

# 지형요소와 AHP를 활용한 산사태취약지역 선정

## The Selection of Landslide Risk Area Using AHP and Geomorphic Element

민병근<sup>1)</sup> · 강인준<sup>2)</sup> · 박동현<sup>3)</sup> · 김병우<sup>4)</sup>

Min, Byung Keun · Kang, In Joon · Park, Dong Hyun · Kim, Byung Woo

### Abstract

Landslides are caused by earthquakes or heavy rains. Recently the incidence of landslides has been increased. However, it is impossible to predict the occurrence of landslide exactly. The purpose of this research is that subdivide the classes of elements in the landslide management system by using spatial analysis technique and AHP method. The existing landslide management system is only comprised of weighted value the slope elements without weighted value about the slope direction elements. For the accuracy improvement in landslide occurrence point, weighted value about the slope direction should be considered. This research is focused on segmentation in slope direction three categories. If the direction of landslide does not affect the structure, I do not think the subject is worth considering. Based on these results will discuss the improvements in Landslides management systems. Analysis results, segmentation on the slope and the slope direction are needed. Segmented categories about topography elements will be increase the accuracy of landslides management system. Also, since topography of the elements is only considered, segmentation of different elements is needed.

Keywords : Landslide, AHP, Slope direction, Gradient

### 초 록

산사태는 지진이나 집중 호우로 인해 발생되며, 최근 산사태의 발생이 증가하고 있다. 하지만 정확한 산사태의 발생을 예측하는 것은 불가능하다. 이에 본 연구에서는 공간 분석 기법과 AHP 방법을 사용하여 산사태 관리 시스템의 요소를 세분화하고자 한다. 기존의 산사태 관리 시스템은 경사 방향 요소에 대한 가중치 없이 기울기의 요소로 구성되어 있다. 산사태 발생 위험 예측의 정확도 향상을 위해서는 경사 방향에 대한 가중치를 고려하여야 한다. 본 연구에서는 경사 방향을 세 가지 범주에서 분류하였다. 경사방향이 산사태에 영향을 주지 않는 경우는 고려하지 않았다. 이러한 결과를 바탕으로 산사태 관리 시스템의 개선방향을 제시하고자 한다. 분석 결과, 경사 및 경사 방향에 분할이 필요하며, 지형 요소에 대한 분류로 산사태 관리 시스템의 정확도를 높일 수 있다고 판단된다. 본 연구에서는 지형요소만을 고려하였지만, 향후 연구에서는 다른 인자들을 고려한 세분화가 필요하다고 생각된다.

핵심어 : 산사태, 계층적분석과정, 경사방향, 경사도

## 1. 서 론

산사태(Landslide)는 지진 또는 폭우로 인해 산지사면을 따라 암석이나 토양이 일시에 많은 양이 무너져 내려오는 것이라고 정의할 수 있으며, 산사태가 일어나면 막대한 인명과 재

### 1.1 연구 배경 및 동향

- 1) Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University. (E-mail : Ojaemin@hanmail.net)
- 2) Corresponding Author, Department of Civil and Environmental Engineering Pusan National University. (E-mail : ijkang@pusan.ac.kr)
- 3) Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University. (E-mail : sogone@pusan.ac.kr)
- 4) Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, (E-mail : pusanoo7@dreamwiz.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Landslide Damage(중앙안전재난대책본부 피해복구계획서)

Division		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Restoration expenditure (one million won))		99,195	117,353	319,212	20,436	19,342	69,594	49,585	157,961
Damage situation	Landslide(ha)	233	469	1,597	73	102	250	206	824
	Mountain stream(km)	15	121	84	3	4	6	11	13
	Forest road(km)	76	75	227	45	18	39	44	43
	Damage of human life (person)	-	9	9	-	-	5	1	43

산 피해가 발생한다. 그러나 산사태 발생의 시간이나 위치에 대한 정확한 예측이 불가능한 실정이다. 특히, 우리나라는 전국토의 약 70프로가 산지로 이루어져 있으며, 도시개발에 따른 인공사면이 크게 늘고 있다. 또한, 연평균 강우량도 비교적 많은 편이다. 특히, 여름철에는 장마와 태풍, 이상기후에 의한 국지성호우 등으로 인해 강우가 집중되어 산사태를 빈번히 발생시키며, 사회적·경제적 손실을 가져오고 있다.

Table 1은 2004년부터 2011년도까지 산사태에 의한 사망자수와 피해현황을 나타내고 있다. 이 같은 피해를 방지하기 위하여 최근 산사태 예측 및 방재를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구와 관련된 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다.

산사태와 관련된 국내 연구로는 사천지역에 발생한 산사태에 대하여 물리탐사 및 시추조사를 통하여 산사태의 원인이 인공적인 개발에 의한 산사태로 규정(Kim *et al.*, 2004)하였고, 경상북도 지역에서 강우량 및 모암, 그리고 경사부분에 대한 연관성을 파악하여 요인별로 발생특성을 분석하고 이를 기반으로 산사태 판정기준표를 제시(Jung, 2010)하였다. 또한, AHP 및 GIS기법을 통한 산사태 관련 연구를 살펴보면 GIS기법과 AHP기법을 통하여 산사태에 취약한 지역의 결정하였으며 이에 따른 유발 인자의 영향 분석(Yang *et al.*, 2006)과 강원도 인제군을 대상으로 GIS를 이용한 산사태 관련 인자의 지형학적, 임상학적, 토양학적 특성을 수량화 2중법으로 분석한 연구(Kim and Lee, 2012), RS와 GIS를 이용한 산사태의 위험지도 분석 및 추출방법론 제시에 관한 연구(Lee *et al.*, 2006), 강우조건을 고려한 산사태 가능성도 제작과 위성영상 및 수치지도를 이용한 위험지역 추출연구(Park *et al.*, 2008) 등이 진행되었다.

최근에 이루어진 국외 연구로는 GIS와 AHP를 활용한 네 팔 서쪽지구의 산사태 감도 분석에 관한 연구(Kayastha, p. *et al.*, 2013), 회귀 분석과 통계모델의 평가에 의한 산사태 위험

지도 제작에 관한연구(Pourghasemi *et al.*, 2013) 등이 이루어지고 있다.

### 1.2 연구 목적

본 연구의 목적은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 먼저, 기존의 산사태 위험지 관리 시스템에서 사용되는 요소들 중 지형인자들을 대상으로 GIS 공간분석을 통하여 현재 기준에서 세분화하여 사면에 대한 지형분석결과의 차이점을 파악하는 것이다. 다음으로, 산사태위험 판정 요소 중 지형인자를 대상으로 AHP기법을 통한 가중치 설정을 통해 지형유발인자의 세분화 기준을 재설정하고 AHP기법의 활용성을 살펴보는 동시에 새로운 산사태 분류 기준을 제시하고자 한다. 마지막으로, AHP기법을 이용하여 지형 인자에 대한 세분화된 기준을 활용하여 이미 발생한 산사태 발생지역에 대한 GIS 공간분석을 실시하여 발생 위험성을 재평가하고 기존의 산사태 위험지 관리 시스템에서의 결과를 비교 분석하여 산사태 관리 시스템의 개선점에 대해 논의하고자 한다.

### 1.3 연구 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 부산광역시 영도구 동삼동 함지골 청소년 수련관 일대로 2011년 7월 27일 시간당 96mm의 폭우로 인해 산사태가 발생하여 수련관 앞 도로가 침수되는 피해를 입었다. 주변의 아파트 단지들과 주택단지, 도로 등이 봉래산 주변에 위치해 산사태가 발생할 경우 많은 피해가 발생될 가능성이 높은 지역이다.

산사태 발생 예측을 위한 연구방법으로는 먼저, 기존의 산사태 위험지 관리 시스템에서 위험기준을 판단하는 요소들 중 지형요소(경사도, 경사방향)만을 대상으로 사면에 대한 위험도를 파악하고 지형요소와 다른 판정 요소간의 중요도를 알아보았다.

다음으로 현재 산사태 위험지 관리 시스템에 적용중인 지형요소의 등급을 세분화하여 위험도 판정의 세분화를 시도하였다. 이를 위해 의사결정 시 효율적인 가중치 부여가 가능한 AHP기법을 활용하여 경사방향과 경사도에 각각의 가중치를 주어 세분화 하였으며, 마지막으로 세분화된 경사도와 경사방향의 기준을 이용하여 연구지역에 대한 새로운 산사태 위험도를 분석하고 기존의 시스템 분석 결과와 비교해 보았다.

본 연구를 위해 국토지리정보원에서 제공하는 수치지형도를 활용하였고, 산사태 관련 전문가, 공무원 등을 대상으로 설문지를 배포하였고 이 중 21부가 회수되어 분석에 활용하였다.

## 2. 분석이론

### 2.1 AHP 기법

AHP(Analytic Hierarchy Process)기법은 1970년대 초 펜실베이니아 대학의 Thomas Saaty 교수가 개발한 계층적 분석 과정 방법을 의미하는 것이다. 사업성의 평가결과나 연구결과에 대해 신뢰성을 향상시키는 목적으로 가중치를 선정하고 이에 기반을 두어 의사결정을 내릴 때 좋은 방법으로 알려져 있다. 이 방법은 의사결정의 전 과정을 여러 단계로 구분하여 단계별로 분석하고 해결하여 최종적인 의사결정(최적의 결정)에 이르는 방법이라고 할 수 있다.

의사결정을 내릴 때 계량화가 어려운 부분이 많은 점을 충분히 인식하고 여러 가지 많은 경우의 수에서 최대공약수적인 판단을 추출해내는 방법이다. 평가기준과 대안에 대해 계층적인 구조로 파악하여 최적 대안을 선택하는 것이다. 자료가 불충분한 상태이거나 시간적으로 촉박한 상황에서의 의사결정 지원에 있어 장점을 가지고 있다. 모델 계층도의 작성, 일대비교, 종합 중요도 결정과 대체 안 비교, 감도분석 등의 순서를 거쳐 해석이 이루어진다.

### 2.2 지형분석

DEM이나 TIN을 이용한 지형 분석은 알고리즘 개발과 컴퓨터 기술의 발달로 인해 매우 활성화되고 있다. DEM을 이용한 가장 보편적인 지형 분석 기능은 일정 지점에서의 경사도와 경사면의 향을 분석하여 지형적 특성을 나타내는 것이다. 경사는 경관 상에서 지형 변화를 계산하는 것으로, 래스터 데이터 구조에서 한 셀과 그 주변 셀과의 고도 변화를 통해 산출되며, 두 지점간의 고도차가 클수록 경사도 커지게 된다. 경사도는 각 셀에서 인접 셀까지의 변하는 값에 대한 최대 비율을 나타내며, 경사도는 백분율이나 도로 계산된다.

경사면의 방향 분석 방법도 경사도를 산출하는 방법과 마찬가지로 이웃하는 8개의 셀을 토대로 하여 주향을 결정하게 되며, 일반적으로 위쪽이 북쪽이고 아래쪽이 남쪽을 가리킨다. 경사면의 방향은 각 셀에서 인접 셀까지의 값이 최대로 변화하는 내리막의 방향을 말한다. 즉, 8개 방향에 대해 경사각을 계산한 후에 최대의 경사각이 계산되고 나면, 최대의 경사면의 방향을 경사면에 대한 방향으로 결정하게 된다.(Lee et al, 2011)

## 3. 산사태 위험지 분석

### 3.1 산사태 위험지 관리시스템

Fig. 1은 현재 산림청에서 관리, 배포 하고 있는 산사태 위험지 관리시스템으로 전국을 대상으로 서비스 되고 있다. 산사태 위험지 관리시스템은 경사길이, 모암, 경사위치, 임상, 사면형태, 토심, 경사도 등 총 9가지 내적요인을 최소 3개에서 최대 5개까지 가중치를 구분하여 관리하고 있다. 그러나 9가지의 기준은 2002년에 재정되어 아직까지 유지, 관리되고 있는 항목으로 현재에 있어 시행하기에는 많은 문제점이 있어 최근 산사태 발생 가능성을 통계 분석한 공간정보를 제공하기 위해 개편 중에 있다.

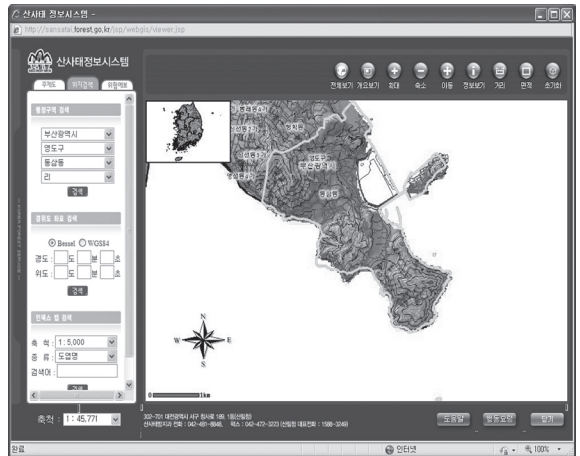


Fig. 1. Landslide Information System (www.sansatai.forest.go.kr)

### 3.2 가중치 분석

산사태 정보시스템은 모든 항목에 가중치를 부여하고 중첩을 하여 관리되고 있다. 본 연구에서는 경사도 항목의 분류기준을 확대하여 새로운 가중치를 부여하고 요소간의 상대적 중요도를 평가하기 위해 AHP분석을 실시하였다.

Table 2. AHP Result

	Gradient	Slope direction
Respondent 1	0.135	0.367
Respondent 2	0.314	0.059
Respondent 3	0.379	0.166
Respondent 4	0.297	0.210
Respondent 5	0.358	0.201
Respondent 6	0.334	0.148
Respondent 7	0.366	0.200
Respondent 8	0.359	0.160
Respondent 9	0.139	0.349
C.R	0.016	

Table 2는 AHP 분석에 대한 결과를 보여준다. 경사도와 경사방향에 대한 분석을 실시하였으며, AHP기법의 신뢰성 분석의 각 평가 요소들 간의 상대적 중요도를 평가하는 대상의 판단상 오차 정도를 측정하는 방법인 일관성 비율(C.R)을 계산한 결과 0.016으로 0.1(10%)보다 적게 나타나 신뢰성이 확보되어 있음을 확인 할 수 있었다. C.R(Consistency Ratio)값은 C.I(Consistency Index)값을 이용하여 계산할 수 있으며 식 1을 이용하여 계산하였다.

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, C.R = \frac{C.I}{R.C.I} \quad (1)$$

여기서, N이 9이므로 Table 3과 같이 R.C.I (Random Consistency Index)값이 1.45가 됨을 알 수 있다. C.I 값이 0.023이므로 C.R값이 0.016으로 0.1보다 작은 값을 구할 수 있었으며 이는 일관성을 가지고 비교를 했다는 의미를 가진다.

Table 3. R.C.I

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RCI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

### 3.3 경사방향 및 경사도 분석

산사태가 산안에서 발생하여 구조물에 어떠한 영향도 미치지 않는다면 문제가 되지 않는다. 하지만 산사태가 발생하여 인근 구조물이나 민가 등에 피해를 준다면 문제가 발생한다. 이에 본 연구에서는 사면의 방향과 인근 구조물까지의 방향을 3가지로 구분하여 분석하였다. 방향의 구분 기준은 0~45°, 45~90°, 90°이상, 세 가지로 구분하였는데 이는 사면방향을 기준으로 경사방향과 순방향일 경우(0~45°) 산사태 발생에 있

어 더 큰 영향을 주기 때문이고, 반하는 방향(90° 이상)일 경우 산사태가 발생해 산에서 내려오는 구조물들이 쌓여서 발생을 저지할 수 있기 때문에 낮은 가중치를 부여하였다. 앞서 실시한 AHP 분석을 기반으로 경사방향의 가중치를 설정하였다(Table 4).

Table 4. Slope Direction Analysis of the Weights

	Slope direction	angle(°)
Same direction	incline direction = building direction	below (±) 45°
Similar direction	incline direction ≈ building direction	(±) 45~90°
The rest	incline direction ≠ building direction	over (±) 90°

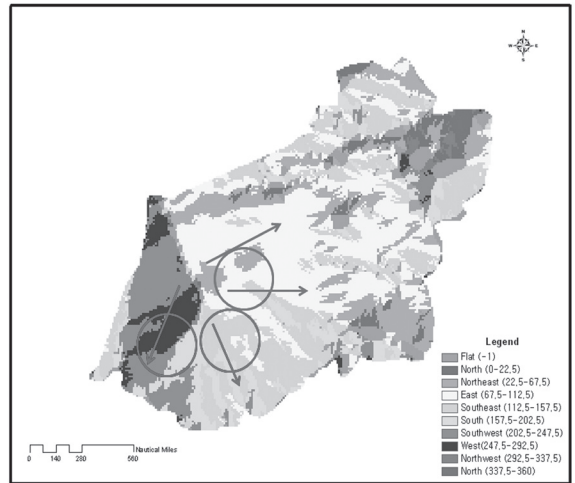


Fig. 2. Slope Direction Analysis

Fig. 2는 연구지역의 경사방향 분석 결과이다. 연구지역의 수치지도를 이용하여 경사면의 주방향을 분석하여 구조물까지의 경사 방향과의 일치정도를 확인하였다. 향분석은 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서, 북 등 총 8개의 방향으로 실시하였다. Fig. 2에서 화살표방향은 각 사면에서부터 구조물까지의 방향으로 대부분의 지역은 경사면의 방향과 일치하는 것을 알 수 있었다. 하지만, 동그라미가 그려진 곳을 살펴보면 화살표방향과 경사면의 방향이 반하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이 부분은 앞서 설명한 기준인 유사방향 및 그 외의 방향으로 산사태 안전도가 기존의 방향에 비해 높아질 수 있다고 판단된다.

Fig. 3은 연구지역을 대상으로 경사도분석을 실시한 결과이다. 경사방향 분석과 마찬가지로 수치지도를 이용하였으며, 최종분석에서는 9개의 클래스로 분류하였다.

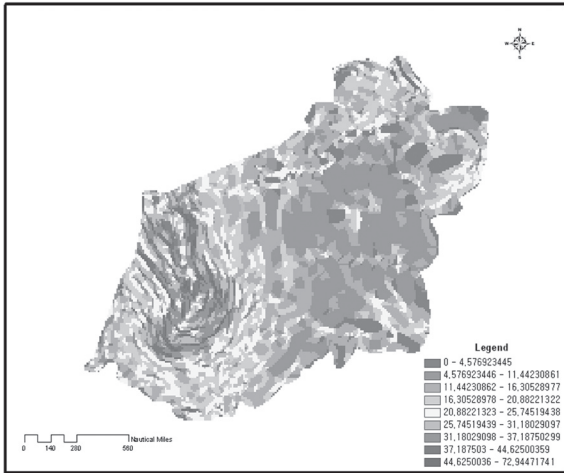


Fig. 3. Gradient Analysis

### 3.4 분석 결과

앞서 실시한 AHP 분석과 경사방향 분류를 이용하여 경사방향과 경사도에 대한 가중치를 재설정하였다. 경사도의 경우 3개 항목에서 5개 항목으로 증가하였고, 경사방향에 대한 3가지 항목을 만들어 분석하였다. Table 5는 경사도와 경사방향의 현재 기준과 본 연구에서 제안하는 분류 기준을 상호 비교한 결과이다.

Table 5. Weight Comparison

	Slope direction (weight)	Gradient (weight)
Current criterion	None	0~25(16) 26~40(9) 41 이상(0)
New criterion	Equal direction(10)	0~15(0)
	similar	16~19(4)
	direction(5)	20~23(8)
	The rest(0)	24~27(12)
Classification standard	AHP result	

Table 5의 경사도 가중치 부분을 보면 한 가지 차이점을 확인할 수 있다. 현재의 분류 기준에서는 경사도와 가중치가 반

비례 하지만, 본 연구에서 제시하는 기준에서는 경사도와 가중치가 비례하고 있다. 현재의 분류기준이 이론적 근거를 바탕으로 가중치를 부여하는 반면 새롭게 제시하는 기준은 사람들의 의견에 따라 분석된 결과로 경사도가 높을수록 위험하다는 일반적 상식에서 나온 결과로 생각된다. 우리나라의 경우 강우에 의한 자연재해가 많은데, 습윤 상태의 땅 밀림형 산사태는 경사도 25~35도의 집수면에서 많이 발생한다는 점을 고려할 때, 기존의 경사도에 대한 경사도 가중치 산정 방법에 대한 재설정이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서 제시하는 가중치를 적용하여 앞서 분석한 경사방향과 경사도를 재분류하였다(Fig. 4, Fig. 5).

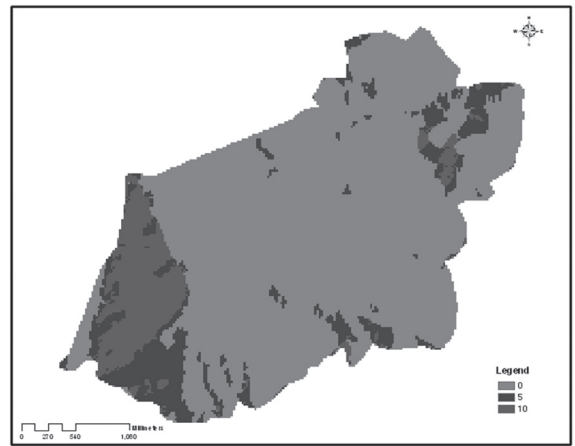


Fig. 4. Slope Direction Reclassification

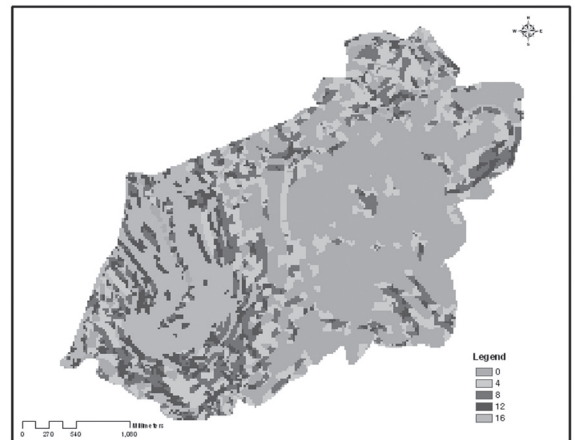


Fig. 5. Gradient Reclassification

Fig. 6은 재분류한 경사도와 경사방향을 중첩하여 얻은 결과이다.

### 4. 비교 고찰

Fig. 6은 재분류한 경사도와 경사방향을 중첩하여 얻은 결과이고, Fig. 7은 현재 산사태 위험지 관리 시스템을 기준으로 작성한 본 연구지역의 산사태 위험등급도이다.

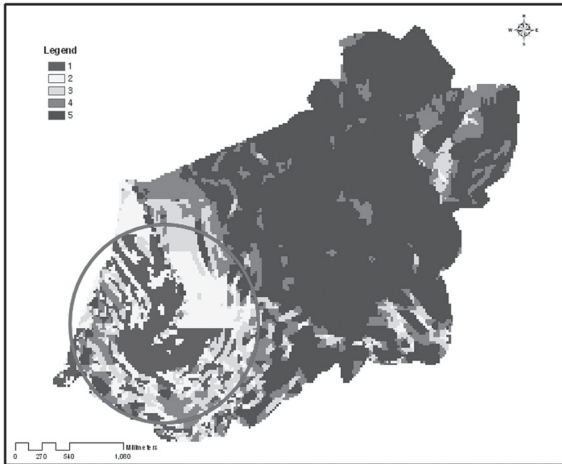


Fig. 6. New Landslide Hazard Map

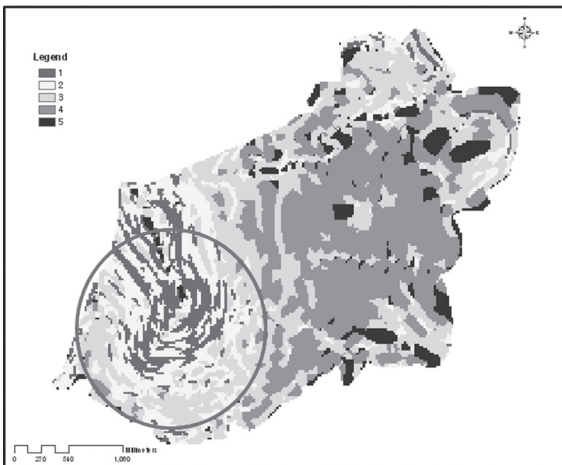


Fig. 7. Existing Landslide Hazard Map

Fig. 6과 Fig. 7을 비교해보면 기존에는 산사태 위험등급이 4등급이었던 대부분의 지역이 5등급으로 하향조정 된 것을 육안으로 식별할 수 있다. 또한 동그라미가 그려진 계곡부분을 살펴보면 산사태의 위험 1등급지가 기존에 비해 서쪽으로 치우쳐진 것을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 4와 같이 경사방향 분석에 있어 다른 곳에 비해 건물 방향으로 사면이 형성 되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

Table 6. Pixel Comparison

	Existing	New
Class 1	1887	2002
Class 2	4322	2217
Class 3	7848	2379
Class 4	7808	3321
Class 5	1545	13491

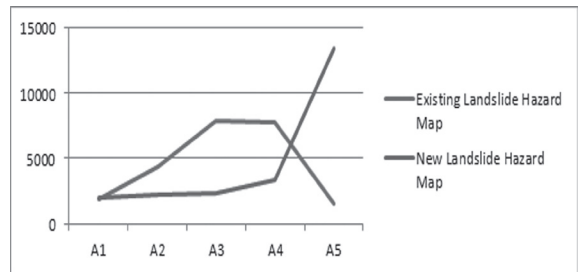


Fig. 8. Class Variation

각 등급의 픽셀값의 경우 Table. 6과 fig. 8에서 확인할 수 있듯이 1급지의 수치적인 변화는 가장 작은 약 6.1% 정도의 상승을 보였으며, 2급지와 3급지, 4급지의 경우 각각 약 48.7%, 69.7%, 57.5%가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 이와 반대로 5급지의 경우 기존에 비해 약 9배 정도의 증가를 보여 전체적으로 산사태 위험등급은 연구지역에서 하향조정된 것을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구는 기존의 산사태 정보시스템의 개선과 효율적인 결과를 얻기 위해 경사도와 경사 방향 두 가지 항목에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 현 실정에 맞는 산사태 안전 분류도와 지역별 특성에 맞는 차별화된 안전 분류도의 기준이 필요하다고 생각된다.

둘째, 사면 경사 방향을 고려한 산사태 위험지역 분석 결과 기존의 산사태 위험 등급도에 비해 1급지는 약 6.1%가 증가하였으며, 2급지 약 48.7%, 3급지 약 69.7%, 4급지 약 57.5%가 감소하였다. 특히, 5급지의 경우 기존에 비해 약 9배가 증가하여 기존의 산사태 위험 등급도에 비해 전체적으로 위험등급이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 사면 경사 비율을 고려한 산사태 관리 시스템의 개선이 필요하다고 생각된다. 현재의 산사태 안전도 분석은 래스터 데이터로 관리되고 있다. 이는 정밀한 데이터 분석에 있어

한계가 크므로 보다 정확한 분석을 위해 경사 비율 및 경사도 분류의 세분화가 필요하다고 생각된다.

넷째, 산사태 정보시스템의 효율적인 관리를 위해서는 분류 기준에 따른 정확한 가중치 부여가 필요하다. 본 연구에서는 가중치 분석을 위해 AHP기법을 사용하였으며, 그 결과 다른 기법들에 비해 빠르고 정확하게 가중치를 선정할 수 있었다.

본 연구에서는 지형요소를 대상으로 분류 기준의 세분화를 실시하여 산사태 관리도의 효율을 증대시키고자 수행하였다. 하지만, 산사태 취약지 분류는 암석과 토심, 임상 등 다양한 요소에 가중치를 부여하고 관리할 필요가 있다. 또한, 지형적 요인 뿐 아니라 기후적 요인, 인위적 요인 등이 다양하게 작용하여 발생하기 때문에 향후 연구에서는 지형요소 이외의 발생인자를 세분화하여 보다 정확한 산사태 취약지 분류가 진행되어야 한다고 생각한다.

## 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

## References

- Jung, K.W. (2010), Studies on the causal characteristics of landslide and the development of hazard prediction map for landslide in Gyeongsangbuk-Do Province, Korea, Ph.D. dissertation, Kyungpook National University, pp. 1-133 (in Korean).
- Kim, C.S. and Kim, S.W. and Kim, I.S. and Kim, K.S. Lee, S.W. (2004), A Study on A Reactivated Landslide Occurred in Gonmyeong-myeon, Sacheon city, Gyeongsangnam-do, *The Korean Society of Economic and Environmental Geology*, Vol. 40, No. 1, pp. 65-75 (in Korean).
- Kim, G.H. and Lee, H.G. (2012), GIS Based Analysis of Landslide Factor Effect in Inje Area Using the Theory of Quantification II, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 20, No. 3, pp. 57-66 (in Korean).
- Lee, Y.J. and Park, G.A. and Kim, S. J. (2006), Analysis of Landslide Hazard Area using RS/GIS, ISRS 2006, The Korean Society of Remote sensing, 2006.3.31., Daejeon(KOR), pp. 202-205 (in Korean).
- Lee, H.Y. and Sim, J.H.(2011), Geographic Information Systems, Bobmunsa, pp. 340-345.
- P.Kayastha.,M.R.Dhital and F. De Smedt, (2013), Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal, *Computers & Geosciences*, Vol. 52, March 2013, pp. 398-408.
- Pourghasemi, H. R. and Moradi. H. R. and Faremi Aghda S. M.(2013), Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances Natural Hazards, 2013, pp. 1-31.
- Park, J.K. and Ynag, I.T. and Kim, T.H. and Park, H.G. (2008), Extraction of Landslide Risk Area using GIS, *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 26, No. 1, pp. 27-39 (in Korean).
- Yang, I. T. and Chun, K.S. and Park, J.H. (2006), The Effect of Landslide Factor and Determination of Landslide Vulnerable Area Using GIS and AHP, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 14, No. 1, pp. 5-11 (in Korean).

(Received 2013. 08. 02, Revised 2013. 08. 12, Accepted 2013. 12. 30)