한국토양비료학회지 44권 6호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 44, No. 6, 1010-1015 (2011)

보문

전라남도 화순군 폐탄광 산림복구지 토양의 화학적 특성

정문호* · 심연식 · 김태혁

한국광해관리공단 광해기술연구소 충청남도 천안시 서북구 성환읍 매주리 362

Characteristics of Soil Chemical Properties in Abandoned Coal Mine Forest Rehabilitation Areas in Hwasun, South Jeolla Province

Mun Ho Jung*, Yon Sik Shim, and Tae Heok Kim

Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation
362 Maju-ri, Seonghwan-up, Seobuk-gu, Cheonan, Chungcheongnam-do, Korea

The objectives of this study were to investigate soil chemical characteristics for forest rehabilitation and suggest management in abandoned coal mine areas in Hwasun-gun, South Jeolla Province. Total study sites were 8 sites, and soil analysis particular were soil pH, TOC, total-N, C/N ratio, Avail. P_2O_5, and CEC. Average soil pH was 5.8 (4.7～6.4). Average contents of TOC, total-N and C/N ratio were 1.1% (0.2～2.0%), 0.08% (0.02～0.13%) and 15.0 (7.9～31.4), respectively. Average Avail. P_2O_5 was 8.3 mg kg^{-1} (2.7～15.0) and Average CEC was 13.7 $cmol_c$ kg^{-1} (9.9～18.5 $cmol_c$ kg^{-1}). Soil pH was decreased according to elapsed time from forest rehabilitation, while TOC, total N and CEC were increased. Av. P_2O_5 did not show any relationship with elapsed time. Soil pH was stable comparing with general forest soil in South Jeolla Province (5.1), while contents of TOC and total N were lower than general forest soil in South Jeolla Province (4.9% and 0.18%, respectively). Therefore, sustainable managements such as fertilization for TOC and total N are necessary for good rooting and growth of vegetation.

Key words: Abandoned coal mine, Forest rehabilitation, Soil chemical charateristics, Hwasun-gun

서 언

산림토양은 식생생육에 필요한 양분을 공급하고, 토양 내 여러 소동물의 서식처를 제공하는 등 산림생태계 내에서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 기존의 여러 연구를 통해 산림생태계 내 임목생장이 산림토양의 이화학적 특성과 관련이 있다고 보고되었다 (Chung et al., 1980; Jeong et al., 2002; 김 등, 1988). 이와 더불어 수목이 산림토양 특성 변화에 영향을 미친다는 연구결과도 있는데 (Hur et al., 2009; Lee, 1981; 정 등, 1980), 이러한 연구결과에 따르면 폐탄광지역과 같이 산림훼손지역에 산림복구를 실시한 후 시간이 경과함에 따라 식생으로부터 낙엽낙지와 같이 지피물이 유입되어 토양이 점차 발달하면서 안정화된다 (Hur et al., 2009). 이는 결국 산림복구 후, 산림토양과 식생이 상호작용을 통해 산림생태계를 회복한다고 할 수 있다. 하지만 자연적인 회복은 시간이 많이 걸리게 되며, 경우에 따라서 훼손이 재발생하여 산림생태계 회복을 더디게 하는 현상도 발생한다. 이를 방지하기 위해서는 지속적인 관리가 필요한데, 특히 식생의 생육기반이 되는 토양의 특성변화에 대한 지속적인 관찰이 필요하다 (Jung et al., 2010).

폐탄광지역은 과거 채굴활동으로 인해 토양유실과 폐석적치, 산성수 배출 등으로 심각한 산림훼손이 발생하고 있으며 (권 등, 2007; 양 등, 2007), 한국광해관리공단에서는 폐탄광지역을 대상으로 지속적인 산림복구사업을 통해 산림생태계를 복원하는 사업을 전국에 걸쳐 시행하고 있다. 하지만 기존의 산림복구지에서 토양특성 변화에 대한 연구가 거의 진행된바 없기 때문에 산림복구지의 관리에 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다 (Jung and Kim, 2008; Jung et al., 2010). 이를 해결하기 위해 한국광해관리공단에서는 2008년부터 지역별로 폐탄광 산림복구지의 토양 이화학특성을 모니터링하고 있다. 본 연구에서는 태백, 삼척, 정선, 단양 등과 더불어 우리나라에서 가장 큰 탄광지역에 속하는 전라남도 화순군에 위치한 9개 폐탄광의 산림복구지에서 지속적인 사후관리 및 산림복구 방안을 수립하기 위한 자료 확보를 위해 토양의 화학적 특성을 분석하였다.

접수 : 2011. 8. 16 수리 : 2011. 11. 29
*연락저자 : Phone: +82419017923
E-mail: jungmh2@hanmail.net

재료 및 방법

조사 대상지 연구대상지는 전라남도 화순군에 위치한 동양탄광, 호남탄좌 (04년 복구지, 05년 복구지 2개소), 호탄 태백탄광, 호탄 삼성탄광, 광진탄광, 능성탄광, 이양탄좌 등 8개소이다. 산림복구공사 완료 후 경과시간은 동양탄광 2년, 호남탄좌는 5년과 6년, 호탄 태백탄광은 8년, 호탄 삼성탄광은 9년, 광진탄광은 10년, 능성탄광과 이양탄좌는 14년이 경과하였다. 각 대상지별 특징을 Table 1에 나타냈다. 대부분 해발 200 m 이내에 위치하고 있었으며, 호탄 삼성탄광이 해발 280 m로 가장 높았다. 대부분 사면으로 호탄 삼성탄광이 계곡사면, 동양탄광이 능성사면이었으며, 경사는 호남탄좌 2005년 복구지가 10°로 가장 낮고 호탄 삼성탄광이 33°로 가장 높았다. 다른 조사대상지는 20~30°이내에 위치하였다. 산림복구지에 식재된 수종은 동양탄광은 해송, 호남탄좌는 자작나무와 사방오리나무가 식재되었으며, 호탄 태백은 자작나무, 물오리나무, 사방오리나무, 호탄 삼성은 물오리나무 아까시나무가 식재되었다. 광진탄광과 능성탄광은 소나무, 이양탄좌는 물오리나무가 식재되었다. 하층식생으로는 쑥과 민들레, 사초류, 쑥부쟁이, 질경이, 개망초 등이 발견되었다. 산림복구공정은 대부분 비슷하여 먼저 폐석사면을 평탄하게 경사면 정지를 하고 복토를 실시한 다음, 식재와 파종을 하였다. 복토재는 화순 인근의 토양을 이용을 하였으며, 대부분 20~30 ㎝ 깊이로 실시하였다. 한국광해관리공단의 사후관리기준은 준공일로부터 5년간 사후관리 후, 관할기관에 반지를 하는데, '08년부터 매년 7~8월 경 식재수목 활착률을 조사하여 결과에 따라 보식, 전면 재식재 등 사후관리를 실시하고 있다.

조사 및 분석 조사 대상지의 토양특성을 분석하기 위해 2009년 7월~9월까지 각 대상지마다 토양시료 5점씩, 총 40점을 채취하였다. 각 시료는 1 m × 1 m 내에서 십자 형태로 5점을 채취하여 혼합하였다. 시료 채취는 토양표면의 낙엽층 및 부식토를 제거하고 20 ㎝ 깊이 이내에서 채취하였다. 채취한 토양은 풍건한 후 200 mesh 체로 쳐 분석용 시료로 이용하였다. 분석항목은 토양 pH, 총질소, 유효인산, 총유기탄소 (TOC), 양이온 치환용량 (CEC) 등이었다. 토양 pH는 토양시료와 증류수를 1:5로 혼합하여 30분 동안 진탕한 후 여과하여 pH meter (Orion 3STAR, THERMO, USA)로 측정하였다. 총질소 함량은 Micro Kjeldahl법으로 정량하였다. 이를 위해 토양시료를 K_2SO_4 $CuSO_4$ 혼합촉매와 진한 황산과 혼합하여 약 4시간 동안 가열 분해시킨 다음, 분해액을 증류수로 희석한 후 증류 플라스크에 취하고 증류한 후 표준 황산용액으로 적정하여 질소함량을 구했다. 유효인산은 Bray No.1 방법을 준용하여, 토양 시료에 침출액 (0.03N NH_4F + 0.025N HCl)을 가하여 침출한 다음 ICP (ICP-1000IV, Shimadzu, Japan)가 장착된 Optical Emission Spectrometer를 이용하여 정량하였다. TOC는 Walkley-Black법으로 정량하였다. 이를 위해 토양시료와 1N-$K_2Cr_2O_7$용액, 진한 황산을 혼합한 다음, 지시약 (0.025M o-Phenanthroline-ferrous Complex)을 넣은 후 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)으로 정량하였다. 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 mL로써 흡착 된 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 농업진흥청 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (2000)을 준용하여 분석하였다. 산림복구 공사 후 경과년수에 따른 토양특성의 변화를 규명하기 위해 회귀분석을 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 14.0 (SPSS 14.0 Predictive Pack, SPSS Inc.) 통계 프로그램을 사용하였다.

Table 1. Characteristics of study sites.

Mine	Altitude	Latitude	Slope	Topography	Elapsed time	Species
	m	°	°		year	
Dongyang	230	S 40 E	25	Ridge-slope	2	PT†
Honam(05)	114	N 45 E	10	Slope	4	BP‡
Honam(04)	190	S 50 W	30	Slope	6	BP, AF§
Hotan Tabaek	170	N 40 W	25	Slope	8	BP, AH¶, AF
Hotan Samsung	280	S 40 E	33	Valley-slope	9	AH, RP#
Kwangjin	172	N 20 W	20	Slope	10	PD∫
Neungsung	100	N 20 W	30	Slope	14	PD
Leeyang	100	N 70 W	25	Slope	14	AH

†PT, *Pinus thunbergii*; ‡BP, *Betula platyphylla*; §AF, *Alnus firma*; ¶AH, *Alnus hirsuta*; #RP, *Robinia pseudo-acasia*; ∫PD, *Pinus densiflora*.

결과 및 고찰

토양 pH 토양 pH의 평균값 (Table 2)은 5.8이었다. 호남탄좌 (04)에서 6.4로 가장 높고, 광진탄광에서 4.7로 가장 낮았다. 6.0이상을 보인 탄광이 3개소, 5.0~5.9이 4개소였다. 전라남도 산림토양 A층의 평균토양은 5.1로 보고되었는데 (Jeong et al., 2002), 광진탄광과 능성탄광을 제외하면 대부분 이보다 높은 수치를 보였다. 폐탄광 토양 pH에 대해 기존 연구결과를 보면, 강원도 태백과 경상북도 울진 등에서는 토양 pH가 6.0이상이었으며 (Kim et al., 1999), 문경지역에서는 5.0~6.8로 조사되었다 (Min et al., 2005). 또한, Jung et. al (2010)은 강원지역과 충청지역, 호남지역의 12개 폐탄광 산림복구지에서 토양 pH를 4.2~8.1로 보고한 바 있다. 이와 같이 일부 폐탄광지역에서는 토양 pH가 6.0 이상으로 일반 산림토양에 비해 높게 나타났는데, 이에 대해 Min et al. (2005)은 폐광지역 산림복구사업시 복토재에 토양 pH 완화를 위해 석회와 규산 등을 처리하였기 때문인 것으로 판단하였다. 일반적으로 식물생육에 필요한 양분들은 토양 pH에 따라 유효도가 달라지는데 (진 등, 1994), 대부분 토양 pH 5~7일 때 가장 유효도가 높다 (Troug, 1947). 따라서 본 연구대상지는 토양 pH 4.7의 광진탄광을 제외하면 토양 pH에 따른 양분 유효도는 양호한 것으로 판단된다.

TOC 평균 조사 대상지의 평균 TOC 1.1%였으며 (Table 2), 0.2~2.0%의 분포를 보였다. 대상지 중 3개소가 1.0% 이하였으며, 4개소가 1.0~2.0%가 4개소, 2% 이상은 1개소에 불과하였으며, 평균 유기물 함량은 1.9% 정도로 나타났다. Jeong et al. (2002)에 따르면 전라남도 A층 산림토양의 평균 유기물 함량은 4.9%로 이에 비하면 매우 낮은 값이다. 토양 유기물은 지상부로부터 낙엽낙지가 유입되어 낙엽층과 부식토가 집적되면서 형성되지만, 폐탄광 산림복구지는 아직 임령이 낮은 천이 초기단계로, 유입되는 낙엽낙지량이 적은 관계로 토양 유기물이 낮은 것으로 판단된다. 이는 Šourková et al. (2005)이 체코의 폐탄광 산림복구지에서 복구 초기 단계에 유기물 함량이 낮다고 한 결과와 비슷하였다. Kim et al. (1999)은 과거 탄광이었던 지역의 토양 내 유기물 함량은 8% 이상으로 높다고 하였으며, Min et al.(2005)은 문경지역에 위치한 5개 탄광의 유기물 함량이 4.5~7.2%로 평균 산림토양보다 높다고 하였는데, 본 연구결과는 이와는 다른 결과를 보였다. 토양 내 유기물은 임목에 필요한 양분의 공급원 역할을 할 뿐만 아니라 양분의 유효도를 조절하고, 양이온 치환능과 완충능이 있으며, 토양 소동물과 미생물의 에너지원이 되는 등 역할이 크다 (진 등, 1994). 따라서 정상적인 산림생태계 복원을 위해 산림복구사업을 수행하면서 시비 등을 통해 토양 유기물 함량을 높여주는 관리가 필요할 것으로 생각된다.

총질소 조사 대상지 토양의 총질소 함량은 평균 0.08%였으며 (Table 2), 동양탄광과 광진탄광이 0.02%로 가장 낮고, 이양탄좌가 0.13%로 가장 높았다. 3개소가 평균치 이하, 5개소가 평균치 이상이었으며, 모든 대상지가 전라남도 A층 산림토양의 평균 총질소 함량인 0.18%보다 낮았다. 이는 또한, Min et al. (2004)이 보고한 강원도 태백시 보림, 성원, 협정, 대동탄광 등 4개 탄광에서의 평균 총질소 함량인 0.2%나 Min (2004)이 보고한 동태탄광 0.17%, 성원탄광 0.27% 보다도 낮은 함량이었다. 질소는 인산과 칼륨과 더불어 식물에게 가장 중요한 양분이지만 특성상 토양 모재인 암석에도 함유되어 있지 않고 식물이 호흡을 통해 흡수할 수도 없기 때문에 오로지 토양에 존재하는 질소만 이용 가능하다 (진 등, 1994). 따라서 토양 내 질소함량이 낮으면 이는 식물생육에 불리하기 때문에 시비를 통한 질소 공급이 필요할 것으로 사료된다.

Table 2. Soil chemical characteristics in study sites.

Mine	pH	TOC	Total-N	C/N ratio	Avail. P_2O_5	CEC
		%	%		mg kg^{-1}	$cmol_c$ kg^{-1}
Dongyang	6.0	0.2	0.02	8.6	2.7	9.9
Honam(05)	6.1	1.2	0.08	14.0	15.0	13.5
Honam(04)	6.4	0.7	0.06	16.6	6.3	14.8
Hotan Tabaek	5.8	1.3	0.05	31.4	3.1	11.5
Hotan Samsung	5.9	2.0	0.12	16.7	7.9	14.1
Kwangjin	4.7	0.2	0.02	7.9	7.7	10.1
Neungsung	5.0	1.4	0.12	12.1	10.1	17.7
Leeyang	5.9	1.7	0.13	12.8	14.6	18.5
Average	5.8	1.1	0.08	14.6	8.3	13.7
Natural Forest†	5.1	4.9	0.18	27.9	21.0	12.6

†Jeong et al. (2002).

탄질률 조사 대상지의 TOC와 총질소를 바탕으로 탄질률을 계산하였다 (Table 2). 평균 탄질률은 14.6이었으며, 7.9~31.4의 분포를 보였다. 5개소가 평균 이하, 3개소가 이상을 보였으며, 10~20에 가장 많이 분포하였다. Jeong et al. (2002)의 연구결과를 바탕으로 전라남도 A층 산림토양의 평균 탄질률을 계산한 결과 27.9였는데, 본 연구 대상지는 대부분 이보다 낮았다. 탄질률은 식물이 이용할 수 있는 질소량에 영향을 미치며 토양 비옥도를 판정하는 요인으로 작용한다 (진 등, 1994). 일반 산림토양의 탄질률은 수종이나 임령에 따라 다르지만 보통 10 전후에서 안정되는 것으로 알려졌는데 (진 등, 1994), 본 연구 대상지의 탄질률이 대부분 이와 비슷한 수치를 보이고 있기 때문에 탄질률은 안정적인 것으로 사료된다. 다만, 위에서 밝힌 봐와 같이 TOC와 총질소의 함량자체가 낮기 때문에 이들 토양내 이들 총량을 증가하는 관리 방안이 필요하며, 이를 적용할 때 탄질률을 유의해야 할 것으로 판단된다.

유효인산 평균 유효인산 함량은 8.3 mg kg^{-1}이었으며, 2.7~15.0 mg kg^{-1}의 분포를 보였다 (Table 2). 조사대상지 중 5개소에서 평균 함량 이하였으며, 호남탄좌 (05)와 능성탄광, 이양탄좌가 평균 이상을 보였다. 전라남도 A층 산림토양의 평균 유효인산은 21.0 mg kg^{-1}으로 모든 대상지가 이보다

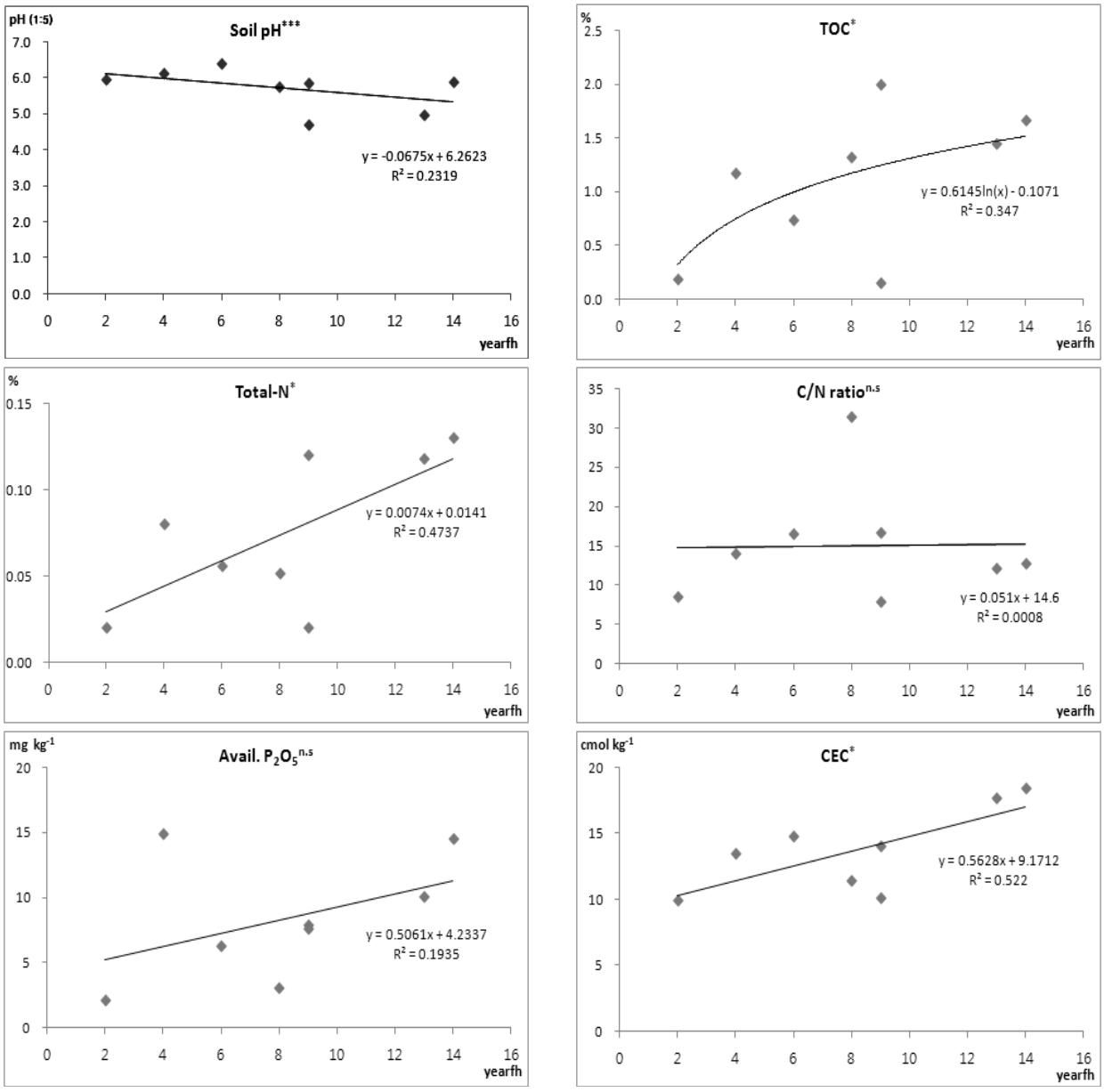

Fig. 1. Relationship between soil chemical characteristics and elapsed time.
*Significant at the 0.05 level of *p*-value
***Significant at the 0.001 level of *p*-value
n.sNot significant of *p*-value.

낮았다. Finkelman (1980)은 석탄 속에는 P의 함유량이 높기 때문에 폐탄광 지역에서 인산의 함량이 높다고 보고 하였지만, 본 연구대상지는 이와는 다른 결과를 보였다. 인산역시 질소와 마찬가지로 3대 양분에 포함이 되기 때문에 이에 대한 관리가 필요할 것으로 판단되지만, 인산은 Fe와 Al의 영향으로 다른 양분에 비해 식물에 의한 흡수력이 낮다 (진 등, 1994). 또한 유효인산은 토양 pH와도 밀접한 관계를 맺고 있어 pH가 낮을수록 인산의 불용화가 진행되어 토양 내 유효인산의 함량이 낮아지게 된다. 따라서 인산에 대한 시비방안은 Fe와 Al, 토양 pH 등을 종합적으로 결정해야 한다.

CEC 조사 대상지의 CEC는 평균 13.7 $cmol_c\ kg^{-1}$이었으며, 동양탄광이 9.9 $cmol_c\ kg^{-1}$로 가장 낮고, 이양탄좌가 18.5 $cmol_c\ kg^{-1}$로 가장 높았다 (Table 2). 전체 대상지 중 4개소가 평균보다 낮은 값을 보였으며, 대부분이 10~15 $cmol_c\ kg^{-1}$에 분포하였다. Jeong et al. (2002)이 보고한 전라남도 A층 산림토양의 평균 CEC는 $cmol_c\ kg^{-1}$로 본 연구 대상지의 CEC는 이와 비슷한 것으로 조사되었다.

경과년수에 따른 토양 특성 산림복구 완료 후 경과년수에 따른 토양의 화학적 특성 변화를 알아보기 위해 회귀분석을 실시한 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 토양 pH는 경과년수가 지나면서 다소 낮아지는 경향을 보였다. 이는 Hur et al. (2009)가 영일만 사방사업지에서 사방사업이 오래된 지역에서 토양 pH가 낮게 나온 것과 유사한 결과이다. 이에 대해 Hur et al. (2009)은 지상부 식생이 발달하면 토양 내 양이온 흡수량이 증가하고 수소이온의 방출량이 많아지기 때문에 토양 pH가 낮아질 수 있다고 하였다. TOC와 총질소, CEC는 시간경과에 따라 증가하는 경향을 보였는데, 이는 지상부 식생이 발달하면서 낙엽낙지 등에 의해 유기물이 유입되고 이에 따라 토양 내 양분이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. Singh et al. (2004)는 인디아의 폐광산 산림복구지에서 토양 내 탄소와 질소는 경과시간에 따라 증가한다고 보고한바 있으며, Šourková et al. (2005)은 체코의 폐탄광 산림복구지에서 연간 토양 탄소 및 질소 축적량을 분석한 결과, 초기에는 축적량이 빠르게 증가하다가 어느 정도 시간이 지나면 축적속도가 감소한다고 하였는데, 본 연구대상지의 TOC 역시 이와 유사한 경향을 보여, 초기에 축적속도가 더 빨랐으며, 총질소는 이와는 반대로 증가속도가 일정한 경향을 보였다. 탄질률은 시간경과에 따라 증가하는 경향을 보이지 않았는데, 이는 TOC와 총질소의 증가경향이 다소 상이하기 때문인 것으로 생각된다. 김 등 (1991)은 총질소는 토양유기물과 밀접한 상관관계를 가지고 있다고 하였는데, 본 연구결과에서는 서로 다른 경향을 보여 다소 상이하였다. 이러한 차이는 보다 많은 대상지에서 장기적인 모니터링을 지속적으로 해야 명확히 규명할 수 있을 것으로 판단된다. 유효인산은 시간경과에 따른 변화 양상을 보이지 않는 것으로 분석되었다.

결 론

전라남도 화순지역에서 폐탄광 산림복구지 사후관리를 위해 폐탄광 산림복구지 8개소를 대상으로 토양의 화학적 특성을 분석하고 관리방안을 제시하였다. 토양 pH는 평균 5.8 (4.7~6.4)에 분포하여 광진탄광을 제외하면, 양분유효도가 높기 때문에 토양 pH에 의한 식물생육은 제한이 없을 것으로 판단된다. 하지만, 경과가 오래된 복구지에서 토양 pH가 낮은 경향을 보여 토양 산성화가 진행될 가능성이 있었다. TOC와 총질소는 각각 1.1% (0.2~2.0), 0.08% (0.02~0.13)의 분포를 보였으며, 경과가 오래된 지역에서 높은 경향을 보였지만 전반적으로 일반 산림토양에 비해 낮았다. 유효인산은 평균 8.3 mg kg^{-1} (2.7~15.0)으로 역시 일반 산림토양보다 낮아 식물생육에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 탄질률과 CEC는 각각 15.0(7.9~31.4)와 13.7 $cmol_c\ kg^{-1}$ (9.9~18.5 $cmol_c\ kg^{-1}$)으로 일반 산림토양과 비슷하거나 높은 수치를 보여, 식물생육에 큰 지장을 주지는 않을 것으로 사료된다. 이러한 토양 특성을 고려할 때, 화순지역 폐탄광 산림복구지에서의 사후관리는 복구 초기에 원활한 식생생육을 위해 유기물, 질소 및 인산 함량을 높이는 시비가 필요하며, 복구후 어느 정도 시간이 경과한 복구지는 석회석 시비 등 토양 산성화 방지에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다. 하지만 본 연구결과는 각 대상지에 대해 1회를 조사한 결과로 자료 해석에 한계가 있기 때문에, 정확한 토양 특성 변화를 규명하기 위해서는 다년간에 걸쳐 장기 모니터링을 지속적으로 수행해야 할 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

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.

Finkelman, R.B. 1980. Models of occurrence of trace elements in coal, Ph. D. Thesis, University of University of Maryland, Maryland, USA.

Hur, T.C., S.H. Joo, and H.J. Cho. 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.

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.

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. and T.H. Kim. 2008. Physical and chemical characteristics of planted betula platyphylla seedlings and soils in abandoned Dongwon and Sewon mine areas. Journal of Mine Reclamation Technology 2(2):193-201.

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 phytoremedation of heavy metal contaminated soil. Kor. J. Environ. Agric 18(1):28-34.

Min, J.G. 2004. A study on changes of vegetation, soil and leachate in the abandoned coal mine areas. Ph. D. Thesis, Gyeongsang National University, Jinju, Korea.

Min, J.G, E.H. Park, H.S. Moon, and J.K. Moon. 2005. Chemical properties and heavy metal content of forest soil around abandoned coal mine lands in 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.

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.

Singh, A.N., A.S. Raghubanshi, and 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.

권현호, 심연식, 이진수, 김태혁, 김정아, 윤석호, 남광수. 2007. 광해의 원인과 방지대책. 광해방지기술 1(1):5-25.

김태훈, 정진현, 구교상, 김규헌, 차순형, 김준섭, 이충화, 구창덕. 1988. 산림토양분류에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 37:19-34.

김태훈, 정진현, 이충화, 구교상, 이원규, 강인애, 김사일. 1991. 토양형별 주요수종의 생장. 임업연구원 연구보고 42:91-106.

농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.

양재의, 옥용식, 박용하. 2007. 광산 훼손지역의 생태공학적 산림복구 방안. 광해방지기술 1(1):67-75.

진현오, 이명종, 신영오, 김정제, 전상근. 1994. 삼림토양학. p.325. 향문사.