

# Characteristics of Soil Chemical Properties in Abandoned Coal Mine Forest Rehabilitation Areas in Boryeong City, Chungcheongnam-do

Mun Ho Jung\*, Yon Sik Shim, Yoon Su Kim, Mi Jeong Park, and Kang Ho Jung<sup>1</sup>

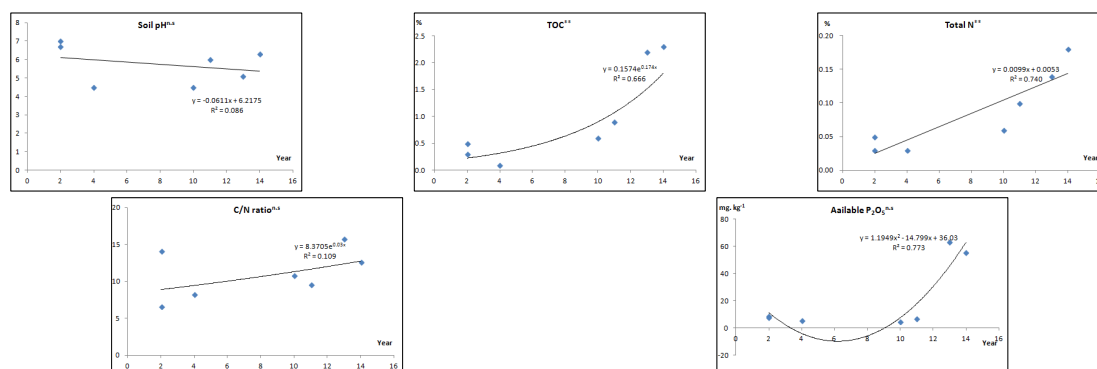
Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation 2, Segye-ro, Wonju-si, Gangwon-do, 26464, Republic of Korea

<sup>1</sup>National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration 166, Nongsaeongmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea

(Received: July 29 2015, Revised: December 4 2015, Accepted: December 15 2015)

The objectives of this study were to investigate soil chemical characteristics for forest rehabilitation and suggest management in abandoned coal mine areas in Boryeong City, Chungcheongnam-do. Total study sites were seven sites, and soil properties analyzed were soil pH, total organic carbon (TOC), total-N, C/N ratio, and available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (A.v. P). Average soil pH (range) was 5.9 (4.5~7.0). Three study sites (Samgwang, Shinsung1, and Shimwon1) showed lower soil pH than standard (pH 5.6~7.3) of Korea Industrial Standards (KS) for abandoned coal mine forest rehabilitation. Average contents of TOC, and total-N were 1.5% (0.1~4.7%), and 0.10% (0.03~0.23%), respectively. Five study sites where the collapsed time was less than 10 years (Wangjashingang, Wonpoong, Samgwang, Shinsung1, and Shinsung2) showed lower TOC level than standard of KS (more than 1.2%). Wangjashingang, Wonpoong, Samgwang, and Shinsung1 showed lower level of total-N than standard of KS (more than 0.09%). C/N ratio of six study sites except Shimwon1 was out of proper range (15:1~30:1). Average A.v. P (range) was 20.7 mg kg<sup>-1</sup> (4.8~63.1), less than other abandoned coal mine forest rehabilitation areas in Mungyeong City, and Hwasun-gun. TOC, total N and A.v. P increased with elapsed time from forest rehabilitation, while other soil properties did not show distinct pattern. *Betula platyphylla* was planted in Samkwang and Shinsung where soil pH was less than KS standard. Because the growth of *Betula platyphylla* can be limited in acid soil, it is necessary to neutralize soil pH to proper level with some soil amendment such as lime or shell of oyster. Furthermore, TOC, total-N and A.v. P in early stage of forest rehabilitation showed lower level than proper to vegetation growth. Therefore it needs continuous monitoring of soil characteristics and fertilization for vegetation growth and influx from surrounding forest in early stage of rehabilitation.

**Key words:** Abandoned coal mine, Forest rehabilitation, Soil chemical characteristics, Boryeong city



Relationship between soil chemical characteristics and elapsed time.

\*Significant at the 0.05 level of *p*-value

\*\*Significant at the 0.01 level of *p*-value

<sup>n.s</sup>Not significant of *p*-value

## Introduction

1980년대까지 난방과 취사원료의 주 에너지 공급원은 석탄산업이었다 (Yang et al., 2007). 안정적인 석탄공급을 위해 2014년 현재 전국에서 탄광 개발현황은 총 400개소가 개발되었으며, 이중 394개소가 폐광되었다 (MIRECO, 2014). 석탄산업은 난방 및 취사원료의 에너지 공급원으로서 우리나라의 경제발전에 큰 공헌을 하였지만 (Min et al., 2004), 탄광 개발현장에서 발생하는 토양유실과 폐석적치, 산성수배출 등으로 인해 많은 환경피해, 즉 광해가 발생하였다 (Min et al., 2004; Kwon et al., 2007; Yang et al., 2007; Jung et al., 2011). 산림복구사업의 일환으로 폐탄광 지역에서 탄광 개발시 발생한 폐석의 유실을 방지하고 복토를 한 이후에 초본과 목본을 도입하여 식생을 복원하고 있는 실정이다.

하지만 산림복원을 위한 복토재의 확보가 점차 어려워지고 있으며, 외부에서 복토를 위한 토양을 채취하는 경우 토취장에서의 산림훼손이 발생하는 등 2차 훼손의 우려도 있다 (Yang et al., 2007; Jeong et al., 2010). 또한 심토인 복토재를 사용하는 경우 (Yang et al., 2007) 도입한 식생이 양분부족으로 인해 고사하는 등의 문제가 발생할 수도 있다 (Costigan, 1981; Woo, 2000). 외국의 경우 탄광을 개발하기 전 표토를 임시로 적치하고 탄광개발이 종료된 이후 표토를 다시 복토하는데 사용하는 것을 원칙으로 하고 있으며 (Filcheva et al., 2000), 토양에 양분이 부족한 경우 질소나 인 등을 시비하고 있다 (Wills, 1981; Bernard and Willie, 1985). Jefferies et al. (1981)은 폐광지에서 질소 500 kg, ha<sup>-1</sup>을 시비한후 2년 뒤 시비하지 않은 대조구와 비교한 결과 시비한 지역이 대조구에 비해 4배 이상의 질소함량을 보였다. 또한 Willis (1981)는 폐광지에서 초본 활착을 위해 질소와 인을 각각 67 kg, ha<sup>-1</sup>, 112 kg, ha<sup>-1</sup>를 시비해야 한다고 하였다. 이러한 관리방안은 토양특성에 대한 모니터링을 통해 수립할 수 있는데, 토양특성은 수년간에 걸쳐 변화하기 때문에 적절한 관리방안 수립을 위해 장기간 토양특성 모니터링이 필요하다 (Jung et al., 2014). 이에 따라 외국에서

는 복구지 토양의 유기물과 질소, 인 등 필수 양분 등을 10년 이상 장기적으로 모니터링하고 있는데 (Jochimsen, 1996; Bradshaw, 1997; Šourková et al., 2005), Shrestha and Lal (2010)에 따르면 미국 오하이오주 폐탄광에서 토양 내 탄소와 질소를 분석한 결과 시간이 경과하면서 점차 증가한다고 하였다. 국내에서도 폐광지역 산림복구지에서 사후관리 및 적절한 관리대책을 마련하기 위해 토양특성에 대한 모니터링이 필요하다.

본 연구는 폐탄광 산림복구지에서 효율적인 토양관리방안을 도출하기 위해 전국의 사군 중 폐탄광 개소가 강릉시 (48개소)에 이어 2번째로 많은 충청남도 보령시 (46개소) 일대에 위치한 폐탄광 산림복구지 7개소의 토양 화학적 특성을 분석하고, 복구완료후 시간경과에 따른 토양 화학적 특성 변화 양상을 분석하였다.

## Materials and Methods

**조사 대상지** 연구대상지는 충청남도 보령시에 위치한 왕자신갱, 원풍탄광, 삼광탄광, 신성탄광 1, 2, 심원탄광 1, 2 등 7개소였다. 산림복구공사 완료 후 경과한 시간은 왕자신갱과 원풍탄광이 각각 2년, 삼광탄광 4년, 신성탄광1이 10년, 신성탄광2가 11년, 심원탄광1이 13년, 심원탄광이 14년이었다. 각 대상지를 산림복구사업시 폐석사면을 토양 30 cm 깊이로 복토한후 식재를 하였다. 각 대상지별 특징을 Table 1에 나타냈다. 해발고도는 심원탄광1 (318 m)을 제외한 다른 대상지는 모두 해발 300 m 이내에 위치하고 있었으며, 삼광탄광이 114 m로 제일 낮았다.

**조사 및 분석** 조사 대상지의 토양특성을 분석하기 위해 방법에 따라 2011년 7월~9월까지 토양시료를 채취하였다. 시료 채취는 7개 대상지에서 각 대상지 마다 5개소에서 실시하였다. 시료 채취시 각 개소별로 1 m×1 m 내 십자 형태로 5점씩 채취하여 합쳤으며, 총 35점을 채취하였으며, 채취시 토양표면의 낙엽층 및 부식토를 제거하고 20 cm 깊

Table 1. Characteristics of study sites.

Mine	Altitude	Latitude	Slope	Topography	Elapsed time	Planted Species
	m	°	°		year	
Wangjashingang	120	N 70 E	37	Slope	2	PR <sup>†</sup>
Wonpoong	205	S 75 W	0	Slope	2	BP <sup>‡</sup>
Samgwang	114	N	10	Slope-valley	4	BP
Shinsung1	140	N 20 E	33	Slope	9	BP
Shinsung2	142	N 25 E	32	Slope	10	BP
Shimwon1	318	S 60 E	25	Slope	13	PD <sup>‡</sup>
Shimwon2	260	S 65 E	24	Slope	14	PD

<sup>†</sup>PR : Pinus rigida, <sup>‡</sup>BP : Betula platyphylla, <sup>‡</sup>PD : Pinus densiflora

이 이내에서 채취하였다 (Jung et al., 2011). 채취한 토양시료는 실험실에서 48시간 동안 풍건한 후 200 mesh 체로 쳐 분석용 시료로 이용하였다. 토양 pH 측정은 pH meter (Orion 3STAR, THERMO, USA)를 이용하였다. 토양시료를 증류수와 1:5 비율로 혼합하여 30분 동안 진탕한 후 여과하여 측정하였다. TOC 함량은 Walkley-Black법 (Walkley, 1947; Peech et al., 1947; Greweling and Peech, 1960)에 의해 분석하였다. 토양시료를 1N-K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 용액 및 진한 황산과 혼합한 다음, 지시약 (0.025M o-Phenanthroline-ferrous Complex)을 넣었다. 이를 0.5N-FeSO<sub>4</sub>로 적정하여 총유기탄소 함량을 구하였다. 총질소 함량은 Micro Kjeldahl 법 (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. 유효인산 함량은 Bray No.1 방법 (Bray and Kurtz, 1945)에 따라 분석하였는데, 먼저 토양시료를 침출액 (0.03N NH<sub>4</sub>F + 0.025N HCl)과 혼합하여 침출한 다음 ICP (ICP-1000IV, Shimadzu, Japan)가 장착된 Optical Emission Spectrometer를 이용하여 정량하였다. 분석은 서울대학교 농생명과학공동기기원에 의뢰하여 분석하였으며, 시료 분석은 Methods of Soil Analysis (Page et al., 1982)에 따라 분석하였다. 산림복구공사 완료후 경과시간에 따른 토양 화학성 변화 여부를 알아보기 위해 회귀분석을 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 14.0 (SPSS 14.0 Predictive Pack, SPSS Inc.) 통계 프로그램을 사용하였다.

## Results and Discussion

**토양 pH** 토양 pH의 평균값은 5.9이었다 (Table 2). 삼광탄광과 신성탄광 1이 4.5로 가장 낮았으며, 왕자신갱이

7.0으로 가장 높았다. Jeong et al. (2002)에 따르면 충청남도지역의 산림 A층 토양 (충남산림토양)의 경우 평균 pH는 5.2이었는데, 이와 비교하면 왕자신갱, 원풍탄광, 신성탄광 2, 심원탄광2 등 4개소가 충남산림토양보다 pH가 높고, 삼광탄광, 신성탄광1, 심원탄광1 등 3개소가 낮았다. 타지역 폐탄광 산림복구지의 경우 전라남도 화순군 폐탄광 산림복구지에서 평균 토양 pH는 5.8이었으며 (Jung et al., 2011), 경상북도 문경시 폐탄광 산림복구지에서는 5.4였는데 (Jung et al., 2012), 이와 비교하면 본 연구대상지는 화순군과 문경시의 폐탄광 산림복구지보다 토양 pH는 높은 것으로 나타났다. 국가표준은 폐탄광 산림복구지에서 사용하는 복토재의 품질기준 중 토양 pH의 범위를 5.6~7.3으로 규정하고 있다 (KSIInfo, 2015). 이 기준은 산림토양에서 식물의 양분유효도가 가장 높은 토양 pH 범위에 해당된다 (Trough, 1947). 연구대상지 7개소 중 충남산림토양보다 토양 pH가 낮은 3개소 (삼광탄광, 신성탄광1, 심원탄광1 등)는 국가표준에서 규정하고 있는 토양 pH 권장치보다 낮는데, 이는 식생이 토양내 양분을 이용할 수 있는 양분유효도가 낮고, 경우에 따라서는 식생생육을 저해하는 Al<sup>3+</sup> 이온이 증가하는 등을 의미하며, 결국 산림복구지에서 식생이 복원되는데 악영향을 미칠 것으로 판단된다. 특히 삼광탄광과 심원탄광의 경우 식재수종이 자작나무였는데, 토양 pH에 따른 수종별 생육 수종을 살펴보면 활엽수는 대부분토양 pH 5.6 이상에서 생육하는 것으로 알려졌으며 (Jung and Ha, 2013), 국내 폐광산 산성토양 지역의 경우 주변로부터의 식생유입도 저조하여 식생피복이 원활하지 못하였다. 따라서 토양 pH가 4.5의 산성토양으로 나타난 삼광탄광과 심원탄광에서는 산성토양을 중화할 수 있는 개량제를 이용하여 토양 pH를 적정 수준으로 교정하는 관리가 필요할 것으로 판단된다.

**TOC** 조사 대상지의 평균 TOC는 1.5%로 (Table 2),

**Table 2.** Soil chemical characteristics in study sites.

Mine	pH	TOC	Total-N	C/N ratio	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		%	%		mg kg <sup>-1</sup>
Wangjashingang	7	0.5	0.03	14.1	8.8
Wonpoong	6.7	0.3	0.05	6.6	7.8
Samgwang	4.5	0.1	0.03	8.2	5.6
Shinsung1	4.5	0.6	0.06	10.8	4.8
Shinsung2	6	0.9	0.10	9.5	6.8
Shimwon1	5.1	2.2	0.14	15.7	63.1
Shimwon2	6.3	2.3	0.18	12.6	55.5
Average	5.9	1.5	0.10	12.4	20.7
Chungnam Natural Forest A-layer soil <sup>†</sup>	5.2	1.5	0.09	16.7	14.0

<sup>†</sup>Jeong et al. (2002)

0.1~4.7%의 분포를 보였다. 대상지 중 5개소가 1.0% 미만이었으며, 2% 이상은 2개소였다. 충남산림토양의 평균 유기물 함량은 2.1% (Jeong et al., 2002)로 이를 TOC로 환산하면 1.5%이다. 이와 비교하면 조사대상지 7개소 중 5개소 (왕자신갱, 원풍탄광, 삼광탄광, 신성탄광1, 신성탄광2)는 이보다 낮고 2개소 (심원탄광1, 심원탄광2)는 높았다. 전라남도 화순군 폐탄광 산림복구지의 경우 평균 TOC는 1.1%였으며 (Jung et al., 2011), 경상북도 문경시에서는 평균 1.9%의 TOC 함량을 보였다 (Jung et al., 2012). 본 연구대상지에서는 TOC 2% 이상을 보인 3개소만 타지역 폐탄광 산림복구지보다 높고, 다른 5개소는 낮았다. 강우량은 TOC 함량에 영향을 미치는 기후인자중 하나이다. Alvarez and Lavado (1998)의 연구결과에 의하면 토양내 탄소축적은 강우량에 비례한다. 기상청 (KMA, 2015)에 의하면 1981년~2010년 30년간 연평균 강우량이 문경시에서 1,260 mm, 화순군과 인접한 광주시에서 1,391 mm, 보령시에서 1,244 mm였다. 이를 각 지역의 TOC와 비교하면 연평균 강우량이 가장 많은 화순군에서 TOC가 1.1%로 가장 낮았고, 연평균 강우량이 화순군 (광주시)보다 적은 문경시와 보령시가 화순군보다 높은 TOC를 보였다. 이는 토양내 탄소축적은 강우량에 비례한다는 Alvarez and Lavado (1998) 연구결과와 상이한 결과였다. 폐탄광 산림복구지의 경우 대부분 임령이 낮기 때문에 식생에 의한 지표면 피복률이 낮다 (Jung et al., 2011). 따라서 강우에 의해 표토층이 유실되면서 유기물 손실이 발생되어 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 토양 내 유기물은 토양 미생물의 에너지원이며, 식물생육에 필요한 양분 공급과 수분의 흡착 및 보유 등 산림생태계에서 중요한 역할을 하고 있다 (Jin et al., 1994). 이에 따라 폐탄광 산림복구지에서 사용하는 복토재의 품질 기준에 TOC가 포함되어 있는데 권장치는 1.2% 이상이다 (KSInfo, 2015). 충남산림토양이나 타지역 폐탄광 산림복구지보다 낮은 TOC 함량을 보인 5개소는 국가표준의 TOC 권장치보다 낮은 결과를 보였다. 토양내 유기물의 집적은 주로 지상부에서 낙엽낙지가 유입되어 형성된다 (Jung et al., 2011). 하지만 TOC가 낮은 5개 대상지는 복구공사 완료후 10년 이내 지역으로 낙엽낙지 발생량이 적기 때문에 토양내 유기물 축적이 부족한 것으로 판단된다 (Šourková et al., 2005; Jung et al., 2011). 따라서 권장치보다 낮은 결과를 보인 5개소는 지상부 식생이 생육하여 낙엽낙지가 충분히 발생하여 유기물 공급이 이루어지기까지 시비를 통해 인위적으로 토양에 유기물을 공급하는 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

**총질소** 조사 대상지 토양의 총질소 함량은 평균 0.10%였으며 (Table 2), 0.03~0.23%의 분포를 보였다. 충남산림토양의 총질소 함량은 0.09%로, 조사대상지 중 왕자신갱과

원풍탄광, 삼광탄광, 신성탄광1 등 4개소가 이보다 낮고, 다른 4개소는 높거나 비슷하였다. 타지역 폐탄광 산림복구지와 비교에서는 화순군 0.08% (Jung et al., 2011)보다 다소 높고 문경시 0.12% (Jung et al., 2012)보다 다소 낮았다. 일반적으로 토양내 총질소 함량은 토양 유기물과 밀접한 관계를 보이고 있으며 (Kim et al., 1991), 폐탄광 산림복구지에서 TOC와 총질소의 상관관계를 분석한 결과 양의 상관관계를 보이고 있었다 (Jung et al., 2011). 화순군과 문경시의 폐탄광 산림복구지 토양의 TOC와 총질소를 본 연구대상지와 비교하면, 화순군과 보령시, 문경시가 TOC에서 각각 1.1%, 1.5%, 1.9%를 보이고 총질소가 각각 0.08%, 0.1%, 1.2%를 보여 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. KSInfo(2015)에 의하면 폐탄광 산림복구지에서 복토재의 이화학 기준에서 총질소 함량은 0.09%이상으로, 본연구대상지 중 왕자신갱, 원풍탄광, 삼광탄광, 신성탄광1 등 4개소가 이에 미달하였으며, 다른 4개소는 기준보다 높았다. 산림토양에서 질소는 대부분 유기태로 존재하며, 무기화의 속도가 느리기 때문에 (Jin et al., 1994) 식생생육의 제한인자로 작용한다 (Jin et al., 1994; Jung et al., 2012). 특히 식물의 질소 요구량은 생장 속도와 비례하는데 (Lee, 2001) 산림복구지와 같이 식생이 어린 경우에는 생장속도가 빠르기 때문에 질소요구량도 커지게 된다. 따라서 산림복구시 식생생육을 원활히 하기 위해서는 산림복구시 복토재로 사용되는 토양을 사전에 분석하여 질소함량이 부족할 경우 토양개량을 실시하고, 복구사업 이후에도 지속적인 모니터링을 통해 토양내 질소함량에 대한 관리를 해줄 필요가 있다.

**탄질물** 조사 대상지의 TOC와 총질소 함량을 토대로 탄질률을 계산한 결과 (Table 2). 평균 탄질률은 12.4이었으며, 6.6~21.4의 분포를 보였다. 산림토양의 탄질률은 일반적으로 15:1~30:1을 유지하는데 (Young, 1982; 이, 2001), 본 연구대상지에서 이 범위에 해당되는 대상지는 심원탄광1 (15.7)이었으며, 다른 6개소는 이에 미달하였다. 탄질률은 식물의 토양내 질소 이용도와 영향이 있다 (Jin et al., 1994). 따라서 토양내 유기물과 질소함량을 높이기 위해 시비를 실시할 경우, 국가표준 (KSInfo, 2015)에서 규정하는 TOC와 질소함량을 준수하는 것도 중요하지만, 탄질률을 적정 수준으로 맞추기 위해 균형있는 시비도 중요할 것으로 판단된다.

**유효인산** 조사대상지의 유효인산을 분석한 결과, 평균 유효인산 함량은  $20.7 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었다 (Table 2). 조사대상지 중 유효인산이 가장 낮은 대상지는 신성탄광1로  $4.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었으며, 심원탄광1이  $63.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 가장 높았다. 충남산림토양의 평균 유효인산 함량은  $14.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었는데, 심원탄광1과 심원탄광2를 제외한 6개소는 이보다 낮았다. 탄광지역에서 토양내 유효인산에 대한 기존연구 결

과를 보면, Finkelman (1980)은 석탄내 포함되어 있는 P의 함량이 높기 때문에 탄광지역에서 토양내 인산의 함량이 높다고 보고하였으며, Jung et al. (2011)에 따르면 화순군 폐탄광 산림복구지 8개소에서 토양 특성을 분석한 결과 유효인산 함량은 전라남도 산림토양 A층의 평균 유효인산 함량  $21.0 \text{ mg kg}^{-1}$  (Jeong et al., 2002)보다 높다고 하였다. 또한, Jung et al. (2012)이 연구한 문경시 폐탄광 산림복구지의 토양 화학적 특성에서도 9개 대상지중 7개 대상지가 경상북도 산림토양 A층 평균 유효인산 함량  $19.3 \text{ mg kg}^{-1}$  (Jeong et al., 2002)보다 높았는데, 이러한 연구결과와 비교하면 본 연구대상지에서 유효인산의 함량은 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 토양내 유효인산 함량에 영향을 미치

는 인자에는 여러 인자가 존재하는데 그중 하나가 토양내 유기물 함량이다 (Jin et al., 1994). 본 연구대상지중 TOC 함량이 1% 미만인 5개소에서 유효인산 함량이  $10.0 \text{ mg kg}^{-1}$  이하로 낮았으며, TOC 함량이 2% 이상인 대상지에서는 유효인산이  $13 \text{ mg kg}^{-1}$  이상으로 충남산림토양과 비슷하거나 높았다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 유효인산 함량이 낮은 5개소에서 인산 시비를 할 경우, 유기물 시비를 동시에 진행하는 방안이 더 효율적일 것으로 판단된다.

**시간경과에 따른 토양특성 변화** 산림복구 완료후 시간경과에 따른 토양의 화학적 특성 변화를 Fig. 1에 나타냈다. 토양 인자중 TOC와 총질소, 유효인산이 시간경과에

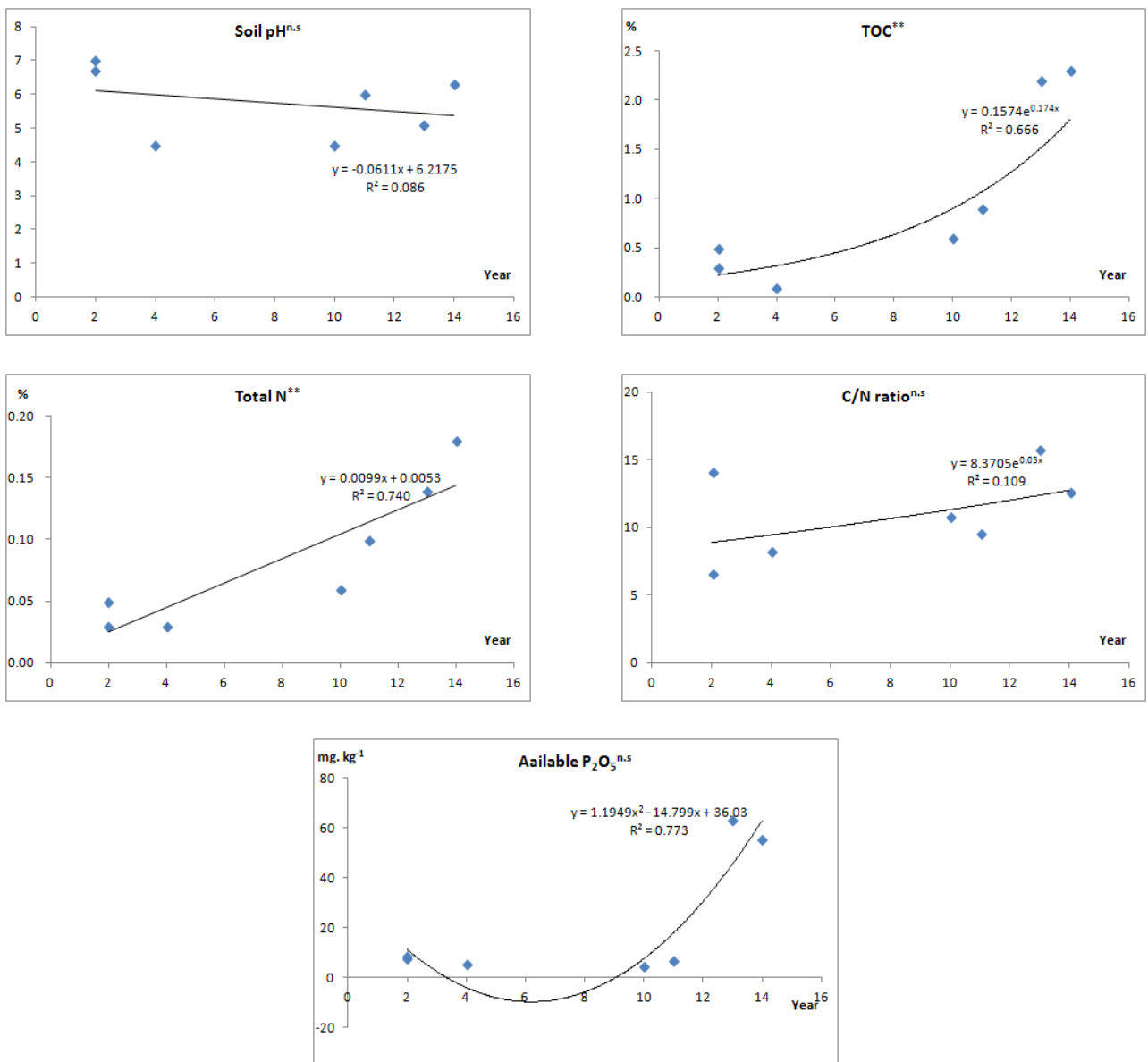


Fig. 1. Relationship between soil chemical characteristics and elapsed time.

\* Significant at the 0.05 level of *p*-value  
 \*\* Significant at the 0.01 level of *p*-value  
<sup>n.s.</sup> Not significant of *p*-value

따라 증가하는 경향을 보였으며, 토양 pH와 탄질률은 변화가 없는 것으로 분석되었다. 폐광산 산림복구지에서 토양내 탄소와 질소는 시간이 경과하면서 일반적으로 증가하는 경향을 보인다. Singh et al. (2004)은 인디아에서 폐광산 복구후에 탄소와 질소가 시간경과에 따라 증가하는 경향을 확인하였으며, 체코에서도 폐탄광 산림복구후 토양내 탄소와 질소는 증가하는 경향을 보였다 (Šourková et al., 2005). 또한 Shrestha and Lal (2010)은 미국 오하이오 폐탄광 42개소에서 토양내 탄소와 질소 변화양상을 모니터링한 결과, 토양내 탄소 및 질소 함량은 경과시간에 비례하여 증가한다고 하였다. 국내의 경우 Jung et al. (2011)이 화순군 폐탄광 산림복구지에서 경과 시간에 따라 TOC와 총질소는 증가하는 경향을 보인다고 하였는데, TOC의 경우 시간이 경과하면서 산림복구지에 생육하는 식생이 증가하여 낙엽낙지 유입량이 증가하면서 토양내 유기물 함량이 증가하기 때문인 것으로 판단되며 (Cole et al., 1993; Shrestha and Lal, 2010; Jung et al., 2011; Jung et al., 2012), 총질소의 경우 토양내 탄소량과 비례하여 증가하기 때문인 것으로 사료된다 (Kim et al., 1991). 하지만 TOC와 질소의 증가량 경향은 상이하였는데, TOC의 경우 초기에는 증가량이 적다 시간이 경과하면서 증가량이 많아지는 경향인데 비해 총질소는 일정한 경향을 보였다. TOC가 이러한 경향을 보인 것은 산림복구 초기에는 식생에 의한 낙엽낙지 발생량이 적지만, 시간 경과에 따라 식생생육이 초기에 비해 더 활발해지면서 낙엽낙지 발생량이 더 많이 지기 때문인 것으로 판단된다. 탄질률이 시간경과에 따른 변화를 보이지 않은 것은 탄소와 질소의 이러한 경향 차이에 기인한 것으로 사료된다. 시간 경과에 따라 증가하는 경향을 보인 TOC와 총질소, 유효인산의 경우 산림복구 완료후 약 10년이 경과해야 일반산림과 비슷한 수준을 보였으며, 이전에는 일반산림이나 국가표준에서 제시된 토양특성에 미치지 못하였다. 현재 폐탄광 산림복구의 방법은 폐석사면에 복토를 하기 때문에 초기에 사면을 피복하여 토양유실을 방지하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 식재수종의 초기 생육과 주변 산림으로부터의 식생유입이 이루어져야 한다. 따라서 산림복구 초기에 유기물, 질소, 인산 등 복토재의 부족한 양분을 시비하여 사면이 조기에 피복될수 있도록 산림복구지를 관리해야 할 것으로 사료된다 .

## Conclusion

충청남도 보령시 폐탄광 산림복구지 사후관리를 위해 폐탄광 산림복구지 8개소를 대상으로 토양의 화학적 특성 (토양 pH, TOC, 총질소, 탄질률, 유효인산 등)을 분석하고 관리방안을 제시하였다. 토양 pH는 평균 5.9 (4.5~7.0)에 분포하였으며, 삼광탄광, 신성탄광1, 심원탄광1 등 3개소가

폐탄광 산림복구지 복토재 이화학특성에 관한 국가표준인 토양 pH5.6~7.3에 미달하였다. TOC와 총질소는 각각 1.5% (0.1~4.7%), 0.10% (0.03~0.23%)의 분포를 보였다. TOC가 국가표준 TOC 함량 (0.9%)보다 낮은 대상지는 복구공사 후 경과시간이 10년 이하인 5개소 (왕자신갱, 원풍탄광, 삼광탄광, 신성탄광1,2 등)였으며, 총질소의 경우 10년 이하인 5개소 중 4개소 (왕자신갱, 원풍탄광, 삼광탄광, 신성탄광1 등)가 국가표준 총질소 함량인 0.09%보다 낮았다. 탄질률의 경우 심원탄광1을 제외한 6개소는 적정 탄질률 범위인 15:1~30:1에 미달하였다. 유효인산의 평균 함량은  $20.7 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었으며,  $4.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ~ $63.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위를 보였다. 타 지역 (문경시, 화순군) 폐탄광 산림복구지에 비하면 낮았다. 시간경과에 따른 토양특성 변화를 분석한 결과, TOC와 총질소, 유효인산이 증가하는 경향을 보였으며 복구후 약 10년 이상이 경과해야 일반산림과 비슷한 수준을 보였다. 다른 인자는 시간경과에 따른 변화 경향을 보이지 않았다. 토양 pH가 국가표준에 미달한 3개소 중 자작나무가 식재된 삼광탄광과 신성탄광은 토양 pH가 산성일 경우 자작나무의 생육이 제한받을 수 있으므로 석회, 굴괘각 등 토양중화제를 이용하여 적정 토양 pH로의 중화가 필요할 것으로 판단된다. 또한 산림복구후 초기에는 토양내 양분이 식생생육에 필요한 수준에 미달하기 때문에, 지속적인 토양특성관리를 통한 시비 처방이 필요할 것으로 사료된다.

## References

- Alvarez, R., and R.S. Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*. 83:127-141.
- Bernard, M.S., and R.C. Willie. 1985. A Guide for the Use of Organic Materials as Mulches in Reclamation of Coal Minesoils in the Eastern United States. Dep. of Age, Northeastern, USA.
- Bradshaw, A.D. 1983. The reconstruction ecosystems. *J. Appl. Ecol.* 20:1-17.
- Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil. Sci.* 59:39-45.
- Cole, C.V., K. Paustian, E.T. Elliott, A.K. Metherell, D.S. Ojima, and W.J. Parton. 1993. Analysis of agroecosystem carbon pools. *Water Air Soil Poll.* 70:357-371.
- Costigan, P.A. 1981. The reclamation of acid colliery spoil. I. Acid production potential. *J. Appl. Ecol.* 18:865-878.
- Finkelman, R.B. 1980. Models of occurrence of trace elements in coal, Ph. D. Thesis, Univ. of Univ. of Maryland, Maryland, USA.
- Grewilling, T., and M. Peech. 1960. Chemical soil tests. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Bull. no. 960.
- Kjeldahl, J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffes

- in Organischen Kurpern. *Z. Anal. Chem.* 22:366-382.
- Jeong, J.H., K.S. Koo, C.H. Lee, and C.S. Kim. 2002. Physio-Chemical Properties of Korean Forest Soil by Regions. *Jour. Korean For. Soc.* 91(6):694-700.
- Jeong, Y.H. I.K. Lee, J.H. Lim. K.W. Seo, and C.H. Lee. 2010. Comparison of Seedling Growth by Treatment of Vegetation Basis in an Abandoned Coal Mine Area. *J. Korean. Env. Res. Tech.* 13(6):87-96.
- Jin, H.O, M.J. Lee, Y.O. Shin, J.J. Kim, and S.K, Jun. 1994. *Forest Soil.* Hyangmoonsa, Seoul, Korea.
- Jochimsen, M.E.A. 1996. Reclamation of colliery mine spoil founded on natural succession. *Water Air Soil Poll.* 91: 99-108.
- Jung, M.H., S.H. Lee, Y.S. Kim, and M.J. Park. 2014. Development of Post Management for Forest Rehabilitation Areas in Abandoned Mine areas. 1st ed., MIRECO, Seoul, Korea.
- Jung, M.H., T.H. Kim, and H.S. Kim. 2011. Assesment and Seliction of Design Factors for Rehabilitation of Abandoned Mine Areas. 1st ed., MIRECO, Seoul, Korea.
- Jung, M.H., Y.S. Shim, and T.H. Kim. 2011. Characteristics of Soil Chemical Properties in Abandoned Coal Mine Forest Rehabilitation Areas in Hwasun, South Jeolla Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1010-1015.
- 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.
- Jung, Y.S., and S.G. Ha. 2013. *Fundamental and Application of Soil Science for Agriculture and Environment.* 1st ed., Kangwon Univ., Chuncheon, Korea.
- Kim, J.G., S.K. Lim, S.H. Lee, Y.M. Yoon, C.H. Lee, and C.Y. Jeong. 1999. Evaluation of Heavy Metal Pollution and Plant Survey around Inactive and Abandoned Mining Areas for Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil. *Kor. J. Environ. Agric* 18(1):28-34.
- Kim, T.H., J.H. Jung, C.H. Lee, K.S. Gu. W.K. Lee, I.A. Kang, and S.I. Kim. 1991. Gowth of major species according to soil types. *KFRI Res. Rep.* 42:91-106.
- KMA. 2015. Domestic Climate Data. [http://www.kma.go.kr/weather/climate/average\\_30years.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/climate/average_30years.jsp).
- 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).
- Kwon, H.H, Y.S, Shim, J.S. Lee, T.H. Kim, J.A. Kim, S.H. Yoon, and K.S. Nam. 2007. Cause and Countermeasure of Mine Hazard. *Mine Rec. Tech.* 1(1):5-25.
- Lee, K.J. 2001. *Tree Physiology.* 2nd ed., Seoul Univ., Seoul, Korea.
- Min, J.G., J.H. Lee, S.Y. Woo, J.K. Kim, and H.S. Moon. 2004. Vegetation structure of some abandoned coal mine lands in Taebaek area, Gangwon Province. *Journal of KSAFM* 6(4):256-264.
- MIRECO. 2014. Year book of mireco statistics (2014). Mine reclamation corp.
- Page. A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis (II).* 2nd. ed., American Society of Agronomy, Inc., and Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Peech, M., L.A. Dean, and J. Reed. 1947. *Methods of soil analysis for soil fertility investigation.* U.S. Dep. Agric. Circ.757.
- Shrestha, R.K., and R. Lal. 2010. Carbon and nitrogen pools in reclaimed land under forest and pasture ecosystem in Ohio, USA. *Geoderma* 157:196-205.
- Singh, A.N., A.S. Raghubanshi, J.S. Singh. 2004. Impact of native tree plantations on mine spoil in a dry tropical environment. *For. Ecol. Manage.* 187:49-60.
- 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.
- Troug, E. 1947. Soil reaction influence on availability of plant nutrients. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 11:305-308.
- Van RensBurg, L., R.I. De Sousa Correria, J. Booyesen and M. Ginster. 1998. Revegetation a coal fine ash disposal site in South Africa. *J Environ. Qual.* 27:1479-1486.
- Walkely, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variatins in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263.
- Willis, G.V. 1981. *A Guide for revegetating coal minesoils in the Eastern United States.* Dep. of Age, Northeastern, USA.
- Woo, B.M. 2000. Evaluation for Rehabilitation Countermeasures of Coal-mined Spoils and Denuded Lands. *J. Korean. Env. Res. Reveg. Tech.* 3(2):24-34.
- Yang, J.E. Y.S. Ok, and Y.H. Park. 2007. Rehabilitation Ecological Engineering Rehabilitation of Degraded Mine Areas. *Mine Rec. Tech.* 1(1):67-75.
- Young, R.A. 1982. *Introduction to Forest Science.* John Wiley & Sons, New York, USA.