

포화된 카올리나이트의 압밀에 따른 열전도계수에 관한 연구

김학승 · 이장근* · 강재모 · 김영석 · 홍승서

한국건설기술연구원 지반연구실

Thermal Conductivity of Saturated Unfrozen Kaolinite during Consolidation

Hak-Seung Kim, Janguen Lee*, Jae-Mo Kang, YoungSeok Kim, and SeungSeo Hong

Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology

지금까지 열전도계수는 불포화토를 대상으로 측정하였으며 측정결과를 토대로 예측 모델의 신뢰성을 연구해 왔다. 그러나 측정 장치의 발열로 인해 불포화토에서는 함수비 구배가 발생하여 열전도계수 측정에 오차가 발생한다. 본 연구에서는 포화된 점성토의 압밀에 따른 열전도계수를 연속적으로 측정하여 건조밀도와 함수비의 변화에 따른 열전도계수의 관계를 연구하였다. 열전도계수는 니들브로브로 측정하였으며 시료의 교란을 최소화하기 위해 니들브로브를 삽입한 상태에서 압밀실험을 진행하였다. 측정결과는 열전도계수 예측 모델을 이용한 결과와 비교를 통해 예측 모델의 신뢰성을 분석하였다.

주요어 : 열전도계수, 압밀, 포화된 점성토, 예측 모델

Experimental tests have been performed to measure the thermal conductivity of unsaturated soils, and computational models have been widely used to predict thermal conductivity. However, measured values of the thermal conductivity of unsaturated soils cannot be compared with predicted values because of the gradient in moisture content within unsaturated soils. In this study, experimental consolidation tests on saturated unfrozen kaolinite were performed to investigate the effect of dry density and moisture content on thermal conductivity. The results were used to evaluate the validity of a model employed to calculate thermal conductivity.

Keywords : thermal conductivity, consolidation, saturated unfrozen kaolinite, computational method

서 론

동토지역에서의 구조물 기초, 도로, 철도, 파이프라인, 지중매설관 등을 설계하는데 지중온도 분포는 중요한 요소 중 하나이다. 예를 들어, 동결융해로 발생하는 포장도로의 부등침하를 저하시킬 뿐만 아니라 융해시 발생하는 과잉간극수압으로 인한 연약지반이 형성되어 중차량 하중으로 파괴가 발생한다. 국내에서는 동결융해로 인한 피해를 저감하기 위해 포장두께 설계법에서 동결깊이를 산정하는데 일반적으로 국외에서 개발된 경험식을 적용하고 있다. 이러한 경험식은 자국의 환경 조건을 반영하여 개발된 식으로 국내에서 직접적으로 사용하기에는 문제가 있다. 또한 경험식에 의한 해석은 축적된

데이터 분석을 통해 가능하며 짧은 연구 기간에 최적의 성과를 도출하는 것은 불가능하다. 하지만, 외부온도에 따른 직접적인 열전달 해석을 통한 지중온도분포에 관한 분석은 수치해석을 통해 비교적 쉽고 정확한 예측이 가능하다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 경험식에 의한 동결깊이 산정에만 초점을 맞추고 있어 외부온도에 따른 직접적인 열전달 해석에 관한 연구는 미미하다. 이러한 지중온도 분포 예측의 핵심은 열전도계수 산정에 있으며, 열전도계수는 흙의 포화도, 함수비, 단위중량, 동결여부와 함께 흙의 구성성분에 따라서도 영향을 받는다.

Kersten (1949)은 자연상태의 흙과 파쇄된 암석을 이용하여 열전도계수 측정실험을 수행하였고 측정된 데이터를 활용하여 경험적인 열전도계수 추정식을 제안하였다.

*Corresponding author: jlee@kict.re.kr

여기서 흙의 열전도계수를 지배하는 중요한 요소로는 함수비, 건조밀도, 입경, 동결여부라고 발표하였다. Johansen (1975)은 흙속에 포함된 석영(quartz)이 다른 미네랄에 비해 열전도계수가 높다는 것을 밝혀내고, 석영의 함유량에 따른 열전도계수 추정식을 발표하였다. 마찬가지로 건조밀도, 함수비, 입경, 동결여부, 포화도가 열전도계수에 중요한 영향을 미친다고 하였다. 연구결과를 활용하여 많은 연구자들(Mickley, 1951; de Vries, 1952; Kunii and Smith, 1960; Woodside and Messmer, 1961)이 흙의 열전도계수를 예측하기 위하여 여러 가지 방법들을 제시하였으며 불포화도 실험결과와 비교하였다. 그러나 Penner (1962)는 불포화도를 대상으로 열전도계수를 측정할 때 측정 장치의 발달로 인해 함수비 구배가 발생하여 측정 오차가 발생한다고 강조하였다. 따라서 예측 모델과의 비교를 위해서는 우선적으로 포화도를 대상으로 열전도계수를 측정하고 모델과 비교를 통한 예측의 신뢰성을 확인해야 한다.

본 연구에서는 포화된 카울리나이트를 이용하여 열전도계수를 측정하였다. 함수비와 건조밀도가 열전도계수에 미치는 영향을 연속적으로 관찰하기 위해 압밀실험을 실시하였다. 또한 측정된 열전도계수와 건조밀도를 이용하여 Woodside and Messmer (1961)가 제시한 모델과 비교하였다.

열전도 계수 예측 모델

Woodside and Messmer (1961)는 흙을 구성하는 공기, 흙입자, 그리고 간극수의 열전도율을 배분하고 체적 비율에 따른 평균을 통해 열전도계수를 계산하였다. 열의 이동경로는 흙입자가 직접 접촉되어 있는 부분, 액체로 이루어진 부분, 그리고 흙입자와 액체로 이루어진 부분으로 총 3가지 경우로 가정하였다. Woodside and Messmer 모델은 각 상별 열전도 계수의 조합으로 전체 열전도 계수를 결정하므로 포화도와 불포화도, 나아가 동결토에도 적용 가능하다(김학삼 등, 2010). Woodside and Messmer 모델을 포화도에 적용하면 다음과 같다.

$$k = (n-0.33)k_w + (1-n+0.03) \times \left[\frac{1-n}{1-n+0.03} \left(\frac{1}{k_s} \right) + \frac{0.03}{1-n+0.03} \left(\frac{1}{k_w} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

여기서 식 (1)에 사용된 k 는 흙시료의 열전도계수(W/mK), k_w 는 간극수의 열전도계수(W/mK), n 은 흙시료의 간

극률, 그리고 k_s 는 흙입자의 열전도계수(W/mK)이다. 증류수를 간극수로 사용하였으며, 포화된 흙시료에서 $k_w = 0.57 W/mK$ 를 사용하였다(Amdersland and Ladanyi, 2004).

흙시료의 열전도계수를 예측하기 위해서는 흙입자의 열전도계수(k_s)를 필요로 한다. Gemant (1952)와 Johansen (1975)는 흙입자의 열전도계수는 흙의 구성성분에 의해 지배된다고 밝혔다. 본 연구에서는 비교적 간편한 방법으로 흙입자의 열전도 계수(k_s)를 산정할 수 있는 Gemant의 방법을 이용하였으며 다음과 같다.

$$k_s = 5.84 - 0.033p \quad (2)$$

여기서 식 (2)에 사용된 p 는 점토의 함유량(%)이다.

실험에 사용된 카울리나이트는 점토의 함유량이 100%($p = 100$)이므로 흙입자의 열전도계수(k_s)는 2.54 W/mK 이다.

실내실험

실험시료

흙의 열전도계수는 함수비와 건조밀도, 포화도, 동결여부, 흙의 구성성분에 영향을 받는다. 따라서 열전도 실험에 앞서 시료의 기본적인 특성을 파악하는 것은 중요한 일이다. 실험에 사용될 시료인 카울리나이트를 이용하여 흙의 입도, 비중, 액·소성한계시험을 실시하였다. 실험 결과 카울리나이트의 #200체 통과량이 100%였으며, 비중(G_s)은 2.63, 액성한계(LL)는 82.1%, 소성지수(PI)는 48.7%로 나타났다. 통일분류법에 따르면 CH로 분류된다.

시험 장치 및 방법

시료의 압밀이 진행되면서 건조밀도와 함수비의 변화에 따른 열전도계수의 상관관계를 분석하기 위하여 열전도 실험용 몰드를 제작하였다. Fig. 1은 열전도계수 실험용 몰드와 압밀 실험 장치를 나타낸다. 몰드는 직경 10 cm, 높이 20 cm 이며 1 cm 두께의 투명 아크릴을 사용하여 제작하였다. 아크릴 몰드의 장점은 초기 시료의 높이를 육안으로 확인이 가능하며 수조의 물높이를 시료 높이와 일정하게 맞추기에 용이하다. 시료는 증류수와 카울리나이트를 교반하여 슬러리 상태로 아크릴 몰드에 주입하였다. 약한 진공상태를 유지하여 공기를 제거하고 상부 가압판을 조심스럽게 시료 위에 올렸다. 상부 가압판에는 작은구멍 24개를 뚫어 간극수의 배수 및 열전도 실험용 니들프로브(needle probe) 삽입을 용이하게 하였다. 상부

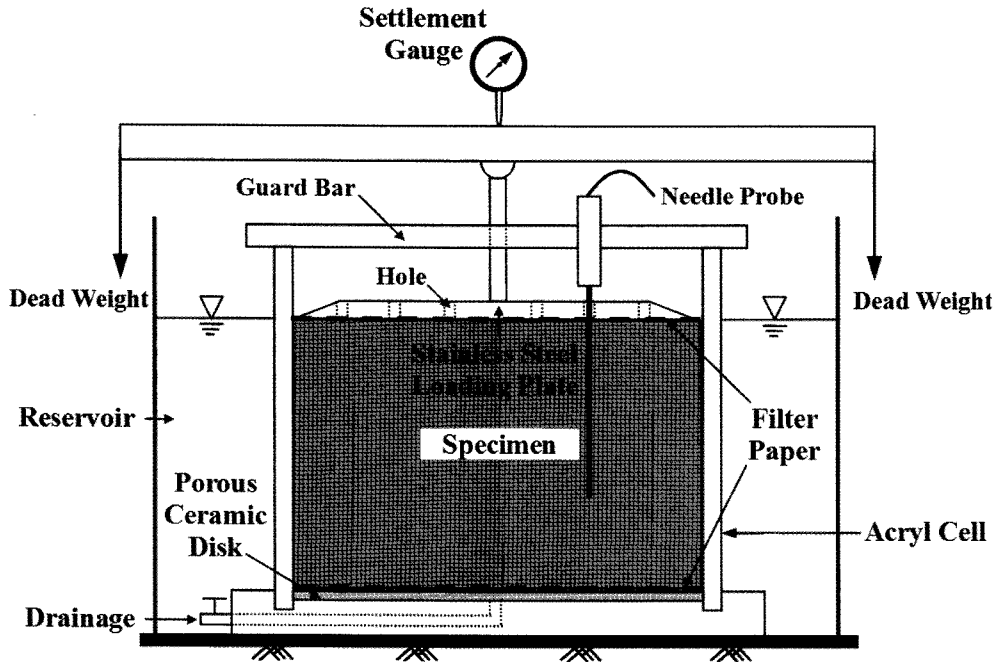


Fig. 1. Apparatus for measuring consolidation and thermal conductivity.

가압관을 놓고 가이드바(guide bar)를 설치하여 상부 가압관의 수평을 유지하였다. 시료가 준비되면 수조에 넣고 시료 높이와 동일하게 물을 채운 후, 게이지의 눈금을 읽고 바닥 배수 밸브를 열어 양면 배수를 실시하였다.

본 연구에 사용한 열전도계수 측정 장비는 상용 측정 장비(Quickline-30, ANTER)이며, 열전도계수 측정범위는 0.0015-6.0 W/mK이며, 정확도는 ±3%이다. ASTM D5334 표준을 따른 장비인 니들프로브를 삽입하여 열전도계수를 측정하였다. 니들프로브의 규격은 길이 120 mm, 지름 3 mm이며, 압밀시험이 시작되기 전에 수직으로 삽입하였다. 열전도계수는 각 상재하중에 따른 게이지에서 읽은 시간당 침하량의 변화가 미미한 시점(100% 압밀완료 시점)에서 측정을 실시하였으며, 평균적으로 약 12분이 소요되었다. 열전도계수 측정이 완료되면 다음 상재하중을 적용하여 압밀을 진행하였으며, 이러한 일련의 과정을 반복하여 시료의 건조밀도 및 함수비와 열전도계수를 측정하였다.

실험의 정확성과 재현성을 확인하기 위해 두 번(C1과 C2)에 걸쳐 실시되었다. C1과 C2 시료의 초기 간극률은 각각 0.72와 0.71이다. 실험이 완료된 후 시료의 크기와 함수비를 측정하여 간극률을 계산한 결과 두 가지 시료 모두 0.55로 일치하였다. 각각 실험에서 단계별 재하된 상재하중과 간극률을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Summary of consolidation results for saturated unfrozen kaolinite.

Loading Sequence	Tests	
	C1	C2
# 1	1.81	1.81
# 2	3.62	8.53
# 3	7.16	19.33
# 4	14.20	37.60
Effective Vertical Stress, σ' (kPa)		
# 5	28.32	75.65
# 6	56.90	153.60
# 7	113.22	310.32
# 8	225.85	623.76
# 9	382.57	-
# 10	696.01	-
Initial Porosity	0.72	0.71
Final Porosity	0.55	0.55

시험 결과 분석

상재하중(σ')과 간극비(e)의 관계를 나타낸 압밀곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 두 번(C1과 C2)에 걸친 실험은 상재

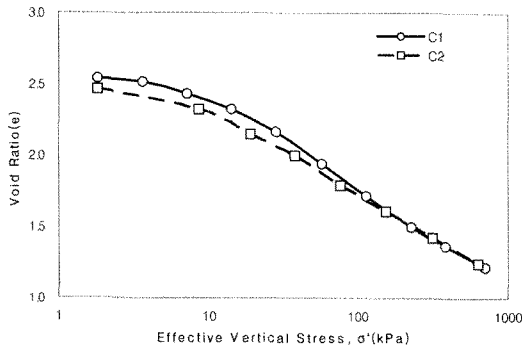
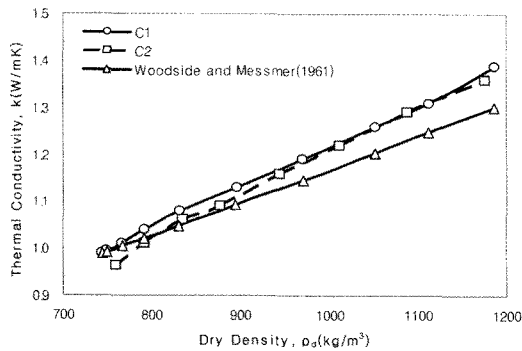
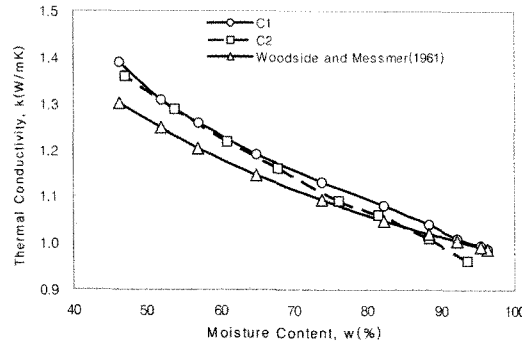


Fig. 2. Consolidation curves for the C1 and C2 tests.



(a) Dry density versus thermal conductivity



(b) Moisture content versus thermal conductivity

Fig. 3. Measured and calculated thermal conductivities.

하중을 조금 다르게 하여 실시하였으며 이를 통해 다양한 간극비에서 열전도계수를 측정할 수 있었다. 압밀곡선은 반대수용지에 나타낸 결과 비선형으로 나타났다. 슬러지 상태에서 실험을 하였음에도 약간의 선형압밀하중을 나타내는 성향이 나타났다. 이는 압밀실험을 시작하기 전 공기를 제거하기 위하여 사용한 공기압축기에 의하여 유효응력이 증가한 것이 선형압밀하중의 증가로 이어진 것으로 사료된다. C1과 C2의 압밀곡선이 거의 비슷한 경향

을 나타내는데, 이는 상부 가압판과 아크릴몰드 사이의 측면 마찰이 거의 발생하지 않는다고 판단할 수 있다.

Fig. 3(a)는 건조밀도(ρ_d)의 변화에 따른 포화된 카올리나이트의 열전도계수(k)의 변화를 나타낸다. 압밀실험을 수행하면서 최소 8번의 건조밀도 변화에 따른 열전도계수를 측정할 수 있었다. 건조밀도가 증가 할수록 열전도계수가 증가함을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 함수비(w)의 변화에 따른 포화된 카올리나이트의 열전도계수(k) 변화를 나타낸다. 함수비가 작아질수록 열전도계수는 증가함을 알 수 있다.

불포화토에서는 함수비가 증가할수록 열전도계수가 증가한다. 불포화토는 흙입자, 공기, 그리고 간극수로 구성되어 있다. 공극을 이루고 있는 공기의 열전도계수에 비하여 물의 열전도계수가 더 크기 때문에 함수비가 증가할수록 열전도계수가 증가하는 것이다. 그러나 포화된 흙은 흙입자와 간극수로만 구성되어진다. 흙입자의 열전도계수가 물의 열전도계수보다 크기 때문에 포화된 흙에서는 함수비가 감소할수록 열전도계수가 커지는 것이다(Gemant, 1950).

본 연구에서 압밀실험 단계별 측정된 열전도계수와 Woodside and Messmer (1961)가 제안한 식으로 계산한

Table 2. Summary of measured consolidation and thermal conductivity data.

	σ' (kPa)	n	ρ_d (kg/m ³)	w (%)	Measured	Calculated
					k (W/mK)	k (W/mK)
C1	1.81	0.717	743.4	96.3	0.989	0.989
	3.62	0.715	748.6	95.4	0.996	0.992
	7.16	0.708	766.4	92.2	1.01	1.005
	14.20	0.699	791.0	88.3	1.04	1.022
	28.32	0.684	831.0	82.3	1.08	1.049
	56.90	0.660	895.1	73.8	1.13	1.093
	113.22	0.631	969.8	65.0	1.19	1.147
	225.85	0.600	1051.3	57.0	1.26	1.205
	382.57	0.577	1111.9	51.9	1.31	1.248
C2	696.01	0.549	1186.2	46.3	1.39	1.301
	1.81	0.711	758.9	93.5	0.963	1.000
	8.53	0.699	791.8	88.3	1.01	1.022
	19.33	0.682	834.6	81.5	1.06	1.053
	37.60	0.667	876.7	76.2	1.09	1.080
	75.65	0.641	943.5	67.9	1.16	1.128
	153.60	0.616	1010.7	61.0	1.22	1.175
	310.32	0.586	1088.4	53.8	1.29	1.231
	623.76	0.553	1175.7	47.0	1.36	1.293

결과를 비교하였다. Table 2는 압밀실험 결과와 측정된 열전도계수와 Woodside and Messmer 식을 사용하여 계산한 결과를 정리하였고, Fig. 3은 측정값과 함께 계산된 열전도계수를 포함하고 있다. Fig. 3(a)에서 나타나듯이 건조밀도가 900 kg/m^3 이하에서는 측정값과 계산식에서 열전도계수가 비교적 비슷한 값을 나타내지만, 그 이상에서는 실험에서 측정한 값이 계산값보다 약 4~7%(계산값 기준) 크게 나타났다. 계산으로 구한 열전도계수의 기울기가 완만하므로 압밀이 진행 됨에 따라 측정값과 계산값의 차이는 더 커질 것으로 예상된다. Fig. 3(a)와 유사하게 Fig. 3(b)에서는 함수비가 80% 이상, 즉 시료의 액성한계 이상에서는 열전도계수가 유사하게 나타났다. 시료의 함수비가 작아질수록(액성한계 이하로 내려갈수록) 측정된 열전도계수와 계산된 열전도계수의 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

열전도계수 측정에 사용된 니들프로브(needle probe) 법에서 발생할 수 있는 오차에는 크게 프로브 열전도계수 측정 시 몰드 간섭에 의한 오차와 프로브 자체의 열흐름에서 발생하는 오차로 구분할 수 있다. Manohar et al. (2000)은 프로브와 몰드 사이의 최소 반경(r)을 다음과 같이 제시하였다.

$$\ln\left(\frac{4at}{r^2}\right) = 0.5772 \quad (3)$$

여기서 a 는 시료의 열확산율(m^2/s), t 는 열전도계수 측정 시간(s)이다.

완전 포화된 점성토의 열확산율은 $4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ 라고 알려져있다(Amderslamd and Ladanyi, 2004). 열전도계수를 측정하는 평균시간이 720초 정도 소요되므로, 식(3)을 이용하여 계산된 r 은 25.4mm이다. 열전도계수의 측정 지점은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 아크릴 몰드로부터 30mm 떨어져 있다. 그러므로 식(3)에서 계산되어진 최소 반경(r)보다 실험에서의 이격거리가 더 멀다. 따라서 니들프로브를 사용하여 열전도계수를 측정함에 있어, 몰드의 간섭(시료 크기의 유한성) 때문에 생기는 영향은 무시하여도 된다. 니들프로브를 이용하여 열전도계수를 측정하는 것은 열류가 프로브의 반경방향으로 일차원적으로 흐르는 경우에 가능하다. 그러나 프로브의 길이는 유한하기 때문에, 프로브 끝 부분에서의 열류는 반경방향 뿐만 아니라 연직 방향으로도 발생한다. 따라서 프로브의 연직 방향으로 열류의 영향을 무시될 정도로 프로브의 길이와 반경의 비를 크게 할 필요가 있다(김학삼, 2001). Blackwell and Misener (1951)은 니들프로브 길이의

유한성 때문에 생기는 열전도계수 측정 시 발생하는 오차는 니들프로브의 길이와 직경의 비가 25배 이상이면 1% 이하라고 발표하였다. 본 실험에서 사용되어진 니들프로브의 길이와 직경의 비는 40배 이므로, 프로브의 길이 때문에 발생하는 오차는 크지 않은 것으로 판단된다.

결 론

건조밀도 및 함수비의 변화에 따른 포화된 점토의 열전도계수를 측정하기 위하여 압밀실험을 실시하였다. 압밀실험 중 각 상재하중으로 압밀이 종료된 시점에서 열전도계수를 측정하였다. 시료는 카올리나이트와 중류수를 혼합하여 만들었으며, 열전도계수 측정 시 발생하는 몰드 간섭에 의한 오차를 최소화하기 위해 대구경 압밀몰드를 제작하였다. 측정된 열전도계수와 Woodside and Messmer (1961)가 제시한 식을 이용하여 계산한 열전도계수를 비교하였으며 결과를 정리하면 아래와 같다.

(1) 포화된 카올리나이트의 압밀에 따른 열전도계수를 연속적으로 측정하여 건조밀도와 함수비의 변화에 따른 열전도계수의 관계를 연구하였다. 지금까지 열전도계수의 측정은 다양한 시료를 제작하여 각각의 함수비와 건조밀도를 통해 상관관계를 도출하였으나, 압밀은 함수비와 건조밀도를 연속적으로 비교적 정확히 측정가능하다. 또한, 니들프로브를 이용하여 열전도계수를 측정할 경우 시료의 교란을 최소화하기 위하여 니들프로브를 삽입한 상태에서 압밀실험을 진행하였다. 따라서 본 실험결과는 기존의 연구에 비해 열전도계수와 함수비 또는 건조밀도의 측정오차를 최소화하였다. 실험 결과 포화된 카올리나이트에서는 건조밀도가 증가할수록, 함수비가 감소할수록 열전도계수가 증가하였다.

(2) 흙입자의 구성성분은 흙의 열전도계수에 많은 영향을 준다. Gemant가 제안한 흙입자의 열전도계수(k_s) 계산식을 이용한 결과, 흙입자의 열전도계수는 2.54 W/mK 이다. 이를 이용하여 Woodside and Messmer (1961)가 제시한 모델로 계산된 시료의 열전도계수와 측정된 열전도계수를 비교하였다. 건조밀도가 900 kg/m^3 이하, 함수비가 80%이상(액성한계 이상)에서는 측정값과 계산되어진 열전도계수가 유사한 값을 나타내었다. 그러나 건조밀도 900 kg/m^3 이상에서는 건조밀도가 증가할수록 측정값과 계산값의 차이는 약 4%에서 7%로 증가한다.

본 연구에서는 측정값과 계산값의 차이를 최대건조밀도가 1186.2 kg/m^3 이하에서만 확인하였다. 향후 건조밀도

1186.2 kg/m³이상에서 열전도계수의 실험값과 계산값의 차이를 살펴볼 필요가 있다. 또한 다양한 시료에 대한 열전도계수 평가를 실시하여 지반 온도분포 해석에 필요한 최적 열전도계수 산정 모델을 제시하고자 한다.

사 사

본 연구는 한국건설기술연구원 기관고유사업의 일환으로 진행되었습니다.

참고문헌

- 김학삼, 2001, 서멀프루브법에 의한 동결토의 열전도율 측정에 관한 연구, 산업기술연구, 영남이공대학 산업기술연구소, 15, 61-73.
- 김학삼, 서상열, 中村 大, 山下, 鈴木 輝之, 2010, 페타이어 파우더 혼합토의 열전도율 특성에 관한 연구, 지반, 한국지반공학회, 26(5), 27-36.
- Amderland, O. B. and Ladanyi, B., 2004, Frozen ground engineering, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., Hoboken, New Jersey, 363p.
- Blackwell, J. H. and Misener, A. D., 1951, Approximate Solution of a Transient Heat Flow Problem, Proceedings of the Physical Society, A64, 1132-1133.
- De Vries, D. A., 1952, The thermal conductivity of soils, Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen, 52(1), 1-73.
- Gemant, A., 1950, The thermal conductivity of soils, Journal of Applied Physics, 21, 750-752.
- Gemant, A., 1952, How to compute thermal soil conductivities, Heating, Piping, and Air Conditioning, 24(1), 122-123.
- Johansen, O., 1975, Thermal conductivity of soils, Ph.D. thesis, Trondheim, Norway: U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory(CRREL) Draft Translation (1977), 637, 291p.
- Kersten, M. S., 1949, Laboratory research for the determination of the thermal properties of soils, ACFEL Technical Report 23, AD 712516.
- Kunii, D. and Smith, J. M., 1960, Heat transfer characteristics of porous rocks, American Institute of Chemical Engineers Journal, 6(1), 71-78.
- Manohar, K., Yarbrough, D. W., and Booth, J. R. 2000, Measurement of apparent thermal conductivity by thermal probe method, Journal of Testing and Evaluation, 28(5), 345-351.
- Mickley, A. S., 1951, The thermal conductivity of moist soil, American Institute of Electrical Engineers Transactions, 70, 1789-1797.
- Penner, E., 1962, Thermal conductivity of saturated Leda clay, Geotechnique, 12(2), 168-175.
- Woodside, W. and Messmer, J. M., 1961, Thermal conductivity of porous media, Journal of Applied Physics, 32(9), 1688-1706.

2011년 5월 23일 원고접수, 2011년 6월 17일 게재승인

김학승

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0288
Fax: 031-910-0211
E-mail: zeckimhs@kict.re.kr

이장근

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0791
Fax: 031-910-0211
E-mail: jlee@kict.re.kr

강재모

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0556
Fax: 031-910-0211
E-mail: jmkang@kict.re.kr

김영석

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0371
Fax: 031-910-0211
E-mail: kimys@kict.re.kr

홍승서

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0403
Fax: 031-910-0211
E-mail: sshong@kict.re.kr