

# 편마암 풍화토에서 강우강도와 산사태 발생과의 특성 규명 실험

채병곤<sup>1)\*</sup> · 서용석<sup>2)</sup> · 송영석<sup>1)</sup> · 조용찬<sup>1)</sup> · 이성호<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

국내에서 하절기에 발생하는 대부분의 산사태는 집중호우 시 발생하는 것으로서, 강우가 산사태 발생에 가장 중요한 요인으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 강우 요인 이외에도 사면을 구성하는 지형, 암반 및 토층의 특성 등도 산사태 발생에 큰 영향을 미친다(김원영 외, 2000; 김원영 외, 2006). 이와 같이 강우강도 및 지형특성, 지질종류에 따른 산사태 발생특성을 조건별로 정량적으로 규명하기 위해서는 먼저 다양한 산사태 현장 정밀조사를 실시하여 자연상태의 산사태 특성을 분석해야 하며, 이를 토대로 산사태 유발인자들을 통제하면서 여러 가지 조건을 설정하여 다양한 실험을 수행할 필요가 있다.

이 연구는 그동안 우리나라에서 산사태 발생빈도가 가장 높은 편마암 풍화토 중 전북 장수지역의 편마암 풍화토를 대상으로 인공강우장치가 부착된 모형실험장치를 이용하여 강우강도와 산사태 발생과의 관계를 규명하기 위한 실내실험을 실시한 것이다. 이 실험을 위하여 강우강도와 사면경사를 조건별로 조절하여 일정 시간간격으로 모형토조의 간극수압과 사면 붕괴양상, 그리고 변위 등을 측정하였다.

## 2. 실험방법 및 조건

모형실험을 위한 흙 시료는 2005년 여름 산사태가 집중적으로 발생한 전북 장수지역에서 채취한 편마암 풍화토를 사용하였으며, 실험에 사용된 현장토는 자연상태를 재현하기 위해 건조시키지 않고 현장상태의 시료를 그대로 사용하였다. 이 모형실험은 채병곤 외(2006)에서 실시한 실험과 동일한 방법과 절차에 따라 수행되었다. 이 실험에서는 강우강도와 사면경사에 따른 간극수압의 변화와 산사태 발생의 관계를 파악하고자 표 1과 같은 조건을 설정하였다.

표 1. 장수지역 화강풍화토를 이용한 모형실험 조건

실험번호	실험 조건			비고
	강우강도 (mm/hr)	사면경사 (degree)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	
SL-7	250	25	1.37	open gate
SL-8	200	25	1.37	open gate
SL-9	150	25	1.37	open gate
SL-10	200	30	1.37	open gate
SL-11	200	35	1.37	open gate

## 3. 강우강도와 간극수압 및 사면경사와의 관계

그림 1은 편마암 풍화토에 대한 강우강도와 간극수압의 관계를 나타낸 것으로 간극수압의 측정위치는 경사토조의 하부로부터 10cm(P1), 70cm(P2), 130cm(P3)의 거리에 위치하고 있다. 간

주요어 : 편마암 풍화토, 산사태 모형실험, 강우강도, 사면경사, 간극수압

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀 (bgchae@kigam.re.kr)

2) 충북대학교 지구환경과학과 (ysseo@cbu.ac.kr)

극수압계의 위치별로 강우강도에 따른 간극수압의 관계는 강우강도가 클수록 간극수압 증가시간이 빠르다. 이는 강우강도는 지반 내 간극수압의 급격한 증가에 결정적인 역할을 하며, 산사태의 발생과 직접적으로 관련 있음을 잘 설명하고 있다.

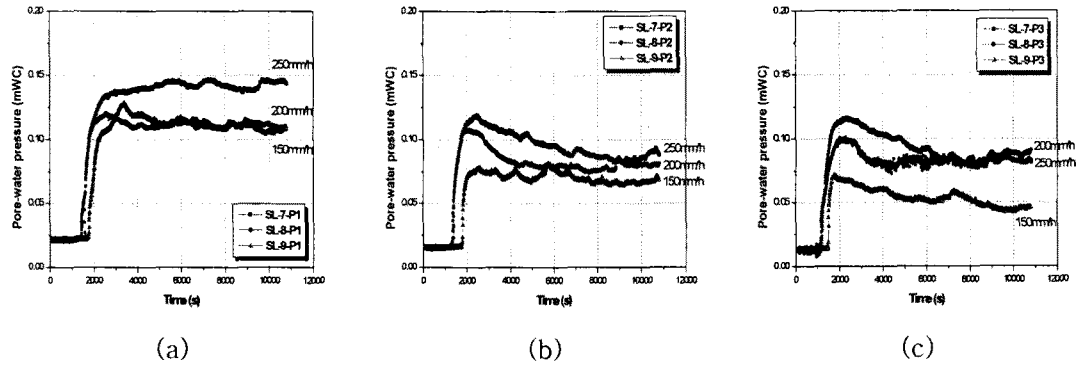


그림 1. 강우강도에 따른 간극수압 분포. (a)P1, (b)P2, (c)P3.

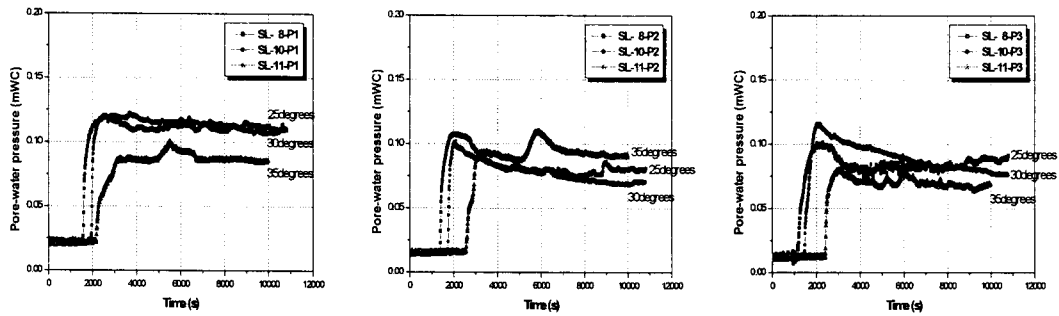
이 결과를 표준사를 이용한 실험결과와 비교해 보면, 표준사를 이용한 실험결과에서는 본 연구에서와 동일한 강우강도 조건에서 간극수압의 증가시간이 690초 ~ 830초에 이르렀으나(채병곤 외, 2006), 본 연구에서는 1,410초 ~ 1,760초로 약 2배 이상의 시간차이를 보인다. 이때, 지반의 밀도는 표준사의 경우  $1.425\text{g/cm}^3$ 였으나, 본 연구에서는  $1.37\text{g/cm}^3$ 로서 편마암 풍화토가 더욱 느슨한 지반조건을 가지고 있다. 이를 통해 편마암 풍화토는 표준사에 비해 밀도가 낮은 조건이었음에도 불구하고 강우의 침투속도가 상당히 느린 것을 알 수 있으며, 이는 편마암 풍화토를 구성하고 있는 입도, 조직, 그리고 점토 등의 광물성분과 같은 다양한 요인에 기인하는 것으로 생각된다.

표준사를 이용한 실험에서는 강우강도와 간극수압 증가시간이 서로 반비례하지만, 본 연구에서는 강우강도가 클수록 간극수압의 증가시간도 빠른 것으로 나타났다. 표준사의 경우는 지반 내 강우의 침투속도가 상대적으로 빠르기 때문에, 강우강도가 클 경우 사면 전체가 빨리 포화되거나 표층부에 일시적 포화가 쉽게 이루어져 강우의 표층유출(surface runoff)이 편마암에 비해 크게 발생하는 것으로 생각할 수 있다. 그러나, 편마암 풍화토는 강우의 침투속도가 느리기 때문에 사면의 포화가 천천히 일어나 표층유출이 상대적으로 크지 않은 것으로 해석된다. 따라서, 강우강도가 클수록 간극수압이 빨리 증가하는 것으로 판단된다.

그림 2는 편마암 풍화토에 대한 사면경사와 간극수압의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 시간에 따른 간극수압의 증가는 사면의 경사가 작은 경우 먼저 발생하는 것으로 나타났다. 이는 P1, P2 및 P3의 위치에서 모두 동일한 양상을 보인다. 이러한 원인은 사면경사가 급한 경우 지반의 표면을 따른 강우의 흐름이 발생하게 되나, 사면의 경사가 낮은 경우 오히려 간극수압의 침투가 용이해져 사면 표층부에 침윤전선을 쉽게 형성하였기 때문으로 판단된다.

사면경사에 따른 간극수압의 변화양상을 표준사를 이용한 실험결과와 비교해 보면 서로 다른 양상이 나타난다. 표준사를 이용한 실험에서는 사면경사가 급할수록 간극수압이 빨리 증가하지만, 본 연구에서는 사면경사와 간극수압의 증가속도는 반비례한다. 이러한 결과는 역시 두 매질에 대한 상대적인 침투속도와 관련 있는 것으로 판단되는데, 편마암 풍화토의 경우 지반 내 강우의 침투속도가 느리기 때문에 동일한 강우강도에서는 사면경사가 급할수록 표층유출이 많이 발생하는 것으로 생각된다. 따라서, 지반내로 침투하는 강우량이 상대적으로 적어 사면경

사가 급할수록 간극수압의 증가시간이 느리고, 간극수압의 크기도 작다.



(a) (b) (c)  
그림 2. 사면경사에 따른 간극수압 분포. (a)P1, (b)P2, (c)P3.

#### 4. 결 론

이 연구는 전북 장수지역의 편마암 풍화토를 대상으로 강우강도 및 사면경사 조건에 따른 간극수압의 변화양상과 산사태 발생특성을 파악하기 위해 실내모형실험을 실시한 것이다. 실험결과 분석에 의하면, 강우강도에 따른 간극수압의 관계는 강우강도가 클수록 간극수압 증가 시간이 빠른 것으로 나타났다. 이를 통해 편마암 풍화토는 표준사에 비해 밀도가 낮은 조건이었음에도 불구하고 강우의 침투속도가 상당히 느린 것을 알 수 있다. 한편, 간극수압의 증가는 사면의 경사가 작은 경우 먼저 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 편마암 풍화토의 경우 지반 내 강우의 침투속도가 느리기 때문에 동일한 강우강도에서는 사면경사가 급할수록 표층유출이 많이 발생하는 것으로 생각된다. 따라서 지반내로 침투하는 강우량이 상대적으로 적어 사면경사가 급할수록 간극수압의 증가시간이 느리고, 간극수압의 절대 크기도 작게 나타난다.

#### 사 사

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명: 산사태재해 예측 및 저감기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사로, 이봉주, 2000, 산사태 예측 및 방지 기술연구, 과학기술부, KR-00-(T)-09, 642p.
- 김원영, 채병곤, 이춘오, 김경수, 조용찬, 송영석, 최영섭, 서용석, 2006, 산사태 위험도 산정시스템 및 피해저감기술 개발, 과학기술부, OAA2004032-2006(3), 360p.
- 채병곤, 송영석, 서용석, 조용찬, 김원영, 2006, 모형실험 장치를 이용한 산사태 발생 및 사태물질 거동특성 실험, 지질공학, 16(3), pp.275-282.