

An Correlation Analysis of Risk Factors for Mountainous Disaster Using a Probability-Based Method

Chae Yeon Oh[#], Kye Won Jun⁺

Department of Disaster Prevention & Safety Engineering, Kangwon National University, 346 Joogang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do, Korea

Abstract

A scientific analysis of landslide risk areas along with the collection and analysis of a variety of spatial information would be critical for minimizing damage in the event of mountainous disasters such as landslide and debris flow. We used GIS to construct a spatial information database integrating the data required for a comprehensive analysis of landslide risk areas including geography, hydrology, pedology, and forestry. We also carried out a case study of the selected areas at Inje, Gangwon province which suffered from serious landslides due to flash floods by Typhoon Ewinar in 2006. We overlaid the site monitoring data with airborne images using the weight values ($W+$ and $W-$) which were calculated for each element by the GIS-based Weight of Evidence(WOE) model. We then analyzed the spatial data which were significantly correlated with the landslide occurrence and predicted the mountainous areas with elevated risks of landslide which are vulnerable to disasters.

Key words: Mountainous disaster, landslides, debris flow, GIS, Weight of Evidence

1. 서론

강원도의 경우 전 면적의 약 81%가 산지로 이루어져 있으며 산지사면이 대부분 급경사지를 이루고 있어 해마다 많은 산사태가 발생하고 있다. 최근 경향으로 볼 때 집중호우나 태풍으로 인하여 많은 산사태가 주기적으로 발생하고 있으며 그로 인한 피해액 또한 계속 증가하고 있다. 이러한 산사태의 특성과 요인을 분석하기 위해 GIS 및 원격탐사를 이용하여 지형, 수문, 토양, 지질 등 공간정보의 데이터베이스화를 통한 다양한 연구들이

진행되고 있다. 국립산림과학원과 산림청은 산사태를 과학적으로 관리·예방하기 위하여 산사태 발생이력자료를 활용하여 로지스틱회귀분석을 통해 인자별 영향력에 가중치를 부여하여 산출된 산사태 발생확률을 5등급으로 구분하여 지도로 제작하고 ‘산사태위험지관리시스템’을 개발·운영하고 있다. GIS를 이용한 산사태 취약성 분석으로 확률론적 분석, 통계적 분석 및 인공신경망 분석 등 다양하게 적용되고 있다. Bayesian 분석기법을 기반으로 하는 우도비는 산사태 발생지역과 미발생 지역에서의 확률 비를 계산함으로써 산사태에 취약한 지

[#] The 1st author: Chae Yeon Oh, Tel. +82-33-570-6447, e-mail. cyoh@kangwon.ac.kr

⁺ Corresponding author: Kye Won Jun, Tel. +82-33-570-6816, e-mail. kwjun@kangwon.ac.kr

역을 정량적으로 부각시킬 수 있다(Chung & Fabbri, 1998). 또한 결과의 타당성 검증을 위하여 시간적으로 구분되는 두 그룹의 산사태 발생위치를 이용하여 여러 가지 확률적인 방법들을 비교하였으며(Chung & Fabbri, 1999), WOE 기법을 적용하여 미국 콜로라도지역의 산사태 취약성을 모델링 하였으며(Regmi, *et. al.*, 2010), GIS의 엔트로피 그리고 조건부 확률모델 인덱스를 이용하여 산사태 취약성 연구를 수행 하였으며(Pourghasemi, *et. al.*, 2012), frequency ratio, weights of evidence and logistic regression 3가지 방법을 이용하여 산사태 지도를 비교 평가하고(Ozdemir & Altural, 2013), 결정론적 기법과 확률론적 기법, 통계적 기법을 적용하여 산지재해와 공간요인과의 관계를 분석하였으며 분석결과 산지재해 발생확률이 높은 상위 30%의 면적을 비교하였다(Oh, 2013).

본 연구에서는 2006년 7월 태풍 예위니아와 집중호우의 영향으로 많은 재해가 발생한 강원도 인제지역을 대상으로 선정하였다. GIS를 이용하여 각종 공간정보를 구축하고 확률론적 기법인 WOE 모델을 적용하여 산지재해 취약성도를 작성하였으며 재해 발생과 각종 원인요인들과의 상관관계를 분석하기 위하여 독립성 검증(χ^2 test)을 실시하여 각각의 요인들 사이에 관계를 검증하였으며, 교차검증을 통해 예측비율곡선(Prediction Rate Curve)을 작성하고 산지재해 취약성을 정량적으로 비교하였다.

II. 모형이론

1. Weight of Evidence Model

WOE기법은 기존의 재해발생 위치와 지형 정보 사이의 관계를 확률로 표현하는 자료유도형 방법으로써 베이즈안 확률을 기반으로 한다. 식(1), (2)에서 나타내는 P는 확률을 나타내며 재해발생지점 D와 관련된 각각의 요인 인자를 F로 나타내어 D가 발생하였을 때 F가 발생할 가능성을 나타낸다.

$$W^+ = \log_e \frac{P\{F|D\}}{P\{F|\bar{D}\}} \quad (1)$$

$$W^- = \log_e \frac{P\{\bar{F}|D\}}{P\{\bar{F}|\bar{D}\}} \quad (2)$$

식(1), (2)은 각각 양의 가중치 (W^+), 음의 가중치 (W^-)를 나타낸다.

가중치간의 차이를 Contrast, C라 하고, 이 값이 양수이면 양의 상관관계이고 음수이면 음의 상관관계를 나타내며 식 (3)과 같다.

$$C = W^+ - W^- \quad (3)$$

WOE는 각 요인의 등급별 가중치를 (+)점·(-) 값으로 표현하고, 최대의 가중치를 가지는 등급만 강조한다. 따라서 각 요인별 최대 가중치를 가지는 등급간의 중첩분석은 우리가 사전에 인지할 수 없었던 새로운 취약한 지역 및 중요지역의 패턴을 제시해준다. 그러나 WOE 기법에서의 입력자료는 "연속형-등급형-이분형" 자료의 형태로 변형되어 최대 가중치를 가지는 등급을 제외한 나머지 등급은 음의 가중치로 대체되기 때문에 정보의 손실 갖게 된다.

2. Conditional Independence Testing

조건부 독립성 검정 방법에는 χ^2 을 이용한 검정 방법이 있다. 이 방법은 보통 분할표(Contingency table)를 이용하여 간단히 실시할 수 있으며, $r \times c$ 분할표라는 것은 한 분류기준에 대하여 r 개의 행(row)으로 구분하고, 다른 분류기준에 대하여 c개의 열(column)로 구분한 표를 말하며 <Table 1>과 같다.

독립성을 검정하기 위해서는 먼저 두 분류기준이 독립적이라는 가정 하에 새로운 분할표를 작성해야 하며, 이렇게 작성된 분할표를 이용 각 항의 기대되는 도수 f_e 와 실제 관찰된 각 항의 도수 f_o 을 비교해야 한다. 이 차이를 비교할 때에는 χ^2 검정을 하며 식(4)와 같이

Table 1. Contingency table showing observed frequencies (O_i) and expected frequencies (E_i) of landslide (D) in factor F_1 and F_2 .

		Factor 1		Totals
		Present	Absent	
Factor 2	Present	$O_1 = \{F_1 \cap F_2 \cap D\}$	$O_3 = \{\overline{F_1} \cap F_2 \cap D\}$	$\{F_2 \cap D\}$
		$(E_1 = \{F_2 \cap D\} * \{F_1 \cap D\} / \{D\})$	$(E_3 = \{F_2 \cap D\} * \{\overline{F_1} \cap D\} / \{D\})$	
	Absent	$O_2 = \{F_1 \cap \overline{F_2} \cap D\}$	$O_4 = \{\overline{F_1} \cap \overline{F_2} \cap D\}$	$\{\overline{F_2} \cap D\}$
		$(E_2 = \{\overline{F_2} \cap D\} * \{F_1 \cap D\} / \{D\})$	$(E_4 = \{\overline{F_2} \cap D\} * \{\overline{F_1} \cap D\} / \{D\})$	
Total		$\{F_1 \cap D\}$	$\{\overline{F_1} \cap D\}$	$\{D\}$

정의 된다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_{0i} - f_{ei})^2}{f_{ei}} \quad (4)$$

III. 연구지역 및 공간정보구축

Figure 1은 연구지역으로 2006년 태풍 에위니아의 영향으로 많은 산지재해가 발생한 강원도 인제군 일대로 지리 좌표상으로 위도 38°2'55"N ~ 38°5'50"N, 경도 128°11'20"E ~ 128°18'20"E 사이에 위치하고 있으며 전체 유역 면적은 약 33km²이다. 현장조사와 더불어 2005년과 2006년 재해 발생 전후의 항공영상의 중첩분석과 현장모니터링을 토대로 재해 발생지점을 파악하였으며, 확인된 산사태 및 토석류 발생 개소는 516개소이다. 데이터베이스 구축을 위해 1:5000 수치지형도, 1:25000 정밀토양도, 1:25000 임상도, 1:50,000 지질도 등을 이용하여 공간지형자료를 구축하였다.

산지재해 취약성 예측분석을 위해 수집된 자료는 모

두 16가지 인자를 사용하였다. 지형요인(고도, 경사도, 경사방향, 곡률, 하천, TPI)는 1:5000 수치지도에서 등고레이어를 추출하여 DEM과 유역을 생성하였고, 토양인자(토양배수, 토양기호, 토양타입)와 임상인자(임상타입, 영급, 경급, 밀도)는 국가수자원관리종합정보시스템(Wamis)의 자료를 다운로드하여 사용하였다. 입력 자료 중 벡터 형태의 자료는 모두 래스터형태로 변환하였으며 원 자료의 특성에 맞게 재분류하여 사용하였다.

IV. 데이터분석 및 결과

산사태 및 토석류의 WOE를 적용한 상관관계 분석은 빈도비에 자연로그를 취하여 W+와 W-의 가중치를 적용하였다. 산사태와 관련된 요인들의 값을 이분화 시켜 주는 최적의 절단값으로 가중치의 차 C값과 C값의 표준편차 S(C)로 나눈 값 Studentized 값인 C/S(c)로 정의한다(Bonham-Carter, 1994). Studentized 값이 최대 값을 갖는 등급의 W+와 W-로 각 인자를 이분화 시킨 후 산사태 및 토석류 예측지수를 구할 수 있다. 가중치

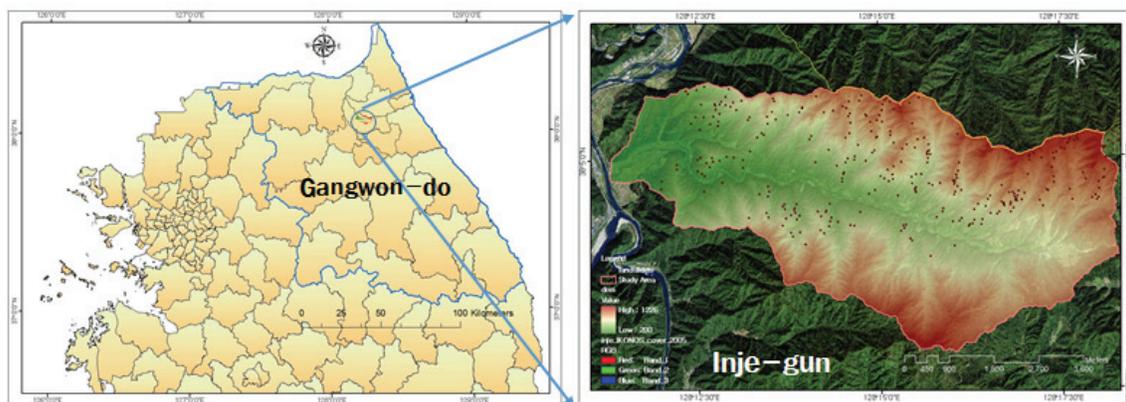
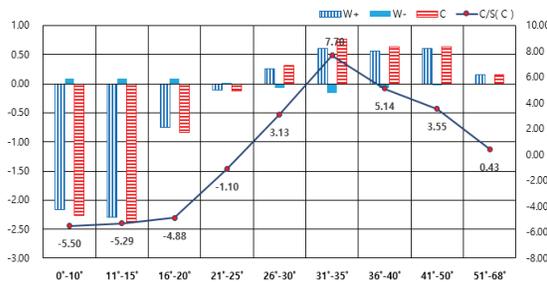


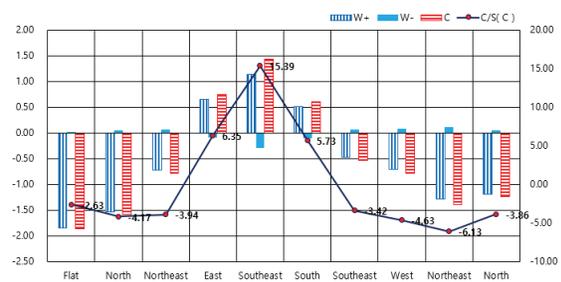
Figure 1. Study area (mountainous disaster location is shown by a dot)

가 0의 값을 가지면 상관관계가 없고, (-)값을 가지면 음의 상관관계를 (+)값을 가지면 양의 상관관계를 나타낸다. 각 인자별로 계산된 가중치 값은 <Figure 2>와 같다. (a)경사도의 경우 25°이상에서는 Studentized 값이 양의 상관관계를 보이며 25° 미만에서는 음의 상관관계를 보인다. 이는 사면 경사각이 높을수록 산사태나 토석류 발생 확률이 높아진다는 것을 증명하는 것이다. (b)경사방향의 경우 남동쪽에서 C/S(C)값이 15.39로 가장 높게 나타나 W+값을 부여하였고, 그 밖의 등급

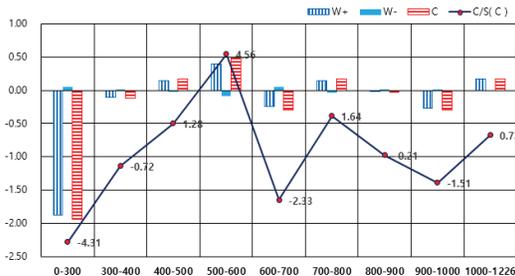
은 W- 값을 부여하였다. (c)고도의 경우는 500-600m에서 C/S(C)값이 가장 높게 나타났다. (d)곡률의 경우 0값을 기준으로 음의 값으로 갈수록 경사면의 형태가 오목한 것을 나타내며, 양의 값으로 갈수록 경사면의 형태가 볼록한 것을 나타내며 볼록 사면에서 최대값으로 계산되었고 음의 값으로 갈수록 발생확률이 낮게 나타났다. (e)TPI는 Shaped valleys의 V자 형태의 협곡에서 가장 높게 나타났으며 0.32의 W+ 값과 -0.11의 W- 값을 각각 부여하였고 이것은 연구지역의 지형을



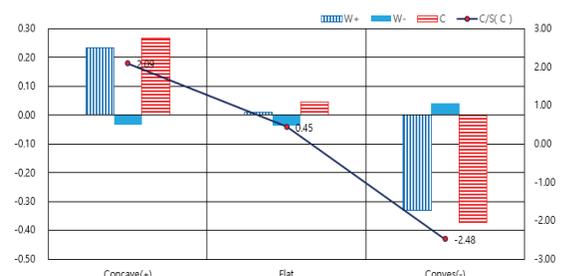
(a) slope



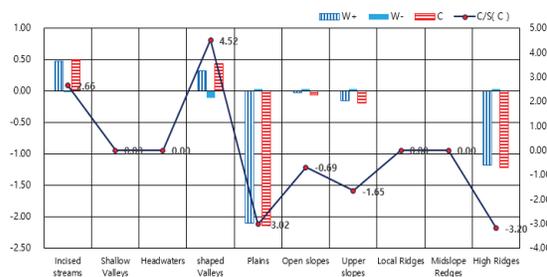
(b) Aspect



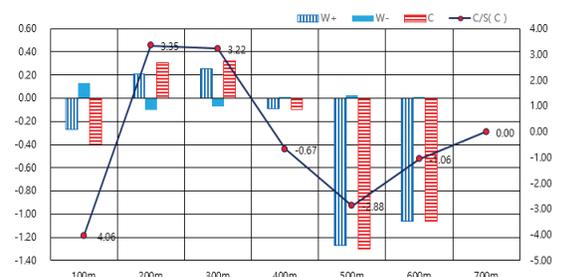
(c) Elevation



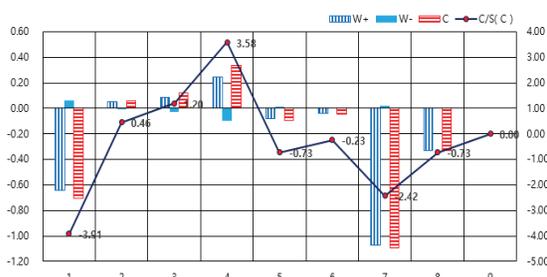
(d) Curvature



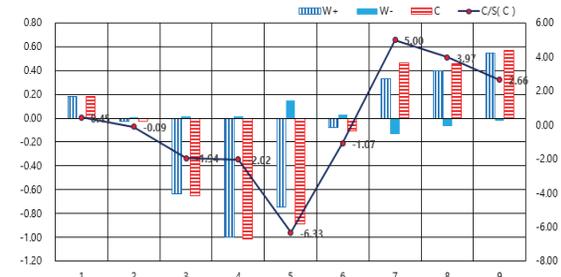
(e) TPI (Topographic position index)



(f) River buffer



(g) TWI (Topographic wetness index)



(h) SPI (stream power index)

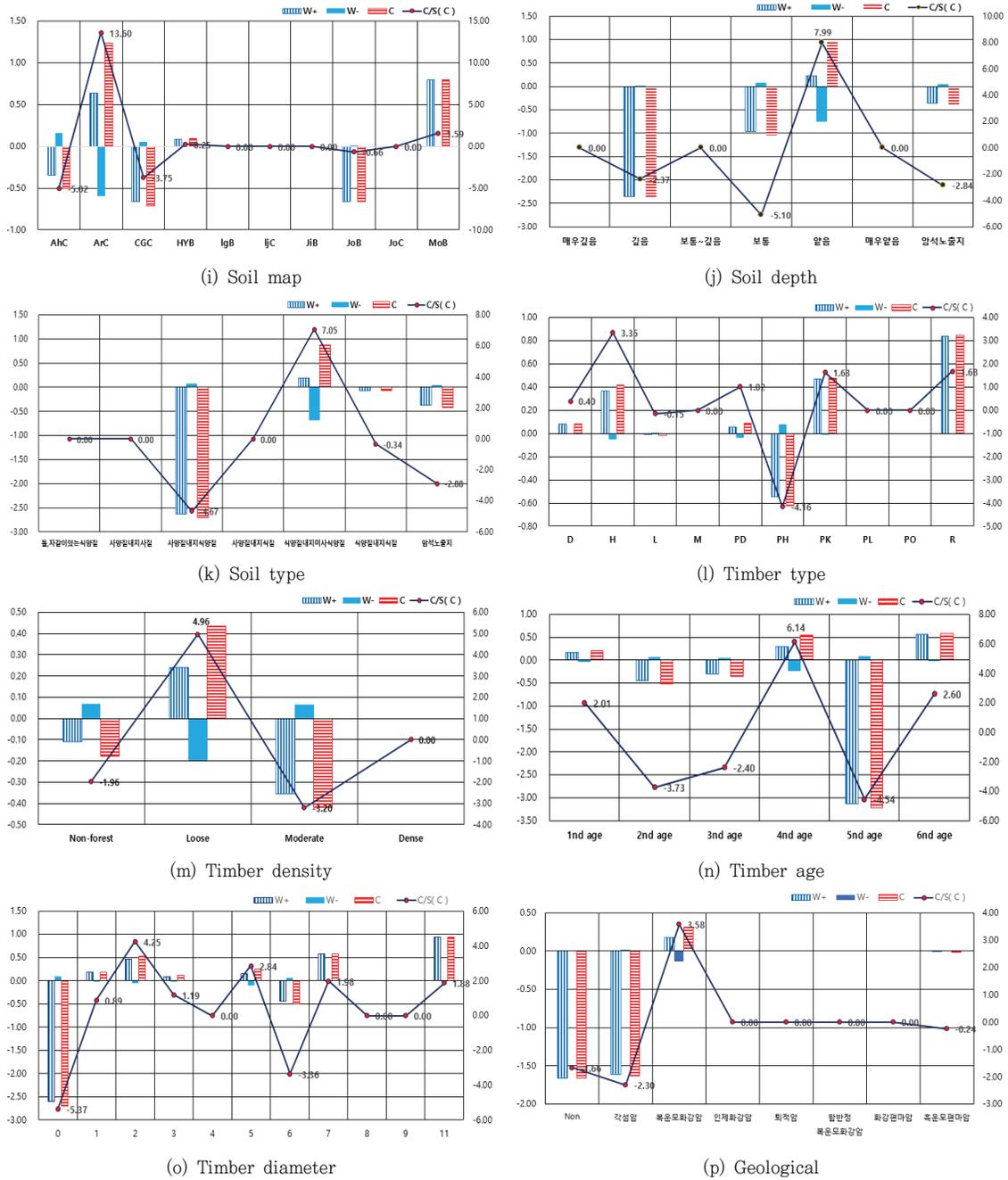


Figure 2. Weights(W+, W-) and contrast of each category

잘 반영한 결과라고 볼 수 있다. (f)하천과의 거리는 재해발생 지점과 200m 이내에서 가장 많이 발생하는 양상을 보였으며, 거리가 멀어질수록 음의 상관관계를 보였다. (g)TWI는 지형습윤지수로 토양의 수분 함유량의 공간적인 패턴을 판단하는 자료로서 사용되며 지형습윤인자는 0~23.7사이의 값을 9단계로 분류하여 사용하였으며 4단계에서 C/S(C)값이 3.58로 가장 높게 나타났다. (h)하천강도지수인 SPI 요인은 7등급에서 가

장 높은 값을 보였으며 0.33의 W+값과 -0.13의 W-값으로 가중되었다. (i)정밀토양도에서는 Ahc에서 높은 값을 보였고, (j)유효토심인 Soil depth 경우 얇음지역인 5등급에서, (k)토양타입은 식양질 내지 미사식양질에서 임상의 경우 (l)임상타입은 활엽수림H에서 0.37의 W+값과 -0.05의 W-값을 각각 부여하였다. (m)임상 수관밀도는 낮은 지역에서 (n)임상 영급은 4등급에서 (o)임상 경급인자는 소경목에서 마지막으로 (p)지질

도에서는 복운모 화강암에서 높게 나타나 W+ 값으로 가장되었고 그밖에 모든 등급은 W-값으로 대체되어 각 요인들은 W+와 W- 값으로 이분화 되었다.

계산된 각각의 이분화된 가중치는 이후 산사태 및 토석류 위험성 분석을 위해 각 요인의 등급에 부여한 후 중첩분석을 실시하였으며, <Figure 3>은 계산된 취약지수를 상위 5%, 10%, 15%, 70%로 등급화하여 작성한 산지재해 위험지역 예측도이다. 취약지수는 시각적인 해석을 위해 Very high, high, Medium, Low로 위험도를 나타내었으며 Very high ~ Medium (상위 30%) 내에 분포하는 산지재해는 73%로 나타났다.

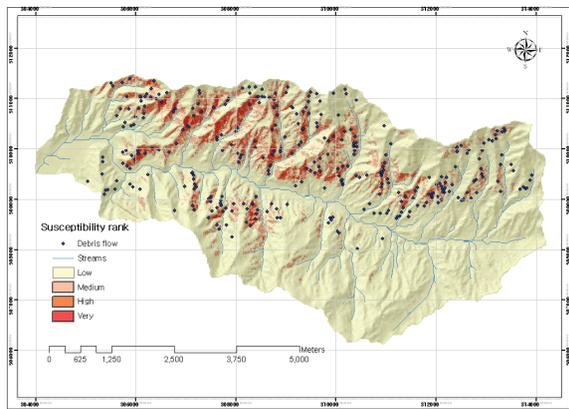


Figure 3. Mountainous disaster susceptibility index map based on weight of evidence

독립성 검증을 실시하기 위한 값은 앞서 분석한 WOE의 이분화된 가중치 값을 이용하여 산지재해 발생 위치를 나타내는 발생점과 중첩하고, 각각 양과 음의 가중값에 포함하는 개수를 구한 후 각 발생요인들에 대한 분할 표를 작성하고, 작성된 분할 표의 기대빈도수와 관찰빈도수를 이용하여, 카이제곱 값을 구하였다. 각 요소들 간의 독립의 검증은 95% 유의수준에서 자유도 값이 1일 때를 카이제곱 값이 3.83값을 기준으로 설정하여 수행하였으며 <Table 2>와 같다.

카이제곱 값이 기준값보다 크다면 상관관계의 존재를 고려하여 산지재해 분석시 상관성 있는 요인들을 제거하였고, 이들의 새로운 조합을 만들어 <Table 3>과 같이 16개 조합을 만들었다. 16개의 조합을 이용하여 산지재해 취약성분석을 실시하였으며 6번째 조합의 취약지수 상위 30%내에 분포하는 산지재해가 78%로 가장 높은 예측력을 보였다. 취약성 지수의 추정을 위해 <Figure 4>와 같이 예측비율곡선을 작성하였으며 X축(산지재해 취약지수)의 값이 1%일 때 Y축(산지재해 누적 퍼센트)의 값이 100%라면 산지재해 취약성도가 높게 나타난 1%안에 모든 산지재해가 속한다는 것을 의미하며, 이것은 예측율이 높다는 것을 의미한다.

Table 2. Combination of factors related to mountainous disaster by testing conditional independence.

	S.	A.	E.	TPI	R,b	C.	TWI	SPI	S,d	S.	S,t	T,t	T,den	T,a	T,d
A.	2,82														
E.	3,35	1,79													
TPI	2,93	1,11	0,02												
R,b	0,26	2,93	2,03	0,03											
C.	1,27	1,25	2,79	6,48	0,30										
TWI	0,03	0,61	2,89	0,00	3,67	0,84									
SPI	2,30	0,76	0,92	6,40	1,41	1,62	39,0								
S,d	2,72	1,19	0,32	7,15	0,00	0,72	0,02	0,63							
S.	8,93	0,45	13,4	6,58	6,23	0,23	0,48	0,16	99,8						
S,t	3,47	1,01	0,65	7,67	0,00	0,81	0,00	0,50	513	97,6					
T,t	0,46	2,94	6,52	0,20	12,8	5,77	0,08	2,00	7,03	41,3	7,38				
T,den	2,3	12,8	0,39	7,30	0,14	0,00	2,15	1,61	0,41	2,07	0,00	0,00			
T,a	1,64	0,01	2,02	0,06	0,61	0,91	4,10	7,60	1,61	0,03	1,97	6,41	48,4		
T,d	0,46	2,94	6,52	0,20	12,8	5,77	0,08	2,00	7,03	41,3	7,38	521	0,00	6,41	
G.,	1,68	25,7	4,13	0,93	0,67	1,15	1,74	155,9	12,8	26,8	12,1	11,0	87,3	0,45	11,0

S., Slope; A., Aspect; E., Elevation; TPI; R,b, River buffer; C., Curvature; TWI; SPI; S,d, Soil depth; S., Soil map; S,t, Soil type; T,y, Timber type; T,d, Timber density; T,a, Timber age; T,d, Timber diameter; G. Geology.

Table 3. Combination of factors for 16 case.

Case	Standard factor	Independent factor	Validation accuracy(%)
1	Slope	Aspect, Elevation, Landform, Riverbuffer, Cuvature, TWI, SPI, Soil depth, Soil type, Timber type, Timber density, Timber age, Timber diameter, Geology	73
2	Aspect	Slope, Elevation, Landform, Riverbuffer, Cuvature, TWI, SPI, Soil depth, Soil type, Detailed Soil, Timber type, Timber age, Timber diameter	77
3	Elevation	Slope, Aspect, Landform, Riverbuffer, Cuvature, TWI, SPI, Soil depth, Soil type, Timber density, Timber age	72
4	TPI	Slope, Aspect, Elevation, Riverbuffer, TWI, Timber type, Timber age, Timber diameter, Geology	61
5	River buffer	Slope, Aspect, Elevation, Landform, Cuvature, TWI, SPI, Soil depth, Soil type, Timber density, Timber age, Geology	75
6	Curvature	Slope, Aspect, Elevation, Riverbuffer, TWI, SPI, Soil depth, Soil type, Detailed Soil, Timber density, Timber age, Geology	78
7	TWI	Slope, Aspect, Elevation, Landform, Riverbuffer, Cuvature, Soil depth, Soil type, Detailed Soil, Timber type, Timber density, Timber diameter, Geology	75
8	SPI	Slope, Aspect, Elevation, Riverbuffer, Cuvature, Soil depth, Soil type, Detailed Soil, Timber type, Timber density, Timber diameter	73
9	Soil depth	Slope, Aspect, Elevation, Riverbuffer, Cuvature, TWI, SPI, Timber density, Timber age	63
10	Soil map	Aspect, Cuvature, TWI, SPI, Timber density, Timber age	60
11	Soil type	Slope, Aspect, Elevation, Riverbuffer, Cuvature, TWI, SPI, Timber density, Timber age	63
12	Timber type	Slope, Aspect, Landform, TWI, Timber density	69
13	Timber density	Elevation, Riverbuffer, Cuvature, TWI, SPI, Soil depth, Soil type, Detailed Soil, Timber type, Timber diameter	72
14	Timber age	Aspect, Elevation, Landform, Riverbuffer, Cuvature, Soil depth, Detailed Soil, Soil type, Geology	68
15	Timber diameter	Aspect, Landform, TWI, SPI, Timber density	72
16	Geology	Slope, Landform, Riverbuffer, Cuvature, TWI, Timber age	71

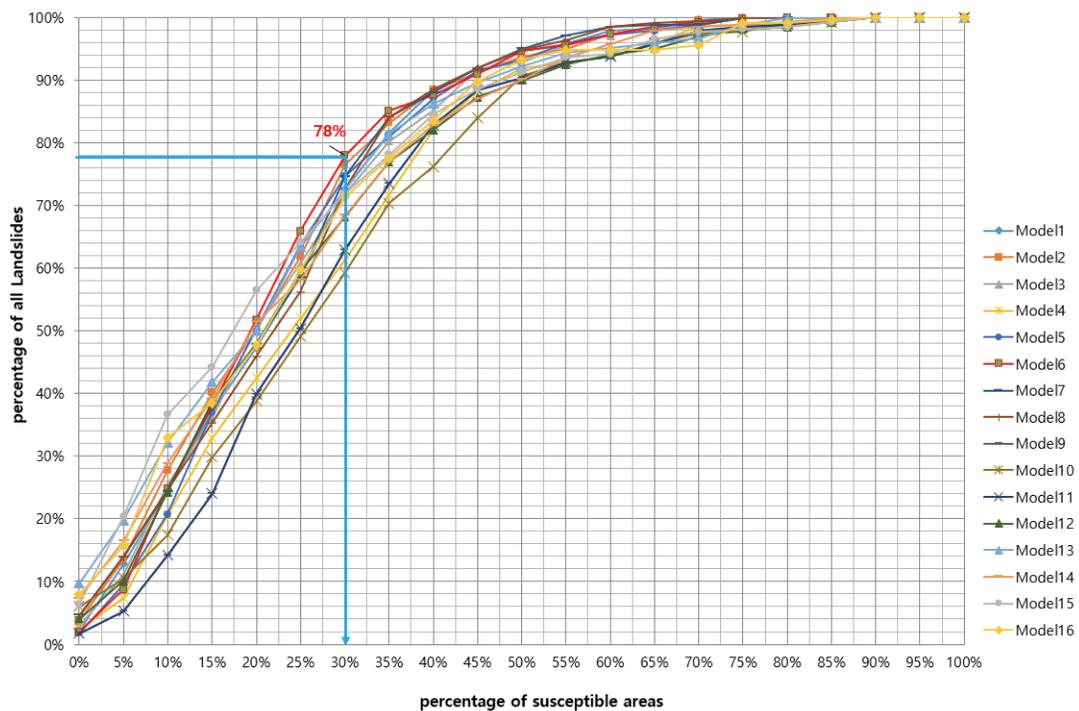


Figure 4. Prediction rate curves for each combination of predisposing factors

V. 결론

본 연구에서는 집중호우나 태풍의 영향으로 산지에서 발생 가능한 산사태 발생 취약지역을 분석하기 위하여 GIS기반의 WOE모델과 독립성 검증을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

WOE는 각 요인의 등급별 가중치를 W+ W-값으로 표현하고 최대가중치를 가지는 등급을 제외하고 나머지 등급은 음의 가중치로 대체된다. 산지재해를 발생시키는 16개의 요인의 가중치를 계산하여 재해 취약지수를 구하였으며 취약지수는 상위 5%, 10%, 15%, 70%로 등급화하여 작성하였다. 상위 30%(Very high~Medium)이내에 분포하는 산지재해는 73%의 예측력을 보였다. 재해에 대한 각 요인들의 반응이 관련성이 있는가 아니면 아무런 차이가 없는가(독립적인가)를 판단하기 위하여 산지재해와 관련요인들에 대해 독립성 검증을 실시하였으며 독립성 검증을 통해 16개의 조합으로 작성되었고 6번째 조합이 가장 높은 78%의 예측력을 보였다. 이는 실제 재해가 발생한 지역과 비교적 상관성이 높은 것으로 판단되며 이러한 결과는 산지재해를 경감하고 위험지도를 작성하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2014R1A1A3050495).

References

Bonham Carter, G. F. 1994. Geographic Information System for Geoscientists: Modeling with GIS. PERGAMON.

Chung, C. F. and A. G. Fabbri. 1998. Three Bayesian Prediction Models for Landslide Hazard. In, A. Buccianti, (ed.), *Proceedings of International Association for Mathematical Geology Annual Meeting (IAMG98)*. Ischia, Italy, October 3-7: 204-211.

Chung, F. C. and A. G. Fabbri. 1999. Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 65(12):1389-1399.

Korea Forest Service. *Landslide Risk Management System*. <http://sansatai.forest.go.kr>.

Oh, Chae Yeon. 2013. Study on Risk Assessment Techniques of Mountainous Disasters using GIS. Ph.D. Dissertation. Kangwon national university Graduate school of disaster prevention.

Ozdemir, A. and T. Altural. 2013. A Comparative Study of Frequency Ratio, Weights of Evidence and Logistic Regression Methods for Landslide Susceptibility Mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*. 64: 180-197.

Pourghasemi, H. R., M. Mohammady, and B. Pradhan. 2012. Landslide Susceptibility Mapping Using Index of Entropy and Conditional Probability Models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*. 97: 71-84.

Regmi, N. R., J. R. Giardino, and J. D. Vitek. 2010. Modeling Susceptibility to Landslides Using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*. 115(15): 172-187.

Korean References Translated from the English

산림청. 산사태 위험 관리 시스템. <http://sansatai.forest.go.kr>
오채연. 2013. GIS를 이용한 산지재해 위험성 평가기법 연구. 강원대학교 방재전문대학원 박사학위논문.

Received: Apr. 19, 2016 / Revised: May. 9, 2016 / Accepted: May. 23, 2016

확률론적 모델링 기법을 적용한 산지재해 위험인자 상관성 분석

국문초록 산사태나 토석류와 같은 산지재해 발생에 따른 피해를 최소화시키기 위해서는 피해 위험지에 대한 과학적 분석이 필요하며 각종 공간정보의 수집과 분석이 요구된다. 본 논문에서는 지리정보시스템(GIS)를 이용하여 산지재해 발생위험지역 분석에 필요한 지형, 수문, 토양, 임상 등의 공간정보 데이터베이스를 구축하였으며, 2006년 태풍 에위니아와 집중호우로 인해 많은 산지재해가 발생한 강원도 인제군 일대를 대상으로 현장모니터링을 실시하였고 재해발생 전·후의 항공영상의 중첩분석을 통해 산사태 및 토석류 발생지역을 추출하였다. 또한 산지재해 발생 위험지역을 예측하고자 확률론적 기법인 GIS기반의 증거가중 모델을 적용하여 W+, W- 가중치 값을 각각의 요소에 대해 계산하였으며, 산지재해 발생과 상관성이 높은 공간자료를 분석하고 산지재해 위험지역 취약성도를 작성하였다. 그리고 성공비율곡선을 작성하여 모델의 예측능력을 정량적으로 비교하였다.

주제어 : 산지재해, 산사태, 토석류, 지리정보시스템, 증거가중

Profiles **Chae Yeon Oh** : She received her Ph.D. degree from Kangwon National University, Korea in 2013. She is a Visiting Professor of the Disaster Prevention & Safety Engineering, Kangwon National University. Her current research focuses on the mountainous disaster prevention, hazard map and GIS(cyoh@kangwon.ac.kr).

Kye Won Jun : He received his Ph.D. degree from Chungbuk National University, Korea in 2004. He is a Professor of the Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, in which he has taught since 2004. His interesting subject and area of research and education are flood prevention, mountainous disaster prevention, and natural disaster prevention & management. He has published 58 articles in journals and written 7 books(including co-author books)(kwjun@kangwon.ac.kr).