

**GIS를 이용한 공간자료 적용 및 무한 사면의 안정성 해석
기법 적용 검증 : 보은지역을 중심으로**
**Application of infinite slope stability analysis method
using GIS technique : case study of boeun area**

이 연 희(Yeon-Hee Lee)	한국시설안전기술공단 기술개발실
정 영 국(Young-Kook Jung)	한국시설안전기술공단 기술개발실
박 혁 진(Hyuck-Jin Park)	한국시설안전기술공단 기술개발실
이 사 로(Sa-Ro Lee)	한국지질자원연구원 국가지질자원정보센터
장 범 수(Buhm-Soo Chang)	한국시설안전기술공단 기술개발실
전 귀 현(Gui-Hyun Juhn)	한국시설안전기술공단 기술개발실

요약

Traditionally, the statistical methods has been used to analyze the relationship between landslide occurrence and related factors(soil depth, soil strength, slope angle, vegetation, etc.) in GIS technique. However, the method have no mechanical meaning. Therefore, the mechanical model is suggested in this research. The method analyzes the mechanical equilibrium of a potential slide block and then calculates a slope safety factor. Since this method is able to consider the balance of forces applied to the slope and is a more reasonable method for an individual site. In this research, the spatial data is obtained, managed and analyzed using GIS technique, and the infinite slope model is used to evaluate factor of safety and analyze the slope stability.

주요어 : 산사태, GIS, 한계평형해석, 사면안정요소

1. 서론

우리나라는 전국토의 70%가 산지로 구성되어있어 국토개발 과정에서 산을 절취하고 땅을 메우는 공사들이 지속되었고, 급격한 도시 팽창으로 인해 산비탈을 깎아 거주지 영역을 넓혀 나갔다. 이러한 결과, 최근들어 자주 발생하는 집중호우로 인해 도심지 곳곳에서는 축대 붕괴사고와 산비탈이 갑작스럽게 붕괴되는 산사태가 빈번하게 발생하고 있다. 최근의 집중호우로 인한 산사태는 특히 1996년, 1998년, 1999년 그리고 2002년도에 다수 발생하였고, 본 연구지역인 보은은 1998년에 집중호우에 의한 대규모의 산사태가

발생하였으며 이로 인한 인명피해도 컸다. 따라서, 과학적인 분석을 통한 산사태의 발생예측 및 위험지역에 대한 사전예측과 이에 대한 적절한 대책으로 피해 정도를 최소화하기 위한 노력이 필요하다. 또한, 지금까지의 산사태 발생에 대한 대책은 발생 이후의 피해 복구에 치중되었으며, 피해지역의 위치, 규모 등의 정보를 얻기 위해서는 많은 시간과 인력, 비용이 필요한 실정이었기에, 과학적 분석을 통한 예측과 적절한 대응의 필요성은 더욱 강조되고 있다. 최근에는 GIS를 이용한 각종 분석 기술들이 연구되고 있다(Gokceoglu and Aksoy 1996; Chung and Fabbri, 1999; Guzzetti and others 1999; Luzi and others, 2000; 이사로, 2000; 이사로와 민경덕, 2000). 그러나 이전의 연구들이 지질 및 지반, 지형특성과 산사태의 발생 여부를 비교하여 통계적으로 처리하였으며 이로써 공간자료와 산사태와의 상관관계를 획득하려는 시도들이 대부분이었다. 그러한 연구들은 산사태 발생과 연관된 공학적인 요인에 대한 고려가 미흡한 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 GIS를 이용하여 산사태의 발생형상을 무한 평면사면으로 고려하여 무한사면에서의 안정해석 기법을 적용하고 검증해 보았다.

2. GIS를 이용한 공간자료 적용 및 무한 사면의 안정성 해석 기법

2.1 무한 사면에서의 안정해석 기법

본 연구에서는 산사태가 발생하는 사면의 안정성을 해석하기 위한 방법으로 활동하는 흙덩이의 깊이가 비교적 얇은 무한사면(infinite slope)을 이용하였다. 무한사면의 안정성 해석은 활동면이 비교적 길다면 활동면의 시점과 종점에서의 단영향은 무시할 수 있으므로 해석방법이 비교적 단순하다. 병진활동을 하는 것으로 가정한 무한사면의 안정해석에서 지하수면은 그림 1에서 보듯이 활동면 위로 mz 되는 위치에서 지표면과 평행하며, 비탈면에 평행한 방향으로 정상 침투가 일어난다고 가정했다. 단위길이의 폭을 가지는 한 방향을 고려하고 이 절편의 연직면에 작용하는 횡방향력을 무시하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N = W \cos i = [(1 - m)\gamma_t + m\gamma_{sat}]z \cos i$$

$$\sigma = \frac{N}{\sec i} = [(1 - m)\gamma_t + m\gamma_{sat}]z \cos^2 i \quad (1)$$

$$T = W \sin i = [(1 - m)\gamma_t + m\gamma_{sat}]z \sin i$$

$$N = \frac{T}{\sec i} = [(1 - m)\gamma_t + m\gamma_{sat}]z \sin i \cos i \quad (2)$$

유선망으로부터

$$u = mz\gamma_w \cos^2 i \quad (3)$$

Mohr - Coulomb식을 이용하여 전단강도에 대한 안전율을 구하면 다음과 같다.

$$F_s = \frac{s}{\tau} = \frac{c' + (\sigma - u) \tan \phi'}{\tau} \quad (4)$$

식 (1), (2), (3)에서 구한 σ, τ, u 를 식 (4)에 대입하여 무한사면의 활동에 대한 안전율을 계산할 수 있다. 만일 $c' = 0$ 이고 지하수위가 활동과괴면 아래에 있다면 $m = 0, u = 0$ 이므로 윗 식은 다음과 같이 간단해진다.

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan i} \quad (5)$$

이 식을 보면, 지하수위가 지표면에서 상당히 깊게 있는 사질토의 무한사면에 있어서는 ϕ 가 i 보다 크면 그 비탈의 안정이 유지된다는 것을 알 수 있다.

만일 지하수위가 지표면과 일치하고 (즉 $m = 1$) $c' = 0$ 이라면 이 경우에 대한 안전율은 다음과 같다.

$$(6)$$

식(5)와 식(6)에서 F_s 을 대략 1/2로 가정하면, 지하수위가 지표면과 일치할 때에는 지하수위가 파괴면내에 없을 때보다 안전율은 대략 반으로 감소한다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우에 비탈이 안정할 수 있는 경사각은 침투가 없을 때에 비해 약 1/2밖에 되지 않는다. $c' > 0$ 일 때에는 안전율은 활동면까지의 깊이 z 에 의존하며 비탈의 경사각 i 가 ϕ' 보다 큰 경우라 하더라도 안정을 유지할 수 있다.

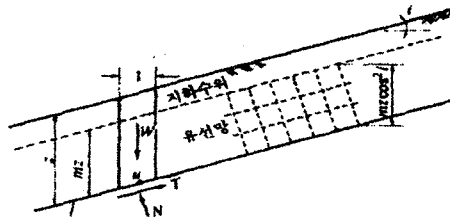
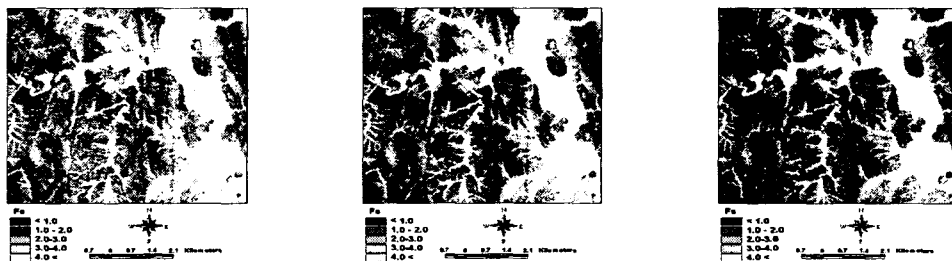


Fig 1. Infinite slope activity

2.2공간자료 및 GIS를 이용한 분석 기법

연구대상 지역은 지리좌표상으로 동경 127도 39분 36초~127도 45분 00초, 북위 36도 25분 21초~36도 30분 00초에 해당하는 충청북도 보은군으로 1998년 여름철 집중호우시 많은 산사태가 발생했던 지역이다. 공간 자료를 수집하고 분석하기 위해 먼저 연구지역에 대한 항공사진과 GPS를 이용한 현장조사를 통해 산사태 발생위치를 파악, 기록하여 데이터베이스로 구축하였다. 해당지역에 대한 1:5,000 지형도, 1:25,000 정밀토양도, 1:25,000 임상도, 1:50,000 지질도를 GIS 프로그램을 이용하여 ARC/INFO 커버리지 형태의 공간 데이터베이스로 구축하였다. 이렇게 수집하고 분석된 공간자료에 한계평형식 등을 이용한 무한 사면에서의 안정해석 기법을 적용하고 검증하였다. 산사태 위험도 분석을 위하여 공간자료를 수집하였으며 D/B를 작성하여 필요한 요소를 추출하였다. 산사태 발생지역의 위치는 1996년과 1999년에 연구지역을 대상으로 촬영한 1:20,000축척의 항공사진을 비교 분석하고 실제 현장조사를 통해 확인하였다. 최근 발생한 산사태는 항공사진을 통해 녹지 손상, landslide scar, 토양 노출등과 같은 지형학적인 특성이 확인 가능했다. 공간자료는 1:5,000 축척의 지형도, 1:25,000 축척의 토양도, 1:50,000 축척의 지질도를 사용하였다. 지형도로부터 고도, 경사, 경사방향을 획득하고, 토양도로부터 soil texture, 토질, 유효심도 등을 획득하였고, 구성 암반에 관련자료는 지질도로부터 획득하였다. 그리고 안전을 해석에 필요한 파라미터는 기존의 연구자료를 이용하여 통일분류에 따른 단위체적중량, 내부마찰각, 점착력 등을 추정하였다. 이렇게 추정된 통일분류법을 본 연구지역에 대한 개략 토양도에 적용하여 연구지역에 대한 단위체적중량, 내부마찰각, 점착력 등을 추정하였으며 이를 이용하였다. 경사도와 유효토심을 이용하여 추정한 토양 두께를 함께 이용하여 무한사면에 대한 안전을 값을 계산하였다. 이런 공간자료를 이용하여 무한사면에서의 안정해석 기법을 보은 지역에 적용하고 검증하였다. 보은 지역의 안전을 분포도는 $m = 0$ 인 경우(건조한 경우), $m = 0.5$ 인 경우(집중호우로 인해 지하수위가 올라온 경우), $m = 1$ 인 경우(포화된 경우)를 가정하여 각각 세 가지 경우에 대한 안전율도를 작성하였다(그림 2). 이를 기존의 산사태 자료를 이용하여 검증한 결과는 그림 3과 같다.

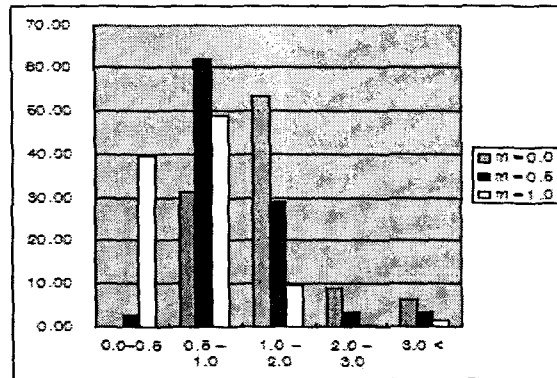


(a) $m = 0$

(b) $m = 0.5$

(c) $m = 1$

Fig 2. Slope safety factor distribution chart : Boeun area



안전율	m = 0.0인 경우	m = 0.5인 경우	m = 1.0인 경우
	산사태 발생 개수 비율(%)	산사태 발생 개수 비율(%)	산사태 발생 개수 비율(%)
0.0 - 0.5	0.00	2.30	39.39
0.5 - 1.0	31.46	61.89	49.10
1.0 - 2.0	53.45	29.16	9.46
2.0 - 3.0	8.95	3.33	0.52
3.0 <	6.14	3.32	1.53

Fig 3. Landslide occurrence ratio & verification for slope safety factor distribution chart
: Boeun area

3. 결론

본 연구에서는 한계 평형식과 GIS를 이용한 공간자료 적용분석기법을 이용하여 무한사면에서의 안정해석기법을 보은 지역을 대상으로 적용하여 안전율을 계산하였다. 그림 2에서 점으로 표시된 위치가 실제 산사태가 발생한 것으로 확인된 지점으로 산사태가 발생한 지점과 그 지점에서 무한 사면을 이용하여 획득한 안전율을 비교해 보았다. 표 3에서 보인바와 같이 지하수위가 고려되지 않은 상태에서 안전율이 0~0.5 정도로 계산된 지역내에서는 실제 산사태가 전혀 발생하지 않았다. 반면, 지하수위를 사면의 높이와 동일하게 설정하여 포화된 것으로 고려한 경우 안전율이 0~0.5로 계산된 지역에서 실제 산사태가 발생한 경우는 39.4%에 달하고 있다. 계산 결과, m = 0인 경우 즉 건조한 경우이면서 안전율이 1이하 일때 산사태 발생 개수 비율이 31.46%, m = 0.5인 경우 즉 집중호우로 인해 지하수위가 올라온 경우이면서 안전율이 1이하 일때 산사태 발생 개수 비율이 64.19%, m = 1인 경우 즉 토양이 포화된 상태로서 안전율이 1이하 일때 산사태 발생 개수 비율이 87.49%로 나타났다. 즉, 보은지역의 산사태가 집중호우에 의해 발생한 상황임을 감안해 보면 토양이 포화된 상태인 m=1인 경우, 본 연구에 의해 제안된 무한

사면 모델과 GIS 기법을 이용한 공간자료 추출 기법이 산사태 예측에 있어 활용 가능성을 보이고 있다.

참고문헌

1. 이사로, 2000, “지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구”, 연세대학교 박사학위 논문, 163p
2. 이사로, 민경덕, 2000, “공간 데이터베이스를 이용한 1991년 용인지역 산사태 분석”, 대한자원환경지질학회지, 제 33권 제 4호, pp.321-332
3. 이승래, 이성진, 변위용, 장범수, 2001, “화강풍화토 지반의 불포화 특성을 고려한 최적화 기법에 의한 사면안정해석 방법”, 한국지반공학회논문집, 제 17권, 제 6호, pp.123-133
4. 장범수, 박혁진, 이사로, 최재원, 2002, “지형정보 시스템 및 베이지안 확률기법을 이용한 보은 지역의 산사태 취약성도 작성”, 2002년 사면안정 학술발표회, pp.27-35
5. Chung, F. C. and Fabbri A. G., 1999, “Probability prediction models for landslide hazard mapping”, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 65(12), pp.1389-1399
6. Gokceoglu C, Aksoy H, 1996, “Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques”, Engineering Geology, 44, pp.147-161
7. Guzzetti F, Carrarra A, Cardinali M, Reichenbach P, 1999, “Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy”, Geomorphology, 31, pp.181-216
8. Luzi L, Floriana P, 1996, “Application of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (a:50,000 Fabriano geological map sheet)”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 15, pp.83-94.