森林科學硏究 第14號 : 145~156, 1998
J. For. Sci., Kangwon Nat'l Univ., No. 14 : 145~156, 1998

林道 切土斜面의 崩壞危險 豫測에 관한 연구*

車斗松[1] · 池炳潤[1]

The Prediction of Cutting Slope Failure of Forest Road*

Du Song Cha[1] and Byoung Yun Ji[1]

要 約

본 연구는 집중호우로 인하여 임도사면 붕괴가 발생한 강원도 춘천시 지역의 5개 임도(백양임도, 변가터임도, 사오랑임도, 부귀임도, 당림임도)를 대상으로 수량화이론(Ⅱ)에 의한 절토사면의 붕괴위험 예측에 관하여 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

임도 절토사면 붕괴는 주로 절토부 구조적인 요인과 식생, 지형적인 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 나타났다. 또한 편상관계수(partial correlation coefficient) 및 범위(range) 값에 의한 절토사면의 붕괴예측 결과는 절토길이 8m이상, 토심이 2.5m이상, 산지경사 30°~50°사이, 절토피복율이 무식생인 경우, 절토경사 60°이상에서 붕괴위험도가 높게 나타났으며, 판별적중율은 90.1%이었다.

ABSTRACT

On the basis of data obtained from 5 forest roads(Backyang, Byongatae, Saorang, Bukyu and Dangrim forest road) collapsed under a heavy rainfall in Chunchon, Kangwondo, this study was carried out to predict the cutting slope failure of forest road by using Quantification theory(Ⅱ). The results were summarized as follows;

The cutting slope failure was chiefly occurred by correlated action of road structure, vegetation and topographical factors. The cutting slope failure predicted by partial correlation coefficients and range values was characterized by longer than 8m of cutting slope length, depper than 2.5m of soil depth, between 30° and 50° of original ground slope gradient, absence of vegetation coverage on cutting slope, and greater than 60° of cutting slope gradient. And the rate of correct discrimination by analysis of cutting slope failure was 90.1%.

Key words : Quantification theory(Ⅱ), cutting slope failure, forest road, road structure factors, vegetation and topographical factors.

---

* 본 논문은 한국과학재단의 '97 핵심전문연구 지원(과제번호 : 971-0607-053-1)에 의한 연구성과의 일부임.

1) 강원대학교 산림과학대학 : College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea.

서 론

임도는 목재의 반출, 인력 및 장비의 운반, 산림순시 등 산림의 집약적인 관리에 중추적인 역할을 담당하는 필수적인 시설일 뿐만아니라 산촌의 생활환경의 개선, 산림휴양기능의 확대, 재해예방기능 등 다목적으로 활용이 가능한 시설이다. 우리나라는 1984년부터 본격적인 임도사업에 착수하여 1997년말 현재 총 임도연장 12,413km(민유임도 8,751km, 국유임도 3,662km), 임도밀도는 1.9m/ha(국유임도 2.6m/ha, 민유임도 1.7m/ha)이며 장기적으로 2007년까지 총임도연장 29,100km를 시설하여 임도밀도 4.6m/ha의 계획을 수립하고 있다(산림청, 1997).

그러나 이와 같은 막대한 양의 임도는 대부분이 토공작업으로 이루어지고 있기 때문에 여름철 집중호우로 인하여 임도의 사면붕괴가 발생하여 산사태 발생, 임지감소 등의 직접적인 피해 및 수질오염, 농경지 피해, 자연경관훼손 등의 간접적인 피해가 점점 증가하고 있는 실정이다.

일반적으로 산지사면에서 발생되는 사면붕괴는 기상조건, 주변환경조건, 토양조건 등이 복합적으로 작용하여 발생하고 있으며, 이것에 관한 연구결과를 살펴보면, 강우 등의 기상인자와 지질·지형 등의 지황인자 및 임황인자와 산사태 발생의 관계를 구명하였다(姜渭平, 1981: 崔敬과 朴勝杰, 1983: 塚本, 1991: 麻鎬燮, 1994). 또한 강우시간과 강우량, 암석의 종류 등을 인자로 하여 호우시 사면의 붕괴에 영향을 주는 요인을 위주로 사면붕괴 예측 및 산지붕괴에 미치는 양적, 질적의 환경요인의 영향도를 구명하고, 수량화이론에 의한 산지붕괴발생 위험도를 평가할 수 있는 예지방법의 정립 및 예측모델을 개발하였다(西 등, 1993: 麻鎬燮, 1994: 杉山 등, 1990). 임도사면의 붕괴에 관한 연구로서, 수량화이론을 이용하여 임도피해발생에 작용하는 원인을 각 구조부 요인과 주변환경적 요인 및 강우 등이 주요한 요인임을 구명하였다(菊地와 黃井, 1973: 金鍾閏 등, 1990: 吉村과 神崎, 1995).

이와같이 대부분 국내 연구는 산지붕괴의 발생원인과 예지 및 대책에 국한되어 실시되어 왔으며, 임도사면에 대한 연구로는 대부분 사면침식이나, 토사유출 등을 대상으로 진행되어, 실질적인 임도사면 붕괴에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 강원도 지역에서 집중호우로 인하여 발생된 임도 절토사면 붕괴지를 대상으로 임도사면의 붕괴요인을 평가하여 사면붕괴의 특성 및 예측을 실시하므로서 금후의 임도사업시 임도선형 및 임도구조적인 측면의 안정성 확보와 임도재해예방 측면에서의 유지관리 수립에 기초자료를 제공 하고자 실시되었다.

자료 및 방법

1. 조사대상지

1995년 7월(총강우량 453.9mm)과 8월(총강우량 774.7mm)의 집중호우로 인하여 임도사면 붕괴가 발생한 강원도 춘천시 지역의 백양임도(93년 8.68km), 변가터임도(91년 10.16km), 사오랑임도(91년 8.68km), 부귀임도(94년 21km), 당림임도(90년 8.70km)를 대상으로 임도절토사면 붕괴지 62개소와 안정지 79개소를 조사하였다.

2. 조사항목

임도 절토사면의 붕괴 및 안정에 기여하는 요인으로 임도구조 요인, 식생 요인, 토질 요인, 임도위치 요인으로 구분·조사하였다.

1) 임도구조 요인

임도구조에 관한 요인은 절토길이(m), 절토경사(°)를 조사하였다.

2) 식생 요인

식생에 관한 요인은 절토사면 피복율(%) 疎(식생피복 30%이하), 中(식생피복 30~60%), 密(식생피복 60% 이상), 無植生으로, 산지사면 피복율(%)은 疎(식생피복 30%이하), 中(식생피복 30~60%), 密(식생피복 60% 이상)으로, 임상은 침엽수, 활엽수, 혼효림으로, 수고(m)는 저목(수고 7m이하), 중목(수고 7~14m), 고목(14m이상)으로 조사하였다.

3) 토질 요인

토질에 관한 요인은 보통토사, 견질토사, 자갈토사, 호박돌 토사, 풍화암, 연암, 경암으로, 토심(m)은 임도 절개지의 지표면에서 불투수층 지대까지, 석력함유율은 단위면적당 암석의 비율(%)로서 조사하였다.

4) 임도위치 요인

임도위치에 관한 요인은 산지경사(°), 사면 횡단면형은 산복사면, 계곡, 능선부로, 노선위치는 산복, 산정, 산록으로, 방위는 8방위로, 사면 종단면형은 凹형, 凸형, 직선형으로 조사하였다.

3. 분석방법

1) 수량화이론(Ⅱ)에 의한 분석

수량화이론이란 질적인(정성적) 변수의 각각의 범주에 수량을 주어 양적인(정량적) 변수를 동시에 이용할 수 있는 통계적 수법으로 본 연구에서는 수량화Ⅱ류에 의한 임도 절토사면의 붕괴유무를 예측하였다(脇本와 田中, 1982).

외적기준의 K개의 범주가운데 번째 범주에 반응한 개체(표본)을 모아 제군이라 하고, 제i군의 α번째 개체가 각 아이템의 어느 범주에 반응하는가를 나타내고자 dummy변수(가변수)를 이용한다.

$\delta_{i\alpha(jk)} = 1$ … 제i군의 α번째 개체가 아이템 j의 범주 k에 반응할 때
0 … 그 밖의 경우

각 요인의 아이템의 범주로 이 반응으로부터 외적기준에 의한 분류를 예측하는 경우, 각 아이템 범주에 대응하는 가변수의 선형식을 생각하여 이것을 해당개체의 수량(평점)이라 한다.

$$Y_{i\alpha} = \sum_{j=1}^{R} \sum_{k=1}^{cj} a_{jk} \delta_{i\alpha}(jk) \qquad \cdots\cdots (1)$$

식 (1)에 의하여 외적기준 K개의 분류를 더욱 잘 판별하기 위하여 K개 군의 군간변동을 전변동에 대하여 상대적으로 최대가 되도록 a_{jk}를 정한다.

즉, 전변동(S_T)=군간변동(S_B)+군내변동(S_W)으로 나타낼 수 있다. 이를 식으로 나타내면 (2)식과 같다.

$$\sum_{i=1}^{K} \sum_{\alpha=1}^{ni} \left(Y_{i\alpha} - \overline{Y}\right) = \sum_{i=1}^{K} ni\left(\overline{Y}_i - \overline{Y}\right)^2 + \sum_{i=1}^{K} \sum_{\alpha=1}^{ni} \left(Y_{i\alpha} - \overline{Y}_i\right) \qquad \cdots\cdots (2)$$

각 항을 n으로 나누어 전분산 σ_T^2, 군간분산 σ_B^2, 군내분산 σ_W^2로 나타내면 상관비(correlation ratio) η^2은

$$\eta^2 = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} \qquad \cdots\cdots (3)$$

으로 나타낼 수 있다. (1)식을 (2) 식에 대입하여 정리하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta^2 = \frac{\sum_{j=1}^{R}\sum_{k=1}^{c_j}\sum_{u=1}^{R}\sum_{v=1}^{c_u} b(jk,uv)a_{jk}a_{uv}}{\sum_{j=1}^{R}\sum_{k=1}^{c_j}\sum_{u=1}^{R}\sum_{v=1}^{c_u} t(jk,uv)a_{jk}a_{uv}} \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서, $t(jk,uv) = f(jk,uv) - \frac{n_{jk}n_{uv}}{n}$,

$$b(jk,uv) = \sum_{i=1}^{K} \frac{g^i(jk)g^i(uv)}{n_i} - \frac{n_{jk}n_{uv}}{n}$$

또한, $f(jk, uv)$: 요인인 j아이템 · k범주와, u아이템 · v범주 양쪽에 반응한 개체의 수

$g^i(jk)$: 제j군에서 i아이템 · k범주에 반응한 개체의 수

n_{jk}: j아이템 · k범주에 반응한 개체의 수로 나타낼 수 있다

2) 요인별 카테고리의 설정

조사된 항목을 각 요인(item)별로 카테고리(category)를 다음과 같이 구성하였다.

임도 절토사면의 붕괴에 영향을 미치는 14개 요인을 2단계에서 8단계의 category로 표 1과 같이 구분하였다. 요인별로 살펴보면 노선위치는 2단계, 사면횡단면형, 사면종단면형, 산지사면 피복율, 임상, 수고 등은 3단계, 절토경사와 절토피복율은 4단계, 석력함유율은 5단계, 산지경사와 토심은 6단계 절토길이와 토질은 7단계, 사면방위는 8단계의 category로 구성하였다.

표 1. 임도 절토사면의 각 요인별 Category

요 인	기호	Category							
		1	2	3	4	5	6	7	8
절토 길이(m)	X1	~4	~6	~8	~10	~12	~14	14 〈	
절토 경사(°)	X2	~40	~50	~60	60 〈				
노선 위치	X3	산복	산정						
사면 횡단면형	X4	사면	계곡	능선					
절토 피복율(%)	X5	소	중	밀	무				
토 질	X6	보통토사	견질토사	자갈토사	호박돌토사	풍화암	연암	경암	
산지 경사(°)	X7	~30	~35	~40	~45	~50	50 〈		
사면 방위	X8	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
석력 함유율(%)	X9	~20	~40	~60	~80	80 〈			
사면 종단면형	X10	凸형	凹형	직선					
산지사면피복율(%)	X11	소	중	밀					
임 상	X12	침엽수	활엽수	혼효림					
수 고(m)	X13	~7	~15	15 〈					
토 심(m)	X14	~0.5	~1.0	~1.5	~2.0	~2.5	2.5 〈		

3) 요인별 기여도 평가 및 예측

외적기준에 대한 각 요인의 기여정도를 평가하는 척도로서 붕괴발생의 유무와 관계가 깊은 안정군과 붕괴군으로 구분하여 수량화된 외적기준과 수량화된 요인간의 편상관계수(partial correlation coefficient), 혹은 임도절토사면의 붕괴위험도예측 점수의 대소에 영향을 미치는 범위(range)를 이용하였다. 범위는 다음 식 (5)와 같고, 이 범위가 큰 요인일수록 어느 범주에 반응하는가에 의해 예측치가 크게 변하게 되고, 그 만큼의 외적기준에 대한 영향이 크다고 판정한다. 또한 각 요인별 상대점수를 이용하여 사면의 안정성을 예측하였다.

$$\text{Range}=\max(a_{jk})-\min(a_{jk}),\ j=1,\ 2,\ \cdots,R \quad \cdots(5)$$

또한 본 연구에 있어서 수량화 통계분석은 Excel 수량화이론 Ver1.0을 이용하였다.

결과 및 고찰

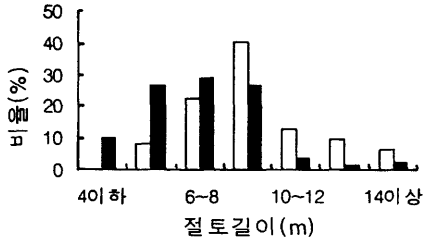
1. 임도 절토사면의 붕괴요인 특성

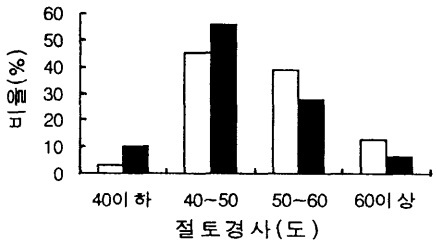
임도 절토사면 붕괴요인의 특성을 살펴보면 그림 1과 같다.

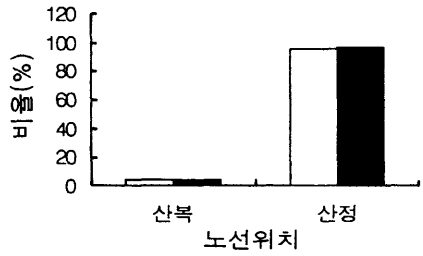
요인별로 가장 출현빈도가 높은 Category에 대해 살펴보면, 절토길이는 붕괴군의 경우 8~10m가 가장 많은 25개 지역으로 전체 붕괴군의 40.3%를 차지하였고, 안정군의 경우는 6~8m가 전체 안정군의 19.1%를 차지하여 붕괴군의 사면길이가 안정군의 사면길이보다 다소 길게 나타났다. 절토경사의 경우 붕괴군 및 안정군 모두 경사가 40~50° 사이가 가장 많은 빈도를 보이고 있으나 상대적으로 붕괴군에 있어서 절토사면의 경사가 높게 나타났다.

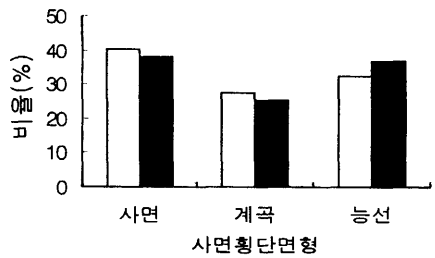
노선위치는 안정군과 붕괴군이 거의 같은 양상을 나타내고 있으며, 또한 사면횡단면형도 붕괴군 및 안정군의 발생빈도의 차이가 거의 나타나고 있지 않았다. 절토사면 피복율은 양군 모두 식생이 없는 사면의 빈도가 가장 많이 나타나고는 있으나 전반적으로 붕괴군의 경우 무식생이 안정군의 41.8%에 비해 77.4%로 높게 나타났다. 토질의 경우 전반적으로 양군이 같은 양상을 보여 주고 있으며, 대부분이 보통토사와 호박돌 토사가 대부분을 차지하고 있다. 산지경사는 안정군의 경우 40°이하가 대부분을 차지하고 있는 반면, 붕괴군의 경우는 40°이상이 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났으며 사면방위의 경우, 출현빈도가 거의 같은 양상을 나타내고 있다. 석력함유율은 양군 모두 함유율 20%이하가 가장 많은 빈도를 보이고 있으나, 상대적으로 안정군의 경우 석력함유율이 높은 것으로 나타났다. 사면종단면형은 양군의 모두가 직선형의 경우가 가장 많은 빈도를 나타내고 있다. 산지사면 피복율의 경우 밀도가 중인 경우가 50%인 반면, 안정군은 밀인 경우가 59.5%로 붕괴군보다 밀도가 높은 것으로 나타났다. 임상은 모두 거의 같은 수준으로 나타났으며, 수고는 중간목의 경우가 붕괴군에서 보다 안정군에서 상대적으로 높게 나타났다. 토심은 붕괴군인 경우 2.5m 이상이 72.6%로서 안정군의 48.1%보다 높게 나타나 대부분 토심이 깊은 곳에서의 붕괴가 발생하고 있는 것으로 판단된다.

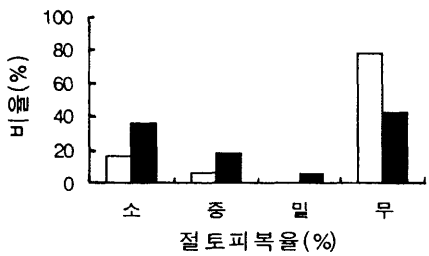
또한 안정군과 붕괴군을 합친 전체군의 각 요인별 단상관계수를 살펴보면 사면횡단면형과 사면종단면형의 단상관계수가 -0.66으로 나타나 이는 대부분 사면횡단면형이 계곡부인 경우 凹형, 직선사면인 경우 직선으로, 능선부인 경우 凸형인 것과 깊은 상관이 있는 것으로 판단된다. 그 외의 인자에 관하여는 상관계수가 그다지 높지 않아 독립적으로 보아도 무관할 것으로 사료된다.

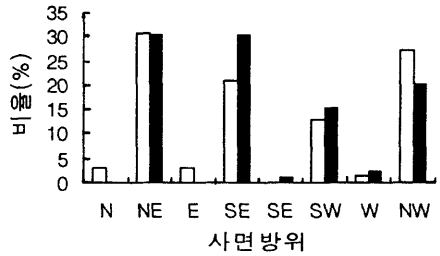

비율(%)
50
40
30
20
10
0
4이하
6~8
10~12
14이상
절토길이(m)

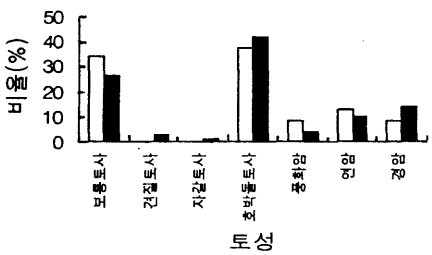

비율(%)
60
50
40
30
20
10
0
40이하
40~50
50~60
60이상
절토경사(도)

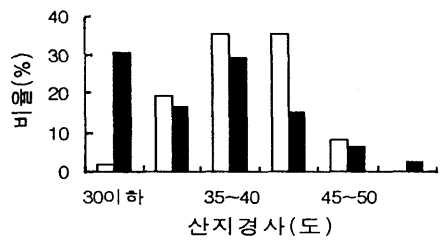

비율(%)
120
100
80
60
40
20
0
산복
산정
노선위치

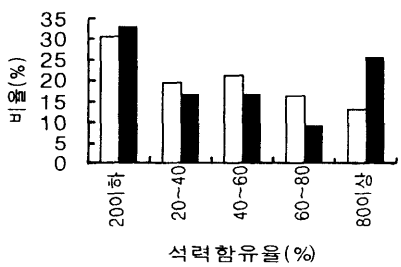

비율(%)
50
40
30
20
10
0
사면
계곡
능선
사면횡단면형

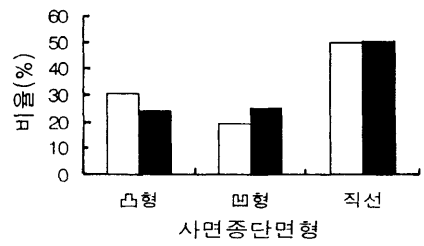

비율(%)
100
80
60
40
20
0
소
중
밀
무
절토피복율(%)


비율(%)
35
30
25
20
15
10
5
0
N
NE
E
SE
SE
SW
W
NW
사면방위


비율(%)
50
40
30
20
10
0
보통토사
견질토사
자갈토사
호박돌토사
풍화암
연암
경암
토성


비율(%)
40
30
20
10
0
30이하
35~40
45~50
산지경사(도)


비율(%)
35
30
25
20
15
10
5
0
20이하
20~40
40~60
60~80
80이상
석력함유율(%)


비율(%)
60
50
40
30
20
10
0
凸형
凹형
직선
사면종단면형

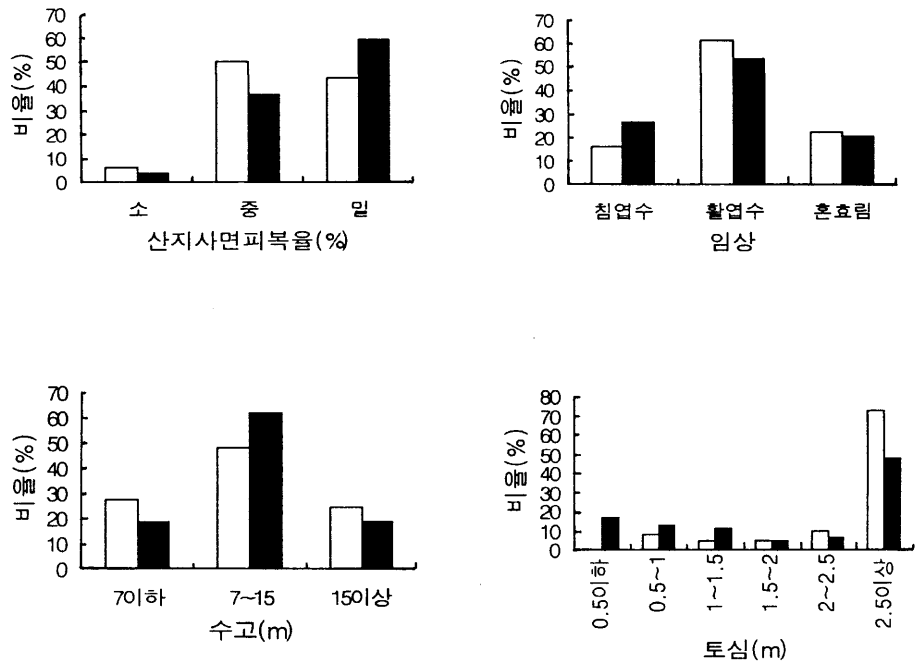


그림 1. 임도 절토사면 붕괴요인의 특성(□:붕괴군, ■:안정군).

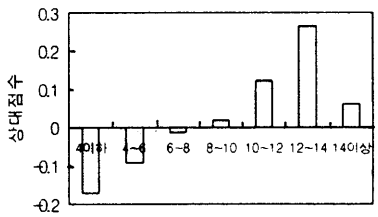
2. 임도 절토사면 붕괴발생 유무의 판별

임도 절토사면 붕괴에 기여하는 정도와 경향을 파악하기 위하여 각 요인을 category 별로 Range 값 및 편상관계수를 산출한 결과는 표 2과 같으며, 상대점수를 살펴보면 그림 2와 같다.

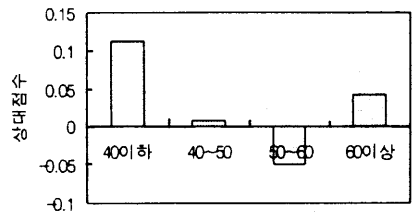
상대점수는 각 요인별 category의 판별계수에 해당하며 이 값이 (+)인 경우 불안정군에, (-)인 경우 안정군에 기여한다고 할 수 있다. Range 값은 요인의 상대적 기여도를 나타내는 척도로서 요인내의 수준의 최저치와 최대치의 상대적 수치가 크면 클수록 기여도가 큰 것을 나타낸다. Range값에 의하여 절토사면 붕괴발생에 영향을 주는 인자는 절토사면길이(0.4382), 사면방위(0.3691), 토질(0.2746), 토심(0.2537), 산지경사(0.2136), 절토사면 피복율(0.1984), 사면횡단면형(0.1651), 절토경사(0.1621), 산지사면 피복율(0.1601), 사면종단면형(0.1143) 순으로 나타났고 그외의 것은 기여도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 붕괴발생의 유무와 관계가 깊은 편상관계수를 기준으로 임도붕괴에 영향을 주는 인자를 순위별로 정리하면, 절토경사(0.6684), 절토사면장(0.6057), 절토사면 피복율(0.5912), 산지경사(0.5684), 토심(0.5514), 사면방위(0.4116), 사면횡단면형(0.3750), 토질(0.3675), 산지사면 피복율(0.3111) 순으로 나타났다. 위의 결과에서 절토사면의 붕괴는 인위적인 사면의 절개에서 발생되는 임도구조의 요인과 주변 경사요인, 토질, 식생 등이 종합적으로 절토사면의 붕괴에 작용하여 집중호우시 붕괴발생의 원인으로 작용하는 것으로 판단된다.

표 2. 임도 절토사면 요인별 Range 및 편상관계수

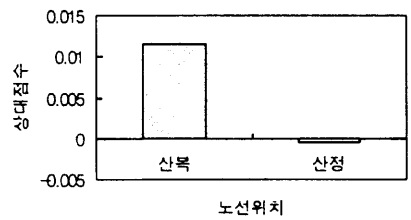
요 인	Category	조사수	상대점수	Range	편상관계수
절토 길이 (m)	~4	8	-0.1724	0.4382	0.6057
	4~6	26	-0.0946		
	6~8	37	-0.0135		
	8~10	46	0.0172		
	10~12	11	0.1201		
	12~14	7	0.2658		
	14~	6	0.0612		
절토 경사 (°)	~40	10	0.1124	0.1621	0.6684
	40~50	72	0.0085		
	50~60	46	-0.0497		
	60~	13	0.0425		
노선 위치	산 복	6	0.0115	0.0120	0.0497
	산 정	135	-0.0005		
사 면 횡단면형	사 면	55	0.0071	0.1561	0.3750
	계 곡	37	0.0896		
	능 선	49	-0.0756		
절토피복율 (%)	소	38	-0.0936	0.1984	0.5912
	중	18	-0.1246		
	밀	4	-0.0425		
	무	81	0.0737		
토 질	보통토사	42	0.0509	0.2746	0.3675
	견질토사	2	-0.0395		
	자갈토사	1	0.2184		
	호박돌토사	56	-0.0422		
	풍화암	8	0.0842		
	연 암	16	-0.0562		
	경 암	16	0.0196		
산지경사 (°)	~30	25	-0.1330	0.2136	0.5684
	30~35	25	-0.0350		
	35~40	45	0.0351		
	40~45	34	0.0806		
	45~50	10	-0.0068		
	50~	2	-0.0249		
사면방위	N	2	0.2237	0.3691	0.4116
	NE	43	0.0496		
	E	2	-0.0127		
	SE	37	-0.0516		
	S	1	-0.1455		
	SW	20	-0.0246		
	W	3	-0.1072		
	NW	33	0.0094		
석력함유율 (%)	~20	45	-0.0313	0.0685	0.1219
	20~40	25	0.0125		
	40~60	26	0.0372		
	60~80	17	0.0029		
	80~	28	0.0028		
사 면 종단면형	凸형	38	0.0504	0.1143	0.2431
	凹형	32	-0.0639		
	직선	71	0.0018		
산지사면 피복율(%)	소	7	0.1508	0.1606	0.3111
	중	60	-0.0056		
	밀	74	-0.0098		
임 상	침엽수	31	-0.0205	0.0320	0.1160
	활엽수	80	0.0115		
	혼효림	30	-0.0093		
수 고 (m)	~7	32	0.0226	0.0662	0.2435
	7~15	79	-0.0249		
	15~	30	0.0414		
토 심 (m)	~0.5	13	-0.1920	0.2537	0.5514
	0.5~1.0	15	-0.0844		
	1.0~1.5	12	-0.0460		
	1.5~2.0	7	0.0058		
	2.0~2.5	11	-0.0771		
	2.5~	83	0.0617		



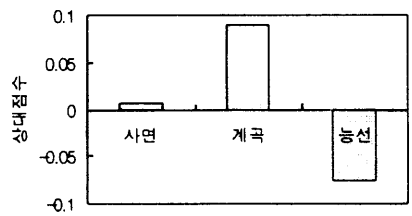
절토길이(m)



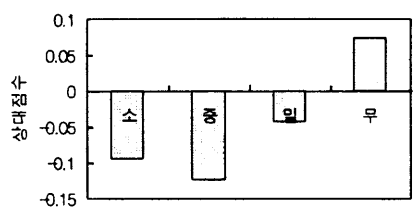
절토경사(도)



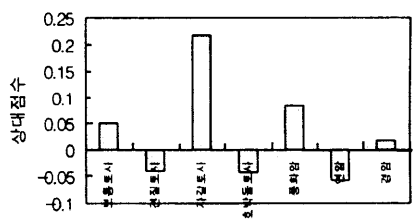
노선위치



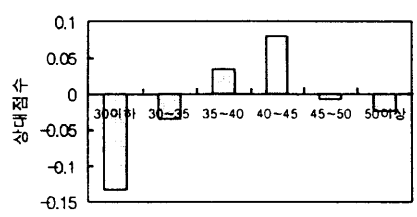
사면횡단면형



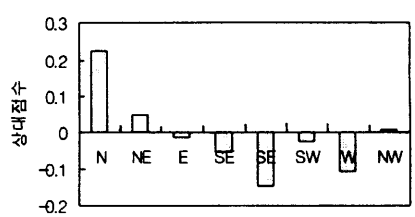
절토피복율(%)



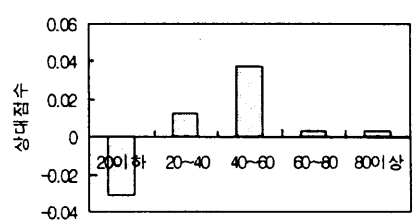
토성



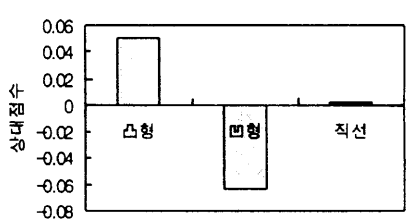
산지경사(도)



사면방위



석력함유율(%)



사면종단면형

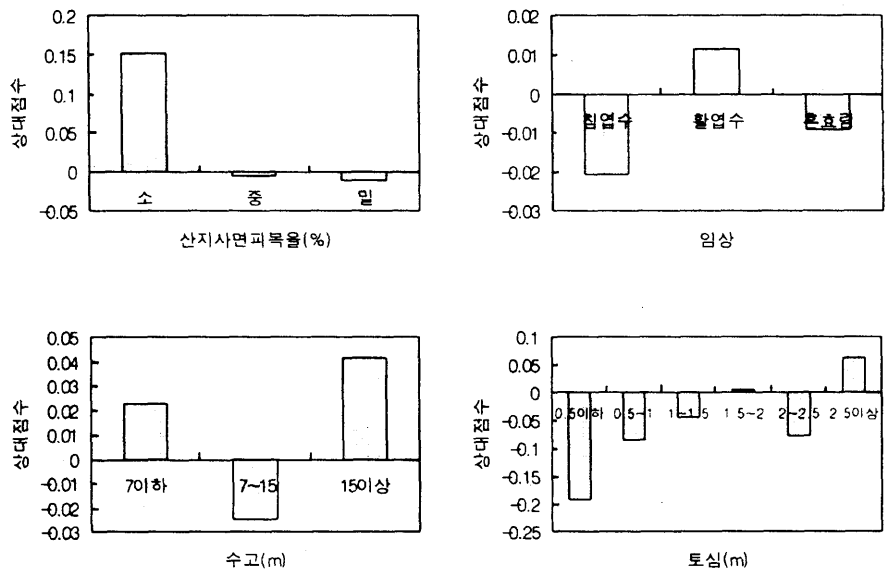


그림 2. 임도 절토사면 요인에 대한 Category의 상대점수.

3. 편상관계수 및 Range 값에 의한 절토사면 붕괴요인 예측

표 2에서 절토사면 붕괴유무와 관계가 깊은 편상관계수가 0.5이상에서 붕괴위험도 예측에 영향을 주는 Range 값이 높은 인자를 대상으로 붕괴요인을 예측하면 다음과 같다.

1) 절토사면 길이는 8m이하에서 짧으면 짧을수록 안정한 것으로 나타났고, 8m이상에서는 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 10m~14m사이에서 붕괴발생위험이 높은 것으로 나타났다. 따라서 임도의 개설시 8m 이하로 절토사면의 길이를 제한하여야 할 것이며, 부득이한 경우 10m이상에서는 단끊기를 실시하는 것이 바람직할 것으로 보여진다.

김종윤 등(1990)은 절토길이가 6m이상에서, 菊地와 黃井(1973)는 6m~10m사이에서, 中尾와 森田(1972, 1973)는 8.5m~11.5m에서 가장 붕괴위험이 높은 것으로 나타나 본 연구결과와 유사하였다.

2) 토심은 주로 2.5m이하에서 얕으면 얕을수록 안정한 것으로 나타났고, 특히 50cm 이하에서 안정한 것으로 나타났다. 또한 2.5m이상에서는 붕괴위험이 있는 것으로 나타났다. 이러한 지역은 주로 토사지역으로 토양구조가 단순한 것으로 사료되어 임도개설시 옹벽 등의 절토사면 보강공법을 적용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 麻鎬燮(1994)은 30cm이하에서 불안정측에 기여한다고 하여 본 연구결과와 상이하게 나타나 자연사면의 붕괴의 경우와 임도개설로 인한 인위적인 사면의 절개로 인한 절토사면의 붕괴는 차이가 있는 것으로 판단된다.

3) 산지경사는 35°이하와 50°이상의 산지사면에서 안정한 것으로 나타났고, 특히 30°이하에서 안정한 것으로 나타났다. 그러나 35°~50°사이에서는 붕괴발생위험이 있는 것으로 나타나 기존연구결과와 유사하게 경향을 보이고 있다(吉村 등, 1992: 菊地와 黃井, 1973: 麻鎬燮, 1994: 禹保命, 1972). 이는

30° 이하의 완경사지에서는 폭우시 유속의 흐름이 급하지 않아 붕괴의 위험이 적은 것으로 사료되며, 급경사지인 경우 주로 암반지대로 형성되어 붕괴의 위험이 적은 것으로 판단된다. 崔敬과 朴勝杰(1983)은 15°~50° 사이의 사면에서 경사가 증가할수록 붕괴발생면적이 감소한다고 하였고, 50° 이상의 사면에서는 붕괴가 거의 나타나지 않는 것으로 보고한 바 있다.

4) 절토사면 피복이 어느 정도 되어있는 경우 안정측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 식생 피복율이 30%이상에서 안정한 것으로 나타났다. 그러나 식생이 피복되어 있지 않은 경우에는 붕괴의 위험이 있는 것으로 나타났다. 따라서 임도개설시 빠른 시일내에 절토사면의 피복이 이루어 지도록 하여야 할 것이다. 그러나 절토사면의 피복은 성토부의 피복보다 지표면의 토양경도가 높고, 모암층이 그대로 노출되기도 하기 때문에 피복이 어려워 임도개설시 종자분사파종공법 등의 다양한 절토사면 녹화공법을 적용하여 조기에 사면피복이 이루어 지도록 하여야 할 것으로 사료된다.

5) 절토사면 경사는 주로 50° 이하에서 불안정한 것으로 나타났고, 50~60° 사이에서 안정한 것으로 나타났다. 따라서 절토사면 경사가 50° 이하의 사면은 주로 토사지역이 대부분으로 붕괴위험이 있는 것으로 사료되며, 60° 이상의 급사면에서는 절토사면 안정에 저해하는 것으로 판단된다. 金鍾閏 등(1990)은 경사도가 45°~50° 사이에서 가장 임도피해에 기여도가 높았고, 50° 이상에서는 감소하는 경향을 나타내 본 연구결과와 유사하였다.

이상의 결과를 살펴보면, 임도 절토사면의 붕괴는 절토사면의 구조적인 요인과 식생, 지형적인 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 판단되며, 주로 절토길이 8m이상, 토심이 2.5m이상, 산지경사 30°~50° 사이, 절토피복율이 무식생인 경우, 절토경사 60° 이상에서 절토사면의 붕괴가 발생할 수 있는 지역으로 예측된다. 따라서 이러한 지역의 임도시설시 적절한 붕괴방지 공법의 적용이 필요할 것이며, 절토사면의 식생피복이 빠른 기간내에 이루어지도록 하여야 할 것이다.

4. 임도 절토사면 붕괴의 판별 정도

임도 절토사면 붕괴에 관여하는 요인을 붕괴군과 안정군으로 구분하여 분석한 통계치는 표 3과 같다. 붕괴군의 평균은 0.1573, 분산 0.0111, 표준편차 0.1054이었고, 안정군은 평균이 -0.1238, 분산 0.0168, 표준편차 0.1298으로 나타났다.

또한 붕괴군과 안정군의 판별 적중점은 0.0236으로, 이 값 이상이면 붕괴군, 이 값 이하이면 안정군으로 판별한다.

표 3. 임도 절토사면의 붕괴군 및 안정군별의 평균, 분산 및 표준편차

구 분	평 균	분 산	표준편차
붕괴군	0.1578	0.0111	0.1054
안정군	-0.1238	0.0168	0.1298
전 체	0.0000	0.0339	0.1840

표 4. 임도 절토사면 붕괴요인의 판별 Cross표

	붕괴군	안정군	합 계
판별적중점이상	57	9	66
판별적중점이하	5	70	75
합 계	62	79	141

또한 오분류율은 표 4에서와 같이 붕괴군의 경우 총 62개소중 5개소가 오분류되어 오분류율은 8%였고, 안정군의 경우는 총 79개소중 9개소가 오분류되어 11.3%의 오분류율을 나타내 전체적인 판별적중율은 90.1%로 매우 높게 나타났으며, 급내분산 0.0143, 급간분산 0.0195, 전분산은 0.0339로 나타나, 상관비는 0.5771로 나타났다.

결 론

본 연구는 강원도 지역에서 1995년도 7, 8월의 집중호우로 인하여 발생된 임도 절토사면 붕괴지를 대상으로 붕괴위험도 예측을 실시하였다.

임도 절토사면 붕괴요인의 기여순위는 Range값을 기준으로 살펴보면, 절토사면길이, 사면방위, 토질, 토심, 산지경사, 절토사면 피복율, 사면횡단면형, 절토경사, 산지사면 피복율, 사면종단면형 순으로 나타났고, 편상관계수의 기준으로는 절토경사, 절토사면길이, 절토사면 피복율, 산지경사, 토심, 사면방위, 사면횡단면형, 토질, 산지사면 피복율 순으로 나타났다.

편상관계수 및 Range 값에 의하여 절토붕괴요인을 평가하면, 주로 절토길이 8m이상, 토심이 2.5m이상, 산지경사 30°~50°사이, 절토피복율이 무식생인 경우, 절토경사 60° 이상에서 절토사면의 붕괴가 발생할 수 있는 지역으로 예측된다.

이상과 같이 임도 절토사면의 붕괴는 절토사면의 구조적인 요인과 식생, 지형적인 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 판단되며, 금후 임도개설시 구조적인 안정문제에 대하여 검토할 예정이다.

인 용 문 헌

1. 姜渭平. 1981. 1979年 8月 集中豪雨에 의한 鎭海地區의 山沙汰에 關한 硏究. 韓林誌 52:72-78.
2. 金種閏, 李海周, 李鳳洙, 吳世一. 1990. 數量化에 의한 林道 被害原因 分析. 林硏硏報 41:36-62.
3. 麻鎬燮. 1994. 山地斜面의 崩壞危險度 豫測모델의 開發 및 實用化 方案. 韓林誌 83(2):175-190.
4. 禹保命. 1972. 山地의 Mass Soil Movement 現像의 몇 가지 特性. 韓林誌 15:49-60.
5. 산림청. 1997. 제4차 산림기본계획. 93-114.
6. 崔敬, 朴勝杰. 1983. 山沙汰 發生豫知에 關한 硏究-多變量 解析法에 依한-. 林硏硏報 30:109-129.
7. 菊地政泰, 黃井正美. 1973. 林道の法面崩壞に關する硏究(1). 第八回林道硏究會發表論文集:91-98.
8. 吉村哲彦, 神崎康一, 沼田邦彦, 鈴木保志. 1992. 森林路網計劃のための崩壞危險地の豫測に關する硏究. 103回 日林論:617-619.
9. 吉村哲彦, 神崎康一. 1995. 破碎帶急傾斜地における崩壞危險度を用いた高密度路網計劃法(Ⅰ)-地形圖による崩壞危險度の判定-. 日林誌 77(1):1-8.
10. 杉山和一, 後藤惠之輔, 吉住龍也, 棚橋田彦. 1990. 數量化理論による地すべりの危險度評價法の一試案. 土木學會論文集 424:69-74.
11. 西邦正, 古川浩平, 小川健, 中川浩二. 1993. 豪雨時における切土のり面の崩壞誘引評價と崩壞・未崩壞の判定について. 土木學會論文集 480:127-136.
12. 中尾博美, 森田紘一. 1972. 切取法面の崩壞(Ⅰ). 日本林學會大會講演集 83:416-418.
13. 中尾博美, 森田紘一. 1973. 切取法面の崩壞(Ⅱ)-福岡縣內路線-. 日本林學會九州支部硏究論文集 26:237-238.
14. 塚本次郎. 1991. 仁淀川下流域の台風災害における山腹小崩壞地点と非崩壞地点の判別. 日林誌 73(3):161-171.
15. 協本和量, 田中 豊. 1982. 多變量統計解析法. 現代數學社. 113pp