

# 소각재 사용 모르타르중의 중금속 이온 용출에 대한 연구

## Leaching of Heavy Metal Ions in Mortar Using Municipal Waste Incinerator

문 대 중\* 임 남 웅\*\*  
Moon, Dae Joong Lim, Nam Woong

### ABSTRACT

FAs and BAs indicated different chemical compositions and physical properties. Leaching of Pb in FA1 and Cu in FA2 were 33.2mg/L and 5.92mg/L, these were high concentration above 30 and 2 times respectively in compared to permit level. Leaching of Hg and Cr were about 1/2 of permit level.

When diatom was complexly mixed with portland cement, the 28 days compressive strength of mortar with FA2 was similar with that of control mortar. Furthermore, leaching of heavy metal ions like as Pb, Cu, Hg, Cr was highly reduced.

### 1. 서론

쓰레기 토양매립 및 해양투기 등이 규제됨에 따라 전국 소각장에서 발생하는 소각재가 증가하고 있으며, 이를 재활용하려는 노력이 진행되고 있다. 그러나, 소각재 중에는 인체에 유해한 중금속이 함유하고 있어 새로운 환경문제로 대두되고 있으므로 소각재에 대한 적정처리가 시급한 선결과제이다.

본 논문에서는 쓰레기 소각장에서 발생하는 소각재 중의 중금속이온 용출 및 품질특성을 검토하고, 소각재를 사용하여 제조한 모르타르에서의 중금속 이온 용출특성과 아울러 강도특성을 고찰하였다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 사용재료

시멘트는 비중이 3.15인 보통포틀랜드시멘트(NPC)를 사용하였으며, 포졸란 재료는 규조분말(D<sub>650</sub>)을 사용하였다. 잔골재는 주문진산 표준사를 사용하였다. 소각재는 서울 및 경기지역의 소각장에서 수

\* 정희원, (주)동양이엔씨 기술연구소 책임연구원

\*\* 정희원, 중앙대학교 건설대학원 환경공학과 교수

집한 것으로 비산재(Fly Ash 또는 FA) 4종류 및 바닥재(Bottom Ash 또는 BA) 3종류를 사용하였다.

## 2.2 실험방법

화학성분은 XRF(Phillips사, PW1400)를 이용하여 분석하였으며, 입형 및 조직은 SEM(JEOL Ltd, JSM-6400)를 사용하여 촬영하였다. 비산재 및 모르터 중의 중금속 이온 용출 시험은 TLCP법에 따라 중금속을 용출시킨 후, 원자흡광 분석기를 이용하여 실시하였다. 5×5×5cm의 모르터 공시체를 제작하여 20±1℃의 수중에서 양생한 후, 재령 7 및 28일에 KS L 5105 에 준하여 압축강도를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 소각재의 품질 및 용출특성

소각재중 FA1 및 BA1의 X-Ray 회절분석결과를 나타낸 것이 그림 1 및 그림 2이다. FA1의 주성분은 NaCl, KCl, CaClOH이며, 미량의 CaCO<sub>3</sub>, Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>10</sub>로 나타났으며, BA1의 주성분은 SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>이었으며, 그 이외에 CaNa(SiAl)<sub>4</sub>O<sub>8</sub> 및 KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>를 나타내었다. 바닥재의 화학조성은 주로 석영과 장석으로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 또한, 소각재의 화학조성은 소각재의 종류 및 소각방식에 따라 차이가 있으며, 비산재 중 FA1은 스토커 방식에 의한 소각처리 방식, 나머지 비산재는 유동상 소각 방식에 의한 처리방법으로 생각된다.

소각재중의 중금속 이온의 용출시험결과를 정리한 표 1로서 비산재 및 바닥재 중에는 Pb와 Cu성

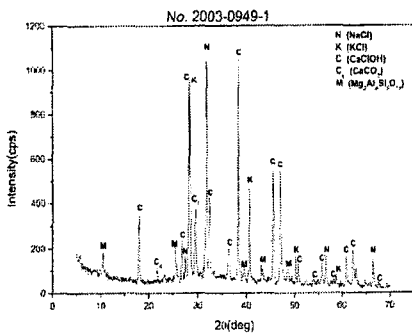


그림 1 FA1의 X-Ray 회절 분석결과

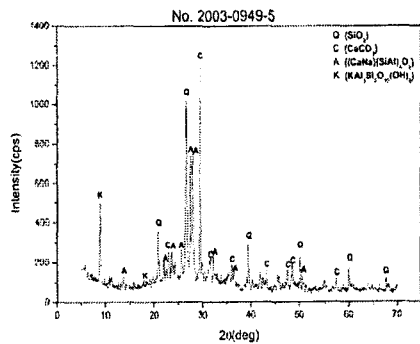


그림 2 BA1의 X-Ray 회절 분석결과

표 1 소각재중의 중금속 용출량 (mg/L)

Components	Permit level	Fly Ash				Bottom Ash		
		FA1	FA2	FA3	FA4	BA1	BA2	BA3
Pb	3.00	33.2	0.648	2.84	0.127	149.0	34.4	1.49
Cu	3.00	0.142	5.92	2.87	1.20	0.703	0.285	0.47
Hg	0.005	0.0033	0.0017	0.0015	0.0006	0.0033	0.0022	0.02

분이 허용치 이상 함유되고 있었으며, Hg 용출량도 허용치의 1/2에 가까운 값을 함유하고 있어 소각재를 재활용하기 위해서는 이들 중금속 이온을 고정화 및 안정화 시키는 것이 필요하다.

### 3.2 소각재 사용 모르타르의 용출특성

비산재 혼합 모르타르 중에 함유되어 있는 Pb 및 Cu 이온의 용출량을 측정하여 정리한 것이 그림 3 및 그림 4로 Pb 및 Cu의 허용기준값 이하로 검출되어 소각재 중의 Pb 및 Cu 이온의 용출량과 비교하여 볼 때, 시멘트와 포졸란재료에 의해 고정화 및 안정화하는 효과가 큼을 알 수 있다. 이는  $AsO_3^{2-}$ ,  $AsO_4^{3-}$  등의 음이온이  $C_4AH_n$  수화물에 치환되며,  $C_3S$  수화시  $CaCrO_4 \cdot H_2O$ 와  $C_3A$  및  $C_4A \cdot \bar{S}$  수화시 모노설페이트(monosulfate) 수화물 치환에 의한 중금속이 이온이 고정화/안정화되어 용출량이 감소되었다고 생각된다.

이상과 같이 비산재를 혼합한 모르타르에서 용출되는 중금속 이온의 용출량을 검토해 본 결과, 비산재의 종류에 따라 차이가 있었으나, 비산재를 시멘트와 규조토로 안정처리하므로써 환경기준의 허용값을 초과하지 않음을 알 수 있었다. 즉, 비산중에 존재하는 중금속 이온들이 시멘트 및 규조분말에 의해 고정화 및 칼슘실리케이트 수화물로 전이됨에 따라 중금속 용출이 현저히 저감되는 것으로 생각된다.

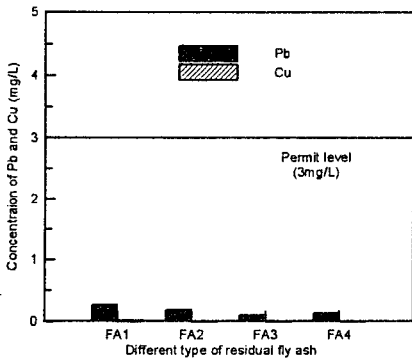


그림 3 비산재 사용 모르타르의 중금속 이온 용출량

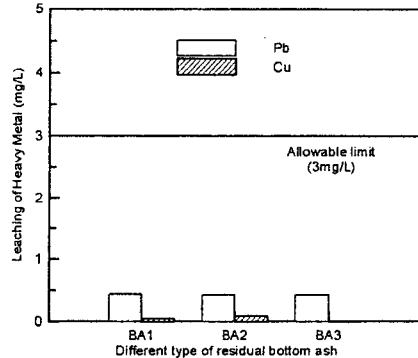


그림 4 바닥재 사용 모르타르의 중금속 이온 용출량

### 3.3 소각재 사용 모르타르의 강도특성

비산재 FA1을 혼합한 모르타르의 규조토 혼합비율에 따른 압축강도를 정리한 그림 5이다. 비산재 FA1을 혼합한 모르타르의 재령 7일 압축강도는 규조토 혼합비율에 따라 큰 차이는 없었으며, 규조토 혼합비율 20%의 경우 140kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 기준모르타르의 7일 압축강도에 비하여 약 40% 정도밖에 발생되지 않았다. 이는 사진 1에서 보는 바와 같이 규조토의 활성반응에 의한 칼슘실리케이트 수화생성물이 생성되었으며, 미수화 비산재가 반응하여 판상의 입상생성물로 만들어져 내부조직이 치밀해졌기 때문으로 생각된다.

그림 6은 바닥재를 혼합한 모르타르의 바닥재 종류별 모르타르의 압축강도를 정리한 것으로 모르타르의 압축강도는 바닥재의 종류에 따라 약간 차이가 있으나, 기준모르타르에 비하여 약 80% 이상의 강도발현을 나타냄을 알 수 있었다. 사진 2는 BA1을 혼합한 모르타르의 수화조직을 나타낸 사진으로 판상입자가 뭉쳐져 있는 수화물과 침상수화물인 에트링가이트 수화물을 보이고 있다.

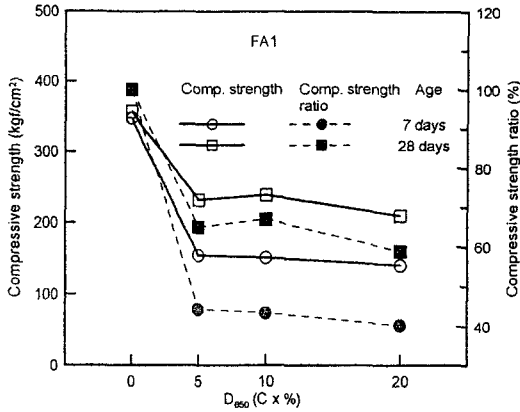


그림 5 비산재 FA1을 혼합한 모르터의 압축강도

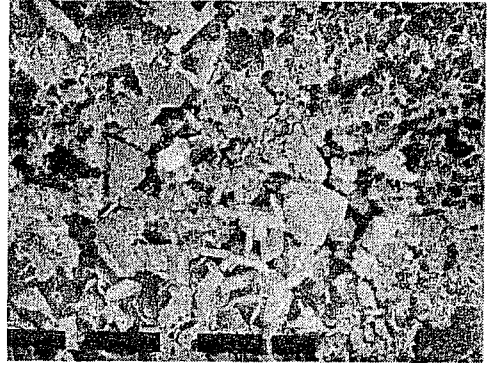


사진 1 FA1의 SEM (FA1, 규조토 10%, ×1000)

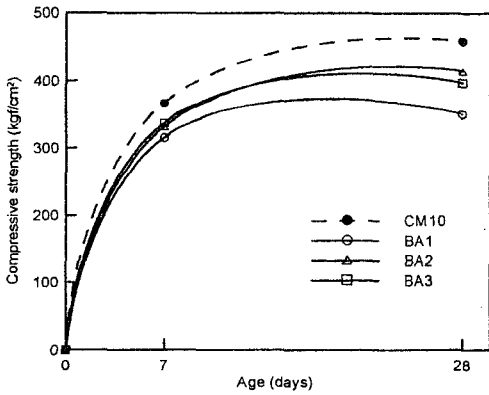


그림 6 바닥재 종류별 모르터의 압축강도

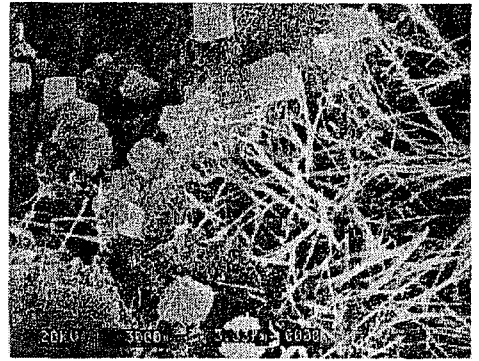


사진 2 BA1의 SEM (규조토 10%, ×1000)

#### 4. 결론

- 1) 소각재의 품질의 소각재의 종류 및 소각방식에 의해 영향을 받으며, 소각재중에는 Pb 및 Cu 중금속 이온의 용출량이 허용기준을 초과하였으며, Hg 용출량도 허용기준의 1/2을 나타내었다.
- 2) 시멘트와 규조토를 혼합하므로써 소각재를 혼합한 모르타르의 중금속 이온은 시멘트 및 규조토에 의해 고정화 및 칼슘실리케이트 수화물로 전이됨에 따라 환경기준의 허용값을 초과하지 않았다.
- 3) 소각재를 혼합한 모르타르의 압축강도는 소각재를 혼합하지 않은 모르타르에 비하여 작게 나타났으나, 바닥재를 혼합한 경우 규조토분말을 혼합하므로써 규조토의 활성화반응에 의한 칼슘실리케이트의 수화생성물이 형성되어 기준모르타르의 압축강도의 80%를 발휘하였다.