

## 폐탄광 경석지 식생 복원을 위한 식물군집 조사·분석

- 강원도 태백시 함태탄광 폐탄광지를 사례로 -

김보현<sup>1)</sup> · 김경훈<sup>1)</sup> · 김혜주<sup>1)</sup> · 김두하<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>삼성에버랜드주식회사 환경개발사업부

## Plant Community Survey and Analysis for Restoration of Vegetation in Coal-mined Spoil Lands

- A Case Study of Hamtae Coal-mined Spoil Lands in Taebaek City, Kangwondo -

Bo-Hyun Kim<sup>1)</sup>, Kyung-Hoon Kim<sup>1)</sup>, Hyea-Ju Kim<sup>1)</sup> and Doo-Ha Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Environmental Development Div., SAMSUNG EVERLAND Inc.

### ABSTRACT

This study is carried out to investigate plant community structure, actual vegetation map and flora for examining the relationship between naturally introduced vegetation and surrounding vegetation in Hamtae coal-mined spoil lands. According to the analysis of vegetation, surrounding vegetation was divided into five plant community groups : *Pinus koraiensis* community, *Pinus densiflora* - *Quercus mongolica* community, *Q. mongolica* - Deciduous broadleaved trees community, *Betula schmidtii* - *B. davurica* community, *Larix leptolepis* community. *Robinia pseudo-acacia*, which had been planted, was dominant species in coal-mined spoil lands. Young trees, which were naturally introduced, such as *B. schmidtii*, *B. davurica* etc., partially appeared with the high density(15~19ea/100m<sup>2</sup>) in coal-mined spoil lands. The flora of this area was listed as 54 taxa; 22 families, 42 genus, 50 species, 3 varieties and 1 forma. Especially *Spodiopogon sibiricus*, *Miscanthus sinensis*, *Arundinella hirta*, *Artemisia capillaris*, *Artemisia iwayomogi* and *Youngia denticulata* appeared with the high frequency. It is estimated that the proper way for harmonious and effective revegetation is to target *B. schmidtii* - *B. davurica* communities and to seed *B. schmidtii* - *B. davurica* mixing highly frequent herbaceous species.

Key words : Coal-mined spoil lands, Plant community, Naturally introduced vegetation, *Betula schmidtii*, *Betula davurica*

## I. 서 론

석탄채굴과정에서 부수적으로 발생하는 폐탄광 경석지(硬石地)(이하 폐탄광지)는 표면의 온도가 높고 급경사인 지역이 대부분이며, 탄소와 질소의 함유량이 낮아 식물이 생육하기에 곤란한 환경을 갖추고 있다. 또한 철, 알루미늄 등 중금속을 포함한 경석이 침식 유출되면서 하천과 자연생태계를 오염시키고 있다. 석탄합리화사업단(CIPB : Coal Industry Promotion Board)에서는 1995년 이후 폐광후 방치된 사택촌 및 각종 폐시설물, 폐갱구에서 유출되고 있는 폐수, 폐갱도 붕괴로 인한 지반침하 등 재해를 방지하기 위해 복구사업과 함께 채굴활동으로 훼손된 산림과 폐탄광지의 녹화사업을 시행중이다. 폐탄광지에 대한 복구 녹화공사는 해당 광업주가 시행해야 하지만 재정형편이 빈약하여 1995년부터는 석탄합리화사업단에서 복구 녹화사업을 수행하고 있다. 그러나 이들 지역의 입지여건이 좋지 못하고, 특히 토양조건이 열악하여 녹화공사를 통한 산림복구에 어려운 점이 많아 주변환경과 조화를 이루면서 효과적으로 폐탄광지를 녹화할 수 있는 공법개발이 요구되고 있다.

훼손지의 식생 복원·녹화는 침식방지, 야생동물서식처 제공, 경관성 확보 등을 다양한 기능을 수행할 수 있도록 주변의 자연식생군집을 재현하는 것이 바람직하다. 또한 자연식생은 유사한 환경조건을 지닌 인근지역의 생태적 복원에 모델이 될 수 있어(Turner, 1987; Magee, 1983), 자연식생의 군집구조는 식생의 복원계획 수립에 중요한 정보를 제공한다. 따라서 식생의 복원·녹화 계획을 수립하기 위해서 대상지 주변식생에 대한 면밀한 조사가 이루어져야 하며, 조사결과를 토대로 식생의 복원·녹화계획을 구체화시켜 나가야 할 것이다. 이러한 측면에서 본 연구는 폐탄광지 주변 산림지역의 식생과 폐탄광지에 자연이입된 식생을 비교·분석하여, 폐탄광지 적응성이 강한 자생종을 선발하고 주변 산림과 유사한 식생으로 생태적천이가 빠르게 진행될 수 있는 방안을 모색하였다.

## II. 조사 및 분석방법

### 1. 조사지 개황

연구대상지는 강원도 태백시 소도동 유다래미골에 위치한 함태탄광 폐탄광지로 태백산도립공원의 북서쪽 경계부에 위치하고 있으며, 태백시와 영월을 연결하는 국도 31호선에 접해 있다. 함태탄광은 1978년 개광한 후 1993년 12월에 폐광되었으며, 폐광된후 방치되어 있던 폐탄광지를 1995년~1996년 사이에 산돌쌓기, 돌수로공, 아까시나무 식재 등 복구공사를 실시하였다(석탄산업합리화사업단, 1996).

### 2. 현존식생조사 및 식생조사구 설정

폐탄광지에 자연이입된 식생과 주변식생과의 관계를 규명하기 위하여 폐탄광지를 중심으로 주변지역의 현존식생도를 작성하고 식생조사구를 설치하였다. 현존식생조사는 식생상관을 기본으로 하여 1 : 5,000 지형도에 도면화하였으며, 필요시 우점종을 조사하여 보완하였다. 현존식생도는 폐탄광지를 중심으로 주변에 분포하고 있는 모든 식생유형이 포함되도록 반경 300m내의 구간을 대상으로 작성한 후 식생 유형별 분포면적을 계산하였다. 식생조사구는 현존식생 조사결과를 참고로 10m×10m(100m<sup>2</sup>) 크기의 조사방형구 18개소를 폐탄광지 주변에 설치하였으며, 폐탄광지에는 동일한 크기의 방형구 8개소를 설치하였다(그림 1).

그림 1. 식생 조사구 위치도

### 3. 식물군집구조 조사

본 연구대상지에 대한 환경요인으로 조사구별 해발고도, 방위, 경사도, 층위별 평균수고 및 흉고직경, 울폐도, 출현종수 등을 조사하였다. 식생조사는 조사구에서 출현하는 식물종을 대상으로 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층(높이 50cm 이하의 목본 포함) 등 4개 층위로 구분하여 조사하였다. 교목층과 아교목층은 흉고직경과 수고를 측정하였으며, 관목층과 초본층은 각 종별 피도와 높이를 측정하였다. 측정된 자료를 바탕으로 Curtis & McIntosh(1951)의 방법으로 층위별 상대우점치(I.V. : importance value)를 계산하였으며, Ellenberg(1956)의 방법으로 유사도 지수를 계산하였다. 식생자료를 정리하여 DCA(detrended correspondence analysis) 방법(Hill, 1979)으로 ordination 분석을 실시하여 군집을 분리하였다. 이상의 모든 분석은 서울시립대학교 환경생태발전연구실에서 개발한 PDAP(plant data analysis package)를 사용하였다.

### 4. 폐탄광지 식물상 조사

폐탄광지에 적응성이 있는 식물종을 파악하기 위하여 식물상 조사를 실시하였다. 식물상은 현지에서 채집, 동정하여 식물종을 확인하였으며, 식물종 목록(plant species inventory)은 식물도감(이창복, 1993)의 배열체계에 따라 작성하였다. 이상의 모든 조사는 2000년 4월에 예비조사를 실시한 후 6월에 본조사를 실시하였으며, 7월과 8월 2차례에 걸쳐 보완조사를 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 폐탄광지 주변 산림의 현존식생 및 식물군집 구조

#### 1) 폐탄광지 주변의 현존식생

폐탄광지 주변 현존식생은 잣나무인공림, 소나무-신갈나무군집, 신갈나무-낙엽활엽수군집, 박달나무-물박달나무군집, 일본잎갈나무인공림 등 5개의 식생유형과 폐탄광지, 주거지, 도로 등이

포함된 기타지역으로 구분되었다(그림 2). 이중 신갈나무와 피나무, 박달나무, 물박달나무, 산벚나무 등이 혼생하고 있는 신갈나무-낙엽활엽수군집의 비율이 34.6%로 가장 높았으며, 잣나무인공림(18.5%), 박달나무-물박달나무군집(12.3%), 소나무-신갈나무군집(8.0%), 일본잎갈나무인공림(2.5%) 순으로 높은 비율을 차지하였다(표 1). 신갈나무-낙엽활엽수군집은 계곡부를 제외하고 지형에 관계없이 고르게 분포하였으며, 박달나무-물박달나무군집은 경사가 급한 북동사면이나 계곡부 저지대에 분포하였고, 소나무-신갈나무군집은 북서사면과 능선부에 위치하는 분포 특성을 보였다.

그림 2. 폐탄광지 주변 산림의 현존식생도

표 1. 폐탄광지 주변 산림의 현존식생 면적 비율(%)

Community	Proportion(%)
<i>Pinus koraiensis</i>	18.5
<i>Pinus densiflora</i> - <i>Quercus mongolica</i>	8.0
<i>Quercus mongolica</i> -Deciduous broadleaved trees	34.6
<i>Betula schmidtii</i> - <i>Betula davurica</i>	12.3
<i>Larix leptolepis</i>	2.5
Coal-mined spoil	11.1
Others	13.0

#### 2) 폐탄광지 주변 산림식생의 군집구조

##### (1) 조사구 개황

표 2는 ordination 기법 중 DCA 방법을 적용하여 분리한 폐탄광지 주변 5개 식물군집의 각 조사구별 일반적개황을 나타낸 것이다. 식생조사구는 해발 700~800m 사이의 북, 북동, 북서

표 2. 주변 산림지역 식생 조사구의 일반적 개황

Community	I			II			III				IV				V			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	10	11	13	14	15	16	17	18
Plot Number																		
Altitude(m)	775	760	755	725	725	750	750	780	775	730	720	720	725	735	745	730	735	730
Aspect	290	307	300	290	280	117	65	110	95	90	285	295	110	55	75	340	334	325
Slope(°)	34	33	36	35	38	38	38	38	34	27	35	37	28	36	42	28	30	32
Height of tree layer(m)	10	10	10	11	12	11	10	11	12	13	11	11	10	11	11	20	20	20
Mean DBH of tree layer(cm)	16	14	12	16	25	14	12	13	15	20	15	17	18	13	12	20	23	20
Cover of tree layer(%)	60	40	40	50	60	75	80	80	80	80	65	65	70	75	75	70	60	65
Height of subtree layer(m)	5	5	5	-	-	4	6	5	7	5	-	-	4	5	5	-	-	-
Mean DBH of subtree layer(cm)	7	5	5	-	-	4	5	5	5	5	-	-	4	5	13	-	-	-
Cover of subtree layer(%)	30	20	30	-	-	50	50	50	25	40	-	-	20	30	40	-	-	-
Height of shrub layer(m)	1.2	1.2	1.2	1.0	0.8	1.8	1.5	0.8	1.5	1.8	1.0	1.0	1.5	1.2	1.0	1.0	1.2	1.2
Cover of shrub layer(%)	80	80	70	60	40	35	20	10	40	30	60	70	40	30	30	50	50	40
Cover of herb layer(%)	5	10	20	5	20	5	5	5	10	20	5	50	30	10	200	30	40	30
Number of species	12	10	9	10	8	9	9	9	8	16	10	15	19	15	10	17	28	16

사면에 주로 위치하였으며, 경사는 27~42°로 비교적 급했다. 교목층의 평균수고는 일본잎갈나무군집(V)이 20m로 가장 높았으며, 그외의 군집은 10~13m 이었다. 100m<sup>2</sup>당 평균 출현 종수는 13종이었다. 한편 잣나무군집(I), 소나무-신갈나무군집(II), 박달나무-물박달나무군집(IV), 일본잎갈나무군집(V)의 일부 조사구는 간벌작업으로 아교목층을 제거한 상태이었다.

(2) 조사구의 ordination 분석

ordination은 식물군집의 구조를 밝히고 군집과 환경과의 상호관계를 유추해 내는 것으로 (Ter Braak, 1986) 페탄광지 주변산림에 설치한 18개 조사구에 대해 ordination 기법 중 DCA 방법을 적용하여 식생군집 분석을 실시하였다(그림 3). DCA 분석 결과 제1축과 제2축의 eigenvalue가 각각 0.804, 0.516으로 4개축 합계의 84.9%로 나타나 1, 2축만을 이용한 분석이 타당성이 높았다. 군집은 5개 유형으로 그룹화 할 수 있는데, 왼쪽부터 잣나무군집(I), 소나무-신갈나무군집(II), 신갈나무-낙엽활엽수군집(III), 박달나무-물박달나무군집(IV), 일본잎갈나무군집(V)으로 분리되어 현존식생도의 식생군집 분리와 일치하였다.

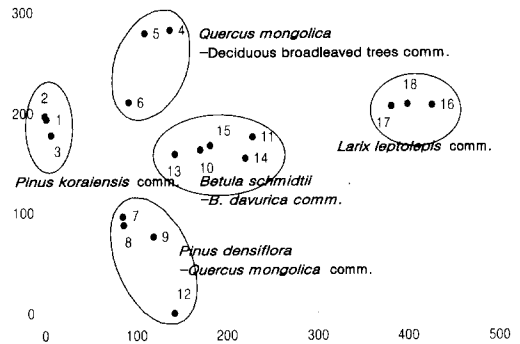


그림 3. 주변 산림지역 식생 조사구군의 분리

(3) 식생군집별 상대우점치 분석

DCA 방법에 의해 분리된 5개 군집에 대하여 각 군집별로 층위별 상대우점치(Importance value)를 계산하여 종조성을 살펴본 것이 표 3이다. 군집 I은 인공조림한 잣나무군집으로 3개의 조사구가 포함되어 있으며, 밀끼기 작업의 영향으로 관목층에 멥아인 신갈나무, 철쭉꽃, 쇠물푸레 등의 우점도가 높았다. 교목층과 아교목층은 잣나무가 우점하였으며, 초본층은 쇠물푸레, 참억새, 산거울, 대사초 등이 주요출현종이었다. 군집 II는 소나무-신갈나무군집으로 교목층은 소나무가 우점(90.7%)하고 있지만 아교목층에서는 신갈나무가 우점(84.0%)하고 있어 점

표 3. 주변 산림지역 식물군집의 층위별 상대우점치(%)

Community Species	I				II				III				IV				V				
	T	ST	S	H	T	ST	S	H	T	ST	S	H	T	ST	S	H	T	ST	S	H	
<i>Pinus koraiensis</i>	93.8	100	-	-	6.0				21.6												
<i>Quercus mongolica</i>	6.2	-	23.8			84.0	17.2		65.0	50.4	13.9	3.7	10.7	5.9	6.4					5.1	
<i>Lindera obtusiloba</i>			6.3				2.8	27.3	4.5	28.7	13.4		8.7	7.8	10.0					3.1	
<i>Pinus densiflora</i>					90.7								2.4								
<i>Tilia amurensis</i>									9.9	14.1	-			1.5							
<i>Larix leptolepis</i>																	96.0				
<i>Betula schmidtii</i>									13.7				49.9	5.6	3.6		4.0			1.7	
<i>Betula davurica</i>					3.4	4.3			5.6				31.8	10.5	3.5						
<i>Prunus sargentii</i>									5.9					2.8							
<i>Maackia amurensis</i>											1.9		2.9								
<i>Lespedeza maximowiczii</i>			4.7							6.4				4.0						1.7	
<i>Rhus trichocarpa</i>			5.8	5.5							3.7		14.8							3.1	
<i>Tripterygium regelii</i>			1.9				5.8	8.5			11.1			6.5	2.9					15.1	
<i>Rhododendron mucronulatum</i>			12.2				30.9				11.3			8.6						19.3	3.3
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>			26.9				24.4	12.9			12.5			19.6						6.9	
<i>Fraxinus sieboldiana</i>			18.5	29.1		16.0	3.5	8.5	5.3	5.3	10.6		6.9								
<i>Actinidia arguta</i>							4.3	12.9												1.4	
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>							7.0		2.4	3.7			2.3	2.9						1.7	
<i>Corylus heterophylla</i>										4.3											
<i>Corylus sieboldiana</i>										3.2				3.3						3.1	
<i>Stephanandra incisa</i>										3.2				1.5						9.2	
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>										4.9				11.2						5.4	
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>										4.9										0.9	
<i>Quercus serrata</i>													2.5	1.8							
<i>Magnolia sieboldii</i>														4.5							
<i>Rubus crataegifolius</i>														4.4	6.9					5.9	
<i>Sorbus alnifolia</i>														6.9							
<i>Rhus chinensis</i>														3.5	1.1						
<i>Acer mono</i>														1.5							
<i>Rhamnus davurica</i>														2.3	1.8						
<i>Vaccinium koreanum</i>					9.1									5.5	6.9						
<i>Samvucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>														4.3							
<i>Weigela subsessilis</i>														7.2						1.7	
<i>Carex humilis</i>				22.8				10.0				18.1			5.2					15.3	
<i>Carex siderosticta</i>				20.9				12.9				16.4			15.5					17.1	
<i>Miscanthus sinensis</i>				12.8																	
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>								7.0							6.9					10.2	
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>												3.7								3.6	
<i>Schisandra chinensis</i>											5.3				7.3						
<i>Equisetum arvense</i>														6.9							
<i>Spodiopogon sibiricus</i>														4.4						5.8	
<i>Cephalanthera longibracteata</i>														2.4							
<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>davidii</i>														5.2						2.6	
<i>Lysimachia clethroides</i>														0.7						2.2	
<i>Aster scabre</i>														4.4						4.3	
<i>Artemisia sylvatica</i>														2.9						5.1	
<i>Hosta longipes</i>																				4.0	
<i>Smilax nipponica</i>																				3.6	
<i>Asarum sieboldii</i>																				5.4	
<i>Rubus oldhamii</i>																				3.3	

\* T : tree layer, ST : subtree layer, S : shrub layer, H : herb layer

차 신갈나무로 생태적천이가 진행될 것으로 판단된다. 관목층에서는 미역줄나무, 철쭉꽃, 신갈나무 등이 높은 상대우점치를 보였으며, 초본층은 생강나무, 철쭉꽃, 다래, 대사초 등이 주요 출현종이었다. 4개 조사구가 포함된 군집 III은 교목층에서 신갈나무, 피나무, 박달나무, 물박달나무 등 경쟁하고 있는 군집으로 신갈나무가 모든 층위에 걸쳐 고르게 분포하였다. 아교목층은 신갈나무가 우점하였으며, 식재한 잣나무와 피나무, 쇠물푸레나무 등이 출현하였다. 관목층은 신갈나무, 생강나무, 진달래, 철쭉꽃 등이 주요 출현수종이었고, 초본층은 산겨울과 대사초가 우점하였다. 군집 IV는 폐탄광지에 적응력이 뛰어난 것으로 판단되는 박달나무-물박달나무군집으로 교목층과 아교목층에서 박달나무와 물박달나무가 주요 출현수종이었다. 아교목층에서는 이들 수종외에 개울나무, 당단풍, 생강나무 등이 출현하였으며, 관목층에서는 철쭉꽃, 초본층은 대사초가 우점하였다. 군집 V는 일본이갈나무림으로 밀각기 작업으로 인해 아교목층이 형성되지 못한 상태이었다. 관목층은 미역줄나무, 진달래, 국수나무 등이 우점하였으며, 초본층에는 산겨울, 대사초 등 다양한 초본종이 출현하였다.

2. 폐탄광지의 자연이입 식생현황 및 군집구조

1) 조사구 개황

함태탄광 폐탄광지는 1995~1996년 사이에

방해방지복구공사의 일환으로 비탈면에 산돌 쌓기로 비탈면을 안정시켰으며, 식혈(植穴)객토 공법으로 아까시나무를 식재하였다(석탄산업합리화사업단, 1996). 폐탄광지 상부에는 외부에서 유입한 토양으로 객토를 실시한 흔적이 남아 있었다. 폐탄광지에 설치한 8개 조사구를 ordination 기법 중 DCA 방법으로 분리하여 조사구별 일반적개황을 나타낸 것이 표 4이다. 식생조사구는 해발 720m 내외에 위치하고 있으며, 비탈면의 경사는 35°로 동일하였다. 식재한 아까시나무가 양호하게 성장하는 조사구도 있었으나(조사구 2, 5), 일부 조사구에서는 고사(枯死)하거나 생육이 불량하였다(조사구 3, 4, 8). 아교목층의 평균흉고직경은 2~5cm, 울폐도는 15~40% 이었고, 관목층의 피도는 5~30% 이었다. 100m<sup>2</sup>당 평균 출현 종수는 12.5종으로 주변 산림지역과 비슷하였다.

2) 조사구의 ordination 분석

폐탄광지에 설치한 8개 조사구에 대해 DCA 방법으로 ordination 분석을 실시한 결과 제1축과 제2축의 eigenvalue의 합이 4개축 합계의 99.2%로 나타나 1, 2축을 이용한 분석이 타당성이 높았다. 군집은 2개로 분리되었는데 좌측에는 아까시나무군집(I)이 위치하였고, 아까시나무의 생장이 불량한 박달나무-물박달나무군집(II)이 우측에 위치하였다.

표 4. 폐탄광지 식생 조사구의 일반적 개황

Community	I					II		
Plot Number	1	2	3	4	5	6	7	8
Altitude(m)	725	725	730	730	720	725	715	715
Aspect	335	210	335	275	290	330	330	310
Slope(°)	35	35	35	35	33	35	35	35
Height of subtree layer(m)	2.5	4	-	-	4	3	3	-
Mean DBH of subtree layer(cm)	2	5	-	-	3	3	3	-
Cover of subtree layer(%)	20	40	-	-	30	25	15	-
Height of shrub layer(m)	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5
Cover of shrub layer(%)	10	20	5	5	5	40	40	40
Cover of herb layer(%)	30	20	25	5	35	10	15	15
Number of species	15	12	12	8	10	11	15	17

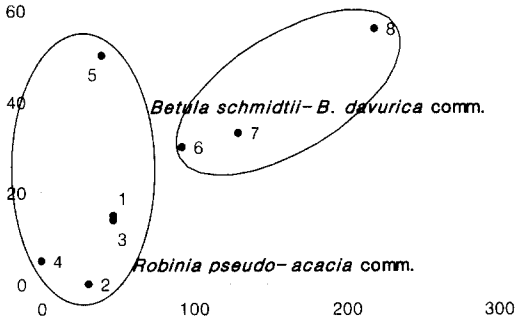


그림 4. 폐탄광지 식생 조사구군의 분리

표 5. 폐탄광지 식물군집의 층위별 상대우점치(%)

Community	I			II		
	ST	S	H	ST	S	H
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	100	73.5	3.2	91.2	8.5	8.2
<i>Salix hulteni</i>		6.0			3.9	
<i>Sorbaria sorbifolia</i> var. <i>stellipila</i>		1.9			0.4	3.0
<i>Rubus crataegifolius</i>		5.1				
<i>Amorpha fruticosa</i>		13.6			1.0	
<i>Larix leptolepis</i>			0.3	4.3	6.0	
<i>Pinus densiflora</i>					0.5	
<i>Betula schmidtii</i>				8.9	37.8	3.0
<i>Betula davurica</i>					42.6	6.0
<i>Lespedeza maximowiczii</i>			3.5		0.8	
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>					0.5	
<i>Lespedeza bicolor</i>						2.3
<i>Arundinella hirta</i>			11.7		13.1	
<i>Miscanthus sinensis</i>			12.1		6.0	
<i>Tripterygium regeli</i>			1.4			
<i>Hypericum ascyron</i>			4.2		4.6	
<i>Oenothera odorata</i>			6.6		4.6	
<i>Fraxinus sieboldiana</i> var. <i>angustata</i>			1.4			
<i>Mosla punctulata</i>			13.4		6.6	
<i>Erigeron annuus</i>			8.0		8.0	
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukha-nense</i>			13.4		8.9	
<i>Artemisia iwawomogi</i>			3.2			
<i>Synurus excelsus</i>			6.3		3.0	
<i>Ixeris dentata</i>			7.3		2.3	
<i>Youngia denticulata</i>			1.4			
<i>Youngia sonchifolia</i>			1.4			
<i>Festuca ovina</i>					4.6	
<i>Spodiopogon sibiricus</i>					8.5	
<i>Populus tomentiglandulosa</i>					2.3	

\*\* ST : subtree layer, S : shrub layer, H : herb layer

### 3) 식생군집별 상대우점치 분석

표 5는 DCA분석에 의해 분리된 군집별의 층위별 상대우점치를 계산하여 종조성을 살펴본 것이다. 군집 I은 아까시나무가 우점하였으며 관목층에서 호랑버들, 개귀땅나무, 산딸기 등이, 들깨풀, 사철쭉, 새, 참억새 등의 자생종과 개망초, 겹달맞이꽃 등 귀화식물이 자연이입된 것으로 나타났다. 군집 II는 아교목층에 식재한 아까시나무가 잔존해 있어 아까시나무의 상대우점치가 높게 나타났으며, 성장상태가 양호한 박달나무도 소수 출현하였다. 관목층에서는 주변산림으로부터 자연이입된 박달나무(37.8%), 물박달나무(42.6%)가 우점하였으며, 호랑버들, 개귀땅나무, 소나무, 조록싸리, 참싸리 등이 나타났다. 초본층에서는 큰기름새, 참억새, 사철쭉 등 버과와 국화과의 다년생 초본의 상대우점치가 높았다.

### 4) 함태탄광 폐탄광지 식물상

폐탄광지에 자연이입된 식물상을 조사한 결과 22과 42속 50종 3변종 1품종으로 총 54종류가 출현하였으며, 특히 큰기름새, 참억새, 새, 사철쭉, 이고들빼기 등 버과와 국화과 다년생 초본의 출현빈도가 높았다. 목본식물로는 박달나무, 물박달나무, 산딸기, 조록싸리, 참싸리, 호랑버들이 출현하였다. 폐광지에 출현한 종들은 대부분 건조에 강하고 척박지에서 양호한 성장을 보이는 생태적 특성을 가진 종들로 햇빛이 강한 산림 주변부에서 흔히 출현하는 종들이었다. 한편 식재한 아까시나무, 족제비싸리와 자연이입된 겹달맞이꽃, 개망초 등 외래·귀화식물이 7종인 반면 자생종이 47종으로 자생종의 출현비율이 높았다(표 6).

### 3. 폐탄광지 주변 식생과 자연이입 식생과의 관계

#### 1) 식생군집에 따른 주요종별 출현 개체수

표 7은 폐탄광지역의 2개 식물군집과 주변 산림지역의 5개 식물군집간의 종분포 관련성 및 개체수 분포를 비교하기 위해 단위면적당(100m<sup>2</sup>) 출현종의 개체수를 분석한 것이다(초본층을 제외). 분석결과 주변 산림지역과 폐탄광

표 6. 함태탄광 폐탄광지 식물상 목록

Scientific Name	Scientific Name
<b>Pinaceae</b>	<b>Leguminosae</b>
<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>
<i>Pinus densiflora</i>	<i>Lespedeza maximowiczii</i>
<i>Larix leptolepis</i>	<i>Amorpha fruticosa</i>
	<i>Robinia pseudo-acacia</i>
<b>Gramineae</b>	<b>Anacardiaceae</b>
<i>Miscanthus sinensis</i>	<i>Rhus chinensis</i>
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	
<i>Spodiopogon cotulifer</i>	<b>Celastraceae</b>
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	<i>Tripterygium regelii</i>
<i>Setaria viridis</i>	
<i>Setaria glauca</i>	<b>Hypericaceae</b>
<i>Arthraxon hispidus</i>	<i>Hypericum ascyron</i>
<i>Arundinella hirta</i>	
<i>Calamagrostis epigeios</i>	<b>Onagraceae</b>
<i>Festuca ovina</i>	<i>Oenothera biennis</i>
<b>Cyperaceae</b>	<b>Symplocaceae</b>
<i>Carex humilis</i>	<i>Symplocos chinensis</i>
	for. <i>pilosa</i>
<b>Salicaceae</b>	<b>Oleaceae</b>
<i>Salix hulteni</i>	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>
<i>Salix purpurea</i>	<i>Fraxinus sieboldiana</i>
var. <i>japonica</i>	
<b>Betulaceae</b>	<b>Labiatae</b>
<i>Betula davurica</i>	<i>Isodon excisus</i>
<i>Betula schmidtii</i>	<i>Mosla punctulata</i>
<b>Fagaceae</b>	<b>Caprifoliaceae</b>
<i>Quercus mongolica</i>	<i>Weigela subsessilis</i>
<b>Urticaceae</b>	<b>Valerianaceae</b>
<i>Boehmeria tricuspidis</i>	<i>Patrinia villosa</i>
<b>Polygonaceae</b>	<i>Valeriana fauriei</i>
<i>Persicaria sieboldii</i>	<b>Compositae</b>
<i>Persicaria blumei</i>	<i>Leibnitzia anandria</i>
<b>Caryophyllaceae</b>	<i>Aster scaber</i>
<i>Pseudostellaria heterophylla</i>	<i>Aster yomens</i>
<b>Actinidiaceae</b>	<i>Artemisa capillaris</i>
<i>Actinidia arguta</i>	<i>Artemisia princeps</i>
	var. <i>orientalis</i>
	<i>Artemisia iwayomogi</i>
<b>Rosaceae</b>	<i>Erigeron annuus</i>
<i>Potentilla chinensis</i>	<i>Saussurea pulchella</i>
<i>Rubus crataegifolius</i>	<i>Ixeris dentata</i> var. <i>albiflora</i>
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	<i>Youngia denticulata</i>
var. <i>stellipila</i>	<i>Youngia sonchifolia</i>

지에서 함께 출현한 종은 박달나무, 물박달나무, 소나무, 조록싸리 등이 있었으며, 특히 주변식생으로부터 활발하게 이입된 종은 박달나무와 물박달나무이었다. 박달나무와 물박달나무는 100m<sup>2</sup>당 출현개체수가 각각 15주, 19주로 나타나 주변 산림지역 박달나무, 물박달나무의 개체수보다 3~5배 정도 많은 개체수가 생육하고 있어 폐탄광지에 적응성이 높은 것으로 나타났다. 한편 호랑버들, 개취땅나무, 산딸기 등도 주변지역에 자생하고 있는 종이 자연이입되었으나, 식생 조사구안에 포함되지 않았다. 폐탄광지에 자연이입한 박달나무, 물박달나무 등은 폐탄광지의 열악한 환경조건에 활착력이 우수한 종으로 추후 폐탄광지 복화에 적극적으로 활용해야 할 것으로 판단된다.

표 7. 식물군집에 따른 주요 종별 출현 개체수 (ea/100m<sup>2</sup>)

Community Species	폐광지 주변 지역				
	I	II	I	II	III IV V
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	9	8	-	-	- - -
<i>Salix hulteni</i>	1	2	-	-	- - -
<i>Sorbaria sorbifolia</i>	1	1	-	-	- - -
var. <i>stellipila</i>					
<i>Rubus crataegifolius</i>	1	-	-	-	2 5
<i>Amorpha fruticosa</i>	1	1	-	-	- - -
<i>Pinus densiflora</i>	-	1	-	6	1 -
<i>Betula davurica</i>	-	19	-	2	1 4 -
<i>Betula schmidtii</i>	-	15	-	1	5 2 -
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	-	1	3	-	3 2 1
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	-	1	-	-	- - -
<i>Quercus mongolica</i>	-	-	11	12	16 4 4
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	-	5	1	6 5 1
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	-	-	9	12	3 5 8
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	-	-	17	8	3 6 4
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	-	-	12	1	3 6 -
<i>Pinus koraiensis</i>	-	-	9	1	3 - -
<i>Tripterygium regelii</i>	-	-	1	3	- 2 8
<i>Rhus trichocarpa</i>	-	-	3	-	- 1 1
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	-	-	-	3	1 1 1
<i>Actinidia arguta</i>	-	-	-	1	- - 5
<i>Stephanandra incisa</i>	-	-	-	-	1 1 4
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	-	-	-	-	1 1 1
<i>Corylus sieboldiana</i>	-	-	-	-	1 2 1
<i>Prunus sargentii</i>	-	-	-	-	1 1 -
<i>Maackia amurensis</i>	-	-	-	-	1 1 -
<i>Tilia amurensis</i>	-	-	-	-	2 1 -
<i>Symplocos chinensis</i>	-	-	-	-	1 - 3
for. <i>pilosa</i>					
<i>Corylus heterophylla</i>	-	-	-	-	2 - -
<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	-	-	- 2 1
<i>Vaccinium koreanum</i>	-	-	-	-	- 4 -
<i>Larix leptolepis</i>	-	-	-	-	- - 5



2) 식생군집별 유사도지수 분석

폐탄광지역의 자연이입 식생과 주변 산림과의 상관성을 알아보기 위하여 Ellenberg(1956)의 유사도지수를 계산하였다(표 8). 유사도지수는 종 분포가 비슷할수록 높게 나타나는데(Cox, 1976), 유사도지수가 50% 이상이면 조사구간의 유사성이 인정된다(Ellenberg, 1956).

표 8. 폐탄광지의 식물군집과 주변산림 지역 식물군집간의 유사도지수

폐탄광지	주변산림				
	I	II	III	IV	V
I	13.3	6.1	7.3	8.8	8.9
II	5.7	5.6	6.8	8.3	6.7

주변 산림지역에 자생하고 있는 식물종이 폐탄광지역에 자연이입한 종은 각 군집별로 2~5종으로 비교한 군집간 유사도지수는 대부분이 10% 미만이었다. 이는 주변 산림지역과 폐탄광지의 환경조건이 상이하어 다양한 종이 이입하지 못한 것으로 판단된다. 그러나 참억새, 새, 큰기름새, 사철썩, 이고들빼기 등 벼과, 국화과의 다년초가 주변 산림지역으로부터 자연이입되고 있는 것으로 나타나, 박달나무, 물박달나무 등과 함께 폐탄광지에 적응성이 뛰어난 종으로 나타났다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 폐탄광지에 자연이입된 식생과 주변 산림식생을 조사분석하여 폐탄광지를 주변 식생과 유사한 형태로 복원·녹화하기 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행하였다. 폐탄광지 주변 반경 300m내 산림지역의 현존식생 및 18개 식생조사구의 ordination 분석 결과 신갈나무-낙엽활엽수군집, 잣나무인공림, 박달나무-물박달나무군집, 소나무-신갈나무군집, 일본잎갈나무인공림 등 5개 식생군집으로 분리되었다. 이중 폐탄광지 식생에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 판단되는 박달나무-물박달나무군집은

주로 분포하였다. 폐탄광지에 자연이입 또는 도입된 식생조사 결과 대부분 식재한 아까시나무가 우점하고 있었으나 울폐도는 낮았으며, 일부지역에 주변산림으로부터 자연이입된 박달나무와 물박달나무 치수가 높은 밀도(15~19개/100m<sup>2</sup>)로 분포하고 있었다. 폐탄광지에 이입된 식물상 조사결과 22과 42속 50종 3변종 1품종 54종류가 출현하였는데, 목본종으로는 박달나무, 물박달나무, 소나무, 조록싸리, 호랑버들, 개쉬땅나무, 산딸기 등이 출현빈도가 높았으며, 참억새, 새, 큰기름새, 사철썩, 이고들빼기 등 벼과, 국화과의 다년생 초본류의 출현빈도도 높게 나타났다. 이상 폐탄광지와 폐탄광지 주변 산림식생의 현존식생 및 군집구조 연구결과 대상지는 박달나무-물박달나무군집을 식생복원 목표로 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 그리고 녹화초기에 폐탄광지역에서 출현빈도가 높은 벼과, 국화과, 콩과 등의 천이초기종과 함께 박달나무, 물박달나무를 혼합하여 파종함으로써 주변경관과 어울리면서도 효과적인 녹화성과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

석탄산업합리화사업단. 1996. 폐탄광지역 산림 복구 및 광해방지비 지원실적(1990~1995). 이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사.  
 Cox, G. W. 1976. Laboratory manual of general ecology. Wn. C. Brown Co.  
 Curtis, J. T. and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology 32 : 476-496.  
 Ellenberg, H. 1956. Grundlagen der Vegetationsgliederung I. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. In : Walter, H. Einfuehrung in die Phytologie IV, Stuttgart.  
 Hill, M. O. 1979. DECORANA- a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Ecology and Systematics, Cornell University. Ithaca,

- N.Y.
- Magee, G. S. 1983. Native plant communities as a model for vegetating detention basins in the Georgia Piedmont. M. S. thesis. University of Georgia, Athens.
- Ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis : a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67 : 1167-1179.
- Turner, M. G. 1987. Landscape heterogeneity and disturbance. New York : Stringer-Verling.

接受 2000年 11月 5日