

임도 절토 비탈면의 안정과 식생활착에 미치는 환경인자의 영향

정 원 옥¹⁾

¹⁾ 경상대학교 농과대학 산림과학부

Effects of Environmental Factors on the Stability and Vegetation Survival in Cutting Slope of Forest Roads

Won-Ok Jung¹⁾

¹⁾ Division of Forest Science, College of Agriculture, Gyeongsang National University

ABSTRACT

The purpose of this study was investigate to the influence of forest roads characteristics and environment factors on the soil erosion, stability and vegetation survival of cut slope in forest roads. The results obtained could be summarized as follows;

1. The correlated factors between slope erosion and variables in cut slope were altitude, convex, degree of slope, length of slope and soil depth. In the stepwise regression analysis, length of slope and soil hardness was a high significant and its regression equation was given by $-89.6136 + 15.0667X_{14} + 16.6713X_{15}$ ($R^2 = 0.6712$).

2. The main factors influencing the stability of cut slope were significant in order of coverage, middle, convex, length of slope and north, and its discriminant equation was given by $-1.019 + 0.064X_{22} - 0.808X_8 - 0.622X_{24} + 0.742X_{11} - 0.172X_{14} - 0.545X_6$ ($R^2 = 0.793$).

3. The centroids value of discriminant function in the stability and unstability estimated to 1.244 and -1.348, respectively. The boundary value between two groups related to slope stability was -0.1038. The prediction rate of discriminant function for stability evaluation of was as high as 91.3%.

4. The dominant species of invasion vegetation on the cut slope consist with *Carex humilis*, *Agropyron tsukushiense* var. *transiens*, *Calamagrostis arundinacea*, *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*, and *Ixeris dentata* in survey area. The rate of vegetation invasion more increased by time passed.

5. The life form of invasion vegetation in cut slop showed to H-D₁-R_{2,3}-e type of the hemicryptophyte of dormancy form, disseminated widely by wind and water of disseminate type, moderate extent and narrowest extent of radicoid type, erect form of growth form.

6. The correlated factors between forest environment and coverage appeared north, passage years and middle position of slope at 5% level. The forest environment factors influencing the invasion plants in survey area were shown in order to altitude, passage years, rock(none), forest type(mixed) and stone amount. The regression equation was given by $17.5228 - 0.0911X_3 + 3.6189X_{28} - 15.8493X_{22} + 19.8544X_{25} + 0.3558X_{26}$ ($R^2 = 0.4026$).

Key words : *stability, vegetation survival, soil erosion*

I. 緒 論

임도는 산림을 합리적으로 경영하는데 있어 필수적인 시설로 각종 입산물의 반출수단으로서 산림의 보육에 필요한 인력 및 기계력의 투입능력을 증대시키고, 산림재해에 대해 신속히 대처할 수 있게 할뿐만 아니라 산촌지역의 진흥에 기여하는 공도로서의 역할을 맡고 있으며, 임업기계화를 위한 필수적 기반시설이다.

1998년말 현재 임도개설은 총 13,517km로 임도밀도는 약 2.10m/ha이나 2010년까지 10m/ha 정도로 계속해서 확대될 계획에 있으나(산림청, 1999), 그 시공 대상지의 지형이 험준하여 사면경사가 급하게 조성되고 또한 낮은 건설비용 등으로 인하여 시공 후 사면의 안정을 위한 적절한 공법이 시행되지 못하고 있는 것이 현실이다. 또한 절취 및 성토사면에서의 침식과 노면침식 현상 등은 임도가 가지고 있는 여러 기능을 약화시킬 뿐만 아니라 임도 주변의 자연환경에 크게 변화를 주는 문제점이 야기되는 경우가 많아 임도설계 및 유지관리에 있어서 절취사면의 안정이 중요한 과제로 지적되고 있고, 특히, 최근에는 환경친화적 임도건설이 중요한 관심사로 대두되면서 사면안정 및 자연경관 보전적 측면에서 임도비탈면의 녹화가 더욱 중요시 되고 있다.

침식량이란 침식현상에 의해 토양이 유실되면서 생긴 공간의 容積이므로 비탈면 침식의 경우, 비탈면에 발생된 浸蝕區의 길이(m), 나비(m), 깊이(m) 등을 측정함으로써 비탈면 침식량(m³)의 추정이 가능하며(권태호, 1987), 사면의 안정 및 침식에 영향을 미치는 인자는 절토사면의 경우 사면길이, 식물피복도, 표고, 사면경사도, 모암의 종류, 사면방위 등을(이준우, 1987), 성토사면의 경우 모재층, 사면경사도, 사면방위, 노면 및 사면의 토양경도, 사면길이 등을 제시한 바 있으며(김종윤 등, 1990), 井内(1980), 佐佐(1982)등은 사면경사도가 클수록 사면침식이 용이하고 붕괴의 위험성이 크다고 보고한 바 있다.

특히, 임도사면의 침식 및 사면안정의 문제는 다양한 인자들의 종합적 현상이므로, 이러한 영향을 정확하게 파악하기 위해 고도의 통계적 방법을 많이 이용하였으며, 吉村 등(1995, 1996)은 Fuzzy이론을 이용하여, 임도사면의 붕괴가능성을 판단하는 안정성을 분석하였고, 차두송 등(2000)은 임도성토사면 붕괴가능성 평가에서 Fuzzy적분값이 0.441 이하는 안정, 0.583 이상은 불안정으로 구분하고, 붕괴요인의 중요도는 성토사면길이 > 성토사면경사 > 임도위치 > 토질 > 사면방위 > 사면중단면형 순으로 나타났다고 하였다.

임도사면의 식생침입에 관해서, 비탈사면 식생 천이과정은 암반 및 경사가 급할 수록 식생 정착이 어렵고, 또한 식생피복이 비탈면의 표면 流下量의 감소, 표면 충격량의 감소, 유하수의 속도 감소, 雨水의 집중 방지에 중요한 역할을 한다고 보고하였고(小橋, 1982), 우보명과 이준우(1987)는 임도절취비탈면의 식생피복도에 영향을 주는 인자들로 초본종수, 목본종수, 표고, 총강우량 등으로 보았으며, 마호섭 등(1994, 1995)은 임도사면의 식생침입에 관한 연구에서 일부 식생을 제외하고는 침입수종은 주변식생에 많은 영향을 받으며, 비탈면의 거리가 짧고, 사면경사가 낮은 곳일수록 식생침입이 용이하다고 보고한 바 있다.

따라서 본 연구는 최근 개설된 임도 절토사면에서 산림환경 및 도로구조인자를 조사하여 토양침식과 사면안정, 식생침입과 천이과정에 관여하는 각 인자의 영향을 파악하여 임도비탈면의 사면안정과 사면녹화에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 材料 및 方法

1. 조사대상지

본 연구는 진주시 집현면과 미천면지역에 1994년부터 1997년까지 개설된 임도 총연장 7.94km를 대상으로 하였으며, 조사지의 임도 상황은 Table 1과 같다.

Table 1. General descriptions of forest roads in survey area

Surveyed area	Constructed year	Length
Gyphyun-myun jungsu-ri	1994	1.50 km
	1995	1.02 km
Michun-myun hyangyang-ri	1996	2.96 km
	1997	2.46 km
Total		7.94 km

2. 조사방법

1) 사면 안정성 조사

(1) 조사구의 선정

각 임도에 대해 노선측량의 기본 단위인 20m를 1개의 조사구로 하였으며, 비탈면 전체가 경암인 지역과 비탈면 길이가 2.0m 이하 되는 곳을 제외한 150개의 조사구를 선정하였다.

(2) 안정구 및 불안정구 판정

절토비탈면의 표면침식정도와 붕괴정도 및 측구의 침식여부에 따라서 안정구와 불안정구로 나누었다. 안정구는 淚路나 溝谷의 발생과 사면붕괴가 없고, 앞으로도 침식 및 붕괴의 위험성이 없는 경우로 하였으며, 불안정구는 표면 침식 또는 붕괴가 발생하여 사면하부로 토사가 퇴적하여 측구가 매몰된 경우로 하였다.

2) 식생 조사

(1) 주변 식생조사

임도변에 생육하고 있는 식생의 비탈면에 대한 침입여부를 조사하기 위하여 절토사면과의 상부(上部)거리 20m 내에 2m×2m의 소방형구를 설정하여 주변식생의 종명과 지상부에 있는 줄기를 1개체수로 하여 상대밀도(R.D)와 상대빈도(R.F)를 분석하였고, 중요치(I.V ; 임경빈 등, 1980)는 다음의 식에 의하여 산출하였다.

$$\text{중요치}(I.V) = \frac{\text{상대밀도}(R.D) + \text{상대빈도}(R.F)}{2}$$

임도변에 생육하고 있는 초본류의 생활형은

Raunkiar(1934)와 沼田(1987)의 방법에 의하여 생활형, 휴면형, 산포기관형, 지하기관형 그리고 생육형으로 구분하여 분석하였다.

(2) 침입 식생조사

임도사면에서 발파사면, 암석지 및 종자살포 등의 녹화공법을 실시한 사면을 제외한 절토사면에 2m×22m의 소방형구를 설정하여 침입종의 종명과 지상부에 있는 줄기를 1개체수로 하여 상대밀도(R.D)와 상대빈도(R.F)를 분석하였고, 중요치(I.V ; 임경빈 등, 1980)는 다음의 식에 의하여 산출하였다.

$$\text{중요치}(I.V) = \frac{\text{상대밀도}(R.D) + \text{상대빈도}(R.F)}{2}$$

임도사면에 생육하고 있는 초본류의 생활형은 Raunkiar(1934)와 沼田(1987)의 방법에 의하여 생활형, 휴면형, 산포기관형, 지하기관형 그리고 생육형으로 구분하여 분석하였다.

3) 산림환경인자 조사

임도의 안정성과 식생침입에 관련하여 산림환경인자를 15개 항목으로 구분하였으며, 그 조사방법은 다음과 같다.

- ① 경과연수 : 임도개설 후 조사 일까지의 경과연수를 해당 임도설계서를 참고하여 조사하였다.
- ② 토사유출량 : 비탈면 침식이 발생한 지점에서 길이(m)×너비(m)×깊이(m)를 측정하여 산출(m³) 하였다.
- ③ 식생피복도 : 임도 절토비탈면 2m×2m 조사구 내에서 식생피복도를 조사(%) 하였다.
- ④ 방위 : Compass를 이용하여 조사구의 사면방위를 동, 서, 남, 북으로 구분하였다.
- ⑤ 사면위치 : 비탈면의 위치를 산정, 산북, 산록으로 구분하였다.
- ⑥ 사면형 : 사면형을 Convex(凸)형, Concave(凹)형, Straight(□)형으로 구분하였다.
- ⑦ 사면경사 : Sunto式 clinometer를 이용하여 암도사면의 경사를 측정(。) 하였다.

- ⑧ 사면길이 : 사면의 직선적인 거리는 줄자를 이용하여 측정(m) 하였다.
- ⑨ 토양경도 : Sunto式 토양경도계를 이용하여 토양경도를 측정(kg/cm²) 하였다.
- ⑩ 토성 : 사토(Sand), 사양토(Sandy loam), 양토(Loam)로 구분하였다.
- ⑪ 암반 : 암반의 강도 및 절리상태에 따라 경암(Hard), 연암(Soft), 無(None)로 구분하였다.
- ⑫ 표고 : 1/25,000 지형도 및 고도계를 이용하여 측정(m) 하였다.
- ⑬ 주변임상 : 현지조사를 통하여 침엽수, 활엽수, 혼효림으로 구분하였다.
- ⑭ 석력함량 : 표준토색계를 이용하여 토양단면의 석력함량(%)을 조사하였다.
- ⑮ 토심 : 임도변 상부에서 토양단면을 통해 표층토와 하층토(B층 하단)까지의 깊이를 합한 全土深(cm)을 조사하였다.

III. 結果 및 考察

1. 사면침식량 분석

임도절토사면 침식량과 산림환경인자와의 관계를 분석한 결과(Table 2), 사면침식량은 표고, 토심과 5% 수준에서 正의 상관관계를 convex(凸)형, 사면경사, 사면길이와는 1% 수준에서 正의 상관관계를 나타내었다. 이는 표고가 높을수록 사면경사가 급하고, 강우 및 기상의 피해를 직접 받게 되며, 블록사면 일수록 강우에 의한 표면침식이 다른 사면형에 비해 심하게 발생하는 것으로 생각되었다. 佐佐(1982)는 사면경사도가 클수록 사면침식이 용이하고, 붕괴의 위험성이 크다고 하였으며, 오재만(1990)은 사면붕괴를 최소화하는 사면경사(자연안식각)는 절토사면은 35°이하, 성토사면은 40°이하를 제시한 바 있다. 吉田(1982)은 절토사면의 길이가 길수록 풍화되어 침식되는 토사량이 증가하므로 사면길이가 길 경우 소단 등 단끊기를 실시하여 사면침식을 최소화하여야 한다고 하였다. 그리고 사면침식량은 concave(凹)형과 토양경도와는 5% 수준에서 負의 상관관계를 나타

내어, 절토사면의 침식량 조사에서 토양경도가 높을수록 사면의 붕괴율이 적어진다고 한 井上 등(1982)의 연구보고와 사면형에 따른 침식량 조사에서 凸(블록사면), □(직선사면), 凹(오목사면)순으로 사면침식량에 차이가 발생하였다고 한 菊地와 横井(1973)의 보고와 유사한 결과였다.

Table 2. Correlation coefficient analysis between variables and soil erosion in the cut slope of forest roads

Variables	Soil erosion	Significance	
X2 Altitude	0.2519*	0.0483	
X3 Aspect of slope	┌East 0.0449	0.7288	
X4	West -0.0619	0.6330	
X5	South 0.1309	0.3104	
X6	└North -0.1167	0.3663	
X7	┌Upper 0.2038	0.1121	
X8	Middle -0.1780	0.1664	
X9	└Lower -0.0417	0.7478	
X10	┌Concave -0.2755*	0.0302	
X11	Convex 0.3719**	0.0029	
X12	└Straight -0.0918	0.4782	
X13	Degree of slope	0.6511**	
X14	Length of slope	0.7806**	
X15	Soil hardness	-0.2531*	
X16	┌Sandy 0.0604	0.6409	
X17	Sand loam 0.0166	0.8980	
X18	└Loam -0.0681	0.5992	
X19	┌Hard -0.0761	0.5564	
X20	Soft -0.0598	0.6442	
X21	└None 0.1006	0.4367	
X22	Coverage	-0.1136	
X23	┌Coniferous -0.1338	0.2997	
X24	Deciduous 0.1451	0.2605	
X25	└Mixed -0.3306	0.7987	
X26	Gravel contents	-0.1086	
X27	Soil depth	0.2587*	
X28	Passage year	0.1155	
X28	Passage year	0.1155	0.3715

Note) ** Means statistically significant at 1% level and * means statistically significant at 5% level

절토사면 침식량에 영향을 미치는 인자를 추정하기 위하여 단계별 회귀분석을 실시한 결과(Table 3), 사면길이, 토양경도로 나타났으며, 회귀방정식은 $-89.6136 + 15.0667X_{14} + 16.6713X_{15}$ ($R^2=0.6712$)였다. 절토사면 침식량의 설명에 유의한 인자로 정원옥과 마호섭(1997)은 사면경사도, 강수량, 사면길이, convex형 등을 보고하였

고, 정도현(1994)과 박문수(1996)는 강우량, 사면길이, 사면경사도 등이라고 보고한 바 있다.

Table 3. Stepwise regression analysis for soil erosion on cut slope

Variables	Model R ²	Regression coefficient	Standard Error	F	Prob > F
		-89.6136	14.3072	39.23	0.0001
Length of slope	0.6093	15.0667	1.4436	108.93	0.0001
Soil hardness	0.6712	16.6713	5.0023	11.11	0.0015

특히 임도개설시 인위적인 조절이 가능한 도구조 인자인 사면길이가 약 60% 이상의 설명역을 나타내어 임도 계획 및 시공시 단끊기 공법 등을 실시하여 사면길이를 조절함으로써 절토사면의 침식량을 최소화할 수 있을 것으로 판단되었다.

2. 사면안정성 분석

판별함수를 도출하기 위하여 조사되어진 자료를 안정구, 불안정구의 2개의 그룹으로 나누고, 각종 산림환경인자를 설명변수로 하여 임도 절토사면 안정성에 대해 판별분석을 실시한 결과(Table 4), 임도비탈면 안정성 판단에 기여하는 인자는 식생피복도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 식생피복도가 증가할수록 강우의 지표면 도달량이 감소하고, 특히 식생뿌리에 의한 토양 긴박력(緊縛力)이 높아지는 것이 중요한 요인으로 판단되었다. 다음으로 산복, 활엽수, 불록사면(凸), 사면길이, 북쪽사면 순으로 나타났으며, 선택되어진 6개의 변수는 불안정구와 안정구를 구분하는 판별함수를 추정하는데 좋은 인자가 될 것으로 생각되었다. 井上 등(1982)은 사면길이가 짧을수록 식생 피복율이 높아지며, 사면 안정도 빨리 이루어져 식생피복도가 사면의 안정에 중요한 영향을 미치며, 특히 북향사면에서 침식발생률이 적게 발생한다고 하였다. 菊地와 横井(1973)은 일반적으로 불록사면(凸)이 오목사면(凹)보다 불안정

하다고 하였으며, 末吉 등(1985)은 사면의 방위와 사면의 안정은 유의한 관계가 있다고 보고하였다.

Table 4. Stepwise discriminant analysis for forest roads stability on cut slope

Step	Factors	Wilk's Lambda	Sig.	Label
1	X22	0.490	0.000	Coverage
2	X8	0.454	0.000	Middle
3	X24	0.427	0.000	Deciduous
4	X11	0.408	0.000	Convex
5	X14	0.383	0.000	Length of slope
6	X6	0.371	0.000	North

판별함수에 의한 정준상관계수는 0.793이었으며, 150개의 자료로부터 구한 표준화된 정준 판별함수를 근거로 한 상대적 기여도는 식생피복도, 산복, 활엽수림, 불록사면(凸), 사면길이, 북쪽사면의 순으로 나타났으며(Table 5), 식생피복도가 0.923으로 가장 기여도가 높았고, 북(N)사면이 -0.231로 가장 낮았다. 표준화 되지 않은 정준판별함수에 의한 추정식은 다음과 같다.

Table 5. Standardized and unstandardized coefficients by canonical discriminant function in each factors

Factors	Standardized	Unstandardized
Coverage	0.923	0.064
Middle	-0.395	-0.808
Deciduous	-0.236	-0.622
Convex	0.350	0.742
Length of slope	-0.348	-0.172
North	-0.231	-0.545
Constant		-1.019

Note) Eigenvalue = 1.699, Canonical corr. = 0.793, Wilk's Lambda = 0.371, $\chi^2 = 143.96$, Df = 6, p-value = 0.000

$$Y = -1.019 + 0.064X22 - 0.808X8 - 0.622X24 + 0.742X11 - 0.172X14 - 0.545X6$$

Table 7. Circumference vegetation of importance value and biological type in the cut slope of forest roads

Species	I.V.				Life form			
	'94	'95	'96	'97	L	D	R	G
<i>Carex humilis</i>	20.12	33.72	18.16	24.54	H	1	2	t
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	14.50	8.82	14.59	14.01	Thw	1	2	t
<i>Carex siderosticta</i>	16.13	3.55	4.47		H	1	3	t
<i>Athyrium nipponicum</i>	5.92	5.27		2.68	G	1	3	e
<i>Plantago asiatica</i>	2.82	2.64	6.55	3.51	H	1	3	r
<i>Bidens tripartita</i>		2.18		3.51	Th	2	5	e
<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	6.21	7.00	10.42	2.68	H	1	1	e
<i>Lysimachia barystachys</i>	2.52	2.64		2.68	Th	1	2	e
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	11.39		14.29	20.62	Thw	1	2	e
<i>Spodiopogon cotulifer</i>	8.29	6.18			H	1	3	t
<i>Ixeris dentata</i>			3.57	8.66	H	1	3	pr
<i>Oplismenus undulatifolius</i>	3.70		4.76		H	1	2	p
<i>Ligularia fischeri</i>		2.18	7.14		H	1	3	e
<i>Artemisia keiskeana</i>	2.82	2.64			H	1	3	e
<i>Commelina communis</i>		3.09			Th	4	4	p
<i>Patrinia scabiosaefolia</i>			7.14		Thw	4	2	e
<i>Persicaria hydropiper</i>				6.79	Th	1	5	e
<i>Erigeron annuus</i>				5.36	Th	1	5	r
<i>Erigeron canadensis</i>			4.47		Th	1	5	r
<i>Phytolacca esculenta</i>			4.47		G	4	5	e
<i>Setaria viridis</i>		3.55			Th	1	2	e
<i>Disporum smilacinum</i>	3.41				H	4	2	e
<i>Bidens biternata</i>				2.68	Th	2	4	e
<i>Astilbe chinensis</i> var. <i>dauidii</i>		2.64			Thw	1	3	b
<i>Nepeta cataria</i>		2.64			H	4	3	e
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>		2.64		2.27	H	1	5	e
<i>Rumex crispus</i>					Thw	3	1	e
<i>Syneilesis palmata</i>	2.22				Thw	1	4	e
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>		2.18			G	1	3	e
<i>Ainsliaea acerifolia</i>		2.18			H	1	3	e
<i>Hosta longipes</i>		2.18			HH	4	2	pr
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>		2.18			H	1	1	e

정준판별함수의 Wilk's Lambda는 0.371, χ^2 -값은 143.96, p-값은 0.000이므로 판별분석에 의해 선택되어진 6개 인자의 정준판별함수는 유의적이다. 안정구(2)와 불안정구(1)의 판별함수에 의한 각 조사구의 중심점(group centroids) 값은 각각 1.244와 -1.348로 나타났으며, 안정구와 불안정구에서 얻어진 평균, 분산을 이용하여 구한 판별구분치는 -0.1038이었다. 이 판별구분치를 기준으로 하여 이것보다 작은 판별구분치는 안정구(2), 이것보다 큰 판별구분치는 불안정구(1)로 판별한다.

전체 150개의 조사구에서 불안정구는 72개 중 66개가 판별됨으로서 91.7%의 적중율을 보였고, 안정구는 78개의 조사구 중 71개를 판별

시킴으로서 91.0%의 적중율을 보여 이들 불안정구, 안정구 양그룹의 전체적인 판별능력은 91.3%였다(Table 6). 강위평 등(1986)은 산사태 지역에서 72%의 적중율, 井上 등(1982)은 절취

Table 6. Classification of stability for forest roads by boundary value of discriminant

Group Conditions	No. of Cases	Predicted Group	
		1	2
Unstable	1	72	66
			91.7%
Stable	2	78	7
			9.0%
			71
			91.0%

Note) : Prediction rate of two groups is 91.3%

사면의 붕락 판별에 수량화방법을 이용하여 96%, 차두송과 지병윤(1999)은 수량화(II)이론을 이용하여 성토사면의 붕괴판별에서 87%의 적중율을, 임병준과 마호섭(1999)은 97.44%라는 높은 판별 적중율을 보고한 바 있다.

본 연구에서도 임도 절토사면의 안정성 판별에 91.3%의 적중율을 보여 임도 및 산사태사면 안정성에 대한 타 연구보고와 비교해 볼 때 비교적 높은 적중율을 보여, 앞으로 임도와 관련된 안정성평가에서 중요한 기초자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

3. 임도사면 주변 식생조사

임도면에 생육하고 있는 식생과 침입식생과의 관계를 분석하기 위하여 임도사면 주변의 식생분포를 조사한 결과(Table 7), 총 32종의 초본이 생육하고 있었으며, '94년 임도에서는 13종이

생육하고 있으며, 산거울(I.V : 20.12), 대사초(I.V : 16.13), 개밀(I.V : 14.50), 실새풀(I.V : 11.39), 기름새(I.V : 8.29) 등이 우점하고 있었다. '95년 임도에서는 20종의 초본류가 생육하고 있었고, 우점종은 산거울(I.V : 33.72), 개밀(I.V : 8.82), 억새(I.V : 7.00), 기름새(I.V : 6.18) 등이었다.

'96년 임도에서는 12종의 초본이 생육하고 있었으며, 산거울(I.V : 18.16), 개밀(I.V : 14.59), 실새풀(I.V : 14.29), 억새(I.V : 10.42) 등의 순서로 우점도가 높게 나타났고, '97년 임도에서는 13종의 초본류가 생육하고 있었고, 우점종은 산거울(I.V : 24.54), 실새풀(I.V : 20.62), 개밀(I.V : 14.01), 썸바귀(I.V : 8.66) 등이 우점하고 있었다.

4. 임도사면 침입 식생조사

임도 사면에 침입한 식생을 조사한 결과 (Table 8), '94년 임도에서는 13종이 생육하고 있

Table 8. Invasion vegetation of importance value and biological type on the cut slope of forest roads

Species	I.V.				Life form			
	'94	'95	'96	'97	L	D	R	G
<i>Carex humilis</i>	40.87	12.98	43.75	25.02	H	1	2	t
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	8.12	17.29	13.59	23.77	Thw	1	2	t
<i>Spodiopogon cotulifer</i>	8.12	7.88	3.48		H	1	3	t
<i>Carex siderosticta</i>	7.37	4.82		3.26	H	1	3	t
<i>Ixeris dentata</i>	5.51		3.48	7.76	H	1	3	pr
<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	3.88	8.62		9.76	H	1	1	e
<i>Plantago asiatica</i>	3.50			3.26	H	1	3	r
<i>Athyrium nipponicum</i>		3.80		5.88	G	1	3	e
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	3.88		6.63	9.01	Thw	1	2	e
<i>Bidens tripartita</i>		4.31		5.88	Th	2	5	e
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	3.13	4.82			H	1	1	e
<i>Lysimachia barystachys</i>	3.50	3.80			Th	1	2	e
<i>Oplismenus undulatifolius</i>	3.13		3.48		H	1	2	p
<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>trisperma</i>	3.13		3.48		H	3	5	l
<i>Bidens biternata</i>			3.48		Th	2	4	e
<i>Erigeron canadensis</i>			9.13		Th	1	5	r
<i>Phytolacca esculenta</i>			5.98		G	4	5	e
<i>Ligularia fischeri</i>	5.88				H	1	3	e
<i>Pteridium aquilinum</i>		4.82			G	1	3	e
<i>Ainsliaea acerifolia</i>		4.82			H	1	3	e
<i>Commelina communis</i>		4.82			Th	4	4	p
<i>Hosta longipes</i>		4.81			HH	4	4	pr
<i>Artemisia keiskeana</i>		4.31			H	1	3	e
<i>Disporum smilacinum</i>		4.31			H	1	3	pr
<i>Syneilesis palmata</i>		3.80			Thw	1	4	e
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>			3.48		H	1	5	e
<i>Erigeron annuus</i>				3.26	Th	1	5	r
<i>Patrinia scabiosaefolia</i>				3.26	Thw	4	2	e

었고, 주변식생에서 볼 수 없었던 곶취(I.V : 5.88), 씬바귀(I.V : 5.51), 새콩(I.V : 3.13) 등 4종이 새롭게 침입하여 생육하고 있었으며, 산거울(I.V : 40.87), 개밀(I.V : 8.12), 기름새(I.V : 8.12), 대사초(I.V : 7.37) 등이 우점도가 높게 나타났다. '95년 임도에서는 16종이 생육하고 있었으며, 애기나리(I.V : 4.31), 우산나물(I.V : 3.80) 등 2종이 침입하여 생육하고 있었고, 개밀(I.V : 17.29), 산거울(I.V : 12.98), 억새(I.V : 8.62), 기름새(I.V : 7.88) 등이 우점도가 높았다. '96년 임도에서는 11종이 생육하고 있었으며, 기름새(I.V : 3.48), 새콩(I.V : 3.48), 털도깨비 바늘(I.V : 3.48) 등 4종이 침입하여 생육하고 있었고, 산거울(I.V : 43.75), 개밀(I.V : 13.59), 실새풀(I.V : 6.63), 자리공(I.V : 5.98) 등이 우점도가 높게 나타났다.

'97년 임도에서는 11종이 생육하고 있었으며, 마타리(I.V : 3.26) 1종이 침입하여 생육하고 있었고, 산거울(I.V : 25.02), 개밀(I.V : 23.77), 억새(I.V : 9.76), 실새풀(I.V : 9.01) 등이 우점도가 높았다.

임도사면에 침입·생육하고 있는 식생을 조사하여 우점도를 비교분석한 결과, 조사지의 임도사면은 시간이 경과할수록 침입종의 개체수 및 피복율이 증가하여 사면이 안정화되어 가는 경향을 보였고, 특히 일부 초본을 제외하고는 임도사면 주변에서 우점하고 있는 초본류가 비탈면에서도 우점도가 높은 것으로 나타나 임도 개설지 주변에 종자가 細粒이면서 飛散하기 쉬운 초본류가 많을수록 사면의 식생 피복율은 증가할 것으로 판단되었다(江崎와 藤久, 1988).

5. 식생피복도와 환경인자간의 관계분석

임도사면 식생피복도와 산림환경인자와의 관계를 상관분석한 결과(Table 9), 식생피복도는 산복, 경과년수와 5%수준에서 正의 상관관계를 나타내었다. 이는 임도개설 후 경과년수가 증가할 수록 주변에서 생육하는 식생의 침입으로 임도사면의 식생피복도가 증가하였다고 보고한 전근우와 오재만(1995)의 연구결과와 유사한 결과였다. 또한 식생피복도는 북쪽사면과도 5%수

준에서 正의 상관을 보였는데, 이는 임도개설시 임목벌채에 의한 사면의 노출과 직접적인 햇빛의 영향으로 토양이 건조되어 식생침입에 불리한 조건을 가지는 사면과는 달리 북사면은 직접적인 햇빛의 영향을 적게 받아 식생침입에 좋은 조건을 가지는 것으로 판단되었다.

Table 9. Correlation coefficient analysis between variables and coverage in the cut slope of forest roads

Variables	Coverage	Significance	
Altitude	-0.3164*	0.0122	
Aspect of slope	┌ East	-0.1651	0.1996
	┌ West	-0.0917	0.4786
	┌ South	-0.0696	0.5911
	┌ North	0.2746*	0.0308
Position of slope	┌ Upper	-0.3352**	0.0077
	┌ Middle	0.2560*	0.0446
	┌ Lower	0.1261	0.3287
Shape of slope	┌ Concave	0.0605	0.6404
	┌ Convex	-0.0344	0.7906
	┌ Straight	-0.0427	0.7415
Degree of slope	-0.1553	0.2282	
Length of slope	-0.1495	0.2462	
Soil hardness	0.0414	0.7495	
Soil texture	┌ Sand	0.2194	0.0867
	┌ Sandy loam	-0.0794	0.5397
	┌ Loam	-0.0752	0.5614
Rock	┌ Hard	0.0376	0.7718
	┌ Soft	-0.2166	0.0908
	┌ None	0.1220	0.3448
Forest type	┌ Coniferous	-0.0089	0.9454
	┌ Deciduous	0.0045	0.9723
	┌ Mixed	0.0163	0.9002
Stone amount	0.0019	0.9882	
Soil depth	-0.7166	0.5800	
Passage year	0.2511*	0.0490	

Note) ** Means statistically significant at 1% level and * means statistically significant at 5% level

식생피복도에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위하여 단계별 회귀분석을 실시한 결과(Table 10), 표고, 경과연수, 無(암), 혼효림, 석력 함량으로 나타났으며, 회귀방정식은 = 17.5228 - 0.0911X3 + 3.6189X28 - 15.8493X22 - 19.8544X25 + 0.3558X26 (R2=0.4026)였다. 이는 박문수(1996), 정용호와 김재현(1994)이 절토비탈면의 식생피복도에 설명력을 가지는 인자로 제시한 개설년

도, 표고 등의 인자와 유사함을 볼 수 있었다.

Table 10. Stepwise regression analysis for coverage in the cut slope of forest roads

Variables	Model R ²	Regression coefficient	Standard Error	F	Prob > F
		17.5228	3.5275	24.68	0.0001
Altitude	0.1949	-0.0911	0.0185	24.20	0.0001
Passage year	0.2480	3.6189	0.9879	13.42	0.0006
None	0.3014	-15.8493	4.6888	11.43	0.0013
Mixed	0.3622	-19.8544	7.4693	7.07	0.0102
Stone amount	0.4026	0.3558	0.1828	3.79	0.0566

IV. 結 論

임도 절토사면에서 산림환경 및 도로구조인자를 조사하여 토양침식과 사면안정, 식생침입과 천이과정을 분석하기 위하여 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 사면침식량과 환경인자와의 관계를 상관분석 한 결과, 표고, convex(凸)형, 사면경사, 사면길이, 토심과는 正의 관계를, concave(凹)형과 토양경도와는 負의 상관관계를 보였고, 단계별 회귀분석한 결과 사면길이와 토양경도로 나타났으며, 회귀방정식은 $= -89.6136 + 15.0667X14 + 16.6713X15$ ($R^2=0.6712$)였다.

2. 단계별 판별분석에서 사면안정성에 기여하는 인자는 식생피복도, 산복, 활엽수, 불록사면(凸), 사면길이, 북쪽사면으로 나타났으며, 표준화 되지 않은 정준판별함수에 의한 추정식은 $Y = -1.019 + 0.064X22 - 0.808X8 - 0.622X24 + 0.742X11 - 0.172X14 - 0.545X6$ ($R^2=0.793$)였다.

3. 판별함수에 의한 안정구(2)와 불안정구(1)의 중심점(centroid value) 값은 각각 1.244와 -1.348로 나타났으며, 평균, 분산을 이용해 구한 판별구분치는 -0.1038이었고, 판별구분치에 의해 적중율은 불안정구는 72개 중 66개, 안정구는 78개 중 71개가 판별됨으로서 각각 91.7%, 91.0%의 적중율을 보였고, 양그룹의 전체적인 적중율은 91.3%로서 비교적 높은 판별능력을 보였다.

4. 침입식생을 조사한 결과, 우점종은 산겨울, 개밀, 실새풀, 기름새, 역새 등으로 조사되었고, 일부 초본을 제외하고는 임도사면 주변에서 우점도가 높은 초본류와 동일하였으며, 특히 시간이 경과 할수록 사면 식생피복도도 증가하였다.

5. 침입식생의 생활형은 休眠型은 半地中植物(H), 散布器官型은 風水散布(D₁), 地下器官型은 적당한 범위 및 모체에 가까운 根莖植物(R_{2,3}), 生育型은 直立型(e)을 보여 H-D₁-R_{2,3}-e type을 보였고, 임도면에 생육하고 있는 초본류의 생활형과 동일한 생활형을 나타내고 있었다.

6. 식생피복도와 환경인자간의 관계를 상관분석한 결과, 북쪽사면과 경과연수 및 산복에서 正의 관계를 나타내었고, 단계별 회귀분석을 실시한 결과 표고, 경과연수, 無(암), 혼효림, 석력함량으로 나타났으며, 회귀방정식은 $17.5228 - 0.0911X3 + 3.6189X28 - 15.8493X22 - 19.8544X25 + 0.3558X26$ ($R^2=0.4026$)였다.

引用 文 獻

- 姜渭平 · 村井宏 · 大村寬 · 麻鎬燮. 1986. 數量化(II)에 의한 山沙汰 斜面的 危險度 判別. 韓國林學會誌 75 : 32-37.
- 權台鎬. 1987. 道路構造 및 立地要因이 林道の 路面浸蝕에 미치는 影響에 關한 研究. 서울大學校 博士學位論文. 39pp.
- 金鍾閔 · 李海周 · 李鳳洙 · 吳世元. 1990. 數量化에 의한 林道 被害原因 分析. 林研研報 39 : 126-134.
- 麻鎬燮 · 張漢晟 · 朴文秀. 1994. 林道斜面에 있어서 植生侵入의 初期過程. 경상대 농업 자원연보 28 : 41-53.
- 麻鎬燮 · 朴文秀 · 全權石. 1995. 林道斜面의 植生侵入에 關한 研究 Ⅱ. 蓬양 임도를 대상으로 . 경상대 연습림 연보 5 : 39-56
- 朴文秀. 1996. 道路構造 및 山林環境因子가 林道 비탈면의 植生侵入과 土壤浸蝕에 미치는 影響慶尙大學校 博士學位論文. 125pp
- 李峻雨. 1987. 林道에 있어서 切取斜面的 安定

- 性 分析에 관한 연구. 서울대학교 碩士學位論文. 43pp.
- 任慶彬·朴仁協·李景宰. 1980. 京畿道地方 赤松林의 植物社會學적 研究. 韓國林學會誌 50 : 56-71.
- 林炳俊·麻鎬燮. 1999. 花崗巖地域의 山林環境 및 道路構造因子가 林道の 安定성에 미치는 影響. 韓國環境復元綠化奇術學會誌 2(3) : 83-92.
- 吳在萬. 1990. 林道斜面の 崩壞에 관한 研究. 江原大學校 碩士學位論文. 24pp.
- 禹保命·李峻雨. 1987. 林道切取斜面の 植物被覆도에 미치는 因子들의 影響. 서울大演習林報告 23 : 47-56.
- 全權雨·吳在萬. 1992. 林道斜面の 土砂流出과 植生侵入에 관한 研究(I) 切土斜面の 木本植物侵入에 대하여 . 江大演研報 12 : 39-58.
- 程龍鎬·金在憲. 1994. 切開斜面 綠化工을 위한 鄉土種 選拔. 林研研報 49 : 110-120.
- 鄭道鉉. 1994. 林道構造 및 降雨特性이 土壤浸蝕 및 土砂流出에 미치는 影響. 서울대학교 碩士學位論文. 110pp.
- 鄭源玉·麻鎬燮. 1997. 임도의 절토사면에 있어서 토사유출량의 평가. 경상대 農漁村開發研報. 16 : 7-15.
- 江崎次夫·藤久正文. 1988. 林道のり面の植生遷移について-侵入木本植物とのり面土壤化-. 愛媛大 演習林報告 13(9) : 1-10.
- 井内祥人. 1980. 奄美大島における林道の法面崩壊. 第15回林道研究發表會論文集 : 31-39.
- 井上源基·福原光正·福田章史·市原恒一. 1982. マサ土切取法面の崩落ベターソとその要因. 第34回日本林學會關東支部大會論文集 : 261-262.
- 沼田 眞. 1987. 植物生態學論考. 東海大學出版部, 東京. 275pp.
- 小橋 澄治. 1982. のり面での植生生長とその變化豫測手法の研究(第2報). 斜面綠花研究 4 : 1-16.
- 菊地政泰·横井正美. 1973. 林道の法面崩壞に關する研究(1) 調査方法及びその實態 . 林業試驗場研究報告 313 : 175-208.
- 吉田博宣. 1982. 路面切取りのり面の含水量の推定. 日本林學會誌 64(9) : 352-355.
- 吉村哲彦·赤羽 元·神崎康一. 1995. Fuzzy理論を用いた林道のり面の崩壞危險度判定法. 森利學誌. 10(3) : 195-204.
- _____ · _____ · 宮崎裕之 · 神崎康一. 1996. Fuzzy積分による林道のり面の崩壞危險度判定法. 森利學誌. 11(3) : 165-172.
- 佐佐木功. 1982. 林道建設が自然植生, 景觀, 土砂生産量に及ぼす影響とその對策に關する研究. 文部省科學研究報告書. 167pp.
- 末吉幸滿·仲地本志·安里練雄. 1985. 林道法面植生の推移と環境條件の關係. 第20回治山林道研究發表會論文集 : 289-297.
- Raunkiar, C. 1934. The life form of plant and statistical plant geography. Clarendon Press, Oxford. 633pp.

接受 2001年 5月 15日