

보강 흙벽의 열전도 특성

Property of Thermal Conduction of Reinforced Soil Wall

장 병 옥 · 서 동 옥* · 박 영 곤(서울대)

Chang, Pyoung Wuck · Seo, Dong Uk · Park, Young Kon

Abstract

The objectives of the study are to investigate thermal conductivity(TC) and coefficient of thermal transmission(CTT) according to the type of soils, the presence of reinforcement, temperature, relative humidity and to analyze experimentally the characteristics of thermal transfer of reinforced soil wall. Results are summarized as follows : 1) Clayey soil has high value of TC and CTT than sandy soil. 2) TC and CTT of unreinforced soil wall is about 6~17% higher than those of reinforced one, 3) It is found that the effect of relative humidity on the soil wall is important at the same temperature and 4) As the temperature is high , it is appeared that TC and CTT are high.

I. 서론

흙은 어디서나 쉽게 구할 수 있는 환경친화적인 재료이며 인류는 오래 전부터 흙을 벽돌, 벽체 등의 건축재료로 이용하였다. 오늘날 시멘트, 콘크리트 구조물이 절대 다수를 차지하고 있으나 최근 흙집과 같은 흙을 이용한 건물에 대한 관심이 증가하고 있다¹⁾.

건물의 많은 부분을 차지하는 벽체에서는 외부 기상조건과 벽체의 열성능으로 인하여 복사, 대류, 전도에 의한 열전달 현상이 일어난다²⁾. 벽체의 이러한 열전달 특성은 건물 열환경의 중요한 평가기준이 되며 대표적으로 열전도율(thermal conductivity, TC), 열관류율(coefficient of thermal transmission, CTT)로 나타낸다³⁾. 그러나 콘크리트나 시멘트벽체의 열전달 특성은 현재까지 많이 연구되어 왔지만 흙벽의 열전달 특성에 관한 연구는 미흡한 상태이다.

흙벽의 열전달 특성은 흙벽을 이루고 있는 재료의 특성에 따라 다르게 나타난다. 흙벽의 열전달 특성에 영향을 미치는 인자들로써 흙의 종류, 보강재, 사용여부, 흙벽의 밀도 등과 같은 벽체 자체의 물리적인 요인과 온도, 상대습도, 시간 등과 같은 환경적인 요인이 있다^{4),7)}.

따라서 본 연구에서는 흙벽체의 열전달 특성을 실험적으로 구명하고자 흙의 종류, 보강재 사용여부, 온도, 상대습도에 따른 흙벽의 열전도율과 열관류율을 알아보고자 한다.

II. 관련이론

열전달(heat transfer)이란 두 물질 사이에 온도차가 존재하는 경우 그 온도차에 따른 열에너지의 이동현상을 가리키며, 전도, 대류, 복사로 구분되지만 벽체의 열전달은 주로 전도와 대류만을 고려한다.

건물의 벽체를 통과하는 열의 이동은 열전도와 열대류, 열관류로 이루어진다. 열전도는 열이 벽체 속에서 고온측으로부터 저온측으로 흐르는 현상이며, 열대류는 열이 벽체 표면으로부터 실내 공기로 또는 그 역으로 흐르는 현상이다. 그리고 열관류는 벽체 양측의 공기온도가 다를 때 Fig. 1과 같이 고온측에서 저온측으로 열이 관통하는 현상으로서 열대류→열전도→열대류의 3과정이 조합되어 이루어지는 열전달 현상이다.

KSF 2273⁸⁾에 제시되어 있는 열관류율과 열전도율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K = \frac{Q}{(\theta_{Ha} - \theta_{Ca}) \cdot A} \quad (1)$$

$$C = \frac{Q}{(\theta_{HS} - \theta_{CS}) \cdot A} \quad (2)$$

K : 열관류율(coefficient of thermal transmission)(W/m²K) { kcal/m²h °C}

C : 열전도율(Thermal conductivity)(W/m²K) { kcal/m²h °C}

Q : 가열 상자의 발생 열량(W){ kcal/h}

여기서 Q = P(W) [Q = 0.86 × P(kcal/h)]

θ_{Ha} : 가열측의 공기 온도(Temp. of air in heating room)(°C)

θ_{Ca} : 냉각측의 공기 온도(Temp of air in constant temp. room)(°C)

θ_{HS} : 가열측의 표면 온도(Temp. of wall surface in heating room)(°C)

θ_{CS} : 냉각측의 표면 온도(Temp. of wall surface in constant temp. room)(°C)

A : 가열 상자의 안쪽 면적(Area)(m²)

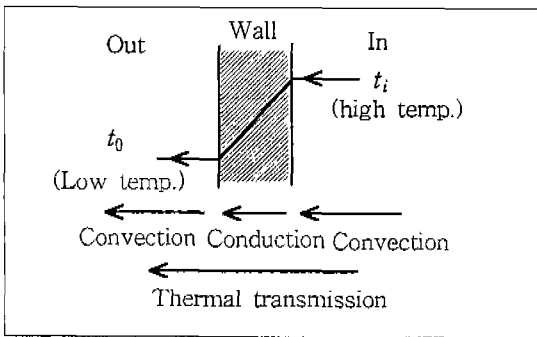


Fig. 1 Procedure of thermal transmission to soil wall

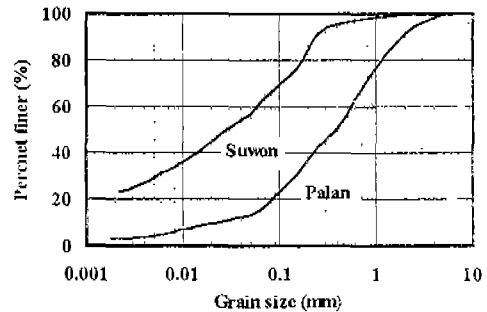


Fig. 2 Grain size distribution curve

III. 재료 및 방법

(1) 재료

시험에 사용된 흙은 국내에 널리 분포하며 물리적 특성이 크게 차이나는 점토질 흙과 모래질 흙을 선정하였다. 열전도율은 흙을 구성하고 있는 모래입자와 점토입자 등 흙의 종류와 관계가 큰 것으로 알려져 있기 때문이다^{5,7)}. 흙의 채취장소는 수원 및 발안지역이며 입도분포곡선은 Fig. 2와 같고 기초물성치는 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Physical properties of soils

Place	Specific Gravity(G_s)	Liquid Limit(%)	Plastic Index(%)	USCS	OMC(%)	Max. Dry Density(g/cm^3)
Suwon	2.62	38.4	17.2	CL	19.2	1.70
Palan	2.67	NP	NP	SM	11.1	1.78

벽체의 강도 증진을 위해 사용된 보강재는 섬유와 시멘트로써 길이가 19mm인 폴리프로필렌 망사형 섬유 0.5%를, 일반 포틀랜드 시멘트 9%를 흙에 동시에 첨가하였다⁹⁾,

(2) 시험 방법

수원과 발안에서 채취한 흙시료를 50×50×15cm 크기의 몰드에 넣어 각각 OMC로 다진다. 이때 보강재를 사용할 경우 흙과 같이 섞는다. 다짐은 표준다짐에너지로 다지며 효율적인 다짐을 위해 5층 이상 다진다. 다짐이 완료되면 몰드를 제거하여 시험체를 양생실에서 충분히 양생, 건조시킨다(Fig.3). 시험체가 함수비의 변화없이 건조상태가 되면 시험체를 Fig. 4와 같은 시험기 내의 가열실과 항온실 사이에 밀어넣어 고정하고 온도 센서를 설치한다. 온도는 가열실 공기, 시험체 가열 쪽 표면, 시험체 항온 쪽 표면 및 항온실 공기에 대하여 측정한다. 시험체 표면 및 공기 중의 온도 측정용 열전대는 등온면에 10cm 이상 떨어져 있도록 설치한다.



Fig.3 View of soil wall for test

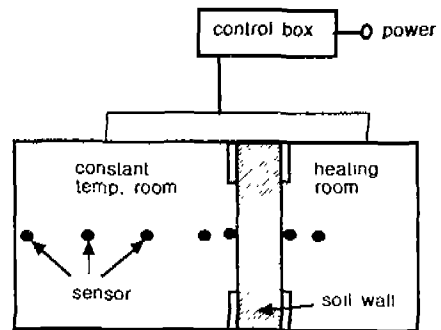


Fig. 4 Schematic view of test device

처음 가열실과 항온실 양쪽 모두 초기조건으로 일정하게 유지시킨 후 가열 쪽 및 항온 쪽의 공기 및 표면 온도가 충분히 정상 상태로 된 것을 확인한다. 초기조건으로 습도는 30%, 60%, 90%의 세가지 경우에 대해서 설정하며 온도는 여름철 외기 온도와 유사한 30 °C에 대해서 설정한다. 평형상태가 되면 가열실을 가열 또는 냉각하여 가열실과 항온실의 온도차를 15 °C, 30 °C이 되도록 하였다. 가열실과 항온실의 온도변화가 시간이 지나면서 변화가 없을 경우에 실험을 끝낸다. Table 2는 실험에 사용된 가열실과 항온실의 온도를 정리한 것이다.

시험체에 사용된 벽체는 수원시료, 발안시료를 사용한 각각의 경우에 대해 보강재를 넣지 않은 것과 보강재를 넣은 것으로 4종류이며 Table 3에 보는바와 같다.

Table 2 Schedule for test

Test no.	Initial condition		Adjusted condition				Difference bet. room	
	Temp. (°C)	RH* (%)	Heating Room		Const. Temp. Room		Temp. (°C)	RH* (%)
			Temp.(°C)	RH*(%)	Temp.(°C)	RH*(%)		
1	30	60	45	60	N*	60	+15	-
2	"	"	15	"	"	"	-15	-
3	"	"	0	"	"	"	-30	-
4	"	90	Repeat no. 1, 2, 3 above, all RH is 90%					
5	"	30	Repeat no. 1, 2, 3 above, all RH is 30%					

* RH : Relative Humidity, * N : No heat

Table 3 Type of soil wall

Name of type	SU	PU	SR	PR
Place of soil	Suwon	Palan	Suwon	Palan
Reinforcement	Unreinforced	Unreinforced	Reinforced	Reinforced

IV. 결과 및 고찰

가열실과 항온실의 초기조건을 온도 30 °C, 상대습도 60%로 설정하였는데 그 이유는 여름철 보통 외기온도가 30 °C 안팎이며 상대습도는 60~80%를 유지하고 있기 때문이다. 실제 실험이 진행된 실험실내의 여름철 외기를 측정한 결과 실내기온이 30±3 °C, 상대습도가 60~70%를 나타내었다.

Fig. 5, 6, 7은 가열실과 항온실의 초기조건을 온도 30 °C, 상대습도 60%로 설정하였을 경우 가열실의 온도를 각각 변화시켰을 때의 결과를 나타낸다. Fig. 8은 Fig. 6과 같은 조건에서의 시간에 따른 습도변화를 나타낸다. 항온실의 온도는 시간이 지남에 따라 서서히 증가 또는 감소하다가 어느 순간부터 일정해지는 경향을 보이는데 이때를 열평형 상태(condition of heat balance)라고 한다.

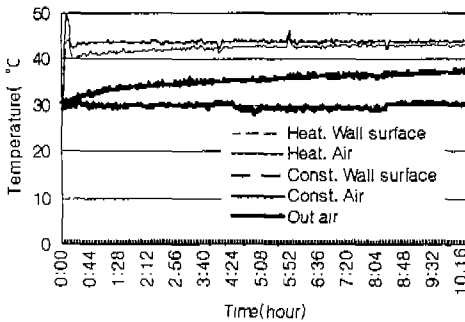


Fig. 5 Temperature according to time (SU, Temp.=45 °C)

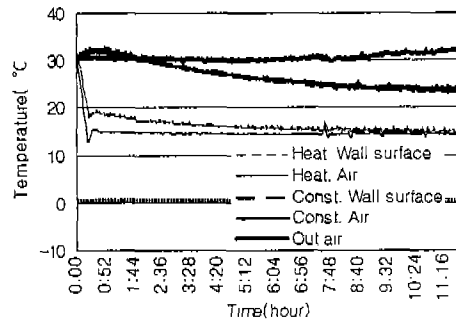


Fig. 6 Temperature according to time (SU, Temp.=15 °C)

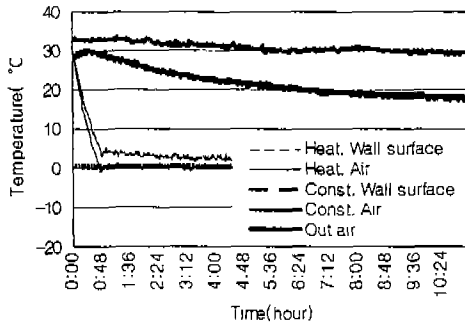


Fig. 7 Temperature according to time (SU, Temp.=0 °C)

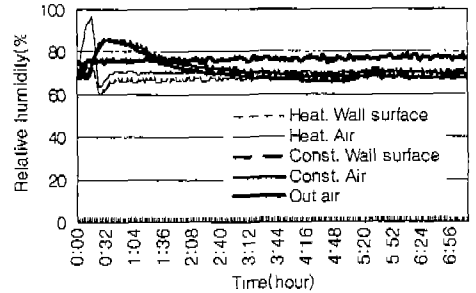


Fig. 8 Relative humidity according to time (SU, Temp.=15 °C)

Table 4는 흙의 종류 및 보강여부에 따른 흙벽의 열전도율을 나타낸 경우이며 이때의 상대 습도는 60%이다. 대체로 온도가 낮아질수록 열전도율 및 열관류율이 낮아지는 경향을 보여준다. 또한 45 °C에서는 수원시료를 사용한 벽체가 발안시료를 사용한 벽체보다 C와 K값이 크게 나타나지만 0 °C에서는 이와 반대로 나타난다.

Table 4 Thermal conductivity(C) and coefficient of thermal transmission(K) according to type of soil wall and control temperature(RH=60%)

Type	SU			PU			SR			PR		
Temp.(°C)	45	15	0	45	15	0	45	15	0	45	15	0
C (W/m ² K)	1.39	0.93	0.49	1.22	0.94	0.61	1.16	1.05	0.53	1.13	0.98	0.50
K (W/m ² K)	1.2	0.82	0.44	1.04	0.81	0.53	0.99	0.95	0.47	1.10	0.87	0.45

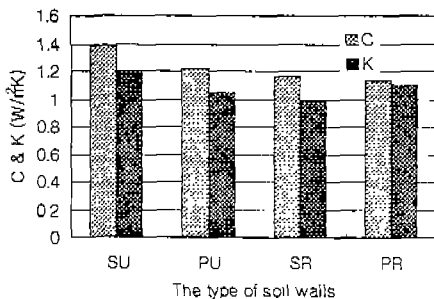


Fig. 9 Thermal conductivity and coefficient of thermal transmission according to types of soil wall (Temp=45 °C)

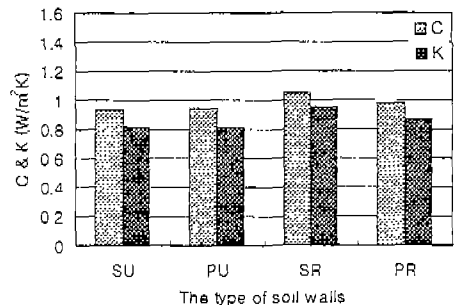


Fig. 10 Thermal conductivity and coefficient of thermal transmission according to types of soil wall (Temp=15 °C)

Fig. 9, 10은 상대습도 60%이고 설정온도가 각각 45 °C, 15 °C일 때, 벽체의 종류에 따른 열전도율 및 열관류율을 나타낸 것이다. Fig. 9에서는 점토질시료를 쓴 SU가 모래질 시료를 쓴 PU보다, 비보강벽체가 보강벽체보다 열전도계수 및 열관류율이 더 높은 것으로 나타났지만 Fig. 10에서는 이와 반대 현상이 나타났다. 이 두 그림으로부터 비보강 벽체가 보강 벽체보다 온도(45 °C와 15 °C)에 따른 열전도율 및 열관류율의 편차가 큰 것으로 사료된다.

Fig. 11, 12는 상대습도에 따른 열전도율 및 열관류율의 변화를 나타낸다. 설정온도가 45 °C로 항온실의 온도 30 °C보다 더 높은 경우 상대습도가 증가할수록 열전도계수 및 열관류율은 증가하는 반면, 설정온도가 항온실의 온도보다 더 낮은 경우인 15 °C, 0 °C인 경우는 감소하고 있음을 볼 수가 있다. 즉, 고온일 때 상대습도가 높으면 벽체의 열전도가 크게 나타나지만 저온일 때 상대습도가 높으면 오히려 열전도가 저하됨을 알 수 있다. 따라서 상대습도가 벽체의 열전달 특성에 큰 영향을 미치고 있음을 보여준다.

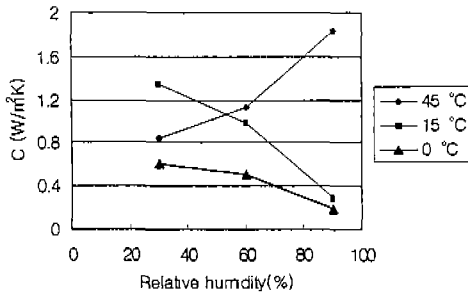


Fig. 11 Thermal conductivity according to relative humidity (PU)

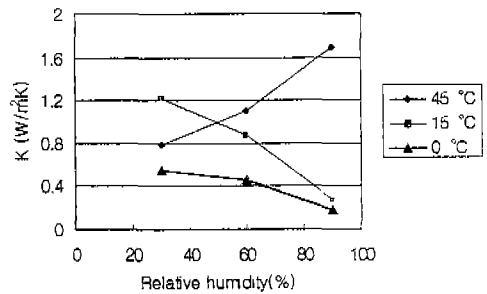


Fig. 12 Coefficient of thermal transmission according to relative humidity (PU)

Fig. 13, 14는 설정온도에 따른 열전도율 및 열관류율을 나타낸다. 대체로 모든 벽체의 경우 온도가 높아질수록 열전도율 및 열관류율은 증가함을 알 수 있다.

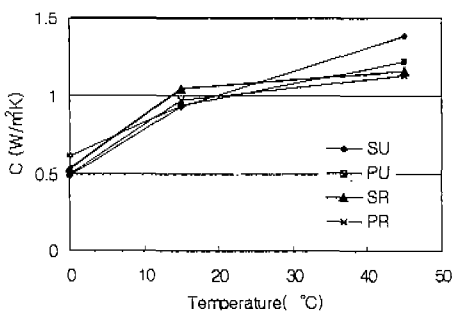


Fig. 13 Thermal conductivity according to temperature(RH=60%)

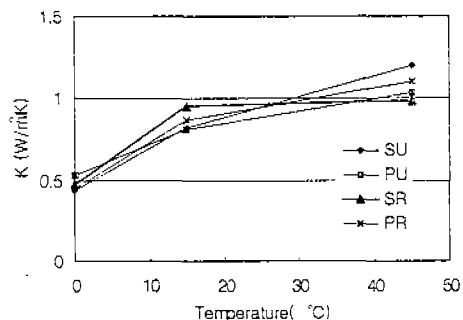


Fig. 14 Coefficient of thermal transmission according to temperature(RH=60%)

V. 결론

흙벽의 종류에 열전도 특성을 평가하고자 벽체의 열전도율 및 열관류율을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 45 °C인 조건에서 점토질 시료를 사용한 수원 벽체가 모래질 시료를 사용한 발안 벽체보다 열전도율 및 열관류율이 더 높은 값을 나타내었다.
2. 45 °C일 때 비보강 벽체가 보강벽체보다 열전도율 및 열관류율이 6~17% 더 높은 값을 보였다.
3. 고온일 때 상대습도가 높으면 벽체의 열전도가 크게 나타나지만 저온일 때 상대습도가 높으면 오히려 열전도가 저하된다.
4. 온도가 높을수록 열전도율 및 열관류율은 높게 나타난다.

참고문헌

1. 이경희, 1992, 흙과 인간환경, 대한건축학회지 36권 3호 pp. 5
2. 정광섭, 1995, 건물의 열부하와 에너지 절약, 건축 9506, pp. 44
3. 김봉주, 손장열, 1995, 현장측정을 통한 기존건물벽체의 열성능 평가 연구, 대한건축학회 11호 9권 pp. 137~138
4. 한대석, 1991, 흙의 열전달을 산정법에 관하여, 지반공학회지 제 7권 3호, pp. 65~66
5. Salomone, L. A. et al. 1984, Thermal resistivity of soils, Journal of geotechnical engineering, Vol. 110, No. 3, pp 375~389
6. Salomone, L. A. et al. 1984, Thermal Performance of fine-Crained soils, Journal of geotechnical engineering, Vol. 110, No. 3, pp 359~374
7. T. L. Brandon, 1989, Factors influencing thermal resistivity of sands, Journal of geotechnical engineering, Vol. 155, No. 12, pp 1683~1698
8. KSF 2273, 1995, 열관류시험, 한국산업규격, pp 10~13
9. 농림부, 1998, 농업구조물에의 이용을 위한 보강흙벽 및 공법개발, 중간요약보고서