

점성토의 투수계수 예측

이상현^{1*} · 이문세²

¹가득건설 지반연구부, ²충남대학교 토목공학과

Prediction of Permeability in Cohesive Soils

Sang-Hyun Lee^{1*} and Moon-Se Lee²

¹Goelectric research Div., Ga-Dook Construction

²Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

일반적으로 흙의 투수계수를 예측하기 위하여 Kozeny-Carman 공식이 널리 적용되어왔다. 그러나 Kozeny-Carman 공식은 모래질 흙의 투수계수 예측에는 좋은 결과를 나타내나 점성토와 같은 세립토에는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 Kozeny-Carman 공식을 고려하여 점성토의 투수계수를 예측할 수 있는 이론식을 제시하였다. 이론식을 위해 해안가의 점성토와 댐의 심벽재로 사용하는 다짐 점성토의 토질특성에 대해 조사·분석하였다. 연구 결과, 토질특성과 투수계수 사이의 주요 관계 요소로, 해안가 점성토는 점토함유율, 다짐 점성토는 #200통과율과 관계가 있는 것으로 나타났다.

주요어 : 점성토, 투수계수, Kozeny-Carmen 공식.

Kozeny-Carman equation has been generally applied to prediction of permeability for soil. The Kozeny-Carman equation has indicated fairly good results in prediction of sandy soils, but it is known that the equation is not appropriate for fine-grained soils such as cohesive soils. Therefore, a theoretical equation based on Kozeny-Carman equation is proposed to predict of permeability for cohesive soils in this paper. To develop the theoretical equation, soil properties of cohesive soil existed in the coastal areas and compacted cohesive soil used for the core of a dam were investigated and analyzed. As the results of this limited study, the most related factors between soil properties and permeability were #200 passing percentage for compacted cohesive soil, and clay content for cohesive soil at the coast areas.

Key words : cohesive soils, permeability, Kozeny-Carmen equation.

서 론

흙의 투수계수는 필름의 내수성검토, 굴착공사 방법의 결정, 지반침하 속도의 계산, 기타 복류수채집량의 계산 등 공학적 문제와 많은 관계가 있으며(조봉춘, 1994), 산업 폐기물 매립에 따른 차수재의 개발을 위해 다짐 점토를 이용한 차수라이너의 투수성 예측분야에도 많이 이용되고 있다(우원재, 1997).

그러나 투수계수가 중요한 만큼 정확한 투수계수를 예측하는 것 또한 쉽지 않은데, 이는 투수계수를 결정하는 요인이 많고 그 요인들이 서로 변수로 작용하기 때문에

정확한 투수계수를 구하는 것이 어렵다.

투수계수를 구하는 방법으로는 제안된 이론 또는 경험식에 의한 방법, 실내시험에 의한 방법 그리고 현장시험에 의한 방법이 있다. 각각의 방법들은 정확성 및 경제성 등에서 서로 다른 특징을 가지고 있기 때문에 어떤 방법을 이용하여 투수계수를 결정하는냐가 매우 중요한 사항이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 해안가와 댐 등에서 실시된 실내시험 자료 중 기본적인 토질물성치를 이용하여 간편하게 투수계수를 예측할 수 있는 이론식을 제안함으로써 투수계수와 토질물성치간의 상관관계를 규명하고자

*Corresponding author: kangtoo@hanmail.net

한다. 여기서, 해안에 분포하는 점성토는 편의상 해상점토로, 댐 심벽재로 쓰는 실트질 점성토는 다짐점토로 구분하였고 이를 근거로 각각의 투수모델도 완성 하였다.

또한, Hazen(1930), Kozeny-Carman(1956), Kozeny(1971) 및 Amer-Awad(1974)식 등 다양한 투수계수 예측식과 비교한 결과 다른 이론식들에 비해 점토의 투수계수와 물리적 특성을 잘 나타낸 공식으로 Kozeny-Carman식을 선정하였으며, 공식의 기본 형태와 이론적 근거는 그대로 유지하고 복잡한 입력변수만을 투수계수와 관계되는 토질물성치로 변환하였다. 그리고 유도된 공식을 이용하여 간편하게 투수계수를 예측하고자 한다.

점성토의 특성

국내 해안에 분포하는 점성토는 통일분류법에 의하면, CL, CH, ML, OH 등으로 분류되고 남해안으로 갈수록 점토함유율이 증가하는 경향이 있다. 토질의 대부분은 무기질 점토이고 소성은 중간 정도이며 강도는 큰 편이 아니나 상대적으로 투수성이나 체적 변화율은 작은 것으로 추정되었다(한국건설기술연구원, 1994). 또한 점토광물은 서해안에서는 카올리나이트가 많이 포함되어 있고, 남해안은 일라이트가, 그리고 동해안은 일라이트와 부분적으로 몬모릴로나이트가 포함된 것으로 보고되었다(신은철, 1995).

해성점토의 경우 국내 서해안 점성토 중 통일분류법에 의해 CL이나 CH에 해당되는 자료를 이용하여, 압밀시험에 의해 구해진 투수계수 값과 간극비의 관계를 도시하였으며 Fig. 1과 같다.(한국토지공사, 1986; 한국수자원공사, 1996). 일반적으로 간극비의 증가에 따라 투수계수 값도 증가 되지만 Fig. 1에서는 두 값이 일정한 상호연관성이 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 점성토와 같이 입자의 크기가 매우 작은 경우, 간극이 작고 유로가 구불구불하여 전체적인 유로의 길이가 증가하여 간극비가 증가 하여도 투수계수가 오히려 감소하기 때문이다. 따라서 점성토의 투수계수는 입자의 구조, 함수비, 포화도, 압밀도 등과 같은 여러 가지 영향요소에 복합적으로 지배된다. 한편 양산물금, 부산명지 등에서 조사된 자료 분석에서도 비슷한 양상이 나타나는 것으로 확인되었다(한국토지공사, 1988; 1990).

다짐점토의 경우는 심벽형 댐 내부에 다져진 실트질 점성토로써, 통일분류법에 의해 ML이나 MH로 분류된 시료의 변수위투수시험 값을 적용하였으며, 댐 시공 시 조사된 기본 물성치를 근거로 하여 식을 전개하였다(한국수자원공사, 1992).

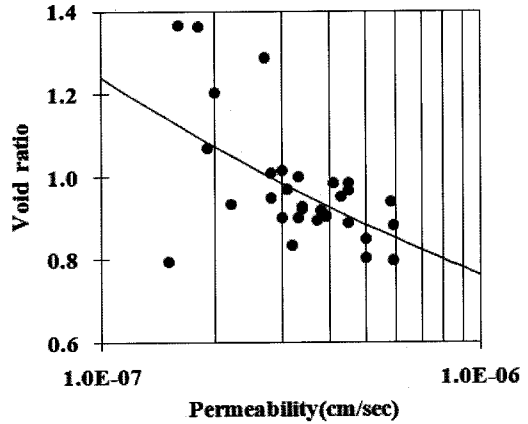


Fig. 1. Relationship between void ratio and permeability of sampled soils from the study area.

연구방법

본 연구에서는 기본 토질물성치를 통해 간편하게 투수계수를 예측할 수 있는 이론식을 만들기 위하여 기존의 투수계수 예측 이론공식 중 하나인 Kozeny-Carman 공식을 선정하여 공식의 형태와 이론을 최대한 유지하고 복잡한 입력 변수들을 간단한 입력 변수 즉 토질물성치로 대체하여 간편하게 투수계수를 예측하고자 한다. Kozeny-Carman 공식의 경우 \bar{C}_s (형상계수), T_0 (비틀림계수), γ_m (밀도), η (점성계수), S_s (비표면적), α (간극비) 등의 변수로 구성되어 있어 실제 이 변수들을 구하는데 어려움이 있다.

따라서 Kozeny-Carman 공식을 기반으로 하여 \bar{C}_s , T_0 , γ_m , η 등의 계수들은 상수로 단일화 하고 S_s 는 투수계수 및 비표면적 자체와도 상관성이 높은 토질물성치로 대체하여 Kozeny-Carman 공식의 틀을 큰 변화 없이 단순화 하여 간편하게 투수계수를 예측하고자 하였다.

이를 위해, 서해, 남해와 댐 등에서 실시된 실내시험 자료 중 각종 토질물성치와 실험에 의한 투수계수를 비교하여 상관성이 높은 토질물성치를 선별 하였다.

해안가 점성토와 심벽재로 사용된 실트질 점성토의 투수계수를 구하는 시험법이 달라, 이로 인해 비표면적(S_s)에 관계되는 토질물성치가 각각 다르게 나타났다.

따라서 해성점토와 다짐점토로 각각 구분하여 투수모델을 전개하였고, 해성점토지반의 경우 압밀시험에 의해 구해진 투수계수 값을, 다짐점토의 경우 다짐시험 이후 실내투수시험에 의한 값을 적용하여 토질물성과 상관성을 분석하였다. 또한 투수시험법에 의한 투수계수 값과 본 연구에서 제안된 모델에 의한 투수계수 값을 비교하여 정확성을 검증하였다.

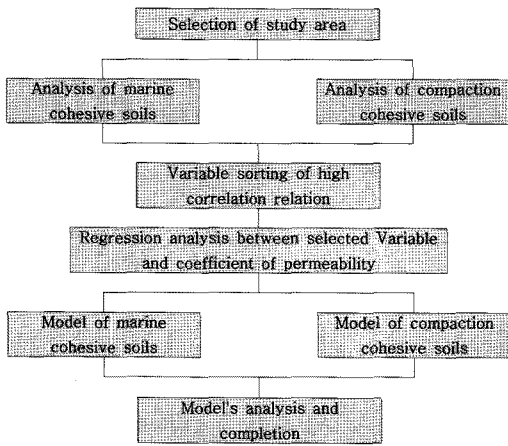


Fig. 2. The flow chart of study.

점성토의 투수계수와 토질물성간의 상관성

Kozeny-Carman 공식을 기본으로 하는 예측 모델식을 만들기 위해서는 Kozeny-Carman 공식에 이용된 변수는 물론이고 투수계수와 상관성이 높은 변수를 우선 선별 후 대체 하여야 한다. 이에 점성토의 액성한계, 간극비, #20통과율, 점토함유율, 유효경, 소성지수 등의 상호관계 및 투수계수와와의 상관성을 분석하였다.

먼저 높은 함유한 물의 양이 많을수록 입자간의 상호작용이 적고 액체처럼 거동하려고 할 것이다. 즉, 액성한계가 크다는 것은 입자표면으로 물을 끌어들이는 경향이 더 크며, 유체처럼 거동하기 쉽다는 것이다(Lambe, 1979).

이런 논리는 소성한계와 소성지수에도 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 소성지수가 크다는 것은 세립분을 많이 함유하고 있음을 나타내기도 한다.

그러므로 Fig. 3에서와 같이 소성지수와 액성한계 사이에는 일정한 비례관계가 성립함을 알 수 있다(한국토지공사, 1988). 또한 액성한계 값이 크다는 것은 다량의 물을 포함할 수 있고 입자의 크기가 상대적으로 매우 작으며, 비표면적이 크다고 풀이될 수 있다. 즉, Fig 4와 같이 소성지수가 크면 간극비도 따라서 증가함으로 Fig. 3에 의해 액성한계와 간극비도 비례한다는 것을 확인할 수 있었다(한국토지공사, 1990).

따라서 소성지수가 투수계수의 영향요소로 작용한다고 보고 그 관계성을 비교 하였으나 소성지수와 투수계수가 일정한 상관관계를 갖지 못한다는 것을 Fig. 5를 통해서 알 수가 있었다(한국토지공사, 1984). 이는 액성한계 시험의 경우 #40번체 통과 시료를 이용함으로써 교란된

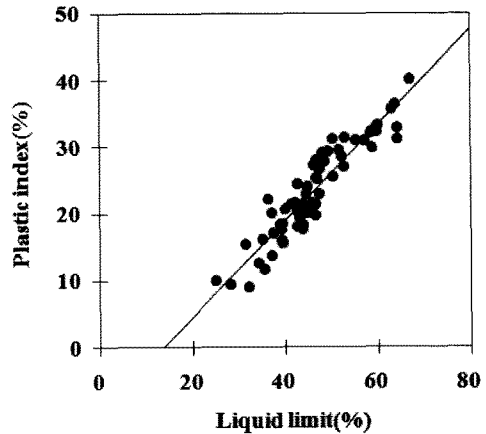


Fig. 3. Relationship between plastic index and liquid limit of sampled soils from the study area.

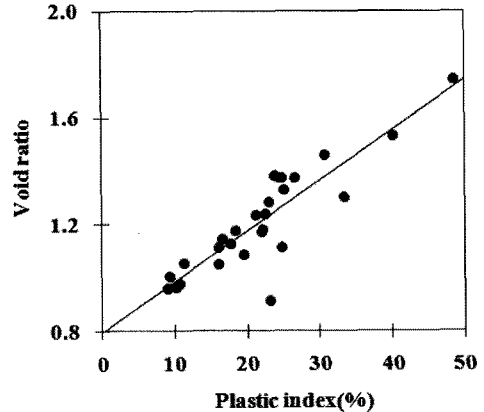


Fig. 4. Relationship between void ratio and plastic index of sampled soils from the study area.

시료를 이용한 실내시험 값과 자연상태에 있는 점성토의 조건이 서로 일치하지 않으며, 같은 소성지수 값을 갖더라도 토체 내부에 포함된 입경의 범위가 매우 다양하기 때문인 것으로 판단된다.

사질토는 실내실험을 통해 쉽게 유효경을 구할 수 있다. 그러나 세립자인 점성토는 유효경의 크기를 구하기 어렵고, 입자의 크기가 작고 불균등하여 유효경이 잘 맞지 않는다. 이 외에도 입경, 액성한계, 간극비, 소성한계 등도 나누어 분석하였으나 기존에 연구 결과와 마찬가지로 상호연관성이 적은 것으로 나타났다(한국토지공사, 1986).

그러나 해성점토에서 점토함유율은 Fig 6과 같이 투수계수와 일정한 상호연관성을 갖는 것으로 확인 되었다 (한국토지공사 1986, 한국수자원공사, 1996). 이는 점토함유율이 높으면 비표면적이 커지므로 유체가 흐르는 통로 즉, 유로를

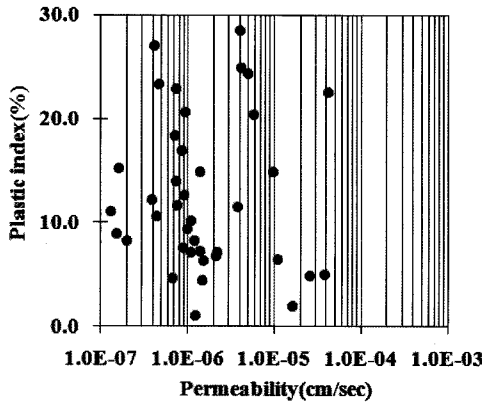


Fig. 5. Relationship between plastic index and permeability of sampled soils from the study area.

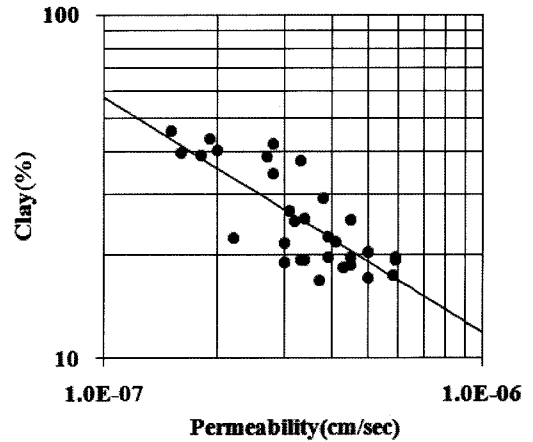


Fig. 6. Relationship between clay and permeability of sampled soils from the study area.

복잡하고 길게 형성하여 투수성을 감소시키기 때문이다. 또한 다짐점토의 경우 Fig 7과 같이 #200체통과율과 투수계수가 반비례관계가 있는 것으로 확인되었다(한국수자원 공사, 1992). 다짐점토의 경우 실트질점토를 주로 사용하기 때문에 #200체통과율이 투수성에 많은 영향을 미치기 때문이다. 따라서 위의 분석을 근거로 투수계수와 상관성이 높고 일정한 관계를 형성하는 토질물성으로, 해석점에선 점토 함유율을, 다짐점토의 경우 #200체통과율을 유의한 변수로 Kozeny-Carman 공식에 적용하여 예측식을 유도하였다.

점성토의 투수계수에측모델

Kozeny-Carman 공식은 투수의 물리적 성질을 파악하기 위해 단면적이 변화하는 관으로 토체를 고려하였다. 가깝게 위치하고 있는 두쌍의 평행한 관사이에 비압축성 이면서 점성인 유체가 흐르고, 모든 유체입자들은 서로 교차하지 않는 유연한 경로를 따라 움직인다고 할 때, 점성력은 뉴튼의 점성의 법칙에 지배된다고 할 수 있다 (Perloff, 1976).

$$\tau = -\eta \frac{\partial v'_s}{\partial r} \tag{1}$$

여기서 τ 는 유체 흐름방향에 평행한 전단응력이고, η 는 점성계수, v'_s 는 유체내 임의의 한 점에서 흐름방향의 실제속도이다. 작은 유체요소에 작용하는 힘들은 평형조건을 만족한다고 할 수 있다.

$$\left[u \left(r, s + \frac{\Delta s}{2} \right) - u \left(r, s - \frac{\Delta s}{2} \right) \right] \Delta r + W \sin \alpha + \left[\tau \left(r + \frac{\Delta r}{2}, s \right) - \tau \left(r - \frac{\Delta r}{2}, s \right) \right] \Delta s = 0 \tag{2}$$

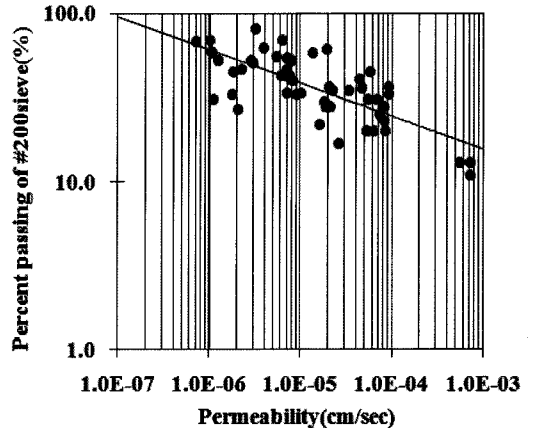


Fig. 7. Relationship between percent passing of No. 200 sieve and permeability of sampled soils from the study area.

식 (2)를 요소의 부피로 나누고 방향요소를 0으로 수렴하는 극한으로 취하면,

$$\frac{\partial \tau}{\partial r} = -\gamma_w \frac{\partial h}{\partial s} \tag{3}$$

식 (3)의 왼편 항은 침투력을 나타내고 있다. 이것은 토체로 흐르는 유체에 의해 발휘된 전단력이나 인력으로 설명될 수 있다. 식 (3)에 식 (1)을 대입하면 식 (4)가 된다.

$$\frac{\partial^2 v'_s}{\partial r^2} = \frac{\gamma_m \partial h}{\eta \partial s} \tag{4}$$

x축으로 정의한 중심부(midplane)에서 흐름이 대칭이고 판의 표면에서 미끄러짐이 없다는 가정 하에 식 (4)을

적분하면 관 사이의 평균흐름속도는 다음과 같다.

$$\bar{v}_s = \frac{1}{2R} \int_{-R}^R v'_s dr = -\frac{\gamma_m R^2 \partial h}{3\eta \partial s} \quad (5)$$

식 (5)를 어떤 단면형상에 대한 개개의 흐름경로로 일반화시키면,

$$\bar{v}_s = -\frac{\gamma_m R_H^2 \partial h}{C_s \eta \partial s} \quad (6)$$

\bar{C}_s 는 특별한 모양을 가진 유로에 대응하는 형상계수이다.

식 (6)을 Hagen-Poiseuille의 공식이라 한다. Hagen-Poiseuille의 공식은 단일경로를 통한 점성흐름에 적용된다. 다양한 크기와 모양을 갖으며 복잡한 경로를 갖는 토체에 이 표현을 관계시키기 위해서, 예로 x 요소를 고려하여 침투속도요소에 대해 나타내면

$$v_{sx} = \bar{v}_s \frac{dx}{ds} \quad (7)$$

이 변수에서 ds 는 실제흐름경로의 길이이고 dx 는 평균흐름방향에서 흐름 길이로써 꾸불꾸불한 흐름 정도를 추정할 수 있다. 전체 토체에 대한 평균동수반경은 다음처럼 쓰여 질 수 있다.

$$R_H = \frac{e}{S_s} \quad (8)$$

여기서, S_s 는 비표면적이다.

식 (6)에 이 요소들을 통합하면, 속도, 예를 들어 x 방향에서의 흐름에 대해,

$$v_x = \frac{1}{\bar{C}_s T_0^2 S_s^2} \frac{e^3 \gamma_m i_x}{(1+e)\eta} \quad (9)$$

여기서, $T_0(dx/ds)$ 는 비틀림에 관한 계수이며, 이것이 Kozeny-Carman공식이다(Kozeny, 1956).

Darcy의 법칙에 의한 공식 $v = ki$ 와 이 표현을 비교하면, 투수계수는 식 (10)과 같이 표현될 수 있다(Darcy, 1856).

$$k = \frac{1}{\bar{C}_s T_0^2 S_s^2} \frac{e^3 \gamma_m}{(1+e)\eta} \quad (10)$$

\bar{C}_s : 특별한 모양을 가진 유로에 대응하는 형상계수

$T_0(dx/ds)$: 비틀림에 관한 계수

S_s : 비표면적

e : 간극비

γ_w : 유체의 밀도

η : 유체의 점성계수

그러나 식 (10)은 점성토질혼일 경우에 투수계수를 예측하기에 적합하지 않다. 그 이유로 지금까지 가장 중요한 것으로 판단되는 것은 점성토의 구조와 배열이다. 식 (7)과 (8)의 유도에서 간극의 동수반경은 전체 토체에서 비표면적에 의한 평균값으로써 가정했다. 그러나 점성토의 경우 입자가 많은 덩어리로 뭉쳐져 있고 덩어리 안에 있는 입자 사이의 간극은 덩어리들 사이의 간극에 비해 상대적으로 매우 작으며, 결국 덩어리 사이의 간극이 전체적인 흐름을 유도 하는데 압도적인 영향을 미치게 되므로 Kozeny-Carman공식을 이용하여 점성토의 투수계수를 추정하는 것은 정확한 방법이 될 수 없다. 식 (10)에서 흙의 투수계수가 유체의 물리적 성질(γ_w 와 η)과 토체의 기하학적 특질(\bar{C}_s , T_0) 그리고 토체 내 간극공간(e , S_s)에 의해 좌우됨을 알 수 있는데, γ_w 와 η 는 물과 같은 유체의 경우 일반적인 온도범위에서는 일정한 값을 갖게 된다. 또한 단면형상계수(\bar{C}_s)는 단면 형상이 복잡할수록 감소하나 큰 차이를 보이지 않고 흐름 경로의 모양에 따라 1.68-3의 범위를 갖으며, 비틀림(T_0)의 다양성도 별로 크지 않으므로 \bar{C}_s , T_0 는 대략적으로 일정하거나 큰 차이가 없는 것으로 보고되었다(Perloff, 1976).

그러나 비표면적의 경우, 점성토의 투수계수가 입자의 크기, 구조, 배열 등에 많은 영향을 받고 3가지 영향 요소에 복합적으로 작용하기 때문에 투수계수에 중요한 영향을 미치는 인자로서 토립자의 크기가 감소하면 비표면적은 급격하게 증가하고, 비표면적이 클수록 입자의 표면현상과 입자와 간극유체의 상호작용은 활발해지며, 유로의 형상이 더욱 불규칙하고 복잡하여 입자간 거동에 전기력적인 영향으로 투수성의 감소를 가져오게 된다.

따라서 Kozeny-Carman공식에서 투수계수에 가장 영향을 주는 비표면적과 간극비를 제외한 나머지 항들은 대체로 일정한 값을 갖게 되므로 투수계수와 비례관계에 있는 γ_w , η , \bar{C}_s , T_0 의 변수를 대체하여 상수 'D'로 바꾸고 비표면적과 비례관계에 있는 변수를 $S_s(\approx S_s)$ 로 대체하면 식(10)은 다음처럼 표현될 수 있다.

$$k = D \frac{1}{S_s^2} \frac{e^3}{(1+e)} \quad (11)$$

여기서, $D = \frac{1}{\bar{C}_s T_0^2} \frac{\gamma_w}{\eta}$

위 공식에서 상수 D는 비례 관계로 상수이며, 간극비

는 실험자료를 통해 결정하여 대입 할 수 있으므로 투수계수와 비표면적(S_c)이 반비례관계를 갖는 공식이 성립함을 의미한다.

이를 근거로 하여 해성점토와 다짐점토의 물성 중 비표면적과 비례관계이며 투수계수와는 반비례관계인 점토함유율과 #200번체 통과율을 S_c 에 대체하여 대입 후 직접시험에서 구한 투수계수와 간극비를 입력하여 상수 D와 S_c 의 지수 n을 회귀분석하여 역 추정 하는 방식으로 예측식을 완성하였다.

해성점토예측모델

해성점토의 경우 투수성에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 점토함유율로 나타났다(Fig. 6). 또한 점토함유율은 비표면적과 같이 투수계수와 반비례관계가 있으므로 Kozeny-Carman식에 비표면적으로 대체하여 식(11)을 변환하였다. 따라서 실내시험에서 구한 투수계수와 간극비를 식(11)에 적용하여 회귀분석을 실시하여 상수 D와 S_c 의 지수 n을 역 추정한 결과, 식 (12)가 산출되었다.

$$k = 8.7196 \times 10^{-5} \frac{1}{P_c^{1.48}} \left(\frac{e^3}{1+e} \right) \quad (12)$$

여기서, P_c 는 점토함유율이다.

다짐점토예측모델

다짐점토의 경우 투수성에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 #200번체통과율이다(Fig. 7). 다짐점토의 경우에도 해성점토와 마찬가지로 방법으로 #200체통과율을 변화요소인 S_c 에 적용하여 Kozeny-Carman공식을 변화 시키고 회귀분석하면 아래와 같은 형태의 식 (13)이 만들어 진다.

$$k = 100 \frac{1}{P_p^{3.61}} \left(\frac{e^3}{1+e} \right) \quad (13)$$

여기서, P_p 는 #200번체통과율

예측모델의 검증

본 연구에서 제안된 모델식의 적합성을 검증하고자 시험에 의한 투수계수 값과 제안된 예측식을 이용한 투수계수 값을 같은 그래프에 도시화함으로써 두 값의 상호 연관성을 확인하였다.

Fig. 8은 해성점토에 관한 것으로 모델에 의해 예측된 투수계수와 실제 시험에 의해 구하여진 투수계수간의 패턴에 높은 유사성이 있음을 알 수 있으며 두 가지 결과 값의 편차의 평균이 2.13×10^{-9} 으로서 시험으로 구한 투수계

수값의 평균 3.54×10^{-7} 에 약 1%에 해당하는 수치로 그 차이가 매우 적어 상당한 수준의 정확도를 확보하였다.

Fig. 9는 다짐점토의 경우로, 투수계수 예측값과 시험에 의한 실측값이 비슷한 양상을 보였으며 두 가지 결과 값의 편차의 평균이 8.36×10^{-6} 으로서 시험으로 구한 투수계수값의 평균 6.06×10^{-5} 에 약 10%에 해당하는 수치로 해성점토의 모델식에 비해 정확성에 차이가 있으나 오차가 10%정도로 작아 일정수준 이상의 정확도로 예측할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

결 론

Kozeny-Carman 식의 주요 이론과 특성을 근거로 실제 구하기 어려운 비표면적을 대체하여 보다 간편하게 투수특성을 예측하고자 점성토의 토질공학적 특성을 이용하여 새로운 투수계수 예측식을 유도하고 제안된 식에 의한 예측치와 실험에 의한 실측치를 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 점성토의 투수계수는 간극비, 포화도, 소성지수, #200체통과율, 점토함유율 등과 같은 다양한 요소에 의해 영향을 받지만, 상관분석을 통해 국내에 분포하는 점성

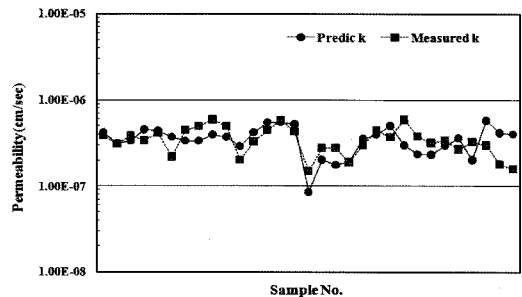


Fig. 8. Comparing the estimation model with permeability test result from marine cohesive soils.

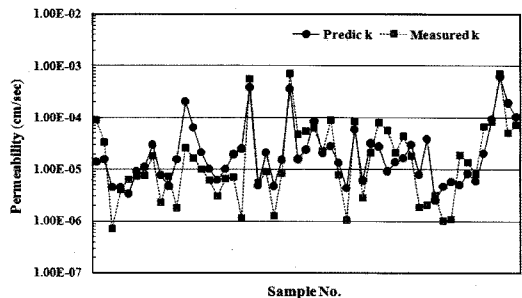


Fig. 9. Comparing the estimation model with permeability test result and empirical equation from Compacted cohesive soils.

토의 투수계수에 가장 큰 영향을 미치는 요소로는 해성 점토의 경우 점토함유율, 다짐점토의 경우 #200체 통과율인 것을 확인 할 수 있었다.

2) 기존의 연구에서 알려진 바와 같이 소성지수와 액성한계, 간극비와 소성지수는 국내 점성토의 경우에도 일정한 상관관계가 있음을 알 수 있었으나, 간극비와 투수계수, 소성지수와 투수계수 사이에는 일정한 상호연관성이 적은 것으로 확인되었으며, 이는 교란된 상태로 시험된 소성지수 값은 불교란 상태의 점성토의 투수성과 상이하기 때문인 것으로 판단된다.

3) Kozeny-Carman 공식에서 비표면적과 간극비를 제외한 나머지 항들은 대체로 일정한 값을 갖게 되므로 상수로 바꾸고 비표면적의 경우 해성점토는 점토함유율로 다짐점토는 #200번체 통과율로 대체하여 점성토에 대한 투수계수 예측식을 완성 하였다.

4) 투수시험에 의한 투수계수와 제안된 예측모델에 의한 투수계수는 상관성이 높아 투수시험에 의해 투수계수가 큰 토층시료는 예측모델에서도 크게 나타났고 투수계수가 작은 토층시료는 작게 나타나는 일관성이 관찰되었다.

5) 본 연구에서 개발된 투수계수 예측모델에 의한 투수계수가 투수시험에 의한 투수계수와 유사한 결과를 보임으로써 그 적합성이 검증되었다. 따라서 이 예측모델은 연구지역과 같은 토질특성을 갖는 지역에서 간접적으로 투수계수를 예측할 경우 이용이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

신은철, 김기한, 이규진, 신방웅(1995), 인천해안지역에 분포하는 해성점토의 토질 특성, 한국지반공학회, 95 봄 학술발표회 논문집, 15-20.
 우원재(1997), 벤토나이트 혼합물에 따른 제강 슬래그 및 슬러지의 투수특성, 석사학위논문, 충남대학교.
 이문세, 류제천, 임희대, 박주환, 김경수, 2008, 단순회귀 분석에 의한 토층의 투수계수산정모델 제안, 지질공학, 18(1), 27-36p.
 조봉춘(1994), 응용토질기초공학, 창우출판사, 서울, 41-44.
 한국건설기술연구원(1994), 국내 해안 연약지반의 공학적 특성 평가.
 한국수자원공사(1992), 임하다목적댐 공사지.
 한국수자원공사(1996), 시화지구개발 시화공업단지 부대

시설공사 토질조사보고서
 한국토지공사(1984), 남동공업단지 토질조사보고서.
 한국토지공사(1986), 시화지구 개발 타당성 및 조사 및 기본설계 토질조사보고서.
 한국토지공사(1988), 양산물금지구 택지개발사업 조성공사 토질조사보고서.
 한국토지공사(1990), 부산명지지구 공업단지 조성사업 토질조사보고서.
 Amer, A. M., and Awad, A. A. 1974, Permeability of Cohesionless Soils, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100, GT12, 1309-1306.
 Darcy, H., 1856, Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, Dalmont, Paris, 647p
 Hazen, A., 1930, "Water Supply" in American Civil Engineers Handbook, Wiley, New York.
 Kozeny, J. S., and Carman, P. E., 1956, Flow of gases Through Porous Media, Acadwmic, NewYork.
 Kozeny, J. S., 1971, "Uber Kapillare Leitung des wassers im Boden, Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in SM10.
 Lambe, T. W., Whiteman, R. V(1979). Soil Mechanics, SI Version, pp. 255.
 Perloff, W. H., Baron, W(1976), Soil Mechanics Principle and Applications, pp. 285-292.

2009년 5월 27일 원고접수, 2009년 9월 17일 게재승인

이상헌

가득건설 기술연구부
 305-251 대전광역시 유성구 대정동 307-2
 Tel: 042-545-8870
 Fax: 042-936-6008
 E-mail: kangtoo@hanmail.net

이문세

충남대학교 토목공학과
 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220
 Tel: 042-868-3068
 Fax: 042-861-9723
 E-mail: coehehr@hanmail.net