

慶北 문경지역 廢炭鑛地의 植生構造에 관한 研究

閔在基¹ · 朴恩姬² · 禹水永³ · 金鍾甲⁴ · 文炫植^{5*}

¹상주대학교 산림자원학과, ²국립공원관리공단, ³서울시립대학교 환경원예학과, ⁴경상대학교 산림과학부, ⁵경상대학교 농업생명과학연구원

Vegetation Structure of Some Abandoned Coal Mine Lands in Mungyeong Area

Jae-Gee Min¹, Eun-Hee Park², Su-Young Woo³, Jong-Kab Kim⁴ and Hyun-Shik Moon^{5*}

¹Department of Forest Resources and Environment, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea

²Korea National Park Service, Tongyeong 650-140, Korea

³Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

⁴Division of Forest Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

⁵Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

요 약: 폐탄광지역의 식생복원에 관한 기초정보를 제공하고자 경상북도 문경시에 위치한 삼창탄광, 봉명탄광, 갑정탄광, 단봉탄광의 식생구조를 분석하였다. 중층과 하층의 출현종수는 삼창탄광이 각각 3종과 10종, 봉명탄광이 2종과 5종, 갑정탄광이 7종과 11종, 단봉탄광 9종과 12종, 그리고 대조구는 중층과 하층에 각각 15종과 17종이 출현하였다. 하층의 중요치는 삼창탄광은 참싸리, 그 외 조사지에서는 산딸기의 중요치가 가장 높은 것으로 나타났다. 초본층의 중요치는 삼창탄광은 새, 봉명탄광은 수까치개, 갑정탄광은 참억새, 단봉탄광은 쑥과 그늘사초가 가장 높았으며 대조구에서는 실새풀의 중요치가 가장 높은 것으로 나타났다. 4개 폐탄광지역의 중층과 하층의 종다양도는 각각 0.201-0.666과 0.612-0.895로 분석되었다. 하층의 균재도는 폐탄광지역이 0.683-0.875의 범위였으며 대조구는 0.990의 균재도를 나타내었다.

Abstract: Vegetation structure of Samchang, Bongmyeong, Kabjeong, Danbong coal mine and control site was investigated to provide basic information on vegetation rehabilitation of abandoned coal mine lands in Mungyeong, Gyeongbuk Province. The middle and lower layer consisted of 3 and 10 species for Samchang, 2 and 5 species for Bongmyeong, 7 and 11 species for Kabjeong, 9 and 12 species for Danbong coal mine, and 15 and 17 species appeared for control site, respectively. Importance value of *Lespedeza cyrtobotrya* in lower layer was the highest for in Samchang, and that of *Rubus crataegifolius* in other coal mine lands was the highest. Importance value in herbaceous layer was the highest for *Arundinella hirta* in Samchang, for *Corchoropsis tomentosa* in Bongmyeong, for *Miscanthus sinensis* in Kabjeong, for *Carex lanceolata* and *Artemisia princeps* var. *orientalis* in Danbong coal mines, and *Calamagrostis arundinacea* in control site was the highest, respectively. Species diversity of middle and lower layer for four coal mine lands ranged from 0.201 to 0.666 and 0.612 to 0.895, respectively. Evenness of lower layer ranged from 0.683 to 0.875 for four coal mine lands, and it was 0.990 for control site.

Key words : vegetation structure, vegetation rehabilitation, species diversity, abandoned coal mine

서 론

우리나라의 석탄산업은 1896년부터 시작되어 1973년부터 98년까지의 총석탄채굴량이 41,304만톤으로 지난 30여년간 국가경제발전에 크게 기여해 왔다(오구균, 2000).

하지만 1980년대 말부터 소득증대에 따라 석유 등 고급에너지를 선호하는 경향이 강해져 점차 그 경제성이 떨어지면서 1989년부터 폐광되기 시작하였다. 그로 인해 대부분의 탄광이 폐광되어 1998년 현재는 11개 탄광에서 4,361천톤을 생산하고 있는 실정이다(우보명, 2000). 석탄채광시 발생하는 폐석은 연료로 사용할 수 없는 찌꺼기를 이르는 것으로 전체 채탄량의 60% 이상이 폐석으로 처리된

*Corresponding author
E-mail: hsmoon@gsnu.ac.kr

다. 이러한 폐석들은 자연경관을 심하게 훼손시키고 지반 침하와 폐석유실로 인한 도로 파손 및 농경지 매몰 등 복합적인 환경문제와 막대한 경제적 손실을 야기하고 있다(우보명, 2000).

우리나라의 폐탄광지에 대한 복구사업의 유형으로는 산림복구 및 폐석유실방지, 수질개선/폐수정화, 지반침하방지, 폐공가 및 폐시설물 철거, 갱내수 전이 등이 있다(석탄산업합리화사업단, 1997). 그 중 산림복구 사업은 주로 부분적인 개토 및 복토 후 묘목식재에 의한 사업과, 재래식 파종공법, 줄떼심기 공법 등 주로 인력에 의한 녹화공법에 치중해왔던 것이 사실이다(김혜주 등, 2000; 우보명, 2000). 하지만 단기간의 녹화달성이라는 목표와는 달리 적절한 시공법이 아직 미흡하고 시공후 사후관리가 제대로 이루어지지 않아 막대한 예산만큼의 목표를 달성하지 못하고 다시 황폐화되는 결과가 계속되고 있다(김혜주 등, 2000). 또한 최근에는 토양으로부터 유해한 오염물질을 제거·안정화·무독화시키는데 식물을 이용하는 환경친화적 복원기술인 phytoremediation이 저렴한 비용과 환경피해를 최소화할 수 있다는 점에서 소개되고 있지만 phytoremediation에 이용할 수 있는 식물에 대한 연구가 미진하며 또한 정화목표에 도달하기까지 많은 시간이 소요된다는 점과 오염의 정도가 심각한 지역에서는 적용을 할 수 없다는 이유로 광범위하게 사용되고 있지는 못한 실정이다(김정규 등, 1999). 그러나 phytoremediation에 이용할 수 있는 야생식물의 탐색과 탐색된 식물에 대한 활용 및 자생식물의 오염물질 함량에 대한 연구가 이루어진다면 저렴한 비용과 환경친화적인 기술이라는 이점 때문에 많이 사용될 수 있을 것으로 기대되며 외국의 경우 이미 활발한 연구가 이루어지고 있다(Nande Kumer *et al.*, 1995; Salt *et al.*, 2000; Pitchel *et al.*, 2000). 폐탄광지는 유기물함량이 낮고 양료가 결핍되어 있으며, 토성이 거칠고 완

충능력이 나쁘며 수분보유력이 낮은 특성을 나타내기 때문에 기존의 산림토양과 달리 식물생육에는 불합리한 토양환경을 지니고 있는 것이 사실이다. 따라서 이러한 척박한 환경에 대한 성공적인 식생복원을 위해서는 폐탄광지에 내성을 보이는 수종을 선발하여 토양특성을 개선하는 것이 먼저 이루어져야 할 것이며, 그러한 식물종이 주변의 산림과 유사한 식생을 유지할 수 있는지를 예측하고, 생태계에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 경상북도 문경시의 4개 폐탄광지의 식생구조를 분석하여 산림훼손지의 복구사업과 식생복원에 관한 기초 정보를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 경상북도 문경시의 4개 폐탄광지(삼창, 봉명, 갑정, 단봉탄광)를 대상으로 하였다(Figure 1). 본 조사지는 동쪽의 태백산맥에서 서남쪽으로 뻗어 나온 소백산맥의 중앙부에 위치하고 있으며 동남부는 석회암 지역으로 카르스트 지형이 발달되어 있으며 지질은 화강암 및 편마암계가 대부분이다. 삼창탄광은 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica*), 봉명탄광은 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*), 물오리나무(*Alnus hirsuta*), 갑정탄광과 단봉탄광은 아까시나무, 물오리나무, 리기다소나무(*Pinus rigida*), 잣나무(*P. koraiensis*)가 복구수종으로 1991~1994년에 걸쳐 식재되었다(Table 1). 이들 수종은 산지개발에 따른 산지절개지 등 사방사업에 주로 이용되는 수종들이다. 대조구는 폐탄광지로부터 평균 3 km 정도 떨어져 있으며 과거 채광이나 폐광 후의 직접적인 영향을 받지 않는 지역을 선정하였다. 조사대상지인 폐탄광지는 해발 210~320 m에 위치하며 방위는 남서, 서북향이었으며 경

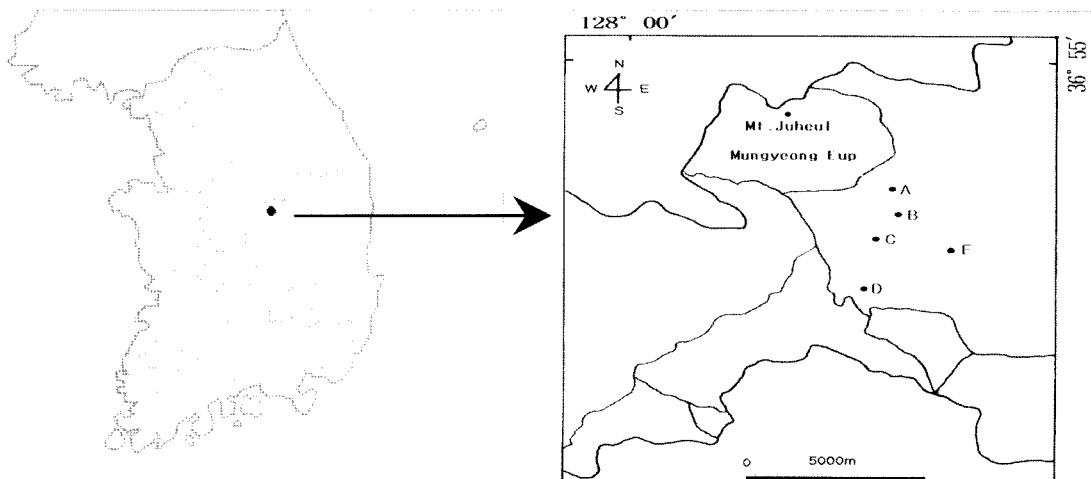


Figure 1. Location map of the survey area in Mungyeong (A: Samchang, B: Bongmyeong, C: Kabjeong, D: Danbong coal mine and E: Control).

Table 1. Site description of the investigated area.

Districts	Altitude(m)	Aspect	Topography	Slope (°)	Soil depth	Planted species*	Planted year
Samchang	210	SW	piedmont	25	shallow	Bp	1994
Bongmyeong	250	SW	piedmont	29	shallow	Rp, Ah	1991
Kabjeong	320	WN	piedmont	27	medium	Rp, Ah, Pr, Pk	1992
Danbong	280	WN	piedmont	31	medium	Rp, Ah, Pr, Pk	1991
Control	220	SW	piedmont	26	medium	-	-

*Bp: *Betula platyphylla* var. *japonica*, Rp: *Robinia pseudoacacia*, Ah: *Alnus hirsuta*, Pr: *Pinus rigida*, Pk: *Pinus koraiensis*

Table 2. Soil chemical properties of the investigated areas.

Districts	pH (H ₂ O)	OM (%)	TN (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cation(cmol ⁺ /kg)			
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Samchang	6.76	7.19	0.07	1.54	229.0	138.6	95.4	10.4
Bongmyeong	5.13	4.46	0.07	5.45	281.3	63.4	120.8	12.2
Kabjeong	6.16	6.81	0.09	6.52	242.1	128.6	71.7	10.0
Dandong	4.80	4.52	0.15	12.94	132.1	24.2	64.9	8.0
Control	5.73	4.05	0.06	11.80	400.5	52.5	127.5	17.8

사는 25° 이상인 것으로 조사되었다(Table 1). 토양의 화학적 성질(Table 2)은 pH 4.80~6.76, 유기물 함량 4.46~7.19%, 전질소는 0.07~0.15%의 범위에 있었으며, 유효인산 함량은 삼창탄광의 1.54 mg/kg에서부터 단봉탄광의 12.94 mg/kg로 조사기간에 차이가 큰 것으로 나타났다. 본 조사지인 문경시의 연평균기온은 6.7°C, 연강수량은 1,401 mm로 나타났다.

2. 조사방법

경북 문경시의 폐탄광지에 대한 식생구조를 조사하기 위하여 매목조사를 실시하였다. 조사대상지로 선정된 4개 폐탄광지와 대조구를 포함하여 총 5개로 조사구를 구분하여 현장조사가 이루어졌다. 조사대상지로 선정된 각 조사지에서 5개씩 모두 25개의 조사구를 설정하였으며 표본추출방법은 상층과 중층은 10 m×10 m, 하층은 5 m×5 m 크기의 방형구를 이용한 중복법을 적용하였다. 층위별 구분은 방형구 내에 출현하는 모든 수종에 대해 6 m 이상의 수목군을 상층, 2 m 이하의 수목군을 하층, 그 사이의 수목군을 중층으로 구분하였다. 식생구조 분석을 위하여 각 조사구별로 상·중층은 흉고직경에 의한 단면적을, 하층은 수관폭을 측정하여 수종별로 밀도와 빈도를 계산하였으며, 피도는 우점도 계급에 따라 출현식물의 종별 피도를 측정하였다. 식생조사 결과 얻어진 자료를 이용하여 각 수종별로 상대밀도, 상대빈도, 상대피도를 산출한 후 각 수종의 중요치(importance value)를 산출하였다.

또한 종다양성은 종다양도, 균재도, 우점도에 의하여 종합 분석하였는데, 종구성 상태의 다양도를 나타내는 측도인 종다양도는 Shanon의 종다양도지수(H')를 적용하였고, 종다양도의 최대가능치를 나타내는 최대종다양도(Maximum H')는 H'max=log S(S는 수종)를 사용하였다. 균락내 구성

종간의 개체수의 분배정도를 나타내는 균재도(J')는 J'=H'/H'Max식을 이용하였으며 우점도는 1-J'식을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

경상북도 문경시 폐탄광지(삼창, 봉명, 갑정, 단봉탄광)와 주변 지역인 대조구의 식생조성을 구명하기 위하여 주변 산림의 종 구성 상태를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 상층에 있어서 삼창탄광과 봉명탄광은 각각 자작나무와 물오리나무만이 출현하여 100의 중요치를 나타내었으며, 갑정탄광은 아까시나무의 중요치가 46.5로 가장 높았으며, 이어 물오리나무 22.8, 소나무 16.0의 중요치를 나타내었다. 단봉탄광은 갑정탄광과 마찬가지로 아까시나무 64.2, 물오리나무 22.8, 소나무 13.0의 순으로 중요치가 높게 나타났다. 대조구에서는 6종이 출현하였으며 소나무의 중요치가 54.1로 가장 높았고 이어 신갈나무 13.2, 굴참나무 12.2, 졸참나무 10.1의 순이었다. 대조구에 나타난 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무 등 참나무과 식물은 폐탄광지 주변 산림에서는 전혀 나타나지 않았는데 민재기 등(2005)의 본 조사대상지의 산림토양 중 중금속 함량 분석에서 Al, Cd, Cu, Mn, Pb, Zn은 대조구에 비해 폐탄광지 주변 산림의 토양 중 중금속 함량이 유의적으로 높다는 보고를 고려하면 이들 참나무과 식물들은 토양환경에 대한 요구도가 강한 수종으로 추정된다. 중층의 경우 삼창탄광은 자작나무의 중요치가 87.5로 가장 높았으며 죽제비싸리 6.6과 참싸리 5.9의 순이었으며, 봉명탄광은 물오리나무 73.4와 아까시나무 26.6의 두 수종만이 출현하였다. 갑정탄광은 아까시나무의 중요치가 40.3으로 가장 높았으며 이어 물오리나무가 31.7의 중요치를 나타내는 등 6종이 출현하

Table 3. The importance value on the abandoned coal mine land in Mungyeong.

Layer	Scientific name	Samchang	Bongmyeong	Kabjeong	Danbong	Control
Upper	<i>Pinus densiflora</i>	-	-	16.0	13.0	54.1
	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	100	-	-	-	-
	<i>Alnus hirsuta</i>	-	100	37.5	22.8	-
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	-	-	46.5	64.2	-
	<i>Quercus mongolica</i>	-	-	-	-	13.2
	<i>Q. variabilis</i>	-	-	-	-	12.2
	<i>Q. serrata</i>	-	-	-	-	10.1
	<i>Prunus sargentii</i>	-	-	-	-	6.1
	<i>Betula schmidtii</i>	-	-	-	-	4.3
Middle	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	87.5	-	-	-	-
	<i>R. pseudoacacia</i>	-	26.6	40.3	56.2	-
	<i>Alnus hirsuta</i>	-	73.4	31.7	12.1	-
	<i>Pinus densiflora</i>	-	-	-	3.5	45.7
	<i>P. rigida</i>	-	-	11.5	7.8	-
	<i>P. koraiensis</i>	-	-	6.0	7.1	-
	<i>Quercus serrata</i>	-	-	-	-	16.0
	<i>Lindera erythrocarpa</i>	-	-	-	5.0	1.4
	<i>L. obtusiloba</i>	-	-	-	-	1.4
	<i>L. glauca</i>	-	-	-	-	1.4
	<i>Quercus variabilis</i>	-	-	4.6	-	1.5
	<i>Q. mongolica</i>	-	-	-	-	8.5
	<i>Q. dentata</i>	-	-	-	-	2.8
	<i>Symplocos chinensis</i> var. <i>pilosa</i>	-	-	-	2.6	-
	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	-	-	-	3.2	-
	<i>Syrax japonica</i>	-	-	-	-	3.2
	<i>Salix koreensis</i>	-	-	-	2.5	-
	<i>Rhus chinensis</i>	-	-	2.8	-	-
	<i>R. trichocarpa</i>	-	-	-	-	2.7
	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	-	-	-	-	1.4
	<i>Prunus sargentii</i>	-	-	-	-	5.9
	<i>Castanea crenata</i>	-	-	-	-	1.4
	<i>Juniperus rigida</i>	-	-	-	-	5.2
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	5.9	-	3.1	-	-
<i>Amorpha fruticosa</i>	6.6	-	-	-	-	
<i>Betula schmidtii</i>	-	-	-	-	1.5	
Lower	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	55.3	18.2	23.0	3.2	10.0
	<i>Rubus crataegifolius</i>	5.4	36.4	39.6	41.8	-
	<i>Alnus hirsuta</i>	-	32.1	3.1	2.7	-
	<i>Pinus koraiensis</i>	5.1	-	3.1	-	-
	<i>P. densiflora</i>	-	-	-	-	10.8
	<i>Quercus dentata</i>	-	-	4.3	-	1.3
	<i>Q. serrata</i>	-	-	2.7	-	13.0
	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	11.3	-	-	-	-
	<i>Lindera erythrocarpa</i>	2.4	-	-	6.3	2.9
	<i>L. obtusiloba</i>	-	-	2.7	6.3	5.4
	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	2.4	-	-	-	-
	<i>Actinidia arguta</i>	-	-	-	2.7	-
	<i>Syrax obassia</i>	-	-	-	-	1.6
	<i>Callicarpa japonica</i>	-	-	2.7	-	5.4
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	-	-	-	-	1.6
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-	-	-	-	2.5
<i>F. sieboldiana</i>	-	-	-	-	1.8	

Table 3. Continued

Layer	Scientific name	Samchang	Bongmyeong	Kabjeong	Danbong	Control
Lower	<i>Smilax china</i>	-	-	-	3.2	4.5
	<i>Rhus trichocarpa</i>	2.4	-	-	-	1.6
	<i>R. chinensis</i>	-	-	6.1	3.2	1.3
	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	2.4	-	10.2	6.3	3.2
	<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	-	7.5	2.6
	<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	-	-	-	-	1.3
	<i>Rubus parvifolius</i>	2.7	7.5	-	-	-
	<i>Stephanandra incisa</i>	-	6.2	-	13.9	4.5
	<i>Rosa multiflora</i>	-	-	2.7	-	1.5
	<i>Spiraea prunifolia</i> var. <i>simpliciflora</i>	-	-	-	-	1.7
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	-	-	-	-	6.4
	<i>R. mucronulatum</i>	-	-	-	-	15.1
	<i>Aster scaber</i>	-	-	-	3.2	-
	<i>Amorpha fruticosa</i>	10.7	-	-	-	-
	<i>Miscanthus sinensis</i>	11.3	3.2	22.7	6.7	4.2
	<i>Aster scaber</i>	-	-	10.5	2.6	4.7
	<i>Ca:amagrostis arundinacea</i>	13.4	-	7.3	7.5	11.6
	<i>Carex lanceolata</i>	2.0	-	8.1	10.4	5.3
	<i>Corchoropsis tomentosa</i>	-	37.9	-	-	-
	<i>Arundinella hirta</i>	19.3	-	-	-	4.3
	<i>Aster yomena</i>	11.8	-	-	-	-
	<i>Eupatorium frotneni</i>	-	-	14.3	-	-
	<i>Solanum nigrum</i>	-	-	-	5.2	-
	<i>Osmunda japonica</i>	-	-	-	-	2.2
	<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	-	-	2.4	-	4.2
	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	-	4.5	-	10.4	-
<i>A. capillaris</i>	-	2.2	-	-	-	
<i>Chrysanthemum boreale</i>	2.0	1.9	-	-	-	
<i>C. zawadskii</i>	5.9	-	-	-	-	
<i>C. zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	2.0	1.9	-	-	1.6	
<i>Eigeron annuus</i>	-	2.2	-	-	-	
<i>Bidens bipinnata</i>	-	2.2	-	-	-	
<i>A. ciliatus</i>	-	2.2	-	-	-	
Herb	<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>	1.7	-	-	-	-
	<i>Saussurea seoulensis</i>	-	1.8	-	-	-
	<i>S. grandifolia</i>	-	-	-	-	2.7
	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>	-	2.2	-	-	-
	<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	-	1.9	-	-	-
	<i>E. chinense</i> var. <i>simplicigolium</i>	-	2.2	-	-	-
	<i>Syneilesis palmata</i>	-	-	2.4	-	1.1
	<i>Atractylodes japonica</i>	-	-	-	-	1.6
	<i>Ainsliaea acerifolia</i>	-	-	-	-	2.6
	<i>Synurus deltooides</i>	-	-	-	-	1.1
	<i>Mosla punctulata</i>	-	3.2	-	-	-
	<i>Elsholtzia ciliata</i>	1.7	4.1	-	-	-
	<i>Cephalanthera longibracteata</i>	-	-	-	-	1.1
	<i>Pyrola japonica</i>	-	-	-	-	6.9
	<i>Chimaphila japonica</i>	-	-	-	-	5.3
	<i>Lindera erythrocarpa</i> (sd)	-	-	-	3.8	2.6
	<i>L. obtusiloba</i> (sd)	-	-	-	-	7.4
	<i>Actinidia arguta</i>	-	-	-	3.8	-
	<i>Commelina communis</i>	-	8.7	-	-	-
	<i>Dioscorea quinqueloba</i>	-	-	1.9	5.2	-

이었다. 이들 식물중 단풍취와 노루오줌 그리고 대사초는 강원도 태백지역에서도 대조구에만 출현하는 것으로 보고(민재기 등, 2004)된 바 있어 폐탄광지와 같이 인위적으로 교란되어 토양환경이 척박한 곳에 대해서는 적응력이 약한 것으로 추정된다. 한편 문경지역 폐탄광지의 3개 조사지에서 출현한 초본종은 참억새와 실새풀 그리고 그늘사초 3종이었으며 이들 초본식물에 대해서는 민재기 등(2004)도 강원도 태백지역 폐탄광지에 대한 조사에서도 같은 결과를 보고한 바 있어 열악해진 토양환경에 대한 적응력이 강한 것으로 추정된다. 특히 참억새와 실새풀의 경우 공단지역의 환경오염이 심한 곳에서 높은 우점도를 나타내었다고 보고되기도 하였다(김태욱 등, 1983). 비록 폐탄광지역의 식생조사에 대한 연구결과가 많지 않아 본 연구결과와의 비교·고찰은 제한적일 수 있기 때문에 본 결과를 활용하기 위해서는 추후 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 그러나 대표를 중심으로 한 인공적인 식생복원보다는 시간적으로는 다소 소요되겠으나 주변 산림으로부터 자연이입되어 잘 자라는 상기 종들을 이용한다면 토양의 안정화와 주변 산림과 생태적으로 건전한 산림으로 복원할 수 있다는 면에서는 보다 효과적일 수 있을 것으로 추정된다(김정규 등, 1999).

본 조사지의 각 층위별 종다양도 지수를 Table 4에 나타내었다. 본 조사지는 일반 산림과 달리 석탄채굴이라는 인위적인 교란으로 산림이 파괴된 지역이기 때문에 층위별로 종다양도 지수를 이용하여 조사지별로 보다 상세한

분석을 하였다. 삼창탄광과 봉명탄광은 상층에 각각 자작나무와 물오리나무의 1종만이 출현하였으며 갑정탄광과 단봉탄광은 소나무, 물오리나무, 아까시나무의 3종이 나타나 현재 폐탄광지의 상층을 구성하는 수종은 모두가 인공식재 수종이라는 것을 알 수 있다. 대조구에서는 6종의 식물이 출현하는 것으로 나타났다. 중층의 경우 삼창탄광 0.201, 봉명탄광 0.255, 갑정탄광 0.650, 단봉탄광 0.666의 종다양도로 일반 산림지역보다 아주 낮은 종다양도를 나타내었으며 대조구는 이보다 높은 0.831의 종다양도를 나타내었다. 민재기 등(2004)은 강원도 태백지역의 폐탄광지에 대한 조사에서 중층의 종다양도는 0.4 이하라고 보고한 바 있는데 삼창탄광과 봉명탄광은 이와 유사한 결과이나 본 조사지인 갑정탄광과 단봉탄광의 경우는 이보다 높은 종다양도를 나타내어 자연적인 식생복원이 보다 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다. 본 조사지의 중층과 하층의 종다양도가 일반 산림지역이나 본 조사지의 대조구 등에 비해 낮게 나타난 것은 폐탄광지라고 하는 특수한 환경에 대한 내성이 강한 수종들로 이루어져 있다는 것과는 상·중층을 형성하고 있는 수종이 빈약하여 광조건이 대조구에 비해 좋은 조건에 놓여 있기 때문인 것으로 판단된다. 균재도는 상대적인 종다양도로서 그 값이 1에 가까울수록 종별 개체수가 균일한 상태에 있다는 것을 의미하는데(Brower and Zar, 1977), 중층은 삼창탄광 0.421, 봉명탄광 0.847, 갑정탄광 0.769, 단봉탄광 0.698의 균재도를 나타내었으며 대조구는 0.707의 균재도를 나타내었다.

Table 4. Values of species diversity by each layer on the abandoned coal mine land in Mungyeong.

Districts	Layer	No. of species (S)	Species diversity (H')	Maximum H' (H' max)	Evenness (J')	Dominance (1-J')
Samchang	Upper	1	-	-	-	-
	Middle	3	0.201	0.477	0.421	0.597
	Lower	10	0.683	1.000	0.683	0.317
	Herb	20	1.127	1.301	0.866	0.134
Bongmyeong	Upper	1	-	-	-	-
	Middle	2	0.255	0.301	0.847	0.153
	Lower	5	0.612	0.699	0.875	0.125
	Herb	24	1.102	1.380	0.798	0.202
Kabjeong	Upper	3	0.442	0.500	0.884	0.116
	Middle	7	0.650	0.845	0.769	0.231
	Lower	11	0.799	1.041	0.767	0.233
	Herb	19	1.105	1.279	0.864	0.136
Danbong	Upper	3	0.385	0.500	0.770	0.230
	Middle	9	0.666	0.954	0.698	0.302
	Lower	12	0.895	1.079	0.829	0.171
	Herb	19	1.238	1.279	0.968	0.032
Control	Upper	6	0.605	0.778	0.778	0.222
	Middle	15	0.831	1.176	0.707	0.293
	Lower	17	1.218	1.230	0.990	0.010
	Herb	32	1.406	1.505	0.785	0.215

Table 3. Continued

Layer	Scientific name	Samchang	Bongmyeong	Kabjeong	Danbong	Control
	<i>Hypericum erectum</i>	-	-	-	3.8	-
	<i>Clematis brachyura</i>	-	-	-	-	1.1
	<i>Oenothera odorata</i>	9.3	1.9	-	-	-
	<i>Cocculus trilobus</i> (sd)	-	-	1.9	3.8	2.7
	<i>Allium thunbergii</i>	-	1.9	-	-	-
	<i>Hemerocallis fulva</i>	-	-	9.1	-	1.1
	<i>Smilax china</i> (sd)	-	-	-	3.8	-
	<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>davidii</i>	-	-	-	-	1.6
	<i>Setaria viridis</i>	-	4.5	-	-	-
	<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i>	2.0	-	-	-	-
	<i>Eragrostis ferruginea</i>	-	1.8	-	-	-
	<i>Arthraxon hispidus</i>	-	-	-	7.5	-
	<i>Clematis apiifolia</i>	-	2.2	-	-	-
	<i>C. siderosticta</i>	-	-	-	-	1.6
	<i>Angelica decursiva</i>	-	-	-	2.6	-
	<i>Boehmeria spicata</i>	-	-	2.4	-	-
	<i>Lysimachia barystachys</i>	-	1.9	2.4	-	3.9
	<i>Lonicera japonica</i>	-	-	-	-	1.6
	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> (sd)	1.7	-	-	-	-
	<i>Potentilla freyniana</i>	2.0	-	-	-	3.1
	<i>P. fragarioides</i> var. <i>major</i>	-	-	2.4	-	-
Herb	<i>Prunus dargentii</i>	1.7	-	-	-	-
	<i>Viola mandshurica</i>	-	-	-	6.4	-
	<i>V. acuminata</i>	-	-	-	3.8	-
	<i>V. dissecta</i> var. <i>takahashi</i>	-	-	-	6.4	-
	<i>Asarum sieboldii</i>	-	-	1.9	-	-
	<i>Rhododendron mucronulatum</i> (sd)	-	-	-	-	2.7
	<i>Quercus acutissima</i> (sd)	1.7	-	-	-	-
	<i>Q. variabilis</i> (sd)	1.7	-	-	-	2.7
	<i>Castanea crenata</i>	-	1.9	-	-	-
	<i>Q. serrata</i> (sd)	-	-	-	3.7	3.1
	<i>Platycodon grandiflorum</i>	-	-	-	-	1.1
	<i>Codonopsis lanceolata</i>	-	-	-	-	1.6
	<i>Aeschynomene indica</i>	1.7	-	-	-	-
	<i>Lespedeza caryobotrya</i> (sd)	4.7	-	-	-	-
	<i>Pueraria thunbergiana</i>	-	-	-	2.6	-
	<i>Corydalis pallida</i> var. <i>tenuis</i>	-	-	1.9	-	-
	<i>Youngia denticulata</i>	2.4	-	1.9	-	-
	<i>Convallaria keiskei</i>	-	-	1.9	-	-
	<i>Disporum smilacinum</i>	-	-	2.2	-	-
	<i>Chenopodium glaucum</i>	-	2.2	-	-	-
	<i>Callicarpa japonica</i> (sd)	-	-	-	-	1.6
	<i>Isodon japonicus</i>	-	-	2.4	-	-

Note) sd : seedling

였다. 단봉탄광은 9종이 출현하여 경북 문경지역 폐탄광 지 조사지 중 가장 많은 출현종수를 나타내었으며, 그중 아까시나무의 중요치가 56.2로 가장 높게 나타났다. 토양 pH가 4.80으로 강산성을 나타내고 있는 단봉지역의 중층과 하층의 출현종수가 많은 것은 특이할 만하다. 대조구에서는 15종이 출현하였으며 소나무의 중요치가 45.7로 가장 높게 나타났으며 이어 졸참나무 16.0, 신갈나무 8.5

의 순이었다. 김정규 등(1999)은 소나무는 전국의 휴·폐 광지역에서 출현빈도가 높다고 보고한 바 있는데 본 조사지인 문경지역의 상층과 중층에서는 낮은 중요치를 나타내어 상반되는 경향이었다. 대조구의 중층에서는 출현하였으나 폐탄광지 조사지에서는 전혀 출현하지 않은 수종은 박달나무, 생강나무, 백동백나무, 졸참나무, 신갈나무, 떡갈나무의 6종이었다. 중층에 있어서 대조구에서는 출현

하지 않지만 폐탄광지에서 높은 중요치를 나타낸 자작나무, 물오리나무, 아까시나무 등은 1991~94년에 걸친 인공식재의 결과이다. 민재기 등(2004)의 강원도 태백시의 폐탄광지에 대한 조사에서 물오리나무와 아까시나무의 중요치가 높게 나타난 것은 인공식재에 의한 것이라는 결과와도 일치하였다. 본 조사지역의 복구사업은 벌써 10여년이 경과되었으나 토양상태 등 제반조건이 불량하기 때문인지 현장 조사당시 복구식물의 생육도 좋지 않은 상황이었다. 복구수종으로 선정된 이 수종들은 폐광지역 주변에 생육하고 있는 수종들과는 다른 수종들로서 채광 이전의 생태계로 복원되기까지는 상당히 오랜 기간을 필요로 하며 또한 그 지역의 자연생태계와 이질감을 조성시키는 단점이 있다. 따라서 폐탄광 지역을 산림으로서의 기능을 할 수 있을 때까지는 인위적인 복구수종이 아니라 폐석지에 대한 내성이 강한 향토수종의 선정이 이루어져 복원이 되어야 할 것으로 사료된다(김정규 등, 1999; 이재천 등, 2002).

하층에 있어서는 삼창탄광 10종, 봉명탄광 5종, 갑정탄광 11종, 단봉탄광 12종이 출현하였으며, 대조구에서는 17종이 출현하는 것으로 나타났다. 중요치는 삼창탄광에서는 참싸리가 55.3으로 가장 높았으며, 봉명탄광은 산딸기와 물오리나무의 중요치가 각각 36.4, 32.1로 가장 높게 나타났다. 갑정탄광은 산딸기의 중요치가 39.6, 참싸리의 중요치가 23.0으로 가장 높았으며 단봉탄광은 산딸기의 중요치가 41.8로 가장 높게 나타났다. 대조구에서는 진달래의 중요치가 15.1로 가장 높았으며 이어 참싸리가 10.0의 중요치를 나타내었다. 하층에서 3개 이상 조사대상지에서 출현한 식물은 산딸기, 참싸리와 산초나무 3개 수종이었다. 이중 참싸리와 산초나무는 대조구에도 출현하므로 자연 이입되었다는 것을 알 수 있으나 산딸기의 경우는 대조구에는 출현하지 않았으나 전 조사지에서 중요치도 높게 나타났으므로 어딘가로부터 이입되었을 것이나 이 식물의 번식기관의 산포범위 등에 대한 정보가 없기 때문에 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 산딸기와 참싸리의 중요치에 있어서 조사지별로 어느 정도 차이는 있으나 전 조사지에 출현하는 것으로 보아 폐탄광지에 대한 내성이 강한 수종이라 추정된다. 산딸기와 참싸리에 대해서는 김보현 등(2000)은 폐탄광 경석지 식생복원을 위한 식물군집 조사에서, 김혜주 등(2000)은 폐탄광지의 식생복원·녹화공법 개발이라는 연구에서도 동일한 결과를 보고한 바 있다. 또한 민재기 등(2004)도 산딸기와 참싸리는 폐탄광지에 대한 내성이 강하기 때문에 폐탄광지의 식생복원에 효과적으로 활용할 수 있을 것이라고 보고한 바 있다. 한편 폐탄광지 조사지와 인접한 대조구에만 출현한 수종으로는 소나무, 쪽동백나무, 쥐똥나무, 물푸레나무, 쇠불푸레, 개암나무, 조팝나무, 철쭉, 진달래의 9종으로 조사

되었다. 인공식재를 통한 식생복원이 벌써 10여년이 경과했다는 점을 고려하면 비록 대조구 내에서의 중요치와 주변 산림으로부터의 종자이입 등에 대한 체계적인 연구가 필요하겠으나 주변 산림으로부터 자연스럽게 종자가 이입될 수 있다는 사실로 미루어 상기 9수종은 폐탄광지와 같이 토양환경이 열악한 지역에 대한 식생복원에는 활용도가 낮을 것으로 추정된다. Hiller(1997), Wipf(1993) 그리고 Schulz(1991) 등은 폐탄광지 녹화에 관한 연구에서 폐석지를 대상으로 다년생의 콩과 식물을 중심으로 한 식물종자를 파종하면 이들이 스스로 폐탄광지의 토양을 개선하여 식물생장에 유리한 환경을 조성하게 되고 그 다음 단계로 주변 산림지역의 식생을 고려하여 우선 선구식물을 중심으로 목본식물을 파종 및 식재함으로써 효과적인 녹화성과를 얻을 수 있다고 보고한 바 있다. 상기의 연구 결과를 고려하면 토양조건이 열악한 폐탄광지와 같은 지역은 교목성 수종을 인공식재하여 식생복원을 시도할 수도 있겠으나 그 효과라는 측면을 고려한다면 관목이나 초본을 통해 토양환경을 어느 정도 안정화시킨 후 인공식재를 통한 식생복원이 보다 효과적인 것으로 사료된다.

초본층의 출현종수는 삼창탄광이 20종, 봉명탄광이 24종, 갑정탄광과 단봉탄광이 19종 그리고 대조구에서는 32종이 나타나 폐탄광지 중에서는 봉명탄광의 출현종수가 가장 많은 것으로 조사되었다. 각 조사지의 중요치는 삼창탄광의 경우 새(*Arundinella hirta*)가 19.3으로 가장 높았으며 이어 실새풀(*Calamagrostis arundinacea*) 13.4, 쑥부쟁이(*Aster yomena*) 11.8, 참억새(*Miscanthus sinensis*) 11.3으로 비슷한 중요치를 나타내었다. 폐탄광지 중 가장 많은 출현종수를 기록한 봉명탄광은 수까치개(*Corchoropsis tomentosa*)의 중요치가 37.9로 가장 높게 나타났으며 닭의장풀(*Commelina communis*)의 중요치가 8.7로 나타났다. 수까치개는 다른 조사지와 대조구에는 전혀 출현하지 않고 봉명탄광에서만 높은 중요치를 나타내는 특이한 현상을 나타내었다. 갑정탄광은 참억새의 중요치가 22.7로 가장 높았으며 이어 벌등골나물(*Eupatorium frofumei*) 14.3의 중요치를 나타내었다. 단봉탄광은 쑥(*Artemisia princeps* var. *orientalis*)과 그늘사초(*Carex lanceolata*)의 중요치가 각각 10.4로 가장 높게 나타났다. 대조구의 경우는 실새풀의 중요치가 11.6으로 가장 높게 나타났다. 대조구에는 출현하나 폐탄광지 조사지에서는 출현하지 않은 초본종은 서덜취(*Saussurea grandifolia*), 삼주(*Atractylodes japonica*), 단풍취(*Ainsliaea acerifolia*), 수리취(*Synurus deltoides*), 은대난초(*Cephalanthera longibracteata*), 노루발(*Pyrola japonica*), 매화노루발(*Chimaphila japonica*), 외대으아리(*Clematis brachyura*), 노루오줌(*Astilbe chinensis* var. *dauidii*), 대사초(*Carex siderosticta*), 도라지(*Platycodon graniflorum*), 더덕(*Codonopsis lanceolata*)의 12종

하층의 경우는 대조구가 0.990의 균재도를 나타내었으나 조사대상지인 폐탄광지역의 균재도는 0.683~0.875로 나타나 폐탄광지역이 대조구보다 균재도가 낮은 것으로 조사되었다. 초본층은 폐탄광지역의 균재도가 0.798~0.968로 나타나 대조구 0.785보다 높은 균재도를 나타내었다. 민재기 등(2004)의 강원도 태백지역의 폐탄광지에 대한 조사에서 중·하층의 균재도는 대조구보다 높다는 보고와는 다른 경향이였다. 이재천 등(2002)은 폐탄광지역과 같이 인위적으로 교란된 지역의 균재도는 비교란지역인 대조구에 비해 균재도가 높게 나타나 종별 개체수가 보다 균일한 경향을 보인다고 하였으며, 이러한 원인은 폐탄광지역의 식생은 폐탄광지와 같이 교란된 지역에 대한 적응력이 강한 수종들이 주변 산림으로부터 이입되어 개척종으로 정착하였기 때문이라고 보고한 바 있다. 본 조사지의 초본층은 그와 유사한 결과를 나타내었지만 중·하층은 지역별로 차이가 있었다. 이러한 차이에 대해서는 토양환경 등 지역적인 차이에 대한 측면에서 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 추정된다.

일반적으로 폐탄광지역 주변에 종자의 공급원이 있을 경우 폐탄광지의 식생복원이 빠르게 이루어질 수 있을 것이기 때문에 주변 산림의 식생 구성종이 폐탄광지의 식생 복원에 중요한 인자로 작용할 수 있다고 Walker *et al.*(1986)과 Tsuyuzaki(1995)는 보고한 바 있다. 또한 Tilman(1988)은 인위적인 교란 후에 나타나는 특징 수종의 단기간의 동태에서 장기간의 효과를 예측한다는 것은 위험하다고 보고한 바 있다. 그러므로 본 조사결과를 활용하여 폐탄광지와 같이 인위적으로 교란된 지역에 대한 식생동태를 구명하기 위해서는 지역적인 기후조건을 고려한 장기적인 monitoring과 주변 산림으로부터 이입되는 식물의 성장상황 등을 고려하여 식생복원에 활용할 수 있는 향토수종 선정 등 보다 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 김보현, 김경훈, 김혜주, 김두하. 2000. 폐탄광 경석지 식생 복원을 위한 식물군집 조사·분석. 한국환경복원녹화기술학회지 3(4): 33-42.
2. 김정규, 임수길, 이상환, 이창호, 정창윤. 1999. 휴·폐광지역 오염토양의 phytoremediation을 위한 식물자원 검색. 한국환경농학회지 18(1): 28-34.
3. 김태욱, 이경재, 박인협, 김준선. 1983. 환경오염이 식물군집에 미치는 영향에 관한 연구. 한국환경농학회지 2(1): 35-44.
4. 김혜주, 김보현, 김두하. 2000. 폐탄광지의 식생 복원·녹화공법 개발을 위한 기초 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 3(4): 43-51.
5. 민재기, 이정환, 우수영, 김종갑, 문현식. 2004. 강원도 태백지역 폐탄광지의 식생구조에 관한 연구. 한국농림기상학회지 6(4): 256-264.
6. 민재기, 박은희, 문현식, 김종갑. 2005. 문경지역 폐탄광지 주변 산림토양의 화학적 성질 및 중금속 함량. 한국농림기상학회지 7(4): 265-273.
7. 석탄산업합리화사업단. 1997. 사업단 10년사. 오름시스템(주) 271-296.
8. 오구균. 2000. 1995년 전·후 폐탄광지 복구시공 비교평가. 폐탄광지의 환경복원녹화기술개발 국제심포지움, 99-132.
9. 우보명. 2000. 폐탄광지의 산림훼손지복구 및 폐석유실방지대책에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 3(2): 24-34.
10. 이재천, 한심희, 장석성, 이정환, 김관기, 허재선, 염규진. 2002. 태백지역 석탄 폐석지의 식생복원을 위한 향토수종 선발. 한국농림기상학회지 4(2): 86-94.
11. Brower, J. E. and J. H. Zar. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. Wm. C. Brown Pub. Co. Iowa. pp. 184
12. Hiller, D. A. 1997. Rekultivierung von Bergmaterialhalden des Steinkohlenbergbaues. In: Dt. Inst. f. Fernstudienforschung an der Uni. Tuebingen (Hrsg.): 383-391.
13. Nanda Kumer, P.B.A., V. Dushenkov, H. Motto and I. Raskin. 1995. phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science and Technology 29: 1232-1238.
14. Pitchel, J., K. Kuroiwa and H.T. Sawyerr. 2000. Distribution of Pb and Ba in soils and plants of two contaminated sites. Environmental Pollution 110:171-178.
15. Salt, D.E., M. Blayblocj, P.B.A. Nande Kumer, V. Dushenkov, B.D. Ensley, I. Chet and I. Raskin. 1995. Phytoremediation: a model strategy for the removal of toxic metals from the environmental using plants. Biotechnology 13: 468-474.
16. Schulz, D. 1991. Begrueungsmassnahmen bis Anfang der 80er Jahre. In: Wiggering und Kerth (Hrsg.): Berghalden des Steinkohlenbergbaus. Wiesbaden. 163-166.
17. Tilman, D. 1988. Plant strategies and dynamics and structure of plant communities. Princeton Univ. Press. pp. 480
18. Tsuyuzaki, S. 1995. Vegetation recovery patterns in early volcanic succession. Plant Research 108: 241-248.
19. Walker, L. R., J. C. Zasada and F. S. Chapin. 1986. The role of life history processes in primary succession on an Alaskan flood plain. Ecology 67: 1243-1253.
20. Wipf, J. 1993. Rekultivierung von Berghalden, Steinkohlenbergbau an der Ruhr-Leitziele bei Rekultivierungen. In: LA 5: 37-38.