

## 암종에 따른 산사태 특성 연구

이수곤

박대철

서울시립대학교 토목공학과

서울시립대학교 토목공학과

### 1. 서 론

우리나라는 지형 및 지질구조 특성상 급경사면이 많으며 토층이 수(m) 이내로 얕게 분포하고 그 아래에는 암이 존재하는 경우가 대부분이기 때문에 산사태가 많이 발생할 내적 요인을 가지고 있다. 여기에 부가하여 우리나라 산사태를 직접 유발시키는 가장 큰 외적 요인으로 강우를 들 수 있다. 즉 우리나라의 연평균 강우량은 약 1,100~1,400mm로서 이 중 대부분이 6월에서 9월 사이의 우기에 집중적으로 내리기 때문에 매년 많은 산사태가 이 시기에 발생하고 있다. 이러한 우리나라의 지형 및 지질구조상의 특성과 강우특성으로 최근 10년간 산사태 재해로 인해 261명의 인명피해와 연평균 6천억 원의 재산피해가 발생하며 피해규모가 급격히 증가하는 추세이다.

강우가 산사태를 일으키는 핵심 요인인지만, 같은 강우조건 하에서도 산사태가 발생하는 지역과 그렇지 않은 지역이 있는데, 이는 강우 외적인 물리/화학적 특성이 지역마다 상이하기 때문이다. 따라서 정확한 산사태 원인을 파악하기 위해서는 강우 조건 이외에 지형, 지질 등의 특성을 이해하고 이들이 미치는 영향을 분석해야 가능하다.

따라서 본 연구에서는 산사태 발생지역에 대한 조사와 더불어 산사태 발생 후의 붕괴된 양상을 파악하고 전단강도 특성을 이용하여 붕괴된 산사태의 안전율을 추정하여 암반의 종류에 따른 산사태의 발생특성을 분석하는 것이 본 논문의 목적이다.

### 2. 산사태 지역의 조사 내용

#### 2.1. 조사 지역

산사태 발생의 간접적인 요인으로 가장 영향을 많이 주는 인자가 지형과 지질의 특성이다. 지형은 지표수와 지중수의 행태에 큰 영향을 주기 때문에 표면침식과 산사태 발생에 가장 중요한 요인이다. 검토대상지역이 넓을 때와 한 지점을 대상으로 할 때는 고려하는 지형조건이 다르다. 지역이 대상일 때는 지반고, 계곡의 깊이, 사면의 경사, 벼랑의 존재, 계곡간 표고차 등이 주 고려 대상이고 지점이 대상일 때에는 경사, 사면길이, 사면의 종·횡단면형상, 경사변환대, 방위 등이 고려사항이 된다. 지형과 아울러 수리(배수)조건이 산사태 발생에 중요한 역할을 한다. 수계, 수로밀도, 하천경사, 계안침식, 침투수 집중, 물웅덩이, 새 절개지, 간극수압 등이 고려사항이다.

지질조건은 모암의 종류와 상태로서 절리와 불연속면의 밀도, 크기, 채움재, 주향과 경사각의 사면경사와 이루는 각, 그리고 인장균열, 풍화도 등이 모암에 대한 검토사항이 된다. 모암에 따른 산사태 발생빈도가 높은 순서대로 화강편마암, 점판암 및 사질암, 천매암, 석회암의 순서로 산사태 위험도 판정에 이용되고 있다.

본 논문은 이러한 사항들을 고려하여 조사지역을 선정하였다. 조사지역으로는 지난 2001년 집

중호우에 의해 산사태가 발생했던 강원도 홍천군 두촌면 일대와 2002년 태풍 '루사'에 의해 산사태가 집중적으로 발생한 강원도 강릉시, 동해시, 및 경상남도 함양군 마천면 일대, 그리고 경상남도 포항시로 선정하였고 2003년 태풍 '매미'에 의해 발생한 강원도 강릉시, 삼척시와 경상남도의 거창군과 합천군을 선정하였다.

### 3. 조사결과 및 고찰

#### 3.1. 산사태발생 지점의 지형

표 1. 암종별 산사태발생 지점의 지형 평균

구분	붕괴전 경사(°)	붕괴 후 경사(°)	붕괴시작점 (m)	붕괴 길이 (m)	붕괴폭(m)	붕괴 깊이 (m)
화성암	43	41	7	29	8	0.8
변성암	39	36	8	41	12	1.1
퇴적암	35	32	7	13	8	0.9

### 4. 전단강도 특성을 이용한 안전율 평가

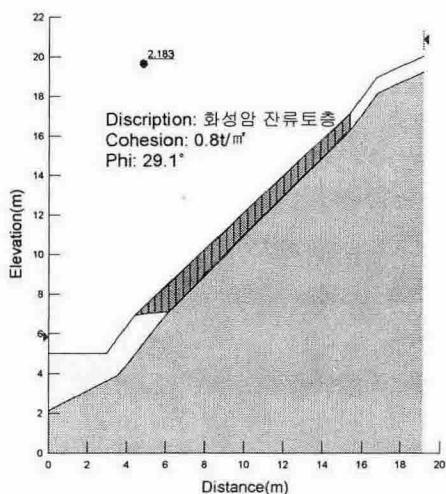


그림 1. 토층만 있는 경우

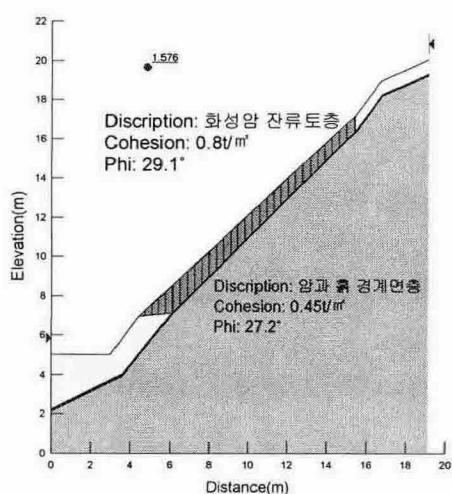


그림 2. 토층과 경계면층이 둘다 있는 경우

이미 붕괴가 일어난 산사태에 대해 전단강도와 지하수위에 따른 안정성을 분석해 보기 위해 조사한 산사태 발생지점의 지형 및 붕괴특성과 기존 연구에 의한 전단강도 특성을 토대로 위의 그림과 같이 두 가지 방법으로 안전율을 평가해 보았다. 그림 2에서 경계면 층은 전체 자연사면의 굴곡을 고려하여 10cm의 층으로 만들었다. 사면안정해석 프로그램인 SLOPE/W를 사용하여 건기시와 우기시로 나누어 안전율을 평가하였고 해석법은 JANBU법을 이용하였다(선건규, 2004). 표 2는 경계면 여부에 따른 안전율 비교표이다.

표 2. 암종별 전단강도에 따른 안전율 비교

구 분		토층만 있는 경우의 안전율		토층과 경계면 층이 둘 다 있는 경우의 안전율	
		건기시	우기시	건기시	우기시
화성암	1	2.668	1.249	1.819	0.738
	2	1.581	0.561	1.259	0.424
	3	1.942	0.912	1.364	0.484
	4	2.278	0.993	1.599	0.633
변성암	1	2.155	1.639	1.219	0.754
	2	3.649	1.256	2.500	0.635
	3	1.794	1.254	1.186	0.703
	4	3.392	1.170	2.398	0.625
퇴적암	1	4.125	1.366	2.081	0.681
	2	6.360	1.483	3.524	0.744
	3	5.489	1.317	3.260	0.743
	4	5.982	1.510	3.516	0.766

안전율 평가를 위해 지하수위는 가장 극단적인 경우 즉 건기시와 우기시로 나누어 평가하였는데, 위의 표에서 알 수 있듯이 토층과 경계면 층이 둘 다 있는 경우는 우기시 산사태가 모두 안전율이 1보다 낮게 나타났다. 이것은 실제로 붕괴가 일어날 당시의 지하수위는 우기시보다는 낮은 수위였다는 것을 추측하게 한다. 따라서 다음절에서는 실제로 붕괴가 일어날 당시의 지하수위를 역해석을 통하여 추정해 보겠다.

#### 4.1. 역해석을 이용한 붕괴시의 지하수위 추정

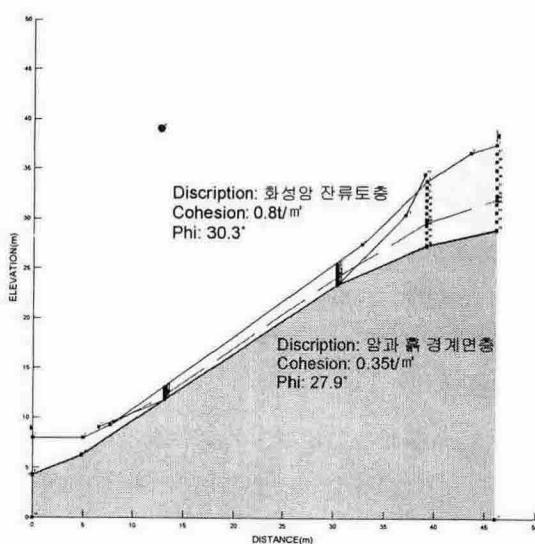


그림 3. 역해석을 이용해 지하수위 산정을 하기 위한 SLOPE-W 단면도

앞에서 살펴본 바와 같이 붕괴가 일어날 당시의 지하수위는 분명히 우기시 보다는 낮았을 것이라고 추정해 볼 수 있다. 따라서 실제로 붕괴가 일어날 당시의 지하수위를 알기 위해서 그림 3에서 보는 바와 같이 암반 위의 토층 두께를 10등분하여 이 좌표를 토대로 지하수위를 아래로부터 한단계식(10%) 올려가며 붕괴가 일어날 당시 즉 안전율 1일 때의 지하수위를 역해석 해 보았다. 그리고 안전율이 1에 가까워지는 지하수위 좌표사이를 다시 10등분하여 더 정밀하게 안전율 1이 되도록 Trial and Error Method로 지하수위를 역해석 하였다.

#### 4.2. 역해석을 통해 추정된 지하수위 결과 정리

역해석을 통해 붕괴가 일어날 당시 즉 안전율 1일 때의 암종별 지하수위를 정리해보면 표 3과 같다.

표 3. 역해석을 이용한 안전율 1일 때의 암종별 지하수위(%)

암석의 종류	1	2	3	4
화성암	39	39	25	36
변성암	44	20	36	20
퇴적암	35	40	44	49

위의 표에서 알 수 있듯이 역해석을 통해 추정한 붕괴시 지하수위는 화성암지역은 암반층 위로부터 토층의 25%~39%, 변성암지역은 20%~44%, 퇴적암지역은 35%~49%로 나타났다. 이렇게 암종별로 역해석 수행시 지하수위의 차이가 나는 이유를 정밀 분석한 결과 암종별로 원사면 경사가 자연사면의 접수능력에 영향을 주었기 때문이었다. 표 1에서 살펴본 바와 같이 암종별로 원사면 경사를 살펴보면 화성암지역은 원사면 경사가 43°, 변성암지역은 39°, 퇴적암지역은 35°였다. 이렇듯 원사면 경사가 높을수록 산사태 붕괴시의 지하수위는 낮고, 경사가 낮을수록 지하수위는 높게 나타났다.

#### 5. 결 론

산사태가 발생한 지점의 특성을 암종에 따라서 여러 요소를 분석한 결과 다음과 같은 결과가 도출되었다.

1. 조사한 지역의 산사태가 일어난 사면들의 공통적인 특성으로는, 풍화토가 1m 이내로 얇은 층을 이루고 그 하부로 풍화암에서 연암층의 기반암이 나타났다. 이것으로 조사한 산사태지역의 대부분이 암과 흙의 경계면에서 일어난다는 것을 추정해 볼 수 있다.

2. 조사한 271개의 산사태에 대한 원사면의 지형특성과 붕괴특성을 암종별로 살펴보았는데 원사면 경사는 화성암(43°), 변성암(39°), 퇴적암(35°)의 순으로 경사가 높게 나왔고, 붕괴 후의 사면의 경사는 마찬가지로 화성암(41°), 변성암(35°), 퇴적암(33°)순이다. 화성암과 퇴적암은 2°의 차이를 보이나 변성암은 4°의 차이를 보인다. 붕괴 길이는 거의 모든 지역이 40m이내이며, 변성암은 70m이상의 붕괴 길이를 차지하는 비율이 20%이상이었다. 이것은 변성암이 붕괴의 시작은 산능선

부분에서 시작되나 붕괴 후에 계곡으로 붕괴가 이루어지기에 더 길게 측정되었던 것으로 판단된다. 붕괴 폭은 전체조사지역의 73%가 10m이내였다. 붕괴 깊이는 세 지역의 암종이 1.5m이하로 모두 낮은 편으로서 풍화심도가 다 낮기 때문인 것으로 판단된다.

3. 산사태사면에 대한 안전율을 추정해 본 결과 경계면 층이 있는 경우에는 조사한 모든 암종의 안전율이 1보다 작게 나타났다. 암종별로 역해석을 통하여 안전율 1일 때의 지하수위를 구한 결과는 화성암은 전체 토층의 25%-39%, 변성암은 20%-44%, 퇴적암은 35%-49%였다. 이렇게 지하수위의 차이가 나는 이유는 암종별로 측정되어진 경사가 자연사면의 집수능력에 영향을 주었기 때문에 경사가 높을수록 산사태 붕괴시의 지하수위는 낮고, 경사가 높을수록 지하수위는 높게 나타났다.

### 참고문헌

- 김원영, 2001, 토석류 산사태의 발생원인과 예측, 방재연구, 제3권, 제4호, 4-14.
- 박지호, 2003, 폭우시 산사태 특성에 관한 연구, 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위 논문.
- 산림청, 1993, 산사태 위험지 조사판정 요령
- 선건규, 2004, 암과 흙 경계면에서의 전단강도를 이용한 산사태 특성 연구, 서울시립대학교 일반대학원 석사학위 논문
- 이수곤, 2002, 태풍 루사에 의한 피해현황 및 대책방안(산사태), 대한토목학회지, Vol 40 No 10, 48 p.
- 최경, 1989, 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구, 강원대학교 박사학위 논문
- Broms. B.B, 1975, Landslide, Chapter 11 of Foundation Engineering Handbook, edited by Winterkorn and Fang, 373~401.
- Lumb, P, 1975, Slope failure in Hong Kong, Quarterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.8, 31~65.