

## 불포화 토양시료의 불포화대 수리전도도-유효공극율의 상관관계 분석

이병선<sup>1</sup> · 이기철<sup>1</sup> · 우명하<sup>1</sup> · 이주영<sup>1</sup> · 김정희<sup>1</sup> · 우남철<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국농촌공사 농어촌연구원

<sup>2</sup>연세대학교 지구시스템과학과

byungsun94@ekr.or.kr

### 요 약 문

This study was examined to determine hydraulic conductivity of vadose zone( $K_s$ ) and effective porosity( $\theta_e$ ) of undisturbed soil profiles collected at each vadose zone of 6 study areas in South Korea. Effective porosity was approximately 19% of total porosity for each soil profile. Applied to Ahuja's equation, the correlation between  $K_s$  and  $\theta_e$  showed  $y=1.3 \times 10^{-7} x^{2.15}$  ( $r^2=0.37$ ) for total soil profiles. Although the small numbers of soil profile were used for this study, the result of this study might be used for other soil hydraulic studies as reasonable data.

**key word** : undisturbed soil profile, hydraulic conductivity of vadose zone, effective porosity, Ahuja's equation

### 1. 서론

불포화대 수리전도도와 유효공극율은 지하수 함양율을 결정하는 중요한 물리특성인자이다. 불포화대 수리전도도는 빗물의 지표하 침투율, 지표유출, 실 지하수 함양량과 관계가 깊으며, 유효공극율은 주로 물의 흐름에 기여한다<sup>1) 2) 3)</sup>. 따라서, 대상부지를 대표할 수 있는 불포화대 수리전도도와 유효공극율 등을 확보할 수 있다면, 대상부지의 명확한 함양율 산정에 주요 기초자료로 활용될 수 있다. 이 연구에서는 불포화대 불포화 토양시료의 투수실험 및 유효공극율 실험을 통하여 최대한 현장대변이 가능한 자료를 얻고자 하였고, 나아가 두 인자간 상관관계를 살펴보고자 하였다.

### 2. 시료채취 및 실험방법

#### 2.1. 시료채취 및 설치

경기 화성, 충남 연기, 충남 공주, 전북 김제, 전북 무주 그리고 경남 김해 등 6개 지역의 논, 밭, 과수원, 임야 토양을 대상으로, 각 지역의 대표 불포화대 불포화시료를 각각 1점씩 채취(총 23개, 김해는 임야 미채취)하였다. 토양시료는 수직길이 100cm, 지름 25cm의 아크릴관을 사용하여 채취하였다. 아크릴관을 중심으로 주변토양을 제거하며, 약 10~15cm 심도마다 아크릴관을 타격하여 관안으로 토양을 주입하였다. 채취된 시료는 한국농촌공사 농어촌연구원 내 실험장으로 옮겨졌으며, 실험에 필요한 제반장치를 설치하였다. 이 후, 토양시료의 온도를 최대한 지열과 비슷하게 하기 위하여, 각 실험대를 합판으로 막고 빈 공간에는 쌀겨를 삽입하여 온도를 일정하게 유지하도록 하였다(Fig. 1). 상기 불포화 시료와는 별도로, 총공극율 측정을 위하

여, 수직길이 50cm의 동관을 사용하여 동일지역의 토양시료를 채취하였다.

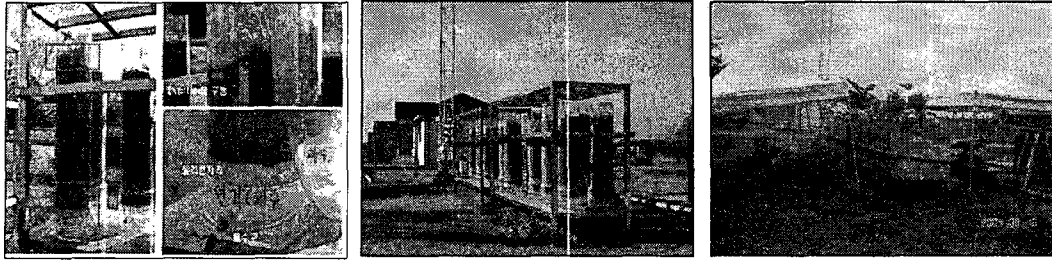


Fig. 1. Infiltrating systems of undisturbed soil profile to determine hydraulic conductivity( $K_s$ ) and effective porosity( $\emptyset_e$ ) of vadose zone.

## 2.2. 실험방법

불교란 토양시료의 불포화대 수리전도도 및 유효공극을 측정은 정수위 투수실험으로 실시하였다. 모든 토양시료를 물로 포화시킨 후, 각 시료마다 50cm의 고정수두를 설정하여 시간당 물 유입량과 유출량을 측정하였다(Fig. 2). 실험 종료 후, 물 유입량과 유출량의 유량 균형이  $\pm 5\%$  이내 또는 유량차가 미량( $0.7 \text{ l/day}$  미만)인 시료 18개만을 해석에 이용하였다. 총공극율은, 농어촌연구원 농공기술연구실에 간극비 측정을 의뢰한 후 이를 환산하여 산출하였다.

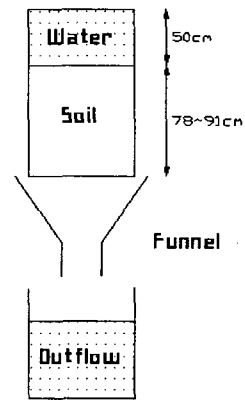


Fig. 2. Conceptual model for determining  $K_s$  and  $\emptyset_e$ .

## 3. 결과 및 토의

### 3.1. 불교란시료의 포화수리전도도 및 유효공극율

불교란시료의 불포화대 수리전도도, 유효공극율과 총공극율은 Table 1.과 같다. 불포화대 수리전도도는 지역, 토지이용 특성에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 유효공극율은 3~14% 범위, 평균 8%이고, 총공극율은 30~55% 범위, 평균 42%로 나타났다. 이 연구에서 획득한 유효공극율은 공극율의 평균 19%로 나타났다. 이 연구에 주로 이용된 토양시료는 주로 모래-실트질(SM)로서, 토양시료 수가 적다는 한계가 있지만, 이 결과는 국내 모래-실트질 토양의 지하수 함양을 관련 연구의 주요 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

Table 1. Physical properties of soil profiles determined by infiltration tests.

study area		Quantity			K <sub>s</sub> (cm/sec)	porosity			U.S.C.
		Q <sub>in</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>out</sub> (m <sup>3</sup> /d)	mass balance		Ø(%)	Ø <sub>e</sub> (%)	ratio(%)	
Kim-Je	orchard	0.0101	0.0098	-1.2	3.8×10 <sup>-6</sup>	41	5	13	SM
	vegetable plot	0.0734	0.0716	1.3	2.6×10 <sup>-5</sup>	40	6	15	SM
Kim-Hae	vegetable plot	0.1214	0.1266	-2.1	5.0×10 <sup>-5</sup>	47	10	22	SM
Mu-Ju	forest	0.0092	0.0093	-0.6	3.8×10 <sup>-6</sup>	41	6	14	SM
	orchard	0.0013	0.0016	-9.2	6.5×10 <sup>-7</sup>	43	3	8	ML
	paddy field	0.0451	0.0436	1.7	1.6×10 <sup>-5</sup>	46	6	13	SM
	vegetable plot	0.4346	0.4314	0.4	1.7×10 <sup>-4</sup>	55	9	17	SP-SM
Yon-Ki	forest	0.0240	0.0236	0.8	9.9×10 <sup>-6</sup>	31	11	35	SM
	orchard	0.0107	0.0105	0.7	4.3×10 <sup>-6</sup>	39	8	22	SM
	paddy field	0.0036	0.0033	3.7	1.3×10 <sup>-6</sup>	40	3	8	ML
	vegetable plot	0.0669	0.0669	0.0	2.9×10 <sup>-5</sup>	45	14	31	SM
Kong-Ju	forest	0.0535	0.0525	1.0	2.2×10 <sup>-5</sup>	47	5	10	SM
	orchard	0.0052	0.0058	-5.2	2.2×10 <sup>-6</sup>	38	9	23	SM
	paddy field	0.0553	0.0544	0.9	1.9×10 <sup>-5</sup>	35	6	18	GP-GM
	vegetable plot	0.2718	0.2767	-0.9	9.8×10 <sup>-5</sup>	44	14	33	SM
Hwa-Su ng	forest	0.0058	0.0057	0.9	2.3×10 <sup>-6</sup>	52	11	22	SM
	orchard	0.0041	0.0048	-7.0	1.8×10 <sup>-6</sup>	30	5	18	CL
	vegetable plot	0.0023	0.0028	-10.4	1.1×10 <sup>-6</sup>	40	4	11	SM

· note : K<sub>s</sub>, hydraulic conductivity of vadose zone ; Ø, total porosity; Ø<sub>e</sub>, effective porosity

### 3.2. 불교란시료의 불포화대 수리전도도 및 유효공극율간 상관관계

Ahuja *et al.*<sup>4)</sup>은 토양의 불포화대 수리전도도(K<sub>s</sub>)와 유효공극율(Ø<sub>e</sub>) 간 아래의 식이 성립함을 제시했다.

$$K_s = B\theta_e^n \quad (B, n \text{은 상수})$$

이 연구에서는 상기 식을 토대로 불교란시료의 불포화대 수리전도도와 유효공극율간의 상관관계를 산출하였다(Fig. 3). 총 18개 시료에 대해서 살펴본 결과  $y=1.3 \times 10^{-7} x^{2.15}$  ( $r^2=0.37$ )의 상관관계를 보였고, 임야의 경우  $y=7 \times 10^{-5} x^{-1.13}$  ( $r^2=0.27$ ), 과수원의 경우  $y=2 \times 10^{-7} x^{1.46}$  ( $r^2=0.60$ ), 논인 경우  $y=2 \times 10^{-8} x^{3.72}$  ( $r^2=0.99$ ) 그리고 밭의 경우  $y=7 \times 10^{-8} x^{2.77}$  ( $r^2=0.57$ )의 상관관계를 보였다. 일반적으로 유효공극율이 증가할수록, 수리전도도도 역시 증가한다. 그런데, 임야의 경우 음(-)의 상관관계를 보이는 것으로 살펴볼 때, 이 연구에서 논한 임야의 수리전도도와 유효공극율간의 상관관계는 앞으로 더 많은 시료를 대상으로 분석하여 더 나은 결과를 얻어야 할 것으로 사료된다. 나아가, 국내 과수원, 논, 밭의 더 많은 시료를 채취하여 국내 토양의 불포화대 수리전도도와 유효공극율 간 더욱 정밀한 상관관계를 얻을 필요가 있다.

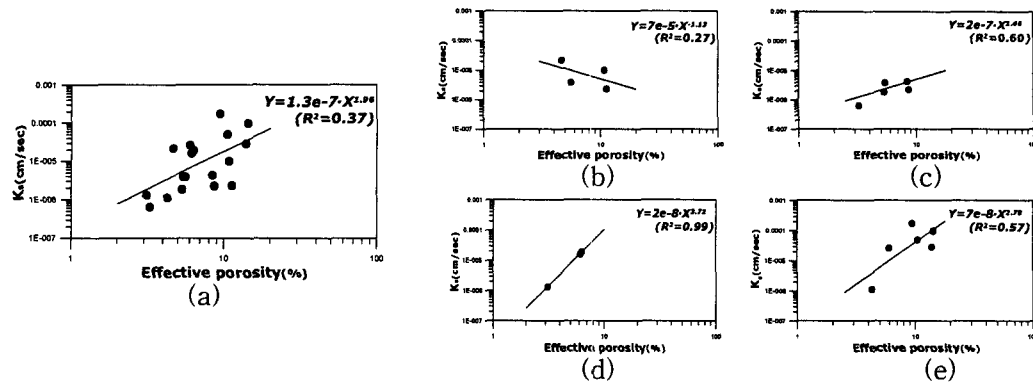


Fig. 3. Correlation between  $K_s$  and  $\emptyset_e$  of 18 soil profiles collected at each vadose zone of 6 study areas. (a) all samples, (b) forest, (c) orchard, (d) paddy field, (e) vegetable plot

#### 4. 결론

국내 6개 시군의 대표 불교란 토양시료에 대해 정수위 투수실험을 실시하여 불포화대 수리전도도 및 유효공극율을 측정하였다. 불포화대 수리전도도의 경우, 지역 및 토지이용에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 유효공극율의 경우, 총공극율의 평균 19%로 나타났다. Ahuja *et al.*(1984)식에 의해 산출한 불교란시료의 불포화대 수리전도도와 유효공극율간의 상관관계식은  $y = 1.3 \times 10^{-7} x^{2.15}$  ( $r^2 = 0.37$ )였다. 이 결과는 국내 지하수 함양을 관련 연구의 주요 기초자료로 활용될 것으로 기대되며, 향후 더 많은 불교란 시료를 채취하여 실험한다면 더욱 정밀한 상관관계를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 5. 참고문헌

- 1) Brooks, R.H. and Corey, A.T., 1964, Hydraulic Properties of porous media, Hydrology paper, Vol. 13, Colorado State Univ., Fort Collins
- 2) Brutsaert, W., 1967, Some methods of calculating unsaturated permeability. Trans. ASAE 10, 400-404
- 3) Aimrun, W., Amin, M.S.M. and Eltaib, S.M., 2004, Effective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated hydraulic conductivity, GEODERMA, 121, 197-203
- 4) Ahuja, L.R., Naney, J.W., Green, P.E., and Nielsen, D.R., 1984, Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management, Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 699-702

#### 감사의 글

이 연구는 농림부 농림기술개발사업 “농촌지역 청정지하수 수질감시/관리시스템 개발” 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.