

강원도 석탄 폐광지 주변 폐석더미에서 복토와 식생기반재 처리가  
소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.)와  
참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya* Miq.)의 경쟁에 미치는 영향

이 궁<sup>1)</sup> · 임주훈<sup>1)</sup> · 김정환<sup>1)</sup> · 이임균<sup>2)</sup> · 정용호<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국립산림과학원 산림수토보전과 · <sup>2)</sup> 산림청 산림정책과

**Effects of Soil Covering Depth and Vegetation Base Materials on the  
Competition between *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. and *Lespedeza  
cyrtobotrya* Miq. at Abandoned Coal Mine Land in Gangwon, Korea**

Yi, Koong<sup>1)</sup> · Lim, Joo-hoon<sup>1)</sup> · Kim, Jeong-Hwan<sup>1)</sup> · Lee, Im-Kyun<sup>2)</sup> and Jeong, Yong-Ho<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute,

<sup>2)</sup> Forest Policy Division, Korea Forest Service.

**ABSTRACT**

This study was conducted to evaluate the effect of soil covering depth and vegetation base materials on the competition between *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. and *Lespedeza cyrtobotrya* Miq., which were grown in an abandoned coal mine land for three years after seeding, by comparing their growth and stem density. The study site was consisted of sub-plots with four different soil covering depths (0cm, 10cm, 20cm, and 30cm) and four different compounds of vegetation base materials (peat moss (control), soil conditioner+peat moss (S+P), erosion control material+peat moss (E+P), and soil conditioner+erosion control material+peat moss (S+E+P)). Results of this study showed opposite pattern between *P. densiflora* and *L. cyrtobotrya* with different soil covering depth and compounds of vegetation base materials in general. *P. densiflora* showed the highest growth and stem density in

**First author** : Yi, Koong, Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 130-712, Korea,  
Tel : +82-2-961-2932, E-mail : fowater@forest.go.kr

**Corresponding author** : Lim, Joo-hoon, Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 130-712, Korea,  
Tel : +82-2-961-2632, E-mail : forefire@forest.go.kr

**Received** : 15 October, 2012. **Revised** : 24 December, 2012. **Accepted** : 24 December, 2012.

plots with 10cm and 0cm depths of soil covering, respectively, while the lowest was shown in plots with 20cm depth of soil covering. In contrast, *L. cyrtobotrya* showed the highest growth and stem density in plots with 20cm depth of soil covering, while the lowest was shown in plots with 0cm depth of soil covering. In case of vegetation base materials, *P. densiflora* showed the highest growth and stem density in control plots and plots treated with S+P, respectively, while the lowest was shown in plots with S+E+P treatment. On the other hand, *L. cyrtobotrya* showed the highest growth and stem density in plots treated with S+E+P, while the lowest was shown in control plots. These results suggested the competition between two plants as a major cause of opposite patterns, which is induced by the suppressed growth and stem density of *P. densiflora* by fast growing *L. cyrtobotrya*. Despite the suppression of *L. cyrtobotrya* on *P. densiflora*, *L. cyrtobotrya* can play a positive role in improving soil quality, and thus it would be more desirable for restoring abandoned coal mine land to manage the growth of *L. cyrtobotrya* periodically, rather than eliminate them.

Key words : *phytorestation, vegetation cover, mine wastes, soil conditioner, erosion control material.*

## I. 서 론

국내 에너지 소비구조의 변화에 따라 무연탄의 소비가 급격히 감소하면서 대부분의 석탄광산은 폐광되었다. 2010년 기준으로 남아있는 가행광산은 6개소로, 이는 총 석탄광산의 1.5%에 불과하다(Mine Reclamation Corporation, 2012). 과거 2차 산업이 활발할 당시 이루어진 광범위한 채광 활동으로 인해 넓은 면적의 산림이 황폐화되었다. 특히 전체 채탄량의 60% 이상에 해당하는 폐석들을 모아놓은 폐석더미는 지금까지 전국에 산재하여 있으며, 자연경관을 훼손시키는 등 물론 지반침하와 폐석유실을 일으키는 등 다양한 환경문제의 원인이 되고 있다(Bradshaw and Chadwick, 1980; Cho *et al.*, 1995).

폐석더미를 안정화시키는 수단으로는 다양한 물리·화학적 처리방법이 있지만, 비용이 많이 들고 지속효과가 길지 않아 효율적이지 못한 것으로 알려져 있다(Smith and Bradshaw, 1979). 따라서 이에 대한 대안으로 폐석더미의 기질특성을 분석하고, 식물의 생육에 적합하도록 개량하여 식생으로 피복하는 생태적인 접근방법이

제시되고 있다(Lunt *et al.*, 2003).

최근 폐석더미의 식생복원을 위한 방법으로 폐석더미 위에 복토를 실시하고 토양의 기질을 개선하여 식물의 생육을 촉진하는 방안에 관한 연구가 활발히 진행 중이다(Korea Forest Research Institute, 2012). 그러나 구체적으로 복토깊이나 다양한 식생기반재 처리에 의한 토양기질 개선이 식물의 생장에 미치는 영향에 관련된 연구는 많지 않은 실정이다. 더욱이 기존의 연구들은 식피율을 높이는 데에 초점을 맞추어 단순히 초지를 조성하거나 선발된 종을 도입하여 단순림을 조성하는 형태였으며, 이러한 형태는 종다양성 뿐만 아니라 계층구조 측면에서도 안정된 생태계를 이루는 생태학적 접근과는 거리가 멀다(Lee *et al.*, 2002; Kim, 2005).

한편, 소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.)는 우리나라 산림을 이루는 교목수종 중 약 23%를 차지하며 다양한 용도로 이용되는 주요 수종이다(Korea Forest Service, 2011). 또한 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya* Miq.) 등의 싸리나무속은 전국 초지 및 산야에 널리 분포하며 2차 천이 초기단계에서 대표적으로 우점하는 낙

엽관목이다(Song and Kim, 1992). 일반적으로 식생복원시 가급적 자생종 위주로 녹화하는 것이 자연천이를 촉진하고 유전적인 교란을 방지하는 데에 유리한 것을 감안하면(Koh *et al.*, 2006; Cha *et al.*, 2008), 국내에 널리 분포하는 소나무와 참싸리를 이용한 복원연구의 중요성은 타 수종에 비해 높다고 할 수 있다. 특히 참싸리는 질소고정식물 중 하나로서 이들의 식재는 토양기질을 개선하는 데에 효과적일 것으로 예상된다. 따라서 폐석더미의 복원방안 수립의 일환으로 국내에 자생하는 대표적인 교목 및 관목 수종인 소나무와 참싸리가 계층을 이루며 혼재하는 상황을 조성하고 이들의 성장 및 경쟁 관계를 추정하는 연구는 기존의 단일 수종을 대상으로 하는 제한된 연구에 비해 생태학적 측면에서 보다 의미가 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 폐석더미에 복토 및 식생기반재를 처리하여 시험지를 조성하고, 그 위에 대표적인 교목수종인 소나무와 관목수종인 참싸리를 함께 파종한 후 이들의 성장 및 개체군 밀도를 조사하여 각 처리에 따라서 복원 초기의 성장과 수종 간 경쟁이 어떤 형태로 나타나는지 알아보고자 하였다. 이러한 초기의 복원형태 연구를 통해 장기적인 관점에서 토양기질 개선방법 및 복원방향을 구명하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험지 개황

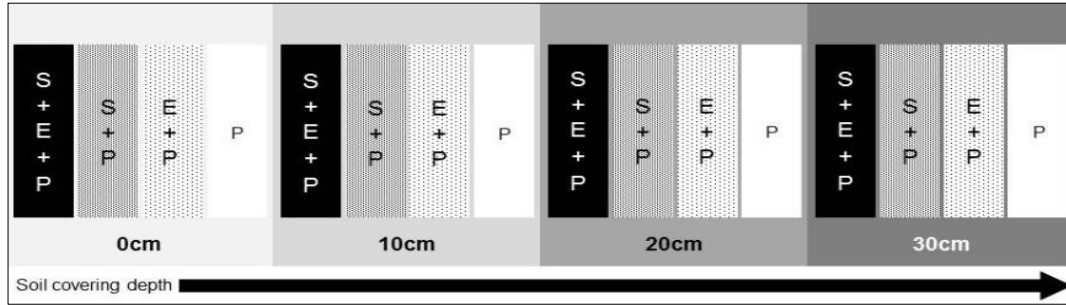
본 시험지는 강원도에 위치하는 D탄광 폐석더미(N 37° 11' 21.88", E 128° 58' 59.48") 상에 조성되어 있으며, 이 지역의 연평균 기온(1981-2010)은 8.7°C, 연평균 강수량은 1,324.3mm이다(기상청 자료, <http://www.kma.go.kr>). 시험지의 사면경사는 25-30°, 사면방향은 남서사면이다. 조사지 주변에는 모암이 노출된 노암지가 많고 전반적으로 토양 발달이 빈약하며, 천연림인 소나무 군락과 인공림인 일본잎갈나무 군락이 분

포하고 있다.

폐석더미의 입도분석 결과, 모래의 비율이 매우 높은 사양토이고, 입경 2mm 이하의 폐석이 전체 폐석의 49.7%로 가장 많았으며, 입경 2mm - 2cm의 폐석은 전체 폐석의 3%로 식생이 착생하기에 비교적 양호한 환경이었다. 폐석의 산도는 pH 4 이하로 강산성을 띠었다. 유기물 함량은 일반 산림토양에 비해 높은 것으로 나타났으며, 전질소와 유효인산은 일반 산림토양과 크게 차이가 없었으나, 양이온치환용량을 비롯한 치환성양이온의 함량은 매우 낮았다.

### 2. 시험지 조성

본 시험지는 2008년 9월 폐석더미에서 식생의 활착 및 성장에 미치는 복토 및 식생기반재 처리의 효과를 구명하기 위해 조성되었으며, 이를 위해 폐석더미에 기초지반 정리를 위한 비탈다듬기와 단끊기 작업을 선행하였다. 이후 복토 깊이에 따른 소나무 및 참싸리의 개체군 밀도를 비교하기 위해 복토를 전혀 하지 않은 대조구를 포함하여 10cm, 20cm, 30cm 깊이 등으로 복토한 4개 시험구를 조성하였다. 복토용 흙은 자갈 이상 크기의 돌이 섞이지 않은 순수한 모래토양을 사용하였으며, 기타 협잡물은 섞여있지 않았다. 시험지 내 폐석의 크기가 고르지 않았으므로 폐석 간의 공간을 잘 충전하고 정해진 복토깊이가 확보되도록 복토하였다. 또한 식생기반재 처리에 따른 개체군 밀도의 차이를 비교하기 위해 각 복토처리구 내에 토양개량제(soil conditioner, S), 침식방지제(erosion control material, E), 피트모스(peat moss, P) 등 일반적으로 사용되는 식생기반재의 혼합을 다양하게 처리한 4개 시험구(피트모스 처리구(대조구), 토양개량제 + 피트모스 처리구(S+P), 침식방지제 + 피트모스 처리구(E+P), 토양개량제 + 침식방지제 + 피트모스 처리구(S+E+P))를 조성하였다(Figure 1). 처리구 조성을 위해 사용된 식생기반재 양은 각각 토양개량제 11,000g m<sup>-2</sup>, 침식방지제 4g m<sup>-2</sup>, 피트모



**Figure 1.** Study plots with different soil covering depth and plant base materials in abandoned coal mine land (S, E, and P indicates soil conditioner, erosion control material, and peat moss, respectively).

스  $0.002 \text{ l m}^{-2}$  등이었다. 조성된 시험지에 2009년 7월 소나무와 참싸리 종자를 습식종자뿌어붙이기(wet seed-spraying measure) 공법으로 직파하였으며, 수종별 파종량은 각각  $0.01 \text{ l m}^{-2}$  였다. 종자살포가 끝난 사면에는 거적을 지면과 잘 밀착하도록 덮었으며, 야생동물 기피제를 3배 희석하여 거적 위에 고압 살포하였다.

**3. 조사방법**

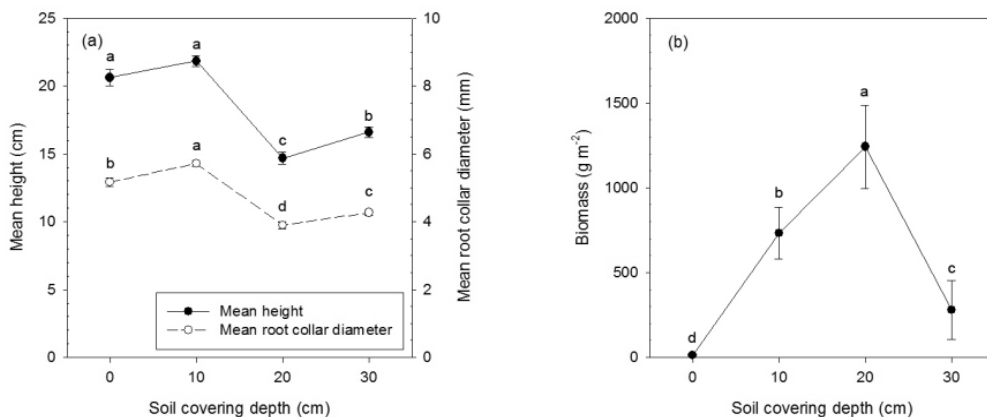
2012년 9월 각 처리구별로  $2\text{m} \times 2\text{m}$  크기의 방형구 내 소나무 치수의 수고, 근원경 및 개체수를 3반복으로 측정하였다. 참싸리의 자료는 2012년 8월 Kim *et al.* (2012)이 동일한 시험지에서 측정한 생체량 및 개체수를 이용하였다.

참싸리가 소나무와 달리 맹아력이 강한 수종임을 감안하여, 소나무 치수의 수고 및 근원경과 참싸리의 생체량을 각 수종의 성장량을 대표하는 척도로써 비교하였다. 또한 한 시험구 내 두 수종의 개체군 밀도를 비교하여 상호 경쟁관계를 추정하였다. 복토깊이 및 식생기반재 처리에 따른 수종별 성장 경향 및 개체군 밀도를 비교하기 위하여 SAS 9.2 (analytical software)를 이용하여 분산분석을 실시하였다.

**III. 결과 및 고찰**

**1. 복토깊이에 따른 소나무 및 참싸리의 성장 비교**

복토깊이에 따른 소나무의 성장을 비교한 결

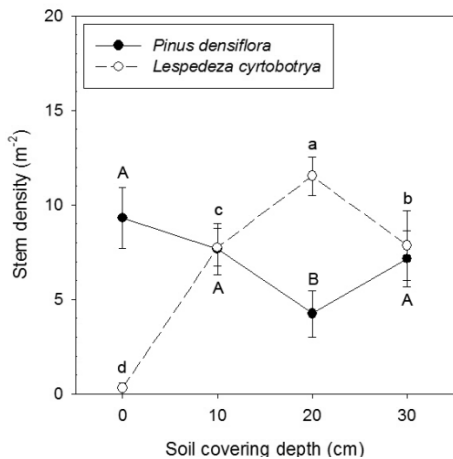


**Figure 2.** Mean height and root collar diameter of *Pinus densiflora* seedlings (a) and biomass of *Lespedeza cyrtobotrya* (b; Kim *et al.* (2012)) with different soil covering depth. Error bars indicate standard errors. The values indicated with different letters are significantly different with other values.

과, 수고 및 근원경은 서로 유사한 경향을 보였다(Figure 2a). 수고 및 근원경은 모두 복토를 10cm 깊이로 처리하였을 경우 가장 높았으며, 20cm 깊이로 처리하였을 경우 가장 낮았다. 한편, 참싸리의 생체량은 20cm 깊이의 복토처리구에서 가장 높았으며, 소나무의 성장과 비교하였을 때 대체로 반대되는 경향을 보였다(Figure 2).

복토깊이에 따른 소나무의 개체군 밀도를 비교한 결과, 20cm 깊이의 복토처리구에서 가장 낮았으며 타 시험구와 비교했을 때 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 가장 높은 개체군 밀도를 보인 것은 복토를 전혀 하지 않은 대조구였으나 10cm 또는 30cm 깊이로 복토 처리한 시험구와 유의한 차이는 없었다(Figure 3). 한편 참싸리의 개체군 밀도는 20cm 깊이의 복토처리구에서 가장 높고, 무복토 대조구에서 가장 낮아 소나무의 복토깊이에 따른 개체군 밀도와 반대되는 경향을 보였다(Figure 3).

전반적으로 두 수종 모두 성장량과 개체군

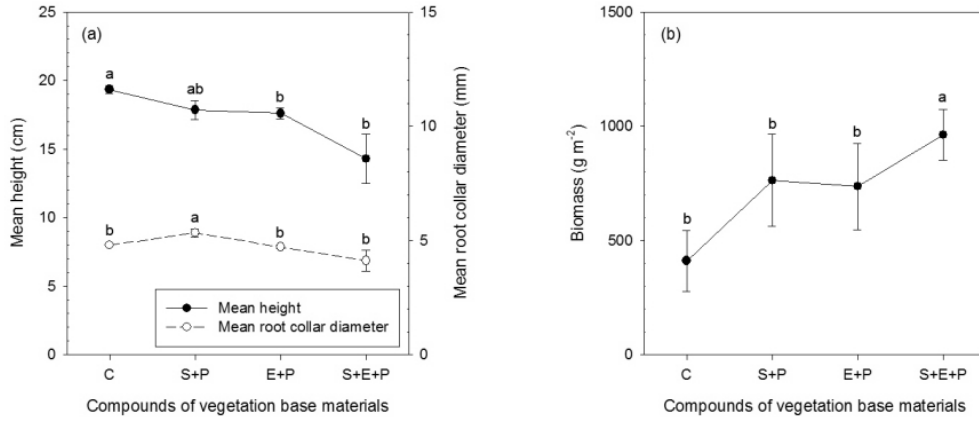


**Figure 3.** Stem density of *Pinus densiflora* seedlings and *Lespedeza cyrtobotrya* with different soil covering depth. Error bars indicate standard errors. The values indicated with different letters are significantly different with other values. Capital letters and small letters are used for *P. densiflora* and *L. cyrtobotrya*, respectively.

밀도 간에는 서로 비례하는 경향을 보였으며, 어느 한 수종의 성장량이 높은 시험구에서 다른 수종의 성장량이 낮은 경향을 보였다. 특히 각 수종에 유리한 복토처리 깊이는 소나무의 경우 무복토처리구, 참싸리의 경우 20cm 깊이 복토처리구인 것으로 나타났다. 이러한 경향이 나타난 원인 중 하나로 복토처리가 토양의 산도를 감소시킬 수 있으며, 이에 따라 초본류 또는 관목류가 상대적으로 우점하기에 용이한 환경이 조성될 수 있다는 선행 연구결과(Pichtel *et al.*, 1994)를 고려할 수 있다. 즉 복토처리구의 소나무 생장이 무복토처리구에 비해 낮은 결과는 복토처리가 참싸리의 성장을 촉진시켜 상대적으로 성장속도가 느린 소나무의 성장을 저해시킨 것으로 추정된다. 한편, 복토를 30cm 깊이로 처리하였을 경우 참싸리의 생장은 무복토처리구에 비해서는 높으나 10cm 또는 20cm 깊이 복토처리구에 비해서는 낮아 복토깊이와 참싸리의 생장이 항상 비례하지 않는 결과를 보였다. 복토깊이에 따른 식생의 성장량을 직접적으로 비교한 연구는 많지 않으나, 식생의 종류에 따라 더 좋은 성장을 보이는 복토의 깊이는 서로 다르다는 기존 연구 결과(Buchanan *et al.*, 2005)는 이러한 본 연구 결과에서 나타난 경향을 뒷받침할 수 있을 것이다. 따라서 폐석터미를 초본류 및 관목류 등의 하층식생으로 빠르게 피복하기 위한 목적으로는 복토를 20cm 깊이로 처리하는 것이 유리하고, 생장이 느린 침엽수 교목립을 조성하기 위해서는 초본류 및 관목류 등의 하층식생을 주기적으로 제거해주는 작업이 필요할 것으로 사료된다.

## 2. 식생기반재 처리에 따른 소나무 및 참싸리의 성장 비교

식생기반재 처리에 따른 소나무의 성장을 비교한 결과, 소나무의 수고 및 근원경은 대조구 및 토양개량제 처리구에서 높고, 토양개량제와 침식방지제를 함께 처리한 시험구에서 가장 낮



**Figure 4.** Mean height and root collar diameter of *Pinus densiflora* seedlings (a) and biomass of *Lespedeza cyrtobotrya* (b; Kim *et al.* (2012)) with different compounds of vegetation base materials. Error bars indicate standard errors. The values indicated with different letters are significantly different with other values.

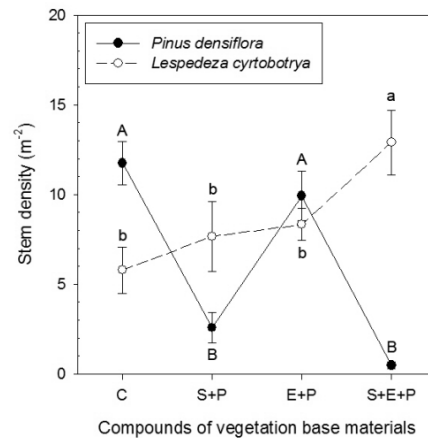
은 경향을 보였다(Figure 4). 한편, 참싸리의 생체량은 소나무의 성장량과 반대로 대조구에서 가장 낮고, 토양개량제와 침식방지제를 함께 처리한 시험구에서 가장 높았다(Figure 4).

소나무의 개체군 밀도는 대조구와 침식방지제 처리구에서 가장 높았으며, 토양개량제와 침식방지제를 모두 처리한 시험구에서 가장 낮았다. 한편 참싸리의 개체군 밀도는 대조구에서 가장 낮고 토양개량제와 침식방지제를 모두 처리한 시험구에서 가장 높아, 소나무의 식생기반재 처리에 따른 개체군 밀도와 대체적으로 반대되는 경향을 보였다(Figure 5).

참싸리의 경우 식생기반재 처리에 따른 생체량과 개체군 밀도는 같은 경향을 보이는 반면 (Figure 4b와 5), 소나무는 토양개량제만 처리한 시험구에 한해서 수고 및 근원경 성장과 개체군 밀도가 다른 경향을 보였다(Figure 4a와 5). 식생기반재 처리에 따른 소나무의 개체군 밀도는 수고와 근원경에 비해 비교적 변화가 심한 것으로 미루어 토양개량제 처리구에서 소나무의 생장이 저해되기 보다는 고사된 개체목이 많았기 때문인 것으로 해석된다.

식물의 생장이 토양산도 및 양분이 일정한

수준으로 유지되는 곳에서 촉진되며(Pichtel *et al.*, 1994), 토양개량제 및 침식방지제가 이를 돕는 역할을 하는 것은 일반적으로 알려진 사실이나, 이와 반하는 본 연구에서의 소나무 관련



**Figure 5.** Stem density of *Pinus densiflora* seedlings and *Lespedeza cyrtobotrya* with different compounds of vegetation base materials. Error bars indicate standard errors. The values indicated with different letters are significantly different with other values. Capital letters and small letters are used for *P. densiflora* and *L. cyrtobotrya*, respectively.

결과는 결국 참싸리의 성장과 관계가 깊은 것으로 추정된다. 즉 폐석더미에 처리된 토양개량제 및 침식방지제는 소나무와 참싸리의 성장에 모두 긍정적인 영향을 미칠 수 있지만, 이들의 처리효과가 성장속도가 빠른 관목수종인 참싸리의 성장에서 더 크게 나타나면서 소나무의 피압 정도 또한 커지는 것으로 사료된다.

### 3. 폐석더미의 복원

폐석더미의 복원에 있어서 빠른 피복은 중요하게 고려할 요인 중 하나지만, 초본류 또는 관목류의 피복은 교목류의 피복에 비해 미관상으로 질이 낮으며 지속적으로 짧은 주기의 관리가 요구되므로 장기적인 관점에서 볼 때 적합하지 않을 수 있다. 한편, 관목류의 초기 유입은 빠른 뿌리 발달을 통해 뿌리분비물과 미생물 활성의 효과로 토양의 입단형성을 촉진시켜 비옥도를 향상시킬 수 있으며(Oades, 1993; Tisdall, 1994; Six *et al.*, 2007), 장기적으로 불 때 복토 및 식생기반재 처리의 부재는 토양유실 또는 비옥도의 감소를 발생시킬 수 있으며 이는 식물의 성장을 저해할 수 있다(Fox and Bryan, 1992; Brandsma *et al.*, 1999; Manna *et al.*, 2005). 따라서 교목류만을 위주로 하는 피복은 토양 기질의 개선과 복원의 지속성 측면에서 취약할 수 있다. 따라서 생장이 느린 침엽수 교목림을 지속가능한 형태로 조성하기 위해서는 복원 초기에 적절한 깊이의 복토 및 식생기반재 처리를 통하여 초본류와 관목류에 의한 피복을 적절한 수준으로 유도함으로써 토양의 물리적 성질을 개선하고, 침엽교목 치수를 함께 식재하면서 이들이 초본류 및 관목류에 의해 피압되지 않도록 주기적으로 관리하는 방안이 적절할 것으로 사료된다.

## IV. 결 론

본 연구는 국내에 자생하는 대표적인 관목 및 교목수종인 참싸리와 소나무를 이용한 폐석

더미의 복원방안과 관련하여 복토처리 깊이와 식생기반재 처리에 따른 복원 초기 두 수종의 성장량 및 개체군 밀도를 비교함으로써 예상되는 복원형태를 추정하고, 복원목적에 부합하는 처리형태를 제시하고자 하였다. 결과적으로 두 수종은 복토깊이 및 식생기반재 처리에 따라 뚜렷한 성장 차이를 보였으며, 성장속도가 빠른 참싸리의 우점이 소나무의 성장량 및 개체군 밀도를 결정하는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 토양개량제와 침식기반재를 함께 처리하고 복토를 적절한 깊이로 처리하였을 때 맹아력이 강한 관목류의 성장을 촉진시킴으로써 폐석더미의 빠른 피복을 유도할 수 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 지속가능한 폐석더미의 복원 방안을 수립하기 위해서는 복원 속도 뿐만 아니라 복원 이후의 식생 피복 형태, 복원의 지속성, 그리고 복원 비용 등을 종합적으로 고려해야 할 것이다.

향후 연구를 통해 두 수종의 성장 및 경쟁과정을 장기적으로 조사하여 단기적인 연구로 추정하기 어려운 천이과정을 확인할 필요가 있다. 또한 시험지 내 토양의 물리·화학적 성질 변화를 함께 측정함으로써 이들이 개선되는 최적의 조건을 구명하는 연구를 통해 가장 효과적이고 효율적인 폐석더미 복원방안을 강구해야 할 것이다.

## 인 용 문 헌

- Bradshaw, A. D. and M. J. Chadwick. 1980. The restoration of land : The ecology and reclamation of derelict and degraded land. UK : Cambridge University Press.
- Brandsma, R. T. · M. A. Fullen and T. J. Hocking. 1999. Soil conditioner effects on soil structure and erosion. *Journal of Soil and Water Conservation* 54 : 485-489.
- Buchanan, B. · M. Owens · J. Mexal · T. Ramsey

- and B. Musslewhite. 2005. Long-term effects of cover soil depth on plant community development for reclaimed mined lands in New Mexico. Lexington, KY : American Society of Mining and Reclamation. pp. 115-126.
- Cha, G. W. · Y. J. Hur and T. Y. Ahn. 2008. The increase of seeds germination in *Albizia julibrissin*, *Lespedeza cyrtobotrya* and *Lespedeza cuneata* by microbial treatment. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 11 : 107-115. (in Korean with English summary)
- Cho, H. J. · S. C. Lee and Y. H. Cheong. 1995. Ecological study for restoration of vegetation on abandoned coal-mined land. Research reports of the Forest Research Institute 51 : 14-24. (in Korean with English summary)
- Fox, D. and R. B. Bryan. 1992. Influence of a polyacrylamide soil conditioner on runoff generation and soil erosion : Field tests in Baringo District, Kenya. Soil Technology 5 : 101-119.
- Kim, J. D. 2005. Assessment of pollution level and contamination status on mine tailings and soil in the vicinity of disused metal mines in Kangwon province. Journal of Korean Society of Environmental Engineers 27 : 626-634. (in Korean with English summary)
- Kim, J. H. · J. H. Lim · K. Yi · I. K. Lee and Y. H. Jeong. 2012. Effects of soil covering depth and vegetation base materials on the growth of *Lespedeza cyrtobotrya* Miq. in abandoned coal mine land in Gangwon, Korea. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 15 : 61-67. (in Korean with English summary)
- Koh, J. H. · Y. Hiroshi and N. C. Kim. 2006. A study on the historical changes and prospect of slope revegetation technology in Japan. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 9 : 112-120. (in Korean with English summary)
- Korea Forest Research Institute. 2012. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water in abandoned mines. Research report to Korea Forest Research Institute. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2011. Statistical yearbook of forestry. Daejeon : Korea Forest Service. (in Korean)
- Lee, J. C. · S. H. Han · S. S. Jang · J. H. Lee · P. G. Kim · J. S. Hur and K. J. Yum. 2002. Selection of indigenous tree species for the revegetation of the abandoned coal mine lands in Taebak Area. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 4 : 86-94. (in Korean with English summary)
- Lunt, I. D. 2003. A protocol for integrated management, monitoring, and enhancement of degraded *Themeda triandra* grasslands based on planting of indicator species. Restoration Ecology 11 : 223-230.
- Manna, M. C. · A. Swarup · R. H. Wanjari · H. N. Ravankar · B. Mishra · M. N. Saha · Y. V. Singh · D. K. Sahi and P. A. Sarap. 2005. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. Field Crops Research 93 : 264-280.
- Mine Reclamation Corporation. 2012. Yearbook of MIRECO statistics. Seoul : Mine Reclamation Corporation. (in Korean)
- Oades, J. M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of



- soil structure. *Geoderma* 56 : 377-400.
- Pichtel, J. R. · W. A. Dick and P. Sutton. 1994. Comparison of amendments and management practices for long-term reclamation of abandoned mine lands. *Journal of Environmental Quality* 23 : 766-772.
- Six, J. · H. Bossuyt · S. Degryze and K. Deneff. 2007. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research* 79 : 7-31.
- Smith, R. A. H. and A. D. Bradshaw. 1979. The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes. *Journal of Applied Ecology* 16 : 595-612.
- Song, S. D. and B. I. Kim. 1992. Changes of nitrogen-fixation activity and environmental factors of growth in *Lespedeza bicolor* Turcz. *Journal of Plant Biology* 35 : 317-322. (in Korean with English summary)
- Tisdall, J. M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil* 159 : 115-121.