

# 우면산지역의 사면안정성 평가

진병희

2011년 7월 25일부터 27일 사이에 발생한 약 500mm의 국지성 폭우로 인해 서울 우면산 지역에 많은 토석류가 발생하여 18명이 사망하였다. 본 연구에서는 사면안정성 모델을 이용하여 토석류 발생예측의 적용가능성을 검토하였다. 모델의 입력변수로서 토양의 유효점착력, 토질의 단위중량, 지하수와 유효토심의 비, 유효토심, 지표면의 경사, 흙의 내부마찰각이 이용되었다. 이러한 입력변수 중에서 1m, 10m, 30m의 고해상도 DEM에서 생성된 경사도에 의한 사면안정도 해석결과가 검토되었다. 결론적으로 30m 격자에 비해 10m격자의 해상도에서 토석류에 대한 민감도가 향상되었지만, 1m 격자에서는 더 이상 향상되지 않았다.

**주제어:** 토석류, 사면안정성, 격자크기

## 1. 서론

2011년 7월 27일 서울시 서초구 우면산 일대에서 토석류가 발생하여 20여명의 인명피해와 재산피해가 발생하였다. 우리나라에서 토석류는 1997년부터 2006년까지의 자연재해에 의한 사망자 중 토석류 등의 지반재해에 의한 사망자는 전체의 27%에 달하고 있다(박덕근 외, 2007). 대표적으로는 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미, 2006년 태풍 에위니아와 그에 따른 호우에 의해 산악지역으로 이루어진 강원도를 중심으로 많은 토석류 피해가 발생하여 이에 대한 대책이 요구된다.

우리나라에서는 산사태 예측에 관한 연구가 주로 이루어졌으며, 토석류 수치 시뮬레이션이나 피해 예측지도 작성 분야에서는 아직 기초적 단계로 볼 수 있다. 최근 들어 토석류 및 산사태에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, GIS를 이용한 위험도 판정에 관한 연구들(이승기 외, 2005; 김정태 외, 2005; 조남춘 외, 2006; 김기홍 외, 2008)과 지형인자 및 강우인자를 이용한 위험도 분석(윤홍식 외, 2009; 김경석, 2008)과 토사거동예측모델을 위한 실내실험(채병곤 외, 2006; 김기환 외, 2008) 등이 주된 내용을 이루어왔다.

지금까지 산사태 위험지도 작성에 사용된 수치표고모델은 주로 30-50m의 중-해상도의 DEM(Digital Elevation Model)가 이용되었다(Iwahashi *et al.*, 2001; Colombo *et al.*, 2005). 그러나 최근에는 LiDAR(Light Detection And Ranging)와 같은 고해상도 자료를 이용함에 따라 지형을 보다

정밀하게 측정할 수 있게 되었다. 또한 이러한 고해상도 자료를 이용하면 재해지도의 정밀도가 향상된다고 보고되고 있다(Malamud *et al.*, 2004; Galli *et al.*, 2008). 본 연구에서는 격자의 해상도가 사면안정도 해석에 미치는 영향에 대해 검토하여, 적용하기에 적절한 격자크기를 제안하고자 하였다.

## II. 사면안정성 평가

사면붕괴에 대한 예측은 피해를 유발하는 인자를 통계적으로 처리하여 통계적 방법과 물리화학적 모델을 이용하여 평가하는 결정적 방법이 있다. 현재 산림청의 산사태정보시스템에서는 모암, 임상, 경사 등의 인자를 이용하여 가중치를 부여한 레이어의 중첩에 의한 통계적 방법을 이용하고 있다. 결정적 방법에서는 안전율(Safety factor)을 이용하여 사면의 안정성을 평가 할 수 있다. 안전율은 붕괴하려는 힘과 지지하려는 힘의 비로써 표현되며 본 연구에서는 비교적 간단하면서도 활용도가 높은 Brunsden과 Prior에 의해 발표된 모델을 적용하였다. 이 모델에서는 사면을 무한사면으로 가정하여 강우로 인한 지하수위와의 비를 이용한 방법으로 식(1)과 같다(국립방재연구소).

$$F = \frac{\text{Resistance force}}{\text{Driving force}} = \frac{C + (\gamma - m\gamma_w)z\cos^2\beta\tan\phi}{\gamma z\sin\beta\cos\beta} \quad (1)$$

F : 안전율

C : 유효점착력(ton/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  : 토질의 단위중량(ton/m<sup>3</sup>)

m : 지하수위와 유효토심과의 비(Zw/Z)

$\gamma_w$  : 물의 단위중량(ton/m<sup>3</sup>)

z : 지표면으로부터의 흙의 깊이(m)

zw : 지하수위(m)

$\beta$  : 지표면의 경사(°)

$\phi$  : 흙의 내부마찰각(°)

식(1)에서 안전율이 1보다 작으면 지지하려는 힘보다 붕괴하려는 힘이 큰 경우로서 무너지려는 시점에 있다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 안전율(F)을 구하기 위해 ArcGIS(V. 9.3.1)을 이용하여 1:5,000 수치지형도로부터 격자크기가 1m, 10m, 30m로 DEM을 추출하여 이를 토대로 각각의 경사도를 생성하였다. 그리고 1:25,000 정밀도양도 속성정보를 이용하여 유효점착력, 토질의 단위중량, 내부마찰각을 1m 격자의 레

스터자료로 구축하여 이용하였다. 유효토심(z)은 정밀토양도에서 속성정보로 제공하고 있으나 일정 범위로서 제시되고 있어 본 연구에서는 유효토심을 전체적으로 1m로 가정하여 이용하였다. 향후 추가 연구를 통해 적절한 유효토심을 적용할 필요는 있다.

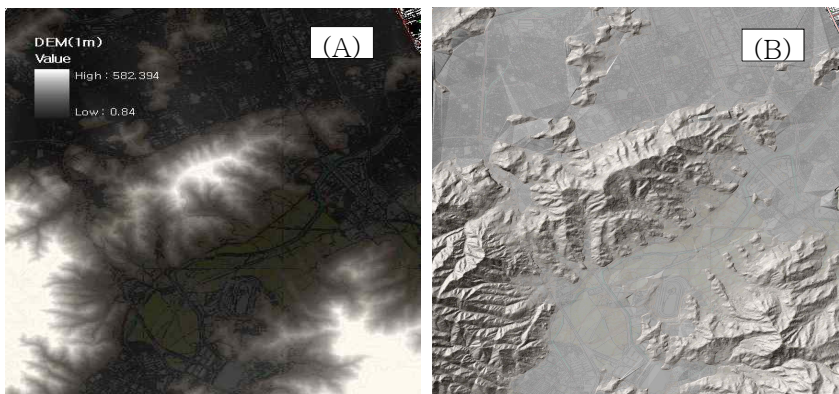
### III. 결과 및 고찰

#### 1. 연구대상지역

연구대상지역은 2011년 7월 말에 3일간 지속된 약 500mm의 국지성 폭우로 인해 인명피해 및 재산 피해를 일으킨 서울 우면산 지역을 대상으로 하였다. 이 지역에서는 7월 27일에 다수의 토석류가 발생되어 토석물질이 주택지로 유입되어 60여 가구가 고립되고 18명의 사망자가 발생했다.

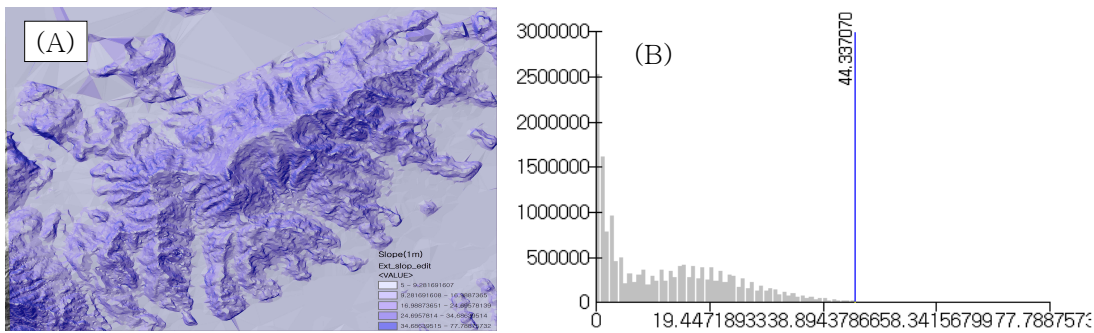
#### 2. 자료구축

사면안정성을 평가하기 위해서는 각각의 인자별 래스터 데이터가 필요하다. 먼저 경사도 등 지형인자는 1:5,000 수치지형도를 이용하여 DEM을 구축하였다. 이 때 격자의 크기는 분석결과에 영향을 줄 수 있으므로 1, 10, 30m격자크기의 DEM을 구축하여 추출하였다. 격자크기의 선정기준은 국가수자원관리종합정보시스템(wamis)에서 제공하는 래스터자료의 격자크기가 33m이므로 우선 30m격자의 분석능력을 평가할 필요가 있었고, 보다 세밀한 격자의 분석능력을 비교하기 위해 10m와 1m 격자크기를 선택하였다. <그림 1>의 (A)에는 1m 격자크기의 DEM의 구축결과를 나타내며, (B)에는 구축된 DEM을 이용하여 지형의 특징을 이해하기 쉽도록 음영기복도로 나타내었다.

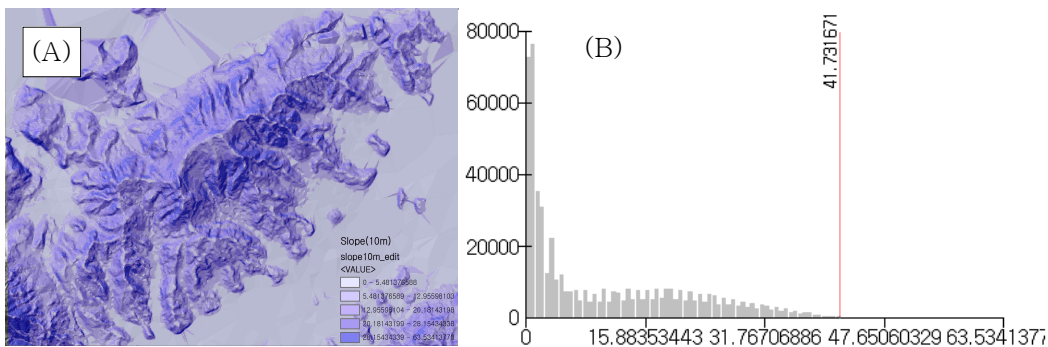


<그림 1> 우면산 일대의 DEM(A)과 음영기복도(B)

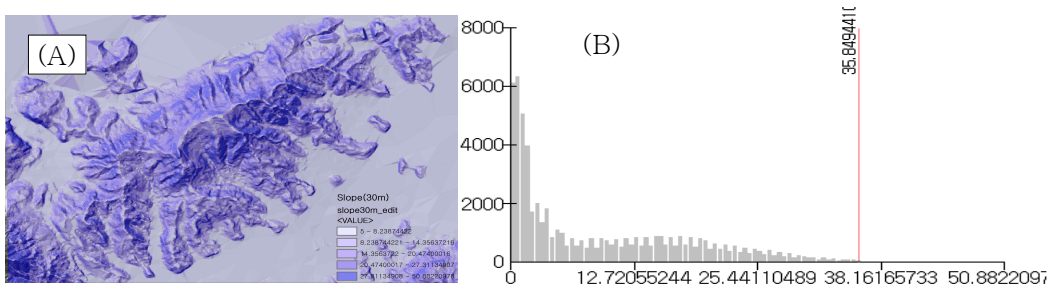
각각의 격자크기로 구축된 DEM을 이용하여 안정도 평가를 위한 기초자료로서 격자크기가 1, 10, 30m인 경사도를 구축하였다. <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>는 1m, 10m, 30m의 격자로 구축된 경사도를 나타내고 있다. 이 때 연구지역을 우면산 지역에 좀 더 집중하여 분석을 하였다. 1m 격자의 <그림 2>를 보면 전체적으로 경사는 0~77.7°의 분포를 가지고 있지만 77.7°는 특이치 라고 판단되며 실제 유효한 경사범위는 0~44.3°라고 생각되었다. 그리고 0°에 가까운 낮은 경사의 빈도도 매우 높음을 알 수 있다. 10m 격자의 <그림 3>을 보면 전체적으로 경사는 0~63.5°의 분포를 가지고 유효한 경사범위는 0~41.7°로서 1m 격자에 비해 급격한 경사의 빈도는 감소하고 낮은 경사의 빈도는 증가하였으며 전체적으로 평활화되었다고 생각되었다. 30m 격자의 <그림 4>를 보면 전체적으로 경사는 0~50.9°의 분포를 가지고 유효한 경사범위는 0~35.8°로서 10m 격자에 비해 급격한 경사의 빈도는 감소하고 낮은 경사의 빈도는 증가하였으며 전체적으로 더욱 평활화되었다고 생각되었다. 결과적으로 격자의 크기가 증가함에 따라 큰 경사도의 빈도는 줄어들고, 낮은 경사도의 빈도는 증가하여 평활화되는 경향을 보였다. 안정도 평가에는 경사도가 큰 경우가 결과에 영향을 미칠 것으로 예상되므로 격자크기가 지나치게 커지면 분석능력도 떨어질 것으로 판단되었다. 그러나 작은 격자크기에서 높은 경사도의 빈도가 큰 것이 반드시 분석에 유효한지는 평가가 필요하다고 생각된다. 여기서 구축된 경사도를 이용하여 안정도 평가를 하며, 이 때 매우 낮은 경사도는 안정도계산에서 지나치게 큰 값을 유발하므로 5°이하의 낮은 경사는 5°로서 계산에 적용하였다.



<그림 2> 1m 격자에서 구축된 경사도(A)와 히스토그램(B)

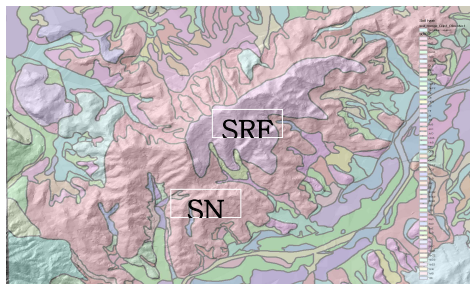


<그림 3> 10m 격자에서 구축된 경사도(A)와 히스토그램(B)



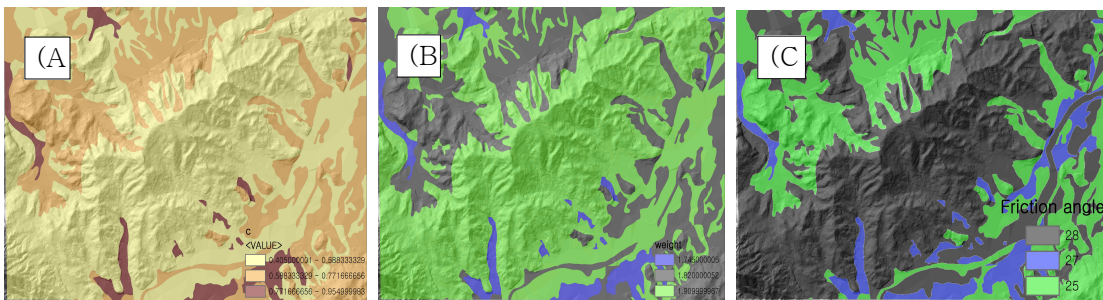
<그림 4> 30m 격자에서 구축된 경사도(A)와 히스토그램(B)

<그림 5>는 1:25,000의 정밀토양도를 이용한 연구지역내의 토양분포를 나타내고 있다. 연구지역내에는 54개의 토양종이 분포하였다. 그중 중요한 토양으로서는 우면산의 주능선과 남동쪽유역을 차지하고 있는 SRF2와 그 둘레를 싸고 있는 SNE2가 주로 분포해 있다. 토성은 토양 알갱이의 크기에 따라 점토, 미사, 모래의 3가지로 나누고 이들의 함량비율에 따라 토성이 정해지는데 사토, 사양토, 식토 등 12개의 토성으로 구분되며, SRF2와 SNE2는 사양토에 해당된다.



<그림 5> 토양 분포도

안정도 평가에 필요한 유효점착력, 토질의 단위중량, 내부마찰각은 각 토질의 종류에 포함된 흙의 종류에 따라 결정되었으며, 각각을 1m 격자의 래스터자료로서 정리하여 안정도 평가에 이용하였다. <그림 6>은 토질의 점착력(A), 단위중량(B), 내부마찰각(C) 분포도를 나타내고 있다.

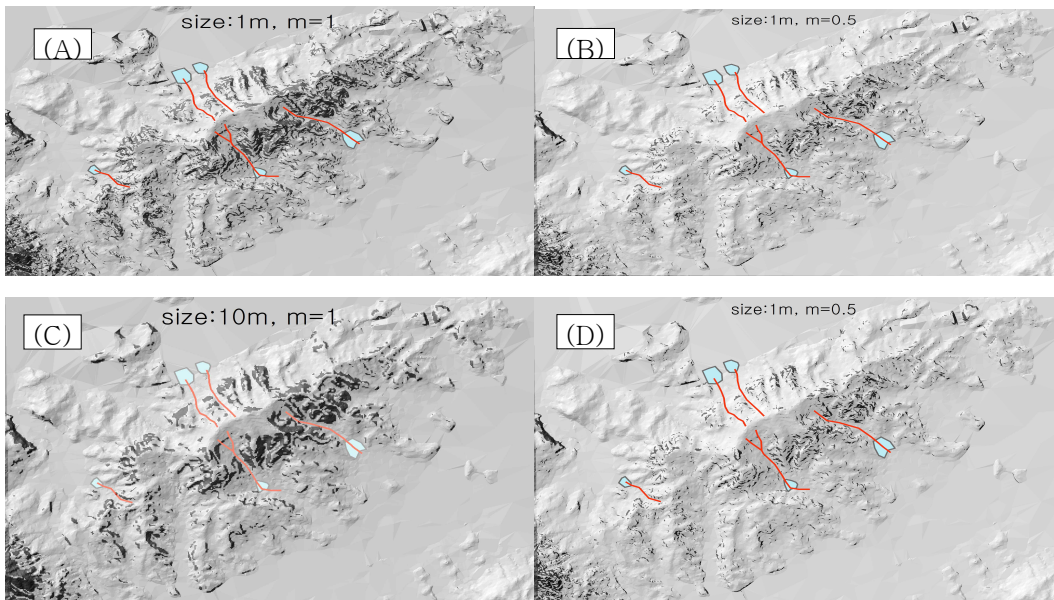


<그림 6> 토질의 점착력(A), 단위중량(B), 내부마찰각(C) 분포도

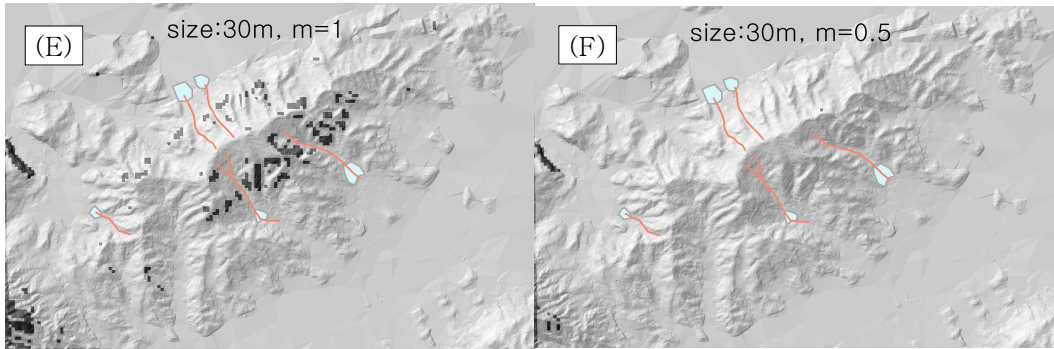
### 3. 사면안정성 평가

<그림 7>은 각 인자들을 이용하여 계산된 안정성 평가 결과를 나타낸다. 안정성이 1보다 큰 경우

는 안전한 상태이며, 1보다 작은 경우가 불안정한 경우이므로 여기서는 1보다 작은 지역만 검은색으로 나타내었다. 또한 주요한 토석류의 발생 트랙을 붉은색 선, 토석류에 의한 피해지역을 녹색으로 표시하였다. 경사도의 격자크기를 1m, 10m, 30m로 하고, 각각의 경우에 대해 지하수와 유효 토심의 비(m)를 1 또는 0.5로 하여 위험지역을 나타내었다. 격자크기가 1m인 경우(A), 우면산의 대부분의 지역에 걸쳐 위험지역이 분포되는 것으로 나타났다. 또한 산의 하부지역에도 상당수의 위험지역이 존재하였다. 그럼에도 불구하고 실제로 토석류가 발생한 능선주변은 위험지역에 포함되어 있지 않다. 그러나 안정성 평가 결과는 유역 내 위험지역이 얼마나 존재하며 유역단위의 위험도를 평가하는 데는 유효할 것을 판단되었다. (B)는 m을 0.5로 하여 계산한 결과이며, 지하수 비가 감소함에 따라 위험한 지역이 상당히 줄어들 수 있다. (C)는 격자크기를 10m로 하여 계산한 결과를 나타낸다. (A)와 비교하면 위험지역 분포는 상당히 비슷하지만 위험지역이 그룹화된 결과를 보여주어 위험도를 좀 더 적절하게 나타내고 있다. (D)는 m을 0.5로 한 결과이며, (B)와 거의 유사한 결과를 보인다. 즉 격자크기를 크게 하더라도 위험지역을 적절하게 나타내며, m의 변화에 따른 결과도 충실하게 반영함을 알 수 있다. (E)는 30m의 격자크기를 이용한 경우이며, (C)와 비교하면 위험지역이 상당히 축소되었음을 알 수 있다. 특히 남태령 전원마을 지역의 경우 위험지역에서 제외되어 있어, 결과의 정확성이 상당히 낮아짐을 알 수 있다. (F)와 같이 m을 0.5로 한 경우 위험지역이 거의 존재하지 않는 결과를 볼 수 있다. 결과적으로 격자크기를 세밀하게 조절함에 따라 경사도가 충실하게 반영되어 위험지역 추출에 도움을 줄 수 있으나, 너무 세밀한 격자는 오히려 위험지역이 분산되어 평가에 어려움을 줄 가능성이 있음을 알 수 있었다.



<그림 7> 사면 안정성 평가에서 불안정(F<1)으로 평가된 영역



〈그림 7〉 사면 안정성 평가에서 불안정(F<1)으로 평가된 영역(계속)

#### IV. 결론

본 연구에서는 사면안정성 모델을 이용하여 토석류 발생예측의 적용가능성을 검토하였다. 모델의 입력변수로서 토양의 유효점착력, 토질의 단위중량, 지하수와 유효토심의 비, 유효토심, 지표면의 경사, 흙의 내부마찰각이 이용되었다. 이러한 입력변수 중에서 1m, 10m, 30m의 고해상도 DEM에서 생성된 경사도에 의한 사면안정도 해석결과가 검토되었다. DEM 격자 크기가 증가함에 따라 큰 경사도의 빈도는 줄어들고, 낮은 경사도의 빈도는 증가하여 평활화되는 경향을 보였다. 결론적으로 30m 격자에 비해 10m격자의 해상도에서 토석류에 대한 민감도가 향상되었지만, 1m 격자에서는 더 이상 향상되지 않았다. 또한 격자크기를 세밀하게 조절함에 따라 경사도가 충실하게 반영되어 위험지역 추출에 도움을 줄 수 있으나, 너무 세밀한 격자는 오히려 위험지역이 분산되어 평가에 어려움을 줄 가능성이 있음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

국립방재연구소. 2004. 토석류의 발생작용 및 피해저감에 관한 연구.

김경석. 2008. 토석류 발생 지형과 유발 강우 특성 분석. 대한토목학회지. 28(5C): 263-271.

김경태·정성관·박경훈·오정학. 2005. GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국지리정보학회지. 8(1): 75-87.

김기환·이동혁·김대회·이승호. 2008. 토석류 흐름 상태 특성 파악을 위한 모형실험 연구. 한국지반환경공학학회지. 9(5): 83-89.

김기홍·원상연·윤준희·송영선. 2008. 강릉지역 국도의 재해위험성 평가. 한국지형공간정보학회지. 16(4): 33-39.

박덕근·노성열·손중철·유병옥·장범수. 2007. 집중호우에 따른 비탈면 재해분석을 통한 피해저감

- 방안 제시. 한국구조물진단학회지. 11(4): 3-11.
- 윤홍식 · 이동하 · 서용철. 2009. GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성. 한국지리정보학회지. 12(4): 59-73.
- 이승기 · 이병두 · 정주상. 2005. GIS를 이용한 산사태 위험지 판정 모델의 개발. 한국지리정보학회지. 8(4): 81-90.
- 조남춘 · 최철웅 · 전성우 · 한경수. 2006. RS와 GIS 기법을 활용한 산사태 위험성의 검증. 한국지리정보학회지. 9(2): 54-66.
- 채병곤 · 송영석 · 서용석 · 조용찬 · 김원영. 2006. 모형실험 장치를 이용한 산사태 발생 및 사태물질 거동특성 실험. 대한지질공학회지. 16(3): 275-282.
- Brunsdon, D. and D. B. Prior, *Slope Instability*. John Wiley and Sons. New York.
- Colombo, A., Lanteri, M. and Ramasco, M., 2005. Systematic GIS-based Landslide Inventory as the First Step for Effective Landslide-Hazard Management. *Landslides*. 2: 291-301
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 2008. Comparing Landslide Inventory Maps. *Geomorphology*. 94, 268-289
- Iwahashi, J., Watanabe, S. and Furu, T., 2001. Landform Analysis of Slope Movements Using DEM in Higashikubiki area, Japan. *Computers and Geoscience*. 27: 851-865
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 2004. Landslide Inventories and their Statistical Properties. *Earth Surface Process and Landforms*. 28: 1361-1376.

---

**田炳熙**: 동경공업대학에서 공학박사학위(논문제목: “Study on Porous Carrier and Membrane Hybrid Process for Nitrogen Removal in Wastewater”, 2000년 3월)를 취득하였으며, 현재는 강원대학교 삼척캠퍼스 소방방재학부 부교수로 재직 중이다. 주 연구분야는 폐탄분류를 이용한 수처리장치 고장진단과 산지재해 분야이며, 현재 방재학회 회원 등으로 활동 중이다(bhjun@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2012년 09월 14일  
수 정 일: 2012년 09월 23일  
게재확정일: 2012년 10월 10일

## Evaluation of Slope Stability in Umyeon-san Area

Byong Hee Jun

Due to an intensive rainfall about 500 mm occurred between from 25 to 27 July 2011 in Seoul, debris flows were taken place around the Umyeon-san(mountain) and killed 18 people. In this paper, we investigated the adaptation possibility of slope stability model for the debris flow triggering. As the input parameters in model, effective cohesion, soil density, the ratio of soil thickness and saturated soil thickness, soil thickness, inclination of the hillslope and soil effective friction angle were applied. We investigated the effect of different slope layer extracted from 1m, 10m, 30m high resolution DEM(Digital Elevation Model) on slope stability analysis. As the results, the high resolution of 10m cell size enhanced the debris flow susceptibility, but 1m resolution did not increase the susceptibility.

**Key words:** debris flow, slope stability, cell size