

산림유역 특성에 의한 붕괴 위험지역의 평가 및 예지¹

정원옥^{2*} · 마호섭³

Evaluation and Prediction of Failure Hazard Area by the Characteristics of Forest Watershed¹

Won-Ok Jeong^{2*}, Ho-Seop Ma³

요 약

산림유역 조건에 따른 붕괴 토사량을 측정하여 사면 붕괴가능성을 평가하고 붕괴위험지역에 대한 예지기술(豫知技術)을 개발함으로써 산지사면에서 발생하는 각종 재해에 대한 피해를 최소화할 수 있는 산림유역 관리에 대한 기술적 기초 자료를 제공하고자 연구하였다.

붕괴 위험지역을 평가한 결과 I급지(매우 위험지역)는 화성암지역으로 침엽수림이며 임령은 20년생 이하, 토심은 30cm 이하, 토성은 사질식양토(SCL), 석력함량은 31~40%, 사면방위는 남~동(S~E)사면, 주하천길이는 2,501~3,500m, 총하천수는 26~30개, 총하천길이는 5,501~10,000m, 하천차수는 3차수, 일차하천수는 11~15개 또는 16개 이상, 사면경사는 31°이상의 지역으로 평가되었고, II급지(위험지역)는 변성암지역으로 활엽수림이며 임령은 21~24년생, 토심은 31~40cm, 토성은 미사질식양토(SiCL) 또는 사질식양토(SCL), 석력함량은 11~20%, 사면방위는 남~서(S~W)사면, 주하천길이는 1,501~2,500m, 총하천수는 6~10개, 총하천길이는 3,501~5,500m, 하천차수는 2차수, 일차하천수는 6~10개, 사면경사는 31°이상의 지역으로 평가되었으며, III급지(비 위험지역)는 퇴적암지역으로 임상은 혼효림, 임령은 25년생 이상, 토심은 41~50cm, 토성은 미사질식양토(SiCL), 석력함량은 10% 이하, 사면방위는 북~서(N~W)사면, 주하천길이는 500m 이하, 총하천수는 5개 이하, 총하천길이는 1,000m 이하, 하천차수는 1차수, 일차하천수는 2개 이하, 사면경사는 25°이하의 지역으로 평가되었다.

붕괴위험 예측치를 이용하여 붕괴위험지역을 예지한 결과 점수의 합계가 I급지는 4.8052점 이상이며 II급지는 4.8051점에서 2.5602점 사이에 해당하며 III급지는 2.5601점 이하의 지역으로 분석되었다.

주요어 : 수량화이론(I), 붕괴토사량, 사방법

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the characteristics of forest watershed factors by using the quantification theory(I) for evaluation and prediction of the failure hazard area.

Present sediment($m^3/yr/ha$) of erosion control dams were investigated in 95 sites of erosion control dam constructed during 1986 to 1999 in Gyeongnam province.

The results obtained from this study were summarized as follows:

General condition of class I(Very hazard area) were as follow: Igneous rock in parent rock, coniferous

1 접수 9월 26일 Received on Sep. 26, 2006

2 국립공원관리공단 국립공원연구원 National Park Research Institute, Namwon(590-811), Korea

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

* 교신저자, Corresponding author(wonokjung@knps.or.kr)

in forest type, below 20year in stand age, below 30cm in soil depth, SCL in soil texture, 31 ~ 40% in gravel contents, S ~ E in aspect, 2,501 ~ 3,500m in length of main stream, 26 ~ 30 in number of total streams, 5,501 ~ 10,000m in length of total streams, over 3 in stream order, over 16 in number of first streams order and over 31° of slope gradient.

General condition of class II(hazard area) were as follow; Metamorphic rock in parent rock, hardwood in forest type, over 21 ~ 24year in stand age, 31 ~ 40cm in soil depth, SiCL or SCL in soil texture, 11 ~ 20% in gravel contents, S ~ W in aspect, 1,501 ~ 2,500m in length of main stream, 6 ~ 10 in number of total streams, 3,501 ~ 5,500m in length of total streams, 2 in stream order, 6 ~ 10 in number of first streams order and over 31° of slope gradient.

General condition of class III(Un hazard area) were as follow; Sedimentary rock in parent rock, mixed in forest type, over 25year in stand age, 41 ~ 50cm in soil depth, SiCL in soil texture, below 10% in gravel contents, N ~ W in aspect, below 500m in length of main stream, below 5 in number of total streams, below 1,000m in length of total streams, below 1 in stream order, below 2 in number of first streams order and below 25° of slope gradient.

The prediction method of suitable for failure hazard area divided into class I, II, and III for the convenience of use. The score of class I evaluated as a very hazard area was over 4.8052. A score of class II was 4.8051 to 2.5602, it was evaluated as a hazard area, and class III was below 2.5601, it was evaluated as a un hazard area.

KEY WORDS : QUANTIFICATION THEORY(I), SEDIMENT, EROSION CONTROL DAM

서론

우리나라의 산지는 지리적, 지질적, 지형적 원인 등으로 협준하며 경사는 급하고 전 산림면적의 56%가 화강암 및 화강 편마암지대로 이루어져 있으며 지형 윤회상 만장년기 또는 노년기 지형으로 토층과의 경계부위에서 산지사면의 붕괴현상이 발생하기 쉬운 지형적 여건을 가지고 있다.

산지사면의 붕괴는 주로 과도한 강우에 의한 물과 중력의 복합적인 상호작용에 의하여 발생하는 것으로 인식되어 왔으나 최근에는 산지가 전체면적의 65%(산림청, 2000)를 차지하는 제한된 국토면적에 주택 및 산업 단지가 급속히 확대되어 가는 도시화 및 산업화 현상으로 인하여 경사가 급한 도시주변까지 산지가 이용됨으로서 그에 따른 산사태 발생과 토사유출에 대한 위험성도 점차 증대되고 있다.

이와 같이 산지재해 현상으로 발생한 토사가 계곡을 따라 하천에 퇴적하게 되면 물이 월류(越流)하면서 농경지 및 주택을 매몰시키게 된다. 또한 집중호우로 인한 급류가 급경사지의 하천을 따라 일시에 밀려내려 오면 인명 및 재산의 피해는 물론 자연환경의 파괴로 인한 산림생태계의 질서를 훼손할 뿐만 아니라 국토를 파괴하는 큰 원인 중의 하나이므로 국토환경 보전적인 측면에서

중요하게 다루어져야 할 것이다.

산지사면의 침식 및 붕괴에 관한 연구에 있어서 大石(1999)은 유역의 황폐특성을 구성하는 요소에는 지형, 지질, 토양, 식생, 기후 등이 있고 福永(1993), 諫本과 高宮(1992a; 1992b), 三浦 등(1983), 小河 등(1992)은 산림피해발생 기구에 관해서 지황요인(표고, 노출도, 사면방위, 사면위치, 사면형상, 경사각, 토심 등)과 임황요인(피복율, 임관소밀도, 침활혼효율, 수관변동율, 수종, 임령 등)으로 크게 구분하고 이들 요소들의 상호작용에 의해 침식과 붕괴가 형성된다고 하였다.

그리고 모암 및 지질에 관한 연구(竹下, 1971; 최경, 1999; 塚本과 小橋, 1991)와 임상 및 식생에 관한 연구(建設交通部, 1999; 竹下와 金, 1993; 竹下와 高木, 1997), 강우에 관한 연구(海堀 등, 1999; 平野 등, 1994; 1986), 사면경사에 관한 연구(平松 등, 1999; 淵本, 1972)등으로 크게 구분되어 연구되어 왔으며 이러한 인자에 의한 사면의 안정성을 평가 및 예지하기 위하여 각종 통계적 기법(판별분석, 수량화 I, II)들이 사용되었다(강위평 등, 1986; 志水, 1977; 1978; 최경, 1986; 정원옥, 2001)

앞으로 21세기의 임업은 복구차원이 아닌 예방적인 측면에서 재해의 위험성을 예지하고 효과적인 대책공법을 마련할 수 있는 기술을 개발하여야 할 것이다.

따라서 본 연구는 산림유역내에 건설되어 있는 사방댐내 붕괴 토사량을 측정하고 각종 산림유역 인자를 이용하여 산림유역 조건에 따른 사면 붕괴가능성을 평가함으로서 붕괴위험지역에 대한 예지기술(豫知技術)을 개발하고 산지사면에서 발생하는 각종 재해에 대한 피해를 최소화할 수 있는 산림유역 관리에 대한 기술적 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지의 개황

산림유역 조건에 따른 붕괴위험지역에 대한 예지기술(豫知技術)을 개발하기 위하여 선정되어진 각 조사지역의 연도별 사방댐 건설현황은 Table 1과 같다.

2. 조사방법

1) 붕괴 토사량의 측정

산림유역조건에 따른 붕괴위험지역을 평가하기 위하여 각 사방댐내에 퇴적되어 있는 붕괴 토사량을 Figure 1의 방법으로 측정하였으며 측정되어진 붕괴 토사량을 경과년수(year)와 유역면적(ha)으로 나눈 연평

균 붕괴 토사량(m³/yr/ha)을 분석에 이용하였다.

$$V(m^3) = \frac{w_1 + w_2}{2} \times h' \times l \text{-----} (1)$$

Note) V(m³): 내용적, h: 댐 유효고, h': 평균 댐 여유고 l: 저사거리, w1: 댐 주변 계상폭, w2: 댐 상류 계상폭
 붕괴 토사량(m³) = 건설 당시의 저사(貯砂) 가능 용적 - (1)식에 의한 현재 저사 가능 용적

2) 산림유역 인자조사

A. 모암(X₁:parent rock) : 1/50,000 지질도를 이용하여 조사유역의 모암을 퇴적암, 화성암, 변성암으로 구분하여 조사하였다.

B. 임상(X₂:forest type) : 임상도 및 현지조사를 통하여 조사유역의 식생을 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 구분하였다.

C. 임령(X₃:stand age) : 임상도 및 현지조사를 통하여 조사유역에 우점하고 있는 임목의 임령을 조사하였다.

D. 토심(X₄:soil depth) : 토양단면을 통해 유기물층을 제외한 광물토층을 표토(A층)에서 하층토(B층 하단)까지를 나타내는 전토심(cm)을 측정하였다.

E. 토성(X₅:soil texture) : 토성은 모래, 미사, 점토의 비율을 이용한 미 농무성 토성분류법에 의하여 사질식양토(SCL), 미사질양토(SiL), 미사질식양토(SiCL)로

Table 1. General descriptions of investigated erosion control dams

Study area	Constructed year													Total	
	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98		'99
Hadong	1			1							1	2	1	1	7
Sacheon		2								1			1	1	5
Jinju											1				1
Sancheong						2	1	2		1	1	1		1	9
Hamyang				1	1			1		1	2	2		1	9
Geochang								3	1			1	1		7
Hapcheon				1	1		2						1	1	6
Changnyeong					3				1			1	1		6
Uiryong	1											1	1	1	4
Haman												2		1	3
Masan		1		1								1			3
Goseong										1		1	1	1	4
Tongyeong									1			1			2
Geoje								1							1
Jinhae								1							1
Changwon										1			1		2
Gimhae					1	2	1		1				3		8
Miryang	1			1	1	1						1	1		6
Yangsang				1	1			2	1	1	1	1	1	1	11
Total	3	3	0	4	8	7	9	7	4	6	7	15	13	9	95

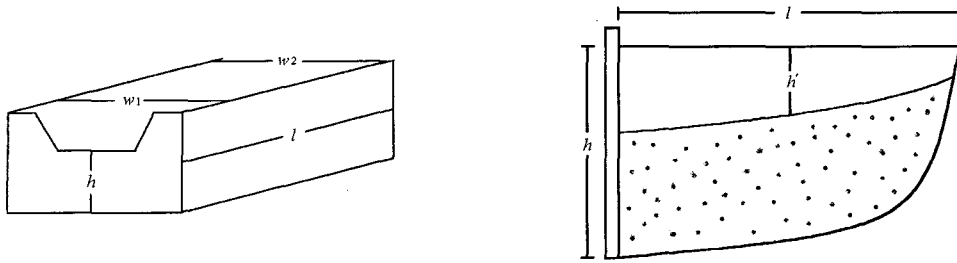


Figure 1. The measured method of sediment in erosion control dam

구분하였다.

F. 석력함량(X_6 :gravel contents) : 표준토색척(農林水産省, 1997)을 이용하여 토양단면의 석력함량(%)을 조사하였다.

G. 사면방위(X_7 :aspect) : 주하천길이를 중심으로 현지조사 및 1/25,000 지형도상에서 4개의 방위권역(N~E, N~W, S~E, S~W)으로 구분하였다.

H. 주하천길이(X_8 :length of main stream) : 본류하천으로 인정되는 유로의 길이(m)를 1/25,000 지형도상에서 curvimeter를 사용하여 측정하였다.

I. 총하천수(X_9 :number of total streams) : 1/25,000 지형도상에서 주하천길이를 중심으로 연결되어진 각종 지천과 세천을 조사하여 유역내 총하천수로 하였다.

J. 총하천길이(X_{10} :length of total streams) : 1/25,000 지형도상에서 유역내 총하천수의 길이를 curvimeter를 사용하여 측정하였다.

K. 하천차수(X_{11} :stream order) : 1/25,000 지형도상에서 Horton-Strahler(1952)의 방식에 의하여 유역내 하

천차수를 조사하였다.

L. 일차하천수(X_{12} :number of first streams order) : 1/25,000 지형도상에서 Horton-Strahler (1952)의 방식에 의하여 유역내 일차하천수를 조사하였다.

M. 사면경사(X_{13} :slope gradient) : 1/25,000 지형도상에서 西島(1955)의 방안법에 의하여 측정한 값(°)을 사용하였다.

3. 통계적 분석방법

본 연구에서는 목적변수가 양적이고 설명변수에 질적변수가 혼용되어 있어 각각의 범주에 수량을 부여하는 통계적 수법으로 사면의 안정성 평가에 주로 사용되는 수량화 I 이론을 이용하였으며 질적변수는 더미변수(dummy variable) 형태로 변환하였다. 붕괴 위험지역을 분석하기 위하여 Table 2와 같이 13개의 인자를 55개의 category로 구분하고 각 인자의 붕괴 토사량에 대한 기여정도를 평가하기 위하여 Range 및 편상관계수를 도출

Table 2. Classification of category for each factor

Factors	Category						
	1	2	3	4	5	6	7
X_1	Sedimentary rock	Igneous rock	Metamorphic rock				
X_2	Coniferous	Hardwood	Mixed				
X_3	≤ 20 year	21~24	25year \leq				
X_4	≤ 30 cm	31~40	41~50	51cm \leq			
X_5	SiCL	SiL	SCL				
X_6	$\leq 10\%$	11~20	21~30	31~40	41% \leq		
X_7	N~E	N~W	S~E	S~W			
X_8	≤ 500 m	501~1,000	1,001~1,500	1,501~2,500	2,501~3,500	3,501m \leq	
X_9	≤ 5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31 \leq
X_{10}	$\leq 1,000$ m	1,001~2,000	2,001~3,500	3,501~5,500	5,501~10,000	10,001m \leq	
X_{11}	≤ 1	2	3 \leq				
X_{12}	≤ 2	3~5	6~10	11~15	16 \leq		
X_{13}	$\leq 25^\circ$	26~30	31 \leq				

Table 3. Normalized score of each category and range

Factors		Category	Score	Mean score	Normalized score	Range
X ₁	Parent rock	1	-0.0360	0.1646	-0.2006	0.3151
		2	0.2791		0.1145	
		3	0.0000		-0.1646	
X ₂	Forest type	1	0.4520	0.3433	0.1087	0.4520
		2	0.3721		0.0288	
		3	0.0000		-0.3433	
X ₃	Stand age	1	0.3670	0.2508	0.1162	0.4145
		2	0.4145		0.1637	
		3	0.0000		-0.2508	
X ₄	Soil depth	1	0.2448	0.1580	0.0868	0.3401
		2	0.2911		0.1331	
		3	-0.0490		-0.2070	
		4	0.0000		-0.1580	
X ₅	Soil texture	1	-0.0200	-0.0382	0.0182	0.1089
		2	-0.1089		-0.0707	
		3	0.0000		0.0382	
X ₆	Gravel contents	1	-4.2874	-3.8193	-0.4681	4.2874
		2	-3.9176		-0.0983	
		3	-3.2017		0.6176	
		4	-3.0804		0.7389	
		5	0.0000		3.8193	
X ₇	Aspect	1	-0.0268	-0.0129	-0.0139	0.1817
		2	-0.1349		-0.1220	
		3	0.0468		0.0597	
		4	0.0000		0.0129	
X ₈	Length of main stream	1	-0.3939	0.0547	-0.4486	0.8449
		2	-0.2066		-0.2613	
		3	0.2136		0.1589	
		4	0.4510		0.3963	
		5	0.3804		0.3257	
		6	0.0000		-0.0547	
X ₉	Number of total streams	1	-0.0851	-0.0191	-0.0660	0.5097
		2	-0.0200		-0.0009	
		3	0.1905		0.2096	
		4	0.3868		0.4059	
		5	0.4135		0.4326	
		6	0.4246		0.4437	
		7	0.0000		0.0191	
X ₁₀	Length of total streams	1	-0.2035	0.2547	-0.4582	0.8661
		2	0.2434		-0.0113	
		3	0.6027		0.3480	
		4	0.6626		0.4079	
		5	0.6495		0.3948	
		6	0.0000		-0.2547	
X ₁₁	Stream order	1	-1.1606	-0.6114	-0.5492	1.1606
		2	-0.5526		0.0588	
		3	0.0000		0.6114	
X ₁₂	Number of first streams order	1	-1.2394	-0.9539	-0.2855	1.2394
		2	-0.6733		0.2806	
		3	-0.5374		0.4165	
		4	-0.2155		0.7384	
		5	0.0000		0.9539	
X ₁₃	Slope gradient	1	-0.3179	-0.1248	-0.1931	0.3179
		2	-0.1182		0.0066	
		3	0.0000		0.1248	

Note) R² = 0.9437, Prob > F = 10.07 (P=0.0001)

하였으며 또한 각 인자의 category별 상대점수(Normalized score)를 분석하였다. 분석되어진 상대점수를 조사되어진 산림유역의 각 인자별 category에 반응시켜 산출되어진 붕괴 위험 예측치를 기준으로 붕괴위험지역을 I급지, II급지, III급지로 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 붕괴 토사량에 대한 기여도 분석

산지사면의 붕괴 토사량에 영향을 미칠 것으로 예상되는 13개의 인자를 수량화이론(I)에 의한 상대점수를 분석하기 위하여 인자별 category화한 결과는 Table 2와 같다.

상대점수(Normalized score)는 각 인자별 category의 판별계수에 해당하며 점수들의 (+)값은 붕괴 토사량의 발생에 기여하고 (-)값은 사면 안정측에 기여하게 되며 그 크기는 수치의 대소(大小)로 나타낸다.

각 인자의 category별 상대점수를 분석한 결과(Table 3) 모양은 화성암이 붕괴 토사량의 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 다음으로 변성암, 퇴적암 순으로 상대점수가 높게 나타났다(塚本과 小橋, 1991; 최경, 1999). 임상은 침엽수림과 활엽수림 순으로 붕괴 토사량의 발생에 큰 기여도를 보이며 사면의 불안정측에 속하고 있었고 호효림은 사면 안정측에 기여하는 것으로 분석되었다(건설표통부, 1999). 임령은 25년생 이상이 붕괴 토사량의 발생을 억제하는 사면 안정측에 속하는 것으로 나타났으며 임령이 낮을수록 붕괴 토사량의 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되어 O'Loughin과 Ziemer(1983)의 연구보고와 유사한 경향이었다. 토심은 토양 깊이가 깊을수록(41~50, 50cm 이상) 붕괴 토사량의 발생을 억제하는 것으로 분석되었으며 토성은 토양내 점토함유량이 적은 사질식양토(SCL)가 붕괴 토사량의 발생에 대한 기여도가 높은 것으로 분석되었다(梶原 등, 1999).

석력함량은 토양내 석력이 많을수록 붕괴 토사량의 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며 이는 석력함량이 많을수록 뿌리의 생육이 왕성하지 못하여 수목근계에 의한 토사억지효과가 약하고 또한 강우시 토양입자 사이의 응집력이 약해져 사면붕괴가 많이 발생하기 때문으로 추정되었다. 방위는 남~동(S~E)사면이 붕괴 토사량에 큰 영향을 미치고 있었으며 이러한 결과는 우리나라의 지리적 특성상 여름철 계절성 호우 및 장마전선의 북상에 따른 영향으로 판단되었다.

주하천길이는 500m 이하, 501~1,000m에서 사면침

식에 대한 안정측에 속하고 있었고 주하천길이가 길수록 붕괴 토사량에 대한 기여도가 증가하는 경향이었으나 주하천길이 2,501m 이상부터는 기여도가 감소하는 추세였다. 총하천수는 대체적으로 하천수가 많을수록 사면이 불안정측에 속하게 되어 붕괴 토사량이 많이 발생하는 것으로 분석되었다.

총하천길이는 1,000m 이하, 1,001~2,000m에서는 사면 안정측에 속하고 있었고 2,001m 이상부터는 하천길이가 길수록 붕괴 토사량에 대한 기여도가 증가하였으나 10,001m 이상부터는 기여도가 감소하는 추세를 나타내었다. 이러한 결과는 주하천길이와 마찬가지로 붕괴지역에서 발생한 토사가 계류내에 퇴적과 침식 또는 하류로 이동을 반복하는 과정에서 하천길이가 길수록 댐내에 도달하는 토사량보다 계류에 퇴적되는 양이 많이 발생하기 때문인 것으로 나타나 거리와 토사유출 사이에는 반비례의 관계가 성립하고 있는 것으로 추정되었다.

하천차수와 일차하천수는 차수가 높을수록, 일차하천수가 많을수록 사면이 불안정하여 붕괴 토사량에 대한 기여도가 증가하는 경향이었고 사면경사는 경사가 급할수록 붕괴 토사량에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Carroll 등, 2000; Chaplot와 Le Bissonnais, 2000).

13개의 인자를 55개의 category로 구분하고 수량화이론(I)에 의하여 분석되어진 각 인자의 category별 상대점수로 붕괴 토사량을 추정하였다.

추정식 $Y = -0.2006 X_{1;1} + 0.1087 X_{2;1} + 0.1162 X_{3;1} + 0.0868 X_{4;1} + 0.0182 X_{5;1} - 0.4681 X_{6;1} - 0.0139 X_{7;1} - 0.4486 X_{8;1} - 0.0660 X_{9;1} - 0.4582 X_{10;1} - 0.5492 X_{11;1} - 0.2855 X_{12;1} - 0.1931 X_{13;1}$ 로 도출되었으며 이에 대한 설명력은 94%정도였다.

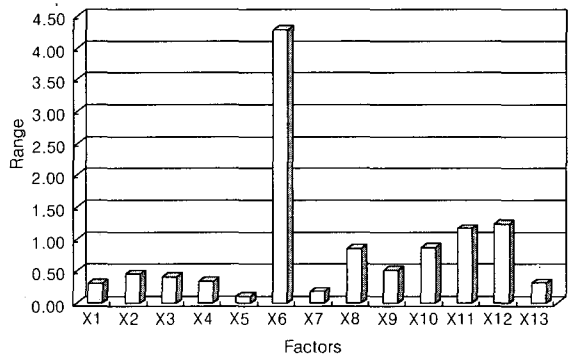


Figure 2. Range of each factor affecting to sediment(m³/yr/ha)

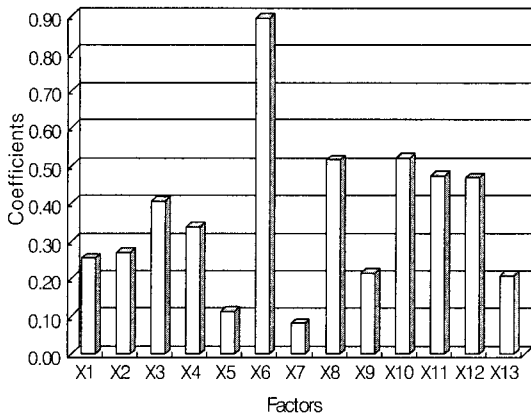


Figure 3. Partial correlation coefficients of each factor affecting to sediment(m³/yr/ha)

Range는 붕괴 토사량에 대한 각 인자의 category별 상대점수의 변동 폭을 나타내는 척도로서 각 인자의 category별 상대점수의 최대치와 최소치의 상대점수차로 나타낸다(Figure 2).

Range값을 추정한 결과 석력함량(X₆;4.2874)이 가장 높게 나타나 붕괴 토사량의 발생에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 추정되었으며 다음으로 일차하천수(X₁₂;1.2394), 하천차수(X₁₁;1.1606), 총하천길이(X₁₀; 0.8661), 주하천길이(X₈;0.8449), 총하천수(X₉;0.5097), 임상(X₂;0.4520), 임령(X₃;0.4145), 토심(X₄;0.3401), 사면경사(X₁₃;0.3179), 모암(X₁;0.3151), 사면방위(X₇;0.1817), 토성(X₅;0.1089) 순으로 나타났다.

편상관계수가 클수록 붕괴 토사량에 관여하는 기여도는 크다고 볼 수 있는데 편상관계수에 의한 각 인자별 붕괴 토사량에 대한 기여도를 분석한 결과(Figure 3) 석력함량(X₆)이 0.8943으로 가장 높게 나타났고 다음으로 총하천길이(X₁₀;0.5224), 주하천길이(X₈;0.5164), 하천차수(X₁₁; 0.4742), 일차하천수(X₁₂;0.4687), 임령(X₃;0.4061), 토심(X₄;0.3387), 임상(X₂; 0.2709), 모암(X₁;0.2546), 총하천수(X₉;0.2154), 사면경사(X₁₃;0.2090) 순으로 분석되었고 토성(X₅;0.1145), 사면방위(X₇;0.0812)는 편상관계수가 낮게 나타나 다른 인자에 비하여 붕괴 토사량에 영향을 미치는 기여도가 낮

은 것으로 추정되었다.

Range의 변동 폭과 편상관계수에 의한 붕괴 토사량에 대한 각 인자의 기여도를 추정한 결과 석력함량이 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었고 다음으로 주하천길이, 총하천길이, 일차하천수, 하천차수 순으로 기여도가 높은 것으로 평가되었다.

2) 붕괴위험지역의 평가

각종 인자의 category별 상대점수(Table 3)를 95개 산림유역의 각종 인자에 반응시켜 합산한 붕괴 위험 예측치를 기준으로 붕괴 위험지역을 I, II, III급으로 평가한 결과는 Table 4와 같다.

Category별 상대점수를 조사되어진 95개 산림유역의 각종 인자에 반응시켜 계산한 붕괴위험 예측치의 범위는 -3.3480점에서 3.3872점 사이에 분포하고 있었으며 중앙값은 0.0196점이었다.

I급지는 예측치 1.1421점 이상의 지역으로 95개 지역 중 43개소가 포함되어 45%의 분포를 보였고 II급지는 예측치 1.1420점에서 -1.1029점 사이로 27개소에 29%를 차지하였으며 III급지는 예측치 -1.1030점 이하의 지역으로 25개소에 26%의 분포를 나타내었다.

붕괴위험 예측치에 의하여 선정되어진(Table 4) 붕괴 위험 I, II, III급지에 속하는 13개 인자를 각 급지의 category별 출현수에 대한 각 category별 총출현수의 비(%)로 하여 각 급지에서 많은 분포를 보이는 인자별 category를 정리한 결과는 Table 5와 같다.

I급지는 산지사면의 침식 및 토사유출과 산사태 발생이 우려되는 화성암지역으로 임상은 침엽수림, 임령은 20년생 이하, 토심은 30cm 이하로 임령이 적고 토심이 깊지 않아 뿌리가 왕성하게 발달하지 못하며 또한 토양 깊숙이 뿌리가 뻗지 못하여 적은 강우에도 표면침식이 발생하기 쉬운 지역이었다. 토성은 토양입자사이의 응집력이 약하여 강우시 유출수와 함께 하류로 흘러내리기 쉬운 사질식양토(SCL)였으며 토양내 석력함량은 31~40%, 사면방위는 여름철에 계절성 호우 및 장마전선의 영향을 받는 남~동(S~E)사면이었다. 주하천길이는 2,501~3,500m, 총하천수는 26~30개, 총하천길이는 5,501~10,000m로 상당히 긴 유로와 많은 하천수를 가지고 있으며 하천차수는 지천과 세천을 많이 가지고

Table 4. Prediction score for evaluation of failure hazard area by normalized score

Class of failed hazard area	Prediction score	Number of area (%)
Very hazard area (I)	1.1421 ≤	43(45%)
Hazard area (II)	-1.1029 ~ 1.1420	27(29%)
Un hazard area (III)	≤ -1.1030	25(26%)

Table 5. General descriptions of area condition by prediction score of failure hazard

Factors	Class		
	I	II	III
X ₁ Parent rock	Igneous rock	Metamorphic rock	Sedimentary rock
X ₂ Forest type	Coniferous	Hardwood	Mixed
X ₃ Stand age	≤20year	21~24year	25year≤
X ₄ Soil depth	≤30cm	31~40cm	41~50cm
X ₅ Soil texture	SCL	SiCL or SCL	SiCL
X ₆ Gravel contents	31~40%	11~20%	≤10%
X ₇ Aspect	S~E	S~W	N~W
X ₈ Length of main stream	2,501~3,500m	1,501~2,500m	≤500m
X ₉ Number of total streams	26~30	6~10	≤5
X ₁₀ Length of total streams	5,501~10,000m	3,501~5,500m	≤1,000m
X ₁₁ Stream order	3≤	2	≤1
X ₁₂ Number of first streams order	11~15 or 16≤	6~10	≤2
X ₁₃ Slope gradient	31°≤	31°≤	≤25°

있는 3차수였고 산정부에 위치하며 빠른 유속으로 사면 침식에 영향을 미치는 일차하천수는 11~15개 또는 16개 이상이었고 사면경사는 31°이상의 지역으로 평가되었다.

II급지는 사면이 다소 안정되어 있는 변성암지역으로 임상은 활엽수림이었다. 임령은 21~24년생이었고 토심은 31~40cm로 수목근계에 의한 토사역지효과가 어느 정도 사면을 안정화시키고 있었다. 토성은 점토질이 많은 미사질식양토(SiCL)와 모래 함유량이 많아 강우시 토사유출이 심각한 사질식양토(SCL)로 나타났으며 토양내 석력함량은 11~20%정도였다. 사면방위는 남~서(S~W)사면으로 나타났으며 주하천길이는 1,501~2,500m, 총하천수는 6~10개, 총하천길이는 3,501~5,500m로 어느 정도의 유속과 유량에 의하여 침식발생이 우려되는 지역이었다. 하천차수는 2차수였으며 일차하천수는 6~10개였고 사면경사는 31°이상의 지역으로 평가되었다.

III급지는 사면이 다른 모암에 비하여 가장 안정되어 있는 퇴적암지역이었고 임상은 혼효림, 임령은 25년생 이상, 토심은 41~50cm로 수관에 의한 강우 차단량이 많고 임령이 높고 토심이 깊게 나타나 수목근계가 토심 깊은 곳까지 뻗어 있는 지역으로 강우시 표면유출수 및 지중수에 의한 토양침식에 대해 사면이 가장 안정되어 있는 곳이었다. 토성은 점토질이 많고 식생정착 및 생육이 다른 토성에 비해 양호한 미사질식양토(SiCL)였으며 석력함량은 10% 이하로 토양입자 사이의 응집력이 높은 곳이었고 사면방위는 북~서(N~W)사면이었고 주하천길이는 500m 이하, 총하천수는 5개 이하, 총하천길이는 1,000m 이하로 사면침식에 상당한 영향을 미치

는 유량과 유속이 낮은 지역으로 분석되었다. 하천차수는 1차수였으며 일차하천수는 2 이하, 사면경사는 25° 이하의 지역으로 평가되었다.

3) 붕괴 위험지역의 예측

각 인자의 category별 상대점수(Table 3)는 (+) 및 (-)의 값으로 되어 있기 때문에 이용상 불편한 점이 많다. 따라서 이들 점수 중 (-)의 수치를 (+)의 수치로 변환하여 사용하여도 상대적으로 무관함으로 각 인자의 category별 상대점수 중 최소값을 0으로 표시하고 최소값을 각 인자의 category별 상대점수에 가산하여 (+)의 값으로 변환시켰다(Table 6).

산림유역의 13개 인자에 반응시켜 계산한 점수의 합계가 4.8052점 이상이면 붕괴위험 I급지(Very hazard area)에 해당하며 II급지(hazard area)는 4.8051점에서 2.5602점 사이에 해당하며 III급지(Un hazard area)는 점수의 합계가 2.5601점 이하의 지역으로 분석되었다.

이상으로 자연사면의 붕괴 위험성을 판단할 수 있는 각 인자의 category에 대한 점수를 부여하여 자연사면의 붕괴에 효율적으로 대처할 수 있는 보다 객관적이고 합리적인 위험지역 예측모델을 개발하였다. 또한 각종 산지재해로부터 발생되는 2차적인 피해를 최소화하기 위하여 현장에서 실무자가 예방적인 차원의 각종 사방사업을 실시하고자 할 때 객관적인 지표가 될 수 있는 판정표를 이용하여 치산 예방시설물의 시공적지를 평가 및 예지함으로서 막대한 피해 예방 및 예산낭비를 막을 수 있고 특히 사방시설물 자체의 목적과 효과를 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Score table for prediction of failure hazard area

		Category						
		1	2	3	4	5	6	7
X ₁	Fact.	Sedimentary rock	Igneous rock	Metamorphic rock				
	Score	0	0.3151	0.0360				
X ₂	Fact.	Coniferous	Hardwood	Mixed				
	Score	0.4520	0.3721	0				
X ₃	Fact.	≤20year	21~24	25year≤				
	Score	0.3670	0.4145	0				
X ₄	Fact.	≤30cm	31~40	41~50	51cm≤			
	Score	0.2938	0.3401	0	0.0490			
X ₅	Fact.	SiCL	SiL	SCL				
	Score	0.0889	0	0.1089				
X ₆	Fact.	≤10%	11~20	21~30	31~40	41%≤		
	Score	0	0.3698	1.0857	1.2070	4.2874		
X ₇	Fact.	N~E	N~W	S~E	S~W			
	Score	0.1081	0	0.1817	0.1349			
X ₈	Fact.	≤500m	501~1,000	1,001~1,500	1,501~2,500	2,501~3,500	3,501m≤	
	Score	0	0.1873	0.6075	0.8449	0.7743	0.3939	
X ₉	Fact.	≤5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31≤
	Score	0	0.0651	0.2756	0.4719	0.4986	0.5097	0.0851
X ₁₀	Fact.	≤1,000m	1,001~2,000	2,001~3,500	3,501~5,500	5,501~10,000	10,001m≤	
	Score	0	0.4469	0.8062	0.8661	0.8530	0.2035	
X ₁₁	Fact.	≤1	2	3≤				
	Score	0	0.6080	1.1606				
X ₁₂	Fact.	≤2	3~5	6~10	11~15	16≤		
	Score	0	0.5661	0.7020	1.0239	1.2394		
X ₁₃	Fact.	≤25°	26~30	31°≤				
	Score	0	0.1997	0.3179				

인용문헌

姜渭平, 村井宏, 大村寬, 麻鎬燮(1986) 數量化(II)에 의한 山沙汰斜面の 危險度 判別. 韓國林學會誌 75:32-37.
 建設交通部(1999) 河川 工事計劃과 砂防計劃과 設計施工. 226p.
 산림청(2000) 임업통계연보.
 정원옥(2001) 임도 절토 비탈면의 안정과 식생활화에 미치는 환경인자의 영향. 한국환경복원녹화기술학회지 4(2): 74-83.
 崔敬(1986) 韓國의 山沙汰 發生要因과 豫知에 關한 研究. 江原大學校 博士學位論文.
 崔敬(1999) 임도사면에서의 붕괴발생원인과 방지대책. 산림 405: 50-53.
 海堀正博, 石川芳治, 牛山素行, 久保田哲也, 平松晋也, 藤田正治, 三好岩生, 山下祐一(1999) 1999年6月29日 廣島土砂災害に關する 緊急調査報告(速報). 砂防學會誌 52(3): 34-43.
 平野宗夫, 疋田 誠, 森山總之(1986) 活火山流域における

土石流の發生限界と流出規模の予測. 第30回水理講 溝會論文集.
 平野宗夫, 橋本晴行, 河野通齊(1994) 1993年雲仙における 土石流の現地觀測, 水工學論文集第 38: 747- 752.
 福永寬之(1993) 風害發生と立地及び林分構造因子との 關係解析. 林業技術 6: 19-34.
 梶原規弘, 塚本次郎, 入田愼太郎(1999) ヒノキ人工林における 下層植生のタイプと土壤侵蝕危險度との關係. 日林誌 81(1): 42-50.
 竹下敬司(1971) 山と地形. 治山調査と地形の見方. 山林航測. No. 86.
 竹下敬司, 金錫權(1993) ダウンバーストによる森林被害と地形との關係解析-1991年台風19号による風倒木被害-. 日林論 104: 347-348.
 竹下敬司, 高木潤治(1997) 暖帶林地の水保全環境に關する 土壤及び地形的研究. 福岡縣林試時報 26: 1-51.
 三浦 覺, 松本陽介, 眞下育久(1983) 台風15号(昭和56年)により 東京大學北海道演習林に發生した風害の要因解析. 東大演報 73: 139-160.

- 淵本正隆(1972) 地形と航空寫眞. 山林航測. No. 93.
- 新版 標準土色帖(1997) 農林水産省農林水産技術會議事務局.
- 小河誠司, 佐佐木重行, 野田 亮, 野中重之, 廣田篤彦, 福島敏彦, 宮原文彦(1992) 1991年9月に發生した台風17号・19号による森林被害調査報告書. 福岡縣林試研究資料, No. 18, 89p.
- 大石道夫(1999) 新たにた砂防調査・計劃の基本的な考え方. 砂防學會誌 52(2): 1-3.
- 諫本信義, 高宮立身(1992a) 1991年9月 台風19号により發生した大分縣における森林被害の要因解析. 大分縣林試時報 18: 1-43.
- 諫本信義, 高宮立身(1992b) 1991年9月 台風19号により發生した大分縣における森林被害の要因解析. 森林立地 34(2): 98-105.
- 平松晋也, 石川芳治, 小山内 信智, 三好岩生(1999) 1999年6月29日徳島縣西祖谷山村で發生した土砂災害(速報). 砂防學會誌 52(3): 44-49.
- 塚本良側, 小橋燈治編(1991) 新砂防工學. 朝創書店.
- 志水俊夫(1977) 花崗岩地帶の斜面の安定性に關する統計的解析. 日林誌 59(5): 186-190.
- 志水俊夫(1978) 崩壊の危険がある斜面の判定-その理論と手法-. 林業技術 439: 23-26.
- Carroll C, Merton L. and Burger P.(2000) Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines. *Austrlian journal of soil research* 38(2): 313-327.
- Chaplot V. and Le Bissonnais Y.(2000) Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth surface processes and landforms* 25(2): 145-153.
- O'Loughlin, C. and R. R. Ziemer(1983) The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steepland forests. *NZFS Reprint* 1570: 70-78.
- Strahler, A. N.(1952) *Dynamic Basis of Geomorphology*. Geological Society of America, *Bulletin* 63: 923-938