

비산회를 이용한 도금폐수의 응집처리

연익준 · 김광렬*

동립건설(주)기술개발연구소 · 충북대학교 환경공학과*

Coagulation of the Metal-Plating Wastewater using Coal Fly Ash

Ik Jun Yeon · Kwang Yul Kim*

*Technology Development Institute, DONGLIM Construction & Engineering Co. Ltd.
Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University**

Abstract

The purpose of this study is to reduce environmental problems caused by landfill of bituminous coal fly ash emitted from the power plant and to reuse it. First of all, we experimented that Al and Si elements were extracted from fly ash and investigated that extracted Al and Si elements might use a coagulant.

The extraction was carried out under various conditions ; concentration of the extraction solution, calcination temperature and calcination time.

As the results, it was found that the optimum conditions of the extraction of Al and Si elements from fly ash were as follows ; concentration of NaOH was 5N for both of them, calcination temperature was 700°C and 600°C, and calcination time was 1hr and 1.5hr, respectively.

The extracted solution was used as a coagulant to treat the diluted metal-plating solutions which contained Pb and Cu, respectively.

As the result of treatment on the diluted Pb-plating solution with 315NTU, the removal efficiency of turbidity was more than 90%, and the removal efficiency of Pb was about 80%. As for treatment of the non-turbid diluted Cu-plating solution, the removal efficiency of Cu was about 98%.

Key word : coal fly ash, extraction, coagulation, metal-plating solution

I. 서론

삶의 질이 높아짐에 따라 에너지에 대한 소비 또한 급속히 증가하고 있으며 이에 따라 요구되는

전력 또한 증가하고 있다. 우리나라 전력의 38%를 공급하는 석탄화력발전소의 경우 전력의 원활한 공급을 위하여 계속 증설되고 있는 실정이다. 이때 사용되어지는 석탄은 대부분 유연탄을 미분화하여

1400℃ 정도의 고온에서 연소시키는데 이때 연소생성물로 대량의 석탄회가 발생하게 된다. 국내 석탄비산회의 총 발생량은 2001년 492만 톤이었으나 2005년에는 570만 톤으로 증가될 것으로 예측되며, 이 중 유연탄 비산회는 340만 톤에서 약 470만 톤으로 급증하게 될 것이다. 현재 발생하는 비산회는 그동안 재활용에 대한 많은 관심과 연구로 인하여 약 60%정도가 재활용되고 있으나 매립부지가 부족한 우리의 실정과 재활용율이 80% 이상이 되는 독일, 벨기에, 일본 등의 외국과 비교하였을 때 아직도 부족한 편이다¹⁾.

비산회의 매립 처분은 매립지의 확보 및 건설 등에 따른 경제적 부담과 비산회의 수송, 저장 및 취급시의 환경오염 유발 그리고 매립지의 사후 관리비용 등의 문제점들이 야기되고 있어 보다 근본적인 비산회의 처리대책이 매우 시급한 실정이다. 국내에서의 비산회 재활용은 레미콘 혼화재, 시멘트 원료 및 혼화재 등과, 시멘트 벽돌 제조, 기포콘크리트, 아스팔트 충전재, 규산 비료의 원료, 건축용 저급벽돌 제조 등의 일부 분야에서만 활용되어 왔다²⁾.

비산회의 주 결정상은 mullite와 quartz이며 나머지는 magnetite, hematite 등으로 구성되어 있다. 이들 조성을 금속원소의 구성으로 나타내면 주로 Si, Al, Fe, Ca 등이 95~99%이고 나머지 Mg, Ti, S, Na, K 등이 0.5~3.5%를 차지하며 그 외 미량 원소까지 포함하면 총 구성원소수는 20~50가지에 달하는 것으로 알려져 있다. 또한 비산회는 비표면적이 크고, Si와 Al이 다량 함유되어 있어 점차 산업적 재활용 가치가 인정되고 있다. 현재 이와 같은 특성을 이용하여 비산회내에 함유된 SiO₂와 Al₂O₃ 등을 추출하여 제올라이트 합성에 이용하거나, 또는 비산회 자체를 흡착제로 이용하거나 포졸란 반응을 이용하여 유해 폐기물의 고형화 원료로서 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다^{3,4)}.

Al은 다가 양이온으로써 기존의 응집제로 사용되는 alum의 주성분이며 따라서 비산회로부터 수산화물 형태로 회수된 Si와 Al은 모두 다가 양이온이므로 응집효과가 있을 것으로 예상되어 본 연구에서는 화력발전소의 폐기물인 비산회의 매립에 따른 환경문제를 감소시키고, 폐기물의 자원화를

위한 목적으로 비산회의 주요성분인 Si와 Al을 알칼리 추출법으로 회수하여 무기 응집제로서의 활용가능성을 검토하고자 하였다. 또한 비산회로부터 Si와 Al의 추출율을 높이기 위해 전처리 반응인 소성조건과 추출 반응조건 등에 대하여서도 검토하였다.

II. 이론적 고찰

Si 화합물이 기본적으로 용해되는 형태는 monomer, Si(OH)₄이며 일반적으로 자연상태와 산용액에서는 용해되지 않고 알칼리 용액에서 용해된다. pH가 9~10.7 범위에서는 silica가 monomer로써 뿐만 아니라 silicate 이온의 형태로도 용해되기 때문에 무정형 silica의 용해도는 증가한다. 이 범위 안에서 무정형 silica는 silicate 이온과 마찬가지로 중성의 monomer와 함께 용해도 평형상태에 있으며 높은 pH에서 이온성 물질로의 전환에 의해 Si(OH)₄의 농도가 매우 낮아지기 때문에 pH가 10.7이상에서는 모든 고체상의 무정형 silica가 용해성 silicate 형태로 녹는다⁵⁾.

Silicate 평형식을 이용하여 작성한 무정형 silica의 용해도 곡선은 pH가 약 9보다 낮을 때 무정형 silica의 용해도는 2×10^{-3} M (120mg/L as SiO₂)로 일정하며, pH가 9보다 높을 때는 무정형 SiO₂의 용해도는 음이온성 monomer와 콜로이드 입자와 같은 크기의 고분자 물질을 형성함으로써 증가된다.

농축된 Na₂SiO₃용액을 산성화시키면 무정형 silica가 침전되는 점에서 과포화되며 침전은 고분자화 반응과 함께 시작된다. 고분자화 반응은 monomer들이 Si-O-Si 결합형태로 응축하는 것으로 이러한 polysilicates는 음이온 전하를 띤 silica sol의 형태로 응집과 상호결합에 의해 반응이 일어난다. 이러한 반응은 silica gel을 생성할 수 있으며, 이렇게 생성된 활성 silica는 열역학적으로는 불안정하지만 짧은 기간 동안은 응집제로써 활용이 가능하게 된다⁶⁾.

Al₂O₃는 산성 또는 강알칼리에서 용해되어 Al³⁺, Al(OH)₄⁻, AlO₂⁻ 등으로 존재하며, 비산회내의 Al의 주된 형태는 Al₂O₃이고 산성 또는 알칼리 용액

에서 일부가 용해되어 AlO_2^- 를 형성하고 이는 다시 Al^{3+} 와 $Al(OH)_3$ 및 $Al(OH)_4^-$ 로 변화한다⁷⁻⁹⁾.

Si와 Al은 고령토, 점토, 비산회 등에 많이 함유되어 있으며, Si를 포함한 주 화합물인 silica의 활용성은 그다지 높지 않아 Si의 추출에 관한 직접적인 연구는 거의 없고 주로 제올라이트를 합성하거나 추출하고자 하는 주성분을 추출한 후 부수적으로 Si를 추출하는 과정을 포함하는 연구들이 수행되어 왔다. 그러나 Al은 알루미나 형태로 금속알루미늄의 제조원료로 사용될 뿐만 아니라, 특히 고온에서 우수한 기계적 및 전기적 성질과 화학적 안정성을 갖고 있어 사용되는 분야가 점차 확산되고 있다¹⁰⁻¹⁶⁾.

III. 실험재료 및 방법

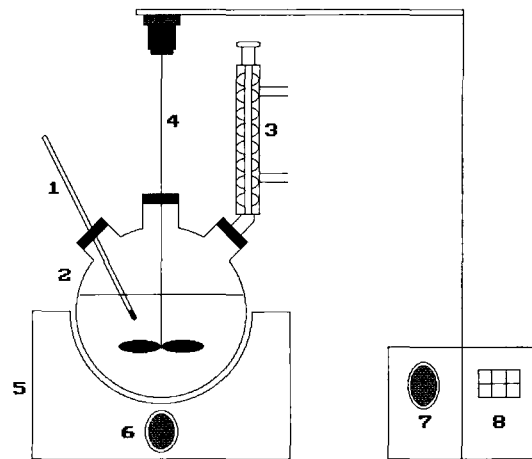
1. 실험재료

실험에 사용된 시료는 충남 보령 화력발전소에서 호주산 유연탄의 연소시 전기집진기에서 포집된 비산회를 사용하였으며 ICP(Lab8440, Labtam Co.)로 분석한 비산회의 조성은 Table 1과 같으며, SiO_2 와 Al_2O_3 의 함량이 전체 80%이상을 차지하고 있음을 알 수 있었다. Si와 Al의 용출에 사용된 시약은 1급 NaOH(Yakuri Co.)를 사용하였다.

2. 추출실험

추출에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같으며, 3L 용량의 3구 플라스크에 교반기와 온도계 그리고 환류 냉각기를 각각 장치한 후 이를 다시 맨틀하터에 고정시켰으며 온도 조절기와 속도조절기를 이용하여 반응온도의 조절과 교반속도를 500rpm으로 유지하도록 하였다.

먼저 비산회를 -230mesh로 체가름을 한 후 온도와 시간을 각각 300~850℃, 0.5~1.5hr로 변화시켜 소성 하였으며, 소성된 비산회 20g에 대하여 2~5N의 NaOH 용액을 추출액으로 Si와 Al을 주



1. Thermometer
2. Reactor
3. Reflux condenser
4. Agitator
5. Heating mantle
6. Temperature controller
7. Speed controller
8. Tachometer

Fig. 1 Schematic diagram reactor.

출하였고 이 때 추출 조건은 교반 속도 500rpm, 추출온도 100℃, 추출시간 1hr으로 고정하였다. 추출 후 고액을 분리하고 여액을 응집제로 이용하여 응집실험을 하였다. 추출된 Si와 Al의 농도는 ICP를 사용하여 분석하였다.

3. 응집실험

시료 1L씩을 jar-tester의 6개 반응조에 담고 각각 응집제를 주입한 후 130rpm으로 급속교반 1min, 40rpm으로 완속교반 20min, 그리고 30min 침전으로 jar-test 하였다. 또한 응집 전후 폐수의 탁도와 pH를 측정하였다. 탁도는 탁도계(Model HI93703, Hanna Instruments Co.)를 이용하였고, pH는 pH meter(Model 6071, Junco Co.)를 이용하였다. 산성폐수처리시 응집제로써의 가능성을 알아

Table 1. Chemical Composition of Bituminous Coal Fly Ash

Comp.	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	TiO_2	SO_3	LOI.	Moist.	others
wt.%	54.80	25.30	0.68	4.29	3.22	0.50	0.79	0.66	0.24	3.52	4.92	1.08

Table 2. The Characteristics of Raw Wastewater

	Turbidity (NTU)	pH	Concentration of Pb or Cu (ppm)
Diluted Pb-plating Solution	315	1.59	0.42
Diluted Cu-plating Solution	-	1.77~1.92	125

보기 위한 대상시료는 Pb과 Cu 도금액을 회석하여 사용하였고 특성은 Table 2와 같다.

IV. 실험결과 및 고찰

1. 추출

비산회로부터 Si와 Al을 추출하기 위해 추출온도, 추출시간, 교반속도를 각각 100℃, 1hr, 500rpm으로 고정시키고 소성온도, 소성시간, NaOH 용액의 농도를 변화시켜 실험한 결과는 다음과 같다.

1.1 NaOH 용액의 농도에 따른 영향

소성시간을 1hr으로 고정시키고 소성온도를 70℃, 800℃로 하여 소성시킨 비산회를 NaOH 용액의 농도를 2~5N로 달리하여 추출시 Si와 Al의 추출량 변화에 대한 결과를 Fig. 2과 3에 나타내었다.

Fig. 2에서 Si의 추출량 변화는 NaOH 용액의 농도가 증가함에 따라서 전체적으로 완만하게 증가하였으며, 이는 silica의 용해에 OH⁻이온이 촉매로 작용하였기 때문이다⁵⁾.

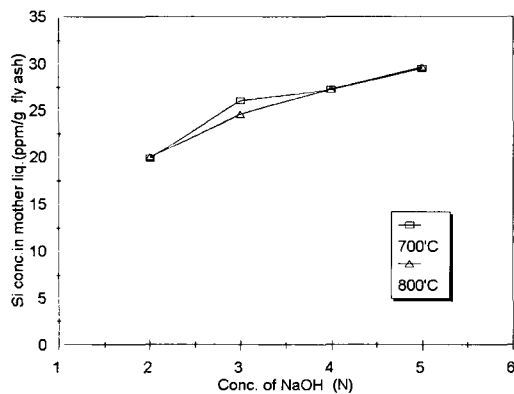


Fig. 2 Variations of extracted Si concentration with the concentration of NaOH solution.

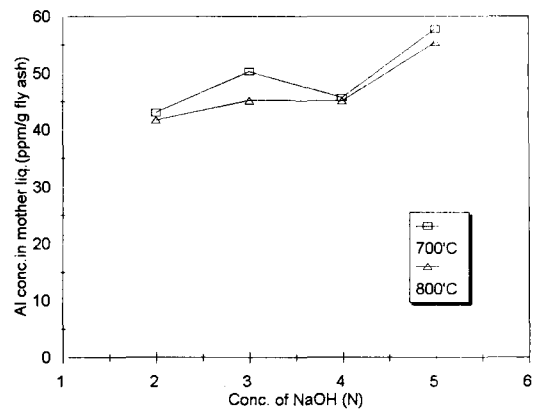


Fig. 3 Variations of extracted Al concentration with the concentration of NaOH solution.

Fig. 3에서 Al의 추출량의 변화 역시 NaOH 용액의 농도가 증가함에 따라서 증가하였으나 4N에서 감소하였다가 5N에서 다시 증가하였다. 이는 NaOH 용액의 농도에 따라 Al이 존재하는 형태의 차이 때문인 것으로 보여진다.

1.2 소성온도와 시간에 따른 영향

NaOH 용액의 농도를 5N로 고정시키고 소성온도와 시간을 300~850℃, 0.5~1.5hr로 변화시켜 추출량의 변화를 알아보았으며, 그 결과를 Fig. 4과 5에 나타내었다. Fig. 4에서 Si의 추출량은 소성시간이 0.5hr일 때는 소성온도가 700℃에서 추출량이 최대였고, 1hr일 때는 소성온도가 600℃에서 추출량이 최대였으며, 1.5hr일 때는 소성온도에 따른 영향이

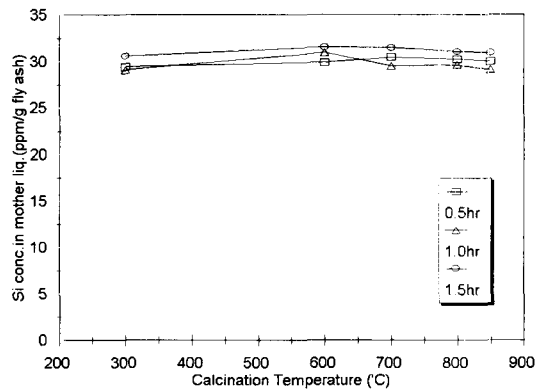


Fig. 4 Variations of extracted Si concentration with the calcination temperature and time.

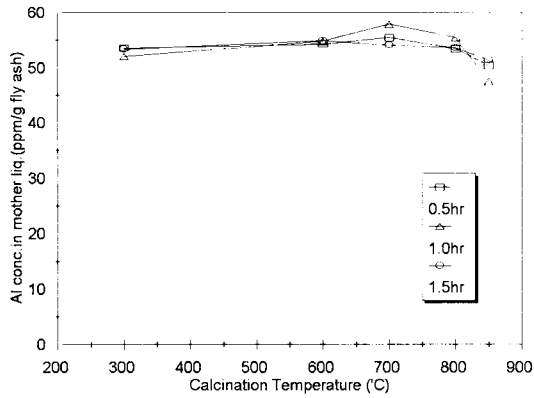


Fig. 5 Variations of extracted Al concentration with the calcination temperature and time.

크지 않았다. 전체적으로 소성시간에 따른 추출량 변화는 크지 않았으며 소성시간이 1hr일 때 소성은

도 600°C에서 비교적 큰 변화율을 보였다.

Al의 추출량 변화는 Fig. 5에 나타내었으며 소성 온도 700°C까지는 추출량이 증가하다가 이 후에는 다시 감소하는 경향을 보였으며, 소성온도 300°C, 600°C, 800°C, 850°C에서는 소성시간에 따른 추출량은 차이가 거의 없었고 소성온도 700°C에서는 소성시간이 1hr일 때 추출량이 최대였다. 따라서 Al의 추출량은 소성온도와 시간이 각각 700°C, 1hr 일 때 추출량이 최대였다.

이상의 결과에서 Si와 Al의 추출량이 전체적으로 낮은 것은 비산회에 포함되어 있는 Fe, Ca, Mg 등 기타 여러 가지 불순물들이 알칼리 용액에서의 Si와 Al의 용해를 방해한 것으로 추정되며, 또한 Si와 Al은 용액에 용해되는데 있어서 서로 방해물질로 작용을 한다고 알려져 있다⁹⁾.

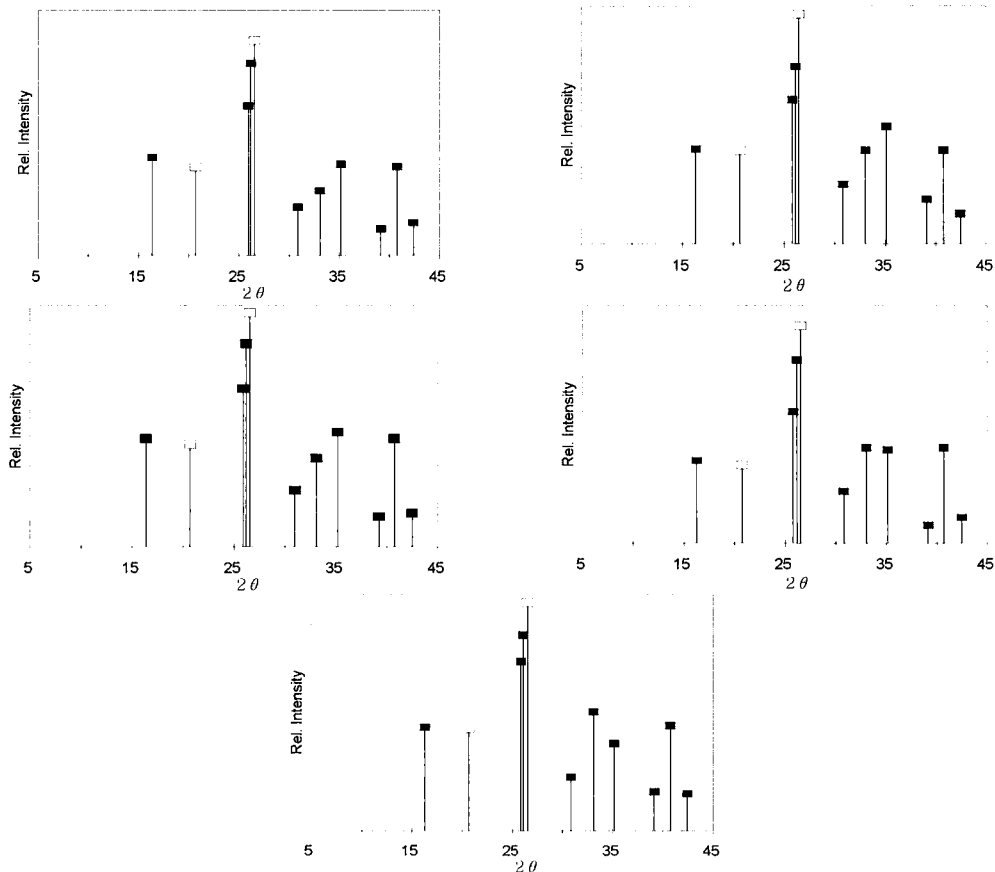


Fig. 6. XRD patterns of fly ashes at the various calcination temperatures for one hour ; (a) 300°C, (b) 600°C, (c) 700°C, (d) 800°C, (e) 850°C. (□ ; Quartz, ■ ; Mullite)

전체적으로 추출량이 낮지만 Si는 600°C에서, Al은 700°C에서 추출량이 비교적 큰 변화를 보이는 것은 소성에 따른 결정 구조의 변화 때문이며, 1hr 동안 소성한 비산회의 XRD 분석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 소성온도에 따른 결정의 변화는 600°C에서 silica의 한 형태인 quartz의 피크가 다른 소성온도에서 보다 비교적 강하게 나타났으며 mullite($Al_6Si_2O_{13}$)의 피크는 비교적 약하게 나타났다. Quartz(SiO_2)는 Si의 용해에 있어서 Al의 영향을 덜 받을 것이고, Al과 Si의 화합물 결정인 mullite의 피크가 약하게 나타난 것으로 보아 결정 구조가 깨져서 Si의 용해도가 증가한 것으로 판단된다. Fig. 6에서는 Al을 함유한 mullite의 결정의 변화가 거의 나타나지 않았으나 일반적으로 Al을 함유한 결정은 소성온도가 700°C 또는 800°C일 경우 결정구조가 파괴되어 용해도가 증가하는 경향이 있기 때문에^{13,14)} 700°C, 1hr 소성에서 추출량이 가장 많았던 것으로 해석된다.

2. 응 집

추출모액에 대하여 응집제로써의 활용가능성을 알아보기 위하여 응집실험의 추출액은 Si의 추출량 변화율이 작았기 때문에 추출량 변화율이 비교적 컸던 Al의 추출량이 가장 높게 나타난 700°C, 1hr에서 소성한 비산회를 5N NaOH 용액으로 추출한 여액을 이용하였다.

응집 후의 높은 pH를 고려하여 산성폐수의 응집효과를 알아 보기 위하여 Pb와 Cu 도금액을 각각 희석하여 응집 실험을 하였다. 수용액 중에서의 중금속이온의 제거는 pH를 높여주는 것으로도 충분히 제거가 되기 때문에 NaOH 용액과 비교 실험을 하였으며 주입량은 부피로써 표현하였다.

Pb 도금액을 희석하여 응집 실험한 결과는 Fig. 7~9에 나타내었다. Fig. 7에서 탁도 제거율을 비교하여 보면 주입량이 17mL미만일 때는 NaOH 용액 보다 추출액으로 응집하였을 때 90%이상의 제거율을 보였으나 그 이후에는 탁도 제거율이 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 이는 주입량이 17mL미만일 때는 추출액 속의 Al과 Si등에 의해 콜로이드 물질의 응집이 이루어졌기 때문이고 주입량이 17mL이상인 되면서 Al과 Si가 응집되는 적정 주

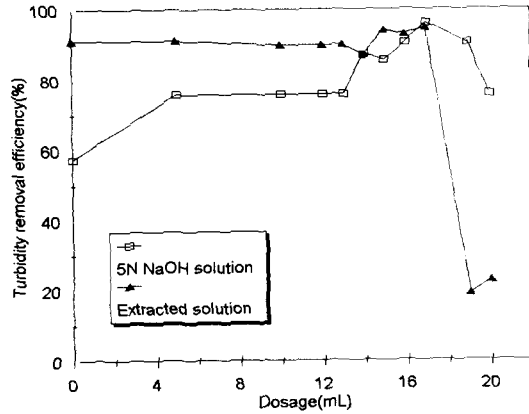


Fig. 7. The removal efficiency of turbidity on various dosage by the 5N NaOH solution and the extracted solution for the diluted Pb-plating solution.

입량과 pH 범위를 넘어서 콜로이드의 재안정화가 이루어졌기 때문으로 생각된다.

Fig. 8에서 Pb 제거율의 변화는 탁도 제거율 변화와 비슷한 경향을 보이고 있고, 주입량이 약 15mL이하에서는 추출액을 이용하였을 때의 Pb 제거율이 70~80%로 NaOH 용액 보다 높았으며 이는 Pb와 같은 중금속은 pH가 약 9이상에서부터 침전이 일어나므로 pH의 영향 때문이 아니라 콜로이드 물질과 함께 Pb이 제거되었기 때문이다. 주입량이 15mL이상인 경우에는 pH가 점점 증가하여

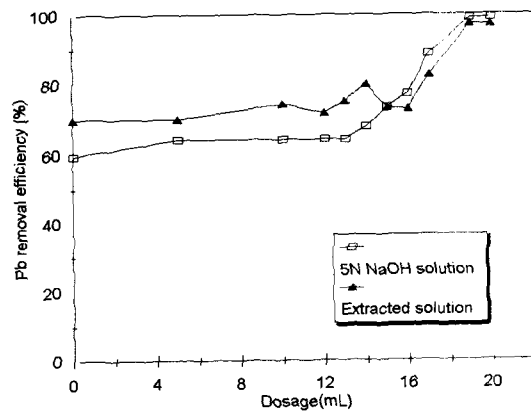


Fig. 8. The removal efficiency of Pb on various dosage by the 5N NaOH solution and the extracted solution dosage for the diluted Pb-plating solution.

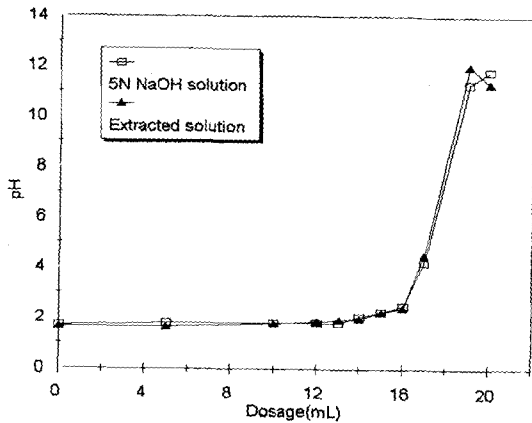


Fig. 9. The pH variation on various dosage by the 5N NaOH solution and the extracted solution for the Pb-plating solution.

알칼리성으로 변화되어 NaOH 용액에 의한 제거율이 더 높았으며, 이는 주입량이 증가하면서 Si와 Al의 응집효과보다 알칼리도에 의해 콜로이드 물질이 재분산 되어서 Pb 또한 제거되지 않은 것으로 판단된다. Fig. 9은 주입량에 따른 pH의 변화이다. NaOH 용액의 주입량에 따른 pH 변화와 추출액의 주입량에 따른 pH 변화는 비슷한 경향을 보였다.

Cu 도금액을 회석하여 Cu제거에 대한 실험결과 NaOH 용액과 추출액의 Cu 제거율에는 차이가 없었으며, 그 결과는 Fig. 10과 11에 나타내었다.

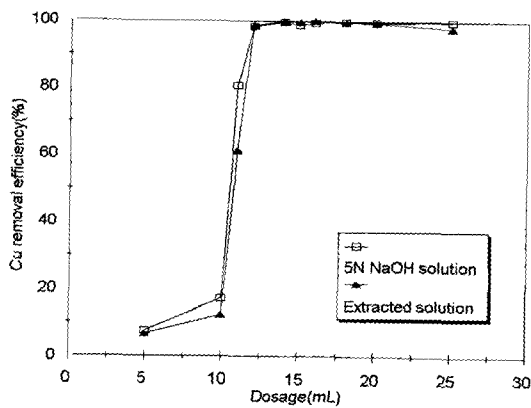


Fig. 10. The Cu removal efficiency on various dosage by the 5N NaOH solution and the extracted solution for the diluted Cu-plating solution.

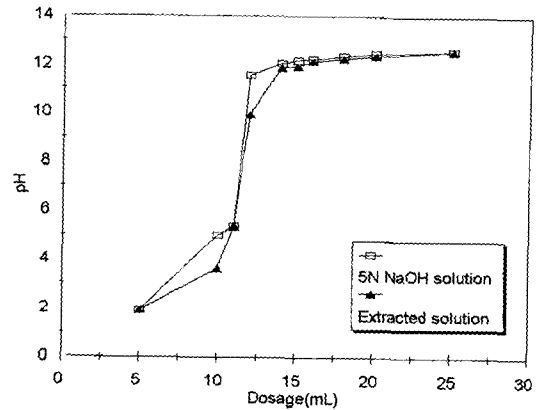


Fig. 11. The pH variation on various dosage by the 5N NaOH solution and the extracted solution for the Pb-plating solution.

Fig. 10에서 알 수 있듯이 NaOH 용액과 추출액으로 응집한 경우 모두 주입량이 증가할수록 Cu의 제거율도 증가하다가 주입량이 약 12mL 이상에서부터 일정하였다. 추출액으로 응집한 경우와 NaOH 용액으로 응집한 경우의 Cu 제거율에는 큰 차이를 보이지 않았으나, Fig. 11에서 알 수 있듯이 주입량에 따른 pH 변화에서 NaOH 용액과 추출액을 이용한 경우에 약간의 차이를 보였으며 주입량에 따라 pH가 증가하는 정도는 추출액이 NaOH 용액보다 낮음을 알 수 있었다. 주입량이 약 12mL 일 때 Cu의 제거율이 약 98%로 같았으나 NaOH 용액의 경우에는 pH가 약 11.5였고 추출액의 경우에는 약 9.9였다.

Pb의 경우와 달리 Cu의 경우에 NaOH 용액과 추출액의 pH 변화가 다른 것은 Pb의 경우는 Si와 Al이 콜로이드 물질과 함께 응집되어 pH 변화에 영향이 적었고 Cu의 경우에는 콜로이드 물질이 없기 때문에 Si와 Al의 영향을 받아 pH 변화에 차이가 있었던 것으로 생각된다.

V. 결론

화력발전소의 폐기물로 발생하는 유연탄 비산회를 재활용하기 위하여 Si와 Al을 추출하고 응집제로서의 활용가능성을 검토한 결론은 다음과 같다.

1. 유연탄 비산회로부터 Si와 Al을 추출한 결과

NaOH의 농도를 2~5N로 변화를 주었을 때 농도가 증가할수록 Si와 Al 모두 추출량이 증가하였고, 소성시간에 대한 추출량의 변화는 크지 않았으며, 소성온도에 따른 추출량 변화는 Si는 600℃, Al은 700℃에서 최대였으며 그 때 Si의 추출량은 30.9 ppm, Al의 추출량은 57.8 ppm이었다.

2. Pb 도금액을 희석하여 응집실험한 결과 탁도 제거율은 주입량이 17mL 미만일 때 90%이상으로 NaOH 용액보다 높았으며, Pb 제거율은 15mL이하일 때 70~80%로 NaOH 용액보다 높았다.
3. Cu 도금액을 희석하여 응집실험에 이용한 결과 Cu 제거율은 추출액과 NaOH 용액을 이용하였을 때 큰 차이를 보이지 않았으며 주입량이 12mL일 때 Cu제거율도 약 98%로 비슷하였지만 이 때의 pH가 추출액의 경우는 9.9, NaOH 용액의 경우는 11.5였다.

본 연구 결과 비산회로부터 Si와 Al을 추출하여 응집제로 이용할 경우 충분히 이용가능함을 알 수 있었다. 따라서 앞으로 여러 가지 조건을 변화시켜 Si와 Al의 최적 추출조건을 찾아주고 기타 불순물의 영향을 최소화 한다면 응집제로서의 활용가능성은 커질 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 한전산업 : 석탄회의 재활용 현황, <http://www.kepid.co.kr>, 2002.
2. 오성원 : 석탄회 처리 현황과 대책, 월간폐기물, pp. 90-101, 1996.
3. Yeon I. J., et. al. : Effect of Coexisting Cations on Removal Ammonium Ion from Water by Synthesized Zeolite using Coal Fly ash, J. Korea Society of Wastes Management. Vol. 17, No. 3, pp. 337-348, 2000.
4. Yeon I. J., et. al. : The Characteristics of Solidification and Leachability of Lead Sludge, The Korean Journal of Sanitation, Vol. 14, No. 3, pp. 22-30, 1999.
5. Ralph. K. Iler : The Chemistry of Silica, A Wiley-Interscience Publication, 1979
6. Letterman, Raymond D. : Water Quality and Treatment, 4th edition, (A Handbook of Community Water Supplies), American Water Works Association, McGraw Hill, 1999.
7. Barrer : Hydrothermal Chemistry of Zeolite, Academic press, 1982.
8. Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin : Chemical for Environmental Engineering, 4th, McGraw-Hill Book Co., 1994.
9. Handbook of Chemistry and Physics, 68th, CRC, 1988.
10. W. Stumm et. al. : Formulation of Polysilicates as Determine by Coagulation Effects, Env. Sci. Tech., Vol. 1, p. 221, 1967.
11. Park, K.Y., et. al., Production of Poly (Aluminium Chloride) and Sodium Silicate from Clay, Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 36, No. 7, pp. 2646-2650, 1997.
12. H. P. Hsieh : Extraction of Alumina from Anthracite Coal Waste Ash, AIChE Symposium Series, Vol. 78, No. 216, pp. 86-96, 1982.
13. Park, K. Y., et. al. : A Kinetic Study on the Extraction of Aluminium from Clay by Hydrochloric Acid, J. of the Korean Institute of Chemical Engineers, Vol. 30, No. 4, pp. 503-516, 1992.
14. Cho, J. H., et. al. : Extraction of Al Component from Kaolin by the Hydrochloric Acid Leaching, J. of the Korean Institute of Chemical Engineers, Vol. 34, No. 3, June, pp. 305-311, 1996.
15. Kang, H. K. : Synthesis of High-Purity Alumina and Aluminum Derivatives from

- Kaolin, and Their Characteristics, Thesis for degree of Doctor, Pusan National University, 1997.
16. Jeon, B. J. : The Recovery of Alumina from Water Treatment Plant Sludge by Ammonium Chloride, Thesis for degree of Master, Chungbuk National University, 1998.