

## Treatment of the Closed Coal Mine wastes Using Lime Cake from Soda Ash Production

Hee Joung Kim<sup>1\*</sup>, Jae-E. Yang<sup>2</sup>, Jai-Young Lee<sup>3</sup>, Sang Ho Jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Science, Kangwon National University

<sup>2</sup> Division of Environmental & Biological Engineering, Kangwon National University,  
Chunchon, Korea

<sup>3</sup> Department of Environmental Eng., University of Seoul

### I. 서 론

80년대 후반부터 국민소득의 향상과 더불어 사용상의 편리성을 선호하는 에너지 소비패턴의 빠른 변화로 석탄수요는 급격히 감소하게 되었다.

석탄산업의 사양화에 따른 1989년에 결정된 석탄산업 합리화 사업 정책 이후 많은 석탄광산이 생산량을 줄이거나, 휴광 또는 폐광되었다. 석탄광산 개발로 훼손된 산림은 그대로 방치되어 있고 또한 폐광으로 문닫은 갱구에서는 중금속이 함유된 산성 폐수가 하천으로 흘러들어 하천 생태계 파괴 및 주변 경관을 해치고 있으나, 이에 대한 사후 관리가 미비하여 광산지역 주변의 토양과 수질이 심각하게 오염되고 있다. 이러한 오염현상은 인근 주민들의 건강까지 해칠 우려가 있어 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

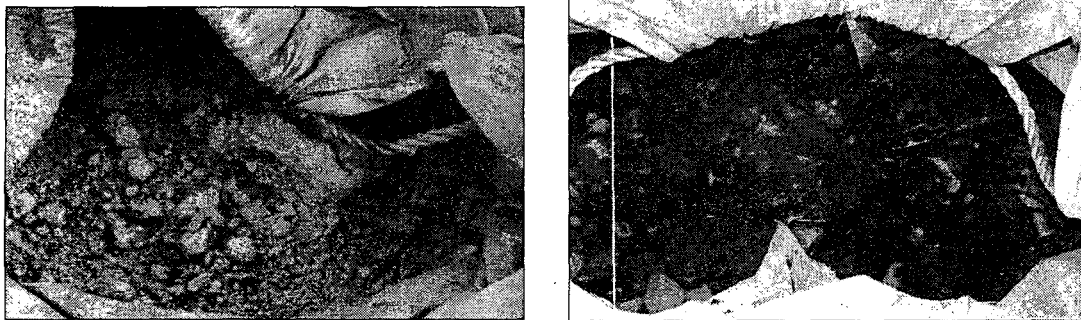
폐·석탄광에서 주로 발생하는 폐기물로는 폐석, 광미 및 광재 등이다. 이들은 유해 중금속을 다량 함유하고 있어 산성을 띠는 갱내수와 함께 용출되어 인근 하천의 수질오염과 더불어 폐석, overburden, 저질탄 등의 고형 폐기물로부터 발생하는 산성 침출수를 발생케 하고 있으며, 하천에서의 백화현상 및 Yellow boy 현상 등 심각한 부작용을 나타내고 있다(김휘중 등, 1997). 휴·폐 석탄광산에는 많은 양의 석탄폐기물이 경사지에 방치되어 있어 있으며 또한 휴·폐 석탄광산의 갱구나 폐기물로부터 많은 양의 산성갱내수 또는 산성배수가 발생되어 하천으로 유입되어 Yellowboy 현상 및 백화현상 등의 수질오염을 일으키고 있다. 한편 소다회를 생산하는 공장에서는 약 3백만 톤 이상의 부산석회가 발생되어 야적되어 있는 실정이다. 이러한 부산석회는 공유수면 매립 등에 사용되어 왔으나 환경오염 문제로 인해 적절한 처리 방안을 찾지 못하고 있는 실정이다. 따라서 부산석회의 활용가능성을 탐색하기 위하여 column leaching 시험을 수행하여 부산석회를 폐석탄광산 현장에 적용하기 위한 기본적인 조건을 도출하였다. 이러한 조건을 근거로 하여 부산석회를 폐석탄광산 현장에 적용하여 폐석탄광산의 복원시험을 수행하였다.

### III. 재료 및 방법

#### 1. 시험재료

폐 탄광지역의 환경개선 및 광해방지 사업에의 적용 가능성을 검토하기 위해 사용된 부산석회 (Fig. 1)은 인천시 남구 학익동에 위치한 동양제철화학 공장]에서 약1.5 ton을 채취하였다.

폐 탄광의 폐석은 강원도 도계지역에서 5 ton을 채취하였고 혼합용 복토제는 춘천근교의 마 사토 재질의 토양을 채취하여 시료로 사용하였다.



(a) Lime wastes

(b) Coal overburdens

Figure 1. The experimental lime wastes and coal overburdens.

## 2. 시험방법

### 가. 시험재료의 화학적 특성 (ICP에 의한 분석)

폐 석탄, 부산석회, 복토제의 화학적 특성을 파악코자 ICP(유도플라즈마 발광광도계)를 이용하여 각각의 구성성분을 분석하였다(table 1).

Table 1. Methods for the runoff and leachate analyses.

Parameter	Analytical Methods
pH	Glass electrode pH Meter(Corning Model No. 475655)
EC	Orion Model 142
Ca	Standard Methods section 4500-N <sub>org</sub> B Atomic Absorption Spectrophotometer(Varian AA-300)
Mg	Standard Methods section 4500-N <sub>org</sub> B Atomic Absorption Spectrophotometer(Varian AA-300)
Na	Standard Methods section 4500-N <sub>org</sub> B Atomic Absorption Spectrophotometer(Varian AA-300)
K	Standard Methods section 4500-N <sub>org</sub> B Atomic Absorption Spectrophotometer(Varian AA-300)
Cl	Mercury thiocyanate(II) Method
SO <sub>4</sub>	Barium chloride Method
Alkalinity	O' Brein and Donlan Method

### 나. 부산석회의 물리화학적 특성 조사(XRF, XRD에 의한 분석)

부산석회의 물리화학적 특성을 파악코자 X선 형광분석기(XRF)를 이용하여 분석하였으며, 결정 구조에 대한 분석은 X선 회절분석기(XRD)를 사용하였고, 부산석회의 입자에 대한 크기 분포를 알아보고자 Malvern Mastersizer S 입도분석기를 사용하여 입도 분석을 수행하였다.

#### 다. Column leaching test

부산석회 처리 시 수분의 수직이동에 따른 무기이온의 이동 양상을 조사하기 위하여 Column 시험을 실시하였다. Column leaching test에 제작된 Column의 직경은 약 5Cm이었으며, 총 길이는 90 cm로 제작하여 사용하였고 Column에 시료를 충전하기 위해 시료 입자의 분산을 고르게 하기 위하여 파쇄 한 다음 Standard Sieve(500 $\mu$ m)를 사용하여(Fig. 2)에 나타난 바와 같이 Column에 충전하여 각각의 Column에 360mL의 증류수를 5.0ml/min 통과시켜 run-off된 시료에 대하여 pH와 Cl, SO<sub>4</sub>, 전기전도도, 양이온 등을 분석하였다.

1차 Column test(table 2)의 경우에는 Table 1에 나타난 바와 같이 폐 석탄 단일 처리구와 폐 석탄과 부산석회를 각각 혼합시킨 것, 폐 석탄과 부산석회, 복토재를 혼합시킨 것 등 5개 처리구로 구분하여 충전시켜 침출수의 특성을 파악하였고, Table 1에서와 같이 2차 Column test의 경우는 부산석회의 처리량을 폐 석탄에 대한 석회 요구량 25%와 50%, 100%로 처리하여(table 3) 폐 석탄이나 복토제와 혼합하였을 경우와 층위(layer)에 처리하였을 경우를 비교분석 하였다.

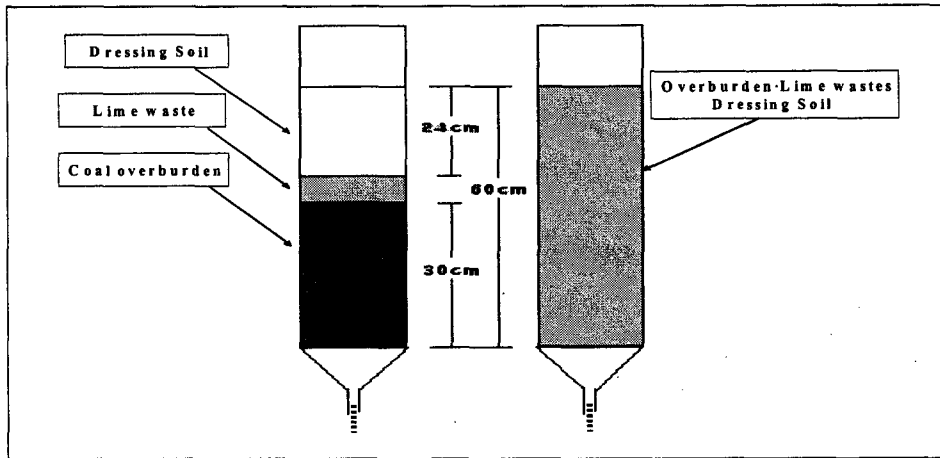


Figure 2. Schematic diagram of the column leaching experiment.

Table 2. The column filling methods in the first column leaching test.

Plot No.	Treatments
1	Overburdens (30cm)
2	[Overburdens (30cm) + Lime waste] mixed
3	Overburdens(15cm:lower layer)+[Dressing Soil+Lime waste mixed] (15cm:upper layer)
4	Overburdens + Dressing Soil + Lime waste (Completely mixed)
5	Overburdens (15cm: lower layer) + [Dressing Soil : Lime waste (4:1)] (upper layer)

Table 3. The column filling methods in the second column leaching test.

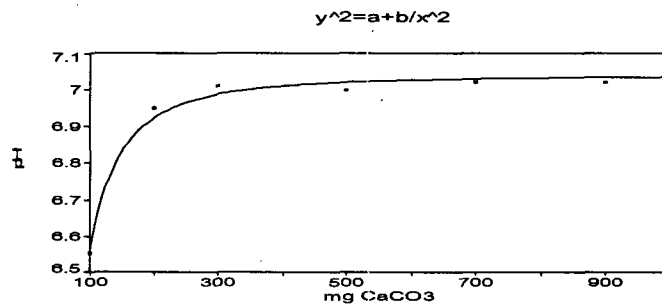
Column No.	Treatments
1	[Overburdens+Lime waste25%+Dressing Soil] mixed
2	[Overburdens+Lime waste50%+Dressing Soil] mixed
3	[Overburdens+Lime waste100%+Dressing Soil] mixed
4	[Overburdens/Lime waste25%/Dressing Soil] layered
5	[Overburdens/Lime waste50%/Dressing Soil] layered
6	[Overburdens/Lime waste100%/Dressing Soil] layered

\* Amounts of lime waste treatments were based on the lime requirement coal overburden and dressing soils

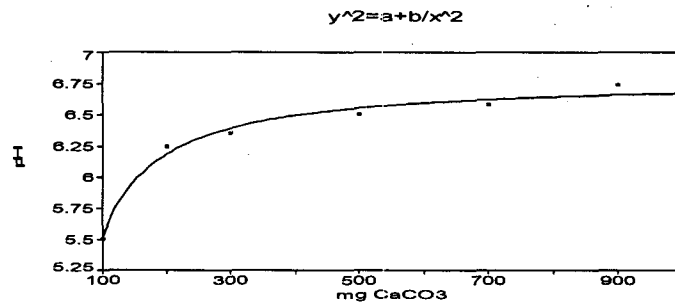
부산석회의 처리량을 결정하기 위해 완충 곡선법을 이용하여 복토제와 폐 석탄의 석회요구량 (Lime Requirement)을 측정하였으며, Fig. 3은 복토제와 폐 석탄의 완충곡선을 나타낸 것이다.

완충곡선식을 이용하여 목표하는 pH를 설정하고 그에 따른 석회요구량을 산출할 수 있다. 본 시험에서는 목표 pH를 7.0으로 하여 석회요구량을 산출하였으며, 그 결과 복토제의 경우 36.75 kg/10a의 석회(CaCO<sub>3</sub>)가 요구되었으며, 폐 석탄의 경우는 1659.90 kg/10a의 석회(CaCO<sub>3</sub>)가 요구되었다.

이 값을 부산석회의 양으로 환산하면 복토제의 경우 61.54 kg/10a, 폐 석탄의 경우는 2779.49 kg/10a의 부산석회가 투입되는 것으로 나타났다.



(a) Dressing Soil



(b) Coal Overburden

Figure 3. The buffer curve of the lime requirement for (a) dressing soil and (b) coal overburdens.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 시험재료(부산석회, 폐 석탄, 복토제)의 화학적 특성

시험재료로 사용된 부산석회와 폐 석탄, 복토제 토양의 화학적 특성은 Table 4에 나타난 바와 같다.

부산석회의 pH는 11.24이었으며, EC는 79.6 dS/m, 유기물 함량은 0.83%이었고, 폐 석탄의 pH는 3.5, EC는 0.23 dS/m(1:5), 유기물 함량은 1.65%로 EC의 경우 폐 석탄에 비해 부산석회가 약 340배 높은 것으로 나타났으며, 유기물 함량은 부산석회에 비하여 폐 석탄이 약 2배정도 높은 것으로 나타났다.

복토제의 pH는 6.51이었으며, EC는 0.03 dS/m (1:5), 유기물 함량은 0.08%로 가장 낮은 것으로 조사되었는데, 복토제의 경우 대부분 마사토로 부산석회, 폐 석탄에 비해 EC나 유기물 함유량이 낮은 것으로 나타났다.

Table 4. Chemical properties of the coal overburden, Lime waste and dressing soil.

	pH (1:5)	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LR	Exchangeable			
						Ca	Mg	K	Na
						----- cmol(+)/kg -----			
lime waste	11.24	79.55	0.83	7.92	-	233.78	50.54	2.29	77.92
coal overburden	3.50	0.23	1.65	9.13	1659.90	3.90	0.29	0.06	0.07
dressing soil	6.51	0.03	0.08	15.75	36.75	4.54	0.54	0.06	0.12

OM : organic matter

LR : lime requirement (as CaCO<sub>3</sub>)

토양환경보전법의 토양오염 공정시험법에 준하여 pH 5.8 ~ 6.3의 염산용액을 용출용매(1:10)로 하여 혼합액을 상온, 상압에서 진탕기(진탕회수 200rpm, 진폭 4-5 cm, 6시간)로 진탕한 후 1.0 μm의 유리 섬유 여과지로 여과하여 받은 여액을 검체로 하여 부산석회와 폐 석탄, 복토재의 유해 중금속을 분석한 결과는 Table 4에 나타낸 바와 같다.

As, Hg, Cr의 경우는 모두 검출한계 (As: 10 μg/kg, Hg: 20 μg/kg, Cr: 10 μg/kg) 이하였으며, Pb의 경우는 폐 석탄에서 6.90 mg/kg이 검출되었으며, Cd의 경우는 부산석회에서 0.16 mg/kg, 폐 석탄에서 0.19 mg/kg, 복토재에서 0.09 mg/kg이 검출되었는데 모두 토양환경보전법 토양오염 우려기준 이하인 규제농도 미만으로 큰 문제가 되지 않는 것으로 나타났다.

Table 5. Heavy metal contents in the lime waste, coal overburdens and dressing soil with the guidelines of the Soil Environment Conservation Law.

(Unit : mg/kg)

Metal	Threshold of Danger Levels		Lime Waste	Coal Overburden	Dressing Soil
	Agricultural Area	Factory/Industrial Area			
Pb	100	400	N.D	6.90	N.D
Cu	50	200	N.D	N.D	N.D
As	6	20	N.D	N.D	N.D
Hg	4	16	N.D	N.D	N.D
Cd	1.5	12	0.16	0.19	0.09
Cr	4	12	N.D	N.D	N.D

N.D : not detected

## 2. 부산석회의 물리·화학적 특성 XRF와 XRD에 의한 분석)

X선 형광분석기(XRF)를 이용하여 부산석회의 물리·화학적 특성을 분석한 결과(Table 6) Ca, Mg과 같은 성분이 주를 이루고 있었으며, CaO가 39.289%, MgO 11.451%, Cl 10.189%, SiO<sub>2</sub> 2.831%, Na<sub>2</sub>O 2.300%순으로 Na와 Cl 등의 염분 함량도 높은 것으로 나타났다.

Table 6. The elemental composition of the lime waste and coal overburdens analyzed by the X-ray fluorescence method.

Elements	Lime Waste	Coal Overburden
Na <sub>2</sub> O	2.300	0.142
MgO	11.451	0.339
CaO	39.287	0.215
SiO <sub>2</sub>	2.831	37.109
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.039	0.150
K <sub>2</sub> O	0.152	3.468
Cl	10.189	ND
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.029	4.760
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.313	21.152
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ND	ND
MnO	ND	ND
SrO	0.037	0.011
Water content and Loss on Ignition	31.065	23.354

소다회 제조 공정시 여과기에서 분리된 여액에는 염화암모늄이 다량 존재하므로 증류탑에서 석회유와 반응시켜 암모니아를 만들고 암모니아수를 가열하여 암모니아는 회수된다. 이때 남은 여액 대부분이 증류탑 폐액으로 폐 슬러지의 주종을 이루는데, 오동규 등(동양화학공업중앙연구소, 1990)이 보고한 증류탑의 주성분은 Table 7에 나타낸 바와 같이 대부분이 CaCl<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, NaCl, 탄산칼슘, 수산화마그네슘 등으로 이중 용해성인 CaCl<sub>2</sub>와 소금이 방류수의 주성분이기 때문에 Cake화시키는 과정에서 폐 슬러지(석회)로 남게 되기 때문인 것으로 나타났다.

Table 7. Chemical composition of the waste sludges produced in the distillation tower

Composition	Contents (g/L)
CaCl <sub>2</sub>	90 ~ 95
NaCl	40 ~ 45
CaO or Ca(OH) <sub>2</sub>	2 ~ 3
CaCO <sub>3</sub>	6 ~ 15
CaSO <sub>4</sub>	3 ~ 5
Mg(OH) <sub>2</sub>	3 ~ 10
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>	2 ~ 7

R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> stands for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

소다회 제조 공정시 발생하는 폐 슬러지는 소다회 1ton당 10m<sup>3</sup>이 발생하는 것으로 보고되고 있고, 이중 약 1ton의 CaCl<sub>2</sub>과 0.5ton의 염(NaCl)이 포함되어져 있는 것으로 알려져 있다. 이렇듯 암모니아-소다법은 대량생산에 적합한 공정이기 는 하나 염(NaCl)정제공정 및 증류탑의 암모니아 회수 공정에서 막대한 양의 폐기물(소다회 생산량 25% 정도의 고형물 발생)이 발생되므로 이에 대한 경제적인 처리 및 폐기물 재활용에 의한 자원화가 숙제로 남아있다.

폐 석탄의 경우는 광물의 주성분인 Si, Al, Fe등이 주를 이루고 있으며, 그 함량은 SiO<sub>2</sub>가 37.1%로 가장 많았고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 21.2%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.76% 순으로 나타났다.

부산석회내의 주된 광물에 대한 성분을 X선 회절분석기(XRD)를 이용하여 분석한 결과, 대부분이 Calcite( 방해석:CaCO<sub>3</sub>)와 Quartz(석영:SiO<sub>2</sub>) 그리고 Plagioclase[조장석(曹長石:albite) NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>과 회장석(灰長石:anorthite) CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]이 함유되어 있는 것으로 나타났다.(Fig.4).

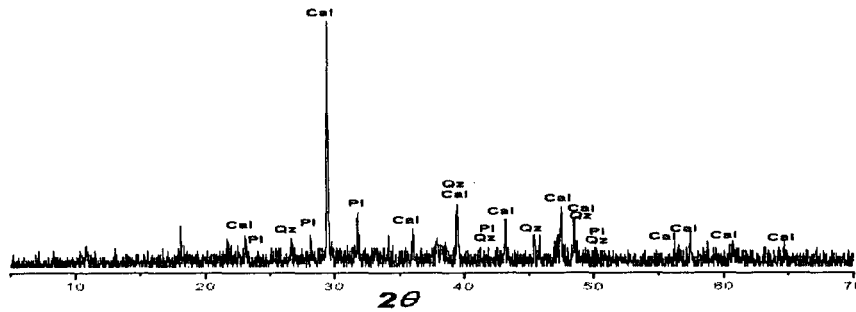


Figure 4. X-ray diffraction graph of the lime wastes.(Cal : calcite, Qz : quartz, Pl : Plagioclase)

또한 부산석회의 입자에 Particle Size에 대한 입도 크기 분포를 알아보기 위해 Malvern Mastersizer S(Model : Mastersizer 2000) 입도 분석기를 사용하여 입도 분석을 한 결과에서는 전체적으로 40 $\mu$ m의 크기를 갖는 입자의 분포가 가장 우세한 것으로 나타났으며[Fig. 21], 점토크기의 입자가 8.60vol.%, 미사질 입자 53.1vol.%, 모래크기의 입자는 38.3vol.%로 미사질 입자가 가장 많이 분포하는 것으로 보고되고 있다(table 8).

Table 8. Grain size distribution of the lime wastes.

Grain size distribution (vol.%)		
Clay size (<2 $\mu$ m)	Silt size (2 ~ 50 $\mu$ m)	Sand size (50 $\mu$ m ~ 2mm)
8.60	53.1	38.3

### 3. Column leaching Experiment

각 column에는 360mL의 증류수를 통과시켜 채취하였으며 Column을 통과시킨 증류수의 양은 Lysimeter의 관수량과 비교할 때, 면적비로 비교할 경우 약 700배 이상의 관수량에 해당되는 량인데 관수량은 충분할 것으로 판단하였으며 leachate의 화학적 특성도 대체로 평형에 도달되는 것으로 판단된다.

Fig 5는 각 처리별로 column을 통과한 leachate의 pH 변화를 나타낸 것이다.

폐 석탄(TRT 1), 폐 석탄/(부산석회+복토제)(TRT 3), 폐 석탄+부산석회+복토제 (TRT 4), 폐 석탄/부산석회/복토제(TRT 5) 처리구의 경우는 대체로 안정적인 pH값을 나타내고 있었으나, 폐 석탄+부산석회 (TRT 2) 처리구에서는 pH가 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 폐 석탄(TRT 1) 처리구는 pH 5를 유지하였으며, 폐 석탄/(복토제+부산석회) (TRT 3) 처리구에서 초기에는 pH 6.5까지 증가하였으나 pH 5를 유지하였고, 폐 석탄/부산석회/복토제 (TRT 5) 처리구의 경우도 pH 4~5를 유지하였는데, 이는 column 총 길이의 50% 이상을 차지하는 하층부의 폐 석탄층에 의해 기인된 것으로 판단된다.

Column을 통과한 leachate의 pH는 TRT 2 > TRT 4 > TRT 3 > TRT 1 > TRT 5의 순으로 나타났다.

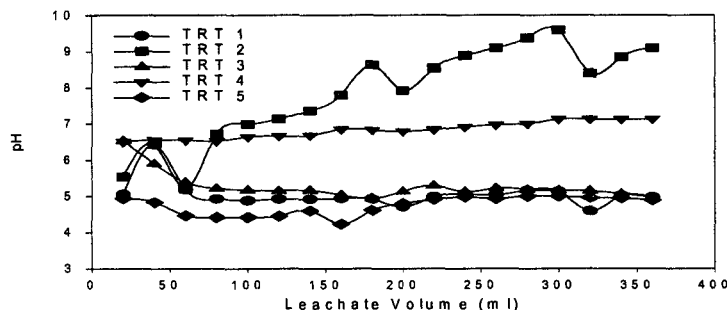


Figure 5. pH of the leachate passed through the column.

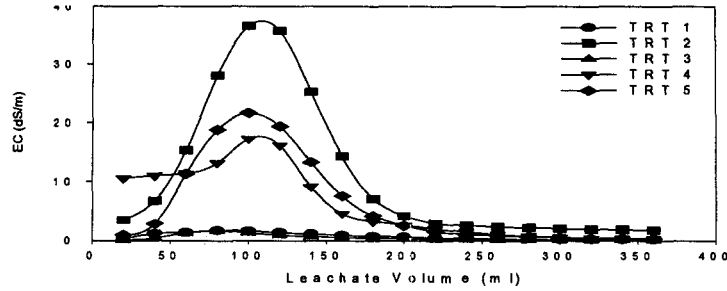


Figure 6. Changes of the electrical conductivity(EC) of the leachate passed through the column.

Fig. 6은 각 처리별로 column을 통과한 leachate의 EC 변화를 나타낸 것이다. EC 값은 모든 처리에서 leachate volume이 120mL를 지나면서 감소하는 추세로 나타났다.

폐 석탄/(부산석회+복토제) (TRT 3) 처리구를 제외한 폐 석탄 (TRT 1) 처리구와 폐 석탄+부산 석회 (TRT 2) 처리구, 폐 석탄+부산석회+복토제] (혼합) (TRT 4) 처리구, 폐 석탄/부산석회/복토제 (총위) (TRT 5) 처리구는 격변점을 지나면서 대체로 감소하는 경향을 나타냈으나, 폐 석탄/(부산석회+복토제) (TRT 3) 처리구는 용출 농도가 지속적으로 증가하다 일정농도를 유지하는 것으로 나타났다(Fig. 7).

이 외에도 중금속 농도를 측정하였으나, 거의 검출되지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 부산 석회의 처리가 중금속의 용출이나 용해도를 감소시키는 것으로 판단되며, 이러한 효과는 부산석회의 알칼리도가 모두 사라질 때까지 지속될 것으로 예상된다.

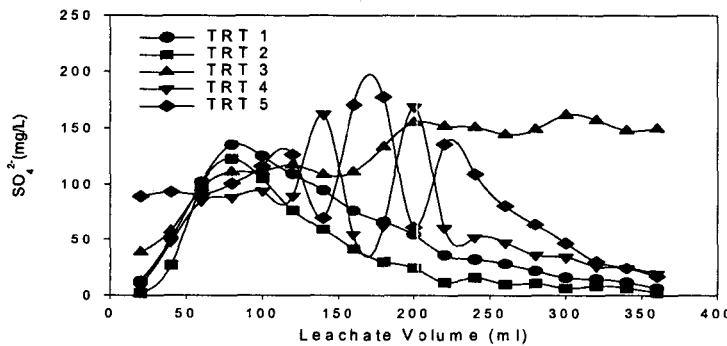


Figure 7. Concentration sulfate of the leachate passed through the column.

2차 column 시험은 1차 시험 때와 달리 부산석회의 첨가량을 석회요구량의 25%, 50%, 100%로 달리 처리하였다.

폐 석탄, 부산석회, 복토제를 혼합했을 때와 총위 처리하였을 때 leachate의 화학적 특성 변화를 조사하여 부산석회의 처리량과 처리 방법이 leachate에 미치는 영향을 규정하였다.

총위 처리하였을 경우에는 column 하층부의 폐 석탄의 영향으로 pH 4.5를 유지하는 것으로 나타났으나(Fig. 8), 총위 처리의 경우에도 지속적으로 용출시켰을 때는 pH가 서서히 상승할 것으로 예측된다.



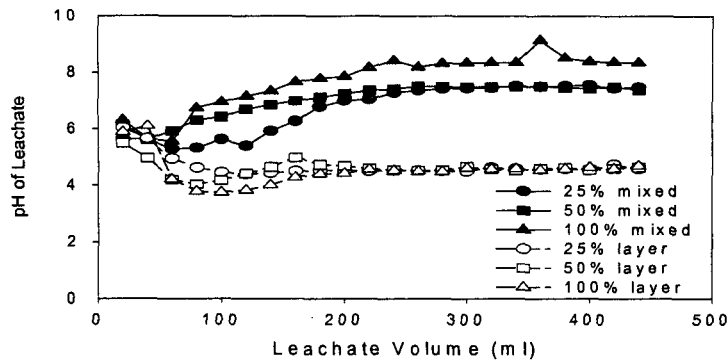


Figure 8. Changes of the leachate pH when amounts and treatment methods of the lime wastes were varied.

Fig. 9와 Fig. 10은 부산석회의 처리량과 처리방법을 달리했을 때 leachate의 Cl과 SO<sub>4</sub> 농도 변화를 나타낸 것이다. Cl의 경우, Lysimeter 시험에서와 같이 초기에 용출농도가 높다가 격변점을 지난 이후에는 급격히 감소하는 형태를 나타냈다.

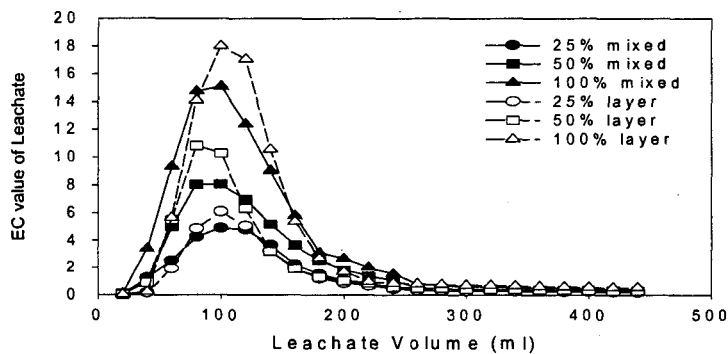


Figure 9. Changes of the leachate electrical conductivity(EC) when amounts and treatment methods of the lime wastes were varied.

부산석회를 석회요구량의 100% 이상 처리할 경우 부산석회에 포함되어 있는 Cl이 토양에 의해 흡착 또는 고정될 수 있는 한계를 초과하기 때문에 과량의 Cl이 용출될 것으로 추측할 수 있다. 따라서 부산석회의 현장 적용 시 처리 대상 지역 토양의 특성을 정확히 조사하여 Cl의 용출을 최소화할 수 있는 부산석회량을 설정해야 할 것으로 판단된다. 용출된 Cl의 농도는 [100% 층위] ≥ [100% 혼합] >>> [50% 층위] ≥ [50% 혼합] ≥ [25% 층위] ≥ [25% 혼합]의 순으로 조사되었으며, 격변점은 100 mL였다.

SO<sub>4</sub>의 경우는 Cl과는 다소 다른 형태로 용출되었는데 격변점의 경우는 대체로 Cl과 비슷하였으나, 격변점 이후 용출농도의 감소속도는 Cl보다 느려 440 mL가 용출된 이후에도 안정화되지 않는 것으로 조사되었다. 이는 토양 내 SO<sub>4</sub>의 이동 특성에 의한 것으로 SO<sub>4</sub>와 결합력이 큰 Ca를 다량 함유하고 있는 부산석회의 영향이 큰 것으로 판단된다.

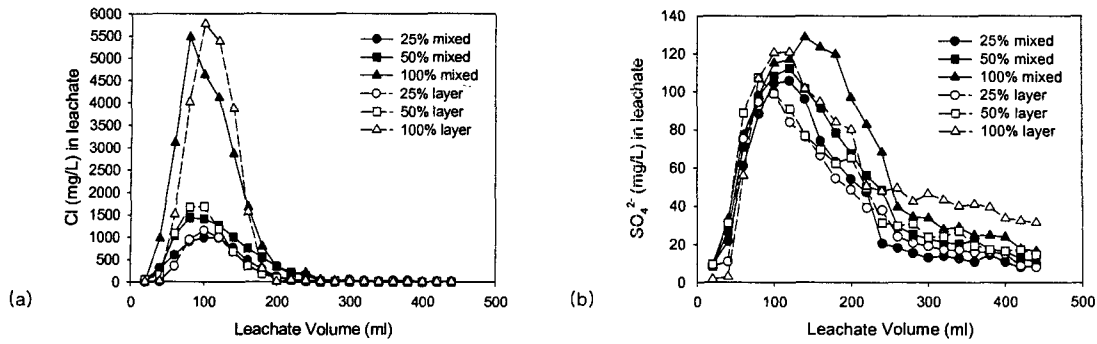


Figure 10. Changes of the leachate Cl(a) and sulfate(b) concentration when amounts and treatment methods of the lime wastes were varied.

Fig. 12와 Fig. 13은 부산석회의 처리량과 처리방법을 달리했을 때 leachate의 Ca, Na, Mg, K 농도 변화를 나타낸 것이다. Ca의 경우 부산석회 처리량에 비례하여 용출되었는데, 용출된 Ca의 대부분이 부산석회에 의해 발생하는 것으로 확인할 수 있었다. 부산석회 내 Ca의 함량이 높기 때문에 용출되는 농도도 다른 양이온보다는 높은 것으로 조사되었으며, 440 mL의 증류수를 통과시킨 후에도 100% 층위 처리의 경우 50 mg/L이상 검출되었으며 계속 감소하는 경향이였다. Na의 용출되는 형태도 비슷한 경향을 나타냈으나, 100% 층위 처리에서 과잉의 Na가 용출되었다.

이상의 Column 시험 결과를 통해 폐 석탄+부산석회, 폐 석탄+부산석회+복토제 (혼합) 처리가 부산석회의 활용을 위해 가장 적절한 방법으로 확인되었으나, 이 방법의 경우 현장 적용에 있어 매우 불리하거나 불가능한 방법으로 사료되기 때문에 폐 석탄/부산석회/복토제/ (층위) 처리가 현장 적용에 있어 가장 적절할 것으로 판단하였다.

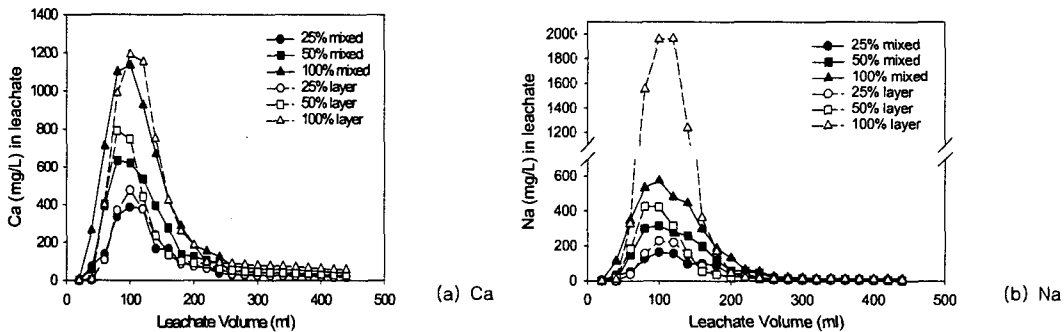


Figure 12. Changes of the leachate Ca (a) and Na concentration (b) when amounts and treatment methods of the lime wastes were varied.

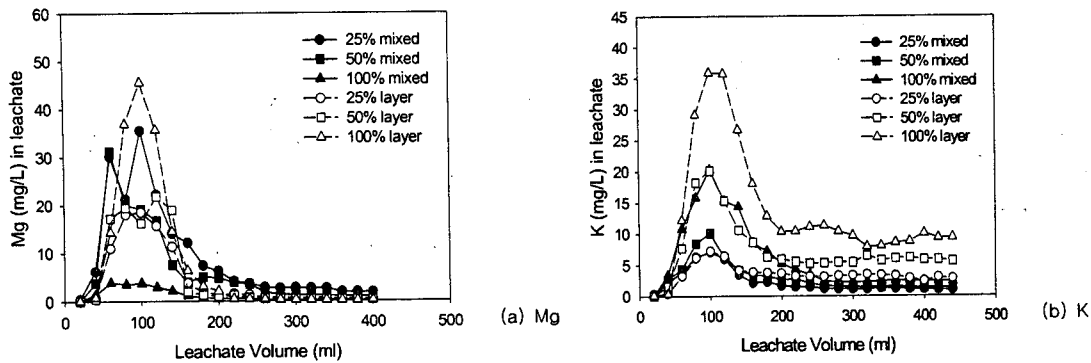


Figure 13. Changes of the leachate Mg (a) and K concentration (b) when amounts and treatment methods of the lime wastes were varied.

## VI. 결론

본 연구는 인천 동양화학에서 소다회 제조 과정시 부산물로 발생되는 부산석회의 특성을 고려하여, 폐석으로 방치되어 있는 폐 탄광 산림지역을 대상으로 부산석회와 복토제를 활용해 폐석으로 인해 발생하는 유거수의 완충능력을 평가하고, 토양개량제로서의 식생복원 적용 가능성 등 광해방지사업의 활용방안에 초점을 두고 최적의 방법을 제시하고자 수행하였다.

부산석회와 폐 석탄, 복토제에 대해 용출방법에 따른 유해 중금속을 분석한 결과 As, Hg, Cr의 경우는 모두 검출한계 이하였으며, 이는 모두 토양환경보전법 토양오염 우려기준 이하인 규제농도 미만으로 큰 문제가 되지 않는 것으로 나타났다.

pH 완충능력을 파악하기 위해서 pH농도가 낮은 폐 석탄(pH 3.5)과 pH농도가 높은 부산석회(pH 11.2)를 pH 7.0으로 중화하는데 소요되는 산, 알카리량을 pH Meter를 이용하여 측정한 결과, 부산석회의 경우 64.3mL(0.02N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)로 12.9 meq/0.1g의 산소비량을 나타냈으며, 폐 석탄의 경우는 0.6 mL(0.02N NaOH)로 0.12 meq/0.1g의 알카리가 소요되는 것으로 조사되 같은 시료량(0.1 g)에서 폐 석탄을 pH 7.0으로 중화하는데 소요되는 알카리량 보다는 부산석회를 pH 7.0으로 중화시키는데 소요되는 산 첨가량이 107:1 정도로 많음을 알 수 있었다.

폐 석탄과 부산석회, 복토제 혼합 처리 시 수분의 수직이동에 따른 무기이온의 이동양상을 조사하기 위하여 Column leaching Experiment 결과, 폐 석탄 위에 부산석회를 층위로 덮는 것보다는 폐 석탄과 부산석회, 복토제를 전체 Mixing하여 충전한 column에서 360 mL관수시 까지 pH농도가 6.5로 일정한 농도를 나타내는 것으로 나타났다.

부산석회의 첨가량을 석회요구량의 25%, 50%, 100%로 달리 처리하여 폐 석탄, 부산석회, 복토제를 혼합했을 때와 층위 처리하였을 때 leachate의 화학적 특성 변화를 조사한 결과 폐 석탄, 부산석회, 복토제를 혼합했을 경우의 pH가 층위 처리하였을 때보다 높은 것으로 조사되었으며, 처리량에 따른 pH의 차이는 초기에는 분명하게 나타났지만, 용출량이 증가할수록 일정 값에서 pH는 7.0정도로 안정화되는 경향을 나타내는 것으로 조사되었으며, EC나 그외 양, 음이온의 경우 관수량 100 mL 이후부터 급격히 감소되는 것으로 나타나 대부분 용출 초기에 leaching되는 것으로 나타났다.

## VII. 참고 문헌

- APHA, AWWA, and WEF(1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed, Washington DC, USA.  
 Alberici, T. M., W. E. Sopper, G. L. Storm and R. H. Yahner. 1989. Trace

metals in soil, vegetation, and voles from mine land treated with sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 18, 115-120.

Alloway, B. J. and B. E. Davies. 1971. Trace element content of soils affected by base metal mining in Wales. *Geoderma.*, 5, 197-208.

Skousen, J. "Overview of Passive Systems for Treating Acid Mine Drainage", <<http://www.wvu.edu/~agexten/landrec/passtr/passtr.htm>> Center for Agricultural and Natural Resources Development, West Virginia University, Extension Service, (Accessed, 13 Jan 2000).

U. S. EPA, 1996, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW