

폭우시 산사태 특성에 관한 연구 (암종에 따른 특성 연구)

A study on the characteristics of landslide in heavy rainfall (a study by rock types)

이수곤¹⁾, Su-Gon Lee, 박지호²⁾, Ji-Ho Park, 선건규³⁾, Gun-Kyu Sun

¹⁾ 서울시립대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

²⁾ 서울시립대학교 토목공학과 석사과정, Master Course, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

³⁾ 서울시립대학교 토목공학과 석사과정, Master Course, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

SYNOPSIS : Landslide is a natural disaster frequently noticed in Korea during monsoon season in inflicting nationwide damages on human lives, properties, transportation networks, construction sites, etc. This study is about landslide characteristic in rainfall. This study selects seven sites that occurred in 2001 and 2002. So select areas divide and studied special quality by carcinoma by igneous rock, metamorphic rock, sedimentary rock. According to study finding, because igneous rock area is very thin into 1m interior and exterior soil layer, failures happened much rock and soil interface. There was place that depth of soil layer becomes about 2~3m being area that receive serious weathering case of metamorphic rock. Therefore, at collapse much debris flow occurrence expect. Case that sedimentary rock area is broken through stratification looked. When see such results, it may become many helps to study characteristics of landslide occurrence area grasping collapse special quality by rock type.

Key word : rock and soil interface, soil layer, serious weathering, stratification

1. 서 론

우리나라는 지형 및 지질 구조 급경사면이 많으며 토층이 수(m) 이내로 얇게 분포하고 그 아래에는 암이 존재하는 경우가 대부분이기 때문에 산사태가 많이 발생할 내적요인을 가지고 있다. 여기에 부가하여 산사태를 직접 유발시키는 가장 큰 외적 요인으로 강우를 들수있는데, 우리나라는 년평균 강우량이 약 1,100~1,400mm로서 이중 대부분이 6월에서 9월 사이의 우기에 집중적으로 내리기 때문에 매년 많은 산사태가 이시기에 발생하고, 이로인해 많은 인명피해와 재산피해가 일어나고 있다. 따라서 본 연구에서는 암반의 종류에 따른 산사태의 발생특성을 분석하고, 산사태 발생지역에 대한 조사와 더불어 산사태 발생 후의 붕괴된 양상을 파악하는 것이 본 논문의 목적 이다.

2. 산사태지역 조사내용

2.1 연구방법

본 연구지역에서 조사된 붕괴발생특성과 붕괴특성을 분석하는 방법은 다음과 같다.

첫째, 2002년 발생한 산사태 붕괴 지역에 대한 정밀지질조사를 토대로 그 지역의 강우량, 지질, 지형 등을 조사하여 사면의 특성을 분석한다. 둘째, 산사태 붕괴 후의 파괴면의 길이, 폭, 깊이, 경사, 높이 등과 같은 붕괴형태 등을 조사하여 붕괴특성을 파악한다. 셋째, 붕괴 이전의 암석의 종류별 붕괴특성과 붕괴 후의 특성을 비교·분석함으로써 전반적인 암석의 종류별 산사태 특성을 파악한다.

2.2 조사지역

조사지역으로는 지난 2001년 집중호우에 의해 산사태가 발생했던 강원도 홍천군 두촌면 일대와 2002년 태풍 루사에 의해 산사태가 집중적으로 발생한 강원도 강릉시, 동해시, 및 경상남도 함양군 마천면 일대, 그리고 경상남도 포항시로 선정하였다. <표 1>은 산사태 조사지역에서 조사한 산사태 개소수이다.

<표 1> 조사지역에서 조사한 산사태 개소수

조 사 지 역		2001	2002	합 계	산사태 발생시기
화성암지역	홍 천	36	-	36	2001. 7. 23
	강 룡	-	46	46	2002. 9. 1
	동 해	-	46	46	2002. 9. 1
	김 천	-	25	25	2002. 9. 1
변성암지역	함 양	-	26	26	2002. 9. 1
퇴적암지역	포 항	-	2	2	2002. 9. 1
	합 천	-	19	19	2002. 9. 1
합 계		36	164	200	-

3. 우리나라 산사태 현황분석

3.1 산사태의 정의

사면은 자연사면과 인공사면의 두 종류로 구분된다. 또한 사면이 붕괴되어 재해가 발생되었을 경우도 산사태(Landslide)와 사면파괴(Slope failure)의 두 가지로 구분된다. 즉 자연사면의 발생된 경사면 붕괴 현상을 산사태라 하고 인공사면에 발생된 경사면 붕괴현상을 사면파괴라고 통상적으로 부른다.

3.2 우리나라 산사태의 특성

우리나라와 같이 산지가 많은 나라일수록 토석류 산사태의 피해가 크다. 토석류는 산의 소 계곡을 따라 흘러내리는 양상을 띠는 반면, 이것을 발생시키는 메카니즘은 산능선 부근에 분포하는 얇은 토양층의 미끄러짐(slip) 현상이다. 그러므로 토석류의 규모도 slip의 빈도수와 규모에 의하여 좌우된다. 대부분의 slip은 길이가 20~30m이고, 폭도 10 m 미만의 소규모이나 이들이 토석류로 변하여 사태를 일으킬 때는 가공할 위험이 따른다. 그러므로 산사태를 이해하기 위해서는 우선 이들 미끄러짐의 원인과 특징을 이해하지 않으면 안된다. 이와 같은 미끄러짐은 산사태 분류상 전이형 슬라이드(translational slide)에 속하며, 모암 상부의 토양층을 얇게 삭박하는 경우가 대부분으로 이들은 거의 7-8월에 내리는 호우에 기인한다.

3.3 강우와 산사태의 관계

1996년부터 1998년까지 3년 간 경기도 일대에서 조사한 통계자료에 의하면, 산사태는 2일간 200mm 이상의 집중강우가 있을 때 발생한 것으로 확인되었는데, 이는 기반암 상부를 피복하고 있는 풍화 잔류토나 기타 퇴적물들이 200mm 정도의 집중강우에 의하여 포화상태에 이르는 것으로 판단할 수 있다.

Olivier (1994)는 2일간의 집중강우량과 연 강우량의 비율인 집중강우지수(event coefficient)가 0.2 이상일 경우에 산사태가 발생한다고 보고한 바 있는데, 우리나라의 연평균 강우량을 1,200mm 로 계산할 경우 240mm 이상일 경우 집중강우지수가 0.2를 상회하게된다. 이 값을 고려할 경우 우리나라에서 발생한 산사태들은 Olivier의 강우지수와 유사한 값을 갖는 강우 조건을 충족하고 있음을 알 수 있다.

또한 연속강우량이 200mm 이상이거나 10mm 이상의 평균 시강우량으로 24시간 이상 연속해서 비가 올때나 작은양의 강우라도 연속적으로 내려서 연속강우량이 200mm 이상이 되는경우 산사태가 발생하는 것으로 나타났다.

4. 조사결과 및 고찰

4.1 산사태 발생전과 발생후 형태

4.1.1 사면의 경사

<표 2> 산사태 발생전 사면의 경사 평균

지역	화성암지역				변성암지역	퇴적암지역		평균
	홍천	강릉	동해	김천	함양	포항	합천	
사면의 경사(°)	42	43	41	44	36	33	34	39

<표 3> 산사태 발생후 사면의 붕괴경사 평균

지역	화성암지역				변성암지역	퇴적암지역		평균
	홍천	강릉	동해	김천	함양	포항	합천	
붕괴경사(°)	43	47	42	44	38	33	32	34

<표 2>와 <표 3>에서 보이는 것처럼 산사태 발생전의 변성암과 퇴적암지역의 사면의 경사가 화성암지역보다 낮다는 것을 알 수 있다. 붕괴후 사면의 평균경사는 화성암은 원경사와 비슷하고 변성암은 경사가 증가하고 퇴적암은 약간 줄어드는 특징을 가지고 있다. 화성암의 경우는 풍화도층이 얇기 때문에 원사면의 경사와 붕괴후의 경사가 거의 비슷하게 나타났고, 변성암의 경우는 풍화도층의 깊이가 깊기 때문에 붕괴후에 경사가 커지는 것이다. 퇴적암의 경우는 파괴되는 면이 층리를 따라서 나는 경우도있기 때문에 층리의 경사에 영향을 받게 된다.

4.1.2 사면의 길이

<표 4> 산사태 발생전 사면의 길이 평균

지역	화성암지역				변성암지역	퇴적암지역		평균
	홍천	강릉	동해	김천	함양	포항	합천	
사면의 길이(m)	28	34	25	22	71	18	13	30

<표 5> 산사태 발생후 사면의 붕괴길이 평균

지역	화성암지역				변성암지역	퇴적암지역		평균
	홍천	강릉	동해	김천	함양	포항	합천	
붕괴길이 (m)	26	22	19	17	55	11	13	23

<표 4>와 <표 5>에서 보듯이 평균 붕괴길이는 화성암지역이 21m, 변성암 55m, 퇴적암 12m 이다. 이로써 변성암은 대부분 붕괴길이가 긴 큰 파괴가 일어났다는 것을 알 수 있다. 또한 화성암지역은 좌우에서 전이형 슬라이드가 발생해서 계곡으로 토석류가 합류하는 형태를 보이기 때문에 붕괴길이가 변성암에 비해 작다.

4.1.3 사면의 붕괴 시작점의 위치

<표 6> 사면의 붕괴 시작점 평균

지역	화성암지역				변성암지역	퇴적암지역		평균
	홍천	강릉	동해	김천	함양	포항	합천	
붕괴시작점 (부/10)	8	8	7	7	8	8	6	7.5

<표 6>에서 알수 있듯이 붕괴의 시작점은 대부분 6부능선 이상에서 발생함을 알 수 있다. 퇴적암 지역은 5부능선 이하에서도 상당히 많은 파괴가 일어나기 때문에 다른두지역에 비해서 붕괴량이 상당히 적은편이고 붕괴길어도 짧다.

4.1.4 사면의 붕괴폭

<표 7> 산사태 발생후 사면의 붕괴폭 평균

지역	화성암지역				변성암지역	퇴적암지역		평균
	홍천	강릉	동해	김천	함양	포항	합천	
붕괴폭 (m)	9	7	6	6	13	4	8	8

<표 7>에서 알수 있듯이 변성암 지역의 붕괴폭이 다른 두 지역에 비해서 2배정도 크다.

4.1.5 사면의 붕괴깊이

<표 8> 산사태 발생후 사면의 붕괴깊이 평균

지역	화성암지역				변성암지역	퇴적암지역		평균
	홍천	강릉	동해	김천	함양	포항	합천	
붕괴깊이 (m)	0.8	0.9	0.9	0.8	1.9	0.7	1.1	1.0

<표 8>과같이 결과가 나온 것은 화성암과 퇴적암은 토층의 깊이가 1m내외로 낮기 때문이고 변성암 지역은 다른 두 지역에 비해 풍화토층의 깊이가 깊기 때문에 붕괴깊이 또한 깊게 나타나는 것이다.

4.2 조사지역 강우특성

<표 9> 조사지역 강우량

조사지역	홍천	동해	강릉	김천	함양	포항	합천
연속강우량(mm)	310	334	885	282	170.5	113.5	288.5
최대시우량(mm)	109	57	100.5	-	-	-	

<표 9>에서 보듯이 홍천, 동해, 강릉, 김천은 산사태 발생에 최소한의 강우조건 (연속강우량 200mm 이상이며, 시우량 30mm)과 비교해 볼 때 상당히 많은 강우량이 일시에 내렸음을 보여준다. 기타 함양과 포항은 공식적인 자료에 의한 결과가 산사태 발생을 위한 최소한의 강우조건에는 부합하지는 않지만 국지성 집중에 의한 호우도 고려해야 할 것이다.

5. 결 론

우리나라의 지질 및 지형의 특성상 주로 모암이 풍화된 얇은 풍화토층이 집중호우로 인해 붕괴하는 것으로 나타났다. 제한된 자료의 분석에 의하면, 집중호우가 24시간 내에 200mm 이상 오면 산사태가 발생했고, 시우량이 30mm 이상이 되면 산사태가 발생하는 것으로 나타났다.

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

산사태가 일어난 사면의 경사를 보면 화강암지역의 경우는 평균경사가 42.5°, 변성암지역의 경우는 34.5°, 퇴적암지역은 33.5°로 나타났다. 산사태가 발생한 후 경사를보면 변성암지역은 산사태가 발생한 후 경사가 증가 하였고, 화성암지역의 원사면과 비슷한 경사를 유지, 퇴적암의 경우는 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 붕괴규모면에서도 변성암지역이 화성암지역이나 퇴적암지역보다는 월등히 큰 것으로 나타났다. 이것은 변성암지역이 화성암지역보다 풍화토층이 깊기 때문이다. 이러한 결과로 보았을 때 모암의 종류에 따라서 산사태 붕괴 양상이 다르다는 것을 알 수 있다.

현장조사 결과에서 화성암지역과 변성암지역, 그리고 퇴적암의 산사태 붕괴유형의 차이를 보면 화성암지역의 산사태 붕괴유형은 풍화토와 기반암의 접촉면을 따라 발생하는 전이형 슬라이드가 발생하게 되는데, 이렇게 발생한 전이형 슬라이드가 합류해서 많은 양의 토석류를 만들게 된다. 변성암지역의 경우는 계류의 종횡침식에 의하여 발생하는 제안붕괴가 대부분을 차지하였다. 퇴적암지역의 경우는 그렇게

많이 나타나지 않았지만 총리를 따라서 산사태가 일어나는 경우 붕괴규모가 상당히 크게 나타났다.

이와같이 각 기반암의 종류에 따라서 산사태의 발생양상이 틀려지므로 이러한 암종의 구별은 산사태 예지활동 및 판정에 중요한 요소가 될 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

1. 김원영(2001), "토석류 산사태의 발생원인과 예측", 방재연구, 제3권, 제4호. pp. 4~14.
2. 박용원 외 2명(1991), "용인-안성 지역 산사태 연구", 한국지반공학회지, 제9권, 제4호. pp. 103~118.
3. 이수곤(1999), "서울일원의 산사태 위험연구", 대한토목학회지, 제19권, 제4호. pp. 121~126.
4. 이영남(1991), "산사태, 지반공학과 자연재해(Ⅱ)", 대한지질공학회지, 제7권, 제1호. pp. 105~113
5. 최경(1989), "한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구", 강원대학교, 박사학위 논문.
6. 최경(1989), "산사태 예지방법과 예방대책", 임업연구원 연구정보, No.27. pp. 1~3
7. 한국의 지질도(1995), 대한지질학회. pp. 16~17
8. 홍원표(1990), "사면안정(VIII)", 한국지반공학회지, 제6권 제3호. pp. 88~98
9. Broms. B.B.(1975), "Landslide", Chapter 11 of Foundation Engineering Handbook, edited by Winterkorn and Fang, pp. 373~401.
10. Lumb, P.(1975), "Slope failure in Hong Kong", Quarterly Journal of Engineering Geology, London, Vol.8, pp. 31~65.