

불교란 토양칼럼에서의 자연강우에 대한 토양배수특성 연구 A study on soil drainage characteristics of undisturbed soil columns and their responses to rainfall

이주영¹ · 이기철² · 전철민³ · 김재곤³

Juyoung Lee · Ki-Chul Lee · Chul-Min Chon · Jae Gon Kim
¹연세대학교 지하수토양환경연구소, ²한국농촌공사, ³한국지질자원연구원
femini@kigam.re.kr

요 약 문

본 연구에서는 다양한 토지이용의 불교란 토양칼럼 시료를 대상으로 토양 물리화학 특성 및 자연강우에 대한 토양배수 양상을 분석하였다. 공극률은 토양칼럼에서의 유효공극률과 투수계수 및 자연강우에 대한 배수율과 대체로 정의 상관관계를 보인다. 미국 통일분류법에 따라 토양을 분류하였을 때 소성성이 낮은 실트질 토양과 점토질 토양은 유효공극률이 낮으면서 배수율도 낮고, 소성성이 없는 실트질이 섞인 자갈(유구-논)과 실트질 모래는 유효공극률이 비교적 높으면서 배수율이 다소 높았다. 불교란 토양칼럼을 완전 포화상태에서 자연배수할 때 대부분의 토양은 50시간 전후로 거의 다 배수되며 150~200시간 경과되면 거의 모든 토양에서 완전배수가 되었다. 일부 500여시간이 경과되어도 지속적으로 배수되는 토양이 있는데 이는 토양수분보유특성에 기인하는 것으로 사료된다. 배수량으로 가정한 함양량 실험실시험에서는 오송(전의)임야 > 무주-밭, 무주-논 > 유구-임야 > 김해-밭 > 유구-논, 유구-밭 순으로 높았으며 이들 시료들의 함양률은 50% 이상이었다. 토성에 따른 자연강우 배수상태를 보면, 소성성이 낮은 실트질 토양의 배수율이 낮고, 실트질 모래는 다양한 배수상태를 보이나 대체로 배수율이 높다. 그리고 1차, 2차 실험에서 선행강우 5mm 미만은 토양배수에 영향을 미치지 않았다.

1. 서론

지하수함양의 특성은 강우에서 비포화대 층을 통과하여 대수층에 도달하는 과정에서 결정되는데 이때 토양별 배수특성은 매우 중요한 요소이다. 이러한 배수특성은 분포지질 뿐만 아니라 분포토양의 물리적/화학적 특성에 더욱 크게 영향을 받는다(Iwata and Narioka, 2002).

지하수함양률은 각 지역의 토양특성, 지형경사, 식생특성, 암반종류(분포지질), 기후(기온, 강수, 일조 등)에 따라 증발산량, 지표유출양상이 다르므로 차이가 난다(Ash and Malmquist, 2004; Scanlon et al., 2005). 그리고 동일한 지역에서 대해서도 시간에 따른 기후변동으로 인하여 매년 지하수함양률은 달라질 수 있다. 예를 들면 전년도 강우양상이 연중다우인 경우 선행강우량이 많기 때문에 불포화대의 수분함량이 대부분의 기간동안 높게 유지되어 강우의 상당부분이 지하로 침투될 수 있다. 이는 포화대인 대수층으로의 함양률이 높아짐을 의미한다. 반대로 동일 지역에서 그 이듬해 강우가 거의 없다가 태풍, 집중호우 등의 단기간 강우 강도만 있었을 경우, 그 강우량이 더 많다 하더라도 선행강우가 없으므로 불포화대는 건조한 상태에서의 강우는 대부분 지표에서 유거하여 하천으로 이동된다. 따라서 지하로 침투되어 지하수로 함양되는 양은 상대적으로 적어질 수 있다. 이러한 경향을 고려할 때 특정시기동안의 현장조사로부터 산출한 지하수함양률은 조사기간 동안에 한정된 값으로 제한되며, 그 지역의 전반적인 지하수함양률을 산출하기 위해서는 평년기후관측자료(10년간 기후자료) 또는 그 이상의 장기간 기후관측자료를 이용하여 조사

지역의 수리지질특성에 맞는 지하수함양률을 추정하거나 수년간 현장조사를 누적하여 그 지역의 평균함양률을 추정하는 것이 타당하다.

본 연구에서는 경기 화성과 전북 무주 이외에도 충남 유구, 충북 오성 및 충남 전의, 전북 김제, 전남 나주, 경남 김해에서 각각 논, 밭, 과수원, 임야의 불교란시료를 채취하여 투수계수와 유효공극률을 측정하고 자연강우에 대한 배수량 변화를 직접 측정하여 비교 분석하고 지하수 함양률 추정 기본자료로 활용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 시료채취 및 연구방법

토양시료는 경기 화성, 충남 대전, 충남 유구, 충남 전의/충북 오성, 전북 김제, 전북 무주, 전남 나주, 경남 김해지역에서 논, 밭, 과수원, 임야로 이용하는 토양을 채취하여 실내에서 토성, 함수비, 간극비, 공극률, 포화도, 투수계수를 측정하였다. 수직길이 100cm 이상, 직경 25cm의 아크릴관을 사용하여 채취한 불교란 토양칼럼은 야외에 설치하여 투수계수, 유효공극률(비산출율) 및 자연강우에 대한 배수량을 측정하였다(Fig. 1). 토양칼럼 상부에는 물고임 현상을 막기 위해서 Overflow용 구멍을 만들었으며, 논토양의 경우 관개(irrigation) 상태를 유지하기 위하여 구멍을 설치하지 않았다.

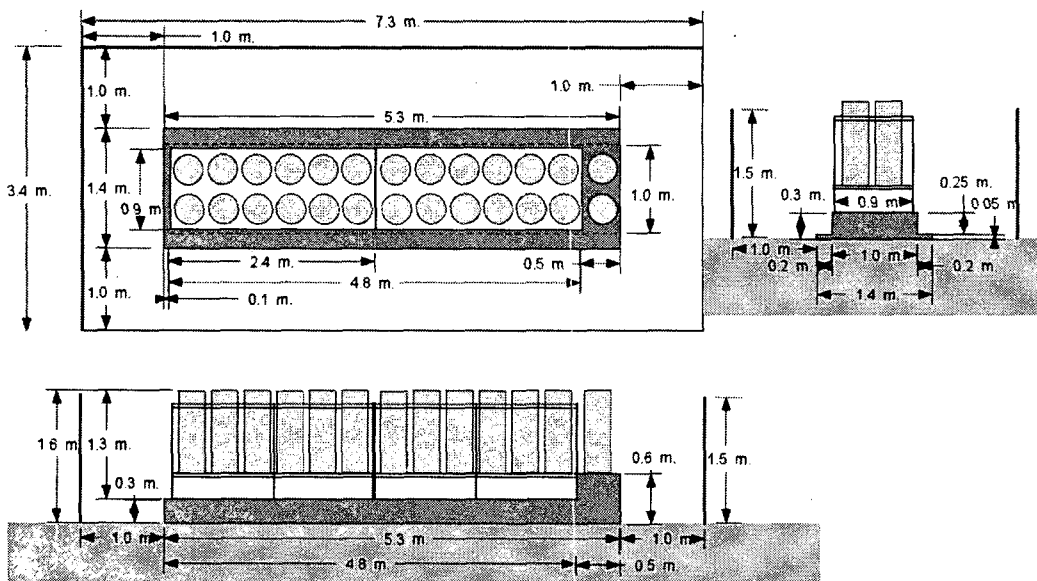


Fig. 1. Details of the undisturbed soil columns in the field for drainage characterization.

3. 연구결과 및 토의

공극률은 토양칼럼에서의 유효공극률과 투수계수 및 자연강우에 대한 배수율과 대체로 정의 상관관계를 보인다(Fig. 2). 공극률이 높은 시료들의 유효공극률은 다른 시료들에 비해 높았고 투수계수도 상대적으로 높았다. 김제-논, 김해-논, 나주-논 3점의 토양칼럼은 100여일이 경과 되어도 완전포화상태에 도달하지 못할 정도로 토양의 투수상태가 매우 불량하였으며, 나주-과수, 화성-논은 실제로 투수계수를 실험한 결과 각각 $7.70 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$, $7.27 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 로 매우 낮았으며, 김제-임야, 나주-밭, 무주-과수, 오성(전의)-논, 화성-밭 5점 시료는 불교란상태에서 직접 실험한 결과 구한 투수계수가 수 10^{-5}cm/sec 로 실내실험과 차이를 보이고 있다. 이는 실험방법상의 차이에 기인한 것으로 사료된다. 실내투수시험에서 투수계수가 제일 낮았던 김제-과수

(2.97×10^{-8} cm/sec)는 불교란투수시험에서 2.32×10^{-4} cm/sec으로 상당히 높아 배수상태가 '양호'한 토양들과 거의 비슷하였다. 유효공극률에 따른 토양배수상태도 미약한 정(+)의 상관관계를 보인다. 미국 통일분류법(the Unified Classification Method)에 따라 토양을 분류하였을 때 소성성이 낮은 실트질 토양과 점토질 토양은 유효공극률이 낮으면서 배수율도 낮고, 소성성이 없는 실트질이 섞인 자갈(유구-논)과 실트질 모래는 유효공극률이 비교적 높으면서 배수율이 다소 높았다.

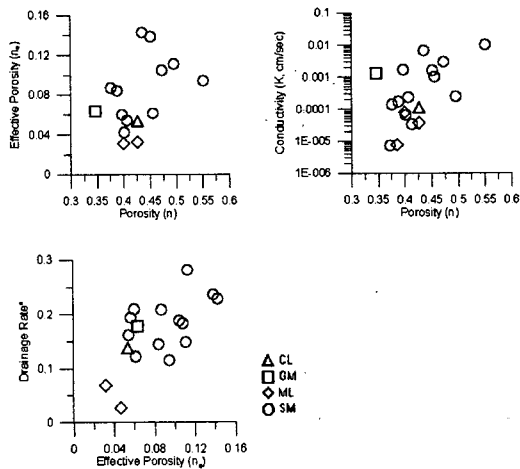


Fig. 2. Plots of the effective porosity, conductivity and drainage rate versus porosity

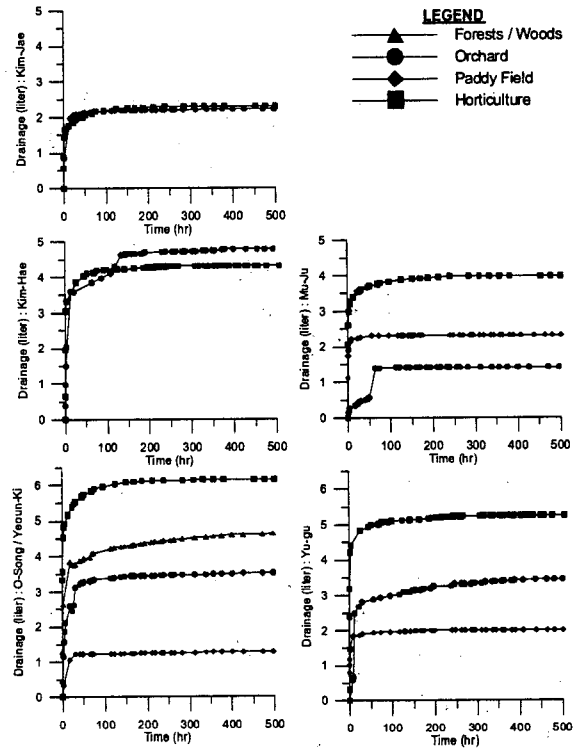


Fig. 3. Soil drainage rate in saturated condition.

불교란 토양컬럼을 완전 포화상태에서 자연배수할 때 대부분의 토양은 50시간 전후로 거의 다 배수되며 150~200시간 경과되면 거의 모든 토양에서 완전배수가 되었다고 볼 수 있다(Fig. 3). 그러나 오송(전의)-임야 및 유구-과수에서처럼 500여시간이 경과되어도 지속적으로 배수되는 토양이 있는데 이는 토양수분보유특성에 기인하는 것으로 사료되며 이들 관계를 규명하기 위해서는 보다 더 심도있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

강수량 및 급수량에 반응하는 배수율로 추정된 함양률을 산출한 결과 토양배수상태 및 실내투수시험에서 매우 양호하였던 오송(전의)-논, 오송(전의)-밭의 함양률은 다른 시료에 비해 현저히 높지는 않았다. 실측시험에서는 오송(전의)임야 > 무주-밭, 무주-논 > 유구-임야 > 김해-밭 > 유구-논, 유구-밭 순으로 높았으며 이들 시료들의 함양률은 50% 이상이었다. 유효공극률실험에서 투수계수가 너무 낮아 실험이 불가능하였던 김제-논, 나주-논은 300여mm를 주입하였으나 함양률이 3%, 4%로 매우 낮았으며 실제로 비가 온 후에는 빗물이 거의 토양으로 내려가지 못하고 증발산(특히 증발)에 의해 수위(토양 위 수위)가 낮아졌다. 두 시료는 거의 지하침투가 일어나지 않았으며 완전포화시키기 위해 아래에서 위로 물을 주입하였을 때에도 거의 변화를 보이지 않았다. 김해-논과 화성-논은 시험 전 태양광에 직접 노출된 관계로 표면으로부터 20여cm 깊이까지 균열(건열)이 발달되어 급수에 의한 배수량이 많아 함양률이 과장되었으나 실제로 여름에 논토양

의 표면상태에 따라 논에서의 함양률이 매우 높을 수도 있음을 간접적으로 유추할 수 있다.

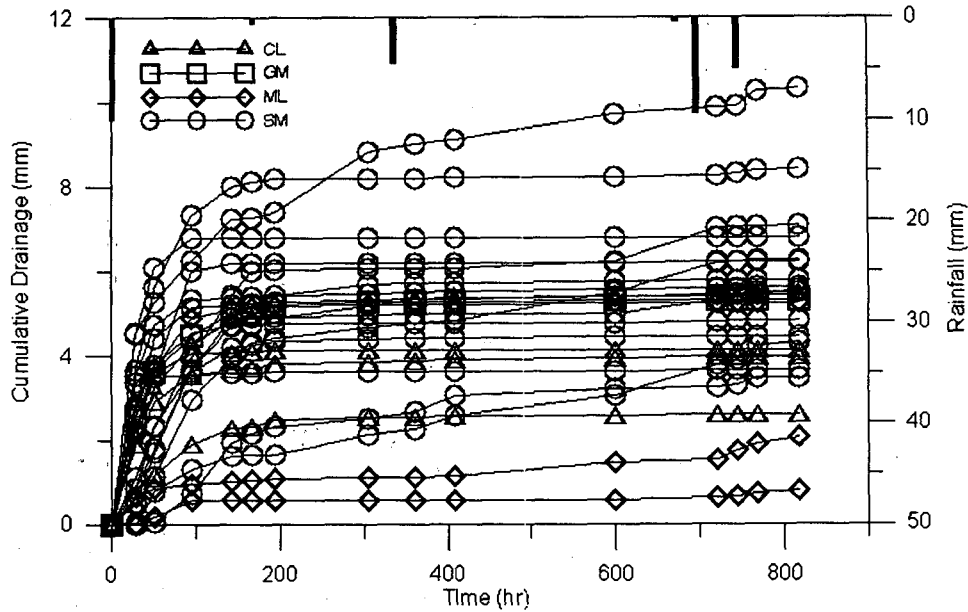


Fig. 4. Changes in soil drainage to rainfall (Experiment 2)

토성에 따른 자연강우 배수상태를 보면(Fig. 4), 소성성이 낮은 실트질 토양의 배수율이 낮고, 실트질 모래는 다양한 배수상태를 보이나 대체로 배수율이 높다. 그리고 1차, 2차 실험에서 선행강우 5mm 미만은 토양배수에 영향을 미치지 않았다.

향후 토양수분 및 지하수 수위변화를 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 구축하여 토양 및 미고결 비포화대의 특성, 토지이용 등이 지하수함양 특성에 미치는 영향을 정량적으로 산출하고자 한다.

4. 참고문헌

정인준, 김명모, 1993, 알기쉬운 토질역학, 개정판, 문운당, 312p.

Ash, J.M. and Malmquist, P. (2004) Recharge potential quantification using soil drainage factors and drainage basin data. 2004 NGWA, Dec. 12, Las Vegas Nevada.

Iwata, Y. and Narioka, H. (2002) Study on water holding capacity of tubular -macropores. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand.

Scanlon, B.R., R.C. Reedy, D.A.Stonestrom, D.E. Prudic and K.F. Dennehy (2005) Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. Global Change Biology, v. 11, p. 1577-1593.