

암비탈면 녹화용 환경친화적 PEC4 공법의 시공

김경훈 · 김학영 · 황애민 · 이승은¹⁾

¹⁾삼성에버랜드주식회사 환경개발사업부

In Case of Treatment of PEC4 Hydroseeding Measures for Revegetation of Rock Cut-Slopes

Kim, Kyung-Hoon, Kim, Hak-Young, Hwang, Ae-Min, and Lee, Seung-Eun¹⁾

¹⁾Environmental Development Div., SAMSUNG EVERLAND INC.

ABSTRACT

This study was conducted to find out the effects of hydroseeding material and seed mixture on the revegetation of rock cut-slopes by PEC4 (Polymer-Ecology-Control) Hydroseeding Measures. PEC4 hydroseeding material was applied to four cut-slopes using hydroseeding measures from April to August, 1999, and the field survey was carried out by monthly.

PEC4 material consisted of bark compost and organic soil amendments. This material has high content of organic matter and high level of water holding capacity. PEC4 hydroseeding material shows low level of soil hardness, so it gives to good condition for seed germinating and plant growing in early stage. PEC4 material attached at rock cut-slopes by two types of adhesive agent was not eroded by rainfall. The plant coverage and number of plant species were affected by mixing ratio of seeds and seeding timing. From the viewpoint of plant establishment, the optimal hydroseeding timing of mixed seeds for plant growth seems to be in May. Most of the plant seeds were germinated well and they covered rock cut-slopes so quickly and effectively. Plant importance value of *Silene armeria* and *Platycodon grandiflorum*. were higher than any other seeded-native species in the competition between native species and exotic species, so they have enough possibility to be used for slope revegetation works.

Thus it leads to conclusion that the revegetation method used in this experiment was a very effective method for plant establishment on rock cut-slopes.

Key words : PEC4 hydroseeding measures, hydroseeding material, revegetation, rock cut-slopes

I. 서 론

최근에 개설되고 있는 도로의 경우 상대적으로 크고 급하게 절개됨에 따라서 암비탈면이 많이 발생하고 있다. 그러나 이들 암비탈면에는 식생의 생육기반이 조성되어 있지 않기 때문에 자생적인 힘으로 식생복원이 되기에는 장기간이 소요된다(한국도로공사, 1997). 일반적으로 경암비탈면을 녹화하기 위하여 차폐수벽을 조성하거나 덩굴식물을 식재하는 방법과, 인위적으로 식생기반재를 조성해주는 종비토뿔어붙이기공법이 이용되고 있다(정태건, 1999).

광범위하게 적용하고 있는 종비토뿔어붙이기공법에서는 각종 퇴비류, 슬러지류 등을 사용하여 조제한 식생기반재를 기계력을 이용하여 뿔어붙이는 방식을 채택하고 있다(우보명·김경훈, 1997; 우보명, 1999). 그러나 선별되지 못한 재료의 사용으로 인하여 식생기반층의 균열 및 붕괴가 발생하고 있으며, 시공지 주변의 토양 및 수질을 오염시키는 2차적인 문제가 발생하고 있다. 또한 조기녹화를 위하여 도입초종을 많이 사용하고 있으나, 이질적인 경관, 식생천이 지연 등의 문제점도 지적되고 있다(우보명 등, 1996; 김남춘, 1999).

최근 공감대를 형성해가고 있는 훼손지의 생태 복원이라는 관점에서 자생식물을 이용함으로써(김남춘, 1997a,b; 남삼준·김남춘, 1998) 기존의 일률적인 식생조성방법 보다 주변 산림생태계와 유사하고 다양성이 풍부한 식생군락을 조성하기 위한 노력이 시도되고 있다(Luken, 1990; 김경훈, 1999).

이러한 시대적 요구를 감안하여 본 연구에서는 자원을 재활용하는 측면에서 바크퇴비 등 천연소재를 사용하여 시공지 주변의 오염을 방지하며, 식물성장에 도움을 줄 수 있는 식생기반재를 조제하였다. 또한 목·초본의 최적 혼합비를 선정을 통하여 주변산림생태계와 자연스럽게 조화될 수 있는 식생복원을 목표로 PEC4 공법을 개발하였다.

따라서 이 연구에서는 바크퇴비가 주원료인 식생기반재를 이용한 PEC4 공법(Polymer-Ecology-Control; 건식 종비토뿔어붙이기공법)의 현장 적용 사례연구를 통하여 시공효과를 밝히고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시공대상지의 선정

PEC4 공법의 현장시공특성 및 식생조성 방향을 파악하기 위하여 시공지의 위치 및 시공시기를 감안하여 표 1에서와 같은 4개소의 시공대상지를 선정하였다.

시공대상지로 선정된 안성 S.H. 골프장 비탈면은 비교적 급경사(45°)로 방위는 북서향이었으며, 수원 N.C. 비탈면은 35°의 경사에 남서향으로 구성되어 있다. 서울외곽순환고속도로 양지J·C 비탈면은 45°의 급경사에 남향이었으며, 태백지역의 폐광지는 30° 경사에 서향이었다.

특히 태백지역의 폐광지는 폐석더미가 쌓여 있는 상태로 주변부에서 식생이 전혀 침입하지 못하고 있었으며, 서울외곽순환고속도로 양지 J·C 비탈면에서는 하부에 용출지점이 있어서 시공여건이 양호하지 못하였다.

표 1. 시공대상지의 환경조건

시 공 장 소	시공일자	방 위 (°)	경사도 (°)	토 질	배 수 상 태	비 고
안성 S.H. 골프장	1999. 4.	310	45	경암	양호	
수원 N.C. 현장	1999. 7.	180~250	35	연암	양호	
서울외곽순환 고속도로 양지J·C	1999. 7.	180	45	경암	불량	용출수 발생
태백지역 폐광지	1999. 8.	330	30	연암	양호	폐석더미

2. 실험재료의 선정

시공에 사용한 식생기반재는 충분히 부숙된 바크티비 및 천연 유기질재료를 이용하여 배합한 PEC4 특수식생기반재를 이용하였으며, 건식 중비토뿔어붙이기방식을 이용하여 4개소의 대상지에 시공하였다. 또한 식생기반재의 부착을 위하여 사용된 토양안정제는 T/S type과 T/C type의 2가지를 이용하였다.

식생기반재와 배합한 공시종자로 표 2에서와 같은 도입초종과 자생종을 선발하였다. 도입초종으로는 국내 비탈면 녹화용 식생으로 가장 많이 사용되고 있는 한지형 초종 4종을 선정하였다(한국도로공사, 1991). 목본으로는 총 6종을 선정하였으며, 이 중 참싸리, 낭아초 등을 녹화 기본종으로, 개쉬땅나무, 쯤목형 등은 경관을 증진시킬 목적으로 선정하였다. 또한 지표의 피복력을 높이고 꽃에 의한 경관을 개선하기 위하여 끈끈이대나물, 패랭이꽃 등 총 6종의 초본종을 선정하였다.

각 종자의 배합은 시공대상지의 특성에 따라서 도입초종, 자생목본종, 자생초본종을 각각의 비율에 따라서 배합하였으며, 파종량은 120g/m² 기준으로 하였다.

3. 실험처리

선정된 시공지별로 식생기반재 및 종자의 배합방법, 토양안정제의 종류 등의 처리를 실시하였다. 안성 S.H. 골프장 시공지에서는 식생기반재 배합형태에 따라서 점토(A1)와 황토(A2)의 배합에 따른 처리를 하였으며, 종자는 총 10종의 종자를 발생기대본수 2,000본/m² 수준으로 혼합하였다.

수원 N.C. 시공지에서는 혼합종자의 배합비율을 조절하였으며, 발생기대본수를 기준으로 자생종의 혼합비율을 전체 발생기대본수의 76%(S1)와 58%(S2) 비율로 배합한 처리를 하였다. 종자는 총 9종의 종자를 발생기대본수 기준으로 각 처리별로 5,000본/m²과 8,000본/m² 수준으로

표 2. 사용종자의 선정

종자 종류		입수 (임/g)	발아 율 (%)	파종량 (g/m ²)						특성	
종자명	학명			안성 S.H.		수원 N.C.		양지 J·C			태백 패광지
				A1,2	S1	S2	Y1	Y2	T1,2		
Tall fescue	<i>Festuca arundinacea</i>	500	70	30	18	30		50	40	도입 초종	
Perennial ryegrass	<i>Lolium perenne</i>	500	70	30	12	20		50	9		
Kentucky bluegrass	<i>Poa pratensis</i>	4,800	70		6	12		20	30		
Creeping redfescue	<i>Festuca rubra</i> var. <i>genuina</i>	1,000	70	30						자생 목본	
개쉬땅나무	<i>Sorbaria sorbifolia</i> var. <i>stellipila</i>	5,900	55		16	11	5		5		
낭아초	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	150	50	2			17				
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i>	720	70	7	13	9	14		11		
자귀나무	<i>Albizia julibrissin</i>	70	70	4							
쯤목형	<i>Vitex negundo</i> var. <i>incisa</i>	130	55				17				
참싸리	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	150	60	12	16	11	22		10	자생 초본	
금계국	<i>Coreopsis drummondii</i>	250	50				14				
끈끈이대나물	<i>Silene armeria</i>	1,100	75	1	13	9	14		5		
도라지	<i>Platycodon grandiflorum</i>	1,000	85		13	9			5		
별노랑이	<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonicus</i>	800	75	2			10				
쭈부쟁이	<i>Aster yomena</i>	2,500	65		13	9	7		5		
패랭이꽃	<i>Dianthus sinensis</i>	1,100	65	2							

배합하였다.

서울의곽순환고속도로 양지J·C 시공지에서는 종자배합비율을 조절하였다. 9종의 자생종만을 배합한 Y1처리에서는 발생기대본수를 2,500본/m² 수준으로 하였으며, 3종의 도입초종만을 배합한 Y2처리에서는 7,000본/m² 수준으로 배합하였다.

태백지역 폐광지 시공지에서는 토양안정제(접착제)의 종류에 따라서 T/S(T1 처리)와 T/C(T2 처리) type의 토양안정제를 사용하였다. 종자는 두 처리구 모두 9종의 종자를 발생기대본수 6,500본/m² 수준으로 배합하였다.

4. 조사구의 설치 및 조사방법

조사구는 시공대상지의 각 처리별로 층화추출법을 이용하여 1m²(1m×1m)의 고정 조사방형구를 3개소씩 설치하였다.

식생기반층의 토양물리성을 측정하기 위하여 山中式토양경도계를 이용하여 토양경도를 측정하였으며, 생육특성을 분석하기 위하여 각 조사방형구에 출현한 모든 식생을 대상으로 종수, 개체수, 초폭을 현장에서 측정하였다. 식생피복도는 현장에서 방형지를 이용하여 1차로 측정하였으며, 사진촬영한 자료를 실내에서 2차로 측정하여 보정하였다. 또한 현장에서 측정된 자료를 이용하여 각 출현식생의 중요도를 산출하였다. 조사된 식생은 분류는 대한식물도감(이창복, 1993)을 기준으로 하였다.

배합된 식생기반재의 이화학적 특성은 안양잔디연구소에 의뢰하여 분석을 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토양특성

천연소재인 바크퇴비 등을 주원료로 조제한 PEC4 특수식생기반재의 이화학적성을 분석한 결

과는 표 3과 같다. 분석은 농촌진흥청고시 비료분석법에 준하였다.

PEC4 공법용 식생기반재는 바크퇴비 등 천연소재를 주원료로 조제한 배합재료로서 이화학성을 분석한 결과, 전체 유기물함량이 약 65%이었다. 일반적으로 중비토뽀어붙이기공법용 자재는 크게 유기질자재와 무기질자재로 구분하여 볼 수 있는데(Schoenholtz 등, 1992; 小橋·日高, 1996), 당사에서 개발한 PEC4 특수식생기반재는 유기질계 식생기반재로 분류할 수 있다(山本 등, 1983; 日本綠化工協會, 1998).

식생기반재의 이화학적 특성은 식물의 생육에 큰 영향을 미치고 있는데(Luken, 1990), PEC4 기반재는 산도(pH)가 6 정도로 약산성을 나타내고 있으며, 수분함량은 약 40%로서 초기에 배합한 종자의 발아·생육에 비교적 양호한 조건을 제공해주고 있다.

식생기반재의 부착력 및 식물의 생육에 큰 영향을 미치는 토양경도지수를 각 실험처리별 측정된 결과는 표 4와 같다.

안성 S.H. 골프장 시공지에서는 식생기반재의 특성에 따라서 점토를 일정비율로 혼합한 A1 처리구에서는 황토를 배합한 A2 처리구보다 토양경도가 상대적으로 높았다. 수원 N.C. 시공지에서는 식생기반재의 배합비율을 고정시키고 종자의 혼합비율을 달리하였으며, 이때 시공 후 90일이 경과한 시점에서 토양경도는 16~18mm 사이로 측정되었다. 그러나 양지J·C의 경우 자생종만을 배합한 Y1 처리구에서 시공 60일 이후 급격히 증가하여 토양경도는 22mm로 매우 높게 나타났는데, 이는 식생이 완전히 활착되지 못한 지점이 일부 노출되어 표층부가 건조되었기 때문인 것으로 판단된다.

태백지역 폐광지에서 측정된 토양경도 값은 상대적으로 다른 시공지에서 측정된 값보가 낮았는데, 이는 식생피복상황에 영향을 받는 것으

표 3. PEC4 식생기반재의 주요성분 분석 결과

항 목	질 소 (%)	인 산 (%)	가 리 (%)	유기물 (%)	C/N비	산 도 (pH)	전기전도도 (ms)	수 분 (%)	염 분 (%)
측정값	0.50	0.31	0.52	64.48	48.76	6.08	0.94	39.48	0.02

표 4. 각 시공지별 토양경도(토양경도지수; mm) 측정 결과

시공대상지	측정일	시공 직후	10일	30일	60일	90일	210일
안성 S.H. 골프장	A1	12.8	20.5	19.7	19.7	19.4	19.4
	A2	12.7	18.6	17.1	17.0	16.3	16.1
수원 N.C. 현장	S1	12.6	22.0	18.4	18.2	17.8	-
	S2	12.6	21.6	20.6	19.2	16.0	-
고속도로 양지J·C	Y1	12.6	18.8	18.0	19.6	22.0	-
	Y2	11.6	19.2	18.2	18.3	16.0	-
태백지역 폐광지	T1	12.5	15.2	13.3	13.9	14.3	-
	T2	12.5	16.0	13.0	13.4	13.8	-

로(한국도로공사, 1997) 판단된다(그림 1 참조).

중비토뿔어붙이기공법에 사용되는 토양안정제는 기반재의 안정성을 유지시켜주는 것이 중요하며(長川, 1981), 표층부의 강도와 결합도를 증가시키고 배수성을 증진시키는 목적으로 사용하고 있다(太田·堀江, 1975; 日本岩盤綠化工協會, 1995).

토양안정제는 다양한 종류가 있지만(山寺, 1986; 日本岩盤綠化工協會, 1995; 한국도로공사, 1997), 본 시공에서는 T/C와 T/S의 두가지 안정제를 사용하였으며, 이들 토양안정제에 따른 표층부의 토양경도의 차이는 나타나지 않았다.

건식 중비토뿔어붙이기공법에서는 식생기반재가 고압으로 표면에 뿔어 붙여지게 되면서(한국도로공사, 1997) 표층부의 토양경도가 증가하게 된다(김경훈, 1999). 이때 뿔어 붙이는 압력과 배합자재의 특성에 따라서 토양경도의 차이가 나타나게 되는데, 제지슬러지 등이 많이 함유된 기존의 공법에서는 초기 토양경도가 20~30mm 정도로 나타나고 있다(한국도로공사, 1997).

이 실험에서 측정한 토양경도는 시공직후 11~13mm 범위였으며, 시공 10일 후 토양안정제의 고화작용으로 20~30mm 정도까지 증가하였다. 이후 토양경도지수는 시간이 경과함에 따라서 감소하는 것으로 나타났으며, 이 현상은 대부분의 중비토뿔어붙이기공법 시공지에서

타나고 있다(한국도로공사, 1997; 김경훈, 1999). 따라서 PEC4 공법용 식생기반재의 양생기간은 10일 정도로 판단되며, 이후 강우에 의한 식생기반층의 뚜렷한 붕괴현상은 관찰되지 않았다.

2. 식생피복도

각 시공지에서 식생피복도를 측정한 결과는 그림 1과 같다.

식생피복도를 측정한 결과 시공조건에 따라서 시공지별로 초기에 식생피복도의 차이가 크게 나타났다. 이들 식생피복도는 토양물리성인자, 환경인자, 종자의 특성 등 여러 요인에 영향을 받고 있다(Abramson 등, 1996; 우보명·김경훈, 1997). 특히 시공시기와(山田 등, 1995) 배합한 종의 종류, 파종적기(太田·堀江, 1975)에 영향을 받고 있다.

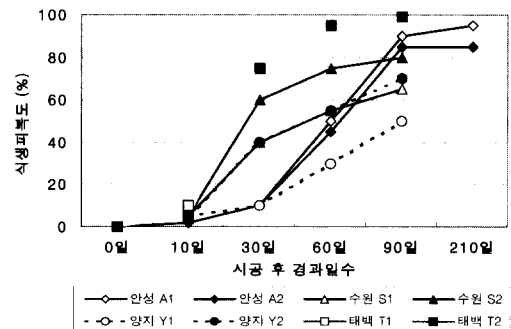


그림 1. 각 시공지별 식생피복도 측정 결과

안성 S.H. 골프장의 경우 시공시기가 이른 봄철이었기 때문에 시공 30일까지 식생피복도가 약 10% 수준이었으나, 시공 후 90일이 경과하면서 식생피복도는 40% 이상으로 급격히 증가하였다. 반면 여름철에 시공한 3개소에서는 시공 30일이 경과한 시점에서 식생피복도가 40% 이상으로 증가하여 시공시기가 식생피복도에 큰 영향을 주고 있는 것으로 나타났다(김남춘, 1997a,b; 김경훈, 1999).

태백지역 시공지의 경우 다른 시공지보다 표고가 높아 상대적으로 서늘한 기온이 유지되면서 한지형 도입초종의 생육이 매우 왕성하였다. 이곳에서는 시공 후 60일이 경과한 시점에서 식생피복도가 90% 이상으로 매우 높게 유지되었다.

양지J·C 시공지의 경우 Y1 처리구(자생종 100%)에서는 시공 30일까지의 식생피복도가 10%밖에 되지 않았는데, 이는 시공직후 집중강우로 인하여 표층부의 종자가 유실되었으며, 초기에 일시에 발아하였던 자생초종이 고온 건조기가 지속되면서 일시에 고사하였기 때문인 것으로 판단된다. 이 공법에서는 발아가능 두께를 표층부로부터 2cm 정도로 보고 있으며(日本岩盤綠化工協會, 1995), 표층부에 혼합된 종자가 모두 발아하였다가 고사하여, 종자원이 부족하기 때문에 식생피복상태가 양호하지 못한 것으로 판단된다. 또한 국내에서는 봄철이 일반적으로 파종에 적합한 시점으로 보고 있으나(김경훈, 1999), 중비토뿔어붙이기공법 등 인위적으로 다양한 종을 혼합하여 시공할 경우 5월 이후가 가장 적합한 시공시기인 것으로 판단된다.

식생피복도와 파종한 종자의 발생기대본수와 의 상관분석 결과는 표 5와 같다.

상관분석결과 시공대상지의 식생피복도는 초기에 파종한 종자의 발생기대본수에 크게 영향을 받는 것으로 분석되었다. 시공초기에는 발생기대본수를 높게 설계하면 식생피복도는 높아 지지만, 시공 후 90일이 경과한 시점부터는 발생기대본수와 식생피복도가 유의성이 없었다.

따라서 식생피복도는 시공 후 일정기간이 경과하게 되면 파종한 종자의 비율보다 이미 정착된 식생과 주변에서 침입한 식생의 생육에 영향을 받는 것으로 판단된다.

3. 출현식생 분석

본 시공에서는 초기 식생피복도의 유지와 함께, 시간이 경과함에 따라 자생종 위주로 변화될 수 있는 천이상황을 고려(龜山, 1976; 우보명 등, 1996)하여 식생을 배합하였다. 배합하는 식생의 발생기대본수는 목·초본종, 목표하는 군락목표에 따라서 개별적으로 조절하였다(安保, 1983; 平野, 1991).

각 시공지의 처리구간별 출현식생의 중요도를 분석한 결과는 표 6과 같다.

안성 S.H. 시공지에서 식생기반재의 배합 조절에 따른 시공결과 도입초종의 중요도 합계가 50% 이상으로 매우 우점되어 있었다. 초기에 파종한 식생외에 총 6종이 자연적으로 침입하였으며, 이중 바랭이가 우점하고 있었다. 점토를 첨가한 A1 구간에서는 도입초종과 바랭이 등 일부종이 우점되어 있으며(우점도지수 0.6251), 황토를 첨가한 A2 구간에서는 종다양도지수가 0.5116으로 상대적으로 다양한 종이 고르게 생육하고 있었다.

수원 N.C. 시공지에서는 자생종의 배합비율을 증가시킨 S1 구간에서 도입초종의 중요도 합

표 5. 시공 후 경과일수별 발생기대본수와 식생피복도의 관계

시공 후 경과일수	10일	30일	60일	90일
상관분석결과				
상관계수	0.6015	0.8728	0.7221	0.2276
유의수준	**	**	*	NS

주 : *는 유의수준 5%, **는 유의수준 1%, NS는 유의성이 없음.

표 6. 각 시공지별 출현식생의 식생중요도 분석

출 현 종		안성 S.H. 골프장		수원 N.C. 현장		고속도로 양지J·C		태백지역 폐광지		특성분석	
국 명	학 명	A1	A2	S1	S2	Y1	Y2	T1	T2	생활 형	파종
도입초종	<i>Festuca</i> spp., <i>Lolium</i> , <i>Poa</i>	59.9	54.1	39.6	58.8	23.9	72.4	57.9	47.2	Ch	파종
낭아초	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>			1.3	0.9					N	
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i>	5.0		3.7	4.4			5.6	6.4	N	
자귀나무	<i>Albizzia julibrissin</i>	2.4	2.9							M	
참싸리	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	2.4	2.9	4.7	2.8	5.0		8.5		N	
금계국	<i>Coreopsis drummondii</i>				1.5	14.4				Ch	
끈끈이대나물	<i>Silene armeria</i>		3.1	14.1	9.2	12.6		22.7	32.2	Ch	
도라지	<i>Platycodon grandiflorum</i>			13.6	6.5					G	
별노랑이	<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonica</i>					6.4				Ch	
쑥부쟁이	<i>Aster yomena</i>								6.0	Ch	
패랭이	<i>Dianthus sinensis</i>	0.8								Ch	
강아지풀	<i>Setaria viridis</i>		8.0					5.3	5.3	Ch	침입
까마중	<i>Solanum nigrum</i>		3.1							Th	
도깨비바늘	<i>Bidens bipinnata</i>			1.9	1.9					Th	
돌피	<i>Echinochloa crus-galli</i>	8.7	7.5	3.1			9.0			Th	
망초	<i>Erigeron canadensis</i>				1.4	10.0				Th	
명아주	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>				1.4					Th	
바랭이	<i>Digitaria sanguinalis</i>	12.9	14.7	6.1	3.7	13.6	9.6			Th	
방동사니	<i>Cyperus amuricus</i>			1.7	1.5	4.5	9.0			Th	
붉은토끼풀	<i>Trifolium pratense</i>					5.4				Ch	
쑥	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	7.9	3.7			4.3			2.9	Ch	
질경이	<i>Plantago asiatica</i>			8.4	4.6					Th	
황새냉이	<i>Cardamine flexuosa</i>			1.9	1.4					Th	
식생지수	종 다양도	0.3168	0.5116	0.5578	0.3055	0.8252	0.0765	0.2215	0.2855		
	최대종다양도	0.8451	0.9542	1.0414	1.1139	1.0000	0.6021	0.6990	0.6990		
	균재도	0.3749	0.5361	0.5356	0.2742	0.8252	0.1270	0.3169	0.4084		
	우점도	0.6251	0.4639	0.4644	0.7258	0.1748	0.8730	0.6831	0.5916		

* 식생중요도(%) = { (상대빈도 + 상대밀도 + 상대피도) / 3 } × 100

** 휴면형 : M-Mega and mesophanerophyte(교목), N-Nanophanerophyte(관목), Ch-Chamaephyte(지표형), G-Grophyte(지중형, 구근), Th-Therophyte(1년생초본)

계는 39.6%였으며, 반면 자생종의 배합비율을 감소시킨 S2 구간에서는 도입초종의 중요도 합계가 58.8%로 분석되었다. 파종한 자생초본 중 끈끈이대나물, 도라지가 비교적 양호하게 생육하고 있었으며, 식생의 균재도 및 우점도를 분

석한 결과 도입초종의 사용비율을 높인 S2 구간에서 우점도지수가 0.7258로 일부 도입초종에 의하여 우점되는 경향을 보였다.

양지J·C 시공지의 경우 도입초종 3종만을 배합한 Y2 구간에서 이들의 식생중요도 합계

는 72.4%로 매우 높았으며, 이 구간에 자연적으로 침입한 종은 단위면적당 3종밖에 되지 않았다. 반면 자생종만을 배합한 Y1 구간에서는 초기에 파종한 종 외에 총 5종이 자연적으로 침입하였다. 침입종의 중요도 합계는 37.7%로서 파종한 종과 비슷하였으며, 침입종 중에서는 바랭이와 돌피가 우점되는 경향을 보였다. 자생종만 배합한 Y1 구간에서는 도입초종의 중요도가 23.9%로 나타났는데, 이는 시공당시 주변부에서 유입된 종이 생육하였기 때문인 것으로 판단된다.

대백지역 시공지의 경우 시공초기부터 도입초종이 급격히 번무하여 우점되는 경향을 나타냄에 따라서 자연적으로 침입한 종은 2종에 불과하였다. 또한 파종한 자생종 중에서 끈끈이 대나물의 중요도는 22.7~32.2%로서 도입초종과의 혼파에서도 양호한 생육을 나타내었으며, 그 외의 종은 초기경쟁에서 도입초종에 피압당하여 출현율은 높지 않았다.

녹화의 형태는 여러 가지 조건에 따라서 영향을 받게 되며, 시공지의 환경조건(경사, 방위, 습도 등)이 식생의 생육에 큰 영향을 미치고 있다(김경훈, 1994). 수원 N.C. 시공지에서는 침입종이 단위면적당 6~7종으로 가장 다양하였는데, 이 시공지에서는 비탈면 경사가 36°로 가장 완만하고 직사광선이 적게 비치는 관계로 다양한 식생이 침입한 것으로 판단된다.

또한 식생의 생육특성은 시공시기(한국도로공사, 1997), 자생종의 배합유무 및 비율(江崎, 1984; 이재필 등, 1995; Li 등, 1999), 한지형과 난지형 도입초종의 종류 및 배합비율(한국도로공사, 1991; 전기성, 1999), 목본과 초본의 종류 및 배합비율(阿部, 1984; 김남춘, 1997a,b) 등에 큰 영향을 받는다. 특히 자생종과 목본종을 배합할 경우에는 파종량, 파종시기의 설정이 매우 중요하며(山田 등, 1995), 안성 S.H. 시공지 처럼 이른 봄철에 시공을 하게 되면 초기의 종자발아가 늦고 혼란한 자생종이 경쟁에서 피압되는 경향을 나타내게 된다. 모든 시공지에서 시공직후에 측정된 결과 도입초종보다 자생종의 초기 발아속도가 빠른 것으로 측정되었지

만, 일정기간이 경과하게 되면 발아된 자생종의 유묘는 도입초종에 의하여 피압되는 것으로 나타났다.

출현식생은 측정시점에 따라서 큰 차이를 나타내고 있다(한국도로공사, 1997; 김경훈, 1999). 이 연구에서는 가을철에 현장조사를 실시하였기 때문에 각 시공지에서 측정된 종은 여름철 이후 생육상태가 급격히 증가하는 바랭이, 피 등이 우점하는 결과가 도출되었으며, 봄철에 많이 출현하는 민들레 등은 출현하지 않았다. 또한 전체 시공지에서 1차적으로 침입한 식생은 대부분 1년생초본이었다. 따라서 식생의 배합과 시공시기에 따른 파종식생과 침입식생의 생육상태는 매우 높은 상관을 보여주고 있다.

주변식생의 침입이라는 관점에서 볼 때 도입초종의 사용량을 증가시킬수록 초기에 파종한 일부 종이 우점하기 때문에 주변에서 식생이 침입할 기회가 줄어들게 된다(吉田, 1983; 김남춘, 1999). 따라서 초기단계에서 자생종의 생육이 비교적 우수한 수원 N.C.의 S1구간, 고속도로 양지 J·C의 Y1구간 등은 주변식생의 침입에 의한 천이가 다른 시험구간보다 상대적으로 빠를 것으로 판단된다.

IV. 결 론

4개소의 암비탈면을 대상으로 바크퇴비를 주원료로 조제한 식생기반재를 이용한 PEC4(종비토뿔어붙이기) 공법의 현장 적용 사례연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 바크퇴비 등 천연소재를 주재료로 조제한 PEC4 식생기반재의 경우 유기물 함량이 높고, 보수력이 좋아서 암비탈면에 뿔어붙일 경우 초기 종자의 발아 및 생육에 좋은 조건을 제공해 줄 수 있다고 판단된다.
2. PEC4 식생기반재는 토양 및 슬러지 자재가 거의 첨가되어 있지 않기 때문에 뿔어 붙여진 기반재 표층부의 토양경도가 급격히 높아지지는 않았지만, 강우에도 유실되지 않을 정도의 충분한 강도를 유지해주고 있었다.
3. 출현식생은 도입초종과 자생종의 배합비율

및 시공시기에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 또한 식생피복도는 초기에 배합한 종자의 발생기대본수에 큰 영향을 받지만, 시공 후 90일 정도가 경과한 시점부터는 기 발아된 식생과 주변침입식생의 생육 특성에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

4. 파종한 자생종의 초기발아상태는 우수하였으나 도입초종과의 초기경쟁에서 피압되는 경우가 많기 때문에 식생배합에 신중을 기하여야 할 것이며, 도입초종과의 초기경쟁에서 피압되지 않고 생육이 우수한 자생종 중 끈끈이대나물(식생중요도 3.1~32.2%), 도라지(식생중요도 6.5~13.6%) 등은 향후 비탈면 녹화에 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 연구결과를 보아 PEC4 공법은 사용 종자의 배합비율을 적절히 조절함으로써 조기 녹화를 이룰 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 이를 위해서는 주변식생과 조화될 수 있는 영속적인 식생군락 구성을 목표로 한 식생종의 배합, 자생종의 선발 및 적용실험, 도입초종과의 혼합파종 등에 대한 지속적인 연구가 수반되어야 할 것이다.

V. 인용문헌

- 김경훈. 1994. 임도 절토비탈의 식생조성에 미치는 환경인자의 영향에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 김경훈. 1999. 산림표층토를 이용한 종비토뿔어붙이기공법용 녹화토의 조제와 시공효과. 서울대학교 박사학위논문.
- 김남춘. 1997a. 사면 녹화용 자생목본식생의 파종시기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(1) : 73-78.
- 김남춘. 1997b. 주요 초본식물의 비탈면 파종시기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(2) : 67-72.
- 김남춘. 1999. 비탈면 녹화공법의 최신경향 및 사례. 환경과 조경. 130 : 120-125.
- 남상준 · 김남춘. 1998. 자연표토 복원공법에 의한 암비탈면의 한국잔디와 목본류 종자 파종에 의한 녹화. 한국환경복원녹화기술학회지 1(1) : 141-150.
- 우보명 · 김경훈. 1997. 고속도로 절개비탈면에서 녹화공법 선정기준 설정에 관한 연구. 한국임학회지 86(4) : 476-488.
- 우보명 · 김남춘 · 김경훈 · 전기성. 1996. 고속도로 절토비탈면의 식생천이과정에 관한 연구 - 중부고속도로를 중심으로 -. 한국임학회지 85(3) : 347-359.
- 우보명. 1999. 임도비탈의 안정 녹화용 재료 - 환경녹화공법 재료를 중심으로 -. 산림토목환경연구회보 32 : 2-36.
- 이재필 · 김남춘 · 홍성권. 1995. 도로사면녹화를 위한 식생배합에 관한 연구. 한국조경학회지 23(2) : 113-123.
- 이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사.
- 전기성. 1999. 사면 녹화용 외래초종과 재래목 · 초본식물의 적정파종량 및 혼파비에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 정태건. 1999. 비탈면 녹화현황의 문제점 및 대책. 환경과 조경 130 : 106-115.
- 한국도로공사. 1991. 고속도로 절 · 성토 비탈면 녹화 잔디 품종 선정 연구. 한국도로공사.
- 한국도로공사. 1997. 도입초종이 주변식생에 미치는 영향에 관한 연구. 임업과학연구소.
- Abramson, A. W., T. S. Lee, S. Sharma and G. M. Boyce. 1996. Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley & Sons. pp.441-582.
- Li, A. C. O., A. T. Watkins, and Y. K. Ho. 1999. Use of vegetation as surface protection for steep slopes in Hong Kong. Proc. of the First Asia-Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization. pp.477-484.
- Luken, J. O. 1990. Direct Ecological Succession. Chapman and Hall.
- Schoenholtz, S. H., J. A. Burger, and R. E. Kreh. 1992. Fertilizer and organic amendment effects on mine soil properties and revege-

- tation success. Soil Science Society of America Journal 56(4) : 1177-1184.
- 江崎次夫. 1984. 林道のり面保全に関する研究. 愛媛大 演習林報告 21 : 1-116.
- 龜山章. 1976. 道路周邊による周邊植生への影響 - 總説 -. 應用植物社會學研究 5 : 75-93.
- 吉田博宣. 1983. 道路切取りのり面の植生景觀に関する研究. 造園雜誌 47(1) : 46-51.
- 山本富晴・玉木和之・山田守・堀江直樹. 1983. ロシクウールを主體とする植生基材吹付工の開発について. 日本綠化工協會 16(1) : 56-59.
- 山寺喜成. 1986. 播種工による早期樹林化方式の提案. 綠化工技術 12(2) : 25-35.
- 山田守・山本富晴・玉木和之・堀江直樹・上田早史. 1995. 播種條件の違いが木本植物の發芽・初期生育に及ぼす影響について(I) - 播種時期と發芽・初期生育 -. 日本綠化工學會誌 21(1) : 34-40.
- 小橋吉雄・日高伸. 1996. 土壤改良資材. 日本土壤肥料學雜誌 67(5) : 575-579.
- 阿部和時. 1984. 樹木根系の分布特性と斜面の保護・安定效果. 綠化工技術 10(3) : 1-9.
- 安保昭. 1983. のり面綠化工法. 森北出版.
- 日本綠化工協會. 1998. 綠化工ガイド.
- 日本岩盤綠化工協會. 1995. 有機質系吹付岩盤綠化工法 技術資料. 日本岩盤綠化工協會. 47p.
- 長川秀三. 1981. 土壤改良材一定しい知識と利用法. 公害と對策臨時增刊 22(14) : 1424-1435.
- 太田重良・堀江保夫. 1975. 環境保全と綠化工技術. 創文.
- 平野英樹. 1991. 最新斜面・土留め技術便覽. 産業技術サービスセンター.

接受 1999年 12月 10日