

부산식회를 활용한 휴·폐 식탄광산 폐기물의 인공화 및 식생복원

Reclamation of the Closed/Abandoned Coal Mine Overburden Using Lime wastes from Soda Ash Production

김희중, 양재의*, 옥용식*, 유경열*, 박병길**, 이재영***, 전상호

강원대학교 환경학과, *강원대학교 생물환경학부, **웅진 환경사업부, ***서울시립대학교 환경공학부
(hjkim60@cc.kangwon.ac.kr)

Abstract

In Korea, over three hundreds of the coal mines were closed or abandoned due to the depression of the mining industry since the late 1980s. Many of them locate in the steep mountain valleys and the coal mine wastes had been disposed without a proper treatment. From these mines, enormous amounts of coal mine overburdens have been abandoned in the slopes and the ample amounts of acid mine drainage (AMD) from either portal or overburdens have been discharging directly to the streams, causing the detrimental effects on soil and water qualities.

Objectives of this research were to reclaim the coal mine overburdens using the lime waste cake from the soda ash production by stabilizing the overburden slopes, introducing the vegetation alleviate the environmental problems caused by the closed coal mines.

The percentages of the grass distribution ratio (%) and the surface coverage (cm^2) in each treatment plot were determined during June to August after seed spraying grasses such as orchard grass (*Dactylis glomerata* L), Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.) and Eulalia (*Miscanthus sinensis* Anderss) at the end of May. The grasses covered only 15.5 % of the coal overburden plot at the early stage but the coverage was increased with time to 33% in August. Growth of such grasses was enhanced with the combined treatments of lime waste and topsoil resulting in the increased surface coverage by the grasses. The increment of the surface coverage from June to August was higher with lime waste treatments. The distribution percentages and surface coverage were highest when the lime wastes were treated at 25 % of the lime requirement. This might be related with the high salt contents in the lime wastes.

Results demonstrated that the amounts of lime wastes at 25% of the lime requirement were sufficient for neutralizing the acidic coal overburden and introducing the re-vegetation. Either layering between the coal waste and topsoil or mixing with coal overburdens could be adopted as the lime waste treatment method. The combined treatment of lime wastes and topsoil was recommended for

re-vegetation in the coal overburden slopes. The lime wastes from the soda ash production might have a potential to be recycled for the reclamation of the abandoned coal mines to alleviate the environmental problems associated with coal mine waste.

I. Introduction

폐광지역의 복원방법은 오염의 종류에 따라 갱내수 처리, 폐석에서 방출되는 침출수 처리, 사면 안정을 위한 폐석의 처리, 복토제의 처리, 식생의 적합성 등을 고려한 토양개량 등이 있다.

산성 폐수나 침출수를 처리하는데는 일반적으로 중화법이 널리 사용되고 있으며, 이를 위해 limestone, hydrated lime, quicklime, soda ash 등의 alkalinity가 높은 화합물이 사용되고 있는 것으로 알려져 있다(양재의 등, 2001).

폐석회의 경우도 이러한 활용 가능한 범주에 속하는 특성을 지니고 있어 산림복원 및 수질개선 등 광해방지 사업에 적용 가능성을 연구할 필요성이 있다.

우리나라의 폐기물 관리법에 의하면 “폐 석회라 함은 석회석, 백암, 패각 등을 물리·화학적으로 가공 처리하여 생석회, 소석회, 탄산석회, 소다회 등을 생산하는 과정에서 발생하는 석회석 잔류물 등을 말한다”로 규정되어 있다.

현재 동양제철화학공장에서 발생하는 폐석회는 Solvay 공정에 의해 soda ash를 생산하는 과정에서 폐수처리의 편리를 위해 농축 탈수하는 과정에서 cake가 발생되는데, 동양화학 공장에서 발생되어 방치되고 있는 양은 약 310여만 ton으로 추정되고 있으며, 이 폐기물은 강알칼리성으로 주로 limestone, CaO, MgO, CaCl₂ 등이 함유되어 있다(동양화학, 1998).

현재 폐기물관리법 시행규칙 제46조 규정에 폐 석회는 사업장폐기물(지정의 폐 기물)로 분류되어 있다. 따라서 재생처리 신고대상 폐기물로 분류되며, 매립이나 재활용이 조건적으로 가능하나 우리나라의 경우는 현재까지 폐 석회의 적절한 처리 및 자원 재활용에 대한 구체적인 방안이 없는 실정이다.

폐석회의 재활용은 폐기물관리법 시행규칙 제20조 규정에 의해 규제되고 있다. 이는 공유수면의 매립 성토제 또는 복토제로 활용할 수 있도록 규정된 것이다.

구체적인 사용방안에 대한 연구 검토가 필요하다고 보며 외국의 경우, 폐 석회의 처리 및 활용방안에 관한 법적 규제에 관해서는 현재까지 잘 알려져 있지 않다.

국내에서는 폐석회를 여러 방법으로 재활용하고 있는데 대부분 공유수면의 매립과 도로기층제, 야적장 기층제로 폐 석회가 주로 활용되고 있다.

미국, 일본, 대만, 호주 등에서는 주로 해안매립, 석회질 비료 생산 등에 활용되고 있으나 석탄광산의 산림복원 등 광해방지 사업에 활용한 사례는 국내뿐만 아니라 외국의 경우도 없는 실정인기에 이에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구는 폐탄광 지역에서 발생하는 광해문제를 해결하는 방법으로 소다회 제조 과정시 부산물로 발생하는 폐석회를 이용하여 폐 탄광 지역의 폐석 유출 방지를 위한 사면안정 및 식생복원 사업에 적용하고 폐석회의 활용 가능성을 평가하였다.

II. 실험 및 방법

1. 실험재료

복토 및 토양개량제 활용 가능성을 간접적으로 확인할 수 있는 시험을 하기 위해 현장 시험포장 처리

구에는 화본과 식물인 오차드그라스(학명: *Dactylis glomerata* L.)와 왕포아풀인 캔터키 블루글라스(학명: *Poa Pratensis* L.) 그리고 억새(학명: *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*) 등의 초본류와, 오리나무(학명: *Alnus rubra* Bong), 해송(학명: *Pinus thunbergii*), 자작나무(학명: *Betula platyphylla* var. *japonica*) 등 3종류의 나무를 심고 초본류는 Seed Spray한 후 발아율과 생육환경을 조사하였다.

Seed Spray 종자비율은 각각 50%씩 섞은 후 종자 살포기(2500ℓ ~ 3000ℓ/hour)를 이용하여 살포하였으며, 침식방지안정제로 합성접착제를 사용하였고, 색소는 마아카이드그린, 피복제는 화이버를, 비료는 복합비료를 사용하여 습도 68%, 기온 21℃인 약간 흐린 날(2003. 4월)을 택하여 1회 파종하였다.

2. 시험재료의 석회요구량조사 및 물리화학적 특성 조사

폐석탄, 부산석회, 복토제의 석회요구량 (Lime Requirement)을 측정하기 위하여 완충곡선법을 이용하여 각각의 구성성분을 분석하였고, 물리화학적 특성은 X선 형광분석기(XRF)와 X선 회절분석기(XRD), ICP를 사용하였다. 부산석회의 입자에 대한 크기 분포를 알아보하고자 Malvern Mastersizer S 입도분석기를 사용하여 입도 분석을 수행하였다.

3. Field Application Experiment

현장적용에 의한 활용성 검증을 위해 2002년 9월부터 12월까지 강릉시 옥계면 금진리 산 81번지에 위치해 있는 와룡 7개의 폐석단지에 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 시험포장을 조성하여 2003. 4월에서 8월말까지 강수량에 의한 침출수 변화를 검토하기 위한 현장실험을 행하였다.

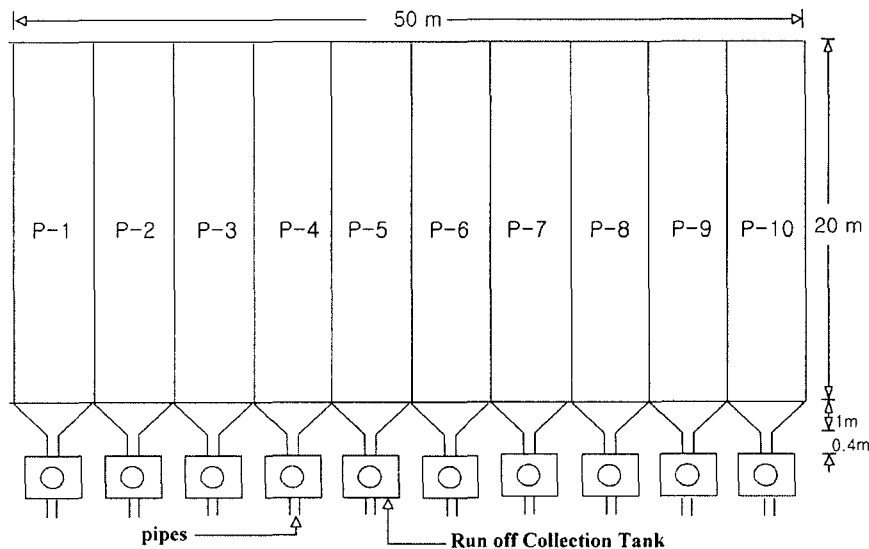


Figure 1. Layout of the experimental runoff segment plots with runoff and leachate collection reservoirs.

폐 석탄광산 고품 폐기물 처리 방법의 한 가지인 사면 안정화 시험을 하기 위하여 와룡 7개에서 발생한 폐석터미 위에 처리한 시험포장 공사는 Table 1과 같으며 시험구 공사의 면적은 약 1000 m² (50 m×20 m) 이며, 높이는 0.6 m로 하였다(Fig. 1).

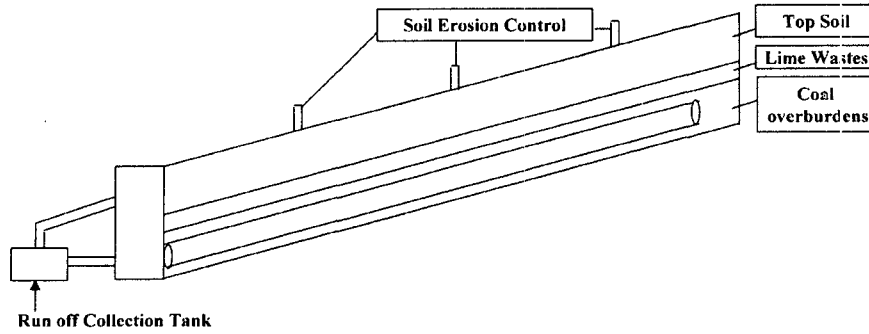


Figure 2. Side view of the experimental at runoff segment plots.

부산석회의 처리량은 폐 석탄과 복토제의 석회요구량 (Lime Requirement)에 의해 결정하였고, 복토제는 인근 야산에서 채취한 마사토를 사용하였다.

Table 1. Treatment plots of the field experiment.

Plot No.	Treatments	Lime Treatments Methods	Vegetation
1	Coal Overburdens only	-	Grass and trees
2	Coal Overburdens+Lime waste(LR 100%)	Layered	Grass and trees
3	Coal Overburdens+CaCO ₃ +Dressing Soil	Layered	Grass and trees
4	Coal Overburdens+CaCO ₃ +Dressing Soil	Mixed	Grass and trees
5	Coal Overburdens+Lime Wastes (LR 100%)+Dressing Soil	Layered	Grass and trees
6	Coal Overburdens+Lime Wastes (LR 100%)+Dressing Soil	Mixed	Grass and trees
7	Coal Overburdens+Lime Wastes (LR 50%)+Dressing Soil	Layered	Grass and trees
8	Coal Overburdens+Lime Wastes (LR 50%)+Dressing Soil	Mixed	Grass and trees
9	Coal Overburdens+Lime Wastes (LR 25%)+Dressing Soil	Layered	Grass and trees
10	Coal Overburdens+Lime Wastes (LR 25%)+Dressing Soil	Mixed	Grass and trees

*Grasses: Orchard grass (*Dactylis glomerata* L), Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.)and *Eulalia* (*Miscanthus sinensis* Anderss); Trees: Pine tree (*pinus densiflora* S. et Z.), *Betula platyphylla* var. *japonica*) and *alnus firma* S. et Z.)
 LR: Lime requirement as CaCO₃

4. 식생 및 Data의 분석

식물생육조사를 위해 MISC program을 사용 실시하였으며. 또한 발아율, 초장, 생중량, 건중량, 등을 분석하였다.

각 시기별 채취된 시료의 3반복 평균수치는 통계처리 프로그램(Duncan's multiple range test, LSD)으로 비교하였으며, 처리구별로 정해진 시기에 따라 수집된 결과는 Single-degree-of-freedom orthogonal contrasts를 이용하여 처리구별로 비교 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시험재료(부산석회, 폐 석탄, 복토제)의 석회요구량조사 및 물리·화학적 특성

인위적인 원인으로 인하여 훼손된 석탄광산 지역의 산림을 복구하는 문제는 산림의 제반 기능 복원은 물론이고, 환경보전 차원에서도 매우 중요한 의미를 갖고 있다. 식생의 활착을 위한 입지환경 조건으로서 중요한 인자는 기후, 지형, 토양의 성질 등을 들 수 있으며 특히 경사도라든가 경사면의 길이, 토

성, 객토의 성질 및 복토 두께가 임목의 생존여부와 관련이 매우 큰 것으로 알려져 있다.(박용하 등, 2001)

초본류를 Seed Spray하기 전에 현장 시험포장 처리구별로 사용될 복토제와 폐 석탄의 석회요구량 (Lime Requirement)을 측정하여 각 처리구에 대한 pH조건을 7.0으로 조절하기 위해 석회 요구량을 산출하기 위한 완충곡선으로 폐 석탄의 경우 13.9 kg/ton의 석회(CaCO₃)가 요구되었으며, 부산석회의 경우는 24.0 kg/ton이 요구되는 것으로 나타났다(Fig. 1).

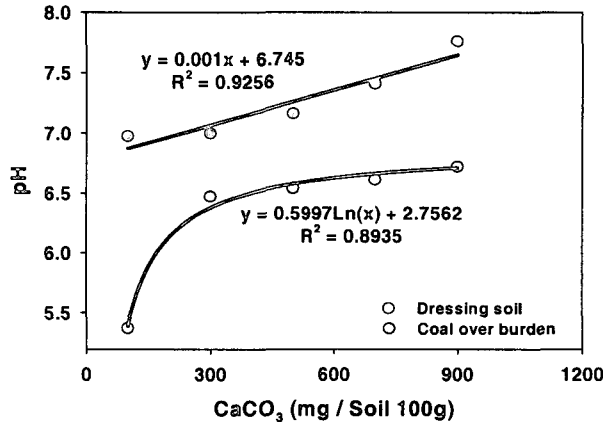


Figure 3. Buffer curve for the lime requirement of the dressing soil and coal overburdens.

부산석회의 pH는 11.24이었으며, EC는 79.55dS/m, 유기물 함량은 0.83%이었고, 폐석회 pH는 3.50, 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 (Table 2).

Table 2. Chemical properties of the coal overburden, Lime waste and dressing soil.

	pH (1:5)	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	LR	Exchangeable			
						Ca	Mg	K	Na
		dS/m	%	mg/kg	kg/10a	----- 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 CaCO₃)

부산석회의 경우 화학공정을 거쳐 발생되는 부산물이기 때문에 토양개량제 등으로 재활용하기 위해서 라든가 용출조건에 따른 용출량을 비교함으로써 처분장소의 선택에 좋은 기준을 제시할 수 있으며, 또한 전량 분석과 비교함으로써 주변 환경으로 부터 중금속의 이동성을 간접적으로 판단할 수 있는 기준이 되기 때문에는 가장 먼저 환경적인 영향에 대하여 평가를 실시하여야 할 것으로 판단된다. 이러한 검증을 부산석회와 폐석탄, 복토제의 유해 중금속을 분석한 결과 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 검출되어 모두 토양환경보전법 토양오염 우려기준 이하인 규제농도 미만으로 큰 문제가 되지 않는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. 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

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 2~50 μ m의 크기를 갖는 입자의 분포가 가장 우세한 것으로 나타났다(Table 4).

Table 4. Grain size distribution of the lime wastes.

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

2. Field Application

부산석회를 이용하여 폐 석탄광산 고품 폐기물 처리 방법의 한 가지인 사면 안정화 시험 및 토양개량 재료의 활용 가능성을 평가하기 위해 강릉시 옥계면 금진리 외룡7개주변에 사면 정리한 시험포장 10개 <Table 1>을 설치하여 강우 시 폐석 등 광산 폐기물로부터 발생하는 유출수에 대하여 각 시험포장별 이화학적 성분 비교 조사 및 부산석회 처리에 따른 식생에 대한 안전성을 조사하였다.

가. 처리구별 식물 성장분포조사

식생에 대한 생육조사는 6, 7, 8월에 나누어서 실시하였으며, 각 시험 처리구별 월 별 5회씩 측정, 평균 값을 구하여 식생분포를 산출하였다(Table 5).

6,7월의 경우 보다, 8월의 시험포장 Plot 10 지점인 폐석, 복토 토양 + 부산석회로 처리한 (석회요구량 25%, 혼합층)처리구가 61.2%로 성장분포가 가장 높은 것으로 나타났으며, Standard Divation도 대부분의 처리구에서 $\pm 10\%$ 내외로 편차율은 높지 않게 나타났다(Fig. 4).

Seed Spray한 식물 중에 각 시험포장에서 우점종으로 잘 자라는 식물은 오차드 그라스로 나타났으며, 시험포장 Plot 10 지점인 폐석, 복토 토양 + 부산석회로 처리한 (석회요구량 25%, 혼합층)처리구에 식재물이 다소 성장하고 있는 것 이외는 외부에서 흩날려 자생된 잡초는 찾아볼 수 없을 정도로 모든 처리구에서 오차드그라스가 우점종인 식물로 나타났다(Fig. 4).

Control구(Plot 1, 2)와 폐 석탄+석회, 부산석회 처리구(Plot 3,4,5)의 결과가 다른 처리구에 비해 저조한 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 폐 석탄의 낮은 pH와 높은 EC값에 기인한 것으로 판단되며, CaCO₃ 처리구의 경우 높은 pH와 높은 EC값에 의한 것으로 판단된다.

EC 등과 같이 염류농도가 높은 토양이 식물에 미치는 영향은 여러 가지로 복합적이지만 그중 가장 두드러지게 나타나는 것은 식물의 수분 흡수 억제효과이다.

토양의 염류농도가 높아지면 토양수의 삼투압이 높아지고 식물은 수분을 흡수하기 어렵게 되며 만일

토양수의 삼투압이 뿌리의 삼투압보다 더 높아지면 수분은 식물체에서 토양으로 이동하게 되고 식물체 또는 원형질 분리현상을 일으켜 죽게된다. 따라서 부산석회의 처리시 고려해야 할 요인이 석회 요구량 뿐만 아니라 염류나EC와 같은 다른 요인도 고려되어야 할 것으로 판단된다.

Table 5. Surface coverage(%) in the field segment plots.

number month	Treatment Plots										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
J u n e	1	18.8	13.6	14.6	15.6	12.7	26.2	25.0	31.6	26.2	20.2
	2	18.2	7.6	25.7	15.2	16.6	30.5	25.0	29.2	23.3	27.6
	3	12.5	18.6	9.7	13.0	14.4	26.3	30.2	33.4	24.4	31.9
	4	17.1	8.3	12.8	13.5	21.5	22.7	15.5	22.0	24.0	20.2
	5	11.0	17.9	9.6	15.5	13.8	22.3	16.2	35.5	29.8	27.9
	Max.	18.8	18.6	25.7	15.6	21.5	30.5	30.2	35.5	29.8	31.9
	Min.	11.0	7.6	9.6	13.0	12.7	22.3	15.5	22.0	23.3	20.2
	Avg.	15.5	13.2	14.5	14.6	15.8	25.6	22.4	30.3	25.5	25.6
	SD	3.5	5.2	6.6	1.2	3.5	3.3	6.3	5.2	2.6	5.2
J u l y	1	24.5	26.1	26.7	26.2	22.0	37.5	38.9	30.8	31.0	31.3
	2	26.0	26.3	25.7	21.0	21.8	24.4	17.6	33.3	42.5	35.4
	3	23.0	19.4	23.0	31.5	18.5	23.4	17.9	33.3	41.6	43.4
	4	25.7	24.1	30.0	22.2	21.5	31.9	39.0	38.6	33.9	34.8
	5	30.2	19.9	25.0	13.1	21.0	37.2	33.0	53.5	32.6	40.9
	Max.	30.2	26.3	30.0	31.5	22.0	37.5	39.0	53.5	42.5	43.4
	Min.	23.0	19.4	23.0	13.1	18.5	23.4	17.6	30.8	31.0	31.3
	Avg.	25.9	23.2	26.1	22.8	21.0	30.9	29.3	37.9	36.3	37.2
	SD	2.7	3.3	2.6	6.8	1.4	6.8	10.8	9.2	5.3	4.9
A u g u s t	1	31.3	42.9	30.0	37.5	39.8	21.9	32.6	42.4	51.9	46.6
	2	22.3	22.5	36.9	48.7	37.5	44.5	47.8	42.1	48.8	64.1
	3	45.4	19.8	56.8	39.4	46.6	50.7	35.9	60.5	50.5	68.5
	4	38.6	29.1	52.8	57.4	37.9	32.8	31.2	37.6	59.1	65.4
	5	29.4	23.4	54.8	45.7	40.4	37.5	36.9	45.6	52.6	61.2
	Max.	45.4	42.9	56.8	57.4	46.6	50.7	47.8	60.5	59.1	68.5
	Min.	22.3	19.8	30.0	37.5	37.5	21.9	31.2	37.6	48.8	46.6
	Avg.	33.4	27.5	46.3	45.7	40.4	37.5	36.9	45.6	52.6	61.2
	SD	8.9	9.2	12.0	8.0	3.7	11.1	6.5	8.8	3.9	8.6

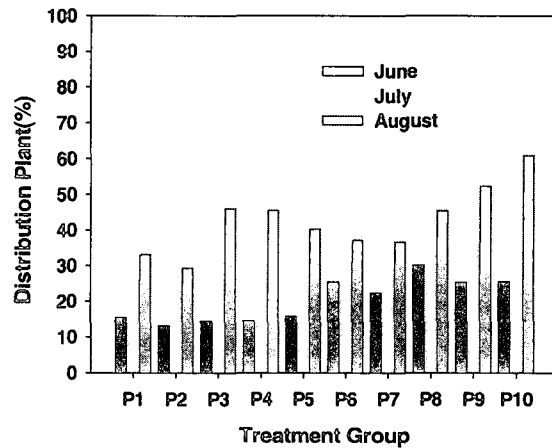


Figure 4. Surface coverage(%) in the field segment plots.

나. 처리구별 식물 Surface Cover 조사

현장 시험포장 각 처리구별 Surface Cover 상태를 파악코자 6월, 7월, 8월 3개월 동안 월 별 5회씩 가로 40cm × 세로 40cm의 나무틀을 만들어 Surface Cover을 측정하여 평균 값 <Table 6>을 산출하였다.

6월의 경우 폐 석탄 처리구(Plot. 1)에 비해 석회(CaCO₃)로 처리한 처리구(Plot. 3, 4)에서 Surface Cover가 낮은 것으로 조사되었는데, Seed Spray후 초기 생육상태에서는 염류농도가 높은 석회 등의 영향으로 토양의 안정화가 이루어지지 않은 상태에서 생육이 늦은 원인으로 판단되며, 7월의 경우에는 폐 석탄 처리구(Plot. 1)나 석회(CaCO₃)로 처리한 처리구(Plot. 3, 4)에서 Surface Cover가 비슷한 결과를 나타냈으나 8월에는 석회(CaCO₃)로 처리한 처리구(Plot. 3, 4)에서 Surface Cover가 1.45배 정도로 훨씬 높은 상태를 나타냈다.

부산석회요구량 100%로 증위 및 혼합 처리한 처리구(Plot. 5, 6)는 석회(CaCO₃)로 처리한 처리구(Plot. 3, 4)에 비해 Surface Cover가 낮은 상태를 나타냈는데, 이는 석회(CaCO₃)로 처리한 처리구에 비해 부산석회 중의 염분농도 및 EC 등의 영향에 기인된 것으로 판단되며, 폐석, 복토 토양 + 부산석회로 처리한 (석회요구량 25%, 증위 및 혼합증)처리구(Plot. 9, 10)에서 각각 1,016 cm²와 1,175 cm²로 Surface Cover상태가 가장 좋은 것으로 나타났다.

Table 6. Surface coverage(cm²) in the field segment plots.

(Unit : cm²)

June	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4	Plot 5	Plot 6	Plot 7	Plot 8	Plot 9	Plot 10
1	377.1	330.7	318.9	276.7	236.4	638.9	688.3	540.7	453.3	475.3
2	341.4	164.4	384.0	264.1	298.3	453.4	579.7	508.5	484.0	550.5
3	286.8	336.2	174.8	233.3	255.7	468.1	594.3	387.1	510.9	543.1
4	343.9	150.1	221.3	238.7	405.1	405.1	237.1	690.7	512.4	486.0
5	205.3	253.2	181.0	277.0	243.9	581.0	258.7	562.5	509.2	498.9
mean	310.9	246.9	256.0	258.0	287.8	509.3	471.6	537.9	494.0	510.8
July	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4	Plot 5	Plot 6	Plot 7	Plot 8	Plot 9	Plot 10
1	449.3	522.5	713.8	519.6	610.3	448.2	787.6	640.6	741.8	718.9
2	535.0	701.7	513.4	452.6	450.7	454.6	368.6	656.9	698.6	797.3
3	452.9	284.9	575.5	445.1	346.8	676.9	562.7	834.8	808.6	746.9
4	466.5	303.5	513.0	623.5	552.4	716.7	583.2	799.8	688.4	742.7
5	755.8	835.2	452.9	644.1	428.0	727.8	574.1	862.2	760.6	758.5
mean	531.9	529.6	553.7	537.0	477.7	604.8	575.2	758.9	739.6	752.9
August	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4	Plot 5	Plot 6	Plot 7	Plot 8	Plot 9	Plot 10
1	748.4	665.0	594.5	768.4	804.7	747.5	658.6	858.2	1050.3	881.1
2	603.2	456.4	726.2	948.2	716.6	881.8	939.7	848.9	945.9	1209.3
3	787.2	584.6	1141.3	786.8	889.5	938.0	690.7	1195.3	990.7	1287.9
4	659.3	471.4	1033.1	1143.2	722.0	636.4	718.9	728.4	1128.6	1290.4
5	603.2	559.8	1105.4	922.3	852.3	712.3	792.5	910.3	965.8	1210.3
mean	680.3	547.4	920.1	913.8	797.0	783.2	760.1	908.2	1016.3	1175.8

Fig. 5는 폐석탄으로만 처리한 Control구(Plot. 1)와 폐 석탄에 부산석회 요구량 100%로 증위 처리한 처리구(Plot. 2)에서 지표 Cover상태를 조사한 결과로 폐석탄만으로 증진되어 있는 Control구에서도 식물생육이 가능한 것으로 나타났는데 이는 폐석탄 내에 함유되어 있는 유기물과 인산 등이 식물생장에

도움이 된 것에 기인된 것으로 판단된다.

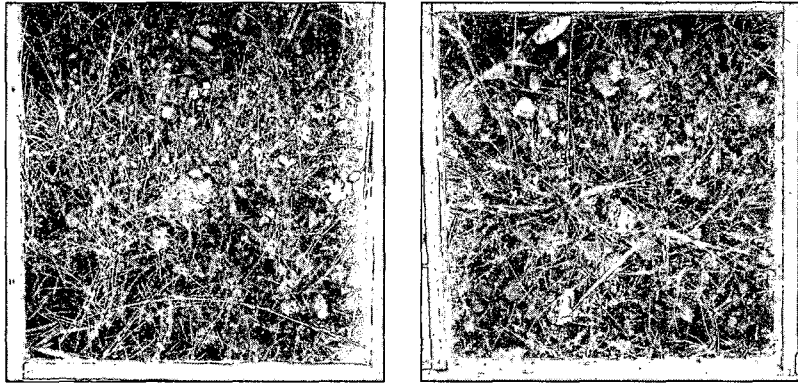


Figure 5. Surface coverage in the coal overburden plot (control without lime waste).

층위 처리한 처리구(Plot. 3)에 비해 혼합 처리한 처리구(Plot. 4)에서의 Surface Cover가 더 좋은 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났는데(Fig. 6), 혼합 처리구(Plot. 4)에 비하여 층위 처리시(Plot. 3) Surface Cover가 낮은 이유는 석회 중에 함유되어 있는 높은 EC 등에 기인된 것으로 판단된다.

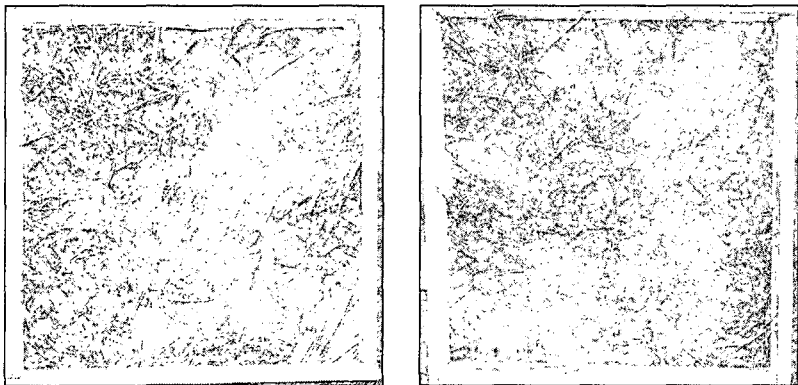


Figure 6. Surface coverage in the plot treated with 100% of the lime requirement as CaCO_3 .

부산석회를 복토제와 혼합하여 석회요구량을 100%, 50%, 25%로 처리하여 층위 처리한 처리구(Plot. 5, 7, 9)와 혼합 처리한 처리구(Plot. 6, 8, 10)에 대해 Surface Cover를 조사한 결과이다(Fig.7~9).

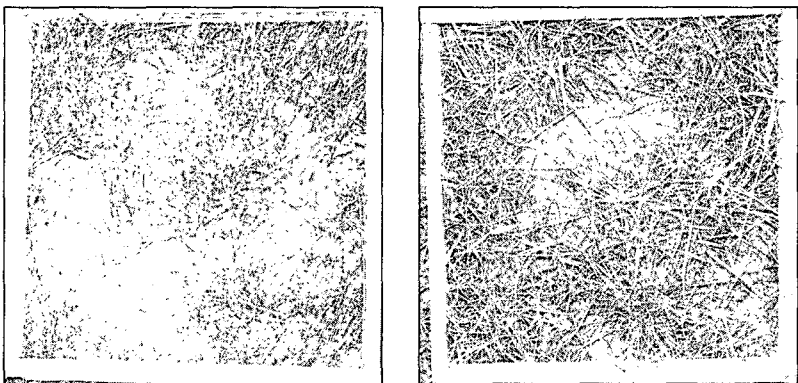


Figure 7. Surface coverage in the plot treated with 100% of the lime requirement as the lime wastes.

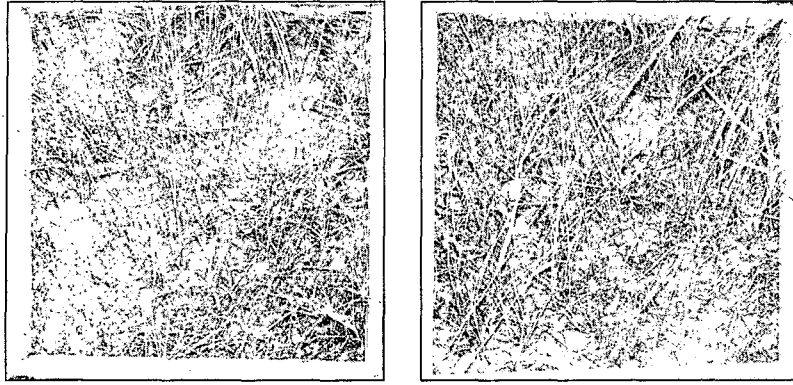


Figure 8. Surface coverage in the plot treated with 50% of the lime requirement as the lime wastes.

부산석회를 층위 처리한 처리구(Plot. 5,7,9)에 비해 혼합 처리구(Plot. 6,8,10)에서의 Surface Cover 상태가 높은 것으로 조사되었으며(Fig. 5~9), 특히 석회 요구량 25%처리시[Fig. 65]의 식생 상태가 매우 양호한 것으로 나타났다.

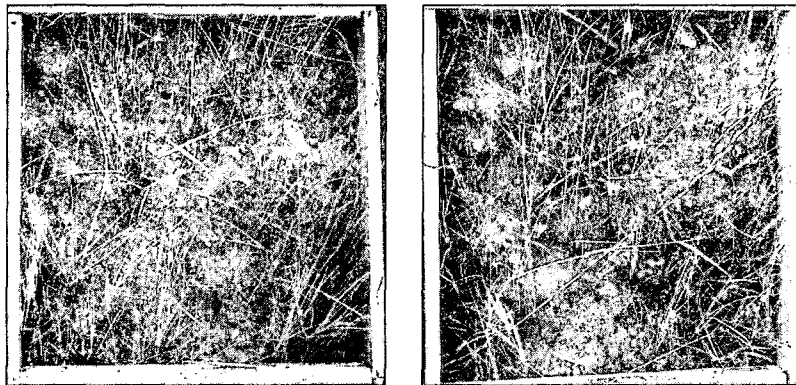


Figure 9. Surface coverage in the plot treated with 25% of the lime requirement as the lime wastes.

이러한 결과로 판단할 때 석회 요구량을 100%, 50%로 부산석회를 층위에 처리하는 것 보다는 복토제와 혼합하여 처리하는 것이 부산석회 중의 높은 EC 등 염류에 의한 장애로부터 식물을 보호하여 식물착생에 도움이 되리라 사료된다.

VI. 결론

○ 시험포장 처리구별 식생에 대한 생육조사는 오차드그라스, 캔터기블루그라스, 난고초, 억새 등을 Seed spray 처리 후 6, 7, 8월에 나누어서 가로×세로 각각 40 cm로 나누어 식생에 대한 분포율 시험한 결과, 오차드그라스(*Dactylis glomerata* L.)가 우점종으로 제일 식생이 활발한 것으로 나타났고 그 외 식물들은 자라지 못하는 것으로 나타났다.

폐 석탄으로만 처리된 Control구와 폐 석탄과 석회, 부산석회 처리구에서의 결과가 다른 처리구에 비해 저조한 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 폐 석탄의 낮은 pH와 높은 EC값에 기인한 것으로 판단되며, CaCO₃ 처리구의 경우 높은 pH와 높은 EC값에 기인된 것으로 판단되는데, 부산석회를 현장에 적용할시 고려해야 할 요인은 석회 요구량뿐만 아니라 EC와 같은 다른 요인도 고려하여 사용되어야 할 것으로 판단된다.

○ 부산석회는 현행 산림복구 공사 시 발생하는 폐석으로 인한 침출수 문제해결은 물론이거니와 식생복원을 위한 수중선택의 제한성을 두지 않는다는 것과 성형 후 갭내수 및 산성광산폐수의 중화제로의 활용가능성이 매우 높은 재활용 폐기물로 광해방지 사업에 유용한 재료로 사용되어도 큰 문제가 되지 않으리라 판단된다.

○ 산림복구와 관련하여 부산석회 자체가 강 알칼리성을 띠고 있기 때문에 전량 사용이 불가하여 타 원료(복토제)와 혼합시 석회요구량을 감안하여 활용하여야 한다는 단점과 부산석회의 전기전도도(EC)가 약 14 dS/m로 높고, Cl⁻, SO₄²⁻ 등의 염류농도가 높아 전량 토양개량제로 사용 시 식물 성장에 악영향을 줄 우려는 있으나 복토재와의 적정 비율로 혼합하여 폐광지역의 산림복원 등 광해방지 사업으로의 활용가치는 매우 크리라 생각된다.

○ 현행 폐기물 관리법상 부산석회의 활용 적용대상이 한정적이기 때문에 광해방지 사업에 적용하는 데에는 한계가 있을 것으로 생각되나 현장적용 결과 활용가치가 매우 큰 재활용 폐기물이기 때문에 부산석회의 활용범위를 광범위하게 넓힐 수 있는 법 개정이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 인천 동양화학에서 소다회 제조 과정시 부산물로 발생하는 부산석회의 특성을 고려하여, 폐석으로 방치되어 있는 폐탄광 산림지역을 대상으로 부산석회와 복토제를 활용해 폐석으로 인해 발생하는 유거수의 완충능력을 평가 등 광해방지사업의 활용방안에 초점을 두고 최적의 방법을 제시하고자 수행하였다.

참고문헌

- APHA, AWWA, and WEF(1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed, Washington DC, USA.
- Alloway, B. J. and B. E. Davies. 1971. Trace element content of soils affected by base metal mining in Wales. *Geoderma.*, 5, 197-208.
- Baker, M. 1975. Inactive and abandoned underground mines-water pollution prevention and control. EPA-440/9-75-007.EPA, Washington, DC.
- EPA, 1990. Bioremediation in the Field, EPA/540/2-90-004.
- EPA, 1991. Chemical Oxidation Treatment, Engineering Bulletin, EPA, OERR and ORD, Washington, DC, EPA/530/2-91/025.
- EPA. 1991. In Situ Soil Flushing, Engineering Bulletin, EPA/540/2-91/021.
- Preve, R. E.; J. A. Burger and R. E. Kr도. 1984. Influence of mine spoil type, fertilizer, and mycorrhizae on pines seeded in greenhouse tray. *J. Environ. Qual.* 13:387-391.
- Robert S. Hedin & George R, "The effect of anoxic limestone drains on mine water Chemistry." International abatement of acidic drainage, pittsburg(1994)
- Stumm, W., and J.J. Morgan. 1996. Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 3rd Ed. John Wiley and Sons. NY.
- Yang, Jae E., 2001, Reclamation of the Inactive or Abandoned Coal Mine Area Using Limewastes from Soda Ash Production. Coal Industry Promotion Board, pp 140.
- 건설부, 1988, 태백 광산지역 탄광폐수 처리시스템 개발, 119p.
- 구자공, 임재신, 도남영, 이상민, 1996, 부산석회 이용에 관한 연구 - 재활용 가치 및 이화학적 특성, 식물영양학적 평가. 동양화학공업주식회사.