

화강암질 풍화토 절토비탈면의 자생식물 선정*

- 충청도와 경상북도 임도를 중심으로 -

宋鎬京^{1)*} · 朴寬洙¹⁾ · 李美貞²⁾ · 金孝貞²⁾ · 池侖禕²⁾ · 李峻雨¹⁾

¹⁾ 충남대학교 산림자원학과 · ²⁾ 충남대학교 대학원

Native Plants Selection in Decomposed Granite Cut-slope*

- In case study on forest road of Chungcheong-do and Gyeongsangbuk-do -

**Ho-Kyung Song^{1)*} · Gwan-Soo Park¹⁾ · Mi-Jeong Lee²⁾ · Hyo-Jeong Kim²⁾
Yun-Ui Ji²⁾ and Joon-Woo Lee¹⁾**

¹⁾ Department of Forest Resources, Chungnam National University,

²⁾ Graduate School, Chungnam National University.

ABSTRACT

This study was carried out to select proper species for early stage replantation in granite forest road cut-slope. From one to thirteen year elapsed forest roads in five regional areas of Chungcheong-do and Kyung-sangbuk-do, sample plots were selected, and their vegetations and environmental factors were investigated.

Soil organic matter, total nitrogen, soil moisture content, and bulk density in the granite weathering soils were below 0.5%, 0.02%, 10%, and above 1.2g/cm³, respectively.

The environmental factors affecting distribution of species in the granite forest road were the elapsed year, elevation, cut-slope aspect, and cut-slope.

Sowing plants of *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, and *Eragrostis curvula* were found in the early stage of forest road-cut. Annual herbs of *Youngia denticulata*, *Erigeron annuus*, etc. were found in the 2-3 years elapsed forest road-cut. Perennial herbs of *Artemisia princeps* var. *orientalis*, *Miscanthus sinensis*, etc., parachute woody plants of *Weigela subsessilis*, *Pinus densiflora*, etc., and gravitative trees of *Prunus sargentii*, *Lindera obtusiloba*, *Quercus* sp., etc. were found in the forest road cut-slope after 3 years of road-cut.

Leguma of *Lespedeza cureata*, *Amorpha fruticosa*, *Lespedeza bicolor*, *Pueraria thunbergiana*, *Albizia julibrissin*, etc., herbs of *Artemisia keiskeana*, *Artemisia princeps* var. *orientalis*, *Miscanthus sinensis*, etc., and woody plants of *Rubus crataegifolius*, *Weigela subsessilis*, *Zanthoxylum schinifolium*,

* 본 연구는 농림부 지원 농특 첨단기술개발과제(20010449)로 수행되었음.

* E-mail : hksong@cnu.ac.kr

Pinus densiflora, etc. were considered as proper species for replantation in granite forest road cut-slope.

Key Words : *Ecological succession, Ecological replantation, DCCA ordination.*

I. 서 론

지금까지의 임도는 기능적인 면만이 부각되어, 시공 후 생태계에 미치는 영향이나 대규모 암반비탈면의 경관적 중요성은 고려되지 않았으며, 임도에 의하여 생성된 비탈면의 조기녹화만을 강조하였고(김남춘, 1991; 우보명 등, 1993; 小橋登治와 村井宏, 1995), 환경친화적인 비탈면 복원에 대해서는 관심을 갖지 못하였다(김남춘, 1998). 이에 따라 초기 성장속도가 빠른 한지형 외래 초종에 대한 의존도가 매우 높았고, 우리나라 자생 초·목본식물의 사용은 제한적일 수밖에 없었다(김남춘, 1997a; 1997b).

일반적으로 녹화공법을 적용한 암반 비탈면에서의 녹화는 초기에는 초본류가 우세하지만, 시간이 경과할수록 초기 도입식생은 쇠퇴하게 되고, 침입종이 들어와서 천이가 진행된다(吉田博宣, 1983; 江岐次夫 등, 1986). 실제로 외래 초본류 위주의 녹화는 조기녹화를 위해서는 바람직하지만, 수년이 경과한 후부터는 서서히 퇴화하는 경향이 있다(김남춘, 1991). 따라서 식생에 의한 초기 조성속도의 차이는 있지만 외래 도입 초본류에 의한 녹화보다는 자생 관목과 초본류를 적절히 배합하는 녹화법이 식생안정 및 토양보전 측면에서 우수하다고 볼 수 있다(江岐次夫와 伏見知道, 1976; 김남춘, 1991).

또한, 임도 사면의 생태계 복원은 침식조절과 야생동물의 먹이와 은신처를 제공하고, 경관미를 향상시키며(Morrison, 1981a; 1981b), 나중에 들어오는 식물들의 정착이 용이하도록 진행되는 것이 바람직하다. 이를 무시하고 침식조절만을 목적으로 외래 도입 초종들로 조기녹화하면 나중에 들어오는 식물들의 정착을 방해하게 되어 이들 식물이 죽거나 쇠퇴하기까지 소요되는 기간 동안 생태적 천이를 기대하기 곤란해진다

(김남춘, 1997b).

환경친화적인 사면 녹화용으로 자생 초·목본식물들을 사용하면 그 지역의 기후에 대한 적응력이 높아 유지관리가 용이하고, 비탈면 경관의 조속한 회복에 기여하여 비탈면 붕괴방지 효과면에서 외래 도입 초종보다 탁월한 장점이 있어(김남춘, 1998; Bratton, 1982), 외래 수종에 자생 초·목본식물들을 첨가하여 파종을 실시하기에 이르게 되었다(김남춘, 1991; 이재필, 1995; 전기성과 우보명, 1999a; 1999b)

특히 마사토 비탈은 쉽게 건조해지고 붕괴가 용이하며, 토중 수분의 동태에 따라 사면의 붕괴 및 녹화성공에 미치는 영향이 크다(矢橋震吾와 金光達太郎, 1985). 또한, 경사도에 따라서 식생성립의 양적 변화가 심하며(吉田博宣, 1982), 비탈면의 안정성이 식생성립의 결정인자가 되고 있다. 따라서 마사토 비탈에 대해서는 비탈면의 경사와 비탈면형상에 따라 녹화공법을 달리 적용하여야 한다(平塚勇二, 1981). 아울러 마사토 비탈은 토질이 척박하기 때문에 우리나라 기후에 대한 적응력이 우수하고 유지관리가 용이한 자생 초·목본식물을 사용하여 녹화하는 것이 야생동물의 서식처 및 은신처 제공과 비탈면의 붕괴방지에 효과가 있어 친환경적인 비탈면의 복원대책이 되고 있다(건설교통부, 1997; 김남춘, 1998; 전기성과 우보명, 1999a; 1999b; Morrison, 1996).

마사토 비탈면의 식생침입은 시공 경과년수에 의하여 많은 영향을 받기 때문에 마사토 임도 비탈면의 식생천이를 규명하기 위해서는 다양한 입지에 대하여 시공 년도의 경과에 따른 식생의 변화를 계속적으로 조사 관찰하는 것이 가장 적절한 방법이라고 생각된다. 그러나 이 방법은 많은 시간을 필요로 한다. 해마다 많은 임도를 개설하는 시점에서 임도 사면에 어떤 자생 초·목본의 파종이 가장 적절한가 하는

문제는 시급을 요하는 문제라 아니할 수 없다. 따라서 본 연구의 목적은 지금까지 개설된 임도사면에 대한 시공간별 조사를 통해 천이계열을 추정함으로써 지역에 따른 적절한 자생 초·목본을 선별하는데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사대상지의 선정

본 연구를 수행하기 위하여 충청남·북도와 경상북도 지역의 화강암질 풍화토 절토비탈면에 외래종 및 자생 초·목본을 파종한 후 1년~13년이 경과한 절토 비탈면을 대상으로 조사를 실시하였다. 조사지역은 충청남도 서천군 탄교면 등고리에서 15개소, 부여군 은산면 나령리에서 7개소, 서천군 문산면 수암리에서 1개소, 서산시 해미면 대곡리에서 9개소, 충청북도 지역에서는 충주시 산척면 상산리에서 19개소, 충주시 백운면 명서리에서 14개소, 경상북도 지역에서는 영덕군 창수면 창수리에서 13개소 등 총 78개소이며, 지역에 따른 경과년수 별 조사구 수는 Table 1과 같다.

본 연구 조사 지역의 1971~2000년까지 30년간 평균 기온과 평균 강수량을 살펴보면, 서천 11.6°C, 1228.9mm, 서산 11.8°C, 1232.1mm, 부여 12.0°C, 1334.2mm, 충주 11.2°C, 1187.8mm, 영덕 12.7°C, 1035.3mm이었다(기상청, 2001).

조사지역의 임상은 침·활 혼효림이 대부분을 차지하고 있으며, 침엽수로는 소나무와 해송(곰솔)이, 활엽수로는 졸참나무, 굴참나무, 신갈나무 등의 참나무류가 우점종을 이루고 있다.

2. 조사 및 분석 방법

1) 식생조사 및 환경조사

식생조사와 환경조사는 2002년 7월부터 8월에 걸쳐 실시하였다. 식생조사는 임도사면의 피복도를 측정된 후, 임도사면에 분포하고 있는 종 목록을 작성하였다. 그리고 피복도가 10% 이상인 경우 조사구 당 1m×1m 크기의 방형구를 사면의 상부, 중부, 하부에서 3개소 선정하여 조사구별로 종별 개체수와 피복도를 측정하였다.

입지 환경 요인으로는 임도사면의 위치, 절토사면 방향, 해발고, 상부 산지 경사, 절토사면 경사, 절토사면장, 토사함유량 및 절토사면의 보강시설물 유무 등을 조사하였다.

2) Ordination 및 토양 분석

Ordination을 위하여 식생조사에서 얻은 자료로부터 각 종의 합성치를 구하였고, ordination은 DCCA(detrended canonical correspondence analysis)를 사용하였으며(Hill and Gauch, 1980), Ter Braak (1987)의 CANOCO program을 이용하였다.

또한, 토양의 이화학적 특성을 조사하기 위하여 화강암질 풍화토 사면을 대상으로 지역별, 임도설치 년도별로 토양을 채취하여, 토양의 유기물함량은 Wakely-Black wet oxidation법으로 분석하였고, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법으로 정량하였으며, 치환성 K, Ca, Mg, Na는 ICP로 분석하였다(Bickelhaupt and White, 1982). 토양의 pH는 1:5로 희석하였으며, 양이온치환용량은 Brown법으로 분석하였다. 토양의 가비중은 core를 사용하여 구했으며, 수분함량을 위해 채취된 토양을 비닐에 넣은 뒤 실험실로 운반하여 건조기에서 105°C로

Table 1. Numbers of surveyed plot by elapsed year.

County	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
Seocheon-gun								11			4		1	16
Seosan-si				1		3		1			2	2		9
Buyeo-gun					4		2				1			7
Chungju-si		3	4	3	4			5	7	7				33
Yeongdeok-gun	1			4			4					4		13
Total	1	3	4	8	8	3	6	17	7	7	7	6	1	78

건조시켰다.

III. 결과 및 고찰

1. 중부지방 임도변 화강암질 풍화토의 이화학적 특성

본 조사지의 토양들은 우리나라에서 가장 널리 분포되어 있는 화강암질 풍화토로서 주요 풍화산물은 모래이다. 분석 결과 조사지 토양의 토성은 모래가 75% 이상인 사양토로 나타났다 (Table 2). 유기물의 경우 식생의 성장을 위해 최소 2~3%가 되어야 한다고 사료되나 본 조사지 토양에서는 거의 모든 지역에서 0.5% 이하로 나타났다. 전질소 또한 모든 조사지역에서 0.02% 이하로 나타나 질소가 매우 부족한 것으로 판단된다. 유효인산, 치환성양이온 및 양이온치환용량도 일반 산림토양의 경우보다 훨씬 낮은 값을 나타냈다(이수욱과 박관화, 1986; 박관수와 이승우, 2001). 토양 pH의 경우 우리나라 일반적인 산림토양의 값과 같은 pH 5.0 내외로 나타났다. 식물체 성장과 관계가 있는 지표로 사용되는 가비중의 경우도 평균 1.2g/cm³ 이상으로 식물체 성장에 매우 나쁜 입지로 나타났다. 수분함량도 점도가 적고 모래가 많은 지역에서의 전형적인 값인 10% 이하로 나타나서 식물체 성장에 매우

열악한 입지로 사료된다. 전체적으로 화강암질 풍화토의 이화학적 특성은 식물체 성장에 매우 좋지 않은 상태인 것으로 나타났다.

2. 화강암질 풍화토 비탈면 식생의 생태학적 특성

1) 임도사면의 출현 빈도

남사면의 조사측점에 대하여 경과년수별 출현빈도에 따른 사면 식생을 살펴보면(Table 3), 경과년수가 1~3년일 때는 오리새, 싸리, 이고 들깨기, 칩 등이 높은 빈도로 출현하고, 경과년수가 4~5년일 때는 싸리, 개망초, 능수참새그령 등이 높은 빈도로 출현하였으며, 6~7년일 때는 소나무, 굴참나무, 땅비싸리, 물오리나무, 진달래, 참싸리, 능수참새그령 등이 출현하여 임도 시공 후 6~7년이 경과하면 소나무, 굴참나무, 진달래 등 목본류의 침입이 시작되는 것으로 판단된다. 시공 후 8~10년이 경과한 임도사면에서는 소나무, 개망초, 참억새, 칩, 큰김 의털 등이 높은 빈도로 출현하고, 11~13년이 경과한 임도사면에서는 소나무, 싸리, 칩, 큰까치수영, 굴피나무, 땅비싸리, 산벚나무 등 목본류가 주로 출현하였다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 초기녹화식물인 능수참새그령은 시공 후 6~7년경에 쇠퇴하기 시작함을 알 수 있으며,

Table 2. Soil characteristics of decomposed granite cut-slope.

Sites	O.M. (%)	T-N (%)	Av-P (ppm)	Ex-K (me/100g)	Ex-Ca (me/100g)	Texture	C.E.C (me/100g)	pH (1 : 5)	Soil water content (%)	Bulk density (g/cm ³)
Yeongdeok-gun	0.34	0.015	21.9	0.20	7.60	SL	10.89	5.49	7.9	1.20
Seocheon-gun(1)	0.37	0.012	6.4	0.07	1.37	SL	2.09	4.81	2.7	1.28
Seocheon-gun(2)	0.41	0.019	7.7	0.12	2.14	SL	3.04	4.99	3.3	1.30
Seocheon-gun(3)	0.56	0.021	8.4	0.21	3.14	SL	4.08	5.10	3.9	1.29
Seocheon-gun(4)	0.42	0.019	6.6	0.09	1.65	SL	5.01	4.93	2.7	1.28
Buyeo-gun(1)	0.40	0.015	8.2	0.14	1.67	SL	3.76	4.73	9.6	1.24
Buyeo-gun(2)	0.36	0.016	8.6	0.20	1.84	SL	4.84	4.88	11.7	1.24
Chungju-si(1)	0.17	0.14	34.8	0.12	6.60	SL	5.14	5.51	4.2	1.28
Chungju-si(2)	0.21	0.017	24.8	0.16	5.41	SL	4.44	5.01	3.6	1.22
Chungju-si(3)	0.15	0.005	11.8	0.07	6.71	SL	3.69	4.92	3.5	1.20
Chungju-si(4)	0.33	0.014	20.6	0.19	7.40	SL	9.31	5.34	3.0	1.28
Chungju-si(5)	0.20	0.022	12.8	0.09	1.78	SL	4.85	4.82	2.5	1.23
Average	0.17	0.01	10.95	0.10	3.80	SL	5.45	5.49	7.90	1.20

시공 후 6~7년이 경과한 임도사면에서는 소나무 등 목본류의 침입이 본격적으로 진행되는 것으로 판단된다. 또한 11~13년이 경과한 임도사면에서 출현한 굴피나무, 산벚나무 등은 주변식생으로부터 침입한 것으로 판단되며, 이러한 결과는 우보명 등(1996)의 절토비탈면 출현식생의 생활형 조성 분석 결과 초본류(다년생초본, 1년생초본)의 비율은 감소하였으며, 목본류(관목류, 교목류)의 출현비율이 증가하였다

는 연구결과와 일치하고 있다.

한편 북사면의 조사측점에 대하여 경과년수별 출현빈도에 따른 사면식생을 살펴보면(Table 3), 경과년수가 1~3년일 때는 싸리, 오리새 등 초기녹화용 식물들의 출현빈도가 높았으며, 4~5년일 때는 딱갈, 물오리나무, 이고들빼기, 오리새, 싸리, 소나무, 개망초, 능수참새그령 등이 높은 빈도로 출현하여 개망초, 딱갈 등의 초본류가 침입함을 알 수 있었으며, 목본류로는 소나

Table 3. Appearance frequency of the principal invasion vegetation on forest road slope by elapsed years and slope aspect.

Scientific name	S					N				
	1~3	4~5	6~7	8~10	11~13	1~3	4~5	6~7	8~10	11~13
<i>Lespedeza bicolor</i> *	0.75	0.60	0.20	0.36	0.80	0.50	0.71	0.50	0.64	0.28
<i>Dactylis glomerata</i> *	0.75	0.40	0.20	0.27	0.20	0.50	0.71		0.27	
<i>Youngia denticulata</i>	0.75	0.40	0.40	0.55			0.85	0.50	0.64	
<i>Pueraria thunbergiana</i>	0.75	0.20		0.64	0.80				0.45	0.43
<i>Festuca arundinacea</i> *	0.50	0.40		0.64	0.20		0.43		0.18	0.14
<i>Erigeron annuus</i>	0.25	0.60		0.64			0.43		0.36	0.14
<i>Patrinia villosa</i>	0.25	0.40	0.20	0.36	0.40		0.85		0.55	0.71
<i>Rubus crataegifolius</i>	0.25		0.20	0.09	0.60		0.28	0.50	0.36	0.43
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	0.25	0.20	0.40	0.27	0.60		0.43		0.36	0.43
<i>Amorpha fruticosa</i> *	0.25			0.18					0.45	0.28
<i>Eragrostis curvula</i> *		0.40	0.40		0.20		0.43			0.57
<i>Carex lanceolata</i>					0.20	0.50	0.14	0.50		
<i>Artemisia keiskeana</i>		0.20	0.20	0.55			0.14		0.64	0.57
<i>Artemisia feddei</i>		0.20					0.28			0.43
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>		0.40	0.20	0.27	0.20		0.43		0.73	0.57
<i>Poa pratensis</i>		0.20	0.20	0.55	0.40				0.18	
<i>Miscanthus sinensis</i>		0.20	0.20	0.64	0.60		0.14		0.36	0.71
<i>Spodiopogon sibiricus</i>			0.20		0.40			0.50	0.18	0.43
<i>Lysimachia clethroides</i>			0.40	0.45	0.80			1.00	0.64	0.43
<i>Smilax china</i>				0.18	0.60					0.14
<i>Indigofera kirilowii</i>			0.60	0.27	0.60				0.09	0.14
<i>Rhododendron mucronulatum</i>			0.60	0.27	0.40		0.14	0.50	0.73	0.43
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>		0.20	0.60	0.36				1.00	0.09	0.43
<i>Weigela subsessilis</i>							0.14		0.55	0.28
<i>Rhus chinensis</i>			0.40	0.27	0.20		0.14		0.27	0.14
<i>Pinus densiflora</i>		0.40	1.00	0.90	1.00		0.71		0.36	0.86
<i>Alnus firma</i>				0.27			0.14		0.09	0.43
<i>Alnus hirsuta</i>			0.60		0.20		0.85	1.00	0.45	
<i>Platycarya strobilacea</i>				0.18	0.60				0.18	
<i>Prunus sargentii</i>				0.55	0.60		0.14	0.50	0.27	0.28
<i>Quercus variabilis</i>		0.20	0.60	0.18	0.40		0.14		0.18	0.28
<i>Quercus mongolica</i>					0.20				0.45	0.14

*: Sowing plants.

무가 출현하기 시작하는 것을 알 수 있다. 또한, 경과년수가 6~7년인 입도사면에서는 물오리나무, 참싸리 등 주로 목본류들이 우점하기 시작하는데 이 지역에서 출현빈도가 높은 물오리나무와 참싸리 등은 초기 녹화식생으로 식재된 것으로 판단된다. 8~10년이 경과한 입도사면에서는 쭉, 진달래, 맑은대쭉, 싸리, 이고들빼기, 큰까치수영, 똑갈 등이 높은 빈도로 출현하였으며, 11~13년이 경과한 입도사면에서는 소나무, 똑갈, 참억새 등이 높은 빈도로 출현하였다.

입도사면의 파종식물들은 공사 주체에 따라 동일하지 않고, 또한 입도사면의 피복상태에 따라 재파종 및 구조개량이 빈번하게 행해지기 때문에 동일한 조건을 갖춘 조사구를 찾는다는 것이 쉽지 않았다. 능수참새그령의 경우, 1~3년이 경과한 입도사면과 8~10년이 경과한 입도사면에서는 출현하지 않았는데, 11~13년이 경과한 입도사면에서 출현한 것도 시공년도에 따라, 그리고 시공 주체에 따라 파종하는 초종이 다르기 때문이라고 사료된다. 그러나 해마다 많은 입도가 개설되는 현 시점에서 환경친화적인 입도건설을 위한 적절한 초종의 선별은 시공년도별 조사를 통해 천이계열을 추정하여 선정하는 방법이 적절한 방안이라고 생각된다.

2) 경과년수에 따른 종 구성 변화

본 조사는 목적에서 밝힌 바와 같이 시공년도별 입도의 사면조사를 통해 지역에 따른 적절한 자생 초·목본을 선별하는데 있기 때문에 피복도가 높은 지역이 선별적으로 조사되어 출현종수와 피복도가 다소 높게 나타났다.

입도사면의 출현종수를 시공 후 경과년수에 따라 살펴보면, 시공 후 1~3년이 경과한 입도에서는 평균 6.7종이 출현하였고, 시공 후 4~5년이 경과한 입도에서는 평균 13.3종, 시공 후 6~7년 후에는 평균 12.4종, 8~10년 후에는 평균 15.7종, 11~15년 후에는 평균 15.1종이 출현하는 것으로 미루어 보아, 입도의 식생은 시공 후 4~5년 사이에 가장 많이 증가하며 그 이후로는 약간의 변화만 있을 뿐 눈에 띄는 종수의 변화는 없었다.

Table 4. Relative coverage value of surveyed plants by elapsed years after road construction.

Species	Elapsed	
	year 2~5	year 8~11
<i>Lespedeza bicolor</i>	35.00	19.50
<i>Dactylis glomerata</i>	25.45	4.00
<i>Amorpha fruticosa</i>	4.55	5.25
<i>Poa pratensis</i>	2.73	
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	1.82	0.35
<i>Lolium perenne</i>	1.82	
<i>Patrinia villosa</i>	0.91	
<i>Pueraria thunbergiana</i>	0.91	14.15
<i>Rubus crataegifolius</i>	0.91	0.75
<i>Erigeron annuus</i>	0.36	
<i>Pinus densiflora</i>		8.90
<i>Miscanthus sinensis</i>		7.00
<i>Youngia denticulata</i>		4.80
<i>Alnus hirsuta</i>		4.50
<i>Weigela subsessilis</i>		4.50
<i>Salix hulteni</i>		4.25
<i>Betula costata</i>		1.75
<i>Artemisia capillaris</i>		0.75
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>		0.75
<i>Rumex acetocella</i>		0.75
<i>Viola mandshurica</i>		0.50
<i>Prunus sargentii</i>		0.35
<i>Rubia akane</i>		0.25
<i>Commelina communis</i>		0.25
<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>		0.25
<i>Impatiens textori</i>		0.25
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i>		0.25
<i>Rhododendron mucronulatum</i>		0.25
<i>Lysimachia clethroides</i>		0.25
<i>Oenothera odorata</i>		0.15
<i>Aster scaber</i>		0.15
<i>Aralia elata</i>		0.10

입도 시공 후 경과년수에 따른 출현종들은 지역에 따라 상당한 차이를 보이고 있어(박문수, 1997; 2002), 본 연구에서는 충북 충주시 산척면과 백운면지역만을 대상으로 종구성 변화를 알아보기 위하여 중요종의 상대피도를 분석한 결과(Table 4), 시공 후 2~5년이 경과한 입도 사면에서는 싸리가 35.00로 가장 높은 상대피도를 나타냈으며, 그 다음으로 오리새 25.45, 족제비싸리 4.55, 왕포아풀 2.73, 쭉 1.82, 호밀풀 1.82

등의 순으로 나타났다. 또한 임도 시공 후 8~11년이 경과한 임도 사면에서는 싸리가 19.5로 가장 높은 상대피도를 나타냈으며, 그 다음으로 칩 14.15, 소나무 8.90, 참억새 7.00, 족제비싸리 5.25, 이고들빼기 4.80 등의 순으로 나타났다. 이러한 결과로 보아 임도 시공 후 2~5년이 경과한 임도에서는 임도 시공시 파종한 싸리, 오리새, 족제비싸리, 호밀풀 등의 상대피도가 높으나, 점차 주변 식생에서 침입한 칩, 소나무, 참억새, 병꽃나무 등의 다년생 초본과 목본류로 우점종이 변화되어 가는 것을 볼 수 있다. 그러나 임도 시공시에 파종된 싸리류는 경과년수에 관계없이 우점하는 것으로 판단된다.

3) Ordination 분석

임도사면의 파종식물들은 공사 주체에 따라 동일하지 않고, 또한 임도사면의 피복상태에 따

라 재파종 및 구조개량이 빈번하게 행해지기 때문에 동일한 조건을 갖춘 조사구를 찾는다는 것이 쉽지 않았다. 능수참새그렁의 경우, 1~3년이 경과한 임도사면과 8~10년이 경과한 임도사면에서는 출현하지 않았는데, 11~13년이 경과한 임도사면에서 출현한 것도 시공년도에 따라, 그리고 시공 주체에 따라 파종하는 초종이 다르기 때문이라고 사료된다. 그러나 해마다 많은 임도가 개설되는 현 시점에서 환경친화적인 임도건설을 위한 적절한 초종의 선발은 시공년도별 조사를 통해 천이계열을 추정하여 선정하는 방법이 적절한 방안이라고 생각된다.

임도 사면에 대한 시공 년도별 조사를 통해 천이계열을 추정함으로써 지역에 따른 적절한 자생 초·목본을 선발하기 위하여 기존에 시공된 화강암질 풍화토 임도사면에 출현한 종과 환경인자들 간의 상관관계를 규명하였다. 78개 조사

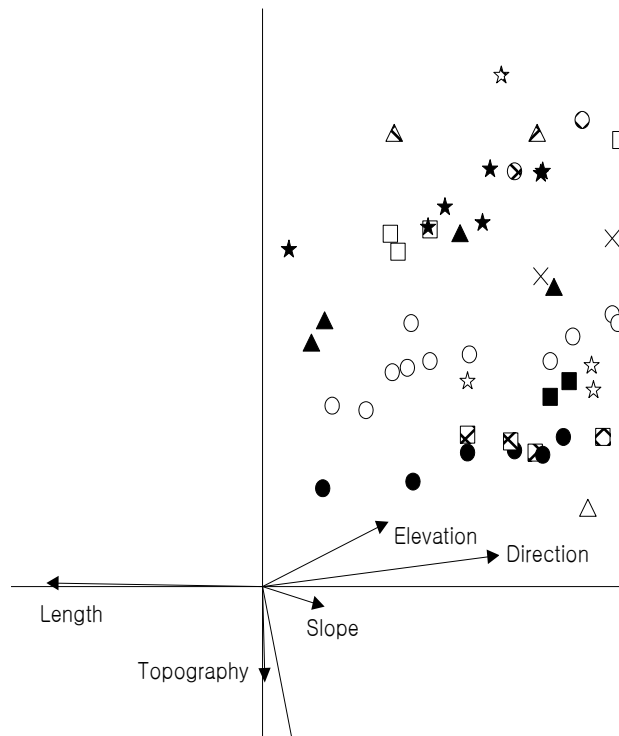


Figure 1. Vegetation data of decomposed granite cut-slope in Chungcheong-do an Gyeongsangbuk-do : DCCA (detrended canonical correspondence analysis) ordination diagram with plots(☆, △, ⊗, ★, □, ×, ▲, ○, ☆, ■, ●, ⊠, △) and environmental variables(arrow).

The plots are : ☆=1 years; △=2 years; ⊗=3 years; ★=4 years; □=5 years; ×=years; ▲=7 years; ○=8 years; ☆=9 years; ■=10 years; ●=11 years; ⊠=12 years; △=13 years.

Table 5. Decomposed granite cut-slope data from Figure 2 : canonical coefficients and the inter set correlation of environmental variables with the first two axes of DCCA.

Variables	Axis	Canonical coefficients			Correlation coefficients		
		1	2	3	1	2	3
Elapsed year		-0.052	-0.389	-0.018	0.021	-0.706**	-0.071
Topography		0.081	0.004	0.090	-0.009	-0.006	0.232
Direction		0.298	0.029	0.053	0.448**	-0.023	0.149
Elevation		0.352	0.017	0.124	0.408**	-0.012	0.312
Slope		0.194	0.056	-0.274	-0.058	0.069	-0.517**
Slope length		-0.335	0.039	0.145	-0.364**	0.138	0.071
Eigenvalue		0.296	0.190	0.100			

*p<0.05; **p<0.01.

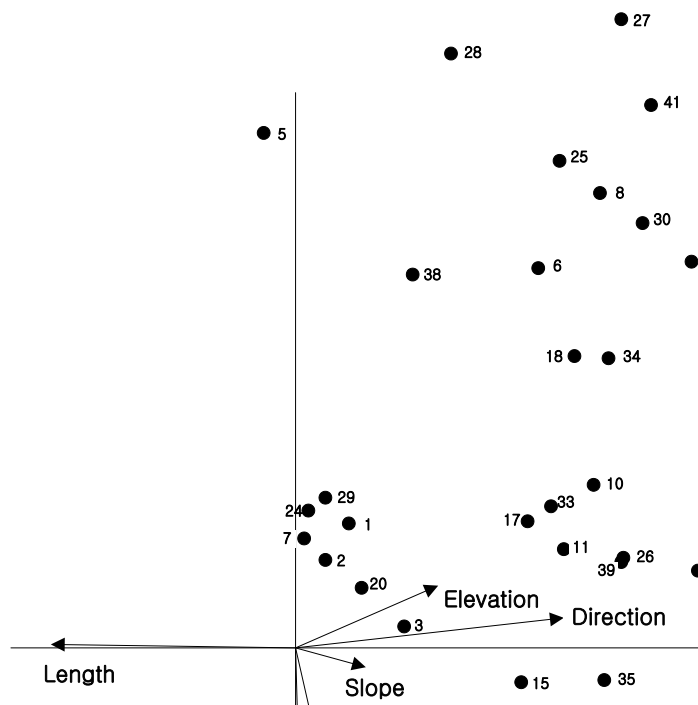


Figure 2. Ordination diagram based on detrended canonical correspondence analysis of vegetation data of decomposed granite cut-slope with species(numbers) and environmental variables(arrow).

1 : *Erigeron annuus*, 2 : *Rhus trichocarpa*, 3 : *Quercus variabilis*, 4 : *Spodiopogon sibiricus*, 5 : *Eragrostis curvula*, 6 : *Oenothera odorata*, 7 : *Indigofera kirilowii*, 8 : *Patrinia villosa*, 9 : *Pinus rigida*, 10 : *Patrinia scabiosaefolia*, 11 : *Artemisia keiskeana*, 12 : *Alnus hirsuta*, 13 : *Weigela subsessilis*, 14 : *Rhus chinensis*, 15 : *Alnus firma*, 16 : *Rubus crataegifolius*, 17 : *Prunus sargentii*, 18 : *Zanthoxylum schinifolium*, 19 : *Lindera obtusiloba*, 20 : *Pinus densiflora*, 21 : *Quercus mongolica*, 22 : *Lespedeza bicolor*, 23 : *Artemisia princeps* var. *orientalis*, 24 : *Robinia pseudoacacia*, 25 : *Potentilla fragarioides* var. *major*, 26 : *Miscanthus sinensis*, 27 : *Dactylis glomerata*, 28 : *Lactuca indica* var. *laciniata*, 29 : *Poa pratensis*, 30 : *Youngia denticulata*, 31 : *Lespedeza maximowiczii*, 32 : *Amorpha fruticosa*, 33 : *Rhododendron mucronulatum*, 34 : *Lespedeza cyrtobotrya*, 35 : *Aster scaber*, 36 : *Smilax china*, 37 : *Pueraria thunbergiana*, 38 : *Festuca arundinacea*, 39 : *Lysimachia chlethroides*, 40 : *Salix hulteni*, 41 : *Lolium perenne*.

구에서 출현한 종 중 5개 이상의 조사구에서 출현한 41종을 대상으로 9개 환경요인과 DCCA ordination을 실시한 결과를 최초 1, 2축에 의한 I/II 평면상에 나타낸 것이다(Figure 1).

Figure 1에서 보는 바와 같이 조사구들은 6개의 환경 요인에 따라 분포하고 있으며, 이들 환경요인들은 DCCA ordination 결과에 의한 제1축, 제2축, 제3축의 상관관계를 살펴보면(Table 5), 여러 환경요인들이 종의 분포와 밀접한 상관관계가 있으며, 제1축에서 산지사면방향과 해발고도 및 절토사면장이가 가장 높은 상관관계를 보여주고 있다. 반면에 제2축은 시공 후 경과년수가 높은 상관관계를, 제3축은 경사도가 높은 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 矢橋震吾와 金光達太郎(1985)은 수분의 동태에 따라 녹화성공에 미치는 영향이 크다고 한 것과 吉田博宣(1982)이 경사도에 따라서 식생성립의 양적 변화가 심하다고 한 것을 볼 때, 본 연구에서 수분과 관계가 있는 산지사면방향과 경사도가 종의 분포와 높은 상관을 보이는 것과 같은 결과라고 사료된다. 전반적으로 볼 때 시공경과년수와 산지사면방향이가 종의 분포에 영향을 미치는 가장 중요한 인자라는 것을 알 수 있으며, 환경요인에 따른 종 분포를 알아본 결과는 Figure 2와 같다.

Figure 2에서 경과년수에 따라 우점종의 변화를 보면 시공초기에 파종하였던 오리새, 능수참새그렁, 호밀풀, 큰김의털, 왕포아풀 등이 경과년수에 따라 싸리(참싸리), 진달래, 칩, 쑥, 붉나무, 소나무, 조록싸리 등으로 우점종이 변화된 것을 알 수 있다.

4) 임도 시공 후 천이단계 분석

임도 시공 후 경과년수에 따른 천이단계를 분석하기 위하여 출현종을 중력형목본류, 풍산포목본류, 침입초본류, 녹화용초본류 등 4종류로 나누어 피복도를 기준으로 분석한 결과, 시공후 1~3년이 경과한 임도에서는 초기단계에 녹화용 초본류가 80% 이상을 차지하였으며, 경과년수가 지남에 따라 풍산포목본류와 침입초본류가 증가추세에 있는 것을 알 수 있다. 또한 중력형 목본류는 시공 후 4년이 경과한 후에 출현하

기 시작하였다.

김남춘 등(1998)은 능수참새그렁은 척박한 마사토 비탈면에 생육이 가능하나 과다 파종될 경우 이들만으로 비탈이 우점됨으로써 주변의 2차 식생의 침입이 억제되어 식생천이가 방해된다고 하였는데, 능수참새그렁은 시공 후 13년이 경과한 임도에서도 높은 빈도로 출현하였으며, 특히 서산시 해미면 대곡리에서는 시공 후 12년 경과된 임도 사면에서 능수참새그렁이 80% 이상의 상대피도로 점유하여 2차식생의 침입이 제한된 곳도 있었다. 日本 名神高速道路路面에서의 식생천이(龜山, 2002)의 진행양식을 보면, 시공 후 2년이 경과하면 초본류의 침입이 시작되고, 식생천이가 원활히 진행되기 위해서는 시공 후 10여년이 경과된 후 녹화용초본류는 고사되거나 거의 소멸되었다. 그런데, 일부 지역에서 녹화용으로 파종한 능수참새그렁이 우점종으로 남아 식생천이를 방해하는 것으로 확인되어 능수참새그렁을 파종할 때는 과다 파종되지 않도록 유의해야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

화강암질 풍화토 임도사면에 출현하는 종들의 빈도 우선순위를 보면, 소나무, 이고들빼기, 싸리, 딱갈, 쑥, 오리새, 칩, 참억새, 진달래, 큰김의털, 맑은대쑥, 큰까치수영, 개망초, 산벗나무, 산초나무 등의 순이다.

화강암질 풍화토의 분석 결과, 토성은 모래가 75% 이상인 사양토로 나타났다. 유기물은 0.5% 이하로 나타났으며, 전질소는 0.02% 이하로 나타나 질소가 매우 부족한 것으로 판단된다. 식물체 성장과 관계가 있는 지표로 사용되는 가비중의 경우도 평균 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 이상으로 식물체 성장에 매우 나쁜 입지로 나타났다. 수분함량도 점토가 적고 모래가 많은 지역에서의 전형적인 값인 10% 이하로 나타나서 식물체 성장에 매우 열악한 입지로 사료된다.

경과년수에 따른 남사면의 식생변화를 보면, 시공초기에 파종하였던 오리새, 칩, 싸리 등이 경과년수에 따라 싸리, 능수참새그렁 등을 거

쳐 소나무 등 목본류의 침입이 진행되는 것으로 판단되며, 복사면에서는 시공초기에 파종하였던 싸리, 오리새 등이 경과년수에 따라 그늘 사초, 쭉, 진달래, 맑은대쭉, 싸리 등을 거쳐 소나무 등으로 진행된 것으로 판단된다.

화강암질 풍화토 임도사면의 환경인자와 출현종들간의 상관관계를 보면 종의 분포에 영향을 미치는 환경요인은 시공 후 경과년수, 해발고, 절토사면 방향, 경사도 등으로 나타났다.

임도 시공 후 화강암질 풍화토 임도사면의 천이 단계를 살펴보면 시공 직후 파종식생인 오리새와 호밀풀, 능수참새그령 등이 출현하며, 2~3년 경과후에는 개망초, 이고들빼기 등의 1년생 초본류가 가장 먼저 침입하며 점차 쭉, 참억새 등의 다년생 초본 및 병꽃나무, 소나무 등의 풍산포목본류, 산벚나무, 생강나무, 참나무류 등의 중력형목본류의 침입이 이루어지는 것으로 조사되었다.

또한 임도 시공시에 파종된 외래 초종들은 13년이 경과한 뒤에도 임도의 남·복사면 모두에서 출현하여 임도 사면의 정상적인 식생침입과 생태천이를 방해하는 것으로 판단된다. 따라서 이러한 외래 초종들을 대신하여 파종에 적합한 자생 초종을 살펴보면, 남사면의 경우 번식력이 강하여 초기 피복에 적합한 비수리, 족제비싸리, 싸리, 칩, 자귀나무 등의 콩과식물과 맑은대쭉, 쭉 등의 초본류 및 경관적인 면에서도 효과적인 소나무 등의 목본류가 적합할 것으로 판단된다. 그러나 싸리의 경우 강한 번식력으로 다른 파종식물을 피압할 우려가 있으므로 다른 종자와 혼파할 경우 그 비율에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다. 그 외에 남사면에서 시공 후 4~5년이 경과한 임도에서 출현하기 시작한 참억새는 침식방지에 효과가 있을 뿐만 아니라 가을철에 운치있고 아름다운 경관을 보여주므로 파종시 고려되어야 할 초종으로 판단된다. 복사면의 경우 번식력이 강하여 사면 피복에 효과적인 싸리, 비수리, 족제비싸리 등의 콩과식물과 어디에서나 쉽게 생육하는 쭉, 맑은대쭉 등의 초본류 및 산딸기, 병꽃나무, 산초나무, 소나무, 물오리나무 등이 적합할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- 건설교통부. 1997. 환경친화적인 건설사업 수행요령.
- 김남춘. 1997a. 사면녹화공사용 자생목본의 파종적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(1) : 73-81.
- 김남춘. 1997b. 주요 초본식물의 비탈면 파종적기에 관한 연구. 한국조경학회지 25(2) : 62-72.
- 김남춘. 1991. 녹화식생의 생육이 사면녹화 및 경관조성에 미치는 효과에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 김남춘. 1998. 경관훼손지의 생태적 복구방안에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 1(1) : 28-44.
- 김남춘·석원진·남상준. 1998. 비탈면 조기 식생녹화를 위한 식물배합에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3) : 8-18.
- 박관수·이승우. 2001. 공주, 포항 그리고 양양지역 굴참나무 천연림 생태계의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 90(6) : 692-698.
- 박문수. 1997. 절토비탈면의 식생침입과 식물피복도에 미치는 인자들의 영향. 순천대학교 농업과학 연구소 11 : 17-27.
- 박문수. 2002. 임도 절토비탈면의 우점식물과 식물피복에 미치는 인자들의 영향. 한국환경복원녹화 기술학회지 5(1) : 19-27.
- 우보명·권태호·김남춘. 1993. 임도비탈면의 자연식생 침입과 효과적인 비탈면 녹화공법 개발에 관한 연구(절취비탈면을 대상으로). 한국임학회지 82(4) : 381-395.
- 우보명·김남춘·김경훈·전기성. 1996. 고속도로 절토비탈면의 식생천이과정에 관한 연구(중부고속도로를 중심으로). 한국임학회지 85(3) : 347-359.
- 이재필. 1995. 도로사면녹화를 위한 식생배합에 관한 연구. 건국대학교 대학원 박사학위논문. pp. 57.
- 전기성·우보명. 1999a. 사면녹화용 외래초종과 재래 목·초본식물의 적정파종량 및 혼파

- 비에 관한 연구(I). 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 33-42.
- 전기성 · 우보명. 1999b. 사면녹화용 외래초종과 재래 목 · 초본식물의 적정과중량 및 혼과비에 관한 연구(II). 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 43-52.
- 江崎次夫 · 藤久正文 · 山本正男 · 河野修一. 1986. 林道のり面の植生遷移に関する研究(IV). 暖温帯地域の盛土のり面における木本植物の侵入推移について. 愛媛大演習林報告 24 : 111-128.
- 江崎次夫 · 伏見知道. 1976. 日本産雜草類のり面保護工に對する利用方法に關す研究(II). 林道切取りのり面での検討. 愛媛大演習林報告 13 : 161-174.
- 龜山章編. 2002. 生態工學. 朝倉書店. pp. 168.
- 吉田博宣. 1982. 林道切取りのり面の植生景觀に関する研究. 京都大學 博士學位論文. 94面.
- 吉田博宣. 1983. 道路切取にのり面の植生景觀に関する研究. 造園雜誌 47(1) : 46-51.
- 小橋登治 · 村井宏. 1995. のり面綠化の最先端. ソフトサイエンス社.
- 矢橋震吾 · 金光達太郎. 1985. 마사土法面の水平分布と崩壞について. 造園雜誌 48(5) : 103-108.
- 平塚勇二. 1981. 花崗岩 마사地帯における山腹勾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.
- Bickelhaupt, D. H. and E. H. White. 1982. Laboratory manual for soil and plant tissue analysis. SUNY Coll. Envir. Sci. and For., Syracuse, N.Y. pp. 67.
- Bratton, S. P. 1982. The effects of exotic plant and animal species on nature preserves. Natural Areas Journal 2(3) : 3-13.
- Hill, M. O. and H. G. Jr. Gauch. 1980. Detrended Correspondence Analysis and Improved Ordination Technique. Vegetatio 42 : 47-58.
- Morrison, D. G. 1981a. Principles of renegotiating mined Lands. Proceedings of wildlife Values of Gravel Pits. Madison, Wisconsin : University of Wisconsin-Madison. pp. 51-57.
- Morrison, D. G. 1981b. Vegetation and iron ore tailings; short-term conclusions. Landscape Architecture/July : 47-48.
- Morrison, D. G. 1996. Design, restoration and management. Dept. of Landscape Architecture, University of Georgia, Athens(in press).
- Ter Braak, C. J. F. 1987. CANOCO - A FORTRAN Program for Canonical Community Ordination by Correspondence Analysis, Principal Components Analysis and Redundancy Analysis (Version 2.1) TNO Institute of Applied Computer Science, Statistics Department, Wageningen, The Netherlands.

接受 2003年 7月 23日