

석회암 유래 토양의 침투 및 투수속도 평가에 따른 수문유형 분류

Classification of Hydrologic Soil Groups by Infiltration and Permeability in Soil Originated from Lime Stone

허승오*, 정강호**, 손연규***, 박찬원****, 하상건*****, 김정규******

Seung Oh Hur, Kang Ho Jung, Yeon Kyu Sonn, Chan Won Park, Sang Keon Ha, Jeong Kyu Kim

요 지

강원도 남부(영월)와 충북 제천, 단양 등지에 널리 분포하는 석회암에서 유래된 토양은 점토 및 철분함량이 많은 식질계 토양이며 pH와 염기포화도(Base Saturation)가 높은 붉은색 토양이다. 이 토양은 식양질과 식질 등의 세립(細粒)질로만 구성이 되어 있고 자갈이 있는 토양으로 분류된다. 따라서, 토양의 침투 및 투수속도가 우리나라 토양의 주 모재인 화강암이나 화강편마암 유래 토양과는 다른 양상을 보인다. 본 연구는 세립질 특성을 보이는 석회암 유래 토양의 지표면에서의 침투속도와 토양층위별 투수속도를 측정해 복잡하게 세분되어 있는 토양의 종류를 수문학적인 목적에 따라 단순화하기 위해 만든 수문학적 토양유형을 분류하고자 하였다.

실험을 위해 이용된 토양은 과립, 모산, 장성, 마지, 안미, 평안동의 6개 토양이었고 장력 침투계(Disc tension infiltrometer)와 투수속도 측정계(Guelph permeameter)로 침투 및 투수속도를 측정했다. 현장측정 이후 추정식의 개발을 위해 토양층위별로 시료를 채취하여 실험실조건에서 입도분포, 유기물함량을 측정했다. 토양층별 침투 및 투수속도를 측정한 결과는 유기물 층이 존재하는 과립통은 공극이 많고 토층 내에 나무 및 식물뿌리가 존재해 전체적으로 침투 및 투수속도가 빠른 특성을 보여 수문유형을 A로 분류되었다. 모산통은 토층 내에 자갈함량이 아주 높고 투수속도가 다른 토양에 비해 월등히 빠른 특성을 나타냈으나 50cm이내에서 암반층이 존재하는 관계로 수문유형이 C로 분류되었다. 토층이 깊지 않은 장성통은 토층 내에 나무 및 식물뿌리가 많고 암석노출지가 존재해 침투속도가 빠름에도 불구하고 C 수문유형으로 분류됐다. 자갈이나 잔돌이 많은 마지통은 잔자갈이 존재하고 침투나 투수속도가 빠른 편으로 A유형이었다. 논으로 사용되는 안미통은 다른 석회암 유래토양에 비해 토층이 깊은 편이며 석회암 축적층에서 유래된 토양으로 선상지 및 곡간지에 분포한다. 관개된 상태에서 로타리 작업에 의해 표토의 특성이 교란되는 논으로 이용되는 특성 때문에 침투 및 투수속도는 느려 C유형으로 분류됐다. 잔돌이 존재하는 평안통은 석회암 봉적, 퇴적층으로부터 유래된 토양으로 산록경사지 및 선상단구에 분포하며 표토층인 A층에서 중입상구조를 보이며 공극이 많고 작물뿌리가 매우 많아 침투속도는 빠르나 B층에서는 점토 함량이 감소했다 증가하면서 토성이 급격히 바뀌는 특성을 나타내 투수속도는 느린 값을 보였으나 수문학적 토양유형은 B유형으로 분류됐다.

핵심용어 : 석회암, 침투속도, 투수속도, 수문유형

* 정회원 · 농촌진흥청 농업과학기술원 토양관리과 · E-mail : sohur@rda.go.kr
** 정회원 · 농촌진흥청 농업과학기술원 토양관리과 · E-mail : stealea@rda.go.kr
*** 정회원 · 농촌진흥청 농업과학기술원 토양관리과 · E-mail : sonnyk@rda.go.kr
**** 비회원 · 농촌진흥청 농업과학기술원 토양관리과 · E-mail : cwparj@rda.go.kr
***** 정회원 · 농촌진흥청 농업과학기술원 토양관리과 · E-mail : ha0sk@rda.go.kr
***** 비회원 · 고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부 · E-mail : lemonkim@korea.ac.kr

1. 서론

일반적으로 석회암은 세립·괴상(Blocky)의 무구조(Structureless) 특성을 지닌 암석으로서 백색 또는 회색인데, 불순한 것은 암회색이나 흑색 등을 띠며, 비교적 pH가 높은 곳에서 탄산석회질의 껍데기를 분비하는 생물에 의해 침전 고정되거나 바닷물에서 직접적인 무기적 화학작용에 의한 침전으로 생성된 것이라 알려져 있다. 그러나, 실제로는 그 작용과정이나 대량 침전이 왜 이루어졌는지에 대해서는 확실히 알려져 있지 않은 현실이다. 석회암은 화학적 퇴적암으로 분류되며 50%이상의 탄산염을 함유하고 있다. 이러한 지질학적 특성을 지닌 석회암의 풍화로부터 유래된 토양은 주로 pH가 높아 염기성 특성을 보이며, 점토 및 철분함량이 많고, 식질계이며 염기포화도(base saturation)가 높은 적색토 특성을 나타낸다. 일반적 분포특성은 석회암에서 유래된 토양 단독으로만 분포하지는 않고 다른 암석으로부터 유래된 토양과 혼재되어 있으므로 풍화되어 토양이 되었을 때는 토성(soil texture)이 다양하게 나타난다. 이들 토양의 분포지역은 주로 강원도 남부(영월)와 충북 제천, 단양 등지로 면적은 약 213,191ha이며, 전체 토양에서 차지하는 비중이 약 2.4%이다. 석회암 유래토양의 지엽적 분포특성과 식질계통 토양이라는 물리적 특성상 강우 이후 물의 이동과 재분포는 화강암이나 화강편마암 유래토양과는 다른 형태를 보이며 주 분포지역이 낙동강이나 남한강의 상류 쪽에 해당하므로 토양에서의 침투특성 해석과 그로 인한 토양의 수문 유형 설정은 정확한 수자원량 산정을 위한 바로미터가 될 것이다. 따라서, 본 시험은 석회암지대에 분포하고 있는 다양한 토양의 침투 및 투수속도 측정을 통해 한계 침투속도를 설정하고 그에 따른 토양종류별 수문유형을 결정해 수자원량 산정에 도움이 되고자 실시했다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상토양 특성

석회암지대 유래토양은 16개 토양으로 분류되는데 손 등(2007)에 따르면 식양질과 식질 등의 세립질로 구성이 되어 있고, 모산, 평창, 평전, 울곡, 문경통을 제외한 대부분의 토양이 자갈이 있는 토양으로 분류된다. 본 시험을 위해 16개의 토양 중 과립통, 모산통, 장성통, 마지통, 안미통, 평안통 등 6개 토양을 대상으로 표층의 침투속도 및 토양층위별로 투수속도를 측정했다. 장성, 과립, 안미, 마지통은 식양질 계통이고 모산, 평안통은 식질계통으로서 장성, 과립, 안미통은 자갈이 있는 토양으로서 장성통은 배수등급이 매우양호로 분류되며, 과립통과 안미통은 배수등급이 양호한 토양으로서 과립통은 산림토양, 안미통은 밭토양으로 분류된다. 역시 식양질 계통인 마지통은 배수양호한 밭토양으로서 자갈함량이 매우 많은 토양이다. 식질계통인 모산통은 다른 대상토양과는 달리 자갈이 없는 토양으로서 배수가 매우양호한 토양이다. 평안통은 식질계통으로서 배수가 양호한 밭토양이다.

2.2 침투 및 투수 측정

토양학에서는 강우나 관개에 의한 물의 토양침투를 나타내는 용어를 구분해서 사용하는데 침투(Infiltration)는 계(phase)가 다른 즉, 기체상인 대기로부터 고체상인 토양표면으로 물이 침투할 때 사용하는 용어이며, 투수(Permeability)는 동일한 고체상인 토양단면 내에서의 물의 이동을 나타낼 때 사용하는 용어이다. 따라서, 토양에서의 물의 이동을 기술하기 위해서는 침투와 투수로

구분해서 사용해야 하며, 본 시험에서는 이를 측정하기 위해 원반형 장력 침투 측정 장치(DTI, Disc Tension Infiltrometer)와 Guelphpemeameter(GPM)를 사용했다.

2.2.1 표토(A층)의 침투속도 측정

DTI(그림 1)는 현장에서의 침투속도를 측정하기 위해 수리전도도 예측 공식인 Gardner(1958)와 Wooding(1968)의 방정식을 사용했다. Gardner의 방정식은 매트릭 퍼텐셜(matric potential)과 포화수리전도도 값을 이용해 불포화수리 전도도를 추정하는 모형으로서 다음의 식 (1)과 같다.

$$K(h) = K_{sat} e^{(ah)} \quad (1)$$

여기서, $K(h)$ 는 불포화수리전도도(unsaturated hydraulic conductivity), K_{sat} 는 포화수리전도도(saturated hydraulic conductivity)이며, 단위는 cm/hr이다. a 는 거리 값의 역수 (cm^{-1})로 표현되는 파라미터 값이고 h 는 매트릭 퍼텐셜(matric potential, cm)을 나타낸다.

토양으로 침투되는 물의 양과 불포화 수리전도도와 DTI의 원반의 반경과 파라미터 값인 a 의 관계를 나타내는 Wooding의 방정식은 다음의 식 (2)로 표현된다.

$$Q = \pi \cdot r^2 \cdot K(h) \cdot \left[1 + \frac{4}{\pi \cdot r \cdot a} \right] \quad (2)$$

여기서, Q 는 토양으로 들어가는 물의 양(cm^3/hr)을 나타내며, $K(h)$ 는 불포화수리전도도(cm/hr)를 나타낸다. a 는 거리 값의 역수 (cm^{-1})로 표현되는 파라미터 값이고 r 은 DTI 원반의 반경(cm)이다.

식(1)의 불포화수리 전도도를 (2)의 불포화수리전도로 치환하면 다음의 식 (3)과 같은 식을 얻을 수 있다. 이 식은 침투되는 물의 양을 포화수리 전도도와 매트릭 퍼텐셜의 함수로 나타내므로 현장에서 DTI로 측정한 물의 양과 매트릭 퍼텐셜의 관계를 통해 포화수리전도도 값을 구할 수 있으며, 이론적으로 한계 침투속도와 포화수리전도도 값이 같아지므로 계산된 포화수리전도도를 통해 한계 침투속도를 결정한다. 이렇게 결정된 침투속도는 측정 시에 물에 의한 공기의 포집 때문에 현장 포화수리전도도(field saturation hydraulic conductivity)로 불리며, 그 값은 실험실에서 측정하는 포화수리전도도보다 작은 것이 일반적이다.

$$Q = \pi \cdot r^2 \cdot K_{sat} e^{(ah)} \cdot \left[1 + \frac{4}{\pi \cdot r \cdot a} \right] \quad (3)$$

DTI를 사용함에 있어 주의할 점은 매트릭 퍼텐셜을 3단계 이상(일반적으로 3, 6, 12cm) 주어야 하며 DTI에서 디스크로 물이 빠져나오는 기본 높이가 2~3cm에 있으므로 최소 매트릭 퍼텐셜은 3cm 이상이어야 한다는 것이다. 측정을 위해 표토에 고운 모래를 5-10 mm 깔아 DTI의 디스크가 측정면과 공기가 통하는 부분이 없이 접촉이 잘 되도록 디스크를 설치해야 하며, 디스크는 측정 전에 물에 담가서 포화시켜 두어야 바로 측정이 가능하고, 측정본체(water reservoir와 bubbling tower)와 디스크가 수평을 이루고 있어야 한다. 또한, 본체와 디스크 사이의 연결튜브에 공기가 없도록 해주어야 하며, 디스크는 포화 전에 디스크를 감싸 주는 측정용 압력 막(membrane)을 접하지 않고 평평하게 디스크의 밑바닥과 밀착되도록 잘 감싸주어야 한다. 측정은 지름이 2.54cm로 지름이 5.1cm인 water reservoir보다 2.54cm 작은 bubbling tower에서 수두(water head)를 유지해 주고, water reservoir에서 감소하는 수위를 읽고 기록하면 되는데, 시간에 따른 수위 감소를 기록하고 시간변화에 따른 수위감소가 일정해지면 측정을 멈추고, 다시 bubbling tower의 수위를 변화시키고 시간과 수위감소 측정을 반복하면 된다. 수위변화는 높은 퍼텐셜(12cm)로부터 낮은 퍼텐셜(3cm)쪽으로 퍼텐셜을 낮추어가며 측정을 진행한다.



그림 1. 디스크 장력 침투속도 측정 장치(DTI)

2.2.2 토양 단면 내의(B층, C층) 투수속도 측정

여러 층위(layer)로 구성된 토양 단면 내에서 물의 이동은 GPM(그림 2)을 이용해 측정했다. GPM은 오거 홀(auger hole)방식의 투수속도 측정 장치로 Reynold와 Elrick(1985)의 모형을 이용해 침투속도처럼 현장의 포화수리전도도를 측정한다. Reynold와 Elrick(1985)의 모형은 다음의 식 (4)와 같다.

$$K_{fs} = \frac{Q_0}{G_0} \quad (4)$$

여기서, K_{fs} 는 현장 포화수리전도도(field saturated hydraulic conductivity, cm/hr)이고, G_0 는 각 수두에서의 상수, Q_0 는 각 수두에서의 투수량을 나타낸다.

GPM은 토양을 파괴하지 않고 토양 층위별로 측정해야 하기 때문에 먼저, 토양단면에 대한 층위구분을 실시해야 한다. 대표토양에 대한 층위구분은 한국토양총설(농업기술연구소, 1992)에 제시되어 있으므로 이를 참고해 토양 단면의 층위구분을 실시하고, 이를 바탕으로 측정을 실시할 층위와 깊이를 결정한다. 이때, 토양단면에 대한 분류특성이나 물리적 특성에 대한 기술이 첨가되면 투수에 대한 토양특성 분석에 유리하다. GPM은 측정시에 각 토양층위의 깊이에 맞게 오거를 이용해 원형 구멍을 파고, 투입관을 원형 구멍에 바닥이 닿도록 투입하고 가운데의 공기관(air tube)를 이용해 바닥으로부터 각각 5cm와 10cm의 수두를 주고 그 때의 투수량을 측정하는데, 시간변화에 따른 투수량이 일정해질 때 까지 측정 한다.



그림 2. 투수속도 측정 장치(GPM)

2.3 수문학적 토양유형 구분

수문학적 토양유형(hydrologic soil group)은 미국 농무성(USDA)의 자연자원 보전국(NRCS)에서 토양의 수리특성을 수문학의 입장에서 보다 간편하게 접근하기 위해서 도입한 개념으로 물이 잘 침투할수록 강우유출이 적게 발생한다는 단순한 사실을 기반으로 하여 물 유출이 적게 발생하는 조건에서 많이 발생하는 조건까지 4가지 유형으로 구분했다. 수문학적 토양유형을 구분 짓는 분류특성들은 포화된 상태의 침투속도(infiltration rate), 투수속도(percolation rate), 토양깊이(soil depth), 불투수층 깊이(impermeable layer), 지하수위 등이 있다. 배수성은 투수속도와 지하수위와 같은 다른 분류특성에 의해 결정되는 인자이므로 분류특성이라 할 수 없으며 토성은 물리적 특성을 결정하는 기본적인 특성으로서 분류특성이라기 보다 분류된 토양유형의 일반적 토양특성을 나타낸다고 이해하는 것이 합리적이다. 이와 같은 수문학적 토양유형의 분류특성은 정성적인 특성이므로 주관적인 판단에 영향을 받을 가능성이 있다. 따라서 정량적인 특성을 이용해 수문학적 토양유형을 분류하고자 McCuen(1982)은 한계 침투속도(limited infiltration rate)를 이용해 수문학적 토양유형을 A, B, C, D의 4등급으로 구분했다(표 1). 이러한 구분은 미국에 있는 4000개 이상의 토양자료를 수록하고 있는 DB(NEH-4)를 이용해 지표에 피복이 없고 토양이 최대 팽창한 상태에서(수분으로 포화된 상태에서), 강우강도가 침투속도를 초과할 때에 현장에서 수집된 자료로 한계 침투속도를 산정하는 수문학적 토양유형을 분류하였다. 본 연구에서도 이를 바탕으로 토양통별 수문학적 토양유형을 분류했다.

표 1. USDA NRCS의 수문학적 토양유형 구분

토양유형	토 양 의 특 성	한계침투속도(mm/hr)
TYPE A	완전히 젖었을 때도 침투속도 큼 토양 내 투수속도 큼, 유거 가능성 낮음. 토심이 깊음 양호, 매우 양호하게 배수되는 모래 또는 자갈을 포함	7.62-11.43 (0.3 ~ 0.45 inch/hr)
TYPE B	완전히 젖었을 때 침투속도 보통 토심은 약간 깊거나 깊음 배수는 약간 양호, 양호 토성은 세립질(fine)에서 약간 조립질(coarse) 투수속도는 보통	3.81-7.62 (0.15 ~ 0.30 inch/hr)
TYPE C	완전히 젖었을 때 낮은 침투속도 물흐름을 저해하는 층을 포함 토성은 약간 세립질에서 세립질 투수속도는 느림	1.27-3.81 (0.05 ~ 0.15 inch/hr)
TYPE D	완전히 젖었을 때 매우 느린 침투속도 예) 팽창률이 높음, 지하수위가 높음 지표나 낮은 토심에 점토반층(claypan) 또는 점토층 존재, 낮은 토심이 불투수성 매질 존재 아주 느린 투수속도	0-1.27 (0 ~ 0.05 inch/hr)

3. 결론

측정을 실시한 대상토양의 특성은 각각의 토양통별로 다른데, 유기물 층이 존재하는 과립통의 모재는 석회암 잔적층으로 산악지에 분포하며, 반습 상태일 때도 푸슬푸슬하며 공극이 많고 토층 내에 나무 및 식물뿌리가 존재해 토양단면 전체적으로 침투 및 투수속도가 빠른 특성을 보이는데, 표토층인 A층에서의 침투속도(K_{fs})는 21.5cm/hr로 대상토양들의 표층 침투속도 중 가장 빨랐으며 토양 단면 내에서의 투수속도도 각각 37.7, 26.7, 15.6 cm/hr로 토양들 중 가장 빠른 특성을 나타냈다. 이런 측정결과를 바탕으로 산림토양인 과립통은 토양의 수문유형 그룹이 A형으로 분류되었다. 모산통의 경우 모재는 석회암 잔적층으로 산악지 및 구릉지에 분포하며, 하부에는 미풍화 상태의 석회암 암반이 존재하며, 반습 상태일 때도 푸슬푸슬하고 토층 내에 자갈함량이 아주 높고 나무뿌리가 많이 존재해 투수속도가 다른 토양에 비해 월등히 빠른 특성을 보였는데, 침투속도는 물의 침투속도를 떨어뜨리는 자갈함량이 많아 5.1cm/hr의 속도를 나타냈는데, 이는 입자분포에 있어서도 다른 토양들에 비해 토양입자의 크기가 가장 큰 모래의 함량이 약 7%로 현저히 적은 것도 침투속도가 과립통에 비해 떨어지는 요인의 하나일 것으로 여겨지며, 토양 단면 내의 층위인 B층에서는 62.5cm/hr로 현장 포화수리전도도 값으로 표현되는 침투와 투수속도에서 가장 큰 값을 나타냈다. 토양의 깊이는 30cm까지로 가장 얇은 토양이었던 모산통은 표층의 한계 침투속도로만 구분하면 A 유형으로 분류할 수 있으나 토양의 깊이가 50cm 미만에서 암반층인 불투수층이 나타나 실제 물 유출에 있어 토양의 침투특성과는 달리 나타날 것이므로 토양의 수문학적 유형분류는 C유형으로 분류했다. 토양의 깊이가 깊지 않은 편인 장성통은 석회암 잔적층으로부터 유래했으며 구릉지나 경사가 매우 심한 산악지에 분포하고 석회암 암반층 위에 토양이 존재한다. 중 입상구조를 나타내는 이 토양 역시 반습 상태일 때도 푸슬푸슬하며 토층 내에 나무 및 식물뿌리가 많고 암석노출지가 존재해 침투속도가 빠른 특성을 나타내는데, 표토에서의 자갈함량은 28.8%로 많은 편이고 현장에서의 침투속도 측정결과는 21.4cm/hr로 표층에서의 침투속도가 과립통 다음으로 빨랐지만 이 토양 역시 토양깊이가 깊지 않고 암반층이 지표면 50cm 이내에 존재해 수문학적 토양 유형은 C형으로 분류했다. 자갈이나 잔돌이 많은 마지통은 석회암 봉적, 층적층으로부터 유래했으며 선상지나 산록경사지에 분포한다. 중 입상구조 특성을 보이며 토층 내에 작물 뿌리가 있고 잔자갈이 존재하고 침투나 투수속도가 빠른 편인 토양으로, 침투 및 투수속도는 Ap층이 1.7cm/hr, A층이 1.8cm/hr, B층이 13.3cm/hr로 빠른 편이며, 우리나라 토양의 토양 깊이에 대한 분류를 기반으로 50cm까지 포화된 조건의 한계 침투속도를 수문학적 토양유형 분류를 위한 분류특성으로 가정하는 것이 합당하다고 가정하였으므로(정 등, 2007), 이를 바탕으로 침투 및 투수속도를 고려하고, 토양의 깊이가 깊지는 않지만 암반층이 존재하지 않기 때문에 수문학적 토양유형을 A유형으로 분류했다. 논으로 사용되는 안미통은 다른 석회암 유래토양에 비해 토층이 깊은 편이며 석회암 층적층에서 유래된 토양으로 선상지 및 곡간지에 분포한다. 관개된 상태에서 로타리 작업에 의해 표토의 특성이 교란되는 논으로 이용되는 특성 때문에 침투 및 투수속도는 느린 특성을 나타내는데, A층은 0.2cm/hr로 약간느린 등급의 포화수리 전도도 특성을 보였으며, AB층은 0.1cm/hr, BA층은 0.01, Bw층은 0.001cm/hr를 나타내 토양 전체적으로 약간느림이나 느림 등급의 포화수리 전도도 특성을 나타내고 있다. 따라서, 이 토양의 수문학적 토양유형은 C 유형으로 분류할 수 있다. 잔돌이 존재하는 평안통은 석회암 봉적, 퇴적층으로부터 유래된 토양으로 산록경사지 및 선상단구에 분포하며 표토층인 A층에서 중 입상구조를 보이며 공극이 많고 작물뿌리가 매우 많아 침투속도는 빠르나 B층에서는 점토 함량이 감소했다 증가하면서 토성이 급격히 바뀌는 특성을 나타내 투수속도는 느린 값을 보이고 있다. 이 토양의 침투속도는 6.8cm/hr로 비교적 빠른 토양에 속

하지만 BA층에서의 투수속도는 0.2cm/hr, Bt 층에서의 투수속도는 0.01cm/hr로 갑자기 느려지는 특성을 나타내고 있다. 이는 입자분포가 층위별로 뚜렷하게 대별되어 토성이 급격히 바뀌는 특성이 반영되어 있는 것으로 여겨지며, 앞에서도 얘기했듯이 50cm까지의 포화된 조건의 한계 침투속도를 고려했을 때 이 토양의 수문학적 토양유형은 B로 분류하는 것이 적합할 것이다.

표 2. 석회암 유래토양의 물리적 특성 및 수문학적 토양유형

토양명	토양 층위	층위깊이 (cm)		측정 깊이 (cm)	토성	모래 (%)	미사 (%)	점토 (%)	유기물 (%)	자갈 함량 (%)	Kfs (cm/hr)	Ks 등급	수문 유형
과립	O	0	5	0	L	36.1	47.5	16.4	9.2		21.5	빠름	A
과립	A	5	25	20	L	36.1	47.5	16.4	3.7		37.7	매우빠름	
과립	B	25	40	35	L	44.5	38.8	16.7	3.1		26.7	빠름	
과립	C	40	100	60	SL	57.1	31.9	11.0	1.2		15.6	빠름	
모산	A	0	8	0	SiCL	6.9	57.3	35.8	3.2	54.1	5.1	빠름	C
모산	B	8	30	15	SiC	6.4	50.4	43.2	0.3		62.5	매우빠름	
장성	A	0	20	0	SiL	20.9	53.9	25.2	3.5	28.8	21.4	빠름	C
장성	B	20	50	30	CL	25.5	47.1	27.4	2.3		3.1	약간빠름	
마지	Ap	0	10	0	SiL	25.1	55.7	19.2	3.4	12.3	1.7	약간빠름	A
마지	A	10	20	15	SiL	25.1	55.7	19.2	3.4		1.8	약간빠름	
마지	B	20	50	25	L	38.0	42.8	19.3	1.9		13.3	빠름	
안미	A	0	15	0	CL	32.3	34.0	33.7	0.2	21.4	0.2	약간느림	C
안미	AB	15	25	23	SiL	16.4	58.7	24.9	1.5		0.1	약간느림	
안미	BA	25	55	50	SiCL	19.4	52.9	27.7	1.0		0.01	느림	
안미	Bw	55	100	70	SiCL	7.1	63.9	29.0	0.7		0.001	매우느림	
평안	A	0	15	0	SiCL	19.4	43.5	37.1	1.6		6.8	빠름	B
평안	BA	15	35	25	SiL	15.4	58.0	26.6	0.7		0.2	약간느림	
평안	Bt	35	50	50	CL	29.4	32.4	38.2	0.2		0.01	느림	

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원 (과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 농업기술연구소(1992). 한국토양총설, 농업기술연구소
2. 정정화, 장승표, 김호일, 정연태, 허기술, 박호(1995). 유출율 추정을 위한 토양 수문군의 분류, 한국농공학회지. 37권 6호, pp12-33.
3. 정강호, 허승오, 손연규, 박찬원, 하상건, 정석재(2007). 투수속도 실측자료를 이용한 수문학적

토양유형의 분류. 수문학적 토양유형의 효율적 활용을 위한 Workshop. 농업과학기술원

4. Brakenski, D. L., W. J. Rawls, and G. R. Stephenson. 1986. Determining the saturated conductivity of a soil containing rock fragments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:831-835
5. Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Clapp, R.B., Ginn, T.R.(1984). A statistical exploration of the relationship of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. *Water Resour. Res.* 20:6. pp. 682-690.
6. Gardner, W. R.(1958). Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.*, Vol. 85, pp. 228-232.
7. Mc Cuen, R.H.(1982), 'A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods', Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632
8. National Soil Survey Center(NSSC)(2002). Field book for describing and sampling soil, USSC
9. Reynolds, W.D.(1993), Saturated hydraulic conductivity:field measurement. pp, 599-613. In M.R. Carter(9ed) *Soil sampling and Methods of analysis*. Lewis Publ., Boca Raton, FL.
- 10.Reynolds, W.D. and D.E. Elrick(1990). Poned infiltration from a single ring : I. Analysis of steady flow. *Soil sci. So. Am. J.* 54, pp 233-1241
- 11.Reynolds, W. D., & D. E. Elrick(1991). Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 55, pp. 633-639.
- 12.Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., Papendick, R.I.(1986). Estimating generalized soilwater characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, pp 1031-1036.
- 13.S.K. Mishra and V.P. Singh(2003). *Soil conservation service curve number methodology*, Kluwer Academic Publishers
- 14.Soil survey division staff(1993), *Soil survey manual; Handbook No 18*, USDA
- 15.Wooding, R.A.(1968), steady infiltraion fom a shallow circular pond, *Water, Resour.Res.*, 4, 1259-1273