱 큰 파급력이 예상됨.

2. 2005, 바텀애시를 잔골재로 사용한 경량 EPS 콘크리트 패널의 개발

- 해당 과제에서는 바텀애시 원재료를 잔골재로 사용하여 콘크리트의 물성을 평가하였지만, 본 과제에서는 바텀애시와 고로슬래그를 포함한 결합재를 경화 및 성형 공정을 거쳐서 내구성이 더욱 높은 잔골재 제조 공정을 개발하고자 함.

3. 2005, 석탄회의 알카리활성 반응을 이용한 대체시멘트 개발의 기초연구

- 해당 과제에서는 석탄회(화력발전소 부산물)을 수산화나트륨 및 규산화나트륨 등의 활성화제를 사용하여 경화를 시켜서 알카리활성시멘트를 개발하였다. 하지만 해당 과제에서 사용된 활성화제는 고가이며, 높은 pH로 인해 시공 시 작업자의 안전에 치명적이기 때문에, 본 제안과제에서는 pH가 상대적으로 낮은 저가형 활성화제를 사용하고자 함.

4. 2002, 광미분을 잔골재로 사용한 건자재의 개발

- 해당 과제에서는 광미분(중석 채굴 부산물) 원재료를 잔골재로 사용하여 도로경계석, 콘크리트보도판 등의 건자재를 개발한 것에 비해서, 본 제안과제는 바텀애시와 고로슬래그를 활용하여 잔골재를 개발하고자 함.

나. 국내외 관련 기술 특허 동향

국내	1) 한국남동발전 영흥본부: 화력발전소에서 배출되는 석탄회와 준설토를 혼합 및 고온 소성하여 인공경량 골재를 자체 생산하였으며, 이를 'NDlite'로 명명하여 상용화하였음. 2) 국내특허 등록번호 10-1631276 '보크사이트 잔류물을 이용한 재활용 골재 제조 방법' : 보크사이트 잔류물을 포함하는 혼합물을 고형화 및 골재화하여 소정의 강도발현이 가능하도록 제조하였음. 3) 국내특허 등록번호 10-1740599 '인공경량골재의 제조방법' : 기존 고온 소성 과정을 개량하여 발포 특성을 향상시켰음. 4) 국내특허 등록번호 10-1526949 '파쇄 및 중력식에 의한 건식 바텀애시를 활용한 저탄소 친환경 경량골재 및 그 제조방법' : 바텀애시를 파쇄 및 중력식 마쇄하여 인공경량골재의 건식 공정을 제안하였음. 5) 그 외, 다수의 인공경량골재 개발 및 기초연구 물성에 관한 연구가 진행되었으나, 실제 상용화까지 이루어진 사례는 매우 드물.
국외	1) 영국 Lytag®에서는 1958년도부터 석탄회를 원료로 한 인공경량골재를 생산하여 상용화하였으며, 용도에 따라 제품을 세분화하였음 (예: Geofill®, Hortag, Lytag aggregate, Sportag 등). 이는 건축물, 사회기반시설 등 다수의 현장 적용 사례가 있음. 2) 북미 시멘트 제조회사인 Lafarge에서도 1960년대부터 슬래그를 원료로 한 인공경량골재 ('Litex™', 'True Lite', 'Vitrex™')를 생산하여 상용화하였음. 3) 인공경량골재 개발 및 특성에 관한 연구와 더불어, 이를 적용한 경량 콘크리트에 관한 연구가 많이 진행되고 있음.

다. 국내외 시장분석 및 사업화 전망

① 국내 시장규모 및 전망

1. 국내시장규모 및 성장성

- 2016년 기준 국내 건설시장에서 자갈 사용량은 약 2억 m^3 이며, 모래 사용량은 1억 5천만 m^3 에 이르고 있으나 국내 천연골재의 절대적 부족으로 인한 무분별한 석산 개발과 바닷모래 채취로 인한 환경파괴가 큰 사회적 문제로 대두되고 있음.
- 특히 정부가 2022년까지 바닷모래 비중을 현재의 절반 수준인 5%까지 대폭 감축할 계획으로 품질과 가격 경쟁력을 갖춘 대체재인 인공골재의 수요가 크게 증가할 것임.
- 고층 빌딩 및 대형 구조물 건설 수요 증대에 따른 인공경량골재 생산 기술과 더불어 향후 해당 기술 분야에 대한 체계적인 연구개발이 지속될 것임.

2. 시장 진입 및 경쟁력 확보 가능성

- 본 인공 잔골재 양산화 기술은 산업부산물을 주원료로 하고 품질 경쟁력 대비 제조 과정이 단순하고 에너지 사용량이 적어 우수한 가격경쟁력 까지 갖추고 있어, 현재와 같은 천연골재 공급량이 절대적으로 부족한 현재 상황에서 양산화 기술 개발과 공인 품질 확보로 조기 시장 진입이 가능할 것으로 판단됨.
- 기존 기술 대비, 투자대비 효율성(수익성)이 아주 우수
- 기존 잔골재의 주요 수요처는 지역별로 산재되어있는 레미콘사로 최소 품질이 확보된 후에는 가격과 공급능력에 따라 결정되므로 해당 개발제품의 공인시험성적 확보와 시제품 개발 완료시부터 전국 주요 레미콘사의 필드테스트를 통한 예상 수요 발굴 계획임.
- 기존 인공골재 기술은 강도가 약해(5MPa 이하) 천연골재를 대체하지 못하고 제조공정 또한 복잡(성형 후 건조과정과 1,100℃ 이상 소성 공정을 거침)한데 비해 해당 기술은 상온성형과 양생만으로 20MPa 이상의 고강도가 발휘되어 천연 골재를 대체하는 양산화 기술로 적절함.
- 펠렛타이징 기술을 이용하여 중력과 회전 원심력 만으로 제한하는 단순성형 방식으로 생산제조원가를 크게 낮출 수 있음.

1. 해외 시장규모 및 성장성

- 전세계 골재 수요량은 2017년 기준으로 약 38조원에 이르나 일본, 싱가포르, 대만 등 국토면적에 비해 인구가 많은 나라에서는 석산개발로 건설용 골재를 충당하고 있으나 산림훼손에 따른 환경 파괴와 골재 가공시 발생하는 석분슬러지 발생으로 인한 2차적인 환경오염 발생 등으로 사회문제로 골재 수급에 어려움을 겪고 있음.
- 방글라데시 같이 국토 전체가 평야 지역으로 형성된 지역에서는 흙으로 벽돌을 굽고, 이렇게 만들어진 벽돌을 다시 분쇄하여 골재로 사용하고 있으나, 골재의 강도가 약하고 벽돌 소성시에 사용되는 석탄 사용과 이로인한 심각한 대기오염 유발로 인해 UN으로부터 생산 전환을 요구 받고 있음.
- 최근 셰일가스 개발붐이 일고 있는 미국은 지난 1년간 30%이상의 가격인상과 미국 전역이 모래부족으로 아우성이며, 이는 캘리포니아를 비롯한 서부지역의 건설호황과 셰일가스 개발 시 생겨난 균열이 발생하지 않도록 막대한 양의 모래를 집어넣어야 하기 때문에 500km 이상 떨어진 캐나다에서 공급받고 있는 실정임.
- 사막으로 둘러 쌓인 중동 두바이에서도 모래를 호주에서 수입하고 있는 실정으로 사막의 모래는 입자가 너무 고와 강도가 부족해 콘크리트와 셰일가스 개발에도 사용하지 못하기 때문에 모래의 수출 금지 조치를 취하는 국가도 나오고 있어 모래 부족은 세계적인 현상이 되어 가고 있는 인공 잔골재 양산화 기술이 절대적으로 필요할 것으로 판단됨.

2. 시장 진입 및 경쟁력 확보 가능성

- 본 제안 기술은 고로슬래그와 바텀애시를 주원료로 하고 있어 제철소와 석탄발전소를 보유하고 있는 국가중 천연골재의 공급이 부족한 나라를 중심으로 양산설비와 무시멘트 결합재용 첨가제만을 따로 분리해 수출하고 현지에서 양산화 기술을 전파하여 현지생산 현지판매 한다면 충분한 경쟁력을 확보하여 안정적인 시장 진입 가능성을 키울 수 있음.

3. 기존 기술대비 비교우위(수익성)

- 산업부산물 발생 인근 지역 내에서 생산하고, 인근 지역 내에서 판매한다면 국가별 천연골재의 가격과 수급상황에 따라 차이가 있겠지만 현 골재를 타 국가에서 수입하고 있는 국가에서는 시점에서도 충분한 수익을 발생시킬 수 있음.

〈표〉 현재 및 미래의 국내·외 시장규모

(단위 : 억원)

구 분	현재의 시장규모(2016년)	예상 시장규모(2020년)
세계 시장규모	3,800,000	4,300,000
국내 시장규모	45,000	60,000
산출 근거	한국골재협회/글로벌 인포메이션	

〈표〉 국내·외 주요시장 경쟁사

경쟁사명	제품명(공법명)	판매가격(천원)	연 판매액(천원)
①	천연모래(국내)	1톤 당 50	4,200,000,000
②	부순모래(국외)	1톤 당 45	200,000,000
③	천연모래(수입)	1톤 당 40	100,000,000

라. 종합결론

1. SWOT 분석

S [Strengths]	W [Weakness]
▶ 우수한 품질과 가격 경쟁력을 확보하고 있음 ▶ 산업부산물을 재활용하는 자원순환형 친환경 ▶ 건설재료 기술로 최근 서계적 흐름과 부합 ▶ 초기투자비가 적고 제조공정이 단순하며 에너지 사용량이 적음	▶ 산업부산물인 고로슬래그와 바롬애시 발생 인근 지역에서만 생산이 가능 ▶ 천연골재의 공급이 풍부한 지역에서는 경쟁력이 떨어짐 ▶ 제조공정이 단순하여 모방이 쉽고 특허권 침해의 우려가 큼
O [Opportunities]	T [Threats]
▶ 자원순환 기술에 대한 자원 법규 강화에 따른 사업화에 따른 자금 지원과 판매 활성화 지원을 받을 수 있음 ▶ 세계적으로 천연 골재 공급량 부족 상황이 더욱 심화될 가능성이 큼 ▶ 제조공정에서 에너지 사용량이 적고, CO₂ 발생이 거의 없는 자원순환형 친환경 건설재료 제조 기술임	▶ 산업부산물의 안정적인 공급루트를 확보해야 됨 ▶ 대기오염 규제에 따른 석탄발전소 건설 중단 및 신규 계획 백지화로 주원료 공급량의 한계가 있음 ▶ 생산 및 품질관리 미흡시 제품의 강도 등 품질의 안정성을 확보하기 어려움

2. 시사점 및 종합결론

- 세계적인 천연골재 부족이 점차 심각해지는 상황에서 산업부산물을 재활용하고 에너지 절감과 CO₂ 발생량이 거의 없는 획기적인 인공골재 양산화 기술을 조기 사업화할 필요가 있음.
- 국내 뿐만 아니라 천연골재를 수입하는 수급한 나라 가운데 고로슬래그와 바텀애시의 확보가 가능한 국가에서부터 본격적으로 인공골재 양산화 기술을 상용화해야 한다.
- 특허권리의 최대한 확장과 해외 진출에 따른 체계적인 특허권리 보호 방안을 강화한다.
- 인공골재 양산화 설비의 생산 판매와 인공골재 생산용 무시멘트 결합재 첨가제의 별도 해외 공급에 따른 핵심 기술 보호를 철저히 함.

2. 연구수행내용 및 성과

2-1. 연구수행내용(하우이씨엠)

1) 친환경 잔골재용 무시멘트 대량 생산



※ 잔골재용 무시멘트 = 고로슬래그 (67%) + 바텀애시 (29%) + 첨가제 (4%)



2. (1) 재료 계량 → (2) 건비빔 → (3) 재료 배합

2) 잔골재 성형을 위한 성형장비 검토

인공 골재 생산용 Pilot 설비 제작

시간당 인공 경량골재 0.2m³(200L)생산 규모의 Pilot 설비 설계 제작



믹싱기



디스크펠렛라이저



분급 시스템



습윤양생기

3) 잔골재 시생산

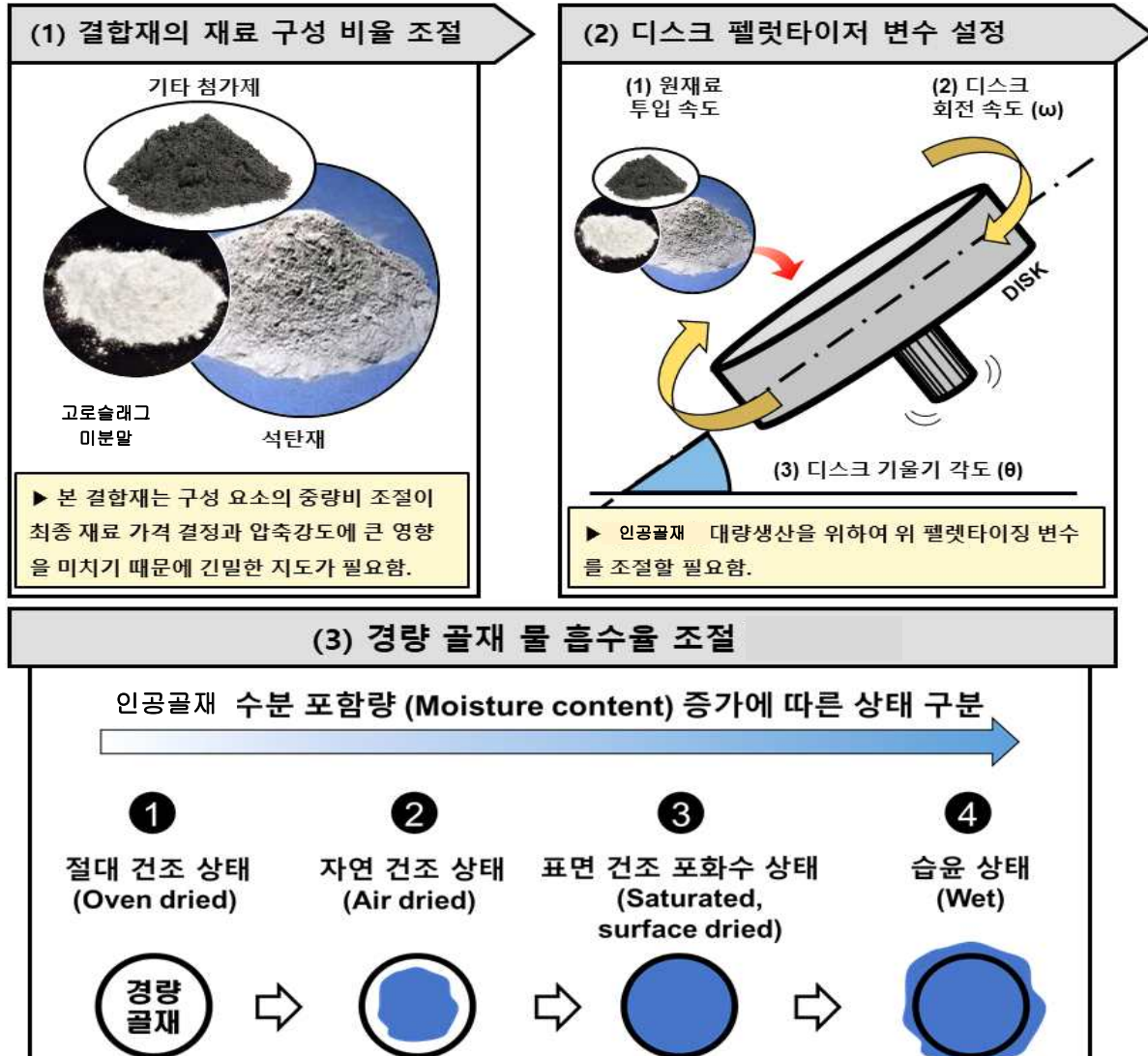


(2톤/일) * 50일 = 100톤



입도별 시제품 제작

4) 잔골재의 경제적인 치수 조절법 개발



5) 잔골재 생산시 발생문제점 파악 및 보완



- 미성형된 무시멘트 미분말 제거방법 개선
- 원재료 투입속도, 디스크 기울기 각도, 디스크 회전속도에 따른 투입되는 적절한 입자의 크기 및 양 조절에 따른 뭉침현상 개선

6) 잔골재 입도 분극시스템 개선

구형 성형체 시범 생산



인공 골재 제조를 위한 구형 성형체 생산을 시도하여 성공하였으며, 다양한 크기의 구형 성형체 제조에 성공하였다.

7) 기존 잔골재 대체를 위한 NEP 규정 검토 및 녹색인증 확보 추진

기술인증 자문 계약서

1. 신기술인증 (NET) 자문
2. 녹색기술인증 자문

2019. 11. 29

(주)하우이씨엠
(주)KBMA/한국기업경영진흥원

KBMA

제 6조(계약의 변경) 본 계약에 포함되지 아니한 사항이나 계약내용의 변경이 요구되는 경우에는 원할한 업무수행을 위해 상호간 협의하여 결정하되, 협의가 이루어지지 않을 경우에는 일반 상·관례에 따른다.

제 7조(계약의 효력) 본 계약은 '갑'과 '을'이 서명날인한 날로부터 계약내용 완료시 까지 유효하다.

① '갑'은 별첨 인증자문신청서의 작성내용과 제출서류에 거짓이나 허자가 없음을 다짐하고, 본 계약서의 약정내용을 충분히 이해 한 후,

착수금	₩7,800,000 + ₩780,000	=	₩8,580,000
	(착수금 + 부가세)		합계금액

착수금을 계약 체결시 지불할 것을 약속하며 서명날인 하고 '갑'이 작성한 내용이나 제출서류에 허자가 있어서 발생하는 민형사상 책임은 '갑'이 지기로 한다.

제 8조(계약의 해지 및 반환규정) '갑'과 '을'이 본 계약사항을 위반하였을 경우에는 계약을 해지할 수 있다.

① 계약 후 '갑'의 일방적인 계약해지가 있을 경우, '을'은 갑에게 "제4조제②항"의 착수금을 반환하지 않는다.

② '을'이 '갑'의 사전 동의 없이 1개월 이상 계약이행에 착수하지 않을 경우, '갑'의 해지 요구가 있을시 착수금 전액을 환불하여야 하며, 환불완료시 계약은 자동적으로 그 권리가 소멸된다.

③ 계약사항의 자문(인증) 실시시 '갑'은 '을'에게 착수금 반환청구를 할 수 없으며, '을'은 잔금청구를 할 수 없다.

④ '갑'은 계약 후 정당한 이유 없이 가능한 계약진행을 일의로 중단 또는 거부한 경우 '을'로부터 착수금의 반환 요청을 할 수 없다.

제 9조(책임 및 분쟁 해결)

① '을'은 자문(인증)실제에 따른 결과에 대하여, 민·형사 등의 책임을 지지 않는다.

② 상기 제①항의 실제의 사유가 단기간 내에 극복 가능한 한인일 경우는 1회에 한하여 재신청 과정을 진행할 수 있으며, 이에 발생하는 관납비용 등의 추가시점에 소요되는 비용은 '갑'의 부담으로 한다.

(단, 재신청에도 불구하고 탈락할 경우, 자체평가 결과, 실공 가능성이 있을 경우는 계속 진행하여 완료하도록 한다.)

③ 본 계약 전으로 인해 분쟁이 발생할 경우, 재판장은 '갑'의 주소를 관할하는 법원으로 한다.

제10조(영업비밀준수) '갑'과 '을'은 본 계약의 이행과정에서 취득한 사항에 대하여, 부정경쟁 방지 및 영업비밀 보호에 관한 법률을 포함하여 관련 법령에 따라 보호의 대상이 되는 영업비밀·산업기술 등을 포함하고 있을 수 있습니다.

'을'은 본 계약과 인증 진행에 포함된 정보의 전부 또는 일부를 무단으로 제3자에게 공개·배포·복사 또는 사용발시 민형사 등의 책임을 진다.

제11조(계약서 보관) '갑'과 '을'은 본 계약의 내용을 증명하고 각 조항을 성실히 이행하기 위하여 계약서 2부를 작성하고 '갑'과 '을'이 서명 날인하여 각각 1부씩 보관한다.

2019 년 11 월 29 일.

[甲]

사업자등록번호 : 620 - 81 - 54522

울산광역시 중구 중앙로 15, 기술혁신마을 504호(대우동, 울산테크노밸리)

(주)하우이씨엠

대표이사 장 인 제

[乙]

사업자등록번호 : 563 - 86 - 00941

서울특별시 강남구 삼성로 150, 183호

(주)KBMA(한국기업경영진흥원)

대표이사 최 규 정

[자필확인] 본인은 본 계약서상의 내용을 충분히 이해하였으며, 일체의 사항에 대하여 이의를 제기하지 않음을 물론, 특히 "제4조(자문비용 및 지급방법), 제8조(계약의 해지 및 반환규정), 제9조(책임 및 분쟁해결)"을 성실하게 준수하고 이행할 것을 약속합니다.

대표자 (또는 책임자)

※ 별첨 1.인증자문신청서

결제계좌 하나은행/ 490-910011-06104/ ㈜케이비엠에이

KBMA

8) 비즈니스 모델

인공 잔골재 비즈니스 모델

□ 사업화 계획

○ 원재료

- 석탄발전소 부산물인 바텀애시와 제철소 부산물인 고로슬래그가 전체 92%

(사업화 목표는 95%이상)

- Ca(OH)_2 등 저가형 분말첨가제 8%

- 부산물 및 첨가제 공급 가격 현황

- 바텀애시: 석탄발전소별로 물류비용 별도로 톤당 20,000원씩 폐기물 처리비용을 지급하고 있으며 계속하여 처리비용이 상승하고 있음
- 고로슬래그: 9,000원/톤에 공급처까지 도착시켜주고 있으며 미분말 제조시에는 약 25,000원/톤임
- 분말형 첨가제 4종: 12,000원/톤

- 제조설비: 시간당 약 5~7톤 생산 설비(디스크 펠렛타이저) 실 견적가 3~5억원 예상

- 생산방식: 디스크 펠렛타이저 방식을 자동화하고 연계된 분극 시스템을 활용, 입도별 생산

- 생산규모: 초기 1기에서 생산량 증대에 따라 생산공장당 10기 정도를 병렬 확대 생산

□ 양산화 공장 위치

- 주요원료는 전국 동·서·남해안을 따라 바텀애시가 발생하는 50여 개의 석탄발전소에 있으며 고로슬래그가 발생하는 제철소가 동해안(포항), 남해(광양), 서해(당진) 각 1곳에 있음
- 건설재료(잔골재) 주 수요처는 레미콘사와 PC 제품(블록, 방음벽, 프리믹스트 콘크리트 제품) 제조업체로 전국 도시별로 도시 규모 및 중장기적 수요 예측에 따라 골고루 있음
- 건설재료 특성상(부피가 크고 무거움), 물류비가 통상 판매금액의 20% 이상을 차지하므로 생산지와 수요처 간의 거리가 2h(150km) 이내에 있어야 함
- 결론적으로 원료발생처와 수요처를 고려, 동해안과 서해안 지역에 50~100km 간격으로 각 5~6개의 생산 설비와 남해안에 2~3곳 정도로 장기적으로 양산설비가 12~16곳에 위치하는 것이 타당함

□ 설비투자 규모

- 시간당 5~7톤 생산규모 설비 건적가: 디스크 펠렛타이저(오토매틱) 3억원, 부대설비 1억원
- 연간생산량: $6\text{톤/h} \times 24\text{h/일} \times 300\text{일/연} \rightarrow 43,200\text{톤/연}$
- 10기(6톤/h) 설비 설치 시 약 60억원 소요
 - 설비비: $4\text{억원} \times 10\text{기} \rightarrow 40\text{억원}$
 - 공장부지 비용: $3,000\text{m}^2 \times 20\text{만원/m}^2 \rightarrow 6\text{억원}$
 - 창고 및 부대시설 비용: 10억원
 - 기타: 4억원

□ 수요기관 현황

건설사	레미콘 제조사
삼성물산(주)	유진기업(주)
현대건설(주)	(주)삼표산업
대림산업(주)	쌍용양회공업(주)
(주)대우건설	한일현대시멘트(주)
지에스건설(주)	아주산업(주)
현대엔지니어링(주)	한일산업(주)
(주)포스코건설	성신양회(주)
롯데건설(주)	아세아시멘트(주)
에스케이건설(주)	천마콘크리트공업(주)
HDC현대산업개발(주)	성신양회(주)
(주)한화건설	(주)렉스콘
(주)반도건설	(주)건설레미콘
(주)호반건설주택	선일레미콘(주)
(주)태영건설	성진레미콘(주)
한신공영(주)	(주)정선레미콘
(주)호반건설	(주)신일씨엠
두산건설(주)	(주)성일레미콘
계룡건설산업(주)	동진산업(주)
(주)한라	(주)산하
코오롱글로벌(주)	신성콘크리트공업(주)

□ 사업화 전략

○ 제품

- 기존 천연잔골재(모래)의 물성을 대체할 수 있는 수준의 제품을 양산화
- 3가지 규격의 인공잔골재 상용화 - 제품의 균일도 유지

○ 가격

- 기존 천연잔골재와 비슷한 공급가격 유지
- 바텀애시 사용량 확대로 가격 경쟁력 확보

○ 유통

- 주원료인 바텀애시와 고로슬래그의 공급처인 석탄발전소 및 제철소 인근 제조설비 운영으로 물류비 최소화
- 생산자에서 소비자 직거래로 가격 경쟁력 유지

○ 판촉

- 바텀애시 및 고로슬래그 사용으로 친환경마크 및 재활용 제품 인증 확보
- NEP 확보 등으로 관급 시장 우선 공략

□ 인공골재 사업화 계획

1. 산업부산물별 인공골재 제조원가 분석

1) 인공골재로 생산가능한 부산물 및 제품

- ① 인공경량골재 : ㉠바툼애시 + 플라이애시
- ② 인공골재 : ㉡ 바툼애시 + 고로슬래그 미분말
- ㉢ 동슬래그 + 플라이애시
- ㉣ 아연슬래그 + 플라이애시
- ㉤ 니켈슬래그 + 플라이애시

2) 원재료 구성비별 인공골재 예상 원재료비

구 분	주원료	무시멘트결합재			예상 원재료비	비 고
		주성분	첨가제 A	첨가제 B		
인공경량 골재	바툼애시 (50%)	플라이애시 (37.5%)	Ca(OH) ₂ (10%)	NaCO ₃ (2.5%)	-20,000(0.5)+10,000(0.375) +130,000(0.1)+550,000(0.025) = 20,500	90℃ 양생
인공골재	바툼애시 (50%)	고로슬래그 (47%)	CaCl ₂ (1%)	CaO (2%)	-20,000(0.5)+40,000(0.47) +260,000(0.01)+130,000(0.02) = 12,700 (8,000)	상온 양생
인공골재	동슬래그 (50%)	플라이애시 (37.5%)	Ca(OH) ₂ (10%)	Na ₂ CO ₃ (2.5%)	-20,000(0.5)+10,000(0.375) +130,000(0.1)+550,000(0.025) = 20,500	90℃ 양생
인공골재	아연슬래그 (50%)	플라이애시 (37.5%)	Ca(OH) ₂ (10%)	Na ₂ CO ₃ (2.5%)	-20,000(0.5)+40,000(0.47) +260,000(0.01)+130,000(0.02) = 12,700 (8,000)	90℃ 양생
인공골재	니켈슬래그 (50%)	플라이애시 (37.5%)	Ca(OH) ₂ (10%)	Na ₂ CO ₃ (2.5%)	-20,000(0.5)+10,000(0.375) +130,000(0.1)+550,000(0.025) = 20,500	90℃ 양생

※ 바툼애시, 동슬래그, 아연슬래그, 니켈슬래그 = -20,000/톤, 플라이애시=10,000/톤
 CaO, Ca(OH)₂ = 120,000원/톤, NaCO₃ = 550,000원/톤
 CaCl₂ = 260,000원/톤

※원재료 가격 경쟁력 확보를 위한 핵심이슈

- ① 플라이애시 공급가격 Zero화 ▷ 원재료비 3,750원/톤 인하 효과 발생
- ② 바텀애시, 동슬래그, 니켈슬래그, 아연슬래그 매립비용 UP
기존 20,000원/톤 ▷ 40,000원/톤 (원재료비 10,00원/톤 인하 효과 발생)
- ③ 첨가제인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , CaCl_2 및 NaCO_3 등 대량구매를 통한 가격인하 노력
- ④ 고로슬래그 미분말 직접 생산으로 원가 인하
(40,000원/톤 ▷ 30,000원/톤) → 원재료비 4,700원/톤 인하

3) 인공골재 제조원가 (연간 20만톤 생산기준)

① 고로슬래그 미분말 활용 무시멘트 결합재

- ㉠ 인건비 : 3인×5,000만원/인, $y = 1,5\text{억원}/y = 750\text{원/톤}$
- ㉡ 에너지비용 : 4,000만원/ $y = 4,000\text{만원}/20\text{만톤} = 200\text{원/톤}$
- ㉢ 설비감가상각비 : 30억원 × 0.1(감가상각 지수) = 3억원/20만톤 = 1,500/톤
- ㉣ 제조비용 계 : (㉠+㉡+㉢) = 2,450원/톤
- ㉤ 제조원가 = 원재료비 + 제조비용
 $= 8,000/\text{톤} + 2,450/\text{톤} = 10,450\text{원/톤}$
 $= 8,000 + 2,450 = 10,450\text{원/톤}(\text{고로슬래그 분쇄 기준})$

② 플라이애시 기반 무시멘트 결합재

㉑ 인건비 : 3인×5,000만원/인,y = 1,5억원/y = 750원/톤

㉒ 에너지비용 : 8,000만원/y = 8,000만원/20만톤 = 400원/톤

㉓ 설비감가상각비 : 20억원 × 0.1(감가상각 지수) = 2억원/20만톤 = 1,000원/톤

㉔ 제조비용 계 : (㉑+㉒+㉓) = 2,150원/톤

㉕ 제조원가 = 원재료비 + 제조비용

= 20,500원/톤 + 2,150원/톤 = 22,650원/톤

4) 예상 판매가 및 이익률 분석

원/톤, %

구 분	판매가	제조원가	매출이익	이익률(%)
㉑ 인공경량골재	35,000	22,650	12,350	35.3
㉒ 바롬애시인공골재(고로슬래그)	32,000	10,450	21,550	67.0
㉓ 동슬래그 인공골재	32,000	22,650	9,350	29.2
㉔ 아연슬래그 인공골재	32,000	22,650	9,350	29.2
㉕ 니켈슬래그 인공골재	32,000	22,650	9,350	29.2

2. 원재료(부산물) 확보 및 매출 계획

1) 지역별 부산물 발생 현황 및 인공골재 생산 가능량

(단위: 만톤)

구분	인공골재 생산용 산업부산물별 확보 가능 예상량						인공골재 생산량	비 고
	동슬래그	아연슬래그	니켈슬래그	고로슬래그	바툼애시	플라이애시		
1차(울산)	80	100					250	인공골재
2차(포항)				100			150	인공골재
3차(삼척)					100	200	200	인공골재/ 경량골재
4차(하동)			180	100	100	100	400	인공골재/ 경량골재
5차(당진)				200	100	200	500	인공골재/ 경량골재
계	80	100	180	400	300	500	1,500	

2) 사업화 추진 연도별, 공장별 생산설비 확충(생산능력 보유) 및 매출 계획

(단위: 만톤/연, 억원/연)

구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025
울산	0.6	6	12	30	48	90
포항		6	12	18	30	60
삼척			6	18	48	90
하동				12	36	90
당진				18	48	90
소계	0.6	12	30	96	210	420
매출액	2	40	100	325	700	1,400
매출이익	0.6	16	40	130	280	560

3. 설비 및 인력 투자계획

(단위: 억원/명)

구분	2020		2021		2022		2023		2024		2025	
	설비	인력	설비	인력	설비	인력	설비	인력	설비	인력	설비	인력
울산	1	3	1	3	2	6	5	15	8	20	15	30
포항			1	3	2	6	3	9	5	15	10	25
삼척					1	3	3	9	8	20	15	30
하동							2	6	6	16	15	30
당진							3	9	8	20	15	30
소계	1	3	2	6	5	15	16	48	35	91	70	145
신규투자			1	3	3	9	11	33	19	43	35	54
투자금액	7		7		20		74		130		240	

※ 10톤/h 생산설비(7만톤/y) 대수 기준

※ 10톤/h 설비 : 6.7억원/대 기준

4. 투자비 회수기간

○ 투자액 : 20억원(연간20만톤) 생산기준

○ 연간 매출이익 : 20만톤 × 32,000원 = 64억원 × 0.3(영업이익율) = 19.2억원

○ 투자 회수기간 : 20억원 ÷ 19.2억원 → 약 1년 1개월
(판매관리비 및 세금 공제시 2년 이내 투자비 회수)

5. 설비 투자 및 자금운용 계획

(단위: 억원)

구 분		2020	2021	2022	2023	2024	2025	비 고
필요자금	설비투자 및 운영자금	10	20	30	90	140	250	공장 및 신규설비
자금확보내역	이익잉여금		10	30	90	140	250	매출이익
	외부 투자유치	5						외부차입
	금융차입금	5	10					2022년 상환
투자계		10	20	30	90	140	250	

6. 비즈니스 모델

- 1) 석탄발전소 및 비철금속 제련소의 폐기물 처리현황 파악 및 경제적인 처리기술 소개
- 2) 해당 기술을 활용한 인공골재 시 생산 및 필드 테스트
- 3) 산업부산물별 중금속 용출 시험 및 토양오염 공정시험 진행
- 4) 전국 아스콘 제조공장(500여곳)에 인공골재 시생산품 필드테스트 및 공급 방안 협의
- 5) 철도 노반재료용 인공 잔골재 적용 테스트 - 코레일과 비철금속용 인공잔골재의 우수성 (투수성, 비중, 전단강도 등)을 활용하는 방안 검토
- 6) 인도네시아, 필리핀 등 석탄발전소 및 비철금속 슬래그 다량 발생지역에 현지 투자자와 연계 생산설비 구축
- 7) 물류비 절감을 위해 현지 생산된 골재를 현지 인근에 판매하는 지역 밀착형 현지화 전략 추진
- 8) 인공 잔골재의 새로운 용도 개발 및 새로운 산업부산물 활용 기술 지속적 개발
- 9) 천연골재 대비 80% 이하 가격 공급으로 조기 사용량 확대 추진

7. 폐기물 중간 재활용

■ 폐기물관리법 시행규칙 [별지 제18호서식] <개정 2014.4.17>

폐기물처리업 [√] 허가 [] 변경허가 신청서

※ 제3쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바라며, []에는 해당되는 곳에 √표를 합니다. (제1쪽)

접수번호	접수일	처리기간	10일
① 상호(명칭)	(주)하우이씨엠	② 사업자등록번호	620-81-5452
신청인 ③ 성명(대표자)	장인배	④ 법인등록번호	230111-0226637
⑤ 주소	경북 영천시 세흠길 66(도림동)	(전화번호: 054-338-9113)	
⑥ 업 종	폐기물종합재활용업		
⑦ 영업대상 폐기물	그밖의 광재류		
⑧ 영업구역 (생활폐기물 수집·운반업의 경우만 적습니다)			
⑨ 영업소 소재지	경북 영천시 세흠길 66(도림동)		
⑩ 사무실 소재지	경북 영천시 세흠길 66(도림동)		
⑪ 사업착수일	2019. . .	⑫ 준공일	2019. . .
⑬ 시설·장비 설치내용			
시설·장비명	규격(능력)	소재지	방지시설
		별	점
⑭ 기술능력 확보내용	별	점	⑮ 최대보관량
	별	점	별
⑯ 변경사항	변경 전		변경 후
⑰ 변경사유			

「폐기물관리법」 제25조제3항·제11항 및 같은 법 시행규칙 [√] 제28조제4항
[] 제29조제2항 에 따라

폐기물처리업의 [√] 허가
[] 변경허가 를 신청합니다.

2019 년 월 일

신청인: 장인배 (서명 또는 인)

영천시장 귀하

※ 첨부서류 및 수수료

1. 허가신청의 경우

다. 폐기물 중간재활용업, 폐기물 최종재활용업 및 폐기물 종합재활용업

1) 시설 및 장비명세서

수수료

2) 재활용시설 설치명세서 및 그 도면과 재활용공정도

3) 재활용대상 폐기물의 재활용공정도(음식물류 폐기물을 재활용하는 경우에는 물질수지도를 포함하며, 「폐기물관리

법 시행규칙」 별표 5의2 제2호가목의 폐기물을 같은 표의 용도 또는 방법으로 재활용하려면 성토재·보조기증

재 등으로 직접 이용하는 공사의 발주자 또는 토지소유자의 동의서를 포함합니다)

4) 기술능력의 보유 현황 및 그 자격을 증명하는 서류

5) 보관시설의 용량 및 그 산출근거를 확인할 수 있는 서류

6) 배출시설의 설치허가 신청 또는 신고 시의 첨부서류[「폐기물관리법」 제25조제1항 및 제2항에 따른 절차를 거

치지 않은 자로서 배출시설에 해당하는 폐기물 재활용시설을 설치하는 경우만 제출하며, 2)의 서류와 중복되면

그에 해당하는 서류는 제출하지 않을 수 있습니다]

7) 환경부장관이 정하여 고시하는 사항을 포함하는 환경성조서서(「폐기물관리법」 제25조제1항 및 제2항에 따른

절차를 거치지 않은 자의 폐기물을 연료로 사용하는 시멘트 소성로나 소각열회수시설로 한정하되, 「환경영향평

가법」에 따른 전략환경영향평가, 환경영향평가 또는 소규모 환경영향평가 대상사업인 경우에는 전략환경영향평

가서, 환경영향평가서 또는 소규모 환경영향평가서로 대체할 수 있습니다)

목 차

1. 처리대상 폐기물의 수집·운반 또는 처리 계획서

- 1-1. 영업대상폐기물 확보계획
- 1-2. 재활용품 판매계획
- 1-3. 재활용대상 폐기물재활용 내역
- 1-4. 폐기물 처리시설의 설치내역
- 1-5. 폐기물관리법 시행규칙[별표7]에 따른 폐기물처리업의 시설·장비·기술능력의 기준 확보계획
- 1-5. 공정도
- 1-6. 폐기물처리시설의 공정설명서

2. 공정도

- 2-1. 공정도
- 2-2. 공정설명서

3. 허용보관량에 대한 증빙자료

4. 처리대상 폐기물의 수집·운반·처리계획서 및 폐기물처리시설의 설치기준

- 4-1. 폐기물의 처리에 관한 구체적 기준 및 방법: 시행규칙 제14조 관련【별표5】
- 4-2. 폐기물의 재활용 기준 : 시행규칙 제14조의3제1항 관련【별표5의3】
- 4-2. 폐기물처리업의 시설 , 장비 , 기술능력의 기준 : 제28조 제6항 관련【별표7】
- 4-3. 폐기물 처리업자의 준수사항 : 시행규칙 제32조 관련【별표8】
- 4-4. 폐기물처분시설 또는 재활용시설의 설치기준 : 시행규칙 제35조 관련 【별표9】
- 4-5. 폐기물 처분시설 또는 재활용시설의 관리기준 : 시행규칙 제42조제1항 관련【별표11】
- 4-6. 사업장 폐기물 처리내역

5. 방지시설 설치내역서 (대기)

- 5-1. 배출시설 및 방지시설 설치내역
- 5-2. 배출가스량의 산정 및 오염물질등의 농도를 예측한 내역서
- 5-3. 방지시설 설치면제 관련서류
- 5-4. 방지시설 처리계통도
- 5-5. 방지시설 설치내역서
- 5-6. 방지시설의 연간유지관리 계획서

6. 첨부서류

□ 사업화 추진 일정

- 2019년: 시범 생산 1곳(1톤/h 생산 규모)
- 2020년: 400,000톤/연 규모 생산 설비 1기 공장 준공
- 2021년: 400,000톤/연 규모 생산 설비 2기 공장 준공
- 2022년: 400,000톤/연 규모 생산 설비 3기 공장 준공
- 2023년: 400,000톤/연 규모 생산 설비 4기 공장 준공

□ 비즈니스 모델 정리

- 당사는 당사가 운영하는 1기를 제외하고는 인공잔골재 설비와 핵심 첨가제를 배합하여 잔골재 생산공장에 판매하고 각 생산 공정별 생산된 시료를 채취, 품질 관리를 해나갈 계획
- 생산된 잔골재는 해당 제조사가 인근 레미콘 공장, PC 제품 제조업체 및 경량골재 사용업체에 판매함
- 상기 비즈니스 모델은 국외지사를 통해 현지 공장에서도 동일 적용
- 인공잔골재의 특성(기존 천연잔골재(모래)에 80% 수준의 비중 및 입도 조절 기능 등)을 활용한 새로운 건설재료 용도 개발 추진

특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특허

Patent Number

제 10-2004427 호

출원번호

Application Number

제 10-2016-0179142 호

출원일

Filing Date

2016년 12월 26일

등록일

Registration Date

2019년 07월 22일



9)

발명의 명칭 Title of the Invention

석탄발전소 애시를 주원료로 하는 상온 경화용 무시멘트 결합재 조성물

특허권자 Patentee

주식회사 하우이씨엠(230111-*****)

울산시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 경영관 806-1호

발명자 Inventor

장인배(670418-*****)

울산 울주군 청량면 상남리 755-7

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



특허청

Korean Intellectual
Property Office

2019년 07월 22일

특허청장

COMMISSIONER,

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

박원주



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

특허등록 1건 및 특허출원 1건

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허
Patent Number

제 10-2004427 호

출원번호
Application Number

제 10-2016-0179142 호

출원일
Filing Date

2016년 12월 26일

등록일
Registration Date

2019년 07월 22일



발명의 명칭 Title of the Invention

석탄발전소 애시를 주원료로 하는 상온 경화용 무시멘트 결합재 조성물

특허권자 Patentee

주식회사 하우이씨엠(230111-*****)
울산시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 경영관 806-1호

발명자 Inventor

장인배(670418-*****)
울산 울주군 청량면 상남리 755-7

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention
has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2019년 07월 22일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

박원주



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

발송번호: 9-5-2018-071849879
발송일자: 2018.10.22.

수신 울산광역시 남구 변영로 181, 6층 (성원빌딩)(유니스울산특허법률사무소)
이상필

44695

YOUR INVENTION PARTNER

특 허 청 특허결정서

출원인	성명	주식회사 하우이씨엠 (특허고객번호: 120140632216)
	주소	울산시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 경영관 806-1호
대리인	성명	이상필 외 1명
	주소	울산광역시 남구 변영로 181, 6층 (성원빌딩)(유니스울산특허법률사무소)
발명자	성명	장인배
	주소	울산 울주군 청량면 상남리 755-7
출원번호	호	10-2016-0179142
발명의명칭	청	석탄발전소 애시를 주원료로 하는 상온 경화용 무시멘트 결합재 조성물
청구항수	수	1

이 출원에 대하여 특허법 제66조에 따라 특허결정합니다.
(특허권은 특허료를 납부하여 특허법 제87조에 따라 설정등록을 받음으로써 발생하게 됩니다.) 끝.

[참고문헌]

1. KR1020140008060 A
2. KR1020160001348 A
3. KR1020150118969 A
4. KR101367790 B1
5. KR1020130128560 A

출원번호통지서

출원일자 2018.04.12
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2018-0019614 (접수번호 1-1-2018-0174406-38)
출원인명칭 주식회사 하우이씨엠(1-2014-063221-6)
대리인성명 이상필(9-2002-000426-3)
발명자성명 장인배 진상환
발명의명칭 무시멘트 결합재를 이용한 비소성 인공경량골재 조성물 및 그 제조방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록 이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

【서지사항】

【서류명】 특허출원서

【출원구분】 특허출원

【출원인】

 【명칭】 주식회사 하우이씨엠

 【특허고객번호】 1-2015-061951-6

【대리인】

 【성명】 이상필

 【대리인번호】 9-2002-000426-3

 【포괄위임등록번호】 2015-091744-1

【발명의 국문명칭】 무시멘트 결합재를 이용한 비소성 인공경량골재 조성물 및 그 제조방법

【발명의 영문명칭】 ARTIFICIAL LIGHT WEIGHT AGGREGATES COMPOSITION USING CEMENT ZERO BINDER AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

【발명자】

 【성명】 장인배

 【성명의 영문표기】 Jang In Bae

 【주민등록번호】 670418-1XXXXXX

 【우편번호】 44984

 【주소】 울산광역시 울주군 청량면 대등2길 4-8

【발명자】

 【성명】 진상환

 【성명의 영문표기】 JIN SANG HWAN

25-1

제출 일자 : 2020-02-04 10-2016-0179142

【서지사항】

【서류명】 보정서

【구분】 출원서 등 보정

【제출처】 특허청장

【제출인】

【명칭】 주식회사 하우이씨엠

【특허고객번호】 1-2014-063221-6

【사건과의 관계】 출원인

【대리인】

【성명】 이상필

【대리인번호】 9-2002-000426-3

【포괄위임등록번호】 2017-055161-1

【사건의 표시】

【출원번호】 10-2016-0179142

【제출원인이 된 서류의 접수번호】 1-1-2016-1273784-70

【보정할 서류】 특허출원서

【보정할 사항】

【보정대상항목】 이 발명을 지원한 국가연구개발사업

【보정방법】 정정

【보정내용】

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 18TBIP-C144132-01

【부처명】 국토교통부

【연구관리 전문기관】 국토과학기술진흥원

【연구사업명】 국토교통연구개발사업

【연구과제명】 고로슬래그 및 바텀애시를 이용한 상온경화형 인공 잔골재
개발

【기여율】 6/10

【주관기관】 (주)하우이씨엠

【연구기간】 2018.04.01 ~ 2019.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장(특허심판원장, 심판장)에게 제출합니다.

대리인 이상필

(서명 또는 인)

【수수료】

【보정료】 0 원

【기타 수수료】 0 원

【합계】 0 원

양 해 각 서

(주)하우이씨엠(이하 “갑”이라 함)과 (주)알리아스(이하 “을”이라 함)은 당사자간의 우호협력관계를 확인하고 상호신뢰를 바탕으로 제후에 따른 각자의 책임을 인식하며, 인공경량골재사업 분야에 있어 신규법인설립, 투자유치 및 전략적 사업파트너 확보 등 사업전반에 걸쳐 교류와 협력이 당사자간의 상호 이해에 기여할 것임을 확신하면서, 다음과 같이 합의한다.

제 1 조 【목 적】

본 계약은 “갑”이 보유하고 있는 인공경량골재 특허 및 생산기술 노하우를 상용화함에 있어, “을”이 투자유치를 포함하여 구체적 사업구성에 관한 제반사항을 제공함으로써 상호 공동이익의 증진을 도모함에 그 목적이 있다.

제 2 조 【“갑”의 협력내용】

본 양해각서에 의한 제휴협력관계의 내용은 다음과 같다.

“갑”은 인공경량골재사업(이하 “본 사업”이라 함)을 상용화함에 있어 본 사업과 관련한 특허 및 모든 기술노하우를 “을”의 요청이 있을 시 상호 합의하에 제3자에게 제공하기로 하며, 관련 기술을 상용화함에 있어 제3자에 대한 특허권 침해 등 민형사상의 법적인 문제가 없음을 확약한다.

제 3 조 【“을”의 협력내용】

본 양해각서에 의한 제휴협력관계의 내용은 다음과 같다.

“을”은 본 사업을 상용화 함에 있어 본 사업에 필요한 핵심전략파트너 확보 및 투자유치를 통해 “갑”의 보유 기술이 국내 및 해외에서 구체적으로 사업화를 성공하는데 최대한 노력한다. 투자유치는 총 50억원규모로 하되 필요에 따라 1차로 10억원이내에서 신규법인을 우선 설립하고 이어서 확보된 전략적파트너 투자를 2차로 유치하는 것을 원칙으로 한다. 또한 핵심전략적파트너라 함은 LH공사, 남동발전 등 본 사업이 성공하는데 있어 필수적인 회사 및 스탁 등 최고의 투자전문기관을 말한다.

제 4 조 【협력기간】

본 양해각서에 의한 제휴협력관계의 기간은 다음과 같다.

- ① 투자유치 및 사업파트너 Tapping기간은 본 양해각서 체결일로부터 2019년 12월 31일 까지로 한다.
- ② “갑”과“을”은 2019년 12월 31일 이전에 1차로 신규법인설립 등을 위한 본계약을 체결한다. 본계약 체결시 자본금, 주주구성, 경영진구성 및 핵심사업파트너구성 등 제반 내용을 포함하

며, 본 계약에 따른 1차 신규법인설립은 2020년 1월 31일까지로 한다.
③ 핵심 전략적투자자의 2차 투자유치는 2020년 3월31일까지로 한다.

제 5 조 【상호협력 수수료 및 경비】

본 양해각서에 의한 수수료 및 경비의 내용은 다음과 같다.
상호협력 수수료는 본계약체결시 “갑”과“을”이 합의하여 확정하기로 한다.
“을”이 본사업을 수행하는데 있어 소요되는 최소한의 제반 경비는 본 양해각서 체결일로부터 2020년 3월 31일 2차 투자 유치시까지 “갑”이 “을”에게 제공하기로 한다.

제 6 조 【분쟁해결】

본 양해각서의 해석이나 적용에 관한 분쟁은 당사자간의 상호협력에 의하여 우호적으로 해결하며, 제3자의 개입을 허용하지 않는다.

제 7 조 【보 안】

본 양해각서에 의하여 교환되는 사업계획, 기술내역, 각종 문서 등 여하 한 정보라도 서로의 이익을 위하여 철저한 보안유지를 한다.
단, 일방 당사자가 제2조에서 열거한 정보를 제3자에게 이전할 경우 양 당사자의 사전 합의 및 승인을 얻어야 한다.



제 8 조 【계약의 해지】

계약을 계속 이행할 수 없는 중대한 사유가 “갑”과 “을” 상호간에 발생한 것이 객관적으로 인정될 경우 상대방은 계약 해지를 통보할 수 있다.

제 9 조 【권리 의무의 양도】

“갑”과 “을”은 본 계약에 의거, 발생하는 권리 및 의무를 준수하며, 이를 제3자에게 양도할 수 없다.

제 10 조 【유효기간】

본 협약의 유효기간은 체결일로부터 2020년 3월 31일까지로 한다. 단 상호 합의시 기간을 연장할 수 있다.

제 11 조 【기타사항】

본 계약서 상에 명시되지 않은 기타 사항은 별도 협의 하에 처리한다.

본 양해각서는 2019년 11월 18일 2부를 작성, 날인되었으며, 이 모두는 동등한 효력을 지닌다.

2019 년 11 월 18 일

“갑”

㈜하우이씨엠

대표이사 : 장 인배



“을”

㈜알리아스

대표이사 : 황 인준



“입회인”



선 인명



2-2. 연구수행내용(울산과학기술원)

○ 원재료 분석 XRF (고로슬래그 미분말)

- 본 연구에 사용된 고로슬래그 미분말은 대부분 Ca, Si, Al을 포함한 화합물로 구성되어 있음.

Oxide	wt%
CaO	45.1%
SiO ₂	33.6%
Al ₂ O ₃	13.3%
MgO	3.2%
SO ₃	2.1%
TiO ₂	0.8%
MnO	0.5%
K ₂ O	0.5%
Fe ₂ O ₃	0.4%
Na ₂ O	0.3%
SrO	0.1%
BaO	0.1%
ZrO ₂	0.1%
V ₂ O ₅	0.0%
P ₂ O ₅	0.0%
Y ₂ O ₃	0.0%
Cr ₂ O ₃	0.0%
LOI	0.41%

그림 x. 고로슬래그 미분말의 XRF 결과

○ 원재료 분석 XRD (고로슬래그 미분말)

- Akermanite ($\text{Ca}_2\text{Mg}_1\text{O}_7\text{Si}_2$) 결정질상을 포함하고 있으며, 30도 부근에서 비정질상을 나타내는 험프가 관찰됨.

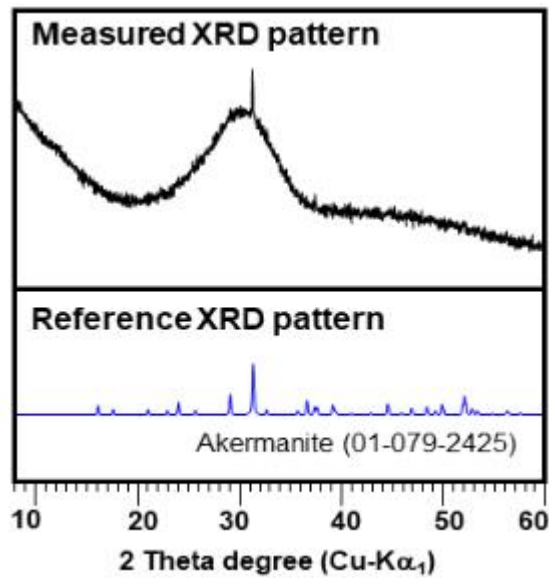


그림 x. 고로슬래그 미분말의 XRD 결과

○ 원재료 분석 입도분석 (고로슬래그 미분말)

- 평균 입자 크기는 27 μm 이며, 1~100 μm 사이즈에서 분포하고 있음.

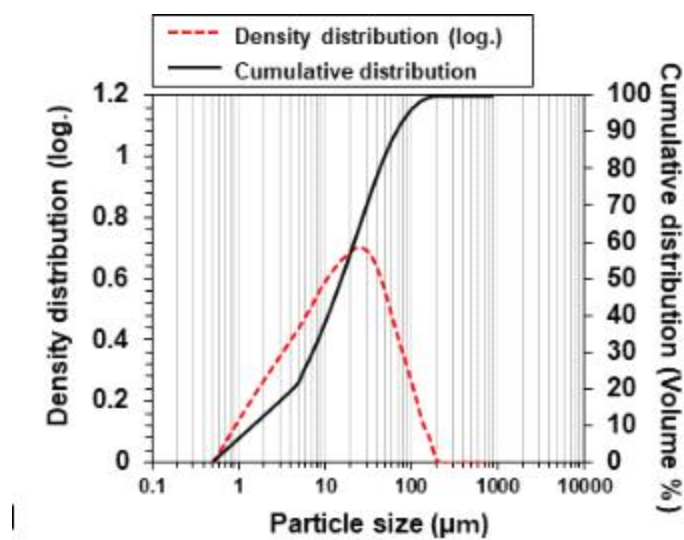
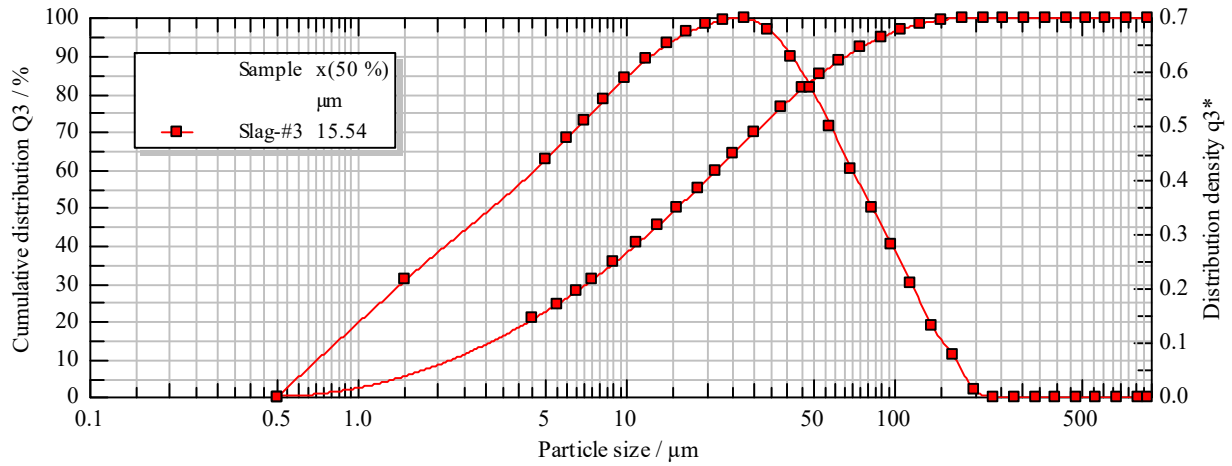


그림 x. 고로슬래그 미분말의 입도분석 결과

$x_{10} = 2.45 \mu\text{m}$ $x_{50} = 15.54 \mu\text{m}$ $x_{90} = 67.11 \mu\text{m}$ $\text{SMD} = 7.53 \mu\text{m}$ $\text{VMD} = 26.66 \mu\text{m}$
 $x_{16} = 3.62 \mu\text{m}$ $x_{84} = 50.56 \mu\text{m}$ $x_{99} = 142.31 \mu\text{m}$ $S_v = 0.80 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ $S_m = 7967.39 \text{ cm}^2/\text{g}$



cumulative distribution

$x_0/\mu\text{m}$	$Q_3/\%$	$x_0/\mu\text{m}$	$Q_3/\%$	$x_0/\mu\text{m}$	$Q_3/\%$	$x_0/\mu\text{m}$	$Q_3/\%$
4.50	20.54	18.50	55.09	75.00	92.10	305.00	100.00
5.50	24.34	21.50	59.57	90.00	94.85	365.00	100.00
6.50	27.80	25.00	64.12	105.00	96.71	435.00	100.00
7.50	30.97	30.00	69.64	125.00	98.29	515.00	100.00
9.00	35.31	37.50	76.21	150.00	99.32	615.00	100.00
11.00	40.44	45.00	81.18	180.00	99.91	735.00	100.00
13.00	44.97	52.50	84.99	215.00	100.00	875.00	100.00
15.50	49.93	62.50	88.77	255.00	100.00		

distribution density (log.)

$x_m/\mu\text{m}$	q_{3lg}	$x_m/\mu\text{m}$	q_{3lg}	$x_m/\mu\text{m}$	q_{3lg}	$x_m/\mu\text{m}$	q_{3lg}
1.50	0.22	16.93	0.67	68.47	0.42	278.88	0.00
4.97	0.44	19.94	0.69	82.16	0.35	333.65	0.00
5.98	0.48	23.18	0.70	97.21	0.28	398.47	0.00
6.98	0.51	27.39	0.70	114.56	0.21	473.31	0.00
8.22	0.55	33.54	0.68	136.93	0.13	562.78	0.00
9.95	0.59	41.08	0.63	164.32	0.08	672.33	0.00
11.96	0.62	48.61	0.57	196.72	0.01	801.95	0.00
14.20	0.65	57.28	0.50	234.15	0.00		

그림 x. 고로슬래그 미분말의 입도분석 측정 데이터

○ 원재료 분석 XRF (바텀애시)

- 대부분 Si, Al, Fe을 포함한 화합물로 구성되어 있음.

Oxide	wt%
SiO ₂	60.4%
Al ₂ O ₃	18.4%
Fe ₂ O ₃	7.4%
CaO	6.8%
MgO	1.6%
Na ₂ O	1.4%
TiO ₂	1.2%
K ₂ O	1.1%
MoO ₃	0.4%
P ₂ O ₅	0.3%
BaO	0.3%
SrO	0.3%
Tb ₄ O ₇	0.1%
MnO	0.1%
SO ₃	0.1%
Cl	0.0%
V ₂ O ₅	0.0%
LOI	0.68%

그림 x. 바텀애시의 XRF 결과

○ 원재료 분석 XRD (바텀에시)

- Silicon oxide, Anorthoclase, Calcium aluminum silicate, Mullite 등을 포함하고 있음.

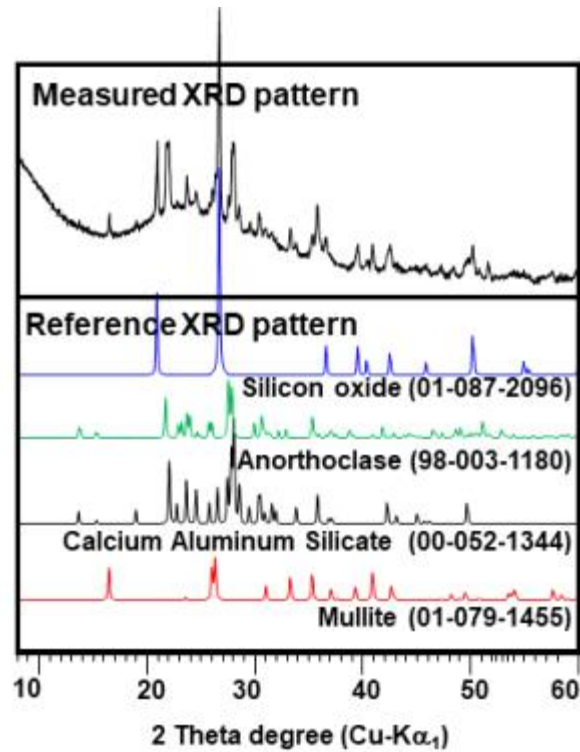


그림 x. 바텀에시의 XRD 결과

○ 원재료 분석 입도분석 (바텀애시)

- 평균 입자 크기 276 μm 정도이며, 평균적으로 10~1000 μm 사이즈의 입자 크기를 지니고 있음.

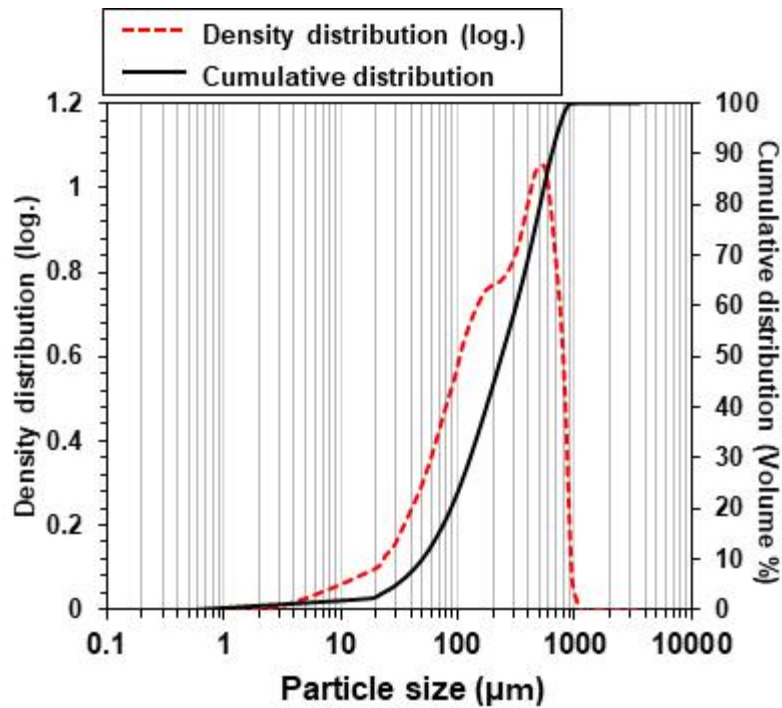
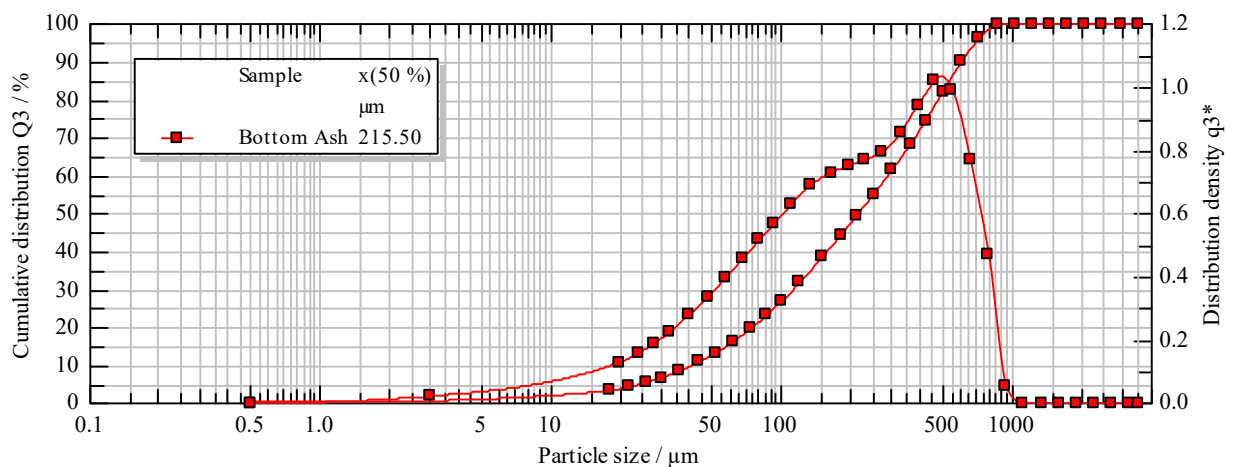


그림 x. 바텀애시의 입도 분석 결과

$x_{10} = 41.59 \mu\text{m}$	$x_{50} = 215.50 \mu\text{m}$	$x_{90} = 601.50 \mu\text{m}$	$\text{SMD} = 89.46 \mu\text{m}$	$\text{VMD} = 276.31 \mu\text{m}$
$x_{16} = 61.38 \mu\text{m}$	$x_{84} = 524.44 \mu\text{m}$	$x_{99} = 836.19 \mu\text{m}$	$S_v = 0.07 \text{ m}^2/\text{cm}^3$	$S_m = 670.73 \text{ cm}^2/\text{g}$



cumulative distribution

$x_0/\mu m$	$Q_2/\%$	$x_0/\mu m$	$Q_2/\%$	$x_0/\mu m$	$Q_2/\%$	$x_0/\mu m$	$Q_2/\%$
18.00	3.11	74.00	19.70	300.00	61.29	1220.00	100.00
22.00	4.21	86.00	23.06	360.00	68.07	1460.00	100.00
26.00	5.35	100.00	26.78	420.00	74.39	1740.00	100.00
30.00	6.51	120.00	31.74	500.00	82.08	2060.00	100.00
36.00	8.30	150.00	38.42	600.00	89.92	2460.00	100.00
44.00	10.73	180.00	44.19	720.00	95.99	2940.00	100.00
52.00	13.17	210.00	49.20	860.00	99.62	3500.00	100.00
62.00	16.19	250.00	55.01	1020.00	100.00		

distribution density (log.)

$x_0/\mu m$	α_2/g	$x_0/\mu m$	α_2/g	$x_0/\mu m$	α_2/g	$x_0/\mu m$	α_2/g
3.00	0.02	67.73	0.46	273.86	0.79	1115.53	0.00
19.90	0.13	79.77	0.51	328.63	0.86	1334.62	0.00
23.92	0.16	92.74	0.57	388.84	0.94	1593.86	0.00
27.93	0.19	109.54	0.63	458.26	1.02	1893.25	0.00
32.86	0.23	134.16	0.69	547.72	0.99	2251.13	0.00
39.80	0.28	164.32	0.73	657.27	0.77	2689.31	0.00
47.83	0.34	194.42	0.75	786.89	0.47	3207.80	0.00
56.78	0.39	229.13	0.77	936.59	0.05		

그림 x. 바텀애시의 입도 측정 데이터

○ 배합표

- GGBFS와 CaO, CaCl₂를 기본으로 하는 결합재 100 중량부에 바텀애시를 0~100 중량부를 첨가하여 w/b=0.4의 조건으로 23도씨에서 습윤 양생을 진행하였다.

그룹	라벨	Binder (wt.%)				Bottom ash (wt.%)	w/b	온도 (°C)
		GGBFS	CaO	CaCl ₂	Total			
Control	BA0	94	4	2	100	0	0.40	23
바텀애시 20% 첨가	BA20					20		
바텀애시 40% 첨가	BA40					40		
바텀애시 60% 첨가	BA60					60		
바텀애시 80% 첨가	BA80					80		
바텀애시 100% 첨가	BA100					100		

표 x. 본 연구에 사용된 배합표

○ 압축강도 결과

- 바텀애시 첨가량에 따른 압축강도 변화를 나타내었다. 양생 14일차까지는 바텀애시를 40% 첨가했을 때 강도 발현이 가장 우수하였으며, 양생 28일차에는 바텀애시 첨가량이 많아질수록 강도가 감소하였다. 바텀 애시를 60% 이상 첨가 경우, Control sample에 비해 모든 재령에서 강도가 낮게 발현됨.

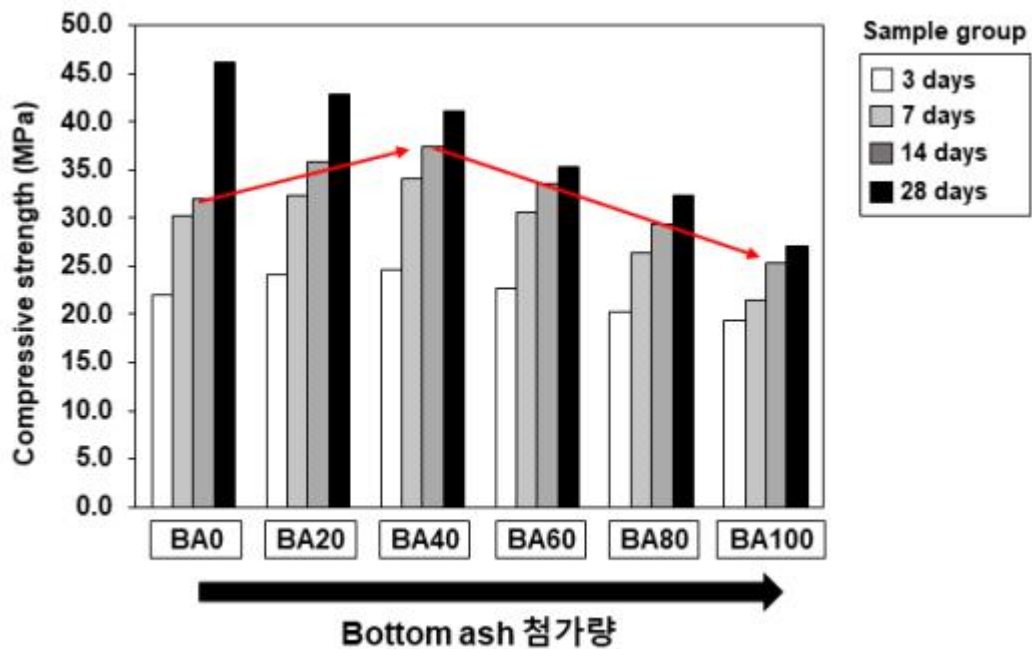


그림 x. 압축강도 측정 결과.

○ 흡수율 결과

- 바텀애시 첨가량에 따른 흡수율 변화를 나타내었다. 바텀애시 첨가에 따라서 흡수율이 감소하다가 60% 이상 첨가하면 점차 증가하는 경향성을 보였다.
- 재령이 길어질수록 흡수율은 감소하였고, 이는 수화생성물의 생성으로 내부 공극율이 감소하였기 때문으로 추측된다.
- 단, 본 흡수율 실험 결과는 50mm 큐브형 공시체를 이용하여 실험한 결과로, 실제 잔골재에서의 흡수율 측정 결과와 차이가 있을 수 있다.

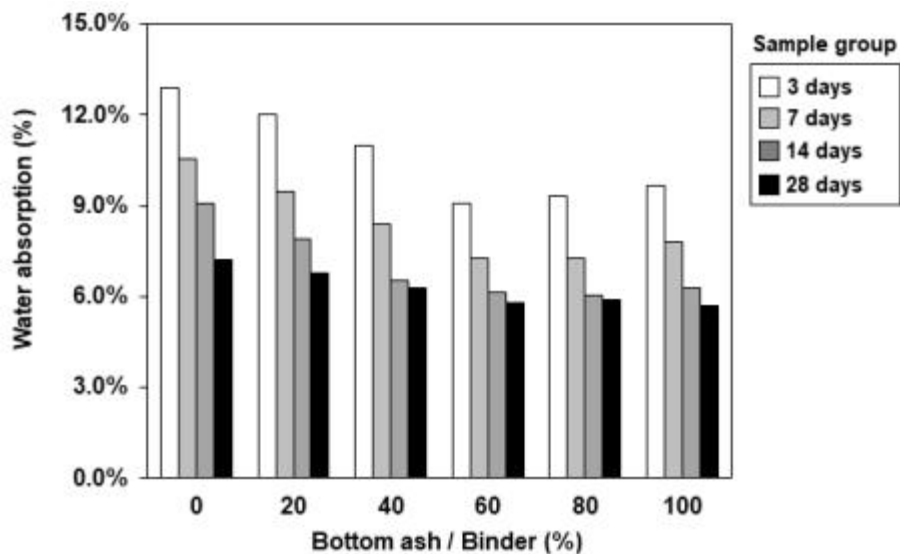
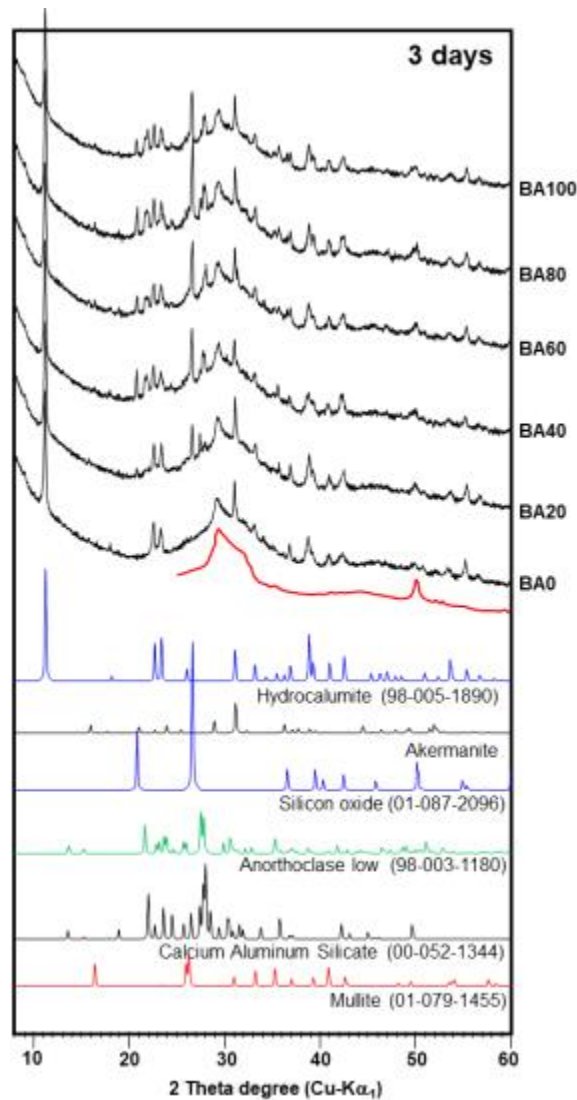


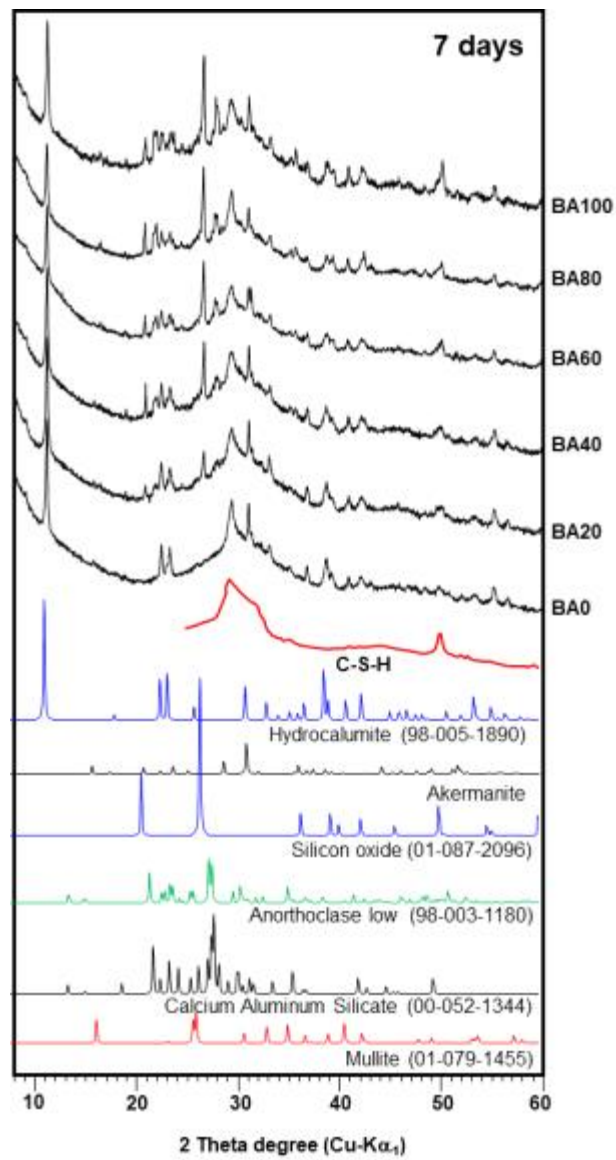
그림 x. 흡수율 측정 결과.

○ XRD 결과

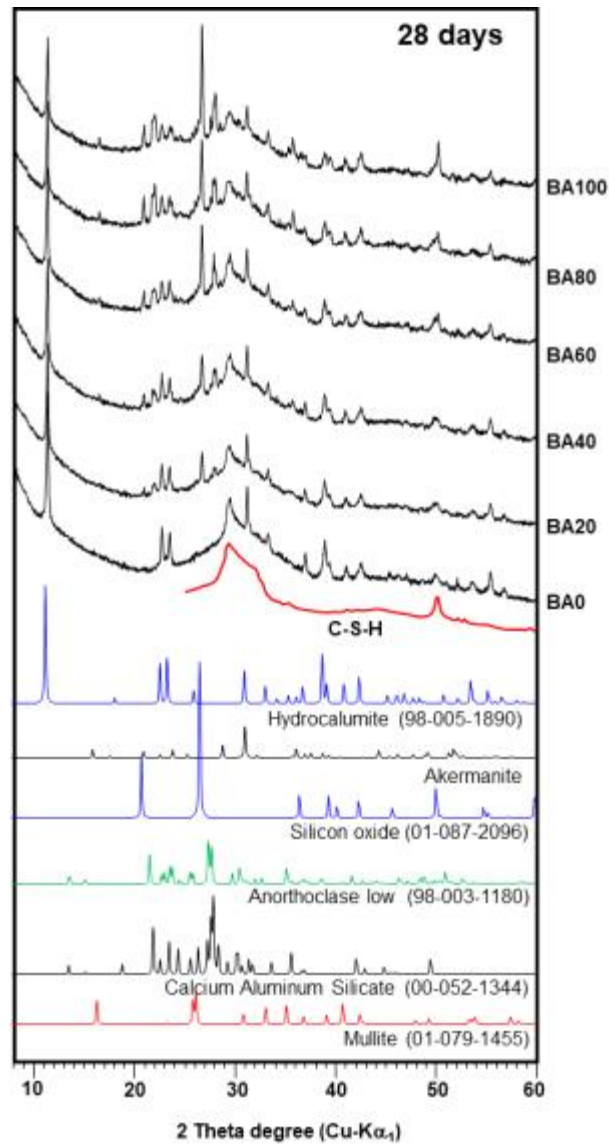
- 바텀애시 첨가량에 따른 샘플의 XRD 측정 결과이다. 붉게 나타낸 C-S-H hump와 비슷한 험프가 샘플에서 발견되었으며, 이는 수화생성물로 C-S-H가 생성되었음을 의미함. 그리고 그 외 화합물들은 기존 원재료 바텀 애시에서 존재하던 결정상임. Hydrocalumite가 새롭게 생성되었음.



(가) 재령 3일의 XRD 측정 결과



(나) 재령 7일의 XRD 측정 결과



(다) 재령 28일의 XRD 측정 결과

그림 x. XRD 측정 결과

○ XRF 분석

- 바텀 애시와 고로슬래그 미분말을 이루는 원소 구성을 XRF 분석한 결과를 주요 원소인 알루미늄, 실리콘, 칼슘을 대상으로 비교한 결과, 바텀 애시는 실리콘이 많이 포함된 반면, 고로슬래그 미분말은 칼슘을 상대적으로 많이 포함하고 있음을 확인하였다.

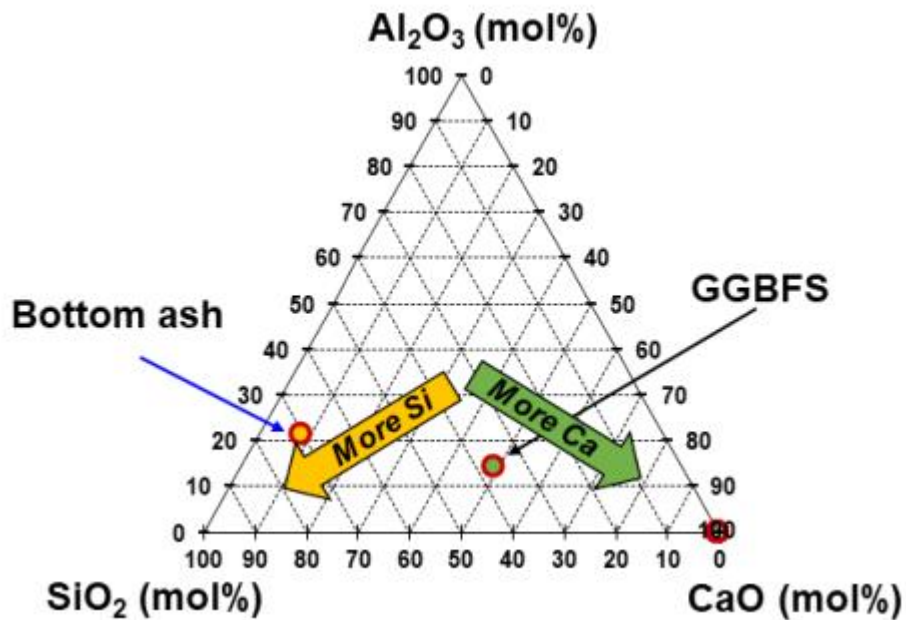


그림 x. 바텀애시 및 고로슬래그 미분말의 주요 원소 비교 결과

○ TG 결과

- 바텀애시 첨가량에 따른 샘플의 TG 측정 결과이다. 60-160도씨 사이에서 발생한 무게 감소는 C-S-H 및 Hydrocalumite의 분해로 일어난 무게감소이다. 바텀애시가 첨가될수록 이 구간의 무게 감소는 줄어들었음. 이러한 무게감소 차이를 계산하였음.

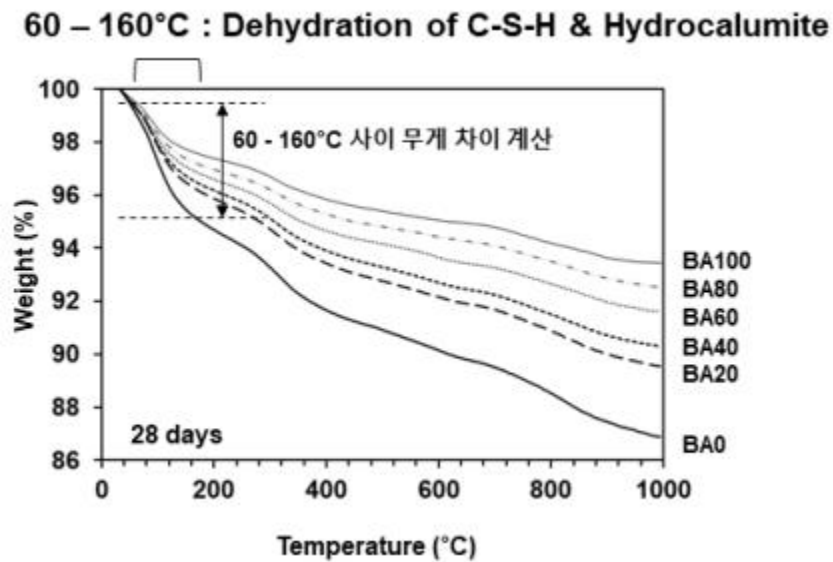


그림 x. 본 연구 샘플의 TG 결과

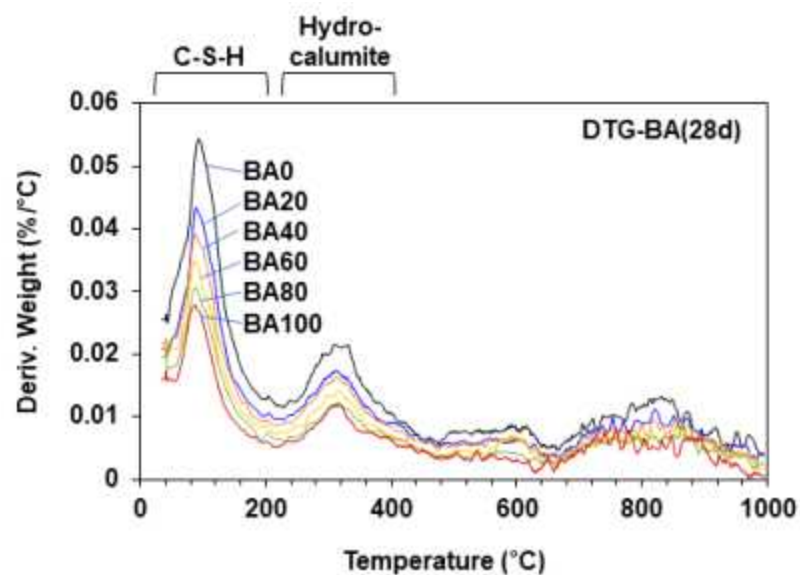


그림 x. 본 연구 샘플의 DTG 결과

바텀 애시 첨가량이 증가할수록, 이 구간 무게 감소가 줄어듦. 하지만, 바텀 애시가 첨가될수록 상대적인 GGBFS portion은 크게 줄어들게 되므로, 생성되는 C-S-H 양이 줄어들게 됨. 따라서 바텀애시의 존재 자체는 GGBFS의 수화에 큰 영향을 미치지 않는것으로 보임.

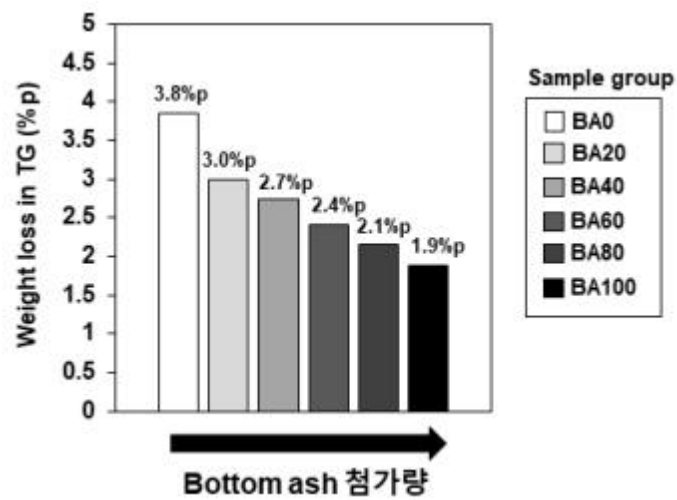


그림 x. 본 연구 샘플의 TG 결과 2

○ ICP-OES 결과

- 바텀 애시 첨가량에 따른 샘플의 ICP-OES 측정 결과이다. Water/Binder = 2.0의 조건으로 샘플을 24시간 동안 교반하여 용해된 이온의 양을 ICP-OES로 측정하였다. Si 이온 농도는 바텀 애시 첨가량에 따라 미세하게 증가하였음. Al 이온 농도는 바텀애시 첨가량에 따른 뚜렷한 증가 추세를 나타내지는 않음. Mg 이온 농도는 대체로 바텀애시 첨가량에 따라 증가하는 경향을 보임.

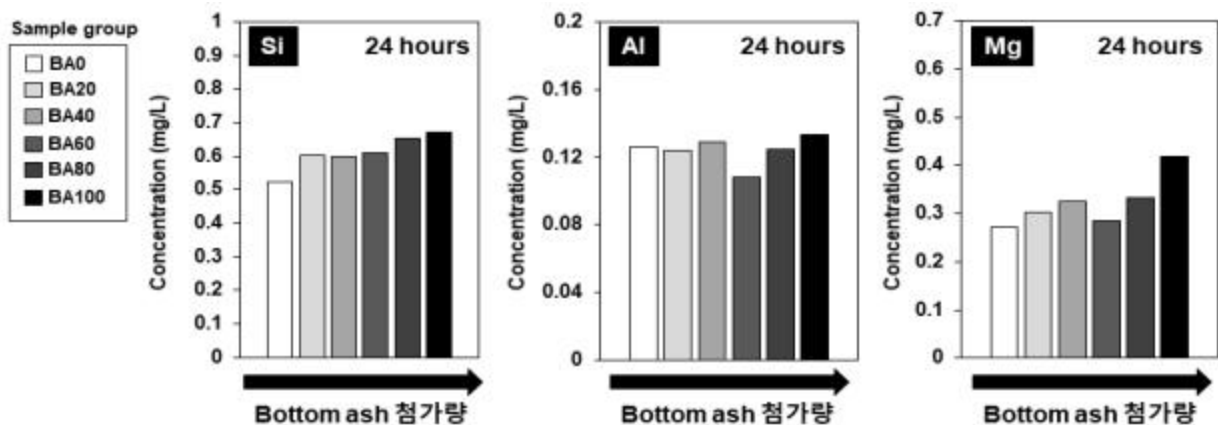


그림 x. 바텀애시 첨가량에 따른 이온 농도 변화 (Si, Al, Mg)

Ca 농도는 바텀 애시 첨가량에 따라 미세하게 증가하였고, Fe 농도는 모든 샘플에서 측정되지 않았음. Fe는 GGBFS에 0.4%(Fe₂O₃)를 포함되어 있고, 바텀 애시에는 7.4% 포함되어 있음. (XRF 결과) 바텀 애시 그 자체는 거의 용해되지 않는 것으로 보이지만, GGBFS 용해에는 미세하게 도움을 주는 것으로 보임.

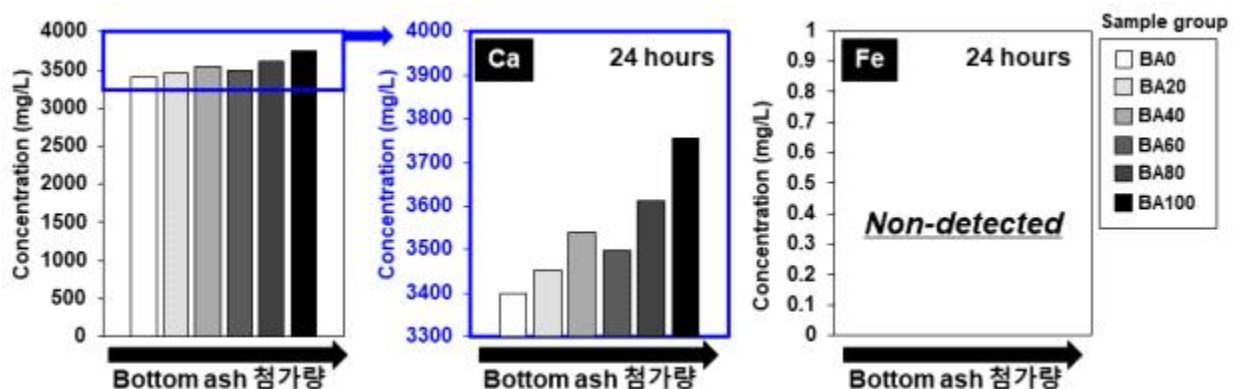


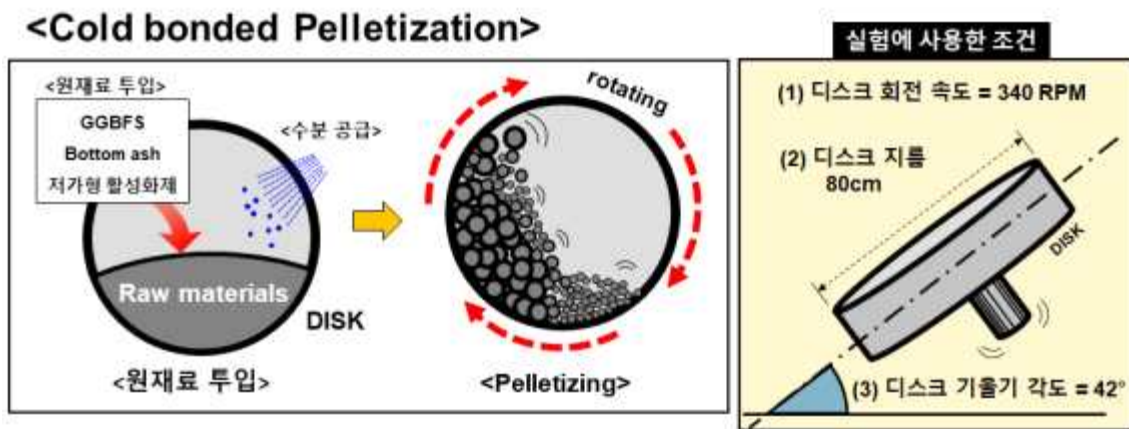
그림 x. 바텀애시 첨가량에 따른 이온 농도 변화(Ca, Fe)

GGBFS XRF		Bottom ash XRF	
Oxide	wt%	Oxide	wt%
CaO	45.1%	SiO ₂	60.4%
SiO ₂	33.6%	Al ₂ O ₃	18.4%
Al ₂ O ₃	13.3%	Fe ₂ O ₃	7.4%
MgO	3.2%	CaO	6.8%
SO ₃	2.1%	MgO	1.6%
...	...		
Fe ₂ O ₃	0.4%		

그림 x. ICP-OES 해석을 위한 XRF 분석 결과 비교

○ 잔골재 제조 결과

- Cold bonded pelletization 방식으로 잔골재를 제조하였음. 디스크 회전 속도는 340RPM, 디스크 지름은 80cm, 디스크 기울기 각도는 42도로 하였다. 그 결과, 바텀애시를 첨가하지 않은 샘플과 바텀애시 100%를 첨가한 샘플의 경우 잔골재 성형이 불가능하였다.



Sample	BA0	BA20	BA40	BA60	BA80	BA100
성형 가능 여부	X	O	O	O	O	X

그림 x. 잔골재 제조 과정에 사용된 실험 조건

○ SEM-SE 이미지 분석 결과

- 입도 분포 결과, 바텀애시의 입자 크기가 GGBFS보다 10배 더 크다. SEM 측정 결과, 바텀애시와 GGBFS 모두 각진 모양이지만, 바텀애시 입자가 더 거친 표면의 요철을 가지고 있음. 상대적으로 크고, 거친 표면의 바텀애시 입자가 Pelletizing에 필요한 nucleation site를 제공함으로써, 골재 성형이 더 잘 이루어지게 된다.

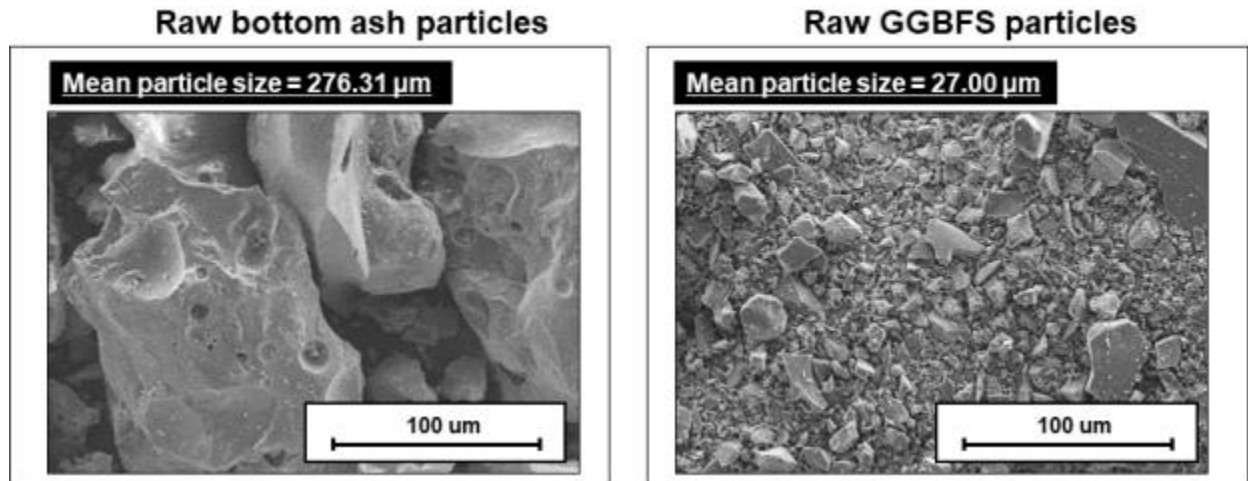
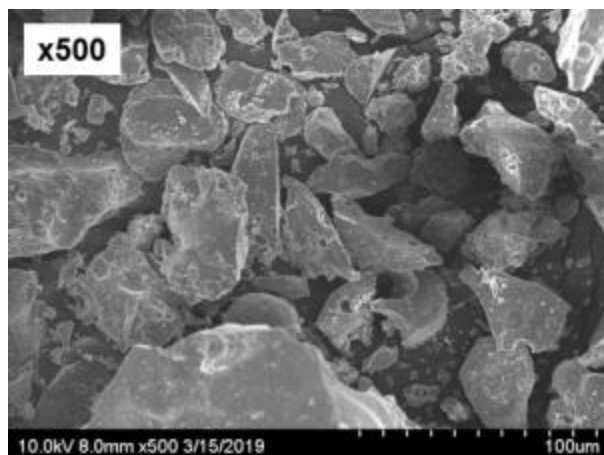
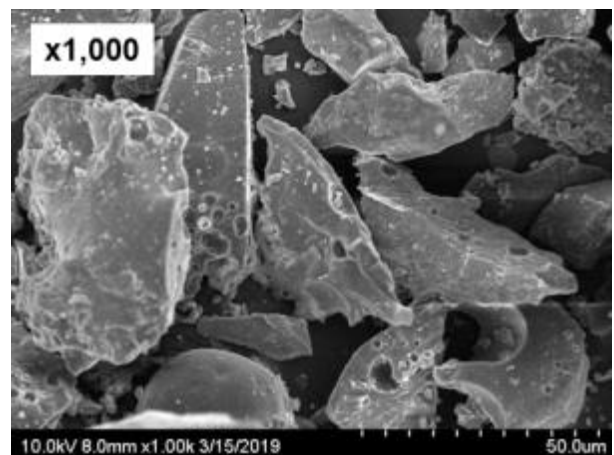


그림 x. 원재료의 SEM 측정

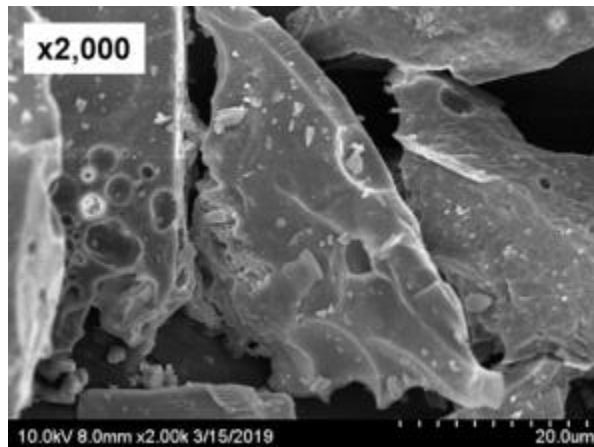
- 바텀 애시의 표면은 거친 질감을 지니고 있고, 상대적으로 크기가 크다.



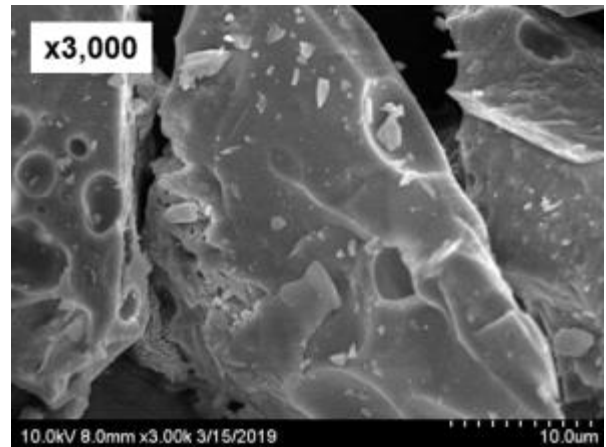
(가) 500배



(나) 1,000배



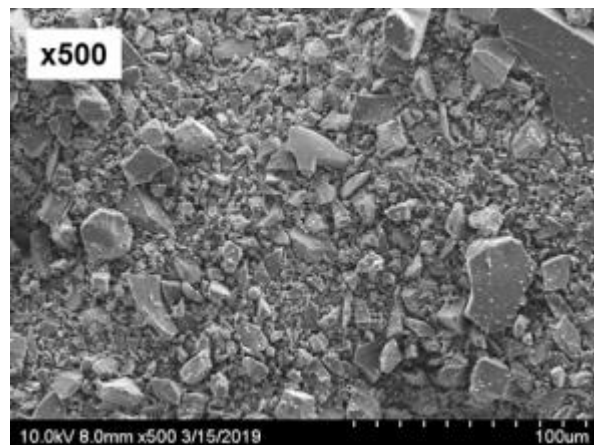
(다) 2,000배



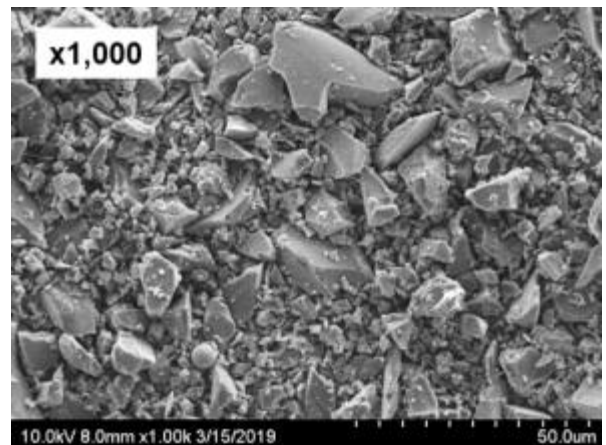
(라) 3,000배

그림 x. 바텀애시의 표면 SEM 측정

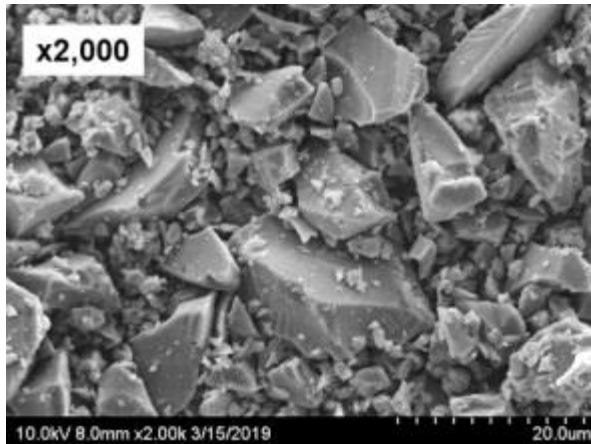
- 고로슬래그 미분말의 표면은 상대적으로 매끈하며, 각진 모양을 지니고 있다. 바텀애시 보다는 작은 입자 크기를 지니고 있으며, 이는 입도 분석 결과와 일치하다.



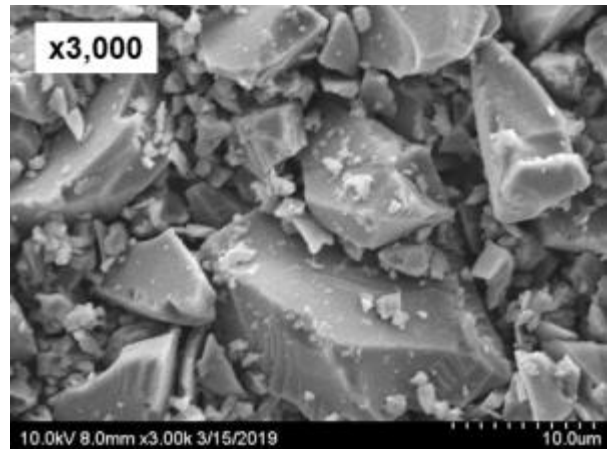
(가) 500배



(나) 1,000배



(다) 2,000배



(라) 3,000배

그림 x. 고로슬래그 미분말 표면 SEM 측정 사진

아래 그림은 바텀 애시 표면에 GGBFS 입자들이 둘러붙어 입자를 형성하는 과정을 설명하고 있다. 상대적으로 크기가 크고 거친 표면을 가진 바텀 애시의 표면에 수분이 묻게 되고, 그 표면에 크기가 작은 고로슬래그 미분말의 입자들이 둘러붙게 되는 Cold-bonded pelletization이 일어나 잔골재가 성장한다. 즉, 바텀 애시는 잔골재 성형에 필요한 응결핵(Nucleation seed) 역할을 하게 되며, 이러한 바텀 애시가 포함되지 않은 샘플은 응결핵이 형성되지 않아 잔골재가 제조되지 못하고, 바텀애시가 너무 많으면, 과도한 양의 응결핵으로 잔골재가 형성되지 못한다.



그림 x. 입자 형성 과정 모식도

○ 고로슬래그 미분말-바텀애시 잔골재 구성 재료 별 역할 분석

(1) 고로슬래그 미분말 : 슬래그는 강도 발현을 위한 C-S-H 생성을 위한 중요한 원료임.

(2) 바텀 애시 : 배합결과, 바텀 애시를 첨가하지 않은 샘플(BA0)은 Disk pelletizer를 이용한 잔골재 성형이 불가능하였음. 따라서, 일정량 바텀 애시 첨가는 결합재가 잘 뭉치게하여, 구형의 잔골재로 성형을 유도시키는 역할을 함.

(3) CaO 및 CaCl₂ : 기타 첨가제는 슬래그의 화학적 활성을 유도하여, C-S-H 생성을 활발히 하여, 필요 강도 형성에 필요한 양생시간을 단축시키는 역할을 함.

○ 개발 잔골재 성능 테스트 결과

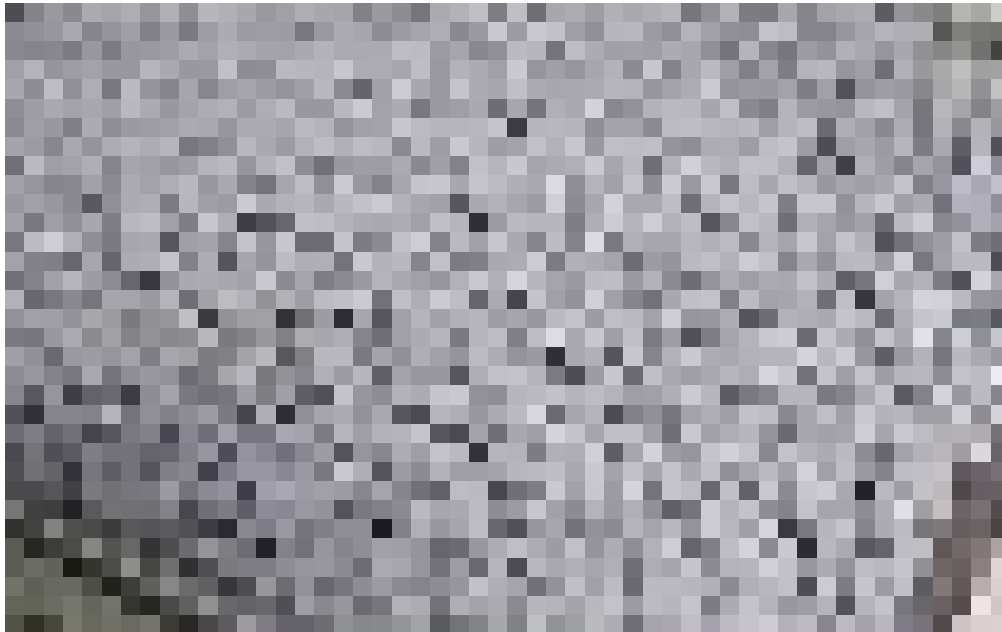


그림 x. 개발 잔골재의 샘플 사진

- 압축강도 : 41.2MPa
- 흡수율 (KS F 2504) : 9.83%
- 절대건조상태의 밀도 (KS F 2503) : 1.82 g/cm³
- 잔골재의 안정성 (KS F 2507) : 1.5% [10% 미만 만족]
- 잔골재 내 포함된 점토덩어리 (KS F 2512) : 0.79% < 3.0% 이하
- 잔골재 내 포함된 유기불순물 (KS F 2510) : 표준색보다 연함.
- 잔골재 내 포함된 염화물 (KS F 2515) : 0.131%

○ 개발 잔골재를 이용한 모르타르 압축강도 실험 결과

- 개발된 잔골재를 이용하여, 잔골재/시멘트 비=2.75 및 물/시멘트 비=0.485로 모르타르를 배합한 후, 압축강도를 측정하였다.



그림 x . 개발 잔골재를 이용해 제작한 압축강도 측정용 모르타르 샘플

○ 개발 잔골재를 이용한 콘크리트 압축강도 실험 결과

- 개발된 잔골재를 이용하여, 잔골재/시멘트 비=0.70, 물/시멘트 비=0.42, 잔골재/굵은골재 비=0.61로 하여 콘크리트를 배합하였고, 상온에서 28일간 양생하여 압축강도 공인시험을 의뢰하였다.



그림 x . 개발 잔골재를 이용해 제작한 압축강도 측정용 콘크리트 샘플

- 개발된 잔골재를 이용한 콘크리트 샘플을 콘크리트 절단기를 이용해 관찰한 단면은 하얀색의 개발 슬래그-바텀애시 잔골재가 고르게 채워져 있음을 확인하였다.



그림 x . 개발 잔골재를 이용해 제작한 콘크리트 샘플 단면

○ 개발 잔골재의 흡수율 측정

- 고로슬래그 미분말 및 바텀애시를 이용해 제작한 개발 잔골재의 흡수율을 측정한 결과, 흡수율 약 1.3%로 나왔으며, 2차년도 목표치인 5% 이하의 결과를 얻었음.

-

○ 개발 잔골재에서 용출되는 중금속 용출량 측정

- 고로슬래그미분말 및 바텀애시를 이용해 제작한 개발 잔골재를 폐기물공정시험의 중금속 용출 시험(KLT; Korean Standard Leaching Test)에 따라 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb) 및 비소(As) 등 다섯 가지 중금속에 관하여 용출 시험을 실시.
- 용출 시험은 증류수를 pH 5.8~6.3이 되도록 아세트산으로 조절하여 용출 용매로 사용하였고, 시료의 양은 용출용매 L당 100g으로 맞추어 전 처리 하였음.
- 경화체를 막자사발로 잘게 부수어 9.5mm 체에 걸러 준비하였음.
- 그리고 시료를 용출 용매에 넣은 후 마그네틱 교반기를 이용하여 12시간동안 200rpm으로 교반하여 용출시킴. 용출된 용액은 원심분리기를 이용하여 고체 시료를 분리하였으며, 검액을 ICP-OES를 이용하여 중금속 농도를 측정하였음.
- 용출 실험 결과, 다섯 종류 중금속에 대하여 전혀 검출되지 않아 농도한계 기준치를 모두 만족하였음.

○ 토양공정시험기준에 따른 중금속 함유량 시험법 검토

- 토양공정시험기준에 따른 시료의 제조방법은 채취지점에서 채취한 시료를 법랑제 또는 폴리에틸렌제 바트(vat) 위에 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되게 헤쳐놓고 풍건시킨 다음, 나무망치로 분쇄하여 분석대상물질에 따라 비소, 카드뮴, 납, 구리, 6가 크롬 등의 중금속 가용성 함량 분석대상 물질은 눈금간격 2 mm의 표준체(10 메쉬), 니켈, 아연 등 중금속 전함량 분석대상 물질은 눈금간격 0.15 mm(100 메쉬) 그리고 불소는 눈금간격 0.075mm의 표준체(200 메쉬)로 체걸음 한 시료를 각각 균등량(약 200 g)씩 취하여 사분법에 의해 균일하게 혼합하여 분석용 시료로 함. 중금속 가용성 함량분석대상물질의 경우 각각의 채취지점에서 채취한 토양시료의 입자 차이가 크거나 밀도 차이가 있는 입자의 혼입으로 인하여 시료채취량에 오차가 발생할 우려가 있을 경우에는 토양시료 전부를 막자와 막자사발을 사용하여 분쇄한 다음 눈금간격 0.15mm의 표준체(100메쉬)로 체거름한 것을 분석용 시료로 함.

- 유도결합플라즈마발광광도법의 원리는 시료를 고주파유도코일에 의하여 형성된 아르곤 플라즈마에 도입하여 6,000~8,000K에서 여기된 원자가 바닥상태로 이동할 때 방출하는 발광선 및 발광강도를 측정하여 원소의 정성 및 정량분석에 이용하는 방법임.
- 원자흡광광도법은 이 시험방법은 시료를 적당한 방법으로 해리(解離)시켜 중성원자로 증기화하여 생긴 바닥상태(Ground State)의 원자가 이 원자 증기층을 투과하는 특유 파장의 빛을 흡수하는 현상을 이용하여 광전측광(光電測光)과 같은 개개의 특유 파장에 대한 흡광도를 측정하여 시료중의 원소(元素) 농도를 정량하는 방법으로 시료중의 유해중금속 및 기타 원소의 분석에 적용함.
- 흡광광도법은 이 시험방법은 빛이 시료용액 중을 통과할 때 흡수나 산란 등에 의하여 강도가 변화하는 것을 이용하는 것으로서 시료물질의 용액 또는 여기에 적당한 시약을 넣어 발색(發色)시킨 용액의 흡광도를 측정하여 시료중의 목적성분을 정량하는 방법으로 파장 200~900nm에서의 액체의 흡광도를 측정함으로써 시료중의 각종 오염물질 분석에 적용함.
- 검토 결과, 원자흡광광도계 및 흡광광도법을 이용해 미량의 중금속의 존재여부를 판단할 수 있고, 이러한 시험법을 이용해 더 정밀한 측정이 가능할 것으로 판단됨. 또한 본 시험법의 시료 준비 과정에서 건조 및 분쇄 과정이 효과적일 것으로 사료됨.
- 다음은 국내 토양오염공정시험방법과 국외 중금속 용출 시험의 시험방법을 비교 분석한 표임. 기술된 바와 같이 왕수를 이용한 산분해를 사용함으로써 일반 중금속 용출 시험보다 엄격하게 시료 제조를 규정하고 있음.

각 국의 시험방법		우리나라 (토양오염공정 시험방법)		일 본				미국 EPA method 3050A	독일 네덜란 드 ISO, KS
		용 출	산분해 (왕수)	용 출		산분해	함 유 량	산분해	산분해 (왕수)
대상항목		Cd, Pb, Cu, As, Cr(VI)	Zn, Ni	Cd, Pb, As, Hg, Se, Cr(VI)	Cu, As	Cd(현미)	Cd, Pb, As, Hg, Se Cr(VI)	일반 중금 속	일반 중금 속
시험 방법	토양 입자 크기	2 mm	0.15 mm	2 mm	2 mm	-	2 mm	2 mm	0.15 mm
	시약	0.1N-염 산 (비소 1N)	염산, 질 산	물 (pH 5.8 ~ 6.3)	염산 (0.1 ~ 1N)	질산, 황 산, 과 염소산	염산(1N) 단, Cr ⁶⁺ 는 탄산 나트륨 (0.005mol)	질산, 과산화수 소, 염산	염산, 질 산
	실험 온도	30℃	실온에 서 처리 후 가열	실온, 대기압	30℃, 대기압	끓는점 아래	실온, 대기압	끓는점 아 래	실온에서 처리후 가 열

- 본 연구에서는 폐기물 공정 시험기준에 따른 KLT 중금속 용출 시험결과를 확인하였으며, 토양에 사용 시 토양공정시험기준에 따른 함유량 시험법 및 관련 규정에 따른 적법 여부를 검토하기 위해 다음 표로 비교 및 분석하였음.

	본 연구에서 적용한 KLT 중금속 용출 시험	토양오염공정시험방법	
		용출	산분해
타겟 원소	카드뮴, 크롬, 구리, 납, 비소	구리, 납, 카드뮴, 수은, 셀레늄, 크롬	아연, 니켈
검체 입자 크기	9.5mm 미만	2mm	0.15mm
사용 시약	pH 5.8 - 6.3 아세트산	0.1N 염산	염산, 질산 (왕수)
실험 온도	상온	30℃	가열
검출 방법	ICP-OES	ICP-OES, 원자흡광광도법, 흡광광도법 등	

- 토양오염공정시험방법과 폐기물 공정 시험기준에 따른 중금속 용출 시험의 가장 큰 차이는 사용 시약과 검체 입자의 크기임.
- 토양오염공정시험에서의 시약이 더 낮은 pH값을 지닌 염산(pH 2)을 사용하여, 검사 물질을 더 강하게 녹일 것으로 판단되고, 이는 단순히 고로슬래그 미분말과 바텀애시를 이용해 잔 골재를 만들어서, 산성비가 내리는 자연 조건이 아닌 실제 산업부산물 자체에 포함된 모든 중금속 양을 정량적으로 확인하는 것이 목적임.
- 검체 입자는 KLT 시험에서 약 1cm 미만의 크기로 만들어 침지시키지만, 토양오염공정시험방법에서는 0.15-2mm 크기로 만들어 침지시킨다. 일반적으로, 입자의 크기가 작을수록 표면적이 넓어져, 반응성이 커지기 때문에 토양오염공정시험에서 산업부산물이 더 많이 녹아나올 수 있음. 즉, 무시멘트 결합재가 강도를 형성한 후, 용출되는 중금속 뿐만 아니라 자체적으로 포함하고 있는 중금속 양을 전부 측정할 수 있는 시험 방법임.
- 하지만, 본 과제의 연구기간이 종료됨에 따라 ICP-OES 분석할 수 있는 시험분석비 및 시료를 제작과정에 필요한 재료비등이 소진되어, 다른 방법으로 검토할 수 있는 방안을 고찰하였고, 본 연구에서 사용된 바텀애시 및 고로슬래그 미분말의 화학적 성분 자체를 측정한 XRF 결과를 활용하였음. 이 방법은 염산 및 질산으로 제조한 왕수로도 측정할 수 없는 미량의 중금속을 탐지할 수 있음.

고로슬래그 미분말

Oxide	wt%
CaO	45.1%
SiO ₂	33.6%
Al ₂ O ₃	13.3%
MgO	3.2%
SO ₃	2.1%
TiO ₂	0.8%
MnO	0.5%
K ₂ O	0.5%
Fe ₂ O ₃	0.4%
Na ₂ O	0.3%
SrO	0.1%
BaO	0.1%
ZrO ₂	0.1%
V ₂ O ₅	0.0%
P ₂ O ₅	0.0%
Y ₂ O ₃	0.0%
Cr ₂ O ₃	0.0%
LOI	0.41%

바텀애시

Oxide	wt%
SiO ₂	60.4%
Al ₂ O ₃	18.4%
Fe ₂ O ₃	7.4%
CaO	6.8%
MgO	1.6%
Na ₂ O	1.4%
TiO ₂	1.2%
K ₂ O	1.1%
MoO ₃	0.4%
P ₂ O ₅	0.3%
BaO	0.3%
SrO	0.3%
Tb ₄ O ₇	0.1%
MnO	0.1%
SO ₃	0.1%
Cl	0.0%
V ₂ O ₅	0.0%
LOI	0.68%

각 산업부산물 자체에 포함된 모든 화학종의 정량 분석 결과 (XRF)

폐기물 시험 기준에 따른 중금속

카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 납(Pb), 비소(As), 구리(Cu)

➡ 전혀 포함되어 있지 않음.

토양오염공정시험방법 (용출)

카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 납(Pb), 구리(Cu), 수은(Hg), 셀레늄(Se)

➡ 전혀 포함되어 있지 않음.

토양오염공정시험방법 (산분해)

아연(Zn), 니켈(Ni)

➡ 전혀 포함되어 있지 않음.

- 분석 결과, 폐기물 공정 시험 기준은 물론, 토양오염공정시험방법(용출, 산분해)에서 규정한 모든 중금속 원소가 고로슬래그 미분말 및 바텀애시에 포함되지 않음을 확인하였음.
- 따라서, 토양오염공정시험기준에 따른 중금속 함유량 시험법 및 관련 규정을 이용하여 실제 측정을 한다고 하더라도, 애초에 본 사용재료에 타겟 중금속 원소가 포함되어 있지 않아, 규정을 만족할 것으로 판단됨.

공인시험측정 증빙자료 - 개발 잔골재 자체 압축강도 측정

Electronic Document Version

7630-2477-3629-8034



시험성적서

본 성적서는 참고용으로만 가능하며 원본 효력이 없음을 알려드립니다.
(This electronic document is for reference only.)

1. 성적서 번호 : CT18-100693

2. 의뢰자

○ 업체명 : 울산과학기술원

○ 주소 : 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 110동 902-4호

3. 시험기간 : 2018년 09월 14일 ~ 2018년 09월 21일

4. 시험성적서의 용도 : 연구과제 시험성적서 증빙용

5. 시료명 : 바인더샘플(BA40) 외 1건

6. 시험방법

(1) KS L 5105:2007

7. 시험결과

1) 바인더샘플(BA40)

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고
압축강도-1	N/mm ²	(1)	43.0	-
압축강도-2	N/mm ²	(1)	43.9	-
압축강도-3	N/mm ²	(1)	42.2	-

2) 바인더샘플(BA60)

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고
압축강도-1	N/mm ²	(1)	43.0	-
압축강도-2	N/mm ²	(1)	41.3	-
압축강도-3	N/mm ²	(1)	39.2	-

※ 시험일 : 2018년 09월 18일

※ 시험은 의뢰자가 제작, 양생하여 제시함.

— 이 하 여 백 —

확인	작성자 성명	나인걸	기술책임자 성명	김재연
비고 :	1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 무단 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.			

2018년 09월 21일

한국건설생활환경시험연구원장



부산울산경남지원 : 46742 부산광역시 강서구 과학산단1로60번길 31 051-941-8790

결과문의 : 부산울산경남지원 ☎ (051)793-7014

총 1페이지 중 1페이지

양식QP-20-01-05(6)

공인시험측정 증빙자료 - 개발 잔골재의 중금속 용출 여부



한국기초과학지원연구원

• KOLAS 국제공인시험기관 • RoHS • WEEE • ELV • PoHS

본점 : 대전광역시 유성구 과학로 113, 306-333 Tel : 042-866-3500 Fax : 042-866-3404 www.kbsi.re.kr

부산센터 분석연구부 : 부산 강서구 과학산단1로 60번길 30 Tel : 051-974-6101 Fax : 051-974-6116

www.busanhi.com.re.kr

시험 결과서

검수 번호 : 2019-PA-01688
 신청자 : 울산과학기술원 도시환경공학부 오재은교수님(전통호)
 품명 : GGBFS-Bottom Fine aggregate
 검수 일자 : 2019. 10. 28
 발행 일자 : 2019. 10. 28
 분석 담당자 : 책임연구원 하명규, 전문원 장유진
 분석기기 : ICP-OES (ACTIVA, JY HORIBA)
 분석 결과

단위 : mg/L

시 료	Cd	Cr	Cu	Pb	As
Sample	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

** N.D: Not detected

한국기초과학지원연구원장



이 결과서는 책임자인 시료에 대한 시험 결과이며, 한국기초과학지원연구원의 허가 없이 무단 복제를嚴禁합니다.

KBSI 한국기초과학지원연구원
 KOREA BASIC SCIENCE INSTITUTE

공인시험측정 증빙자료 - 개발 잔골재의 흡수율



0237-7787-9455-8555



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT19-142481K

2. 의뢰자

○ 업체명 : 울산과학기술원

○ 주소 : 울산광역시 동주군 언왕읍 유니스트길 50

3. 시험기간 : 2019년 12월 18일 ~ 2020년 01월 13일

4. 시험성적서의 용도 : 연구과제 시험성적서 제출용

5. 시료명 : BA40 - FineAgg

6. 시험방법

(1) KS F 2504:2014

7. 시험결과

1) BA40 - FineAgg

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고	시험장소
흡수율	%	(1)	1.30	-	A

※ 시험장소

A : 경상남도 창원시 의창구 창원대로18번길 31 (팔용동)

— 끝 —

확인

작성자인명 정준우

기술책임자명 김재연



비고 :

- 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 없으며, 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제출에 대한 책임을 보증하지는 않습니다.
- 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
- 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
- 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2020년 01월 13일

한국건설생활환경시험연구원

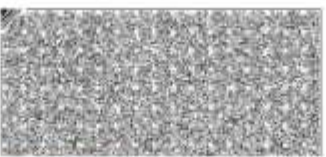
※ 2020.01.13 제 발 급 커 담당자 : 정준우, 승인자 : 김재연

결과번호 : 51395

경상남도 창원시 의창구 창원대로18번길 31 (팔용동) ☎ (051)793-7028

출판일자 : 190103

판권 : TQ-12-01-03(1)


공인시험측정 증빙자료 - 개발 잔골재 기반 모르타르 압축강도



6154-2834-6 28-4034



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT19-109457K

2. 의뢰자

○ 업체명 : 울산과학기술원

○ 주소 : 울산광역시 울주군 언왕읍 유니스트길 50

3. 시험기간 : 2019년 10월 01일 ~ 2019년 10월 16일

4. 시험성적서의 용도 : 연구과제 시험성적서 제출용

5. 시료명 : BA-모르타르

6. 시험방법

(1) KS L 5105:2007

7. 시험결과

1) BA-모르타르

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고	시험장소
압축강도-1	N/mm ²	(1)	23.1	-	A
압축강도-2	N/mm ²	(1)	27.6		
압축강도-3	N/mm ²	(1)	23.2		

※ 시험은 의뢰자가 제작, 양성하여 제시함.

※ 시험장소

A : 부산광역시 강서구 과학산단1로80번길 31 (지사동)

— 끝 —

확인	작성 자명	정준우	정준우	기술책임자 명	김재연
----	----------	-----	-----	------------	-----

비고 : 1. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 없으며, 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한限り된 결과로서
전체자료에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 통보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.co.kr)에서 확인 가능합니다.

2019년 10월 16일

한국건설생활환경시험연구원



* 2019.10.16 제발급인 담당자 : 정준우, 승인자 : 김재연

결과문의 : 46742 부산광역시 강서구 과학산단1로80번길 31 (지사동) ☎ (051)793-7028

총 1페이지 중 1페이지
양식TOP-12-01-03(1)





공인시험측정 증빙자료 - 개발 잔골재 기반 콘크리트 압축강도



051-793-7029



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT19-112156K

2. 의뢰자

○ 업체명 : 울산과학기술원

○ 주소 : 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

3. 시험기간 : 2019년 10월 10일 ~ 2019년 10월 16일

4. 시험성적서의 용도 : 연구과제 시험성적서 제출용

5. 시료명 : BA40 Concrete

6. 시험방법

(1) KS F 2405:2010

7. 시험결과

1) BA40 Concrete

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고	시험장소
압축강도-1	MPa	(1)	23.7	-	A
압축강도-2	MPa	(1)	26.9		
압축강도-3	MPa	(1)	30.6		

※ 압축강도 시험의 크기 : 지름 100 mm, 높이 200 mm

※ 파괴일 : 2019년 10월 15일

※ 시험장소

A : 부산광역시 강서구 과학산단1로 60번길 31 (지사동)

— 끝 —

확인	작성자 성명	승상훈	송상훈	기술책임자 성명	김재연	
----	-----------	-----	-----	-------------	-----	--

비고 : 1. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련이 없으며, 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
 4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2019년 10월 16일

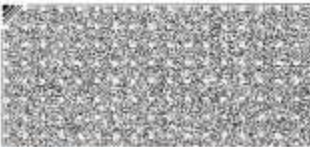
한국건설생활환경시험연구원



결과문의 : 46742 부산광역시 강서구 과학산단1로60번길 31 (지사동) ☎ (051)793-7029

총 1페이지 중 1페이지

양식TOP-12-01-03(1)


2-3 연구수행내용(경기대학교)

○ Micro-CT를 이용한 미세구조 분석

- 건조 상태 및 배합수 첨가 후 혼합



○ 완성된 1inch Micro-CT 샘플



- 탄성계수 샘플 제작공정

- 탄성계수 측정용 몰드에 WD 도포 및 샘플 casting



○ 완성된 탄성계수 측정용 샘플 및 탈형 과정



- Bottom-ash를 기반으로 한 paste Sample을 제작하여 Control Sample과 이에 추가적으로 AE제, Foaming agent, Cenosphere를 각기 다른 양을 첨가하여 아래에 배합설계표 비율의 샘플을 제작하였다.

Group	Sample	Proportion (wt. %)							Water	Note
		Binder				Additive agent				
		GGBFS	CaO	CaCl ₂	Bottom Ash	Cenosphere	Foaming Agent	Air Entrained Agent		
Bottom ash	B	94.0	4.0	2.0	60.0	-	-	-	33.942	23°C curing
	BC5					5.0	-	-		
	BC10					10.0	-	-		
	BF1					-	1.0	-		
	BF2					-	2.0	-		
	BF5					-	5.0	-		
	BF10					-	10.0	-		
	BE1					-	-	1.0		
	BE2					-	-	2.0		
	BE5					-	-	5.0		
BE10	-	-	10.0							

그림 x . 실험을 위한 샘플의 배합설계표-B: 표본샘플, BC: Cenosphere첨가 샘플, BF: Foaming agent첨가 샘플, BE: AE제 첨가 샘플.

- 양생된 샘플을 28일 이후 절단하여 Micro-CT 촬영을 진행하였고 그림 2에서는 각 샘플 별 대표적 Micro-CT 단면이미지를 보여주고 있고 연구내용에서는 촬영 이미지를 통해 각 첨가제의 종류와 양에 따른 공극의 형상 및 양을 시각적으로 분석하였다.

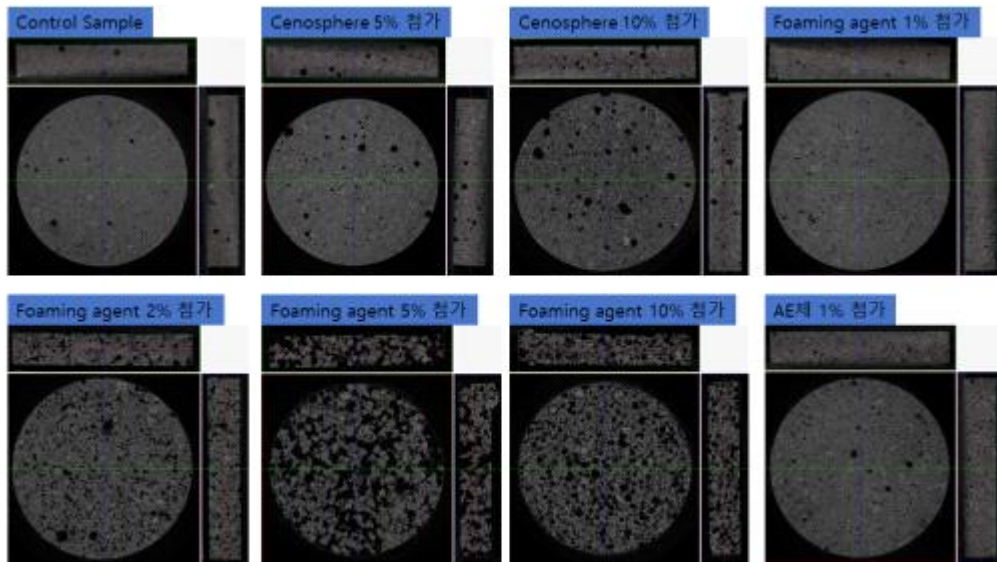


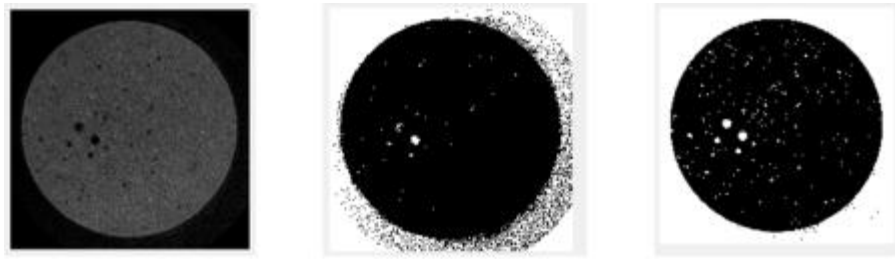
그림 x. Micro-CT에 촬영된 샘플별 대표 2D 이미지.

- 측정 장비는 고해상도 SkyScan 1173이며 측정은 주식회사 제노스에서 대행하였고 그림 3은 장비 사진이며 오른쪽은 측정조건을 나타낸다.



그림 x. Micro-CT 장비 및 본 연구에서 사용한 측정조건

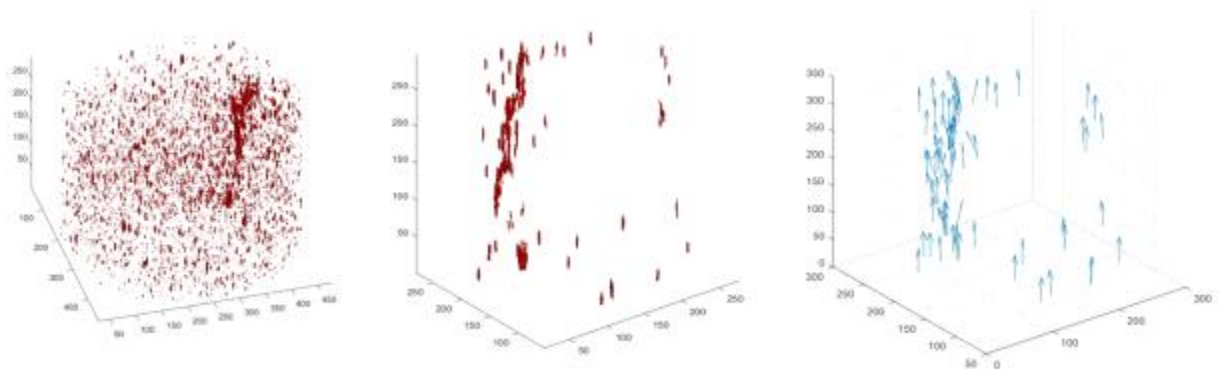
- Micro-CT로 촬영한 2D CT 이미지에서 표현되는 밝기는 내부 물질들의 밀도차이에 의해서 다양하게 표현하기 때문에 초기의 이미지에서 더 나은 시각화를 위하여 Pore를 흰색, Matrix를 검은색으로 이미지 재구성하였다.
- 그림 4와 같이 Sample 바깥쪽의 노이즈가 없어지고 공극이 흰색으로 가장 잘 표현될 때까지 level test 진행하여 binary 데이터로 변환하였다.



2D 이미지 재구성 과정

그림 x. 원 2D 이미지로부터 분석을 위한 binary 이미지로 변환

- 2D로 구성된 이미지는 매틀랩을 이용하여 3D로 구현되었으며 공극들의 영역을 선택하여 위치 및 방향에 대한 데이터를 추출하였고 이는 그림 5에서 보여주고 있다.



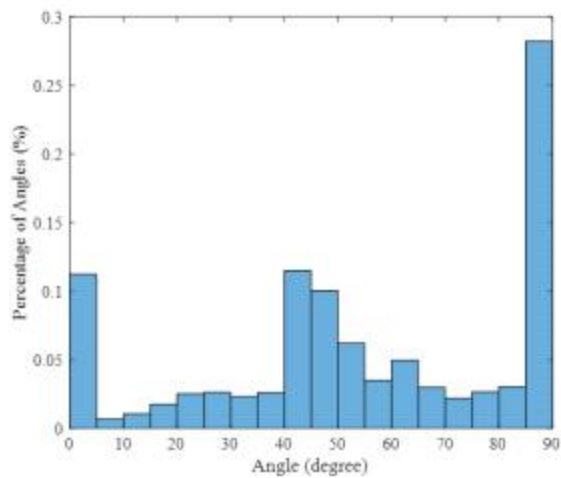
(가)

(나)

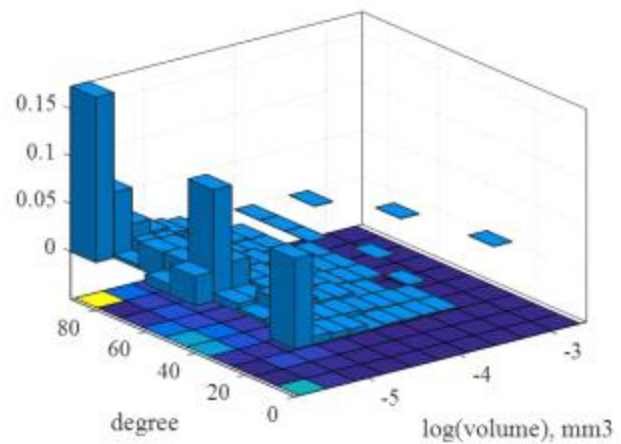
(다)

그림 x. (가) 3D로 재구성된 공극구조, (나) 매트릭스 공극의 추출. (다) 개별 공극들의 방향벡터.

- 추출된 공극 데이터를 이용하여 공극에 대한 방향을 분석한 결과는 그림 6과 같으며 그림 6(가)에서 나온 결과에서 상당히 많은 공극들이 공극 주축과 Z축이 90도를 이루고 있음을 볼 수 있다.
- 이는 중력의 영향으로 공극이 완전한 원형이 아니라 납작한 타원형을 가지는 것을 알 수 있으며 이는 매트릭스의 기계적 특성에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.
- 그림 6(나)는 공극크기별 공극 주축과 Z축 각도를 나타내며 공극크기별 중력 영향의 차이를 볼 수 있다.



(가)

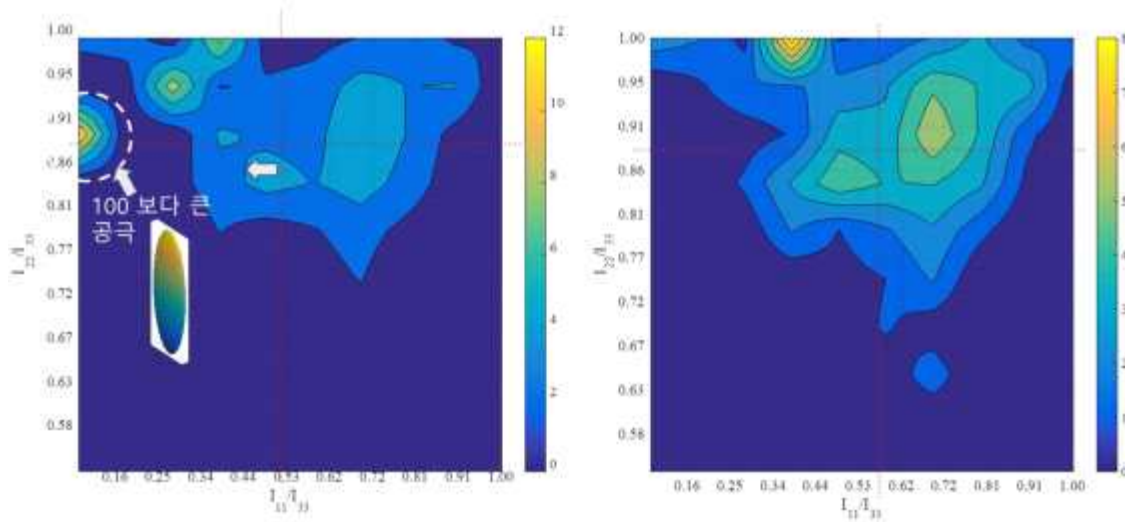


(나)

그림 x. 공극 주축과 z축 사이의 각도 분포:

(가) 전체 공극의 각도 분포, (나) 공극 크기별 각도 분포.

- 그림 7(가)는 매크로 공극을 포함한 공극의 주축 단면2차모멘트의 등고선 지도이며 (나)는 매크로 공극을 포함하지 않은 단면2차모멘트의 등고선 지도이다.
- 그림 7에서 제시된 결과는 매크로 공극은 납작한 형태의 디스크 모양의 공극형상을 가지 분포가 높으며 이러한 공극 모양은 경화된 재료의 등방성에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 현재 이렇게 진행된 실험과 분석은 SCI(E)급 논문에 투구하기 위하여 정리되고 있으며 논문에서는 Mori-Tanaka 방법을 통하여 이렇게 수집된 공극의 정보들이 어떻게 경화된 재료의 기계적 특성에 영향을 더욱 자세히 기술하고 있다.



(가)

(나)

그림 x. 공극형상 단면2차모멘트의 I11/I33와 I22/I33 분포:

(가) 매크로 공극 포함 분포, (나) 매크로 공극 제외 분포.

○ 잔골재 내 포함된 염화물 정량 분석 및 외부 용출 가능성 검토

○ 잔골재 내 포함된 염화물 정량 분석 및 외부 용출 가능성 검토

○ 샘플제작 배합비율표

샘플명	Slag	CaO	CaCl ₂	Bottom ash	Water
CaO-S	96	4	0	0	30
BA0	94	4	2	0	30
BA40	94	4	2	40	30

표 44 . 샘플 제작 배합표 (wt.%)

(아래 샘플 및 장비 참조)

- 2019년 8월에 샘플을 제작하여 9월까지 샘플 양생을 진행하였으며 11월에 실험을 실시하였음.



그림 x. 염화물 정량 분석 및 외부 용출 가능성 검토

- 실험결과 결과는 아래 표와 같이 도출하였음.

< 세굴재 측정 결과 > 1> C1 — 0.3953 % 2> C1 — 0.3711 % 3> C1 — 0.4367 % 4> C1 — 0.4152 % 측정재 : C1 ION 정량 : 5 g 정량 : 5 g 정량 : 0.4076 % 정량 : 0.4076 % 측정일 2019.11.07. 시 간 PM 12:21	< 세굴재 측정 결과 > 1> C1 — 0.2563 % 2> C1 — 0.2378 % 3> C1 — 0.2294 % 4> C1 — 0.2295 % 측정재 : C1 ION 정량 : 5 g 정량 : 5 g 정량 : 0.2322 % 정량 : 0.2322 % 측정일 2019.11.07. 시 간 PM 12:29
BA0 - 7days	BA0 - 28days

< 세골재 측정 결과 > 1> Cl⁻ 0.2962 % 2> Cl⁻ 0.2703 % 3> Cl⁻ 0.2652 % 4> Cl⁻ 0.2728 % 측정항목 : Cl⁻ ION 잔재 : 5 g 용액 : 5 g 염도 : 0.2694 % 평균염도 : 0.2694 % 측정일 2019.11.07. 시 간 PM 12:39	< 세골재 측정 결과 > 1> Cl⁻ 0.3450 % 2> Cl⁻ 0.3339 % 3> Cl⁻ 0.3343 % 4> Cl⁻ 0.3309 % 측정항목 : Cl⁻ ION 잔재 : 5 g 용액 : 5 g 염도 : 0.3330 % 평균염도 : 0.3330 % 측정일 2019.11.07. 시 간 PM 12:08
BA40 - 7days	BA40 - 28days
< 세골재 측정 결과 > 1> Cl⁻ 0.0193 % 2> Cl⁻ 0.0263 % 3> Cl⁻ 0.0425 % 4> Cl⁻ 0.0708 % 측정항목 : Cl⁻ ION 잔재 : 5 g 용액 : 5 g 염도 : 0.0465 % 평균염도 : 0.0465 % 측정일 2019.11.07. 시 간 AM 11:50	< 세골재 측정 결과 > 1> Cl⁻ 0.0079 % 2> Cl⁻ 0.0086 % 3> Cl⁻ 0.0063 % 4> Cl⁻ 0.0070 % 측정항목 : Cl⁻ ION 잔재 : 5 g 용액 : 5 g 염도 : 0.0073 % 평균염도 : 0.0073 % 측정일 2019.11.07. 시 간 AM 11:37
CaO-S - 7days	CaO-S - 28days

표 45. 염소 농도 측정기를 이용한 결과

- 따라서 본 연구에서 개발된 잔골재는 최대 염소이온 농도 경우 0.4%로 매우 낮게 검출되었으며 이는 공극구조가 치밀해지고 포졸란 재료의 흡착이 강화된 영향인 것으로 판단됨.

○ 잔골재의 열특성 측정

- 염화물 측정과 마찬가지로 2019년 8월에 샘플을 제작하여 9월까지 샘플 양생을 진행하였으며 아래 열특성 측정 장비를 이용하여 11월에 실험을 실시하였음.

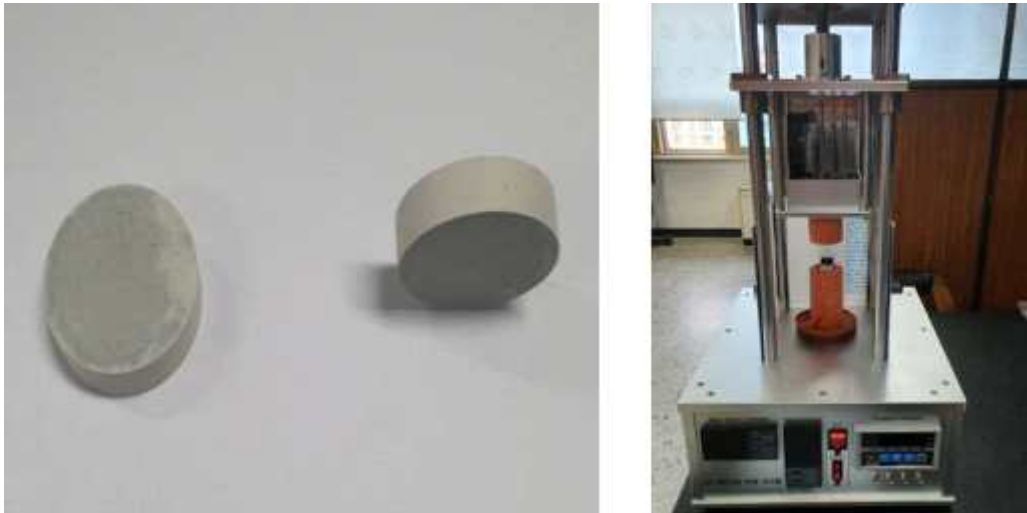


그림 x. 열전도율 측정 실험 장비

- 측정된 열전도율 결과는 아래의 표와 같음.

BA0	
7일	28일
1.55	1.58
BA40	
7일	28일
1.02	1.62
CaO-S	
7일	28일
1.08	1.94

표 46. 열전도율 측정결과 (단위: W/mK)

- 열전도율 측정결과 보통콘크리트의 열전도율보다 높게 측정되었으며 이는 슬래그 영향으로 판단됨.
- 따라서, 본 연구에서 개발된 잔골재는 스마트 센싱을 위한 콘크리트의 부재에 적용되어 전기적 센싱효과를 증대시킬 수 있을 것을 기대됨.

2-4. 연구수행내용 (논문 게재 성과)

논문명 : Gypsum-dependent effect of NaCl on strength enhancement of CaO-activated GGBFS binders



저널명 : Applied Sciences (SCIE급 저널)

게재 연도 : 2018년 12월 7일

저자명 : Sungwon Sim, Hwan Lee, Dongho Jeon, Haemin Song, Woo Sung Yum, Dohoon Kim, Jung-II Suh, Jae Eun Oh*

논문 요약 :

This study explores the combined effect of NaCl and gypsum on the strength of the CaO-activated ground-granulated blast furnace slag (GGBFS) binder system. In the CaO-activated GGBFS system, the incorporation of NaCl without gypsum did not improve the strength of the system. However, with the presence of gypsum, the use of NaCl yielded significantly greater strength than the use of either gypsum or NaCl alone. The presence of NaCl largely increases the solubility of gypsum in a solution, leading to a higher concentration of sulfate ions, which is essential for generating more and faster formations of ettringite in a fresh mixture of paste. The significant strength enhancement of gypsum was likely due to the accelerated and increased formation of ettringite, accompanied by more efficient filling of pores in the system.

논문명 : Influence of calcium sulfate type on evolution of reaction products and strength in NaOH- and CaO-activated ground granulated blast-furnace slag



저널명 : Applied Sciences (SCIE급 저널)

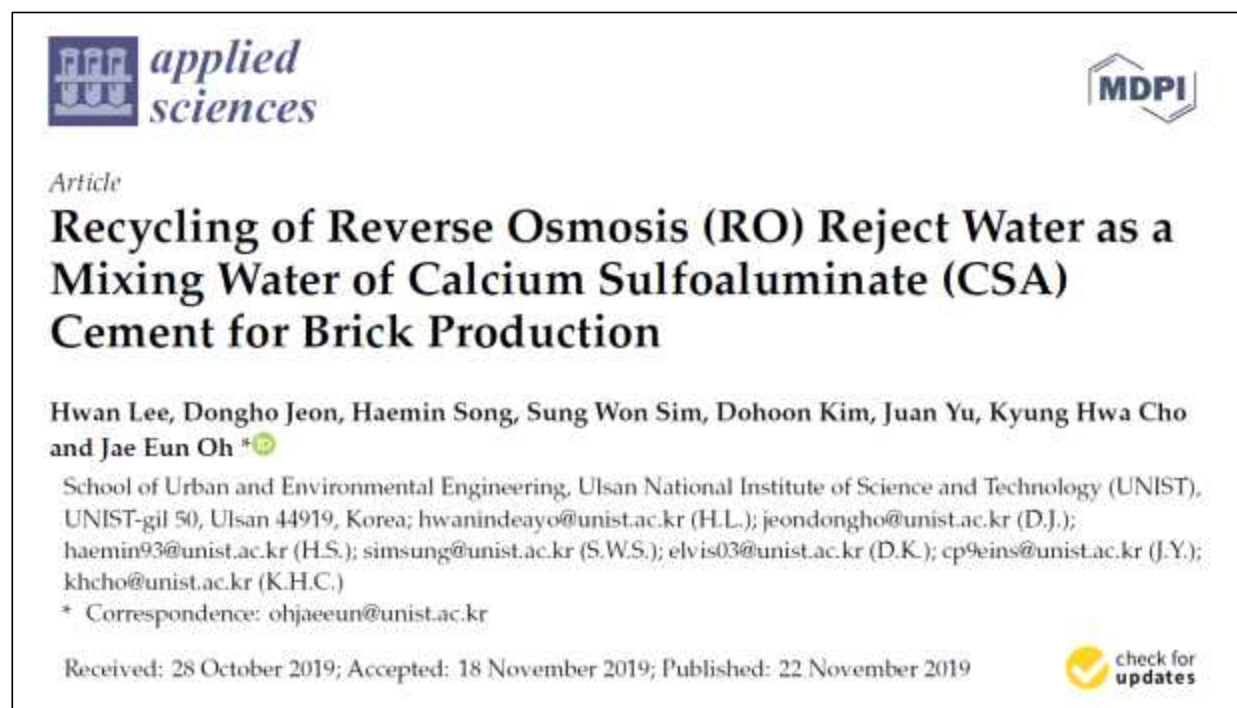
게재 연도 : 2018년 12월 5일

저자명 : Seyoon Yoon, Hyeoneun Park, Woo Seong Yum, Jung-Il Suh, Jae Eun Oh*

논문 요약 :

This study investigated the influences of CaSO_4 type (i.e., anhydrite vs. gypsum) on strength development and reaction products in the activation of ground granulated blast-furnace slag (GGBFS) when different activators (i.e., CaO vs. NaOH) and sources of GGBFS were used. In the CaO -activation, the addition of calcium sulfates greatly enhanced 28-day strengths, regardless of the choice of CaSO_4 or GGBFS source, through increasing the quantities of reaction products and reducing pore volume and size. However, in the NaOH -activation, the use of calcium sulfates showed the complex dependency of strength on the choice of CaSO_4 type and GGBFS source, and it barely produced beneficial effects on the quantity of reaction products and reduction of pore volume and size. Thus, the results in this study indicate that the combination of CaO -activation and calcium sulfates is a more effective means of activating GGBFS to gain enhanced strength and significant quality control than the use of gypsum with NaOH -activation.

논문명 : Recycling of reverse osmosis (RO) reject water as a mixing water of calcium sulfoaluminate (CSA) cement for brick production



저널명 : Applied Sciences (SCIE급 저널)

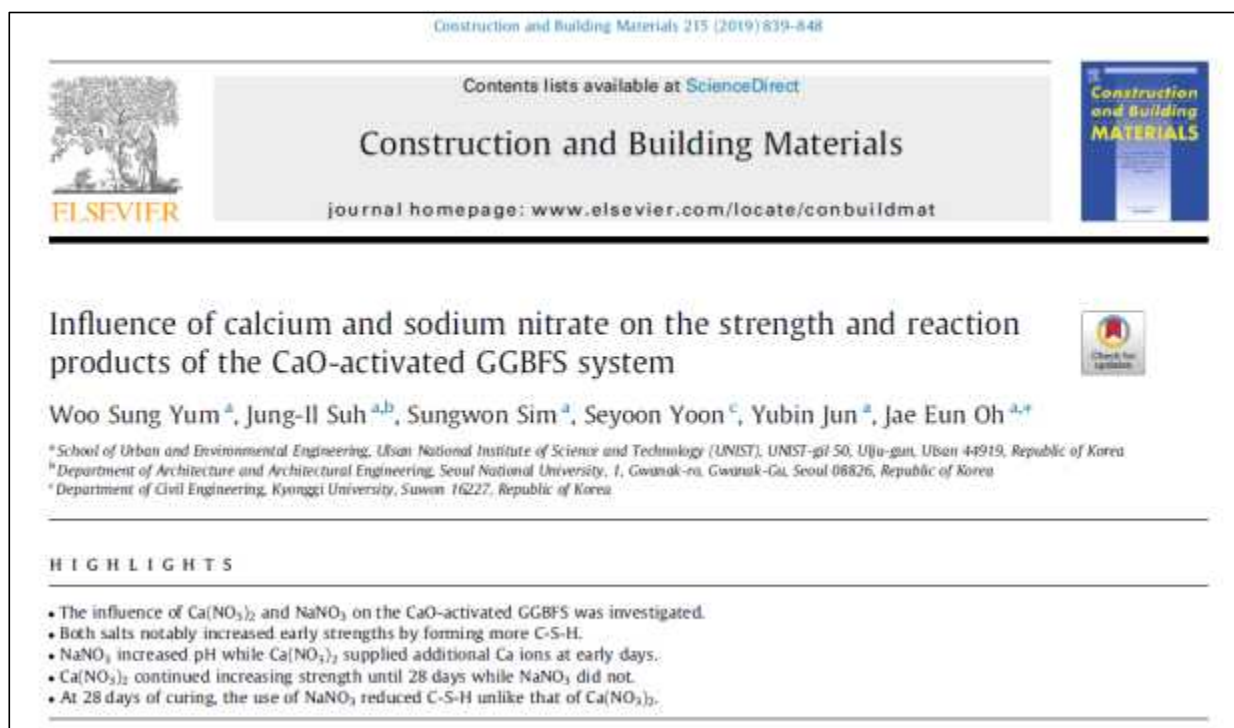
게재 연도 : 2019년 11월

저자명 : Hwan Lee, Dongho Jeon, Haemin Song, Sung Won Sim, Dohoon Kim, Juan Yu, Kyung Hwa Cho, Jae Eun Oh*

논문 요약 :

This study explored the possibility of using reverse osmosis (RO) reject water as a mixing water for producing cementitious bricks using calcium sulfoaluminate (CSA) cement along with gypsum, and it investigated the changes in the properties of CSA cement pastes when RO reject water was used. The results were compared with those obtained using purified water and seawater. Overall, the use of RO reject water improved the cement paste's strength. Given that the use of RO reject water very slightly affected ettringite formation but more significantly influenced the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-mono}$ (AFm) phases (i.e., monosulfate, kuzelite, and Friedel's salt) and amorphous aluminum hydroxide (AH_3), the strength improvement was likely mainly due to the formation of Friedel's salt rather than an ettringite formation. This study also demonstrated that the use of RO reject water for brick production satisfied the Korean Standards (KS) F 4004 and toxicity characteristic leaching procedure (TCLP); thus, it is recommended to use RO reject water as a mixing water to produce CSA cement bricks for use in construction.

논문명 : Influence of calcium and sodium nitrate on the strength and reaction products of the CaO-activated GGBFS system



저널명 : Construction and Building Materials (SCIE급 저널)

게재 연도 : 2019년 8월

저자명 : Woo Sung Yum, Jung-Il Suh, Sungwon Sim, Seyoon Yoon, Yubin Jun, Jae Eun Oh*

논문 요약 :

The influence of the added nitrate salts ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaNO_3) on the CaO-activated ground granulated blast-furnace slag (GGBFS) system was investigated. Both salts significantly increased the early strength of the binder, and the $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ maintained this tendency until 28 days of curing, whereas NaNO_3 did not. At early days, the NaNO_3 likely increased pH of samples, resulting in more dissolving GGBFS and formation of C-S-H, while the $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ slightly decreased pH due to the common ion effect, but because the $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ supplied additional Ca ions, it also increased the strength. At 28 days, the NaNO_3 clearly induced the reduction in C-S-H, which was not the case for the $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ samples. In addition, the pore size distribution was also significantly dependent on the cation type of nitrate salts.

논문명 : Application of micro-CT to Mori-Tanaka method for non-randomly oriented pores of air-entrained cement pastes

Your Submission
1 message

Carlton Ho <ceesserver@eesmail.elsevier.com>
Reply-To: Carlton Ho <cho@umass.edu>
To: yoonseyoon@gmail.com, yoonseyoon@kyonggi.ac.kr
Cc: parkyh1451@naver.com, ohjaeeun@unist.ac.kr, juhyukmoon@snu.ac.kr, sbae@hanyang.ac.kr

Fri, Jan 3, 2020 at 12:04 AM

Ms. Ref. No.: CONBUILDMAT-D-19-09997
Title: Application of micro-CT to Mori-Tanaka method for non-randomly oriented pores in air-entrained cement pastes
Construction & Building Materials

Dear Professor Seyoon Yoon,

Reviewers have now commented on your paper. You will see that they are advising that you revise your manuscript. If you are prepared to undertake the work required, I would be pleased to consider your paper for publication.

For your guidance, reviewers' comments are appended below.

If you decide to revise the work, you must submit a detailed list of changes or a rebuttal against each point which is being raised when you submit the revised manuscript. Upload an annotated/highlighted/marked up version of your revised manuscript as file type Response to Reviewer

To submit a revision, please go to <http://ees.elsevier.com/conbuildmat/> and login as an Author.
Your username is: yoonseyoon@gmail.com
If you need to retrieve password details, please go to: http://ees.elsevier.com/CONBUILDMAT/automail_query.asp

NOTE: Upon submitting your revised manuscript, please upload the source files for your article. For additional details regarding acceptable file formats, please refer to the Guide for Authors at: <http://www.elsevier.com/journals/construction-and-building-materials/0950-0618/guide-for-authors>

When submitting your revised paper, we ask that you include the following items:

Revised Manuscript and Figure Source Files (mandatory)

We cannot accommodate PDF manuscript files for production purposes. We also ask that when submitting your revision you follow the journal formatting guidelines. Figures and tables may be embedded within the source file for the submission as long as they are of sufficient visual quality. For any figure that cannot be embedded within the source file (such as *.PSD, the Photoshop files), the original figure needs to be uploaded separately. Refer to the Guide for Authors for additional information.

Highlights (mandatory)

Highlights consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See the following website for more information:
<http://www.elsevier.com/highlights>

Graphical Abstract (optional)

Graphical Abstracts should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Refer to the following website for more information: <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts>

On your Main Menu page is a folder entitled "Submissions Needing Revision". You will find your submission record there.

Please note that this journal offers a new, free service called AudioSlides: brief, webcast-style presentations that are shown next to published articles on ScienceDirect (see also <http://www.elsevier.com/audioslides>). If your paper is accepted for publication, you will automatically receive an invitation to create an AudioSlides presentation.

PLEASE NOTE: Construction & Building Materials would like to enrich online articles by displaying interactive figures that help the reader to visualize and explore your research results. For this purpose, we would like to invite you to upload figures in the MATLAB .FIG file format as supplementary material to our online submission system. Elsevier will generate interactive figures from these files and include them with the online article on SciVerse ScienceDirect. If you wish, you can submit .FIG files along with your revised submission.

The revised version of your submission is due by Apr 1 2020 12:00:00:00AM.

Yours sincerely,

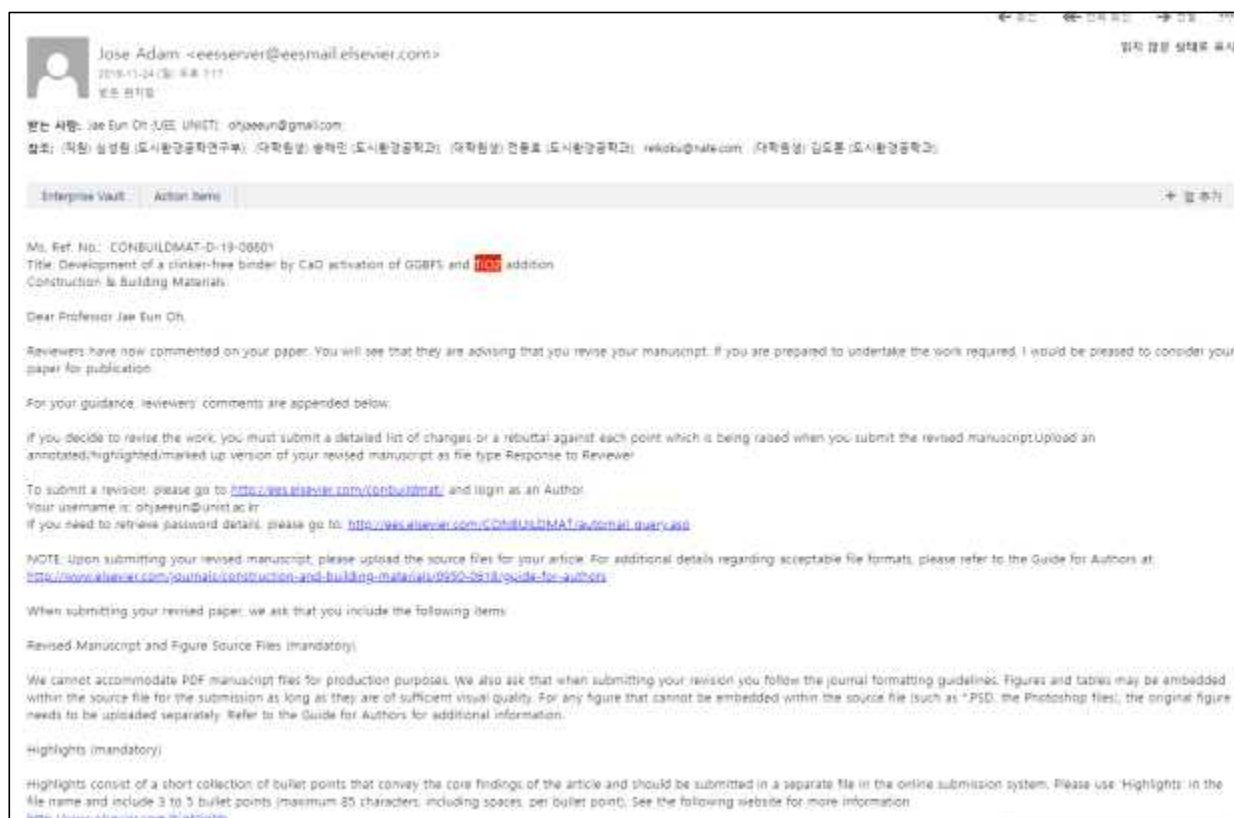
Professor Carlton L. Ho, Ph.D.
Editor
Construction & Building Materials

저널명 : Construction and Building Materials (SCIE급 저널)

제출 연도 : 2019년 10월 (리비전 요청을 받음)

저자명 : Inhwan Park, Sungchul Bae, Juhyuk Moon, Seyoon yoon, Jae Eun Oh

논문명 : Development of a clinker-free binder by CaO activation of GGBFS and TiO₂ addition



저널명 : Construction and Building Materials (SCIE급 저널)

제출 연도 : 2019년 10월 (리비전 요청을 받음)

저자명 : Sungwon Sim, Dongho Jeon, Woo Sung Yum, Haemin Song, Do Hoon Kim, and Jae Eun Oh,*

2-5. 연구수행내용 (특허 성과내용)

관인생략	
출원번호통지서	
출원일자	2019.07.09
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(A1)
출원번호	10-2019-0082763 (접수번호 1-1-2019-0703105-00)
출원인명칭	울산과학기술원(I-2015-081204-7)
대리인성명	제일특허법인(유)(9-2010-100081-2)
발명자성명	오재은 염우성
발명의명칭	석회석 슬러지를 활용한 결합재 조성물 및 이의 경화체
특허청장	

발명의 명칭: 석회석 슬러지를 활용한 결합재 조성물 및 이의 경화체

출원번호: 10-2019-0082763

출원일: 2019-07-09

출원인: 울산과학기술원

발명자 : 오재은 염우성

본 발명을 지원한 국가연구개발사업

■ 과제고유번호 : 1615010445

■ 부처명 : 국토교통부

■ 연구관리 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원

■ 연구사업명 : 국토교통기술사업화지원(R&D)

■ 연구과제명 : 잔골재(모래) 고갈 문제 해결을 위한 산업부산물(고로슬래그 및 바텀애시)

활용 20MPa급 잔골재 및 제조 공정 개발

■ 주관기관 : 주식회사 하우이씨엠

■ 연구기간 : 2019.01.01 ~ 2019.12.31

▶ 본 발명은 석회석 슬러지 함유 결합재 조성물 및 이의 경화체에 관한 것이다. 구체적으로, 본 발명은 산업부산물인 석회석 슬러지와 고로슬래그에 첨가제를 혼합한 조성물을 이용하여, 기존의 포틀랜드 시멘트를 대체할 수 있는 우수한 특성의 경화체를 제조하는 기술에 관한 것이다.

▶ 포틀랜드 시멘트는 산업의 근대화 과정에서 가장 중요하고 널리 사용되어온 건설용 구조재료로서, 도로, 교량, 터널, 항만, 주택, 건물 등 각종 사회간접자본(SOC)의 건설에 있어 기본이 되는 재료이다. 이러한 시멘트는 석회석 등을 주원료로 하여 소성 과정 즉 클링커 제조시 고온(약 1,500℃) 상태에서 제조되는데, 이 과정에서 생성되는 시멘트 1톤 당 0.7~1.0톤의 이산화탄소 가스를 배출하게 된다.

▶ 이에 따라 시멘트가 그 동안 건설산업에서 중요한 역할을 해왔음에도 불구하고, 최근에는 자연 및 지구환경에 대한 부정적인 재료로 인식되는 경향이 높아지고 있다. 국내의 시멘트 생산량은 1년에 약 6,300만톤으로 이산화탄소를 약 5,670만톤 배출하고 있다. 이에 대한 타개책의 일환으로 산업부산물을 이용하여 시멘트를 대체하기 위한 연구가 계속 진행되고 있다.

▶ 시멘트의 원재료인 석회석은 우리나라에서 연간 약 5천만 톤 이상 채굴되고 있다. 채굴 과정 중 발생하는 석회석 먼지를 없애기 위해 공중에 물을 뿌리는데, 이 과정에서 석회석 먼지와 공기 중의 수분이 만나 석회석 슬러지가 발생한다. 석회석 슬러지는 산업부산물로 이를 처리하기 위해서는 별도의 비용이 필요하며, 대부분이 땅 속에 매립되어 환경오염을 유발하고 있다. 특히 석회석 슬러지를 제대로 관리하지 않을 경우 하수관 등이 막히는 문제 또한 발생하고 있다.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 사업화 최종 목표

▪ 잔골재(모래) 고갈 문제 해결을 위한 산업부산물(고로슬래그 및 바텀애시) 활용 20MPa급 잔골재 및 제조 공정 개발

나. 연도별 사업화 목표 및 결과

구분 (연도)	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	성과물
1차 연도 (2018)	▪ 산업부산물(고로슬래그 및 바텀애시)를 활용한 ‘친환경 잔골재’를 개발	▪ 개발 제품의 중금속 용출량을 규정된 기준치(KLT법) 이하로 만족	▪ 고로슬래그 및 바텀애시 함유량을 85% 이상 ▪ 친환경 잔골재의 흡수율을 15% 이하로 제조
	▪ KS 규준을 만족 할 수 있는 친환경 잔골재를 개발.	▪ KS 규정에 따라 잔골재의 비중, 흡수율, 안정성, 불순물(점토덩어리, 석탄, 갈탄, 유기불순물, 염화물 등) 함유량과 조립률을 검증	▪ 개발 기술 제품의 기존 잔골재 KS규정에 따른 공인시험성적서 제출
	▪ 상온에서 경화 가능하고 가격경쟁력이 우수한 20MPa급 고강도 잔골재 개발	▪ Kiln과 같은 고온 성형 장비의 사용 없이 상온에서 경화시켜 압축강도 20MPa 이상을 확보	▪ 압축강도 41.2MPa이 확보된 기술 개발 ▪ 기초 기술에 대한 추가 기술 이전 및 양산 기술 확보를 위한 연구 추진중
2차 연도 (2019)	▪ 선행 연구를 통해 보유하고 있는 친환경 잔골재를 기반으로 모르타르 및 콘크리트를 제조하여 성능을 검증	▪ 개발된 잔골재를 대량 생산할 수 있는 시설을 구축하고 잔골재 크기 분급 시스템을 개선 ▪ 개발 제품의 중금속 용출량을 규정된 기준치(KLT법) 이하로 만족.	▪ ‘친환경 잔골재’를 사용한 모르타르와 콘크리트의 물리적 성능(압축강도, 휨강도, 할렬인장강도, 탄성계수)은 기존 천연 잔골재를 사용한 경우와 비교·검증. ▪ 콘크리트의 염소이온 함유량 및 건조수축량을 KS 규준에 따라서 측정.

○ 제안 당시 기술 수준 및 현재의 기술개발 성숙도

구분		1 차 년 도	2 차 년 도	3 차 년 도	4 차 년 도	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	해 당 없 음	해 당 없 음	해 당 없 음	해 당 없 음	【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

3-1. 최종 성과 목표 및 성과지표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		질적 목표 및 성과						해당 기관	예산 (백만)	
					성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	기증처			
주관	A	잔골재 성형 공정 및 크기별 분급 시스템 개발	A-1	크기 1~5 mm 급 잔골재 10톤 제조 및 사업화 매출액 3억원	①	사업화매출액	3억원	미달성		세금 계산서	3	(주) 하우 이씨엠	1,136
					②	신규고용인력	5명	달성	인력증감	4대보험 가입	2		
					③	비즈니스 모델 수립	1건	달성	보고서 작성	자료제출	2		
					④	잔골재 크기별 분급 시스템 개발	1건	달성		자료	1		
					⑤	부산물 재활용 기술 인증	1건	부분달성	인증서	공인시험기 관인증서	2		
					⑥	NET 인증	1건	부분달성	인증서	NET 인증서	2		
공동	B	잔골재 제조를 위한 산업부산물 기반 20MPa 급 결합재 배합 개발	B-1	원재료 중량의 85% 이상이 비텀애시 및 고로 슬래그로 이루어진 20 MPa급 결합재 개발	①	개발 잔골재 내 산업부산물 포함량	원재료 중량 85% 이상	달성		배합표 증빙	2	울산과학기술원 솔원	258
					②	개발 잔골재 자체의 압축강도	20MPa	달성	50mm 공시체	공인시험기관 인증서	1		
					③	중금속 용출량	KLT 규정 기준치 이하	달성	KLT 규정	공인시험기관 인증서	1		
					④	잔골재 흡수율	5% 이하	달성	KS F 2504	공인시험기관 인증서	2		
					⑤	모르타르 압축강도	20 MPa 이상	달성	KS L 5105	공인시험기관 인증서	2		
					⑥	콘크리트 압축강도	20 MPa 이상	달성	KS F 2405	공인시험기관 인증서	1		
					⑦	인력 양성	1명	달성		졸업예정 증명서	1		
			B-2	개발 잔골재의 미세공극 구조 및 염화물 분석	①	Micro-CT를 이용한 미세구조 분석	미세공극 분석	달성		결과보고서 제출	1	경기대학교	110
					②	잔골재 내 포함된 염화물 정량 분석 및 외부 용출 가능성 검토	염화물 분석	추정중		결과보고서 제출	1		
					③	잔골재의 열특성 측정	열특성 측정	추정중			1		
					④	인력 양성	1명	달성 예정		졸업예정 증명서	1		
계										20			

3-2. 최종 목표 달성여부 (주관 : 하우이씨엠)

핵심 성과 :

잔골재 성형 공정 및 크기별 분급시스템 개발

단위 성과 :

크기 1~5mm급 잔골재 10톤 제조 및 사업화 매출액 3억원

질적 목표 및 성과 (하우이씨엠)					
	성과지표	목표치	달성 여부	성과치	가중치
①	사업화매출액	3억원	미달성	세금계산서	3
②	신규고용인력	5명	달성	4대보험가입	2
③	비즈니스모델 수립	1건	달성	보고서 작성	2
④	잔골재 크기별분급시스템 개발	1건	달성	자료	1
⑤	녹색(친환경)표지인증	1건	부분달성	공인시험기관인증서	2
⑥	NET 인증	1건	부분달성	NET 인증서	2

양적 목표 및 성과 (하우이씨엠)					
	성과지표	목표치	달성 여부	성과치	가중치
①	특허 출원	1건	달성	1건	10
②	특허 등록	1건	달성	1건	20
③	녹색(친환경표지)인증	1건	부분달성	-	10
④	NET인증서	1건	부분달성	-	10
⑤	시제품	4건	달성	4건	10

3-3. 최종 목표 달성여부 (공동 : 울산과학기술원)

핵심 성과 :

잔골재 제조를 위한 산업부산물 기반 20MPa급 결합재 배합 개발

단위 성과 :

원재료 중량의 85% 이상이 바텀애시 및 고로슬래그로 이루어진 20MPa급 결합재 개발

질적 목표 및 성과 (울산과학기술원)					
	성과지표	목표치	달성 여부	성과치	가중치
①	개발 잔골재 내 산업부산물 포함량	원재료 중량 85% 이상	달성	원재료 중량 대비 95.7%	2
②	개발 잔골재 자체의 압축강도	20MPa	달성	43.0 MPa	1
③	중금속 용출량	KLT 규정 기준치 이하	달성	카드뮴, 크롬, 구리, 납, 비소 5대 중금속 검출되지 않음	1
④	잔골재 흡수율	5% 이하	달성	1.3%	2
⑤	모르타르 압축강도	20 MPa 이상	달성	24.6 MPa	2
⑥	콘크리트 압축강도	20 MPa 이상	달성	27.0 MPa	1
⑦	인력 양성	1명	달성	석사 1명 (이환) 2020년 2월 졸업	1

양적 목표 및 성과 (울산과학기술원 및 경기대학교)					
	성과지표	목표치	달성 여부	성과치	가중치
①	특허 출원	1건	달성	1건	10
②	논문 게재	6건	달성	4건 게재 및 2건 제출 후 수정 중	10
③	인증서	5건	달성	5건	10
④	인력 양성	2명	달성	석사 2명 2020년 2월 졸업	10

3-4. 최종 목표 달성여부 (경기대학교)

핵심 성과 :

잔골재 제조를 위한 산업부산물 기반 20MPa급 결합재 배합 개발

단위 성과 :

개발 잔골재의 미세공극 구조 및 염화물 분석

질적 목표 및 성과 (경기대학교)					
	성과지표	목표치	달성 여부	성과치	가중치
①	Micro-CT를 이용한 미세구조 분석	미세공극 분석	달성	미세공극 분석 완료	2
②	잔골재 내 포함된 염화물 정량 분석 및 외부 용출 가능성 검토	염화물 분석	달성	염화물 분석 완료	1
③	잔골재의 열특성 측정	열특성 측정	달성	열특성 분석 완료	1
④	인력 양성	1명	달성	석사 1명 (박인환) 2020년 2월 졸업	2

양적 목표 및 성과 (울산과학기술원 및 경기대학교)					
	성과지표	목표치	달성 여부	성과치	가중치
①	특허 출원	1건	달성	1건	10
②	논문 게재	6건	달성	4건 게재 및 2건 투고 후 수정 중	10
③	인증서	5건	달성	5건	10
④	인력 양성	2명	달성	석사 2명 2020년 2월 졸업	10

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

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

1. 산업부산물을 활용한 자원재활용 기술

- 국가경제성장 위주의 개발로 인한 산업부산물은 대한민국을 비롯한 전 세계에서 다량 발생되고 있으며, 이는 심각한 환경오염을 야기하기 때문에 이를 처리할 수 있는 폐기 및 자원재활용 기술 개발이 시급한 상황임.
- 특히, 연간 화력발전소에서 발생하여 연간 200만 톤 이상 폐기되는 바텀애시와 연간 1,000만 톤 이상 발생하는 고로슬래그는 강우 시 중금속 용출등의 환경문제를 야기할 수 있으므로, 이를 처리할 수 있는 기술 개발이 필수적임.
- 본 기술 개발의 연구 기반이 되는 무시멘트 결합재 기술은 석산 개발 시 발생하는 석분 슬러지 고형화 기술, 제철소에서 생하는 고로슬래그를 주원료로 하는 포틀랜드 시멘트 대체재 양상화 기술, 화력발전소에서 발생하는 플라이애시를 사용한 경량골재 기술, 바텀애시를 활용한 충전소음 방지보드 제조기술 등과 연관된 응용기술임.
- 따라서, 본 제안기술은 산업부산물을 활용하여 저가의 친환경 건설재료를 생산하는 자원재활용 기술이므로, 매년 누적되어 폐기가 곤란한 상태의 산업부산물을 처리할 수 있는 새로운 방안이 될 수 있을 것으로 기대됨.

2. 규사 가격 폭등으로 인한 잔골재 수급의 어려움

- 바닷모래 채취 허용량 감소나 해외로부터 골재 수입 등 국내 천연 잔골재의 고갈로 인한 천연자원인 골재의 보존량이 지속적으로 감소하여 안정적인 수급에 차질이 있음.
- 골재는 시멘트와 함께 건설분야의 기초 재료로써 안정적인 공급이 필수이기 때문에 이를 해결하기 위한 방안이 시급한 상황임.
- 게다가 잔골재 수급의 어려움으로 인한 골재의 가격은 계속해서 증가하고 있으며, 이는 건설 단가 상승을 야기할 것으로 판단됨.
- 본 제안 기술은 기존의 천연 잔골재를 대체할 수 있는 인공 잔골재 개발 기술로써 우수하고 가격이 저렴한 것이 특징이기 때문에, 본 제안기술을 통해 건설 산업 전반에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대됨.

붙임. 참고문헌

-
- J.A. Haynes, W.B. Ledbetter, Incinerator residue in asphalt base construction Transportation Engineering Journal, Vol. 103 (September 1977), pp. 555-564 ° TE5
 - F.H. Roethel, V.T. Breslin Stony Brook's MSW combustor ash demonstration programs W.H. Chesner, T.Taylor Eighmy (Eds.), Proceedings of the Third International Conference on municipal solid combustor ash utilization (November 13-14, 1990), pp. 237-255
 - R.W. Styron, F.H. Gustin, MSW ash aggregate for use in asphalt concrete ASTM special technical publication. Proceedings of symposium on a critical look at the use of waste material, Miami (1992), pp. 129-142
 - E. Berg, J.A. Neal, Municipal waste combustor ash in concrete, W.H. Chesner, F.J. Roethel (Eds.), Proceedings of the Fifth International Conference on municipal solid waste combustor ash utilization (November 17-18, 1992), pp. 155-170
 - F.P. Glasser, Fundamental aspects of cement solidification and stabilisation, J. Hazard. Mater., 52 (1997), pp. 151-170
 - P. Filipponi, A. Polettoni, R. Pomi, P. Sirini, Physical and mechanical properties of incineration bottom ash-based cements, Waste Manage. (2001)
 - F.A. Oluokun, Fly ash concrete mix design and the water-cement ratio law, ACI Mater. J., 91 (4) (1994), pp. 362-371
 - A. Bilodeau, V. Sivasundaram, K.E. Painter, V.M. Malhotra, Durability of concrete incorporating high volumes of fly ash from sources in the USA, ACI Mater. J., 91 (1) (1994), pp. 3-12
 - P.J. Tikalsky, P.M. Carrasquillo, R.L. Carrasquillo, Strength and durability considerations affecting mix proportioning of concrete containing fly ash, ACI Mater. J., 85 (6) (1988), pp. 505-511
-

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 국토교통기술사업화지원 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

210mm×297mm[백상지(80g/㎡) 또는 중질지(80g/㎡)]