

Green-Ampt 침투모델을 응용한 불포화 지반의 침투능 산정기법 제안

김만일^{1)*} · 정교철²⁾

1. 서론

강우량의 연간 분포 특성을 전세계적으로 분석해 보면 연평균 강우량은 약 973mm로 우리나라의 연평균 강우량인 1,283mm와 비교해 300mm 정도 차이를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 우리나라의 지리적, 지형적 특성으로 인해 연중 강우량의 2/3 이상이 집중호우 내지 태풍이 발생하는 하절기에 집중되어 전국적으로 산사태 및 홍수 등의 자연재해 발생 빈도가 증가하고 있는 실정이다. 따라서 국내 실정에 적합한 이같은 재해를 예측 관리할 수 있는 기술의 필요성이 대두되고 있다. 이를 위해 지반을 구성하고 있는 다양한 매질에 대한 유전율의 특성을 이용하여 지반의 물리적 성질을 파악하는 유전율 측정법은 지반환경 분야에서 활용되고 있다. 유전율 측정법은 Topp 등(1980)에 의한 time domain reflectometry 측정법, Gaskin and Miller(1996)에 의한 amplitude domain reflectometry 측정법 등이 일반적으로 지반 특성을 평가하는데 널리 이용되고 있다. 특히 TDR 측정법은 현장의 체적함수비 및 토양오염의 정도를 측정하기 위해 다방면으로 활용되어 왔다 (Jackson, 2003; Huisman *et al.*, 2001; Darnault *et al.*, 2001).

지반의 불안정 요인과 관련된 침투수의 거동 및 이에 대한 지하수 수위 변동에 대한 효율적 예측 및 관리를 위해선 지반의 다양한 지질공학적 정보들이 필요하다. 불포화 지반에서 강우에 의한 산사태, 지반침하, 지하수의 함양 및 지하수위 변동은 지반의 공간적인 파라메타들에 의해 좌우된다. 본 연구에서는 Green-Ampt 침투모델을 적용해 불포화 매질의 침투 특성을 파악하기 위하여 유전율 측정 시스템과 개량된 측정 프로브를 활용하여 Air-Entry Permeameter 시험을 수행하여 다공질 매질의 침투특성 평가여부를 파악하였다.

2. 지반의 침투 특성 평가

투수성을 갖는 지반을 대상으로 투수계수의 산정은 강우에 의해 침윤선 거동 및 토양 함수비 변화, 지하수 함양과 매우 밀접한 관계를 가지고 있을 뿐만 아니라 오염물질의 침투 거동 특성 파악에도 중요한 물성치로 평가된다. 현재 다양한 형태의 투수계수 산정 기법이 소개되어 있으나, 실질적으로 야외에서 직접 적용해 정량적이고 신속하게 이들의 물성치를 파악하는 것은 사실 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 원위치 투수시험이 가능한 Green-Ampt 모델을 응용하여 실내시험을 수행하였다.

$$\beta = (\theta_s - \theta_0) \quad (1)$$

주요어 : Green-Ampt 침투모델, 불포화, 포화, 유전율, 침투능

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (mikim@kis.kigam.re.kr)

2) 안동대학교 지구환경과학과 (jeong@andong.ac.kr)

식 (1)은 포화체적함수비(θ_s)와 초기체적함수비(θ_0)의 관계로부터 유효공극률($n_e = \beta$)의 관계를 갖는다. 유효공극률은 아래의 식으로 생각해 볼 수 있다. A 와 Q 는 공시체 단면적과 주입유량이다.

$$\beta = \frac{Q}{A \times z_f} = (\theta_s - \theta_0) \quad (2)$$

$$k = \frac{\beta}{t} \left\{ z_f + (H_0 + H_c) \ln \left(\frac{H_0 + H_c}{H_0 + H_c + z_f} \right) \right\} \quad (3)$$

여기서 k 는 포화투수계수(cm/sec)이며, H_0 와 H_c 는 수두(cm)와 suction(cm)을 의미한다. 그리고 z_f 와 t 는 침윤선 깊이(cm)와 경과시간(sec)을 나타낸다.

기존의 원위치투수시험법인 Air-Entry Permeameter 시험법을 개량하고, 단시간 내에 시험 결과를 획득할 수 있는 시험방법을 제안하였지만, 이 시험법을 적용해 투수성 다공질 매질의 투수계수를 측정하는 것은 어느 한 지점에서의 미량으로 존재하는 함수비의 변화를 정확하게 측정할 수 있는 측정법이 요구된다. 본 투수시험법은 다공질 매질의 유전을 반응 특성을 이용하는 유전을 측정장치인 frequency domain electometry 측정법을 적용해 공시체에 대한 투수계수를 산정할 수 있도록 하였다.

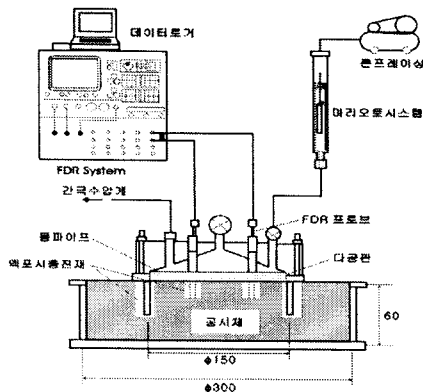


그림 1. 다공질 매질의 투수계수 측정을 위한 유전을 정수위 투수시험법 (unit: cm)

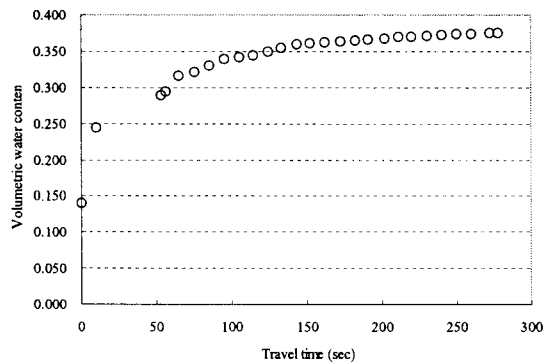


그림 2. 측정프로브 설치 지점에서의 체적함수비 변화 양상

그림 1에서 보는 바와 같이 공시체는 표준사와 점토를 1:1로 섞어 공극률이 0.40이 되도록 제작하였으며, 공시체 상단부에 측정프로브를 7cm 간격으로 2개 지점에 매설하였다. 침투량을 측정하기 위하여 마리오토장치를 설치하여 콘프레이셔의 압력으로 공시체 내부로 물을 침투시킬 수 있도록 고안하였다. 측정방법은 침투수가 콘프레이셔의 압력으로 마리오토장치를 통해 공시체 상단부로 주입됨과 동시에 측정프로브에서는 공시체 내부의 체적함수비가 실시간으로 자동 계측되도록 설정하였다.

본 공시체를 대상으로 침투 특성을 평가한 결과, 마리오토장치에서 콘프레이셔에 의해 주입된 주입수는 공시체 상부면에서 서서히 침투되어 설치된 측정프로브에서 체적함수비 변화를 확인할 수 있었다. 또한 주입 경과시간과 비교해 침투되는 물은 측정프로브 상에서 측정되어

지는 체적함수비의 변화 거동이 약 220초 정도부터 거의 일정하게 나타났다 (그림 2). 이것은 측정프로브가 설치되어 있는 지점에서 다공질 매질이 불포화 상태에서 포화 상태로 바뀌어짐을 의미하는 것으로 측정프로브가 위치한 지점 부근에서의 매질 상태는 완전 포화 상태임을 의미하는 결과이다. 그림 3과 4에서와 같이 매질 내에서의 수분 이동 특성에 따른 체적함수비와 유전율상수 변화를 도시한 것으로써 포화와 불포화 조건을 반복할 경우 공극의 분포가 감소함을 나타낸 것이다.

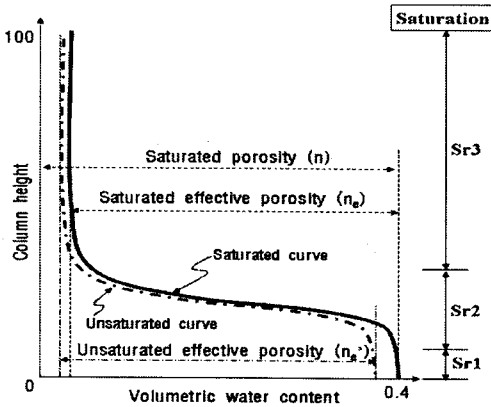


그림 3. 수위변동에 따른 매질의 수분분포특성 곡선

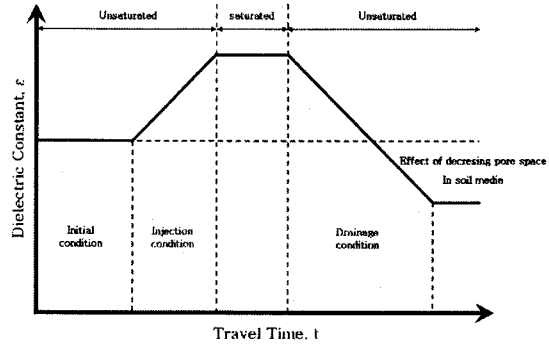


그림 4. 유전율 반응을 통한 다공질 매질의 유효공극률 변화

이러한 유전율에 의한 물성치 변화와 위에서 제시된 식 (3)을 이용하여 다공질 매질의 투수계수를 충분히 산정할 수 있을 것으로 판단될 뿐만 아니라 강우강도에 따른 불포화 지반 내에서의 침투수 거동 및 침윤선 평가에 있어 유전율 반응 모니터링을 통해 충분히 파악할 수 있을 것으로 기대한다.

3. 결론

불포화 매질에 대한 침투능 산정에 있어 Green-Ampt 모델에서 중요한 물성치인 침윤선 거동 특성 파악을 위해 유전율 측정프로브를 이용하여 실내시험을 통해 측정 가능성을 검토하였으며 획득된 실내시험 결과는 아래와 같다.

(1) 유전율 측정프로브로부터 Green-Ampt 모델에서의 물성치인 침윤선 깊이(z_f)와 도달 시간(t)을 유전율 반응을 이용해 정량적인 측정이 가능하다.

(2) 침투수에 의한 지반의 포화 및 불포화 변동 특성을 유전율 반응을 통해 지속적인 계측이 가능할 것으로 판단된다.

(3) 유효공극률 평가에 있어 매질의 포화/불포화 조건의 반복에 따른 유전율상수의 반응으로부터 유효공극률의 감소 경향을 파악하였으며, 이는 수위 변동에 따른 매질 내 공극의 체적 감소 원인으로 판단된다.

(4) 포화 매질의 경우 공극 내 물로 완전히 충전되어 있기 때문에 토입자의 유전율상수 영향보다는 물의 영향을 많이 받아 높은 유전율상수를 보이지만, 불포화 매질인 경우에는 공극 내 공기의 영향으로 인해 낮은 유전율상수를 갖는 특징을 가지며, 토입자의 밀도가 클 때 보다는 작은 경우 유전율상수가 상대적으로 낮게 나타나는 경향을 보였다.

4. 사사

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

5. 참고문헌

- Darnault, C.J.G., D.A. DiCarlo, T.W.J. Bauters, A.R. Jacobson, J.A. Throop, C. D. Montemagno, J.-Y. Parlange and T.S. Steenhuis, 2001, Measurement of fluid contents by light transmission in transient three-phase oil-water-air systems in sand, *Water Resources Research*, 37(7), p. 1859-1868.
- Gaskin, G.J., and Millker, J.D., 1996, Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(2), p. 153-159.
- Huisman, J.A., Sperl, C., Bouten, W., and Verstraten, J.M., 2001, Soil water content measurements at different scales: accuracy of time domain reflectometry and ground-penetrating radar, *Journal of Hydrology*, 245, p. 48-58.
- Jackson, S.H., 2003, Comparison of calculated and measured volumetric water content at four field sites, *Agricultural water management*, 58, p. 209-222.
- Topp, G.C., J.L., Davis and A.P. Annan, 1980, Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines, *Water Resources Research*, 16(3), p. 574-582.