

산림환경인자에 의한 임도 절토비탈면의 안정성 평가

전권석¹⁾ · 오성윤²⁾ · 마호섭³⁾

¹⁾ 임업연구원 중부임업시험장 · ²⁾ 경남 거창군청 산림녹지과 · ³⁾ 경상대학교 농과대학 산림과학부

Stability Evaluation of Cut Slope in Forest Roads by Forest Environment Factors

Kwon-Seok Jeon¹⁾ · Sung-Yoon Oh²⁾ and Ho-Seop Ma³⁾

¹⁾ Chungbu Experiment Station, Korea Forest Research Institute,

²⁾ Division of Forestry, Geochang-gun Office,

³⁾ Division of Forest Science, Gyeongsang Nat'l Univ., Jinju 660-701, Korea.

ABSTRACT

The purpose of this study was evaluate to the stability on cut slope of forest roads by forest environmental factors. The total of 19 environmental factors on cut slope of forest roads were investigated in about 42.74km constructed during 1987 to 1993 in Gyeongnam and Jeonnam province. The evaluation of slope stability in forest roads were conducted by the discrimant analysis.

The main factors influencing the stability of cut slope were significant in order of coverage, soil hardness, degree of slope, altitude, silt loam, convex(凸) and compound(凹凸). The centroids value of discriminant function in the stability and unstability area estimated to -1.194 and 1.127, respectively. The boundary value between two groups related to slope stability was -0.072. The prediction rate of discriminant function for stability evaluation of was as high as 90.4%.

Key Words : Slope stability, Discriminant analysis, Prediction rate.

I. 서 론

전 국토의 약 65%를 점유하고 있는 산림은 지속가능한 경영기반인 임도의 구축을 통하여 보다 쾌적하고 가치 있는 산림자원 조성에도 기여하게 될 것이다. 또한, 임도는 임업의 생산기반 시설이자 사회간접자본의 기능을 가지고 있으므로 많이 확충할 필요성이 있다. 그러나 우리나라

임도의 대부분은 그 시공 대상지의 지형이 험준하여 사면경사가 급하게 조성되고 낮은 시공단비의 제약으로 일반도로나 농로에 비하여 시공 후 비탈면의 안정을 위한 적절한 공법이 시행되지 못하고 있는 실정이다. 그리고 매년 7~8월의 집중호우로 인한 절토 및 성토비탈면과 노면침식은 임도가 가지고 있는 여러 기능을 약화시킬 뿐만 아니라 임도 주변의 자연환경에 큰 변화를 주

는 문제점이 야기되므로 임도설계 및 유지관리에 있어서 비탈면의 식생회복과 절토비탈면 및 성토비탈면의 안정이 중요한 과제로 지적되고 있다.

이와 같은 문제점을 해결하고자 우리나라는 21세기 임도의 새로운 패러다임 정립과 환경친화적인 녹색임도의 구현을 목표로 하고 있다. 특히, 1998년부터 시작되는 제4차 산림기본계획에서는 기존 임도망의 재정비와 새로운 환경친화형 임도를 지속적으로 확충할 계획이다. 그러나 신설임도의 물량은 점점 적어질 전망이다. 임업경영적 측면과 지역교통의 개선 측면 등과 함께 환경보전적 측면을 고려하여 합리적으로 임도가 개설되어야 할 것이다. 앞으로 임도는 비탈면의 안정성을 유도할 수 있는 적절한 임도노선의 선정과 친환경적인 녹화 및 비탈면관리 기술이 더욱 필요하게 될 것이다.

近藤等(1983)에 의하면 임도재해를 5가지 유형으로 구분하고, 노면유하수와 절취비탈면의 붕괴에 의한 것이 대부분이라고 하였고, 小橋等(1979)과 伏見等(1980; 1981)은 화강풍화토 지역에서 조성된 절취비탈면이 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. 伏見(1980), 酒井等(1982) 및 峰松等(1982)은 임도의노면침식에 횡단배수구의 간격이 대단히 중요하다고 지적하였으며, 中尾(1980, 1981, 1983)는 절토비탈면의 길이에 의한 집수구역 면적, 측구의 유지 상태 등이 임도의 안정성에 현저한 영향을 미친다고 하였다.

특히, 임도침식 및 사면안정의 문제는 단순하지 않고 종합적인 현상이므로, 이러한 복합적인 영향을 정확히 파악하기 위하여 고도의 통계적 수법을 많이 응용하였다. McChasion과 Rice(1985)는 임도와 관련한 침식량에 대하여 판별분석을 시도한 바 있으며, 또한 志水(1977)는 수량

화이론을 응용하여 화강암지대의 안정성에 관계하는 인자를 분석하였다. 吉村 등(1996)은 의사결정을 위한 객관적인 평가자료를 제공할 수 있는 Fuzzy이론을 이용하여 임도비탈면의 붕괴가능성을 판단하는 안정성을 분석한 후 산지경사도별 붕괴위험도를 구명하였다. 井上 등(1982a, 1982b)은 절토비탈면의 안정성에 관여하는 인자로서 직접적인 인자(기상, 토질), 주변환경요소의 간접적 인자, 도로구조인자(사면높이, 사면길이, 사면경사도 등), 환경인자(사면방위, 사면위치, 측구유무 등)로 구분한 후 수량화 이론을 이용하여 절토비탈면의 붕괴가능성을 판별하였다. 권태호(1987)는 종단물매 등 8종의 변수를 조합한 판별함수를 이용하여 임도 노면침식량을 판별분석한 바 있고, 이준우(1987)는 절토비탈면의 안정성에 대하여 판별분석을 응용하였다. 마호섭(1994)은 수량화 II이론을 이용하여 산사태 사면의 안정성 판별에서 83.5%의 적중율을 보고하였고, 임병준과 마호섭(1999)은 화강암지역의 산림환경 및 도로구조인자에 의한 임도의 안정성 판별에서 97.4%로서 높은 적중률을 보고한 바 있다. 또한, 이해주 등(2000)은 임도 옆도랑의 안정성을 연구한 바 있다.

따라서 본 연구는 임도가 개설된지 약 10 - 15년 정도 지난 임도의 절토비탈면을 대상으로 붕괴 및 토양침식과 각종 산림환경인자와의 관계를 조사하고 비탈면의 안정성에 관여하는 주요 산림환경인자의 영향을 파악하여 환경친화적 임도건설에 적절하게 응용할 수 있는 기초적 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 조사 대상지

본 연구대상지는 1987년부터 1993년 사이에 개설된 임도로서 조사가 이루어진 임도의 총연장은 42.7km이며, 조사지의 위치 및 현황은 Figure 1 및 Table 1과 같다.

경남지역은 남해군 5개 노선에 13.7km, 하동군 2개 노선에 8km, 창녕군 2개 노선에 11.3km, 산청군 2개 노선에 5.2km 등 38.2km로서 총 4개 군

의 11개 노선을 조사하였고, 전남지역은 순천시 2개 노선에 4.5km가 조사되었다. 조사지역의 임도노선은 대체로 양호하게 개설되어 있었으며, 비탈면 주변부의 임상은 25~30년생의 해송림과 소나무림이 우점하고 있었다.

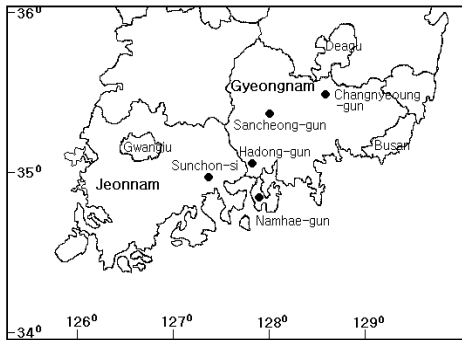


Figure 1. Location map of surveyed area.

2. 연구방법

1) 조사구 선정

조사시에는 각 임도노선의 설계도·서와 지형도(1/50,000, 1/25,000) 및 지질도(1/50,000) 등을 이용하였으며, 각 임도에 대한 조사구는 측량의 기본 단위인 20m를 1개의 조사구로 하여 전구간을 조사하였다. 비탈면 전체가 경암 및 발파사면인 지역과 비탈면 길이가 2.0m 이하인 곳은 제외하였으며, 불안정구 125개소, 안정구 117개소로서 모두 242개소가 조사되었다.

2) 조사항목 및 방법

(1) 안정구 및 불안정구 판정

절토비탈면의 붕괴정도, 표면 침식정도 및 측구의 침식여부에 따라 안정구(2)와 불안정구(1)로 나누었다. 그 기준은 누구침식이나 구곡침식의 발생과 사면붕괴가 없고 앞으로도 침식 및 붕괴의 위험성이 없는 경우를 안정구, 표면침식 또는 붕괴가 발생하여 사면하부로 토사가 퇴적하여 측구가 매몰된 경우는 불안정구로 구분하였다.

(2) 토양침식량 조사

임도 절토비탈면의 각 조사구에서 누구 및 구곡침식이 발생한 지점의 길이(m)×너비(m)×깊이(m)를 측정하여 임도비탈면의 침식량(m³)을 산출하였다.

(3) 주변환경인자 조사

임도비탈면의 토양침식과 비탈면안정에 영향을 미칠 것으로 예상되는 입지인자와 토양인자, 기상인자 등 주변환경인자를 12개 항목(22인자)으로 구분하여 조사하였다.

- ① 표고(Altitude) : 지형도(1/25,000)와 고도계를 이용하여 측정하였다(m).
- ② 비탈면의 위치(Position of slope) : 산정(Upper), 산복(Middle), 산록(Lower)으로 구분하였다.
- ③ 비탈면 형태(Shape of slope) : 비탈면의 형태를 Convex(凸)형, Concave(凹)형, Straight(□)형,

Table 1. General descriptions of forest roads investigated in the survey area.

Surveyed area		Constructed year and Length year(km)	
Namhae-gun	Samdong-myeon Bongha-ri	'87(2.0), '89(2.2), '90(2.0), '91(4.0)	
	Sulchun-myeon Deogksin-ri	'93(3.5)	
Hadong-gun	Hwagae-myeon Gatan-ri, Sinheung-ri	'90(4.0), '92(4.0)	
Gyeongnam	Changnyeong-gun	Youngsan-myeon Gugae-ri	'92(10.0)
	-gun	Goam-myeon Gam-ri	'93(1.3)
	Sancheong-gun	Sancheong-eup Songgyeong-ri	'92(1.6)
	Gumseo-myeon Suchul-ri	'92(3.6)	
	Subtotal	1987~1993(38.2)	
Jeonnam	Sunchon-si	Oeseo-myeon Bosin-ri	'92(2.7), '93(1.8)
	Subtotal	1992~1993(4.5)	
	Total	1987~1993(42.7)	

Compound(凹凸)형으로 구분하여 조사하였다.

④ 방위(Aspect of slope) : 컴퍼스를 이용하여 동(East), 서(West), 남(South), 북(North) 4방위로 구분하였다.

⑤ 비탈면경사(Degree of slope) : 비탈면의 경사도(°)를 측정하였다.

⑥ 비탈면길이(Length of slope) : 비탈면의 직선거리(m)를 측정하였다.

⑦ 식생피복도(Coverage) : 비탈면 상, 중, 하 지점에서 소방형구(1m×1m)를 설정한 후 식생피복도(%)를 조사하였다.

⑧ 토성(Soil texture) : 비탈면 상, 중, 하 지점에서 400g을 채취한 뒤 미농무성분류법에 따라 사질식양토(Sand clay loam), 미사질양토(Silty loam), 미사질식양토(Silty clay loam)로 구분하였다.

⑨ 토양경도(Soil hardness) : 토양경도계를 이용하여 비탈면 상, 중, 하 지점에서 각각 3회씩 반복하여 토양경도(kg/cm²)를 측정하여 그 평균값을 이용하였다.

⑩ 경과연수(Passage year) : 임도개설 후 조사 일까지의 경과연수를 해당 임도 설계서를 참고하여 조사하였다.

⑪ 20mm/일 이상 강우횟수(Daily precipitation ≥20mm) : 임도 시공일부터 조사일까지의 20mm/일 이상 강우횟수를 각 조사지와 인접한 측후소 및 관측소의 기상자료를 이용하여 조사하였다.

⑫ 80mm/일 이상 강우횟수(Daily precipitation ≥80mm) : 임도 시공일부터 조사일까지의 80mm/일 이상 강우횟수를 각 조사지와 인접한 측후소 및 관측소의 기상자료를 이용하여 조사하였다.

(4) 통계적 분석방법

임도 절토비탈면의 각 조사구를 토양침식 및 붕괴발생의 발생 유무에 따라 안정구(2)와 불안정구(1)의 두 그룹으로 양분하고 사면안정에 영향을 미치는 인자를 도출하여 상관관계를 분석하고, 절토비탈면의 안정성에 대한 판별분석을 실시하였다.

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

	Soil erosion	Altitude	Position of slope			Shape of slope	
			Upper	Middle	Lower	Concave	Convex
Y	1.0000						
X ₁	0.3721	1.0000					
X ₂	0.2872	0.2464	1.0000				
X ₃	-0.1700	-0.0446	-0.7273	1.0000			
X ₄	-0.1752	-0.2834	-0.4323	-0.3044	1.0000		
X ₅	-0.0172	-0.0416	-0.0129	0.0959	-0.1082	1.0000	
X ₆	0.3849	0.2287	0.3596	-0.2212	-0.2084	-0.3893	1.0000
X ₇	-0.2215	-0.1863	-0.1507	0.0417	0.1543	-0.5283	-0.3257
X ₈	-0.1284	0.0345	-0.1898	0.0882	0.1468	-0.2720	-0.1677
X ₉	-0.1663	-0.1596	-0.1706	0.0615	0.1559	0.0202	-0.0172
X ₁₀	-0.1189	-0.0588	-0.2064	0.2174	0.0009	0.0381	-0.2022
X ₁₁	0.2000	0.2868	0.1684	-0.0905	-0.1149	-0.1005	0.1886
X ₁₂	-0.0586	-0.1280	0.1047	-0.0819	-0.0378	-0.0645	-0.0452
X ₁₃	0.5924	0.4670	0.3946	-0.1472	-0.3543	0.1731	0.4378
X ₁₄	0.6315	0.1320	0.2354	-0.1395	-0.1434	-0.0678	0.2154
X ₁₅	-0.4556	-0.4120	-0.3434	0.1431	0.2886	-0.1298	-0.2633
X ₁₆	0.3342	0.2042	0.3229	-0.1930	-0.1947	0.0791	0.3754
X ₁₇	-0.1716	-0.0048	-0.2842	0.2799	0.0267	0.0260	-0.2212
X ₁₈	-0.2290	-0.2661	-0.0718	-0.0960	0.2258	-0.1381	-0.2212
X ₁₉	-0.0863	-0.1366	0.0634	-0.0595	-0.0103	-0.0867	-0.0640
X ₂₀	0.0596	0.3978	0.0478	-0.0497	-0.0009	-0.0061	0.1578
X ₂₁	0.1260	-0.0670	0.0848	-0.1394	0.0655	0.1095	0.2168
X ₂₂	0.0839	0.3269	0.0589	-0.0798	0.0232	0.0085	0.1561

Table 2. Continued

	Position of slope			Aspect of slope			Degree of slope	Length of slope
	Straight	Compound	East	West	South	North		
X ₇	1.0000							
X ₈	-0.2275	1.0000						
X ₉	-0.1632	0.2463	1.0000					
X ₁₀	0.1303	0.0177	-0.2053	1.0000				
X ₁₁	-0.0006	-0.0612	-0.3222	-0.4163	1.0000			
X ₁₂	0.1365	-0.0473	-0.0633	-0.0818	0.0560	1.0000		
X ₁₃	-0.3580	-0.2455	-0.2202	-0.1235	0.1926	-0.3617	1.0000	
X ₁₄	-0.0294	-0.1124	-0.1342	-0.1052	0.2156	0.6967	0.0998	1.0000
X ₁₅	0.2483	0.1315	0.2641	0.1343	-0.3012	-0.1787	-0.6330	-0.4153
X ₁₆	-0.2692	-0.1788	-0.0172	-0.2295	0.1615	-0.0833	0.4986	0.1305
X ₁₇	0.1526	0.0332	-0.1366	0.2174	0.0141	-0.0774	-0.1044	-0.1312
X ₁₈	0.1663	0.1964	0.1951	0.0315	-0.2330	0.2086	-0.5903	0.2151
X ₁₉	0.1554	-0.0132	-0.0209	-0.0371	0.0956	0.9910	-0.4197	0.6835
X ₂₀	-0.2120	0.0618	0.0167	0.0484	-0.0029	-0.3177	0.1046	-0.2482
X ₂₁	-0.2989	-0.0243	0.1927	-0.0496	-0.4440	-0.1611	0.0526	-0.0851
X ₂₂	-0.2080	0.0346	0.0393	-0.0022	-0.0465	-0.3961	0.1552	-0.2966

Table 2. Continued

	Coverage	Soil texture			Soil hardness	Daily preci. ≥20mm	Daily preci. ≥80mm	Passage year
		SCL	SiL	SiCL				
X ₁₅	1.0000							
X ₁₆	-0.3827	1.0000						
X ₁₇	0.0158	-0.7042	1.0000					
X ₁₈	0.3780	-0.4223	-0.3071	1.0000				
X ₁₉	-0.1326	-0.1165	-0.0627	0.5246	1.0000			
X ₂₀	-0.0801	0.1263	-0.1005	-0.1356	-0.3105	1.0000		
X ₂₁	-0.1315	0.1649	-0.2415	0.0098	-0.1996	0.3597	1.0000	
X ₂₂	0.0617	0.1531	-0.1358	-0.1556	-0.3981	0.9757	0.3953	1.0000

Note) Y : Soil erosion, X₁ : Altitude, X₂ : Upper, X₃ : Middle, X₄ : Lower, X₅ : Concave, X₆ : Convex, X₇ : Straight, X₈ : Compound, X₉ : East, X₁₀ : West, X₁₁ : South, X₁₂ : North, X₁₃ : Degree of slope, X₁₄ : Length of slope, X₁₅ : Coverage, X₁₆ : SCL, X₁₇ : SiL, X₁₈ : SiCL, X₁₉ : Soil hardness, X₂₀ : Daily precipitation ≥20mm, X₂₁ : Daily precipitation ≥80mm, X₂₂ : Passage year

III. 결과 및 고찰

1. 산림환경인자와의 상관성

임도 절토비탈면에서 조사되어진 토양침식량과 각종 산림환경인자와의 관계를 분석하기 위하여 상관분석을 실시한 결과는 Table 2와 같다.

절토비탈면의 각 조사구인 안정구 및 불안정구에서 발생한 침식토사량과 각종 인자와의 관계를 상관분석한 결과, 토양침식은 표고, 상부(사면위치), 볼록사면(凸), 비탈면경사, 비탈면길

이, 사질식양토(SCL)와는 1% 수준에서, 남쪽(South)사면과는 5% 수준에서 정의 상관관계를 보였다.

菊地와 横井(1973), 酒井 等(1982), 前田(1989) 및 정원옥(2001) 등은 비탈면의 경사가 클수록 침식이 용이하고 붕괴의 위험성이 크다고 하였으며, 오재만(1990)은 임도건설에 따른 침식량 조사에서 비탈면 붕괴를 최소화하기 위해서는 경사도(자연 안식각)의 조절이 필요하다고 하며 절토비탈면은 35° 이하, 성토비탈면은 40° 이하를 제

시한 바 있다.

정원옥과 마호섭(1997), 임병준과 마호섭(1999) 등은 절토비탈면의 길이가 길수록 풍화되어 침식되는 토사량이 증가하므로 비탈면길이가 길 경우 소단 등 단끊기를 실시하여 비탈면침식을 최소화하여야 한다고 하였고, 新谷(1984), 井上 등(1982b)은 남향사면에 북향사면에 비하여 온도교차가 심하고, 일상적인 풍화현상을 보다 강하게 받아 더 많은 침식이 유발된다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

침식토사량과 식생피복도와는 1% 수준에서, 평형사면(□), 미사질식양토(SiCL)와는 5% 수준에서 부의 상관관계를 나타내었다. 박문수 등(1995), 小橋 등(1979)은 임도비탈면에서 식생피복도의 증가가 침식량을 줄일 수 있는 요인으로 작용하며, 식생은 동상, 동결, 융해와 같은 동상침식, 풍침식 등 지표에서 발생할 수 있는 재해를 감소·방지하고, 식생피복이 완성되면 우적침식 및 표면침식은 완전히 방지된다고 하였다. 菊地와 横井(1973)은 사면형에 따른 침식량 조사에서 凸(볼록사면), □(평형사면), 凹(오목사면) 순으로 사면침식량에 차이가 발생하였다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

井上 등(1982a, 1982b)은 토양경도와 절토비탈면 침식량간에는 부의 상관관계를 나타낸다고 하였는데 본 연구에서도 부의 상관을 보였으나 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 본 조사지 절토비탈면의 경우 전체 조사구의 토양경도가 큰 차이를 가지지 않고 거의 비슷한 경도를 보였기 때문으로 판단되었다.

2. 절토비탈면의 안정성 평가

절토사면 안정성을 평가하기 위하여 안정구(2)와 불안정구(1)의 2개 그룹으로 나누어 22개 산림환경인자를 설명변수로 하여 절토비탈면의 안정성에 대한 판별분석을 실시한 결과는 Table 3과 같다.

Wilk's Lambda가 1이면 관측된 집단의 평균이 동일하다는 것을 의미하고, 0에 가까우면 집단 내의 분산이 총분산에 비해 적기 때문에 집단평

Table 3. Discriminant analysis for forest roads stability on cut slope.

Step	Factors	Label	Wilk's Lambda	Significance
1	X ₁₉	Soil hardness	0.773	0.000
2	X ₁₅	Coverage	0.567	0.000
3	X ₁₃	Degree of slope	0.510	0.000
4	X ₁	Altitude	0.475	0.000
5	X ₁₇	SiL	0.454	0.000
6	X ₆	Convex(凸)	0.433	0.000
7	X ₈	Compound(凹凸)	0.424	0.000

균간에는 차이가 있다는 것을 나타낸다. 또한, 유의성이 0.05보다 크면 집단간의 차이가 없다는 것으로 간주한다. 본 연구지역에서 임도비탈면의 안정성에 영향을 미치는 인자는 토양경도, 식생피복도, 비탈면경사, 표고, 미사질양토(SiL), 볼록사면(凸), 복합사면(凹凸)등으로 나타났다. 특히, 비탈면길이는 토양침식에는 높은 상관성이 있었으나 사면안정에는 유의적이지 못하여 기여하는 영향은 적은 것으로 나타났다. 그리고 판별분석에 의하여 추정되어진 표준화된 판별함수(standardized canonical discriminant functions)와 표준화되지 않은 판별함수(unstandardized canonical discriminant functions)를 나타낸 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Standardized and unstandardized coefficients by canonical discriminant function in each factor on cut slope.

Factors	Standardized	Unstandardized
X ₈ Compound(凹凸)	0.196	0.599
X ₆ Convex(凸)	0.320	1.097
X ₁₃ Degree of slope	0.560	0.048
X ₁₇ SiL	0.328	0.785
X ₁₉ Soil hardness	-0.678	-0.584
X ₁ Altitude	-0.420	-0.005
X ₁₅ Coverage	0.848	0.050
Constant		-2.264

Note) Eigenvalue=1.356, Canonical correlation coefficients=0.759, Wilk's Lambda=0.424, $\chi^2=201.838$ DF=7, p-value=0.000

Table 4에서와 같이 정준상관계수는 0.759였으며, 242개의 자료로부터 구한 표준화된 정준

판별함수를 근거로 한 상대적 기여도는 식생피복도, 토양경도, 비탈면경사, 표고, 미사질양토, 블록사면, 복합사면 순으로 나타났으며, 식생피복도가 0.848로 가장 기여도가 높았고, 복합사면이 0.196으로 가장 낮았다.

표준화되지 않은 정준판별함수에 의한 각 사면 조사구의 판별점수의 추정식은 아래 식(4)와 같다.

$$Y = -2.264 + 0.599X_8 + 1.097X_6 + 0.048X_{13} + 0.785X_{17} - 0.584X_{19} - 0.005X_1 + 0.050X_{15} \dots\dots\dots (4)$$

정준판별함수의 Wilk's Lambda는 0.424, χ^2 값은 201.838, p값은 0.000이므로 판별분석에 의해 선택되어진 7개 인자의 정준판별함수는 유의적인 것으로 판별되었다.

안정구(2)와 불안정구(1)의 판별함수에 의한 각 조사구의 중심점(group centroids) 값은 각각 -1.194와 1.127로 나타났으며, 안정구와 불안정구에서 얻어진 평균, 분산을 이용하여 구한 판별구분치는 -0.072이었다. 이 판별구분치를 기준으로 하여 이것보다 작은 사면판별치는 안정구(2), 이것보다 큰 판별치는 불안정구(1)로 판별한다.

판별함수에 의해 계산되어진 판별구분치를 각 사면 조사구에 대입하여 불안정구(1)와 안정구(2)에 대한 판별능력의 적중율을 나타낸 결과는 Table 5와 같다.

전체 242개의 조사구에서 불안정구는 총 125개 중 117개가 판별됨으로서 93.6%의 적중율을 보였고, 안정구는 117개의 조사구 중 102개를

판별시킴으로서 87.2%의 적중율을 보였으며, 이들 불안정구, 안정구 양 그룹의 전체적인 판별능력은 90.4%였다.

井上 등(1982a, 1982b)은 수량화 이론을 이용하여 절토비탈면의 붕괴가능성을 판별하였는데, 凹형 비탈면, 비탈면높이, 비탈면어깨의 상황, 경사도 순으로 기여도가 크며, 판별적중율은 96% 정도로 매우 높았다고 하였고, 이준우(1987)는 수량화 II이론을 이용하여 절토비탈면의 안정성을 분석한 결과, 안정성에 관여하는 인자들의 기여도는 비탈면길이, 식물피복도, 표고, 사면경사도, 암석의 종류, 비탈면어깨의 상황, 비탈면의 방위, 사면보호공법의 유무 등의 순이었으며, 판별구분치에 의한 적중율은 72% 정도였다고 하였다.

차두송과 지병윤(1998)은 임도 절토비탈면의 붕괴는 주로 절토부의 구조적인 요인과 식생, 지형적인 요인이 복합적으로 작용하여 발생하며, 수량화 II 이론에 의한 편상관계수 및 Range 값을 이용하여 절토비탈면의 붕괴를 예측한 결과, 절토면 길이 8m 이상, 토심이 2.5m 이상, 산지경사 35°~50°사이, 피복율이 적은 경우, 절토면경사 60° 이상에서 붕괴위험도가 높게 나타났으며, 판별적중율은 90.1%였다고 하였고, 임병준과 마호섭(1999)은 판별분석을 이용하여 화강암지대에서 절토비탈면의 안정성을 분석한 결과, 안정성 판별에 대한 상대적 기여도는 측구침식량, 피복도, 토성, 경사, 종단경사, 비탈면길이, 개설연도 등의 순이었으며, 안정성 판별의 적중율은 97.44%로 매우 높게 나타났다고 하였다.

이상에서 보는 바와 같이 각 임도사면의 연구에서 판별적중률은 각각 86.8%, 72%, 90.1% 및 97.44%로 나타났다. 小橋(1974)는 사면붕괴위험도 분석에서 판별적중율이 60% 이하는 불량, 70% 이상은 보통, 80% 이상은 양호하다고 보고한 내용과 비교할 때 본 연구의 경우 90.4%의 적중율은 매우 양호한 것으로 판단되었다.

IV. 적 요

임도의 절토비탈면의 각 조사구를 토양침식 및 붕괴발생의 발생 유무에 따라 안정구와 불

Table 5. Classification of stability for forest roads by boundary value of discriminant in the cut slope.

Group conditions	No. of cases	Predicted group	
		1	2
Unstable	125	117 93.6%	8 6.4%
Stable	117	15 12.8%	102 87.2%

Note) Prediction rate of two groups is 90.4%

안정구로 구분하고 절토비탈면의 안정에 영향을 미치는 인자를 도출하여 비탈면의 안정성을 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 절토비탈면에서 발생한 토양침식량은 표고, 상부(사면위치), 블록사면(凸), 사면경사, 비탈면길이, 사질식양토(SiL), 남쪽(South)사면과는 정의 상관율, 식생피복도, 평형사면(□), 미사질식양토(SiCL)와는 부의 상관관계를 보였다.

2. 절토비탈면의 안정성 판별에 대한 상대적 기여도는 식생피복도, 토양경도, 사면경사, 표고, 미사질양토, 블록사면, 복합사면의 순으로 나타났다.

3. 절토비탈면에서 안정구(2)와 불안정구(1)의 중심값은 각각 -1.194와 1.127로 나타났으며, 이때 판별구분치는 -0.072이었다.

4. 절토비탈면 조사구의 불안정구와 안정구에 대한 판별능력의 적중율은 불안정구는 125개 중 117개가 판별됨으로서 93.6%의 적중율을, 안정구는 117개의 조사구 중 102개를 판별시켜 87.2%의 적중율을 보였으며 두 그룹의 전체 판별능력은 90.4%였다.

인 용 문 헌

- 권태호. 1987. 도로구조 및 입지요인이 임도의 노면침식에 미치는 영향에 관한 연구. 서울대학교박사학위논문. pp. 39.
- 마호섭. 1994. 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화방안. 한국임학회지 83(2) : 175-190.
- 박문수 · 마호섭 · 전권석. 1995. 임도사면의 식생침입에 관한 연구 -둔전, 봉양 임도를 대상으로-. 경시대 연습림연보 5 : 39-56.
- 이준우. 1987. 임도에 있어서 절취사면의 안정성 분석에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문. pp. 43.
- 이해주 · 지병윤 · 정도현 · 김중윤 · 차두송. 2000. 임도 옆도랑의 침식요인 평가와 안정성 판별에 관한 연구. 한국임학회지 89(3) : 397-404.
- 임병준 · 마호섭. 1999. 화강암지역의 산림환경 및 도로구조인자가 임도의 안정성에 미치는 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 2(3) : 83-92.
- 오재만. 1990. 임도사면의 붕괴에 관한 연구. 강원대학교 석사학위논문. pp. 24.
- 정원옥. 2001. 임도 절토비탈면의 안정과 식생활착에 미치는 환경인자의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 4(2) : 74-83.
- 정원옥 · 마호섭. 1997. 임도의 절토사면에 있어서 토사유출량의 평가. 경시대 농어촌개발연보 16 : 7-15.
- 차두송 · 지병윤. 1998. 임도절토사면의 붕괴위험 예측에 관한 연구. 강원대 산림과학연구 14 : 145-156.
- 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断排水溝の配置間隔について. 瀬戸内マサ土地域の齟. 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齟. 第92回 日本林學會大會發表論文 : 415-416
- 井上源基, 福原光正, 福田章史, 市原恒一. 1982a. 林道法面工法の評価検討. 昭和56年度國有林野事業特別會計技術開發試驗成績報告書 137-171.
- 井上源基, 福原光正, 市原恒一, 福原光正. 1982b. マサ土切取法面の崩落ベターとその要因. 第34回 日本林學會關東支部大會論文集 : 261-262.
- 菊地政泰, 横井正美. 1973. 林道の法面崩壊に關する研究(1) -調査方法及びその實態-. 林業試驗場研究報告 313 : 175-208.
- 小橋澄治, 島津義史, 吉田博宣, 酒井徹郎, 佐佐木功. 1979. 林道切取ののり面の安定性と自然植生の回復について -生演習林を齟として. 京都大演習林報告 51 : 164-174.

- 近藤恵市, 岩川 治, 神利 男. 1983. 林道災害に關する研究(II) -昭和 57年 10号, 18号台風による被害. 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關する研究. 日本林學會誌 64(5) : 193-197.
- 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.
- 志水俊夫. 1977. 花崗岩地帯の斜面の安定性に關する統計的解析. 日林誌 59(5) : 186-190.
- 吉村哲彦, 赤羽 元, 宮崎裕之, 神崎康一. 1996. Fuzzy積分による林道のり面の崩壊危険度判定法. 森利學誌 11(3) : 165-172.
- 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 2003年 7月 9日