

## 흙사면 절개지 불포화토의 침투거동 특성에 관한 연구

김만일<sup>1)</sup> · 채병곤<sup>2)</sup> · 정교철<sup>\*3)</sup>

<sup>1)</sup>한국수자원공사 수자원연구원

<sup>2)</sup>한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

<sup>\*3)</sup>안동대학교 지구환경과학과

### A Laboratory Test for Detecting the Infiltrating Characteristics of Unsaturated Soil in Soil Slide

Man-Il Kim<sup>1)</sup> · Byung-Gon Chae<sup>2)</sup> · Gyo-Cheol Jeong<sup>\*3)</sup>

<sup>1)</sup>Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

<sup>2)</sup>Geological & Environmental Hazards Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

<sup>\*3)</sup>Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

---

흙 절개지 사면붕괴 원인은 대부분 강우에 의해 체적함수비의 증가에 따라 발생되기 때문에 체적함수비 변화를 측정할 수 있는 새로운 측정기술이 요구된다. 본 연구에서는 체적함수비 변화를 정량적으로 측정하기 위하여 유전율 측정시스템인 FDR과 ADR 측정프로브를 사용하여 실내 토조시험을 수행하였다. 총 2단계에 걸쳐 시간당 7.5mm/hour의 인공강우 조건하에서 압밀 화강풍화토 내 발생하는 체적함수비와 간극수압 변화를 측정하여 비교하였다. 측정결과, 인공강우에 의한 체적함수비와 간극수압 변화는 거의 동일한 시점에서 함께 파악되었다.

**주요어 :** 사면붕괴, 체적함수비, 인공강우

In order to estimated a reason of soil slope failure new measurement technology is demanded to measure a variation of volumetric water content which is a key physical parameter for understanding the slope failure in the field. In this study a laboratory soil tank test were conducted to use FDR and ADR measurement probes for measuring the variation of volumetric water content. These experiments were compared with two physical parameters as volumetric water content and pressure water head which are estimated to the compacted weathered granite soil under the artificial rainfall, 7.5mm/hour, in the whole of two stages. From the results the variation of volumetric water content and pressure water head is represented to nearly similar travel time.

**Key words :** slope failure, volumetric water content, artificial rainfall

---

\* Corresponding author: jeong@andong.ac.kr

## 서 론

흙 절개지 사면파괴에 있어 이를 해석할 수 있는 방법으로는 일반적으로 극한평형상태 및 안전율의 개념을 접목시켜왔다. 먼저 극한평형상태는 3가지 요소항목을 우선적으로 고려하여야 하는데, 이는 사면의 활동면이 되는 파괴면의 결정, 강제블록을 미끄러지게 하는 힘인 파괴면에서의 전단력 내지 전단응력의 결정, 마지막으로 미끄러지게 하는 힘에 저항하려고 하는 힘인 파괴면에서의 전단저항력 혹은 전단강도의 결정이 극한평형상태를 결정하기 위한 중요한 요소이다. 여기서 전단저항력 내지 전단강도를 결정하기 위해서는 강도에 관한 법칙과 강도의 평가 기준을 고려하기 위해 일반적으로 마찰법칙 내지 Coulomb법칙을 이용해 계산한다. 여기서 구조물의 안정정도는 안전율 개념으로 나타낼 수 있는데, 사면의 안전율은 극한평형상태에 대하여 어느 정도의 여유가 있는지를 표현하기 위한 지표로서 극한평형상태를 1로 하여 그 값이 클수록 사면의 안정정도가 크다는 것을 의미한다 (Abrmason et al., 1996). 일반적으로 사면의 안정성은 활동 모멘트에 대한 저항 모멘트 비의 관계로부터 안전율이라는 공학적 개념을 정립하고 있으며, 이 값이 1 이상일 경우에 안정하다고 판단한다. 또한 안전율은 활동면상의 전단강도와 흙블록의 활동을 억제하는데 필요한 전단력의 관계로 결정한다. 이것은 점토지반내의 간극수압이나 지반의 침하량, 수평이동량 등의 지반 물성치를 이용하여 안전율을 파악할 수 있다 (정교철 등, 2001). 사면의 안정성 해석은 다양한 분야에서 많은 학자들에 의해 수행되어져 왔으나 자연현상을 인위적으로 해석하기 위해서는 여러 가지의 가정들이 포함되어지기 때문에 정확한 사면 안정성을 검토하기에는 무리가 있다.

주변에서의 흙절개지 사면붕괴 원인은 물과 관계되어 있다는 것을 고려하면 사면의 안정해석을 할 때에 매질의 간극내에 존재하는 간극수 내지 강우에 의한 침투수의 영향을 어떻게 안정계산 중에 적용하는지는 중요한 문제 중 하나이다 (Ponizovsky et al., 1999). 물의 침투(정수압에서도 같음)가 흙블록에 주는 힘은 원래 체적력(침투력과 부력)으로 다뤄져야 하지만, 안정 해석에서는 그것을 흙블록 표면(토피를 분할해 생각하는 경우는 슬라이스 측면과 저면)에 작용하는 표면력(수압)으로 바꿔 사용한다. 이러한 치환이 교란을 일으키는 원인이 되기도 한다. 침투류의 영향을 계산하려면, 유선망 등을 토대로 활동 흙블록 각 면의 간극수

압의 분포로부터 수압의 합력을 구하는 것이 일반적인 방법이다 (Ayalew et al., 2005; Doussan et al., 2002).

실제의 지반 붕괴 현상은 서서히 변형이 증대되어 지는 가운데 국부적인 영역에서 큰 변형이 발생된다. 여기서 변형과 지반붕괴 현상은 분리되지 않고 지속적으로 진행되는 파괴과정을 거치게 된다. 즉 사면붕괴 활동은 사면저부에서 발달되기 시작하여 점진적으로 사면의 어깨부로 진행되어 가는 파괴과정이 진행된다 (김영민, 1999). 그러므로 지반의 안정해석에 있어 초기변형부터 붕괴에 도달할 때까지 연속적인 모니터링의 확립이 필요하다.

현재 사면붕괴 예측에 사용되고 있는 방법은 강우량에 기초로 하는 경험적 내지 통계적 방법 등이 이용되고 있다. 그러나 이러한 방법은 사면의 형태 및 지질학적 특성에 대한 요소가 다소 배제되어 있어 이들의 정량적인 자료를 나타내는 지질학적 물성치 등에 대한 체계적인 정리가 반드시 필요하다. 따라서 최근에 강우량과 같은 간접적인 지반 물성치로부터 사면붕괴를 파악하지 않고, 이러한 사면붕괴를 직접적인 관계를 가지는 물성치로부터 사면붕괴를 예측하는 다양한 시험들이 이루어지고 있다 (Kim et al., 2004; Elsen et al., 2003; Kan et al., 2001; Ng & Shi, 1998; Wilson et al., 1995). 구체적으로는 간극수압계를 특별히 위험한 사면에 설치하여 측정치로부터 사면에서 일어나고 있는 물리적 메카니즘을 파악하여 예측하는 방법이 있으나 간극수압계의 설치에 의해 계측하는 간극수와 흙 입자들의 압밀로 인하여 측정된 자료의 정량적 해석에 있어 다소 문제가 발생한다.

본 연구에서는 FDR (Frequency Domain Reflectometry) 및 ADR (Amplitude Domain Reflectometry) 시스템 측정법을 원위치에 설치하여 흙 공극 내에 존재하는 수분량의 변화를 계측 및 이들의 변화로부터 강우에 의한 지반매질 내에서 침윤전선의 이동 경로를 파악하여 사면붕괴의 예측 가능성에 대해 검토하였다. 이를 위해 실내 토조모형 시험을 실시하여 토조모형 내 설치된 간극수압계, FDR 및 ADR 측정프로브들로부터 압력수두 및 체적함수비의 변화를 인공강우 조건에 따라 각기 측정함으로써 각각의 시험조건에 따른 매질 내에서 발생하는 침투수의 변화와 체적함수비의 변화를 계측하여 본 시스템을 적용한 사면붕괴 예측시스템 구축 가능성의 평가를 수행하였다.

## 시험시료 및 방법

### 시험시료

본 시험에서는 일반적으로 흔히 볼 수 있는 화강풍화토를 사용하였다. 이 시료의 물성치는 입도시험, 토립자 밀도시험 ( $\rho_s = 2.69 \text{ g/cm}^3$ ), 투수시험 ( $k_s = 2.1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ ) 및 압밀시험 (최적함수비  $\omega_{opt} = 11.4\%$ ; 최대건조밀도  $\rho_d = 1.97 \text{ g/cm}^3$ )을 통하여 각각 측정하였다(Fig. 1).

### 계측시스템

FDR시스템을 이용하여 원위치 계측방법으로 2종류의 측정프로브에 대한 설치방법에 따라 계측을 수행할 수 있다. 하나는 특정심도에서 물성치를 측정하기 위하여 토사면으로부터 타격식으로 매설하는 방법(타격방식)과 나머지 하나는 특정심도까지 굴착공을 설치한 후 하부에 측정프로브를 설치하는 방법(굴착방식)이다. 이 굴착방식으로 길이 10cm인 측정측정프로브는 심도 50cm에 설치하였다. 이 경우 측정프로브와 굴착면 사이에 이격이 생겨남으로 이를 석고를 사용하여 토사면으로부터 물이 들어가지 못하도록 차단하였다. 타격방식의 FDR 측정프로브 또한 심도 50cm에 설치하였다.

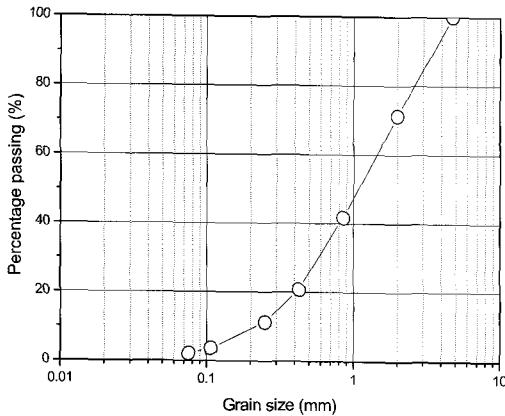
ADR 측정프로브는 소정의 심도에 설치된 굴착공을

이용하여 설치 후 매설하는 방식으로 수행하였다. 이 측정프로브는 심도 50cm에 설치하고 석고를 사용하여 메꾸었다. 이들로부터 계측된 데이터는 KEYENCE제 데이터 로거(NR-1000 PC card type data logger system)를 연결한 노트북을 통하여 모니터링 및 자동으로 계측 데이터가 저장되도록 하였다(Miller and Gaskin, 1996).

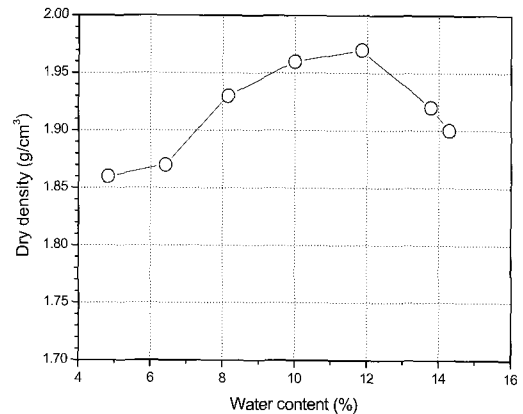
간극수압 계측 시스템은 본 시험에서 간극수압계를 특정심도 50cm에 굴착공을 이용하여 설치하였다. 이 간극수압계는 반도체 소형 압력변화기(PD104K 1.0FW, 측정범위  $\pm 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ , 히스테리시스  $\pm 0.02\%$  Fs 이내)를 사용하고 연결부에 세라믹막을 설치하여 흙의 간극수압을 연속적으로 계측하였다. 이 계측은 ADR 시스템과 공동으로 KEYENCE제 데이터 로거에 연결하여 노트북으로 모니터링 및 저장이 되도록 하고 안하였다.

### 시험방법

토조모형의 개략도와 인공강우 장치를 Fig. 2에 나타내었다. 이 토조모형의 둘레는 철골 프레임을 설치한 후 가로 1.0m, 세로 1.0m 및 높이 1.0m로 두께 2cm의 아크릴 판으로 제작하였다. 그리고 인공강우를 얻기 위하여 토조 모형 상단부에 인공강우장치를 설치하였다. 이렇게 제작된 토조모형에 화강풍화토를 Table 1의 초기조건에 따라 10cm씩 총 10단계에 걸쳐



(a) Soil particle distribution curve

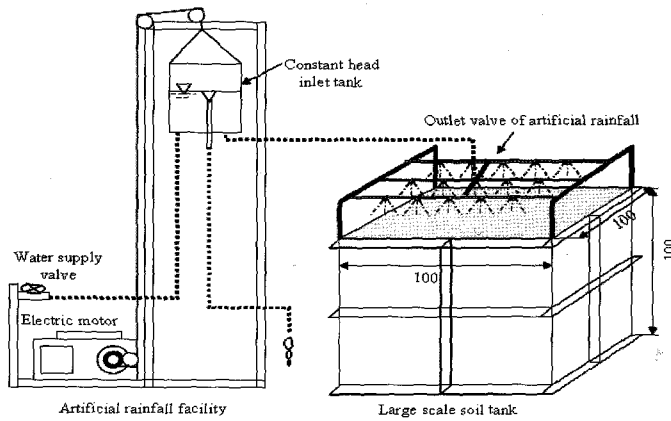


(b) Compaction curve

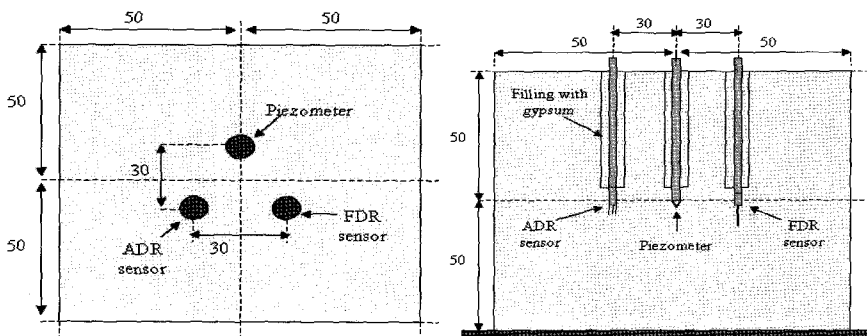
Fig. 1. Physical properties of weathered granite soil.

Table 1. Physical properties of the weathered granite soil.

Sample	Specific gravity (Gs)	Water content, ( $\omega_0$ )	Dry density, ( $\rho_d$ )	Ratio of void, (e)	Porosity, (n)	Degree of saturation (%)	Volumetric water content ( $\theta$ )
Weathered granite soil	2.69	5.12	1.750	0.537	0.349	26	0.090

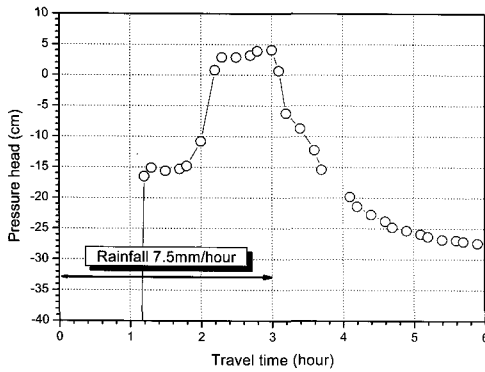


(a) Schematic setup of artificial rainfall system

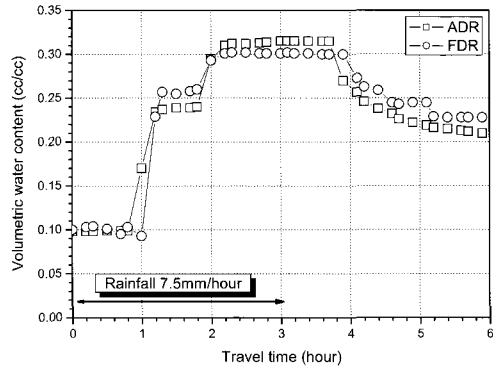


(b) Location of installed measurement probes

Fig. 2. Schematic diagram of artificial rainfall system with the measurement probes in the soil column tank (unit: cm).

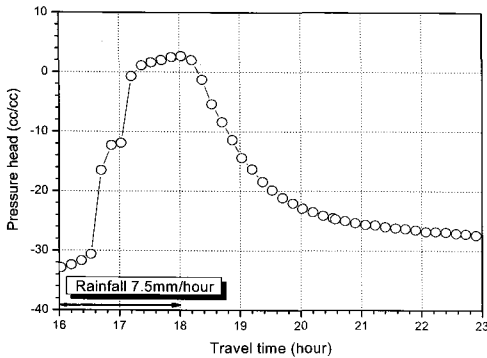


(a) Pressure water head

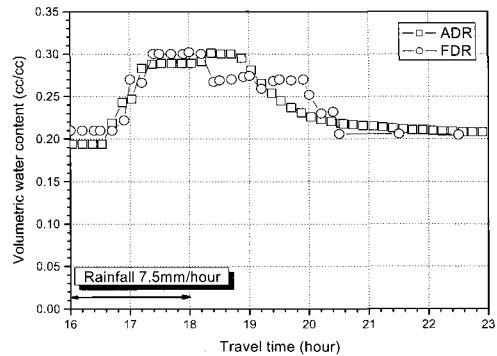


(b) Volumetric water content

Fig. 3. Variation of pressure water head and volumetric water content from 0 to 6 hours, 7.5mm/hour artificial rainfall.



(a) Pressure water head



(b) Volumetric water content

Fig. 4. Variation of pressure water head and volumetric water content from 16 to 23 hours, 7.5mm/hour artificial rainfall.

압밀하여 제작하였다.

인공강우장치는 농약살포용 노즐을 토조모형 상단부에 25cm 간격으로 3본을 설치하였으며, 이를 정수위 탱크에 직접 연결하여 인공강우량을 조절할 수 있도록 고안하였다. 정수위 탱크는 전동식으로 1~3m의 수위차를 얻을 수 있도록 하여 최대 약 8mm/hour의 인공강우를 발생시킬 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 시간당 약 7.5mm의 강우량으로 총 2단계에 걸쳐 토조모형에 인공강우를 내렸다. 1단계에서는 설치된 측정프로브들의 계측 시작과 동시에 3시간 동안, 그리고 2단계는 16시간부터 18시간까지 2시간 동안 강우를 내렸다. 그리고 1단계 강우 종료시점인 3시간 후부터 2단

계 계측 시작시점인 16시간 사이에는 무강우 조건하에서 토조모형에 설치된 화강풍화토 내에서 침투수의 거동을 지속적으로 계측하였다.

## 시험결과 및 토의

### 시험결과

본 시험에서는 FDR, ADR 및 간극수압계를 토조모형 내 압밀된 화강풍화토에 매설한 후 초기 설정된 각 측정프로브들에서 측정된 체적함수비와 압력수두의 변화를 측정하였다. 계측 개시로부터 6시간(실강우 3시간), 그리고 16~23시간(실강우 2시간) 동안의 압력

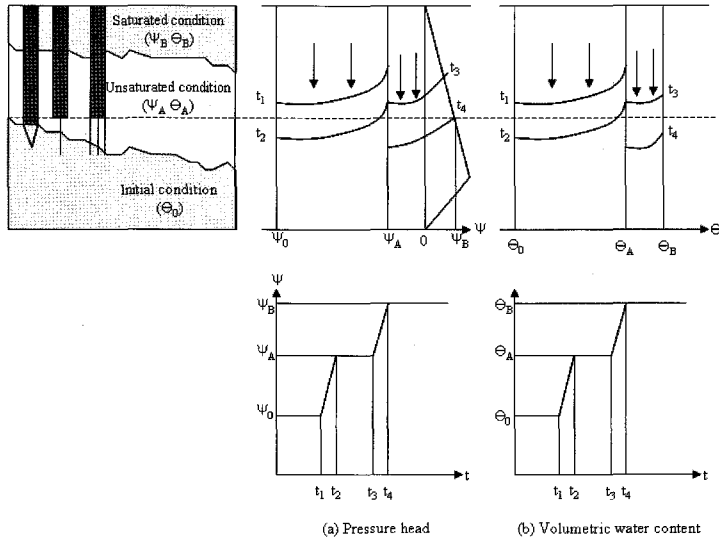


Fig. 5. Identification of the infiltration curve from the variation of unsaturated and saturated conditions due to the rainfall.

수두, ADR 및 FDR 계측치를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

총 2단계로 설정된 인공강우량에 따라 압밀된 화강 풍화토 내에서 침투수의 이동은 설치된 측정프로브들의 반응에 따라 압력수두 및 체적함수비의 변화로부터 충분히 확인할 수 있었다. 즉 3종류의 측정프로브가 설치된 깊이가 50cm로 동일한 위치이기 때문에 인공강우에 따른 침투수의 침투구간도 거의 비슷한 시간대에 함께 측정되었다. 간극수압계에서 측정된 압력수두는 초기에 네가티브 측정치를 보이다가 인공강우의 영향으로 이들이 증가한 후 인공강우를 중단한 시점에서 급격히 감소하는 경향을 보였다. 하지만 인공강우 전과 비교해 불 때 압밀된 화강풍화토 내의 초기 압력수두보다는 증가한 것을 알 수 있다. 그러나 체적함수비는 인공강우를 중단 후에도 다소 일정한 측정치를 보이다가 시간이 경과할수록 점진적으로 감소하였다. 이러한 결과로부터 화강풍화토 내에서 인공강우에 의해 침투수가 발생하여 공극을 통하여 지속적으로 하부로 서서히 이동을 인지할 수 있을 뿐만 아니라 토조모형 내부에서 침윤전선의 형성도 함께 고려해 볼 수 있다.

압력수두와 체적함수비의 관계

본 시험에서 강우가 7.5mm/hour에 대해 비교적 작았기 때문에 압밀된 화강풍화토가 가지고 있는 초기의 함수량  $Q_{in}$ 과 강우에 의해 합쳐진 함수량  $Q_{rain}$ 은  $Q_{in} \geq Q_{rain}$ 이 된다. 따라서 Fig. 5에 도시되어 있는 침윤전선은 불포화영역과 그 후의 포화영역으로 나누어 볼 수 있다. 그러나 불포화 상태에서의 침윤전선이 시간  $t_1$ 부터  $t_2$ 부근에서 측정프로브를 통과함으로써 이때 각 측정프로브에서의 측정치가 상승하여 이 변화에 따라 1단계를 인지할 수 있다. 연속적으로 포화상태로 있는 영역이  $t_3$ 에서  $t_4$ 로 각 측정프로브들을 통과함에 따라 각각의 계측치는 계속 상승하게 된다(2단계). 그러므로 인공강우에 의한 침윤전선의 이동 경로에 따라 압력수두와 체적함수비의 관계는 동일하게 나타낼 수 있다.

사면붕괴의 위험예측

인공강우를 이용한 실내 토조모형 시험의 결과를 고려하면, 실제 지반의 조건에 대해 간극수압계를 설치하였을 경우, 강우에 의한 침윤전선의 진전에 따라 간극수압도 크게 2가지의 반응을 보이는 것으로 나타났다. 즉, 1단계에서 침윤전선이 측정프로브를 통과하

였을 때, 2단계에서는 침투수가 중력방향인 수직으로 침투하면서 나타나는 침윤전선이 난투수층을 만나 이층과 수평방향으로 침투수가 발생할 경우이다. 이 경우에 난투수층을 경계로 하여 상부의 흠블록은 사면

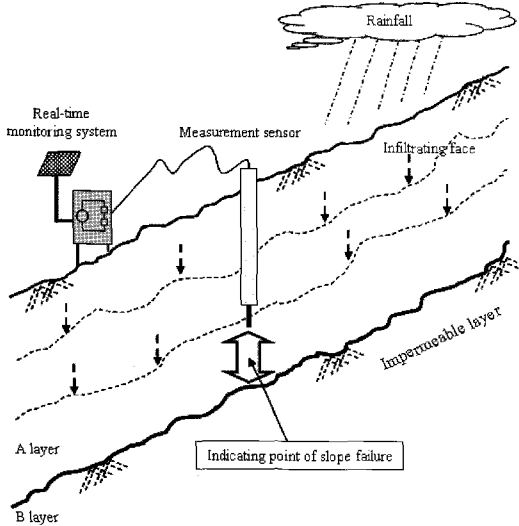


Fig. 6. Schematic diagram for predicting of the monitoring system of the soil slope failure in the field.

붕괴의 위험을 내포하고 있다. 이 두 가지의 물리적 영향에 대해서 단지 1단계를 이용한다면 흙사면의 일정 심도에서 사면붕괴 예측이 가능할 것으로 판단한다.

또한, Fig. 6에 도시된 사면의 특정 심도에 측정프로브를 A층에 설치하고 강우에 의해 침투한 침윤전선이 지반 내에 설치된 측정프로브를 통과함에 따라 점진적으로 매질이 가진 체적함수비의 계측치가 상승하여 초기의 불포화상태에서 점진적으로 포화상태로 변화됨을 의미한다. 그러나 불투수층이 있는 B층에 침윤전선이 도달하기까지는 포화상태가 아니기 때문에 사면이 안전한 상태를 유지한다. 하지만 침윤전선이 측정프로브를 통과하여 B층에 도달하기까지의 시간이 사면붕괴를 인지할 수 있는 중요한 시점이 되지만, 이러한 정확한 시점을 파악하기 위해서는 어느 정도의 강우량에 의해 사면붕괴를 인지할 수 있는가는 지반에 설치된 측정프로브의 위치에 의해 좌우된다. 일반적으로 이러한 측정프로브는 간극수압계를 사용하여 고려할 수 있지만 여기서는 유전을 변화에 따른 체적함수비 변화를 측정하는 유전율법을 제안하였다.

이 시험에서 압력수두와 체적함수비는 거의 동일한 침투거동을 보여줌에 따라 체적함수비 변화에 대한 계측만으로 사면붕괴 예측이 가능할 것으로 판단한다. 특히, 간극수압계는 그 설치 방법이 까다로울 뿐만 아니라 측정된 계측치의 오류가 발생할 가능성을 배제할 수 없지만, 이에 비해 FDR 또는 ADR 측정프로브는 대상 매질에 측정프로브만을 설치하여 강우에 의한 체적함수비 변화로부터 유전을 반응을 측정하기 때문에 설치가 매우 간단하고 장기간의 모니터링 계측도 가능하다는 장점을 가지고 있다. 특히 FDR 측정프로브의 경우, 1선식 동축케이블을 사용하기 때문에 다양한 외부의 물리적 영향을 받지 않아 정확한 지점에서의 물성치 측정이 가능한 것이 특징이다(김만일 등, 2004).

### 결론

본 연구에서는 강우에 의해 발생하는 흙절개지 사면 붕괴 요인으로 작용하는 체적함수비의 변화를 측정하기 위하여 유전을 측정장치를 적용해 실내 토조 모형 시험을 수행하였다. 침투수의 침투특성을 파악하기 위해서 이들의 고유 물성치인 체적함수비의 측정은 FDR 및 ADR 시스템을 적용하였다. 특히 기존에 널리 알려진 간극수압계를 적용해 동일한 조건 하에서 설치된 각 측정프로브들의 측정치로부터 간극수압과 체적함수비의 관계를 이용해 인공강우 조건에 따른 지반의 불포화상태에서 포화상태로 변화하면서 사면붕괴의 예측 가능성에 대해 실내 토조모형 시험을 통해 검토하였다.

시험 결과에서 설치된 각 측정프로브는 불포화 침윤전선이 통과한 시점과 포화 침윤전선이 통과한 시점에서 큰 반응을 보이는 것을 확인하였다. 특히 체적함수비의 변화는 초기 강우가 종료된 시점에도 매질 내 침윤전선의 거동은 지속적으로 이루어지고 있으며, 뿐만 아니라 초기 체적함수비보다 강우 후의 체적함수비가 다소 높은 값을 보이고 있었다. 이것은 강우조건이 반복적으로 이루어질수록 매질 내 체적함수비는 지속적으로 누적되어 최후에는 소량의 강우량만으로도 사면의 붕괴가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 연구 결과로부터 사면붕괴의 위험 예측을 위한 유전율시스템과 측정프로브들의 구축을 통하여 매질에 함유된 체적함수비의 변화만으로 예측이 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 유전율 시스템은 기존의 간극수압계 등과 같은 장비에 비해 유지 관리가

매우 간단할 뿐만 아니라 현장에서 장기적인 모니터링도 가능할 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 한국지질자원연구원의 “대도시 사면 통합관리시스템 구축(부산지역)”사업(2005)의 일환으로 수행되었다.

## 참고문헌

- 김만일, 정교철, 박창근, 2004, 지하댐 지반 물성치 측정을 위한 유전율 측정 시스템 개발, 지질공학, 14(4), pp. 361-369.
- 김영민, 1999, 유한요소법에 의한 사면붕괴 거동해석에 미치는 영향분석, 한국지반공학회논문집, 15(5), pp. 19-28.
- 정교철, 손호응, 김상환, 서용석, 2001, 사면안정해석, 도서출판 엔지니어즈, p. 224.
- Ayalew, L., Yamagishi, Y., Marui, H. and Kanno, T., 2005, Landslides in Sado island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications, Engineering Geology, 81, pp. 432-445.
- Abrmason, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. and Boyce, G. M., 1996, Slope stability and stabilization methods, John Wiley & Sons, Inc., p. 629.
- Doussan, C., Jouniaux, L. and Thony, J.-L., 2002, Variations of self-potential and unsaturated water flow with time in sandy loam and clay loam soils, Journal of Hydrology, 267, pp. 173-185.
- Elsen, E. V. D., Xie, Y., Liu, B., Stolte, J., Wu, Y., Trouwborst, K. and Ritsema, C. J., 2003, Intensive water content and discharge measurement system in a hillslope gully in China, Catena, 54, pp. 93-115.
- Kan, W.F., Beck, T.J. and Hughes, J.J., 2001, Applications of time domain reflectometry to landslide and slope monitoring, Proceeding of the symposium TDR 2001: Innovative Applications of TDR Technology, Infrastructure Institute, Northwestern University, Evanston, Illinois, September 5-7, 2001.
- Kim, J.-H., Jeong, S.-S., Park, S.-W. and Sharma, J., 2004, Influence of rainfall-induced wetting on the stability of slopes in weathered soils, Engineering Geology, 75, pp. 251-262.
- Miller, J.D. and Gaskin, G.J., 1996, The development and application of the ThetaProbe soil water sensor, MLURI Technical Note, P. 14, MacaulayLand Use Research Institute, Aberdeen.
- Ng, C. W. W. and Shi, Q., 1998, A numerical investigation of the stability of unsaturated soil slopes subjected to transient seepage, Computers and Geotechnics, 22(1), pp. 1-28.
- Ponizovsky, A. A., Chudinova, S. M. and Pachepsky, Y. A., 1999., Performance of TDR calibration models as affected by soil texture, Journal of Hydrology, 218, pp. 35-43.
- Wilson, L. G., L. G. Everett and S. J. Cullen, 1995, Handbook of vadose zone characterization & monitoring: Part V- Preliminary monitoring-related activities (Ch. 12), Lewis Publishers, USA, pp. 177-188.

투 고 일	2005년 11월 11일
심 사 일	2005년 11월 12일
심사완료일	2005년 12월 21일

김만일

한국수자원공사 수자원연구원  
305-811 대전광역시 유성구 전민동 462-1  
TEL: 042-860-0427  
FAX: 042-890-0592  
E-mail: mikim@hotmail.com

채병곤

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부  
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30  
TEL: 042-868-3052  
FAX: 042-861-9723  
E-mail: bgchae@kigam.re.kr

정교철

안동대학교 지구환경과학과  
760-749 경북 안동시 송천동 388  
Tel: 054-820-5753  
Fax: 054-823-1627  
E-mail: jeong@andong.ac.kr