

비탈면 녹화시 표층토내 잠재종자의 활용방안에 관한 연구*

김남춘¹⁾ · 손원주²⁾ · 정성철²⁾ · 정지준²⁾ · 남상준²⁾

¹⁾ 단국대학교 생명자원과학대 환경조경학전공 · ²⁾ 단국대학교 대학원 생명자원학과 환경조경전공

Study on the Vegetation Restoration of Disturbed Slopes with Latency Seeds in the Forest Topsoil*

Kim, Nam-Choon¹⁾ · Son, Won-Joo²⁾ · Jung, Sung-chul²⁾ · Jung, Ji-Jun²⁾ and Nam, Sang-jun²⁾

¹⁾ Dept. of Landscape Architecture, School of Bio-Resources Science, Dankook University,

²⁾ Dept. of Bio-Resources Science, Graduate School of Dankook University.

ABSTRACT

This research is of the rapid industrialization taking place resulting in the destruction of forests. The method that is implemented needs the vegetation to work well with the topsoil in order to restore the environment. In November the researcher collected a depth of 5 cm of topsoil from a well developed forest, after the fallen leaves were cleared. The results of the essential research are as follows :

In the case of using the forest topsoil to plant trees latency seeds, during the early stages of tree planting, time is necessary for the desired vegetation to reach a similar state to the vegetation being restored. The results conclude that the best possible affect is obtained through a method utilizing seeded species.

Utilizing forest topsoil, slopes that have been too damaged for trees to be planted can be sown with seeds. In addition the rearing of naturally-emerging species had a tendency to decline. When considering rearing naturally-emerging species to flourish in the topsoil, in the early stages of tree planting, the beginning foundation of sowing seeded species has to have a standard of about 1,000parts/m². This standard has been found to the most successful.

Key Words : Seed bank, Forest topsoil, Latency seeds, Naturally emerging species.

* 이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

I. 서 언

최근 생물 다양성의 중요성이 부각되면서 1992년 지구 정상회담, 1993년 생물 다양성 조약 체결, 1995년 생물 다양성 국가 전략 책정(P·D), 2002년 신·생물 다양성 국가 전략(C·A) 등이 세워지고 있다. 그로인해 생물 다양성의 레벨이 ①유전자 레벨, ②종·개체군 레벨, ③생태계·군집레벨, ④경관레벨로 생물 다양성의 범위가 확대되고 있는 실정이다(龜山章, 2003).

각지에서 광범위하게 녹화가 실행되고 있는 결과, 도입한 종이, 역으로 지역의 침략종이 되고, 재래종을 위협하는 등 생태계를 교란하는 문제가 발생되어 자생종 활용의 중요성이 강조되고 있다(Morrison, 1996). 생물 다양성 보전을 위한 구체적 방안으로 ① 현지 표토의 보전·활용 ② 자생종의 묘 생산 ③ 근주이식, 복사이식 등이식기술 개발 ④ 귀중종의 증식 ⑤ 적절한 유지관리계획 등이 있다(도로녹화보존협회, 2002; 구산장, 2003).

우리나라에서는 급속한 산업화의 진행으로 인해 각종 건설공사시 파괴된 산림 훼손지에 대한 복구문제가 큰 사회문제로 대두되고 있는 실정이며(오희영, 1993; 김남춘 등, 1993), 환경친화적국토 및 도시관리체계에 대한 국민적 요구가 제시되고 있다(정태건·김남춘, 2001; 환경부, 2001). 이로 인해 개발을 하되 경관미를 보존하고 파괴된 환경의 토양 및 식생을 생태복원하는 환경친화적인 개발이 전제조건이 되어가고 있다(건설교통부, 1997; 남상준 등, 1998; 남상준 등, 1999).

이러한 공법 중 하나인 산림표층토를 이용한 공법은 야생초화류에서부터 다층구조 산림형에 이르기까지 다양한 식생패턴과 주변식생과 연계한 조화로운 식물군락을 조성할 수 있고, 자연천이가 가능하다는 점에서 환경친화적인 녹화공법이라고 인식되고 있다(龜山章, 2003). 절개 비탈면 및 훼손지는 식생의 생육기반이 불량하여 자연복원력에 의하여 복원되기 위해서는 장시간이 소요되므로(우보명, 1997), 표토를

활용하는 방안이나 국내 재래 초·목본식물을 활용하여 주변경관과 이질감을 느낄 수 없고, 다양한 식물서식처를 제공할 수 있는 환경친화적인 비탈면 녹화기술 개발이 시급히 요청되고 있다(김남춘, 1998; 김경훈·우보명, 1999; 龜山, 1989).

최근 자원의 재활용 측면에서 주변의 산림 표층토를 이용하여, 표층토내에 함유된 매토종자원에 의해 자연 복원력만을 가지고 조기에 주변 산림 생태계와 유사하고 종다양성을 확보할 수 있는 식생군락을 조성하기 위한 노력이 시도되고 있다(박용진·이기환, 1991; 梅原等, 1983). 김경훈과 우보명(1999)은 비탈면 녹화용 자재로서 산림 표층토의 적정 채취 시기 및 이용방법에 관한 실험에서 다양한 종의 출현 및 생육개체수를 고려할 때 표토 10cm 이내에서 채취하는 것이 효과적이며, 산림 표층토의 채취 및 시공은 여름철(6월)과 가을철(8월)보다 봄철(4월)에 시공하는 것이 효과적이라고 하였다.

산림 표층토를 이용한 시드뱅크 공법은 표층토에 함유된 잠재종자의 발아에 있어서 유전자교란의 문제가 없는 장점이 있으며, 확실하게 선구 식생의 회복을 이루는 것이 가능하며(龜山章, 2003), 시공방법으로는 크게 뿌려주는 방법과 식생기반재 뿔어붙이기에 혼입하는 방법이 있다. 산림 표층토를 채취할 때는 생물 다양성 확보를 위해 위요된 곳, 환경사면, 계곡부 등 채취지의 다양화가 이루어져야 하며, 표층 5~10cm 정도의 깊이로 채취하고 한해 낙과한 종자가 많이 포함되어 있는 늦가을에 정성스럽게 채취하는 것이 바람직하다. 이들 표층토 내의 종자는 상대적으로 비용이 저렴하고, 식생종이 다양하기 때문에(Iverson and Wali, 1982), 산림 표층토를 녹화에 이용할 경우 자연상태로 방치하는 것보다 천이가 빨리 진행되어 양호한 식생군락을 조성시킬 수 있다. 그러나 표층토 내에 함유된 잠재종자만으로는 일시에 전면회복이 효과적이지 못하므로 녹화용 식물종자를 동시에 파종하는 것이 효과적이다(永野·梅原, 1980; Luken, 1990; Wade, 1989).

산림표층토를 이용한 훼손지 복원은 표층토

의 채취시기 및 장소가 식생의 출현에 영향을 미치기 때문에(Gross, 1990), 녹화에 식생기반토양으로 이용하게 될 산림 표층토 내에 함유된 잠재종자원의 종류와 특성을 파악하는 것은 녹화목표의 설정에 있어서 매우 중요한 사항이라 할 수 있다(小橋 等, 1997). 이와 같이 산림 표층토를 이용한 훼손지 비탈면 녹화방법은 매우 효과적이며, 다양성이 풍부한 식생군락을 조성하기 위한 적극적인 방법이지만, 국내의 경우 수목의 식재 및 이식 등에 일부 응용되고 있는 실정이다(우보명 · 김경훈, 1998).

본 연구는 산림 표층토를 활용한 녹화사례가 부족한 국내 현실을 감안하여 인공비탈면에 산림 표층토를 식생기반재로 7cm 두께로 피복하고, 재래 초·목본과 양잔디를 혼파하여 토양별 발아율 경향과 배합기준 등을 파악하고자 하였으며, 비탈면 및 훼손지의 식생기반토양으로서 산림 표층토의 이용가능성을 모색하여 자연친화적인 녹화사례의 기초 자료를 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

훼손된 산림이 훼손되기 이전의 원식생과 유사한 식생형으로 복원하기 위한 방법으로서 표층토에다 선구식생을 혼합하는 방법이 매토종자의 발아와 생육에 합리적인가를 알아보기 위하여 임상이 우수한 산림에서 11월에 낙엽층을 제거한 후 5cm 깊이로 표층토를 채취하였으며, 산림 표층토를 30% 혼합한 식생기반토양을 조성한 후 잠재종자원과 녹화용 선구식물의 피복을 경향과 자연출현종수 및 총생육개체수 등을 알아보기 위해 인공 비탈면실험을 단국대학교 생명자원과학부 내 실습포지의 비탈면을 이용하여 실시하였다.

1. 표층토 수거

실험에 사용된 잠재종자원으로 이용한 산림 표층토는 충남 천안시 태조산의 상수리나무림 내에서 채취하였다. 상수리나무지에 20m×20m

Table 1. List of plant species at the forest topsoil gathering sites.

| Flora | Korean name | Scientific name | Sample plot (20m × 20m) | | |
|-------|--------------|--|-------------------------|-------------|--------|
| | | | H | W × B(R) | EA |
| Tree | 상수리나무 | <i>Quercus acutissima</i> | 18 | 15 | 8 |
| | 아카시아나무 | <i>Robinia pseudo-acacia</i> | 18 | 12 | 2 |
| | 떡갈나무 | <i>Quercus dentata</i> | 3.0 | 1.5 | 5 |
| | 개암나무 | <i>Corylus heterophylla</i> | 2.0 | 1.5 | 6 |
| | 자귀나무 | <i>Albizia julibrissin</i> | 3.0 | 10 | 3 |
| | 옻나무 | <i>Rhus verniciflua</i> | 4.0 | 2.0 | 4 |
| | 노간주나무 | <i>Juniperus rigida</i> | 2.5 | 0.8 | 2 |
| | 보리수나무 | <i>Elaeagnus umbellata</i> | 2.5 | 5 | 3 |
| | 청미래덩굴 | <i>Smilax china</i> | 1.2 | 0.45 | 7 |
| Shrub | 찔레나무 | <i>Rosa multiflora</i> | 1.0 | 2.0 | 4 |
| | 산철쭉 | <i>Rhododendron grdoense</i> | 0.7 | 0.8 | 21 |
| Herb | 등골레 | <i>Polygonatum odoratum</i> | 0.5 | 0.3 | 9 |
| | 은방울꽃 | <i>Convallaria keiskeil</i> | 0.3 | 0.2 | 9 |
| | 양지꽃 | <i>Potentilla fragarioides</i> | 0.1 | 0.2 | 41 |
| | 제비꽃 | <i>Viola mandshurica</i> | 0.15 | 0.12 | 19 |
| | 구절초 | <i>Chrysanthemum zawadskii</i> | 0.45 | 0.17 | 8 |
| | 오이풀 | <i>Sanquisorba officinalis</i> | 0.5 | 0.35 | 11 |
| | 등골나물 두메부추 | <i>Eupatorium chinensis</i> <i>Allium senescens</i> | 0.5 0.35 | 0.4 0.26 | 8 9 |

Table 2. The seed germination rates, purity and number of seeds per one gram.

| Flora | Korean name | Scientific name | N.S ^y | Purity (%) | Ave. ^z ger.(%) |
|--------------|-------------|------------------------------------|------------------|------------|---------------------------|
| Exotic Grass | 툼웨스큐 | <i>Festuca arundinacea</i> | 380 | 98.0 | 91.0 |
| | 페레니얼 라이그라스 | <i>Lolium perenne</i> | 490 | 98.0 | 98.0 |
| | 크리핑 레드웨스큐 | <i>Festuca rubra</i> | 1,170 | 98.7 | 51.0 |
| Native Herb | 비수리 | <i>Lespedeza cuneata</i> | 520 | 98.0 | 68.4 |
| Shrub | 참싸리 | <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> | 130 | 98.0 | 56.9 |
| | 낭아초 | <i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> | 150 | 99.9 | 67.0 |

^y Number of seed per 1g^z Average germination

의 식생조사구를 설치하여 측정된 결과, 상층 임관은 상수리나무림, 중층임관은 개암나무로 구성되어 있었으며, 옻나무와 자귀나무가 다소 생육하고 있었다(Table 1). 우점종을 이루고 있는 상수리나무는 수고 18(16~20)m, 흉고직경 15(10~20)cm이었다.

산림 표층토는 식생조사구 내에서 세부조사구(3m×3m)를 10개소 배치한 후, 세부조사구의 중앙에서 낙엽층을 제거한 후 5cm 깊이로 채취하였다. 채취한 토양을 운반한 후에 산림 표층토 함량을 20%, 30% 기준으로 일반상토와 혼합하여 식생기반토양을 만들어 사용하였고, 각 실험의 식물생육에 영향을 미칠 수 있는 잡초의 종자를 제거하기 위해 식생기반토양의 혼합 재료로 사용된 일반상토는 150℃에서 3시간 훈증 살균하여 사용하였다.

채취한 산림 표층토의 토양산도(MODEL P-215M : DMS)는 약산성(pH 5.36)이었으며, 전기전도도(EC)는 0.03 mmho/cm 이었다.

2. 실험구의 조성

(1) 공시 식물의 선정

실험에 사용되어진 선구식물은 자생초본류 1종(비수리), 자생목본류 2종(참싸리, 낭아초), 한지형잔디류 3종(Tall fescue, Perennial ryegrass, Creeping red fescue)으로 총 6종의 식물을 선정하였다. 자생 초·목본류인 비수리, 참싸리, 낭아초를 사용함으로써 질소를 고정하여 척박한 토양을 개선해주는 효과를 기대하였다.

(2) 공시식물의 발아율

실험에 사용될 식물들의 파종량을 계산하기 위하여 발아율 조사를 실시하였다. 실험은 2001년 10월에서 2002년 9월까지 3회에 걸쳐 실행하였으며, 발아상 (B.O.D. Incubator : DAE LIM) 내에서 온도를 주간은 고온 10시간, 야간은 저온 14시간으로 설정하여 15℃(±1)~25℃(±1), 20℃(±1)~30℃(±1), 25℃(±1)~35℃(±1)의 3반복 실험을 하였으며, 발아율의 조사는 치상 후 2주간 시행하였고, 유근이 2mm 이상 나온 것을 발아된 것으로 간주하여 조사하였다. Table 2는 실험에 사용된 식물의 평균 발아율 및 순도와 g당 입수이다.

(3) 실험구의 설치

실험구는 일조량과 사면 위치에 따른 실험의 오차를 줄이기 위하여 완전임의 배치하였으며, 비탈면에 1m×1m 규격의 정사각형 모양의 파종틀을 목재로 제작하여 설치한 후 기존토양을 제거하고 녹화토로 대체하였다(Figure 1).

**Figure 1.** View of experimental plots.

녹화토에 혼합재료로 사용된 일반상토는 토양 유기물과 잡초종자에 의한 실험의 오차를 줄이기 위하여, 심토를 150℃에서 3시간 동안 훈증 살균하여 이용하였다.

(4) 실험구의 조성

실험에 사용된 종자의 파종량은 발아기대본수 기준으로 0본/m², 200본/m², 1000본/m², 1200본/m²의 4수준으로 하여 파종하였으며, A type(산림 표층토+토양침식 안정제 처리), B type(산림 표층토+자생초·목본(200본/m²)+토양침식 안정제 처리), C type(산림 표층토+양잔디(1000본/m²)+토양침식 안정제 처리), D type(산림 표층토+자생초·목본(200본/m²)+양잔디(1000본/m²)+토양침식 안정제 처리), E type(산림 표층토+자생초·목본(200본/m²)+양잔디(1000본/m²) 처리), F type(일반상토+자생초·목본(200본/m²)+양잔디(1000본/m²)+토양침식 안정제 처리)등 6수준 3반복 처리하여 총 18개의 실험구를 조성하였다.

토양배합은 산림 표층토, 일반상토, 유기질비료, 피트모스의 비율을 3 : 3 : 3 : 1에 토양침식 안정제의 권장사용량을 혼합 처리하였다. 각 실험구에는 토양침식 안정제를 사용권장량인 125g본/m²(토양 0.5ton 당 C.M.S 20kg)을 처리하였다(Table 3).

Table 3. Composition rates of soil filled on the experimental plots.

| Composition rate(v/v) | | | |
|-----------------------|------|----------|-------------------|
| Forest topsoil | Soil | Peatmoss | Organic compounds |
| 30 | 30 | 10 | 30 |

(5) 파종량 산정

실험에 사용된 종자의 파종량은 平野(1991), 山田(1995) 등의 자료에 근거하여 파종량을 Table 4와 같이 산정하였다. 파종한 종자의 예상성립본수는 표층토만 100% 이용한 실험구와 선구식물을 200ea/m², 1,000ea/m², 1,200ea/m² 조성할 목적으로 하였다.

Table 4. Seeding rates of native herbs, shrubs and exotic grass species (unit : g).

| Flora | Scientific name | Seeding rates | | | |
|-----------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | 0ea/ m ² | 200ea/ m ² | 1000ea/ m ² | 1200ea/ m ^{2z} |
| Exotic Grass | <i>Festuca arundinacea</i> | 0 | 0 | 1.03 | 1.03 |
| | <i>Lolium perenne</i> | 0 | 0 | 0.74 | 0.74 |
| | <i>Festuca rubra</i> | 0 | 0 | 0.32 | 0.32 |
| Native Herb | <i>Lespedeza cuneata</i> | 0 | 0.12 | 0 | 0.12 |
| | <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> | 0 | 0.56 | 0 | 0.56 |
| Shurb | <i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> | 0 | 0.71 | 0 | 0.71 |

^z: expected seedling numbers/one square meter.

(6) 파종 및 관리

각 실험구의 조성 및 파종은 2002년 11월 6일에 하였으며, 표층토를 이용하여 배합한 식생기반토양을 7cm 두께로 비탈면에 부착하고 종자를 파종한 후 복토하여 주었다. 복토 후 수분의 유실억제와 동해방지를 위하여 벧짚을 한 차례 피복한 후 코아-로프를 이용해 고정시켜 주었다. 그리고, 겨울철 동해를 방지하기 위해 벧짚 멀칭을 한 후 3월 25일경에 벧짚을 걷어내고 그 후로는 2일 간격으로 2회 관수를 실시하였으며, 2003년 5월 30일 이후로는 일체의 관수 작업을 하지 않았다. 주변으로부터 소수의 환삼덩굴과 쇠뜨기가 침입하였으므로 제초 작업을 실시하였다.

(7) 조사 및 분석

측정은 각 식물의 개체수, 폭(수관폭, 초폭), 높이(수고, 초고)를 조사하였다. 자생 초·목본류와 양잔디는 조사 시작 2개월까지는 식물종을 구분할 수 없어 통합하여 조사하였다. 그리고 각 실험구별 피복율을 조사하였다. 피복율은 각 실험구를 사진 촬영한 후 실험실에서 모눈종이에 비추어 그 면적을 환산하여 계산하였다.

분석프로그램은 SAS(Statistical Analysis System : Aersion 8.1) 프로그램을 이용하였으며, 실험구의 토양 충전재료인 산림 표층토와 일반상토의 처리 수준과 토양침식 안정제 유무에 의한 수준을

변수로 지정하여 식물종과 토양 배합재료에 따른 차이를 보기 위하여 개체수, 피복도를 Duncan 검정 및 F 검정하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 피복율

산림 표층토와 녹화용 식물종자의 발아 생육 실험의 피복율 측정 결과는 Table 5와 같다. 파종 후 24주까지는 각 유형별로 차이점이 있었으나, 28주 이후(12/6월)부터는 대조구로써 표층토를 사용하지 않은 F type의 실험구를 제외한 각 실험구들이 대부분 약 60% 이상의 피복율을 보이며 큰 차이점을 찾아볼 수 없었다.

파종 후 20주에 있어서는 D type의 실험구가 12.4%로 가장 높은 피복율을 보였으나 24주 후에는 C type의 실험구가 75.9%로 가장 높은 피복율을 보였고, 28주 후에는 D type의 실험구가 80.1%로 가장 높은 피복율을 보였다. 토양침식 안정제 유무에 의한 D, E type 간의 비교에서는 파종 후 24주에는 두 처리간에 차이를 나타냈으나, 28주에는 통계적 유의성이 나타나지 않았다.

Table 5. Ground coverage rate of seeded species and naturally-emerged species (Seeding date : 2002/11/15).

| Soil type | Covering rate (%) | | | | |
|----------------|-------------------|----------|--------|--------|---------------------|
| | 3/April | 17/April | 1/May | 15/May | 12/June |
| A ^z | 0.06a | 2.35b | 3.66b | 44.73b | 75.40a ^y |
| B | 0.08a | 1.78b | 4.62b | 60.84b | 56.41a |
| C | 0.08a | 10.31a | 33.66a | 75.89a | 77.50a |
| D | 0.18a | 12.42a | 33.78a | 69.69a | 80.07a |
| E | 0.14a | 7.37a | 27.42a | 64.66b | 62.20a |
| F | 0.14a | 0.42b | 0.97b | 2.51c | 3.93b |

- ^z A : forest topsoil+CMS
- B : forest topsoil+native herb+shrub(200ea/m²)+CMS
- C : forest topsoil+introduced grass(1000ea/m²)+CMS
- D : forest topsoil+native herb+shrub(200ea/m²)+exotic grass(1000ea/m²)+CMS
- E : forest topsoil+native herb+shrub(200ea/m²)+exotic grass(1000ea/m²)
- F : organic soil+native herb+shrub(200ea/m²)+exotic grass(1000ea/m²)+CMS
- ^y Mean with same letter within column are not significantly different at P=0.05 level by DMRT test

반면 F type의 실험구는 파종 후 20주, 24주의 피복율이 각각 0.4%, 2.5%로 가장 저조하였다.

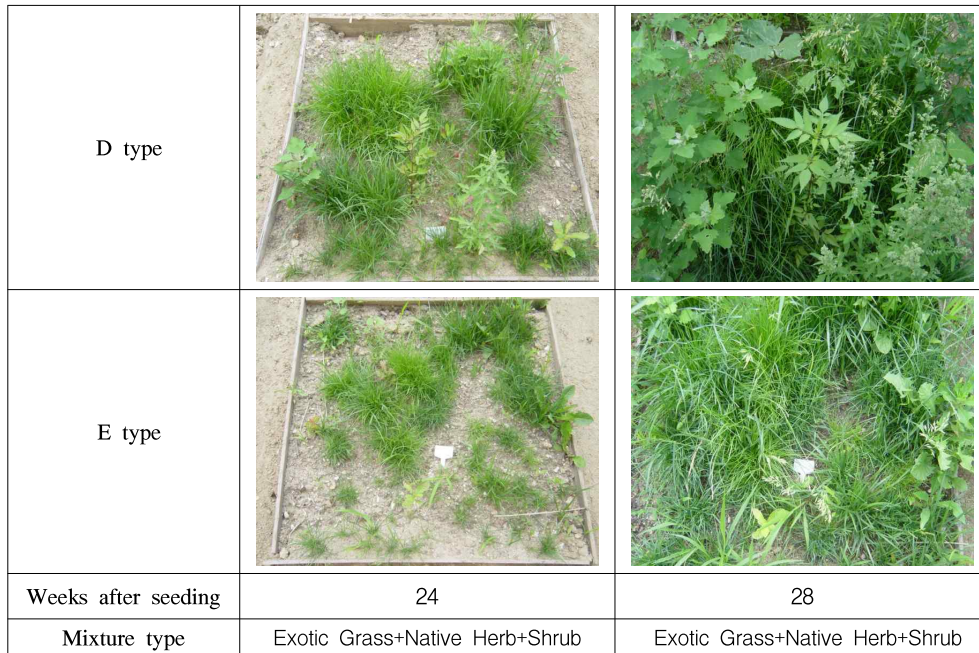


Figure 2. View of experimental plots on 24 and 28 weeks after seeding.

이는 다른 실험구에 비해 유기질 비료의 함량과 수분 흡수율 및 보습성이 떨어져 식물 발아·생육에 적합하지 않은 것으로 보인다. 따라서 식물의 조기 피복 및 식물의 다양성 유지를 위해 일반상토 대신 산림 표층토를 식생기 반토양으로 이용하는 것이 효과적이며, 녹화용 식물종자를 동시에 파종하는 것이 식생을 위해 유리할 것으로 판단된다.

Figure 2에서와 같이 토양침식 안정제 처리 유무에 의한 D type과 E type의 비교실험에서는 파종 후 24주에만 각각 66.7%, 64.7%로 유의성이 나타났으나 20주, 28주에는 각각 33.8%, 27.4%, 80.1%, 62.2%로 통계적 유의성이 나타나지 않았다.

식생기반토양재료로 표층토와 일반상토를 이용한 D type과 F type의 비교실험에서는 D type이 F type보다 빠른 피복율과 발아세를 보였으며, D type의 실험구가 가장 빠른 피복 속도를 보였다. 파종 후 18주에만 차이가 없었으며 다른 모든 조사일에서는 유의성이 나타났다. 특히 파종 후 28주에는 각각 80.1%, 3.9%로 다른 조사일에 비해 유의성이 크게 나타났다.

2. 자연출현종

산림 표층토로부터 자연출현된 종과 종수는 표층토를 수거한 지역의 식물상(Table 1)에 근거하여 분석한 결과는 Table 6과 같다.

A type의 실험구는 자연출현종이 10종 출현하였으나 잠재종자원에 의해 출현된 식물종은 참나무, 자귀나무, 구절초, 쑥, 고마리, 으아리 등 6종이었다. B type의 실험구는 자연출현종이 9종 출현하였고, 잠재종자원에 의해 출현된 식물종은 자귀나무, 참나무, 쑥 등 3종이었고, C type의 실험구는 자연출현종 9종 중 참나무, 자귀나무, 쑥, 구절초, 고마리 등 5종이 잠재종자에 의해 출현하였다. D type의 실험구는 자연출현종 9종 중 참나무, 아카시아나무, 쑥, 구절초 등 4종이 잠재종자에 의해 출현하였고, E type의 실험구는 자연출현종 11종 중 참나무, 자귀나무, 청미래덩굴, 구절초, 쑥 등 5종이 잠재종자에 의해 출현하였으며, F type의 실험구는 자연출현종이 2종 출현하였으나 잠재종자원으로 판단되는 자연출현종은 없었다. 본 실험을 통해 나타난 총 자연출현종이 16종이었고, 잠재종자에 의해 출현된 종은 8종인 50%를 차지하는 것으로 나타났다.

Table 6. Number of individuals which of naturally-emerged species in each plots (unit : ea).

| Flora | Korean name | Scientific name | Treatment | | | | | |
|-------|-------------|--|-----------|-----|------|-----|-----|-----|
| | | | A | B | C | D | E | F |
| Tree | 참나무 | <i>Quercus acutissima</i> | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 1.7 | |
| | 자귀나무 | <i>Albizia julibrissin</i> | 0.3 | 1.7 | 0.3 | | 0.7 | |
| | 단풍나무 | <i>Acer palmatum</i> | | 0.3 | | | | |
| | 벚나무 | <i>Prunus serrulata</i> | | | | | 0.3 | |
| | 아카시아나무 | <i>Robinia pseudo-acacia</i> | | | | 0.3 | | |
| | 청미래덩굴 | <i>Smilax china</i> | | | | | 0.3 | |
| Herb | 민들레 | <i>Mongolian dandelion</i> | 0.7 | | | 0.7 | 1 | |
| | 쑥 | <i>Artemisia princeps var. orientalis</i> | 2.3 | 0.7 | 0.3 | 1 | 1.3 | |
| | 달맞이꽃 | <i>Oenothera odorata</i> | 10 | 14 | 15.3 | 8 | 8.3 | 1.3 |
| | 닭의장풀 | <i>Commelina communis</i> | 1.3 | 3 | 0.7 | 1 | 1.7 | |
| | 구절초 | <i>Chrysanthemum zawadskii var.</i> | 0.3 | | 0.3 | 0.3 | 0.7 | |
| | 명아주 | <i>Chenopodium album var. centrorubrum</i> | 7 | 2 | 5.3 | 3.7 | 0.7 | 0.7 |
| | 고마리 | <i>Parsicaria thunbergii</i> | 0.7 | | 0.7 | | | |
| | 으아리 | <i>Clematis mandshurica</i> | 0.3 | | | | | |
| | 자리공 | <i>Phytolacca</i> | | 0.3 | | | | |
| | 도깨비바늘 | <i>Bidens bipinnata</i> | | 2 | 1 | 0.3 | 0.7 | |

특히, 잠재종자로부터 참나무와 자귀나무, 으아리, 구절초, 고마리 등이 출현한 것으로 보아 표층토를 활용하여 원식생을 복원하는 방법이 실효성이 있다고 보여진다.

3. 식물생육

산림 표층토에서 출현된 잠재종자와 녹화용 선구식물종자의 초기 파종에서 출현된 식물종 및 생육 개체수를 측정일별로 분석한 결과는 Table 7, 8과 같다. 벚꽃 멀칭을 거어낸 시공 18주 후 4월 3일 측정한 결과 자연출현 식생은 없었으며, 녹화용 식물종자 중 양잔디만이 아주 소수 나타났다.

Table 7. Number of species from seeded species and naturally-emerged species (Seeding date : 2002/11/15).

| Soil treatment | Number of species | | | | | | | |
|----------------|-------------------|------------------|-------|-----|--------|-----|---------|-----|
| | 3/April | | 1/May | | 15/May | | 12/June | |
| | S.S ^x | N.S ^y | S.S | N.S | S.S | N.S | S.S | N.S |
| A | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 4.3 | 0 | 5 |
| B | 3 | 0 | 3 | 4 | 3 | 6 | 3 | 5.3 |
| C | 3 | 0 | 3 | 4.7 | 3 | 4.3 | 3 | 4.7 |
| D | 6 | 0 | 6 | 3 | 6 | 5.7 | 6 | 6.7 |
| E | 6 | 0 | 6 | 4 | 6 | 5.3 | 6 | 5.6 |
| F | 6 | 0 | 6 | 1 | 6 | 0.7 | 6 | 1.3 |

^x Seeded species

^y Naturally-emerged species

Table 8. Number of individuals between seeded species and naturally-emerged species (Seeding date : 2002/11/15).

| Soil mixture type | Number of individuals | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|------------------|--------|-------|--------|-------|---------|--------------------|
| | 3/April | | 1/May | | 15/May | | 12/June | |
| | S.S ^w | N.S ^x | S.S | N.S | S.S | N.S | S.S | N.S |
| A | 0b | 0a | 2.3b | 10a | 3.0b | 17.7a | 3.0c | 23.7a ^y |
| B | 0b | 0a | 5.7b | 5.3b | 9.0b | 15.3a | 14.3bc | 24.3a |
| C | 3.0a | 0a | 89.7a | 7.3ab | 79.7a | 15.3a | 63.0a | 24.3a |
| D | 3.7a | 0a | 86.3a | 6b | 73.3a | 9.7ab | 63.7a | 16.7a |
| E | 1.7ab | 0a | 97.7a | 5.3b | 84.7a | 7.7ab | 64.7a | 17.3a |
| F | 0b | 0a | 51.7ab | 1.0c | 46.6ab | 0.7b | 50.3ab | 5.0a |

^w Seeded species

^x Naturally-emerged species

^y Mean with same letter within column are not significantly different at P=0.05 level by DMRT test.

5월 15일 조사 결과 토양 배합 F type을 제외한 다른 실험구에서는 초기에 파종한 녹화용 식생 외에 자연출현 식생이 다양하게 출현하였다. 초기에는 명아주, 쭉 등이 출현하였고, 시간이 경과함에 따라 달맞이꽃 등의 초본이 왕성하게 생육하였다. 또한 산림 표층토 채취지의 우점종인 참나무와 중층임관을 이루는 자귀나무가 출현하였으나, 초본에 비하여 초기 생장속도가 늦었다(Figure 3).

A type의 실험구는 녹화용 식물종자를 파종한 실험구에 비해 총 생육개체수가 저조하였다. 이는 산림 표층토를 이용하여 녹화공사를 할 경우 산림 표층토 내의 잠재종자원만으로는 초기 피복효과를 보기 어려우므로 녹화용 식물종자를 혼파하는 방법이 초기 피복 효과를 높이고 비탈면 안정 및 경관미 확보에 도움이 될 것이라 판단된다.

일반상토를 혼합재료로 사용한 F type은 5월 15일 조사 결과 산림 표층토를 혼합재료로 사용한 다른 실험구에 비해 자연출현 식생이 0.7종, 5.7종으로 차이를 보였고, 자연출현종과 녹화용 식물종자의 생육개체수도 차이가 나타났다. 이는 단지 산림 표층토 내의 잠재종자원이 출현하여 나타나는 결과이기 보다는 일반상토 대신 사용한 산림 표층토, 유기질 비료, 피트모스 등이 실험구의 보수력을 향상시키고, 양분을 제공함으로써 식물의 발아·생육 환경에 더 적합한 것으로 판단된다.

또한, 토양침식 안정제의 유무에 의한 6월 5일 D, E type의 비교실험 조사결과 자연출현 식생의 종수는 5.7본, 5.3본이고, 자연출현종과 녹화용 식물종자의 생육개체수는 통계적 유의성이 없었다.

잠재종자원의 수는 산림 표층토 내에 함유되어 있는 출현가능 종자원의 수로 나타나고 있지만, 현장실험에서는 각 종자의 발아 및 생육에 적합한 온도 및 수분조건 등이 일괄적으로 제공되기 때문에 실제 발아된 개체수와는 차이가 있다(Roberts, 1981).

이 실험에서는 산림 표층토 내의 잠재종자와 녹화용 식물종자의 파종량에 따른 출현 식생의

중수, 생육개체수는 파종량을 증가시킬수록 총 생육개체수는 증가하는 경향을 보였고, 녹화용 식물종자의 파종량이 증가할수록 자연출현중수에서는 차이를 볼 수 없었으나 생육개체수는 감소하는 경향을 보였다. 녹화용 식물종자의 파종량을 1000본/m² 이상으로 할 경우에는 피복율과 총 생육개체수는 증가하나 자연출현식생과의 경쟁, 녹화용 식생간의 경쟁으로 인하여 자연출현종의 생육개체수가 1000본/m²일 경우 24.3본, 1200본/m²일 경우 16.7본으로 감소하는 경향을 보였다. 그러므로 조기피복과 자연출현 식생의 생육을 고려할 때 녹화용 식물종자의 파종량을 발생기대본수 기준으로 1000본/m² 정도가 효과적인 것으로 판단된다.



Figure 3. View of oak and silk tree on the experimental plots(24 weeks after construction).

Figure 3은 표층토 채취지의 우점종인 참나무와 중층입관을 이루는 자귀나무의 시공 24주 후의 모습으로 참나무의 수고는 10cm정도이고, 폭은 7~10cm였으며, 자귀나무의 수고는 5cm정도이고, 폭은 3~4cm이다.

산림 표층토와 녹화용 식물종자의 발아 생육 실험의 발아율 측정 결과는 Table 9와 같다.

토양배합실험과 산림 표층토와 녹화용 식물종자를 혼합하여 파종한 결과 발아상에서 조사한 평균 발아율과 실제 실험포장에서의 발아율 간에는 현격한 차이가 있었다.

양잔디의 경우 툴웨스큐가 편차가 커 발아상내 발아율과 실험구 내의 발아율이 각각 91%, 4.64% 였으며, 발아율이 우수한 페레니얼 라이그라스의 경우도 발아상내에서는 98%의 발아율을 보였고 실험구 내에서는 7.24%의 발아율만 보였으나 가장 편차가 적었다. 반면 크리핑

Table 9. Actual germination rates of the seeded species.

| Flora | Korean name | Scientific name | Average germination | Actual germination |
|--------------|-------------|------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Exotic Grass | 툴웨스큐 | <i>Festuca arundinacea</i> | 91 | 4.64 |
| | 페레니얼 라이그라스 | <i>Lolium perenne</i> | 98 | 7.14 |
| | 크리핑 레드 웨스큐 | <i>Festuca rubra</i> | 51 | 2.19 |
| Native Herb | 비수리 | <i>Lespedeza cuneata</i> | 68.4 | 0.26 |
| Shurb | 참싸리 | <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> | 56.9 | 1.90 |
| | 낭아초 | <i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> | 67.0 | 1.19 |

레드 웨스큐는 발아상내에서 51%로 가장 저조하였고 실험구에서도 2.19%로 가장 편차가 컸다. 자생 초·목본의 경우에는 참싸리가 발아상에서 발아율이 56.9%, 실험구내에서의 발아율이 1.90% 였고, 비수리, 낭아초의 경우 발아상내 발아율과 실험구내의 발아율이 편차가 커 68.4%, 0.26%, 67.0%, 1.19%로 나타났다.

이와 같이 녹화식물의 종자를 혼합하여 파종할 때 발아상에서 발아율과 실제 실험구에서의 발아율에는 큰 차이가 있었다. 때문에 녹화공사에 적용할 수 있는 녹화식물들의 적정 배합비와 파종량을 산출하기 위해서는 이들 종자를 혼합 파종할 때의 정확한 발아 특성에 대한 연구가 더욱 필요하다고 판단된다.

V. 결 론

산림 표층토를 이용하여 식물이 생육하기에 적합한 식생기반토양을 제조할시 식생기반토양의 배합과 선구식물의 배합 및 표층토의 사용비율 등을 파악하기 위하여 비탈면에서 2002년 11월부터 2003년 6월까지 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 산림 표층토와 식물종자의 파종량 효과에 관한 실험에서 처리별 실험구의 피복율은 5월 15일까지는 표층토+양잔디(1000ea/m²)+토양침식안정제 처리구가 가장 우수한 결과를 나타냈으며, 그 후부터는 식생기반토양으로 일반상토를 사용한 처리구를 제외한 다른 처리구에서는 큰

차이를 찾아볼 수 없었다.

2. 토양침식 안정제 처리 유무에 의한 피복율, 자연출현종수 및 생육개체수 비교실험에서는 시공 후 24주에서는 두 처리간에 차이가 있었으나 20주, 28주에는 유의성이 나타나지 않았다.

3. 식생기반토양으로 표층토와 일반상토를 사용한 비교실험에서는 종다양성 측면이나 피복율, 생육개체수 모두 표층토를 사용한 실험구가 우수한 효과를 나타냈다.

4. 녹화용 식물종자의 파종량을 1000ea/m² 이상으로 할 경우에는 피복율과 총생육개체수는 증가하나 자연출현종의 생육개체수가 1000ea/m² 일 경우 24.3ea/m², 1200ea/m² 일 경우 16.7ea/m² 으로 감소하는 경향을 보였다.

5. 조기피복과 자연출현 식생의 생육을 고려할 때 녹화용 식물종자의 파종량을 발생기대본수 기준으로 1000ea/m² 정도가 효과적일 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

김경훈·우보명. 1999. 비탈면 녹화용 재료로서 산림 표층토의 적정 채취시기 및 이용방법. 한국환경복원녹화기술학회지 2(2) : 53-61.

김남춘. 1998. 경관훼손지의 생태적 복구방안에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지. 1(1) : 28-44.

김남춘·권태호·우보명. 1993. 임도비탈면의 자연식생침입과 효과적인 비탈면 녹화 공법 개발에 관한 연구. 한국임학회지 85(3) : 347-359.

건설교통부. 1997. 환경친화적인 건설사업 수행요령.

남상준·김남춘. 1998. 자연표토 복원공법에 의한 암비탈면 한국잔디와 목본류 종자 파종에 의한 녹화. 한국환경복원녹화기술학회지 1(1) : 140-150.

남상준·석원진·김남춘. 1999. 자연표토 공법에 의한 암절취비탈면의 생태적 복원에 관한 연구; 원주사레지역을 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회지 2(4) : 54-63.

박용진·이기환. 1991. 최신 환경녹화. 강원대학교 출판부.

우보명·김경훈. 1998. 절개지 毀損비탈면에 대한 환경생태적으로 안정된 녹화공법에 관한 연구(I) - 산림표층토를 이용한 녹화토의 효능분석을 위한 실내실험. 한국임학회지 87(2) : 308-315.

오휘영. 1993. 지속적 보존과 개발에 따른 조경의 역할. 산림세미나논문집. (13). pp.85.

정대건·김남춘. 2001. 비탈복원녹화의 현황 및 향후과제. 환경복원녹화에 관한 세미나 pp.1-36.

환경부. 2001. 생태적측면의 절개비탈면 녹화공법 활성화 방안에 관한 연구. p.29-61.

龜山 章 等. 1989. 최선단의綠化技術. ソフトイェンス社.

龜山 章. 2003. 생태공학. 소프트사이언스社.

도로녹화보존협회. 2002, Encyclopedia of roads and green p.132-151.

小橋登治·材井 宏·龜山 章. 1997. 環境綠化工學 p.13-136.

梅原徹·永野正弘·麻生順子. 1983. 森林表土のまきだしによる先驗植生の回復法. 綠化工技術 9(3) : 1-8.

永野正浩·梅原徹. 1980. 森林表土のまきだしによる植生回復法の 檢討. 大阪府.

Gross, K. A. 1990. A comparison of methods for estimating seed numbers in the soil. Journal of Ecology 78(4) : 1079-1093.

Iverson, L. R. and M. K. Wali. 1982. Bulied, viable seeds and their reration to revegetation after surface mining. Journals of Range Management 35(5) : 648-652.

Lucken, J. O. 1990. Directing Ecological Succession. Chapman and Hall.

Morrison, D. G. 1996. Design, restoration and Management. Dept. of Landscape Architecture, University of Georgia, Athens (inpress).

Wade, G. L. 1989. Grass competition and setablishment of native species from forest soil seed banks. Landscape Urban in the soil. Journal of Ecology 78(4) : 1079-1093.

接受 2003年 12月 17日