

## 경상북도 문경시 폐탄광 산림복구지 토양의 화학적 특성

정문호<sup>1\*</sup> · 심연식<sup>1</sup> · 김태혁<sup>1</sup> · 오지영<sup>1</sup> · 정영상<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국광해관리공단 광해기술연구소, <sup>2</sup>강원대학교 바이오자원환경학과

### Characteristics of Soil Chemical Properties in Abandoned Coal Mine Forest Rehabilitation Areas in Mungyeong, Gyeongsangbuk-do

Mun Ho Jung<sup>1\*</sup>, Yon Sik Shim<sup>1</sup>, Tae Heok Kim<sup>1</sup>, Ji Young Oh<sup>1</sup>, and Yeong Sang Jung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation*

*362 Maju-ri, Seonghwan-up, Seobuk-gu, Cheonan, Chungcheongnam-do, Korea*

<sup>2</sup>*Department of Biological Environment, Kangwon National University, Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, Korea*

The objectives of this study were to investigate soil chemical properties for forest rehabilitation and suggest design and management in abandoned coal mine areas in Mungyeong, Gyeongsangbuk-do. Total study sites were 10 sites, and soil analysis particular were soil pH, TOC, total-N, C/N ratio, A.v. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and CEC. Because most of study sites showed soil pH from 5.0 to 7.0, it seems that soil pH does not affect growth of vegetation. But soil pH in Danbong1 was acidic (pH 4.6), so it is needed to improve with ameliorant such as limestone. Most of study sites is necessary to manage for organic matter and Nitrogen, because there sites showed lower value of TOC and total-N than general forest. The values of A.v. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and CEC were good in most of study sites, so it seems that they do not have effect on vegetation growth. All of soil factors has no regression according to elapsed time after rehabilitation. TOC, total-N and A.v. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> among soil properties have positive relationship between each other. It is necessary to fertilizer for organic matter and Nitrogen because of value in TOC, total-N and C/N ratio. The results of this study were analyzed only one time. So, long-term monitoring for soil properties is important for the correct forest rehabilitation and management.

**Key words:** Abandoned coal mine, Forest rehabilitation, Soil chemical properties, Mungyeong

## 서 언

1980년대 까지 석탄산업은 우리나라에서 난방과 취사원료를 공급하는 주요 에너지원으로서의 역할을 맡아왔다(양재의 등, 2007). 이를 위해 2011년까지 전국에 걸쳐 총 400개소의 탄광이 개발되어 약 24,295천톤을 생산하였으며(MIRECO, 2012), 이는 우리나라의 경제발전에도 지대한 공헌을 하였다(Min et al., 2004). 하지만 탄광이 개발된 지역은 채탄활동으로 인해 토양유실과 폐석적치, 산성수배출 등 많은 환경피해, 즉 광해가 발생하였는데(Min et al., 2004; 권현호 등, 2007; 양재의 등, 2007; Jung et al., 2011), 한국광해관리공단은 이러한 광해지역을 복원하기 위해 토양복원, 수질정화, 지반침하방지, 산림복구 등 다양한 분야에 걸쳐 광해방지사업을 수행하여 왔다. 이중 산림복구사업은 폐탄광지역에 적치되어 있는 폐석의 유실을 방지하고 묘목을 식재하거나 초본을 파종하여 식생을 훼손되기 이전상태

로 복원하는 것을 목표로 하고 있다. 식생생육은 산림토양의 이화학적 특성에 의해 영향을 받는다(Chung et al., 1980; 김태훈 등, 1988; Jeong et al., 2002). 또한 토양특성 역시 식생에 의해 영향을 받기도 한다(Chung et al., 1980; Lee, 1981; Hur et al., 2009). 따라서 훼손된 폐탄광 산림지역을 원래 산림에 가깝게 복원하기 위해서는 식생뿐만 아니라 토양특성에 대해 지속적으로 모니터링을 하고 변화양상을 산림복구사업에 반영해야 한다(Min et al., 2005; Jung et al. 2010; Jung et al. 2011). 이를 위해 한국광해관리공단은 2008~2011년 4년에 걸쳐 강원지역, 영남지역, 호남지역, 충청지역 등 전국의 폐탄광 산림복구지의 토양특성을 모니터링하고 이 자료를 산림복구사업에 활용하고 있다(Jung et al. 2011). 본 연구는 폐탄광 산림복구사업이 추진된 전국의 시·군 중 태백시와 삼척시, 정선군, 보령시에 이어 다섯 번째로 규모가 큰 경상북도 문경시 일대에 위치한 6개 폐탄광의 산림복구지에서 지속적인 사후관리 및 산림복구 방안을 수립하기 위한 자료 확보를 위해 토양의 화학적 특성을 분석하였다.

접수 : 2012. 8. 10 수리 : 2012. 10. 4

\*연락처 : Phone: +82419017923

E-mail: jungmh2@hanmail.net

## 재료 및 방법

**조사 대상지** 연구대상지는 경상북도 문경시에 위치한 봉명단봉탄광 1·2공구 (단봉1, 단봉2), 봉명삼창탄광 1·2공구 (삼창1, 삼창2), 장자승우탄광 1·2공구 (승우1, 승우2), 불정탄광, 문경탄광, 석공은성탄광 1·2공구 (은성1, 은성2) 등 10개소이다. 산림복구공사 완료 후 경과한 시간은 단봉1·2, 삼창1·2가 3년, 승우1과 승우2는 각각 6년, 불정탄광 10년, 문경탄광 11년이었으며, 은성1과 은성2는 각각 14년과 15년이었다. 각 대상지별 특징을 Table 1에 나타냈다. 해발고도는 모든 대상지가 해발 300m 이내에 위치하고 있었으며, 단봉1이 해발 300m로 가장 높고, 문경탄광이 해발 94m로 가장 낮았다. 지형적 특징으로는 대부분 사면이었으나, 단봉2는 계곡사면, 승우2는 평지, 불정탄광은 능선으로 조사되었다. 경사는 은성2가 42°로 가장 높았다. 단봉1은 자작나무, 단봉1과 삼창1은 물오리나무, 삼창2와 은성1·2는 소나무, 승우1·2와 문경탄광은 자작나무와 아까시나무, 불정탄광은 소나무와 아까시나무가 식재되었다. 하층식생으로는 다른 지역 산림복구지와 비슷하게 쑥과 민들레, 사초류, 개망초 등이 발견되었다. 산림복구과정 역시 일반적인 공정으로 정지작업을 통해 사면을 평탄하게 만들고 외부토양을 사용하여 복토를 실시한 다음, 식재와 파종을 하였다. 복토심은 대부분 20~30 cm 깊이였다.

**조사 및 분석** 조사 대상지의 토양특성을 분석하기 위한 시료채취 및 분석은 전라남도 화순군 폐탄광 산림복구지의 토양 화학적 특성을 분석하기 위해 Jung et al. (2011)이 실시한 방법과 동일하게 실시하였다. 시료채취는 2011년 7월~9월까지 각 대상지마다 토양시료를 1m×1m 내에서 십자 형태로 5점씩, 총 50점을 채취하였으며, 채취시 토양표면의 낙엽층 및 부식토를 제거하고 20 cm 깊이 이내에서 채

취하였다. 채취한 토양시료는 풍건한 후 200 mesh 체로 쳐 분석용 시료로 이용하였다. 분석항목은 토양 pH, 총질소, 유효인산, 총유기탄소 (TOC), 양이온 치환용량 (CEC) 등이었다. 토양 pH 측정은 pH meter (Orion 3STAR, THERMO, USA)를 이용하였는데, 우선 토양시료와 증류수를 1:5로 혼합하여 30분 동안 진탕한 후 여과하여 측정하였다. 총질소 함량은 Micro Kjeldahl법으로 정량하였다. 정량을 위해 시료를  $K_2SO_4$   $CuSO_4$  혼합촉매와 진한 황산과 혼합한 뒤 약 4시간 동안 가열하여 분해시켰다. 이후, 분해액을 증류수로 희석하고 증류 플라스크에서 증류한 다음 표준 황산용액으로 적정하여 질소함량을 구하였다. 유효인산 함량 분석을 위해 Bray No.1 방법에 따라 토양 시료를 침출액 (0.03N  $NH_4F$  + 0.025N HCl)과 혼합하여 침출한 다음 ICP (ICP-1000IV, Shimadzu, Japan)가 장착된 Optical Emission Spectrometer를 이용하여 정량하였다. TOC 정량법은 Walkley-Black법이었다. 분석을 위해 먼저 토양시료를 1N- $K_2Cr_2O_7$  용액 및 진한 황산과 혼합한 다음, 지시약 (0.025M o-Phenanthroline-ferrous Complex)을 넣었다. 이를 0.5N- $FeSO_4$ 로 적정하여 총유기탄소 함량을 구한 다음, 1.724를 곱하여 유기물 함량을 계산하였다. CEC는 ammonium acetate법 (1N  $CH_3COONH_4$ , pH=7.0)을 이용하여 정량하였는데, 우선 토양시료를  $CH_3COONH_4$  용액으로 이용하여  $NH_4^+$ 로 포화시킨 다음 Isopropyl alcohol (99.5%) 100 mL로 흡착되지 않은  $NH_4^+$ 를 세척 제거하고, 10% acidic NaCl 용액 100 mL로 흡착된  $NH_4^+$ 를 치환하고 이 용액 10 mL의  $NH_4^+$ 를 Kjeldahl 증류하여 0.01N  $H_2SO_4$  용액으로 적정하여 정량하였다. 분석은 서울대학교 농생명과학공동기기원 (NICEM)에 의뢰하여 분석하였으며, 시료 분석은 Methods of soil chemical analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST, 1988)을 준용하여 분석하였다. 산림복구 공사 후 경과시간에 따라 토양특성 변화 여부를 알아보기 위해 회귀분석

Table 1. Characteristics of study sites.

Mine	Altitude	Latitude	Slope	Topography	Elapsed time	Species
	m	°	°		year	
Danbong1	300	S 15 W	41	Slope	3	BP <sup>‡</sup>
Danbong2	296	N 24 E	34	Valley-slope	3	AH <sup>¶</sup>
Samchang1	245	N 10 W	38	Slope	3	AH
Samchang2	239	N 13 W	32	Slope	3	PD <sup>§</sup>
Sungwoo1	244	S 10 W	15	Slope	5	BP, RP <sup>‡</sup>
Sungwoo2	114	S 60 E	0	Plate	6	BP, RP
Buljung	237	N 20 E	30	Ridge	10	PD, RP
Mungyeong	94	N 66 E	28	Slope	11	BP, RP
Eunsung1	200	N 60 W	35	Slope	14	PD
Eunsung2	207	S 46 W	42	Slope	15	PD

<sup>‡</sup>BP : *Betula platyphylla*, <sup>¶</sup>AH : *Alnus hirsuta*, <sup>‡</sup>RP : *Robinia pseudo-acacia*, <sup>§</sup>PD : *Pinus densiflora*

을 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 14.0 (SPSS 14.0 Predictive Pack, SPSS Inc.) 통계 프로그램을 사용하였다.

### 결과 및 고찰

**토양 pH** 토양 pH의 평균값 (Table 2)은 5.7이었다. 은성2가 4.1로 가장 낮고, 삼창1이 8.3으로 가장 높았다. pH 5 미만이 2개소, 5~6이 5개소, 6~7이 2개소 7 이상이 1개소였다. Jeong et al (2002)에 따르면 경상북도지역의 산림의 A층 평균 토양 pH는 5.4였으며, Min et al (2005)는 문경에 소재한 폐광지역의 토양 pH를 5.0~6.8로 보고한바 있다. 또한 Jung et al. (2011)이 보고한 전라남도 화순군 폐탄광 산림복구지 토양 pH는 평균 5.8, 범위 4.7~6.0이었으며, 조사대상지 8개소 중 7개소가 5.0~6.0을 보였다. 이들과 비교하면 본 연구대상지의 평균 pH는 비슷하지만 대상지간 토양 pH의 차이는 이보다 큰 것으로 조사되었다. Min et al(2005)은 폐탄광 산림복구지 중금속 토양오염 대책의 일환으로 토양에 석회와 규산 등을 처리하기 때문에 토양 pH가 일반 산림보다 높을 수 있다고 하였는데, 본 연구대상지는 산림복구지 이러한 처리를 하지 않은 지역이었다. 따라서 다른 대상지와 다르게 pH가 8이상이거나 5이하를 나타내는 대상지는 복토용 토양을 선택할 때 사전 토양특성 조사를 하지 않고 선택하였기 때문에 식물생육에 적정수준이 아닌 pH값을 보이는 것으로 생각된다. 산림토양에서 식물의 양분유효도는 토양 pH 5~7일 때 가장 높은 것으로 알려져 있다 (Trough, 1947). 본 연구대상지 10개소 중 2개소는 이보다 낮은 값을, 1개소는 높은 값을 보여 이들 3개소는 토양 pH를 적정수준으로 개량시키는 관리가 필요할 것으로 판단된다.

**TOC** 조사 대상지의 평균 TOC는 1.92%였으며 (Table 2), 0.05 ~ 2.73%의 분포를 보였다. 대상지 중 1.0% 미만을 보인 대상지는 2개소였으며, 1~2%는 3개소, 2% 이상은 1개소로 조사되었다. Jeong et al. (2002)이 보고한 바에 따르면 경상북도 A층 산림토양의 평균 유기물 함량은 3.7%로 이를 TOC로 계산하면 2.1%인데 본 연구대상지 중 5개소는 이보다 높고 5개소는 낮았다. 타지역의 토양 TOC를 보면 전라남도에서 일반산림 A층 토양의 TOC (Jeong et al., 2002)는 2.8%, 화순군 폐탄광 산림복구지 토양의 TOC는 평균 1.1%로 보고되었다. 이와 비교해보면 경상북도 지역의 토양내 TOC함량이 전라남도보다 다소 낮았는데, 이는 두 지역간 기후차에 의한 것으로 생각된다. TOC에 영향을 미치는 환경인자는 여러 가지가 있지만 그중에서 강우량이 큰 영향을 미친다. Alvarez and Lavado (1998)에 따르면 토양내 탄소축적은 강우량에 비례한다고 하였는데 본 연구결과도 이와 비슷하여, 1981년~2010년 4년간 문경시와 화순군 인근의 광주시에서 연평균 강우량을 비교하면 (KMA, 2012) 각각 1259 mm 1391 mm로 광주시에서 강우량이 더 많았으며, 이에 의한 영향으로 문경지역에서의 토양내 TOC 함량이 화순지역보다 낮은 것으로 판단된다. 토양 내 유기물은 양분유효도 조절과 미생물의 에너지 공급원, 토양 완충능 등 산림생태계에서 다양한 역할을 하고 있다 (진현오 등, 1994). 따라서 산림복구사업 원래 산림에 근접한 형태로 이루어지기 위해서는 시비를 통해 산림복구지 토양에 부족한 유기물을 공급해주는 관리 필요할 것으로 판단된다.

**총질소** 조사 대상지 토양의 총질소 함량을 분석한 결과, 평균은 0.12%였으며 (Table 2), 삼창1·2 (0.02%)와 은성1(0.09%)을 제외한 다른 대상지는 모두 0.1% 이상이였다.

**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>	CEC
		%	%		mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
Danbong1	4.6	2.73	0.19	14.8	25.1	17.5
Danbong2	5.0	4.50	0.18	27.8	64.0	12.3
Samchang1	8.3	2.22	0.08	26.4	19.1	4.8
Samchang2	6.7	0.05	0.02	2.2	174.6	24.4
Sungwoo1	6.6	2.34	0.13	19.6	26.2	25.8
Sungwoo2	5.5	2.60	0.19	13.4	41.6	19.9
Buljung	5.6	1.08	0.10	11.1	32.7	12.9
Mungyeong	5.6	0.96	0.10	9.6	145.9	7.1
Eunsung1	5.0	1.00	0.09	10.6	12.7	13.8
Eunsung2	4.1	1.74	0.15	11.5	7.6	10.1
Average	5.4	1.92	0.12	14.7	55.0	14.9
Natural Forest <sup>†</sup>	5.4	3.7	0.17	27.9	19.3	11.2

<sup>†</sup>Jeong et al. (2002)

특히 단봉1과 단봉2, 승우2는 0.18~0.19%로 경북지역 일반 산림 A층 토양 (0.17%)보다 높았다. 폐탄광 토양 전질소에 대한 기존 연구를 살펴보면, 화순지역에 폐탄광 산림복구지에서는 총질소 함량이 평균 0.08% (Jung, et al., 2011)였으며, 문경지역의 폐탄광지는 0.07~0.15% (Min, et al., 2005), 태백지역의 폐탄광지는 0.18~0.27%(Min, et al., 2005)로 보고되었다. 본 연구대상지를 이와 비교한다면, 화순지역 폐탄광 보다는 높고 태백지역보다는 낮았다. 일반적으로 토양내 총질소 함량은 토양 유기물과 밀접한 관계를 보이는데 (김태훈 등, 1991), 토양 유기물 지표인 TOC가 화순지역보다 낮은 본 연구대상지에서 총질소 함량은 높은 것으로 조사되어 두 지역을 비교한 결과는 다소 다른 결과를 보였다. 산림토양에 존재하는 질소는 대부분 유기태이며, 무기태질소는 양이 매우 적다. 또한 유기태질소의 무기화는 속도가 느려 (진현오 등, 1994) 산림에서 식생의 질소 이용은 많은 제약을 받는다. 따라서 폐탄광에서 산림복구사업을 할 때 복토용 토양을 사전에 분석하여 총질소함량이 식생생육에 부적합할 경우 사전에 토양개량을 실시하여 총질소 함량을 높여주고, 사업이 끝난 후에도 지속적으로 토양 모니터링을 실시하여 관리해주는 작업이 필요하다.

**탄질물** 조사 대상지의 TOC와 총질소 분석결과를 바탕으로 탄질물을 계산하였다 (Table 2). 평균 탄질물은 14.7이였으며, 2.2~27.8의 분포를 보였다. 10이하로는 삼창2가 2.2, 문경탄광이 9.6이였으며, 단봉2와 삼창1이 각각 27.8, 26.4로 높았다. 나머지 7개 대상지는 10~20의 분포를 보였다. Jeong et al. (2002)이 보고한 경상북도 A층 산림토양의 유기물과 전질소 함량을 바탕으로 계산한 평균 탄질물은 12.6으로 대부분 본 연구대상지는 대부분 이와 유사한 수치를 보였다. 다만 삼창2가 2.2로 매우 낮았는데, 이는 토양내 TOC가 0.05로 다른 대상지보다 낮았기 때문인 것으로 판단된다. 산림토양에서 탄질물이 중요한 이유는 식물이 질소를 이용하는 유효도에 영향을 미치기 때문이다 (진현오 등, 1994). 일반적으로 산림토양은 보통 탄질물이 10 전후에서 안정된다 (진현오 등, 1994). 이를 감안하면 본 연구 대상지는 탄질물이 대부분 안정적이지만 삼창2는 TOC와 총질소, 탄질물 모두 낮기 때문에 양분결핍이 우려되고 있다. 따라서 삼창2에는 유기물과 질소시비가 필요한 한편, 시비를 할 때 탄질물에 대한 고려도 필요할 것으로 판단된다.

**유효인산** 평균 유효인산 함량은  $55 \text{ mg kg}^{-1}$ 이였으며,  $7.6 \sim 174.6 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 분포를 보였다 (Table 2). 조사대상지 중 유효인산이 가장 낮은 대상지는 은성2로  $7.6 \text{ mg kg}^{-1}$ 이였으며, 삼창2가 TOC, 총질소와는 다르게  $174.6 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 가장 높았다. 삼창2 이외에  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  이상을 보인 대상지는 문경탄광으로  $145.9 \text{ mg kg}^{-1}$ 였다. 삼창2와 문경탄

광을 제외한 8개 대상지는 평균보다 낮았으며, 8개 대상지의 평균은  $28.6 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 큰 차이를 보였다. 경상북도 산림토양 A층의 평균 유효인산 함량은  $19.3 \text{ mg kg}^{-1}$  (Jeong et al., 2002)이였으며, 연구 대상지중 삼창1 ( $19. \text{ mg kg}^{-1}$ ), 은성1 ( $12.7 \text{ mg kg}^{-1}$ ), 은성2 ( $7.6 \text{ mg kg}^{-1}$ )을 제외한 7개 대상지는 이보다 높았다. 또한 화순군 폐탄광 산림복구지에서 유효인산 함량은 평균  $8.3 \text{ mg kg}^{-1}$  (Jung et al., 2011)로 보고되어 본 연구대상지가 더 높았다. 탄광지역 토양내 P함량에 대한 기존 연구결과로는 Finkelman (1980)이 석탄에 P의 함유량이 높기 때문에 토양내 인산의 함량이 높다고 보고 한 바 있다. 본 연구결과도 이와 유사한 것으로 조사되었으며, 유기물이나 총질소와는 다르게 본 연구대상지에서 유효인산으로 인한 생육불량은 우려되지 않을 것으로 판단된다.

**CEC** 조사 대상지의 CEC는 평균  $14.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  ( $4.8 \sim 25.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )이었다. 가장 낮은 대상지는 삼창1로 4.8이였으며, 승우1이 25.8로 가장 높았다. 4개소가 평균보다 높고, 6개소가 낮았다. 대부분  $10 \sim 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에 분포하였다. Jeong et al. (2002)이 보고한 경상북도 A층 산림토양의 평균 CEC는  $11.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 본 연구 대상지의 평균은 이보다 높았으며, 8개 대상지가 이보다 높은 것으로 조사되었다.

**경과년수에 따른 토양 특성** 산림복구 완료 후 경과년수에 따른 토양의 화학적 특성 변화를 알아보기 위해 회귀 분석을 실시한 결과를 Table 3에 나타냈다. 모든 토양 인자가 경과년수에 따른 변화가 없는 것으로 분석되었다. 폐광산 토양 특성과 경과시간과의 관계에 대해 보고한 몇가지 사례를 살펴보면, Singh et al. (2004)은 인디아에서 폐광산을 복구한 후 시간이 경과함에 따라 토양내 탄소와 질소가 증가한다고 하였으며, Šourková et al. (2005)도 체코에서 폐탄광을 복구한 후 토양내 탄소와 질소가 증가한다고 하였다. 또한 Jung et al. (2011)은 화순군 폐탄광 산림복구지에서 경과 시간에 따라 토양 pH는 감소하는 경향을 보이고, TOC와 총질소는 증가하는 경향을 보인다고 하였다. 폐광지역을 복구한 후 토양내 유기물, 혹은 탄소가 증가하는 원인은 복원된 식생이 자라면서 토양에 유입되는 낙엽낙지량이 증가하기 때문이다 (Cole et al., 1993; Jung et al., 2011). 또한 탄소와 밀접하게 관련있는 총질소(김태훈 등, 1991) 역시 일반적으로 시간에 따라 증가하는 경향을 보인다 (Jung et al., 2011). 하지만 이러한 기존 연구결과와 비교하면 본 연구결과는 상이한 결과를 보였다. 이로 미루어 볼 때, 본 연구대상지에서 토양특성에 영향을 미치는 인자는 경과시간보다 각각의 대상지를 산림복구사업을 할 때 사용하였던 복토용 토양특성 자체에 있는 것으로 생각되며, 산림복구사

**Table 3. Regression analysis of chemical characteristics and elapsed time.**

	pH	TOC	Total-N	C/N ratio	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CEC
<i>p</i> -value	0.125 <sup>n.s</sup>	0.217 <sup>n.s</sup>	0.846 <sup>n.s</sup>	0.222 <sup>n.s</sup>	0.535 <sup>n.s</sup>	0.310 <sup>n.s</sup>

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

업을 하기 전에 정밀한 사전조사를 통해 복토용 토양을 선정하는 단계가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

## 결 론

문경지역 폐탄광 지역의 산림복구 설계 및 사후관리를 위해 폐탄광 산림복구지 10개소를 대상으로 토양의 화학적 특성을 분석하고 설계 및 관리에 필요한 사항을 제시하였다. 토양 pH는 대부분 pH 5.0~7.0사이에서 분포하여 토양 pH에 의한 식물생육은 제한이 없을 것으로 판단되지만, 단봉1의 토양은 산성(pH 4.6)으로 이를 개량하기 위해 석회시비 등의 개량이 필요할 것으로 판단된다. TOC와 총질소 모두 대부분 일반산림토양보다 낮아서 유기물과 질소시비에 의한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 유효인산과 CEC는 대부분의 대상지에서 양호하게 조사되어 이에 따른 식물생육의 영향은 없을 것으로 판단된다. 10개 조사대상지 중 삼창2에서 다른 대상지에 비해 TOC와 총질소, 탄질률이 불량하여 이에 대한 대책이 필요할 것으로 생각된다. 본 연구결과는 각 대상지에 대해 토양분석이 1회만 이루어졌기 때문에 보다 정확한 산림복구설계와 사후관리를 위해서는 토양 특성에 대한 장기모니터링이 중요할 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

- 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.
- Chung, Y.G, B.W. Hong, and J.M. Kim. 1980. Relation between Chemical Properties of Soil and Tree Growth. *Jour. Korean For. Soc.* 46:10-20.
- 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
- Finkelman, R.B. 1980. Models of occurrence of trace elements in coal, Ph. D. Thesis, University of Maryland, Maryland, USA.
- Hur, T.C., Joo, S.H, and Cho, H.J. 2009. A Comparison of Soil Physiochemical Properties of the Forest Stands in Young-il Erosion Control District. *Jour. Korean. For. Soc.* 98(4): 444-450.
- Jin, H.O., M.J. Lee, Y.O. Sin, J.J. Kim, S.K. Jeon. 1994. Forest pedology In Korean. 1st ed. p325. Hyangmoosa, Seoul, Korea.
- Jung, M.H., H.H. Kwon, T.H. Kim, G.S. Choi, and S.L. Kim. 2010. Characteristics of Soil Chemical and Microbiological Properties in Abandoned Coal Mine Forest Rehabilitation Areas. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5): 424-429.
- Jung, M.H., Y.S. Sim, 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.
- Kim, T.H., J.H. Jeong, K.S. Koo, K.H. Kim, S.H. Cha, J.S. Kim, C.H. Lee, C.D. Koo. 1988. Study for Classification of forest soil In Korean. *KFRI Study Report*, 37:19-34.
- Kim, T.H., J.H. Jeong, C.H. Lee, K.S. Koo, W.K. Lee, Y.Y. Kang, S.I. Kim. 1991 Growth of the main species according to agrotyping In Korean. *KFRI Study Report*, 42:91-106.
- KMA. 2012. www.kma.or.kr, KMA, Seoul, Korea.
- Kwon, H.H., Y.S. Sim, J.S. Lee, T.H. Kim, J.A. Kim, S.H. Yoon, K.S. Nam. 2007. The cause of mine hazards and prevention methods In Korean. *Journal of Mine Reclamation Technology* 1(1):5-25.
- Lee, S.H. 1981. Studies on Forest Soil in Korea (II). *Jour. Korean. For. Soc.* 54:25-35.
- Min, J.G., E.H. Park, H.S. Moon, and J.K. Kim. 2005. Chemical Properties and Heavy Metal Content of Forest Soils around Abandoned Coal Mine Lands in the Mungyeong Area. *Journal of KSAFM* 7(4): 265-273.
- 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. 2012. 2011 Yearbook of Mireco Statistics. MIRECO, Seoul, Korea.
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Singh, A.N., A.S. Raghubanshi, J.S. Singh. 2004. Impact of native tree plantations on mine spoil in a dry tropical environment. *FOREST. ECOL. MANAG.* 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.
- Yang, J.Y., Y.S. Ok, Y.H. Park. 2007. Ecological engineering method for forest rehabilitation in mine degraded areas In Korean. *Journal of Mine Reclamation Technology* 1(1):67-75.