

폐탄광 산림복구지 토양의 화학적 특성

정문호* · 권현호 · 김태혁 · 최광수 · 김수로

한국광해관리공단

Characteristics of Soil Chemical and Microbiological Properties in Abandoned Coal Mine Forest Rehabilitation Areas

Mun-Ho Jung*, Hyun-Ho Kwon, Tae-Heok Kim, Gwang-Su Choi, and Soo-Lo Kim

Mine Reclamation Corporation Coal Center, 30 Chungjin-dong Street, Jongno-gu, Seoul, Korea

The objectives of this study were to investigate soil chemical and microbiological characteristics in Yeongnam, Honam, Chungcheong and Kangwon for forest rehabilitation and management in abandoned coal mine areas. Average soil pH was 5.5 (4.2 ~ 8.1). Average contents of TOC, total N and available P₂O₅ were 1.1% (0.1 ~ 2.6%), 0.08% (0.02 ~ 0.14%) and 16.1 ppm (3.4 ~ 63.1 ppm), respectively. Average CEC was 3.4 cmol_c kg⁻¹ and total no. of bacteria showed 4.9 × 10¹² CFU g⁻¹. According to areas, soil pH was the highest in Kangwon (6.1), and Yeongnam (5.7), Honam (5.3) and Chungcheong (4.7), respectively. TOC and total no. of bacteria showed no difference. Total-N was higher in order of Yeongnam (0.10%) > Chungcheong (0.08%) = Honam (0.07%) > Kangwon (0.06%), while Av. P₂O₅ Yeongnam (23.9 ppm) = Chungcheong (24.5 ppm) > Honam (10.9 ppm) = Kangwon (4.9 ppm). Yeongnam showed higher value in CEC (17.5 cmol_c kg⁻¹) than any other areas. Generally, soil characteristic of Yeongnam was better for vegetation growth than any other areas, while Kangwon was worse. According to elapsed time from forest rehabilitation, patterns of soil pH and CEC showed decrease according to time while TOC and total-N increased. There were no significant differences in Av. P₂O₅ and total no. of bacteria. Soil chemical characteristics in abandoned coal mine areas were disadvantageous for vegetation growth in comparison with general forest soils. Therefore, sustainable managements such as fertilization are necessary for good rooting and growth of vegetation.

Key words: Abandoned coal mine, Forest rehabilitation, Soil chemical and microbiological properties

서 언

20세기 중반 이후, 우리나라는 성장위주의 개발정책으로 인해 많은 산림이 훼손되었으며, 특히 자원개발을 위한 광산 개발로 인해, 현재 우리나라에는 석탄광산이 349개, 금속광산이 988개, 비금속광산이 699개 등 총 2,006개의 광산이 분포되어 있다 (권 등, 2007). 이중 석탄광산 349개소로 현재 5개를 제외한 344개 광산이 모두 폐광되었으며, 이들 지역에 대해 산림복구사업을 지속적으로 전개되고 있는데, 산림복구 공사의 대부분이 폐석사면 위에 인근 절토사면의 일부 심토를 이용하여 복토를 한 다음 (양 등, 2006), 파종 및 묘목 식재를 실시하는 형태로 진행된다. 이러한 복구공사는 여러 문

제점을 내포하고 있는데, 특히 묘목의 식재기반인 복토재에 대한 분석이 이루어지지 않은 채 진행되기 때문에 식재된 묘목의 생육이 불량하거나 고사하는 경우가 많으며, 이러한 현상에 대한 원인 규명이 이루어지지 않는 것이 현실이다 (Jung and Kim, 2008). 따라서 성공적인 산림복구를 위해서는 산림복구 후 토양에 대한 모니터링을 실시하여 토양의 이화학적 특성 변화양상에 대한 모니터링을 실시하고, 이를 토대로 폐탄광 지역에 대해 올바른 산림복구 방안과 사후관리방안을 모색하여야 한다 (Min et al., 2005; Jung and Kim, 2008). 따라서 본 연구에서는 폐탄광 산림복구지 토양특성에 대한 기초자료 확보를 위해 각 지역별 및 산림복구 완료 후 경과시간별 폐탄광 산림복구지 토양의 화학적 특성을 분석하였다.

접수 : 2010. 6. 8 수리 : 2010. 10. 11

*연락처 : Phone: +82237026772

E-mail: jungmh2@hanmail.net

Table 1. Characteristics of study sites.

Area	Mine	Elapsed time	Altitude	Direction	Slope	Topography	Species	
		year	m	°	°			
Yeongnam	Mungyeong	Seungwoo	~5	244	S10W	15	Slope	BP, RP
	Mungyeong	Buljung	5~10	237	N20E	30	Ridge	BP, RP
	Gaeun	Eunseong	10~	200	N60W	35	Slope	PD
Chungcheong	Boryung	Samkang	~5	114	N	10	Slope	RP
	Boryung	Sinseong	5~10	180	N20W	34	Slope	RP, BP
	Boryung	Simwon	10~	318	S60E	25	Slope	PD
Honam	Hwasun	Honam	~5	114	N45E	10	Slope	RP, BP
	Hwasun	Kwangjin	5~10	172	N20W	20	Slope	PD
	Hwasun	Neungseong	10~	100	N20W	30	Slope	PD
Kangwon	Jeongseon	Dongwon	~5	1,100		35	Ridge	BP
	Yeongwol	Hanil	5~10	612	N70E	25	Slope	BP
	Jeongseon	Hambaek	10~	638	N60W	25	Slope	RP, BP

BP : *Betula platyphylla*, RP : *Robinia pseudoacacia*, PD : *Pinus densiflora*.

재료 및 방법

조사 대상지 조사 대상 지역은 영남지역, 충청지역, 호남지역, 강원지역의 폐탄광 산림복구지로 각 지역 별로 3개소, 총 12개소를 선정하였으며, 복구공사 완료 후 시간에 따른 토양특성 변화를 분석하기 위해 완료 후 5년 이내, 5~10년, 10년 이상 경과로 구분하여 조사하였다. 각 대상지별 특징을 Table 1에 나타냈다. 강원지역을 제외한 3개 지역은 해발고도가 320 m 이하였으며, 정선군에 위치한 동원탄좌 해발 1,100 m로 가장 높은 지역에 위치하고 있다. 대부분 북사면이며, 경사는 10~35°로 나타났다. 산림복구를 위해 식재된 묘목은 경과시간에 따라 차이가 있었는데, 5년 이내 산림복구지에서는 자작나무를 주로 식재하였으며, 10년 이상 경과 지역에서는 소나무가 주로 식재되었다. 조사대상지 하층에서는 주로 썩과 민들레, 사초류, 산국, 양잔디류 등이 발견되었는데, 양잔디류의 경우 산림복구공사 시 토양 유실방지를 위해 파종된 것으로 생각된다.

조사 및 분석 조사 대상지의 토양특성을 분석하기 위해 2009년 7월~9월까지 각 대상지마다 토양시료 5점씩, 총 60점을 채취하였다. 시료 채취는 토양표면의 낙엽층 및 부식토를 제거하고 20 cm 깊이 이내에서 채취하였다. 채취한 토양은 풍건한 후 10 mesh 체로 쳐 분석용 시료로 이용하였다. 분석한 항목은 토양 pH, 전질소, 유효인산, 총유기탄소 (TOC), 양이온 치환용량 (CEC), 총균수 등이었다. 토양 pH는 토양시료와 증류수를 1:5로 혼합하여 30분 동안 진탕한 후 여과하여 pH meter (Orion 550A)로 측정하였다. 전질소 함량은 Micro Kjeldahl 법으로 정량하였다. 이를 위해 토양시료를 K₂SO₄ 혼합

촉매와 진한 황산과 혼합하여 약 4시간동안 가열 분해시킨 다음, 분해액을 증류수로 희석한 후 증류 플라스크에 취하고 증류한 후 표준 황산용액으로 적정하여 질소 함량을 구했다. 유효인산은 Bray No.1 방법을 준용하여, 토양 시료에 침출액 (0.03N NH₄F + 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-K₂Cr₂O₇용액, 진한 황산을 혼합한 다음, 지시약 (0.025M o-Phenanthroline-ferrous Complex)을 넣은 후 0.5N-FeSO₄로 적정하여 유기물 함량을 구하였다. CEC는 ammonium acetate 법 (1N CH₃COONH₄, pH=7.0)으로 정량하였다. 우선 토양시료를 CH₃COOH 용액으로 이용하여 NH₄⁺를 포화시킨 다음 Isopropyl alcohol 100ml로 흡착되지 않은 NH₄⁺를 세척 제거하고, 10% acidic NaCl 용액 100 ml로써 흡착된 NH₄⁺를 치환하고 이 용액 10ml의 NH₄⁺를 Kjeldahl 증류하여 0.01N H₂SO₄ 용액으로 적정하여 정량하였다. 총균수는 콜로니카운터 (Colony counter, Suntlet, Taiwan)을 이용하여 플레이트 카운터법으로 분석하였는데, 이는 고형배지를 이용하는 방법이다. 미생물 수 측정을 위해 토양을 NaCl 용액과 혼합한 다음 단계적으로 희석하고, 희석한 각 용액에서 일부를 취하여 Petri plate에 뿌린 후 배지에 spreading 시켰다. 이를 몇 일간 배양을 시킨 후에 각 배지에서 형성된 colony 수를 계수한 다음 희석배율을 곱해주고 사용한 토양시료 무게 등을 고려하여 계산하였다. 분석은 서울대학교 농생명과학공동기기원 (NICEM)에 의뢰하여 분석하였으며, 시료 분석은 농업진흥청 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (2000)을 준용하여 분석하였다. 지역별,

산림복구 공사 후 경과년수 별 토양특성의 차이를 규명하기 위해 분산분석을 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 5.5였으며, 이는 Lee (1981)나 Jeong et al. (2002)이 보고한 일반산림 토양 pH와 거의 비슷한 수치였다. 하지만 탄광별로 차이를 보였는데, 한일탄광의 경우 8.1로 약알칼리성이었으며, 삼광탄광과 신성탄광, 광진탄광 및 함백탄광은 5.0이하로 나타났다. 이는 폐탄광지역 토양 pH에 대한 기존 보고와는 다소 상이한 결과였다. Kim et al. (1999)이 조사한 바에 따르면 강원도 태백과 충청북도 노은, 경상북도 울진, 경상남도 함안 등에 위치한 폐광지역의 토양 pH가 6.0 이상이었으며, Min et al. (2005)은 문경지역 폐광주변 산림토양의 pH를 5.0~6.8로 보고하였다. 이와 같이 폐광지역 산림복구지 토양이 일반 산림 토양에 비해 pH가 높게 나타나는 것에 대해 Min et al. (2005)은 폐광지역을 복구하는 과정에서 석회 및 규산 등을 처리하였기 때문에 pH가 상승한 것으로 판단된다고 하였는데, 연구대상지 중 4개 광산은 산성을, 1개 광산은 약알칼리성을 보여 이와는 상이하였다. 토양 pH는 식물이 토양 내 양분을 이용할 수 있는 유효도에 영향을 미친다 (진 등, 1994). 일반적으로 식물 생육에 필요한 양분은 N, P, K, Ca, Mg 등의 대량 원소의 경우 토양 pH 6~7, Fe, Mn, B, Cu, Zn 등의 미량 원소는

토양 pH 5~7일 때 가장 유효도가 높다 (Trouw, 1947). 하지만 본 연구대상지 중 일부 지역과 같이 토양 pH가 5 이하를 보일 경우, 토양 산성화에 따른 양분 용탈로 식물 생육이 불량해지는 현상을 보이기 쉽다. 따라서 함일탄광 등 토양 pH가 5이하로 나타난 지역에 대해서는 원활한 식생생육을 위해 석회시비 등과 같은 사후관리가 필요할 것으로 판단된다.

TOC 평균 조사 대상지의 평균 TOC 1.1%였으며 (Table 2), 0.1~2.6%의 분포를 보였는데, 1.0% 미만이 5개소, 1.0~1.4%가 4개소, 2% 이상이 3개소로 나타났다. 토양 내 양분함량, 보수력, 토양 구조 등 토양의 이화학적 특성에 큰 영향을 미치는 요인인 토양 유기물은 TOC와 밀접한 관련이 있으며, 토양 유기물함량은 TOC에 1.724를 곱하여 계산할 수 있다 (농촌진흥청, 2000). 이를 통해 연구대상지 토양의 유기물 함량을 계산하면 평균값이 1.9%로 나타났는데, 이는 일반 산림토양의 평균값인 4% (Jeong et al., 2002)에 비해 낮은 값이다. 산림은 토양 표층에 지상부 식생에 의해 낙엽이 유입되어 낙엽층과 부식토가 집적되지만, 본 연구대상지는 아직 지상부 식생에 의해 유입되는 낙엽량이 적어 유기물 축적이 일반 산림에 비해 적기 때문에 TOC가 낮은 것으로 판단된다.

전질소 조사 대상지 토양의 전질소 분석결과 (Table 2), 평균 0.1%였으며, 0.02~0.14%의 분포를 보였다. 평균 값을 기준으로 0.1% 이상은 4개소였으며, 0.1%이하가 8개소로 더 많았다. 일반 산림토양 A층의 전질소 (Jeong et al., 2002)는 0.09~0.43%로 평균 0.19%를 보였는데, 대부분의 조사대상지에서 이보다 낮은 수치를 보였다.

Table 2. Soil chemical properties in the study sites.

Mine	pH	TOC	Total-N	Av. P ₂ O ₅	CEC	Total No. of bacteria
		%	%	ppm	cmol _c kg ⁻¹	CFU g ⁻¹
Seungwoo	6.6	2.3	0.13	26.2	25.8	1.3×10 ⁷
Buljung	5.6	1.1	0.10	32.7	12.9	9.7×10 ¹²
Eunseong	5.0	1.0	0.09	12.7	13.8	5.7×10 ⁶
Samkang	4.5	0.1	0.03	5.6	12.4	1.2×10 ⁶
Sinseong	4.5	0.6	0.06	4.8	11.3	6.0×10 ⁵
Simwon	5.1	2.2	0.14	63.1	8.9	2.3×10 ¹³
Honam	6.1	1.2	0.08	15.0	13.5	7.5×10 ⁶
Kwangjin	4.7	0.2	0.02	7.7	10.1	2.5×10 ¹³
Neungsung	5.0	1.4	0.12	10.1	17.7	8.0×10 ⁶
Dongwon	6.1	0.5	0.06	6.4	14.3	3.8×10 ⁶
Hanil	8.1	0.2	0.04	5.0	7.5	1.1×10 ¹²
Hambaek	4.2	2.6	0.09	3.4	12.9	3.2×10 ¹¹
Average	5.5	1.1	0.08	16.1	13.4	4.9×10 ¹²

유효인산 유효인산의 평균 수치는 16.1 ppm이었으나, 대상지별로 큰 차이를 보였다 (Table 2). 삼광탄광과 신성탄광을 비롯한 6개 탄광은 10 ppm이하를 보였으나, 은성탄광과 호남탄좌, 능성탄광은 10~20 ppm, 승우탄광과 불정탄광은 20~40 ppm이었으며, 심원탄광이 63.1 ppm으로 가장 높았다. 대부분의 조사대상지에서 산림토양 A층에서의 평균 유효인산 값인 25.6 ppm (Jeong et al., 2002) 보다 낮았으나, 동일한 산림지역 내에서도 유효인산의 변이가 크다고 한 Lee (1981)의 연구결과와 비슷하였다.

CEC 조사 대상지의 CEC는 평균 13.4 cmol_c kg⁻¹이었으며, 한일탄광이 7.5 cmol_c kg⁻¹로 가장 낮고, 승우탄광이 25.8 cmol_c kg⁻¹로 가장 높았다. 12개 조사대상지 중 7개 지역에서 평균보다 낮은 값을 보였으며, 대부분 10~15 cmol_c kg⁻¹에 분포하였다. Jeong et al. (2002)은 우리나라 산림토양 A층의 평균 CEC는 12.5 cmol_c kg⁻¹라 편차는 4.0 cmol_c kg⁻¹이라고 보고하였는데, 본 조사 대상지의 평균값은 이보다 다소 높았으나, 탄광별로는 변이가 다소 큰 것으로 나타났다.

토양 미생물 총균수 토양 내 미생물은 토양에 유입되는 유기물을 분해하여 식물이 이용 가능한 형태로 변화시키기 때문에 산림생태계의 양분순환에서 중요한 역할을 차지하지만, 폐광지역과 같이 척박한 토양에서는 토양미생물의 발달이 어렵다. 따라서 외국의 경우, 폐광지역 산림복구 척도로 토양 미생물 변화를 관찰하기도 한다 (Mummy et al., 2002). 각 조사지별 토양 내 미생물 총균수를 분석한 결과 (Table 2), 신성탄광이 6.0 × 10⁵ CFU g⁻¹으로 가장 낮은 수치를 보였으며, 2.5 × 10⁵ CFU g⁻¹을 나타낸 광진탄광이 가장 높았다. 평균은 4.9 × 10⁵ CFU g⁻¹이었으나, 평균치 이상은 3개소, 이하는 9개소로 나타났다. 한편, 본 연구에서 토양 미생물수의 측정을 위해 이용한 방법은 희석평판법으로 이는 토양 중 생균수 측정에 가장 널리 사용되는 방법이다 (농촌진흥청, 2000). 이외에 슬라이드 매몰법, 토양 절편법 등 전균수 측정법이 있으나 이는 사멸된 균수도

계수하는 방법이며, 토양 내 살아있는 미생물이 지상부 식생 생육에 영향을 미치는 요인이기 때문에 희석평판법으로 계수하였다. 다만, 본 연구에서는 총균수만 분석하였기 때문에, 미생물에 의한 영향을 보다 정확히 규명하기 위해서는 토양 내 미생물의 종류가 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

지역별 토양 특성 Table 3에 각 지역별 토양의 화학적 특성을 나타냈다. pH는 6.1을 보인 강원지역이 가장 높고, 영남지역, 호남지역, 충청지역 순으로 낮았다. 산림토양의 pH는 모재 성분에 따라 달라지는 경우가 많으며 (Jeong et al., 2003), 석회암 지대는 일반적으로 토양 pH가 높게 나타나는데, 강원지역의 경우 다른 지역에 비해 석회암 지대가 비교적 넓게 분포하기 때문에 토양 pH가 다소 높게 나타난 것으로 판단된다. TOC는 영남지역에서 1.5%, 충청지역에서 1.0%, 호남지역에서 0.9%, 강원지역에서 1.1%로 나타났으나, 통계적으로 차이가 유의하지는 않았다. 전질소는 토양유기물과 밀접한 상관관계를 가지고 있는데 (김태훈 등, 1991). 지역별 TOC는 통계적으로 유의적인 차이는 보이지 않았으나, TOC가 1.5%로 나타난 영남지역이 0.1%로 가장 높고, 충청지역과 호남지역이 각각 0.08%, 0.07%였으며, 강원지역이 0.06%로 가장 낮았다. 유효인산도 전질소와 비슷한 양상을 보였는데, 영남지역과 충청지역이 각각 23.9 ppm, 24.5 ppm으로 높았으며, 호남지역이 10.9 ppm, 강원지역이 4.9 ppm으로 가장 낮았다. 진현오 등 (1994)에 따르면 토양 내 유효인산은 토양 pH와 정의 상관관계를 보인다고 하였으나, 본 연구결과는 이와는 반대의 결과를 보여 토양 pH가 가장 높았던 강원지역에서 유효인산이 가장 낮았다. CEC는 영남지역에서 17.5 cmol_c kg⁻¹으로 가장 높고, 다른 세 지역은 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 총균수도 차이가 없었다. 대체로 일반 산림토양 (Jeong et al., 2002)의 화학적 특성과 비교했을 때, 조사대상지의 토양이 식물생육에 불리하여 시비 등과 같은 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단되며, 다른 지역에 비해 영남지역 토양의 화학적 특성이 다소 양

Table 3. Soil chemical properties according to area.

Area	pH	TOC	Total-N	Av. P ₂ O ₅	CEC	Total No. of bacteria
		%	%	ppm	cmol _c kg ⁻¹	CFU g ⁻¹
Yeongnam	5.7 ^{ab}	1.5 ^a	0.10 ^a	23.9 ^a	17.5 ^a	3.2×10 ^{12a}
Chungcheong	4.7 ^c	1.0 ^a	0.08 ^{ab}	24.5 ^a	10.8 ^b	7.7×10 ^{12a}
Honam	5.3 ^{bc}	0.9 ^a	0.07 ^{ab}	10.9 ^b	13.8 ^b	8.3×10 ^{12a}
Kangwon	6.1 ^a	1.1 ^a	0.06 ^b	4.9 ^b	11.6 ^b	4.6×10 ^{11a}

*Different letters indicate statistical significance at the *p* = 0.05 level.

Table 4. Soil chemical properties according to elapsed time after completion of construction.

Elapsed time	pH	TOC	Total-N	Av. P ₂ O ₅	CEC	Total No. of bacteria
year		%	%	ppm	cmol _c kg ⁻¹	CFU g ⁻¹
~ 5	5.8 ^a	1.0 ^b	0.07 ^b	13.3 ^a	16.5 ^a	6.4×10 ^{6a}
5 ~ 10	5.7 ^a	0.5 ^b	0.05 ^b	12.5 ^a	10.4 ^c	8.9×10 ^{12a}
10 ~	4.8 ^b	1.8 ^a	0.11 ^a	22.3 ^a	13.3 ^b	5.9×10 ^{12a}

*Different letters indicate statistical significance at the $p = 0.05$ level.

호한 것으로 조사되어 관리방안 수립 시 지역적 특성에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

경과년수에 따른 토양 특성 Table 4는 산림복구 완료 후 경과년수에 따른 토양의 화학적 특성을 나타낸 것이다. 토양 pH는 5년 이내와 5~10년에서는 5.8, 5.7로 차이가 없었으나, 10년 이상 지역에서는 4.8로 감소한 것으로 나타났다. 토양 pH에 영향을 미치는 요인은 다양하나, 지상부 식생이 발달함에 따라 토양 pH가 감소할 수 있는데, 이는 지상부 식생에 의해 토양 내 양이온 흡수량이 증가하면서 수소이온의 방출량이 많아지기 때문인 것으로 생각된다 (Hur, et al., 2009). TOC는 10년 이상 지역에서 1.8%로 높았는데, 이는 시간 경과에 따라 지상부 식생이 발달하면서 토양 내 유입되는 유기물이 증가한 것으로 판단된다. 전질소 역시 TOC와 마찬가지로 10년 이상 지역에서 0.11%로 높았다. 유효인산은 10 ppm 이상 지역에서 22.3 ppm으로 다른 두 집단에 비해 10 ppm 정도 높았으나, 변이가 심해 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. CEC는 5년 이내 지역에서 16.5 cmol_c kg⁻¹, 10년 이상 지역에서 13.3 cmol_c kg⁻¹, 5~10년 지역에서 10.4 cmol_c kg⁻¹로 나타났다. 총균수는 지역별 비교와 마찬가지로 집단 간 유의한 차이가 없었다. 미생물은 동일한 임분 내에서도 근권과 비근권, 수관층에 의한 강우와 일조량의 차이, 하층 식생의 여부 등 미세환경에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서 미생물 총균수가 평균 수치의 차이에도 불구하고 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않은 것은 미세환경에 의한 영향으로 동일 조사구 내에서 채취한 각 시료가 큰 차이를 보였기 때문으로 판단된다. 따라서 폐광 지역 산림복구지 토양 내 미생물에 대한 정확한 분석을 위해서는 동일지역에서 미세환경에 의한 차이를 규명하는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 한편, 본 연구에 따르면, 토양 pH는 시간 경과에 따라 지속적으로 산성화되고 있기 때문에 이러한 현상이 지속될 경우 토양 내 필수 양분의 용탈이 우려되어 이에 대한 지속적인 관리가 필요하며, 산림복구 시 식생의 원활한 활착을 위해 초기에 유기물과 질소 등 시비가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

폐탄광 지역에 대해 올바른 산림복구 방안과 사후관리방안 수립을 위한 기초자료로 활용하기 위해 영남, 호남, 충청, 강원 등 4개 지역의 폐탄광 산림복구지를 대상으로 토양을 채취하여 화학적 특성을 분석하였다. 토양 pH는 평균 5.5 (4.2~8.1)였으며, TOC와 전질소, 유효인산은 각각 1.1% (0.1~2.6), 0.08% (0.02~0.14), 16.1 ppm (3.4~63.1)으로 나타났다. CEC는 13.4 cmol_c kg⁻¹ (7.5~25.8 cmol_c kg⁻¹), 총균수는 4.9×10^{12} CFU g⁻¹ ($6.0 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^{13}$ CFU g⁻¹)였다. 지역에 따라서는 토양 pH는 강원 (6.1), 영남 (5.7), 호남 (5.3), 충청지역 (4.7) 순으로 높았으며, TOC와 총균수는 차이가 없었다. 전질소는 영남 (0.10%) > 충청 (0.08%), 호남 (0.07%) > 강원지역 (0.06%)이었으며, 유효인산은 영남 (23.9 ppm), 충청 (24.5 ppm) > 호남 (10.9 ppm), 강원지역 (4.9 ppm)이었다. CEC는 영남 지역 (17.5 cmol_c kg⁻¹)이 다른 세 지역보다 높았다. 대체로 영남지역이 다른 지역에 비해 토양 특성이 식물 생육에 유리하였으며, 강원지역이 불리한 것으로 조사되었다. 복구공사 완료 후 시간경과에 따라 토양 화학적 특성을 비교한 결과, 토양 pH와 CEC는 시간에 따라 감소하는 경향을 보였으며, TOC와 전질소는 증가하였다. 유효인산과 총균수는 유의한 차이를 보이지 않았다. 폐탄광 산림복구지 토양의 화학적 특성이 일반 산림토양에 비해 식생 생육에 불리한 것으로 나타났으며, 원활한 식생 활착 및 생육을 위해 시비 등과 같은 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- 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.* 98:444-450.
- 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.* 91:694-700.

- Jeong, J.H., C.S. Kim, K.S. Goo, C.H. Lee, H.G. Won, and J.G. Byun. 2003. Physio-chemecal Properties of Korean Forest Soils by Paren Rocks. Jour. Korean. For. Soc. 92:254-262.
- 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 2:193-201.
- 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 Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil. Kor. J. Environ. Agric 18:28-34
- 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 7:265-273.
- Mummy, D. L., P. D. Stahl, and J. S. Buyer. 2002. Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation : spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites. Soil. Biol. Biochem 34:1717-1725.
- 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 1:5-25
- 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. 2006. 광산 훼손지역의 생태공학 적 산림복구 방안. 광해방지기술 1:67-75.
- 진현오, 이명중, 신영오, 김정제, 전상근. 1994. 삼림토양학. p.325. 향문사.