

난지도 쓰레기 매립지 비탈면 생태복원 특성에 관한 연구*
- 자연표토복원공법과 원지반식생정착공법 시공지역을 중심으로 -

여환주¹⁾ · 이상필¹⁾ · 백난영²⁾ · 이재근²⁾

¹⁾ 상명대학교 대학원 환경자원학과 · ²⁾ 상명대학교 환경조경학과

A study on Ecological Restoration Characteristics of
Nangido Landfill Slope*

- Focused on region constructed by SF and CODRA -

Yeo, Hwan-Joo¹⁾ · Lee, Sang-Pil¹⁾ · Paek, Nan-Young²⁾ and Lee, Jae-Keun²⁾

¹⁾ Department of Environmental Resources, Graduate School, Sangmyung University,

²⁾ landscape architecture, Sangmyung University.

ABSTRACT

A study on ecological restoration of landfill slope was conducted in Nanjido to compare immediate and long time effect and supply continuous back data for ecological restoration of landfill slope. As a result, all region constructed by SF and CODRA was effective on improving soil environment and preventing slope erosion. In case of former, by adapting flowers the initial scenery was beautifully built however there was tendency that as time passes the introduced plants were being overtaken by native plants thus it was necessary to select plants which are not being overtaken by native plants. In case of latter, by introducing leguminous plants the natural adaptation of plants were moving smoothly.

Key Words : *Landfill slope, Ecological restoration.*

I. 서 론

비탈면 녹화는 토양침식 즉 비탈면붕괴를 예방하거나 복구하기 위한 기술로서 비탈면안정화 기술에 환경친화적 생태복원개념을 접목시킨 것

이다. 초기에는 주로 사방공작물을 설치해서 비탈의 안정성 유지에 큰 비중을 두었지만 최근에는 안정성뿐만 아니라 경관조성 및 생태복원을 고려하는 환경보전적 개념이 중요시 되고 있다. 비탈면 생태복원과 관련되어 1990년대에 들어서

* 본 연구는 2005년 상명대학교 학술지원으로 연구되었습니다.

연구가 활발히 진행되었는데, 연구의 주된 대상지는 고속도로 절개면이나 임도 절토지가 주를 이루었고 연구내용은 초기에는 설계 기준(한국도로공사, 1995; 우보명, 1997; 정태진, 1999) 등에 대한 연구가 있었으며 그 후 연구는 대상지가 비탈면이라는 특수성에 기인해 침식방지를 위한 연구(박재현, 1995; 김병준, 1999; 우보명, 2000; 정원옥, 2001)와 조기 녹화(최윤호, 2000; 우보명, 2000)가 대부분 이었다. 그러나 최근 들어 비탈면녹화에 생태복원 개념의 도입 필요성을 강조하는 연구(정태진, 1999; 우보명, 2000)가 진행되고 있는 것을 알 수 있었다. 한편 비탈면 생태복원의 가장 핵심은 식물의 생장에 있으므로 다양한 수종을 이용한 실험연구가 이루어졌는데, 비탈면 녹화시 참나무 등 자생수목 종자의 이용(김재준, 2002), 버드나무 영양번식과 쥐똥나무를 이용한 생물공학적 녹화공법의 사례(김혜주, 1999) 등의 연구가 진행되었다. 또한 비탈면녹화시 조기 비탈면녹화를 위하여 외래초종을 도입하였으나 기존 식생지와 상관관계를 고려하지 않고 무분별하게 도입함으로써 기존 식생지에서 자연천이가 쉽게 일어나지 않아 비탈면 생태복원이 이루어질 수 없었다. 따라서 비탈면녹화용 외래초종과 재래목·초본식물의 적정과종량과 혼파비에 대한 연구가 활발히 이루어졌으며(전기성, 1998, 1999a, 1999b), 한국잔디와 목본류 종자를 이용한 자연표토 복원공법으로 녹화시험한 사례도 있었다(남상준, 1998). 이처럼 비탈면 생태복원에 대한 관심

이 고조되면서 많은 연구들이 진행되었으며, 이들 연구의 대부분은 단시간 동안의 연구로 오랜 시간이 경과한 후에도 처음 시공당시의 상태가 지속되고 있는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 즉, 시공 후 토양의 성질변화와 처음 도입된 식물이 주변환경에 잘 적응하며 지속적으로 잘 생육하고 있는지에 대한 검증이 충분히 이루어지고 있지 않은 실정이다.

한편 난지도는 비탈면 생태복원에 대한 관심이 고조되고 있는 시점에서 월드컵이라는 국가적 행사를 치르기 위한 장소로 결정되었다. 그러므로 이곳은 안정성뿐만이 아니라 경관조성도 중요한 과제가 되었다. 따라서 지금까지 축적된 기술과 다양한 공법에 의해 생태복원이 이루어졌던 장소이다.

따라서 본 연구는 난지도를 대상으로 비탈면 생태복원 특성을 공법별로 시공 직후와 오랜 시간이 경과한 현재의 모습을 비교분석하여 지속적인 비탈면 생태복원을 위한 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 실험설계

1) 실험대상지역선정

난지도는 쓰레기 매립지라는 특수성과 아울러 월드컵이라는 국가 행사를 치루는 장소로서 경관적 가치가 고려되어야 하는 필요성을 가지고 있



그림 1. 실험대상지역.

는 장소이다. 따라서 식물에 의한 토양안정화를 목표로 하는 실험과 경관적 가치가 고려되어야 하는 실험 등 이 두 가지의 실험이 가능한 지역을 대상지역으로 선정하였다. I 지역은 난지도 다른 지역에 비해 경사도가 심한 제 2매립 북서면 지역인 중앙통로 우측 비탈면을 선정하였고, II 지역은 월드컵 경기장에 조망권에 있는 제2매립지 남동비탈면 지역으로 선정하였다.

2) 실험시기

실험은 원지반식생정착공 시공은 2001년 5월에 시작하여 7월에 최종 생육재를 취부하면서 마무리 되었다. 자연표토복원공 시공은 2002년 4월부터 6월까지 2개월 동안 실시하였다.

3) 실험재료 및 방법

원지반식생정착공은 초본식물을 주로 파종하여 경관적 효과를 기대할 수 있는 공법이므로 제 2매립지의 남동 비탈면에 시공하였으며, 자연표토복원공은 식물생장에 필수적인 표토층을 그대로 재생 복원하여 초화류형에서 다층구조 산림형

까지 다양한 식생패턴을 이루는 공법이므로 제 2매립지 북서면 비탈면에 시공하였다.

(1) 원지반식생정착공 시공지역

① 식생기반재

본 대상지는 원지반이 쓰레기를 매립한 상태로 자생 초화류의 발아와 뿌리 활착에 불리한 여건이기에 새롭게 개선된 인공토양의 제도가 요구되었다. 따라서 식생기반재를 ‘생육기반재’와 ‘생육보조재’ 2개층으로 구분하여 서로 보완적인 관계가 유지되도록 하였다.

생육기반재는 식물뿌리의 물리적 지지기반 역할에 초점을 맞추어 종이화이버 양을 줄이고 유기물인 부엽토와 마사토양을 늘려 토양 경도를 낮추고 갈라짐 현상을 방지하기 위해 생육기반재 중앙부에 신축성이 있는 코이어 넷트를 설치하였다. 생육보조재는 생육기반재 상부에 뿔어붙이는 소재로 식물종자가 포함되는 층이므로 식물이 발아하고 초기 생장에 필수적인 보습력과 보비력을 증대하고 식물 발아와 생장에 적합한 토양경도인 18~23mm정도로 구성하였다.

표 1. 도입식물 중, 파종량, 영양번식체와 플러그묘 식재량.

도입 식물명	학 명	개화시기	꽃 색	발아율	g당 입수	파종량	규 격	수 량
좀썩바귀	<i>Ixeris stolonifera</i>	5~6월	노란색				마디길이 3.5cm	0.05
돌 나 물	<i>Sedum sarmentosum</i>	5~6월	노란색				마디길이 3.5cm	0.2
기 름 초	<i>Sedum kamtschaticum</i>	5~7월	노란색				3치	2
평의 다리	<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	7~8월	백색				4치	2
물레나물	<i>Hypericum ascyron</i>	6~8월	노랑색				4치	2
비 비 추	<i>Hosta longipes</i>	7~8월	연한 자주색				2~3분얼	2
별개미취	<i>Aster koraiensis</i>	6~10월	연한 자주색	13%	1,500	3g		
패 랑 이	<i>Dianthus sinensis</i>	6~10월	연분홍색	87%	2,000	2g		
구 절 초	<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	9~11월	흰색	74%	2,000	3g	3치	2
쑥부쟁이	<i>Aster yomena</i>	7~10월	하늘/자주색	45%	2,500	3g		
층꽃나무	<i>Caryopteris incana(Thunb.) Miq.</i>	6~9월	보라색	54%	1,400	3g		
비 수 리	<i>Lespedeza cuneata</i>	8~9월	백색	63%	700	5g		

생육기반재와 생육보조재를 경사면에 뿌어붙일 때 종자가 깊게 묻히면 발아에 지장이 있으므로 마지막으로 뿌어뿌이는 생육보조재에만 혼합하여 종자층을 형성하였다.

② 식물종 선정 및 배합설계

본 녹화대상지가 상암동 월드컵 경기장과 평화의 공원에서 직접 노출되는 구간이기에 3계절 자생 초화류가 개화하고 특히 2002년 월드컵이 열리는 5월부터 초화류의 꽃이 만개할 수 있는 식물종이 선정의 첫 번째 준거가 됐다. 따라서 자생 초화류 식물종의 선정은 3계절 꽃피는 식물, 특히 5월부터 8월 사이에 집중적으로 개화하는 식물, 종자의 대량 구득이 용이한 식물, 국내에서 성공사례로 검증받은 식물 등을 고려하여 아래 표 1과 같이 선정하였다.

한편 자생식물에 의한 비탈면 녹화는 조기 녹화가 어렵고 불안정한 자생식물의 발아율과 순도로 인해 종자만을 파종하는 것이 실패의 위험성이 높은 것으로 판단되어 조기에 녹화할 수 있는 여러 방안이 검토되었다. 따라서 본 실험에서는 상기한 선정 식물 중 별개미취, 패랭이, 구절초, 쪽부쟁이, 층꽃나무, 비수리 등은 비교적 종자의 대량 구득이 용이하고 현장에서 종자 파종으로 성공한 사례가 있는 식물종들을 종자 파종법으로 결정하였다. 이들의 배합과 파종량은 일반적으로 사용하는 파종량 산정 공식중 현장 경험을 통한 보정치를 감안하여 산출하나 자생식물의 경우 발생기대본수를 산정하기 곤란하기에 발아율, g당 입수, 경험치를 기준으로 파종량을 결정하였다.

아울러 영양체로 번식하는 방법은 조건을 맞추어 주면 종자 파종방법보다 뿌리가 착근하는 속도가 빠르기 때문에 녹화속도를 증대할 수 있고 시공직후부터 녹화효과를 기대할 수 있는 장점이 있다. 선정된 식물중 쯤썸바귀와 돌나물은 영양체로 번식되는 식물로 건조에 강하고 무관수 조건에서도 생존일수가 각각 10일과 14일이 되는 식물들이다. 그러나 보다 안정성을 확보하기

위해 상대적으로 병충해에 약한 쯤썸바귀의 양을 줄이고 건조와 병충해 등에 강한 돌나물의 양을 늘려 이들을 각 5cm 크기로 절단하고 제곱미터당 쯤썸바귀는 50g, 돌나물은 200g을 투입하는 것으로 설계하였다.

종자와 영양체만으로 자생식물의 불확실성을 완전히 제거할 수 없다는 판단에 자생식물을 온실에서 발아시켜 일정 크기(15~20cm)까지 생장한 플러그묘를 제곱미터당 10본씩 식재하여 불확실성을 줄이고자 하였다.

(2) 자연표토복원공 시공지역

① 식생기반재

비탈면 조사를 한 결과 식물생장에 큰 문제가 없는 구간으로 판단되어 녹화기초공이 필요 없이 토사를 식생기반재로 사용하기로 하였다. 자연표토복원공법은 점성의 토양입자와 다기능성 초고분자, 유기재료, 식물 섬유소 등을 특수하게 혼합하여, 재료간의 다양한 결합으로 서로 뒤엉키게 반응시킴으로써 강한 입단구조를 형성시켜 만든 녹화기반토양을 비탈면에 부착하여 토양의 환경을 식물이나 미생물의 생육에 적합한 상태로 유지시키는 안정된 식생기반을 조성하였다. 한편 시공두께는 1cm 이내로 하되 종자크기가 큰 목본류를 주요종자로 사용할 때는 종자층의 시공두께를 2cm 이내로 조정하였다.

② 식물종 선정 및 배합설계

이 지역은 토양의 유실과 침출수 유출의 우려가 있는 열악한 입지조건을 가진 지역이다. 따라서 지표면의 침식을 방지하여 열악한 환경조건을 극복할 수 있는 식물종을 선정 하였다. 종자배합은 오리나무와 참싸리, 낭아초와 등의 목본류가 우점하는 다층 구조 산림형을 목표로 하였다. 매립장의 자생특성 때문에 조기에 지표면을 피복하고 성장 후 지표면 침식억제효과를 통해 표토층을 형성시키기 위한 초본류의 배합비율을 많게 하였다.

표 2. 도입식물종 목록.

도입 식물명	학 명	개화시기	꽃 색	발생 기대본수	발아율	립수	과중량	
교목류	자귀나무	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	6월~7월	분 홍 색	5	0.40	25	3.9
	가중나무	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle.	5월~7월	백 녹색	16	0.70	350	0.5
	산 오 리	<i>Alnus hirsuta</i> Turcz. ex Rupr.	3월~4월	적 색	10	0.30	710	0.6
	단풍나무	<i>Acer palmatum</i> Thunb.ex Murray	4월	적 색	5	0.60	500	0.1
관목류	참 싸 리	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miquel.	7월	홍 자 색	100	0.80	128	4.3
	낭 아 초	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i> Matsumura	7월~8월	연노랑색	50	0.70	175	1.6
	개 쉬 땅	<i>Sorbaria sorbifolia</i> var. <i>stellipila</i> Max.	6월	백 색	100	0.80	5,900	0.1
초본류	안 고 초	<i>Aruginella hirta</i> (THUNB.) TANAKA	8월~9월	녹 색 자 주 색	900	0.70	1,740	6.3
	비 수 리	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	8월~9월	백 색	150	0.80	720	2.0
	쑥부쟁이	<i>Aster yomena</i>	7월~10월	자 주 (중앙황색)	300	0.65	6,000	0.6
	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	7월~9월	황 백 색	200	0.50	3,000	1.2
	띠	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i>	5월~6월	흰 색	300	0.70	4,400	0.1
	산 국	<i>Chrysanthemum boreale</i> Makino	9월~10월	노 랑 색	600	0.80	7,260	0.1
	구 절 초	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	9월~11월	연 홍 색 흰 색 (중앙황색)	200	0.60	2,000	0.2

표 3. 조사·분석 세부내용.

분 류	세 부 내 용
비생물적 인자	물리적 특성 : 토양경도 화학적 특성 : 토양 pH, 유기물 함량, 전질소 CEC, 양이온 치환용량(K+, Na+, Ca++, Mg++)
생물적 인자	식생의 종류, 개체수, 초고, 초폭, 수고, 수폭, 피복율

2. 조사·분석방법

1) 조사·분석내용

조사·분석방법은 井手久登·武内和彦¹⁾ 자료를 인용하여 크게 비생물적 인자와 생물적 인자로 구분하였으며 세부내용은 다음 표 3과 같다.

2) 조사·분석방법

비 생물적 분석에서 토양의 물리적 특성으로

경도는 SHN-1 산중식 토양경도계를 이용하여 각각의 시공지역을 3군데씩 조사하여 평균을 내어 분석하였다. 토양의 화학적 특성은 난지도 비탈면 녹화 전 2000년에 조사되었던 자료와 동일 지역을 2004년 5월 채취하여 분석한 자료를 비교하여 토양의 변화상태를 분석하였다. 자연표토복원공, 원지반식생정착공 지역에서 표토의 1cm를 제거한 후에 A층에서 지표면으로부터 10cm 부분까지 토양을 500g씩 3반복으로 채취하여 서울시 농업기술센터에 의뢰하였다. 그 결과를 중심

1) 井手久登武内和彦. 1985. “自然立地の土地利用計劃”. 東京大學出版會. p.49.

표 4. 식생 관찰 일지.

일 정	경 과 일 수	관 찰 내 용
6. 24~7. 18		최종 생육보조재 취부 기간
7월 23일 전후	30일 경과	최초발아 시점
8월 26일 전후	65일 경과	전체 구간 발아 완료
10월 5일	105일 경과	전체구간 피복 완료(90% 이상)

으로 난지도 안정화 전후의 토양 변화와 특성을 비교하고 식물생육환경의 정도를 파악하고자 하였다.

생물적 인자는 1m×1m, 0.5m×0.5m 방형구법을 이용하여 자연표토복원공, 원지반식생정착공을 실시한 비탈면지역에 3개의 조사구를 설치하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 원지반식생정착공 시공지역

1) 비탈면 안정효과

시공지역에 생육기반재와 생육보조재를 뽑아

뽑아 붙이기 구간은 원지반의 슬라이딩, 표면 세굴, 식생기반재의 슬라이딩이 발생한 흔적은 거의 나타나지 않았다.

2) 식물생장특성

(1) 시공직후

뽑아 붙이기 공정은 2000년 6월 5일에 착수하여 2000년 7월 18일에 전체 구간을 완료되었다. 생육보조재가 최초로 취부된 6월 24일과 완료된 7월 18일 사이에는 24일의 시간차가 있어 먼저 취부된 구간에서는 발아가 이미 시작되었다. 최초로 발아가 이루어진 시점은 2000년 7월 23일 전후인데 생육보조재가 처음 시공된 6월 24일을

표 5. 원지반식생정착공 적용지역 식생변화(시공직후)(본, %, cm/m²).

항목	2000년 10월 25일														
	방형구 1			방형구 2			방형구 3			방형구 4			방형구 5		
	개체수	피복율	생장량	개체수	피복율	생장량	개체수	피복율	생장량	개체수	피복율	생장량	개체수	피복율	생장량
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> <i>var. latilobum</i>	35	5	2	23	5	3	27	5	3	24	5	2	12	5	3
<i>Caryopteris incana</i> (Thunb.) Miq.	2		2	1		2									
<i>Aster yomena</i>	76	25	4	56	20	3	84	30	5	56	15	6	53	20	6
<i>Dianthus sinensis</i>	84	30	12	67	20	13	96	30	16	86	30	14	106	30	18
<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	97	30	15	102	40	16	85	30	14	112	45	16	108	30	15
<i>Aster koraiensis</i>	21	5	2	26	5	2	18	5	2	16	3	3	17	5	3
<i>Ixeris stolonifera</i>	2	2	7	5	5	8							3	5	9
<i>Sedum sarmentosum</i>	3	3	6	8	5	6				3	2	5	4	5	7
기 타															
	318	100		288	100		310	100		297	100		303	100	

감안하면 시공후 30일이 되는 시점에서 발아가 시작된 것으로 판단되었다.

종자 파종한 식물종은 전반적으로 발아와 생장이 우수하였고 그 중 패랭이의 발아와 생장이 타 식물종에 비해 빠르고 왕성한 것으로 나타났다. 상단부, 중단부, 하단부 위치별로 식물 발아와 생장에 있어서는 큰 차이는 나타나지 않았다. 발아와 생장이 왕성한 식물은 패랭이, 쑥부쟁이, 구절초, 벌개미취, 층꽃나무 순으로 나타났고 비수리가 함께 혼파된 구간에서는 비수리가 발아와 생장이 가장 빠른 것으로 나타났다. 층꽃나무는 예상보다 발아와 생장이 무척 저조한 것으로 나타났다.

(2) 최근(2004년)

시공지에 대하여 발아한 종과 개체수, 초고, 초폭, 개체수 피복률 등을 조사하였다. 초본류 중에서 금계국, 유채, 돌나물 등이 우점종으로 관찰되었으며, 특히 금계국은 시공지역 하단부 도로변에 2001년 6월 시공 한 초화류의 침투현상으로 파악된다(표 6). 돌나물과 패랭이는 초기에 도입된 수종으로 최근까지 잘 생육하고 있으나 그 이외의 수종은 처음시공 당시와 나타나는 식물종류가 다르게 나타나고 있었다.

한편 시공 전 이지역의 식생은 환삼덩굴로 인해 식생불량 지역이었으므로 시공하기 전 환삼덩

굴 제거작업을 실시하였다. 그러나 비 녹화지역에서 침입한 환삼덩굴의 피해는 여전히 나타나고 있었다. 또한 시공당시에 도입되었던 수종 중 기린초, 평의 다리, 물레나무, 벌개미취 등은 관찰되지 않았다. 대신 시공지내에 주변에서 침입하여 쑥, 달맞이, 참소리쟁이, 냉이 등의 자생종이 생육하고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 현상은 주변에서 침입한 자생종에 의해 시공당시 도입된 식생이 피압된 것으로 파악된다.

이상에서와 같이 경관적 가치가 요구되는 비탈면 녹화지역에 자생 초화류를 도입하여 아름다운 경관을 창출 할 수 있었으나 시간이 지남에 따라 주변식물의 침입에 의해 도입된 식물이 피압되는 현상과 환삼덩굴의 피해가 나타나고 있었다. 따라서 원하는 경관을 만들기 위해서는 시공 전 주변식생에 대한 철저한 조사로 자생식물에 의해 식물이 피압 당하지 않도록 식물종을 선정해야 할 것이며 끊임없는 사후 관리가 중요하다는 것을 알 수 있었다

3) 토양특성

원지반식생정착공법에 의해 비탈면녹화가 이루어지기 전 유효인산의 함량이 기준보다 굉장히 낮으며, 유기물 함량 역시 적정치에 훨씬 못미치고 있는 것으로 나타나 비교적 척박한 토양이었다. 그러나 녹화 이후 유효인산과 유기물의 함량이 월등히 많아진 것을 확인 할 수 있었으며 특히 유기물의 경우 적정치의 2배에 해당하는 유기물을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 이는 원지반식생정착공시공지역은 식물생육이 왕성하여 생태계의 순환이 잘 이루어진 것에 기인한 것으로 판단된다. 한편 칼슘의 함량은 일반적인 산림 토양에 비해 매우 높게 나타나고 있는데 이는 쓰레기 건축공사 잔해물이 많은데 기인 한 것으로 판단되었으며 칼슘 함량 역시 녹화 이후 월등히 감소한 것으로 나타났다.

한편 토양경도는 20-25mm으로 식물생육에 적당한 경도를 나타내고 있으나 다른 지역에 비해

표 6. 원지반식생정착공 적용지역 식생변화(최근).

구 분	식 물 명	2004/05/29**		
		초장/수고	초폭/수폭	개체수
관목류	낭 아 초	56	40	0.3
	별노랑이	22	4	1
초본류	금 계 국	71	13	17
	유 채	85	21	12
	돌 나 물	5	5	5
	패 랑 이	25	5	1

**1m×1m 크기 조사구.

표 7. 난지도 비탈면지역 토양분석(원지반식생정착공법).

지역	항목	pH	유기물	유효인산	CEC	치 환 성			
						K+	Ca+	Na+	Mg++
*녹 화 전		8.0	1.8	4	20.68	0.77	21.39	0.16	1.41
녹화후	1	8.0	57.0	77	10.7	0.33	5.5	0.6	5.4
	2	7.8	57.0	118	7.7	0.40	5.3	0.5	1.5
	3	7.9	57.0	280	4.2	0.30	2.6	0.6	0.9
일반식물의 적정치		6.0~6.5	20~30	100~200	12~15	0.3~0.6	5.0~6.0	0.2~2.0	1.2

*출처 : 서울특별시, 2000, p.195-197.

토양경도가 높게 나타났다. 이러한 원인은 목본류 없이 초화류만 생육하고 있어 타 지역보다 강우 등으로 인해 토양 경도가 높아진 것으로 판단된다. 즉 이 지역에 비가 내릴 경우 목본류 등을 거치지 않고 바로 빗물이 땅에 바로 떨어지므로 목본류 등의 잎을 거쳐 떨어지는 타지역 보다 토양경도가 더 높아진 것이다.

않았다. 그러나 이 공법이 녹화기초토양 배합시 침식방지를 위해 안정제와 입단제를 혼합하여 취부하므로 침식이나 세굴은 발견되지 않았다. 안정제로 사용되는 고분자제는 여러 유기 재료의 일차결합을 유도하여 균질한 혼합상태를 유지시켜 유동성을 강화시킴으로써 강우 등에 의한 침식을 방지하는 것으로 나타났다.

2. 자연표토복원공법시공지역

1) 비탈면 안정효과

자연표토복원 공법 시공지역은 식물의 생육이 적합한 토사지역이므로 녹화기초공을 시공하지

2) 식물생장특성

(1) 시공직후

시공지의 상단부와 하단부에 대하여 발아한 종과 개체수, 초고, 초폭 등을 조사한 결과 상단

표 8. 자연표토복원공 적용지역 식생변화(시공 직후).

구분	식물명	조 사 일											
		2002/08/13*						2002/10/8*					
		초장/수고		초폭/수폭		개 체 수		초장/수고		초폭/수폭		개 체 수	
		상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부
교목	자귀나무	25	25	15	14	5	9	38	39	43	41	6	7
	가중나무		15		14		7	17	30	28	28	9	8
관목	참싸리	35	40	29	23	6	4	45	45	36	36	5	5
	낭아초	49	55	32	32	7	6	56	64	48	48	8	7
	개쉬땅							9	9	6	6	1	1
초본	안고초	15	31	10	26	2	3	35	44	21	21	6	7
	비수리								12		3		2
	쭉부쟁이							29		21		2	
	쭉		21		20		3		29		21		2
	띠	19		18		4		26		21		5	
	산국		36		31		4		48		43		6
	구절초												

*0.5m×0.5m 크기 조사구.

부의 경우는 자귀나무, 참싸리 및 낭아초 등의 콩과식물이 자리를 잡아가고 있음이 관찰 되었다.

하단부의 경우 자귀나무, 가중나무 등의 교목류는 초기에는 발아 및 생육이 원만하게 이루어지고 있는 것으로 관찰 되었다. 특히 가중나무의 경우 상단부에서는 10월에 관찰이 되었으나 하단부에서는 처음 모니터링 때부터 관찰 되었다.

이처럼 시공 직후 도입식물의 발아와 생육을 관찰 한 결과 콩과식물의 발아와 생육이 다른 식물에 비해 잘 이루어지고 있는 것으로 관찰되었다.

(2) 최근(2004년)

시공지의 상단부와 하단부에 대하여 발아한 종과 개체수, 초고, 초폭 등을 조사한 결과 전체적으로 상단부의 경우는 자귀나무, 참싸리 및 낭아초 등의 목본류가 우점하고 있었으며 목본류의

하부에는 참싸리와 낭아초의 발아를 확인할 수 있었다. 따라서 초기에 도입되었던 콩과 식물이 시간이 어느 정도 흐른 뒤에도 주변 식물의 침입에 잘 견디며 지속적으로 생육이 왕성하게 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

그러나 상단부의 경우 잘 생육한 콩과식물에 의해 식생이 너무 울창하게 조성되어 자연천이가 어려울 것으로 판단된다. 따라서 식물이 생육할 수 있는 기반만 만들어 주고 종자는 많이 파종하지 않는 것을 고려해야 할 것이다.

하단부의 경우 경사가 심하고 침출수 문제 등으로 교목류는 출현 하지 않고 참싸리, 루드베키아, 샤프스타테이지가 우점하고 있으며, 비 녹화 지역에서 생육하고 있는 환삼덩굴이 침입하고 있는 경향을 나타내고 있었다. 또한 시공지내로 주변에서 침입한 달맞이꽃, 참소리쟁이 등의 자생 초화류가 생육하고 있는 것을 관찰할 수 있다.

표 9. 자연표토복원공 적용지역 식생변화(최근).

구분	식물명	조 사 일											
		2003/10/12**						2004/05/29**					
		초장/수고		초폭/수폭		개체수		초장/수고		초폭/수폭		개체수	
상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부	상단부	하단부		
교목	자귀나무	180		165		1		182		120		1	
	가중나무												
관목	참싸리	116	160	48		14		130		68		6	
	낭아초	120		80		18		150		80		9	
	개쉬땅												
초본	안고초							75		25		2	
	비수리	46		21		7		50		4		2	
	쭉부쟁이		10										
	쭉	26		46		2		32		10		5	
	띠		140										
	양잔디류	33	30	26	36	4	8	45	45	35	55	2	2
	산국												
	루드베키아		80		30		1		35		20		11
	코스모스		90		60		2						
	샤프스타테이지								65		40		3

**1m×1m 크기 조사구.

표 10. 난지도 비탈면지역 토양분석(자연표토복원공법).

지역	항목	pH	유기물	유효인산	CEC	치 환 성			
						K+	Ca+	Na+	Mg ⁺⁺
*녹 화 전		8.1	0.7	2	17.82	0.40	19.90	0.13	1.39
녹화후	1(상)	6.9	48.0	24	5.0	0.37	3.7	0.5	1.4
	2(중)	7.0	29.0	149	10.7	0.96	6.6	0.6	1.5
	3(하)	7.2	21.0	189	13.4	0.48	10.0	0.7	1.6
일반식물의 적정치		6.0~6.5	20~30	100~200	12~15	0.3~0.6	5.0~6.0	0.2~2.0	1.2

*출처 : 서울특별시, 2000, p.195-197.

3) 토양특성

비탈면 녹화가 실시되기 전 토양의 화학적 특성을 살펴보면 토양은 산도가 pH7이 넘는 알칼리성으로 나타나 수목 식재시 생리장해를 일으키거나 고사할 우려가 많은 상태 였다. 비탈면 녹화를 실시하여 어느 정도 안정화가 된 현재 토양 분석을 한 결과 산도의 경우 녹화 전보다는 알칼리성의 정도가 낮아진 것으로 나타났다. 그러나 난지도 매립당시 건축폐기물, 연탄재 등의 알칼리 성분이 많은 물질의 매립으로 인한 영향은 아직 까지 나타나고 있는 것으로 나타났다. 또한 상단부의 유기물 함량이 하단부보다 2배 이상 많이 함유하고 있는데, 이는 상단부의 산림구조가 자귀나무, 참새리, 낭아초 등의 콩과 식물로 형성되어있는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 한편 콩과 식물은 뿌리혹박테리아에 의해 땅을 기름지게 하는 비료식물로 토양의 유기물 함량이 많아져 초본에서 목본에 이르기까지 식물이 잘 자란 것으로 관찰되었다. 반면 하단부는 침출수 등의 영향으로 콩과식물 등의 목본은 거의 찾아 볼 수 없었다. 이러한 이유로 같이 파종한 상단부에 비해 토양유기물의 함량이 현저히 낮게 나타난 것으로 판단된다. 치환성양이온은 적정범위에 있어 식물이 생육하기에 좋은 환경임을 알 수 있다. 한편 토양 경도는 12mm로 식물이 생육하기에 적합한 경도를 나타내고

있었다.

IV. 결 론

본 연구는 난지도를 대상으로 공법별 생태복원 특성을 시공 직후와 오랜 시간이 경과한 현재의 모습을 비교분석하여 비탈면 생태복원을 위한 기초자료를 제시하기 위해 진행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 원지반식생정착공법 비탈면 생태복원은 초화류의 조기 개화로 아름다운 경관을 창출하였음은 물론 비탈면의 침식과 세굴도 거의 나타나지 않았다. 또한 척박한 토양환경이 개선되어 유효인산과 유기물의 함량이 2배로 증가 되었다. 그러나 처음 도입된 식물 중 현재까지 생육하고 있는 경우는 돌나물과 패랭만 생육하고 있었다. 이러한 원인은 자생식물인 쑥, 달맞이, 참소리쟁이, 냉이 등과 주변 식물에 의한 피압에 기인하는 것으로 판단되었다. 경관적 가치가 요구가 되는 지역은 목표가 자연천이가 아닌 아름다운 경관연출이므로 그 목표를 위해 선정된 식물을 잘 생육하게 하는 것이다. 따라서 선정된 초화류를 많이 파종 하되 주변 자생식물들에 대한 침입을 잘 견딜 수 있는 식물을 선택해야 한다

2. 자연표토복원공법에 의한 비탈면 생태복원

은 목본에서 초본까지의 식물종을 선정하여 다층형 산림구조를 형성하였으며, 비탈면의 침식 등은 거의 나타나지 않았다. 또한 시공전에 비해 토양환경이 월등히 좋아 졌는데, 특히 상단부의 토양유기물이 하단부의 2배 이상 함유하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 식물의 생육과 상관성이 있는 것으로 상단부에 콩과식물이 우점하고 있어 뿌리혹 박테리아에 의해 땅이 기름지게 되어 유기물 함량이 높아진 것으로 판단되었다. 한편 이러한 콩과식물은 토양환경 뿐만이 아니라 토양안정화에도 영향을 준 것으로 나타났는데, 일반적으로 비탈면 하단부가 토양의 슬라이딩 등으로 상단 지역보다 식물이 잘 자라는 것이 일반적인 현상이지만 이 지역 상단부는 콩과식물의 우점으로 울창한 식생층이 형성되었다. 그러나 너무 식생이 울창하면 자연천이에 지장을 줄 수 있으므로 생태적 천이가 요구되는 지역에서는 목본 콩과식물의 적극적인 도입은 하되 식물이 생육할 수 있는 기반만 만들어 주고 종자는 많이 파종하지 않는 것을 고려해야 할 것이다.

이상에서와 같이 연구를 진행한 결과 자생 초화류 도입은 경관조성을 위해 바람직한 것으로 조사되었으나 시간이 경과함에 자생식물에 의해 피압 되는 경향이 나타나고 있었으며 콩과식물의 도입은 안정화와 더불어 토양환경에 중요한 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 쓰레기 건축공사 잔해물에 의한 갈습의 과다와 침출수 등에 의한 문제는 여전히 남아 있어 쓰레기 매립시 근본적인 해결을 위한 노력을 해야 할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

김재준 · 이재근. 2002. 자생수목의 종자를 이용한 절개지의 복원. 환경복원 학회지 5(4) : 70-79.
 김혜주 · 이준현. 1999. 생물공학적 비탈면 녹화

공법에서의 버드나무 삼수선택에 대한 고찰. 환경복원학회지 1(1) : 32-37.
 남상준 · 김남춘. 1998. 자연표토 복원공법에 의한 암비탈면의 한국잔디와 목본류 종자파종에 의한 녹화. 한국환경복원녹화기술학회지 2(4) : 141-150.
 남상준 · 석원진 · 김남춘. 1999. 자연표토 복원공법에 의한 암절취비탈면의 생태적 복원에 관한 연구; 원주사례지역을 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회지 2(4) : 54-63.
 박재현. 1995. 성숙 임목 간벌지에서 운재로의 침입에 미치는 환경요인의 영향. 한국임학회지 84(2).
 서울시 공원녹지관리사업소. 2000. 생태공원 · 사면녹화 · 희망의 숲 기본 및 실시설계보고서 : 195-197.
 우보명 · 김경훈. 1997. 고속도로 절개비탈면에서 녹화공법 선정기준 설정에 관한 연구. 한국임학회지 86(4) : 476-488.
 우보명 · 최형태 · 이승현. 2000. 임도개설 후 경과년수에 따른 임도성토 비탈의 토사침식특성. 환경복원학회지 3(1) : 1-9.
 전기성 · 우보명. 1998. 사면녹화용 외래초종의 혼파조합에 관한 연구. 환경복원학회지 1(1) : 102-109.
 전기성. 1999(a). 사면녹화용 외래초종과 재래 목초본 식물의 적정 파종량 및 혼파비에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
 전기성 · 우보명(b). 1999. 사면녹화용 외래초종과 재래목 · 초본 식물의 적정파종량 및 혼파비에 관한 연구(I),(II). 환경복원학회지 2(2) : 33-42, 43-52.
 정원옥. 2001. 임도절토비탈면의 안정과 식생활착에 미치는 환경인자의 영향. 환경복원학회지 4(2) : 74-83.
 정태건. 1999. 우리나라 도로녹화의 발전과정과 비탈면 녹화사업의 전 망. 환경복원학회지 2(1) : 88-93.

최윤호 · 이준우 · 김명준. 2000. 임도시공 경과
년수 및 물리적 인자에 따른 성토사면 선형
의 변화. 환경복원학회지 3(2) : 47-52.
한국도로공사. 1995. 고속도로 절토비탈면 녹화
공법 연구.

井手久登武内和彦. 1985. “自然立地の土地利用計
劃”. 東京大學出版會. p.49.

www.ilsong.co.kr

www.hyunwoogreen.co.kr

接受 2005年 4月 8日