

GIS의 확률론적 기법을 이용한 산사태 및 토석류 위험분석

- 강원도 인제지역 -

Risk Analysis of Debris flow Using a Probability Based Method in GIS

- Inje, Gangwon-do, Korea -

Kye Won Jun*, Chae Yeon Oh**

Department of Public Administration, Kangwon National University, Joongang-ro, Samcheok-si,
Gangwon-do, Korea

Abstract

Recently such as Landslide and debris flow are occurring over the due to climate changes, frequent sedimentation disaster in mountains area. To minimize damages made by mountainous disaster, it is necessary to Systematic damage prevention and management tried to understand characteristics of landslides or debris flow. In this thesis, a database was established with GIS (Geographic Information System) about topography, hydrologic, soil and forest physiognomy needed for analyses, and by targeting the area around Inje Gu, Inje Eup, where many landslides and debris flows occurred in 2006, this study extracted landslide and debris flow-occurrence locations through aerial images and on-site monitoring. Particularly, this study quantitatively extracted the correlation between the space information and landslide and debris flow-occurrence areas by using the Weight of Evidence model, while drawing up a prediction diagram of landslide and debris flow risk areas.

Key words: landslide, debris flow, GIS, weight of evidence, prediction diagram

* Corresponding author. Tel. +82-33-570-6447. E-mail. kwjun@kangwon.ac.kr

** Tel. +82-33-540-3119. Fax. +82-33-540-3129. E-mail. cyoh@kangwon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Jun. 8, 2014 / Revised: Jun. 21, 2014 / Accepted: Jun. 26, 2014

국문초록

최근 기후변화로 인하여 산사태나 토석류와 같은 산지토사재해가 빈번하게 발생하고 있으며 이와 같은 산지재해의 피해를 최소화시키기 위해서는 산사태나 토석류에 대한 특성을 이해하고 체계적인 피해 예방 및 관리가 필요하다. 본 논문에서는 GIS를 이용하여 분석에 필요한 지형, 수문, 토양, 임상 등의 데이터베이스를 구축하였으며 2006년 태풍 에위니아에 의해 많은 산사태와 토석류가 발생한 인제군 인제읍 일대를 대상으로 항공영상의 중첩 분석을 통해 산사태 및 토석류 발생지역을 추출하고 각각의 공간정보와의 연관성을 확률론적인 방법인 Weight of Evidence 모델을 이용하여 산사태 및 토석류 발생과 상관성이 높은 공간자료를 분석하고 산사태 및 토석류 위험지역 예측도를 작성하였다.

주제어: 산사태, 토석류, GIS, Weight of Evidence, 예측도

I. 서론

최근 집중호우나 태풍 등의 자연재해로 인해 산사태나 토석류와 같은 산지재해가 많이 발생하고 있으며 강원도의 경우 전 면적의 81%가 산지로 이루어져 사면이 대부분 급경사지를 이룬 곳이 많다. 또한 연평균 강수량의 대부분이 6~9월 사이에 집중되고 태풍 및 집중호우로 인해 많은 산사태나 토석류가 발생하고 있으며 그 피해액 또한 계속 증가하고 있다. 2011년 7월 서울 도심에서 발생한 우면산 토석류 재해와 춘천에서 발생한 산사태의 경우 산지에서 발생된 토석류가 바닥에 쌓인 흙, 자갈, 바위가 물과 함께 섞여 흘러내리면서 퇴적부에 위치한 도로, 가옥, 시설물 등에 재산피해와 많은 인명피해를 발생 시켰다. 산사태나 토석류는 집중호우로 인한 사면과괴, 산지계류에서의 급류에 의한 하상의 침식 등 다양한 유발요인에 기인하여 발생하며, 피해의 저감과 예측을 위해서는 발생지역의 지형, 지질, 강우유출특성 등의 체계적인 연구가 필요하다[6]. 산지재해와 같이 광범위하게 발생하는 재해를 분석하는 것은 현장조사로는 한계가 있으므로 인공위성영상을 이용한 원격탐사 기술과 GIS를 이용한 연구들이 진행되고 있다. 산지재해의 원인을 분석하고 예측하기 위해 국내에서는 이사로 외(2000)은 인공신경망을 이용한 산사태 취약성 분석과 최재원 외(2004)은 GIS 및 베이지안 확률기법을 이용한 보은지역의 산사태 취약성도 작성 및 검증을 하였다. 김경태 외(2005)은 GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가를 하였고, 전계원 외(2011)은 GIS 및 항공사진을 이용하여 토석류 유발 특성인자 분석에 관해 연구하였다.

국외의 경우 1990년대부터 GIS를 이용한 많은 연구가 진행되었는데 Baldelli, *et. al*(1996)은 지질도, 지형도, 수치지형모델을 이용하여 GIS 중첩분석을 통해 산사태 취약성도를 작성하였고, Chuang and Fabbri(1993; 1998)에 의해 조건부 확률 모델, Certainty factor 모델, 퍼지 집합 모델 등을 이용하여 다양한 지역에 대한 객관적이고 정량적인 산사태 위험도를 작성하고자 하였다. 또한 시간적으로 구분되는 두 그룹의 산사태 발생 위치를 이용하여 여러 가지 확률적인 예측 모델을 비교하였다[13].

본 연구에서는 산사태나 토석류와 같은 산지재해의 피해를 최소화하기 위해서 GIS 기반의 산

지재해 예측기법을 연구하고 산지재해가 발생한 지역을 대상으로 피해지역 항공사진과 GIS 기반의 공간통합(Spatial Integration)기법을 이용하여 공간정보와 산지재해 발생지와의 상관성을 Weight of Evidence(WOFE) 모델을 이용하여 정량적으로 분석하였다.

II. 모형이론

Bayesian 분석기법을 기반으로 하는 WOFE기법은 1986년 Spiegelhalter에 의해 의학적 분석에 적용되었으며, 이후 Bonham-Carter, *et. al*(1988; 1989; 1990)등은 Wofe 분석방법을 이용하여 캐나다 Nova Scotia의 금광 지역을 예측하였다. 최근 Lee, *et. al*(2004), Rezaei Moghaddam, *et. al*(2007)등 산사태 예측모델링 평가 분야에도 적용되고 있다. 연구지역 전체를 T, 산사태 및 토석류 발생지점을 D, 단위 셀 수를 N(D)로 나타 낼 경우 사전확률(Prior Probability) Bonham-Carter, 1994은 식 (1)과 같다.

$$P\{S\} = \frac{N\{D\}}{N\{T\}} \quad (1)$$

산지재해 발생지점 (D)와 관련된 각각의 인자를 F로 나타내어 D가 발생하였을 때 F가 발생할 확률은 식 (2) 식 (3)과 같다.

$$P\{D|F\} = \frac{P\{D \cap F\}}{P\{F\}} = P\{D\} \frac{P\{F|D\}}{P\{F\}} \quad (2)$$

$$P\{\bar{D}|F\} = \frac{P\{\bar{D}\}P\{F|\bar{D}\}}{P\{F\}} \quad (3)$$

$P\{F|S\}$ 는 산지재해 발생지점 (D)가 발생하였을 때 (F)가 발생할 가능성을 나타내는 사후확률(Posterior Probability)이다.

식 (2)을 식 (3)으로 나누면

$$O\{D|F\} = O\{D\} \cdot \frac{P\{F|D\}}{P\{F|\bar{D}\}} \quad (4)$$

$$O\{D|\bar{F}\} = O\{D\} \cdot \frac{P\{\bar{F}|D\}}{P\{\bar{F}|\bar{D}\}} \quad (5)$$

여기서, $\frac{P\{F|D\}}{P\{F|\bar{D}\}}$: Sufficiency Ratio(LS), $\frac{P\{\bar{F}|D\}}{P\{\bar{F}|\bar{D}\}}$: Necessity Ration(LN) 이다.

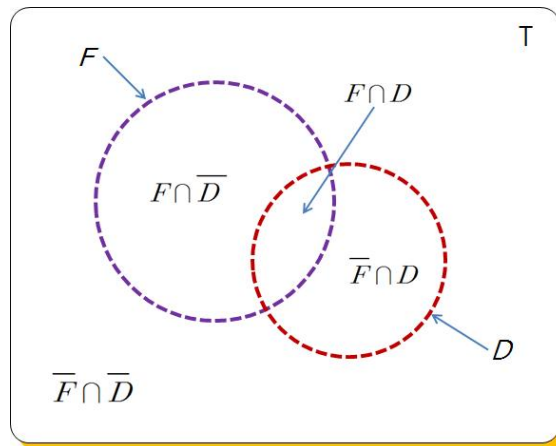
WOFE는 LS와 LN에 자연로그를 취함으로써 식 (6)과 식 (7)와 같이 정의 된다. W^+ 는 LS에 자연로그를 취한 것으로 Positive Weight of Evidence로 양의 상관관계를 나타내고 W^- 는 LN에 자연로그를 취한 것으로 Negative Weight of Evidence로 음의 상관관계를 나타낸다. <Figure 1>은 Weight 값을 벤 다이어그램으로 설명한 것이다.

$$W^+ = \log_e \frac{P\{F|D\}}{P\{F|\bar{D}\}} \tag{6}$$

$$W^- = \log_e \frac{P\{\bar{F}|D\}}{P\{\bar{F}|\bar{D}\}} \tag{7}$$

Weight간의 차이를 Contrast, C라 하고, 이 값이 양수이면 양의 상관관계이고 음수이면 음의 상관관계를 나타내며 식 (8)과 같다.

$$C = W^+ - W^- \tag{8}$$

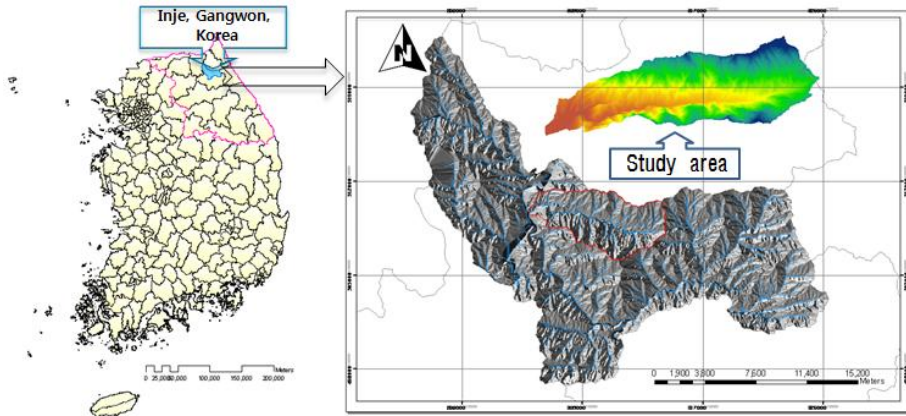


<Figure 1> Venn diagram to weight of evidence calculations

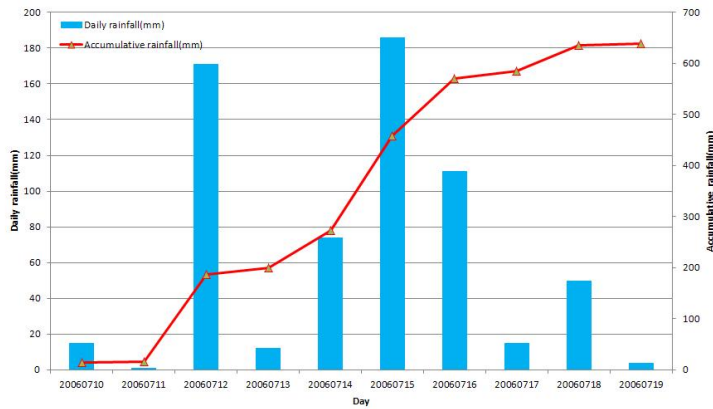
III. 연구지역 및 데이터베이스

2006년 7월 강원도 전 지역에 내린 집중호우와 태풍 에위니아의 동반 작용에 의해 인제와 평창일대에 많은 토사 재해가 발생하였으며, 산지가 지역의 90%이상을 차지하는 인제지역의 경우 29명이 사망하거나 실종되었으며, 3,725억원의 재산피해가 발생하였다[2]. <Figure 2>의 연구대상지역은 강원도 인제군 인제읍 덕산리 및 덕적리 일대로 전체 유역 면적은 약 33km²이다.

<Figure 3>는 2006년 7월 10일 부터 7월 19일 까지의 일강우량과 누적강우량을 나타내고 있으며, 12일부터 16일 까지 총강우량 569.6mm, 7월 15일 일강우량이 192mm, 최대시우량은 65.5mm를 기록하였으며, 7월 15일을 기점으로 크고 작은 산사태 및 토석류가 많이 발생하였다. 분석을 위해 필요한 각 요인들의 속성정보인 점, 선, 면, 좌표값 등을 GIS를 이용하여 지형, 수문, 토양, 임상, 지질 등 16가지 요인의 데이터베이스를 구축하였다.



<Figure 2> Study area and hillshaded map



<Figure 3> Daily rainfall and accumulated rainfall

IV. 분석결과

추출된 산사태 및 토석류 발생 지역과 각 요인들과의 상관성 분석을 위해 확률론적 방법인 WOFE 모델 분석을 수행하였다. WOFE 모델을 적용한 상관성 분석은 빈도비에 자연로그를 취하여 양과 음의 가중치를 적용하며, 산사태와 관련된 요인들의 값을 이분화 시켜주는 최적의

절단값으로 가중치의 차 C값과 C값의 표준편차S(C)로 나눈 값 Studentized value인 C/S(C)를 이용하여 이 값이 최대값을 갖는 등급의 W^+ 와 W^- 로 각 인자를 이분화 시킨 후 산사태 및 토석류 예측지수를 구할 수 있다. 가중치가 0의 값을 가지면 상관관계가 없고, (-)값을 가지면 음의 상관관계를 (+)값을 가지면 양의 상관관계를 나타낸다.

산사태 및 토석류발생과 각 요인과의 관계는 <Table 1>과 같다. 경사도의 경우 25°이상에서는 Studentized value 값이 양의 상관관계를 보이며 25° 미만에서는 음의 상관관계를 보였고, 6등급인 30°-35° 사이에서 C/S(C)의 값이 최대로 나타났으며 6등급인 30°-35°에 W^+ 값을, 그 밖의 등급은 W^- 값을 부여하였다. 경사방향은 남동쪽에서 고도의 경우는 4등급인 500-600m에서 지형(TPI)은 얇은 계곡 형태의 협곡에서 가장 높게 나타났으며 Shaped Valleys에 0.32의 W^+ 값과 -0.11의 W^- 값을 각각 부여하였으며 곡률의 경우는 볼록 사면이 최대값으로 계산되었다. 하천과의 거리는 2등급인 200m 이내에서 가장 많이 발생하는 양상을 보였으며 거리가 멀어질수록 음의 상관관계를 보였다. 지형습윤지수는 4단계에서 C/S(C)값이 3.584로 가장 높게 나타났다. 하천강도지수(SPI) 요인은 7등급에서 가장 높은 값을 보였으며 0.33의 W^+ 값과 -0.13의 값으로 가중되었다. 토양도에서는 토양기호가 Ahc에서 가장 높은 값을 보였으며 나머지 경우 거의 상관성이 없는 것으로 나타났다. 토양 배수도는 5등급에서, 토양 타입은 식양질 내지 미사식양질에서 0.19의 W^+ 값과 -0.68의 W^- 값을 각각 부여하였다. 임상인자의 관계에서는 임상타입이 활엽수림(H)에서, 임상밀도는 밀도는 낮은 지역에서, 영급은 4nd age에서 경급 인자는 소경목에서 가장 높은 상관관계를 보였다. 지질도에서는 복운모 화강암에서 높게 나타났으며 W^+ 값으로 가중되었고 그밖에 모든 등급은 W^- 값으로 대체되어 각 용인들은 W^+ 와 W^- 값으로 이분화 되었다.

<Table 1> Weight of Evidence between Landslide and Debris Flow Related Factor

Factor	CLASS	AREA (sq_km)	W+	W-	C	S(C)	C/S(C)
경사 (Slope)	0-10	3.36	-2.1654	0.0942	-2.2596	0.4107	-5.5024
	10-15	3.16	-2.2875	0.0897	-2.3772	0.4494	-5.2895
	15-20	5.00	-0.7440	0.0882	-0.8322	0.1706	-4.8773
	20-25	6.29	-0.1056	0.0229	-0.1285	0.1170	-1.0979
	25-30	6.36	0.2506	-0.0690	0.3196	0.1021	3.1295
	30-35	4.91	0.6075	-0.1547	0.7622	0.0990	7.7027
	35-40	2.82	0.5634	-0.0720	0.6355	0.1236	5.1411
	40-50	1.16	0.6088	-0.0304	0.6392	0.1801	3.5487
	50-68	0.44	0.1498	-0.0022	0.1520	0.3566	0.4262

<Table 1> Weight of Evidence between Landslide and Debris Flow Related Factor(continue)

Factor	CLASS	AREA (sq_km)	W+	W-	C	S(C)	C/S(C)
경사방향 (Aspect)	Flat	0.81	-1.8429	0.0207	-1.8636	0.7086	-2.6301
	North	2.09	-1.5362	0.0509	-1.5872	0.3806	-4.1702
	Northeast	3.56	-0.7198	0.0593	-0.7792	0.1977	-3.9407
	East	2.86	0.6596	-0.0912	0.7508	0.1182	6.3533
	Southeast	3.63	1.1347	-0.2950	1.4297	0.0929	15.3856
	South	4.39	0.5053	-0.1042	0.6095	0.1064	5.7269
	Southeast	4.57	-0.4799	0.0585	-0.5384	0.1576	-3.4154
	West	4.82	-0.7078	0.0820	-0.7898	0.1706	-4.6284
	Northeast	4.66	-1.2879	0.1107	-1.3986	0.2281	-6.1318
고도 (Elevation)	North	2.11	-1.1872	0.0456	-1.2328	0.3194	-3.8599
	0-300	2.11	-1.8812	0.0554	-1.9366	0.4494	-4.3090
	300-400	2.87	-0.1096	0.0097	-0.1193	0.1647	-0.7245
	400-500	3.60	0.1502	-0.0197	0.1699	0.1327	1.2800
	500-600	4.88	0.3979	-0.0870	0.4850	0.1064	4.5573
	600-700	6.15	-0.2432	0.0474	-0.2907	0.1249	-2.3274
	700-800	6.14	0.1415	-0.0347	0.1762	0.1074	1.6403
	800-900	4.35	-0.0238	0.0035	-0.0274	0.1318	-0.2075
	900-1000	2.37	-0.2758	0.0182	-0.2940	0.1944	-1.5123
1000-1226	1.04	0.1656	-0.0058	0.1714	0.2339	0.7326	
지형 (TPI)	Incised streams	1.20	0.4784	-0.0230	0.5013	0.1883	2.6625
	Shallow Valleys	0.04	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Head waters	0.01	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	shaped Valleys	7.50	0.3160	-0.1134	0.4293	0.0951	4.5163
	Plains	1.06	-2.1105	0.0283	-2.1389	0.7085	-3.0187
	Open slopes	15.42	-0.0334	0.0277	-0.0611	0.0882	-0.6923
	Upper slopes	6.76	-0.1560	0.0359	-0.1918	0.1160	-1.6541
	Local Ridges	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Midslope Ridges	0.03	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	High Ridges	1.47	-1.1853	0.0314	-1.2168	0.3806	-3.1968
곡률 (Curvature)	Concave(+)	3.61	0.2350	-0.0325	0.2675	0.1278	2.0927
	Flat	25.50	0.0109	-0.0356	0.0465	0.1041	0.4469
	Conves(-)	4.38	-0.3309	0.0416	-0.3725	0.1502	-2.4804
하천버퍼 (River buffer)	100m	12.20	-0.2696	0.1271	-0.3967	0.0978	-4.0557
	200m	9.72	0.2075	-0.0990	0.3065	0.0915	3.3495
	300m	6.66	0.2503	-0.0732	0.3234	0.1006	3.2157
	400m	3.58	-0.0886	0.0101	-0.0987	0.1475	-0.6692
	500m	1.14	-1.2708	0.0252	-1.2959	0.4495	-2.8832
	600m	0.19	-1.0603	0.0036	-1.0640	1.0012	-1.0626
	700m	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

<Table 1> Weight of Evidence between Landslide and Debris Flow Related Factor(continue)

Factor	CLASS	AREA (sq_km)	W+	W-	C	S(C)	C/S(C)
지형습윤지수 (TWI)	0~2.63	4.03	-0.6412	0.0627	-0.7040	0.1799	-3.9120
	2.63~5.27	4.53	0.0497	-0.0080	0.0577	0.1256	0.4596
	5.27~7.90	8.12	0.0889	-0.0302	0.1191	0.0994	1.1987
	7.90~10.53	8.27	0.2437	-0.0947	0.3384	0.0944	3.5840
	10.53~13.17	4.81	-0.0811	0.0130	-0.0940	0.1293	-0.7271
	13.17~15.80	2.21	-0.0394	0.0027	-0.0421	0.1800	-0.2339
	15.80~18.43	0.94	-1.0710	0.0188	-1.0898	0.4495	-2.4244
	18.43~21.07	0.45	-0.3263	0.0037	-0.3300	0.4496	-0.7339
	21.07~23.70	0.16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
하천강도지수 (SPI)	-4.37~-3.43	0.32	0.1831	-0.0019	0.1851	0.4110	0.4502
	-3.43~-2.48	0.79	-0.0262	0.0006	-0.0268	0.2923	-0.0918
	-2.48~-1.54	1.09	-0.6369	0.0158	-0.6527	0.3364	-1.9402
	-1.54~-0.60	0.70	-0.9989	0.0134	-1.0122	0.5021	-2.0161
	-0.60~0.35	7.70	-0.7432	0.1455	-0.8887	0.1404	-6.3293
	0.35~1.29	10.11	-0.0741	0.0304	-0.1045	0.0976	-1.0702
	1.29~2.23	8.03	0.3321	-0.1325	0.4646	0.0930	4.9972
	2.23~3.18	3.90	0.3952	-0.0659	0.4611	0.1160	3.9743
3.18~4.12	0.86	0.5488	-0.0193	0.5682	0.2136	2.6605	
토양기호 (Soil map)	AhC	12.37	-0.3425	0.1575	-0.4999	0.0996	-5.0205
	ArC	11.12	0.6419	-0.5943	1.2362	0.0909	13.6009
	CGC	3.60	-0.6599	0.0567	-0.7165	0.1912	-3.7481
	HYB	0.47	0.0882	-0.0013	0.0896	0.3566	0.2511
	IgB	0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	JiB	0.36	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	JoB	0.12	-0.6624	0.0018	-0.6643	1.0014	-0.6633
	JoC	0.18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	MoB	0.12	0.7934	-0.0042	0.7977	0.5028	1.5865
	MuD	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	MuE	0.14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	OdF	0.61	-0.1755	0.0030	-0.1785	0.3565	-0.5006
	OnD2	0.12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	OnE2	0.21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	PxB	0.28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SkC	0.42	-1.1926	0.0089	-1.2015	0.7086	-1.6956
	SKD	0.28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SNE2	0.13	0.0116	0.0000	0.0116	0.7090	0.0164
	SRF2	0.04	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SbD	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SgD2	0.19	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SgE2	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SmE2	0.93	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SmF2	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SqC	0.02	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SqE	0.06	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
StC	0.09	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
UBC	0.03	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

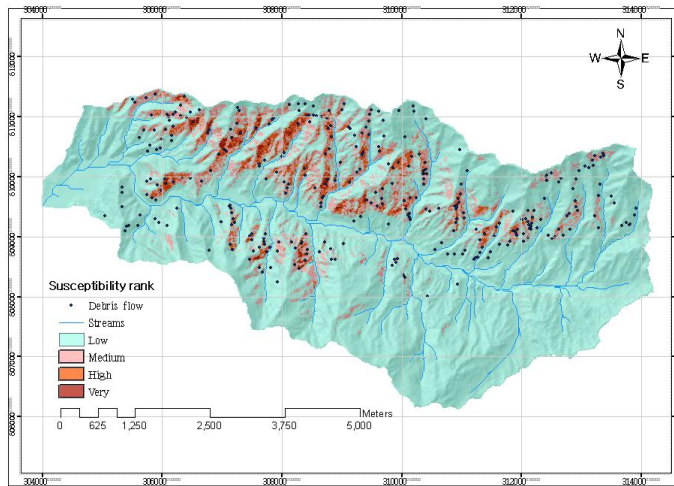
<Table 1> Weight of Evidence between Landslide and Debris Flow Related Factor(continue)

Factor	CLASS	AREA (sq_km)	W+	W-	C	S(C)	C/S(C)
토양기호 (Soil map)	UBD	0.27	-1.4298	0.0061	-1.4359	1.0011	-1.4342
	UoB	0.02	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	UoC	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	WoB	0.03	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	WoC	0.19	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	YjB	0.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	YxB	0.37	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
토양배수도 (Soil depth)	매우깊음	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	깊음	0.68	-2.3561	0.0185	-2.3746	1.0010	-2.3722
	보통~깊음	0.94	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	보통	4.19	-0.9606	0.0848	-1.0454	0.2050	-5.0984
	얕음	22.74	0.2231	-0.7589	0.9820	0.1228	7.9938
	매우얕음	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	암석노출지	4.80	-0.3655	0.0502	-0.4157	0.1462	-2.8422
토양타입 (Soil type)	돌,자갈이있는 식양질	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	사양질내지사질	0.71	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	사양질내지 식양질	2.67	-2.6283	0.0773	-2.7056	0.5791	-4.6725
	사양질내지식질	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	식양질내지미사식양질	23.69	0.1868	-0.6842	0.8710	0.1235	7.0523
	식양질내지식질	1.52	-0.0710	0.0033	-0.0743	0.2180	-0.3407
	암석노출지	4.84	-0.3704	0.0510	-0.4214	0.1462	-2.8813
임상 (Timber type)	D	1.23	0.0808	-0.0036	0.0844	0.2135	0.3951
	H	3.07	0.3654	-0.0514	0.4168	0.1243	3.3518
	L	7.93	-0.0109	0.0039	-0.0148	0.1002	-0.1480
	M	0.25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	PD	12.01	0.0538	-0.0375	0.0913	0.0891	1.0247
	PH	4.91	-0.5454	0.0790	-0.6244	0.1502	-4.1562
	PK	0.44	0.4684	-0.0088	0.4773	0.2925	1.6318
	PL	0.04	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	PO	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
R	0.10	0.8382	-0.0044	0.8426	0.5029	1.6753	
임상밀도 (Timber density)	Non-forest	13.69	-0.1091	0.0691	-0.1782	0.0910	-1.9589
	Loose	13.32	0.2387	-0.1959	0.4346	0.0877	4.9555
	Moderate	6.14	-0.3545	0.0649	-0.4194	0.1310	-3.2027
	Dense	0.34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
임상영급 (Timber age)	1nd	5.64	0.1683	-0.0437	0.2120	0.1055	2.0094
	2nd	5.34	-0.4382	0.0748	-0.5130	0.1374	-3.7341
	3nd	4.14	-0.3062	0.0417	-0.3479	0.1451	-2.3982
	4nd	11.35	0.2988	-0.2411	0.5400	0.0880	6.1367
	5nd	2.62	-3.1295	0.0885	-3.2180	0.7085	-4.5420
	6nd	0.69	0.5621	-0.0180	0.5801	0.2231	2.6001

<Table 1> Weight of Evidence between Landslide and Debris Flow Related Factor(continue)

Factor	CLASS	AREA (sq_km)	W+	W-	C	S(C)	C/S(C)
임상경급 (Timber diameter)	소경목	10.12	0.26	-0.17	0.43	0.09	4.53
	중경목	9.94	-0.03	0.01	-0.05	0.10	-0.45
	치수	9.70	-0.32	0.13	-0.45	0.11	-4.12
지질도 (Geological)	각성암	0.64	-1.6160	0.0157	-1.6316	0.7086	-2.3027
	복운모화강암	13.52	0.1751	-0.1391	0.3142	0.0878	3.5806
	인제화강암	0.81	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	퇴적암	0.53	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	함반정	0.20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	복운모화강암	0.20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	화강편마암	0.07	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	흑운모편마암	17.30	-0.0104	0.0110	-0.0214	0.0877	-0.2435

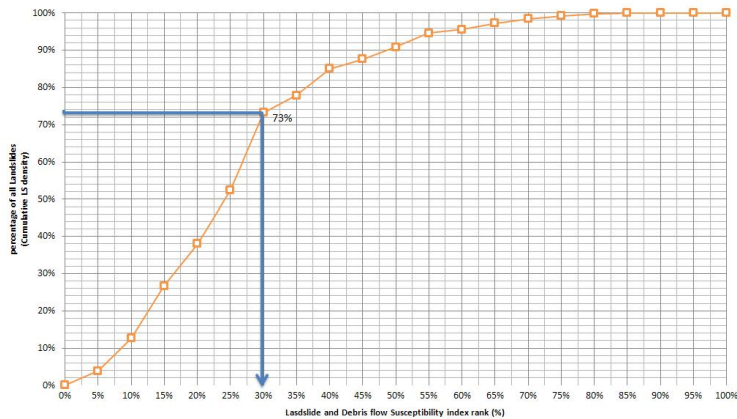
계산된 각각의 이분화된 가중치는 산사태 및 토석류 위험성 분석을 위해 각 요인의 등급에 부여한 후 중첩분석을 실시하여 산사태 및 토석류 취약지수를 구하였다. <Figure 4>는 확률이 높은 상관관계를 보이는 지역을 중첩하여 산사태 및 토석류 위험지역 예측도를 작성한 것이다. 계산된 취약지수를 상위 5%, 10%, 15%, 70%로 등급화하여 Very high, high, Medium, Low로 위험도를 나타내었으며 Very high~Medium (상위 30%)내에 분포하는 산지재해는 73%로 나타났다.



<Figure 4> Landslide and Debris flow Susceptibility Index Map based on Weight of Evidence

그리고 계산된 취약성 지수의 기존 산사태나 토석류 발생을 설명하는 능력을 정량적으로 표현하기 위해 성공비율곡선을 <Figure 5>에 작성하였다. 성공비율곡선은 취약성 지수 값을 그대로 사용하지 않고 상대적 순위(rank)를 계산하여 5%별로 값을 재분류하여 그 범위에 포함되는 기존 산사태 발생 위치의 셀 수를 계산하여 상대적 비율을 계산하였으며 X축은 산지재해 취약지수를 상위 퍼센트로 등급화한 값이고, Y축은 검증용 산지재해 누적 퍼센트의 등급값이

다. 성공비율곡선을 보게 되면 산사태나 토석류 취약성 지수가 높은 경우인 순위가 높은 부분으로 갈수록 산사태나 토석류가 많이 발생되었음을 확인 할 수 있다.



<Figure 5> Illustration of Cumulative Frequency Diagram Showing Landslide and Debris Flow Susceptibility Index Rank(x-axis) Occurring in Cumulative Percent of Landslide and Debris Flow Occurrence(y-axis).

V. 결론

본 연구에서는 집중호우나 태풍의 영향으로 산지에서 발생 가능한 산사태 및 토석류와 같은 산지재해 발생위험지역을 산정하기 위해 GIS 기법과 WOFE 모델을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

GIS기법 및 항공영상을 이용하여 토석류 발생 지점을 포인트 자료로 추출하고 산지재해에 영향을 미치는 지형인자, 토양인자, 수문인자, 임상인자, 지질인자를 사용하여 공간데이터베이스를 구축하였으며, WOFE 모델을 이용하여 각 요인과 산사태 및 토석류의 상관성 분석을 통하여 높은 상관성을 보이는 지역을 중첩 분석하여 산지재해 위험지역을 도출하고 취약성도를 작성하였다. 취약지수는 상위 5%, 10%, 15%, 70%로 등급화하여 작성하였으며 비교적 위험도가 높은 구간인 Very high~Medium 상위(30%)구간에 약 73%의 포인트가 분포하는 것으로 분석되었다. 이는 실제 발생한 지역과 비교적 상관성이 높은 것으로 판단된다. 계산된 취약성도는 기존 산사태 및 토석류 발생을 설명하는 능력을 정량적으로 표현하기 위하여 성공확률곡선을 작성하였다. 추후 다양한 모델의 비교 분석을 통하여 좀 더 정확한 예측도를 작성할 수 있을 것으로 기대되며, 산사태 및 토석류 예측 및 예방에 기여할 수 있을 것으로 생각한다.

References

- [1] Kim, Kyung Tae. Sung Gwan Jung, Kyung Hun Park, and Jeong Hak Oh. 2005. Evaluation of Landslide Susceptibility Using GIS and RS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 8(1): 75-87.
- [2] Gangwon-do Disaster and Safety Countermeasures Headquarters. 2006. *Central-do Congruence Survey Result Report*.
- [3] Lee, Saro., Joo Hyung Ryu, Kyung Duck Min., and Joong Sun Won. 2000. Landslide Susceptibility Analysis Using Artificial Neural Networks. *Econ. Environ. Geol.* 33(4): 333-340.
- [4] Oh, Chae Yeon. 2013. *Study on Risk Assessment Techniques Mountainous Disasters using GIS*. Graduate School of Disaster prevention, Kangwon University, Doctorate thesis.
- [5] Choi, Jae Won. Lee Saro. Kyung Duck Min, and Ik Woo. 2004. Landslide Susceptibility Mapping and Verification Using the GIS and Bayesian Probability Model in Boun. *Econ, Environ. Geol.* 37(2): 207-223.
- [6] Jun, Kye won and Jun, Byong hee. 2010. A Study on Estimation of Amount of Debris-Flow using Terrestrial LiDAR. *Korean Geo-Environmental Society*. 11(3): 63-68.
- [7] Jun, Kye Won, Chae Yeon Oh., and Byong Hee Jun. 2011. Study on Analyzing Characteristics Which Causes a Debris Flow: Focusing on the Relation with Slope and River. *Journal of Safety and Crisis Management*. 7(3): 223-232.
- [8] Aleotti, P., P. Baldelli., and G. Polloni. 1996. Landslideing and Flooding Event Triggered by Heavy Rains in the Tanaro Basin(Italy). Proc. International Congress Interpraevent 1996. *Garmisch-partenKirchen*. 1(1): 435-446.
- [9] Bonham-Carter, G. F., F. P. Agterberg., and D. F. Wright. 1989. Weights of Evidence Modeling: A New Approach to Mapping Mineral Potential. In Agterberg, F. P. and G. F. Bonham-Carter eds. *Statistical Application in the Earth Sciences. Geological Survey of Canads*. 989: 171-183
- [10] Bonham-Carter, G. F. 1994. *Geographic Information System for Geoscientists Modeling with GIS. Computer Methods in the Geosciences*. New York: Pergamon Elsevier science.
- [11] Chung, F. C. and A. G. Fabbri. 1993. The Representation of Geoscience Information or Data Integration. *Nonrenewable Resources*. 2(2): 122-139.
- [12] 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). Italy: Ischia.

- [13] Chung, F. C. and A. G. Fabbri. 1999. Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 65(12): 1389-1399.
- [14] David, J. Spiegelhalter. 1986. Monitoring Clinical Trials: Conditional or Predictive Power? *Controlled Clinical Trials*. 7(1): 8-17.
- [15] Lee, s., J. W. Choi., and I. Woo. 2004. The Effect of Spatial Resolution on Theaccuracy of Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study in Boun. *Korea Geosciences Journal*. 8: 51-60.
- [16] Rezaei, Moghaddam., M. Khayyam, M. Ahm, ade and M. farajzadeh. 2007. Mapping Susceptibility Landslide by Using the Weight-of-evidence Model: A Case Study in Merek Valley. *Journal of Applied Sciences*. 7(22): 3342-3355.

참고문헌 (References in Non-roman Script)

- [1]김경태, 정성관, 박경훈, 오정학. 2005. GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국 지리정보학회지. 8(1): 75-87.
- [2]강원도 재난안전대책본부. 2006. 중앙·도 합동조사 결과보고서.
- [3]이사로, 류주형, 민경덕, 원중선. 2000. 인공신경망을 이용한 산사태 취약성 분석. 자원환경 지질학회지. 33(4호): 333-340.
- [4]오채연. 2013. GIS를 이용한 산지재해 위험성 평가기법 연구. 강원대학교 방재전문대학원 박사학위논문.
- [5]최재원, 이사로, 민경덕, 우익. 2004. 지리정보시스템(GIS) 및 베이지안 확률기법을 이용한 보은지역의 산사태 취약성도 작성 및 검증. 자원환경지질. 37(2): 207-223.
- [6]전계원, 전병희, 안광국, 장창덕, 김남균. 2010. 지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 산정에 관한 기초연구. 한국지반환경공학회. 11(3): 63-18.
- [7]전계원, 오채연, 전병희. 2011. 토석류 유발 특성인자 분석에 관한 기초연구. 한국위기관리논집. 7(3): 223-232.

전계원: 충북대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문: 홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발, 2004. 2), 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 풍수해 방재, 산지재해 방재, 자연재해관리 등이며, 자연재해란 무엇인가?(공저, 2008) 등의 저서와 주요 논문으로 “산악지역돌발홍수 기준우량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)” 등이 있다 (kwjun@kangwon.ac.kr).

오채연: 강원대학교 방재전문대학원에서 공학박사 학위를 취득하고(논문제목: “GIS를 이용한 산지재해 위험성 평가기법 연구”, 2013년 8월), 현재 강원대학교 소방방재학부에서 책임시간강사로 재직중이며, 산지재해, 토석류재해, 피해예측지도(Hazard map), GIS 분야에 관심을 두고 연구 중이다(cyoh@kangwon.ac.kr).