

설악산 국립공원 천불동 계곡 탐방로 위험성 분석*

Risk Analysis of Seoraksan National Park Cheonbuldong Valley Trail

Chae Yeon Oh**, Kye Won Jun***

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

Abstract

The introduction of the five-day workweek system and substitution holiday law increased people's leisure time as well as the number of visitors in mountain regions such as the National Park. For that, safety and the prevention of accidents have risen up as a crucial issue. In this study, the researchers investigated and analyzed hazard zones from the trail area in the basin that includes Cheonbuldong Valley in Seoraksan National Park—where several accidents occur every year due to landslides and rockslides—through disaster history and field study, and also carried out the GIS-based SINMAP analysis and Buffering analysis of the trail area to grasp the risks of the area. As a result, most of the Cheonbuldong Valley trail area appeared to be high risk, and there is an urgent need to immediately take safety measures for the visitors.

Key words: Seoraksan National Park, Cheonbuldong Valley, rockslides, trail

국문초록

주 5일제, 대체공휴일제등의 도입으로 국민의 여가활동 시간이 증가하고 이에 따라 국립공원등 산을 찾는 탐방객의 수가 점차적으로 증가 하고 있으며 탐방객의 수가 증가함에 따라 안전사고에 대한 예방 또한 중요한 문제로 대두 되고 있다. 이에 본 연구에서는 매년 반복적으로 산사태나 낙석으로 인해 많은 사고가 발생하고 있는 설악산 국립공원 천불동계곡이 포함된 지역의 탐방로를 대상으로 재해발생 이력과 현장조사 등을 통해 위험구간을

* 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (NRF-2014R1A1A3050495)과제의 성과입니다.

** Tel. +82-33-570-6447 E-mail. cyoh@kangwon.ac.kr

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

Submission & Publication Process

Received: May. 15, 2015 / Revised: June. 2, 2015 / Accepted: June. 11, 2015

조사 분석하고, 유역의 위험성을 파악하고자 GIS기반의 SINMAP분석과 탐방로구간 영향권 분석을 실시하였다. 그 결과 천불동계곡 탐방로 구간의 대부분이 위험성이 매우 높게 나타났으며 탐방객의 안전을 위한 대책마련이 시급한 실정이다.

주제어: 설악산 국립공원, 천불동계곡, 낙석, 탐방로

1. 서론

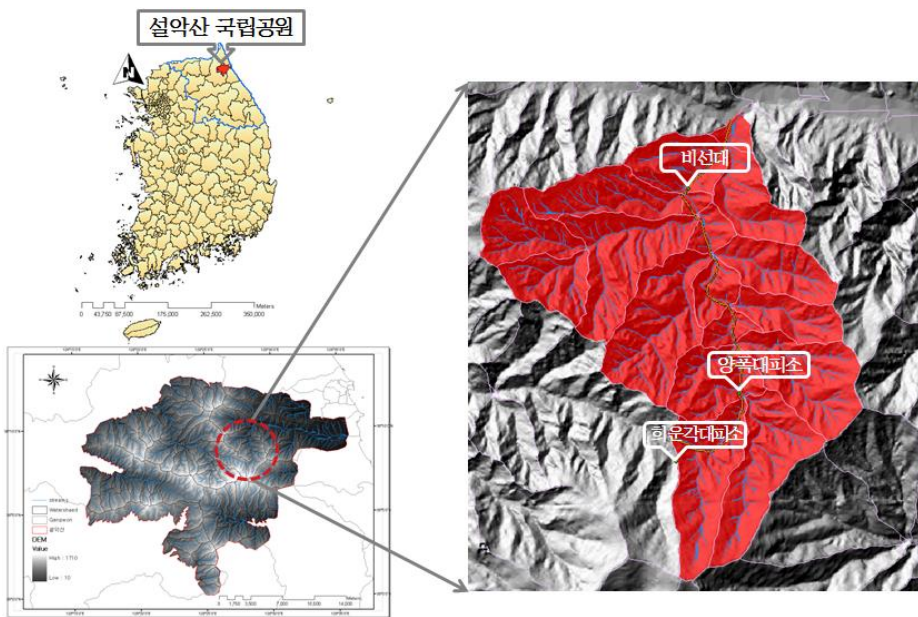
설악산 국립공원은 강원도 속초시·양양군·인제군·고성군에 걸쳐 있는 산으로 연평균 380만 명의 탐방객이 방문하는 우리나라를 대표하는 국립공원이다. 하지만 매년 발생하는 각종자연재해로 인한 피해가 계속적으로 발생하고 있으며 국립공원을 찾는 탐방객이 증가하는 만큼 안전사고 또한 빈번하게 발생하고 있다. 또한 탐방로 주변의 급경사지나 낙석 등의 재해위험요인에 의해 탐방로 위험성이 매우 높으며, 특히 설악산 국립공원의 탐방로 구간별 안전사고 분포현황을 확인한 결과 안전사고 발생이 가장 많은 탐방로 구간으로는 소공원~천불동계곡~중청 구간으로 나타났다. 천불동 계곡은 설악산에 있는 대표적 계곡의 하나이며, 비선대에서 대청봉으로 오르는 7km 코스의 중간계곡으로 설악의 산악미를 한곳에 집약하듯 와선대를 비롯하여 비선대, 문주담, 이호담, 귀면암, 오련폭포, 양폭, 천당폭포 등 한 경관들이 계곡을 따라 이어진다(두산백과). 이처럼 천불동 계곡은 경관도 뛰어나지만 급경사지가 많이 분포하고 있어 대형 낙석 발생위험이 높은 구간으로 2007년 2월 천불동계곡 병풍교에서 대규모 낙석이 발생되어 기 설치되어 있던 철재교량이 파손되어 탐방로가 전면 폐쇄되었으며 이후 교량설치 구간을 우회복구하여 사용중이며, 2014년 1월 30일에는 오련폭포 구간에서 1.5t규모의 암석이 떨어져 철제 탐방로 20여m가 부서지는 사고가 발생해 비선대~회운각대피소 구간 5.5km의 출입을 통제되었다.

해마다 반복적으로 발생하는 산지재해의 피해를 효과적으로 대처하기 위해서는 재해발생 가능성이 높은 지역에 대한 과학적 분석과 체계적 관리가 필요하다. 최근 산사태나 토석류와 같은 광범위하게 발생하는 재해를 분석하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있으며 GIS를 이용하여 사면의 안정성과 산사태 위험성을 평가하는 방법으로 Montgomery & Dietrich(1994)는 무한사면안정모델(Infinite Slope Stability Model)을 통해서 사면의 경사와 집수지역을 기반으로 하는 사면 안정등급을 정하였고, Pack 등(1995)는 수리적 모델을 무한사면안정모델과 결합하여 사면안정분석을 위한 SINMAP를 개발했으며, Sanjit K. Deb, *et. al.*(2009)은 SINMAP을 이용하여 극한강우사상에서 하와이 오후우지역의 산사태 취약성 평가를 수행하였다. 우충식 외(2008)는 산사태 발생지 예측을 위하여 Topographic Position Index(TPI)의 적용성을 연구하였으며, 그 결과 TPI가 산사태 예측의 새로운 인자로 제시하였으며, 전계원 외(2011)는 토석류의 위험성을 분석하기 위해 SINMAP 모델과 통계적 기법을 적용하여 산사태 및 토석류 발생가능지역을 예측하였다. 또한 산림과학원과 산림청은 산사태를 관리·예방하기 위해 ‘산사태위험지관리시스템’을 개발하여 운영하고 있으며, 오채연 외(2014)는 GIS를 이용하여 확률론적

기법인 Weight of Evidence 모델을 적용하여 산사태 및 토석류 발생과 상관성이 높은 공간자료를 분석하고 산지재해 예측도를 작성하였다. 이처럼 GIS를 이용한 산지재해 취약성 분석으로 확률론적 분석, 통계적 분석 및 인공신경망 분석 등 다양하게 적용되고 있다. 현재 국립공원을 대상으로한 제도개선이나 관리 정책적인 분야의 연구는 활발히 진행되고 있으나 탐방객의 안전과 기후변화 등을 고려한 자연재해의 위험성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 설악산 국립공원 탐방로의 위험성을 평가하기 위하여 재해이력과 급경사지, 낙석 등의 위험성이 높은 천불동계곡 유역의 탐방로를 중심으로 재해이력 및 현장조사를 실시하고 GIS를 이용하여 공간 데이터베이스를 구축하고 SINMAP 분석과 탐방로구간 영향권 분석을 통하여 천불동 계곡탐방로의 위험성을 평가하였다.

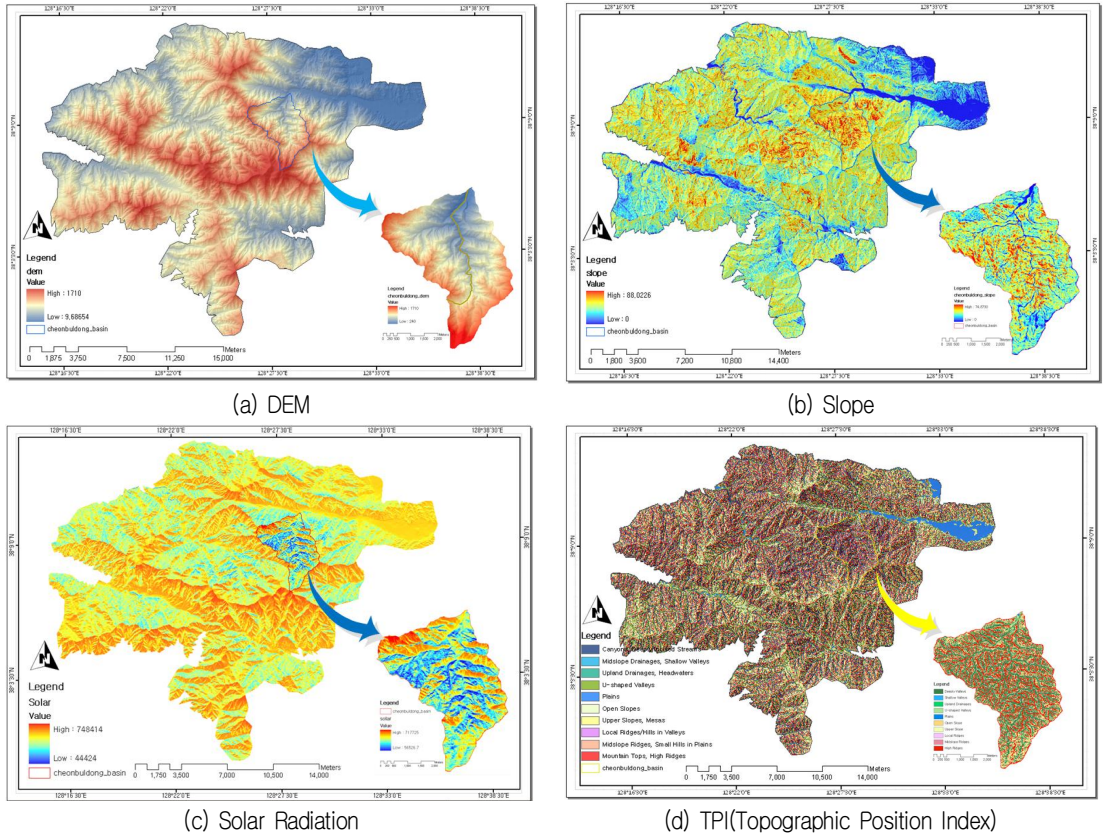
II. 연구지역 및 데이터베이스

설악산국립공원 전체면적은 약 398km²로 경위도 좌표상 동경 128°15′ ~ 128°35′, 북위 38°00′ ~ 38°16′에 위치하며, 행정구역상 강원도 양양군, 인제군, 고성군, 속초시에 걸쳐져 있다. 본 연구의 대상지역은 <그림 1>과 같이 설악산국립공원내 천불동계곡이다. 천불동계곡의 전체 유역면적은 약 14km²이고, 비선대에서 대청봉코스의 중간계곡에 속한다. 현재 국립공원의 탐방로 난이도는 거리, 경사도, 노면의 상태, 암반의 유무 등으로 산출되는데 천불동계곡의 경우 탐방로 구간별 난이도는 중간 등급이며 탐방거리는 약 5km이다.



<그림 1> 설악산국립공원 천불동계곡 및 탐방로

천불동계곡의 위험성 분석을 위해 GIS를 이용하여 데이터베이스를 구축하였다. 공간자료의 좌표계는 Bessel 1841타원체를 기준으로 TM 중부원점을 사용하였으며 지형인자는 1:5000 수치지도에서 등고 레이어를 추출하여 DEM(Digital Elevation Model)과 유역을 생성하였다.



<그림 2> 설악산국립공원 및 천불동계곡 지형분석자료 (a) DEM (b) Slope (c) Solar Radiation (d) TPI)

<그림 2> (a)는 설악산국립공원 전체 DEM과 천불동계곡의 DEM이며 설악산 전체지역과 천불동계곡의 고도를 비교한 결과 설악산 전체 유역의 평균고도는 754m였고 천불동계곡은 825m로 전체 평균고도보다 71m 높게 나타났다. <그림 2> (b)는 경사도 분석으로 경사는 산사태나 토석류가 발생할 경우 중요한 영향인자로 작용되며 실제 천불동계곡의 전체 경사는 13°~75°였으며, 표준편차는 10.84, 평균은 38.46으로 설악산 전체 평균인 29.6°보다 약 9°도 정도가 높게 나타났다. <그림 2> (c)는 설악산 전체 유역과 천불동계곡의 일조량분석결과이다. 천불동계곡은 설악산 다른 유역보다 일조량이 평균이 낮게 낮으며, 이는 해빙기 때 눈이 다른 곳보다 늦게 녹으며 암석의 함수율이 높아져 산사태나 낙석이 발생하기 쉬운 조건을 가지고 있었다. <그림 2> (d)는 지형에 대한 세밀한 지형분류가 가능한 GIS기법의 TPI(Topographic Position Index)방법은 경사도와 표고뿐만 아니라 주변지형에

대한 기복량까지 계산하여 다양한 지형을 쉽게 정량적으로 분류하는 기법이다. TPI의 알고리즘은 지형의 상대적 위치를 정량적으로 나타낸 값으로 중심 셀 표고값과 주변 셀의 평균표고 값 차이를 계산해서 지형을 분류화 시키는 것이 기본적인 원리로 능선과 같은 볼록한 지형은 중심 셀이 주변지역 평균표고 값보다 높기 때문에 양의 TPI 값으로 나타나고 계곡과 같은 경우는 반대이므로 음의 TPI 값으로 나타난다. 중심 셀의 크기(SN: Small Neighborhood)와 주변 평균 셀의 크기(LN: Large Neighborhood) 범위를 Scale Factor라 하고, SN의 Scale Factor는 국소지의 미세한 지형변화를 반영하고, LN의 Scale Factor는 국소지형에서 놓칠 수 있는 주변 보다 더 넓은 지형의 변화를 반영한다. 이렇게 다른 2개의 Scale Factor SN과 LN의 그리 셀 조합으로 Canyons/Deeply Incised Streams(깊은계곡), Midslope Drainages/Shallow Valleys(얕은계곡), Upland Drainages/Headwaters(산지내수로), U-shaped Valleys(평탄계곡), Plains(평탄지), Open Slopes(완경사지), Upper Slope/Mesas(급경사지), Local Ridges/Hills in Valleys(소구릉/곡저구릉), Midslope Ridges/Small Hills in Plains(준경사능선/평지내구릉), Mountain Tops/High Ridges(산정/산정능선) 10개의 카테고리로 지형을 분류하였다.

천불동 계곡의 지형 카테고리별 면적비별 TPI 분류결과 깊은계곡>산정능선>평탄곡지>산복사면>산록사면>산지유수로>완만능선>얕은계곡>소구릉>평탄지의 순으로 면적비 크기를 보였으며, 설악산 전체의 경우 약 49%가 깊은계곡과 산정능선으로 분석되었으며 천불동 계곡은 약 62%가 깊은계곡과 산정능선으로 분류되었다.

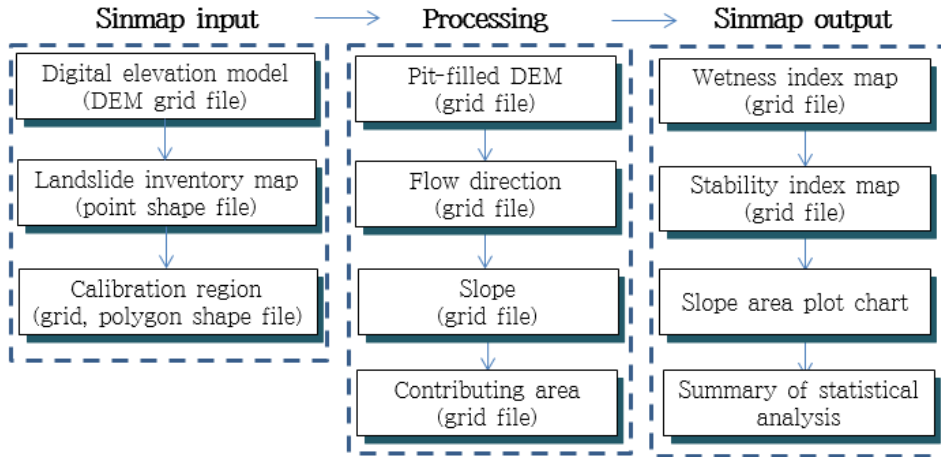
III. 탐방로 위험성 평가

1. SINMAP모델 분석

SINMAP(Stability Index MAPping)은 무한평면사면 안정모델을 통하여 사면의 경사와 집수지역을 기반을 두는 사면안정등급을 정의하고, 영역의 안정성을 평가하고 도시화하는 프로그램으로서 지표에서 발생하는 산사태나 토석류(Debris Flow)에 적용되며 심층부의 불안정성에는 적용되지 않으며, 모형의 가장 큰 특징을 집중호우에 따른 산지 사면에서의 지표면 유출을 고려하여 지하수 포화과정을 수문학적으로 모의한다는 점이며, 모의된 지하수 포화과정을 토대로 토양과 식생의 점착력, 토양의 내부마찰각, 흙의 무게, 투수계수와 지하수 충진을 등을 고려하여 무한사면안정해석에 의해 위험도를 분석한다.

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

SINMAP에서는 Grid 기반의 DEM을 사용하였으며, SINMAP의 경우 무한평면사면안정모델에서 토양과 식물뿌리에 의한 점착력을 고려하며, 점착력이 없는 경우를 원하는 경우 0으로 조정할 수 있다. 또한 SINMAP에서 고려되는 변수들은 정확한 값이 아닌 범위로써 입력되며, 상한선과 하한선 내에서 균등한 확률을 가지고 임의적으로 분포하는 것으로 가정한다. 무한평면사면안정해석(infinite plane slope stability analysis) 모델의 안전율(Factor of Safety: FS)는 식 (1)과 같이 쓸 수 있다. <그림 3>는 SINMAP 분석흐름도이다.



<그림 3> SINMAP 분석 흐름도

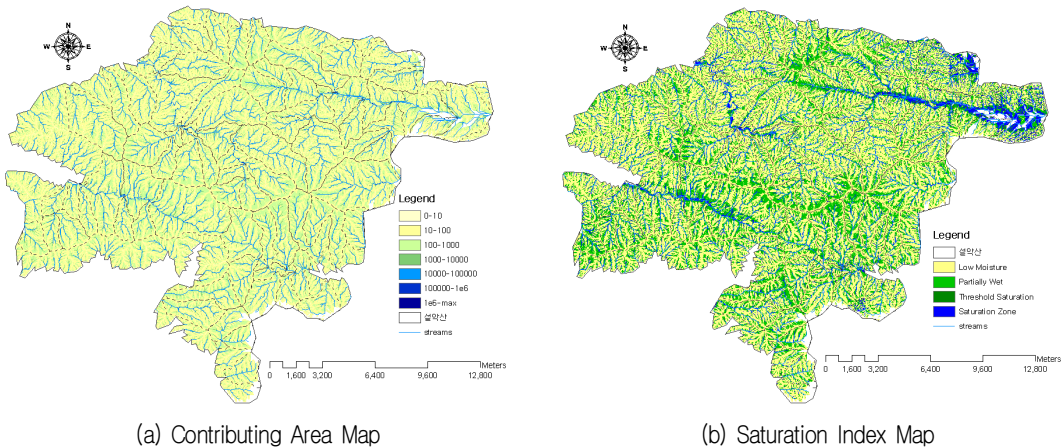
SINMAP의 사면안정등급은 <표 1>과 같이 안정지수(SI)로 도출되며, 이 값들은 해석 영역 내 각 지점에서의 안전성을 표현해 준다. 이러한 안정지수는 수치적으로 정확하게 해석된 절대값이라기 보다는 상대적인 위험성을 표현하는 지표이다.

<표 1> 사면안정지수 분류표(SI)

Condition	Class	Predicted state	Parameter Range
SI>1.5	1	Stable slope zone	Range cannot model instability
1.5>SI>1.25	2	Moderately stable slope zone	Range cannot model instability
1.25>SI>1.0	3	Quasi-stable slope zone	Range cannot model instability
1.0>SI>0.5	4	Lower threshold slope	Pessimistic half of range required for instability
0.5>SI>0.0	5	Upper threshold slope	Optimistic half of range required for stability
0.0>SI	6	Defended slope zone	Range cannot model instability

<그림 4> (a)는 사면경사를 이용하여 흐름방향을 결정하고 이를 통하여 누적한 흐름누적 값(Flow accumulation value)을 구하고 유출기여 면적(Contributing area)을 산정한 것으로 셀 단위 크기인

10m로 나누어 비 집수면적을 산출하였다. 이때 모든 흐름이 하부 지역의 임의의 한 지점으로 수렴한다는 가정을 기반으로 상부 사면으로부터 하부로 진행시 흐름의 지체, 저류 등은 고려하지 않는다(Ray & De Smedt, 2009). <그림 4> (b)는 연구지역의 습윤 지수를 나타내고 있으며 격자기반의 DEM으로부터 산출되는 흐름방향 및 유출기여면적 정보는 습윤지수 산정에 매우 유용하게 활용될 수 있다(Tarboton, 1997).



<그림 4> 설악산국립공원 집수면적(a) 및 습윤지수(b)

<그림 5>는 설악산 전체 SINMAP분석결과이다. SI지수가 1.5 이상일 때 안전한 지역으로 분류하고, 0~1.0구간은 토석류발생에 대한 위험지역으로 분류하였다. SINMAP 토석류에 대한 사면 안정성을 산출한 결과 $0.5 < SI < 1.0$, $0.0 < SI < 0.5$, $SI < 0.0$ 인 지역이 각각 175.48km^2 , 42.62km^2 , 5.02km^2 로 나타났다. 즉, 355.02km^2 산림면적의 62.84%에 해당하는 면적이 상대적으로 토석류나 산사태 위험지역으로 분석되었으며 안전하다고 판명된 지역($SI > 1.5$)이 전체 연구대상지역 중 약 14.85%를 차지하고 있었다(<표 2>).

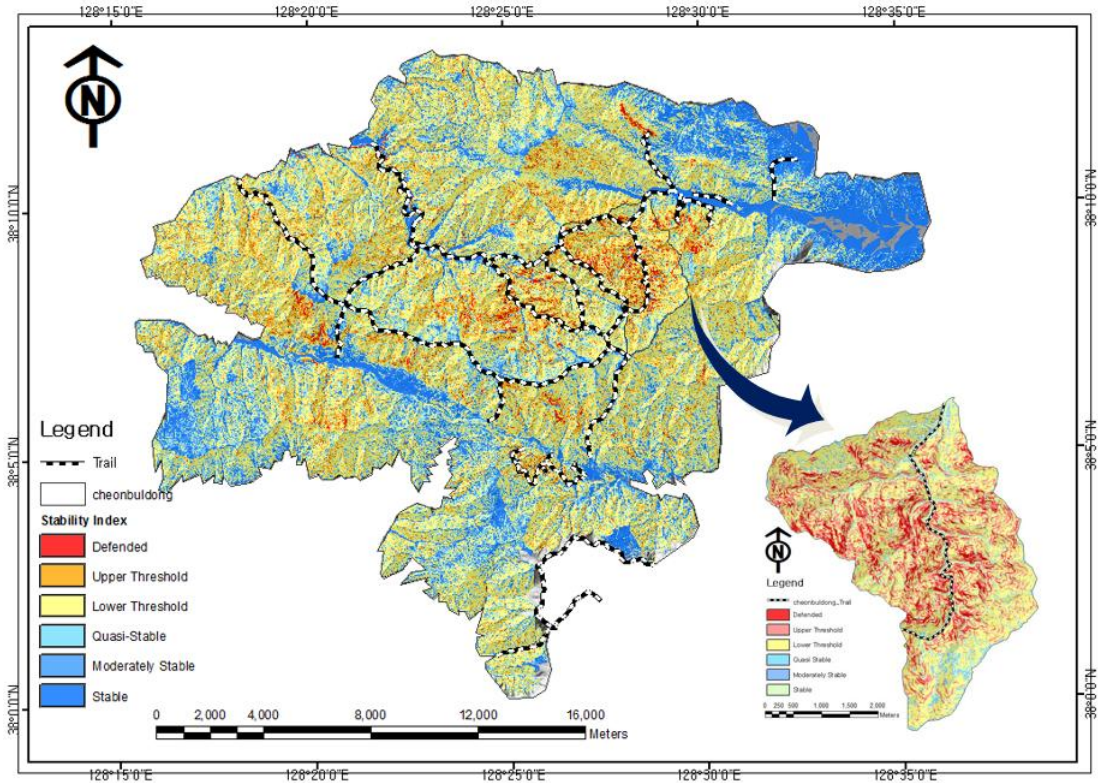
<표 2> 설악산 전체 지역 안정지수 분류

	Region	Stable	Moderately Stable	Quasi-Stable	Lower Threshold	Upper Threshold	Defended	Total
Area(km ²)	1	52.72	25.97	53.22	175.48	42.62	5.02	355.02
% of Region	1	14.85	7.31	14.99	49.43	12.00	1.41	100

따라서 연구지역의 전체의 사면안정도는 안전한 지역보다 위험한 지역이 많은 비중을 차지하고 있었다. 천불동 계곡의 사면안정성 분석결과는 <표 3>과 같이 안정지수분류결과 약 86%가 위험지역으로 분류되었으며 안전하다고 판명된 지역($SI > 1.5$)은 약 5%에 불과 했다.

<표 3> 천불동 유역 안정지수 분류

	Region	Stable	Moderately Stable	Quasi-Stable	Lower Threshold	Upper Threshold	Defended	Total
Area(km ²)	2	0.5929	0.3330	0.9652	7.0675	4.0358	1.1464	14.1408
% of Region	2	4.19	2.35	6.83	49.98	28.54	8.11	100

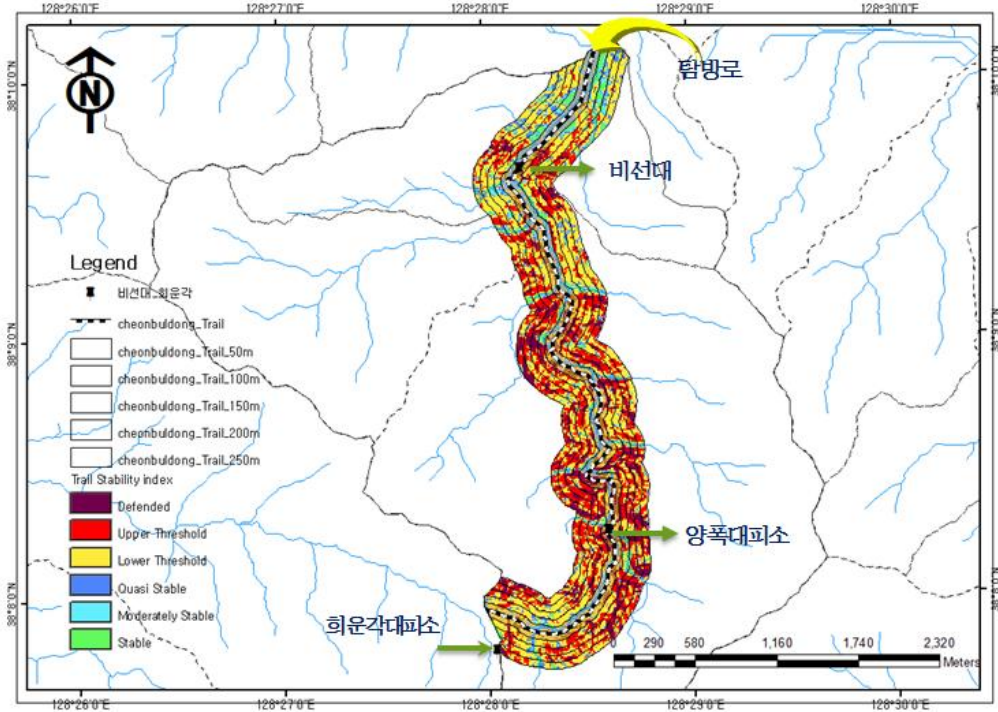


<그림 5> Stability Index Map

2. 탐방로 구간분석

천불동계곡의 탐방로를 중심으로 위험성을 파악하기 위하여 영향권을 설정하여 Buffering분석을 실시하였다. 영향권 범위는 탐방로를 기준으로 좌우로 50m 간격으로 거리를 지정하여 <그림 6>과 같이 SINMAP분석 결과와 중첩하여 위험지역을 파악하였다.

영향권 범위는 50, 100, 150, 200, 250m로 설정하였으며 천불동계곡은 모든 버퍼존에서 상대적으로 위험성이 높게 나타났으며 특히, 50m Buffer구간의 경우 SI지수가 0~1.0구간(위험지역)이 전체 Buffer 구간의 약 62%로 높게 나타났다.



〈그림 6〉 탐방로 구간 영향권 분석(50m, 100m, 150m, 200m, 250m)

IV. 결론

본 연구에서는 설악산 국립공원내 천불동계곡 탐방로의 위험지역을 분석하기 위해 설악산 국립공원을 대상으로 공간 데이터베이스를 구축하고 재해발생 지역조사 및 위험탐방로의 분석을 수행하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

설악산 국립공원 천불동계곡의 기초자료 조사 및 현장조사를 통해 탐방로의 과거 재해발생이력 및 위험지역의 위치 등을 파악 하였으며, GIS를 이용한 DB구축 및 기본지형 분석결과 천불동계곡은 설악산 국립공원 전체지역에 비해 평균고도, 평균경사 등이 높은 값을 나타내었고 일조량의 경우는 설악산 전체지역에 비해 낮은 값으로 분석되어 낙석, 산사태 및 폭설시 재해발생 잠재요인이 높은 것으로 분석되었다. 그리고 GIS기반의 사면안정성 모델인 SINMAP 모형을 이용한 탐방로 안정성 분석 결과 천불동계곡의 탐방로가 설악산 전체지역에 비해 위험성이 높게 분석되었다. 그리고 탐방로를 대상으로 50m 간격으로 구간별 영향권 분석을 실시하였으며 분석결과 50m Buffering 구간에서 위험성이 62%이상으로 높게 나타났다. 천불동 계곡 탐방로가 대체적으로 위험성이 높은 지역으로 분석되었으며 탐방객의 안전을 위하여 탐방로별 재해 위험 분석, 위험지수 개발과 위험구간 경보 및 차단시설 설치 등 대책마련이 시급한 실정이다.

참고문헌

- 산림청. 산사태 위험지 관리시스템. <http://sansatai.forest.go.kr>
- 오채연, 전계원. 2014. GIS의 확률론적 기법을 이용한 산사태 및 토석류 위험분석 - 강원도 인제지역 -. 위기관리 이론과 실천. 10(1): 197-209.
- 우충식, 이창우, 정용호. 2008. 산사태 발생지 예측을 위한 Topographic Position Index의 적용성 연구. 한국환경복원기술학회. 11(2): 1-9.
- 전계원, 오채연. 2011. GIS를 이용한 토석류 발생유역 위험성분석에 관한 연구. 한국안전학회지. 26(2): 83-88.
- Montgomery, D. R. and W. E. Dietrich. 1994. A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding. *Water Resources Research*. 30: 1153-1171.
- Pack, R.T. 1995. *Statistically-based Terrain Stability Mapping Methodology for the Kamloops Forest Region, British Columbia*. Proceedings of the 48th Canadian Geotechnical Conference, Canadian Geotechnical Society, Vancouver, B. C.
- Ray, R. L. and F. De Smedt. 2009. Slope Stability Analysis Using GIS on a Regional Scale: A Case Study from Dhading, Nepal. *Environmental Geology*. 57(7): 1603-1611.
- Sanjit K. Deb and I. El-Kadi Aly. 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.
- Tarboton, D. G. 1997. A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*. 33(2): 309-319.

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 평가법 연구”, 2013년 8월), 현재 강원대학교 소방방재학부에서 초빙교수로 재직중이며, 산지재해, 토석류재해, 피해예측지도(Hazard map), GIS 분야에 관심을 두고 연구 중이다(cyoh@kangwon.ac.kr).