

폐혁슬러지 고형화시 시멘트 혼화제의 영향

주소영 · 박상찬* · 전태성* · 손종렬** · 김태영***
수원시 상수도사업소 · 충주대학교 환경공학과*

The Effect of Cement Admixtures on Solidification of Tannery Sludge based Cement Method

So-Young Ju · Sang-Chan Park* · Tae-Sung Jun* · Jong-Ryeul Sohn** · Tae-Young Kim***

Suwon City Waterworks

*Department of Environmental Engineering, Chungju National University**

*Department of Environmental Health College of Allied Science, Korea University**

*Department of Environmental Engineering, Chungbuk Provincial University of Science & Technology (CTech)****

Abstract

The cement-based system among S/S(Solidification/Stabilization) is widely used to treat hazardous wastes. In this study, tannery sludge was solidified to evaluate the stabilization effects of using admixtures in the cement-based S/S. Fly ash as substitute also used to increase the strength of the S/S of hazardous waste.

The compressive strength measurement and leaching experiment of chromium metal of solidified mortar were carried out to compare and evaluate the physical and chemical characteristics of solidified hazardous waste sludge.

From the result of this study, there was increased of compressive strength by using AEW-3(early-hardening AE water reducing agent), and leaching concentration of chromium became low enough to satisfy the regulatory criteria.

The successful solidification for the organic contaminant and heavy metal in hazardous waste should enable to treat by cement-based system using early-hardening AE water reducing admixture and fly ash as substituted cement.

I. 서론

인간이 삶을 유지하기 위해 오염물질의 발생은 필연적이지만 대량생산과 대량소비의 현대적 사회 구조속에서 과도한 오염물질이 발생되고 있다. 특히 이들 오염물질 중 폐기물의 경우 아직도 우리

나라는 선진국들에 비해 1인당 발생량이 높으며 유해성이나 독성 또는 난분해성 물질들의 발생은 계속 증가 추세에 있다. 폐기물을 생활폐기물과 사업장 폐기물로 구분하던 것을 유해성 여부에 따라 일반폐기물과 산업폐기물로 구분하고 있으며, 사업장 폐기물중에서 유해성이 있는 것은 지정폐기물

로 분류하고 있다¹⁾.

이와 같은 폐기물들은 대부분 매립에 의해 처분되고 있으나 협소한 국토와 NIMBY 현상에 의한 환경시설의 반대등으로 매립지 확보난이 가중되면서 처리에 더욱 어려움을 겪고 있다. 최근 음식물쓰레기와 하수처리장 슬러지의 매립금지 그리고 소각으로의 정책전환등은 매립지 문제의 실상을 잘 나타내주는 예라 할 수 있고, 유해성 물질을 포함하고 있는 산업폐기물중 지정폐기물의 처리문제는 대단히 심각한 실정이며 이들 폐기물들은 주로 매립 또는 소각후 매립처리되고 있으나 침출수 처리와 매립지로부터의 2차 오염 등으로 지속적인 환경문제를 유발하고 있다²⁾.

일반적으로 유해폐기물인 지정폐기물의 처리에는 소각, 산화, 환원, 전환, 분해, 매립, 고형화/안정화 방법 등이 있으며, 이중 고형화/안정화법의 종류에는 시멘트법, 석회법, 열가소성 플라스틱법, 유기중합체법, 피막형성법, 자가시멘트법, 유리화법 등의 기술이 개발되어 있다. 이들 기술들은 각기 장단점들을 가지고 있어 폐기물의 유해성 정도와 반감기 및 양에 따라 선택되어진다^{2~6)}.

현행 우리 나라의 폐기물 관리법에서 지정폐기물의 고형화 처리기준은 시멘트로 고형화하는 경우 고화체 1m³당 150kg 이상의 시멘트를 혼합하도록 규정하고 있으며, 개정 이전의 동법에서는 상기의 시멘트 혼합규정이외에 시멘트 고화체의 일축 압축강도 10kgf/cm² 이상으로 규정하고 있었으나 지금은 삭제되었다. 그러나 미국의 경우를 보면 매립 현장에서 건설장비나 복토 등에 의한 하중을 고려하여 시멘트 고화체의 일축압축강도를 3.5kgf/cm² 이상으로 규정하고 있으며 일본 또한 육상매립과 해면매립의 일축압축강도기준을 10kgf/cm²로 규정하고 있다^{7~9)}.

본 연구에서는 유해중금속인 크롬 함량이 높은 피혁공장 슬러지의 안정적인 처리를 위하여 포틀랜드 시멘트를 고화재로 이용하여 시멘트법으로 고형화 처리를 하고자 하였으며, 이때 폐기물의 높은 유기물 함량으로 인하여 발생하는 고화체의 압축강도 저하와 이에 따른 용출농도를 감소시키기 위하여 시멘트에 혼화제를 첨가한 후 그 영향을 검토함으로써 안전한 처리를 도모하고자 하였다.

또한 시멘트에 대한 포졸란 반응물질을 다량 함유하고 있는 석탄 화력발전소 비산회를 시멘트 치환재로 사용함으로써 비산회의 자원화 효과도 기하고자 하였다.

시멘트 혼화제로는 시판중인 AE(air entraining) 감수제와 유동화제를 사용하였으며, 비산회의 시멘트 치환량과 혼화제의 종류 및 농도에 따른 고화체의 특성을 압축강도의 관계로 규명하고, 또한 용출실험 결과로부터 고화체의 안정도를 평가함으로써 Cr을 함유한 유기성 유해폐기물인 피혁슬러지의 시멘트 고형화 방법에 대하여 연구하였다.

II. 실험 및 방법

1. 실험재료

(1) 고형화 재료

유해폐기물 고형화재료로는 시판용 포틀랜드 시멘트(Type I, 국내 H사)를 사용하였으며, 시멘트 모르타르용 모래로는 KS L 5100¹⁰⁾에 규정된 시멘트 강도 시험용 표준사중 압축강도시험용 주문진 표준사를 사용하였다. 또한 고화체의 강도 증진을 위해 시멘트 치환재로 사용한 비산회는 미분탄 연소방식으로 호주산 역청탄을 연소하는 충남 보령 화력발전소에서 전기집진기로 집진한 것으로 미연소 탄소분을 분리 제거한 후 사용하였다.

시멘트와 비산회의 화학분석은 ICP(Inductively Coupled Plasma ; Model Lab8440, Labtam, Co.)로 분석하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 분석결과 시멘트의 주성분은 수화반응 물질인 CaO와 SiO₂의 함량이 88%이었으며, 비산회는 포졸란 반응 물질인 SiO₂와 Al₂O₃의 함량이 75% 이상으로 시멘트와 혼합하여 사용할 경우 시멘트 제품의 강도증진 효과를 나타낼 수 있을 것으로 확인되었다.

(2) 피혁슬러지

유해폐기물의 시멘트 고형화를 위한 유해폐기물로 C시 공단내에 소재하는 C피혁공장에서 발생하는 탈수 피혁슬러지를 사용하였다. 탈수된 피혁슬러지는 함수율을 측정할 결과 75±5%이었으며, 실험에 사용된 피혁슬러지는 탈수된 슬러지를 105±5

Table 1. The chemical compositions of cement and fly ash

Sample	Chemical compositions (wt.%)									Specific gravity
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	others	
Cement	63.28	24.75	5.80	2.53	2.04	1.49	-	-	0.11	3.12
Fly ash	3.22	52.00	23.81	0.16	4.29	0.90	0.70	0.88	0.88	2.15

Table 2. The chemical compositions of tannery sludge

Compositions	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	Ignition loss
wt(%)	2.14	0.76	0.43	21.27	1.25	1.08	63.47
Compositions	MgO	K ₂ O	ZnO	TiO ₂	As (μg/g)	Pb (μg/g)	other
wt(%)	0.88	0.07	0.05	0.62	<100	<100	7.98

Table 3. The characteristics of manufactures

class	color	specific gravity	chemical
AEW-1	dark brown	1.14	naphthalene compounds
AEW-2	dark brown	1.14	lignin compounds
AEW-3	dark brown	1.17	lignin compounds
AEW-4	dark brown	1.22	-
SP-1	dark brown	1.15	naphthalene compounds
SP-2	dark brown	1.18	naphthalene compounds
SP-3	dark brown	1.20	naphthalene compounds

℃에서 24hr 건조한 후 분쇄하여 4mm이하로 체가름하여 시료로 사용하였고, 이 시료의 ICP분석 결과는 Table 2와 같다. 피혁슬러지는 무두질 과정에서 사용된 Cr화합물로 인해 약 12,500mg/L의 Cr을 함유하는 것으로 나타났다.

(3) 혼화제

유기물 함량이 높은 피혁슬러지의 고형화시 고화체의 강도저하를 방지하고 초기강도증진으로 고화체의 양생효과를 높여 용출농도를 낮게 하기 위하여 첨가한 혼화제로는 시멘트 모르타르의 초기강도와 슬러지의 분산 효과를 증진시키고 감수효과를 위해 사용되고 있는 S사와 P사의 시판용 AE

감수제와 유동화제를 사용하였으며 감수제는 AEW-1, AEW-2, AEW-3, AEW-4로 그리고 유동화제는 SP-1, SP-2, SP-3로 나타내었다.

2. 실험방법

시멘트법에 의한 유해폐기물로 Cr을 함유하는 피혁슬러지를 고형화하고자 하였으며 이때 혼화체의 양과 시멘트 대체제로 역청탄 비산회의 치환량 변화에 따른 시멘트 고화체의 특성을 압축강도와 용출 실험결과와 관계로 나타내었다.

(1) 고화체의 제작

본 실험에서 사용한 유해 폐기물인 피혁슬러지

의 고형화에서는 W/C=0.55, S/C=2.45로 배합수량을 고정시켰으며, 비산회의 치환량을 10, 15%로 달리하고, 또한 슬러지, 혼화제 등의 무게비를 변화시켜서 실험하였다¹¹⁻¹³.

고화체의 제작을 위한 시편용 몰드는 비흡수성이며 시멘트의 화학적 반응에 잘 견디는 P.V.C관(Φ50 mm×t 5mm)을 100mm의 크기로 제작하였다. 고화체는 배합비에 따라, 시멘트, 비산회, 혼화제의 비를 달리하여 혼합한 후 무게비로 피혁 슬러지의 양을 0.3~0.6으로 달리 혼합하여 고화체를 만들었다. 고화체의 제작은 고형화 혼합물을 KS F 2403¹⁴⁾에 따라 매 실험마다 동시에 3개씩의 시편을 제작하여 압축강도 및 용출실험을 하였다.

고화체의 압축강도는 양생기간별로 만능시험기(JI-101A, JEIL Precision Ltd.)를 사용하여 KS F 2405¹⁵⁾ 과 KS F 2314¹⁶⁾에 따라 측정하여 kg/cm²로 나타내었다.

(2) 용출시험

시멘트 고화체에 고정된 피혁슬러지의 안정성을 평가하기 위하여 용출실험을 하였다. 용출실험은 양생기간에 따라 각각의 고화체 시편을 회수하여 파쇄한 후 입도가 0.8~5mm가 되도록 체가름하여 용출용 시료로 하였으며, 국내 폐기물공정시험법에 따른 고형폐기물 용출실험방법을 변형시킨 방법을 이용하여 용출용매를 아세트산(CH₃COOH)으로 pH 5로 조절한 후 폐기물의 양과 용출용매와의 비를 1:10(w/v)으로 하여 150rpm에서 6hr 동안 용출실험을 수행하였다¹⁷⁾.

이 때 pH는 2hr 마다 한번씩 0.1N 아세트산으로 조절하였으며, 용출실험이 끝난 용출액은 GF/C(Whatman, 1822 047) 여과지로 여과하여 여액중 10mL를 취한 후 질산-염산에 의한 유기물 분해법으로 전처리하고, ICP로 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

시멘트를 이용하여 유해폐기물인 피혁슬러지의 고형화/안정화시 비산회를 시멘트 대체재로 일정량 치환하여 고화체의 강도를 높임으로서 고화체의 매립지내에서 안정성을 높이고, 또한 고화체를

토목 건축용재로써 재활용 가능여부를 판단하기 위해 피혁슬러지 혼합량, 혼화제인 AE감수제, 유동화제의 종류 및 첨가량을 변화 시키며 양생일에 따른 압축강도 및 용출 특성에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 슬러지 혼합비에 의한 영향

피혁슬러지의 혼합량을 결정하기 위하여 우리나라 폐기물관리법에 규정되어 있는 폐기물 1m³당 시멘트 150kg을 만족하고, 동법 개정 이전에 규정되어 있었던 시멘트 고화체의 일축압축강도 10kg/cm² 이상과 미국의 시멘트 고화체의 일축압축강도 3.5kg/cm² 이상, 그리고 일본의 일축압축강도기준 10kg/cm² 이상을 모두 충족하는 고화체를 얻기 위하여 피혁슬러지의 양을 시멘트의 무게비로 0.3~0.6까지 변화시켜 실험한 결과는 Fig. 1과 같다. 이때의 고화체의 W/C=0.55, S/C(sand/cement)=2.45, 비산회 치환량은 10%(wt.)로 고정하였다.

Fig.에서 알 수 있듯이 슬러지의 함량이 클수록 압축강도 값이 크게 감소하고 있으며, 특히 T/C(Tannery sludge/Cement) 비에 관계없이 28d 고화체의 압축강도는 모두 10kg/cm²를 초과하고 있으며 T/C=0.3일 때 28강도는 52kg/cm²로 최고의 강도를 나타내고 있다. 따라서 피혁슬러지의 양은 0.6까지 안정적으로 고형화가 가능함을 알 수 있다.

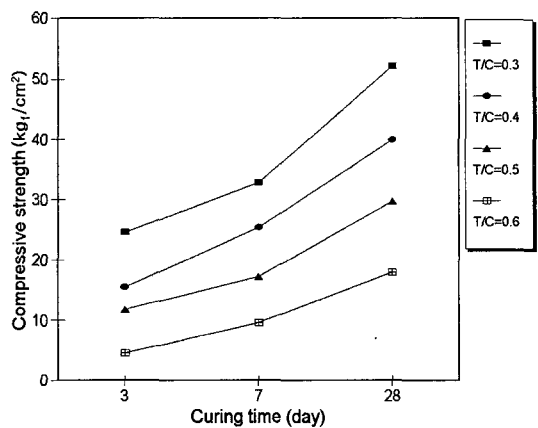


Fig. 1. The compressive strength of solidified tannery sludge according to the tannery sludge and cement ratio.

2. 혼화제 첨가에 의한 영향

계면활성작용에 의해 시멘트 입자를 분산시켜 시멘트 모르타르의 워커빌리티를 증가시킴으로써 콘크리트의 작업성을 향상시키기 위한 유동화제와 단위수량을 감소시키기 위한 AE감수제를 첨가함으로써 시멘트 고화체의 영향을 살펴보고자 시판 중인 AE감수제 4종(AEW-1, AEW-2, AEW-3, AEW-4)과 유동화제 3종(SP-1, SP-2, SP-3)을 선택하여 0~3%(wt.)까지 첨가하였을 때 고화체의 특성에 대한 영향을 실험한 결과는 다음과 같다.

(1) AE감수제

Fig. 2는 AE감수제인 AEW-1, AEW-2, AEW-3, AEW-4를 각각 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 3%(wt.)씩 첨가하였을 때 양생일에 따른 고화체의 압축강도 결과이며, 이때 W/C=0.55, S/C=2.45, T/C=0.5로 고정시키고, 비산회의 치환량은 10%로 하였다.

Fig. 에서 알수 있듯이 AE감수제의 종류 및 첨가량에 따라 비슷한 경향을 보이고 있으며, 특히 AEW-3의 경우 1.5%를 주입하였을 때 3, 7, 28d 강도가 각각 24, 33, 53kg/cm²로 다른 첨가제 보다 양생초기에서부터 높게 나타나고 있음을 알 수 있고 특히 28d 강도는 AE감수제를 첨가하지 않은 경우보다 23kg/cm²의 강도 증진 효과를 나타내고 있다. 이는 AEW-3이 축진형 AE감수제로 고화체의 초기 경화를 촉진시키기 때문으로 보인다.

시멘트의 분산효과를 위해 대부분의 AE감수제는 계면활성제를 포함하게 되는데 이는 분자내에 물과 시멘트 조성물 중의 Ca²⁺ 양이온과 친수성이 높은 원자단(술폰산기, 칼본산기, 수산기 등)을 갖고 있으며 혼합수 등 알칼리성이 높은 수용액 중에서는 해리하여 이온성의 전해질로서 존재하기 때문이다. 그러나 다량의 AE감수제를 사용할 경우 시멘트 입자는 비표면적이 크기 때문에 혼합수 속에서 서로 모여 입자의 응집체를 형성하여 안정화하려는 성질이 있고 여기에 시멘트 분산성을 가지는 계면활성제를 가하면 시멘트 입자와의 친화성이 크기 때문에 급속히 시멘트 표면에 흡착되어 안정화됨과 동시에 시멘트 입자 표면을 흡착되어 피복하여 물과 시멘트의 직접적인 접촉이 차단되

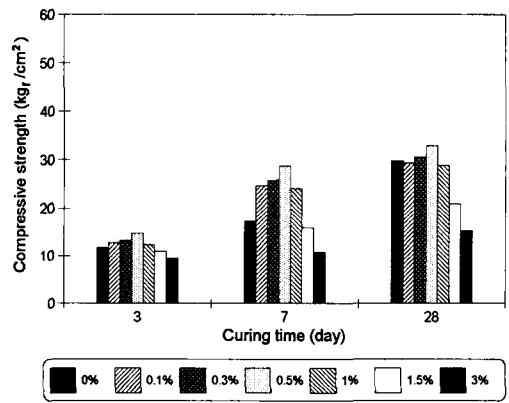
어 초기의 수화반응을 억제시키므로 양생 초기에 강도값이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 2의 결과에서 피혁슬리지를 고형화한 시멘트 고화체의 강도증진을 위해서는 AEW-3과 같은 AE감수제를 사용하는 것이 좋으며 첨가량은 1.5% 일때가 최적임을 알 수 있다.

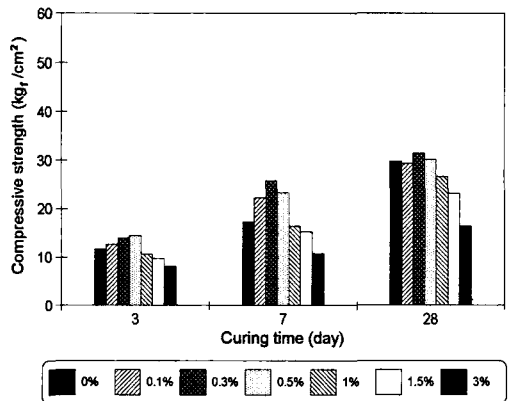
(2) 유동화제

유동화제인 SP-1, SP-2, SP-3을 고화체에 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 3%(wt.)씩 첨가하여 이들이 고화체의 강도에 미치는 영향에 대하여 실험한 결과를 비산회 치환량이 10%인 경우 Fig. 3에 나타내었다.

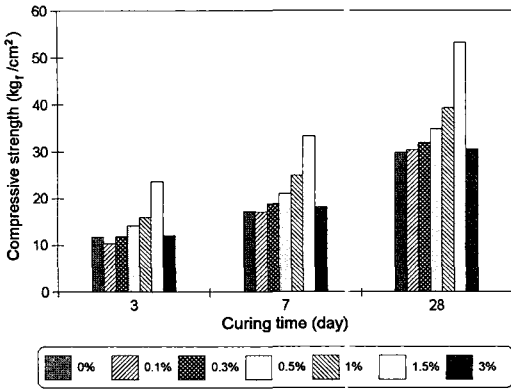
비산회의 첨가에 따른 강도값의 차이는 있지만 SP-1과 SP-3의 경우 유동화제의 첨가로 인하여



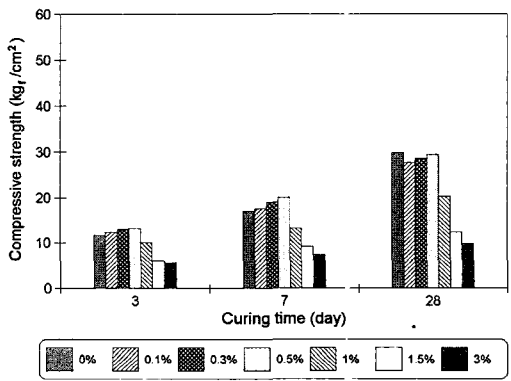
(1)



(2)



(3)



(4)

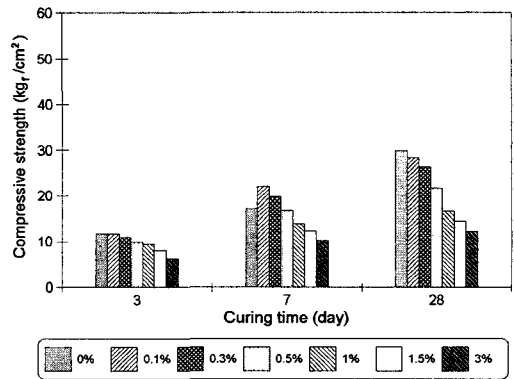
Fig. 2. The compressive strength of solidified tannery sludge according to the dosage of AE water reducing admixtures with 10%(wt.) substituted fly ash ; (1) AEW-1, (2) AEW-2, (3) AEW-3, (4) AEW-4.

초기 압축강도값이 오히려 저하되거나 약간의 증가만을 보이고 있으나, SP-2의 경우에는 예외적으로 초기강도가 높고, 양생일 경과에 따른 강도증가율도 높게 나타났으며, 특히 0.5%를 주입하였을 시에 3, 7, 28d 압축강도 값이 21, 33, 49kg/cm²로 유동화제를 첨가하지 않은 고화체에 비하여 양생 초기와 장기 압축강도가 크게 증가함을 알 수 있고 28d 강도의 경우 19kg/cm²의 강도 증진효과가 있음을 알 수 있다.

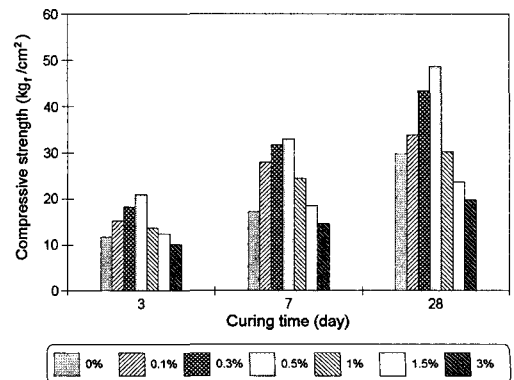
SP-1과 SP-3의 경우 유동화제 첨가에 따른 고

화체의 강도값이 첨가하지 않은 경우보다 오히려 낮게 나타남으로써 피혁슬러지의 고화체에 대한 강도 증진 효과가 없는 것으로 나타났다.

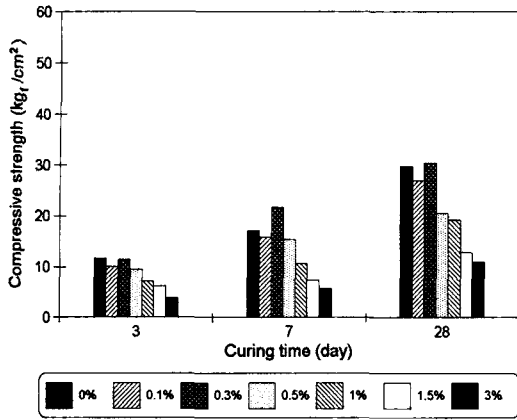
유동화제의 첨가시 초기 압축강도가 낮게 나타나는 이유는 일반적으로 시멘트 등의 미분 입자가 물과 접하면 입자표면을 적시는 습윤작용보다 각 입자가 응집화 하려는 경향이 강하기 때문에 그 일부가 2차 입자를 형성하여 뭉침 현상을 저해하여 시멘트 모르타르의 워커빌리티를 증가시키게 되는데, 유동화제는 시멘트 표면에 흡착되어 입자표면에 전기 이중층인 대전층을 형성하고 그 대전층의 전위에 상응하는 입자사이의 정전기적 상호반발이 생겨 응집한 입자가 분산됨으로써 그 반발작용에 의해 워커빌리티가 생기게 되며, 따라서 첨가량이 많아지게 되면 워커빌리티가 지나치게 좋아져 오히려 분리가 일어나기 때문에 강도값이 저하하게 된다.



(1)



(2)



(3)

Fig. 3. The compressive strength of solidified tannery sludge according to the dosage of super plasticizers with 10%(wt.) substituted fly ash ; (1) SP-1, (2) SP-2, (3) SP-3.

(3) 혼화제 첨가에 의한 용출특성

피혁슬러지내의 유해중금속인 Cr이 AE감수제 및 유동화제를 첨가한 고화체내에 안정하게 고정되었는지를 평가하기 위해 28d 동안 양생시킨 고화체를 압축강도실험 후 파쇄하여 용출실험을 수행한 결과를 Fig. 4, 5에 각각 나타내었다.

Fig. 4는 AE감수제의 양을 달리하여 변화를 주어 제작한 고화체의 용출실험 결과로, 비산회의 치환량에 따라 용출농도의 차가 조금 나타나지만 유사한 경향을 보이고 있으며, 압축강도가 높았던 AEW-3 1.5% 첨가시에 가장 낮은 용출농도를 보이고 있으며, 비산회 치환량 10%의 경우 AEW-1 0.5%의 경우에도 낮은 농도를 나타내었다. 비산회 치환량에 의한 영향은 10%인 경우가 15%의 경우보다 용출농도가 대체로 낮게 나타났다.

Fig. 5는 역시 유동화제 첨가에 따른 고화체의 용출실험 결과로, 앞의 AE감수제의 경우와 유사한 경향을 보이고 있으며, 역시 압축강도가 높게 나타났던 SP-02의 경우 0.5%를 첨가한 고화체의 용출농도가 가장 낮았으며 비산회 치환량 10%인 경우가 15%의 경우보다 용출농도는 약간씩 낮았으나 AEW-3 1.5%의 경우 보다는 높게 나타났다.

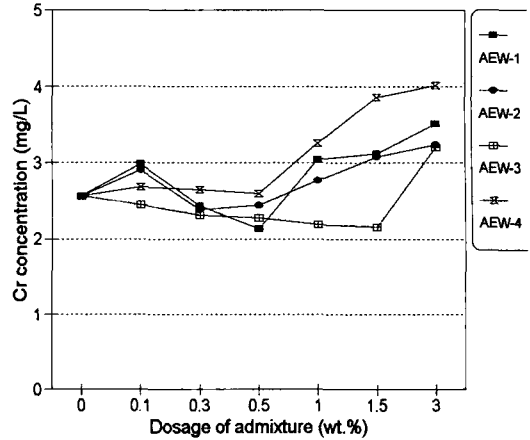


Fig. 4. The leaching concentrations of solidified tannery sludge according to the dosage of air entraining reducing admixtures 10%(wt.) substituted fly ash.

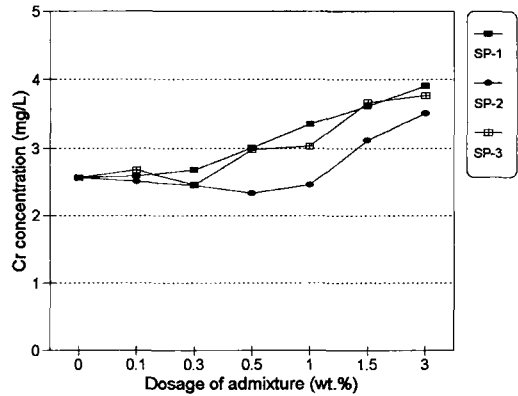


Fig. 5. The leaching concentrations of solidified tannery sludge according to the dosage of super plasticizer admixtures (1) ,10% (wt.) substituted fly ash.

Fig. 6은 용출농도가 가장 낮았던 AEW-3와 SP-2를 첨가한 고화체의 양생일에 따른 용출실험 결과로 (1)의 결과에서 AEW-3은 첨가량 1.5%에서 AEW-3을 첨가하지 않은 고화체와 비교하여 양생일수 3, 7, 28d에 따라 각각 0.77, 0.62, 0.40 mg/L로 용출농도가 감소함으로써 양생기간에 따른 고화체의 강도증가 결과로 용출량이 감소함을 알 수 있다. (2)의 결과는 SP-2를 0.5% 첨가한 고화체의

V. 결론

용출결과로 SP-2를 첨가하지 않은 고화체와 비교하여 3, 7, 28d의 용출농도가 각각 0.17, 0.25, 0.24 mg/L로 감소함으로써 AEW-3에 비해 용출농도 감소 정도가 크지 않으나 양생일이 길어짐에 따라 용출 감소 정도가 증가함으로써 장기적인 용출농도 감소에 효과가 있을 것으로 판단된다.

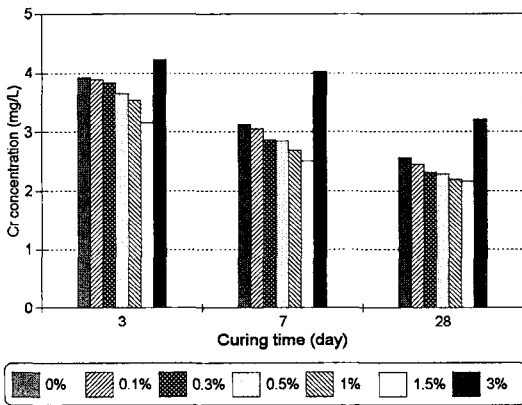
또한, 변형된 용출실험방법에 의한 고화체의 용출실험 결과 압축강도가 높게 나타냈던 1.5% AEW-3와 0.5% SP-2의 28d 용출농도가 각각 2.16, 2.32 mg/L로 Cr의 미국의 용출허용기준인 3 mg/L를 만족하고 있음으로서 중금속 Cr이 시멘트 고화체내에 안정하게 고정되었음을 알 수 있다.

1. W/C비=0.55, S/C=2.45, 비산회의 시멘트 치환량 =10%로 하고 피혁슬러지의 양을 고화체의 무게 비로 0.3~0.6까지 혼합하여 고형화시킨 고화체의 28d 압축강도는 모두 개정전 우리나라 폐기물 관리법의 기준치와 일본의 기준치인 10kgf/cm²를 초과하였으며 T/C 비 0.3일 때 최대강도 52kgf/cm²를 나타내었다.

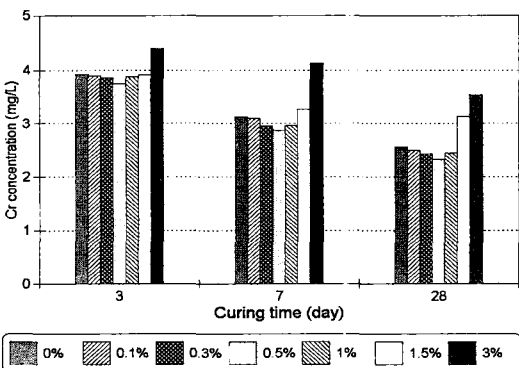
2. 피혁슬러지 중 유기물에 의한 고화체 강도저하를 개선하기 위해 감수제를 첨가제로 사용한 경우 초기경화용 리그닌계 감수제를 1.5%(wt.) 첨가하였을 때 고화체의 28d 압축강도는 23kgf/cm²의 강도 증진 효과를 나타내었다. 또한 유동화제를 첨가제로 사용한 경우 역시 초기 강도 증진 효과가 높은 나프탈렌계 고성능 고유동화제를 0.5%(wt.) 첨가하였을 때 고화체의 28d 압축강도는 19kgf/cm²의 강도 증진 효과를 얻을 수 있었다.

3. 아세트산으로 pH를 5가 되도록 조절한 증류수로 6hr 동안 고화체로부터 Cr 용출실험을 한 결과 용출농도는 고화체의 강도가 높을수록 낮았으며 가장 높은 압축강도를 나타냈던 고화체의 용출농도는 가장 낮은 2.16mg/L로 미국 용출허용기준인 3 mg/L이하로 고화체내에 Cr이 안정하게 고정화 되었음을 알 수 있었다.

4. 피혁슬러지의 시멘트 고형화에 있어서 포졸란 활성물질로 고화체의 강도 증진 효과가 있는 비산회의 치환량은 10%(wt.)가 가장 적합하며 또한 강도증진용 첨가제로는 감수제가 유동화제보다 우수하고 실제로 고화체의 압축강도는 양생일이 28d이상 경과할 경우 더 증가될 것으로 예측된다. 또한 압축강도가 높아질 경우 용출농도는 더 낮아질 것으로 예상되며 따라서 피혁슬러지의 고형화로 시멘트법은 안정적 처리법이 될 수 있을 것으로 판단된다.



(1)



(2)

Fig. 6. The leaching concentrations of solidified tannery sludge with admixtures; (1) AEW-3, (2) SP-2

References

1. 김광렬 외 9인 : 인간과 환경, 동화기술, pp.159~181, 2001.
2. 정재춘 외 9인: 폐기물처리, 동화기술, pp.583~591, 1998.
3. H. M. Freeman : Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal, McGraw-Hill book Company, pp.7.85~7.101, 1989.
4. 한국기계연구원 : 유해폐기물처리, 제1단계 1차년도 연차보고서, 환경부, 1997.
5. 환경관리공단 : 유해폐기물처리기술, 환경관리공단 자료집 9, pp.344~377, 1995.
6. 이정전 외 3인 : 유해폐기물처리기술, 신평문화사, pp.163~180, 1997.
7. 환경부 : 폐기물관리법, 1996.
8. U.S. EPA : Technical Resource Document, Solidification/Stabilization and its Application to Waste Materials, EPA/530/R-93/012, June, 1993.
9. 厚生省生活衛生局 : 産業廢棄物 Handbook, 1995.
10. KS L 5100 시멘트 강도 시험용 표준사, 1996.
11. 한국콘크리트학회: 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회, 1999.
12. Ik-Jun Yeon, et. al. : Korean J. Sanitation. 14(3), pp.22-30, 1999.
13. M. K. Wi : Effect of Inorganic Additives on Solidification of Tannery Sludge by Cement-based System, Thesis for M.E., Chungbuk National Univ., 2001.
14. KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법, 1990.
15. KS F 2405 콘크리트의 압축 강도 시험방법, 2001.
16. KS F 2314 흙의 일축압축 시험 방법, 1966.
17. J. S. Lee, The Comparison of Leaching Methods and Stability of Cement Solidified Cd Sludge, Korean J. Sanitation., 17(3), pp.21-30, 2002.