

알칼리 용해성 아크릴계 수분산 중합체를 사용한 소각로 비산재의 처리에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Treatment of Waste Ash from the Incinerator by Alkali Soluble Acrylic Copolymer Emulsion

(2010년 2월 10일 원고접수, 2010년 3월 12일 심사완료/ Received February 10, Accepted March 12, 2010)

이학용¹⁾, 최상릉²⁾, 노재호³⁾, 허형석^{4)*}

¹⁾강원대학교, ²⁾(주)지케이건설, ³⁾(주)제이엔티아이엔씨 ⁴⁾(주)제이엔티아이엔씨

¹⁾Hack-Yong Lee, ²⁾Sang-Reung Choi, ³⁾Jae-Ho Noh, ⁴⁾Hyung-Seok Heo

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University, Samcheok 245-711, Korea

²⁾Kangwon University, Chuncheon 200-701, Korea

³⁾Join the New Technology Incorporated, Hwasung 445-842, Korea

⁴⁾Join the new technology incorporated, Ansan 426-863, Korea

Abstract

The treatment of heavy metal, in the waste ash from incinerator and mine solid waste, by using alkali-soluble acrylic copolymer emulsion, that is effective in the absorption of heavy metal has been studied. It seemed that alkali soluble acrylic copolymer emulsion was very effective in the absorption of Hg, Pb, Cd and Cu in this test.

Also, eco-friendly thixotropic grout, using alkali soluble acrylic copolymer emulsion, that is effective in the absorption of heavy metal, for the recycling of waste ash from incinerator and mine solid waste has been tested. It was observed that waste ash could be used as a raw material of eco-friendly thixotropic grout mortar due to the effectiveness of alkali soluble acrylic copolymer emulsion in the fixation of heavy metals including Cr⁶⁺ from waste ash in this test.

키워드 : 소각로, 비산재, 폐기물 처리, 아크릴계 중합체

Keywords : Incinerator, Waste Ash, Waste Recycling, Acrylic Copolymer Emulsion

1. 연구의 목적

국내에서도 산업화와 도시화에 따른 도시폐기물의 발생량이 급증하는 경향이며 이들 폐기물의 소각시 발생하는 비산재 등은 중금속 함유량이 매우 높아 별도의 처리 없이 매립하는 경우, 토양 중에 중금속이 그대로 흡수, 농축되어 농작물이나 지하수를 오염시켜 동식물은 물론 우리 사람의 인체에도 커다란 해를 주게 된다.¹⁻⁴⁾ 또한 광산 폐기물인 광미 등에서 용출되는 중금속 역시 같은 문제를 내포하고 있어 적절한 대책이 요구되고 있다.⁵⁾

알칼리 용해성 아크릴계 수분산 중합체(Alkali-soluble

Acrylic Copolymer Emulsion; 이하 약칭 AACE)는 금속과 강력한 킬레이트를 형성할 수 있는 작용기를 가지고 있어 각종 폐기물로부터 용출되는 중금속 이온과 반응하여 물에 불용성인 염을 형성하여 여러 중금속 이온을 동시에 고정화시킬 수 있어 산업폐기물의 중금속 처리제로 사용이 가능하다.

본 연구에서는 쓰레기 소각로에서 발생하는 소각재를 AACE로 처리하고 처리 시료의 침전물에 대한 용출 시험을 실시하여 소각재의 중금속 처리에 있어 AACE의 유효성을 확인하였다.

또한 소각재를 폐기물로서 처리하는 방법 이외에 산업부산물의 개념으로 재활용을 목적으로 가소성 그라우트와 혼합하여 사용하는 것을 검토하기 위한 시험을 실시하였다.

일반 그라우트 모르타르는 굳지 않은 상태 및 굳은 상

Corresponding author

E-mail : vocuum@lycos.co.kr

태에서 물과 접촉하는 경우, 시멘트 및 기타 성분 중의 알칼리 및 중금속이 외부로 용출된다.

공동 및 공극 충전용으로 시공되는 AACE를 사용한 친환경성 가소성 그라우트는 굳지 않은 상태에서 블리딩의 발생이 최소화되고 가압 등의 외력 하에서는 유동 및 변형하나 외력의 작용이 없는 상황에서는 정지하며 주위에 지하수나 하천, 해수가 존재하는 상황에서도 풀어지지 않고 중금속을 시멘트 매트릭스 내부에 자체적으로 고용하여 시멘트와 구성 재료 성분의 외부 용출을 최소화 하는 것을 이용하여 소각재를 가소성 그라우트 모르타르의 충전재로 재활용하는 것을 고려한 시험을 실시하였다.

본 연구에서는 쓰레기 소각로에서 발생하는 소각재를 친환경성 가소성 그라우트와 혼합하여 모르타르를 제조하고 제조된 모르타르에 대한 Cr⁶⁺ 용출 시험을 실시하여 AACE를 적용한 친환경성 가소성 그라우트에 의한 산업폐기물의 중금속 처리 유효성을 확인하였다.

2. AACE의 중금속 흡착 효과 실험

2.1 실험개요

본 연구에서는 도시 쓰레기 소각장에서 발생하는 비산재를 물과 혼합하고 이에 AACE를 첨가하여 중금속의 농도 변화를 측정하였으며 중금속 표준 용액 시험에서 생성된 침전물의 용출 시험을 통하여 중금속 재용출 여부를 확인하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 비산재

본 실험에서 사용한 도시쓰레기 비산재의 화학성분은 Table 1과 같다.

2.2.2 AACE 특성

본 실험에서 사용한 AACE의 물성은 다음과 같다.

- 색상(Feature): 투명 액체
- 비중(Specific Gravity): 1.94~1.21 (Density Test Equipment 사용하여 측정)
- pH: 11.5~12.5 (pH Meter 사용하여 측정)
- 점도(Viscosity) : 50cps 이하 (Brookfield Viscosity meter 사용하여 측정, 100rpm, #3 Spindle 사용)
- Solubility : Complete
- Heat Stability : 180°C (시차열분석기 사용하여 측정)
- 어는 점(Cold Stability) : -15°C

Table 1 Chemical compositions of waste ash

Item	Wt%
SiO ₂	25.8
Al ₂ O ₃	11.0
Fe ₂ O ₃	1.0
Na ₂ O	3.7
K ₂ O	2.9
ZnO	1.6
MgO	9.0

2.3 실험방법

예비실험을 거쳐 도시쓰레기 소각로로부터 배출된 비산재 시료에 대하여 중량비로 물을 20% 첨가한 시료와 이에 다시 AACE를 비산재 중량의 2% 첨가한 시료를 각각 준비하고 각 시료를 모르타르 믹서를 사용하여 각각 1속으로 30초, 2속으로 30초간 교반하고 90초간 정지한 후, 2속으로 1분간 혼합하였으며 AACE를 첨가하지 않은 시료와 첨가한 시료의 중금속 용출량을 각각 원자흡광분석기(Atomic Absorption Spectrometer)를 이용하여 측정하였다.

또한 중금속 표준용액시험의 결과로 생성된 침전물에 대한 용출 시험을 실시하여 중금속의 재용출 여부를 시험하였다.

2.4 실험결과 분석 및 고찰

2.4.1 비산재 중금속 용출량 변화

AACE의 첨가에 따른 비산재 혼합물의 중금속 용출 변화를 Table 2에 나타내었다.

AACE를 첨가하지 않은 비산재 혼합물에서의 중금속의 용출량이 높았으나 AACE를 첨가한 비산재 혼합물에서는 Hg, Cd, Pb가 검출되지 않았으며 Cu는 극미량이 검출되어 AACE의 중금속 흡착 효과가 확인되었다.

Table 2 Concentration of heavy metal in samples

(unit: ppm)

	Without alkali-soluble acrylic copolymer emulsion	After adding alkali-soluble acrylic copolymer emulsion
Hg	78.9	0.0
Cd	55.3	0.0
Pb	102.7	0.0
Cu	113.3	0.7

2.4.2 침전물에 대한 중금속 재용출 실험결과

중금속 표준용액시험에서 AACE 처리에 의하여 생성된 침전물의 중금속 함량을 측정한 결과와 침전물에 대한 재용출 시험을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다.

비산재로부터 용출된 중금속이 AACE와 결합된 침전물은 자체가 다량의 중금속을 함유하고 있었으나 물과 다시 접촉하여도 재용출되지 않았다.

Table 3 Density of heavy metal in precipitation & concentration

(unit: ppm)				
	Hg	Cd	Pb	Cu
Heavy metal in sediments	68.0	47.8	101.3	151.8
Heavy metal in the concentration from sediments	N.D	N.D	N.D	N.D

3. 비산재를 골재로 사용한 가소성 그라우트의 중금속 용출 실험

3.1 실험개요

본 실험에서는 도시 쓰레기 조각장에서 발생하는 비산재를 가소성 그라우트와 혼합하고 굳지 않은 상태와 굳은 상태의 비산재 혼합 가소성 그라우트 모르타르에 대한 Cr⁶⁺의 용출 시험을 실시하여 그 결과를 일반 시멘트 그라우트 모르타르와 비교 확인하였다.

3.2 사용재료

3.2.1 비산재

본 실험에서 사용한 도시쓰레기 조각로 비산재의 화학적 성질은 Table 1과 같다.

3.2.2 친환경성 가소성 그라우트

본 실험에서 사용한 친환경성 가소성 그라우트 밀크의 배합비는 Table 4와 같다.

3.3 실험방법

배합비에 따라 계량한 물과 시멘트를 고속교반용 임펠러 믹서로 약 1,000rpm으로 3분간 교반하여 시멘트 밀크를 준비하였다. (Fig. 1 참조)

Table 4 Mix design of eco-friendly thixotropic grout milk

Item		Weight (kg/m ³)
Cement Milk	Water	700
	OPC	750
Plasticizer milk	Water	50
	Powdered Plasticizer	40
AACE		6



Fig. 1 Preparation of cement milk

또한 배합비에 따라 중량을 계량한 물과 분말 가소화제를 같은 방법으로 교반하여 가소화제 밀크를 준비하였다. (Fig. 2 참조)



Fig. 2 Preparation of AACE milk

시멘트 밀크와 가소화제 밀크의 혼합물과 도시쓰레기 조각로 비산재를 중량비로 1:1로 혼합하여 모르타르 믹서로 1속으로 30초간, 2속으로 1분간 교반하여 모르타르를 제조한 후에 AACE를 첨가하여 1속으로 약 30초간 교반하여 비산재가 혼합된 가소성 그라우트 모르타르를 제조하

였다. (Fig. 3 참조)



Fig. 3 Preparation of thixotropic grout mortar

제조된 굳지 않은 가소성 그라우트 모르타르의 유동성 시험은 상부 및 하부 직경이 각각 50mm이고 높이 50mm의 그라우트 플로 콘을 사용하여 KS L 5111(시멘트 시험용 플로 테이블)의 플로 테이블을 타격하지 않은 경우의 모르타르 플로 값과 플로 테이블을 15회 타격한 이후의 모르타르의 플로 값을 각각 측정함. (Fig. 4 참조)



(a) Initial mortar flow before impaction



(b) Mortar flow after impaction 15 times

Fig. 4 Mortar flow test

굳은 가소성 그라우트 모르타르의 압축강도시험을 KS L 5105(시멘트 모르타르 압축강도 시험방법)에 따라 실시하여 제조된 공시체를 23°C 수중에서 양생하여 7일 및 28일 압축강도를 측정하였다.

일반 시멘트 밀크와 비산재가 혼합된 모르타르와 AACE가 첨가된 비산재 혼합 가소성 그라우트 모르타르의 중금속 용출량을 각각 원자흡광분석기(Atomic Absorption Spectrometer)를 이용하여 측정하였다.

3.4 실험결과 분석 및 고찰

가소성 그라우트 모르타르의 물성 시험결과는 Table 5와 같다.

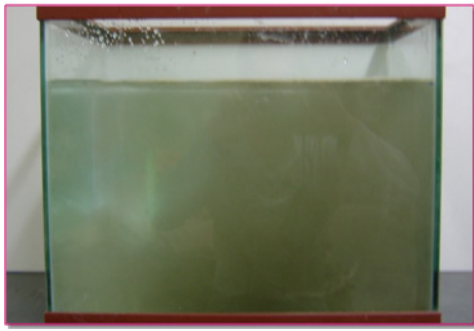
Table 5 Test result of waste ash added eco-friendly thixotropic grout mortar

Item		Result
Specific gravity		1.45
Mortar Flow	Initial	75 mm
	after impaction	135 mm
Mortar Compressive strength	7 days	4.3 MPa
	28 days	8.2 MPa

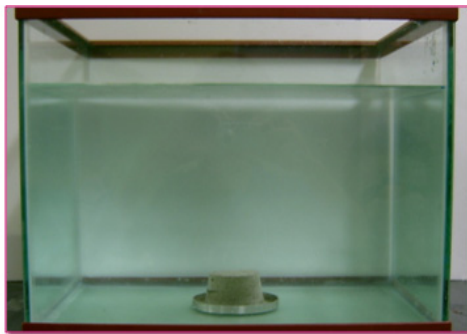
가소성 그라우트 모르타르는 외력이 가해지지 않은 상태에서 변형이 거의 없고 타격이 행해진 상태에서 유동하는 가소성을 발현하였으며 일반적인 공동충전용 가소성 그라우트에 요구되는 재령 28일 압축강도 2.0 MPa 이상의 조건을 만족하였다.

일반 시멘트 밀크와 가소성 그라우트 밀크를 수중에서 정지하여 형상 및 오염 영향을 확인한 결과는 Fig. 5와 같다. 일반 시멘트 밀크는 수중에서 확산되어 물을 오염시키나 가소성 그라우트 밀크는 수중에서 형상을 그대로 유지하였으며 오염이 발생하지 않았다.

비산재를 혼합한 일반 시멘트 모르타르와 가소성 그라우트 모르타르의 Cr⁶⁺의 용출량 변화를 Table 6에 나타내었다.



(a) Cement milk



(b) Thixotropic grout milk

Fig. 5 Cement milk and thixotropic grout in water

Table 6 Concentration of Cr⁶⁺ in samples

(unit: ppm)

	Fresh sample	Hardened sample
Cement milk with waste ash	1.60	0.48
thixotropic grout with waste ash	0.02	N.D

일반 시멘트 밀크와 비산재의 혼합물에서는 굳지 않은 경우와 대기 중 28일 재령의 굳은 경우, 각각에 대하여 높은 Cr⁶⁺ 용출값이 확인되었으나 가소성 그라우트와 비산재의 혼합물에서는 굳은 경우에서는 Cr⁶⁺의 용출이 없고 굳지 않은 경우에는 그 용출량이 극미량으로 가소성 그라우트의 중금속 흡착 및 용출 방지 효과가 확인되었다.

5. 결론

도시 쓰레기 소각장에서 발생하는 비산재를 물과 혼합하고 이에 AACE를 첨가하여 중금속 표준용액시험을 실시

하고 중금속 표준용액시험에서 생성된 침전물의 재용출 시험을 통하여 AACE의 중금속 흡착효과를 확인하였으며 도시 쓰레기 소각장에서 발생하는 비산재를 물시멘트비 100%의 일반 시멘트 밀크 및 가소성 그라우트와 혼합하여 Cr⁶⁺의 용출 여부를 측정한 결과는 다음과 같다.

1) 비산재를 물과 혼합하고 AACE를 첨가하여 교반한 수용액 중에서 Hg, Cd, Pb는 검출되지 않았으며 Cu의 경우는 극미량이 검출되어 AACE의 중금속 흡착 효과가 확인되었다.

2) 비산재와 물을 혼합하고 AACE를 첨가하여 교반하여 생성된 침전물에 대한 중금속 재용출 시험 결과, Hg, Cd, Pb, Cu 등의 중금속 모두가 재용출 되지 않아 AACE의 중금속 흡착 효과가 지속적으로 안정함을 확인할 수 있었다.

3) 비산재를 물시멘트비 100%의 일반 시멘트 밀크와 혼합하여 모르타르를 제조한 경우, 굳지 않은 경우와 굳은 경우 모두에서 Cr⁶⁺의 용출량은 수도법 수질기준의 0.05ppm 이하 규정을 만족하지 못하는 매우 높은 값을 나타내었다.

4) AACE를 첨가하여 제조한 비산재가 혼합된 가소성 그라우트 모르타르는 굳지 않은 시료를 사용한 경우에도 Cr⁶⁺의 용출량은 0.02ppm을 나타내어 수도법 수질 기준의 0.05ppm 이하 규정을 만족하였으며 대기 중 28일 재령의 굳은 시료를 사용한 경우에는 Cr⁶⁺의 용출은 검출되지 않아 가소성 그라우트의 유효한 중금속 고용 효과가 확인되었다.

참고문헌

- 1) 구자공, 국내외 폐기물 소각처리시설의 동향, 제주대 환경연구소, 폐기물 소각처리기술 워크샵, 1992. 11.
- 2) 이정진, 도시 폐기물의 매립기술, 대한토목학회지 제40권 제5호, pp. 75-88, 1991. 10.
- 3) 이승무 외 4인, 도시 고형폐기물 소각을 위한 쓰레기 성분분석 및 발열량 조사연구, 한국폐기물학회지 제9권 제2호, pp. 241-249, 1992.
- 4) 한국건설기술연구원, 도시폐기물 매립장의 건설부지활용과 위생매립시스템에 관한 연구, 연구보고서, 1992. 12.
- 5) 이동훈 외 4인, 중석광 폐재광미의 매립지에서 나오는 침출수 중의 중금속 제거, 한국환경농학회지, 제19권, 제3호, pp. 218-221, 2000. 9.

알칼리 용해성 아크릴계 수분산 중합체를 사용한 소각로 비산재의 처리에 관한 연구

각종 중금속을 흡착하는 알칼리 용해성 아크릴계 수분산 중합체의 특성을 활용하여 광산 폐기물 및 도시폐기물의 소각재 등에서 용출되는 중금속의 처리 방법에 대하여 실험 하였으며 그 결과를 고찰하였다. 실험결과, 수은, 납, 카드뮴, 구리 이온 등에 대한 킬레이트 반응에 의한 알칼리 용해성 아크릴계 수분산 중합체의 효과적인 흡착 효과가 확인되었다.

수중에서 불분리성이고 각종 중금속의 용출을 방지하는 친환경성 가소성 그라우트의 특성을 활용하여 광산 폐기물 및 도시폐기물의 소각재 등에서 용출되는 중금속의 처리를 위한 기초적 용출실험을 실시하였으며 그 결과를 고찰하였다. 실험결과, 알칼리 용해성 수분산 중합체를 첨가한 친환경성 가소성 그라우트의 Cr^{6+} 이온에 대한 효과적인 중금속 흡착 효과가 확인되었다.