

토층 사면에서의 침윤선 분포 특성 파악을 위한 실험 연구

Primary study on evaluation of wetting front distribution for weathered soil

김만일¹⁾, Man-Il Kim, 채병곤²⁾, Byung-Gon Chae, 서용석³⁾, Yong-Seok Seo, 김 현⁴⁾, Hyeun Kim

- 1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 박사후연구원, Post-doctoral researcher, Geological and Environmental Hazards Div., Korea Inst. of Geological and Mineral Resources
- 2) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 선임연구원, Senior researcher, Geological and Environmental Hazards Div., Korea Inst. of Geological and Mineral Resources
- 3) 충북대학교 지구환경과학과 교수, Professor, Dept. of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk National Univ.
- 4) 충북대학교 지구환경과학과 석사과정, Graduate student, Dept. of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk National Univ.

개요 : 국내 토층 사면을 대상으로 강우에 의해 발생하는 침투수 거동 특성을 분석함으로써 지속적인 토층의 물성 변화 계측을 통해 산사태 예·경보시스템을 구축이 가능하다. 본 연구에서는 산사태 예·경보시스템 구축의 사전 단계로써, 국내 대표적인 지질 매질인 화강암 풍화토, 편마암 풍화토와 주문진 표준사에 대해 공극률과 체적함수비 등의 토질 물성 변화를 고려한 실내 보정실험을 수행하였다. 실험조건은 공극률, 체적함수비 변화에 대한 측정센서의 측정 정밀도 향상과 이를 통해 국내 현장토에 대한 고유 보정기법을 제시하기 위함이다. 측정센서는 각 실험 조건별 물성 변화에 따라 전압을 측정함으로써 현장토에 대한 물성치와 상호 분석이 가능하도록 하였다. 주문진 표준사 뿐만 아니라 국내 현장토인 화강암 풍화토와 편마암 풍화토에 대한 체적함수비에 대한 보정식도 함께 제시하였다.

주요어 : 체적함수비, 공극률, ADR 측정법, 현장토 보정식

1. 서론

지반침하 및 자연/인공사면 붕괴 등과 같은 지반 변형은 강우에 의한 지반의 저항력 감소 내지 지하수위 변동에 따른 포화/불포화 조건에 의해 다양한 형태의 지반 구조적 문제를 발생시킨다. 이러한 지반 공학적 문제를 효율적으로 파악하고 해결하기 위해 지반 매질의 유전특성을 이용하는 지반 평가법에 관한 실험 연구가 활발하게 진행되어져 왔다(Rahardjo et al., 1998; 김만일 등, 2005). 또한, 강우에 의한 침투수 거동 특성을 분석함으로써 침투수 거동을 지배하는 지질매질의 공간적 분포인 공극률(porosity) 또는 유효공극률(effective porosity) 산정기법에 대해서도 연구가 진행되었다. 침윤선(wetting front)의 경우, 매질의 공극률과 유효공극률의 분포 특성에 따라 현장 체적함수비의 변화를 추정할 수 있다.

본 연구에서는 불포화 흙매질의 체적함수비를 측정함으로써 국내 현장 토층 내에서 강우에 의한 침윤선 거동을 추정할 수 있도록 계측 및 활용법을 제시하였다. 누적강우량에 따른 매질 내 체적함수비 변화를 실시간 측정이 가능한 amplitude domain reflectometry (ADR) 방식의 측정센서를 적용하여 국내 현장조건에 적합한 최적의 측정기법에 대해 검토하였다. 이를 위해 적용 측정센서의 토질 특성별 체

적함수비에 대한 영향을 파악하였다. 이들 결과로부터 국내 지질별 현장토에 대한 누적강우량과 체적함수비를 고려한 사면파괴 예측을 위한 현장 적용성을 극대화할 수 있는 최적의 측정 및 분석기법을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 토양수분측정법

본 연구에서는 Delta-T Device사의 ThetaProbe type ML1과 OTT사의 logosens datalogger를 사용하여 불포화 흡시료 몰드의 체적함수비를 측정하였다. ThetaProbe의 측정원리는 Fig. 1에서 보는바와 같이 동축케이블을 통해 정전압이 signal rod로 방출된 후, 절연매질인 토양을 통해 반사된 정전압이 shield rod로 흡수되는 일련의 과정을 통해 측정된 전압을 logosens datalogger에서 일정 간격으로 자동 측정하게 된다 (Gaskin and Miller, 1996). 이러한 측정센서의 측정원리는 유전율 측정법 중 amplitude domain reflectometry (ADR) 의 대표적인 측정 방식으로 일반적으로 ADR 측정법으로 알려져 있다.

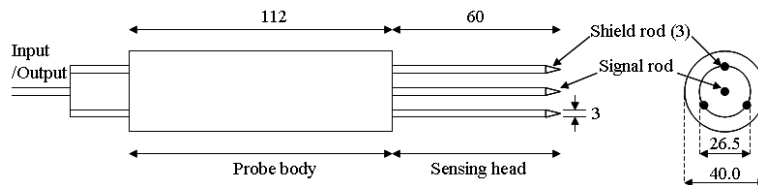


그림 1. 측정센서 개요도 (unit: cm)

흙매질에서 측정된 전압은 이들 흡이 갖는 수분량과 밀접한 관계를 가지고 있어, 고수분 조건에서는 측정전압이 높고, 저수분 조건에서는 낮은 측정전압 분포를 보이는 특징을 가지고 있다. 즉, 측정전압과 흡이 갖는 수분분포와의 관계로부터 매질의 체적함수비를 파악할 수 있는 관계를 유도할 수 있으며, 이들 관계로부터 신속하게 대상 다공질매질의 체적함수비 측정이 가능하다.

2.2 시료

시험에 사용된 시료는 주문진 표준사, 상주지역 화강암 풍화토, 무주지역 편마암 풍화토를 사용하였다. 각 시료에 대한 물성시험은 입도분석시험(KS F 2302)과 비중시험(KS F 2308)을 통해 각 물성치를 산정하였다 (표 1).

표 1. 시료 물성치

Material	Grain size distribution (%)			Curvature coefficient (Cg)	Uniformity coefficient (Cu)	Specific gravity
	Gravel (>4.75mm)	Sand (4.75~0.075mm)	Silt and caly (<0.075mm)			
Standard sand	0.00	99.99	0.01	1.0	1.5	2.62
Weathered granite soil	0.00	99.99	0.01	1.15	2.47	2.63
Weathered gneissic soil	0.00	99.99	0.01	1.13	3.20	2.62

흡시료 몰드의 제작은 표준 다짐몰드(직경 10cm, 높이 12cm)를 사용하여 각 흡시료의 초기 공극률이 0.37, 0.40, 0.45가 되도록 다짐하여 각기 제작하였다. 초기 공극률(n)은 흙의 비중(Gs), 다짐몰드 체적(Vt), 흙의 무게(Ws)에 대해 $Ws=(1-n)Vt \cdot Gs$ 의 관계를 적용하여 계산하였다. 또한, 각 초기 공극률에 대한 단계별 체적함수비 조절은 0.00 cc/cc에서 0.45 cc/cc 범위 내에서 0.05 cc/cc씩 증가시켜 불포화 흡시료 몰드를 제작하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 공극률과 측정전압 관계

각기 다른 공극률을 갖는 세 종류의 흡시료에 대한 측정전압의 측정분포를 초기 공극률과 비교해 보았다. 그림 2에서와 같이 모든 흡시료에서 초기 공극률이 증가할수록 측정전압도 함께 증가함을 보이고 있다. 또한 초기 공극률이 커질수록 흡시료의 공극 내 포함할 수 있는 수분의 양도 함께 증가하기 때문에 측정전압도 함께 증가함을 알 수 있다. 공극률과 측정전압의 상호관계에서는 공극률을 기준으로 볼 때, 측정전압의 증가는 거의 수평적 관계를 갖는 것으로, 이는 공극률의 크기에 관계없이 체적함수비의 영향이 큰 것으로 판단된다.

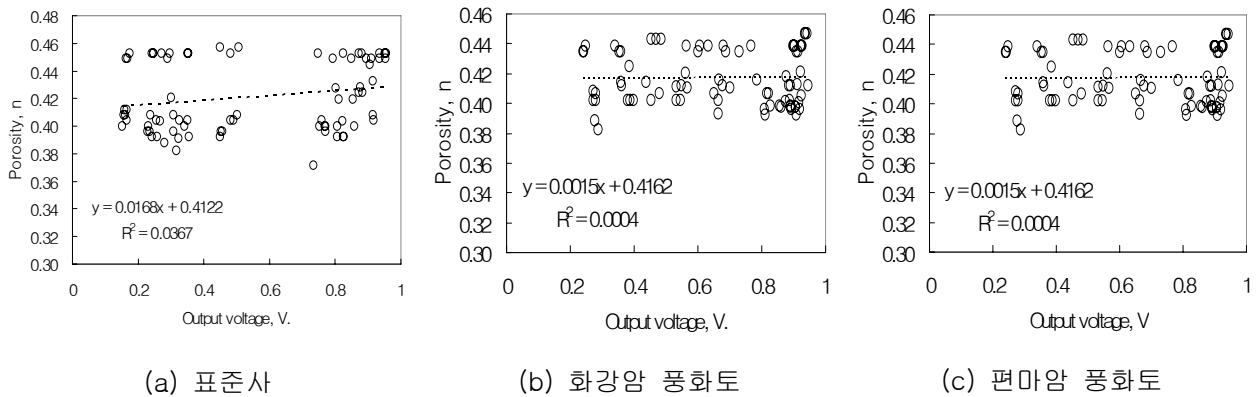


그림 2. 초기 공극률에 대한 측정전압의 관계

3.2 체적함수비와 측정전압 관계

그림 3은 설정된 공극률에 따른 표준사, 화강암 풍화토, 편마암 풍화토인 흡시료 몰드의 체적함수비 변화에 따른 측정전압의 분포를 나타낸 것이다. 측정전압에 따른 체적함수비 및 공극률의 관계에서 정의를 관계를 갖는 것으로 나타났다. 측정결과에서와 같이 동일한 공극률을 갖는 두 흡시료에 대해 측정전압과 비교해 보면, 흡시료 몰드의 체적함수비가 증가할수록 측정전압도 함께 증가함을 알 수 있다. 이것은 매질의 수분 함량이 높을수록 측정센서의 센서부에서 방출된 정전압이 흡입자에 대해 원활히 반사되어 센서부로 흡수되기 때문에 높게 측정된 것이다 (김만일과 Nishigaki, 2007). 이들 관계로부터 다음과 같은 체적함수비와 측정전압과의 상관식을 유도하였다.

표준사 : $\theta = -0.26 V^2 + 0.67 V - 0.04 [R^2 = 0.95]$

화강암 풍화토 : $\theta = 0.21 V^2 + 0.19 V + 0.01 [R^2 = 0.94]$

편마암 풍화토 : $\theta = 0.21 V^2 + 0.19 V + 0.01 [R^2 = 0.94]$

이들 상관식으로 측정센서에서 측정된 측정전압의 값만으로 대상 흡시료의 체적함수비를 신속하게 산정할 수 있다.

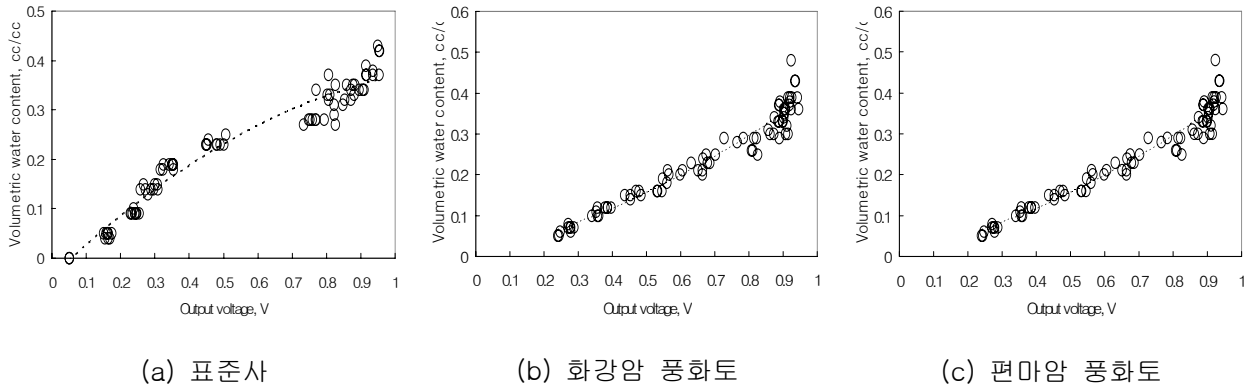


그림 3. 체적함수비와 측정전압의 상관관계

3.3 공극률과 체적함수비 관계

흙매질 내 수분의 존재는 흡입자와 입자사이의 공극에 주로 분포해 있으며, 공극을 둘러싼 흡입자에도 흡착되어 존재한다. 즉, 공극률이 커질수록 공극 내 분포할 수 있는 수분의 양도 함께 증가하기 때문에 흙매질의 공극률과 체적함수비는 매우 밀접한 관계를 가진다. 본 실험에서와 같이 흡의 공극률이 증가할수록 체적함수비도 함께 증가하는 정의 관계를 갖고 있음을 알 수 있다(그림 4). 조립질인 표준사의 경우 체적함수비 0.20에서 0.35 부근에서 다소 분산되어 있지만, 세립질을 포함하는 화강암 및 편마암 풍화토에서는 밀집된 분포를 보이고 있다. 이러한 분포 특성은 세립질 매질이 물을 흡착할 수 있는 능력이 뛰어나기 때문에 밀집된 형태를 보이는 것으로 나타났다.

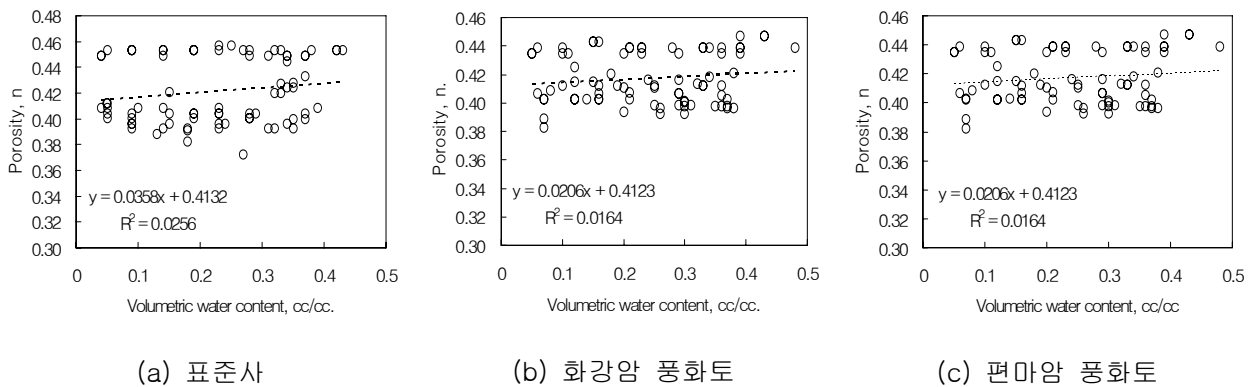


그림 4. 초기 공극률과 체적함수비 변화

4. 결론

본 실험연구는 산사태와 같은 토층사면파괴에 영향을 미치는 누적강우에 의한 흙매질 내 침투수 거동을 지배하는 침윤선의 분포를 체적함수비 변화로부터 파악하기 위한 실내시험을 수행하였다. ADR 측정센서의 현장 적용성 검토를 위해 흙매질의 밀도, 체적함수비에 대해 평가하였다. 본 실험연구에서 얻

은 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 측정센서의 측정부가 6cm 길이의 스테인레스 로드로 이루어져 있어, 현장 설치가 용이하며, 특히 연구자의 의도에 따라 토층의 심도별로 설치하여 체적함수비 변화를 충분히 측정할 수 있을 것으로 생각된다.
- 2) 공극률과 측정전압의 관계에서 공극률이 증가할수록 측정전압도 함께 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 공극 내 수분 함량이 높을수록 측정전압이 증가함을 의미하는 것이다.
- 3) 체적함수비 조건에서는 측정전압과의 관계로부터 불포화 흡시료에 대한 보정식을 유도하였다. 이들 식을 이용하여 측정센서에서 측정된 측정전압만으로 대상 현장토 매질의 체적함수비 산정이 가능하다. 이러한 보정 결과를 분석하여 ADR 측정센서의 측정 정확도 향상 및 향후 국내 풍화토에 적용하기 위해 측정전압과 체적함수비의 보정곡선과 보정방정식의 활용도가 높을 것으로 생각된다.

사사

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

참고문헌

- 김만일, 채병근, 정교철 (2005) “흡사면 절개지 불포화토의 침투거동 특성에 관한 연구”, 지질공학, Vol. 15(4), pp.487~494.
- 김만일, Nishigaki, M. (2007) "불포화토 유효공극 내 추적자 침윤선 거동 특성 평가", 지질공학, Vol. 17(1), pp.41-47.
- Gaskin, G. J. and Miller, J. D. (1996) "Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique, J. Agr. Engng. Res. Vol. 63, pp.153-160.
- Rahardjo, H., Leong, E. C., Gasmu, G. M. and Tang, S. K.(1998) "Assesment of rainfall effect on stability of residual soil slopes", *Proc., 2nd Int. Conf. Unsaturated Soils*, International Academic Publisher, Vol. 1, pp.280-285.