

연구결과보고서

2018년도 연구개발사업에 따라 연구중인 유동층 석탄회를 이용한 경기도내 정수장 슬러지의 경량골재 제조기술 개발 및 적용성 연구에 관한 연구의 최종보고서 초안을 붙임과 같이 제출 합니다.

붙임 : 최종보고서 10부. 끝.

연구기관 : 경기대학교 산학협력단

연구책임자 : 이 기 강 (인)

연구기관장 : 이 준 성 직인

경기녹색환경지원센터장 귀하

제 출 문

경기녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “유동층 석탄회를 이용한 경기도내 정수장 슬러지의 경량골재 제조기술 개발 및 적용성 연구”에 관한 최종보고서 초안으로 제출합니다.

연구기관명 : 경기대학교 산학협력단

연구책임자 : 이 기 강 교수(경기대 신소재공학과)

연 구 원 : 권정규, 우희수, 위영민, 이강훈, 임종민

공동연구기관명 : (주)꿈꾸는 세상

유동층 석탄회를 이용한 경기도내
정수장 슬러지의 경량골재 제조기술
개발 및 적용성 연구

이 기 강

경기녹색환경지원센터

요 약 문

I. 연구개요

현재 우리나라의 유동층 보일러를 이용한 화력발전은 원가 절감과 친환경적인 측면에서 확대되는 추세이고 이에 따른 유동층 석탄회의 배출과, 또한 상수원의 수질악화 및 상수도 보급률 증가 등으로 인한 정수슬러지 배출도 지속적으로 증가하고 있는 실정임.

하지만 유동층 석탄회의 높은 CaO 및 SO₃ 함량과, 정수슬러지의 무기성 물질 및 강력한 양이온 성분으로 인해 재활용이 불가능한 두 폐기물을 이용한 인공경량골재 제조기술을 개발하고, 이를 활용한 수처리 여재 및 또는 토목 구조물용 경량 콘크리트를 제작하여 활용 하고자 함.

II. 연구의 필요성 및 목적

- 유동층 보일러를 이용한 화력발전은 전국적으로 확대되는 추세이고 이에 따라 유동층 보일러에서 배출되는 석탄회가 증가하고 있는 실정임
 - 하지만 유동층 보일러에서 배출되는 석탄회는 높은 Free-CaO, SO₃ 함량 등으로 인해 KS 규격에 부합되지 못하고, 이러한 화학성분상의 문제 및 낮은 분말도로 인하여 콘크리트에 적용 시 배합 수량의 증가로 인한 압축강도의 하락, 유동성 저하, 팽창에 의한 균열 발생 등이 일어나 재활용이 불가능한 상황임.
- 고도정수처리시설 도입으로 인한 다량의 약품투입, 상수도보급율의 증가로 인한 정수슬러지 배출이 지속적으로 증가하고 있는 실정임
 - 정수슬러지에는 콜로이드성 물질을 제거하기 위한 강력한 양이온 성분인 Fe³⁺ 또는 Al³⁺가 함유된 응집제를 이용하여 플록을 만들어 침전지에서 침강시켜 슬러지로 배출시키고 있으며 아연, 망간, 크롬과 같은 중금속 물질도 함유되어 있음.
 - 이러한 무기물질들로 인하여 현재까지 정수슬러지의 인공경량골재화에 대한 연구가 부족한 실정임.
- 고농도의 함수율을 갖는 슬러지를 처리하기 위한 연구 필요

- 각종 폐기물을 이용한 인공경량골재에 대한 연구는 전 세계적으로 활발히 이루어져 왔으며, 그 중에서도 석탄회를 이용한 경량골재 제조기술에 대한 연구는 약 40년 전부터 시작되어 구조용·비구조용 경량골재로 상용화되어 시판되고 있으나, 그 외의 다른 폐기물을 이용한 경량골재 제조기술의 실용화는 거의 보고되어 있지 않은 실정임.
- 정수슬러지 내에 포함되어 있는 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 와 석탄회의 주성분인 CaO 와의 수화반응 및 포졸란 반응을 유도하여 고강도의 경량골재를 제조 할 수 있을 것으로 판단됨.

III. 연구의 내용 및 범위

- **석탄회 및 정수슬러지의 물리/화학적 특성 분석**
 - 유동층 석탄회와 정수슬러지의 발생 및 처리현황 조사
 - XRD(X-ray Diffraction), SEM(Scanning Electron Microscope), XRF(X-Ray Fluorescence) 분석법을 이용한 두 재료의 기초물성 평가
- **골재 발포를 위한 최적 함량비 결정 및 다양한 소성조건을 이용한 발포 mechanism 규명**
 - 골재 내부의 가스생성과 점성거동의 표면치밀화 유도를 위한 재료의 최적 함량비 결정
 - 재료 내에 있는 Fe_2O_3 를 통한 black core 현상 유도
 - 다양한 소성조건(직화소성, 승온소성)을 이용한 골재의 기공 상태 확인
- **완성된 시편의 환경위해성 및 현장적용성 평가**
 - 중금속 용출실험을 통한 위해성 평가 실시
 - 완성된 골재의 KS F 2527 규격 확인
 - 수질정화용 담체 및 경량콘크리트로써 사용가능성 평가

IV. 연구결과

- **유동층 석탄회 기초물성 분석**
 - 비정기적인 Sampling을 통해 1차, 2차, 3차분의 유동층석탄회를 여수 남동발전에서 입수.
 - 원료의 차이에 따른 peak의 크기는 다르지만, 모두 예상된 위치에 존재하였고 또한 CaO 가 다량 함유하고 있어 골재 제조를 위한 적합한 원료로 판단.

• 정수슬러지 기초물성 분석

- X-Ray Fluorescence 분석 결과 주로 금속 산화물인 알루미나(Al_2O_3)와 실리카(SiO_2), 그리고 산화철(Fe_2O_3)로 구성되어 있으며 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 의 함량비는 약 1.06을 보였음.
- 열감량 수치의 경우 약 30%로 나왔는데, 이는 정수 슬러지 내부의 유기물과 탄소 등이 포함된 조성비율이 상대적으로 높다는 것을 의미.
- TG-DTA 분석결과 360°C에서 한 번의 발열 Peak가 존재하는데, 이는 응집제 중의 유기물의 산화 반응이고, 이 산화반응에의 한 무게 감량은 TGA 분석에서 보듯이 약 600°C 까지 계속됨을 알 수 있으며, 이는 앞의 강열 감량 결과와 잘 일치함.

• 정수슬러지 소결 실험

- 정수 슬러지를 70%이상 배합 시, 인공경량골재 소결 도중 성형체가 파괴되는 현상을 보여 배합비를 70% : 30%, 60% : 40% 두 가지로 나눈 후, 1200°C이하 온도에서 실험 진행.
- 70% : 30%의 배합비에서 1150°C 이상의 온도에서 모두 1이하의 비중 값을 보였으며, 1170°C이상에서는 골재가 등유(비중 0.8)에서 뜨는 현상을 확인.
- 60% : 40%의 배합비에서는 Black Core가 발생한 1150°C에서 비중이 1이하로 감소한 것을 확인하였으며, 1170°C에서 급격한 감소를 보임(0.8 이하).

• 로타리 킬른(Rotary Kiln) 실험 방법 및 결과

- Pin mill 과 토련기를 활용한 성형체를 1150°C의 로타리킬른에서 30분의 체류시간으로 소성 진행.
- 토련기를 활용하여 제작한 인공경량골재들의 비중 값이 약 15% 높게 나왔고, 골재의 흡수율의 경우 약 5%의 높은 값을 나타내었음. 보임(0.8 이하).

V. 연구결과의 활용계획

- 폐기물 전량 재활용을 통해 전세계적인 환경문제를 저감시킬 수 있을 것으로 기대.
- 석탄회 재활용의 친환경 복합안정화 처리기술의 타당성 연구 수행을 통한 미래 수요창출 기대 효과가 있음.
- 제조된 제품을 Lab-scale 뿐만 아니라 Field test에 대한 실험 결과를 반영하여 골재의 용도에 따라 다양한 분야에 적용시키고자 함.

① 환경재료(다공성 재료)

- 수질정화용 담체 : 제조된 경량골재의 Column실험을 통해 여과재로서의 적합성을 판단하고, 고탁도의 원수 유입 시 담체로 활용 가능

② 산업재료

- 완성된 경량골재를 이용하여 경량콘크리트, 경량벽돌, 방음벽 등 다양한 산업용 재료로써 활용 가능