

Hauyne 클링커에 의한 생활폐기물 소각 비산재의 고화 특성

한기천, 유광석, 엄남일, 조계홍, 조희찬*, 안지환
한국지질자원연구원
*서울대학교

Solidification of municipal solid waste incineration fly ash by hauyne clinker

Gi-Chun Han, Kwang-Suk You, Nam-Il Um, Kye-Hong Cho, Hee-Chan Cho*, Ji-Whan Ahn
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
*Seoul National University

요 약

본 연구에서는 OPC 및 hauyne 클링커의 비산재에 대한 고화특성을 검토하였다. 비산재에 대해 OPC 및 OPC에 hauyne 클링커를 20%까지 대체하였을 때의 압축강도, 길이변화율, 중금속 용출량 등을 조사하였다. 결과로서, hauyne 클링커의 첨가량에 따라 고화체의 압축강도가 증가하였다. hauyne 클링커의 첨가량은 10%내외가 적합하였으며, 그 이상에서는 길이변화율이 증가하며 팽창하였다. 고화체의 중금속 용출시험결과 모든 배합조건에서 환경기준치이하의 값을 나타내었다.

1. 서 론

한국에서의 생활폐기물 소각 비산재의 발생량은 2003년 기준 약 64,000천톤으로 주로 고품화 후 매립처분되고 있으며, 폐기물 1m³당 시멘트 150kg과 불용출제를 혼합하여 수화반응에 의한 단순고화를 하였으나, 작업성이 나쁘고 적용 폐기물에 한계가 있기 때문에 고품화 시설의 가동률이 매우 낮은 실정이다.

유해 무기 폐기물을 무해화시키는 방법으로 고품화/안정화 방법이 주로 이용되고 있는데, 고품화란 단단하지 못한 물질, 즉 슬러지, 분진 또는 이의 조합체 등의 유독물질에 충분한 양의 고화제를 첨가하여 고형물질을 형성시키는 공정이다. 여러 가지의 고품화 방법 중에서 시멘트에 의한 고품화는 다른 고품화법에 비해 가장 경제적인 뿐만 아니라, 시멘트의 무기/화학적 특성으로 중금속 및 유독물질의 고품화에 적합하기 때문에 가장 폭넓게 이용되고 있다. 그러나, 포틀랜드 시멘트를 이용하여 폐기물을 고품화할 경우 각종 무기염류 및 유기물이 칼슘 이온과 반응하여 불용성 화합물을 형성하고 그 생성물이 시멘트입자의 표면을 피복시켜 이후의 반응이 진행되지 못해 수화반응이 저해되는 단점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 보통 포틀랜드 시멘트에 특수 클링커로서 조강성과 고강도 특성을 가지며, 중금속 안정화 특성이 우수한 hauyne 클링커의 적용성을 검토하였다. 폐기물의 10~30%를 시멘트로 치환하여 공시체를 제작하고 재령별 압축강도, 길이변화, 중금속 용출 등 고화성능을 파악하였다.

2. 시료 및 실험방법

1) 시료 및 원료

비산재 시료는 경기도 I 지역에 위치한 생활 폐기물 소각장에서 발생된 비산재(이하 I 비산재)를 사용하였다. 채취된 시료는 밀봉된 상태로 실험실로 운반하여 100±5℃에서 건조시킨 후 데시케이터에서 보관하여 각 실험의 시료로 사용하였다. 각 비산재의 중금속 용출시험결과 Pb만이 환경규제치를 초과한 7.42mg/L였다.

고화재로 사용된 hauyne 클링커의 화학분석값 및 광물 조성은 Table 1과 같다. hauyne의 분말도는 6,000 blaine(cm²/g)이었다.

Table 1. Chemical and mineral composition of hauyne clinker used in this study

Sample	Chemical composition(%)										Mineral composition(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI	f-CaO	C ₄ A ₃ S	C ₂ S	C ₄ AF	CaSO ₄
hauyne	7.3	36.0	1.3	40.6	1.2	0.6	0.1	11.8	0.7	0.2	70.0	21.0	4.0	4.5

2) 실험방법

비산재와 고화재의 비는 8:2로 고정하고 결합재의 총량 20%중에서 hauyne 클링커 첨가량을 0, 15, 30%로 변화시키며 Table 2의 배합조건으로 압축강도, 길이변화, 중금속 용출농도를 측정하였다. 비산재 고형화를 위해 사용한 hauyne 클링커는 무수석고와의 배합비에 따라 A(무수석고 30%), B(무수석고 15%), C(무수석고 0%)로 나누어 실험하였는데, 이는 소각재 중의 SO₃ 함량이 높아 적정 무수석고 사용량을 새롭게 결정할 필요가 있기 때문이다.

Table 2. Mix design of fly ash and binder

Mixing ratio(wt.%)				
OPC	hauyne A	hauyne B	hauyne C	fly ash
20	-	-	-	80
17	3	-	-	
14	6	-	-	
17	-	3	-	
14	-	6	-	
17	-	-	3	
14	-	-	6	

각 결합재에 대한 압축강도 및 투수성 시험은 Table 1의 배합비에 따라 배합하여 KS L 5105에 준하여 공시체를 제작한 후 3일, 7일, 28일 양생하여 압축강도를 측정하였고, 길이변화율은 양생 1주, 2주, 6주 경과 후 측정하였다.

각 공시체의 중금속 용출 시험은 공시체를 5mm 이하로 파쇄하여 폐기물공정시험법에 의한 중금속 용출시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 압축강도

Fig. 1은 시멘트와 hauyne 클링커를 결합재로 사용하여 재령별로 강도측정을 한 결과로서, hauyne 클링커 사용량이 증가함에 따라 고화강도는 증가하는 경향을 보이지만 hauyne C(무수석고 0%)의 15% 사용배합은 강도가 오히려 감소하였다. 또한 hauyne 클링커에 무수석고 사용량이 증가할수록 고화강도가 증가하였다.

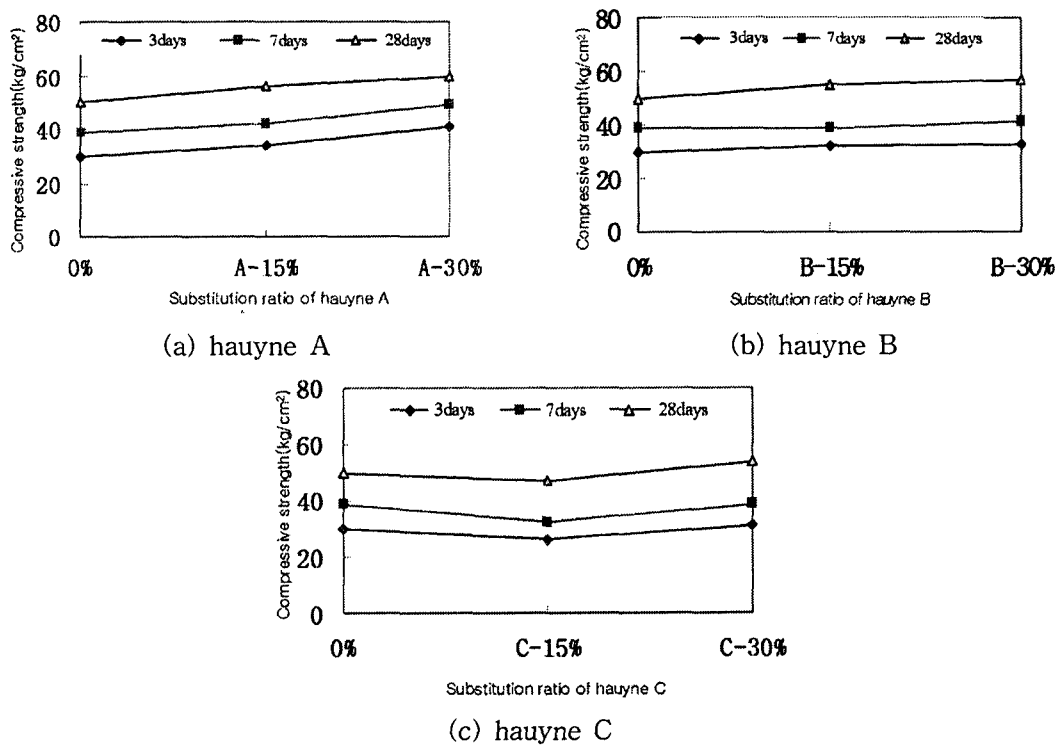


Fig. 1. Compressive strength according to mixing ratio.

2) 길이변화

Fig. 2는 시멘트에 hauyne 클링커를 사용한 경우 양생 후 길이 변화를 나타낸 것으로 Y축은 변형량을 나타낸 것으로서 '0'을 기준으로 하여 +값은 팽창, -값은 수축을 나타내고 있으며, X축은 재령을 나타낸 것이다. 길이변화 측정결과에서 Y축 값이 큰 경우, 팽창이 큰 경우이므로 균열이 발생할 수 있다. 비산재를 시멘트 단독으로 고화한 경우는 과다 팽창으로 인해 공시체의 파괴가 발생되었다. 그러나 시멘트에 hauyne 클링커를 적정량 첨가할 경우에는 팽창율이 크게 억제되었다. 이는 hauyne 클링커의 조강특성이 비산재의 고화체의 불안정성을 조기에 안정화시킨 결과로 판단된다.

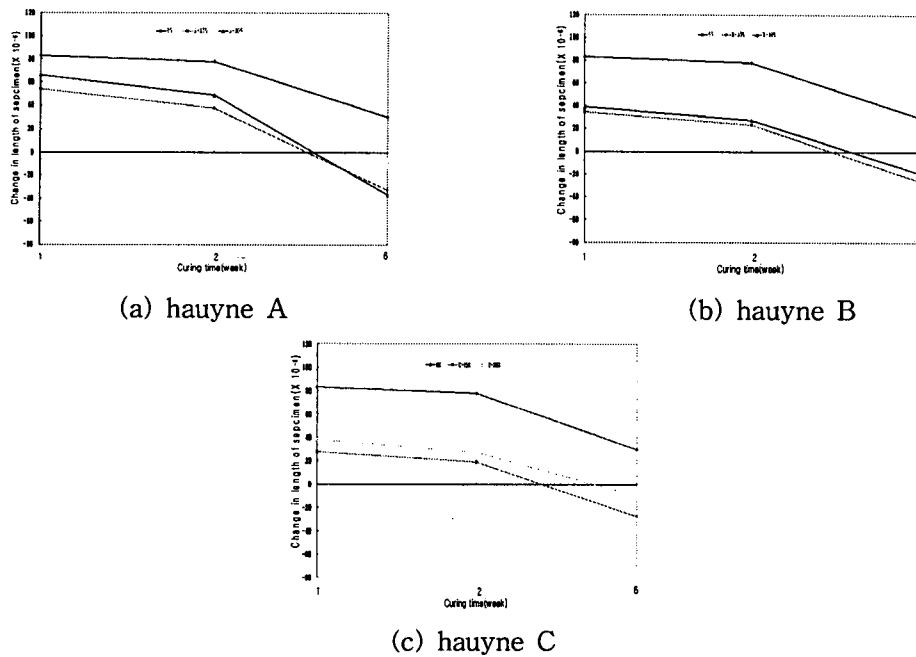


Fig. 2. Change in length according to mixing ratio.

3) 중금속 용출 시험 결과

Table 3은 각 공시체의 중금속 용출시험 결과로서, 소각재 원시료에서는 Pb가 환경기준을 2배이상 초과하고 있었으나, 시멘트 고형화시 Pb는 원시료의 10% 이내, 환경기준의 약 15%만이 검출되었다. 또한 시멘트 사용의 경우 사용량이 10%에서 20% 상승시 Pb의 검출량은 약 50%로 감소하여 시멘트 사용량이 증가할수록 중금속 고정화 능력이 상승함을 알 수 있었다.

Table 3. Result of leaching test for each specimen

Mixing ratio of binder(wt.%)					Concentration of heavy metals(mg/L)			
OPC	A	B	C	Fly ash	Cr ⁺⁶	Cu	Cd	Pb
-	-	-	-	100	ND	0.95	ND	7.42
10	-	-	-	90	ND	ND	ND	0.81
20	-	-	-	80	ND	ND	ND	0.48
30	-	-	-	70	ND	ND	ND	0.45
-	-	-	-	80	ND	ND	ND	0.49
-	-	-	-	80	ND	ND	ND	0.41
17	3	-	-	80	ND	ND	ND	0.44
17	-	3	-	80	ND	ND	ND	0.39
17	-	-	3	80	ND	ND	ND	0.31
14	6	-	-	80	ND	ND	ND	0.49
-	3	-	-	80	ND	ND	ND	0.55
Environmental criteria					1.5	3.0	0.3	3.0

ND : Not Detected

4. 결 론

1. 시멘트와 hauyne 클링커를 결합재로 사용하여 재령별로 강도측정을 한 결과, hauyne 클링커 사용량이 증가함에 따라 고화강도는 증가하는 경향을 보였다. 또한 hauyne 클링커에 무수석고 사용량이 증가할수록 고화강도가 증가하였다.
2. 비산재를 시멘트 단독으로 고화한 경우는 과다 팽창으로 인해 공시체의 파괴가 발생되었다. 그러나 시멘트에 hauyne 클링커를 첨가할 경우에는 팽창율이 억제되었으며, hauyne에 대한 무수석고의 혼합량이 15%일 때, 가장 낮은 길이변화율을 나타내었다.
3. 고화체의 중금속 용출시험결과, 소각재 원시료에서는 Pb가 환경기준을 2배이상 초과하였으나, Pb는 원시료의 10% 이내, 환경기준의 약 15%만이 검출되어 고화재에 의한 환경안정성이 증가되었음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 1) 환경부(전국생활폐기물소각시설운영협의회) : “04년도 생활폐기물 소각시설 운영현황”, (2005)
- 2) 윤석표, 유희찬, 고석오 : “도시쓰레기 소각로에서 발생한 비산재의 시멘트 고형화에 관한 연구”, 한국폐기물학회지 제 18권 제6호 510-517 (2001)
- 3) C. D. Hills, C. J. Sollars and R. Perry : “Ordinary portland cement based solidification of toxic wastes: The role of OPC reviewed”, Cement and Concrete Research, Volume 23, 196-212 (1993)