韓國環境復元綠化技術學會誌 4(3) : 84～95(2001)
J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 4(3) : 84～95(2001)

마사토 비탈면의 생태복원 녹화기술 개발 연구[1)]

-자연표토복원공법의 적용사례를 중심으로-

김남춘[1)] · 강진형[1)] · 이준우[2)] · 남상준[3)] · 이원한[4)]

[1)] 단국대학교 환경조경학과 · [2)] 충남대학교 산림자원학과 ·
[3)] (주) 현우그린 · [4)] 성균관대학교 조경학과

Study on the Revesetation Technology for the Ecological Restoration of the Decomposed Granite Roadside Slopes

-The Application of the Natural Topsoil Restoration Methods(NTRM)-

Nam-choon Kim[1)], Jinhyoung Kang[1)], Joon-woo Lee[2)], Sang-jun Nam[3)] and Wonhan Lee[4)]

[1)] Dept of Landscape Architecture, Dankook Univ., [2)] Dept. of Forest Resources, Chungnam Univ.,
[3)] Hyun-woo Green(Ltd), [4)] Dept. of Landscape Architecture, Sungkyunkwan Univ.

SUMMARY

This study was conducted to suggest the ecological restoration methods for the decomposed granite roadside cutslopes by Natural Topsoil Restoration Methods(NTRM). Four woody species, 3 shrub species, 4 native grasses, 8 wild flowers and 2 cool-season grasses were used. The experiment was conducted with the purpose of developing ecological restoration techniques by achieving following objectives for restoration by using native woody plants, shrubs, native plants and wild flowers; (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 disturbed sites. The main results were summarized as follows.

1. Restoring naturalness to human-altered landscapes are important to protecting the worlds biodiversity. In this study, to restore or create an ecological community use as full a complement of native species as possible. Ecological restoration means returning a specific sites to its predisturbance condition.

2. Some species which are introduced first may inhibit the germination and growth of slower-growing species, or they may prevent the growth of other species whose propagules arrive later. In this study, cool season grasses was used small amount than native plants and woody species, because they can inhibit native plants.

3. During 2 years after seeding, most native plants germinated and especially *Lespedeza bicolor*

1) 이 연구는 2000학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음

and *Indigofera pseudo-tintoria* grows well. Tall fescue and perennial ryegrass shows quick germination, but they could not inhibit the other species growing relatively slow. *Pinus thunbergii* used at Gonam near the ocean was suppressed by the other plants, so it can be concluded that using container seedlings is effective than seeding.

4. *Ailanthus altissima, Albizzia julibrissin, Rhus chinensis Lespedeza cyrtobotrya,* and *Indigofera pseudo-tinctoria were germinated.* In wild flowers, *Coreopsis lanceolata, Dianthus sinensis, Coreopsis tinctoria,* and *Lotus corniculatus* var. *japonicus* grew well and show enough plant height which will not suppressed by shrub and woody plants. After one year, native grasses such as *Arundinella hirta, Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* and *Imperata cylindrica* var. *koenigii* cover the slopes well.

5. 25 herbaceous plants such as *Trifolium repens, Arthraxon hispidus, Barbarea orthocerae, Potentilla fragarioides, Lepidium apetalum, Chenopodium album* var. *centrorubrum, Glycine soja, Rubus crataegifolius* and 4 woody species such as *Lespedeza maximowiczii, Robinia pseudoacacia, Symplocos Chinensis, Quercus acutissma* were invaded.

6. Ecological restoration works by Natural Topsoil Restoration Methods for revegetation of the decomposed granite roadside cutslopes were successfully accomplished. It prevents surface water erosion and shows diverse vegetation structure. It will be successful to restore decomposed granite cutslopes.

Key words : *ecological restoration, native plants, germination, decomposed granite, roadside slopes*

Ⅰ. 서 론

각종 건설공사로 인해 조성되는 인위비탈면들은 침식방지와 경관미 회복, 종다양성 회복과 증진을 위해 훼손되기 이전의 모습으로 복원 녹화시켜야 한다(Harker et al, 1999; Morison, 1996). 국내에서는 도로 비탈 등의 훼손지를 복원녹화하기 위해 토사비탈인 경우 천연섬유네트 피복과 종자분사파종공을 병용하거나 종자부착볏짚네트를 피복하고, 암반비탈면은 인공토양을 3㎝ 이상 부착시켜 식물생육의 기반을 제공하는 식생기반재 뿜어붙이기 공법을 사용하고 있다(김남춘a, 1997; 김남춘b, 1997). 그러나, 식물생육조건이 매우 불량한 마사토질의 절토비탈의 경우 위의 녹화공법으로 시공한 후에도 녹화가 불량하거나 토사유실 및 슬라이딩 발생 등의 문제가 발생되고 있으나 이는 마사토 비탈의 복원녹화에 대한 국내 연구가 미진한 결과 일반토사비탈의 설계기준과 시공법이 적용되기 때문으로 판단된다.

마사토 비탈은 쉽게 건조해지고 붕괴가 용이하며(土質工學會, 1982; 矢橋震吾 등, 1984; 西田一彦, 1996), 토중 수분의 동태에 따라 사면의 붕괴 및 녹화성공에 미치는 영향이 크다(矢橋震吾・金光達太郎, 1985). 또한 경사도에 따라서 식생성립의 양적 변화가 심하며(吉田博宣, 1982), 비탈면의 안정성이 식생성립의 결정인자가 되고 있다(矢橋震吾 등, 1983). 따라서, 마사토 비탈에 대해서는 비탈면의 경사와 비탈면형상에 따라 녹화공법을 달리 적용하여야 하며(平塚勇二, 1981; 井上源基 등, 1982), 녹화를 성공적으로 하기 위해서는 식물의 생장특성과 비탈면의 특성을 고려하고 생육기반의 경도와 두께를 적절히 조성하여야 한다고 하였다(山寺喜成, 1990).

마사토 비탈은 토질이 척박하기 때문에 비료와 수분에 대한 요구도가 높은 한지형 양잔디 위주의 종자분사파종으로는 녹화가 곤란하다. 톨훼스큐, 퍼레니얼라이그라스 등 한지형 양잔디위주의 종자분사파종은 조기녹화공법으로 일

반적인 토사 비탈에 사용가능하나 마사토 비탈에서는 이들 한지형 양잔디류의 생육이 극히 불량하다. 도입초종이면서 난지형인 위핑러브그라스는 우리나라 기후에 대한 적응성이 우수하고 척박한 비탈에서 잔존율이 매우 높다(김남춘, 1998; 남상준 · 김남춘, 1998). 위핑러브그라스는 척박한 마사토 비탈에서 생육이 가능하나 과다 파종될 경우 이들만으로 비탈이 우점됨으로써 주변의 2차식생 침입이 억제되고 식생천이가 방해를 받으며, 수년동안이나 이러한 상태가 지속되는 특성이 있어 문제가 되고 있다(김남춘 등, 1998). 식생기반의 개선 없이 마사토 비탈에 위핑러브그라스를 혼합한 종자분사파종은 위핑러브그라스만 생존하게 되어 종다양성이 떨어지고, 겨울철 미관이 매우 나쁘며, 화재발생의 위험이 높은 단점이 있다(김남춘, 1998).

따라서 외래종보다는 재래 초 · 목본식물을 사용하여 녹화하는 것이 경관적으로나 생태적으로 바람직하며(전기성 · 우보명a, 1999; 전기성 · 우보명b, 1999), 마사토 비탈은 식생기반의 개선을 통해 다양한 재래초 · 목본종자의 발아와 생육을 원할하게 해 줄 필요가 있다. 재래초 · 목본식물은 우리나라 기후에 대한 적응성이 높아 유지관리가 용이하고 훼손된 비탈면 경관의 조속한 회복에 기여하며 야생동물의 서식처 및 은신처 제공과 비탈면 붕괴방지 효과가 외래도입초종보다 탁월한 장점이 있어 친환경적인 건설사업의 복원대책이 되고 있다(건설교통부, 1997; 김남춘 1998; 환경부, 2001; Morrison, 1996)

본 연구에서는 마사토 비탈의 토양적 특성으로 인한 녹화의 곤란한 점을 개선하기 위하여 자연표토 복원공법으로 식생기반토양을 3㎝ 정도 마사토위에 취부하여 피복시키고, 대상지 주변의 식생과 환경 등을 고려하여 목본, 재래초본류 및 야생화류의 종자를 사용하여 생태복원녹화를 하고자 하였다. 조기피복효과를 위해 외래도입초종을 사용하되 재래초목본 종자에 비해 적은 양을 사용하였으며, 재래초본류와 야생화류로 조기녹화효과를 얻고 시간이 경과되면서 혼합한 목본과 주변식생의 침입으로 자연스런 수림화가 이루어지도록 유도하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 연구대상지 및 시공방법

시험구는 충청남도 홍성군내 고남지구 및 운산지구의 절개지정비공사용역에 따라 시공된 고남 1공구, 운산 3공구, 4공구에 조성되었다. 실험구 선정 기준은 유사한 토질이면서 경사도가 유사한 것으로 한정하였는데, 선정된 실험 비탈들은 다음 표 1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 비탈은 동향과 남서향을 나타내었는데, 비탈 경사는 1 : 0.8～1.0의 범위를 보였으며, 절개지 토질은 마사토와 풍화암, 토사 및 연암이 섞여 있는데 마사토가 주를 이루는 토질이었다.

시험구의 토양 성분분석표는 표 2와 같다. 표에서 보는 바와 같이 모래가 74% 이상인 사질식양토의 토성을 나타내었고, 유기물함량이 극히 낮아 식물의 생육에 적합하지 않은 토양임을 알 수 있다. 따라서, 식생기반인 토양의 개량 없이는 다양한 초목본종자의 원만한 발아와 생육을 기대하기 곤란한 상태이다.

또한, 사진 1～4에서 보는 바와 같이 식생이 없는 운산 3공구와 4공구에서는 마사가 흘러내리는 상태이었으며, 고남지구의 경우 위핑러브그라스가 마사토를 붙잡고 있어 토사가 흘러내리지는 않지만 극히 불량한 비탈경관을 보여주고 있었다.

2000년 5월에 각 공구의 절개비탈면 위에 자연표토복원공법으로 식생기반토양을 3cm 두께로 취부하였는데 먼저 2㎝ 두께의 기반층을 취부한후 1㎝ 두께의 종자층을 취부하였으며, 취부가 완료된 후에 천연섬유네트를 피복하여 주었다. 마사비탈은 매우 척박하기 때문에 3㎝ 두께의 생육기반재를 피복하여 파종식물의 종자발아와 생육의 기반을 제공하고자 하였다. 시공후 약 1주일간은 인위적인 관수를 하여 식물의 초기생육을 도모하여 주었다.

본 실험에 사용한 자연표토 복원공법은 생태

적으로 건강하며 친환경적이고 양분지속성이 높은 식생기반재를 습식으로 뿜어붙이는 공법으로 재래 초목본류에 의한 생태복원녹화가 용이한 환경친화적인 건설기술이다(김남춘, 1999).

표 1. 시공대상지의 현황

	향	경사도	총면적 (m^2)	토 질	녹화공법	시공두께
운산 3공구	E	0.8	558.8	마사토(63.18%) 풍화암(21.33%) 토사 및 연암(15.49%)	자연표토 복원공법	3cm
운산 4공구	E	0.9	240.8	마사토(47.38%) 풍화암(3.9%) 토사 및 연암(48.71%)	자연표토 복원공법	3cm
고남 1공구	SW	1.0	2534.5	마사토(62.00%) 풍화암(40.29%)	자연표토 복원공법	3cm

표 2. 토양분석표

분석항목(단위)		분석결과		
		운산 3공구	운산 4공구	고남지구
유기물(%)		0.08	0.04	0.06
전질소(ppm)		59.54	21.01	84.06
유효인산(ppm)		2.34	3.93	3.05
치환성-K(me/100g)		0.07	0.15	0.07
치환성-Ca(me/100g)		3.01	0.67	1.67
치환성-Mg(me/100g)		2.15	1.39	0.48
치환성-Na(me/100g)		0.13	0.06	0.07
양이온치환용량(me/100g)		5.39	6.50	3.76
산도[1 : 5]		6.12	5.58	5.34
전기전도도(mS/cm)[1 : 5]		0.013	0.014	0.026
토성 (국제토양학회기준)	모래(%)	82.72	74.73	83.42
	미사(%)	0.58	2.98	0.44
	점토(%)	16.70	22.29	16.12
	토성분류	사질식양토	사질식양토	사질식양토

사진 5. 운산 3공구 시공전

사진 2. 운산 4공구 시공전

사진 3. 고남 1공구(좌측) 시공전

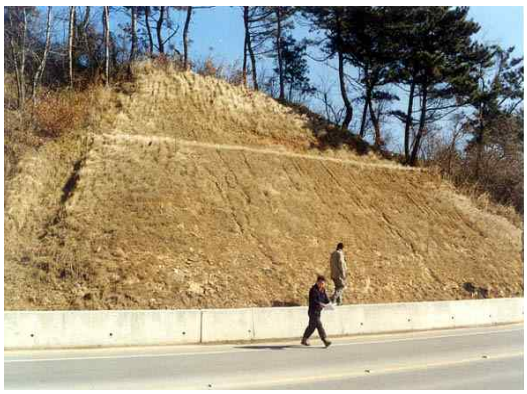

사진 4. 고남 1공구(우측) 시공전

2. 식물배합

사용종자는 다음 표 3과 같다. 훼손지에서 우선적으로 나타나는 선구식생인 가죽나무, 자귀나무, 붉나무, 참싸리 등을 주녹화용 수종으로 선정하였고, 새, 억새 등의 재래초본과 야생화류를 혼합하였다. 해송은 바닷가에 인접한 고남지구에만 추가로 혼합하였다. 실험에 사용된 대부분의 식물들은 척박한 토양에서도 양호한 생육을 보이는 식물들인데 예상성립본수로 목본류 80본/㎡, 관목류 289본/㎡, 재래초본 및 야생화 6,300본/㎡, 양잔디류 1,000본/㎡를 혼합하였다.

실험에 사용된 식물은 해송, 가죽나무, 자귀나무, 붉나무, 참싸리, 낭아초, 개쉬땅나무 등의 목본류와 새, 비수리, 억새, 띠 등의 재래초본과 대금계국, 패랭이, 구절초, 달맞이, 춘차국, 끈끈이대나물, 쑥부쟁이, 벌노랑이 등의 자생 및 도입야생화류와 톨훼스큐, 퍼레니얼라이그라스 등의 양잔디류를 사용하였다. 위핑러브그라스는 마사토 비탈에서 우점하는 경향이 있어(김남춘, 1998) 본 실험에서 제외하였다. 실험대상지의 토양이 매우 척박하고 식생기반토양에 종자가 묻히는 것을 고려하여 일반토사비탈의 시공기준보다 증량하여 배합하였다.

3. 조사 및 분석

각 시험구 마다 1.0m^2 크기의 조사구를 3개소씩 완전 임의로 설치하였다. 각 실험구에서는 단위면적당 파종식물의 발아 개체수와 초장, 수고 등을 측정하였다. 100%의 피복율을 보인 파종 1년 후에는 개체당 피복면적을 조사하여 생존식물의 상대우점치를 분석하였으며 파종한

표 3. 종자사용배합표

식 물 명	기대 본수	발아율 (%)	순도 (%)	립수/g	보정률	파종량 (g)
Pinus thunbergii(해송)	50	0.5	0.9	90	0.13	9.4
*Ailanthus altissima(*가죽나무)	20	0.2	0.6	200	0.13	6.4
Albizzia julibrissin (자귀나무)	5	0.6	0.97	25	0.13	2.6
Rhus chinensis (붉나무)	5	0.2	0.7	69	0.13	3.9
소계	80					22.3
Lespedeza cyrtobotrya (참싸리)	100	0.5	0.96	150	0.25	5.5
Indigofera pseudo-tinctoria (낭아초)	100	0.7	0.95	180	0.25	3.3
Sorbaria sorbifolia var. *stellipila*(개쉬땅나무)	50	0.8	0.7	5,900	0.13	0.1
소계	200					8.8
Arundinella hirta (안고초)	500	0.3	0.51	1,020	0.13	24.6
Lespedeza cuneata (비수리)	300	0.75	0.98	720	0.13	4.3
Miscanthus sinensis var. *purpurascens*(억새)	500	0.3	0.8	2,300	0.13	6.9
Imperata cylindrica var. *koenigii* (띠)	500	0.7	0.5	4,400	0.13	2.4
Coreopsis lanceolata (대금계국)	200	0.75	0.98	450	1.0	0.6
Dianthus chinensis (패랭이)	1,000	0.9	0.9	2,000	1.0	0.6
Chrysanthemum zawadskii herb (구절초)	300	0.6	0.8	2,000	1.0	0.3
Oenothera erythrosepala (달맞이)	200	0.8	0.9	3,000	1.0	0.1
Coreopsis tinctoria (춘차국)	1,000	0.7	1	2,000	1.0	0.7
Silene armeria (끈끈이대나물)	300	0.85	0.9	6,520	1.0	0.1
Aster yomena (쑥부쟁이)	500	0.85	0.6	6,000	1.0	0.1
Lotus corniculatus var. *japonicus* (벌노랑이)	1,000	0.65	0.99	812	1.0	1.9
소계	6,300					42.6
Tall Fescue	500	0.9	0.98	430	1.0	1.0
Perennial Ryegrass	500	0.95	0.98	500	1.0	1.0
소계	1,000				2.0	
합계	7,580					76

※ 해송은 고남지구에만 파종함

식물들의 식생구조를 분석하는데 활용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

마사토 비탈의 생태복원을 위해 자연표토 복원공법으로 식생기반토양를 3㎝ 취부한 후 천연섬유네트망으로 피복하고 시간에 따른 식물생육 경향과 식생구조를 조사분석한 결과는 다음과 같다.

1. 개체수 및 초장/수고의 변화

개체수 및 초장/수고 변화의 경향은 다음 표 4, 5, 6과 같다. 운산의 2개 지구와 고남지구는 개체수와 초장/수고의 변화에서는 유사한 경향을 나타내고 있다. 개체수의 경우 파종직후에는 한지형 외래초종인 톨훼스큐와 퍼레니얼라이그라스의 생육이 활발하여 초기 지표면 피복에 유효하였다. 파종 직후 우점종이던 양잔디류는 1년후에 급격하게 개체수가 격감하였고 초장도 상대적으로 낮아 점차 도태되는 경향을 보였다. 김남춘(1998)에 의하면 양잔디류를 소량 사용하여 조기녹화효과를 얻고 발아와 초기생육이 상대적으로 느린 재래초목본으로 서서히 대체하는 복원녹화방법이 적합하다는 결론과 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

목본류의 경우 가죽나무와 자귀나무, 붉나무 등이 발아하여 생육하였으나 개체수가 감소하는 경향이 나타났고 가죽나무에 비해 자귀나무와 붉나무는 수고 신장이 뚜렷하지 못하였다. 참싸리와 낭아초의 생육이 왕성하였으며, 특히 낭아초는 파종 1년후 참싸리 보다 수고가 높은 신장세를 보여 목본류중에서 가장 생육이 우수하였다. 또한, 낭아초는 다른 목본류 보다 개체수의 감소가 적어 당분간 낭아초의 우점 상태가 지속될 것으로 추측된다.

재래초본류 중에서 비수리는 개체수가 증가하는 경향을 보였고 초장신장도 우수하여 낭아초와 더불어 양호한 생육경향을 나타내었다. 새와 갈대, 띠 등의 재래화본과 식물들은 파종직후 보다는 1년 후에 개체수가 증가하고 초장신장도 왕성하게 이루어지고 있음을 관찰할 수 있었다. 이들은 초기발아가 느린 대신 서서히 양잔디류의 지표면 피복효과를 대체하고 있음을 알 수 있었다.

혼파한 도입 및 재래야생화들은 목본류와 유사한 초장신장을 하여 파종 1년후에도 지속적인 생육을 하였다. 계절에 따라 꽃이 피고 비탈에 경관적인 효과를 적절하게 나타내고 있어 재래초목본 식물들과 혼합하여 사용하는 것이 적절하였다고 판단된다. 특히 대금계국과 춘차국, 쑥부쟁이, 달맞이 등은 60㎝ 이상의 초고를 나타내어 낭아초와 비수리 등과 더불어 높은 피복효과를 나타내었다. 언제까지 이러한 효과가 지속될지는 더 관찰하여야 할 것으로 판단된다.

파종 1년후의 결과로 보아 가죽나무와 참싸리, 낭아초, 비수리, 대금계국, 패랭이, 달맞이, 춘차국, 쑥부쟁이 등이 왕성한 생육을 하였고, 자귀나무와 붉나무, 벌노랑이, 새, 억새, 띠 등의 재래초본들은 상대적으로 저조한 초장/수고 생육을 나타내었다. 침입종과 이들 파종식물간의 경쟁에 따른 식생구조의 변화에 대해서는 지속적인 모니터링을 하여야 할 것으로 판단된다.

2. 식생구조분석

파종한 식물의 상대우점치를 분석한 결과는 다음 표 7과 같다. 파종당년에 양잔디류의 상대우점치가 가장 높으나 1년 후에는 그 비율이 매우 낮아진 것을 알 수 있었다. 상대적으로 낭아초와 비수리의 상대우점치가 높아졌고 새, 억새, 띠 등의 재래초본류가 왕성하게 생육한 것을 볼 수 있다. 특히 사면장이 상대적으로 짧은 운암 3공구에서 이들 재래초본류의 점유비율이 높았고 비탈면 길이가 긴 고남지구에서는 낭아초와 비수리가 우점하는 경향을 보였다.

비탈의 방위와 경사도, 비탈면의 길이 등이 녹화식물의 생육에 영향을 미친다고 한 吉田博宣(1982)과 山寺喜成(1990)의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 곰솔의 경우 고남 1공구에서 파종당년에는 발아하였으나 1년후에는 관찰되지 않아 김남춘(1997)과 김남춘 등(1998)의 연

표 4. 운산 3공구의 파종종자의 개체수 및 초장변화

식 물 명	조사일					
	2000/7/13		2000/9/30		2001/7/3	
	분얼경수/개체수	초장/수고	분얼경수/개체수	초장/수고	분얼경수/개체수	초장/수고
Ailanthus altissima(가죽나무)	5.67	5.67	2.67	16.00	1.67	21.67
Albizzia julibrissin (자귀나무)	0.67	1.00	1.00	10.00	0.33	8.33
Rhus chinensis (붉나무)	-	-	0.67	10.00	0.33	8.50
Lespedeza cyrtobotrya (참싸리)	7.00	8.67	3.33	35.00	2.67	31.67
Indigofera pseudo-tinctoria (낭아초)	14.00	7.00	10.00	45.00	6.33	50.00
Lespedeza cuneata (비수리)	10.33	5.00	11.33	38.33	13.67	43.33
Coreopsis lanceolata (대금계국)	7.33	9.00	4.67	38.33	3.33	51.67
Dianthus chinensis (패랭이)	8.33	3.33	3.35	35.00	2.00	36.67
Oenothera erythrosepala (달맞이꽃)	-	-	0.33	26.67	0.33	16.67
Coreopsis tinctoria (춘차국)	12.67	22.67	7.33	53.33	5.67	70.00
Aster yomena (쑥부쟁이)	-	-	0.33	20.00	1.67	10.00
Lotus corniculatus var. *japonicus* (벌노랑이)	8.67	7.33	7.67	16.67	3.00	18.33
cool-season grasses	31.67	19.67	17.67	31.67	15.00	23.33
Arundinella hirta (안고초)						
Miscanthus sinensis (억새)	13.67	16.67	45.00	60.00	40.00	36.67
Imperata cylindrica var. *koenigii* (띠)						
기타 초본류	13.00	5.00	5.67	28.50	6.00	26.67

표 5. 운산 4공구의 파종종자의 개체수 및 초장변화

식 물 명	조사일					
	2000/7/13		2000/9/30		2001/7/3	
	분얼경수/개체수	초장/수고	분얼경수/개체수	초장/수고	분얼경수/개체수	초장/수고
Ailanthus altissima(가죽나무)	5.00	5.00	3.33	18.33	2.00	31.67
Albizzia julibrissin (자귀나무)	0.67	2.67	1.00	7.33	0.67	5.00
Rhus chinensis (붉나무)	1.67	4.33	1.33	11.67	0.33	5.00
Lespedeza cyrtobotrya (참싸리)	16.67	11.33	12.00	35.00	4.33	51.67
Indigofera pseudo-tinctoria (낭아초)	34.67	9.00	20.67	45.00	11.33	53.33
Lespedeza cuneata (비수리)	21.33	6.00	20.67	33.33	12.33	43.33
Coreopsis lanceolata (대금계국)	6.33	14.33	4.67	28.33	2.33	53.50
Dianthus chinensis (패랭이)	8.33	4.67	3.00	33.33	1.67	40.00
Oenothera erythrosepala (달맞이꽃)	-	-	1.00	50.00	1.67	65.00
Coreopsis tinctoria (춘차국)	13.00	25.00	5.67	48.33	5.00	63.33
Aster yomena (쑥부쟁이)	0.33	3.33	2.00	50.00	2.33	61.67
Lotus corniculatus var. *japonicus* (벌노랑이)	11.33	10.67	10.00	18.33	2.00	15.33
cool-season grasses	32.67	21.67	20.00	31.67	10.33	18.33
Arundinella hirta (안고초)						
Miscanthus sinensis (억새)	15.00	2.83	33.33	48.33	26.33	36.67
Imperata cylindrica var. *koenigii* (띠)						
기타 초본류	9.67	4.33	8.00	31.67	5.33	31.50

표 6. 고남1공구의 파종종자의 개체수 및 초장변화

식 물 명	조사일					
	2000/7/13		2000/9/30		2001/7/3	
	분얼경수/개체수	초장/수고	분얼경수/개체수	초장/수고	분얼경수/개체수	초장/수고
Pinus thunbergii (곰솔)	10.67	3.00	0.67	1.67	0.00	0.00
*Ailanthus altissima(*가죽나무)	14.33	5.00	6.00	21.00	3.67	31.67
Albizzia julibrissin (자귀나무)	3.00	3.67	3.00	14.00	3.00	18.33
Rhus chinensis (붉나무)	1.00	2.00	0.33	4.00	0.33	6.67
Lespedeza cyrtobotrya (참싸리)	8.67	6.67	4.00	33.33	4.00	46.67
Indigofera pseudo-tinctoria (낭아초)	25..67	5.67	26.67	56.67	34.00	73.33
Lespedeza cuneata (비수리)	20.67	5.00	20.00	35.00	43.00	35.00
Coreopsis lanceolata (대금계국)	9.67	3.50	5.00	43.33	3.33	55.00
Dianthus chinensis (패랭이)	3.00	3.00	1.00	36.67	3.67	28.33
Oenothera erythrosepala (달맞이꽃)	4.33	3.33	3.33	53.33	5.33	68.33
Coreopsis tinctoria (춘차국)	8.33	10.00	4.00	60.00	4.00	60.00
Aster yomena (쑥부쟁이)	0.33	6.67	1.00	36.67	1.33	65.33
Lotus corniculatus var. *japonicus* (벌노랑이)	8.67	7.83	9.67	30.00	17.67	31.67
cool-season grasses	19.33	13.33	8.33	28.33	3.33	23.33
Arundinella hirta (안고초)						
Miscanthus sinensis (억새)	14.50	4.33	41.50	70.00	30.50	48.33
Imperata cylindrica var. *koenigii* (띠)						
기타초본류	6.67	1.33	4.00	26.67	4.00	60.33

표 7. 상대우점치

식 물 종	Importance value					
	운암 3공구		운암 4공구		고남1공구	
	2000/7/14	2001/7/3	2000/7/14	2001/7/3	2000/7/14	2001/7/3
Pinus thunbergii (곰솔)	-	-	-	-	3.11	0.00
*Ailanthus altissima(*가죽나무)	1.47	5.97	7.23	6.00	7.87	7.58
Albizzia julibrissin (자귀나무)	6.00	1.76	2.87	1.26	4.34	2.95
Rhus chinensis (붉나무)	0.00	1.75	4.29	1.32	2.29	1.11
Lespedeza cyrtobotrya (참싸리)	5.89	5.65	7.54	6.05	5.21	4.97
Indigofera pseudo-tinctoria (낭아초)	5.73	7.20	11.23	8.01	8.44	18.42
Lespedeza cuneata (비수리)	4.64	6.15	5.76	7.37	6.13	12.04
Coreopsis lanceolata (대금계국)	6.23	6.49	7.31	6.25	3.58	5.03
Dianthus chinensis (패랭이)	4.59	5.22	4.41	4.65	4.01	4.21
Oenothera erythrosepala (달맞이꽃)	0.00	2.17	0.00	5.38	1.80	4.81
Coreopsis tinctoria (춘차국)	7.69	7.67	10.99	6.66	5.36	4.75
Aster yomena (쑥부쟁이)	0.00	1.75	1.51	6.63	4.06	5.74
Lotus corniculatus var. *japonicus* (벌노랑이)	5.34	3.89	6.19	2.84	4.18	5.85
cool-season grasses	31.39	7.64	23.64	5.36	10.09	4.24
Arundinella hirta (안고초)						
Miscanthus sinensis (억새)	15.01	30.47	3.25	27.04	27.46	12.82
Imperata cylindrica var. *koenigii* (띠)						
기타 초본류	6.02	6.22	3.78	5.18	2.07	5.48
합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

사진 5. 운암3공구 시공3개월후 경관

사진 6. 운암3공구 시공1년후 경관

사진 7. 운암4공구 시공3개월후 경관

사진 8. 운산4공구 시공1년후 경관

사진 9. 고남1공구(좌측) 시공3개월후 경관

사진 10. 고남1공구(좌측) 시공1년후 경관

사진 11. 고남1공구 시공1년후 세부사진

사진 12. 고남1공구 시공1년후 세부사진

구결과와 유사하였다. 소나무종자를 다른 종자와 혼합하여 파종하는 것은 소나무종자의 느린 초기 성장으로 대부분 피압되므로 소나무묘목을 우선 식재한 다음 주변에 다른 종자를 파종하는 방법이 효과적일 것으로 판단되었다.

표 8. 주변식생 침입종

	침입종	운산3 공구	운산4 공구	고남1 공구
초본류	토끼풀(*Trifolium repens*)	○	○	○
	붉은토끼풀(*Trifolium pratense*)			○
	지칭개(*Hemistepta lyrata*)		○	
	호밀풀(*Lolium perenne*)	○	○	○
	조개풀(*Arthraxon hispidus*)	○		
	나도냉이(*Barbarea orthocerae*)	○	○	
	질경이(*Plantago asiatica*)	○		
	양지꽃(*Potentilla fragarioides*)	○	○	
	다닥냉이(*Lepidium apetalum*)	○		
	메꽃(*Calystegia japonica*)	○	○	
	냉이(*Capsella bursa-pastoris*)	○	○	○
	물칭개나물(*Veronica undulata*)	○		
	명아주(*Chenopodium album*)	○	○	○
	돌콩(*Glycine soja Sieb*)	○	○	
	돼지풀(*Ambrosia artemisiifolia*)	○		
	소리쟁이(*Rumex crispus*)	○	○	
	닭의장풀(*Commelina communis*)	○		
	환삼덩굴(*Humulus japonicus*)	○	○	○
	개여뀌(*Persicaria hydropiper*)	○		
	여뀌(*Persicaria hydropiper*)		○	○
	뽀리뱅이(*Youngia japonica*)	○	○	
	쇠뜨기(*Equisetum arvense*)	○	○	
	오리새(*Dactylis glomerata*)	○	○	○
	벼룩나물(*Stellaria alsine*)	○	○	
	호밀풀(*Lolium perenne*)			○
	왕김의털(*Festuca rubra*)	○	○	○
	포아풀(*Poa sphondylodes*)			○
	강아지풀(*Setaria viridis*)		○	
	망초(*Erigeron canadensis*)	○	○	
	개망초(*Erigeron annuus*)			○
	산딸기(*Rubus crataegifolius*)	○		
	며느리배꼽(*Persicaria perfoliata*)		○	
	끈끈이대나물(*Silene armeia*)			○
	풀싸리(*Lespedeza thunbergii*)		○	
	칡(*Pueraria*)			○
	뺑쑥(*Artemisia feddei*)	○	○	○
목본류	노린재나무(*Symplocos Chinensis*)	○	○	
	조록싸리(*Lespedeza maximowiczii*)	○	○	○
	아까시나무(*Robinia pseud-acacia*)	○	○	○
	상수리나무(*Quercus acutissma*)	○	○	○
	국수나무(*Stephanandra incisa*)			○
	물오리나무(*Alnus hirsuta*)			○
	조팝나무(*Spiraea prunifolia*)			○
	물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)			○
	무궁화(*Hibiscus syriacus*)			○
	개나리-식재(*Forsythia koreana*)	○	○	
	박태기나무-식재(*Cercis chinensis*)	○	○	c20

3. 식생침입

운산 3,4공구와 고남지구의 식생침입현황은 다음 표 8, 9와 같다. 표에서 보는 바와 같이 운암지구의 경우 초본으로 쇠뜨기, 명아주, 지칭개, 쑥, 망초, 토끼풀, 뺑쑥, 환삼덩굴, 돼지풀, 며느리배꼽, 나도냉이, 냉이, 뽀리뱅이, 양지꽃, 여뀌, 오리새, 풀싸리, 강아지풀, 메꽃, 소리쟁이, 쇠별꽃, 닭의장풀, 질경이, 벼룩나물 등이 출현되었고, 목본으로는 소나무, 아까시나무, 노린재나무 등이 침입하여 생육하고 있다.

고남지구의 경우 침입종은 초본류의 경우 환삼덩굴, 쑥, 명아주, 냉이. 토끼풀, 칡, 붉은 토끼풀, 오리새, 개망초, 여뀌, 물칭게나물, 지칭게 등이, 목본류로는 청미래덩굴, 물오리나무, 아까시나무, 조팝나무, 조록싸리, 물푸레나무, 상수

표 9. 고남 1 공구 주연부식생

	침입종	
초본류	환삼덩굴	*Humulus japonicus.*
	명아주	*Chenopodium album* var. *centrorubrum*
	소리쟁이	*Rumex crispus.*
	마	*Dioscorea batatas.*
	닭의장풀	*Commelina communis.*
	칡	*Pueraris thunbergiana.*
	오리새	*Dactylis glomerata.*
	까치수염	*Lysimachia clethroides.*
	쑥	*Artemisia princeps* var *orientalis.*
	고사리	*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum.*
	양지꽃	*Potentilla fragarioides.*
	복분자딸기	*Rubus coreanus.*
	청미래덩굴	*Smilax chine.*
	댕댕이덩굴	*Cocculus tlrlobus*
	엉겅퀴	*Cirsium japonicum* var *ussuriensis.*
	여뀌	*Persicaria hydropiper.*
	제비꽃	*Viola mandshurica.*
	꿩의다리	*Thalictrum aquilegifoium.*
	부 추	*Allium tuberosum.*
	산딸기	*Rubus crataegifolius.*
	갈퀴덩굴	*Galium spurium.*
	개망초	*Erigeron annuus.*
	산박하	*Isodon inflexus.*
목본류	찔레	*Rosa multiflora.*
	갈참나무	*Quercus aliena.*
	산돌배	*Pyrus ussuriensis.*
	인동덩굴	*Lonicera japonica.*
	자귀나무	*Albizzia julibrissin.*
	비수리	*Lespedeza cuneata.*
	가중나무	*Ailanthus altissima.*
	물오리나무	*Alnus hirsuta.*
	소나무	*Pinus densiflora.*
	참싸리	*Lespedeza cyrtobotrya.*
	사시나무	*Populus davidiana.*
	졸참나무	*Quercus serrata.*

리나무 등이 침입하여 파종 식물과 더불어 생육하는 것을 관찰할 수 있었다.

이러한 결과로 보아 자연표토 복원공법으로 식생기반토양을 취부하여 마타사를 개선한 후에는 식생침입이 원만하게 이루어지고 있다고 판단된다.

Ⅳ. 결 론

마사토 비탈은 매우 척박하고 건조하며, 강우에 쉽게 침식되기 때문에 리핑 풍화암 보다 복원녹화에 더욱 많은 관심과 노력을 기울여야 한다. 충남 운산과 고남지구에 자연표토복원공법을 적용하여 생태복원녹화를 시도한 결과 다양한 식물종이 발아하고 원만하게 생육하였고 주변식생의 자유로운 침입도 이루어지고 있음을 관찰할 수 있었다. 파종식물의 발아와 생육경향이 실험 대상지간에 유사하였으며, 주변 2차식생의 침입종 유형도 유사한 경향을 보였다.

1. 사용한 종자는 대부분 발아하였으나 시간이 지나면서 상호경쟁의 결과로 도태되는 경향을 볼 수 있었다. 훼손된 비탈면을 생태복원하기 위해서는 가급적 많은 종을 사용하여야 하나 발아 후 초기 생육의 차이가 심할 경우 대부분 도태되는 경향을 볼 수 있었다.

2. 생태복원의 목표종이 설정되면 목표종이 피압되지 않는 종자배합을 하여야 한다고 판단된다. 목표종이 곰솔이면 곰솔위주의 종자배합을 하고 필요시 조기녹화용 보조종을 추가하는 방식의 종자배합이 필요함을 알 수 있었다. 고남지구에 파종한 곰솔은 다른 종과의 경쟁에서 대부분 피압되었다. 혼합한 목본종 가운데에서 가죽나무는 생육이 양호하였으며 자귀나무와 붉나무는 개체수가 줄어드는 경향을 보였다.

3. 관목류중에서는 낭아초의 생육이 우수하였다. 초본류 중에서는 비수리와 대금계국, 춘차국, 벌노랑이, 술패랭이 등의 생육이 활발하였다. 이들 초본류와 야생화는 낭아초 및 가죽나무와 어울리며 원만하게 생육하여 녹화용으로 목본류와 혼파가 가능한 초본으로 판단되었다.

4. 시공직후 녹화 초기에는 한지형 잔디의 우점도가 높았으나 시간이 경과함에 재래초종인 안고초, 억새와 띠, 그리고 여러 침입종 등에 의해 점점 피압되어 개체수가 줄어드는 결과를 알 수 있었으며 주변의 기존식생과 자연스럽게 어울리는 경관이 조성되었다.

5. 고남지구의 경우 침입종은 초본류의 경우 환삼덩굴, 쑥, 명아주, 냉이. 토끼풀, 칡, 붉은 토끼풀, 오리새, 개망초, 여뀌, 물칭게나물, 지칭게 등이, 목본류로는 청미래덩굴, 물오리나무, 아까시나무, 조팝나무, 조록싸리, 물푸레나무, 상수리나무 등이 침입하여 파종 식물과 더불어 생육하는 것을 관찰할 수 있었다.

6. 운암지구의 경우 초본으로 쇠뜨기, 명아주, 지칭개, 쑥, 망초, 토끼풀, 뺑쑥, 환삼덩굴, 돼지풀, 며느리배꼽, 나도냉이, 냉이, 뽀리뱅이, 양지꽃, 여뀌, 오리새, 풀싸리, 강아지풀, 메꽃, 소리쟁이, 쇠별꽃, 닭의장풀, 질경이, 벼룩나물 등이 출현되었고, 목본으로는 소나무, 아까시나무, 노린재나무 등이 침입하여 생육하고 있다.

7. 고남지구와 운암지구의 비탈은 마사토 비탈로써 매우 척박하고 침식이 심한 상태이었으나 자연표토 복원공법으로 식생기반토양을 3㎝ 두께로 취부한 후에는 초기 녹화 식물 외에도 주변지역의 다양한 초본과 목본이 침입함으로써 종다양도가 높은 식생구조를 보여주었다. 이러한 결과로 볼 때 척박한 마사비탈에 종자발아 및 식물의 생육에 적합한 식생기반토양을 적절한 두께로 복원시켜주면 다양한 초·목본의 생육이 가능하며 생태복원으로 유도할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

Ⅴ. 인 용 문 헌

김남춘. 1997. 사면녹화공사용 자생목본의 파종적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(1) : 73-81.

김남춘. 1997. 주요 초본식물의 비탈면 파종적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(2) : 62-72.

김남춘. 1998. 景觀毁損地의 生態的 復舊方案에

관한 연구. 韓國環境復元綠化技術學會誌 1(1) : 28-44.

김남춘 · 석원진 · 남상준. 1988. 비탈면의 조기 식생녹화를 위한 식물배합에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3) : 8-18.

남상준 · 김남춘. 1998. 自然表土 復元工法에 의한 암비탈면의 한국잔디와 목본류 종자 파종에 의한 녹화. 韓國環境復元綠化技術學會誌 1(1) : 141-150.

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

우보명 · 권태호 · 김남춘. 1993. 임도비탈면의 자생식생침입과 효과적인 비탈면 녹화공법 개관한 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). 韓國環境復元綠化技術學會誌 2(3) : 33-42.

전기성 · 우보명. 1999. 사면녹화용 외래초종과 재래목 · 초본 식물의 적정파종량 및 혼파비에 관한 연구(Ⅱ). 韓國環境復元綠化技術學會誌 2(3) : 43-52.

한국도로공사. 1995. 고속도로 절토비탈면 녹화공법 연구.

환경부. 2001 . 생태적측면의 절개비탈면 녹화공법 활성화 방안에 관한 연구. 건설교통부. 1997. 환경친화적 건설사업 수행요령.

井上源基 외 3인. 1982. マサ土切取法面の崩落パタ-ンとその要因. 日林關東支論 34 : 261-262.

平塚勇二. 1981. 花崗岩マサ地帶における山腹句配と綠化工法についての考察. 治山林道研究會研究論文集 16 : 122-124.

矢橋震吾 외 2인. 1983. マサ土法面の安定化に關する研究. 造園雜誌 46(5) : 188-193.

矢橋震吾 외 2인. 1984. マサ土法面の崩壞, 特にスレ-キングについて. 造園雜誌 47(5) : 73-78.

矢橋震吾, 金光達太郎. 1985. マサ土法面の水平分布と崩壞について. 造園雜誌 48(5) : 103-108.

山寺喜成.1990. 急勾配斜面における綠化工技術の改善に關する實驗的研究. 京都大學 博士學位論文. 347面.

吉田博宣. 1982. 林道切取りのり面の植生景觀に關する研究. 京都大學 博士學位論文. 94面.

土質工學會. 1982. 風化花崗岩とまさ土の工學的性質とその應用. 土質基礎工學ライブラリ-16. 316面.

西田一彦(박춘식역). 1996. 풍화토의 특성. 232쪽.

Harker D., Libby G., Harker K., Evans S. and Evans M. 1999. Landscape Restoration Handbook 2nd. Lewis Pub.

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

接受 2001年 9月 10日