

백두대간에 인접한 석회석 광산의 식생복구 연구(1)  
- 종자파종에 의한 옥계 광산복구 시험시공 -

김경훈<sup>1)</sup> · 주 백<sup>1)</sup> · 김학성<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 일송환경복원(주) · <sup>2)</sup> 라파즈한라시멘트(주)

A Study of Rehabilitation for Limestone Quarry Near  
Baekdu Daegan Mountain System(1)

- In Case Study for Hydroseeding Experiment on Okke Quarry -

**Kim, Kyunghoon<sup>1)</sup> · Joo, Paik<sup>1)</sup> and Kim, Haksung<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Ilsong ERT Inc.,

<sup>2)</sup> Lafarge Halla Cement Inc.

**ABSTRACT**

The objective of this study was to investigate the possibility of seeding methods for quarry rehabilitation. To achieve the objective, the experiment was designed for rehabilitation of quarry with seed mixing types (woody type and herbaceous type) and forest topsoil. Seeds and seeding materials were applied to the quarry slope using hydroseeding measures. The study was conducted in limestone quarry (Lafarge Halla Cement Inc.) near Baekdu Daegan Mountain System at Okke, Kanwon-do. The experimental seedbed was set in 2007 and field investigation was carried out from 2007 to 2010.

As the result of experiment, it was found that the early-phase pattern for surveyed species to establish was affected by the soil mixture types. The mixture type of herbaceous seeds resulted in the higher plant coverage than the woody seeds. The application of forest topsoil showed a potential increase the plant diversity, but it was affected by mixing seeds. Naturally-emerged species as *Alnus hirsuta*,

---

**First author** : Kim, Kyunghoon, Ilsong ERT Inc.,

Tel : +82-31-898-4971, E-mail : kim-hooney@hanmail.net

**Corresponding author** : Kim, Haksung, Lafarge Halla Cement Inc.,

Tel : +82-33-550-1541, E-mail : haksung8697@hanmail.net

**Received** : 28 June, 2011. **Revised** : 29 July, 2011. **Accepted** : 17 August, 2011.

*Quercus mongolica* will be useful for rehabilitation at the quarry and damaged slopes.

Key Words : *Limestone quarry, Baekdu Daegan Mountain System, Rehabilitation, Seeding.*

## I. 서 론

지하자원이 부족한 우리나라에서는 경제성 있는 국내 부존자원의 개발이 환경보전에 우선하여 실행되어 왔으며, 산림을 대상으로 석탄과 암석 등의 지하자원 취득을 위한 채광, 채석의 행위는 국가의 산업발전을 위해 필수불가결한 산업으로 인식되어 왔다. 채광 및 채석 산업은 국가 경제의 시대적 상황과 밀접하게 연관되어 있으며, 개발에 따른 자연자원의 훼손은 지금도 진행형이라고 볼 수 있다. 한국광해관리공단(2011)은 2010년 현재 석탄광산은 6개, 금속광산은 56개, 비금속광산은 531개로 총 593개가 가행중이며, 광산복구는 29개 사업장에서 5억 원 정도가 소요되었다고 보고하고 있다.

채광과 채석을 통한 지하자원의 개발은 필연적으로 여러 가지 환경문제를 수반하게 되는데, 특히 대규모의 산림훼손을 유발하여 산림의 고유기능인 경관유지능력을 상실시키거나 산사태의 발생을 유발하여 귀중한 인명과 재산피해가 발생할 수 있으며, 소중한 자연경관자원 및 자연적인 산림생태계를 훼손시킬 수 있다. 최근 들어 환경보존과 경관보호에 대한 국민적 공감대가 높아짐에 따라 채광 및 채석지에 대한 생태적 복구의 요구가 높아지고 있는 실정이다.

광산의 복구는 주로 산지관리법(산림청, 2006)에서 정하고 있는 기준에 의거하여 수목 식재에 의한 숲 조성을 주목표로 진행되고 있다. 채석지는 주로 산지를 채굴하여 발생한 잔벽 등을 대상으로 복구가 진행되는데, 소단부 등에는 복토 후 수목을 식재하고 있으며, 잔벽면을 가리기 위해 차폐수목을 식재하는 방법이 대부분이었다.

채광 및 채석지는 식물 생육기반이 열악하기 때문에 식생복구를 위하여 주로 복토를 하여 식

물을 식재하는데 복토 토양의 이화학성이 식생복구 품질에 큰 영향을 미치게 된다(정용호, 2008). 따라서 채석지의 복구시에 대상지의 환경여건 및 식생기반 토양에 따라서 식물의 생장도 큰 차이를 보이고 있다. 또한 적용된 식생도 대부분 목본 위주로 산림에 의한 녹화가 대부분이었지만, 현지의 환경조건에 따라서 수목의 생육은 큰 차이를 보이고 있는 실정이다.

채석지 복구는 종자 파종 방법도 사용하지만 종자 파종 방법은 수목 생육을 위한 보조적인 역할로 주로 지피피복을 위해 적용되고 있기 때문에, 종자에 의한 종다양성을 높일 수 있는 식생복원 방법이 강구되지 못한 현실이다. 특히 광산이 위치한 지역이 백두대간과 같이 사회적 및 생태적으로 민감한 지역에서는 광산개발에 의한 면적 훼손이 심각한 상태이므로(이준우 · 권태호, 2007) 표토의 활용방법(김경훈 · 우보명, 1999), 조기수림화를 위한 생태적인 복구(이준우 등, 2003)를 위해서는 좀 더 다양한 시도를 할 필요가 있다.

본 연구의 대상지인 강원도 옥계 자병산에 위치한 석회석 광산은 백두대간 마루금과 인접한 대규모 개발지역으로 사회적으로 큰 반향을 불러 일으키고 있는 현장으로서, 개발 및 복구 방향에 대해서도 수많은 연구와 논의가 진행되고 있다(김경훈 · 홍준석, 2002; 김귀곤, 2003; 라파즈한 라시멘트(주), 2005). 따라서 본 연구에서는 백두대간과 인접해 있는 옥계 석회석 광산을 대상으로 하여 핵심지역에 위치한 곳을 생태적으로 복구하기 위하여 수목 식재와 종자 파종 방법을 병행하여 2007년도부터 4개년 간 시험시공이 실시되었으며, 연구의 첫 번째로 종자 파종에 의한 수림화의 가능성을 파악하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험시공 대상지

본 연구의 대상지는 강원도 강릉시 옥계면 산계리 일원에 위치한 라파즈한라시멘트(주) 옥계 석회석 광산에서 백두대간과 인접한 핵심지역에 속하는 2호 광산 주변의 채광완료지를 대상으로 하였다. 라파즈한라시멘트(주) 옥계 석회석 광산은 현재 260ha에서 채광이 이루어지고 있으며, 광산 상부 지역은 백두대간 마루금과 인접하여 있어서 지리적으로나 생태적으로 매우 가치가 높은 현장이다.

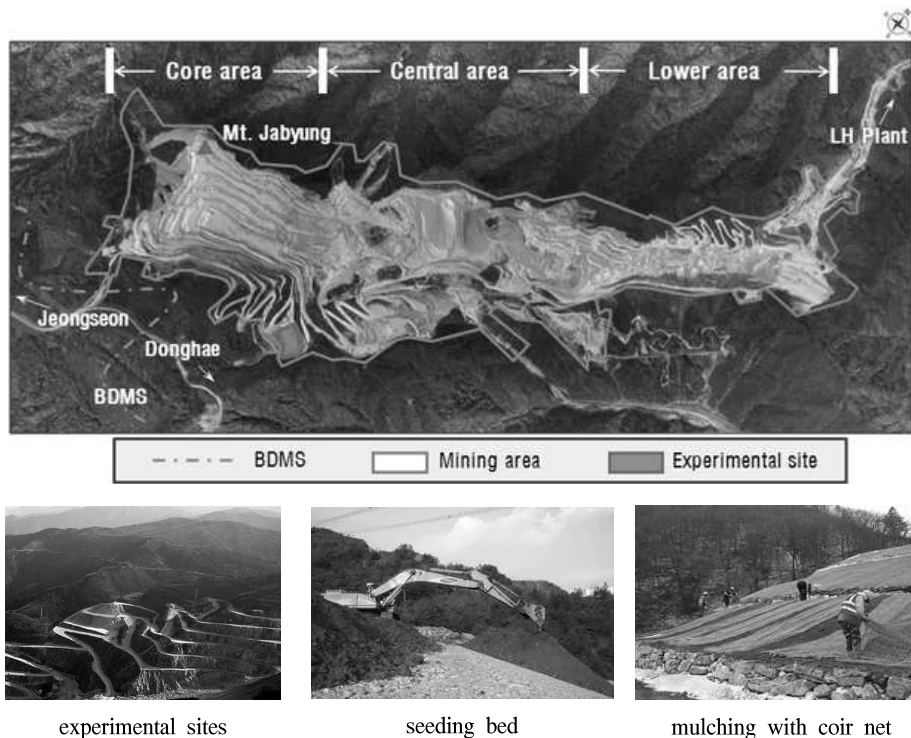
옥계 석회석 광산 개발구역은 3단계로 구분하고 있는데, 백두대간과 인접한 구역은 핵심지역으로 분류하고 있으며(김귀곤, 2003), 핵심구역을 개발 전과 유사하게 지형을 복구하고, 원식생과 유사하게 식생을 복구하기 위하여 이곳에 시험시

공지를 선정하였다. 시험시공지 위치는 해발 650m이며, 비탈면은 북동향에 위치하고 있다.

2007년부터 4개년 간 진행된 전체 시험시공 대상지는 총 15,000m<sup>2</sup>이며, 본 논문에서 분석한 자료는 종자 파종 방법을 위주로 적용한 4개 유형의 5,825m<sup>2</sup>를 대상으로부터 얻었다.

석회석 광산의 경우 개발 이후 급경사의 잔벽면과 소단이 노출되는 곳이 대부분이다. 그러나 본 연구대상지는 백두대간과 인접한 핵심지역으로 폐석을 충진하고 토양을 복토한 뒤에 원래 산림지형을 조성하고 식생을 복구하는 것을 목표로 진행하였기 때문에 일반 석회석 광산과는 차별성을 가지고 있다.

시험시공을 위하여 채광이 완료된 곳의 경사면을 정리하고, 개발 과정에서 발생된 폐석을 충진하여 기울기 1 : 3으로 경사를 조정하였으며, 그 위에 양질의 토양을 90cm 두께로 복토하여



**Figure 1.** Experimental limestone quarry (Lafarge Halla Cement Inc.) located in Okke near Baekdu Mountain System.

**Table 1.** Experimental design of seeding types for rehabilitation of quarry slope.

Category	Tr.1	Tr.2	Tr.3	Tr.4	Total
Treatment	Seeding (herbaceous type)	Seeding (woody type)	Topsoil	Toisoil and Seeding (herbaceous type)	
Amount of seeding (g/m <sup>2</sup> )	42	40	0	42	
Area of experimental site (m <sup>2</sup> )	2,109	1,915	1,046	755	5,825

식생기반을 조성하였다. 경사지는 7m 간격으로 단끊기 작업을 실시하여 경사지 기반의 안정화 작업을 실시하였다.

## 2. 시험시공 실시

본 연구에서는 광산 복구를 위한 종자파종의 효과를 파악하기 위하여 종자배합 유형을 토대로 시험시공 계획을 수립하였다. 또한 종자파종 유형 외에 원식생 복구를 위한 매토종자(seed bank) 개념(이준우 등, 2003)을 도입하기 위하여 광산 개발 예정지역에서 얻은 표토를 혼합하는 실험을 병행하였다.

실험은 종자배합 유형과 표토의 혼합 유무에 따라서 4가지 시험구로 구분하였다. 시험구는 (Tr.1) 초본위주형 종자파종, (Tr.2) 목본위주형 종자파종, (Tr.3) 표토혼합 무파종, (Tr.4) 표토혼합 초본위주형 종자파종으로 구분하였다.

실험에서는 광산 개발지역에서 목본을 제거하고 상부 30cm 까지의 표토를 조심스럽게 수거하여 양질의 표토를 확보하였다. 표토를 이용한 시험구는 복토를 80cm 두께로 실시한 경사지 위에 표토와 양토를 1 : 1로 혼합하여 10cm 두께로 포설하여 총 복토 두께를 90cm로 동일하게 맞추었다.

시험구가 경사지에 조성되어 있기 때문에 바람이나 강수에 의한 침식을 방지하고, 파종된 종자의 발아조건을 개선해주기 위하여 파종 후 coir net로 멀칭하고 고정하였다. 시험시공지의 유형별 면적 차이가 있는 이유는 대상지 현지를 시험

시공과 복구녹화를 동시에 하기 위해 실시한 것으로 현지 지형에 부합되도록 하기 위하여 개별 시험구의 면적이 차별적으로 적용되었다.

공시종자로 사용된 종자는 자생종 위주로 선정하였으며, 현지 환경조건을 고려하여 일반적으로 녹화공사에 많이 사용되는 목본류 6종, 초본류 12종을 선정하였다. 파종 방식은 종자파종 장비를 이용한 종자분사파종 방식을 이용하였다.

초본위주형의 종자배합 무게비율은 목본 : 초본 = 11.9 : 88.1이며 발생기대본수 비율은 목본 : 초본 = 2.4 : 97.6이었다. 목본위주형의 종자배합 무게비율은 목본 : 초본 = 87.5 : 12.5이며, 발생기대본수 비율은 목본 : 초본 = 53.7 : 46.3으로 배합하였다.

## 3. 조사 및 분석

시험시공은 전문 시공업체에 의뢰하여 2007년 3월부터 12월까지 진행하였으며, 모니터링은 2008년 4월부터 2010년 8월까지 매년 2회씩 실시하였다. 조사를 위하여 각 유형별로 대표지점에 1m × 1m의 고정방형구를 3개소씩 설치하였으며, 각 조사구에서 출현종, 개체수, 수관폭(초폭), 수고(초고)를 측정하여 상대빈도, 상대밀도, 상대피도와 식생중요도를 산출하였다.

또한 시험구를 대표할 수 있는 곳을 선정하여 토양을 채취하여 전문 기관에 의뢰하여 토성과 화학적 특성을 분석하였으며, 현장에서는 토양경도계와 토양산습도계를 이용하여 토양경도, 토양습도, 토양산도를 측정하였다. 또한 조성된 토양

**Table 2.** Seed mixture types for experiment.

Seeding plants		Herbaceous type				Woody type				Remarks			
		Seeding amount		Expected No. of seedlings		Seeding amount		Expected No. of seedlings		Germination rate	Purity	No. of Seeds	
		(g/m <sup>2</sup> )	(%)	(본/m <sup>2</sup> )	(%)	(g/m <sup>2</sup> )	(%)	(본/m <sup>2</sup> )	(%)				
Wood	Tall tree	자귀나무 <i>Albizia julibrissin</i>				8.0		109		40	97	35	
		붉나무 <i>Rhus javanica</i>				5.0		120		40	60	100	
		산오리나무 <i>Alnus sibirica</i>				4.0		504		30	60	700	
		단풍나무 <i>Acer palmatum</i>				10.0		720		80	90	100	
	Shrub	낭아초 <i>Indigofera pseudotinctoria</i>				3.0		274		80	95	120	
		참싸리 <i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	5.0		446		5.0		446		60	99	150
	Sub total		5.0		446		35.0		2,172				
Herb.	nitrogen fixation	벌노랑이 <i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonica</i>	3.0		798		0.5		133		80	95	350
		비수리 <i>Lespedeza cuneata</i>	4.0		1,764						70	90	700
	soil stabilization	쭉 <i>Artemisia princeps</i>	1.0		480		0.5		240		20	80	3,000
		큰김의털 <i>Festuca arundinacea</i>	3.0		1,575		0.5		263		50	70	1,500
		솔새 <i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i>		45.2		46.5	1.0	10.0	34	30.6	80	85	50
		억새 <i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	7.0		3,864						30	80	2,300
		새 <i>Arundinella hirta</i>	8.0		2,800		2.0		700		50	70	1,000
	Landscape	마타리 <i>Patrinia scabiosaefolia</i>	3.0		1,402						55	85	1,000
		별개미취 <i>Aster koraiensis</i>	2.0		672						60	80	700
		산국 <i>Dendranthema boreale</i>	3.0	26.2	2,999	37.4	0.5	1.3	500	12.4	60	98	1,700
		쭉부쟁이 <i>Aster yomena</i>	2.0		1,296						60	90	1,200
		구질초 <i>Dendranthema ziwadskii</i> var. <i>latilobum</i>	1.0		648						60	90	1,200
	Sub total		37.0		18,298		5.0		1,869				
	Total		42.0	100	18,744	100	40.0	100	4,041	100			

※ Expected No. of seedlings = Seeding amount (g/m<sup>2</sup>) × No. of seeds (g/m<sup>2</sup>) × Germination rate (%) × Purity(%).

**Table 3.** Soil texture and hardness index of seedbed soil in the experimental sites.

Particle size (%)			Soil hardness (mm)*
Sand	Silt	Clay	
54.0	18.6	27.5	16.7

\*Soil hardness was measured by portable hardness meter (Yamanaka type).

의 답압상태를 파악하기 위하여 대표 지역을 대상으로 토양을 채취(100ml soil can)하여 토양 용적밀도(bulk density)를 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 식물 생육기반 분석

식물의 생육에 영향을 미치는 주요한 인자 중의 하나가 토양으로서, 식물은 생육기반인 토양 내의 이화학적 특성에 따라 생장이 좌우되게 된다. 특히 광산과 같이 원지형의 토양이 제거되고 복구를 위하여 외부 토양을 반입하는 곳에서는 식생기반의 재료, 조성방법이 더욱 중요한 요인이 된다(정용호, 2008). 시험시공지와 주변 산림에서 토양의 이화학적 특성을 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

토양의 입도분석 결과 모래함량은 54.0%로 채취한 시료의 대부분이 모래와 같은 비교적 굵은 입자가 차지하는 비율이 높았다. 토성은 미농무 부분류법에 의거할 때 사질식양토로 분류되고 있다. 이와 같은 조건에서는 식물체의 뿌리 발달은 양호해질 수 있지만 토양내 통기성, 통수성이 높기 때문에 식물 생육기반내 토양함수 조건이 나쁠 것으로 예상할 수 있다.

시험시공지에서 토양경도를 측정한 결과 토

양경도는 16.7mm이었으며, 이는 국토해양부(2009)에서 제시하고 있는 녹화기반층내 식물생육한계 토양경도인 23mm 이하이므로 식물의 뿌리 발달에 문제가 없는 양호한 상태인 것으로 분석되었다.

다음은 시험시공지 토양의 토양 화학성을 분석한 결과이다.

시험시공지 토양의 유기물함량은 3.55%이었으며, 토성은 사질토로서 기타 이화학적 성분은 식물 생육에 큰 영향을 미치지 않는 범위를 보였다.

토양산도의 경우 석회석 광산을 특성을 반영 하듯이 pH 7.90~8.30의 분포로 나타났다. 현장의 토양 산도가 pH 8.10으로 약알칼리성을 나타내고 있기 때문에, 향후 식생복구 목표를 수립할 경우에는 석회석 광산의 토양조건에 부합되는 식물을 선정하는 것이 필요할 것이며, 이를 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

토양용적밀도는 단위부피당 토양의 무게를 비교한 것으로서 토양 용적밀도가 높다는 것은 토양이 답압되어 있는 상태를 나타낸다고 볼 수 있다. 답압이 심하게 된 토양에서는 투수성이 떨어지고 식물의 뿌리가 성장하는데 스트레스를 받게 된다. 답압이 되어 있는 토양은 시간이 경과하여 식물이 자라면서 표층부에 낙엽층이 쌓이고 토양

**Table 4.** Chemical characteristics of seedbed soil in the experimental sites.

N (%)	C (%)	C/N	Organic matter (%)	Exchangeable cations (cmol/kg)				pH (H <sub>2</sub> O) 1 : 5
				K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	
0.65	2.12	3.32	3.55	0.25	0.65	34.29	2.16	8.10

**Table 5.** Changes in soil bulk density during the experiment.

Surveyed area	Experimental sites			Control*
	1 year after	2 years after	3 years after	
Soil bulk density	1.612	1.363	1.264	0.782

\*Control site is a natural deciduous forest near experimental site.

미생물의 활동 증가, 뿌리의 생장 등으로 인하여 점차 부드럽게 변하면서 토양 용적밀도가 낮아지게 된다(박재현, 2007).

주변 산림지역의 토양 용적밀도가 0.78 수준이라고 볼 때 시험시공지의 토양경도는 1.2~1.6 사이를 나타내고 있으며, 이 수치는 주변의 자연 상태보다는 상대적으로 높아 답압된 상태라고 해석할 수 있다. 이유는 경사지에 식생기반을 조성할 때 안정성 확보를 위하여 중장비를 이용하여 토양을 다져주었기 때문인 것으로 판단된다.

측정결과 시공 후 시간이 경과됨에 따라서 토양 용적밀도가 회복되는 경향을 보이고 있다. 따라서 시험시공지에서와 같이 외부의 답압요인이 추가되지 않고, 기반토양이 충분한 두께를 가지고 있는 조건에서는 식물의 생장이 증가하면서 토양구조가 빠르게 개선되어 갈 것으로 판단된다.

일반 도로비탈면과 달리 토양을 복토하고 식생을 복원하는 채석이나 채광지 등에서는 향후 식생복구를 위하여 복토하는 토양의 이화학적 조건에 대한 기준수립이 필요할 것으로 생각된다.

## 2. 식생피복도 변화

일반적으로 비탈면의 녹화공사는 발아 및 생장이 빠른 초본류 중 외래종을 이용한 조기피복을 목표로 진행되지만, 최근에는 수림화를 위한 자생종의 활용에 대한 연구가 많이 진행되고 있다(김남춘 등, 2005). 식생복구에 자생종 종자의 사용효과를 파악하기 위하여 시험구별로 시험시공 후 경과년수에 따른 식생피복도를 분석하였다.

식생피복도 분석결과 시공 1차년도에는 식생피복도 26%에서 3년이 경과한 시점에서는 식생피복도가 52.1%로 증가하였다. 각 시험구별 식생피복도를 보면 초본위주형을 파종한 시험구 1과 4에서 높은 값을 보였으며, 목본위주형을 파종한 시험구 2에서 상대적으로 낮았다. 또한 종자를 파종하지 않고 표토를 포설한 시험구는 식생피복도가 10% 수준으로 가장 낮은 것을 볼 때 표토내에 함유되어 있는 매토종자 만으로는 조기에 식생피복을 기대하기는 어려울 것으로 보인다.

옥계 석회석 광산 지역의 경우 10월 하순부터 겨울이 시작되고, 봄철 4월경까지 눈이 남아 있는 현상으로서 파종한 식물이 생육할 수 있는 기

**Table 6.** Changes of plant coverage (%) by four seeding treatments.

Treatment	1 year after	2 years after	3 years after	Remarks
Tr.1 (%)	51.7	63.3	70.2	Herbaceous type
Tr.2 (%)	5.0	16.7	36.7	Woody type
Tr.3 (%)	4.0	4.3	13.3	Topsoil
Tr.4 (%)	43.3	61.7	88.0	Topsoil with herbaceous type
Average (%)	26.0	36.5	52.1	

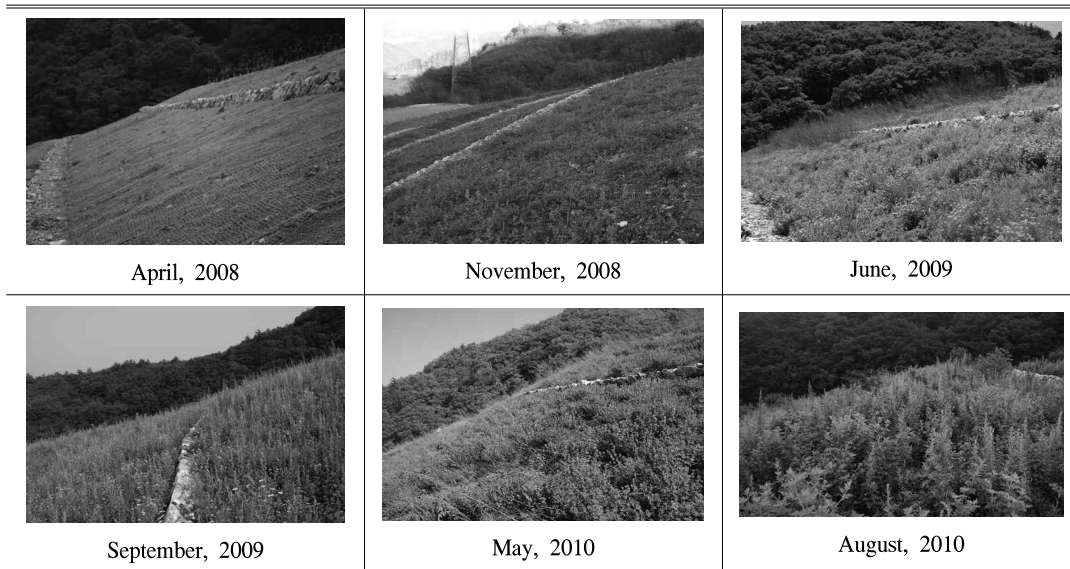


Figure 2. Changes in plant coverage at the experimental sites.

간이 상대적으로 짧기 때문에, 현실적으로 파종한 식물이 생육하여 대상지를 피복하는 속도는 매우 느린 것으로 판단된다.

본 연구에서는 2007년 3월부터 폐석 충전 및 식생기반 토양 조성 작업이 진행되었으며, 2007년도 11월에 이르러 종자파종이 실시되었던 관계로 현장의 특성상 파종한 종자는 익년도 5월 중순경에 발아가 시작되었으며, 이로 인하여 조사시점에서의 식생피복도는 낮은 수준이었다. 또한, 파종 방법 중에서 목본류 및 초본류 위주의 파종방법을 달리하였기 때문에 식생피복도는 차이를 보이고 있으며, 초본류 위주로 종자파종을 한 시험구에서 상대적으로 높은 식생피복도를 보였다.

종자 파종의 방법으로는 취부기를 이용한 종자분사파종(seed spray)공법을 적용하였는데, 이 방법은 종자와 화이버류를 혼합하여 시공 대상면에 얇게 뿌려주는 방법이다. 그러나 본 연구대상지와 같이 환경조건이 열악한 곳에서는 단순히 종자와 소량의 화이버류만을 혼합하여 비탈면에 살포하였을 때 표면에 노출된 종자의 활력도가 낮아져서 종자의 발아력이 급격히 떨어지게 된

다. 따라서 종자 파종 방법을 적용할 경우 시공된 종자층이 유실되지 않고, 수분이 적절히 유지될 수 있도록 별도의 재료로 멀칭(두께 0.5cm)하는 것이 필요할 것이다(국토해양부, 2009).

종자파종에 멀칭 방법을 보완하는 방법 외에도 시공 대상면에 횡방향으로 요철을 형성시키고 시공하는 방법도 효과적일 것이다. 산지 사방공사에서 보통 횡방향으로 골을 파고 여기에 종자와 퇴비류를 혼합한 재료를 채워 넣는 방식이 일반적으로 이용되고 있는데, 본 현장과 같은 조건에서는 인력에 대한 골파기 방법, 종자와 함께 녹화기반을 같이 조성해주는 얇은층 식생기반재 뿌어붙이기 방법이 효과적일 것으로 판단된다.

### 3. 출현식생의 변화

4가지 시험구별로 출현한 식생을 대상으로 밀도, 빈도, 피도를 측정하여 이를 평균한 식생중요도를 분석하였다. 초본형 위주로 파종한 1 시험구에서는 참싸리가 1차년도에 일부 출현하였으나 시간이 경과하면서 경쟁에서 밀려 쇠퇴한 것으로 분석되었다. 목본형 위주로 파종한 2 시험구에서는 목본류 보다는 오히려 별노랑이, 비수



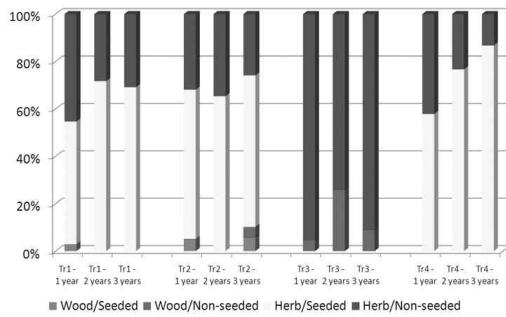


Figure 3. Importance values (%) of species surveyed in the plot during the experiment.

리, 산국 등의 다양한 초본종들이 상대적으로 우세하였으며, 시간이 경과함에 따라서 이들 초본류가 점차 생육이 확대되어 가는 것을 알 수 있다. 특히 파종하지 않은 신갈나무가 3년차에 출현하였는데 이는 주변에서 유입된 종자가 발아한 것으로 판단된다.

또한 3 시험구에서는 매토종자 또는 주변에서 이입된 식생이 많이 조사되었다. 이중 산오리나무, 산딸기, 산벚나무 등은 주변에서 가져온 표토에서 발생한 것으로 판단되며, 주변 시험구에 파종한 싸리, 벌노랑이 등도 일부 침입하여 생육하고 있었다.

표토에 초본종 위주로 파종한 시험구에서는 파종한 초본 종자들이 초기에 발아하여 생육공간 대부분을 차지함에 따라 표토 내에 함유된 매토종자(seed bank)의 효과는 없는 것으로 나타났다.

시험구를 전체적으로 볼 때 종자파종에 사용된 식물 중 일부종만 조사되었는데, 실내 발아율(25℃ 항온 조건)이 높은 종자라 하더라도 현장 발아율과는 큰 차이를 보이고 있으며, 별도의 휴면타파 처리를 하지 않은 종자를 사용할 경우는 현장 발아율이 매우 낮아지는 것으로 알려져 있다. 붉나무, 단풍나무 등과 같은 목본종은 현장내에서 비탈면 녹화공에 적용하였을 때 일정기간 휴면타파를 갖는 것으로 알려져 있어 시공 후 3년간의 초기 조사에서는 출현하지 않은 것으로 판단된다. 반면 일반적으로 많이 사용하고 있는 낭

아초가 발아되지 않은 이유는 종자의 원인이었던 것으로 분석되었다.

출현종의 식생중요도 분석에서도 나타나고 있는데, 대부분의 시험구에서 초본종이 우점하고 있는 것으로 분석되었으며, 목본종의 식생중요도가 10% 이하로 매우 낮은 것으로 나타났다. 녹화를 위한 종자 파종 방법에서는 식물종의 배합이 매우 중요한데(김남춘 등, 2005), 본 연구에서와 같이 혼합 파종할 경우에는 초본류가 과다하게 우점하는 경향을 나타내는 특징을 보이고 있다.

목본식물에 대한 분석 결과 선발 가능식물로는 자귀나무와 싸리류가 적합하였으며, 본 현장에서 남아초는 생육이 두드러지지 못하였다. 또한 주변에서 산오리나무, 아까시나무, 신갈나무 등이 침입하여, 향후 활용가능성이 높을 것으로 판단된다.

초본식물에 대한 분석 결과 콩과 중에서 벌노랑이, 비수리, 국화과에서는 쭉, 산국, 그리고 벼과에서는 새와 같은 일부 종의 생육이 양호하였다. 일반적으로 벼과 중에서 큰김의털(Tall fescue)류는 발아율이 매우 높다고(90% 이상) 알려져 있으나 금번 실험에서는 종자의 원인으로 인하여 발아되지 못한 것으로 판단된다. 또한 솔새, 역새 등은 비탈면녹화 현장에서는 시공초기에는 잘 나타나지 않고 3~5년 정도가 경과한 시점에서 순차적으로 나타나는 것을 볼 수 있는데, 본 현장에서도 조사구 외의 지역에서 일부 개체가 나타나고 있는 것을 볼 수 있었다.

국화과 중에서는 별개미취, 쑥부쟁이, 구절초 등이 출현하지 않았는데 이들 종은 단일 파종 현장에서는 비교적 생장이 용이하지만 다양한 식물종과의 혼합파종에서는 초기 경쟁에서 밀려 출현빈도가 극히 낮은 것으로 나타났다.

침입종으로는 강아지풀, 달맞이꽃, 질경이, 새콩 등이 많이 나타났는데, 이들은 대부분 건조지에서 시공 초기에 침입이 왕성한 종들로 알려져 있다.

종자의 배합비율에 따른 영향도 나타나고 있

**Table 7.** Changes in importance values (%) associated with four seeding treatments.

Category	Surveyed plants	Treatment 1			Treatment 2			Treatment 3			Treatment 4				
		1 year after	2 years after	3 years after	1 year after	2 years after	3 years after	1 year after	2 years after	3 years after	1 year after	2 years after	3 years after		
Wood species	Seeded	자귀나무 <i>Albizia julibrissin</i>				0.0522	0.0000	0.0000							
		참싸리 <i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	0.0292	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0571	0.0000	0.0000	0.0900				
	Non-seeded	산오리나무 <i>Alnus hirsuta</i>							0.0000	0.2079	0.0000				
		산딸기 <i>Rubus crataegifolius</i>							0.0000	0.0521	0.0000				
		산벚나무 <i>Prunus sargentii</i>							0.0453	0.0000	0.0000				
	산갈나무 <i>Quercus mongolica</i>				0.0000	0.0000	0.0445								
Herb. species	Seeded	별노랑이 <i>Lotus corniculatus</i>	0.1184	0.3962	0.3440	0.0368	0.0279	0.0000				0.17070	0.45774	0.57095	
		비수리 <i>Lespedeza cuneata</i>				0.0757	0.0353	0.0000							
		산국 <i>Dendranthema boreale</i>	0.0590	0.1234	0.0000	0.3524	0.3148	0.2497	0.0000	0.0000	0.2135	0.14499	0.13792	0.05505	
		새 <i>Arundinella hirta</i>	0.0889	0.0320	0.1869	0.0436	0.0317	0.0000	0.0000	0.0000	0.0715	0.11435	0.00000	0.00000	
		쭉 <i>Artemisia princeps</i>	0.2513	0.1658	0.1607	0.1208	0.2444	0.3900	0.0710	0.2296	0.3706	0.14866	0.17118	0.24196	
	Non-seeded	강아지풀 <i>Setaria viridis</i>				0.0522	0.0000	0.0000							
		깨풀 <i>Acalypha australis</i>							0.1735	0.0000	0.0000				
		꽃풀 <i>Prunella vulgaris</i>	0.0295	0.0000	0.0000	0.0207	0.0000	0.0000	0.2539	0.0000	0.0000				
		달맞이꽃 <i>Oenothera odorata</i>	0.0000	0.0000	0.0329	0.1272	0.2280	0.2586	0.0000	0.0000	0.0989				
		망초 <i>Conyza canadensis</i>	0.0000	0.2825	0.0307							0.00000	0.23316	0.05320	
		미국가막사리 <i>Bidens frondosa</i>				0.1185	0.0000	0.0000	0.0430	0.0000	0.0000				
		민들레 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.0000	0.0000	0.0974										
		사철쭉 <i>Artemisia capillaris</i>	0.1808	0.0000	0.0000	0.0000	0.0279	0.0000				0.13195	0.00000	0.00000	
		새궁 <i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i>										0.02815	0.00000	0.00000	
		영경귀 <i>Cirsium japonicum</i> var. <i>ussuriense</i>	0.0000	0.0000	0.0342					0.0819	0.0000	0.0956	0.00000	0.00000	0.07884
		질경이 <i>Plantago asiatica</i>	0.2430	0.0000	0.1132					0.0563	0.2058	0.0598	0.26119	0.00000	0.00000
		차풀 <i>Chamaecrista nomame</i>				0.0000	0.0900	0.0000							
		환삼덩굴 <i>Humulus japonicus</i>								0.2752	0.3047	0.0000			
		Total		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

는데 파종에 사용한 쭉 등은 사용량에 따라 일부 지역에서 과도하게 우점하는 현상을 보이고 있으므로 배합비율 결정에 신중하여야 할 것이며, 새 등의 벼과 식물은 시간이 지나면서 점차 생육을 확대해가는 종으로 향후 활용가능성이 있다고 판단된다.

본 연구대상지와 같이 백두대간 구역 또는 인접 구역의 식생복구에 있어서는 자생종 위주의 복원녹화가 적극 활용되어야 하며(고정현 등, 2006), 무등산 산지훼손지 복원사업에 일부 자생 식물을 이용한 복원공사(오구균 · 김도균, 2006)와 같이 백두대간 인접구역에서의 식생복구는 원식생복원을 위한(이준우 등, 2003) 식물종 선정이 매우 중요한 항목이라고 판단된다.

또한 초기에는 파종한 식생이 우점하지만, 5년 정도 경과하면 목본의 출현빈도와 점유면적이 늘어나 비탈면 안정화에 기여하게 된다는 연구(남언정 등, 2007)와 같이 식생복구 효과는 좀 더 장기적으로 분석할 필요가 있다.

종자 파종 방법으로는 종자와 멀칭재 일부를 포설하는 seed spray 방식이 적용되었는데, 열악한 현지 환경에는 부적합한 것으로 해석할 수 있다. 결국 종자와 함께 일정 두께 이상의 식생기반재를 같이 포설하는 얇은층 식생기반재 뿔어붙이기 방법의 적용이 바람직할 것으로 사료된다. 멀칭 방법 중에서 임목폐기물을 파쇄하여 만든 칩등을 재활용하여 녹화기반에 혼합하면 출현종, 피복율 개선에 기여할 수 있는 방법(고정현 등,

2010)도 검토가 필요할 것이다. 특히 토양 개량 부분이 목본종의 생육에 중요한 영향을 미칠 수 있으므로, 백두대간과 같은 지역에서 수림화에 의한 식생복구를 목표로 하는 현장에서는 이 방법의 적용이 필요할 것이다.

#### IV. 결 론

백두대간에 인접해 있는 옥계 석회석 광산의 생태적 복구기준 수립을 위하여 2007년에 시험 시공을 한 후 3년이 경과한 시점에서 복구효과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 광산 복구에 있어서는 식생기반토양의 이화학성이 식생복구의 성패를 가름하는데 중요한 요소로 판단되며, 시험시공 후 시간이 경과하여 토양 용적밀도가 낮아지면서 식생피복도가 점차로 증가되어 가는 경향을 보이고 있다.

2. 종자 파종 방법에서는 초본형 위주로 종자를 배합한 시험구의 효과가 매우 높았으며, 상대적으로 조기에 시공 대상지를 피복시키는 효과가 있었다. 목본종 위주로 종자를 배합한 경우는 초본형 위주보다 초기 피복효과는 떨어지지만, 향후 수림화를 목표로 할 때 장기적인 측면에서는 바람직하다고 판단된다.

3. 현지표토를 활용한 결과 식생복구지역의 종다양성 증진 면에서는 도움을 주는 것으로 분석되었지만, 표토와 다른 종자를 같이 혼합한 경우에는 매토종자에서 발아된 식물이 파종한 식물에 의해 피압되는 현상으로 인하여 표토활용 효과가 높지는 않았다.

4. 석회석 광산과 같이 식물의 생육조건이 열악한 곳에서는 식생피복에 많은 시간이 소요되며, 또한 시간에 따라서 피복하는 식생종도 변화되는 것을 알 수 있었다. 또한 파종하지 않은 침입종 중에서 일부 종은 활용 가능성이 매우 높았으며, 특히 현지 환경에서 자연적으로 발생하여 생육하고 있는 산오리나무 및 신갈나무 등은 종자 파종에 의해 성립이 충분히 가능한 식물이라

고 판단된다.

5. 백두대간과 같이 지리적으로나 생태적으로 의미가 있는 곳에 위치한 산지 훼손지의 경우 조기 피복 보다는 원식생 복구와 같은 중장기적인 복구목표를 수립하는 것이 바람직하며, 다양한 자생종과 표토를 활용한 복구의 가능성은 충분히 검토할 가치가 높다고 판단된다.

#### 인 용 문 헌

- 고정현 · 吉田寬 · 김남춘. 2006. 일본의 비탈면 녹화공법 발전과정과 전망. 한국환경복원기술학회지 9(1) : 112-120.
- 고정현 · 허영진 · 이용구 · 김남춘. 2010. 임목폐기물 파쇄칩을 활용한 녹화기술의 비탈면 적용성에 관한 연구. 한국환경복원기술학회지 13(10) : 47-56.
- 국토해양부. 2009. 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침. 국토해양부 보고서.
- 김경훈 · 우보명. 1999. 비탈면 녹화용 재료로서 산림 표층토의 적정 채취시기 및 이용방법. 한국환경복원기술학회지 2(2) : 53-61.
- 김경훈 · 홍준석. 2002. 석회석 광산의 생태적 복원모델 수립-라파즈한라시멘트 옥계광산을 중심으로-. 환경친화적인 광산개발 및 생태적 복원모델 수립을 위한 세미나 자료집. pp. 99-139.
- 김귀근. 2003. 석회석 광산의 생태복원계획-라파즈한라시멘트 옥계광산을 사례로-. 석회석 광산의 생태복원에 관한 국제 심포지엄 자료집. pp. 12-13.
- 김남춘 · 허영진 · 김정훈. 2005. 환경친화적인 도로비탈면 훼손지 복원을 위한 적정 식물 배합에 관한 연구, 한국환경복원기술학회지 8(4) : 81-90.
- 남언정 · 김남춘 · 조민환 · 길인 · 이석해 · 이정화. 2007. 재래 초 · 목본 식물 위주의 비탈면녹화시공지에 대한 식생변화에 관한 연구

- 모니터링 조사를 중심으로-. 한국환경복원 기술학회지 10(4) : 70-82.
- 라파즈한라시멘트(주). 2005. 석회석 광산 생태복원 기본설계. 라파즈한라시멘트(주) 보고서.
- 박재현. 2007. 백운산 지역에서 벌채지내 운재로의 회복에 관한 연구. 한국환경복원기술학회지 10(2) : 34-43.
- 산림청. 2006. 채석 허가 및 복구 제도 개선 방안. 산림청 보고서.
- 오구균 · 김도균. 2006. 생태녹화공학. 광일문화사.
- 이준우 · 권태호. 2007. 백두대간의 현실. 백두대간의 훼손실태. 2007 백두대간심포지엄 자료집. pp. 45-63.
- 이준우 · 김남춘 · 남상준 · 박종민 · 차두송. 2003. 석회석 광산의 식생녹화방법에 관한 고찰-일본 이부키광산과 부코우 광산의 사례연구-. 한국환경복원기술학회지 6(6) : 72-85.
- 정용호. 2008. 폐광지역 생태적 복구방안. 2008 광해방지심포지엄 자료집. pp. 216-224.
- 한국광해관리공단. 2011. 2010년 광해통계연보. 한국광해관리공단.