

## 탐방로 재해지도 제작을 위한 GIS 기법의 활용\*

### Utilization of GIS for Generating the trail course Hazard Map

Won June Tak\*\*, Kye Won Jun\*\*\*

Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Joogang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do, Korea

#### Abstract

Due to recent unusual climate change, heavy rainfall happen frequently in Korea. Local heavy rainfall increase the damage caused by the mountainous disasters. Especially, because the most area of Gangwon province is composed of the steep slope mountains, the damages by the debris flow or landsliding are more frequent and frequency has been in increased. In this study, we applied GIS method and the infinite slope stability model(SINMAP) to analyze the hazard class of the trail course at Seoraksan national park. Evaluate the results of 12 trails, the risk is very high hazard class is four trail course(No.4, No.6, No.8 and No.12).

**Key words:** local heavy rainfall, mountainous disaster, trail course, SINMAP

#### 국문초록

최근 이상기후에 따른 영향으로 우리나라에서 집중호우 발생 빈도가 증가하고 있다. 또한 국지적인 집중호우의 증가는 산지재해 발생위험을 증가시키고 있다. 특히 강원도지역의 경우 대부분이 급경사의 산악지로 구성되어 있어 산사태나 토석류의 피해가 커지고 횡수 또한 증가하고 있다. 본 연구에서는 설악산 국립공원 탐방로의 위험 등급을 분석하기 위해 GIS 기법과 무한사면안정모형(SINMAP)을 적용하였다. 그 결과 12개의 탐방로 중 가장 위험한 구간은 4개 구간으로 분석되었다.

**주제어:** 국지성 호우, 산지재해, 탐방로, SINMAP

---

\* 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국과학창의재단(대학생 창의융합형 연구과제 지원사업)의 지원을 받아 수행된 연구임.

\*\* Tel. +82-33-570-6447. Fax. +82-33-570-6501. E-mail. wjtak@kangwon.ac.kr

\*\*\* Corresponding author. Tel. +82-33-570-6816. E-mail. kwun@kangwon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Mar. 5, 2014 / Revised: Apr. 15, 2014 / Accepted: Apr. 20, 2014

## I. 서론

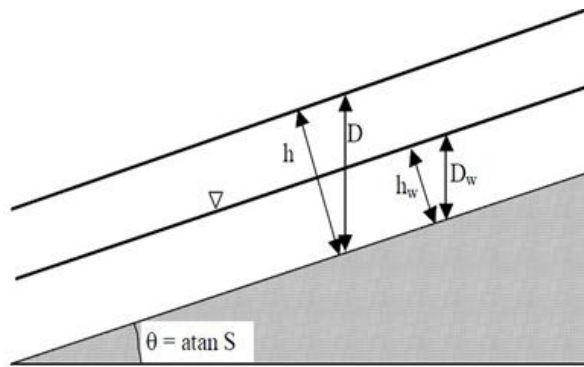
최근 태풍, 국지성 호우로 인한 피해가 증가하면서 산사태의 피해도 크게 증가하며 이에 따른 인명 피해 및 재산피해가 늘어나고 있다. 우리나라는 국토의 대부분이 산악지형으로 이루어져 있고 경사가 심하며, 도시화로 인한 산지인근의 개발로 인해 2012년 기준으로 지난 10년간 산사태로 인해 사망자 수 78명과 산사태 복구비로 9,000억원이라는 비용이 발생하였다(소방방재청, 2012). 산지사면의 붕괴는 주로 과도한 강우에 의한 물과 중력의 복합적인 상호작용에 의해 발생한다고 알려져 있지만 최근에는 산지가 전체면적의 64%를 차지하는 제한된 국토면적에 주택 및 산업단지가 급속히 확대되어 가는 도시화 및 산업화 현상으로 경사가 급한 도심 주변의 산림지역도 개발됨으로써 그에 따른 산사태 발생과 토사유출에 대한 위험성도 점차 증대되고 있다(마호섭, 2008). 국내에서 SINMAP 모형을 이용한 연구는 여러 학자에 의해 시도되었다. 오채연 등은 인제군 가리산 일대 지역을 대상으로 GIS를 이용한 통계적 기법과 결정론적 기법인 SINMAP 모형을 적용하여 위험성 분석을 수행 하였고, 김기창은 개방 탐방로를 중심으로 각 구간별 인명피해 발생 우려 요인에 대한 분석을 통하여 탐방객 안전관리 방안을 모색하고, 탐방로 구간별 위험성 평가를 실시하였다. 유병옥은 영동고속도로에서의 토석류 분석을 통하여 취약성이 높은 지역에서 토석류 발생량이 크다고 하였으며 오경두 등은 용인시 달봉산의 산사태 지역에 적용한 결과 흙의 내부마찰각  $38^{\circ} \sim 43^{\circ}$ 에서 신뢰성 높은 결과가 나타났다고 하였다. 본 연구에서는 SINMAP 모형을 이용하여 대상지역의 사면안정성 해석을 실시하고 탐방로를 중첩하여 분석 후 설악산 국립공원 12개 개방탐방로에 대한 산지재해 위험성을 분석하였으며, GIS의 Buffer Zone 기능을 사용하여 2009~2012년의 산사태 재해이력을 좌표화하고 탐방로 부분에 대한 재해이력과의 연관성을 알아보았다.

## II. SINMAP(Stability Index Mapping)모형의 이론

본 연구에 사용된 모형은 SINMAP(Stability Index Mapping)모형으로서 사면안정성 해석을 할 수 있는 모형이다. 결정론적 방법의 하나인 SINMAP 모형은 Pack 등이 제안한 모델로서 수리적 모델을 무한 사면안정 모델과 결합하여 영역의 안정성을 평가하고 정상상태의 습윤지수를 바탕으로 한 모델이다. <표 1>의 안정지수(Stability Index: SI)로서 도출되며 이 값들은 해석 영역 내 각 지점에서의 안정성을 표현해 준다. 안정지수는 수치적으로 정확하게 해석된 절대값이라기 보다는 상대적인 위험성을 표현하는 지표이다. <그림 1>에 나타난 변수를 이용한 모델의 안전율(Factor of Safety)은 식 (1)과 같이 정의된다(전계원, 2008).

<표 1> Stability Index(SI)

Condition	Class	Predicted state	Parameter range	Possible influence of factors not modeled
SI>1.5	1	Stable slope zone	Range cannot model instability	Significant destabilizing factors are required for instability
1.5>SI>1.25	2	Moderately stable zone	Range cannot model instability	Moderate destabilizing factors are required for instability
1.25>SI>1.0	3	Quasi-stable slope zone	Range cannot model instability	Minor destabilizing factors could lead to instability
1.0>SI>0.0	4	Lower threshold slope	pessimistic half of range required for instability	Destabilizing factors are not required for instability
0.5>SI>0.0	5	Upper threshold slope	Optimistic half of range required for stability	Stabilizing factors may be responsible for stability
0.0>SI	6	Defended slope zone	Range cannot model instability	Stabilizing factors are required for stability



<그림 1> SINMAP Modeling 이론

$$FS = \frac{C_r + C_s + \cos^2\theta[\rho_s g(D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g)D_w] \tan \phi}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad (1)$$

여기서  $C_r$ 는 뿌리의 점착력,  $C_s$ 는 흙의 점착력,  $D$ 는 토양의 깊이,  $D_w$ 는 토양층 내 지하수면의 수직 깊이,  $\rho_s$ 는 토양의 밀도,  $\rho_w$ 는 물의 밀도,  $\theta$ 는 사면의 경사,  $g$ 는 중력가속도,  $\phi$ 는 토양의 내부 마찰각을 나타낸다.

식 (1)에서 토양의 깊이  $D$ 를 토양두께  $h$ 로 변환하여 변형시키면 식 (2)와 같다.

$$FS = \frac{C + \cos \theta [1 - wr] \tan \phi}{\sin \theta} \quad (2)$$

### III. 모형의 적용 및 분석

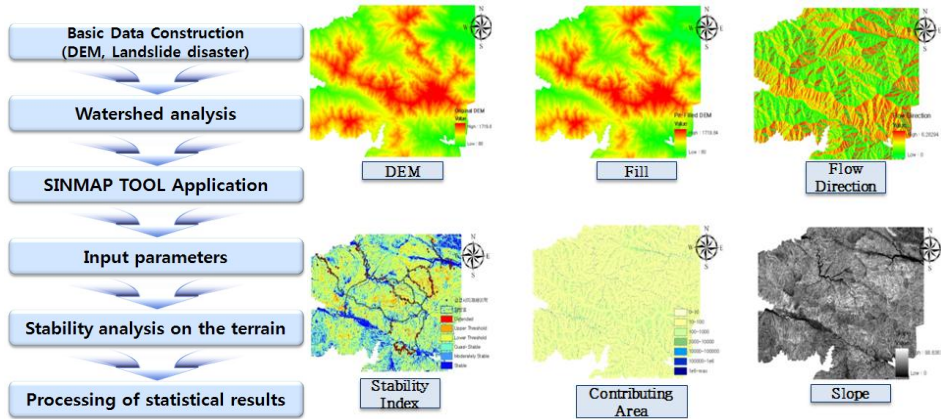
#### 1. 대상유역

본 연구의 대상지역은 설악산국립공원(이하 설악산)으로 우리나라를 비롯해 전 세계적으로도 잘 알려져 있는 곳으로서 산악형 공원의 특징이 가장 잘 나타나 있는 대표적인 국립공원으로 전체면적은 약 389km<sup>2</sup>으로 경위도 좌표상 동경 128° 15' ~ 128° 35', 북위 38° 00' ~ 38° 16' 에 위치하며, 행정구역상 강원도 양양군, 인제군, 고성군, 속초시에 걸쳐져 있다. 지형적으로는 크게 최고봉인 대청봉(1,708m)을 중심으로 북북서쪽의 마등령(1,362m)·미시령(826m)으로 이어지는 설악산맥, 서쪽의 귀뚜기청(1,578m)·대승령(1,210m)으로 이어지는 서북주능, 북북동쪽의 화채봉(1,328m) 칠성봉(1,094m)으로 이어지는 화채능선 등 3개의 주능선으로 지형을 구분한다. 남북방향을 갖는 설악주능과 이에 거의 직교하는 북서서 방향의 능선이 교차된 형상으로 크게 능선을 경계로 서쪽은 내설악, 동쪽은 외설악, 남쪽은 남설악으로 불리고 설악산 정상인 대청봉(1,708m)을 중심으로 고지대를 오르는 4개 코스의 개방탐방로가 조성되어 있다(국토지리정보원, 2007).

#### 2. SINMAP(Stability Index Mapping) 모형의 구축

##### 1) 모형의 구성

본 연구의 모형 적용순서는 <그림 2>(좌측)의 같이 진행 되었으며 <그림 2>(우측)SINMAP 모형의 순서를 나타내고 있다. 설악산 국립공원 지역의 DEM자료구축과 2009년~2012년의 산지재해이력 데이터를 좌표화하여 GIS로 연동하였고, SINMAP 적용방법에 따라 DEM자료를 SINMAP모형에 적용 시켰었다. <표 2>의 매개변수는 대상지역의 면적이 약 389km<sup>2</sup>로 광범위하고 각 구간별로 시료를 채취하여 분석하기 어려워 본 연구에서는 SINMAP에서 다양한 지역에 적용하여 제시하고 있는 기본값을 사용하였다. 모형을 적용 후 도출된 결과값에 설악산 국립공원지역의 12개의 탐방로를 중첩시켜 유역을 나눈 후 각각의 탐방로의 위험성을 도출하였다.



<그림 2> 연구 흐름도 및 모형 진행순서

<표 2> SINMAP Model의 매개변수

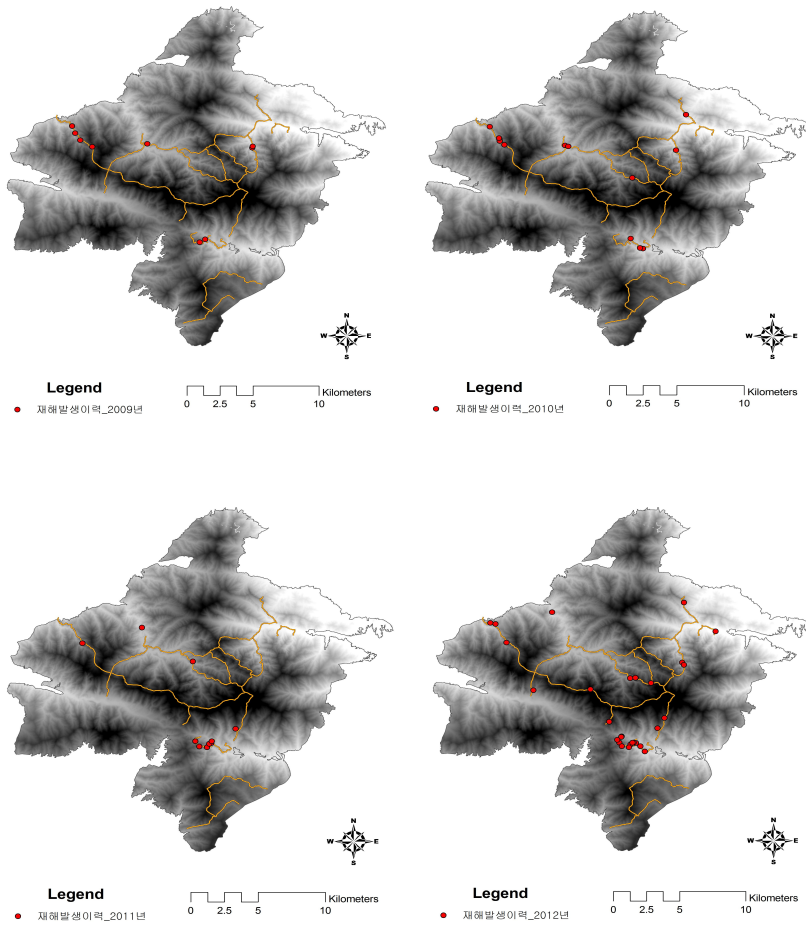
	Default		Unit
Gravity Constant	9.81		m/s <sup>2</sup>
Water Density	1,000		kg/m <sup>3</sup>
Ratio of Transmissivity	lower bound	2,000	m
	upper bound	3,000	
Soil Cohesion	lower bound	0.0	t/m <sup>2</sup>
	upper bound	0.25	
Soil Friction Angle	lower bound	30	
	upper bound	45	
Soil Density	2,000		kg/m <sup>3</sup>

※ 자료: Pack, et. al.(1998).

### 3. GIS Buffer Zone 구축

#### 1) 구축방법

GIS Buffer Zone을 이용하여 연도별 탐방로 재해이력과 탐방로의 연관성을 알아보기 위해 탐방로 별로 50m의 Buffer Zone을 사용하였다. 설악산 국립공원의 2009년부터 2012년 재해이력 분포현황은 <그림 3>와 같으며 재해이력은 대부분 탐방로 부근 산지에서 발생하는 것을 알 수 있다. 구축된 자료는 SINMAP 분석 결과와 비교하여 탐방로별 위험성을 분석하는데 사용하였다.



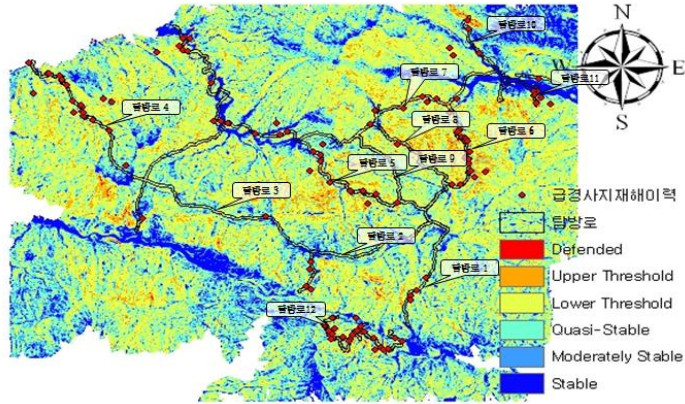
<그림 3> 연도별 재해이력

#### 4. 분석결과

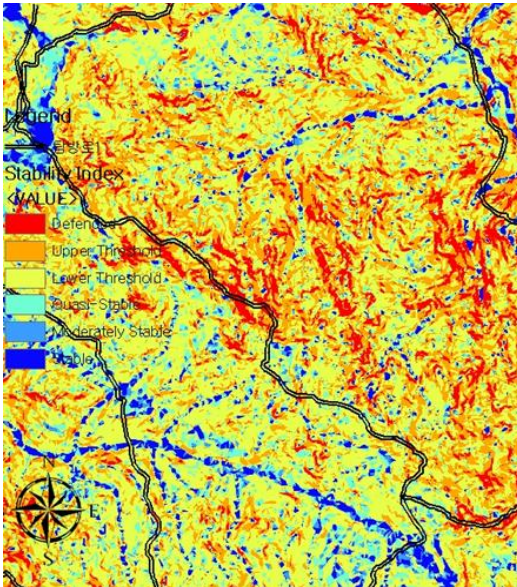
##### 1) SINMAP(Stability Index Mapping) 분석결과

사면안정성 평가를 위하여 생성된 설악산 지역의 DEM 자료를 기초로 SINMAP 분석을 통해 계산되어진 결과 값에 탐방로를 중첩시켜 각각 12개의 탐방로의 사면안정성 위험성을 분석하였고 <그림 4>에서 붉은색 포인트는 재해이력을 나타내고 있다. 안정성 등급은 총 6단계로 나누었으며 재해이력이 집중되어 있는 곳은 6단계의 등급 중 위험한 구간쪽에 분포하는 것으로 분석되었다. <그림 4>는 12개 탐방로를 포함하는 지역에 SINMAP을 적용한 결과를 나타내고 있다. <그림 5>와 <그림 6>은 위험구간현황이 가장 높은 두 구간(No. 8, No. 12)을 확대한 그림으로 6등급의 위험표시 중 Defended,

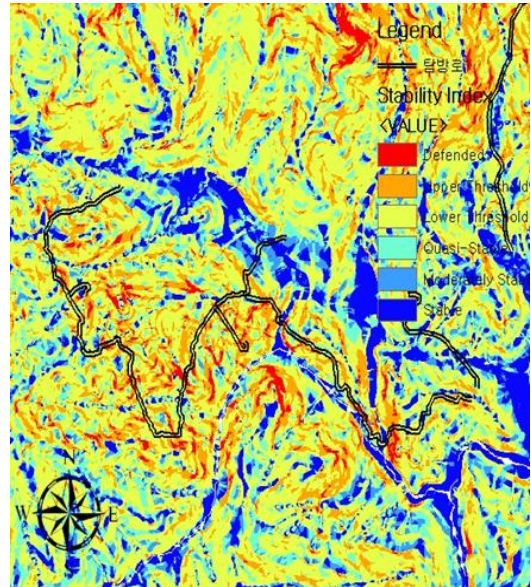
Upper Threshold의 분포가 높게 나타난 것을 알 수 있다. 12개 탐방로의 위험구간 현황을 정량적으로 비교한 그림은 <그림 7>에 나타내었으며 No. 8(공룡능선), No. 12(주전골~흘림골), No. 4(남교리~장수대), No. 6(소공원~대청) 순으로 위험구간이 높은 것으로 분석되었다.



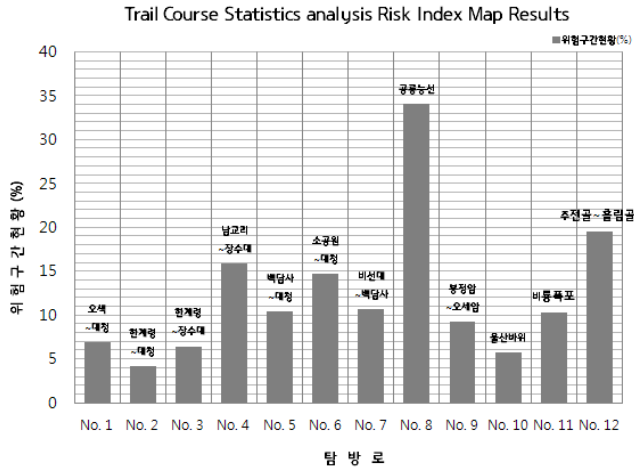
<그림 4> Stability Index Map



<그림 5> 탐방로 No.8



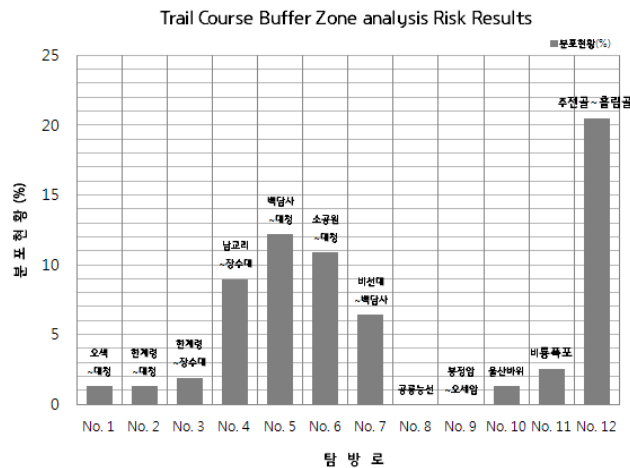
<그림 6> 탐방로 No.12



<그림 7> SINMAP Model을 이용한 탐방로 위험구간현황 분석

## 2) Buffer Zone 결과

탐방로와 산지재해이력간의 연관성을 분석하기 위해 Buffer Zone기능을 이용하였다. 현장조사와 GIS 분석을 통해 탐방로와의 위험 거리를 판단한 결과 Buffer Zone의 거리는 50m로 산정하였으며 탐방로 12개 구간에 각각 적용하였다. 분석 결과는 <그림 8>과 같이 나타났다. No. 8(공룡능선)을 제외한 위험구간 분포현황은 SINMAP결과와 유사한 경향을 나타내었다. No. 8(공룡능선)의 Buffer Zone 분석결과가 SINMAP 분석결과와 상의한 값을 나타낸 이유는 재해이력 조사시 기초수집데이터의 GPS 좌표가 탐방로의 위치와 상의하게 조사되어 입력 오류로 분류된 결과로 판단된다.



<그림 8> 버퍼존을 이용한 탐방로 위험성 분포현황 분석

## IV. 결론

본 연구에서는 설악산 국립공원 지역의 탐방로를 중심으로 탐방로 재해지도 작성을 위한 위험성 분석을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

탐방로 위험지역 분포 현황을 SINMAP 모형을 적용해 안정지수(SI) 분류등급에 따라 분류하였다. 그 결과 안전하다고 판명된 지역(SI>1.5)이 전체대상지역 중 11%를 차지하였으며, 산사태 발생이 의심되는 지역은 SI지수가 0에서 1.0인 지역으로 약 66%(약 120km<sup>2</sup>)의 면적을 차지하는 것으로 분석되었다. 탐방로의 위험성이 높은 5~6등급으로 분류된 곳은 No. 8(공룡능선), No. 12(주전골~홀림골), (No. 4 남교리~장수대), No. 6(소공원~대청) 순으로 분석되었다.

GIS Buffer Zone을 50m로 적용한 결과 탐방로의 위험성이 높게 나타난 곳은 No. 12(주전골~홀림골) No. 5(백담사~대청), No. 6(소공원~대청), No. 4(남교리~장수대) 순으로 나타났으며 공룡능선을 제외하고는 SINMAP 분석결과와 매우 유사한 경향을 나타냈다.

향후 설악산 국립공원 탐방로의 추가적인 현장조사를 통해 SINMAP 매개변수의 정확성을 제시하고 산림청에서 제시하는 산사태 위험등급 표에 따른 분석 방법과 중첩을 통해 정도 높은 탐방로 재해 지도를 제작할 계획이다.

## 참고문헌

- 산림청. 2013. 국내산사태 통계 연도별 피해물량. 대전: 산림청.
- 국토지리정보원. 2007. 한국의 산지(山誌). 경기: 국토지리정보원.
- 김기창. 2013. 국립공원 탐방로 위험성 평가를 통한 탐방객 안전관리 방안: 설악산국립공원 개방탐방로 구간을 중심으로. 강원대학교 석사학위논문.
- 김경태, 정성관, 유주환, 장갑수. 2008. 산사태 취약성 분석을 통한 북한산국립공원의 생태적 위험도 평가. 한국환경생태학회지. 22(2): 119-127.
- 김영. 2013. SINMAP 모델을 이용한 장성군의 산사태 취약성 분석. 전남대학교 석사학위논문.
- 권기범, 이희철, 전진수. 2010. GIS기반의 SINMAP을 통한 이천지역의 산사태 위험도 분석. KGS Fall National Conference.
- 마호섭. 2008. 국립공원의 산사태 발생 위험지역 예측기법의 개발. 한국임학회지. 97(3): 326-331.
- 국립공원관리공단. 설악산 국립공원 탐방객 통계. 2012. 서울: 국립공원관리공단.
- 소방방재청. 2012. 재해연보. 서울: 소방방재청.
- 오경두, 홍일표, 전병호, 안원식, 이미영. 2006. GIS 기반 산사태 예측모형의 적용성 평가. 대한수자원학회. 39(1): 23-33.

- 이환길, 박초롱, 최미경, 김기홍. 2011. 산사태 예측기법에 대한 비교. 한국지형공간정보학회 학술대회.
- 장현익, 김경석, 이상돈, 유병욱. 2008. 영동 고속도로 토석류의 SINMAP해석. 제34회 대한토목학회 정기 학술대회 CIVIL EXPO 2008.
- 전계원, 오채연. 2011. GIS를 이용한 토석류 발생유역 위험성분석에 관한 연구. 한국안전학회지. 26(2): 83-88.
- Pack, R. T., Craig N. Goodwin, and C. N. Goodwin. 1998. *SINMAP User's Manual*. FluVial System Consulting

---

**탁원준:** 강원대학교 방재전문대학원 방재관리전공 석사과정으로 재학중이다. 관심분야는 산지재해 방재, GIS, 수리·수문 모델링 이다(E-mail: wjtak@kangwon.ac.kr).

**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).