

GIS을 이용한 자연사면 안정성 평가표 비교 및 산사태 유발 인자 고찰†

A comparison of Induced Landslide of Factors and Landslide Hazard Assessment Using GIS

이민규* · 김교원

Minkyu Lee* · Gyuwon Kim

경북대학교 공간정보학과 석사과정* · 경북대학교 지질학과 교수

mxlee@knu.ac.kr* · gyokim@knu.ac.kr

요 약

그 동안 산사태 연구는 강우에 의한 예측 연구나 결정론적 유한요소법 및 한계평형 연구가 많이 이루어 졌지만 자연의 요소 이외의 인간 활동적 요소에 대한 연구는 외국의 사례에 비해 선행연구가 많이 없는 실정이다. 이번 연구 논문에서는 산림청의 사면 평가표를 GIS을 이용해 강우 조건과 사회적 인자(도로, 빌딩, 주택 등)에 따른 산사태 위험지역들을 GIS Map상에서 어떤 차이가 나는지 알아보았다. 또한 사면평가표의 항목에서 사회적 인자 항목이 산사태 발생에 있어 통계적으로 유의한지를 다변량 통계분석을 통해 알아보았다.

1. 연구목적

한국의 지형은 대부분이 산으로 이루어 졌고 동고서저의 특색을 보인다. 또 매년 강우가 여름철 6-8월에 호우가 집중되는 등 계절성 기후의 특성을 가진 나라이다. 이런 특성 때문에 우리나라는 매년 여름 장마철에 산사태가 집중적으로 발생한다. 산사태들은 집중호우에 의해 발생되었고 국지적으로 밀집되는 양상을 보이는 등 강우와 산사태는 매우 밀접한 연관성을 가지며, 지질이나 지형조건 및 토질특성 등이 지역에 따라 다름에도 불구하고 장마 기간에 대부분의 산사태가 발생됨으로 강우가 산사태 발생에 매우 중요한 외적 요인으로 작용된다(김경수 외 2000). 그 동안 산사태 연구는 강우에 의한 예측 연구나 결정론적 유한요소법 및 한계평형 연구가 많이 이루어 졌지만 자연의 요소 이외의 인간 활동적 요소에 대한 연구는

외국의 사례에(David.N.Petley et al, 2007; Miet Van Den Eeckhaut, 2009) 비해 선행연구가 많이 없는 실정이다. 이번 연구 논문에서는 강우의 조건과 사회적 인자가 사면평가표 항목에 포함된 국립방재 연구소와 그렇지 않은 산림청의 사면평가표를 GIS을 이용해 강우 조건과 사회적 인자(도로, 빌딩, 주택 등)에 따른 산사태 위험 지역들을 GIS Map상에서 어떤 차이가 나는지 알아본다. 사면평가표의 항목에서 강우의 조건과 사회적 인자 항목이 산사태 발생에 있어 통계적으로 유의한지를 다변량 통계분석을 통해 알아보려고 한다.

2. 이론적 배경

GIS을 활용한 산사태 위험도 분석은 정성적인 분석(Qualitative Method)과 정량적인 분석(Quantitative Method)으로 나눌 수 있다. 정성적인 분석은 산사태 전문가가

† 이 논문은 공간정보 특성화대학원 지원사업에 의하여 연구되었음.

임의로 직접 발생인자 지도들을 그린 다음 최종적으로 중첩시켜 산사태 위험도를 분석하는 방법(Direct Heuristic Method)과 전문가가 발생인자에 나름대로 기준을 가지고 가중치를 두어 그 결과에 따라 분석(Indirect Heuristic Method)하는 방법이 있다. 정량적인 방법은 이변량(Bivariate Analysis) 또는 다변량 통계분석(Multivariate Analysis)과 지질공학적 안전계수(Safety Factor)를 통한 결정론적 방법(Deterministic Method)이 있다. 이번 연구 논문에서 사용될 해석방법은 GIS을 활용한 다변량 통계 분석법(Multivariate Regression)으로서 위에 언급한 사면평가표를 비교하며 각각의 변수들을 분석한다. 그리고 통계적 분석뿐만 아니라 실제 연구지역의 산사태 발생 지도를 만들어 각각의 산사태 위험지도와 중첩시켜 강우와 사회적 인자의 기여도를 회귀분석을 통해 확인 할 수 있다.

3. 가설설정

사회적 환경인자들도 산사태 발생에 많은 영향을 가진다고 대립가설을 설정한다. 즉 이러한 인자가 통계적으로 귀무가설(영향을 가지지 않는다)을 기각하는지 안 하는지 0.05% 유의수준을 통해 통계적 검증을 실시한다. 이러한 가설설정 범위와 이유의 근거는 기존 우리나라 산사태 연구들의 경험적 결과(김경수 외, 2006; 양인태 외 2007)와 외국의 사례들(Lulsege Ayalew et al. 2005; Miet Van Den Eeckhaut et al. 2009)을 기초로 했다. 통계 검정에 있어서 각각의 독립변수들은 종속변수(산사태 발생)에 관해 독립적이며 유의하다고 가설하며 독립변수들은 로지스틱 통계분석에 의한 최적모형 산출에 사용된 단계적 선택법(Stepwise method)으로 추출 되어야만 하지만 이번 연구에서는 이미 전진선택법이나 후진제거법으로 변수들이 각각 선택되었다고 본다(채병곤 외; 2005). Lulsege(2005)의 의해 각각의 독립변수들은 다음과 같은

네 가지 조건을 만족해야 한다. 첫째, 독립변수는 종속변수에 어떤 영향력을 가진다. 둘째, 독립변수는 연구지역 전반에 영향을 가져야 한다. 셋째, 독립변수는 공간적 분포가 다양해야 한다. 넷째, 독립변수는 측정 가능해야 한다. 강우량의 경우 현실적으로 연구지역의 강우측정을 균등하게 할 수 밖에 없어 임의의 조건을 줄 수밖에 없다.

4. 기존연구 동향

로지스틱 회귀모형을 이용한 산사태 예측은 2000년도에 화강암과 편마암지역에 적용 가능한 모델(김영 외 원2000)이 개발되었다. 그리고 2003년도에 퇴적층에 적용 가능한 모델(김원영 외 2003)이 개발되었고 2004년도에 모델(김원영 외 2004)을 보완하여 다시 개발하였다. 이사로 외(2000)는 산사태 공간 정보시스템 개발에서 로지스틱 회귀모형을 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 분석하였는데 경기도 용인 지역을 10m×10m 크기의 격자로 나누어 분석하였고 수집된 데이터들을 Grid형태로 변환한 후 이를 다시 아스키 파일로 변환하여 통계분석을 실시하였다(이사로 외 2001). 외국의 경우 로지스틱 회귀모형은 많은 연구자들(Bernknopf et al. 1980; Jade and Sarkar 1993; Weczorek et al. 1996; Atkinson and Massari 1998; Guzzetti et al. 1999; Gersevski et al. 2000; Dai et al 2001; Dai and Lee 2002,2003; Ohlmacher and David 2003)에 의해서 개발되어 왔다.(L.Ayalew and H.Yamagishi 2005) 특별히 P.Aleotti and R.Chowdjury가 쓴 논문(Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives)은 로지스틱 회귀모형 뿐 아니라 다른 결정론적 방법과 정성적인 방법도 잘 소개가 되어있다.

5. 연구방법 및 연구결과

산사태 발생 연구에 있어 다변량 통계 분석은 은 앞서 서두에 언급했듯이 각각의 독립변수가 통계적으로 유의한지 안한지 판별할 수 있다. 또 통계량을 통해 다중 공선성 확인 및 결정계수 그리고 표준 베타계수를 산출 하므로 최적화된 독립변수를 예상 할 수 있다는 특징이 있다. 이번 연구에서는 다변량 통계분석을 통해 산림청의 산사태 인자 분석 결과와 사회적 인자의 통계적 유의성을 알아보았고 이들의 독립변수를 통한 산사태 발생을 GIS 중첩기능을 통해 산사태 지역과 일치하는지 알아보았다.

산림청에서 사용한 자연사면 평가표를 이용한 최종 경주 북군동 지역은 다음 그림과 같다. 보시다시피 전 지역이 주황색으로 표시되어 산사태 발생 가능성 3등급으로 표시되어있다. 연구지역의 대부분이 산불과 산림이 많이 유실 되었다는 점과 산불의 후의 토양의 성질이 수분을 흡수하지 못하는 점들을 고려해 볼 때 향후 여름 장마 집중 기간 때 강한 강우가 왔을 시 대부분의 지역에 산사태 발생 가능성이 매우 높아짐을 예상해 볼 수 있다. 특히 도로와 인접한 급경사 지역에 집과 식당들이 많이 모여 있어 여름 철 호우 기간 산사태 대비 안전 대책을 세워야 하겠다.

GIS를 통한 사면안정성 평가표 적용의 한계도 이번 연구를 통해 나타났다. 사면안정성 평가표의 기준이 실제 GIS에서 구현함에 있어 모호해 기술적인 한계를 발견했다. 예를 들어 경사각의 위치와 사면 길이는 사면의 연속성을 고려해 볼 때 GIS 구현에 있어 여러 가지 한계가 있었다. 즉 모든 지역 중에 어디서 어디까지 사면의 연속성과 불연속면을 간주해야 하는지 애매한 부분이다. 이는 정성적 방법론으로 작성된 사면평가표를 정량적으로 표현하는 GIS와 통계분석에 있어 어려운 부분이라 하겠다. 뿐만 아니라 여러 데이

터 중에 실제로 업데이트 안 된 데이터를 사용할 경우 예상치와 실제 결과와는 다른 결론을 도출 할 수 있다. 그러므로 데이터와 현장 검증을 병행해서 결과의 오류를 줄 일 수 있어야 한다.

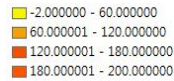
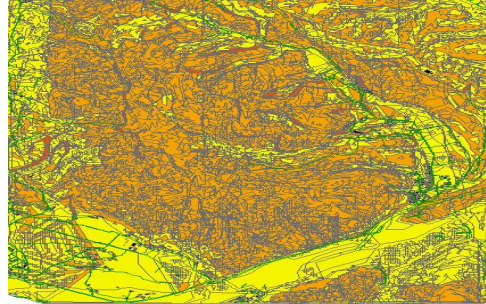


그림 1. GIS를 활용한 산림청 사면 안정평가표의 따른 붕괴 붕괴위험도

표 1. 산림청 사면안정 평가표

인 자	Category 별 점수				
	1	2	3	4	5
경사길이(m)	50이하	51 ~ 100	101 ~ 200	201이상	-
	0	19	36	74	
모암	퇴적암 (이암, 혈암, 석회암, 사암 등)	화성암 (화성암류, 기타)	변성암 (천매암, 점판암, 기타)	변성암 (편마암류, 편암류)	화성암 (반암류, 안산암류)
	0	5	12	19	56
경사위치	0 ~ 4/10	5 ~ 6/10	7 ~ 10/10	-	-
	0	9	26		
임상	-활엽수림, 혼효림종, (소, 대경목)	-침엽수림 (치수림, 소경목) -무입목지	-침엽수림 (중경목, 대경목) -활엽수림, 혼효림(치수림)	-	-
	0	18	26		
사면형	상승사면	평형사면	하강사면	복합사면	-
	0	5	12	23	
토심(cm)	20이하	20 ~ 100	101이상	-	-
	0	7	21		
경사도(°)	41이상	26 ~ 40	25이하	-	-
	0	9	16		
조사자의 점수보정	*보정인자 1. 조사자 또는 마을사람들이 산사태발생 위험지역이라고 생각함(+10) 2. 조사자 또는 마을사람들이 산사태발생 위험성이 전혀 없다고 생각함(-10) 3. 인위적 산림훼손지로 방치하거나 불완전한 방재 시설지(+20) 4. 과수원 및 초지단지, 유실수조림지 등 지피식생이 불완전한 산림(+20) 5. 산림이 도심지에 위치하여 산사태 발생시 피해 확산 위험이 있는 지역(+10)				

※ 붕괴위험도

발생가능성이 대단히 높은 지역(I등급) : 181점 이상 (75%이상)

발생가능성이 높은 지역(II등급) : 121 ~ 180점 (50 ~ 75%)

발생가능성이 있는 지역(III등급) : 61 ~ 120점 (25 ~ 50%)

발생가능성이 없는 지역(IV등급) : 60점 이하 (25% 이하)

6. 연구지역

연구지역은 경상북도 경주시 북군동 보문단지 내에 위치한 국립공원이다. 연구지역은 대략 $55km^2$ 이다. 2009년 4월 산불로 인해 10ha 산림면적이 소실되었고 현재는 시청에서 조림사업을 진행 중이다. 연구지역 주변 보문관광단지로 차들이 많이 통행하고 주변 식당가도 많이 위치에 실제로 산사태에 대한 위험방지 대책이 필요한 실정이다. 현장 조사 결과 보문단지 내로 들어가는 도로 주변에 토석류 산사태(Debris flow)가 일어났음을 확인했다. 사면은 비교적 가파르며 도로에 인접한 노두들(Outcrop)은 암석의 절리(Joint)가 많이 발달 했다.토질은 봉적토와 층적토 모두 확인했다. 여름철 집중 호우로 인해 산사태가 많이 일어 날 수 있는 위험지역임을 현장조사를 통해 확인했다.



그림 2.경주 북군동 동천동 일대 지형도
그림(1:25,000)



그림 3. 산불로 인해 산림이 많이 훼손된 경주 북군동 연구 지역



그림 4. 연구 지역 암반사면에 발달한 절리 면과 파괴모양



그림 5. 도로 옆 급사면에서 일어난 토석류 산사태

7. 결론

자연 사면에서의 산사태 요인은 특정 자연 인자로만 설명 될 수 없다. 오히려 인간의 사회적 활동이 많아짐에 따라 사회적 인자 요소가 산사태의 주요 원인으로 부상 할 수도 있다. 이번 연구를 통해 자연사면의 안정성 평가 시 사회적 요소가 어느 정도 위험재해에 포함 될 지 알아 보았다. 그리고 한국의 계절성 기후 특징으로 강수로 인한 산사태 영향 또한 생각해 보아야 할 것이다.GIS을 사용한 다변량 통계기법은 이러한 복잡한 산사태 요인들을 최적화된 모형으로 설명하는 기법이다. 그래서 구체적으로 산사태 요인들을 정량적으로 평가 할 수 있다. 더 나

아가 이러한 요인들은 통제 및 조절 가능하다. GIS의 또 다른 장점은 광역적인 지역을 최신의 자료를 빨리 획득해서 가시적으로 시뮬레이션 할 수 있다는 점이다. 토질의 물성실험에서 얻은 자료를 얻으면 정확한 산사태 예측을 할 수 있지만 매년 물성실험을 할 수 없고 실험 시 데이터의 오류와 비용 등을 가만하면 GIS를 통한 산사태 확률론적 예측은 적은 비용으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 좋은 방법이라 할 수 있다.

참고문헌

- [1] 김경수(Kyeong-Su Kim) · 송영석(Young-Suk Song) · 조용찬(Yong-Chan Cho) · 김원영(Won-Young Kim) · 정교철(Gyo-Cheol Jeong) 대한지질공학회, 지질공학 제16권 제2호, 2006. 6, pp. 201 ~ 214 (14pages)
- [2] 양인태(In-tae Yang) · 박재국(Jae-kook Park) · 전우현(Woo-Hyun Jeon) 한국GIS학회, 한국GIS학회 춘·추계학술대회 한국GIS학회 2007 공동추계학술대회 논문집, 2007. 6, pp. 413 ~ 423 (11pages)
- [3] 채병곤 대한지질공학회, 지질공학 단기실무강좌 지질공학 2005년 단기실무강좌, 2005. 11, pp. 171 ~ 205 (35pages)
- [4] 이사로 · 송원경 · 박종휘 . GIS를 이용한 철도 연변 낙석, 산사태 정보시스템 개발 한국암반공학회, 한국암반공학회 학술대회 및 세미나 자료집 2001년도 한국암반공학회 춘계 학술발표회 논문집, 2001. 3, pp. 221 ~ 230 (10pages)
- [5] Miet Van Den Eeckhaut, Jean Poesen, Liesbeth Vandekerckhove, Marijin Van Gil and Anton Van Rompaey(2009)Human-environment interactions in residential areas susceptible to landsliding: the Flemish Ardennes case study, Royal Geographical Society with the Institute of British Geographer 2009
- [6] David N.Petley, Gareth J Hearn, Andrew Hart, Nicholas J. Rosser, Stuart A. Dunning, Katie Oven, Wishart A. Mitchell(2007)Trends in landslide occurrence in Nepal,Nat Hazards 43:23-44,DOI 10.1007/s11069-006-9100-3
- [7] P.Aleotti,R.Chowdhury(1999)Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, Bull Eng Geol Env 58:21-44
- [8] Lulseged Ayalew, Hiromitsu Yamagishi(2005) The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan Geomorphology, Volume 65, Issues 1-2, 1 February 2005, Pages 15-31