

현장 토양 투수계수 측정: 방법 및 사례

이진용, 이명재, 최예권, 김용철*, 이강근*

(주)지오그린21

*서울대학교 지구환경과학부

hydrolee@netian.com

요 약 문

This study presents procedures and analysis methods for well known two field soil permeability tests, disc-tension infiltrometer and Guelph permeameter. Some case tests are demonstrated and then some problems involving the tests were clarified. This study may be helpful for practical field hydrogeologists.

key word : soil permeability, disc-tension infiltrometer, Guelph permeameter

1. 서론

토양의 투수계수를 측정하기 위해 실내 실험 혹은 현장투수시험을 수행한다. 실내시험으로는 현장의 토양시료를 채취하여 입도분석을 하고 그 결과를 Hazen 방법(1991)으로 해석하는 것과 칼럼실험을 하는 방법 등이 있다. 그러나 이런 실내시험은 실제 현장 상태의 재현성에 문제가 있을 수 있다. 보다 나은 방법으로서 현장시험이 수행되는데 이때 흔히 알려진 디스크 장력 침투계나 Guelph 투수계를 이용하게 된다. 포화대에서 수행하는 순간수위변화시험(slug tests)이나 양수시험(pumping tests)이 각각의 장점과 한계를 가지는 것과 마찬가지로 토양(불포화대)에 대한 두 시험도 마찬가지이다(Lee and Lee, 1999). 본 연구에서는 두 토양 투수시험을 수행하는 방법과 해석법 그리고 실제 현장에서 수행할 때 주의할 점등에 대하여 논하였다. 아울러 본 연구는 학술적 접근보다는 아직 이러한 시험을 접하지 못한 현장 수리지질 엔지니어를 위한 내용이다.

2. 시험 방법

디스크-장력 침투계는 강수에 의해 직접적으로 영향을 받는 지표부근의 불포화대의 수리특성을 추정하기 위해 고안된 것이다. 이 시험을 통해 불포화 수리전도도, 포화수리전도도, 토양의 미세공극 모세관 길이, 수착도(sorptivity)를 구할 수 있다. 실제로 이 시험은 각각의 다른 주어진 장력하에서 시간에 따른 누적침투량을 측정함으로써 가능하다. Wooding(1968)은 단위면적당 정상상태에서 침투율을 다음과 같이 제시하였다. 즉, $Q=K_{wet} \cdot (1+4\lambda/\pi r)$ 이다.

여기서 λ 는 미세공극의 모관력 범위, r 은 침투계의 디스크 반경이며, K_{wet} 는 수리전도도이다. 토양입자의 크기가 균질하고 다져진 상태에서 수리전도도는 지수함수로 나타낼 수 있다고 하고 다음과 같은 Gardner(1958)식으로 나타내었다. $K=K_s \cdot \exp(h/\lambda)$, 여기서 K 는 불포화 수리전도도이고 K_s 는 포화 수리전도도이다. 만약 두 번의 다른 장력을 주고 실험을 했을 경우 다음과 같은 식으로 λ 를 구할 수 있다. 즉, $\lambda = \frac{|h_2 - h_1|}{|\ln(Q_2 - Q_1)|}$. 여기서 Q_1 과 Q_2 는 압력 수두 h_1 과 h_2 에서의 정상류에 도달했을 때의 침투율이다. 위의 두 식을 결합하여 다시 쓰면 다음과 같이 나타낼 수 있다. $Q=K_s \cdot \exp(h/\lambda)[1+4\lambda/\pi r]$. 이 식을 통해 포화수리전도도, 모세관 길이를 구할 수 있다.

Guelph 투수계의 원리도 디스크-장력 침투계와 마찬가지로이다. 그러나 그 형태는 매우 다르다. 디스크-장력 침투계와 달리 이 투수계는 토양에 직경 6 cm의 구멍을 약 15-75 cm 뚫어 이를 이용하여 시험한다. 이때에도 두 개 혹은 세 개 정도의 다른 압력조건을 가하여 그때의 침투율을 이용하여 수리전도도 등의 토양특성을 구한다. 이 때 포화 수리전도도는 $K_{fs}=[0.041 \cdot X \cdot R_2]-[0.0054 \cdot Y \cdot R_1]$, matrix flux potential은 $\phi_m=[0.0572 \cdot Y \cdot R_1]-[0.0237 \cdot Y \cdot R_2]$, 그리고 알파상수는 $\alpha=K_{fs}/\phi_m$ 이고 수차도는 $S=\sqrt{2(\Delta\theta)\phi_m}$ 이다.



그림 1. 디스크-장력침투계(왼쪽) 및 Guelph 투수계(오른쪽) 실험 모습

3. 결론

토양의 투수계수를 측정하는 두 가지 현장방법을 수행하는 차례 및 해석법에 대해 논하였다. 이런 시험들은 현장수리지질 엔지니어들이 일상적으로 수행하는 것이므로 그 이론과 방법 및 한계를 숙지할 필요가 있다. 디스크-장력침투계를 이용하여 토양(불포화대)의 수리적 특성을 알고자 할 때 현장실험시 주의해야 할 몇 가지 사항들이 있다. 우선 멤브레인(미세망)이 설치된 디스크를 설치할 때 토양표면을 약간 걷어내고 평탄하게 고른다. 제대로 표면이 평탄화되지 않으면 멤브레인이 손상되어 이 부분으로 물이 순식간에 빠져나가는 경우가 종종 발생한다. 그리고 표면에 디스크를 꼭 맞게 적절히 밀착시켜야 한다. 자갈이나 작은 나무가지 등은 필히 치워야 한다. 사실 디스크-장력침투계 시험은 다소 시간과 인내를 요하는 시험이므로 이에 대한 대비가 있어야 한다. 눈금을 정확히 보기 위해 돋보기 등을 준비하는 것도 좋다. 매

트리스 등을 준비하는 세심함도 현장에서는 큰 도움이 된다. 디스크 장력침투계에서 멤브레인 과 하부 토양의 밀착이 중요하다면 Guelph 투수계에서 가장 중요한 것은 상부 Reservoir 부분의 기밀성을 유지하는 것이다. 이에 실패하는 경우 하부를 통해 주입한 물이 모두 빠져 나가 버려 실험이 수행될 수 없다.

4. 참고문헌

- Hazen, A. 1911. Discussion: dams on sand foundations. *Transactions, American Society of Civil Engineers*, 73, 199.
- Lee, J.Y. and Lee, K.K. 1999. Analysis of the quality of parameter estimates from repeated pumping and slug tests in a fractured aquifer system in Wonju, Korea. *Ground Water* 37(5), 1531-1537.
- Wooding, R.A. 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Resources Research* 4, 1259-1273.
- Gardner, W.R. 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science* 85, 228-232.