

## Effects of Soil Neutralizing Treatments on Soil Characteristics and Growth of *Aster koraiensis* in the Acid Soil of Abandoned Metal Mine

Mun Ho Jung\*, Sang Hwan Lee, Yoon Su Kim, and Mi Jeong Park

Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation Segye-ro, Wonju-si, Gangwon-do, 26464, Republic of Korea

(Received: November 18 2015, Revised: May 2 2016, Accepted: May 28 2016)

The objectives of this study were to investigate the effects of soil neutralizing treatments on soil characteristics and growth of *Aster koraiensis* in the acid soil of abandoned metal mine for selection of proper neutralizer. The most effective neutralizers were acid mine drainage sludge, waste lime + oyster and compost. Those neutralizing treatments showed promoting growth of *Aster koraiensis*. According to this study, it is applicable of acid mine drainage sludge, waste lime + oyster and compost to neutralize acid soil for rehabilitation in abandoned metal mine. However, follow-up study is necessary to calculate proper ratio of each neutralizer.

**Key words:** Abandoned metal mine, Acid soil, Soil neutralizing treatment, *Aster koraiensis*

### Soil chemical characteristics for each treatment ( $p < 0.05$ ).

Mine	pH	TOC		Total-N	Soil dehydrogenase activity ug TPF g <sup>-1</sup> 24 h <sup>-1</sup>
		%			
Acid Mine Drainage 10%	6.77 <sup>bc</sup>	0.63 <sup>b</sup>		0.11 <sup>b</sup>	4.01 <sup>ab</sup>
Acid Mine Drainage 20%	7.23 <sup>a</sup>	0.84 <sup>ab</sup>		0.09 <sup>c</sup>	3.62 <sup>abc</sup>
Bottom Ash 1%	4.90 <sup>de</sup>	0.32 <sup>d</sup>		0.10 <sup>bc</sup>	4.28 <sup>a</sup>
Bottom Ash 2%	5.07 <sup>d</sup>	0.36 <sup>cd</sup>		0.08 <sup>c</sup>	3.29 <sup>bc</sup>
Fly Ash 1%	5.07 <sup>d</sup>	0.30 <sup>d</sup>		0.08 <sup>c</sup>	3.73 <sup>c</sup>
Fly Ash 2%	4.77 <sup>de</sup>	0.54 <sup>b</sup>		0.08 <sup>c</sup>	3.70 <sup>c</sup>
Waste-Lime + Oyster 1%	7.00 <sup>ab</sup>	0.28 <sup>de</sup>		0.11 <sup>b</sup>	3.16 <sup>abc</sup>
Waste-Lime + Oyster 2%	7.17 <sup>a</sup>	0.37 <sup>c</sup>		0.10 <sup>b</sup>	3.02 <sup>abc</sup>
Compost	6.43 <sup>c</sup>	0.94 <sup>a</sup>		0.14 <sup>a</sup>	3.62 <sup>abc</sup>
Control	4.57 <sup>e</sup>	0.22 <sup>e</sup>		0.07 <sup>c</sup>	3.53 <sup>abc</sup>

\*Corresponding author: Phone: +823390267244, Fax: +82339026739, E-mail: jungmh2@mireco.or.kr

§Acknowledgement: This research has been maintained with project "Development of complex model for ecological restoration of mine areas" from Mine Reclamation Corp.

## Introduction

우리나라 광업은 1950년대 전체 수출의 약 70%를 차지하였으나, 이후 국제 광물가격의 하락, 국내 인건비 상승 등으로 인해 점차 광산개발 규모가 줄어들었다 (Lee et al., 2013). 이에 따라 대부분의 광산이 휴지 또는 폐광하여 2014년 현재 국내 광산 5,396개소 중 휴·폐광산이 4,803개로 전체의 약 89%를 차지한다 (MIRECO, 2014). 휴·폐광산 중 금속광산은 2,110개소인데, 금속광산에서 발생하는 산성배수나 광폐석이 주변 농경지나 마을, 하천 등으로 유입될 경우 토양과 수질을 오염시켜 생태계를 파괴하고 국민의 건강을 위협하기도 한다 (Kim et al., 2006).

폐금속광산의 폐석장에 적치되어 있는 광폐석은 식생이 생육하기 위한 토양내 양분이 부족할뿐더러 산성토양인 경우가 많다. 산성토양의 경우  $Al^{3+}$  이온이 증가하고 토양내 양분 용탈이 발생하는 한편 (Park et al., 2001; Oh et al., 2012), 식물의 양분유효도도 감소하기 때문에 (Trouw, 1947) 식생의 생육불량 및 고사의 주요 원인이 되기도 한다. 따라서 폐금속광산에서 산성토양을 복원하기 위해서는 토양 중화제를 사용하여 토양 pH의 적정 개량방안이 요구된다.

2008년 경상북도 봉화군에 위치한 폐금속광산 (소지광산)의 광폐석 적치장에서 복토나 토양개량방안을 적용하지 않고 적치장에 바로 소나무와 회양목을 식재한 후 2012년에 식생생육 및 주변수중 유입현황을 조사한 결과, 식재묘목이 전부 고사하고 주변으로부터의 식생유입도 발생하지 않았다 (Jung et al., 2012). 광폐석 적치장의 토양특성을 분석한 결과 토양 pH가 5이하의 산성토양이었으며, 토양 pH가 식생 고사의 주요 원인으로 추측되었다 (Jung et al., 2012). 따라서 본 연구는 소지광산 산림복구지를 대상으로 토양 pH를 중화하기 위한 적정 중화제 선별 및 식생생육에 대한 중화제 처리효과를 평가하였다. 중화제 선정시 토양 pH 효과 뿐만 아니라 산림복구사업의 경제성을 고려하여 주변에서 흔히 구하기 쉬우며 단가가 저렴한 중화제를 선정하였다. 이에 따라 중화제는 폐석회와 굴폐각을 혼합한 중화제와 바닥재 (Bottom ash), 비산재 (Fly ash), AMD (Acid Mine Drainage) 슬러지 및 퇴비였다. 바닥재와 비산재는 우리나라 화력발전소에서, AMD 슬러지는 폐광

산 수질정화시설에서 지속적으로 발생하고 있는 폐기물로 일반적으로 복토재로 사용하는 토사보다 구입 및 운반비용이 저렴하기 때문에 현재 매립지 등에서 복토재로 사용되고 있다. 공시 수중은 우리나라 자생 다년생 초본인 별개미취 (*Aster koraiensis*)를 대상수종으로 하였다.

## Materials and Methods

**실험 방법** 실험은 충청남도 천안시 서북구 성환읍에 위치한 한국광해관리공단 광해기술연구소 부지에서 실시하였다. 공시토양은 소지광산에서 채취하여 사용하였다. 토양 pH를 중화하기 위해 사용한 중화제는 Acid Mine Drainage (AMD) 슬러지 (함태수질정화시설), 바닥재, 비산재, 폐석회 + 굴폐각 및 퇴비 (유기물함량 30%)였다. AMD 슬러지는 한국광해관리공단에서 관리하고 있는 강원도 태백시에 위치한 함태수질정화시설에서 채취하였으며, 바닥재와 비산재는 남부발전, 폐석회는 강원도 영월군에 위치한 영동탄광에서 채취고, 굴폐각은 시중에서 판매하고 있는 굴폐각 비료를 사용하였다. AMD 슬러지, 바닥재, 비산재, 폐석회 + 굴폐각과 바닥재 및 소지광산 토양 등의 화학적 특성 분석결과를 Table 1에 나타냈다. pH 분석결과 각 중화제의 pH는 7.6~9.2의 범위를 보였으며, AMD 슬러지가 가장 낮고 폐석회 + 굴폐각이 가장 높았다. TOC는 비산재 (9.1%), 바닥재 (8.1%), 폐석회 + 굴폐각 (5.2%), AMD 슬러지 (3.6%) 였으며, 총질소는 비산재 0.06%, AMD 슬러지 0.04%, 폐석회 + 굴폐각이 0.04%, 바닥재 0.02% 였다. 소지광산 토양의 경우 토양 pH는 4.1, TOC 0.21%, 총질소 0.04%였다.

토양 pH 중화제처리수준은 폐석회 + 굴폐각과 바닥재, 비산재는 각각 토양중량대비 1%와 2% 수준으로 처리하였으며, AMD 슬러지는 10%와 20%, 퇴비는 3.4% 수준으로 처리하였다. 비교를 위해 대조구로 중화처리를 하지 않은 소지광산 토양을 사용하였다. 중화제의 총질소 함량이 낮아 처리시 질소비료 (46:0:0)를 대조구를 포함하여 모든 처리구에 0.2 kg씩 처리하였다. 실험에 사용한 별개미취는 우리나라 전역에서 자생하는 다년생 초본으로, 실험부지 인근 양묘장에서 포트묘로 재배 중인 1년생 별개미취를 사용하였다. 식재는 1/3000 a 와그

**Table 1. Soil chemical characteristics of materials.**

Materials ( $p < 0.05$ )	pH	TOC	Total-N
unit		----- % -----	
Acid Mine Drainage	7.6	3.6	0.04
Bottom Ash	8.6	8.1	0.02
Fly Ash	8.4	9.1	0.06
Waste-Lime + Oyster	9.2	5.2	0.08
Soji Mine	4.1	0.2	0.04

너포트를 이용하여 각 포트당 소지광산토양 10kg과 중화제를 혼합하고, 벌개미취 1주를 식재하였으며, 각 처리구 및 대조구마다 3반복으로 설치하여 총 33개 처리구를 설치하였다. 벌개미취 식재시 사전에 중화제와 토양을 혼합하고 1개월 뒤에 벌개미취를 식재하였으며, 재배기간은 2015년 5월부터 10월까지 총 6개월간 재배하였다. 재배기간 동안 관수는 주 3회 실시하였으며, 관수량은 물 1 L 였다.

**조사 및 분석** 각 처리구별 토양특성을 분석하기 위해 중화제 처리후 각 처리구의 토양을 채취하여 실험실에서 48시간 동안 풍건한 후 2 mm체로 쳐 분석용 시료로 이용하였다. 분석 항목은 토양 pH, 총유기탄소 (TOC), 총질소, 토양 탈수소 효소 활성 등이었다. 토양 pH 측정은 pH meter (Orion 3STAR, THERMO, USA)를 이용하였다. 토양시료를 증류수와 1 : 5 비율로 혼합하여 30분 동안 진탕한 후 측정하였다. TOC 함량은 Walkley-Black법 (Walkley, 1947; Peech et al., 1947; Greweling and Peech, 1960)에 의해 분석하였다. 토양시료를 1 N - K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 용액 및 진한 황산과 혼합한 다음, 지시약 (0.025 M oPhenanthrolineferrous Complex)을 넣었다. 이를 0.5 N - FeSO<sub>4</sub>로 적정하여 총유기탄소 함량을 구하였다. 총질소 함량은 Micro Kjeldahl법 (Kjeldahl, 1883)으로 정량하였다. 토양시료를 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub> 혼합촉매와 진한 황산과 혼합한 뒤 약 4시간 동안 가열하여 분해시켰다. 이후, 분해액을 증류수로 희석하고 증류 플라스크에서 증류한 다음 표준 황산용액으로 적정하여 질소함량을 구하였다. 토양 탈수소효소 활성은 비색정량법 (Sukul, 2006)을 사용하였다. 분석을 위해 사전에 200 mesh 체로 친 토양에 수분을 토양중량대비 20% 처리하여 습윤토양으로 제조한 후 CaCO<sub>3</sub>와 3% TTC 용액을 가하여 잘 혼합하여 37°C 항온수조에서 24시간 배양하였다. 배양 후 생성된 2, 3, 5, Triphenylformazan (TPF)에 Methanol 용액을 2회 가하여 추출하여 No.6 Filter paper로 여과 후 485 nm에서 UV-spectrophotometer를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

**식물생육특성** 벌개미취의 성장량을 비교하기 위해 식재 전 구입한 벌개미취 중 일부를 채취하여 지상부와 지하부에 대한 건중량을 분석하고, 6개월 간 재배 후 각 처리구의 벌개미취의 지상부와 지하부에 대한 건중량을 분석하였다. 건중량 분석은 채취한 벌개미취 시료를 105°C 에서 48시간 건조한 후 중량을 측정하였다.

$$\text{건중량 (g/plnat)} = (\text{수확후 건중량}) - (\text{식재전 건중량}) \quad (\text{Eq. 1})$$

**통계처리** 처리구별 토양특성의 비교하기 위해 분산분석을 실시하였으며, 토양특성과 벌개미취 성장량의 상관관계를 분석하기 위해 상관분석을 실시하였다. 통계분석은 SPSS 14.0 (SPSS 14.0 Predictive Pack, SPSS Inc.) 통계 프로그램을 사용하였다.

## Results and Discussion

**중화제 처리에 따른 토양특성 변화** 중화제 처리에 따른 토양특성 변화를 Table 2에 나타냈다. 토양 pH의 경우 AMD 20%와 폐석회 + 굴폐각 2%가 각각 7.23, 7.17로 가장 높았고 ( $p < 0.05$ ), 비산재 1%와 바닥재 1%는 각각 4.77, 4.90 이었으며, 대조구와 차이를 보이지 않았다. 바닥재 2%와 비산재 2%는 5.07 이었으며, 퇴비와 AMD 1%, 폐석회 + 굴폐각 1%는 각각 6.43, 6.77, 7.00을 보였다 ( $p < 0.05$ ). 연구대상지가 위치한 경북지역의 경우 일반산림 A층 토양의 평균 pH는 5.4이었는데 (Jeong, et al., 2002), 비산재 1%와 바닥재 1%, 비산재 2%와 바닥재 2%는 이보다 낮은 값을 보였다. 산림토양에서 토양 pH가 5.6~7.3 보다 낮거나 높으면 일반적으로 식물의 양분유효도가 낮아진다 (Trough, 1947). 특히 토양 pH가 산성일 경우 토양내 Al<sup>3+</sup> 이온이 증가하고 양분원소의 용탈이 증가하여 식생의 영양결핍으로 인한 식생생육 저해현상이 발생

**Table 2. Soil chemical characteristics for each treatment ( $p < 0.05$ ).**

Mine	pH	TOC	Total-N	Soil dehydrogenase activity
				ug TPF g <sup>-1</sup> 24 h <sup>-1</sup>
Acid Mimne Drainage 10%	6.77 <sup>bc</sup>	0.63 <sup>b</sup>	0.11 <sup>b</sup>	4.01 <sup>ab</sup>
Acid Mimne Drainage 20%	7.23 <sup>a</sup>	0.84 <sup>ab</sup>	0.09 <sup>c</sup>	3.62 <sup>abc</sup>
Bottom Ash 1%	4.90 <sup>de</sup>	0.32 <sup>d</sup>	0.10 <sup>bc</sup>	4.28 <sup>a</sup>
Bottom Ash 2%	5.07 <sup>d</sup>	0.36 <sup>cd</sup>	0.08 <sup>c</sup>	3.29 <sup>bc</sup>
Fly Ash 1%	5.07 <sup>d</sup>	0.30 <sup>d</sup>	0.08 <sup>c</sup>	3.73 <sup>c</sup>
Fly Ash 2%	4.77 <sup>de</sup>	0.54 <sup>b</sup>	0.08 <sup>c</sup>	3.70 <sup>c</sup>
Waste-Lime + Oyster 1%	7.00 <sup>ab</sup>	0.28 <sup>de</sup>	0.11 <sup>b</sup>	3.16 <sup>abc</sup>
Waste-Lime + Oyster 2%	7.17 <sup>a</sup>	0.37 <sup>c</sup>	0.10 <sup>b</sup>	3.02 <sup>abc</sup>
Compost	6.43 <sup>c</sup>	0.94 <sup>a</sup>	0.14 <sup>a</sup>	3.62 <sup>abc</sup>
Control	4.57 <sup>e</sup>	0.22 <sup>e</sup>	0.07 <sup>c</sup>	3.53 <sup>abc</sup>

하고 (Park et al., 2001; Oh et al., 2012), 이는 결국 산림 복구의 실패 원인이 되기도 한다. 이에 따라 국가표준에서는 폐 탄광 산림복구지에서 사용하는 복토재의 품질기준 중 토양 pH의 범위를 5.6~7.3으로 규정하고 있다 (KSInfo, 2015). 본 연구결과에서 토양 pH가 5.3 이하를 보인 바닥재와 비산재는 연구대상지에서 토양 중화제로서의 효과가 떨어지며, 폐석회 + 굴패각과 퇴비, AMD 슬러지가 중화제로 사용가능할 것으로 판단되었다.

각 처리구별 TOC 함량은 0.22~0.94%의 분포를 보였다. 퇴비에서 0.94%로 가장 많았으며, AMD 슬러지 20%와 1%, 비산재 2%가 각각 0.84%, 0.63%, 0.54%로 그 다음이었다. 폐석회 + 굴패각 1%를 제외한 모든 처리구에서 대조구보다 높은 값을 보였다. 산림토양에서 유기물은 식생과 토양미생물에 양분공급 및 토양내 보습효과 등 산림생태계를 유지하는데 중요한 역할을 하고 있다 (Jin et al., 1994). 산림토양에서 유기물은 주로 식생의 낙엽낙지가 유입되어 형성되는데 (Jung et al., 2011), 산림복구지와 같이 식생피복율이 낮은 경우 낙엽낙지 유입량이 적기 때문에 유기물 공급이 부족할 수가 있다 (Šourkov et al., 2005; Jung et al., 2011). 따라서 산림복구시 토양내 적정유기물을 공급하는 것은 식생활착 및 주변으로부터의 식생유입을 위해서도 중요하다. 본 연구에서 중화제 처리에 따른 TOC 함량은 모든 처리구에서 1% 미만이었으며, 유기물 함량으로 환산하면 1.724%가 된다. 이는 일반적인 경복지역 산림토양 A층의 평균 유기물 함량인 2.14% (Jeong et al., 2002) 보다 낮은 값이다. 따라서 산림복구시 중화제와 별도로 유기물을 시용해야 식생활착 및 주변으로부터의 식생유입이 원활할 것으로 판단되었다.

중화제 처리에 따른 총질소 함량의 분포는 0.07~0.14% 였는데, 가장 높은 함량을 보인 처리구는 퇴비로 0.14% 였으며, 폐석회 + 굴패각 1% 및 2%, AMD 10%가 바닥재 1%가 그 다

음이었다. 산림토양에서 질소는 식생생육의 제한인자 역할을 한다 (Jin et al., 1994; Jung et al., 2012). 이는 질소의 형태가 대부분 유기태이며 무기화의 속도가 느리기 때문이다 (Jin et al., 1994). 또한 식생이 생육하는데 필요한 질소 요구량은 생장속도와 비례하는데 (Lee, 2001), 본 연구대상지와 같이 산림복구지에서는 식생이 대부분 어리고 생장속도가 빠르기 때문에 질소 요구량이 높을 수밖에 없다. 따라서 산림복구시 토양에서 질소함량이 낮을 경우 식생활착이 불량할 뿐만 아니라 주변으로부터의 식생 유입도 저조할 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서 사용한 중화제를 산림복구용으로 사용할 경우 별도의 비료를 시비하여 질소함량을 적정수준까지 올리는 방안이 필요할 것으로 판단되었다.

Table 1에 나타난 각 중화제의 TOC와 총질소 함량과 중화제 혼합 이후의 TOC 및 총질소 함량을 비교하면 중화제 투입에 따라 TOC와 총질소의 변화가 상이하였다. TOC의 경우 모든 중화제에서 중화제 투입에 의해 함량이 증가하였지만, 총질소의 경우 AMD 20%와 비산재 2%, 바닥재 1% 및 2%, 폐석회 + 굴패각 2%는 증가 효과가 상대적으로 적었다. 따라서 이후 토양개량방안을 결정할 경우 중화제의 이러한 특성을 반영하여 중화제와 함께 비료를 사용하는 방안이 필요하다.

각 처리구별 토양내 탈수소호소활성을 분석한 결과, 3.0~4.3% ug TPF g<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup>의 분포를 보였는데, 처리구간 유의한 차이는 두드러지지 않았다. 바닥재 1%가 평균값이 가장 높았으나, 폐석회 + 굴패각 1, 2%, AMD 슬러지 10, 20%, 퇴비 및 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 바닥재 2%는 평균값이 3.0 ug TPF g<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup>으로 가장 낮았으나, 바닥재 1%와 AMD 슬러지 20%를 제외한 다른 처리구와는 유의한 차이를 보이지 않았다.

#### 벌개미취의 생육 실험 전 및 중화제 처리 후 6개월간

**Table 3. Dry weight of *Aster koraiensis* used in the study after 6 months from planting.**

	Aerial part	Underground part	Total
	g / plant		
Acid Mine Drainage 10%	1.26 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>ab</sup>	2.32 <sup>a</sup>
Acid Mine Drainage 20%	0.86 <sup>c</sup>	0.81 <sup>bc</sup>	1.68 <sup>bc</sup>
Bottom Ash 1%	0.39 <sup>c</sup>	0.76 <sup>cd</sup>	1.16 <sup>de</sup>
Bottom Ash 2%	0.72 <sup>c</sup>	0.83 <sup>bc</sup>	1.54 <sup>bcd</sup>
Fly Ash 1%	0.64 <sup>cd</sup>	0.79 <sup>cd</sup>	1.43 <sup>cd</sup>
Fly Ash 2%	0.45 <sup>de</sup>	0.46 <sup>e</sup>	0.91 <sup>e</sup>
Waste-Lime + Oyster 1%	1.38 <sup>a</sup>	1.09 <sup>a</sup>	2.48 <sup>a</sup>
Waste-Lime + Oyster 2%	1.12 <sup>b</sup>	0.75 <sup>cd</sup>	1.87 <sup>b</sup>
Compost	1.4 <sup>a</sup>	1.18 <sup>a</sup>	2.58 <sup>a</sup>
Control	0.22 <sup>e</sup>	0.18 <sup>f</sup>	0.40 <sup>f</sup>
Reference <sup>†</sup>	0.41 <sup>e</sup>	0.52 <sup>de</sup>	0.93 <sup>e</sup>

<sup>†</sup>Before treatment

**Table 4. Correlation between each soil chemical factor and total dry weight of *A. koraiensis*.**

	Soil pH	TOC	Total-N	SDA <sup>†</sup>	TDWA <sup>‡</sup>
Soil pH	1	0.080	-0.072	0.306	0.666**
TOC		1	0.928**	0.495**	0.461**
Total-N			1	0.454**	0.322
SDA				1	0.185
TDWA					1

\*\*p &lt; 0.01

<sup>†</sup>Soil dehydrogenase activity<sup>‡</sup>Total dry weight of *A. koraiensis*

생육한 벌개미취의 지상부와 지하부 건중량을 Table 3에 나타냈다. 퇴비와 폐석회 + 굴패각 1%, AMD 10%가 지상부와 지하부, 그리고 전체 건중량에서 가장 높은 값을 보였으며, 대조구는 가장 낮은 값을 보였다. 대조구는 벌개미취의 초기 건중량에 비해 낮은 값을 보여 생장이 이루어지지 않았으며, 바닥재 1%와 비산재 2%는 지상부에서 초기 건중량과 유의한 차이를 보이지는 않았으나 평균 건중량 값이 낮은 것으로 나타났다. 비산재 1%와 바닥재 2%도 지상부 건중량 값이 초기 건중량과 유의한 차이가 없어 생장이 저조한 것으로 판단되었다. 본 연구결과에 따르면 연구대상지에서 산림복구용으로 벌개미취를 사용할 경우 바닥재 1%와 2%, 비산재 1%와 2%는 중화제로 적절하지 않을 것으로 판단되었다.

Table 4는 토양특성과 벌개미취 생육(건중량)의 상관관계를 나타낸 표이다. 벌개미취의 전체 건중량과 정의 상관관계를 보인 토양 인자는 TOC 함량과 토양 pH로 두 인자가 증가할수록 벌개미취의 성장도 증가하는 결과를 보였다. 토양 pH의 경우 앞에서도 나타냈듯이 식물의 양분유효도에도 밀접한 영향을 미치는데, 중화제에 의해 토양이 산성에서 중화됨에 따라 양분유효도 및 벌개미취의 성장에 영향을 미친 것으로 판단되었다. 총질소 함량은 TOC 및 토양탈수소화성 등 토양 인자와는 정의 상관관계를 보였으나, 벌개미취의 생육과 상관관계를 보이지 않았다. 토양 탈수소화성 역시 벌개미취의 생육과 상관관계를 보이지 않았다. 하지만 토양 탈수소화성은 토양내에서 미생물에 의한 유기물 분해를 평가하는 지표로 많이 사용된다(Garcia-Gil 2000; Tomoyoshi et al., 2005; Wyszowska et al., 2005; Yang et al., 2005; Joa et al., 2010). 토양내 양분의 주공급원인 유기물은 토양미생물에 의해 분해되며, 따라서 식생의 원활한 생육을 위해 토양 미생물의 활동은 중요하다. Lee and Ha (2011)는 토양내 유기물 함량이 높은 지형에서 탈수소화성이 높다고 하였으며, Joa et al., (2010)은 돈분퇴비 시용에 따른 유기물 증가로 토양 탈수소화성이 증가했다고 하였다. 본 연구에서도 이와 비슷하여 토양 토양탈수소화성이 TOC와 정의 상관관계를 보였다. TOC는 토양 유기물 함량을 나타내는 지표로 토양내 TOC 함량이 높을수록 유기물이 많으며, 유기물 분해에 따른 수소이온 증가로 토양 탈수소

화소화성이 증가한 것으로 사료되었다 (Joa et al., 2013). 폐광산과 같이 토양내 양분이 부족한 임지는 유기물 공급과 더불어 유기물을 분해하기 위한 미생물 활동도 중요하다. 따라서 후속연구를 통해 토양 탈수소화성을 높이는 방안을 도출한다면 더 효율적인 산림복구가 가능할 것으로 판단되었다.

**토양중화제 선정** 본 연구결과를 통해 소지광산 산림복구 시 사용가능한 중화제를 검토한 결과 퇴비와 폐석회 + 굴패각, AMD 슬러지가 토양중화 및 벌개미취 생육에 효과적인 것으로 판단되었다. 하지만 효율적인 산성토양 중화를 위해 최적 중화제 처리비율 도출하기 위한 후속연구가 필요할 것으로 사료되었다.

## Conclusion

본 연구는 폐금속광산 산성토양에서 적정 토양 pH 중화제를 선발하기 위해 중화제 처리가 토양특성과 식생생육에 미치는 영향을 규명하기 위해 수행하였다.

1. AMD 슬러지와 폐석회 + 굴패각, 퇴비가 산성토양을 중화하는데 효과적이었다.
2. 중화제로 선발한 AMD 슬러지와 폐석회 + 굴패각, 퇴비는 벌개미취의 생육을 촉진하는 결과를 보였다.
3. 따라서 폐금속광산의 산성토양을 중화하여 산림복구를 하기 위해 AMD 슬러지와 폐석회 + 굴패각, 퇴비가 적용가능한 것으로 판단되지만, 각 중화제별 최적 처리비율 산출을 위한 후속연구가 필요하다.

## References

- Garcia-Gil, J.C., C. Plaza, P. Soler-Rovira, and A. Polo. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Bioch.* 32:1907-1913.
- Grewilling, T. and M. Peech. 1960. Chemical soil tests. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Bull. no.960.

- Jeong, J.H., K.S. Koo, C.H. Lee, and C.S. Kim. 2002. Physio-chemical properties of Korean forest soil by regions. *J. Korean For. Soc.* 91(6):694-700.
- Jin, H.O, M.J. Lee, Y.O. Shin, J.J. Kim, and S.K. Jun. 1994. *Forest Soil*. Hyangmoonsa, Seoul, Korea.
- Joa, J.H., D.G. Moon, H.Y. Won, S.W. Koh, H.N. Hyun, and C.E. Lee. 2010. Effect of consequent application of pig anure compost on soil chemical properties and dehydrogenase activity in volcanic ash soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(3): 283-288
- Jung, M.H., T.H. Kim, and H.S. Kim. 2011. Assessment and Selection of Design Factors for Rehabilitation of Abandoned Mine Areas. MIRECO. Annual Report.
- Jung, M.H., T.H. Kim, and H.S. Jang. 2012. Development of Post-monitoring in Forest Rehabilitation Areas. MIRECO. Annual Report.
- Jung, M.H., Y.S. Shim, T.H. Kim, J.Y. Oh, and Y.S. Jung. 2012. Characteristics of soil chemical properties in abandoned coal mine forest rehabilitation areas in Mungyeong, Gyeongsangbuk-do. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5):733-737.
- Kjeldahl, J. 1883. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen korpem. *Z. Anal. Chem.* 22:366-382.
- Kim, H.J., J. Yang, J.Y. Lee, and H.J. Sang. 2006. Leaching characteristics of heavy metals from abandoned mines wastes in the Namhan River Shore, Korean Soc. Soil & Ground water Envnt, Annual Meetings. pp. 201-207.
- KSInfo. 2015. Mine Reclamation-Mine Areas-Covering for Rehabilitation of Abandoned Coal Mine Areas- Requirement for Quality. [http://standard.ats.go.kr/CODE02 /USER/0B/03/SerKS\\_View.asp](http://standard.ats.go.kr/CODE02 /USER/0B/03/SerKS_View.asp).
- Lee, J.D., T.D. Kim, S.G. Kim, and H.J. Kim. 2013. Study on the contamination characteristics of pollutants at various type of abandoned metal mines. *J. Soil & Ground water Env.* 18(3): 93-108.
- Lee, K.J. 2001. *Tree Physiology*. 2nd ed., Seoul Univ., Seoul, Korea.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2): 242-247.
- MIRECO. 2014. YEAR BOOK OF MIRECO STATISTICS (2014). MIRECO. Annual Report.
- Oh, S.J., M.H. Cho, C.O. Park, M.H. Jung, and J.Y. Lee. 2012. A study on the development of soil neutralizing-agent using waste materials (waste-lime, oyster, bottom-ash). *J. Soil Ground water Environ.* 17(6): 92-101.
- Park, B.Y., Y.W. Uh, S.Y. Yang, S.M. Jang, J.H. Kim, and D.H. Lee. 2001. A study on the acidification of soil. *J. Korean Envi. Sci. Soc.* 10(4): 305-310.
- Peech, M., L.A. Dean, and J. Reed. 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigation. U.S. Dep. Agric. Circ. 757.
- Šourková, M., J. Frouz, and H. Šantrůčková. 2005. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). *Geoderma.* 124:203-214.
- Sukul, P. 2006. Enzymatic activities and microbial biomass in soil as influenced by metalaxyl residues. *Soil Biol. Biochem.* 38:320-326.
- Tomoyoshi M., K.K. Masami, and T. Takejiro. 2005. Effects of Pb, Cu, Sb, In and Ag contamination on the proliferation of soil bacterial colonies, soil dehydrogenase activity, and phospholipid fatty acid profiles of soil microbial communities. *Water Air soil poll.* 164:103-118.
- Troug, E. 1947. Soil reaction influence on availability of plant nutrients. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 11:305-308.
- Walkely, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263.
- Wyszkowska, J., J. Kucharski, and W. Lajszner. 2005. Enzymatic activities in different soils contaminated with copper. *P. J. Environ. Stu.* 14:659-664.
- Yang, J.E, K.Y. You, W.I. Kim, G.B. Jung, and S.P. Lee. 2005. Ecotoxicological assessment of soil contaminated and remediation effect. NIAST. Anual report.