

하수슬러지 소각재를 이용한 건설자재 개발에 관한 연구

A Study on Development of Construction Material using Sewage Sludge Ash

조 병 완^{*}, 신 경 철^{**}, 박 중 빈^{***}
Jo, Byung-Wan, Shin, Kyung-Chul, Park, Jong-Bin

ABSTRACT

The discharge of sewage sludge ash that is rapidly increasing in Korea. The utilization of sewage sludge ash would contribute to the elimination of an environmental problem and to the development of new high-performance materials. So the paper is focused on an experimental study in order to investigate the utilization of sewage sludge ash as the construction materials. 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 judged to be available to construction material if research is continuously gone.

1. 서론

산업의 발달과 국민의 생활수준 향상 등으로 도시하수 및 폐수처리에서 발생하는 슬러지의 양은 계속하여 증가하고 있으며 현재 2004년을 기준으로 국내 하수 슬러지는 하루 5,216톤이 발생되고 있는 실정이다. 국내의 슬러지 처분은 대부분 탈수에 의한 매립 또는 해양투기를 통한 최종처분에 의존하고 있으나 갈수록 매립용량과 매립지 감소추세에 있고, 해양투기의 경우 해양오염이라는 2차적인 환경문제를 유발하며, 더구나 해양 오염방지를 위한 런던협약에 의하여 해양투기가 수년 내 금지될 전망이다. 이러한 매립처분에 있어 증가하는 비용과 발생하는 환경문제에 따라 최근 소각기술이 증가하고 있어 소각에 따라 발생하는 소각재의 처리방안에 있어 새로운 기술이 모색되어야 한다. 이러한 목적에 부합되는 하나의 대안으로 슬러지 소각재를 이용한 건설자재 생산이다. 따라서 본 연구에서는 하수처리장에서 하수슬러지를 소각한 후 발생하는 하수슬러지 소각재를 건설 자재로서의 활용방안을 연구하였다.

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수
** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

2. 실험 및 실험방법

2.1 실험 재료

서울 S 하수처리장에서 수분함량이 80%인 탈수케의 상태의 슬러지를 850℃(포졸란으로 활용키 위한 최적온도)에서 소각시 발생되어 나온 소각재를 대상으로 하였다. 실험에 사용된 하수슬러지 소각재의 화학적 조성은 표1과 같다. 화학성분상 슬러지 소각재는 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 3성분계적으로 볼 때 CaO 10% 이하인 “class F”(ASTM) 플라이 애쉬와 유사하다. Activator로 사용된 NaOH는 액상 50% 수용액을 사용하였고, 잔골재로는 비중 2.6, 조립률은 2.48인 규사를 사용하였다.

표 1. 슬러지 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

2.2 실험 변수 및 방법

용출율을 산정하기 위해 폐기물 공정 시험법에 의거하여 실시하였으며, 또한 압축강도 측정을 위해 본 실험은 시멘트 혹은 점토 제품에 하수슬러지 소각재를 일부 치환하는 기존의 방법과 달리 슬러지 소각재를 주원료로 하며, Ca(OH)₂와의 반응성을 확인하기 위해 생석회를 0, 10, 15, 20%를 치환하였다. 또한 반응에서 가장 중요한 요소인 알칼리 활성제로 액상 50%인 NaOH 용액을 사용하여 시험체를 제작하였다. 표2는 슬러지 소각재 시험체의 제작에 사용된 중량 배합을 나타낸 것이다. 실험 방법으로 슬러지 소각재와 잔골재 그리고 생석회를 혼합기를 이용하여 2분간 건비빔후 activator와 소량의 물을 첨가하여 3분간 혼합하였다. 혼합물을 50×50×50-mm 몰드에 성형 후 20℃ 실온양생, 90℃ 고온 건조 양생을 실시하였다.

표2. 슬러지소각재 시험체의 혼합비

구분	생석회 치환율(%)	중량 배합(g)					
		슬러지소각재	생석회	규사	NaOH	물	압축강도(kgf/cm ²)
SB-0-20	0	300	-	540	200	50	18
SB-0-90	0	300	-	540	200	50	41.1
SB-10-20	10	270	30	540	200	50	24.6
SB-10-90	10	270	30	540	200	50	43.6
SB-15-20	15	255	45	540	200	50	28.2
SB-15-90	15	255	45	540	200	50	93.2
SB-20-20	20	240	60	540	200	50	42.1
SB-20-90	20	240	60	540	200	50	151

2.3 실험 분석

실험변수에 따라 표3과 같이 각각의 배합비에 대해 각주형 공시체(50×50×50mm)를 제작하여 압축 강도 KS L 2405에 의해 측정하였다. 그 결과로 생석회 치환율, 양생 온도에 따른 반응을 규명하고자 하였다.

3. 실험 결과

3.1 용출시험

용출시험 결과 유해물질이 기준치이상 함유되어 있으면 지정폐기물로 취급되어 재활용이 불가능하게 된다. 본 하수슬러지 소각재의 유해물질 함유량을 파악하기 위해 폐기물공정 시험법에 의거 실시한 용출시험 결과는 표 3과 같다. 표 3에서 알 수 있는바와 같이 모든 평가 항목에서 유해물질 함유량이 거의 없거나 기준치 이하로 나타났다. 따라서 건설소재의 활용으로 인한 환경적인 문제는 없을 것으로 판단된다.

표 3. 유해금속 용출시험 결과

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

3.2 압축강도

생석회 치환율과 양생 조건에 따른 공시체의 압축강도 변화는 그림3, 4와 같다. 그림4에서 치환율에 따른 압축강도를 살펴보면 생석회의 치환율이 높은 공시체 일수록 치환율이 낮은 공시체에 비해 높은 압축강도를 가지는 것으로 나타났다. 즉 90℃ 고온 양생의 경우 생석회 치환율이 0%인 시험체의 압축강도는 40kgf/cm² 인데 반해 생석회 치환율이 20%인 시험체의 압축강도는 151kgf/cm²이다. 그러나 20℃ 실온양생의 경우 그 압축강도의 증가가 완만하다. 양생온도에 따른 압축강도의 변화를 살펴보면, 90℃ 고온건조 양생한 시험체가 다른 양생조건의 시험체 보다 높은 강도를 나타낸다. 생석회를 20%로 치환한 같은 시험체라도 20℃에서 양생한 경우와 90℃에서 양생한 경우 42.1kgf/cm², 151kgf/cm²와 같은 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 그림 4에서 시험체 SB-20-90의 압축강도는 150kgf/cm²이상을 보이고 이는 표4 KS L 1597 블록의 압축강도 기준치 100kgf/cm²이상을 만족하고 있다.

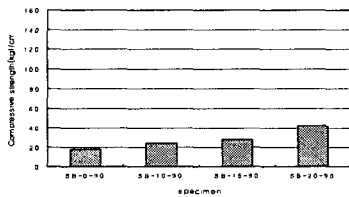


그림 3. 20℃양생시 압축강도

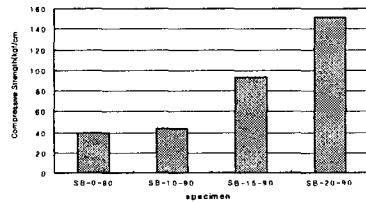


그림 4. 90℃양생시 압축강도

표4. 블록의 압축강도 KS L 1597

전체 단면적에 대한 압축강도(kgf/cm ²)		
세로구멍 블록		가로 구멍 블록
기본 블록	가로근용 블록	
100	60	60

3.2 포졸란 반응

본 실험에 사용된 슬러지 소각재는 SiO₂ 함량이 40%이상이며, CaO-SiO₂-Al₂O₃ 3성분계적으로 불

때 CaO가 10% 이하인 “class F” 플라이 애쉬와 유사하다. 따라서 기존의 알칼리 activation 원리를 슬러지에 응용하기 위하여, Ca(OH)₂와의 반응성을 증가시키고 실리카의 용해속도를 증가시키기 위해 NaOH 및 CaO를 사용하였다. 실험의 결과에서 보듯이 화학조성상 본 슬러지 소각재는 포졸란으로서의 충분한 잠재력을 갖고 있는 것으로 판단되었으며 수경화를 위해서는 외부로부터 직접 또는 간접으로 석회가 공급될 필요가 있음을 알 수 있다. 알칼리 활성화한 슬러지 소각재는 해면질의 유리와 멀라이트가 부식하고, 섬유질의 수화물 사이에서 표면에 많은 아교질 수화생성물로 덮여 있다. 그 반응 생성물은 mullite 결정체를 가지는 것으로 보인다. 이렇게 슬러지 소각재 입자의 표면에서부터 입자 내부로 반응이 진행되면서 입자 주위에 수화물이 생성하게 되고 슬러지 소각재는 수화물로 둘러싸이게 된다. 그리고 이 수화물이 서로 결합하면서 슬러지소각재 입자 사이가 수화물로 채워지고 굳어지는 반응을 통해 강도를 가지는 것으로 판단된다. 하지만 많은 환경적인 문제와 추가적인 역학적 특성에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 하수 슬러지 소각시 발생하는 소각재에 대하여 화학성분 분석 및 유해금속 용출시험을 실시하고 알칼리 활성화에 따른 슬러지 소각재 mortar의 압축강도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화학조성 시험 결과 하수 슬러지 소각재는 CaO 10%이하인 “class F” 플라이 애쉬와 유사하며 용출시험 결과 모든 평가 항목에서 유해물질 함유량이 거의 없거나 기준치 이하로 나타남으로서 일반 폐기물로 분류 할 수 있다.
2. 생석회 치환율에 따른 압축강도 시험 결과 슬러지 소각재의 20%를 생석회로 치환한 경우가 가장 높은 압축강도를 나타내었다. 90℃에서 7일 양생한 시험체는 151kgf/cm²의 압축강도를 가지며 이는 블록의 압축강도 기준치를 만족하여 대체소재로서 가능성을 확인하였다.
3. 화학 조성상 슬러지 소각재는 발전소의 플라이 애쉬와 유사한 포졸란에 속한다. 따라서 연소 온도 등 알칼리 활성화에 대한 연구를 통해 슬러지 소각재를 충분히 양질의 포졸란으로 자원화 할 수 있으며 앞으로 건조수축, 크리프, 동결융해 등의 많은 내구성 실험들을 통해 건설용 구조재료로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. D.M Roy, M.R Silsbee, Alkali activated cementitious materials: An over review, mater. Res. Soc. Symp. Proc.,245
2. Lin, D. F., and Weng, C H. “Use of Sewage Sludge Ash as Brick Material”, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 127. No, pp 922~927
3. A. palomo, M.W.Grutzeck, M.T. Blanco, Alkali-activated fly ashes A cement for the future cement and concrete research 29(1999)