

연구논문

GIS 기반의 뿌리보강모델을 활용한 산사태 위험도 작성방법 연구

GIS Landslide Hazard Mapping Using Root Strength Reinforcement Model

김민구* · 윤영진** · 장 훈***

Kim, Min Gu · Yoon, Young Jin · Chang, Hoon

要 旨

우리나라는 전 국토의 약 70%가 산지로 구성되어 있고, 장마 및 태풍 등에 의해 산사태가 매년 발생하여 큰 피해를 주고 있는 실정이다. 이것은 또한, 도시의 팽창과 더불어 산업화의 발전에 의해서도 해마다 그 발생횟수가 증가하고 있다. 2002년 8월 발생한 태풍 루사는 우리나라 곳곳에 심각한 영향을 끼쳤으며, 특히 강원도 강릉 지역에 가장 큰 피해를 야기했다. 이런 위험 지역의 삼림이나 산사태 관리를 위해 산사태 위험도가 반드시 필요하다고 여겨진다. 지리정보 시스템(GIS)은 산사태 위험도를 제작하기에 시간 뿐 아니라, 노동력과 비용을 경감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 위험 지역에 대한 조사와 공간적 예측 모델을 구축하는데 효과적으로 활용될 수 있다. 다양한 방법들로 산사태 위험도를 제작할 수 있다. 본 연구에서는, 뿌리보강 모델을 활용하였다. 이 모델은 경사도, 토심, 토양의 특성과 식생과 같은 인자들을 활용하여 산사태 위험도를 작성하였다.

핵심용어 : 지리정보시스템, 산사태, 뿌리보강모델

Abstract

Korea is formed a mountainous district at 70% of country. Damages are occurred by landslide. It is increased annually by industrial development and extension of urban area. Serious damages occurred in Kangreng area of Gangwondo by typhoon Rusa in August, 2002. Landslide hazard mapping needs to forecast and to manage landslide hazard area. GIS fits landslide hazard mapping, to reduce of time, manpower and costs, to investigate a board area, to do a spatial forecast model in study site. Variety of methods is for landslide hazard mapping. A study use root strength reinforcement model. This model use factors such as topography of slope, soil depth, soil properties, and vegetation of slope. Landslide hazard map is made by this model.

Keywords : GIS, Landslide, Root Strength Reinforcement Model

1. 서 론

우리나라는 전 국토의 70%가 산지로 구성되어있어 6~9월 사이의 태풍이나 장마에 의한 집중호우로 인하여 산사태가 매년 발생하고 있다. 과거에 발생한 산사태의 대부분은 주로 경사가 가파른 오지에서 발생하여 인명피해의 측면에서는 크게 주목받지 아니하였으나 최근에 들어 산업발전 및 도시지의 확장으로 인하여 도로 및 택지조성사업 등이 활발해짐에 따라 산사태로 인한 피해가 증가하고 있는 추세이다.

이러한 산사태의 발생을 미리 예측하고 발생위험지역

을 관리하기 위하여 산사태위험도의 제작이 필요하다. 산사태위험도는 이미 여러 선진국에서 시행하고 있으며, 이러한 세계적 추세 속에 점차 증가하는 산사태에 대한 피해에 대비하기 위하여 우리나라도 산사태 위험도제작이 필요한 시점이라고 하겠다.

2. 연구 목적 및 내용

산사태 발생에 대해 지반 공학 분야에서는 사면안정연구와 더불어 강우로 인한 산사태 발생위험도에 대해 연구하였으나, 이러한 지반 공학적 연구는 소규모지역에

2005년 3월 14일 접수, 2005년 3월 29일 채택

* 주저자, 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정 (sarki@skku.edu)

** 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정 (yjin301@skku.edu)

*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 조교수 (hchang@skku.edu)

따라서 식 (3.3)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \frac{W}{b} \cos^2 \beta \quad (3.4)$$

파괴표준에서 전단강도는

$$s = c' + (\sigma - u) \tan \phi \quad (3.5)$$

동원되는 전단강도는

$$\tau = \frac{S}{F} \quad (3.6)$$

여기서 식 (3.5)에 식 (3.2)와 식 (3.4)를 대입하여 정리하면 식 (3.7)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{W}{b} \sin \beta \cos \beta = \frac{1}{F} (c' + \left[\frac{W}{b} \cos^2 \beta \cdot u \right] \tan \phi') \quad (3.7)$$

따라서 안전율 F에 대하여 정리하면 식 (3.8)과 같다 (김상규, 1994).

$$F = \frac{c' + [\gamma z \cos^2 \beta - u] \tan \phi'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta} \quad (3.8)$$

3.3 뿌리보강모델을 포함한 무한사면 안정 모델

사면안정에 영향을 주는 식생의 영향 가운데 뿌리의 영향을 고려하여 각 셀의 흙의 보강효과를 적용하는 모델이다. 보강모델은 무한사면 해석법을 기본으로 하여 뿌리의 전단강도를 흙의 점착력과 같이 고려하여 안전율을 계산하는 방법으로 무한사면의 해석을 기본으로 하였기에 큰 차이를 보이지는 않는다. 다만 지하수위와 뿌리에 의한 전단강도의 보강이 더해졌다.

그림 2에서

$$h = D \times \cos \theta \quad (3.9)$$

이고 이것으로 무한사면 해석법으로 풀다면

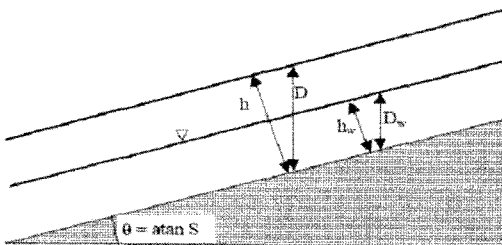


그림 2. 무한사면안정 모델의 Schematic

$$F_s = \frac{C + \cos \theta [1 - mr] \tan \phi}{\sin \theta} \quad (3.10)$$

여기서

$$m = Dw/D = hw/h$$

$$C = (Cr + Cs)/(h\rho_s g)$$

$$r = \rho_w/\rho_s$$

m : 지하수위와 유효심토와의 비

C : 복합 점착력

Cr : 뿌리의 겉보기 점착력

Cs : 토양의 점착력

ρ_w : 물의 밀도

ρ_s : 토양의 밀도

결국 정리하면

$$F_s = \frac{Cr + Cs + \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w) D_w] \tan \phi}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad (3.11)$$

으로 정리가 된다(Montgomery and Dietrich, 1994).

위의 식은 물리적 안정성에 기반한 모델은 상대적으로 작은 스케일의 산사태에 접합한 무한사면안정모델이다 (Pack et al., 1998).

3.4 뿌리보강 모델

뿌리보강 모델의 기본이론은 임의의 사면에서 파괴가 발생하면 흙과 뿌리의 합성체는 파괴에 의해 밀려 나가는 부분과 그렇지 아니한 두 부분으로 나뉘게 되고 전단면상의 토괴를 관통하는 뿌리에는 파괴에 의한 변위가 커질수록 인장응력이 증가하게 되며, 이에 의해 전단저항이 증가하게 된다. 전단강도의 증가를 예측하기 위한 간단한 이론적 모델은 Waldron(1977), Wu(1979) 등, 그리고 이와 별도로 Gray and Leiser(1986) 등과 같은 공학자들에 의해 유사하게 발달되어져 왔다.

뿌리가 전단면에 수직인 경우 그림 3에서 보는바와 같이 유연하고 탄성적인 뿌리가 평행한 전단영역을 연직하게 관통하고 있다고 가정한다. 이 모델에 따르면 토괴에 전단이 일어날 때 뿌리에 발생하는 인장력은 전단에 대해 직접적으로 저항하는, 전단면에 평행한 부분과 전단영역의 구속응력을 증가시키는, 전단면에 연직한 부분으로 나뉘게 되고 이 두 가지의 힘에 의해 전단응력이 증가하게 된다. 한편, 이러한 이론이 성립하기위해 몇 가지 가정이 필요로 한다(이인모 외, 1991).

- (1) 뿌리는 전단영역 주변에 마찰이나 점착에 의해 빠져나오지 않도록 충분한 길이를 가지고 고정되어 있다.

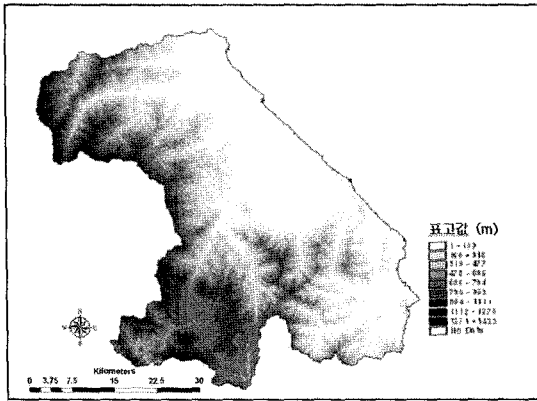


그림 5. 연구대상지역의 DEM

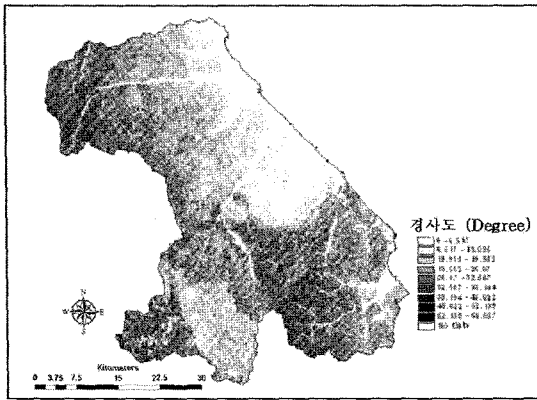


그림 6. 경사도(Degree)

다. 토양도

토양도에 필요한 토질 및 모재, 배수 및 유효심도에 대한 분류는 아래와 같다.

유효심도는 효과, 효능이 있는 땅의 깊이로 토양의 유효두께를 나타낸다.

5. 연구방법

5.1 뿌리의 인장강도 선정

강원도 임상의 종류를 보면 소나무림, 잣나무림 낙엽송림, 침엽수혼효림, 활엽수혼효림, 침활혼효림, 초지, 경작지, 제지 등으로 구성되어져있다. 실제 임상의 종류는 임상도에 나와 있듯이 15종으로 구성되어있으나 실제적으로 같은 종의 나무 등을 하나로 묶어 같은 뿌리인장강도를 갖는다고 가정하였다. 이는 상세한 수목의 뿌리인장강도를 알 수 없기 때문에 그에 준하는 수종의 인장강도를 활용하기 위함이다. 실제로 같은 수종의 나무

표 2. 임상의 구분

임 상		부호	셀값	구 분 기 준
수종	소나무림	D	2	단독수종에 의한 수관점유 면적 또는 입목본수 비율이 전체의 75%이상인 임분
	소나무인공림	PD	9	〃
	잣나무림	PK	11	〃
	낙엽송림	PL	12	〃
	리기다소나무림	PR	13	〃
	참나무림	Q	14	〃
입목 지	침엽수혼효림	C	1	침엽수 혼효림의 수관 점유면적 또는 입목본수 비율이 75%이상인 임분
	침엽수인공림	PC		〃
임상	활엽수혼효림	H	4	활엽수 혼효림의 수관 점유면적 또는 입목본수 비율이 75%이상인 임분
	활엽수인공림	PH	10	〃
	침활혼효림	M	7	침엽수와 활엽수의 수관 점유면적 또는 입목본수 비율이 각각 25%이상, 75% 미만인 임분
무림 목지	벌채적지	F		일시적으로 임목이 제거된 곳
	미림목지	O	8	지피와 수관의 총 피복도가 50% 이상인 임지
	황폐지	E	3	지피와 수관의 총 피복도가 50% 이하인 임지 (단, 침계가 발달된 곳은 60%이하)
	초지	LP	6	초지, 목장
	경작지	L	5	과수원, 기타 농경부지, 묘포장 등이 임지내에 있는 농용지역
제지	R	15	도로, 암석지, 묘지 및 군사 시설 부지 등 임목육성에 쓰이지 않는 임지	
	W		하천, 소택지 또는 수면	
	U		건물 부지 또는 주택지	
임간나지	④		입목지로서 지피와 수관의 총 피복도가 50%이하이고, 침식이 진행되고 있는 임지	

표 3. 임상의 등급

구 분	부호	셀값	구분기준
치수	0	1	흉고직경 6cm 미만의 임목의 수관점유율이 50%이상인 임분
소경목	1	2	흉고직경 6~16cm의 임목의 수관점유율이 50%이상인 임분
중경목	2	3	흉고직경 18~28cm의 임목의 수관점유율이 50%이상인 임분
대경목	3	4	흉고직경 30cm 이상의 임목의 수관점유율이 50%이상인 임분

표 4. 임상의 영급

구 분	부호	셀값	구분기준
		0	
1영급	I	1	입목지로서 수령 1~10년생 입목의 수관점유 비율이 50% 이상인 임분
2영급	II	2	입목지로서 수령 11~20년생 입목의 수관점유 비율이 50% 이상인 임분
3영급	III	3	입목지로서 수령 21~30년생 입목의 수관점유 비율이 50% 이상인 임분
4영급	IV	4	입목지로서 수령 31~40년생 입목의 수관점유 비율이 50% 이상인 임분
5영급	V	5	입목지로서 수령 41~50년생 입목의 수관점유 비율이 50% 이상인 임분
6영급	VI	6	입목지로서 수령 51년생 이상 입목의 수관점유 비율이 50% 이상인 임분

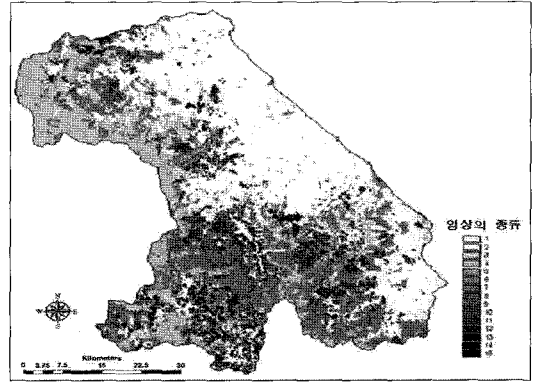


그림 7. 임상의 종류

표 5. 임상의 밀도

구분	부호	셀값	구분기준
소밀도	'	1	교목의 수관점유 면적이 50% 이하인 임분
중밀도	''	2	교목의 수관점유 면적이 51~70% 인 임분
대밀도	'''	3	교목의 수관점유 면적이 71% 이상인 임분

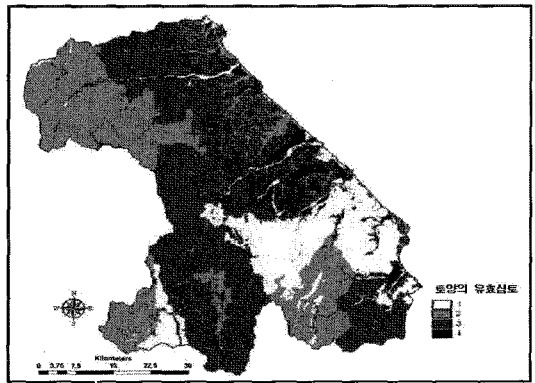


그림 8. 토양의 유효심도

는 비슷한 특성을 지닐 것으로 생각된다.

따라서 Wu 등(1979)의 연구결과에 의한 수종과 임상도에 나온 임상의 종류를 확인하여 소나무림, 소나무인공림, 잣나무림, 낙엽송림과 침엽수혼효림 등은 같은 소나무과인 미송나무의 인장강도를, 리기다소나무림은 솔송나무의 인장강도를 참나무림, 활엽수혼효림, 활엽수인

표 6. 토양의 토질

분류	미사질 식양토	미사질 양토	사양토	세사 양토	식양토	양질 사토	양질 세사토	양질 조사토	양토	no data
cell 값	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

표 7. 토양의 모재

분류	변성암	퇴적암	화산회	화성암	제4기층	no data
cell value	1	2	3	4	5	

표 8. 토양의 배수

분류	매우불량	불량	약간불량	약간양호	양호	매우양호	no data
cell value	1	2	3	4	5	6	

표 9. 토양의 유효심도

분류(cm)	<20	20~50	50~100	>100	no data
cell value	1	2	3	4	

공림은 같은 활엽수인 단풍나무의 인장강도로 대체하였으며 미립목지, 황폐지와 같은 작은 나무들과 수풀지역은 쿠쿠이나무의 인장강도를, 경작지는 보리의 인장강도를, 초지는 잔디의 인장강도로 각각 대체 하였다. 제지 지역은 수림이 없는 도로, 암석지 등이므로 인장강도를 0으로 주었다.

위에 의해 결정된 수종별 인장강도를 표 10과 같이 정리하였다.

위와 같이 정리된 인장강도를 식 3.9와 앞장에서 설명한 면적비를 통하여 뿌리의 전단응력을 계산할 수 있다.

5.2 지하수위와 유효심토와의 비

강우로 인한 산사태의 발생에는 크게 두 가지의 인자를 고려할 수 있다. 그 하나는 토양수분의 상태이고 나머지 하나는 강우강도이다. 토양수분이 충분히 포화되어 있는 경우는 상대적으로 작은 강우강도에도 산사태를 유발할 수 있으며, 반대로 토양이 건조한 상태인 경우에는 산사태를 일으키기 위해 상대적으로 큰 강우강도를 필요로 한다. 문제는 토양수분의 상태와 강우강도를 어떻게 정량화하여 고려하느냐 하는 것과 정밀한 연구결과를 위하여 강우강도와 m 과의 관계를 연계시켜야 하는가이다. 이를 위해서는 사면에서의 침투모델, 수문기상학적 모델, 포화대 흐름을 나타내는 배수모델, 지질수문학적인 모델 등을 서로 연결시켜 고려해야 하므로 본 연구의 진행 상 모델의 자료 및 시간 등이 너무 많이 요구되어지므로

표 10. 수종에 따른 뿌리의 인장강도

임상의 종류	대체 수목	Tr(Ton/m ²)
소나무림	미송나무	61
소나무인공림	미송나무	61
잣나무림	미송나무	61
낙엽송림	미송나무	61
리기다 소나무림	솔송나무	27
참나무림	단풍나무	30
침엽수혼효림	미송나무	61
활엽수혼효림	단풍나무	30
활엽수인공림	단풍나무	30
침활혼효림	단풍나무	30
미립목지	쿠쿠이 나무	6
초지	잔디	20
경작지	보리	30
황폐지	쿠쿠이	6
제지		0

m 에 대한 대표적인 값을 가정하고 그 값을 대입하여 유효심토에 따른 지하수위를 결정하여 이에 대한 안전율의 변화를 보고자 한다. 이때 m 의 값은 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0의 값을 고려한다.

5.3 토질관련 입력자료 산정

본 연구에서는 토질의 종류에 따라서 포함된 흙의 종류를 바탕으로 결정하였다(표 6). 미사질식양토인 경우에는 모래 10%, 실트 55%, 점토 35%로 구성되어있고, 각각의 모래, 실트, 점토의 점착력이 0, 1, 1.7ton/m²이므로, 계산된 점착력은 1.145ton/m²으로 계산되었다.

토질의 단위중량도 비슷한 방법으로 계산되었다. 미사질식양토인 경우, 구성하는 토질의 함유율에 의하여, 각각의 단위중량이 모래 2.0, 실트 1.7, 점토 1.7ton/m³이므로 계산된 미사질식양토의 단위중량은 1.73ton/m³이 되었다.

내부 마찰각은 미국농무성 (USDA : U. S. Department of Agriculture)에 의해서 개발된 토질 내부마찰각 분류 표에 의거하여 결정하였다.

5.4 초기사면모델을 통한 안전율 계산

$$F_s = \frac{Cr + Cs + \cos^2 \theta (\rho_g g - m) D \tan \phi}{D \rho_g \sin \theta \cos \theta} \quad (5.1)$$

$\rho_g g$ 는 흙의 단위중량을, D 는 토양의 유효토심을 의미한다.

앞서 준비한 입력 자료를 이용해 위 식을 가지고 각각의 m 에 대한 안전율을 계산한다. 이때 사면의 경사도에 따른 값은 DEM에서 추출한 경사도를 이용하여 계산한다. DEM자료가 30m의 격자구조이나 토질 및 임상도 자료가 10m 격자구조의 자료로써 경사도를 10m 격자구조로 Nearest Neighbor법을 이용하여 Resampling하였다.

6. 결과 및 고찰

본 연구에서 m 의 변화에 따른 강릉시의 사면 안전율을 계산한 결과는 그림 9와 같다.

m 값이 0일 때와 0.2일 때는 대부분의 지역이 안전한 것으로 보이나 0.4일 때 서쪽 급경사지역에서 불안정한 지역이 발생하기 시작하였고 남서쪽과 남쪽지역은 불안정지역이 확대되는 모습을 보이고 있다. 0.6인 경우에 불안정한 지역이 급격히 증가했으며, 0.8이상인 됴에 따라 강릉시의 북서쪽부터 남서쪽까지 대부분이 안전율 1 이하로 떨어졌고, 강릉 남쪽지역도 급경사 지역은 대부분이 1이하를 기록하였다. 이러한 지하수위의 변화에 따른 안전율을 본다면 m 이 0.4에서 0.6으로 변화할 때 가장 급격한 안전율의 변화를 보이고 있다. 이것은 산사태발

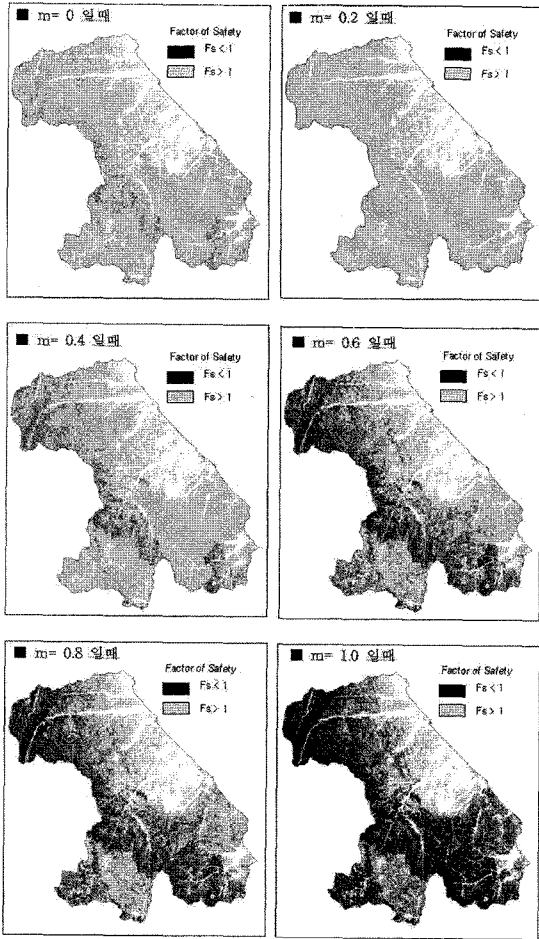


그림 9. m의 변화에 따른 안전율의 변화

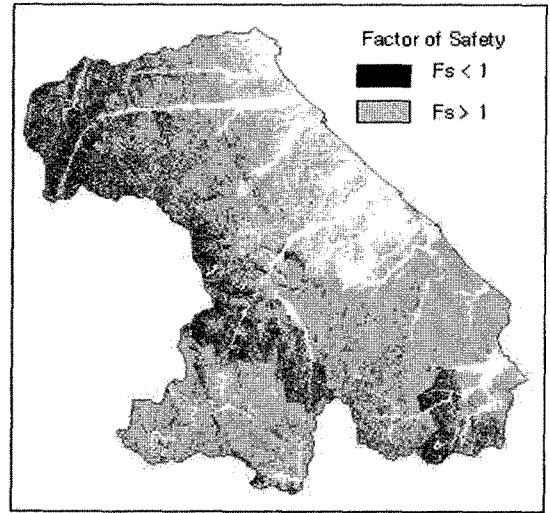


그림 10. m=0.5일때 강릉시의 안전율

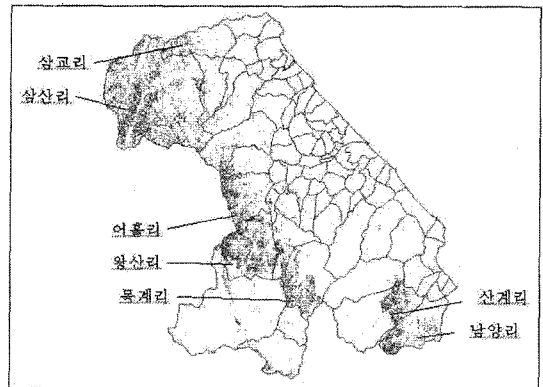


그림 11. 산사태 위험 지역

생에 대한 방아쇠가 되는 m값이 이 범위 안에 존재한다고 생각되어진다.

실제로 m=0.5에서 그림 10과 같이 m=0.6과 비슷할 정도의 불안전지역을 나타내고 있다. 따라서 지하수위가 유효토심의 40~60%에 도달하는 순간 태백산맥주변의 사면은 산사태가 일어날 위험성이 매우 높다고 보여 진다.

그림 11과 같이 산사태가 발생할 위험이 높은 지역으로써 북서지역으로는 삼산리, 삼교리가 남서쪽으로는 왕산리, 목계리, 어흘리가 남부는 산계리, 남양리가 산사태의 위험이 높은 것으로 나타났다.

7. 결 론

본 연구에서 강원도 강릉시를 대상으로 산사태 위험도를 작성하여 지하수위의 변화에 따른 산사태 발생지역을

도출하였다. 그리고 각 인자와 산사태 발생지와의 관련성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 경사가 급할수록 산사태의 위험이 높다. 경사도와 산사태 발생지를 비교하여 보면 경사가 급한 지역일수록 산사태가 발생한 것을 볼 수 있다. 결국 산사태는 사면의 경사에 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

둘째, 임상에서는 활엽수림지역이 산사태 위험지가 많이 존재한다. 대체적으로 산사태가 발생한 지역은 활엽수인 단풍나무의 인장강도를 사용한 지역과 일치하고 있다. 하지만 활엽수지역이 산사태에 영향을 준다고 하기에는 미흡한 면이 있다고 생각되어진다. 실제 연구지역의 수림이 활엽수가 주종을 이루고 있어 이러한 결과가 나올 수 있기 때문이다.

셋째, 산사태 위험지는 대부분 유효 토심이 낮은 지역에서 발생하고 있다. 유효 토심도에서 보면 토심이 50cm 미만인 지역에서 대다수 산사태가 발생하는 것을 볼 수 있다.

본 연구는 산사태의 위험도를 작성하여 지하수위 변화에 의한 산사태 위험지역을 미리 예측 피해를 최소화하는데 도움이 되고자하였다. 연구의 결과에 의하면 산사태의 위험이 있는 지역은 토층이 얇고 급경사지역에 몰려있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 것을 본다면 산사태의 발생은 도시의 개발, 도로 및 산지개간 등등 인간의 활동에 의한 자연사면을 절·성토하는 과정에서 사면이 변화되어 경사도와 토층의 변화가 발생한다면 산사태의 위험지역은 다시금 변화하게 될 것이다. 결국 이러한 현실로 인하여 산사태는 자연재해보다는 인재에 가까울지 모른다.

이러한 산사태의 위험을 미리 인지하고 예방 및 피해를 최소화하는데 본연구가 도움이 되었으면 한다.

본 연구의 한계 및 향후 연구 과제를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 지하수위의 변화에 관한 가정이다. 산사태의 발생에 지하수위가 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 지하수위의 변화에 영향을 끼치는 것은 위에서 언급했듯이 강우와 토양의 수분이다. 이러한 요소를 연구에 포함시키지 못한 것은 본 연구가 많은 한계성을 지닌다 하겠다.

둘째, 산사태 위험도 제작에 활용한 각 인자들이 갖는 영향을 파악하지 못했다는 점이다. 각 인자들과 산사태 발생지역과의 인과성을 연구 보완이 필요하겠다.

향후의 위와 같은 한계점을 개선 및 보완하고 기초 자료의 수집과 데이터베이스화가 더욱 진행되어진다면, 보다 정밀한 분석이 이루어질 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 강릉시(2002), 강릉시소개/위치 및 자연환경.
2. 김상규(1994), 한국에서 발생하는 지반활동, Proceedings of the

- North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslides and Debris Flows, The Korean Geotechnical Society.
3. 김윤중, 김원영, 유일현, 1992, 광역 지질재해분석(산사태)을 위한 GIS 활용, 대한지질공학회지, 2(2) : 131~140.
 4. 김원영, 이사로, 김경수, 채병근, 1998, 지형특성에 따른 산사태의 유형 및 취약성, 대한지질공학회지, 8(2) : 115~130.
 5. 신승목, 김상규, 장연수, 1993, "용인 안성지구 산사태와 파괴형상에 관한 연구", 대학원연구논집, 동국대학교 대학원, 제23집, pp. 339~313.
 6. 이사로, 1992, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 연세대학교 박사학위 논문.
 7. 이사로, 1998, GIS를 이용한 지질재해 및 위험 데이터베이스 구축, 제8회 GIS WORKSHOP, pp. 337~346.
 8. 이사로, 김윤중, 민경덕, 2000, 산사태 공간 정보시스템 개발 및 산사태 공간 정보의 활용, 한국GIS학회.
 9. 이인모, 1987, 산사태 위험도 추정을 위한 지하수위 변동의 체계론적 수치해석, 대한토질공학회지, 제3권, 제4호, pp. 41~54.
 10. 이인모, 성상규, 임충모, 1991, 뿌리의 강도가 자연사면 안정에 미치는 영향에 관한 실험연구, 한국지반공학회지, 제7권, 제2호, pp. 51~66.
 11. 이인모, 박경호, 임충모, 1992, 산사태 위험도 추정을 위한 간극수압 예측에 관한 연구(I) - 지하수 유입량의 비교 연구 -, 한국지반공학회지, 제8권, 제1호, pp. 81~100.
 12. 이인모, 박경호, 임충모, 1992, 산사태 위험도 추정을 위한 간극수압 예측에 관한 연구(2) - 산사면에서의 지하수위 예측 모델의 개발 -, 한국지반공학회지, 제8권, 제1호, pp. 5~20.
 13. 이인모, 박경호, 서정복, 임충모, 1992, 산사태 위험도 추정을 위한 간극수압 예측에 관한 연구(3) - 모델 매개변수 분석 -, 한국지반공학회지, 제8권, 제4호, pp. 41~49.
 14. 지광훈, 신진수, 박노옥, 2001, 예측비율곡선을 이용한 GIS 기반 산사태 예측 모델의 정량적 비교.
 15. Duncan, J.M., and Wright, S.G., 1980, The Accuracy of Equilibrium Methods of Slope Stability Analysis, Proc. Int. Symp. Landslides, New Delhi.
 16. Gray, D.H., and Al-Refaei, T., 1986, Behavior of fabric versus fiber-reinforced sand, J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 112(8), 804~820.
 17. Heilman, P., 1981, Root penetration of Douglas-Fir Seedlings into compacted soil, Forest sci, 27, 660~666.
 18. Zevenbergen, L.W., and C.R. Thorne, 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 12, pp. 47~56.