

로그분포모형을 이용한 토양입도분포로부터의 불포화수리진도도 추정

항상일

한국환경정책·평가연구원 (sangilh@kei.re.kr)

<요약문>

Unsaturated hydraulic conductivity models have been widely used for the numerical modeling of water flow and contaminant transport in soils. In this study, a simple hydraulic conductivity model is developed by using information of particle-size distribution from the lognormal distribution model and its results are compared with those from the Kosugi-Mualem (KM) model. The accuracy of the proposed model is verified for observed data chosen from the international UNSODA database. Results showed that the proposed model produces adequate predictions of hydraulic conductivities. Performance of this model is generally better than the KM function.

key word : unsaturated hydraulic conductivity function, particle-size distribution, lognormal distribution model

1. 서론

불포화토양의 수리특성은 수분보유특성(water retention characteristics)과 불포화 수리진도도로 나타낼 수 있다. 수분보유특성을 나타내는 모형들^{1),2)}은 Burdine³⁾ 또는 Mualem모형⁴⁾과 결합하여 수리진도도를 예측하는 모형을 만들 수 있다. 이렇게 결합된 수분보유특성-수리진도도 모형들은 토양내 물의 이동과 오염물질 이동 예측에 널리 이용되어져 왔다. 특히 Kosugi⁵⁾는 토양내 공극이 로그분포한다는 가정하에 수분보유특성-수리진도도 결합모형(Kosugi-Mualem, KM)를 개발하였다. 최근에 Hwang과 Powers⁶⁾는 토양입도와 공극이 로그분포를 띤다고 가정하여, 수분보유특성곡선을 토양입도분포로부터 직접 구하는 모형을 개발하였다. 본 연구에서는 이미 개발된 로그분포모형을 이용하여 입도분포로부터 불포화수리진도도를 직접 추정할 수 있는 모형을 개발하고 이의 적용성을 살펴보았다.

2. 모형개발

KM모형의 토양수분특성과 수리진도도 식은 각각 다음과 같다⁵⁾.

$$S_e(\ln h) = Fn[\ln(h_m/h)/\sigma_h] \quad (1)$$

$$K_r(S_e) = S_e^{1/2}\{Fn[Fn^{-1}(S_e) + \sigma_h]\}^2 \quad (2)$$

여기에서 S_e 는 효과포화도(effective saturation), Fn 은 누적정규분포, Fn^{-1} 은 누적정규분포의 역함수, h 는 모세관압(cm), h_m 은 $S_e=0.5$ 일때의 모세관압, σ_h 는 $\ln h$ 의 표준편차, K_r 은 상대수리전도도이다. 토양수분보유특성에 대한 실험치가 있다면 식 (1)로부터 매개변수 h_m 과 σ_h 를 추정할 수 있고 이렇게 추정된 σ_h 를 이용하여 수리전도도를 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다. 하지만 이를 위해서 수분보유특성의 실측자료가 필요하다.

식 (2)에서 유일한 매개변수는 σ_h 이다. 본 연구는 이 σ_h 를 쉽게 구할 수 있는 토양입도분포로부터 직접 추정하는 방법에 관한 것이다. Hwang과 Powers⁶⁾는 토양입도분포로부터 식 (1)을 직접 구하는 방법을 정립하였다. 그들은 우선 토양입도분포가 로그분포한다고 가정하였다(식 3).

$$F(\ln d) = Fn[\ln(d/d_m)/\sigma_d] \quad (3)$$

여기에서 d 는 토양입자의 직경(mm), $\ln d_m$ 과 σ_d 는 각각 $\ln d$ 의 평균과 표준편차이다. Hwang과 Powers⁶⁾는 토양내 입도분포와 공극분포사이의 관계가 선형이라고 가정한다면, σ_h 는 σ_d 과 같다고 하였다. 그러므로 식 (2)는 다음의 식과 같이 입도분포로부터 직접 구할 수 있다.

$$K_r(S_e) = S_e^{1/2}\{Fn[Fn^{-1}(S_e) + \sigma_d]\}^2 \quad (4)$$

3. 연구재료 및 방법

본 연구를 위해서는 각 토양에 대한 입도분포, 토양수분보유특성 및 수리전도도 측정자료가 동시에 있어야 한다. 이러한 자료는 UNSODA자료로부터 총 113개의 토양을 선택하였다. 우선 KM모형을 이용하여 수리전도도를 예측하기 위해서는 σ_h 이 필요한데, 이 값은 식 (1)을 수분보유특성자료에 fitting하여 얻었다. 또한 새로 제안된 모형 식 (4)를 이용하기 위해서는 σ_d 가 필요한데, 이 값은 입도분포 실측자료에 식 (3)을 fitting하여 얻었다. 두 모형의 추정능력을 비교하기 위해 다음의 식을 이용하였다.

$$SE_i = (\log K_i - \log K_{p_i})^2 \quad (5)$$

여기에서 K_i 와 K_{p_i} 는 각 수리전도도 실측점에서의 실측치와 예측치 (cm/d)이다.

4. 연구결과 및 결론

본 연구는 식 (4)가 과연 식 (2)에 견줄 수 있는 예측능력을 가지고 있는지 검증하는 것이다. 만약 식 (4)의 예측능력이 좋다면 굳이 식 (2)의 σ_h 를 구하기 위해 수분보유특성을 실험으로 구할 필요가 없고 쉽게 측정할 수 있는 입도분포로부터 수리전도도를 구할 수 있는 것이다. <표 1>은 KM모형과 새로 제안된 모형의 SE_i 값의 차이를 보여준다. SE_i 값의 평균, 표준편차, 최대값을 보면 새로 제안된 모형이

KM모형보다 예측오차가 작다는 것을 보여준다. 이러한 연구결과는 본 연구에서 개발된 모형이 기존 KM모형보다 예측능력이 높다는 것을 보여주고 있다.

Table 1. Average, standard deviation, and maximum values of SE obtained for 113 soils by the KM and proposed model

SE_i	KM model	Proposed model
평균	6.424	6.049
최대값	43.687	42.129
표준편차	7.148	6.654

5. 참고문헌

- 1) Brooks, R.H., Corey, A.T., 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Pap. No. 3. Colorado State Univ., Fort Collins.
- 2) van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-898.
- 3) Burdine, N.T., 1953. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng. 198:71-77.
- 4) Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res. 12:513-522.
- 5) Kosugi, K., 1996. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. Water Resour. Res. 32:2697-2703.
- 6) Hwang, S.I., Powers, S.E., 2003. Lognormal distribution model for estimating soil water retention curves for sandy soils. Soil Sci. 168:156-166.