

퇴적암지역 산사태의 발생특성 분석

Analysis of Landslide Characteristics in Sedimentary Rocks

채 병 곤
김 원 영
김 경 수
조 용 찬

한국지질자원연구원
한국지질자원연구원
한국지질자원연구원
한국지질자원연구원

서 론

산사태는 형태나 생성 메카니즘에 의하여 여러 종류로 분류된다. 이를 형태(type)에 따라서 분류할 때 대체로 낙반(fall), 토폴(topple), 슬라이드(slide), 측면퍼짐(lateral spread), 유동(flow)으로 분류하고(UNESCO Working Party, 1990, EPOCH, 1993), 파괴면의 모양(form)에 의하여 분류할 때는 평면(plannar), 쐐기(wedge), 계단(steped), 원호(circular), 준원호(semi-circular) 등으로 분류할 수 있다. 또한 이들의 생성이 복합적인 작용에 의한 것인가 아닌가에 따라 단일(single) 또는 복합(multiple) 이라는 용어를 사용하기도 한다(Brunsdan, 1985, Hutchinson, 1988).

이 연구에서 언급한 산사태는 형태상 분류에 의하면 slide와 flow에 해당된다. 대부분의 산사태는 시작부(head)에서는 semi-circular 내지 translational slide에 해당하나, 산사태의 중간부와 끝부분(toe)에서는 debris flow로 특징지워진다. Debris flow는 대부분 7, 8월에 집중되는 호우에 기인되는데 우리나라의 연 평균 강수량 1,200mm 중의 절반 이상이 7, 8에 집중되고 최근 3~4년간 경기도 일대에서 측정된 강우자료에 의하면 2~3일간에도 최대 600mm 이상이 기록된 바도 있다(김원영 외, 2000). Olivier(1994)는 24시간 동안의 강우량이 연 평균 강수량의 20%를 초과할 경우 대형 산사태가 일어날 수 있다고 보고한 바 있고, Brand(1984)와 Premchitt(1986)는 짧은 시간에 내리는 집중강우는 지질조건이나 수문지질 조건과 관계없이 대형 산사태를 일으킬 수 있다고 보고한 바 있는데, 이는 집중강우가 지표 물질을 완전히 포화시킬 수 있는 상태의 강우량을 의미한다.

그러나, 집중강우가 산사태의 가장 직접적인 원인이지만 동일강우 지역내에서 지질요소의 특성에 따라 산사태 발생빈도와 양상이 달라진다. 그러므로, 산사태의 특성을 평가하고 발생 예측을 위해서는 지질요소별 특성과악이 중요하다. 이 연구에서는 퇴적암지역에서 발생한 산사태를 대상으로 각 지질요소별로 분석하고, 이를 통해 산사태 발생인자의 특성을 파악하고자 하였다.

연구지역 및 산사태발생현황

1998년 7월 25일-26일 양일간 150.3mm의 집중강우로 인해 다수의 산사태가 발생한 포항 지역을 대상으로 퇴적암지역에서의 총 256개 산사태의 발생인자를 규명해 보았다. 이 지역

은 이암과 셰일로 구성된 제3기 퇴적암과 안산암질 응회암과 조면암질 응회암이 주를 이루는 제3기 화산암이 분포하는 곳으로서, 대부분의 산사태는 제3기 퇴적암 분포지에서 발생하였다(그림 1). 단위면적당 발생빈도를 살펴보면 제3기 퇴적암에서의 빈도가 2.1개/km²로서 가장 높고 제3기 화산암은 0.4개/km²의 양상을 보인다. 반면, 포항지역 일대에 분포하는 백악기 퇴적암에서는 산사태가 발생하지 않아 대조적이다.

한편, 산사태가 집중적으로 발생한 지역은 과거 90년대 초반 대규모 산불이 발생한 지역으로서, 식생밀도가 다른 지역에 비해 낮으며 암석의 풍화·침식이 빨리 진행되는 곳이다.

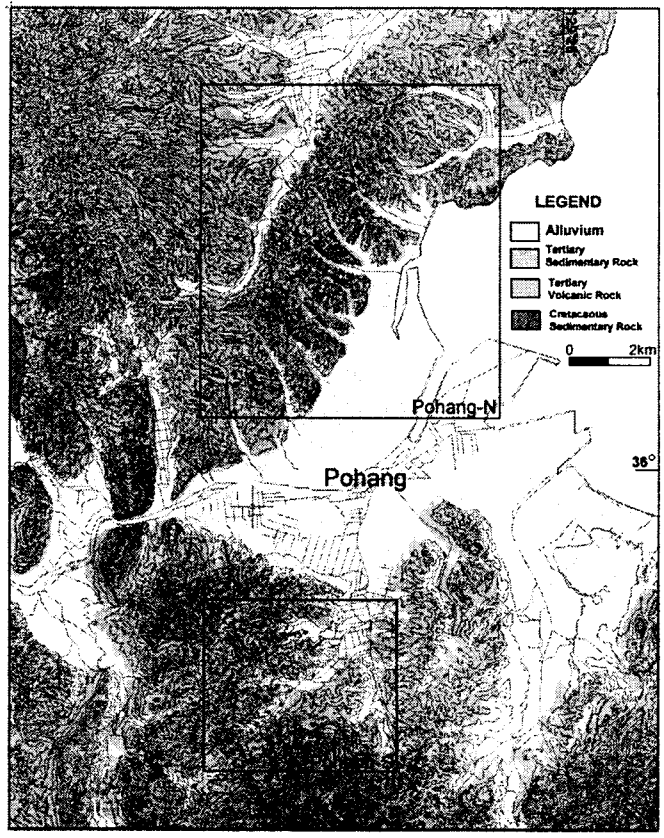


그림 1. 연구지역 산사태 발생위치

산사태 기하특성

이 지역에서 발생한 산사태의 기하양상을 분석해 보면 다음과 같다(그림 2). 산사태의 길이는 대부분 40m 이하이며 그 중 21-30m의 범위에 가장 큰 집중치를 보인다. 폭은 6-10m 정도에 이르는 것이 50%이상이어서, 상당히 소규모의 산사태가 발생한 것이 특징이다. 그러나, 이와같은 소규모의 산사태이더라도 민가가 위치하는 사면의 직상부 또는 인근에서 발생하기 때문에 사태물질이 계곡을 따라 이동한 후, 가옥이나 농경지에 직접적인 피해를 입힌 경우가 상당히 많았다.

산사태 발생원인 중 중요한 부분을 차지하는 산사태 상부의 사면경사를 보면 26-30°의

경우가 현저히 많지만, 36-40°의 경우도 다른 경사각 군집에 비해 높은 산사태 발생비율을 보인다. 이는 국내에서 산사태 발생빈도가 가장 높은 경기지역의 사면상부 경사와 비교해 보면 산사태에 취약한 사면상부경사가 포항지역의 경우 약 5도 정도 더 급한 것으로 나타났다(김원영 외, 2000). 그러나, 산사태의 평균두께는 0.4m 이하로 매우 얇아 사태가 극히 소규모였음을 짐작할 수 있다. 경기지역이나 상주지역의 경우 사태의 평균두께는 약 0.8-1m 정도로서, 기반암 상부의 붕적층 또는 풍화토의 두께가 포항지역보다 더 두껍다. 이는 포항지역이 풍화와 침식이 다른 지역보다 활발하고, 상대적으로 급한 사면경사로 인해 붕적층 또는 풍화토가 쌓여있지 않고 계속해서 사면하부로 흘러내리기 때문에 산사태의 두께가 얇은 것으로 생각된다. 한편, 산사태가 발생한 지점의 사면곡률을 보면 84%의 산사태가 평평한 사면에서 발생하였다.

토질특성

조사지역에 분포하는 산사태 발생지점의 토질특성을 파악하기 위해 10종의 토질물성시험과 점토광물 함량분석을 실시하였다(그림 3). 시험결과에 의하면, 공극률의 경우 평균 75.25%이고, 건조밀도는 평균 1.11에 해당한다. 사태물질의 입도는 SC와 SW-SC의 크기를 가지는 것으로 대부분 구성되어 있다. 한편, 산사태 발생에 중요한 영향을 미치는 투수계수의 경우는 $4.80 \times 10^{-2} \sim 2.1 \times 10^0 \text{ cm/sec}$ 의 비교적 넓은 범위를 갖는다. 그리고, 전단특성을 결정하는 전단저항각의 경우는 평균 35°이나, 실내시험 값이 실제 자연계의 값보다 약 5도이상 과장되어 나타남을 감안해 평균 30° 정도에 이르는 것으로 추정된다.

한편, 조사지역에서 산사태가 주로 이암에서 발생한 점을 주목하여 XRD 분석을 통해 사태물질의 점토광물 함량분석을 실시하였다(그림 4). 먼저, 사태물질을 1차 정성분석을 실시하여 점토광물의 존재여부를 파악하였으며, 이를 통해 주로 몬모릴로나이트(Montmorillonite)와 일라이트(Illite)가 존재하는 것으로 판명되었다. 점토광물이 나타난 시료에 대해 다시 몬모릴로나이트와 일라이트의 정량적 함량분석을 실시하였다. 그 결과 몬모릴로나이트가 24.9%를 차지해 점토광물 중 가장 우세하게 분포함을 알수 있었으며, 일라이트의 경우 9% 정도로 소량 분포하는 양상을 보였다. 그러나, 점토광물의 특성상 몬모릴로나이트가 팽창성이 가장 크고 전단강도에 영향을 미치므로, 일라이트보다 몬모릴로나이트가 산사태 발생인자로서 더 중요하게 작용하는 것으로 생각한다.

향후 연구방향

산사태 발생을 예측하고 그 피해를 최소화하기 위해서는 산사태 발생인자를 정확히 규명하고, 이를 정량적으로 분석하고 그 기여도를 설정하는 것이 무엇보다 중요하다. 또한, 일반 국민들이 산사태 피해로부터 능동적으로 대처하기 위해서는 과거 정성적이고 주관적인 산사태 취약성 해석으로는 미흡하다. 이를 위해 이 연구에서 분석한 내용은 이차적으로 더욱 정밀하게 분석한 후, 지질학적 관점과 통계학적 기법을 동원하여 산사태 발생인자를 정확히

선정하고, 선정된 발생인자에 대해 정량적 가중치를 부여하게 된다. 이를 통해 산사태 발생 가능성을 확률적으로 표시할 수 있게되며, 이는 산사태와 지질학에 대한 전문지식이 없는 일반인들도 쉽게 그 의미를 파악할 수 있는 결과물로 제시될 것이다.

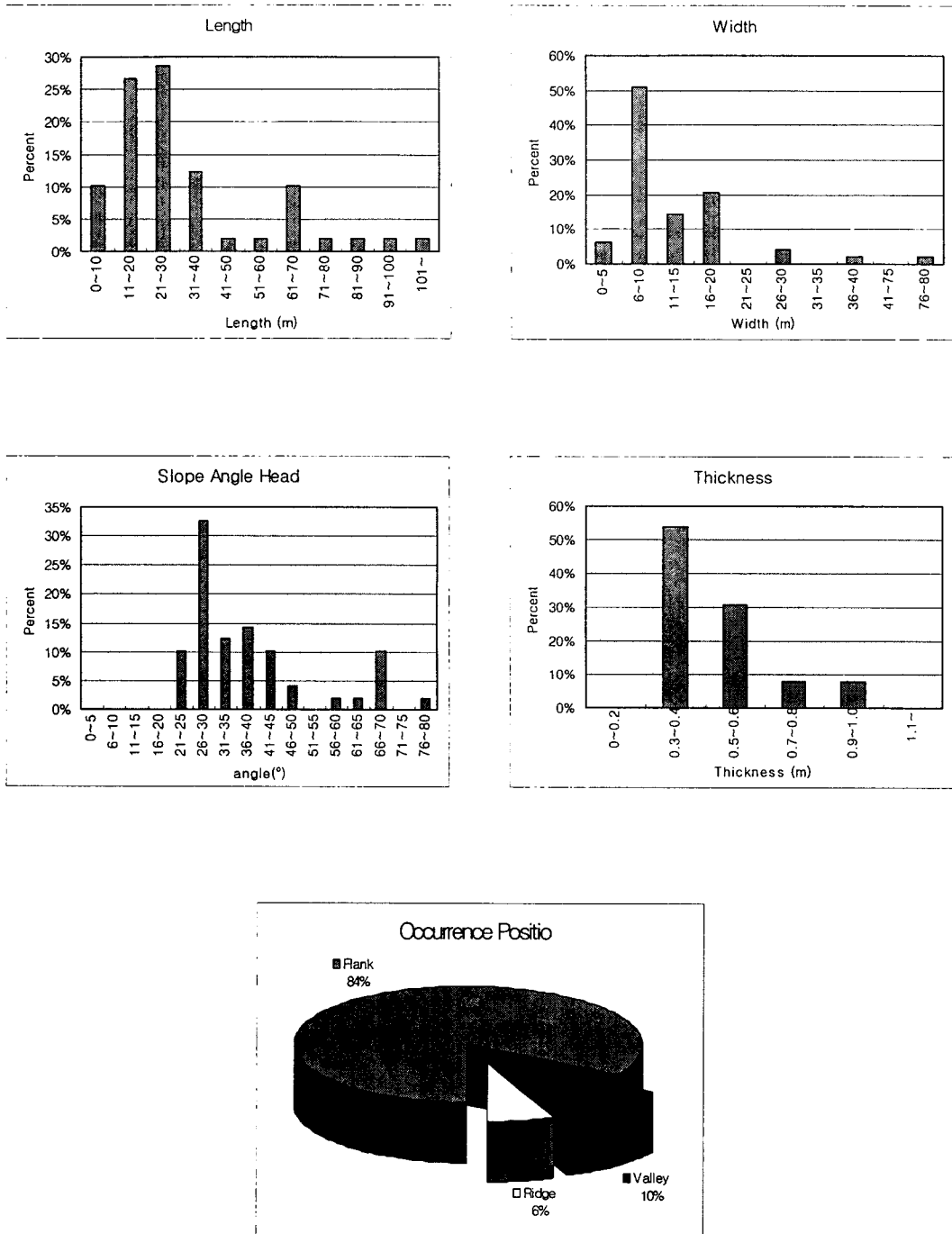


그림 2. 산사태 기하양상 분석

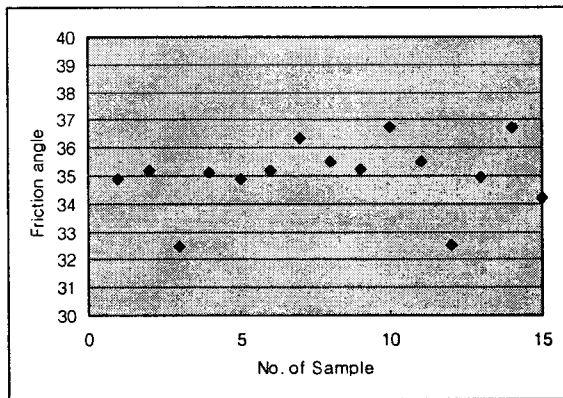
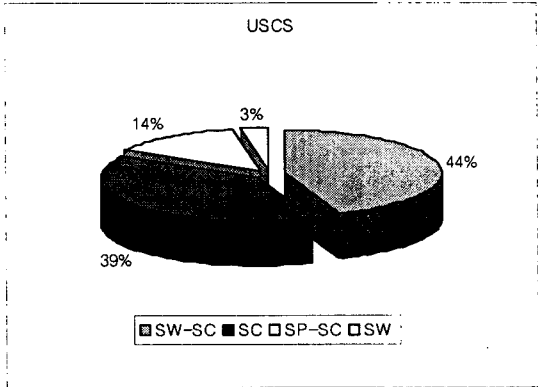
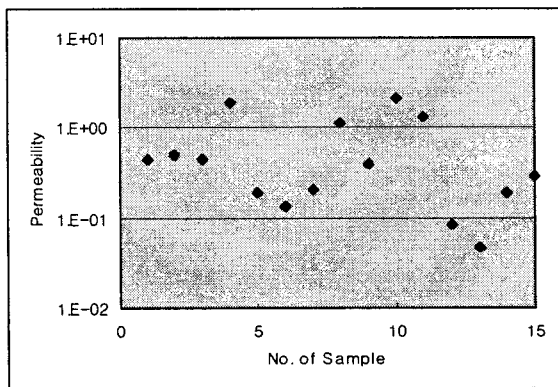
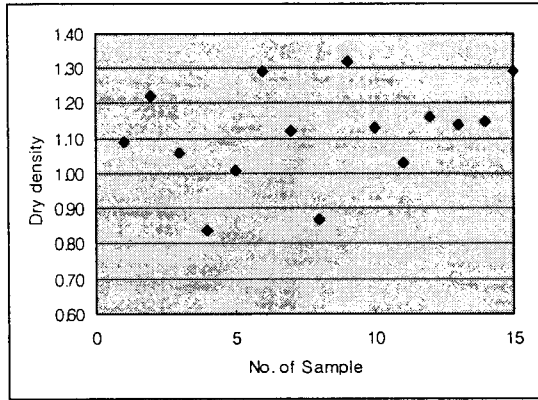
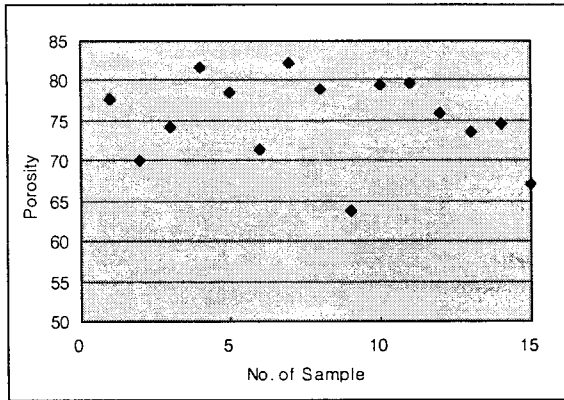
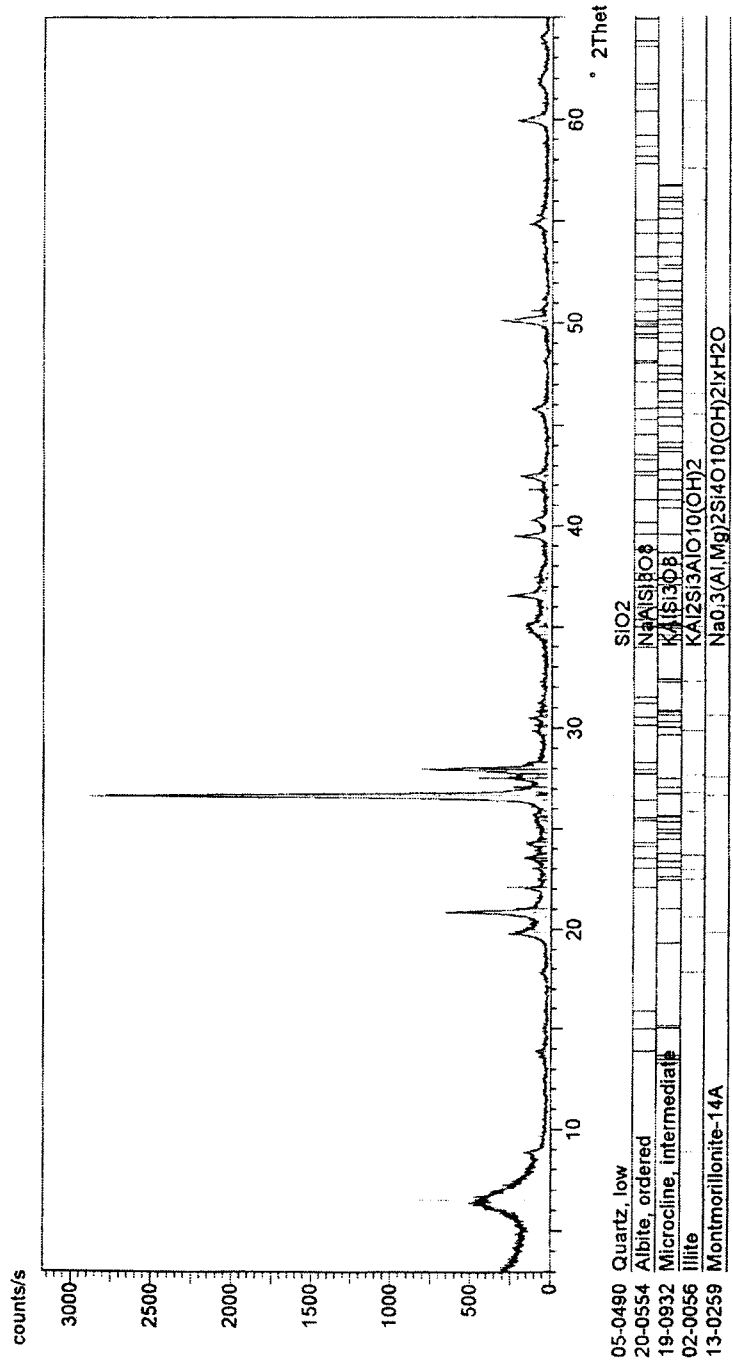


그림 3. 사대물질의 토질특성 분석



Philips Analytical

그림 4. 사태물질의 XRD 분석 예

사 사

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가 연구개발사업의 하나인 자연재해방재기술개발사업으로 수행된 것이다.

참고문헌

- 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사로, 이봉주, 2000, 산사태 예측 및 방지 기술 연구, 한국자원연구소, KR-00-(T)-09.
- UNESCO Working Party on Landslide Inventory, 1990, A suggested method for reporting a landslide, Bull. of IAEG, no. 41, p.5-12.
- EPOCH(European Community Programme), 1993, Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community. 3 Volumes, Contract no. 90 0025.Brunsdon, 1985,
- Hutchinson, J. N., 1988, Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology, In Landslides Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, vol. 1, p.3-35.
- Olivier, M. Bell, F. G. and Jemy, C. A., 1994, The effect of rainfall on slope failure, with examples from the Greater Durban area, Proceedings 7th intern. Cong. IAEG vol. 3, p.1629-1636.