

## 부산석회를 이용한 납석광산 폐석의 중화처리

유경열 · 정영욱<sup>1)</sup> · 옥용식 · 양재의\*

강원대학교 자원생물환경학과, <sup>1)</sup>한국지질자원연구원 지질환경재해연구부  
(2005년 7월 20일 접수, 2005년 9월 20일 수리)

### Neutralization of Pyrophyllite Mine Wastes by the Lime Cake By-Product

Kyung-Yoal Yoo, Young-Wook Cheong<sup>1)</sup>, Yong-Sik Ok, and Jae E. Yang (Division of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, <sup>1)</sup>Division of Geological and Environmental Hazards, KIGAM, Daejeon 305-350, Korea)

**ABSTRACT:** Numerous abandoned or closed mines are present in the steep mountain valleys in Korea due to the depression of the mining industry since the late 1980s. From the mines, enormous amounts of wastes were dumped on the slopes causing sedimentation and acid mine drainage to be discharged directly into streams causing detrimental effects on surrounding environment. Objective of this research was to evaluate the feasibility of the lime cake by-product from the soda ash production (Solvay process) to neutralize the pyrophyllite mine wastes, which have discharged the acid drainage to soil and stream in the watershed. The pH of mine wastes was strongly acidic at pH 3.67 containing over 16% of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 11% of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Whereas the lime cake by-product was strongly basic at pH 9.97 due to high contents of CaO, MgO and CaCl<sub>2</sub> as major components. Column experiments were conducted to test the neutralizing capacity of the lime cake by-product for the acidic pyrophyllite mine wastes. The column packed with the wastes (control) was treated with the lime cake by-product, calcium carbonate, the dressing soil or combination. The distilled water was eluted statically through the column and the leachate was collected for the chemical analyses. Treatments of the mine wastes with the lime cake by-product (or calcium carbonate) as mixtures increased pH of the leachate from 3.5~4.0 to 7~8. Concentrations of Fe and Al in the leachate were also decreased below 1.0 mg L<sup>-1</sup>. A Similar result was observed at the combined treatments of the mine waste, the lime by-product (or calcium carbonate) and the dressing soil. The results indicated that the lime cake by-product could sufficiently neutralize the acid drainage from the pyrophyllite mine wastes without dressing soils.

**Key Words:** pyrophyllite, mine waste, neutralization, lime cake by-product, acid mine drainage, Al<sup>3+</sup>

### 서 론

납석이라는 용어는 광석명 또는 상품명을 일컫는 것으로 광물학적으로는 엽납석(pyrophyllite)을 의미한다. 납석은 주로 내화재 및 세라믹 분야에서 사용되었으며 최근에는 시멘트의 부재료로도 이용되고 있다. 전 세계적으로 납석의 생산량은 년 간 약 250만 톤에 달하며 이중 일본과 한국의 생산량이 각각 100만 톤 및 70만 톤으로 대표적인 생산국에 속한다. 우리나라의 지역별 납석 매장량은 2002년 말 현재 전남, 충북, 경남, 경북지역이 각각 32,493, 7,341, 5,719, 3,885천 톤으로 보고되고 있다<sup>1)</sup>.

우리나라는 1980년대 후반부터 광산산업의 사양화로 인하여 대부분이 생산량을 줄이거나 휴광 또는 폐광되고 있는 실정이다. 대부분의 휴·폐광산은 채굴 후 폐석더미를 그대로 방치하는 경우가 흔하며 폐석에 Fe, Al, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등이 존재하면 산화작용에 의해 산성 폐수 등이 인근 수계로 유입되어 황화현상, 백화현상 등으로 수질오염 문제를 야기 한다. 휴·폐광된 납석광산으로부터 방치된 폐기물에는 Fe과 Al 함량이 높고, 강우에 의해 산성침출수(acid mine drainage)가 발생되어 인근 토양과 수계에 유입되어 황화현상(Yellowboy) 등 환경문제를 초래하고 있어서 이에 대한 복원대책이 필요한 실정이다<sup>2,3)</sup>.

납석광산은 일반 금속광산과 달리 노천 채광에 의해 개발되었으며, 광산활동 후 방치된 폐기물로부터 산성광산배수가 유래되기 때문에 광범위하게 수계에 영향을 미칠 수 있다. 금속광산의 경우 산성광산배수 내 중금속의 함량은 폐석더미

\*연락처:

Tel: +82-33-250-6446 Fax: +82-33-241-6640  
E-mail: yangjay@kangwon.ac.kr

내 광석광물과 황화광물의 종류 및 함량에 의해 그 농도가 지배되나 납석광산은 주로 모암의 특성에 의해 그 농도가 지배된다. 이로 인해 납석광산에 수반되는 산성광산배수에는  $\text{Al}^{3+}$ 이 가장 높은 함량을 나타내는 특성을 보여 준다<sup>4)</sup>.

폐광지역의 복원방법으로는 오염의 종류에 따라 크게 개내수 처리, 폐석에서 방출되는 침출수의 처리, 사면 안정을 위한 폐석 처리, 복토제 처리 및 식생의 적합성 등을 고려한 토양개량 등이 있다. 산성 폐수나 침출수를 처리하는 경우에는 중화법이 널리 사용되고 있으며 여기에는 석회석, 소석회, 가성소다, 소다회 등의 알칼리도가 높은 화합물이 주로 사용되고 있다<sup>5)</sup>.

부산석회는 소다회 제조과정에서 발생되는 폐수 슬러리를 탈수시켜 폐석회로 고형화 되는 과정에서 발생되는 것으로 D 회사의 경우 적치되어 있는 부산석회 부산물의 양이 약 310만 톤에 이르는 것으로 보고되었다. 부산석회의 경우 입자가 매우 미세하고 투수속도는 평균  $0.5 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^{-8}$   $\text{cm sec}^{-1}$ 의 범위로 낮으며 Ca, Mg 및 Na 등의 염류를 다량 함유하고 있다. 이와 같은 물리·화학적 특성을 고려할 때 이를 재활용 할 수 있는 방안을 연구할 필요성이 매우 높으며 특히 휴·폐광산의 복토재 및 수질개선 사업에 적용 가능성이 있을 것으로 판단된다<sup>6,7)</sup>.

국내의 경우 부산석회의 처리방안으로는 대부분이 매립지 성토 및 석회질 비료로의 재활용에 초점이 맞추어져 있으나 이를 휴·폐광산에 의해 방출된 폐기물의 복원에 적용한 연구는 없는 실정이다. 본 연구에서는 알칼리성 부산석회의 폐납석 광산 폐기물 중화처리제로서의 활용 가능성을 평가하고, 현장 복원을 위한 기초 자료를 구축하고자 수행되었다.

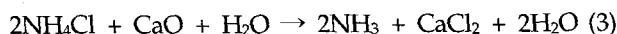
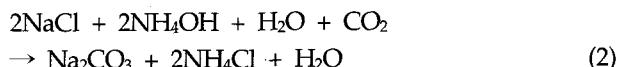
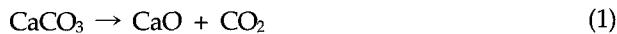
## 재료 및 방법

### 납석광산 폐석 및 부산석회

납석광산 폐기물은 폐광된 임기광산(부산광역시 기장군 철마면 임기리 소재)에 적치된 폐기물 더미에서 표면의 폐석을 제거한 후 내부에서 채취하였다. 임기광산은  $40,000 \text{ m}^2$  면적의 노천광산이었으며, 산출되는 납석형태는 muscovite로 구성된 견운모(sericite) 형태의 납석이다. 현재 임기광산의 폐석적치장은 복원방지시설이 없어 노천에 방치되어 있어 경관을 해손시키고 있으며, 여름철 집중 강우 시 주변 하천에 유실되어 수질오염을 가중시킬 뿐 아니라 산성침출수가 계속적으로 유출되어 황화현상을 초래하고 있는 실정이다<sup>4)</sup>. 이러한 문제점의 대책으로 폐석 적치장 표면에 부분적으로 석회를 살포한 흔적이 육안으로 관찰되고 있었으나 식생이 도입되지 않았고 노출된 상태로 방치되어 있는 실정이었다.

산성배수를 방출시키는 납석광산 폐기물을 중화하기 위하여 알칼리성인 부산석회를 사용하였다. 본 시험에 사용된 부산석회는 D회사로부터 채취하여 사용하였다. 부산석회의 중화효율성을 비교하기 위한 참고물질로는  $\text{CaCO}_3$ (Kanto Chem.

Co., Japan, GR급)를 사용하였다. 부산석회는 탄산나트륨을 생산(Solvay process)할 때 발생되는 부산물로 생성과정은 식 (1)~(3)과 같다<sup>7)</sup>.



Solvay 공정에 의해 탄산나트륨(소다회)과 염화암모늄이 생성되며, 이 과정에서 생성된 염화암모늄에 포함된 암모니아를 회수하기 위하여 생석회를 반응시켜 분해·증류 과정을 거치면서 다량의 폐수가 발생된다. 폐수를 침전시키면 염화암모늄의 분해과정에서 과잉으로 공급된 생석회와 미 소성된 석회석과 불순물 등의 무기성 고형물이 알칼리성 부산물로 발생하게 된다.

### 공시재료의 분석

폐석의 pH, 전기전도도, 유기물, 질소, 인 함량은 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법<sup>8)</sup>에 준하여 수행하였으며, Al 및 Fe 함량은 0.1M HCl을 이용하여 추출한 후 유도결합 플라즈마 발광광도계(ICP-OES XL-3100, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 측정하였다. 부산석회의 pH, 전기전도도는 시료와 물의 비율을 1.5로 하여 측정하였으며 물 추출액에 대한 양이온과 음이온의 함량은 이온크로마토그래피(Ion Chromatograph DX-320, Dionex, USA)를 이용하여 측정하였다. 폐석 및 알칼리성 부산물의 무기성분과 광물 조성은  $105^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조시킨 시료를 대상으로 X선-형광분석기(Phillips PW2404, Phillips Analytical B.V., USA)와 X선회절분석기(Phillips XPERT MPD, Phillips Analytical X-ray B.V., USA)를 이용하여 측정하였다.

### 컬럼 용탈실험

부산석회가 산성의 납석광산 폐기물을 중화시키는 효과를 검정하기 위해 컬럼시험을 수행하였다. 투명 아크릴 컬럼(5.0cm X 70 cm; D X H)에 폐석과 부산석회 또는 탄산석회를 일정한 비율로 혼합하거나 또는 층위 형태로 충진하였다(Fig. 1). 컬럼에는 공시재료의 용적밀도가  $1.68 \text{ g cm}^{-3}$ 이 되도록 충진하였으며, 이 경우의 pore volume은  $150 \sim 203 \text{ cm}^3$ 의 범위였다. 폐석의 석회요구량은 원충곡선법을 이용하여 구하였으며 이로부터 탄산석회 및 부산석회의 소요량을 계산하였다. Figure 2는 탄산석회와 부산석회를 이용하여 납석 폐석을 중화하기 위한 석회 요구량의 원충곡선을 나타낸 것이다. 석회요구량을 산출하기 위한 pH는 식물의 생육범위를 고려하여 6.5를 기준으로 하였으며, 폐석의 pH를 6.5로 고정하기 위해 소요되는 부산석회는  $4.4 \text{ g kg}^{-1}$ , 탄산석회는  $3.3 \text{ g kg}^{-1}$ 이 필요한 것으로 계산되었다. 컬럼의 처리는 폐석(W), 폐석+부산석회 전충혼합(WA<sub>100</sub>M), 폐석+탄산석회 전충혼합

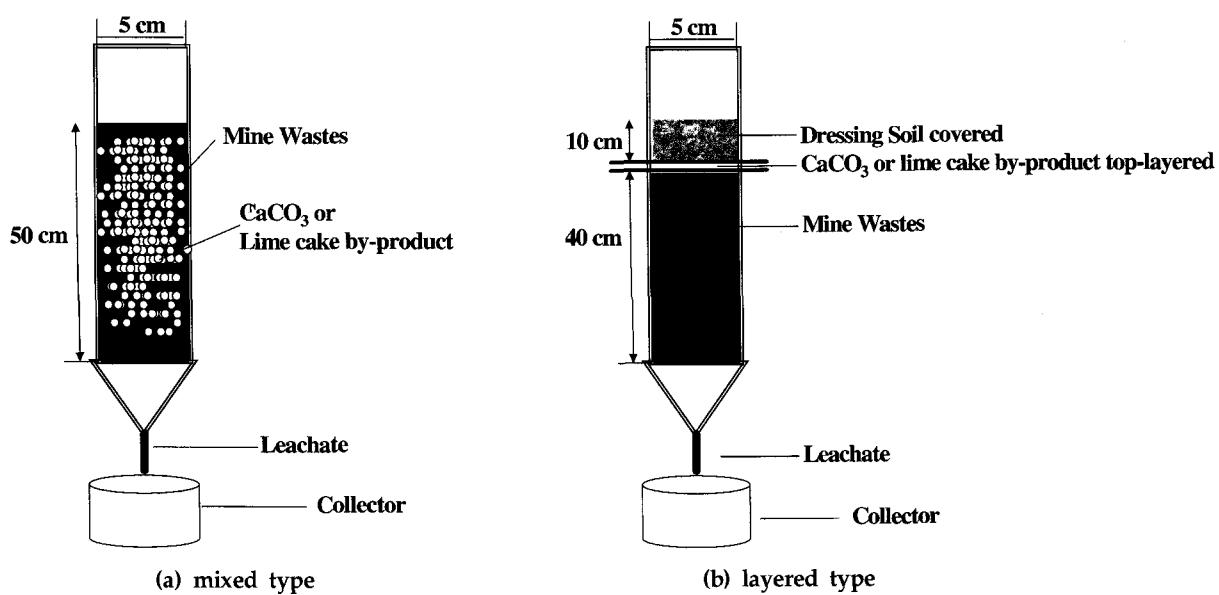
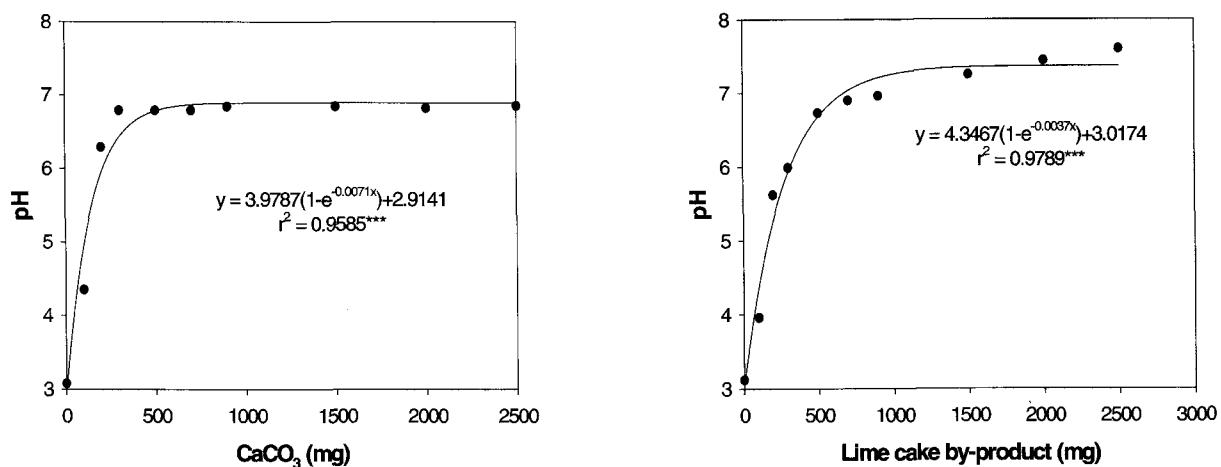


Fig. 1. Schematic diagram of the column leaching experiment.



**Fig. 2.** Buffer curve for the requirements of the lime cake by-product and CaCO<sub>3</sub> to neutralize the acidic mine wastes.

Table 1. Descriptions for treatments of the column leaching experiments

Column type	Treatment	Descriptions	Pore volume mL	Remarks
Mixed	W	Column (50 cm) packed with mine wastes only	157	Fig. 1. (a)
Mixed	WA <sub>100</sub> M	Column (50 cm) packed with the mixture of mine wastes and alkaline lime cake by-product	154	Fig. 1. (a)
Mixed	WC <sub>100</sub> M	Column (50 cm) packed with the mixture of mine wastes and CaCO <sub>3</sub>	150	Fig. 1. (a)
Layered	WA <sub>100</sub> LS	Column (40 cm) packed with mine wastes + alkaline lime cake by-product top-layered + dressing soil covered (10 cm)	197	Fig. 1. (b)
Layered	WC <sub>100</sub> LS	Column (40 cm) packed with mine wastes + CaCO <sub>3</sub> top-layered + dressing soil covered (10 cm)	203	Fig. 1. (b)
Layered	WA <sub>100</sub> MS	Column (40 cm) packed with the mixture of mine wastes and alkaline lime cake by-product + dressing soil covered (10 cm)	166	Fig. 1.
Layered	WC <sub>100</sub> MS	Column (40 cm) packed with the mixture of mine wastes and CaCO <sub>3</sub> + dressing soil covered (10 cm)	168	Fig. 1.

W: mine waste; A<sub>100</sub>: alkaline lime cake by-product; C<sub>100</sub>: CaCO<sub>3</sub> for all lime requirement; M: Mixed column type; L: Layered column type; S: Dressing soil

Table 2. Chemical properties of the experimental mine wastes

pH (1:5)	EC dS m <sup>-1</sup>	OM <sup>a)</sup> g kg <sup>-1</sup>	T-N g kg <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sup>b)</sup> mg kg <sup>-1</sup>	Fe <sup>b)</sup>
3.67	0.18	3.72	0.55	9.30	198	150

<sup>a)</sup>Organic Matter<sup>b)</sup>0.1N HCl extractable concentrations

Table 3. Elemental composition of the experimental mine wastes analyzed by XRF

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	L.O.I. <sup>a)</sup>
%									
16.44	0.28	11.62	1.88	0.82	0.19	0.37	59.43	1.29	6.85

<sup>a)</sup>L.O.I.: Loss on Ignition

(WC<sub>100</sub>M), 폐석+부산석회 표충처리+복토피복(WA<sub>100</sub>LS), 폐석+탄산석회 표충처리+복토피복(WC<sub>100</sub>LS), 폐석+부산석회 전충혼합+복토피복(WA<sub>100</sub>MS), 폐석+탄산석회 전충혼합+복토피복(WC<sub>100</sub>MS)로 구성되었다(Table 1). 처리내용은 실험 결과를 현장에 적용하여 폐석더미의 사면에 식생도입을 위한 최적방법을 탐색하기 위하여 선정하였다. 각각의 처리구별로 동일한 양의 중류수를 주입한 후 철근 아래로 용탈되는 침출수를 1주일 간격으로 수거하여 pH와 EC는 pH meter와 EC meter로 측정하였으며, Al과 Fe 농도는 ICP를 이용하여 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 납석광산 폐석과 부산석회의 지구화학적 특성

납석광산에서 채취한 폐석의 지구화학적 특성은 Table 2 와 3에 나타내었다. 폐석의 pH 값은 3.67로 강산성을 나타내었는데(Table 2), 이는 폐석 중에 함유된 다량의 Al 농도에 기인한 것으로 판단되었다(Table 3). 폐석에 대한 총원소 분석 결과 SiO<sub>2</sub>의 함량은 59.43%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 16.44%를 나타내었고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 12.62% 존재하였다(Table 3). 납석광산 폐석의 최대 산 발생능은 246.94 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ton<sup>-1</sup> 으로 산출되어 있어 황화현상을 일으킬 수 있는 물질로 간주되었으며 실제로 현장에는 폐석으로부터 유출된 침출수에 의해 황화현상이 발생되고 있었다<sup>9)</sup>. 따라서 폐납석광산인 임기광산의 폐석을 현재와 같이 대기 중에 노출된 상태로 적체하여 방치할 경우 강우시 Al, Fe을 비롯한 산성유발 물질이 주변의 수계로 유입될 가능성이 높아 이에 대한 관리방안의 마련이 시급한 것으로 판단되었다.

납석광산 폐석의 경우 유기물, 인산, 질소 등의 토양비옥도 지표 값이 매우 낮은 것으로 평가되어 현 상태로 방치된 폐석더미에 직접 식생을 도입하기는 어려울 것으로 판단되었다. 향후 식생의 도입을 통한 적치장의 사면안정 및 폐석의 유실방지를 위한 현장 복원 설계 시에는 중화처리와 함께 식

물영양소의 인위적인 공급 및 식생도입을 위한 폐석의 물리화학적 특성 개량을 위한 복토제의 도입 등이 필수적일 것으로 판단되었다.

Figure 3은 X선 회절분석기를 이용한 납석광산 폐석의 광물조성 분석결과를 보여주고 있다. 폐석의 주요 구성광물은 백운모(muscovite), 석영(quartz), 일라이트(illite) 및 몬모릴로나이트(montmorillonite)이었으며, 이는 과거 임기광산에서 생산되었던 납석의 형태가 견운모(sericite) 유형이었기 때문인 것으로 판단되었다<sup>9)</sup>.

부산석회의 pH는 9.97, EC는 29.7 dS m<sup>-1</sup>로 매우 높게 나타났는데 이는 소다회(탄산나트륨)의 제조공정에서 발생된 부산물 중에 CaO, MgO, CaCl<sub>2</sub>, Na, Cl 등의 염류가 과량 존재하였기 때문으로 판단되었다(Table 4). 특히 Na와 Cl의 함량이 각각 1.53% 및 7.97%로 매우 높게 나타난 것은 Solvay 공정에서 해수를 이용하였기 때문이다. Figure 4는 X선 회절분석기를 이용한 부산석회의 광물조성 분석결과를 나타낸

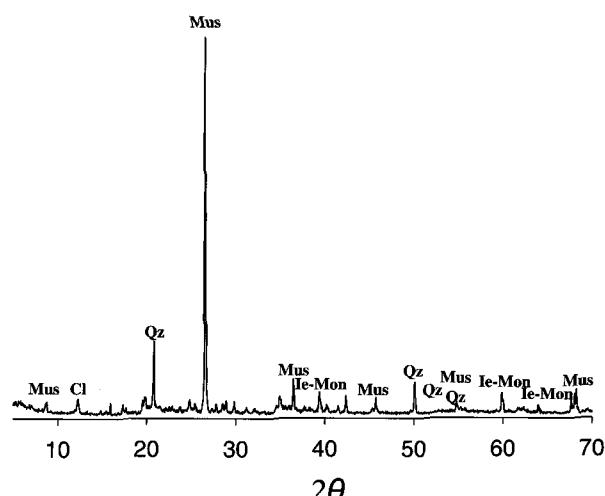
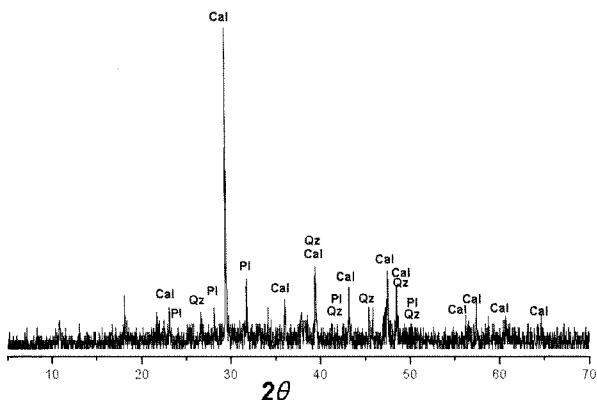


Fig. 3. X-ray diffractogram of the experimental mine wastes. (Cl: Clinoclase, Ile-Mon: Illite-Montmorillonite, Mus: Muscovite, Qz: Quartz)

**Table 4.** Chemical properties of the lime cake by-product used in the experiment

pH (1:5)	EC dS m <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> %	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
9.97	29.7	1.82	0.91	0.09	1.53	7.97	0.20

**Fig. 4.** X-ray diffractogram of the experimental lime cake by-product. (Cal: Calcite, Qz: Quartz, Pl: Plagioclase)

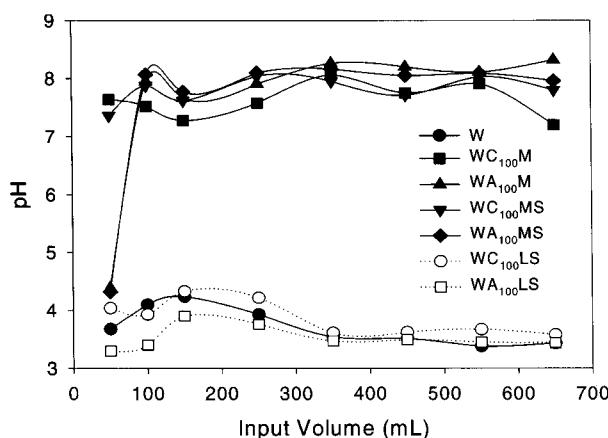
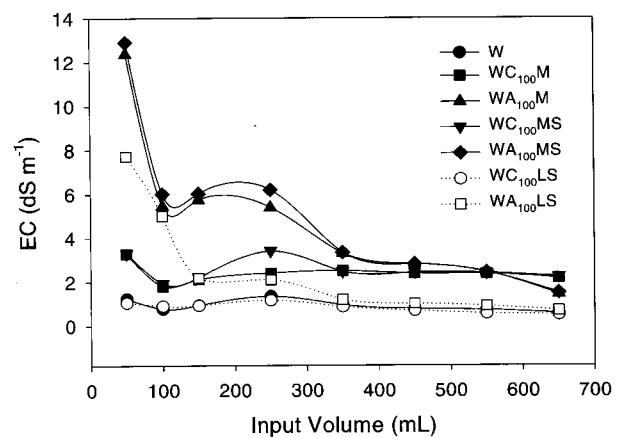
것으로 주요 구성광물은 방해석(탄산칼슘)이었다. 이상의 결과를 통해 부산석회의 pH 및 이온함량을 고려할 때 납석광산 폐석의 중화제 및 식생복원을 위한 혼합재로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

#### 부산석회에 의한 납석광산 폐석의 중화

납석광산 폐석에 부산석회를 처리한 후 침출수 중의 pH, EC, Fe, Al 농도의 변화는 각각 Fig. 5~8에서 보여주고 있다. 폐석 자체에서는 pH 3.5~4.0의 강산성의 침출수가 발생되었으며 이는 납석광산 폐석의 산 발생능이 매우 높았기 때문으로 판단되었다(Fig. 5). 폐석+부산석회 표충처리+복

토피복(WC<sub>100</sub>LS) 및 폐석+부산석회 표충처리+복토피복(WA<sub>100</sub>LS)의 처리에서는 석회에 의해 중화된 상층의 수질이 하층의 폐석 내의 산 발생물질과 반응함으로써 침출수의 pH를 충분히 중화시키지 못하여 산성을 나타내었다. 폐석회를 폐석탄에 충위로 처리한 실험에서도 침출수의 pH는 산성을 나타내었다<sup>5)</sup>. 반면 폐석+부산석회 전충혼합(WA<sub>100</sub>M), 폐석+탄산석회 전충혼합(WC<sub>100</sub>M), 폐석+부산석회 전충혼합+복토피복(WA<sub>100</sub>MS), 폐석+탄산석회 전충혼합+복토피복(WC<sub>100</sub>MS) 처리에서는 발생되는 침출수가 중성을 나타내어 실험기간 내에 pH 7~8을 유지할 수 있었다. 이 결과를 통해 볼 때 부산석회가 폐석을 중화할 수 있는 용량이 탄산석회와 유사하거나 우수하여 부산물의 재활용 가능성이 매우 큰 것으로 판단되었고, 부산석회를 사용할 경우 폐석과 전충 혼합하는 방법이 효율적인 것으로 판단되었다.

Figure 6은 각 처리별 침출수의 전기전도도 변화를 나타낸 것이다. 폐석(W) 처리에서는 650 mL 용출까지는 1 dS m<sup>-1</sup>의 수준을 유지하였으며, 이후에서는 2배 이상 감소하였다. 이는 폐석에 함유된 이온 성분이 지속적으로 용출되었기 때문으로 판단되었다. 탄산석회를 처리한 경우에는 초기 EC 값이 3 dS m<sup>-1</sup>로 높게 나타났는데 이는 Ca을 비롯한 양이온의 용출이 많았기 때문으로 판단되었다. 한편 부산석회를 혼합 처리한 경우 탄산석회 처리구에 비해 3배 이상 높은 EC 값을 나타내었는데 이는 부산석회에 다양한 염류(Ca, Mg, Cl, Na)가 존재하였기 때문이다. 그러나 용출액 500 mL 이상에서는 부산석회 처리에서도 EC 값이 4 dS m<sup>-1</sup>보다 낮게 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

**Fig. 5.** Changes of pH in the leachate as affected by treatments.**Fig. 6.** Changes of the electrical conductivity in the leachate as affected by treatments.

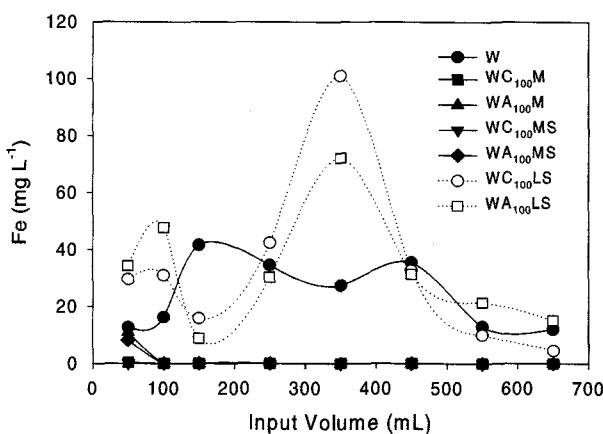


Fig. 7. Changes of the Fe concentration in the leachate as affected by treatments.

과량의 용존 철은 수용액 중에서 물과 반응하여 노란색, 갈색 혹은 적색의 퇴적물과 과량의 수소 이온을 생성하여 경관 훼손과 함께 수질의 산성화를 초래하여 조류 및 어류의 생장을 억제한다. 또한 용존 철의 함량이 높은 물을 농업용수로 사용하는 경우 농작물에 악영향을 미칠 수 있는 것으로 보고 된 바 있다<sup>4)</sup>. Figure 7은 처리별 침출수의 Fe 함량 변화를 나타낸 것으로 폐석 단독 처리에서는 15~30 mg L⁻¹ 수준으로 용탈되었으나, 반면에 탄산석회 및 부산석회를 혼합 처리한 경우에는 침출수 중 Fe의 농도가 1 mg L⁻¹ 이하의 수준으로 유지되었으며 pH 값도 7 이상을 나타내어 황화 현상과 같은 문제점을 유발하지 않을 것으로 판단되었다.

임기 납석광산에 형성되어 있는 산성배수의 경우 모암·변질대 내의 황철석의 산화와 그에 수반된 2차적인 모암 성분의 용해에 의해 다량의 알루미늄이 포함되어 있는 것으로 알려져 있다<sup>9)</sup>. 이 경우 알루미늄 3가 이온은 다음의 반응(식 (4)~(9))을 통해 수소 이온을 방출함으로써 산도를 높이는 것으로 알려져 있다<sup>10)</sup>.

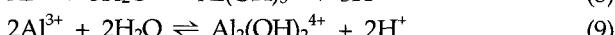
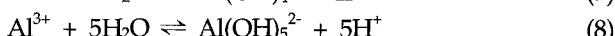
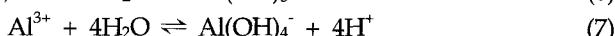
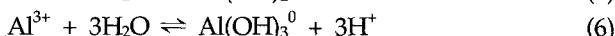
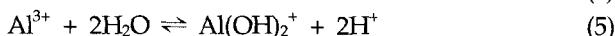
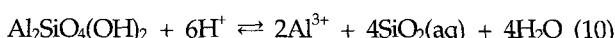


Figure 8은 처리별 침출수의 Al 농도 변화를 나타낸 것으로 폐석 단독 처리에서는 20 mg L⁻¹ 이상의 수준으로 용탈되었으며 이는 폐석에 함유되어 있는 광물이 다음의 반응(식 (10))을 거치면서 Al이 용출되었기 때문으로 판단된다<sup>11)</sup>.



반면 탄산석회를 혼합 처리한 경우에는 Al 농도가 1 mg L⁻¹

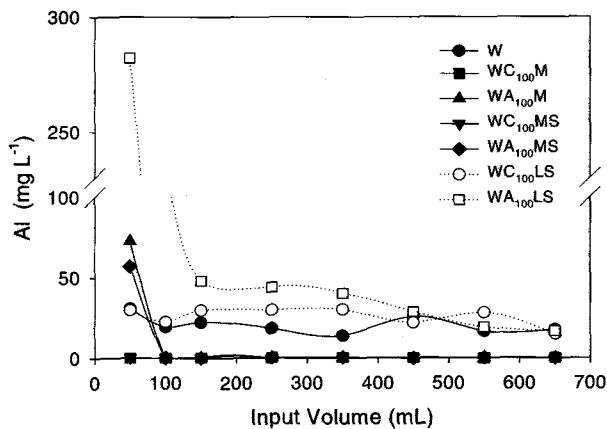


Fig. 8. Changes of the Al concentration in the leachate as affected by treatments.

이하의 수준으로 용출되었으며 부산석회를 혼합 처리한 경우에도 초기 50 mL 용출시 다소 높았으나 이후 지속적으로 1 mg L⁻¹ 이하의 수준을 유지하였다. 이와 같은 결과는 탄산석회 및 부산석회 처리가 pH를 7 이상으로 유지함으로써 대부분의 Al이 불용화되었기 때문으로 판단되었다.

## 요약

납석광산 폐석의 중화제로서 Solvay 공정에서 발생되는 알칼리성 부산물인 부산석회의 활용 가능성을 평가하기 위하여 폐석을 충진한 컬럼 용출시험을 수행한 결과는 다음과 같다. 폐석의 pH 값은 3.67로 매우 낮았으며 화학성분 중  $\text{Al}_2\text{O}_3$  함량은 16.44%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함량은 11.62%로 높게 나타났다. 컬럼 시험에서는 폐석 단독 처리구의 경우 침출수의 pH가 3.5~4.0으로 매우 낮게 나타났으나 폐석+탄산석회 전충혼합 및 폐석+부산석회 전충혼합 처리에서는 침출수의 pH가 7.0~8.0의 수준으로 유지되어 뚜렷한 중화효과를 나타내었다. 침출수의 EC 값은 폐석+부산석회 전충혼합 처리에서 초기에 높게 나타났는데 이는 부산석회에 Ca를 비롯한 염류물질이 다량 함유되었기 때문인 것으로 판단되었다. 침출수 중 Fe의 농도는 폐석+부산석회 전충혼합 처리에서 1 mg L⁻¹ 이하의 수준으로 나타났고, Al의 농도는 초기 용출에서 다소 높게 나타났으나 이후 1 mg L⁻¹ 이하의 수준으로 안정화되었다. 이상의 결과를 통해 부산석회는 복토제의 피복 없이도 납석 광산 폐석의 오염물질 유출을 차단할 수 있는 중화제로 활용할 수 있을 것으로 판단되었고, 부산석회는 폐석과 혼합하여 처리하는 것이 효율적이었다.

## 사사

본 연구는 한국지질자원연구원 05년도 기본사업(대도시 지질환경 오염개선관리기술)의 지원으로 수행되었으며, 시료

의 기기분석은 강원대학교 농업과학연구소의 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1. KIGAM (2003) Supply-demand statistics of mineral commodities, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Korea, p.50-54.
2. Ok, Y. S., Kim, S. H., Kim, D. Y., Lee, H., Lim, S. K., and Kim, J. G. (2003) Feasibility of phytoremediation for metal-contaminated abandoned mining area, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5), 323-332.
3. Yang, J. E., Kim, Y. K., Kim, J. H., and Park, Y. H. (2000) Environmental impacts and management strategies of trace metals in soils and groundwater in the Republic of Korea, In Huang, P. M. and Iskandar, I. K. (eds.) Soil and groundwater pollution and remediation: Asia, Africa and Oceania, Lewis Publishers, CRC Press LLC, Florid, USA. p.270-289.
4. Park, M. E., Sung, K. Y., and Koh, Y. K. (2000) Formation of acid mine drainage and pollution of geological environment accompanying the sulfidation zone of nonmetallic deposits: reaction path modeling on the formation of AMD of Tongnae pyrophyllite mine, *Econ. Environ. Geol.* 33(5), 405-415.
5. Yang, J. E. (2004) Field application of the lime wastes for the reclamation of the abandoned coal mine, A final report to the Coal Industry Promotion Board (CIPB), Seoul, Korea. p.1-189.
6. Ministry of Environment (2003) Report of policy for environment conservation, Ministry of Environment, p.17-21.
7. Dong-Yang Chemical Co., Ltd. (1999) Introduction of alkaline-by products, p.31.
8. NIAST (2000) Methods of soil and plant analysis, RDA, Suwon, Korea, p.103-129
9. Youm, S. J., Yun, S. T., Kim, J. H., and Park, M. E. (2002) Neutralization of acid rock drainage from the Dongrae pyrophyllite deposit: A study on behavior of heavy metals, *KoSSGE* 7(4), 68-76.
10. Lindsay, W. L. (1979) Chemical equilibria in soils, Wiley-Interscience Publication, USA, p.34-49.
11. Holland, T. and Powell, P. (1998) An internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, *J. Metamorph. Geol.* 16, 309-343.