

## 입도분석 및 변수두법을 이용한 교란 사질 토양의 투수계수 측정

정지곤<sup>1)</sup> · 서병민<sup>2)</sup> · 하성호<sup>3)</sup> · 이동원<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 지질환경과학과, <sup>2)</sup>충남대학교 기초과학연구소, <sup>3)</sup>정정 엔지니어링

## A Measurement of Hydraulic Conductivity of Disturbed Sandy Soils by Particle Analysis and Falling Head Method

Ji-Gon Jeong<sup>1)</sup> · Byong-Min Seo<sup>2)</sup> · Seong-Ho Ha<sup>3)</sup> · Dong-Won Lee<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University,

<sup>2)</sup>Research Institute of Basic Sciences, Chungnam National University,

<sup>3)</sup>Seojeong Engineering, Co. Ltd.

야외에서 관찰되는 화강암 기원의 사질 토양시료들에 대한 광물학적 관찰과 입도 분석이 실시되었으며 변수두법에 의해 이들 토양시료들의 투수계수를 측정하였다. 측정된 수리전도도 값과 토양시료들이 가지는 입도분포 특성과의 관계에 대한 상호 연관성을 정의하였다. 화강암으로부터 풍화된 토양의 입도분포에 의하면 토양은 sand와 loamy sand에 해당되며 변수두 실내 투수시험에 의해 측정된 투수계수는  $1.15 \times 10^{-5} \sim 7.31 \times 10^{-4}$  cm/sec의 범위로 이는 sand와 silt의 영역에 해당된다. 시험에 사용된 사질토양의 투수계수는 토양의 평균입도 보다는 입도분산과 더 강한 상관관계를 가지고 있음이 뚜렷하게 관찰되며 입도분산도가 증가할수록 투수계수가 감소하는 경향이 뚜렷하다. 연구결과 평균입도가 0.38~1.97mm 인 화강암 기원의 사질토양은 투수계수와 입도분산의 상호관계에 있어서  $y=6.0E-5x^{-1.4}$ 의 추세선과 잘 일치하고 있음이 밝혀졌다. 이는 실제로 야외에서 관찰되는 토양시료의 입도분산에 대한 고려 없이 평균입도만을 이용한 투수계수 예측은 큰 오류를 범할 수 있음을 지시해 주는 것이다

주요어: 변수두법, 투수계수, 사질토양, 입도분산

Sandy soils obtained from the field were examined by the way of particle analyses. The hydraulic conductivity values of the disturbed soil samples were measured by the falling head method. Then the correlations between the hydraulic conductivity and particle distribution were defined. The soil which was a product of the weathering of the granitic rocks belonged to sand and loamy sand area in a sand-silt-clay triangular diagram. The measurements of hydraulic conductivity were  $1.15 \times 10^{-5} \sim 7.31 \times 10^{-4}$  cm/sec which is the range of sand and silt. It was clearly observed that the hydraulic conductivity measurements of the sandy soils showed stronger correlations with the particle variances rather than the mean grain sizes. The larger the variances, the smaller the hydraulic conductivity measurements. The sandy soil which was a product of weathered granite and whose mean grain size was 0.38~1.97mm showed regression curves of  $y=6.0E-5x^{-1.4}$  in a correlations between hydraulic conductivity and particle variances. Accordingly, it is clearly concluded that making estimates without any consideration about particle variances can produce serious errors.

**Key words:** falling head method, hydraulic conductivity, sandy soil, particle variance

\* Corresponding author: byongseo@hotmail.com

## 서 언

토양은 지구 지각의 가장 외곽을 구성하며 인간의 생활에 가장 가까이에 접해있어 환경학적으로 인간에게 가장 큰 영향을 주는 지질 단위이다. 근래 우리 지질학자들에게 토양은 여러 가지 환경오염에 관한 연구 대상이 되어왔으며 오염의 매체인 지하수를 함유하고 있는 가장 중요한 지질단위로 취급되고 있음은 이미 잘 알려진 사실이다. 지질학적으로 토양은 “풍화되고 분해된 지구 지각의 최외각 층”으로 정의되며 환경오염에 민감하기 때문에 1980년대 이후에 토양층을 대상으로 한 여러 가지 활발한 물리, 화학적 연구가 진행되어 오고 있다.

다공질 매체를 흐르는 유체에 있어서 그 속도와 수리경사와의 관계를 Darcy (1856)가 정의한 이후, 토양 내에서의 선형흐름에 관한 연구가 다각적으로 진행되어 왔으며 주로 투수계수에 대해 실내시험(Klute and Dirksen, 1986), 야외시험(Amoozegar and Warrick, 1986; Boersma, 1965a, 1965b), 그리고 비교란(undisturbed) 시추코어를 통한 측정방법에 대해 연구된 바 있다. 야외 측정방법에 관해서는 지하수면 아래 또는 위에서의 측정방법(Bouwer, 1986; Winger, 1960)에 대해 연구된 바 있으며, 특히 토양층에 국한된 측정방법 (Topp and Sattlecker, 1982)에 대해서도 연구된 바 있다. 실내투수 시험에 대한 방법 및 기준에 대해서는 미국에서 1970년대 후반에 ASTM(American Society for Testing and Materials)을 통해 두 가지 다른 방법 (Constant head method, Falling head method, 1974)들이 제시되었으며, 한국에서는 한국산업규격(Korean Industrial Standard)을 통해 2000년 9월에 규정된 바 있다.

고화되지 않은 다양한 종류의 지질단위들과 투수계수에 대해서는 실험적 또는 통계학적 해석에 의한 많은 연구결과가 발표되어 왔다(Hazen, 1911; Shepherd, 1989; Todd, 1980). 이들 중 Shepherd(1989)는 이전까지 발표되었던 자료들을 근거로 평균입도와 투수계수와의 관계를 정의한 바 있다. 그러나 앞에 소개한 연구 결과들은 대부분 투수율,  $k$  또는 투수계수,  $K$ 가 퇴적물의 평균입도와 밀접한 관계를 가지고 있음을 증명하였고 일부가 입도분포와 밀접한 상호관계가 있음을 언급하였을 뿐 구체적인 자료를 제시하지는 않았으며 Masch and Denny(1966)는 퇴적물 입도의 표준편차가 증가할수록 투수율,  $k$ 가 감소함을 주장한 바 있다.

이 연구는 사질 토양시료의 투수계수와 퇴적물의 입도분포에 관한 연구이며 다음과 같은 두가지 목적을 가

지고 있다: 1) 화강암질 토양시료에 대한 입도분포를 정의하고 ASTM 및 KS 규정에 의한 실내투수시험기를 이용하여 사질 토양시료에 대한 실내 투수시험을 시행한다; 2) 시험된 시료들의 입도분포 특성과 그에 따른 투수계수 변화와의 상호관계를 규명한다. 이에 의한 연구결과는 오염물질 이동에 대한 중요한 매체 역할을 하는 토양층에 대한 조사, 연구 시 얻어지는 토양시료들에 대한 물성을 규명함에 있어 중요한 지표를 제시할 뿐만 아니라 야외 및 실내 시험 경비 및 절차를 대폭 감소해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

## 연구방법

이 연구를 위한 시험은 대략 토양 시료 채취 및 분류, 입도분석, 토양시료에 대한 실내 투수시험, 그리고 입도분석 자료와 투수시험결과의 해석 등의 단계로 구성된다. 시료의 채취는 주로 충청남도 공주시 계룡면과 반포면, 그리고 대전시 유성구 일대에 분포되어 있는 계룡산 화강암으로부터 풍화에 의해 형성된 것이 확실시 되는 토양을 채취 하였으며 채취된 시료에 대해서 야외 및 현미경하에서 토양박편을 통해 관찰되는 시료의 특성을 기재하였다.

입도분석은 ASTM 표준 체(Sieve)를 사용하여 5mm, 2.36mm, 1.19mm, 0.59mm 등의 체가 각각 사용되었다. 세립질의 토양시료에 대한 보다 정밀한 분석을 위해 직경 0.59mm 이하의 입자들은 충남대학교 공동실험실습관이 보유하고 있는 레이저회절입도분석기(독일 Sympatec GmbH 사의 모델 HELOS/RODOS)를 사용하여 최하 4.0  $\mu\text{m}$  까지 분석하였다.

다공매질의 투수계수 값은 실험실에서 측정될 수 있으며, 이를 위해 사용되는 장치를 투수측정기(permeameter)라고 한다. 투수측정기는 암석이나 퇴적물 시료를 담기 위한 용기를 가지고 있으며 암석의 경우에는 대개 원주형의 암석코어를 담는다. 만일 시료가 투수측정용 시료용기가 될 수 있는 현장 채취용 튜브에 있다면 비교란 시료의 투수계수의 측정 또한 가능하며 퇴적물이 투수측정기 안에서 재구성되더라도 비교란 물질의 투수계수에 근사한 값을 구할 수 있다(Fetter, 2001). 투수측정기는 두 가지가 ASTM과 KS 규정에 의해 각각 제시되었는데 이들은 정수두법(Constant head method)과 변수두법(Falling head method)이며 본 연구에서는 비교적 낮은 투수계수를 갖는 퇴적물에 대해 주로 사용되는 변수두 투수측정기를 사용하였다(Fig. 1). 변수두

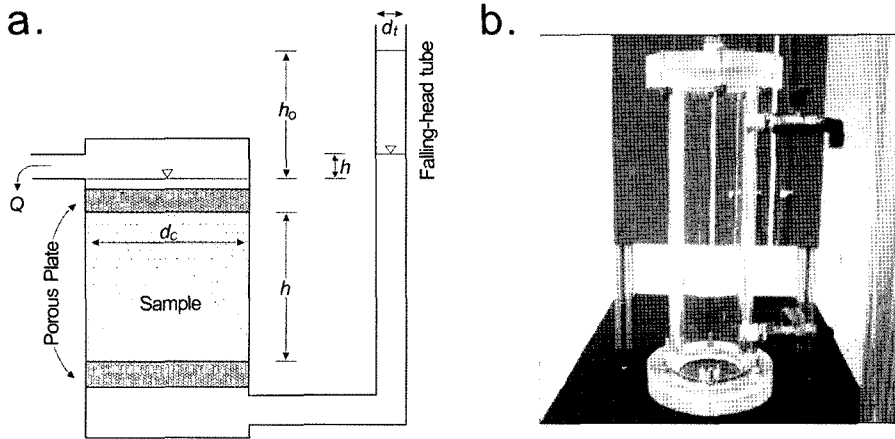


Fig. 1. Falling head permeameter apparatus: a) Illustration for the experiment (modified from Fetter(2001)); b) Permeameter assembled.

법에 관한 KS 규정과 시험원리에 관한 모식도와 사진을 Fig. 1a 및 Fig. 1b에 각각 표시하였으며 투수계수에 대한 관계식은 식 (1)과 같다.

$$K = \frac{d_i^2 L}{d_c^2 t} \ln\left(\frac{h_0}{h}\right) \quad (1)$$

여기서 K는 투수계수(L/T, cm/s),  
 L은 시료길이(L, cm),  
 $h_0$ 는 변수두 튜브의 초기 수두(L, cm),  
 $h$ 는 변수두 튜브의 최종 수두(L, cm),  
 $t$ 는  $h_0$ 로부터  $h$ 까지 수두가 변하는데 걸린 시간(T, s),  
 $d_i$ 는 변수두 튜브의 내경(L, cm),  $d_c$ 는 시료 용기의 내경(L, cm)이다.

### 토양시료

실내 투수시험을 위해 충청남도 공주시 계룡면과 반포면 그리고 대전시 유성구 일대 화강암 분포지역에서 총 50개의 토양시료가 채취되었다. 토양시료는 주로 절토사면이나 또는 산 능선의 풍화대로부터 주로 분급도의 다양성에 초점을 두고 채취되었다(Fig. 2a). 사용된 화강암 풍화토는 전체적으로 육안관찰시 약간 어두운 갈색을 띠며 다양한 광물 구성을 가진 것으로 관찰된다. 육안 관찰시 주로 석영, 장석류, 운모류 및 세립의 입자들로 구성되어 있으며 풍화도에 따라 구성 입자의 크기가 다양하나 중립질 이상의 입자들은 주로 석영과 장석

입이 관찰된다. 현미경 관찰 시에는 변질된 사정석과 견운모가 다량 관찰되며 세립의 입자들은 주로 변질된 견운모인 것으로 관찰된다(Fig. 2b).

화강암 풍화토들에 대한 입도분석 결과를 Sand-Silt-Clay 삼각도표에 도시하면 주로 sand와 loamy sand의 영역에 해당되며 전체적으로 clay 함량이 매우 적음(<5%) 함량비 변화를 보인다(Fig. 2c). Silt의 함량은 최대 23% 까지 이나 주로 10% 이하이며 이는 기원암의 광물구성과 풍화도에 따라 silt의 함량이 다양한 것으로 생각된다. 입도분석에 의한 누적함량도표는 Fig. 2d에 표시하였으며 편의상 영역만을 표시하였다. 이에 의하면 채취된 토양시료의 입자들은 대부분 sand와 silt에 속하며 극히 일부가 fine gravel과 clay에 해당되는 것으로 관찰된다. 평균입도가 대략 0.38~1.97mm의 범위에 속하며 그에 따른 입도분산은 0.18~3.68로 비교적 다양한 분급도를 보인다. 토양의 분급도 또한 앞에서 언급된 것처럼 풍화도와 기원암의 광물구성에 따라 다양한 것으로 생각된다.

### 결 과

각 토양시료에 대한 입도분석 결과로부터 계산된 평균입도와 입도분산의 상관도를 Fig. 3에 표시하였다. 평균입도와 입도분산은 서로 비례하는 비교적 뚜렷한 상관관계를 가지고 있음이 관찰된다. 즉, 달리 말하면, 평균입도가 증가할수록 입도분산 또한 증가하는 경향을 보이고 있음이 관찰된다. 그러나 이는 이 연구의 목적에

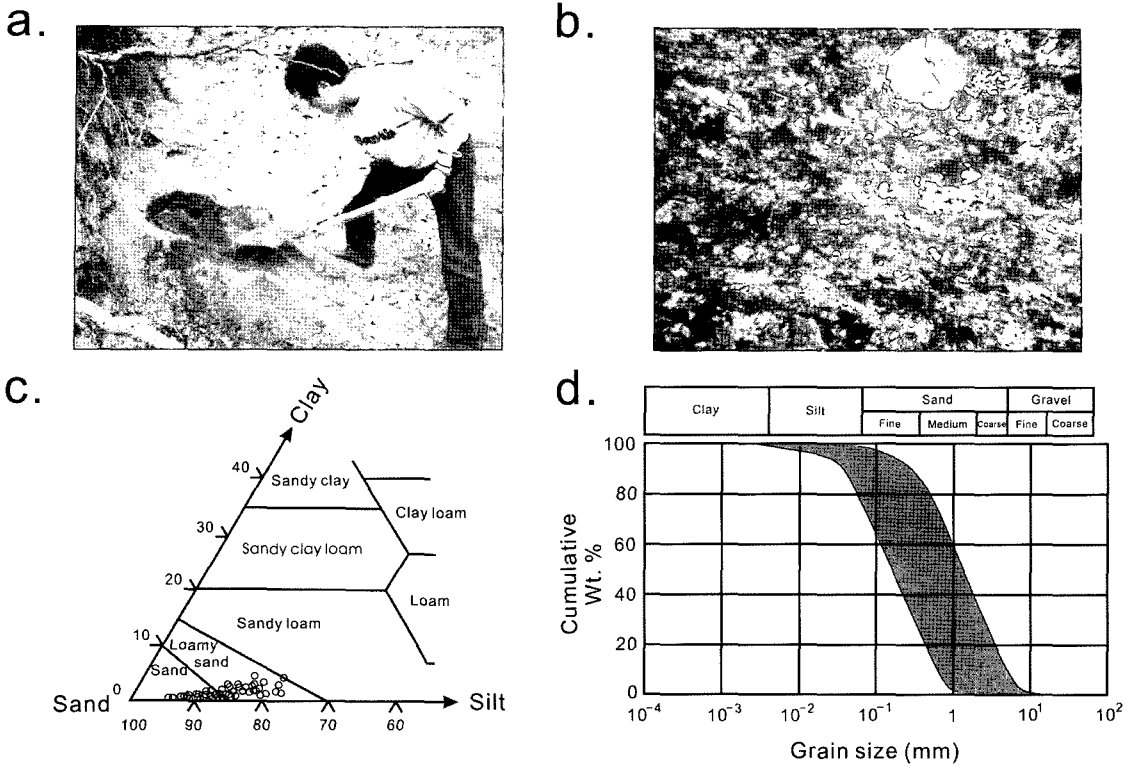


Fig. 2. Observations of the soils examined: a) Field observations of the soils; b) Microscopic observation of a soil thin section; c) Sand-Silt-Clay triangular classification of the soils; d) Particle distribution analyses for the soil samples.

합당한 시료를 채취하는 과정동안 우선시 한 토양시료의 다양성으로부터 기인된 결과일 수 있으며 연구대상이 된 화강암 분포지역에 걸쳐 Fig 3에서 보인 바와 같이 다양한 평균입도와 입도분산을 가진 토양층이 양적으로 고르게 분포하고 있다는 의미는 아니다. 실제로 야외조사 시 채취된 토양시료는 앞에서 제시한 50개 보다 훨씬 많았으며 그중 상당량의 시료에서 평균입도가 0.3~1mm의 범위에 해당되었다. 따라서 조사된 화강암 분포지역 내에서 대표될 수 있는 잘 풍화된 토양시료의 평균입도들은 0.3~1mm의 범위임을 밝혀둔다.

변수두 투수시험에 의한 투수계수는 앞에서 언급한 식 (1)에 의해서 계산되나 식을 변형하면 투수계수, K는  $\ln(h_o/h)$ 와  $(d_c^2 \cdot t)/(d_i^2 L)$ 의 관계에 대해서 일차함수의 기울기로 표시된다. 따라서 시간이 변함에 따라 측정된  $\ln(h_o/h)$ 와  $(d_c^2 \cdot t)/(d_i^2 L)$ 를 각각 y축과 x축에 도시하

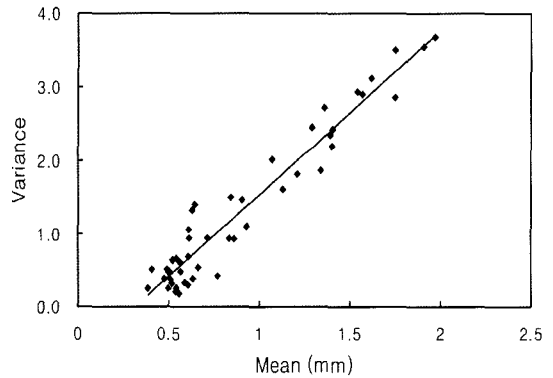


Fig. 3. Correlations between the particle variance and mean grain size of the soil particles. The samples show relatively strong correlations between the two statistics.

면 직선의 기울기로서 투수계수,  $K$ 값을 구할 수 있다. Fig. 4는 변수두 투수시험 결과 중 두 개 토양시료에 대한 예를 보인 것으로 시험결과들은 직선상에 잘 일치함이 뚜렷하게 관찰되며 이는 시행된 시험이 이론에 맞게 잘 진행되었음을 의미하는 것이기도 하다. 채취된 총 50개 토양시료들에 대한 변수두법에 의해 측정된 투수계수는 물의 온도 15.5°C에서 대략  $1.15 \times 10^{-5} \sim 7.31 \times 10^{-4}$  cm/sec의 범위에 해당되며 이들 토양시료들은 Boeker and Grondelle (1995)의 투수계수에 대한 토양 분류에 의하면 sand와 silt의 영역에 속한다.

토양시료가 가지는 투수계수와 평균입도가 가지는 상호 연관성을 평가하기 위해 평균입도와 투수계수의 상관도를 Fig. 5a에 표시하였다. 투수계수는 전체적으로는 분산되어 분포되며 평균입도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 일반적으로 기존의 연구(Shepherd, 1989)에서는 평균입도가 증가할수록 투수계수 또한 증가하는 것으로 보고된 바 있으나 이 연구에서 사용된 사질 토양시료에서는 평균입도가 증가할수록 투수계수가 감소함을 보이고 있다. 이는 앞에서 제시된 바와 같이 평균입도가 증가할수록 함께 증가하는 입도분산에 의한 것으로 생각되며 큰 입자들 사이에 작은 입자들이 간극을 채워 투수계수의 값이 낮아지는 효과를 보인 것으로 생각된다. 토양시료의 입도분포는 일반적으로 입자 크기에 대해 정규분포를 보이는데 강한 정규분포를 보이지 않은 경우는 분급이 잘 되지 않은 경우로서 상대적으로 평균입도가 입도 분산에 비해서 투수계수 결정에 미치는 영향이 작아지기 때문일 것으로 생각된다. 주목할 점은, 근사한 평균입도에 대하여 투수계수는 비교적 큰

변화폭을 보인다는 점이며 이는 실내 투수시험에 사용된 토양시료들 중 평균입도가 작은 토양시료들에서 더 뚜렷하게 나타나며 이것이 일반적인 현상인지 아니면 이 연구에서 토양시료를 채취할 때 입도분산의 다양성을 중시했기 때문에 나타난 현상인지는 분명치 않다.

입도분산과 투수계수 간의 상관도(Fig. 5b)에서는 입도분산과 투수계수가 앞에서 제시한 평균입도의 경우보다는 비교적 강한 상관관계를 가지며 분산도가 1.0 이하에서는 투수계수에 대한 기울기가 크고 1.0 이상에서는 입도분산이 증가할수록 비교적 완만하게 증가함을 보인다. 또한 투수계수와 입도분산의 상호관계가 보이는 추세선은 대략  $y=6.0E-5x^{-1.4}$ 로 표시되며 입도분산이 작은

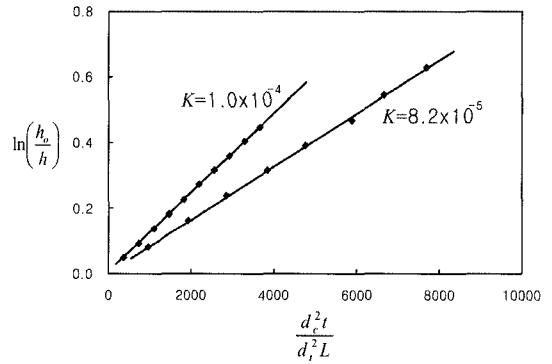


Fig. 4. Experimental results of the falling head method which show linear relationships between  $\ln(h_o/h)$  and  $(d_c^2 t) / (d_i^2 L)$ . The slope of the lines indicates the hydraulic conductivity of the soil examined.

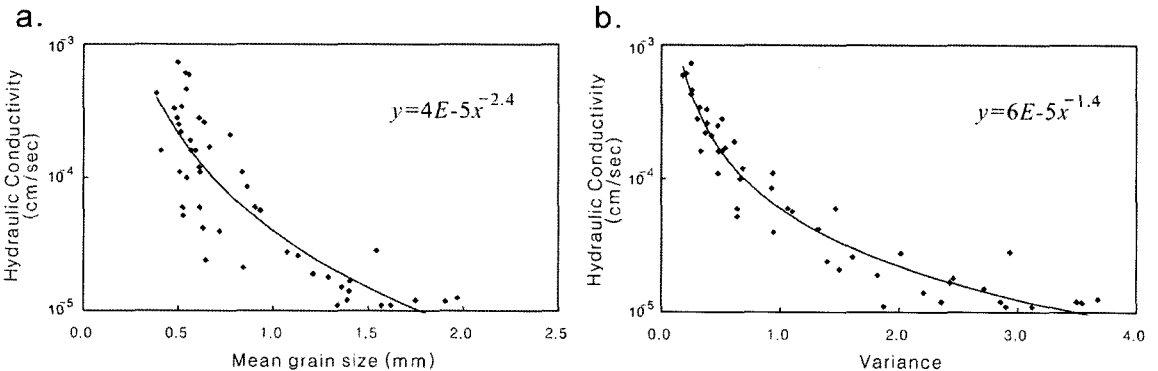


Fig. 5. Correlations between the experimental results : a) Hydraulic conductivity and mean grain size; b) Hydraulic conductivity and particle variance.

경우에서 측정값과 추세선이 더 잘 일치하는 경향을 보인다. 이는 화강암으로부터 풍화된 사질 토양들이 갖는 투수계수는 평균입도보다는 입도분산에 더 강하게 관계되어 있음을 의미하는 것이다. 또한 사질 토양에 대한 조사 연구 시 필요한 투수계수 값을 측정하기 위해 이미 흔히 사용하고 있는 양수시험이나 순간충격시험 등과 같은 방법 외에도 토양시료에 대한 간단한 입도분석을 통해 구할 수 있는 가능성을 제시해 주는 것이다.

## 토 의

연구를 진행함에 있어 다음과 같은 몇 가지 주목할 점들도 대두되었다. 첫째, 이 연구에서는 주로 완전히 풍화되어 입자와 입자가 분리된 형태의 토양들을 중심으로 행해졌으나 실제로 야외에서 관찰되는 깊은 심도의 풍화토는 풍화토인지 풍화암인지 구별하기 힘든 부분이 흔히 관찰된다. 이처럼 풍화는 되었으나 입자와 입자가 아직 분리되지 않아 암석의 조직이 그래도 존재하는 상태의 토양들에 대해서는 교란시료를 이용한 실내 투수 시험에 적용하기 다소간의 기술적인 어려움이 있음을 밝혀둔다.

둘째, 투수계수가 입자들의 평균입도와 입도분산에 의해 결정됨은 일반적으로 잘 알려진 사실이나 다수의 연구가 평균입도와 투수계수와의 관계에 집중되어 행해져왔다. 이는 분급도가 다양한 토양의 평균입도와 투수계수 간의 관계를 정의하기 어렵기 때문에 주로 표준사를 기준으로 하여 연구가 진행되었기 때문일 것으로 생각되며, 이 연구에서는 평균입도 보다는 입도분산에 중점을 두고 시행되었으나 평균입도와 입도분산 그리고 투수계수와의 관계에 있어서 좀 더 뚜렷한 관계를 규명하기에는 시료의 양적인 측면에서 다소 미흡했음이 인정된다. 평균입도를 몇 개의 영역으로 분류하고 그에 따른 입도분산과 투수계수와의 상호관계를 규명하는 연구가 차후 요구되며, 이를 위해서는 훨씬 더 많고 다양한 분급도를 가진 토양시료에 대한 시험이 계속되어야 할 것으로 생각된다.

마지막으로, 실제 존재하는 토양은 매우 다양한 입도 분포를 가지며 기원암의 종류에 따라 그 광물구성도 또한 다양할 것이다. 따라서 비슷한 입도분포를 보이는 토양이라도 광물학적 구성의 차이에 의해 다소 다른 투수계수를 가질 수 있기 때문에 다양한 기원암으로부터 형성된 토양에 대한 시험이 계속되어야 할 것으로 생각된다.

## 결 론

야외에서 채취된 여러 가지 실트질 토양시료에 대해서 광물학적 관찰과 입도분석이 실시되었으며 토양시료들이 가지는 투수계수를 변수두법 실내 투수시험에 의해 측정하였다. 평균입도 및 입도분산과 투수계수가 가지는 상호 연관성에 대해서 해석하였으며 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화강암으로부터 풍화된 토양은 입자의 구성상 대개 sand 및 loamy sand로 정의되며 변수두법에 의해 측정된 화강암으로 풍화된 사질토양의 투수계수는 대략  $1.15 \times 10^{-5} \sim 7.31 \times 10^{-4}$  cm/sec의 범위에 해당된다. 이는 투수계수 값에 의한 분류에 의하면 시험된 토양시료들이 sand와 silt의 영역에 속함을 의미한다.

2. 연구에 사용된 토양시료들은 측정된 투수계수와 토양의 평균입도 간에 강한 상관관계를 보이지 않는다. 이는 토양시료가 다양한 등급의 분급을 보이기 때문일 것으로 생각되며, 이처럼 토양입자의 분급도가 좋지 않은 경우에는 토양의 투수계수 결정에 있어 평균입도는 결정적인 기준을 제공해 주지 못함을 의미하는 것이다.

3. 시험된 토양시료의 투수계수와 입도분산은 비교적 강한 상관관계를 보이며 대략  $y=6.0E-5x^{1.4}$ 의 추세선과 잘 일치하고 있다. 이는 실제로 야외에서 관찰되는 화강암질 풍화토들의 투수계수는 평균입도보다는 입도분산에 의해 주로 결정됨을 의미하며 토양시료가 가지는 투수계수를 예측할 때 야외에서 관찰되는 토양시료의 입도분산에 대한 고려 없이 평균입도만을 고려한 투수계수 예측은 큰 오류를 범할 수 있음을 의미하는 것이다.

## 참고문헌

- 한국 표준 협회, 2000, 흙의 투수시험방법, KS F 2322.
- ASTM, 1974, Standard test method for PERMEABILITY OF GRANULAR SOILS (CONSTANT HEAD, FALLING HEAD), ASTM D 2434-68.
- Amoozegar, A. and Warrick, A.W., 1986, Hydraulic conductivity of saturated soils: Field methods. In: Klute, A., ed., Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Method, Monograph No. 9. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- Boersma, L., 1965a, Field measurement of hydraulic conductivity below a water table. In: Methods of Soil Analysis, Monograph No. 9, pp.222~223. Am.

Soc. Agron., Madison, WI.

Boersma, L., 1965b, Field measurement of hydraulic conductivity above a water table. In: Methods of Soil Analysis, Monograph No. 9, pp.234-252. Am. Soc. Agron., Madison, WI.

Boeker, E. and van Grondelle, R., 1995, "Environmental Physics." John Willey and Sons, Chichester, England.

Bouwer, H., 1986, Intake rate: Cylinder infiltrometer. In: Klute, A., ed., Methods of Soil Analysis Monograph No. 9. Am. Soc. Agron., Madison, WI.

Darcy, H., 1856, Les Fontaines Publique de la Ville de Dijon, Dalmont, Paris.

Fetter, C.W., 2001, Applied Hydrogeology Fourth Edition, Prentice-Hall, Inc.

Hazen, A., 1911, Discussion: Dams on sand foundations. Transactions, American Society of Civil Engineers 73, 199.

Klute, A. and Dirksen, C., 1986, Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute, A., ed., Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Method, Monograph No. 9. Am. Soc. Agron., Madison, WI.

Masch, F.E. and K. J. Denny, 1966, Grain-size distribution and its effect on the permeability of unconsolidated sands, Water Resources Research 2, 665-77.

Shepherd, R.G., 1989, Correlation of permeability and grain size, Ground Water 27, 5, 633-638.

Topp, G.C. and Sattlecker, S., 1983, Arapid measurement of horizontal and vertical components of saturated hydraulic conductivity, Can. Agric. Eng., 25, 193-197.

Winger, R.J., 1960, In-place permeability tests and their use in subsurface drainage. Off. of Drainage and Ground Water Eng., Burl of Reclamation,

Denver, CO.

투 고 일	2006년	1월	17일
심 사 일	2006년	1월	18일
심사완료일	2006년	3월	5일

---

정지곤(Ji-Gon Jeong)  
 충남대학교 지질환경과학과  
 305-764, 대전광역시 유성구 궁동 220  
 Tel: 042-821-6424  
 Fax: 042-822-7661  
 E-mail: jgjeong@cnu.ac.kr

서병민(Byong-min Seo)  
 충남대학교 기초과학연구소  
 305-764, 대전광역시 유성구 궁동 220  
 Tel: 042-821-6421  
 Fax: 042-822-7661  
 E-mail: byongseo@hotmail.com

하성호(Seong-Ho Ha)  
 (주) 서정엔지니어링  
 138-800, 서울시 송파구 가락본동 16-15 정화빌딩 5층  
 Tel: 02-448-3100  
 Fax: 02-448-8335  
 E-mail: s8986@chol.com

이동원(Dong-Won Lee)  
 (주) 서정엔지니어링  
 138-800, 서울시 송파구 가락본동 16-15 정화빌딩 5층  
 Tel: 02-448-3100  
 Fax: 02-448-8335  
 E-mail: korando2030@hanmail.net