

화학 반응을 이용한 하수슬러지 소각재 고품화 연구

A study on solidification of sewage sludge ash by chemical activation

조 병 완* 서 석 구** 박 종 빈**
Jo, Byung Wan Suh, Suk Koo Park, Jong Bin

ABSTRACT

The discharge of sewage sludge is rapidly increasing in Korea. But the most common sewage sludge disposal alternative is to incinerate and to deposit it in controlled landfills. However, space limitations on existing landfill sites, and increasing environmental concerns have prompted the investigation of alternative ash disposal routes.

The utilization of sewage sludge ash would contribute to the elimination of an environmental problem and to the development of new high-performance materials.

The purpose of this study is to apply to Alkali Activation into solidification of sewage sludge ash. It achieves leaching test, chemical composition and compressive strength test. As a result of tests, the sewage sludge ash has sufficient potential for use of pozzolanic raw material. However, it is judge to be available to construction material if research is continuously gone.

1. 서론

현재 2004년을 기준으로 국내 하수슬러지는 하루 5,126톤이 발생되고 있다. 그러나 슬러지 처분은 대부분 탈수에 의한 매립 또는 해양투기를 통한 최종처분에 의존하고 있으나, 갈수록 매립용량과 매립지 감소추세에 있고, 해양투기의 경우 해양오염이라는 2차적인 환경문제를 유발한다. 더욱이 해양 오염 방지를 위한 런던협약에 의하여 해양투기가 수년 내 금지될 전망에 따라 최근 증가되는 소각으로 발생하는 소각재의 처리방안에 있어 새로운 기술이 모색되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 하수처리장에서 하수슬러지를 소각한 후 발생하는 하수슬러지 소각재를 건설 자재로서의 이용가능성을 평가하기 위해 850℃에서 소각되어 나온 하수슬러지 소각재의 물리적 특성 및 화학성분을 파악하였으며, 이러한 소각재를 주원료로 하여 기존 슬러지 소각재를 점토벽돌 재료의 일부로 치환하는 방법과는 달리 시멘트를 사용하지 않고, 최근 널리 알려지고 있는 Alkali Activation 기술을 이용하여 하수슬러지를 고품화하여, 이의 일축압축강도, SEM 및 유해금속 용출시험을 실시하였다.

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

**정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

2 실험개요

본 연구에서는 하수슬러지 소각재를 점토의 일부로 대체하는 기존의 실험과는 달리 하수슬러지 소각재를 Alkali Activation을 이용하여 고형화 실험을 하였으며, 생석회 및 슬래그의 함량에 따라 각각 다른 배합설계를 하여 역학적 특성을 규명하였다.

2.1 사용재료

2.1.1 하수슬러지

본 실험에 사용된 하수슬러지는 서울 S 하수처리장에서 생산된 것으로, 수분함량이 80%인 탈수케익 상태의 슬러지를 850℃에서 소각시켜 발생되어 나온 소각재를 대상으로 하였다.

표 1 하수슬러지 소각재의 화학성분

Component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Total
Weight(%)	47.05	25.28	11.28	6.72	1.23	2.72	2.5	96.78

2.1.2 알칼리 활성제 및 기타 실험재료

알칼리 활성제로 액가상 50%인 NaOH를 사용하였고, Ca(OH)₂와의 반응성을 확인하기 위해 생석회, 고로슬래그를 이용하였다. 또한 잔골재로는 비중 2.6, 조립률 2.48인 규사를 사용하였다.

2.2 실험 내용

2.2.1 하수슬러지 배합

본 연구에서 표 2에서 보는 바와 같이 점토 제품에 하수슬러지 소각재를 일부 치환하는 기존의 방법과 달리 슬러지 소각재를 주원료로 하며, Ca(OH)₂와의 반응성을 확인하기 위해 생석회 0, 10, 20, 30%, 슬래그 0, 10, 20, 30%를 치환하여 배합하였다.

배합절차는 슬러지 소각재와 잔골재 그리고 생석회를 혼합기를 이용하여 2분간 건비빔후 Activator와 소량의 물을 첨가하여 3분 혼합하였다. 혼합물을 50×50×50-mm 몰드에 성형후 각각 20℃ 실온양생과 90℃ 고온 건조양생을 실시하였다.

표 2 슬러지소각재 시험체의 혼합비

구분	생석회 치환율(%)	슬래그 치환율(%)	중량배합(g)					
			슬러지소각재	생석회	슬래그	규사	NaOH	물
SB-0-0	0	0	300	-	-	540	200	50
SB-10-0	10	0	270	30	-	540	200	50
SB-20-0	20	0	240	60	-	540	200	50
SB-30-0	30	0	210	90	-	540	200	50
SB-30-10	30	10	180	90	30	540	200	50
SB-30-20	30	20	150	90	60	540	200	50
SB-30-30	30	30	120	90	90	540	200	50

SB-X-Y : X 생석회 치환율, Y 슬래그 치환율

각 금시체 20℃, 90℃ 양생

3. 결과 및 분석

본 하수슬러지 소각재의 유해물질 함유량을 파악하기 위해 폐기물 공정 시험법에 의거 유해금속 용출시험을 실시 한 결과 표 3에서 알수 있는바와 같이 모든 평가 항목에서 유해물질 함유량이 거의 없거나 기준치 이하로 나타났다.

표 3 유해금속 용출시험 결과

시험항목	납(Pb)	구리(Cu)	비소(As)	수은(Ag)	카드뮴(Cd)	크롬VI(Cr VI)	시안(CN)	유기인	TCE	PCE	강열감량
시험결과	ND	ND	ND	<0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.5%

ND : Not Detected

생석회 및 슬래그의 치환율에 따른 공시체의 압축강도 변화는 그림 1,2와 같다. 그림 1,2에서 치환율에 따른 압축강도를 살펴보면 생석회 및 슬래그의 치환율이 높은 시험체일수록 치환율이 낮은 공시체에 비해 높은 압축강도를 가지는 것으로 나타났다. 즉 90℃ 고온 양생의 경우 슬러지만으로 배합한 경우 시험체의 압축강도는 4.08MPa 인데 반해 생석회, 슬래그 치환율이 30%인 시험체의 경우 압축강도는 28.34MPa에 달한다. 그러나 20℃ 실온 양생의 경우 그 압축강도의 증가가 완만하다. 즉 높은 온도일수록 강도발현에 유리한 것으로 판단된다.

본 실험에서 사용된 하수 슬러지 소각재는 SiO₂ 함량이 40%이상이며, CaO-SiO₂-Al₂O₃ 3성분계적으로 볼 때 CaO 가 10%이하인 "class F" 플라이 애쉬와 유사하여 포졸란으로서의 충분한 잠재력을 갖는 것으로 판단된다. 따라서 수경화를 위해서는 외부로부터 직접 또는 간접으로 석회질 재료가 공급될 필요가 있음을 알 수 있다. 알칼리 활성화한 슬러지 소각재는 해면질의 유리와 멀라이트가 부식하여 섬유질의 수화물사이 표면에 존재하는 아교질 수화생성물로 덮여 있다. 그 반응 생성물은 mullite 결정체를 가지는 것으로 보인다. 그림 3, 4, 5와 같이 생석회와 이렇게 슬러지 소각재 입자의 표면으로부터 입자 내부로 반응이 진행되면서 입자 주위에 수화물이 생성되고 슬러지 소각재는 수화물로 둘러싸이게 된다. 즉 생석회와 슬래그를 혼합하지 않는 시험체 보다 생석회와 슬래그를 혼합한 시험체의 조직이 치밀함을 알 수 있다. 이는 XRD의 실험 결과에서도 나타난다. 즉 슬러지 소각재 입자의 표면에서부터 입자 내부로 반응이 진행되면서 입자 주위에 수화물이 생성하게 되고 슬러지 소각재는 수화물로 둘러싸이게 된다. 이 수화물이 서로 결합하면서 슬러지 소각재 입자 사이가 수화물로 채워지고 굳어지는 반응을 통해 강도를 가지는 것으로 판단된다.

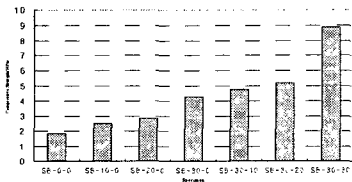


그림 1. 20℃ 양생 압축강도

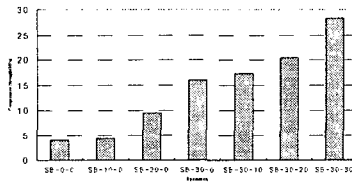


그림 2. 90℃ 양생 압축강도

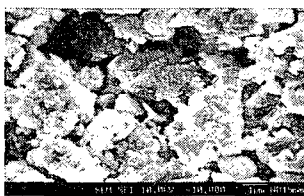


그림 3. SB-0-0

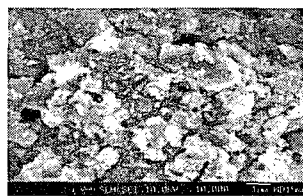


그림 4. SB-30-0

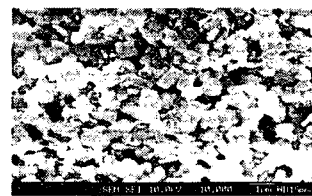


그림 5. SB-30-30

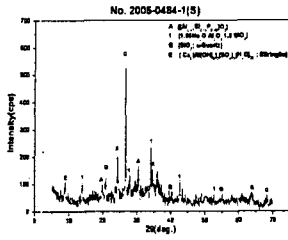


그림 6. SB-0-0

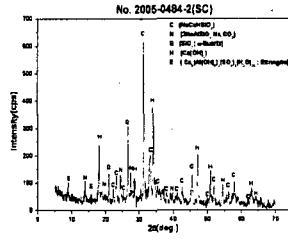


그림 7. SB-30-0

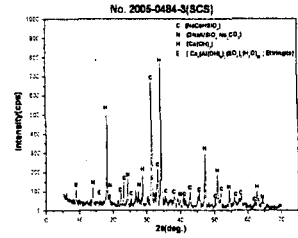


그림 8. SB-30-30

제4장 결 론

본 연구에서는 하수슬러지 소각시 발생하는 소각재에 대하여 화학성분을 분석하고 알칼리 활성화에 따른 슬러지 소각재 mortar의 압축강도, SEM, XRD 및 유해금속 용출시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 생석회 및 슬래그 치환율에 따른 압축강도 시험결과 생석회, 슬래그를 각각 30%로 치환한 시험체가 가장 높은 압축강도 나타내었으며, 이는 생석회와 슬래그의 치환으로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와의 반응성을 크게하고 실리카의 용해속도를 증가시킨 것으로 판단된다.
2. 알칼리 활성제를 이용한 하수슬러지 소각재의 mortar에서 양생온도는 가장 중요한 요소이다. 높은 양생온도는 슬러지 소각재의 반응을 활성화시켜 높은 강도 발현에 유리한 것으로 나타났다.
3. 화학 조성상 슬러지 소각재는 발전소의 플라이애시와 유사한 포졸란에 속한다. 따라서 연소 온도등 알칼리 활성화에 대한 연구를 통해 슬러지 소각재를 충분히 양질의 포졸란으로 자원화 할 수 있으며 이를 이용하여 건설소재를 개발 할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 본 실험을 통해 하수슬러지 소각재는 건설용 재료로서의 사용이 어느정도는 가능할 것으로 생각되나, 앞으로 건조수축, 크리프, 동결융해 등의 더 많은 실험들이 수행되어야 본격적인 구조재료로서 사용이 가능하리라 판단된다.

참고문헌

1. 장복기, 김윤호(1996), "하수슬러지 유동층 연소재의 포졸란 특성에 관하여" 한국폐기물 학회집, Vol.13, No.3, 386~392
2. 권기흥, 서유덕(2002), "고형화방법에 따른 하수슬러지 고화체의 물성분석" 환경관리학회집, Vol. 8, No.3 217~222
3. D.M Roy, M.R silsbee, Alkali activated cementitious materials: An over review, mater. Res. Soc. Symp. Proc, 245
4. Shih-Cheng Pan, and Dyi-Hwa Tseng. "Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties", journal of Cement and Concrete Research 33, 2003