

납슬러지 고형화 및 용출 특성

연익준 · 주소영 · 김광렬

충북대학교 환경공학과

The Characteristics of Solidification and Leachability of Lead Sludge

Ik-Jun Yeon, So-Young Ju, Kwang-Yul Kim

Dept. of Environmental Eng., Chungbuk Nat'l Univ., Cheongju, Korea, 361 763

Abstract

This study was carried out to examine the compressive strength characteristics of solids solidified with the lead sludge with mixture of cement and fly ashes as additive. And the additives are commercial fly ash and ESP(Electrostatic precipitator) fly ash.

The compressive strength of solidified lead sludge solid was increased by adding fly ash up to 46~62%, which was the results of pozzolanic reaction. When replaced the cement with 10% of commercial fly ash, the solid showed the highest value 210 kg/cm², and the solidification conditions were 0.55 of the water/cement ratio and curing for 14 days.

Also, the results of leaching test by EPT(Environmental Protection Agency Toxicity Test) were showed that the solidified lead has leached out under 10%, which was less than 0.173 mg/L of EPA standard.

As leaching solutions, the demineralized water, 0.1N acetic acid solution, and synthetic brine were used, and the observations by SEM of the solidified lead laden solid after EPT leaching test were indicated the severer erosion on solid surface.

Key words : fly ash, cement, solidification, leaching, lead sludge

I. 서 론

국내 폐기물관리법상 폐기물이란 생활폐기물과 사업장 폐기물로 나누어지며 사업장 폐기물은 대기환경보전법, 수질환경보전법 또는 소음진동규제법의 규정에 의하여 배출시설을 설치 운영하는 사업장, 기타 대통령령이 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물을 말하고 사업장폐기물외의 폐기물은 생활폐기물이라고 한다. 사업장 폐기물은 다시 일

반폐기물과 지정폐기물로 구분되는데,¹⁾ 지정폐기물은 사업장 폐기물중 주변환경을 오염시킬 수 있는 유해한 물질로서 대통령령이 정하는 폐기물로 정의된다. 생활폐기물은 재활용이나 처리 및 매립이 비교적 용이한 반면 지정폐기물의 경우에는 독성이나 기타 유해성 등으로 인하여 처리 또는 처분시 많은 어려움과 제약을 받고 있다.²⁾ 일반적으로 지정폐기물중 유기물질의 경우는 소각, 습식산화, 초입계수 산화와 생물학적 처리방법 등에 의하여 독

성을 감소시키거나 분해시키는 방법들이 있으나 무기물질은 그 특성상 이러한 처리가 불가능하다. 즉, 지정폐기물중 무기물질은 대부분이 중금속류로서 회수하여 재이용하는 것이 바람직하나 경제성이나 효율성 면에서 역시 어려움이 있다¹³⁾. 또한 중금속류 폐기물을 매립지분할 경우 지하수 오염, 토양오염 등 2차 오염의 발생과 독성과 유해성이 큰 물질로 전이되는 문제점들이 있어 그 처리에 특별한 주의가 요구된다. 따라서, 중금속 폐기물을 매립할 경우 이와같은 문제점들을 완화시키거나 감소시키기 위한 방법으로 폐기물의 고형화방법이 다각도로 연구되어 오고 있다.

이와같은 고형화 처리에는 폐기물을 고체형태로 고정시키는 물질과 혼합시킴으로써 고체 구조내에 폐기물을 물리적으로 고정시키는 방법(Solidification)과 화학적으로 안정한 물질로 전환시키는 안정화(Stabilization)법이 있다. 대표적인 고형화 방법으로는 시멘트법, 석회법, 열가소성 플라스틱법, 유기중합체법, 피막형성법, 자가시멘트화법, 유리화법 등이 있으며, 그 중에서 시멘트법이 경제성 및 처리의 용이성 등으로 가장 널리 이용되고 있다²⁾. 그러나, 이와 같은 방법은 고형화 과정에서 매립할 폐기물의 양이 최고 2배 이상까지 증가하기 때문에 우리나라와 같이 국토가 협소한 실정에서는 최소한의 고형화제를 이용한 유해폐기물의 처리방안이 모색되어야 한다.¹⁴⁾ 따라서 화력발전소 비산회나 재결슬래그 등과 같은 일반폐기물이나 유해성이 적은 폐기물들의 특성을 최대한으로 이용하여 유해폐기물들을 고형화할 수 있다면 폐기물들의 재활용 효과와 별도의 고형화제 사용에 따른 폐기물 매립량의 증가를 억제할 수 있어 매우 바람직한 처리방법이 될 것으로 생각된다.

비산회를 원크리트에 사용할 때 가장 큰 문제점으로 대두되는 것은 비산회에 포함되어 있는 미연탄소분과 석탄의 종류 및 산지에 따른 조성의 차이로 인한 비산회의 화학적 불균일성이다. 따라서 이러한 문제점들이 선결된 경우 비산회의 활용율은 크게 높아질 것으로 기대된다.^{6,7)}

본 연구는 일반적으로 화력발전소에서 배출되는 비산회와 미연소 탄소함량을 줄인 비산회를 첨가제로 하여 시멘트, 슬러지, 모래 혼합의 고화체를 제조하고, 이의 압축강도를 비교 시험한 후, 일정강도 이상의 조건으로 효율적인 중금속 슬러지를 고형화시킨 고화체에 대한 안정성을 알아보기 위해 압축강도시험, 매립환경에서 침출에 의한 중금속 용출특성 및 용출에 따른 고화체의 물리적 특성에 대하여 연구하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

1.1 고형화재료

실험에 사용한 비산회는 중남 보령화력발전소에서 전기집진기(ESP)로 포집한 것과 이 비산회를 한국 비산회시멘트 공업주식회사에서 정제설비로 미연탄소분을 제거하고 입도를 일정하게 유지시켜 시판하고 있는 비산회등 두가지를 가지고 실험하였다.

고형화재료로 사용되는 시멘트는 국내에서 많이 생산되고 있는 TYPE 1의 포틀랜드 시멘트(쌍용시멘트공업)를 사용하였다. 시멘트와 비산회는 각각 100mesh 이하의 것을 103℃에서 항량이 되도록 건조한 다음 테시케이터에 넣어 보관하면서 실험

Table 1. Chemical Compositions of Cement and Fly Ashes

(Unit : wt. %)

Sample	Chemical compositions								Specific gravity
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	
Cement	63	25	6	2.5	2.0	1.5			3.12
Commercial fly ash	3.220	52.00	23.814	0.162	4.290	0.896	0.702	0.882	2.15
ESP fly ash	2.660	48.362	28.728	0.074	7.293	0.863	0.270	1.338	2.20

Table 2. Compositions of the Used Lead Sludge

Moisture Content (wt. %)	pH	Lead content (mg/g of sludge)
89.8	9.5	20.00

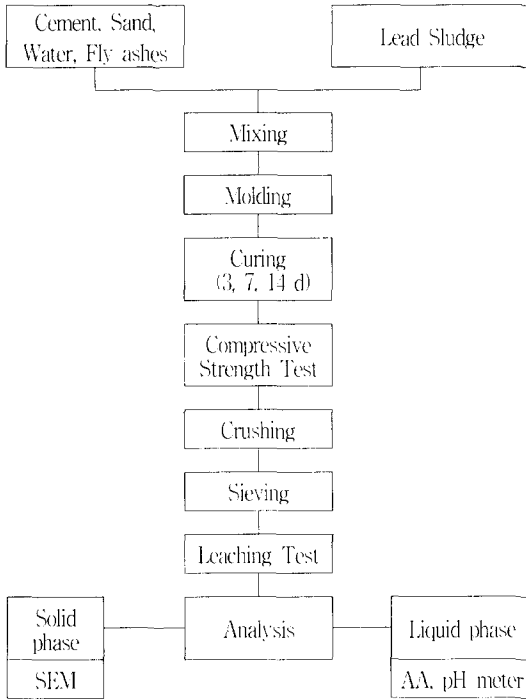


Fig. 1. Flowchart for experimental procedure.

에 사용하였다. 실험에 사용한 시멘트와 부가제 종류의 비산화에 대한 화학분석 결과를 Table 1에 나타내었다.

시멘트 모르타르용 모래는 KS L 5100⁵⁾ 규격에 명시된 압축강도용인 시판용 주문질 표준사를 사용하였고 건조기에서 103°C로 2일간 건조한 후 사용하였다.

1.2 납 슬러지의 제조

본 실험에서 사용한 납 슬러지 시료는 납의 농도와 시료의 균일성을 유지하기 위해 실험실에서 제조하여 사용하였으며, 또한 고화제의 강도변화와 중금속의 용출특성을 규명하기 위해 슬러지 성분을 단순화 시키고자 하였다. 즉, PbCl₂를 이용하여 납의 농도가 10,000 mg/L인 용액을 만든 다음, 6N

Table 3. Mixing Designed for Matrix (unit : g)

Sample	Mixture components					
	Cement	Sand	Fly ash	Water	Pb Sludge	W/C*
Blank	225.00	551.25	0	112.50	11.25	0.50
	225.00		0	123.75		0.55
	225.00		0	135.00		0.60
	225.00		0	146.25		0.65
Specimen	213.75	551.25	11.25	112.50	11.25	0.50
	202.50		22.50	123.75		0.55
	191.25		33.75	135.00		0.60
	157.50		67.50	146.25		0.65

* W/C : Water/(Cement+Fly ash(or none))

NaOH로 pH가 10이 되도록 조절하고, pH의 조절 후 1min 동안 150rpm으로 급속교반 시킨 후 다시 20min 동안 30rpm으로 완속교반하여 플록이 생성되도록 하였다. 그 후 3hr 동안 정치한 후 상등액을 제거하고 침전물만을 80°C 항온건탕조에서 2hr 동안 건조하여 납 슬러지를 제조하였으며 조성은 Table 2와 같다.

각 시료의 고형화 전후의 중금속 함량을 측정하기 위하여 질처리법 질산분해법(nitric digestion)⁹⁾을 사용하였으며, 납의 농도는 AA(Atomic Absorption Spectrophotometer, Smith Heitje 4000)를 이용하여 분석하였다.

2. 실험방법

비산회를 혼화제로한 시멘트 모르타르의 납 슬러지 고형화시 안정화 실험과정을 나타내면 Fig. 1과 같다.

2.1 배합설계

일반적으로 시멘트 모르타르의 공시체를 제작할 때 물의 양은 슬럼프(12±1cm)를 고정시킨 경우와 배합수량을 고정시킨 경우로 나눌 수 있다^{10, 11)}.

본 실험에서 사용한 납 슬러지는 수분함량이 매우 크기 때문에 전자의 경우에는 부적합하므로 후자의 방법에 따라 배합수량을 고정시켰으며 비산회의 첨가량에 따른 강도 변화를 알아보고자 Table 3과 같이 시멘트, 표준사, 비산회, 물, 슬러

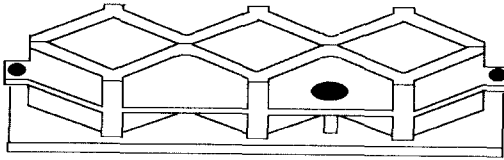


Fig. 2 Experimental mold.

지 등의 무게비를 변화시켜 실험하였다. 먼저 KS L 5100⁹⁾에 준하여 시멘트 : 모래 : 물의 배합비를 1 : 2.45 : 0.485로 하여 모르타르를 만들 후 중금속슬러지를 혼합하여 예비실험을 한 결과, 작업성이 현격히 저하되어 시멘트와 모래의 비를 1 : 2.45로 고정하고 시멘트에 대한 물의 비를 각각 0.50, 0.55, 0.60, 0.65정도로 달리하여 실험하였다. 이 때 시멘트 대체재로서 미산화 지원량은 5~30%로 하였다.

2.2 공시체 제작, 양생 및 압축강도 측정

고형화 실험에 사용된 공시체 제작을 위하여 Fig. 2와 같은 50×50×50mm 크기의 주철재로 된 시편틀을 제작하여 사용하였다. 먼저 Table 3의 배합비에 따라 건식으로 잘 혼합한 시료를 시멘트와 물의 비, 또는 시멘트에 미산화를 첨가한 혼합물과 물의 비가 0.50~0.65가 되도록 물을 가하여 각각 모르타르를 만들었다. 이와 같이 배합된 모르타르를 KS F 2403과 KS F 4004에 따라 시편틀의 1/3이 되게 채운 후 다짐막대로 30회 다지고 다시 1/3을 넣고 다진 다음 나머지를 채우고 다시 30회 다졌다. 다짐이 끝난 모르타르는 젖은 천으로 덮고 수시로 물을 분무하여 습윤상태를 유지함으로써 시편 표면의 수분 증발을 막았다. 이와 같은 상태로 24hr 동안 방치한 후 탈형하여 23~25℃ 온도의 호르는 물속에서 양생하였다. 이 때 양생시간은 실험조건에 따라 3일, 7일, 14일로 하였으며, 매 실험마다 3개씩의 시편을 제작하여 압축강도 및 용출실험을 하였다.^{10, 11)}

물속에서 양생이 끝난 시편의 압축강도는 반응재료시험기(Universal Test Machine, SV 0.55 GS-2, 대영정밀)를 사용하여 KS F 2405 및 KS F 2314에 따라 시험하였다.^{12, 13)}

Table 4. Compositions of Synthetic Brine

Ion	Na	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K	HCO ₃ ⁻	Cl	SO ₄ ²⁻
Conc.(ppm)	10,748	1,290	413	390	140	19,338	2,712

2.3 용출실험

미산화를 첨가한 시멘트 고화체에 고정된 납 슬러지중의 납이온의 안정도를 시험하기 위하여 고화체 시편을 파쇄하여 용출실험을 수행하였다. 이때 파쇄된 시편의 표면적을 균일하게 하기 위하여 체분식을 통하여 20/100 mesh로 입자 크기를 일정하게 한 후 실험에 사용하였다.

중금속의 용출실험은 미국 EPA에서 유해폐기물을 관리하기 위해 사용하는 EPT (Environmental Protection Agency Toxicity Test)방법으로 하였다.¹⁶⁾

즉, 파쇄한 시료를 10g씩 취하여 200mL씩의 증류수, 0.1N아세트산 용액, 그리고 인공해수에 각각 넣고 황온진탕기로 실온에서 200rpm으로 24hr 동안 진탕시켜 중금속을 용출하였다.

용출이 끝난 용액은 GF/C(Whatman, 1822 047) 여과지로 여과하여 여액중 10mL를 취한 후 질산분해(nitric digestion) 방법으로 진지리 하인 AA를 이용하여 분석하였다.¹⁶⁾ 또한 바탕실험을 하여 실험결과를 보정하였다.

한편, 용출액으로 사용한 인공해수는 ASTM D 1141에 의해 제조하여 사용하였고¹⁷⁾ 이때 인공해수의 조성은 Table 4와 같다.

2.4 주사전자현미경(SEM) 관찰

용출전후의 고화체 모양을 관찰하기 위하여 먼저 고화체에 고정된 중금속 이온들이 공기에 의해 산화되는 것을 방지하고자 고화체를 진공건조기에서 50℃로 건조시킨 후 파쇄한 시료를 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Microscope, S-2500C, HITACHI)을 사용하여 가속전압 15KV, 배율 10,000배로 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

1.1 비산화 시멘트-물의 배합비

시판용 비산화와 ESP 비산회를 각각 비율을 달리하여 혼합한 시멘트와 물의 무게비를 각각 0.50, 0.55, 0.60, 0.65로 하였을 때 비산화 혼합량과 양생 시간에 따른 압축강도의 시험결과를 Fig. 3~6에 나타내었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 물/시멘트 비가 0.50인 경우 양생시간이 길어짐에 따라 두가지 비산화 모두 압축강도가 증가하고 있으며, 비산화의 함량에 따른 압축강도는 시판용 비산화의 경우에는 10%일 때, ESP 비산화의 경우에는 5%일 때 가장 높은 강도를 나타내었으나, 전반적으로는 시판용 비산회를 첨가했을 경우가 ESP 비산화의 경우보다 더 높은 압축강도를 나타내는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4의 물/시멘트 비가 0.55인 경우에도 압축강도는 0.50인 경우와 마찬가지로 양생시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며 전반적으로 0.50의 경우에 비하여 압축강도가 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 역시 시판용 비산화의 경우 10%일때가 그리고 ESP비산화의 경우는 5%일때가

가장 좋은 강도를 나타내었으며 7일 양생강도는 각각의 최대치가 거의 유사한 값을 보여 주었다.

Fig. 5와 6의 경우 즉, 물/시멘트 비가 0.60, 0.65인 경우에도 압축강도는 양생시간에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있지만 0.50과 0.55에 비해 전반적으로 낮은 값을 나타내고 있다. 그러나 W/C가 0.60일 때 비산화의 첨가량에 따른 압축강도의 경향은 0.50 및 0.55와 같으나 Fig. 6에서 시판용 비산화의 경우 7일 양생강도는 다소 다른 경향을 나타내었다.

결과적으로 시멘트와 비산화 그리고 물의 최적 배합비는 시판용 비산회를 사용한 경우 비산화의 양 10%, 물/시멘트 비 0.55이며, 이때 시멘트 모르타르 강도는 최대 210kg/cm²이었고 ESP 비산회를 사용하였을 때는 비산화 양 5%, 물/시멘트비 0.55일 때 190kg/cm²의 최대 압축강도를 나타내었다. 비산화의 종류에 따라 강도의 차이가 나타나는 원인은 ESP 비산회가 미연탄소분을 불순물로 함유하고 있고 또한 비산화의 입경분포도 불균일하기 때문에 강도가 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

한편 압축강도 시험결과 비산화는 시멘트 모르타르의 강도 증진제로서 사용될 수 있음이 입증되었으며 압축강도가 가장 좋은 14일 양생의 경우

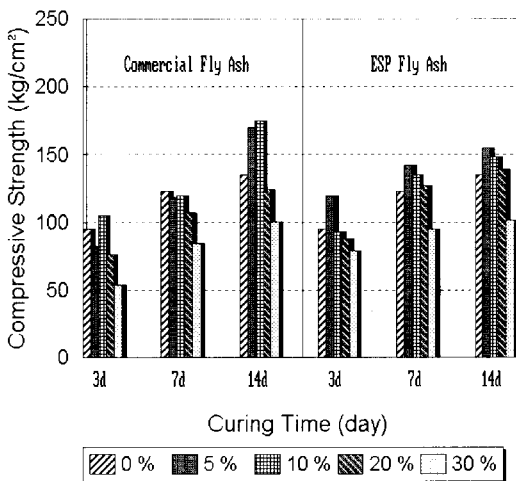


Fig. 3. The effects of curing time and fly ash content on the compressive strength of cement mortar(at W/C = 0.50).

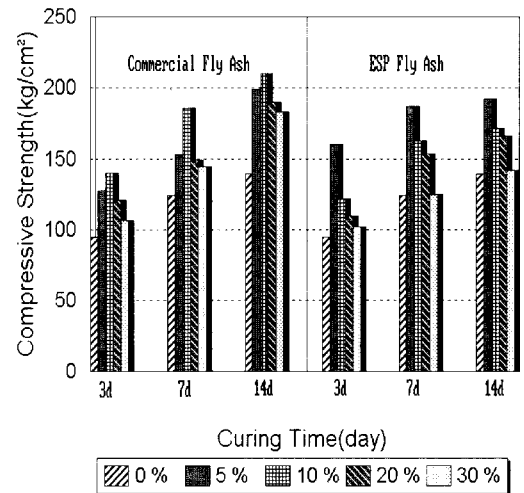


Fig. 4. The effects of curing time and fly ash content on the compressive strength of cement mortar(at W/C = 0.55).

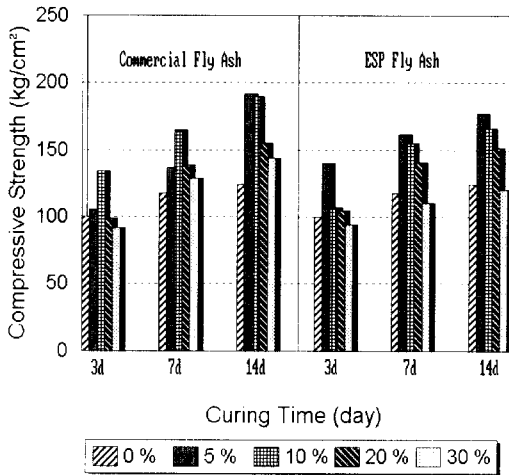


Fig. 5. The effects of curing time and fly ash content on the compressive strength of cement mortar(at W/C = 0.60).

시판용과 ESP 비산회는 각각 62%와 46%의 강도 증진 결과를 나타냄을 알 수 있다.

또한 비산회를 포함하는 시멘트 모르타르는 초기 양생에서 압축강도가 낮게 나타나는데 이는 시멘트의 수화반응에 의해 발생하는 수산화칼슘의 칼슘 이온과 비산회에서 용출되는 SiO₂나 Al₂O₃가 반응하여 C-S-H, Ca(OH)₂의 핵 생성을 지연시키기 때문이며, 양생시간이 경과함에 따라 C-S-H나 C-A-H(calcium aluminate hydrate)가 생성됨으로써 점차 강도가 높아지는 것으로 해석된다¹⁸⁾.

1.2 중급속 슬러지 고형체

시멘트에 시판용과 ESP 비산회를 시멘트 무게 비로 각각 0, 5, 10%씩 혼합하고 여기에 각각 납 슬러지를 11.25g 혼합한 후 물과 이 혼합물의 무게 비를 0.55로 하여 3, 7, 14, 28일간 양생시켜 압축 강도를 시험한 결과는 Fig. 7과 같다. 28일 양생한 시료에서 시판용 비산회를 10% 혼합한 경우가 역시 가장 높은 261kg/cm²의 압축강도를 나타내었고, 다음으로 비산회를 혼합하지 않은 시멘트, 그리고 10%의 ESP 비산회를 첨가한 순서로 강도가 작아졌으나 그 차이는 10kg/cm²이내 이었다.

따라서 납 슬러지를 혼합하지 않았을 때와 비교하여 시판용 비산회의 경우에는 거의 동일한 강도를

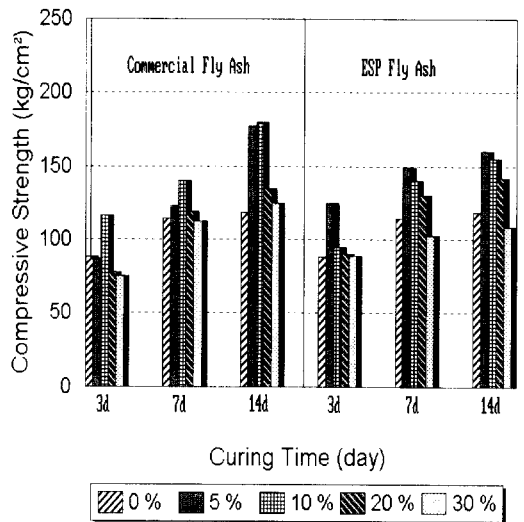


Fig. 6. The effects of curing time and fly ash content on the compressive strength of cement mortar(at W/C = 0.65).

나타내었으나 ESP 비산회의 경우는 5%를 첨가한 경우에 강도가 감소하였고, 10%를 첨가한 경우와 시멘트만의 경우 강도가 현저히 증가하였음을 알 수 있다. 이것은 비산회의 함량이 모두 10%인 경우 납 슬러지가 초기 수화반응을 방해함으로써 압축강도가 낮아지지만, 양생일이 길어짐에 따라 비산회의 포졸란 반응에 의해 강도가 오히려 높아지는 것으로 해석할 수 있다. 수화반응 초기에 방해 작용이 일어나는 이유는 납 이온과 시멘트의 칼슘 이온간에 복합이 생성되어 그만큼 강도증진에 기여하는 Ca(OH)₂를 적게 만들어 내기 때문이다.¹¹⁾ 그러나 양생일이 경과됨에 따라 비산회의 포졸란 반응에 의하여 비산회를 혼합하지 않은 경우보다 높은 압축강도로 나타내는 것으로 생각된다. 이상의 고찰에서 10%의 비산회를 첨가한 시멘트 모르타르를 납 슬러지 고형화제로 사용할 경우 시멘트 모르타르로만 고형화한 경우보다 양생시간이 길어짐에 따라 높은 압축강도를 얻을 수 있음을 알 수 있으며, 또한 최적 물/시멘트 비는 0.55임을 알 수 있다. 14일 동안 양생한 시멘트 모르타르의 압축강도를 기준으로 물/시멘트 비가 0.50, 0.55, 0.60, 0.65일 때 시판용 비산회의 함량이 각각 5~30%, 0~30%, 5~20%, 5~10%인 경우 모두 시멘트의

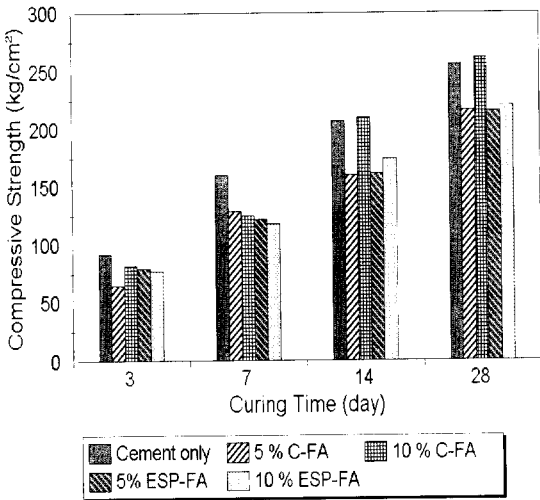


Fig. 7. The effects of curing time and fly ash content on the compressive strength of cement mortar mixed with lead sludge(at W/C = 0.55) (C-FA : Commercial Fly Ash, ESP-FA : ESP Fly Ash)

14일 이후에는 압축강도 기준치 140kg/cm^2 를 초과하므로 납 슬러지의 고화체로서 충분한 강도를 가지고 있음을 알 수 있고 양생기간이 길어질수록 오히려 고화체의 강도는 더욱 높아질 것으로 예측된다.

2. 중금속의 용출특성

납의 용출실험을 위해 시멘트 그리고 시멘트에 시판용비산화 및 ESP비산화를 각각 10%씩 혼합한 것에 다시 11.25g의 납 슬러지를 혼합한 후 물/시멘트 비를 0.55로 하여 고형화시킨 고화체를 14일간 양생한 다음 이것을 20/100 mesh로 체가름하여 200mL씩의 증류수(pH 6.8), 0.1N 아세트산용액(pH 4.8), 그리고 인공해수(pH 6.8)를 각각 용출액으로 하여 용출시켰다. 이때 납이온의 농도와 pH 등을 측정하고 각 pH에서 납의 용해도와 비교하였다.

2.1 용출액의 종류에 따른 용출특성

Fig. 8.은 납 고화체에 대한 용출실험 결과로 0.1N 아세트산용액, 인공해수 그리고 증류수로 각

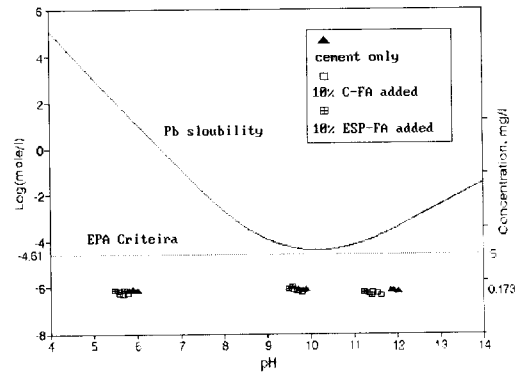


Fig. 8. Pb concentration and pH in leachates (C-FA : Commercial Fly Ash, ESP-FA : ESP Fly Ash)

각 용출하였을 때 용출액의 pH와 납 이온의 농도, 그리고 납의 용해도곡선을 나타낸 것이다. 용출액의 종류와 고화체인 시멘트모르타르의 종류에 관계없이 용출량은 모두 EPA 기준치인 5 mg/L보다 훨씬 낮은 평균 0.173 mg/L로 나타나 납이 고화체 내에 안정적으로 고정되어 있음을 알 수 있으며, 아세트산 용액으로 용출하였을 때 용출액의 pH가 4.8에서 5~6으로 높아지기는 하나 산성이므로 납의 용해도가 증가되어 용출량이 커질 것으로 예상되었으나 증류수나 인공해수의 경우와 비슷한 값을 나타내고 있다. 이러한 결과는 고화체의 낮은 투수율($10^{-8} \sim 10^{-11}\text{m}^2/\text{s}$)과 시멘트가 가지고 있는 알칼리성분들에 의한 완충작용으로 인하여 용출액이 고화체의 표면에서만 작용하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 증류수로 용출했을 때 용출액의 pH가 6.8에서 11~12정도까지 높아지고 인공해수의 경우도 pH가 8.6에서 9~10으로 높아지는 것은 시멘트로부터 많은 양의 알칼리 성분이 용해됨으로서 pH의 상승과 함께 납의 용출을 억제하는 것으로 생각된다.

그러나 증류수로 용출시 높은 pH로 인하여 고화체로부터 용출된 납중 일부가 재침전되나 이들 침전물들도 용출량 계산에 포함하였다. 납 슬러지를 혼합하지 않고 비산화와 시멘트만으로 고화체를 만들어 같은 방법으로 용출시킨 바탕실험 결과, 세가지의 용출액 모두에서 납이온은 검출되지 않

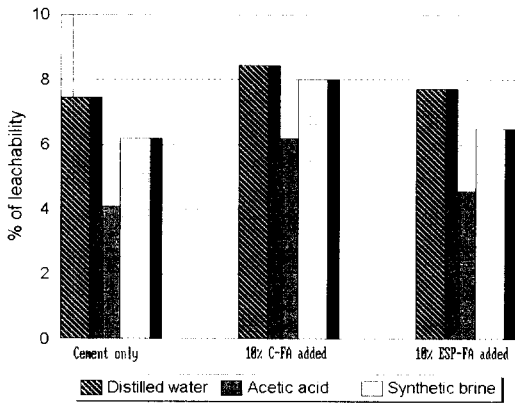


Fig. 9. Leaching rate of sample containing mixed synthetic lead sludge in three leachates(W/C = 0.55, curing time = 14d) (C-FA: Commercial Fly Ash, ESP-FA: ESP Fly Ash)

았다.

Fig. 9.는 시판용 비산회와 ESP 비산회를 각각 10%씩 첨가한 시멘트와 첨가하지 않은 시멘트로 납 슬러지를 고형화하고 앞에서와 같은 3가지 용출액으로 용출실험을 하여 고화체의 용출특성을 나타낸 결과이다.

비산회를 첨가하지 않고 시멘트만을 고화시킨 경우에 모든 용출액에서 용출율이 높았고 다음으로 ESP 비산회, 시판용 비산회순으로 나타났다. 따라서 용출용액과 관계없이 시판용 비산회를 첨가한 시멘트 고화체가 가장 좋은 고화체임을 알 수 있다. 그러나 용출액의 종류에 관계없이 모든 용출율은 10% 미만의 낮은 값을 보이고 있고, 또한 실제 매립에서는 고화체를 파쇄하지 않으므로 중금속 폐기물을 본 연구에서와 같은 방법으로 고형화시켜 매립할 경우 실제 용출율은 훨씬 감소할 것으로 예측된다.

3. 주사전자현미경(SEM) 관찰

Fig. 10.은 납 슬러지를 10%의 시판용 비산회를 첨가한 시멘트 모르타르로 고형화하여 14일간 양생기간을 거친 후 각각의 용출용액으로 용출한 고화체의 표면상태를 조사하기 위하여 10,000배의 배

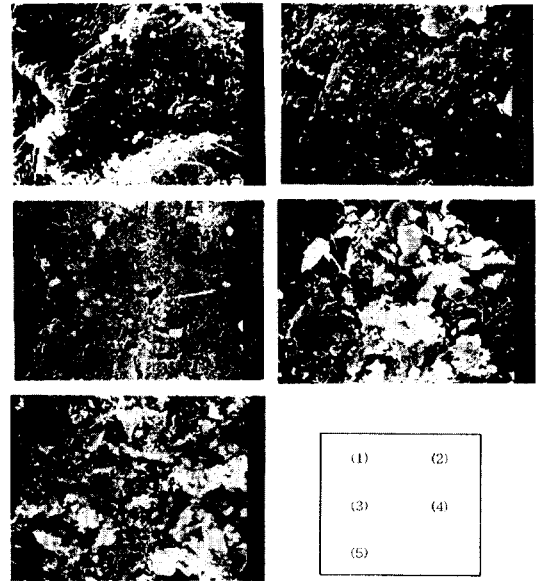


Fig. 10. SEM photographs of solidified Pb sludge. (1) solidified Pb sludge with cement (2) solidified Pb sludge with cement and fly ash mixture (3) leached solidified Pb sludge in demineralized water (4) leached solidified Pb sludge in 0.1N acetic acid (5) leached solidified Pb sludge in synthetic brine

율로 관찰한 SEM 사진들이다.

Fig. 10.에서 보는 바와 같이 시멘트에 대한 비산회의 첨가 유무에 따른 표면상의 변화는 관찰되지 않았으며 증류수, 아세트산 용액, 그리고 인공해수 등으로 용출한 후의 표면상태는 Ca(OH)₂와 납의 용출이 큰 아세트산 용액의 경우 전반적으로 가장 부식이 컸고 인공해수의 경우는 부분적으로 표면 부식이 크게 발생하였음을 알 수 있다. 그러나 증류수의 경우 이에 비하여 표면상태가 양호함을 알 수 있었다.

IV. 결론

화학 발전소 폐기물로 ESP에서 포집되는 비산회와 이를 정제하고 입도를 조절한 시판용 비산회

를 첨가제로 사용한 시멘트 모르타르를 이용하여 납 슬러지를 고형화시킨 고화체의 압축강도 및 용출 실험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 비산회를 첨가한 경우 시멘트 모르타르만의 경우에 비하여 양생시간이 경과함에 따라 포졸란 반응이 일어나므로써 압축강도가 46~62%정도 높게 나타나 비산회가 시멘트의 압축강도를 증가시키는 강도증진제로 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 또한 시판용 비산회와 ESP 비산회의 비교 결과 시판용 비산회를 첨가했을 때 압축강도가 더 높았으며 최적 배합비는 14일 양생후 압축강도 결과 시판용 비산회의 경우 10%, 그리고 ESP 비산회는 5%이었다.
2. 압축강도 시험결과로 나타난 시멘트 고형화의 최적조건은 시멘트에 시판용 비산회를 무게비로 10% 첨가하고, 물/시멘트 비를 0.55로 하여 14일간 양생했을 때이었고, 이때의 압축강도는 210kg/cm²이었다.
3. 납 슬러지를 혼합하여 고형화 시킨 경우, 초기에는 수화반응의 방해작용이 나타나 압축강도가 낮았지만 양생일이 증가하면서 비산회의 포졸란 반응이 진행됨에 따라 압축강도가 증가되어 14일 양생 이후에는 비산회의 혼합량과 관계없이 시멘트의 압축강도 기준치인 140kg/cm²를 초과하였다.
4. 납 슬러지 고화체의 용출액은 용출액의 종류에 관계없이 평균 0.173mg/L 이하이었고, 용출율 역시 10% 미만의 용출율을 나타내었고 비산회의 함량과 용출액의 종류에 따른 용출량의 차이는 크지 않았다.

References

1. 환경부, 폐기물관리법, 환경부, 12~15, 1996

2. 한국폐기물학회, 폐기물처리기술과 재활용, 동화기술, 254~279, 1995
3. 정재준, 폐기물 처리, 신광문화사, 543~552, 1994
4. H.M. Freeman, Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal, McGraw-Hill Book Company, 7.85~7.101, 1989
5. 한국전력공사 기술연구원, 콘크리트 혼화재료서의 석탄재 이용방안 연구, KRC-87H-J01, 4, 1989
6. 고순도 플라이애쉬의 사업 타당성 분석, 산업기술정보원, 1994
7. 오병환, 정범석, 플라이애쉬 및 플라이애쉬 콘크리트의 제반 특성 및 이용, 콘크리트학회지, Vol.3, No.3, 5~20, 1991
8. KS L 5100 시멘트 강도 시험용 표준사
9. P.L. Cote, D. Label, Application of a Dynamic Leaching Test to Solidified Hazardous Wastes, Hazardous and Industrial Waste Management and Testing, 3rd sym., ASTM, 48~60, 1984
10. KS F 2403 콘크리트의 시험용 공시체 제작방법
11. KS F 4004 시멘트 벽돌
12. KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법
13. KS F 2314 흙의 일축 압축 시험 방법
14. F.A. Oluokun, Fly Ash Concrete Mix Design and the Water-Cement Ratio Law, ACI Materials J., 91-M36, 362~371, 1994
15. D.A. Abrams, Water-Cement Ratio as a Basis of Concrete Quality, ACI Materials J. Proceedings, 23, 452~457, 1927
16. U.S. Environmental Protection Agency, Hazardous Waste and Consolidated permit Program, Federal Register, May 19, 5(98): 33063~33285, 1980
17. ASTM D 1141~90 (Standard Specification for Substitute Ocean Water)
18. 도갑수, 폐기물처리공학, 신광문화사, 258~262, 1993