

高速道路 切開비탈면에서 綠化工法 選定基準 設定에 關한 研究¹

禹保命² · 金慶勳³

Studies on the Selection of Standard Revegetation Measures on the Highway Cut-slopes¹

Bo-Myeong Woo² and Kyung-Hoon Kim³

要 約

切開비탈면을 대상으로 綠化工法 선정시 현장에서 이용할 수 있는 실용성 높은 기준을 선정하기 위한 학술적 자료를 도출하기 위하여, 高速道路 절개비탈면에 시공되어 있는 녹화공법 시공 상황을 1995년부터 1996년까지 직접 현지 표본을 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

조사대상 고속도로 절개비탈면에 적용된 녹화공법은 종자뿌어붙이기공법, 평떼붙이기공법, 격자틀 붙이기공법, 중비토뿌어붙이기공법, 각종 녹화망덮기공법 등의 순으로 많이 시공되었다. 이들 비탈면의 植生被覆度에 영향을 미치는 주 인자는 절개비탈면의 토양경도, 토성, 암반유무 등의 土質因子와 비탈면 경사, 길이 등의 立地因子인 것으로 분석되었다.

따라서, 절개비탈면에 적용할 수 있는 최적의 녹화공법을 선정하기 위해서는 비탈면의 토질상태(토양-토양경도지수 20mm, 30mm, 암반-연암, 경암 상태의 4조건), 비탈면 경사도(30°, 45°, 60°의 3조건), 비탈면 길이(10m, 30m, 60m의 3조건) 등의 3인자를 필수요인으로 고려하는 것이 타당할 것이다.

ABSTRACT

The purpose of this study was to figure out the suitable field standards for revegetation measures on cut-slopes in consideration of the environmental factors. The field survey was conducted from 1995 to 1996 on highway cut-slopes.

The results obtained could be summarized as follows:

The major revegetation measures surveyed were 5 major measures as a whole in descending order of seed-spraying measures, block-sod pitching measures, latticed block pitching measures, hydro-seeding measures with seed-fertilizer-soil materials, and several netting measures on highway cut-slopes.

According to the analysis of the environmental factors, the plant coverage was affected several major environmental factors which were soil factors(soil hardness, soil texture, soil and rock condition), and site factors(slope gradient, slope length).

From a viewpoint of optimum selection, the major 3 factors(soil factors, slope gradient factors, slope length factors) should be considered for selection of revegetation measures on highway cut-slopes.

Key Words : Highway cut-slopes, Revegetation measures, soil hardness, soil texture, soil and rock condition, slope gradient, slope length

¹ 接受 1997年 9月 8日 Received on September 8, 1997.

² 서울대학교 農業生命科學大學 山林資源學科 Dept. of Forest Resources, College of Agri. and Life Sciences, Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744, Republic of Korea.

³ 서울대학교 農業生命科學大學 大學院生 Dept. of Forest Resources, College of Agri. and Life Sciences, Seoul Nat'l Univ.

緒 論

국가의 기반시설인 도로의 건설은 점차 대규모화되고 있으며, 이로 인하여 발생된 절개비탈면의 환경녹화에 관한 요구는 최근에 들어서 더욱 다양한 방면으로 제기되고 있다(韓國道路公社, 1989; Morgan과 Rickson, 1995). 환경적으로 식생의 정착이 어려운 고속도로 절개비탈면의 녹화는 기본적으로 주행의 안정성과 쾌적성 증진이라는 목표에서 시작되었으나, 현장에서는 영속적인 식생군집의 정착까지는 고려하지 않은 채, 구조적 안정과 조기녹화에 비중을 두고 녹화공사가 실시되고 있다(韓國道路公社, 1995).

국내 비탈면 녹화의 문제점 중 시공적인 면에서는 국내 시공업체의 영세성으로 기술개발에 대한 투자가 미흡하며, 비탈면의 특성에 따른 일반화된 적용 기준이 없이 외국의 기준을 국내에 적용함에 따라서 여러 가지 문제점이 발생하고 있다(金南樞, 1990; 奎起成과 禹保命, 1995). 국내 도로비탈면 녹화용 식생의 경우 초기의 정착속도가 비교적 빠른 외래종을 위주로 사용하고 있기 때문에 경관적인 이질감과 자생종과의 천이경쟁에 대한 문제점으로서 차후 해결이 요망되고 있다(小橋와 吉田, 1979). 이러한 문제점들로 인하여 고속도로 비탈면의 식생도입을 위한 계획·설계·관리에는 비탈면의 토질, 균열 등 환경인자의 조건을 고려하여야 하며(龜山, 1977; Hasegawa, 1994), 식생의 선정시 비탈면의 외적, 내적 환경조건과 식생생육의 기타 제반여건이 구비되어야 한다(龜山, 1983).

고속도로 비탈면 녹화를 위하여 적용되는 녹화공법중 토사비탈면에는 때를 이용한 평때붙이기 공법을 시공하고 있으며(禹保命, 1989), 암·절개지녹화에는 활착력과 암반부착력이 좋은 칩 등의 덩굴식물로 피복 녹화하여 경관미를 조성하고 있다(禹保命, 1989; 韓國道路公社, 1989). 암절개지의 녹화에 대하여 山寺(1990)는 채석적지의 녹화공법은 연암사면에 종자뿌어붙이기공법과 철망을 이용한 종비토뿌어붙이기공법을 시공하는 방법이 양호하다고 하였으며, 森本(1984)은 종비토뿌어붙이기공법이라 하더라도 경사 60° 정도를 녹화의 한계로 규정하고 있다. 또한 60° 이상의 급경사비탈면은 소단을 이용한 차폐식재와 덩굴식물 녹화가 효과적이라 하였다.

특히 최근에는 기계력을 이용한 분사과중공법과, 식생의 정착을 위한 인공토양자재를 뿌어붙이는 종비토뿌어붙이기공법을 광범위하게 적용하고 있다(韓國道路公社, 1995; Carr와 Ballard, 1980).

비탈면의 안정성을 저해시키는 토양침식은 비탈면의 지질구조나 토양의 종류, 성질, 경사도, 강수량 및 강우강도 등의 여러 인자들에 의해 발생된다고 볼 수 있다. 도로비탈면은 비탈면의 경사가 급할수록 침식이 심하며(Hawley와 Dymond, 1980), 비탈의 침식은 경사도의 요인보다는 비탈면 식생피복도의 요인에 영향을 받으며, 또한 식생형의 요인보다는 토양경도의 요인에 보다 큰 영향을 받는다(禹保命 등, 1993). 따라서 비탈면의 녹화공사는 강우에 의한 우적충격을 완화하여 표면침식을 억제하고 토사유출을 방지하는 효과가 크며, 특히 초본식생은 토사유출 억제효과가 있기 때문에(江崎, 1984) 매우 적절한 식생의 도입이 요망되고 있다.

비탈면의 안정은 목본식생과 초본식생의 역학적 성질에 의해 안정이 이루어지고 있다(Walderon과 Dakessian, 1982). 녹화공사 초기에 목본류를 도입하는 것은 매우 어렵기 때문에 대부분 초기 조성속도가 빠른 외래초본류를 이용하고 있다. 이에 비하여 자생초종은 피복이 느리게 진행되어 파종한 해에는 토사유출량이 많지만, 지피식생 조성후 1년이 경과되면 외래초종보다는 상대적으로 토사유출 억제효과가 크며(江崎, 1984; 伏見 등, 1976), 주변식생과 쉽게 동화되어 이질감이 적은 도로경관을 조성하는 장점이 있다(近藤, 1980; 禹保命 등, 1996).

비탈면에서의 식생조성 관계는 경사도가 급할수록 피복도는 낮게 나타나며(禹保命 등, 1993), 절·성토비탈면에서는 비탈면의 길이가 짧고 경과년수가 오래된 것일수록 식생피복도는 높게 나타나고 있다(新谷 등, 1980; 金慶勳, 1994). 비탈면에 적용하는 녹화공법을 선정하기 위해서는 비탈면의 입지조건, 환경조건 등 여러 가지 인자를 고려하여야 한다(日本道路公團, 1984; Hasegawa, 1994).

또한 생태적 환경 복원에 대한 국민적 인식이 고조됨에 따라서 고속도로 절개비탈면 녹화의 목표와 방향에 대한 변화의 요구가 커지고 있으며, 비교적 최근에 들어서 우리나라 고속도로 절개비탈면의 특성에 부합하는 식생종의 선발에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있다(韓國道路公社,

1995; 禹保命 등, 1993). 비탈면의 영구적인 녹화를 위해서는 생태계 회복에 영향을 미치는 환경인자들에 대한 면밀한 검토와 함께, 개별적인 특성에 부합할 수 있는 녹화공법 선정기준이 정립되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 高速道路 비탈면에 적용되어 있는 綠化工法 현황을 광범위하게 조사하여, 향후 녹화공사를 시행할 경우 현장에서 녹화공법 선정시 이용할 수 있는 실용성 높은 選定基準을 제시하고자 한다.

材料 및 方法

1. 研究對象地의 選定

고속도로 절개비탈면의 녹화공법 및 식생상황 조사를 위하여, 1995년도에 1차 조사를 실시하였으며, 예비조사 자료를 바탕으로 연장거리와 녹화공법을 고려하여 총 68개소의 절개비탈면을 선정하여 1996년도에 2차 조사를 실시하였다. 조사대상 절개비탈면의 각 노선별 개소는 Table 1에서와 같다.

2. 調査方法

현장조사에서는 입지인자, 토질인자, 식생인자 등을 조사하였으며, 기상인자는 측후소의 자료를 이용하였다.

- 입지인자 : 절개비탈면의 구조를 결정하는 비탈면의 경사(°), 방위(°), 너비(m), 길이(m) 등을 실측하였으며, 고도(m), 위도(°)는 지도상에서 산출하였다.
- 토질인자 : 절개비탈면의 토질특성을 나타내는 토양산도(pH), 토양경도(mm), 토양습도(%),

암반유무, 토성, 자갈/모래함량 등을 측정하였다.

- 기상인자 : 식생의 생육에 관여하는 인자로 연평균기온(°C), 연평균강수량(mm) 등을 각 조사구에서 가장 인접한 측후소의 최근 10년간의 기상자료를 이용하여 구하였다.
- 식생인자 : 식생조사를 위하여 비탈면 상에 폭 1m의 Belt를 3개 설치하고 상, 중, 하로 구분하여 각 위치별 식생피복상황을 조사하였다.

3. 分析方法

현장에서 조사한 각 인자간의 관계를 검토하기 위하여 상관분석을 실시하였으며, 각 인자 중 비탈면의 방위, 토양/암반상태 등의 인자는 가변수로 처리하였다.

4. 모델의 設定

현장에서 적용할 수 있는 실용성 높은 선정 기준을 정립하기 위하여 기본 유형 모델을 설정하였다.

結果 및 考察

1. 高速道路 切開비탈면의 現況

조사대상 절개비탈면의 각 노선별 개황은 Table 2에서와 같다. 조사대상 절개비탈면의 평균 경사는 45.5°, 비탈면의 너비 154.8m, 비탈면의 길이 27.7m로 조사되었다. 연평균 강수량은 1339.9 mm이었다.

조사대상 노선 중 영동선과 88선은 비교적 산악지(해발고도 평균 397m와 248m)에 개설되었으며, 남해선 서울순환선 등은 비교적 해발고도가

Table 1. General description of highway line investigated.

No.	line	Section	Total elongated distance (km)	No. of surveyed plot (No.)	Year after construction
1	Kyongbu	Seoul - Pusan	427.8	14	29
2	Honam	Hoidok - Sunchon	251.8	8	27
3	Yongdong	Shingal - Kangnung	201.0	10	27
4	Tonghae	Tonghae - Kangnung	41.7	6	22
5	Namhae	Pusan - Sunchon	176.5	8	24
6	8 8	Taegu - Koso	182.9	6	13
7	Chungbu	Seoul - Nami	117.8	12	10
8	Seoul circulation	Pangyo - Kuri	31.6	4	6
Total			1,431.1	68	

Table 2. Environmental factors investigated of each highway line.

Highway line	Latitude (°)	Altitude (m)	Slope degree (°)	Slope width (m)	Slope length (m)	Mean ann. rainfall (mm)	Mean ann. Temperature (°C)	Soil acidity (pH)	Soil moist cont. (%)	Soil hardness (mm)	Plant coverage (%)
Kyongbu	36.3	71.4	49.6	168.2	21.9	1229.4	11.9	6.7	42.1	8.5	70.1
Honam	35.9	73.8	53.8	167.5	21.8	1335.3	12.5	6.4	48.2	8.9	67.9
Yongdong	37.3	397.0	40.0	89.0	17.3	1410.5	8.9	6.8	21.2	5.4	65.4
Tonghae	37.4	58.3	40.0	120.0	20.7	1323.0	12.4	5.8	77.5	7.5	58.4
Namhae	34.9	36.3	48.8	190.0	34.4	1511.2	13.0	6.9	8.7	1.9	62.3
8 8	35.2	248.3	40.3	111.7	44.2	1344.8	12.2	6.7	18.6	9.1	61.0
Chungbu	37.0	79.2	38.8	186.7	35.2	1287.0	11.3	6.8	23.5	9.9	77.6
Seoul circulation	37.3	45.9	56.3	200.0	33.3	1369.8	11.8	6.7	37.8	8.6	41.5
Average	36.4	134.0	45.5	154.8	27.7	1339.9	11.6	6.7	30.8	7.8	65.7

Table 3. Revegetation measures investigated of each highway line.

Highway line	Kyongbu	Honam	Yongdong	Tonghae	Namhae	88	Chungbu	Seoul	Total	Ratio
Revegetation measures	Circulation									
1. Sod*	3	4	9	1		3	3	1	24	11.8
2. Seed	10	6	4	5	4	5	9	3	46	22.5
3. Straw	8		5						13	6.4
4. Coir			1					3	4	2.0
5. Jute	2								2	1.0
6. Soil/seed	4	3			6				13	6.4
7. Net		3				2			5	2.5
8. Crib				2	3	1			6	2.9
9. Block	3		5	3	2	2	2		17	8.3
10. Terrace				1					1	0.5
11. Twiner	5								5	2.5
12. Concrete				3					3	1.5
13. None	7	8	6	3	9	5	22	5	65	31.9
Total	42	24	30	18	24	18	36	12	204	100.0

- * 1. Sod : Block-sod pitching measures
- 2. Seed : Seed-spraying measures
- 3. Straw : Straw mulching measures
- 4. Coir : Coir netting measures
- 5. Jute : Jute netting measures
- 6. Soil/seed : Hydroseeding measures with seed-fertilizer-soil materials
- 7. Net : Artificial sodding measures
- 8. Crib : Slope stabilization crib measures
- 9. Block : Latticed-block pitching measures
- 10. Banquette : Banquette planting measures
- 11. Twiner : Twiner planting measures
- 12. Concrete : Shotcrete measures
- 13. None : None of measures

낮은 곳에 위치하였다. 전 노선의 평균 식생피복도는 65.7%로서 중부선(77.6%), 경부선(70.1%)이 비교적 높았으며, 동해선과 서울순환선이 식생피복도 60% 이하로 식생피복상황이 상대적으로 저조한 것으로 조사되었다.

비탈면의 경사도는 호남선, 서울순환선이 50° 이상으로 비교적 급경사로 이루어졌으며, 중부선이 38.8°로 비교적 완만하였다. 비탈면의 길이는 영동선이 가장 짧았으며, 또한 너비도 작아서 대체적으로 소규모 암반비탈면인 것으로 조사되었

다. 이는 영동산악지방에 개설된 절개비탈면은 급경사의 소규모 암반비탈면이 대부분이기 때문인 것으로 판단된다.

2. 高速道路 切開비탈면의 綠化工法 現況

조사대상 절개비탈면을 상부, 중부, 하부로 구분한 뒤 각 위치별로 적용된 녹화공법을 각 노선별로 분류한 것은 Table 3에서와 같다.

Table 3에서와 같이 고속도로 절개비탈면에 가장 많이 적용된 녹화공법은 종자뿌어붙이기공법

(22.5 %)이었으며, 이는 비교적 최근에 개설된 노선(경부선 확장구간, 중부선)에 많이 적용되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 평폐붙이기공법이 11.8%, 평폐붙이기공법과 병행하는 격자를 붙이기공법(8.3%)이 많이 적용되었다. 또한 비탈면 표층부의 안정 및 종자의 유실을 방지하기 위한 벚짚, Coir/Jute net 등도 많이 적용되었으며, 그리고 절개비탈면 개설 후 아무런 처리를 하지 않고 무처리로 방치된 비탈면이 31.9%를 차지하고 있었다.

인공폐로 이용되는 Net 잔디붙이기공법은 호남선과 88선에만 일부 적용되어 있으며, Coir/Jute net를 이용한 공법은 최근에 확장된 경부, 영동선에 적용되었다.

Table 4는 각 녹화공법별 식생피복도를 나타낸 것이다. 녹화공법에 따른 절개비탈면의 식생피복도는 콘크리트힘줄박이공법을 적용한 곳이 평균 82.9%으로 가장 녹화효과가 우수한 것으로 조사되었다. 또한 암절개비탈면 등에 식생생육기반을 인위적으로 조성해 주는 종비토뿔어붙이기공법도 식생피복도 80.2%를 나타내 비교적 녹화효과가 우수한 것으로 조사되었다.

따라서 절개비탈면의 식생정착에는 식생이 생육할 수 있는 기반을 형성해 주는 종비토뿔어붙이기공법이나, 비탈면의 표층토를 안정시켜 줄 수 있는 콘크리트힘줄박이공법, 격자틀붙이기공법 등이 우수한 것으로 분석되었다.

3. 切開비탈면 因子間的 相關分析

조사대상 절개비탈면을 구성하고 있는 각 환경인자별 상관분석을 실시한 결과는 Table 5에서와 같다.

비탈면의 식생정착에 영향을 미치는 환경인자 중 입지인자는 비탈면 경사도, 방위인 것으로 분석되었다. 또한 토양인자중에는 토성, 습도, 경도, 토양/암반상태 등의 인자로 분석되었다. 그러나 본조사에서는 무처리로 방치된 암반비탈면이 아니라 현장조건에 따라서 비탈면의 구조적인자에 의한 인위적 녹화공법 처리를 한 상태이기 때문에 기존의 자연식생 피복도에 영향을 미치는 분석결과와는 일치하지 않는 것으로 판단된다(禹保命 등, 1993; 金慶勳, 1994).

또한 조사구의 위도, 표고와 식생피복도는 상관이 적었으며, 식생의 생육에 영향을 미칠 수 있는 기상인자와는 상관이 낮은 것으로 분석되었다.

4. 主要 因子에 따른 植生狀況

현재 국내 고속도로 비탈면에 적용되어 있는 여러 가지 녹화공법 중 4가지 주요 공법(평폐붙이기공법, 종자뿔어붙이기공법, 종비토뿔어붙이기공법, 격자틀붙이기공법)에 따라서 절개비탈면의 각 위치별 조사인자들은 분류한 것은 Table 6에서와 같다.

Table 6에서와 같이 식생피복도면에서는 종비토뿔어붙이기공법을 적용한 곳이 각 위치별로 평

Table 4. Percent plant coverage of each part of cut-slope per revegetation measures.

Revegetation measures	Location		Upper part		Middle part		Lower part		Whole slope	
	No.	Plant cov. (%)	No.	Plant cov. (%)	No.	Plant cov. (%)	No.	Plant cov. (%)	No.	Plant cov. (%)
1. Sod*	13	68.6	7	74.0	4	75.1	24	71.3		
2. Seed	19	65.7	14	69.4	13	67.7	46	67.4		
3. Straw	5	59.3	5	59.3	3	55.4	13	58.4		
4. Coir	1	32.1	1	32.1	2	40.8	4	36.5		
5. Jute	1	62.0	1	62.0	2	62.0				
6. Soil/seed	4	84.7	4	77.6	5	78.6	13	80.2		
7. Net	2	75.4	2	75.7	1	89.1	5	78.3		
8. Crib	1	94.7	3	71.7	2	93.9	6	82.9		
9. Block	1	67.7	5	68.7	11	69.5	17	69.2		
10. Terrace	1	71.0			1	71.0				
11. Twiner	1	76.7	1	76.7	3	79.0	5	78.1		
12. Concrete	1	0	1	0	1	0	3	0		
13. None	20	64.6	23	62.8	22	60.4	65	62.5		
Average		65.0		65.9		66.3		65.7		

* See Table 3.

Table 5. Correlation matrix for plant coverage and slope variables on the highway cut-slope.

Indices	LAT	ALT	GRD	ASP	WID	LGT	RAIN	TEMP	PH	MOIST	HARD	SO	RO	GRA	SAND
ALT	0.2522														
GRD	-0.2868	-0.1988													
ASP	-0.0008	0.0905	-0.0116												
WID	-0.1648	-0.3122	0.1711	0.0681											
LGT	-0.2562	-0.1379	0.0068	-0.0992	0.5302										
RAIN	-0.1233	0.3718	-0.0288	0.0936	-0.0779	0.0961									
TEMP	-0.5840	-0.7963	0.2170	-0.0404	0.1924	0.1464	-0.2003								
PH	-0.0073	0.2269	0.0456	-0.0526	0.0798	-0.0583	0.1561	-0.2272							
MOIST	0.1234	-0.2359	0.1077	0.1696	-0.0802	-0.2024	-0.2281	0.2111	-0.8116						
HARD	0.1709	0.0762	-0.0291	-0.0797	-0.0846	0.1242	-0.0448	-0.0754	-0.2415	0.2508					
SO	0.4836	0.1476	-0.6098	0.0123	-0.0650	-0.1935	-0.0880	-0.3590	-0.0961	0.0961	0.0798				
RO	-0.4974	-0.1071	0.4378	-0.0913	0.0878	0.2286	0.0141	0.3244	0.2219	-0.2949	-0.1343	-0.6782			
GRA	0.3850	0.1794	-0.7044	-0.0179	-0.2584	-0.1963	-0.0040	-0.2661	0.3296	-0.2474	-0.2162	0.6128	-0.4309		
SAND	-0.1583	0.1013	0.1348	-0.3462	-0.1810	-0.1688	-0.1029	-0.1677	-0.0389	-0.1072	-0.1280	-0.1270	0.2785	0.0686	
COV	0.1084	-0.0069	-0.3166	-0.2772	-0.1031	-0.0241	-0.1884	-0.1074	-0.4641	0.4034	0.3077	0.3151	-0.3332	-0.2709	0.0755

* Significance : *(90 ≤ x < 95), ** (95 ≤ x < 99), *** (99 ≤ x)
 LAT(Latitude), ALT(Altitude), GRD(Slope Gradient), ASP(Slope Aspect), WID(Slope Width),
 LGT(Slope length), RAIN(Mean Annual rainfall), TEMP(Mean Annual Temperature),
 PH(Soil Acidity), MOIST(Soil Moist Cont.), HARD(Soil Hardness), SO(Soil), RO(Rock),
 GRA(Gravel Content), SAND(Sand Content), COV(Plant Coverage of Slope)

Table 6. Environmental conditions of 5 major revegetation measures.

Revegeta- measures Variables	Block-sod			Seed spraying			Hydroseeding measures soil materials			Lattices-block			None		
	Upper part	Middle part	Lower part	Upper part	Middle part	Lower part	Upper part	Middle part	Lower part	Upper part	Middle part	Lower part	Upper part	Middle part	Lower part
No.	13	7	4	19	14	13	4	4	5	1	5	11	20	23	22
Slope	43.0	37.8	33.7	47.5	46.6	44.7	56.2	55.0	55.0	35.0	39.0	40.9	45.2	49.7	49.3
Aspect		(W)		(N, E, W)			(N, E, W)			(W)			(E, W)		
Width	157.6	121.4	105.0	176.8	191.4	170.0	112.3	160.0	154.0	50.0	138.0	163.6	151.5	156.9	160.4
Length	27.6	23.4	11.0	25.7	25.4	27.7	31.2	30.0	34.0	25.0	37.2	27.3	32.5	31.5	31.3
Precipi. Temp.	1360.8 10.9	1414.2 9.5	1510.1 7.9	1324.2 11.9	1286.2 11.6	1309.9 11.8	1459.1 12.6	1439.6 12.3	1394.9 12.1	1315.7 11.0	1430.3 11.0	1345.1 11.2	1353.9 11.4	1330.9 11.9	1348.3 11.9
Acidity	6.5	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.1	6.7	6.4	6.7	6.4	6.6	6.7	6.7	6.7
Wetness	36.3	29.2	27.2	32.1	31.6	24.5	62.5	65.0	63.7	25.0	35.3	30.1	21.3	24.2	27.5
Hardness	8.9	10.8	8.3	7.3	8.6	9.7	20.5	8.0	14.2	1.1	4.8	7.0	8.7	8.3	7.8
Soil	9	5	4	8	9	8	0	1	1	1	5	9	9	8	7
Rock	7	3	0	13	10	9	4	3	4	0	3	7	12	15	16
Gravel	26.3	18.6	24.0	19.5	15.3	16.7	6.6	5.4	6.6		15.4	19.6	18.7	24.1	22.5
Sand	91.3	89.8	88.9	93.2	91.1	91.7	88.7	85.8	88.7		82.0	87.5	71.1	80.8	50.7
Coverage	68.6	74.0	75.1	65.7	69.3	67.6	84.7	77.5	78.6	67.7	68.6	69.5	64.6	62.7	60.4

균 70% 이상을 나타내어 가장 우수한 것으로 분석되었다.

비탈면의 구조인자를 나타내는 인자 중 비탈면의 경사도를 분석한 결과 중비토뜸어붙이기공법은 평균 경사도 55° 이상의 급경사 비탈면에 주

로 적용되는 것으로 조사되었다. 또한 평폐붙이기공법과 격자뜸붙이기공법은 40° 이하의 중·완경사 비탈면에 주로 적용되었으며, 종자뜸어붙이기공법과 무처리 비탈면은 평균경사 45~50°인 것으로 조사되었다.

비탈면의 길이에 따라서는 격자틀붙이기공법은 주로 너비가 좁은 비탈면에 적용된 것으로 나타났으며, 종자뿌어붙이기공법은 비탈면의 너비가 170m 이상의 대형 비탈면에 주로 적용된 것으로 조사되었다. 비탈면의 식생정착 및 녹화공법 선정에 중요한 고려인자인 비탈면의 길이를 분석한 결과, 중비토륨어붙이기공법이 비탈면의 길이가 평균 30m 이상의 대형비탈면에 적용되었으며, 평떼붙이기공법은 주로 비탈면의 길이가 30m 이하의 소형비탈면에 적용된 것으로 조사되었다. 또한 무처리로 방치된 비탈면의 길이는 각각 30m 이상으로 향후 녹화처리가 요망되고 있다.

토양인자 중 토양습도는 중비토륨어붙이기공법을 적용한 곳에서 상대적으로 매우 높게(토양습도 약 60% 이상) 나타났다. 이는 중비토륨어붙이기공법을 적용한 초기에는 식생의 정착이 이루어지지 않아서 뿌어 붙인 토양자재가 건조하게 되나, 이후 식생이 정착되면 오히려 식생의 근계에 의한 수분보유능의 증가로 상대적으로 높은 토양습도를 나타내고 있다. 그러나 무처리로 방치된 비탈면에서의 토양이 거의 집적되지 못하였기 때문에 토양습도가 상대적으로 낮은 것으로 나타나 향후 식생생육기반의 조성이 필요할 것으로 판단된다(韓國道路公社, 1995).

토양경도는 중비토륨어붙이기공법을 적용한 곳에서 가장 높았으며, 격자틀붙이기공법을 적용한 곳에서는 가장 낮았다. 격자틀붙이기공법을 적용한 곳에서는 격자틀내에 남아있는 토양에 식생이 번무함에 따라서 토양경도가 낮아지는 것으로 판단된다.

토양과 암반상태에 따른 각 공법의 특징은 비탈면에 암반이 노출되어 있는 경우에는 중비토륨어붙이기공법 등이 적용되고 있으며, 토사비탈면 일 경우에는 평떼붙이기공법이 적용되고 있다. 또한 종자뿌어붙이기공법은 토사비탈면이나 연암비탈면 등에 광범위하게 적용되는 것으로 조사되었으며, 무처리로 방치된 비탈면은 대부분 암반비탈면인 것으로 조사되었다.

5. 綠化工法 選定基準 提示

비탈면의 식생생육 및 녹화공법 선정에 중요한 고려사항인 비탈면의 토질조건, 비탈면의 경사와 길이에 따른 각 녹화공법의 특징을 분석하였다.

Table 7에서와 같이 비탈면의 토양상태(토양경도지수 ~20mm, 21~30mm), 암반상태(연암, 경암)로 구분하였을 경우에, 자연적인 식생의 생육이 어려운 연암, 경암부가 약 60% 이상을 차지하는 것으로 조사되었다. 이러한 비탈면은 토양조

Table 7. Applied revegetation measures per soil & rock condition.

Categories	Soil	Soil hardness index(mm)		Rock		No.
		~20	21~30	Soft	Hard	
Revegetation measures	Each part of slope	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	
1. Sod *	Upper	3	4	3	3	13
	Middle	3 72.1	1 81.7	3 69.0	59.5	7
	Lower	3	1			4
2. Seed	Upper	3	4	8	4	19
	Middle	2 73.3	5 68.7	5 66.1	2 65.7	14
	Lower	2	5	4	2	13
6. Soil/seed	Upper			1	3	4
	Middle	1 76.7		82.8	3 80.3	4
	Lower	1		1	3	5
9. Block	Upper	1				1
	Middle	3 68.1	1 84.0	1 59.5	71.0	5
	Lower	4	1	1	1	7
13. None	Upper	3	6	3	8	20
	Middle	1 83.3	7 73.4	5 52.7	10 57.2	23
	Lower	1	6	5	10	22
Average		77.1	80.2	61.5	57.7	

* See Table 3.

건이 개선되기 위하여는 장시간이 소요되며, 비탈면의 안정성, 경관성을 고려할 때 초기에 적절한 녹화공법을 시공하는 것이 바람직하겠다. 무처리 비탈면의 경우 식생생육이 가능한 토양상태에서는 높은 식생피복도를 나타내고 있으며, 이는 식생의 정착은 11~20mm 정도에 적당한 토양경도를 나타낸 곳이 식생생육조건이 양호하다는 기존의 연구결과(江崎, 1984)와도 일치하는 것이다. 그러나 무처리로 방치된 곳에서의 식생생육은 연암, 경암조건에서는 매우 저조한 것으로 나타났다.

종자뿌어붙이기공법은 비교적 토사, 암반부 전체에 고르게 적용되었으며, 연암 이상에서는 주로 종비토뿌어붙이기공법이 적용되었다. 그러나 식생생육이 가능한 토사비탈면에서는 평폐붙이기공법보다 효과가 떨어져 향후 적용에 신중을 기해야 할 것이다.

Table 8에서와 같이 비탈면의 경사에 따른 녹화공법을 분석한 결과 경사도 31~40° 사이가 43개소로서 대부분이 이 경사 범위에 속하는 것으로 조사되었다. 또한 식생피복도는 31~40° 사이가 73.8%으로서 매우 높았으며, 41~50°, 51~60° 사이가 69.9%, 67.9%로서 비교적 양호한

것으로 분석되었다. 또한 30° 이하의 비탈면에서는 주요 공법 외에 벗겨져적덮기 공법 등이 시공되었으나 이 표에서는 제외되었다.

평폐붙이기공법은 50° 이하의 비탈면에 주로 적용되고 있으며, 이곳에서의 식생피복도는 70% 이상이었으며, 61° 이상에서는 적용이 타당하지 않은 것으로 조사되었다. 종자뿌어붙이기공법은 31~60° 사이에 적용되고 있으며, 이상의 경사에서는 적용이 타당하지 않은 것으로 판단된다. 종비토뿌어붙이기공법은 41° 이상의 비탈면에 적용되었으며, 무처리로 방치된 비탈면 중 대체로 61° 이상에서는 자연적으로 식생정착이 되기는 어려운 것으로 판단된다.

기존의 녹화공법 선정 기준은 30°, 45°, 60°를 기준으로 이용하고 있으며, 본 연구에서도 이 기준을 적용하는 것이 타당하다고 판단된다.

Table 9에서와 같이 비탈면의 길이에 따른 분류를 하였을 때 11~30m 사이에서 가장 높은 빈도를 나타내고 있다. 또한 식생피복도는 길이에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다. 그러나 자연적으로 노출된 비탈면에서는 11~30m 사이에 자연적인 식생침입에 의해 식생정착이 비교적 양호한 것으로 보여진다. 그러나 31m

Table 8. Applied revegetation measures per slope gradient.

Categories		Slope gradient							No.
		~30°	31~40°	41~50°	51~60°	61~70°	71~80°	81° ~	
Revegetation measures	Each part of slope	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	No. Plant coverage (%)	
1. Sod *	Upper		7 75.4	2 74.6	4 63.9	2 38.5	1 62.8	1 33.9	17
	Middle		4	2	1		1		8
	Lower		3	1					4
2. Seed	Upper	1 65.0	2 67.2	8 72.2	4 68.5	3 44.0	1 54.0		19
	Middle	1	1	7	4		1		14
	Lower	1	2	6	3				12
6. Soil/seed	Upper			1 74.7	5 83.1		1 78.9		7
	Middle			1	2		1		4
	Lower			1	3		1		5
9. Block	Upper		77.5	60.8	50.0				0
	Middle		3	1	1				5
	Lower		3	7	1				11
13. None	Upper		8 75.1	5 73.6	4 63.4	2 39.5	1 71.6		33.9 20
	Middle		8	3	3	7		1	22
	Lower		9	2	3	6	1	1	22
Average		65.0	73.8	69.9	67.9	41.4	68.2		

* See Table 3.

이상의 긴 비탈면에서는 식생피복도가 평균 65.7% 보다 낮은 것으로 조사되었다.

평떼불이기공법은 비탈면의 길이가 30m 이하에서 높은 출현빈도와 피복도를 보였으며, 종자뿌어붙이기공법은 11~30m 사이에 주로 적용되어 있다. 중비토뿌어붙이기공법은 11~60m 사이에 분포하며, 비교적 길이가 긴 비탈면에 주로 적용되었으며, 비탈면의 길이가 작을수록 효과는 우수하였다. 따라서 10m 단위로 구분한 결과 30m와 60m를 기준으로 분류하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

Fig. 1은 절개비탈면의 토질상태, 경사, 길이 등의 3가지 요소로 대표적인 4개의 공법과 무처리 비탈면의 적용위치를 표시한 것이다. 좌표축에서 1사분면은 토양경도 20mm 이하의 토양구간이며, 2사분면은 토양경도 21~30mm 사이의 점질토, 마사토 구간을 나타내었다. 또한 3사분면은 연암, 4사분면은 경암으로 각각 토양 특성에 따라서 구역을 구분하였다.

평떼불이기공법은 토양조건이 양호한 곳과 연암부분에 적용되었으며, 종자뿌어붙이기공법은 경암부분을 제외한 전 비탈면에 적용된 것으로

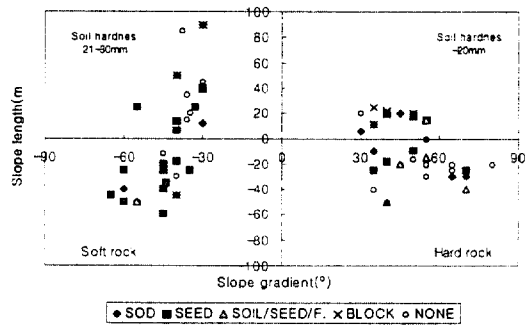


Fig. 1. Distribution of each revegetation measures by 3 site factors.

나타났다. 또한 격자틀붙이기공법은 주로 토사부분에 적용되었으며, 일부 연암조건에 적용되었다. 식생의 정착이 불가능한 경암부분에는 중비토뿌어붙이기공법이 적용되었으며, 평떼불이기공법, 종자뿌어붙이기공법은 경암을 제외한 전 비탈면에 일정한 기준이 없이 공통적으로 적용되고 있다.

무처리로 방치된 비탈면은 경사 30° 이상의 연암, 경암 부분에 대부분 분포하고 있으며, 향후 여기에 대한 처리가 필요할 것이다.

Table 9. Applied revegetation measures per slope length.

Categories	Slope length(m)	Slope length(m)												No.					
		~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~								
Revegetation measures	Each part of slope	No. cov. (%)	P. cov. (%)	No. cov. (%)	P. cov. (%)	No. cov. (%)	P. cov. (%)	No. cov. (%)	P. cov. (%)	No. cov. (%)	P. cov. (%)	No. cov. (%)	P. cov. (%)	No. cov. (%)					
1. Sod*	Upper	2	68.7	3	83.8	3	72.9	2	51.6	1	53.5	1	78.9	12					
	Middle			1		2			1		1			5					
	Lower	2		1		1								4					
2. Seed	Upper		7	81.0	8	60.0	62.2	2	38.3	1	47.2	1	73.2	19					
	Middle		5		7			1				2		15					
	Lower		5		4		1					2		12					
6. Soil/seed	Upper				82.0	1	89.7		1	78.9	1	75.0		3					
	Middle		2					1		1				4					
	Lower		2					1		2				5					
9. Block	Upper				79.0	1	65.8			53.8		75.0		93.0					
	Middle		1		2			1					1	5					
	Lower		1		6			2		1				10					
13. None	Upper	68.7	2	84.2	8	63.4	4	54.2	3	52.4	1	58.5	1	51.7	1	92.2	1	93.0	21
	Middle		2		3		8		5		4		2		1			25	
	Lower				2		9		5		4		1		1		1	23	
Average			68.7		76.5		61.8		54.7		54.6		68.1		67.8		92.2		93.0

* See Table 3.

6. 主要 因子를 利用한 綠化工法 選定 基準 提示

비탈면 녹화공법 선정을 위한 모델을 설정하기 위하여 선행 연구자료의 각 기준을 제시하면 Table 10에서와 같다.

기존의 비탈면 녹화공법 선정시 제시하고 있는 기준은 비탈면 토양조건, 경사, 길이, 토양경도, 토양습도(배수상태) 등이며, 韓國道路公社(1995)에서는 이러한 기준을 정리하여 식생대, 방위 등에 대한 기준을 제시한 바 있다.

특히 비탈면 경사, 비탈면 길이, 토양경도 등에 대한 기준을 제시하여 현장에서 적용 가능한 기준을 제시하고 있다. 비탈면 경사는 주로 30°, 45°, 60°를 기준으로 하고 있으며, 비탈면 길이는 15m, 30m, 50m를 기준으로 하고 있다. 또한 토양경도는 일본과 국내에서 토양경도지수를 기준으로 하며, 10mm, 25mm, 30mm, 연암, 경암비탈면을 기준으로 응용하고 있다.

이 연구에서는 비탈면 녹화공법 선정을 위하여 비탈면의 식생생육 및 공법선정에 특히 중요한 요소로 작용하는 3가지 인자를 이용하여 Table 11과 같이 분류하였다.

Table 11에서와 같이 각 조건의 기준별로 0점에서 3점까지의 점수를 부여한 뒤 각각의 합계를 표시하면 Fig. 2에서와 같다.

각 점수별로 합계를 한 뒤 16개의 조합으로 상위 3개, 중간 10개, 하위 3개의 3구역으로 구분한 뒤 각 조건에 적합한 공법을 선정하기 위한 자료로서 이용하도록 하였다.

위에서 제시한 기준대로 비탈면의 식생생육 및 공법선정에 많은 영향을 많이 주는 인자인 토질 인자(토양경도, 토성, 암반유무 등)를 기본으로 하고, 경사, 길이 등의 2가지 인자를 세부조건으로 하여 Fig. 3에서와 같은 모델을 제시하였다.

X축은 비탈면 경사조건으로 30°, 45°, 60°를

Table 10. Selection standards for revegetation measures from four studies.

Classification	A*	B*	C*	D*
Soil/Rock condition		Soil, Soft rock, Hard rock		Sandy soil, Gravel soil, Clay soil
Slope gradient (°)	0~35, 35~50, 50~		0~30, 30~35, 35~45, 45~60	0~30, 30~45, 45~60, 60~
Slope length (m)	0~15, 15~			0~10, 10~30, 30~50, 50~
Soil hardness (mm)		0~23, 23~27, 27~	0~10, 10~25, 25~30, 30~	0~10, 10~25, 25~30, 30~
Soil moisture condition	Dry/Wet			Dry/Wet
Vegetation type (Latitude, °)				~35, 35~36, 36~
Slope aspect				North, East, South, West

* A(Clark and Howell, 1992), B(Hasegawa, 1994), C(日本道路公團, 1984), D(韓國道路公社, 1995)

Table 11. Selection standard and score of 3 major factors.

Group	Soil factors		Slope gradient		Slope length	
	Standard (Unit : mm)	Score	Standard (Unit : °)	Score	Standard (Unit : m)	Score
A	~20	3	~30	3	~10	3
B	21~30	2	31~45	2	11~30	2
C	Soft rock	1	46~60	1	31~60	1
D	Hard rock	0	61~	0	61~	0

Soil condition	Slope gradient(°)	Slope length(m)					
		(A ~10)	(11 ~30)	(31 ~60)	(61 ~ D)		
Soil	~20	~30	9 Good	8	7	6	
		31~45	8	7	6	5	
		46~60	7	6	5	4	
		61~	6	5	4	3	
	21~30	~30	8 Good	7	6	5	
		31~45	7	6	5	4	
		46~60	6	5	4	3	
		61~	5	4	3	2	
	Rock	Soft	~30	7 Good	6	5	4
			31~45	6	5	4	3
			46~60	5	4	3	2
			61~	4	3	2	1
Hard		~30	6 Good	5	4	3	
		31~45	5	4	3	2	
		46~60	4	3	2	1	
		61~	3	2	1	0	

Fig. 2. Sums of score and classification type by 3 major factors.

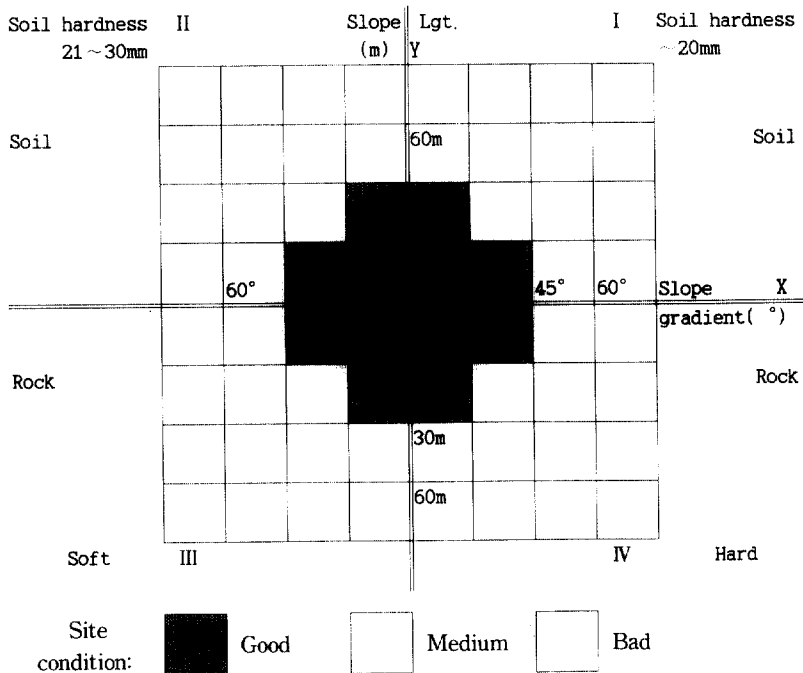


Fig. 3. Simple matrix model for selection of revegetation work.

기준으로 배치하였으며, Y축은 비탈면의 길이조건으로 10m, 30m, 60m를 기준으로 배치하였다. 또한 비탈면의 토질조건을 토사(토양경도 20mm, 30mm)와 암반(연암, 경암) 등의 조건으로

I, II, III, IV분면에 배치하였으며, 각 점수화에 의한 상, 중, 하의 조건을 배치하였다. 위에서 제시한 표과 그림을 이용하여 시공대상 비탈면의 환경조건을 분석하고, 각 기준에 적합한 녹

화공법 선정의 기준으로 이용할 수 있도록 하였으며, 향후 현장에서는 기본적인 몇 가지 자료를 이용하여 공법선정 기준의 기초 자료로 이용할 수 있을 것이다.

結 論

切開비탈면을 대상으로 綠化工法 選定시 이용할 수 있는 실용성 높은 기준을 선정하기 위한 학술적 자료를 도출하기 위하여, 1995년부터 2년간 전국에 개설된 고속도로 절개비탈면에 시공되어 있는 녹화공법 시공 상황을 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 조사된 高速道路 切開비탈면에 가장 많이 시공되어 있는 녹화공법은 종자뿌어붙이기공법(22.5%)이었으며, 평떼붙이기공법, 격자틀붙이기공법, 중비토뿌어붙이기공법, 각종 녹화망덮기공법 등의 순이었다. 각 녹화공법별 식생생육 상황은 콘크리트힘줄박기공법을 적용한 곳이 가장 우수(식생피복도 80% 이상)하였으며, 중비토뿌어붙이기공법, 덩굴식물식재공법, 평떼붙이기공법 등의 생육상태도 우수하였다.
2. 절개비탈면의 環境因子別 相關分析 결과 식생피복도에 영향을 미치는 주 인자로는 토양경도, 토성, 암반유무 등의 土質因子와 비탈면경사, 길이 등의 立地因子인 것으로 나타났다.
3. 절개비탈면의 토양상태(토양경도지수 ~20mm, 21~30mm), 암반상태(연암, 경암)에 따라서 구분하였을 경우에, 평떼붙이기공법은 주로 토사비탈면에, 종자뿌어붙이기공법은 비교적 연암부에 고르게 적용되었으며, 연암 이상의 경암비탈면에서는 주로 중비토뿌어붙이기공법이 적용되었다.
4. 절개비탈면의 경사도를 10° 단위로 구분하여 분석한 결과, 경사도 31~40° 사이가 43개소(식생피복도 70% 이상)로 가장 높은 빈도를 나타내었다. 주요 공법 중 평떼붙이기공법은 50° 이하의 비탈면에 주로 적용되었으며, 종자뿌어붙이기공법은 31~60° 사이, 중비토뿌어붙이기공법은 41° 이상의 비탈면에 적용되었다.
5. 절개비탈면의 길이를 10m 단위로 구분하여 분석한 결과, 11~30m 사이에서 가장 높은 빈도를 나타내고 있다. 평떼붙이기공법은 30m

이하에서 높은 출현빈도와 식생피복도를 보였으며, 종자뿌어붙이기공법은 11~30m 사이에 주로 적용되어 있다. 중비토뿌어붙이기공법은 11~60m 사이에 분포하며, 비교적 길이가 긴 비탈면에 주로 적용되었으며, 비탈면의 길이가 작을수록 효과는 우수하였다.

6. 이상의 결과를 볼 때, 비탈면의 植生定着 및 工法の 適正性을 고려하여 최적의 녹화공법을 선정하기 위해서는 비탈면 토질 조건(토양-토양경도 20mm, 30mm, 암반-연암, 경암상태의 4조건), 비탈면 경사도 조건(30°, 45°, 60°의 3조건), 비탈면 길이 조건(10m, 30m, 60m의 3조건) 등의 3인자를 필수요인으로 고려하는 것이 타당할 것이며, 향후 녹화공법 선정의 기준자료로 이용하는 것이 바람직할 것이다.

引用 文 獻

1. 金慶勳. 1994. 林道 切土비탈의 植生造成에 미치는 環境因子의 影響에 關한 研究. 서울大學校 碩士學位論文. pp.51.
2. 金南椿. 1990. 道路비탈면 綠化에 사용되는 主要 草本植物의 地下部 生育이 土壤安定에 미치는 效果에 關한 研究. 韓國造景學會誌 18(2) : 45-55.
3. 禹保命·權台鎬·金南椿. 1993. 林道비탈면의 自然植生 侵入과 效果的인 비탈면 綠化工法 開發에 關한 研究. 韓國林學會誌 82(4) : 381-395.
4. 禹保命. 1989. 新製 砂防工學. 鄉文社. pp. 310.
5. 禹保命·金南椿·金慶勳·全起成. 1996. 高速道路 切土비탈면의 植生遷移過程에 關한 研究-中部高速道路를 中心으로-. 韓國林學會誌 85(3) : 347-359.
6. 全起成·禹保命. 1995. 切開비탈의 綠化技術에 關한 考察. 서울大學校 演習林研究報告 31 : 73-95.
7. 韓國道路公社. 1989. 한국도로공사 20년사. pp.780.
8. 韓國道路公社. 1995. 高速道路 切土비탈面 綠化工法 研究. 한국도로공사보고서. pp.355.
9. 江崎次夫. 1984. 林道のり面の保全に關する 研究. 愛媛大演報, 21 : 1-116.
10. 龜山章. 1977. 高速道路のり面植生遷移につ

- いて(I)-既調査によるのり面植生調査法. 造園雑誌 44(1) : 23-33.
11. 龜山章. 1983. 高速道路のり面の植生遷移に關する研究. 造園雑誌 47(1) : 52-55.
 12. 近藤三雄. 1980. 都市高速道路における道路綠化に關する研究. 道路と自然 28 : 42-59.
 13. 伏見知道・度部贊・江岐次夫. 1976. 米野演習林林道のり面の保護工(VI). 愛媛大演報. 13 : 149-154.
 14. 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. pp.347.
 15. 森本幸裕. 1984. 斜面綠化. 鹿島出版會. pp. 218.
 16. 小橋澄治・吉田博宣. 1979. 高速道路のり面の安定性と自然植生の回復について. 斜面綠化研究 1 : 93-98.
 17. 新谷融・矢島宗・内藤滿. 1980. 林道法面における植生變化に關する研究. 北海道大演報. 37(1) : 165-208.
 18. 日本道路公團. 1984. 植生のり保護工に關する調査研究. 道路綠化保全協會. pp.141.
 19. Carr, W.W. and T.M. Ballard. 1980. Hydro-seeding forest roadside in British Columbia
Hitchcock, A.S. 1950. Manual of the grasses of the United States. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pp.1051.
 20. Clark, J.E. and J.H. Howell. 1992. The application of bioengineering in the developing world, in The Environment is Our Future. Proceedings of Conference XXIII of the International Erosion Control Association, Reno, Nevada, p.275-284.
 21. Hasegawa S. 1994. Revegetation method of man made road slopes. The 3rd International Symposium of Korea and Japan; Road Landscaping. p.152-156.
 22. Hawley, J.G. and J.R. Dymond. 1980. How much do trees reduce landsliding? J. of Soil and Water Conservation 43 : 495-498.
 23. Morgan, R.P.C. and R.J. Rickson. 1995. Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach. E & FN SPON. pp.274.
 24. Walderon, L.J. and S. Dakessian. 1982. Effect of grass Legume and tree roots on soil shearing resistance. Soil Sci. Soc. Am. J. 46 : 894-899.