

자연표토 복원공법에 의한 암절취비탈면의 생태적 복원에 관한 연구 ; 원주사레지역을 중심으로

남상준 · 석원진¹⁾ · 김남춘²⁾

¹⁾(주)현우그린 · ²⁾단국대학교 생물자원과학부

Study on the Ecological Restoration of Rock-exposed-cut-slope by Natural Topsoil Restoration Methods ; In Case of Won-Ju Experiment

Nam, Sang-Joon · Suk, Won-Jin¹⁾ · Kim, Nam-Choon²⁾

¹⁾Hyunwoo Green, Ltd · ²⁾School of Plant Resources, Dankook Univ.

ABSTRACT

This study was conducted to suggest the ecological restoration and environmentally friendly revegetation technology for the rock-exposed cut-slopes by the Natural Topsoil Restoration Methods (NTRM) with the following restoration objectives ; (1) prevention or reduction of wind and water erosion, (2) provision of food and cover for variety of animal species, (3) improvement of the visual or aesthetic quality of the disturbed slopes. On Nov. in 1995, the 5cm thick layer of artificial soil and 2cm thick layer of straw-mulching was attached at rock-exposed cut-slopes by NTRM without using anchor wire and anchor pin. The main results during four years surveying on the ground-coverage effect, plant growth, species diversity and importance values were summarized as follows.

1. Artificial soil attached at rock exposed cut-slopes was not eroded until recovered by tree and herbaceous vegetation in spite of not using anchor wire and anchor pin. Also it shows low soil hardness and has almost the same amount of bacteria and fungi with in surrounding natural topsoil.
2. In 'combination for the woody vegetation', *Lespedeza cyrtobotrya*, *Albizia julibrissin*, *Rhus chinensis*, *Indigofera pseudo-tinctoria* occupied upper layer vegetation. Since three years after seeding, *Indigofera pseudo-tinctoria* had overwhelmed the other woody plants and cool season foreign grasses, *Erigeron canadensis*, *Taraxacum mongolicum*, *Commelina communis*, *Arundinella hirta* (Thunberg) and *Oenothera erythrosepala* grows at lower part of the vegetation,
3. The heights of the *Rhus chinensis* grows 1.8m, *Indigofera pseudo-tinctoria* 2.0m, so it seems that the objectives of woody vegetation with native plants could be accomplished.
4. After 4 years later after seeding in 'combination for the herbaceous vegetation', the most dominant plant was *Indigofera pseudo-tinctoria*, the next was in order of cool-season grasses,

Taraxacum mongolicum, *Erigeron canadensis*, *Ixeris dentata* (Thunberg), *Oenothera erythrosepala*, *Arundinella hirta* (Thunberg). The diversity index in 'combination for woody vegetation' was higher than that in 'combination for the herbaceous vegetation'. The tendency of the intrusion of secondary succession plants was more effective in 'combination for the herbaceous vegetation' than in 'combination for the woody vegetation'

Key words : *rock-exposed-cutslopes, ecological restoration, revegetation technology, dominance, species diversity*

1. 緒 論

최근 각종 건설공사시 자연생태계를 고려하는 환경친화적인 건설사업에 대한 중요성이 매우 높게 인식되고 있고(건설교통부, 1997), 표토를 활용하거나 국내 재래초목본식물을 활용하여 주변경관과 쉽게 조화되고 다양한 생물서식공간을 제공할 수 있는 환경친화적인 비탈면 녹화기술개발이 시급히 요청되고 있다(김남춘 등, 1998; 김경훈·우보명, 1999; 龜山 章, 1989). 지금까지는 건설사업으로 생성된 비탈면들에 대해 조기녹화만을 강조하였고(김남춘, 1991; 우보명 등, 1993; 小嶋 澄治·村井 宏, 1995) 생물의 서식처 및 은신처를 제공하고, 경관 미를 향상시키는 것과 같은 환경친화적인 비탈면 복원 목표들에 대해서는 특별한 관심을 두지 못하였다(김남춘, 1998). 이에 따라 초기조성속도가 매우 빠른 한지형 외래초종에 대한 의존도가 매우 높았고, 우리 나라 재래초·목본식물의 사용은 제한적일 수밖에 없었다(김남춘, 1997a; 1997b).

환경친화적인 비탈면 녹화용으로 재래초·목본식물들을 사용하면 그 나라 지역 기후에 대한 적응성이 높아 유지관리가 용이하고, 비탈면 경관의 조속한 회복에 기여하며, 야생동물의 서식처 및 은신처를 제공하고, 비탈면 붕괴방지 효과면에서 외래도입초종 보다 탁월한 장점이 있다(김남춘, 1998; Bratton, 1982; Harrington, 1994; Harty, 1986; Knapp, 1994; Morrison, 1985). 이에 따라 외래도입초종보다는 재래초·목본식물을 적극 활용하는 비탈면 녹화공법과 기술개발이 확립되어 생태적으로 건강한 비탈면 녹화의 설계모델들이 시급히 제시될 필요가 있다.

환경친화적인 비탈면 복원의 주대상은 채석장의 잔벽과 도로, 각종 용지개발로 인해 생성되는 암절취비탈면과 대규모 사면장을 지닌 절·성토 비탈면들이다. 이들 중에서 암절취비탈면은 토양경도가 30mm 이상으로 나타나고, 종자와 화이버를 혼합하여 비탈면에 부착시키는 통상적인 기계분사파종만으로는 녹화가 곤란하여 적정 두께의 식생기반재 뿔어 붙이기를 적용하는 것이 일반적이다(한국도로공사, 1995; 日本緑化工協會, 1979a; 1993b; 最新斜面 土留め技術總攬委員會, 1991). 또한, 식생기반재의 비탈면 부착성을 높이기 위해 망을 깔고 양카핀으로 고정한 후 식생기반재를 뿔어 붙여 식생기반재의 분리·이탈을 줄이는 공종이 일반적으로 사용되고 있다.

그러나, 암절취비탈면에 망을 치고 양카핀으로 고정하기 위해서는 암노출부위를 매끈하게 표면 정리하여야 시공이 원활한데 도로등급과 현장 여건에 의해 암노출지가 요철이 심한 상태로 정리된 경우도 많다. 이러한 요철이 심한 상태로 정리된 비탈면에는 철망설치가 곤란하고, 녹화기반재를 고르게 뿔어붙이기가 어렵다. 이와 같이 요철이 심한 암절취비탈면에는 외래초종 위주의 전면녹화 보다는 재래초목본 위주로 녹화하는 것이 더욱 자연스럽고 환경친화적인 녹화공법으로 인정될 수 있다.

최근 국내에서는 암절취비탈면 식생녹화공법용 재래초목본식물의 발아율과 파종적기에 관한 연구(김남춘, 1997a; 1997b)와 녹화용식물들의 종자배합에 관한 연구(이재필 등, 1995; 김남춘 등, 1998; 전기성·우보명, 1999a; 1999b), 자연토양내 잠재 종자의 이용방안에 관한 연구(김경훈·

우보명, 1999), 국내 도로비탈면 녹화공법의 시공사례 조사연구(한국도로공사, 1995) 등이 추진되었으며, 선진외국의 자연소재를 활용한 생물공학적인 녹화공법(Gray · Leiser, 1982; Schiechl · Stern, 1996)과 환경친화적인 생태복원공법들(最新斜面 土留め 技術總攬委員會, 1991)과 비교해 볼 때 많은 연구와 개발이 시급히 요청된다고 볼 수 있다.

눈앞에 닥쳐온 미래 세기에는 환경친화적인 건설공사에 대한 요구가 더욱 높아질 것이며, 생물다양성을 높이고 생물서식공간을 제공하는 녹화복원목표들이 중요한 의미를 지닐 것이다. 환경친화적인 건설공사를 유도하기 위해서 관련건설기술의 개발이 이루어져야 하고, 계획이나 설계시 적절하게 환경친화적인 기술을 적용하여야 한다. 그러나 일선 시공기술자와 관련 행정 담당자들에게도 환경친화적인 건설공사의 중요성과 필요성이 충분하게 이해되지 못하고 있는 상태이기 때문에 이 분야의 기술 발전에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

본 연구는 생태적으로 건강하며 친환경적이고 양분지속성이 높은 암절취비탈면녹화용 식생기반재 뽑어 붙이기 공법(자연표토 복원공법)을 개발하기 위한 실험연구로 시행되었는데 요철이 심한 무토양 암절개면을 녹화시키되 망을 설치하지 않고 식생기반재만을 뽑어 붙여 비탈의 외곽은 목본류형으로 비탈의 중심부는 초본류형의 식생형으로 녹화함으로써 침식방지와 주변 경관과의 조기동화, 야생동물의 먹이 및 은신처 제공 등 생태복원의 목표를 효과적으로 달성시

킬 수 있는 환경친화적인 비탈면 녹화기술을 개발할 목적으로 진행되었다. 아울러 식생기반재의 비탈면부착성과 동계시공에 적합한 우리나라 재래 초·목본식물의 배합형을 파악하고자 하였으며, 본 연구를 통해 환경친화적인 생태복원녹화기술의 개발에 기폭제가 될 것을 기대한다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 요철이 심한 암노출비탈면을 망을 설치하지 않은 상태에서 식생기반재를 뽑어 붙여 목본류형과 초본류형의 재래초목본 위주의 식물배합으로 녹화하는 환경친화적 건설기술의 개발연구이므로 본 연구목적에 부합되는 암노출비탈면을 연구대상지로 선정하고자 하였다. 이에 따라 원주-제천간 고속도로 건설구간 중에서 암반이 노출되어 있지만 요철이 심하여 망을 설치하기 곤란한 상태인 비탈면을 조사한 결과 남원주 인터체인지에서 제천 방향으로 2km 정도 떨어진 곳이 실험연구대상지로 선정되었다.

선정된 비탈면은 토양경도가 30mm 이상이면서 연암과 경암이 혼재되어 있는 상태이었으며(사진 1 참조), 요철이 매우 심하여 망을 설치하고 일반적인 식생기반재 뽑어붙이기 공법을 적용하기가 곤란한 곳이었다. 비탈면은 북향이었고, 경사도는 1 : 0.7~1.0이었다. 실험 시공한 면적은 약 1,200m²이었으며, 식생기반재는 5cm 두께로 피복하였다. 실험시공은 1995년 11월에 수행하였고, 1996년 5월부터 1999년 8월까지 식생

Fig a

Fig b

Fig c

Photo 1. View of rock-exposed slopes before and after revegetation works by Natural Topsoil Restoration Methods(NTRM)(Fig a ; view of before seeding('95. 11), Fig b ; view of six month later after seeding('96. 5), Fig c: view of four years later after seeding('99. 8))

조성과 생육경향을 조사하였다.

조기녹화경향을 파악하기 위해 파종후 2년간은 식물배합형별로 2m×2m 크기의 고정조사구를 3반복으로 설치한후 목본류를 조사하였고, 초본류는 1m×1m 크기만 조사하였다. 조사한 Data는 pc용 SAS(ver. 6.03)를 활용하여 식물의 개체수, 수고, 수관폭, 피복률 등을 분석하였고, 지표면 피복이 완벽하게 이루어져 재래초목본 위주의 녹화복원목표를 이룩한 시공 4년후에는 식물배합형별로 종다양도와 상대우점치를 조사하였다.

암노출 비탈면에 뽑어 붙인 식생기반재는 자연토양, 유기혼합퇴비, 유기·무기 토양개량제, 식물성섬유, 다기능고분자제, 비료 등으로 조성되었다. 식생기반재의 시공 4년후 미생물균수와 토양의 산도는 표 1과 같다. 균수의 측정은 단국

대학교 미생물학연구실에서 조사하였는데 배지(Nutrient agar, Czapeck Dox agar)에 접종한 후 25℃에서 1주일간 배양후 계수하였으며 slurry 제조와 같은 양의 토양시료를 80℃에서 12시간 건조시킨 후 각 토양의 건조중량을 측정하여 최종적으로 CFU(Colony Forming Unit)/g-dry weight를 환산하였다(black, 1965). 표 1에서 보는 바와 같이 뽑어 붙인 식생기반재내의 박테리아와 세균등 미생물 균수는 비탈면 목본류형의 식생군락을 형성한 상단부보다 초본류형의 식생군락으로 조성한 하단부에서 더욱 많았으며 인근 자연토양의 균수와 유사하였다. 또한, 토양산도는 7.3~7.5를 나타냄으로써 식물생육에 매우 적합한 토양산도를 나타내었다.

사용종자는 표 2에서 보는 바와 같이 재래목본류가 주구성종인 배합형 I 과 참싸리이외에

Table 1. Soil pH measured in water and Colony Forming Unit/g-dry weight

treatment	natural soil in surrounding area	artificial soil of NTRM	
		upper part on the slope	lower part on the slope
Colony Forming Unit/g-dryweight	3.0 × 10 ⁷	2.8 × 10 ⁷	3.6 × 10 ⁷
soil pH measured in water	-	7.49	7.37

Table 2. Seed germination, purity and seeding rates in Seed mixture treatment I (Mixture type I)

species	no. of expected plants per one m ²	germination at constant temp. (%)	purity	no. of seeds per one gram	germination at field plot (%)	amendment index	seeding rates per one m ²
<i>Alnus hirsuta</i> (물오리나무)	20	60	0.88	750	20	1.5 ^z	0.38
<i>Pinus thunbergii</i> (곰솔)	30	60	0.97	85	90	2.0 ^y	1.35
<i>Evodia danielii</i> (쉬나무)	50	60	0.97	95	35	2.0	5.17
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> (산초나무)	30	60	0.89	108	35	2.0	1.78
<i>Rhus chinensis</i> (불나무)	30	60	0.97	65	35	2.0	4.53
<i>Albizia julibrissin</i> (자귀나무)	20	60	0.97	25	35	2.0	4.71
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> (참싸리)	50	60	0.99	150	75	1.5	1.12
<i>Lespedeza cuneata</i> (비수리)	50	85	0.98	720	50	1.5	0.25
<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> (낭아초)	50	70	1.00	180	40	1.5	1.49
<i>Arundinella hirta</i> (안고초)	200	40	0.53	1020	30	2.0	6.17
Tall Fescue	200	92	0.98	430	90	2.0	1.15
Perennial Ryegrass	200	100	0.98	500	95	2.0	0.86
Creeping redfescue	200	82	0.92	950	85	2.0	0.66
<i>Oenothera erythrosepala</i> (달맞이)	10	55	1.00	3300	35	2.0	0.03
total	1,140						29.65

^{z, y} : amendment indexes for winter seeding

는 대부분 초본류가 사용된 초본류위주의 조기 녹화용 배합형 II가 사용되었다. 사용된 종자별 발아율과 순도, 1g당 종자립수는 아래 표 2와 같다. 표 2에서 포장발아율은 본 연구의 기초연구로 진행된 실험의 결과(김남춘, 1997a; 1997b)이며 파종량계산시 고려되도록 하였다. 단위면적당 파종량은 기존 식생기반재빨어붙이기공법의 사용량과 비교하면 매우 적은 양이 사용되었다. 시공시기가 겨울철이므로 겨울기간동안의 종자 유실과 발아력 상실을 감안하여 보정계수를 적용하였는데 시공시기의 영향을 많이 받는 식물에는 보정계수 2.0이 적용되었고, 시공시기의 영향이 적은 참싸리와 비수리, 남아초(김남춘, 1997a; 1997b)에는 보정계수 1.5를 적용하였다. 배합형 I에서는 물오리나무, 곰솔, 산초나무, 붉나무, 자귀나무, 참싸리, 남아초의 교목·관목류와 재래초본류로 안고초, 달맞이, 비수리가 사용되었고 조기녹화용으로 Tall fescue, Perennial ryegrass, Creeping redfescue의 한지형외래초종이 사용되었다. 단위면적당 발생기대본수는 목본류 180본/m², 관목류 100본/m², 초본류 860본/m²으로써 전체적으로 목본류가 초본류보다 적도록 하였다.

배합형 II에서는 관목류 250본/m², 초본류 1,270/m²로써 초본류 위주의 식물배합을 하였다. 재래초본류와 외래초종은 470본/m²과 800본/m²

이 사용되어 약 4:6의 비율이 적용되었다. 배합형 I과 배합형 II에서 외래초종을 많이 한 것은 시공시기가 초겨울이었기 때문이었으며 이듬해 재래초목본이 발아하고 생육하면서 서서히 재래초목본 위주의 식생구조를 보일 것으로 기대하였다.

III. 결과 및 고찰

요철이 많은 암비탈면에 망을 설치하지 않고 식생기반재를 빨어 붙이고 재래초목본 식물위주의 식생을 조성하고자 한 결과 참싸리와 남아초가 우점하고 붉나무, 쉬나무, 자귀나무들이 출현하여 주변산림과 동화되는 비탈면 식생경관이 창출됨으로써 환경친화적인 암절취비탈면 녹화공법을 개발하고자하는 연구목표에 부합되었다(사진 1 참조). 따라서 요철이 심한 암절취비탈면에 망을 설치하지 않고 식생기반재를 습식으로 취부하여 식물생육기반을 조성하는 자연표토 복원공법은 앞으로 개발가능성이 클 것으로 기대되었다.

식물배합별 종자발아와 생육 경향은 다음 표 4와 표 5와 같다. 표 4에서 보는 바와 같이 목본류위주의 배합형(배합형 I)에서 조성 초기에는 참싸리와 자귀나무, 쉬나무가 출현하였고

Table 3. Seed germination, purity and seeding rates in Seed mixture treatment II (Mixture type II)

species	no. of expected plants per one m ²	germination at constant temp. (%)	purity	no. of seeds per one gram	germination at field plot (%)	amendment index	seeding rates per one m ²
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> (참싸리)	150	60	0.99	150	75	1.5	3.37
<i>Lespedeza cuneata</i> (비수리)	150	85	0.98	720	75	1.5	0.50
<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> (남아초)	100	70	1.00	180	40	1.5	2.98
<i>Arundinella hirta</i> (안고초)	300	40	0.53	1020	30	2.0	9.25
Tall Fescue	300	92	0.98	430	90	2.0	1.72
Creeping redfescue	200	82	0.92	950	85	2.0	0.66
Perennial Ryegrass	300	100	0.98	500	95	2.0	1.28
<i>Oenothera arthrosepala</i> (달맞이)	10	55	1.00	3300	35	2.0	0.03
<i>Artemisia princeps var. orientalis</i> (쑥)	10	42	0.52	4000	50	2.0	0.04
t o t a l	1,520						20.07

시간이 지나면서 낭아초와 참싸리의 생육이 활발하였음을 알 수 있다. 혼파한 곰솔과 물오리 나무는 다른 식물들에 의해 피압되어 출현되지 않은 것으로 조사되었고, 자귀나무도 고정조사구에서는 다른 식물들에 의해 서서히 도태된 것으로 나타났다. 초본류중에서는 비수리의 생육이 저조하였고 매우 적은 양이 혼합된 달맞이는 일부가 발아하여 생육하다가 낭아초와 참싸리, 외래초종들에 의해 피압된 결과를 보였다. 붉나무는 수고가 2m까지 자라고 있고, 낭아초는 1.5~2.0m의 수고를 보이고 있어 장차 붉나무와 자귀나무가 상층입관을 차지할 것으로 예측되고 목본류 형으로의 복원목표가달성되고 있음을 보여주고 있다.

초본류 위주의 배합(배합형 II)에서는 표 5에 서보는 바와 같이 참싸리와 낭아초, 비수리의 생육이 양호하였고 혼파한 새와 썩은 거의 출현하지 않았다. 새는 파종직기가 봄철에 국한되는데 연구결과(김남춘, 1997b)와 일치되는 결과로 생각되어 가을철 파종에는 적합치 않은 것으로 판단된다. 썩은 파종시기의 영향을 비교적 적게 받지만(김남춘, 1997b) 달맞이와 같이 적은 양만이 혼합되어 출현되지 않은 것으로 생각된다. 참싸리 보다 낭아초와 비수리의 발생기대본수를 적게 하여 종자배합하였지만 시공 2년후에는 낭아초와 비수리가 우점하는 것으로 나타났다. 외래도입초종들은 파종 6개월후에 1m²당 5.3본의 개체가 생육함으로써 시기적으로 보다

Table 4. number of seedlings(tillers) and plant height in seed mixture type I 'tree and shrub vegetation'

species	dates													
	'96/5/22		7/17		9/10		'97/5/9		7/9		9/9		'99/6/1	
	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	root collar caliper (Spread width)	plant height
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> (참싸리)	1.27 ^z	2.92	0.13	7.75	0.20	56.00	0.40	45.25	0.27	53.75	0.40	20.00	0.41	54.13
<i>Albizia julibrissin</i> (자귀나무)	0.00	0.00	0.20	7.50	0.33	10.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	80.83
<i>Evodia danielii</i> (쉬나무)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	7.50	0.07	8.00	0.13	13.50	0.33	20.00	0.40	23.00
<i>Rhus chinensis</i> (붉나무)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.68	181.25
<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> (낭아초)	0.07	4.20	1.13	11.66	1.73	38.50	0.13	12.50	0.80	35.50	1.00	75.00	1.41	204.87
<i>Oenothera erythrosepala</i> (달맞이)	0.00	0.00	0.13	18.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lespedeza cuneata</i> (비수리)	0.07	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	23.00
cool-season grasses	6.53	9.90	10.87	35.92	6.60	25.67	6.60	25.67	18.50	51.40	11.73	78.85	10.97	33.97

^z : number of seedlings(tillers) per 0.01 m²

Table 5. number of seedlings(tillers) and plant height in seed mixture type II 'herbaceous vegetation'

species	조 사 일													
	96/5/22		7/17		9/10		97/5/9		7/9		9/9		99/6/1	
	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	no of seedlings (tillers)	plant height	root collar caliper (Spread width)	plant height
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> (참싸리)	1.27 ^z	4.19	0.13	19.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.50	41.50
<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> (낭아초)	0.00	0.00	1.13	11.37	2.47	37.33	0.00	0.00	0.13	15.00	0.60	45.00	65.00	156.67
<i>Lespedeza cuneata</i> (비수리)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	51.75	0.40	8.00	0.40	51.77	0.40	51.77	0.00	0.00
cool-season grasses	5.27	8.08	12.93	23.70	13.00	28.53	9.53	13.75	2.97	15.00	6.27	42.95	15.95	42.54

^z : number of seedlings(tillers) per 0.01 m²

많은 시간이 필요한 비수리와 냇아초의 발아를 피압하지 않는 적당한 밀도를 보였다. 여름철 이후에 비수리와 냇아초의 초장이 신장되면서 이들의 하부식생으로 지표면을 피복하는 효과가 있었으며, 재래종과 이들 외래초종들을 적당하게 혼합하는 것이 비탈면의 침식방지에도 효과적일 것으로 판단되었다.

이상의 결과로 보아 재래초목본 위주의 비탈면식생을 복원목표로 설정하여 야생동물의 서식처와 은신처를 제공하고, 유지관리가 용이하며, 주변경관과도 쉽게 동화되는 것을 의도하고자 할 때 공사시기의 요인이 매우 중요함을 알 수 있었다. 즉, 봄철 시공에서는 외래초종의 도움없이도 재래초종만으로 조기녹화를 하면서 침식방지기능을 발휘하여 비탈면안정을 이룰 수 있으나(김남춘, 1976b) 파종시기가 가을철인 경우에 재래초종 보다는 외래초종을 적절하게 활용하는 것이 보다 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 외래초종이 과다 파종되어 혼파한 재래목본류의 생육을 방해하면 안되므로 적절한 외래초종의 발생기대본수를 정하는 것이 중요한데 본 연구에서 정한 외래초종과 재래초목본종자의 배합비율과 파종량은 적절한 수준이었다고 판단된다.

종자파종후 2년만에 걸친 피복율 경향과 4년 후에 식물배합형별 종다양도를 조사한 결과는 다음 표 6에서와 같다. 표에서 보는 바와 같이 파종 다음해에서는 외래초종의 파종밀도가 높았던 관목류위주의 배합형(배합형 II)의 피복율이 목본위주의 배합형(배합형 I) 보다 높았다. 피복율은 겨울철이 지난후 7월에 51%를 보

였고 9월이 되어 재래종들의 생육이 활발해지면서 80% 이상을 나타내었는데 이것은 초기조성속도가 매우 빠른 외래초종의 발생기대본수를 600~800본/m²으로 낮은 수준으로 책정하였기 때문이다.

목본류 위주의 배합형인 배합형 I 은 파종후 2년동안은 초본류형보다 피복효과가 뒤졌지만 4년후에는 100%의 피복효과를 나타내어 오히려 초본류위주의 배합형보다 피복효과가 우수하였다. 이러한 결과로 보아 재래초목본 위주의 환경친화적인 비탈면복원은 외래초종 위주의 비탈면복원보다 많은 시간이 소요됨을 알 수 있었다. 원하는 식생형으로 조성되기까지 뿔어 붙인 식생기반재가 강우에 유실되지 않으면서 양분지속성이 있어 파종식물의 생육을 조장하고 적당한 생육개체밀도를 유지함으로써 주변으로부터의 2차 식생의 침입이 순조로와야 생태적으로 바람직한 공법이라 할 수 있겠다. 본 시험 시공에서 뿔어 붙인 식생기반재는 내침식성이 있으면서 토양경도가 낮은 수준이었기 때문에 이러한 목적에 매우 잘 부합되었다.

식물배합형별 파종식물의 상대우점치를 조사한 결과는 다음 표 7과 같다. 표에서 보는 바와 같이 목본류 위주의 배합형(배합형 I)에서는 참싸리와 자귀나무, 붉나무, 쉬나무 등이 상층 임관을 형성한 결과 표 4에서 보는 바와 같이 시공 1년후 부터는 매우 만족스러운 피복율을 보였는데 4년후에는 냇아초가 우점하는 경향이 뚜렷하여 졌음을 알 수 있었다. 이들외에 망초, 새, 달맞이의 재래종과 외래초종들이 하부식생을 형성함으로써 경관적인 면에서 목본 식물군

Table 6. Percent groundcoverage and species diversity in two types of seed mixture

seed mixture type	ground coverage (%)								species diversity			
	1996				1997				1999			
	5/22	7/17	9/10	11/5	5/9	7/9	9/9	11/7	Species diversity (H'(shannon))	Maximum species diversity (H'max)	J' (Evenness)	D' (Dominance)
type I	8	46	52	53	35	57	23	37	0.8478	1.0414	0.8141	0.1859
type II	8	51	81	73	58	43	50	43	0.5922	0.8451	0.7007	0.2993

Table 7. Importance value of the species in two types of seed mixtures on July, 1999

species	importance value	
	type I	type II
<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> (낭아초)	0.3596	0.3891
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> (참싸리)	0.0878	0.0424
<i>Rhus javanica</i> (불나무)	0.0907	
<i>Evodia daniellii</i> (쉬나무)	0.0176	
<i>Albizia julibrissin</i> (자귀나무)	0.1118	
cool-season grasses	0.1312	0.2393
<i>Erigeron canadensis</i> (망초)	0.0432	0.1649
<i>Taraxacum mongolicum</i> (민들레)	0.0778	
<i>Commelina communis</i> (달개비)	0.0477	
<i>Arundinella hirta</i> (Thunberg) (안고초)	0.0176	0.0700
<i>Oenothera erythrosepala</i> (달맞이)	0.015	0.0726
<i>Ixeris dentata</i> (Thornburg) (씀바귀)		0.0217

락 하층부에 초본류가 생육함으로써 조화롭고 자연스러우며, 매우 안정적인 느낌을 주고 있다. 목본류중 불나무, 쉬나무는 매우 중요한 밀원식물들로서 먹이가 부족한 여름철에 야생동물에게 먹이를 제공한다는 점에서 가치가 높다고 보여지며 척박한 환경에서 잘 적응하는 식물이므로 비탈면의 종다양성 증진에 기여할 수 있는 녹화식물로 판단되어 앞으로 암절취비탈면의 녹화시 적극적인 이용이 요망되는 식물로 생각된다.

초본류 위주의 배합형(배합형 II)에서는 시공 4년후에 낭아초가 역시 우점하는 상태이고, 다음으로 외래도입초종들의 피복효과가 우수하였고, 주변에서 침입한 망초, 민들레, 달개비, 썸바귀와 파종식물인 안고초, 달맞이가 적절하게 혼합된 상태를 보여주었다. 이러한 결과로 보아 초본류형의 2차식생의 침입은 초본류 위주의 배합형(배합형 II)가 목본류 위주의 배합형(배합형 I)에서 보다 우수한 결과를 나타내어 수고가 높은 목본류의 식생에서는 다양한 초본형의 2차식생침입이 저조함을 알 수 있었다.

IV. 결 론

환경친화적인 암절취비탈면의 비탈면녹화공법을 개발하기 위해 요철이 심한 암절취비탈면을

시험 시공지로 선정하여 1995년 11월 동기(冬期)에 실험연구를 시작하였다. 요철이 심한 상태이므로 망을 설치하지 않고 자연표토 복원공법에 의한 식생기반재를 5cm 두께로 피복하였는데 비탈면의 상단부와 외곽은 목본류형의 종자배합으로, 비탈면의 중앙부와 하단부는 초본류형의 종자배합을 적용하고 4년간에 걸쳐 피복을 파 수고, 종다양도 등을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 시공후 암절취비탈면에 부착시킨 식생기반재는 균열들이 발견되지 않았으며, 토양경도는 낮은 수준이었고 토양내 미생물 균수는 주변 자연토양과 유사하였다. 시공시기가 초겨울이었으므로 양잔디류와 참싸리, 낭아초 등은 파종 다음 해에 발아하고 원만하게 생육하였다.
2. 목본류 위주의 식물배합(배합형 I)에서는 참싸리와 자귀나무, 불나무, 낭아초가 상층 임관을 형성하고 있고, 3년후부터 낭아초가 우점하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 시공 4년후에도 낭아초가 우점하는 상태이고, 다음으로 자귀나무, 참싸리, 불나무, 쉬나무들이 생육하였고, 하부에 양잔디류, 망초, 민들레, 달개비, 새, 달맞이가 출현되었다.
3. 불나무는 수고가 1.8m까지 자라고 있고, 낭아초는 2.0m의 수고를 보이고 있어 장차 불

- 나무, 자귀나무등이 상층임관을 차지할 것으로 예측되고, 목본류형으로의 복원목표가 달성되고 있음을 보여주고 있다.
4. 초본류 위주의 배합형(배합형 II)에서는 시공 4년후에 남아초가 우점하고, 다음으로 양잔디류와 망초, 달개비, 썩바귀, 달맞이, 새가 생육하고 있어 경관적으로도 매우 좋은 피복 상태를 유지하고 있다. 2차식생의 침입은 초본류위주의 배합형에서 다양하게 이루어지고 있음을 관찰할 수 있었다.
 5. 종다양도는 목본류형의 배합형(배합형 I)이 초본위주의 배합형(배합형 II)에서 보다 높게 나타났다.
 6. 요철이 심한 암절취비탈면을 망을 설치하지 않고 자연표토 복원공법으로 녹화한 결과 식생기반재의 부착성이 양호하였고, 파종한 초·목본 식물의 지속적인 생육이 이루어지고 있음을 볼 수 있었다.
 7. 요철이 심한 암절취비탈면에는 망을 설치하지 않고 습식의 식생기반재뿔어붙이기공법으로 뿔어붙이되 재래초목본위주의 식물배합을 적용함으로써 생태적인 복원녹화를 시도하는 것이 환경친화적인 비탈면녹화방법이 될 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구에서는 실험대상지가 북향이고 실험장소가 한정된 문제가 있었으므로 앞으로 보다 많은 시험시공을 통한 기술 개발이 지속되어야 할 것으로 생각된다.

V. 인용문헌

- 건설교통부. 1997. 환경친화적 건설사업 수행요령.
- 김경훈 · 우보명. 1999. 비탈면 녹화용 재료로서 산림표층토의 적정 채취시기 및 이용방법. 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 53-61.
- 김남춘. 1991. 도로비탈면 녹화에 사용되는 주요 초본 식물의 지하부 생육이 토양안정에 미치는 효과에 관한 연구. 한국조경학회지 18(2) : pp45-55.
- 김남춘. 1997. 사면녹화공사용 자생목본의 파종 적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(1) : 73-81.
- 김남춘. 1997. 주요 초본식물의 비탈면 파종 적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(2) : 62-72.
- 김남춘. 1998. 경관훼손지의 생태적 복구방안에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 1(1) : 28-44.
- 김남춘 · 석원진 · 남상준. 1998. 비탈면의 조기 녹화를 위한 식물배합에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3) : 8-18.
- 남상준 · 김남춘. 1998. 자연표토 복원공법에 의한 암비탈면의 한국잔디와 목본류 종자 파종에 의한 녹화. 한국환경복원녹화기술학회지 1(1) : 141-150.
- 우보명 · 권태호 · 김남춘. 1993. 임도비탈면의 자생식생침입과 효과적인 비탈면 녹화공법 개발에 관한 연구. 한국임학회지 82(4) : 381-395.
- 이재필 · 김남춘 · 홍성권. 1995. 도로사면녹화를 위한 식생배합에 관한 연구. 한국조경학회지 23(2) : 113-123.
- 전기성 · 우보명. 1999. 사면녹화용 외래초종과 재래목 · 초본 식물의 적정파종량 및 혼파비에 관한 연구(I). 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 33-42.
- 전기성 · 우보명. 1999. 사면녹화용 외래초종과 재래목 · 초본 식물의 적정파종량 및 혼파비에 관한 연구(II). 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 43-52.
- 한국도로공사. 1995. 고속도로 절토비탈면 녹화 공법 연구.
- 龜山 章 等. 1989. 最先端の緑化技術. ソフトサイエンス社.
- 小橋 澄治 · 村井 宏. 1995. のり面緑化の最先端. ソフトサイエンス社.
- 日本緑化工協會. 1979. 緑化工基礎技術①.
- 日本緑化工協會. 1993. 緑化工實務講座テキスト.
- 村井 宏 · 堀江 保夫. 1997. 新編 治山 · 砂防緑化技術. ソフトサイエンス社.
- 最新斜面 土留め 技術總攬委員會. 1991. 最新斜

面 土留め 技術總攬 資料編.

- Black, C. A., D. D. Evens, J. L. Eenminger and F. E. Clark. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy : 922-923.
- Bratton, S. P. 1982. The Effects of Exotic Plant and Animal Species on Nature Preserves. Natural Areas Journal 2(3) : 3-13.
- Gray, D. H. and A. T. Leiser. 1982. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. New York : Van Nostrand Reinhold Company : 129-130.
- Harrington, J. A. 1994. Roadside Landscapes ; Prairie Species Take Hold in Midwest Rights-of-Way. Restoration and Management Notes 12(1) : 8-15.
- Harty, F. M. 1986. Exotics and their Ecological Ramifications. Natural Areas Journal 6(4) : 20-26.
- Knapp, E. E. and K. J. Rice. 1994. Starting from Seeds; Genetic Issues in Using Native Grasses for Restoration, Restoration & Management Notes 12(1) : 40-45.
- Morrison, D. M. 1985. Tallgrass Prairie in the Landscape, Landscape Architectural Review : 5-11.
- Schiechtel, H. M. and R. Stern. 1996. Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control, UK : Blackwell Science : 23-45.

接受 1999年 12月 17日