

화강암지역의 산림환경 및 도로구조인자가 임도의 안정성에 미치는 영향

임병준¹⁾ · 마호섭²⁾

¹⁾경북산림환경연구소 · ²⁾경상대학교 산림과학부

Effects of Forest Environmental Factors and Forest Road Structures on the Stability of Forest Road in Granite Areas

Yim, Byung-Jun¹⁾ and Ma, Ho-Seop²⁾

¹⁾Institute of Forest Environment, Kyongbuk

²⁾Faculty of Forest Science, Gyeongsang National University

ABSTRACT

To investigate the influence of forest road characteristics and site conditions on the stability of forest-road in granite area, four forest roads had been selected in Kyongbuk regions. The total of 13 road characteristic variables were evaluated by the discriminant analysis.

The factors influencing the stability of forest road were bed rock, slope length, coverage, hardness, side-ditch erosion and road width. But aspect and soil texture were not significant for the stability in this area. In the correlation between forest environment and road structure, hardness and bed rock was highly significant in stability group, and coverage and side-ditch erosion was highly significant in instability group. 75 of 175 segments were instable whereas the others were stable.

The centroids value by discriminant function in the stability and instability were estimated to 3.0585 and -1.9116, respectively. The stability criterion of forest road was discriminated from the centroids value of the each group. The main factors contributing the stability of forest road were significant in order of side-ditch erosion, coverage, soil texture, elevation, gradient, slope length and construction year. The prediction rate of discriminant function for stability evaluation of forest road was as high as 97.44%.

In conclusion, the forest road structure factors such as length, coverage and slope gradient were controlled by construction techniques. If the factors like those should be considered in design, construction and forest road management, the stability of forest road may increase more. And also, it is necessary to take slope protection measures like small terraces and retaining walls for stability of cut slope.

Key words : *forest road, road structure, stability, discriminant analysis*

I. 緒 論

임도는 삼림을 종합적이고도 집약적인 임업 경영을 위한 주요한 기반 시설로서 각종 임산물의 반출 수단으로서 뿐만 아니라 삼림의 보육에 필요한 인력 및 기계력의 능력을 증대시키고, 산림 재해에 대해 신속히 대처할 수 있게 한다. 또한 산촌지역의 진흥에 기여하는 도달 도로 및 방화선 역할과 같은 다양한 기능으로 오늘날 임업에 있어서는 필수 불가결한 것이다. 특히, 1983년 이후 임도의 중요성과 필요성에 대한 인식이 더욱 심화되면서 임도의 신설이 급속히 확대되고 있다. 그러나 임도개설은 매년 확대되고 있는 추세이지만, 한정된 예산 등으로 인하여 임도시공에 따른 충분한 부대시설이나 안정공사가 함께 실시되지 못하고 있기 때문에 임도 시공후 불안정한 지반이나 토층에서는 강우로 인한 사면의 붕괴 및 노면의 침식량이 많다. 이러한 침식토사의 방치와 노면으로 유입되는 물에 대한 부적절한 배수 등은 노면유실 및 산사태 발생의 원인제공으로 환경측면에서도 많은 문제를 야기시키고 있는 실정이므로 임도설계, 유지 및 관리측면에 있어서 절토 및 성토사면의 안정성이 중요한 과제로 지적되고 있다. 임도의 절토사면의 안정을 위하여 임도 구조인자 즉, 시공기술로서 조정이 가능한 요인인 사면길이, 식물 피복도, 사면경사도 등은 노선의 설계, 시공 및 유지관리에 적절한 작업을 통하여 임도에 의한 재해를 예방할 수 있을 것으로 생각한다. 특히, 최근에 많이 대두되고 있는 환경친화적인 임도개설을 유도하고 임도의 노면침식과 절토 및 성토사면의 안정성을 유지할 수 있도록 임도노선의 선정 및 설계시 적절한 새로운 녹화공법 및 사면관리기법의 도입도 절실하다.

임도재해를 沂藤 等(1983)은 5가지로 구분하고, 路面유하수와 절취사면의 붕괴에 의한 것이 대부분이라고 하였고 小橋 等(1979)과 伏見 等(1980; 1981)은 화강풍화토 지역에서 조성된 절취 사면이 우수, 상주 및 바람 등에 의해 생기는 침식과 붕괴는 매우 심각하다고 하였다.

Swift(1984)는 노면재료의 유무와 종류에 따른 임도노면 침식량을 측정하고 표면처리 방법에 따라 평균 토양침식율에 차이를 보인다고 하였다. Haupt(1959)는 노면유하량과 유하속도에 종단물매가 유의하게 관여한다고 보고하였으며, Burroughs et al(1985)은 토양침식을 감소시키기 위하여 초류나 자갈의 가치를 평가한 보고도 있다. 酒井 等(1982), 伏見(1980) 및 峰松 等(1982)은 임도의 노면침식에 횡단배수구의 간격이 대단히 중요하다고 지적하였으며, 中尾(1980, 1981, 1983)는 절토사면의 길이에 의한 집수구역 면적, 추구의 유지 상태 등이 임도의 안정성에 현저한 영향을 미친다고 하였다.

특히, 임도침식 및 사면안정의 문제는 단순하지 않고 종합적인 현상이므로, 이러한 복합적인 영향을 정확하게 파악하기 위해서는 고도의 통계적 수법을 많이 응용하였다. McChasion과 Rice(1985)는 임도와 관련한 침식량에 대하여 판별분석을 시도한 바 있으며, 權(1987)은 종단물매 등 8종의 변수를 조합한 판별함수를 이용하여 임도 노면침식량을 판별분석한 바 있고, 李(1987)는 절토사면의 안정성에 대하여 판별분석을 응용하였다. 또한, 麻(1994)는 산사태 사면의 안정성 판별에서 83.5%의 적중율을 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 화강암지역을 대상으로 도로구조 및 산림환경인자를 조사하여 최근 문제가 되고 있는 임도의 노면침식 및 절토사면의 안정성에 영향을 미치는 특성을 분석하여 임도노선의 선정, 설계, 시공, 유지 및 관리 등 환경친화적인 임도개설에 적절히 응용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 材料 및 方法

1. 조사대상지의 개황

경북지방을 중심으로 1989~1995년 사이에 개설된 임도를 대상으로 設計書 및 關係資料를 이용하여 그 중에서 開設年度 및 地域의 分布 등을 고려하여 적합하다고 판단되는 봉화군 물야면, 김천시 대덕면, 상주시 내서면 및 문경시가은읍 지역의 4개 임도노선에 대하여 식생의

생육상황이 왕성한 6~7월 사이에 걸쳐서 조사하였다.

본 조사대상지의 토양은 화강암에서 풍화된 마사토로 되어 있고, 비교적 경사가 급하기 때문에 강우시 쉽게 유실되어 임도비탈면 및 노면에 많은 침식 및 붕괴위험성이 높은 것으로 평가되는 지역으로서 총 임도의 연장길이는 15.53Km이며, 일반적인 林道狀況은 表 1과 같다.

Table 1. General descriptions of forest roads in survey area

Road name	Location	Constructed year	Total distance (km)	Remarks
Mulya	Ojeon-ri, Mulya-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	1990	4.89	
Daeduk	Hwajeon-ri, Daeduk-myon, Kimcheon-si, Kyongbuk	1995	2.3	
Neseo	Seowon-ri, Neseo-myon, Sangju-si, Kyongbuk	1989	2.2	
Gaeun	Galpyong-ri, Gaeun-myon, Munkyong-si, Kyongbuk	1992	6.14	

Note : Road name given for convenience sake of author.

2. 研究方法

각 임도에 대해서 노선측량의 기본 단위인 20m를 1개의 조사구로 하여 총 195개 조사구에 대하여 조사를 수행하였다. 현지조사시 각 임도로선의 平面圖, 縱斷面圖, 橫斷面圖 등의 설계자료와 地形圖(1/50,000, 1/25,000 및 1/5,000) 및 地質圖(1/50,000) 등을 준비하여 도면해석을 하였으며, 또한 각 항목을 조사하기 전에 노선상태를 사진촬영하여 내업시 보조해석 자료로 활용하였다. 임도의 안정성에 따른 인자상호간의

차이가 있는가를 검정하기 위하여 양적인 자료에는 Behrens-Fisher의 T-test를 하였으며, 질적인 자료에는 χ^2 -test를 실시하였다. 또한, 임도의 안정성에 영향을 주는 인자들간의 연관성을 알아보기 위하여 7개의 도로구조인자와 6개의 산림환경인자를 설명변수로 이용하였고, 安定區와 不安定區 2개의 그룹으로 구분하여, 이들 그룹의 판별에 유의적인 인자들과 임도의 안정성을 평가하기 위하여 단계별판별분석(stepwise discriminant analysis)을 실시하였다. 조사 항목은 임도의 안정성과 도로구조 및 산림환경인자로 구분하였으며, 그 내용 및 방법은 다음과 같다.

1) 안정구와 불안정구의 판정

절토사면의 표면침식의 정도와 붕괴정도 및 측구의 침식여부에 따라서 안정구와 불안정구로 나누었다. 安定區는 淚溝(rill)나 溝谷(gully)의 발생이 없고, 측구가 매몰된 흔적이 없어 침식 및 붕괴의 위험성이 아직 없는 경우로 하였으며, 不安定區는 표면침식 및 붕괴가 발생하여 사면 하부로 토사가 퇴적한 경우로 하였다.

2) 도로구조 및 산림환경인자

임도의 도로구조는 비탈의 전반적인 형상을 나타내는 것으로 임도개설시 설계대상에 중요한 요소이다. 임도주변 절토비탈의 산림환경 및 도로구조인자의 조사항목은 아래와 같다.

- A. 경과년수 : 임도개설 후 조사일시까지의 경과년수를 조사하였다.
- B. 표고 : 고도계 및 지형도를 이용하여 각 조사구간의 표고(m)를 구하였다.
- C. 방위 : 컴퍼스를 이용하여 임도사면을 4개의 방위로 구분하였다.
- D. 비탈길이 : 측구로부터 상부 비탈어깨까지의 직선거리(m)를 측정하였다.
- E. 식생피복도 : 임도 절토사면에 설치한 1 × 1m의 조사구 내에서 식생피복도를 측정하기 위하여 비탈을 상, 중, 하로 구분하고, 특별히 제작한 격자틀을 사용하여 각각의 식생피복도(%)를 측정하였다.

- F. 토양경도 : 山中式 토양경도계를 이용하여 임도비탈의 토양경도(kg/m²)를 측정하였다.
- G. 모암 : 지질도 및 현장조사를 통하여 조사하였다.
- H. 토성 : 조사구의 대표토양을 비탈면 상, 중, 하지점에서 400g씩 채취한 뒤 미농무성 분류법에 의하여 구분하였다.
- I. 측구나비 : 현 상태의 측구나비를 측정하였다.
- J. 사면경사 : 경사계를 사용하여 절토사면의 평균경사도를 측정하였다.
- K. 종단물매 : Hand Level을 이용하여 조사구의 임도 중심선의 물매(%)를 측정하였다.
- L. 측구침식상태 : 측구길이 20m를 1개 조사구로 하여 측구매몰에 따른 침식상태를 단면적과 길이를 이용한 양단면평균법에 의하여 측구침식량을 측정하였다.
- M. 노폭 : 각 조사구간의 평균노폭을 측정하였다.

등의 양적인 인자에 대하여 임도의 안정성(안정구와 불안정구)에 관계가 있는가를 알아보기 위하여 Behrens-Fisher의 T-test를 이용하였다.

Table 2는 임도구조인자와 산림환경인자에 있어서 안정구와 불안정구의 차이점에 대한 유의성 검정 결과를 요약한 것이다.

Table 2에서 피복도, 경도, 측구나비, 측구침식량 및 노폭의 인자는 1%수준에서 유의성이 나타나고 있다. 특히, 절토사면에 거적덮기 또는 net를 비탈 사면에 피복하고 seed spray방법으로 녹화를 함으로써 사면 피복도를 높이는 것이 임도의 안정성을 높이는 중요한 요인으로 생각된다. 사면길이에 있어서 불안정구($\bar{X}=7.472$)와 안정구($\bar{X}=6.451$)의 차이유무에 대한 유의성 검정 결과 p 값이 0.012이므로 유의하게 나타났다. 따라서 사면길이에 따라 임도가 안정성에 영향을 받는 것으로 보아 사면길이가 길수록 안정성에 문제가 있는 것으로 나타났다. 임도비탈의 길이와 관계에 대하여 新谷(1984), 前田(1989), 本間(1989), Swift(1984) 등은 비탈 길이가 짧을수록 자연식생의 천이가 용이하다고 하였다. 中尾(1980, 1891, 1983)는 절토사면의 길이에 의한 집수구역 면적, 측구의 유지 상태 등이 임도의 안정성에 현저한 영향을 미친다고 하였다.

일반적으로 국도나 고속도로의 비탈에서는 3~5m 간격으로 소단을 깔고 있지만 임도에서

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 산림환경 및 도로구조인자와의 상관성

1) 量的인 因자의 검정

임도의 도로구조인자인 사면길이, 피복도, 측구나비, 사면경사, 종단경사, 측구침식량 및 노폭과 산림환경인자인 년도, 표고 및 토양경도

Table 2. Significant test of two groups by Behrens-Fisher method

Variables	Unstable		Stable		t-value	p-value
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
X1 Year	4.680	1.377	4.342	1.601	1.57	0.119
X2 Altitude	548.933	229.603	498.917	184.977	1.59	0.114
X4 Length	7.472	3.049	6.451	2.120	2.54	0.012
X5 Coverage	1.987	5.689	38.600	23.094	16.58	0.000
X6 Hardness	2.987	4.441	5.408	7.552	2.82	0.005
X9 Side ditch	0.871	0.455	1.250	0.330	6.27	0.000
X10 Grade	46.747	5.420	44.625	7.975	2.21	0.284
X11 Slope	8.493	4.697	8.275	4.410	0.32	0.747
X12 Erosion	6.124	1.267	1.035	0.980	29.67	0.000
X13 Width	4.241	0.519	4.588	0.447	4.77	0.000

는 소단을 끊는 곳이 없으며, 규모가 큰 비탈은 기존 수목에 의하여 차단되기 어려워 원거리에서도 경관상의 문제를 야기시킬 수 있고, 또한 비탈길이 5m 이상의 큰 비탈에서는 반드시 소단을 끊어 표목을 식재하는 것이 임도의 안정성을 더욱 높일 수 있을 것이므로 임도개설시 적절하게 활용할 필요성이 있다. 그러나 년도, 표고, 사면경사 및 종단경사는 유의적인 차이가 없는 것으로 나타나고 있는데 이는 조사구역이 비교적 암반지역이 많아서 강우시에 큰 영향을 받지 않았는 것으로 사료된다. 특히, 마사토 지역에서는 풍화작용으로 측구가 매몰되는 경향이 많았으므로 임도의 안정성을 높이기 위해서는 절토사면의 경사를 40° 미만으로 낮추는 것이 매우 중요함을 알 수 있었다.

2) 質的인 因子의 검정

질적인 인자인 방위, 암반 및 토성이 林道の安定性에 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 χ^2 -검정(χ^2 -test)을 실시하고 유의성을 검정하였으며, 이들 자료의 조사 및 검정결과를 보면 다음 Table 3, 4 및 5와 같다.

Table 3. χ^2 -test between soil texture and stability

Count Row Pct Col Pct Tot Pct	Stability		Row Total
	Unstable 1.00	Stable 2.00	
Soil texture	1.00 Sand	65 (59.1) (54.2) (23.1)	110 (56.4)
	2.00 Sandy loam	55 (64.7) (45.8) (28.2)	85 (43.6)
Column Total	75 (38.5)	120 (61.5)	195 (100.0)

Note : $\chi^2 = 0.424$, p-value = 0.515

Table 3에서 토성에 의한 안정구와 불안정구의 검정결과 불안정구에서 사토는 45개소, 사양토는 30개소로서 총 38.5%를 보였으며, 안정

구에서는 사토가 65개소, 사양토가 55개소로 총 61.5%로 나타났다. 市原(1981)은 토질별로 表面浸蝕量에 차이를 나타내며, 점토의 함유율에 따라 많은 차이가 있다고 보고한 바 있으나 본 연구지역에서 임도의 안정성을 검정한 결과 p-값이 0.515이므로 유의적이라고 할 수 없었다. 특히, 본 지역은 대부분 화강암에서 풍화된 마사토 지역으로서 동일한 토성을 나타내므로 토성이 林道の安定性에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 4. χ^2 -test between aspect and stability

Count Row Pct Col Pct Tot Pct	Stability		Row Total
	Unstable 1.00	Stable 2.00	
North	20 (39.2) (26.7) (10.3)	31 (60.8) (25.8) (15.9)	51 (26.2)
	East	12 (34.3) (16.0) (6.2)	23 (65.7) (19.2) (11.8)
West		27 (39.7) (36.0) (13.8)	41 (60.3) (34.2) (21.0)
	South	16 (39.0) (21.3) (8.2)	25 (61.0) (20.8) (12.8)
Column Total		75 (38.5)	120 (61.5)

Note; $\chi^2 = 0.320$, p-value = 0.956

방위가 임도의 안정성에 영향이 있는가를 평가하기 위하여 유의성을 검정한 결과는 Table 4와 같다. Table 4에서 방위별의 분포는 불안정구중 북사면 20개소, 동사면 12개소, 서사면 27개소 및 남사면 16개소로서 총 38.5%를 보였고, 안정구에서는 북사면 31개소, 도사면 23개소, 서사면 41개소 및 남사면 25개소로 총 61.5%를

보였다. 사면방위와 임도의 안정성을 검정한 결과 p-값이 0.956으로 방위가 임도의 안정성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

모암의 성질이 임도의 안정성에 영향이 있는가를 평가하기 위하여 유의성을 검정한 결과는 Table 5와 같다. 모암의 성질에 따르면 불안정구는 비암석지대 58개소, 연암 14개소 및 경암 3개소로 나타났으며, 안정구에서는 비암석지 79개

소, 연암 17개소 및 경암 3개소로 나타났다. 모암의 성질과 임도의 안정성을 검정한 결과 p-값이 0.007이므로 유의적이었으며, 또한 이 두 변수의 연관성을 나타내는 Contingency coefficient가 0.221로 비교적 높게 나타나 암반이 임도의 안정성에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 朴 等(1992)은 토질의 구성 상태에 따라 경암에서는 목본식생의 침입이 많고, 개체수는 적으나 정착하기 쉽고 안정되어 있다고 한 반면, 연암과 토사 비탈에서는 반대의 경향을 보이면서 식생의 침입과 붕락을 반복하며 비탈의 완구배화가 진행되고 있다고 하였다. 특히, 이러한 급경사 마사토 지역에서는 풍화작용 및 붕락으로 측구가 매몰되는 경향이 많았으므로 임도의 안정성을 높이고, 환경친화적인 임도를 시설하기 위하여 절토사면에 대한 옹벽 및 석축 등 구조물의 시설이 필수적임을 알 수 있다.

산림환경 및 도로구조인자간의 상관성을 분석한 결과 Table 6 및 7과 같다. Table 6은 불안定區內에서 各 因子間의 상관을 나타낸 것으로서 경도와 모암과의 상관계수가 0.7932로 가장 높게 나타났으며, 이것은 각 조사구가 동일한 모암으로 구성되어 있기 때문으로 생각되며, 다음은 피복도가 측구침식량과의 상관계수가 0.6668로 높게 나타났는데 이것은 대부분의 지역이 마사토로 형성되어 있어 식생생장에 불

Table 5. χ^2 -test between bed rock and stability

Count Row Pct Col Pct Tot Pct	Stability		Row Total	
	Unstable 1.00	Stable 2.00		
Bed rock	1.00 None	58 (42.3) (77.3) (29.7)	79 (57.7) (65.8) (40.5)	137 (70.3)
	2.00 Soft rock	14 (45.2) (18.7) (7.2)	17 (54.8) (14.2) (8.7)	31 (15.9)
	3.00 Hard rock	3 (11.1) (4.0) (1.5)	24 (88.9) (20.0) (12.3)	27 (13.8)
Column Total	75 (38.5)	120 (61.5)	195 (100.0)	

Note : $\chi^2 = 9.99003$, p-value = 0.0068

Table 6. Correlation coefficient between each factors and unstable group

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X1 YEAR	1.0000												
X2 ALTITUDE	-.0002	1.0000											
X3 ASPECT	.4031**	-.0775	1.0000										
X4 LENGTH	-.3659**	.0488	-.1990	1.0000									
X5 COVERAGE	.0564	-.1563	.2049	-.1492	1.0000								
X6 HARDNESS	-.1609	-.0734	.0798	.1800	.3102*	1.0000							
X7 BED ROCK	-.2154	-.1580	-.0323	.2178	.2439	.7932**	1.0000						
X8 SOIL	-.2865*	-.2098	-.1386	.1558	.1464	.3696**	.5185**	1.0000					
X9 SIDE DITCH	-.0238	-.4337**	.1890	.0323	.2176	.1506	.1679	.0048	1.0000				
X10 CUT SLOPE	-.2590	.0401	-.1241	.0382	-.2135	.2471	.1560	.1294	-.2360	1.0000			
X11 GRADIENT	.2754*	-.0944	.2722*	-.1510	.0382	-.0991	-.0646	-.1272	.3591**	-.2105	1.0000		
X12 EROSION	-.0993	.3359*	-.0966	.1503	-.6668**	-.3853**	-.3729**	-.2577	-.3053*	.0876	-.0122	1.0000	
X13 WIDTH	.2115	-.1647	.0279	.0425	-.0433	-.0408	.0430	.0823	.3318*	-.0284	.2247	-.1485	1.0000

Note : 1-tailed Sig. * (p≤0.01), ** (p≤0.001)

Table 7. Correlation coefficient between each factors and stable group

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X1 YEAR	1.0000												
X2 ALTITUDE	-.0467	1.0000											
X3 ASPECT	.2331*	-.2572*	1.0000										
X4 LENGTH	-.1755	.1539	-.0053	1.0000									
X5 COVERAGE	.0508	-.0754	-.0043	-.3115**	1.0000								
X6 HARDNESS	-.0471	-.0660	.2363*	.2744*	-.4220**	1.0000							
X7 BED ROCK	-.0533	-.0494	.2236*	.3491**	-.4316**	.9550**	1.0000						
X8 SOIL	-.1522	-.0645	.1153	.2425*	-.1324	.3426**	.4198**	1.0000					
X9 SIDE DITCH	-.2859**	-.0060	.0934	.0274	-.0182	-.1035	-.1025	-.1453	1.0000				
X10 CUT SLOPE	-.2077	-.0290	.0641	.1298	-.4371**	.6442**	.6365**	.2582*	-.0488	1.0000			
X11 GRADIENT	.3925**	-.0620	.1317	-.0608	-.0230	-.0638	-.0351	-.0576	-.1368	-.2167*	1.0000		
X12 EROSION	.0293	.0792	-.0086	.1064	-.1550	-.0877	-.0867	-.1427	-.0643	.0556	.1436	1.0000	
X13 WIDTH	-.0316	.1353	.0955	.0319	.1944	-.1141	-.0881	-.0042	.1549	-.1826	-.0080	-.0587	1.0000

Note : 1-tailed Sig. * (p≤0.01), ** (p≤0.001)

리한 조건을 지니고 있음을 알 수 있다.

Table 7은 안정구에서의 各 因子間 상관관계를 나타낸 것으로서 경도와 모암간의 상관인 높은 것으로 나타났는데 이는 불안정구과 동일하며, 기타 인자간의 상관관계가 비교적 낮은 것으로 보아 각 인자가 서로 독립적으로 작용하고 있음을 알 수 있다.

2. 절토사면의 안정성 평가

산림환경 및 임도구조인자를 이용하여 각각의 경우가 어느 집단(안정구, 불안정구)에 속하는가를 판별하기 위하여 안정구와 불안정구의 두 그룹으로 나누어 판별분석(discriminant analysis)을 실시하여 선형판별함수를 구하였다. 구해진 판별함수를 이용하여 처음분석에 사용된 경우를 정확하게 분류할 수 있는 판별율과 이때 판별능력을 갖지 못한 변수를 판별함수에 포함시키지 않기 위하여 단계별 판별분석을 하였다.

판별함수를 도출하기 위해 자료를 안정구와 불안정구의 2개 그룹으로 나누어 7개의 임도구조인자와 6개의 산림환경인자를 설명변수로 하여 임도의 안정성을 평가하기 위한 판별분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

Table 8에서 보면 각 단계별 변수의 선택순서는 측구침식량, 피복도, 표고, 토성, 종단물

Table 8. Summary table of factors by stepwise discriminant analysis

Step	Variables	Wilks' Lambda	Sig.	Label
1	X12	.16318	.0000	SIDE-DITCH EROSION
2	X5	.15596	.0000	COVERAGE
3	X2	.15260	.0000	ALTITUDE
4	X8	.15075	.0000	SOIL TEXTURE
5	X10	.14870	.0000	GRADE
6	X4	.14717	.0000	LENGTH
7	X11	.14578	.0000	CUT SLOPE
8	X1	.14478	.0000	YEAR

매, 사면길이, 사면경사, 년도임을 알 수 있다. 여기서 선택된 8개의 변수는 모두 유의적이며 판별함수를 구성하는데 좋은 인자가 된다. 단계별 판별함수에 의하여 얻어진 정준판별함수의 결과는 Table 9와 같다.

Table 9에서 정준상관계수는 0.9248이었으며, 195개의 자료로부터 구한 標準化 정준판별함수 계수에 의하면 상대적 기여도는 측구침식량, 피복도, 토성, 사면경사, 표고, 종단경사, 사면길이, 임도개설년도의 순으로 나타났으며, 또한 標準化 되지 않은 정준판별함수(unstandardized canonical

discriminant functions)에 의한 추정식은 다음과 같다.

$$Y = -1.1537 + 0.0660 \cdot X_1 - 0.0007 \cdot X_2 - 0.0428 \cdot X_4 - 0.0160 \cdot X_5 + 0.3685 \cdot X_8 - 0.0222 \cdot X_{10} - 0.0307 \cdot X_{11} + 0.8881 \cdot X_{12}$$

Table 9. Canonical discriminant function coefficients of standardized and unstandardized by variables

Variables	Standardized	Unstandardized
YEAR	.10024	.6598826E-01
ALTITUDE	-.14939	-.7350265E-03
LENGTH	-.10780	-.4283533E-01
COVERAGE	-.29467	-.1595179E-01
SOIL	.18338	.3685236
GRADE	-.15737	-.2215021E-01
SLOPE	-.13862	-.3065342E-01
EROSION	.97595	.8880656
CONSTANT		-1.153745

Note : Eigenvalue=5.9071, Canonical corr.=0.9248, Wilks' Lambda=0.1448, $\chi^2=365.251$, Df=8, p-value=0.0000'

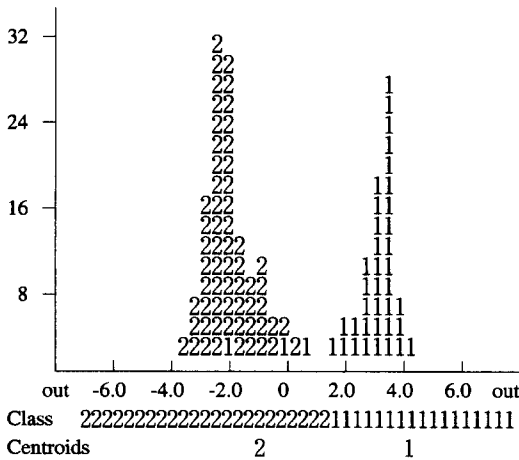


Fig. 1. Histogram of two groups score by unstandardized canonical discriminant functions.

위의 정준판별함수의 Wilks' Lambda는 0.1448, χ^2 -값은 362.251, p-값은 0.0000이므로 정준판별함수는 유의적이다. 판별함수의 추정식에 의하여 얻어진 판별특점의 히스토그램은 Fig. 1과

같다. Fig. 1에서 양 그룹은 뚜렷이 구분이 되어 있는데 각 표본의 중심점(group centroids)의 위치가 1과 2로 표시되어 있으며, 그룹중 2는 안정그룹, 1은 불안정그룹을 보여주고 있다. 또한, 안정그룹과 불안정그룹의 판별함수에 의한 각 조사구의 중심점(group centroids)값은 각각 3.05849와 -1.91156으로 나타났다. 따라서, 실제 사례에 적용할 경우 標準化되지 않은 정준판별함수에 측정값을 대입하여 그 값이 어느 그룹의 중심점에 가까운가를 판단하여 임도의 각 조사구에 대한 안정성을 판별하게 된다.

Table 10. Stability classification of road segments by linear discriminant function

Actual groups	No. of cases	Predicted groups	
		1	2
Unstable	75 96.0%	72 4.0%	3
Stable	120	2 1.7%	118 98.3%

정준판별함수의 추정식에 의하여 안정구와 불안정구에 대한 적중율을 분석한 결과는 Table 10과 같다. Table 10에서 전체 195개의 조사구중 불안정구는 75개중 72개가 판별되므로써 96%의 적중율을 보였고, 안정구는 120개 중 118개를 판별시킴으로써 98.3%의 적중율을 보여 이들 양 그룹의 완전한 적중율은 97.44%로서 매우 높은 판별능력을 보였다.

McChasion과 Rice(1985)는 임도와 관련한 침식량을 25m³/km를 한계치로 하여 판별분석을 시도한 바, 판별함수는 약 74%의 적중률을 보였다고 보고한 바 있으며, 權(1987)은 중단물매 등 8종의 변수를 조합한 판별함수를 이용하여 임도 노면침식량을 판별분석한 바 74.3%의 적중률을 얻었으며, 李(1987)는 절토사면의 안정성을 판별한 결과 72%의 적중률을 나타냈다고 보고하였다. 또한, 麻(1994)는 산사태 사면의 안정성 판별에서 83.5%의 적중율을 보고하였다.

본 연구에서는 임도의 안정성을 판별할 수 있는 적중률이 97.44%로서 임도 및 산사태사면

안정성의 연구결과와 비교할 때 적중률이 매우 높은 것으로 평가되었다. 따라서, 이러한 결과는 임도의 안정성을 판별하는데 매우 중요한 정보를 제공할 뿐만 아니라 매우 높은 적중율을 보여 앞으로 임도의 안정성 평가에 유용하게 이용할 수 있을 것이다. 또한, 임도의 절토사면의 안정성에 관여하는 요인들 중에서 임도구조인자 즉, 시공기술로서 조정이 가능한 요인인 사면길이, 식물 피복도, 사면경사도 등은 노선의 설계, 시공 및 유지관리시에 적절하게 사면보호공법인 옹벽, 석축 및 소단꿈기작업을 하므로서 임도에 의한 해해를 예방할 수 있을 것으로 생각한다. 특히, 최근에 많이 대두되고 있는 환경친화적인 임도개설을 유도하고 임도의 노면침식과 절토 및 성토사면의 안정성을 유지할 수 있도록 임도노선의 선정 및 설계시 적절한 새로운 녹화공법 및 사면관리기법의 도입도 절실하다.

IV. 結 論

화강암지역의 4개 노선을 중심으로 환경친화적인 임도개설을 유도하고 임도의 안정성을 판별하는데 필요한 정보를 제공하기 위하여 도로구조 및 산림환경인자를 조사하여 林道の 절토사면의 안정에 미치는 인자들의 영향과 판별분석을 실시하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 임도의 안정성과 상관성이 높은 요인은 암반, 사면길이, 피복도, 경도, 측구나비, 측구침식량, 노폭 등으로 나타났으며, 방위와 토성은 영향을 미치지 않았지만, 임도의 안정성은 암반의 유무에 따라 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

2. 산림환경 및 도로구조인들의 상관성 분석에 있어서 안정구와 불안정구내에서 각 인자간의 상관을 분석한 결과 경도와 모암과의 상관관계가 높게 나타났으며, 또한 불안정구의 경우 피복도와 측구침식량과의 상관성이 높은 것으로 나타났다.

3. 4개 路線의 195개 調査區에서 불안정구에 속하는 調査區는 75개소(38.46%), 안정구에 속

하는 調査區는 120개소(61.54%)로 나타났다.

4. 안정구와 불안정구에 있어서 판별함수의 중심점(group centroids)의 값은 각각 3.05849와 -1.91156으로 나타났으며, 이 중심점의 값에 따라 林道の 안정성을 판별할 수 있었다.

5. 林道の 安定性 판별에 있어서 상대적 기여도는 측구침식량, 피복도, 토성, 경사, 표고, 종단경사, 사면길이, 개설년도의 順으로 임도의 安定性에 영향을 주는 것으로 분석되었으며, 安定性 판별의 적중률은 97.44%로 매우 높은 것으로 나타났다.

6. 林道の 절취사면의 安定性에 관여하는 요인들 중에서 구조인자 즉, 시공기술로서 조정이 가능한 요인인 사면길이, 식물 피복도, 사면경사도 등에 대해 노선의 설계, 시공 및 유지관리시에 적절한 고려가 있어야 할 것이며, 특히 사면보호공법(옹벽, 소단꿈기)을 실시하여 임도의 안정성을 더욱 높여야 할 것이다.

V. 引用文獻

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.

麻鎬燮. 1994. 山地斜面の 崩壞危險度 豫測모델의 開發 및 實用化方案. 한임지. 83(2) : 175-190.

朴容珍·李基誼. 1992. 최신환경녹화. 강원대출판부. 360pp.

李峻雨. 1987. 林道에 있어서 切取斜面的 安定性分析에 關한 研究. 서울大學校碩士學位論文. 43pp.

新谷融. 1984. 林道法面の植生回復. 林業技術 506(5) : 17-20.

伏見知道. 1980. 林道路面の保全と横斷排水溝の配置間隔について. 瀬戸内マサ土地域の例. 愛媛大演習林報告 17 : 9-14.

伏見知道·江崎次夫. 1980. 花崗岩風化土地域の 林道土工構造物表面の侵食について. 第91回 日本林學會大會發表論文集 : 431-432.

伏見知道·江崎次夫. 1981. 花崗岩風化土地域の

- 林道土工構造物表面の侵食について(II) - 實態調査とモデル區間の例. 第92回 日本林學會大會發表論文: 415-416.
- 市原恒一. 1981. 林道路面の耐侵食性について (豫報). 第92回 日本林學會大會發表論文集: 529-530.
- 小橋澄治・島津義史・吉田博宣・酒井徹郎・佐佐木功. 1979. 林道切取のり面の安定性と自然植生の回復について - 生演習林を例として. 京都大演習林報告 51: 164-174.
- 近藤惠市・岩川 治・神利 男. 1983. 林道災害に関する研究(II) - 昭和 57年 10號, 18號台風による被害. 第94回 日本林學會大會發表論文集: 707-708.
- 前田義兼. 1989. 切取法面の植生調査. 林研. 24: 314-319.
- 峰松浩彦・南方 康. 1982. 横斷排水溝の間隔に関する研究. 日本林學會誌 64(5): 193-197.
- 本間 普. 1989. 林道法面緑化の實態. 林研. 24: 23-30.
- 中尾博美. 1980. 林道の構造と路面侵蝕について. 第91回 日本林學會大會發表論文集: 455-456.
- 中尾博美. 1981. 林道の構造と路面侵蝕. 林業技術 471(6): 12-15.
- 中尾博美. 1983. 作業道の路面侵蝕について. 第94回 日本林學會大會發表論文集: 705-706.
- 酒井徹郎・佐佐木功・藤正 雄・古谷士郎. 1982. 林道の路面侵蝕について(I) 横斷排水溝の間隔について. 第93回 日本林學會大會發表論文集: 539-540.
- Burroughs, E. R. Jr. and J. G. King. 1985. Surface erosion control on roads in granitic soils. In proceedings of Symposium Sponsored by Committee on Watershed Management / Irrigation & Drainage Division. ASAE Convention, Denver, CO. pp. 183-190.
- Haupt, H. F. 1959. Road and slope characteristics affecting sediment movement from logging roads. J. of Forestry 57: 329-332.
- McCashion, J. D. and R. M. Rice. 1985. Site conditions related to erosion on logging roads. In International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Tswkuba, Japan. pp. 69-74.
- Swift, L. W. Jr. 1984. Gravel and grass surfacing reduces soil loss from mountain roads. Forest Science 30: 657-669.

接受 1999年 10月 18日