

# 조경용 식생매트의 열전도율 측정에 관한 연구<sup>†</sup>

차욱진\* · 양건석\*\*

\*동아대학교 조경학과 조교수 · \*\*동아대학교 조경학과 부교수

## A Study on the Thermal Conductivity Measurement for Planting Mats of Landscaping

Cha, Uk Jin\* · Yang, Geon Seok\*\*

\*Assistant Professor, Dept. of Landscape Architecture, Dong-A University

\*\*Associate Professor, Dept. of Landscape Architecture, Dong-A University

### ABSTRACT

Developed nations have implemented various policies to reduce greenhouse gases since the 1997 Kyoto Protocol in order to minimize the effects of global warming. Korea should also reduce energy consumption in the industrial sector, and the transportation and building sectors in order to achieve its greenhouse gas reduction target of 37 percent compared to the Business As Usual levels. The government implements various laws and regulations for reducing energy consumption. To reduce energy consumption in the building sector, in particular, the Energy Conservation Design Standards are enforced according to the 'Enforcement Support for Green Building Construction'.

The amount of electricity used to maintain room temperature at 28°C in these buildings have a 30% reduction (measured on the walls and rooftop) in power usage compared to buildings not required to meet these standards. Although the effect of these energy savings on landscaping is proven, this demonstration is not effective for energy saving since it is not a suitable method for the 'Energy Saving Design Standards of Buildings'. For landscaping to be effective as far as a component of energy reduction, the perfusion rate of the building should be calculated based on the thermal conductivity of the component materials for the energy saving designs with respect to the basis of Article 14 of the Green Building Act.

Therefore, the purpose of this study is to ensure that the planting-based mats currently being widely used in the landscape industry can have insulating performance suitable for the 'Energy Saving Design Standards' of Buildings according to the 'Enable Green Building Construction Methods'.

*Key Words: Energy Saving Design Standards for Buildings, Wall Planting Internal Insulation, Composite Mat, Thermal Ducting*

### 국문초록

선진국들은 지구온난화의 영향을 최소화하기 위해 1997년 '교토의정서' 채택이후 온실가스를 줄이기 위한 다양한

<sup>†</sup>: 본 논문은 2018 동아대학교 학술연구지원에 의하여 수행되었음.

**Corresponding author:** Geon-seok Yang, Associate Professor, Dept. of Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea, Tel.: +82-51-200-7577, E-mail: ydrystone@dau.ac.kr

정책을 시행하고 있다. 우리나라 역시 2030년 온실가스 감축 목표를 배출전망치(BAU: Business As Usual) 대비 37% 줄이기 위해 산업부문, 수송부문, 건물부문의 에너지 소비량을 감축하여야 한다. 정부에서는 에너지 소비량 감축을 위한 각종 법령 및 행정규칙을 제정하여 시행하고 있으며, 특히 건물부문의 에너지 소비량을 감축하기 위하여 녹색건축물 조성 지원법에 따른 '건축물의 에너지절약설계기준'을 시행하고 있다.

실내온도를 28℃로 유지하기 위해 사용되는 전력량은 벽면녹화 및 옥상녹화 등으로 녹화된 건물이 녹화되어지지 않은 건축물에 비해 평균 30%의 전력사용량의 감소효과가 있다. 이렇듯 조경녹화에 대한 에너지 절감의 효과는 입증되고 있으나, 이러한 입증은 '건축물의 에너지절약설계기준'에 적합한 방법이 아니기에 에너지 절감의 실효성을 가지고 있지 못하다. 조경용 녹화가 에너지 절감에 따른 실효성을 가지려면 '녹색건축물 조성 지원법 제14조'의 '건축물의 에너지절약설계기준'의 단열재료에 대하여 구성재료의 열전도율로 열관류율을 계산하여 '별표 1'의 기준에 적합하여야 한다. 본 연구에서는 3종류의 벽면녹화용 식생매트와 1종류의 복합매트(내부단열재+식생매트)를 제작하여 다양한 열전도율 측정 실험을 수행하고, 에너지 보존식을 이용하여 내부단열재 두께 등에 대하여 이론적인 계산을 하였다. 3종류의 식생매트의 열전도율은 0.130~0.157W/mk 정도로서 목재의 열전도율(0.170w/mk)보다 낮아 단열의 기능을 가지는 매트로서 역할을 할 수 있음을 알 수 있었다. 특히, 복합매트는 내부단열재(그라스포, 폴리우레탄 등)의 두께를 조절하면 '건축물의 에너지절약설계기준의' 단열기준 0.051W/mk에 적합한 식생매트가 될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 건축물의 에너지 절약설계기준, 벽면녹화 내부단열재, 복합매트, 열관류율

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

2014년 산업통상자원부에서 발표한 에너지소비현황 조사결과에 따르면 산업부문 56%, 수송부문 22.8%, 건물부문 21.2%이다. 전 세계적으로 건물부문의 에너지 소비량은 약 40%를 차지하고 있으며, 서울시의 경우 건물이 차지하는 에너지 소비량은 전체 에너지의 60.7%, 대구시 45.6%, 대전시 53.3%이다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2015). 이렇게 과다한 건물부문의 에너지 소비량을 줄이기 위해서 2001년부터 정부는 각종 법령 및 행정규칙을 제정하여 시행하고 있다. 특히 건물부문의 에너지 소비량을 감축하기 위하여 '녹색건축물 조성 지원법'에 따른 '건축물의 에너지절약설계기준'을 시행하고 있다.

이러한 녹색건축물 조성을 위한 다양한 방법 중에 조경적 요소의 벽면녹화는 건축물이나 기반시설물의 벽면에 다양한 재료를 이용하여 식재기반을 조성하고, 식물을 식재하는 것으로써 도심에서 부족한 녹지 공간의 문제를 해결하기 위한 효과적인 방법으로 사용하고 있다. 특히 건물의 벽면은 거의 전부가 무기물로 되어있기 때문에 열전도율이 높은 경우가 대부분이다. 따라서 여름과 겨울의 최고온도, 최저온도 및 일사의 영향으로 인하여 실내의 냉·난방부하가 커지게 된다. 이러한 건물에 식물을 이용하여 피복하게 되면 벽면에 따라 다층으로 전개된 식물의 지엽에 의한 태양광선의 복사열을 차단하여 건물에 에너지 절감에 효과적으로 기여할 수 있다. 실제로 벽면녹화 및 옥상녹화 등으로 녹화된 건물과 그렇지 않은 건물의 실내온도를 28℃로 유지하기 위해 사용되는 전력량은 녹화된 건축물이

녹화되어지지 않은 건축물에 비해 평균 30%의 전력사용량의 감소효과가 있다(Kim *et al.*, 2011).

이렇듯 조경녹화에 대한 에너지 절감의 효과는 입증되고 있으나, 이러한 입증은 '건축물의 에너지절약설계기준'의 적합한 방법이 아니기에 에너지 절감의 실효성을 가지고 있지 못하다. 조경용 녹화가 에너지 절감이 '건축물의 에너지절약설계기준'에 따른 실효성을 가지려면 '녹색건축물 조성 지원법' 제14조 '건축물의 에너지절약설계기준'에 따른 단열재료에 대한 기준인 구성재료의 열전도율값으로 열관류율을 계산한 값이 '별표 1'의 기준에 적합하여야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 현재 조경업계에서 널리 사용하고 있는 녹화용 식생기반 매트들이 '녹색건축물 조성 지원법'에 따른 '건축물의 에너지절약설계기준'에 적합한 단열 성능을 가질 수 있는 재료인지를 에너지보존식을 통하여 실험하고 검증하고자 한다.

### 2. 선행연구의 고찰

벽면녹화의 온도저감과 관련된 선행연구를 검토하였다. 먼저 벽면녹화에 따른 온도차이를 고찰한 Seok *et al.*(2008)은 학교 건물 벽면녹화의 경우, 벽면녹화 적용전과 적용후의 비교 시 실외의 표면온도는 7℃~8℃ 정도의 차이, 실내 온도는 1℃ 내외의 차이, 실내표면온도는 3.5℃ 정도의 차이로 벽면녹화에 따른 일사차단과 단열의 효과가 증대되었다고 판단하였다. 그리고 Han and Yoon(2010)은 벽면의 녹화면적을 열화상카메라로 측정된 결과, 벽면녹화를 실시한 벽과 실시하지 않은 벽면의 온도 차이는 4℃~5℃ 차이를 보이는 연구를 하였다. Park and

Kim(2011)은 벽면녹화가 이루어진 곳과 이루어지지 않은 곳의 벽체 표면온도를 비교하였을 때 최고 10.8°C에서 최저 6.4°C의 차이를 보였으며, 이는 벽면의 녹화면이 잠열의 형태로 복사 에너지를 소모하고 있다고 평가하였다.

그리고 벽면녹화 인증평가에 관한 연구로 Kim(2012)은 벽면녹화 구역의 실효성을 위하여 인증평가의 벽면녹화 유효면적 산정 기준의 개선 및 현행 벽면녹화의 공간유형인 등반형, 발코니녹화, 플랜터 부착형 패널형 등의 면적 인정기준의 보완이 필요하다고 하였다. Kwon(2014)은 벽면녹화 식재기반을 통한 에너지 저감효과가 건축물의 외피 성능에 따른 에너지 사용량 연구의 벽체 단열을 통해 기존대비 약 9% 이상의 에너지 저감율을 보여, 벽면녹화의 식재기반이 단열재를 대체 가능한 것으로 판단하였다. 또한, 벽면녹화의 경관 및 환경적 요소를 연구한 Jang and Shin(2015)은 건물일체형 벽면녹화시스템은 녹화기술과 건물외장의 기능을 동시에 만족하는 건축외장제의 개발로 도시열섬화현상을 완화하고, 녹시율 증진을 통한 도시경관 개선의 연구를 진행하였다. Shin *et al.*(2014)은 벽면녹화가 되어 있는 구역은 벽면녹화가 되어 있지 않은 구역과 비교 시 온도, 습도 등이 쾌적하게 나타났으며, 특히 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도는 450ppm 이하로 쾌적범위로 유지되어진다.

이상의 대부분 연구자들의 벽면녹화와 관련되어진 사례연구들은 벽면녹화의 시행으로 인해 실내의 온도저감은 확실하게 효과가 있다는 것을 연구결과로 나타내었다. 특히 위와 같은 연구방법에 따라 실내표면온도의 차이가 최저 3.5°C에서 최고 10.8°C의 차이점이 나타난다. 이러한 결과는 실험에 대한 목표 설정값 없이 단순히 벽면녹화에 대한 실내온도의 저감에 대한 연구에 초점이 맞추어졌기 때문이다. 이러한 연구는 녹색건축 인증을 받기 위한 목표 값에 따른 연구는 아닌 것으로 판단된다. 이상의 선행연구결과들을 종합해 보면 벽면녹화의 효과가 에너지 성능을 가지고 있음이 입증되었음에도 불구하고, '건축물의 에너지절약설계기준'의 벽면녹화의 에너지 성능을 입증받을 수 없음을 알게 되었다.

이에 본 연구는 '건축물 에너지절약설계기준'에서 설정한 기준을 만족하는 외벽 열관류율(U)의 목표값을 벽면녹화기술로 달성할 수 있는가를 검증하는 방법으로 다양한 녹화벽 마감재에 대한 열전도율을 측정하는 실험을 수행하였다. 이러한 검증을 통해 벽면녹화기술이 녹색건축물 에너지 성능분야의 점수를 획득할 수 있는 정량적인 결과를 제시한 것이 기존의 연구와는 가장 큰 차별성이라 사료된다.

### 3. 연구의 방법

본 연구는 기존의 벽면녹화기술이 '건축물의 에너지절약설계기준'의 단열 성능을 가질 수 있는가?에 대한 연구이다. 그러므로 '건축물의 에너지절약설계기준'의 벽면의 단열 성능에 대

한 기준은 열전도율(k)에 의한 열관류율(U) 값으로 측정하게 되어 있다. 이러한 기준을 만족하기 위해서 기존의 열전도율 측정에 대한 개념들을 설정하였다. 또한, 실험에 사용할 벽면녹화용 재료로서 식생매트(펄라이트+코코피트+피트모스+버미큘라이트), 매트매대(코코피트), 흙매대(마사토), 복합매트(그라스포 0.9mm+매트매대)를 제작하였다. 그리고 단열성능에 대한 기준을 만족하기 위해서 기존의 벽면녹화에 사용되고 있는 벽면녹화용 재료에 대한 열전도율(k) 값을 측정을 위한 실험을 수행하였다. 열전도율(k) 측정에 대한 실험은 정상상태에서의 열전도율(k)에 대한 Fourier의 법칙에 따라 실험을 진행하였다. 특히, 실험에 필요한 열전도율 측정기구를 직접 제작하여 실험을 진행하였다. 이는 조경용 식생매트를 구성하는 식생도양(마사토, 코코피트, 피트모스 등)의 구성이 매우 다양하기에 열전도율 측정기를 직접 제작하여 측정하였다. 이러한 실험을 통하여 벽면녹화 패널에 대한 열전도율 실험을 통해 얻은 열전도율 시험 결과에 의한 건축물의 열관류율 값이 에너지성능지표(EPI) 건축부문 1번 항목인 외벽의 평균열관류율(U)의 최소 기준을 만족하는가를 판단하는 방법으로 연구를 진행하였다.

## II. 「건축물의 에너지절약설계기준」에 만족하는 벽면녹화 열전도율측정 개념설정 및 실험

### 1. 열전도율 측정 개념

#### 1) 열전도율(k) 측정에 대한 이론적인 개념

정상상태(Steady State)에서 열전도율(k)은 Fourier의 법칙에 따라 정의된다. 즉, 열전도율은 물질의 단위두께, 단위면적 그리고 단위온도차에서 열전달율( $\dot{Q}$ )로 정의 한다(Figure 1 참조).

열전도율(k)은 재료의 열전달 능력을 나타내는데, 값이 낮을수록 나쁜 열전도체 혹은 단열재라고 말하며, 목재의 경우 단열재에 가까우며, 약 0.17(W/m·k) 정도이다. 보통 고무, 목재, 스티로폼과 같은 재질이 단열재에 가깝다.

#### 2) 열전도율의 범위 및 k(T)의 온도영향에 대한 고찰

일반적으로 물질의 열전도율 값은 매우 광범위하다(0.01~2,300W/m·k). 고체의 열전도율(열전도계수)은 분자의 격자진동과 자유전자운동에 의한 에너지 전달로 이루어지며, 합성된 결과이다. 그리고 온도에 따라 열전도율이 변하는 것은 열전도해석에 많은 영향을 준다.

온도에 따라 열전도율이 변하는 것은 열전도해석에 많은 영향을 주는데, 열전도 해석에서 재질은 등방성(isotropic), 즉 모든 방향으로 특성이 일정하다고 가정한다. 이러한 가정은 목재

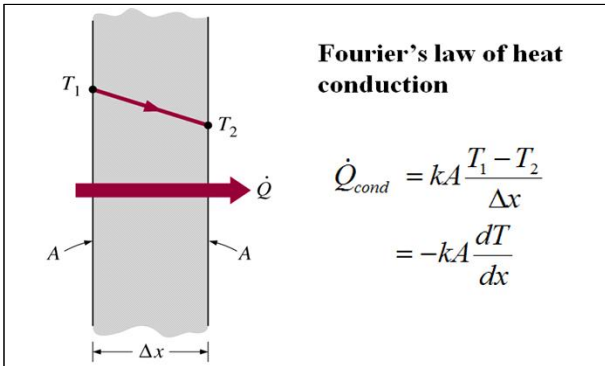


Figure 1. Fourier's law (Yunus, C.(2017) Heat and Mass Transfer)  
 Legend: Q: Heat transfer rate(W/m<sup>2</sup> · k),  
 K: Thermal conductivity(W/m · k),  
 T1: High surface temperature(°C),  
 T2: Low surface temperature(°C), Area(m<sup>2</sup>),  
 ΔX: Thickness(m)

나 복합재와 같이 방향에 따라 구조가 다른 물질을 제외하고는 실제와 큰 차이가 없다.

3) 접촉열저항(R\_interface)에 대한 영향 및 고찰

일반적으로 두 층의 접촉면을 “완전접촉”으로 가정하고, 온도 강하가 없는 것으로 해석한다. 실제로 육안으로 매끈한 평면이라도 현미경으로 보면, 뾰족한 면과 골이 있는 부분이 만나서 거칠기가 있으며, 중간에 공기로 채워진다. 두 개의 표면이 서로 압착될 때, 뾰족한 끝은 물체와 적절한 접촉을 하지만, 골은 공기로 채워진 공극(void)을 형성한다(Figure 2 참조).

계면의 접촉열저항은 계면압력의 영향을 많이 받는데, 접촉열저항에 영향을 미치는 인자는 재질, 거칠기, 압력, 온도 및 공극의 유체 등이다. 일반적으로 접촉면은 공기의 작은 열전도로 인하여 단열효과가 있으며, 여러 크기의 많은 공극을 가진다. 접촉열저항은 실험장치를 이용하여 측정할 수 있으나, 표면 특징을 정의하기 어렵기 때문에 데이터는 상당히 넓게 분포된다. 접촉열저항이 단열재의 경우에는 크게 영향을 주지 않을 수도

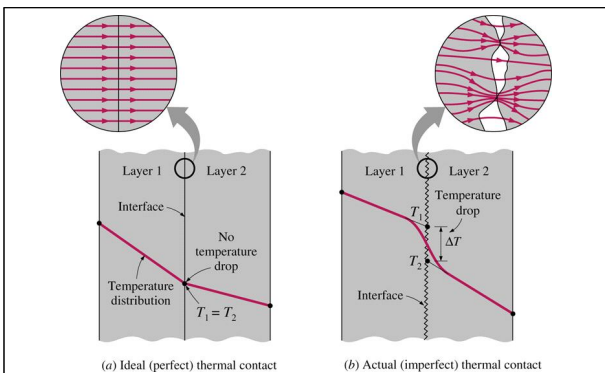


Figure 2. Concept of contact heat resistance(Yunus, C.(2017) Heat and mass transfer)

있지만, 실험용 매트를 마대 등으로 감싸면서 간격을 조정하면 추가적인 단열효과를 볼 수도 있다.

따라서 단열재와 실험용 매트가 서로 직렬로 연결되고, 또한 마대가 있을 경우에 접촉저항과 유사한 역할을 하기 때문에 단열에는 긍정적으로 작용하여 실제 측정값에서 열저항이 증가(열전도율 감소)하였다.

4) 열전도율 측정방법

두께(L)와 면적(A)을 알고 있는 어떤 재료의 한 면을 일정한 값의 전력(Q-dot, Watt)으로 가열하고, 다른 한 면이 단열되어 있다면, 전열기에서 공급된 열이 모두 재료로 전달될 것이다. 이로써 Fourier의 법칙에 따라 열전도계수(k)를 측정할 수 있다(Figure 3 참조).

2. 실험장치의 핵심 구성요소 검토 및 선정

열전도율 측정실험에는 가장 기본적으로 온도차(ΔT)가 필요하다. 따라서 한쪽의 온도를 높이거나 다른 한쪽의 온도를 낮추는 방법이 필요하다. 냉매 등을 이용한 저온실험(대기온도보다 낮음)의 경우는 시스템이 구성되어야 하기 때문에 비용이 많이 필요하므로, 히터를 이용한 고온실험(대기온도보다 높음)으로 열전도율 측정장치를 구성하고자 한다. 그러므로 얇고 유연한 히터의 선정이 실험장치 구성에 중요한 요소이며, 단열재 또한 중요하므로 검토 및 선정이 필요하다.

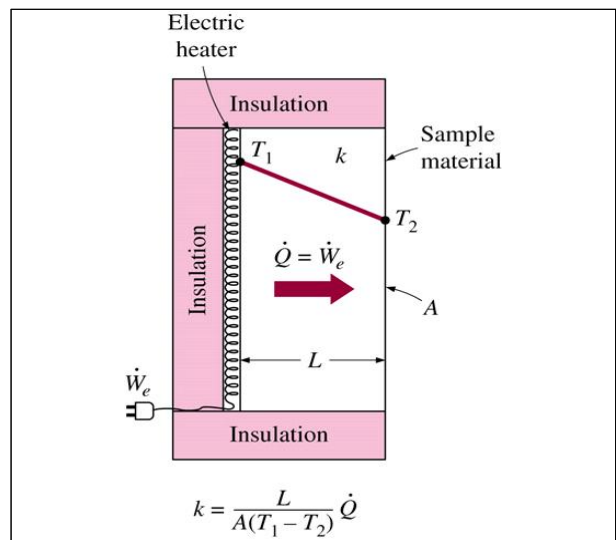


Figure 3. Basic concept of thermal conductivity (k) measurement (Yunus, C.(2017) Heat and mass transfer)

Legend: Q: Electric power(Watt),  
 K: Thermal conductivity(W/m·k),  
 T1: High surface temperature(°C),  
 T2: Low surface temperature(°C), Area(m<sup>2</sup>),  
 ΔX: Thickness(m)

## 1) 플렉시블(Flexible) 절연 히터

실험용 매트에 대한 가열을 위해서는 가능한 얇고 유연하며, 고온에 견디는 히터(heater)가 반드시 필요하다. 두께가 얇고 식생매트의 크기와 같은 신축성 히터는 국내에서 직접 제작하는 업체는 없고, 미국의 OMEGA사에서 판매하는 2가지 종류(폴리이미드 필름 절연히터, 실리콘고무 신축성 히터)가 있으며, 양쪽 히터 중 선정기준은 내구성, 작동온도 및 편리성을 기준으로 선정한다.

1. 폴리이미드 필름 절연히터: 다양한 형태, 크기 및 전력량을 가지고 있으며, 전력량은 115V, 230V 등에서 2.5, 5, 10 W/in<sup>2</sup>으로 사용 가능하다. 폴리이미드 필름은 화학물질에 내성이 높고, 높은 진공환경에서 가스방출 특성이 우수하다. 일반적인 구조는 0.002" 폴리이미드 필름과 0.001" FEP 접착제 2개 층 사이에 싸인 0.0001"의 식각포일요소로 구성되고, 대부분의 크기는 230V 기준으로 제작되어 있지만, 현재 115V용만 국내에는 판매한다.

리드선은 히터 너비(W) 측의 오른쪽 상단에서 나오는데(그 부분만 약간 두꺼움), 감압접착제(PSA)는 정격 2.5W 혹은 5W 용으로 나오며, 사용자가 기계적으로 고정하거나 에폭시로 고정시킬 수 있다. 작동온도는 감압접착제가 없는 경우는 -200°C ~ 200°C 사이 이고, 감압접착제가 있는 경우는 120°C이며, 최대 두께는 0.010" (리드선 출구부분 제외)이다. 직사각형의 경우, 최대 폭과 길이는 30×30cm인데, 현재 실험모델의 크기를 감안하면 최대크기 혹은 약간 적은 정도가 필요하다.

2. 실리콘고무 절연히터: 최대 작동온도가 232°C로써 폴리이미드 필름 히터보다 32°C 정도 더 고온에서 견딜 수 있는 재질이고, 폴리이미드 필름 히터와 동일하게 와트밀도에 대한 전력량(W/in<sup>2</sup>)을 가진다. 이 히터는 전체적인 열전달을 향상시킬 수 있는 방향으로 설계되었으며, 5 W/in<sup>2</sup> 정도가 적당하지만, 빠른 가열을 위해서는 10 W/in<sup>2</sup>를 사용한다.

감압접착제를 사용할 경우는 최대온도가 제한되는데, 149°C 이내에서만 사용 가능하며, 접착제가 견딜 수 있는 온도가 이 정도이다. 전체적인 크기나 모양도 폴리이미드 절연처리 히터와 유사하며, 선택할 수 있는 종류도 거의 비슷하다. 국내에서는 실리콘고무 절연히터만 주문 가능하다. 리드선 부분의 두께가 두껍기 때문에 동판과 같이 사용할 경우는 부분적으로 잘라내어야 하므로 최초의 동판 설계가 중요하다.

3. 검토 및 고찰: 최종적으로 실험용 재료를 검토해 보면, 최대 작동온도가 매우 중요하며, 실리콘고무 히터가 고온에서 견디므로 이 히터를 선정하는 것이 적절하다. 또한, 115V용 히터만 구입이 가능하므로, 220V를 110V로 다운시키는 변압기를 별도로 제작 및 구매한다. 전체용량은 최대 1.2kW가 사용에 편리할 수 있으며, 전압계와 전류계는 유효범위에서 정확한 제품을 구매하여야 오차를 줄일 수 있다.

히터는 균일 열유속(Q")의 조건에 가까우므로 등온조건

(T=constant)으로 맞추기 위해서 동판을 히터와 실험용 매트 사이에 부착해야 하고, 히터 중심으로 대칭구조로 하는 것이 가장 이상적이나, 일반적으로 비대칭조건(한 면은 단열하고, 한 면으로만 열전달이 가능)으로 하는 것이 현실적이다.

이 실험은 주위를 단열하는 방법이 쉽지 않기 때문에 여러 가지 두께의 모델을 실험할 수 있는 가변적인 모양으로 실험 장치를 만드는 것보다 모델별로 최적화된 장치를 만들었다. 히터의 온도는 최대온도에서 약간의 여유를 주고 사용하며, 약 200°C 이내에서 사용하였다.

## 2) 단열재

## (1) 열반사 단열재에 대한 검토

열반사단열재는 특수단열재이며, 열전달의 세 가지(복사, 전도, 대류) 방법 중에서 복사 열전달을 주로 막는데 쓰이는 것이며, 단열재 외부에 도달한 복사열이 전도열로 변경되기 때문에 엄밀히 이야기하면 부피단열재는 복사, 대류, 전도에 모두 효과가 있다. 열반사단열재는 첨단우주공학에서 개발된 것으로 우주비행선의 300°C가 넘는 고온의 복사열에서 비행선을 보호하기 위해 복사열 97% 이상 차단되는 열반사단열재를 개발한 것이다.

열반사단열재의 경우는 시험성적서의 확인이외에도 열반사단열재의 작용원리를 충분히 이해하고 적용해야 하며, 세 가지 열전달 모드 중에 복사열만 대응되기 때문이다. 일반적인 열반사단열재는 여타의 부피단열재처럼 여러 겹을 겹쳐 사용한다고 하여 그 특성이 배가 되는 것이 아니며, 이것은 복사열을 차단하고자하는 목적으로 개발된 열반사단열재의 특성상 단열재 표면과 외장재사이에 일정 폭 이상의 중공층이 존재해야 하기 때문이다.

일반적인 열반사단열재의 경우, 투습이 전혀 되지 않는 구조로 되어 있으므로 사용 부위에 따라 통기성이 요구되는 부위에 사용할 경우, 내부 습기가 배출되지 않아 문제가 발생할 수 있다. 열반사단열재 중 제대로 된 성능이 나오지 않는 제품일 경우, 표면온도의 상승에 따라 내부의 온도가 급격히 올라갈 가능성이 있으며, 이는 여름철에 오히려 악영향을 준다.

결론적으로, 열반사단열재만으로는 일반 건축물에서 요구하는 열관류율 값을 맞출 수 없기 때문에 타 단열재와 혼용해서 사용하는 것이 바람직하다.

## (2) 그라스포, 수성연질폼, 폴리우레탄 등 단열재에 대한 특성연구

일반적으로 단열재는 스티로폼, 글라스울, 압축 스티로폼, 이소핑크, 폴리우레탄 및 수성연질폼(하이트폼) 등이 있다. 글라스울(유리섬유, GlassWool)은 유리를 섬유상으로 만든 단열재로써, 열전도율은 0.034~0.036W/mK 정도이고, 불연성이 장

점이지만 수분에 취약하며, 작업성이 떨어진다. 또한, 그라스포는 글라스울과 거의 성분이 비슷하지만 특수 내열 처리된 유리 섬유로 직조한 포직으로 기계적 특성 및 화학적 특성이 우수하여 고온에서 유연성 유지 및 인장 강도가 높고, 단열 마감재, 단열/절연용 커버, 열 차단 커튼 등으로 널리 사용되며, 사용온도는 350℃~550℃ 정도이다.

수성연질폼(하이트폼)은 폴리이소시아네이트를 주원료로 하여 연질 경량 수성 발포의 특징을 가진 스프레이폼 단열재로써 열전도율은 0.033~0.037W/mK 정도이며, 친환경적이고 흡수성이 뛰어나다. 폴리우레탄(Polyurethane)은 폴리이소시아네이트, 폴리올 및 발포제를 주재료로 발포 성형한 단열재로서 열전도율은 0.023~0.025W/mK 정도로 우수하고 작업성이 용이하지만, 화재 시 가스 유해성이 있다.

### 3. 열전도율 측정 실험

#### 1) 실험장치 구성방법

1. 열전도율 측정실험장치의 구성에는 열량을 가변적으로 공급하는 부분(슬라이더 및 변압기)과 측정하는 부분의 2가지로 구분된다. 공급열량(Q), 온도측정(T), 길이(L) 측정 및 단면적(A) 측정을 통해서 열전도율을 구할 수 있으며, 실험장치의 구성은 아래와 같다(Figure 4~5 참조).

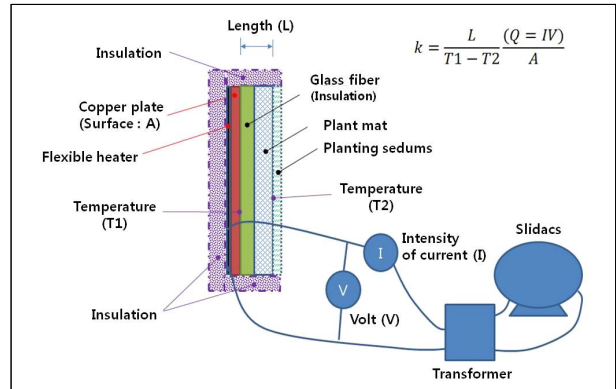


Figure 4. Thermal conductivity (k) measurement conceptual diagram (Yunus C.(2017) Heat and mass transfer)

온도측정 지점은 평균값이 될 수 있도록 양쪽에 각각 2개 지점 지점(모델을 2등분하여 각각의 중앙지점에서 측정)을 선택하고, 양쪽지점 모두 2개의 온도를 측정(모두 4개)하여 정확도를 높인다.

2. 열전도율 측정실험장치에 사용되는 실험장비에는 다채널 온도계(4채널 동시 측정), 온도센서, 동판(등온유지용), 슬라이더(가변전압조절기: 0~220Volt), 다운트랜스(220volt→110 Volt), 전류계(전류측정용), 전압계(전압측정용), 실리콘고무 절연히터(가열용), 실험용 케이스 등으로 구성되어 있다.



Figure 5. Thermal conductivity (k) measurement equipment

2) 실험순서

열전도를 측정실험 진행 중에 간혹 과전류가 흐를 수 있으므로 '과전류 브레이크'를 설치하여 만약의 사태에 안전을 기하도록 한다. 슬라이더스 전원연결 후, 전압이 너무 낮으면 과부하가 생길 수 있으므로 주의한다.

열전도를 측정 실험 순서는 다음과 같다.

(1) 사전 준비

1. 식생매트의 단면적(A)와 길이(L)는 미리 측정한다.
2. 다채널 온도계의 측정시간 간격을 세팅한다.
3. 변압기(220volt→10volt로 다운)에 전원을 연결한다.

(2) 실험진행

1. 슬라이더스의 전원을 천천히 올려 전압 및 전류를 확인한다.
2. 온도의 변화를 관찰하면서 매트표면의 온도가 대기온도보다 최소 약 5℃ 이상이 유지되어야 한다. 온도차를 이용한 열 전달량 값을 정상적으로 확인할 수 있도록 하기 위함이다.
3. 변압기 전후의 1차 전압에 비해 2차 전압은 약 50% 줄어들고, 전류는 2배 증가해야 하지만, 실제로는 변압비율을 정확하게 하지 않았으므로 약 그 부근에서 값의 움직임을 관찰한다.
4. 온도는 고온부와 저온부의 평균값을 알 수 있게 각각 2개씩 측정한다.
5. 일반적으로 히터의 온도가 올라가면 전기저항도 같이 올라가므로 슬라이더스의 전압이 상대적으로 떨어지면 다시 값을 읽는다.
6. 일정한 시간이 소요되고 나서 온도의 변화가 없을 때의 값을 기재한다.
7. 측정 중에 온도가 너무 많이 올라가면 슬라이더스의 전압

을 떨어뜨리고 일정시간이 지난 후 재 측정한다.

8. 각각의 실험마다 사진 혹은 동영상상을 촬영한다.

(3) 실험종료

1. 전원을 끄고 난 후에도 온도측정은 계속한다.
2. 각 지점에서 온도의 변화가 없을 경우에 실험을 종료한다.

4. 매트형 식생기반재의 종류

열전도를 측정실험은 4종류의 실험용 매트를 제작하여 실시하였으며, 3종류는 식생매트로만 'No. 1 식생매트(펄라이트+코코피트+피트모스+버미큘라이트)', 'No. 2 매트매대(코코피트)', 'No. 3 흙매대(마사토)', 'No. 4 복합매트(그라스포 0.9mm+2번 매트매대의 조합)'은 단열제인 그라스포와 실험용 매트 조합 시 단열의 관계성을 알기 위한 실험을 하였다. 매트형 식생재료의 부피밀도(bulk density)는 펄라이트 231kg/m<sup>3</sup>, 코코피트 450 kg/m<sup>3</sup>, 버미큘라이트 330kg/m<sup>3</sup>, 마사토 1,650kg/m<sup>3</sup>이다(Table 1, Figure 6 참조). 그리고 본 식생매트의 구성성분이 다양하기에 함수비율은 고려하지 않았으며, 실험의 재료들의 두께를 32.6mm로 통일한 것은 실험에 사용한 농가 육묘용 압축성형 코코피트의 일반적인 규격이 32.6mm이기에 실험 재료들을 이에 맞추었으며, 동일한 실험장소의 실온상태에서 실험을 진행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식생매트의 열전도를 실험

Table 1. Composition of materials

NO.	Material types	Materials composition
1	Plant mat	Perlite 33%, coco peat 47%, peat moss 13%, vermiculite 7%(bulk material density 369kg/m <sup>2</sup> )
2	Mat bag	Coco peat 100% (bulk material density 450kg/m <sup>2</sup> )
3	Soil bag	Soil cement 100% (bulk material density 1,650kg/m <sup>2</sup> )
4	Complex mat(glass fiber 0.9m + mat bag)	Glass fiber(0.9mm), coco peat 100%(bulk material density 450kg/m <sup>2</sup> )

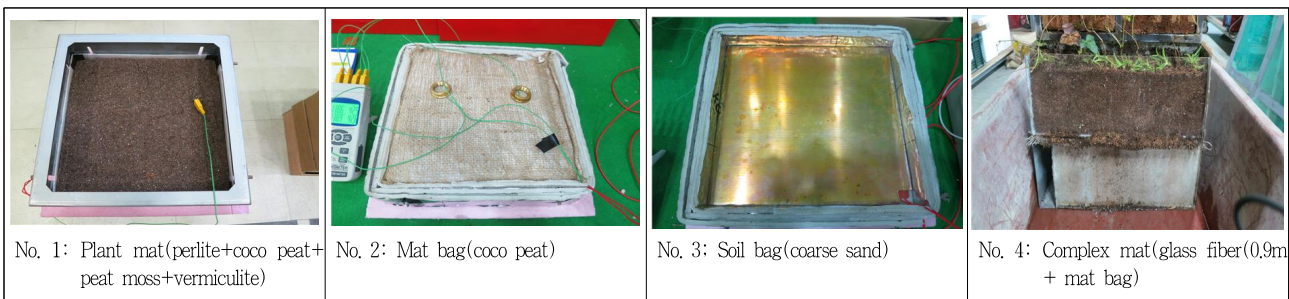


Figure 6. Thermal conductivity (k) measurement experiment plant mats

Figure 7에서 온도 T1과 T2는 실험매트의 고온부 온도를 나타내고, T3와 T4는 저온부의 온도를 나타낸다. 고온부 2개 온도와 저온부 2개 온도들의 각각에 대하여 약간의 차이는 보이거나 큰 차이는 없다.

고온부는 약 1시간 이내에는 빠르게 온도가 상승하지만, 그 이후에는 완만히 증가하고, 대략 4시간 정도 온도측정실험을 하면 정상상태(Steady State)가 된다. 반면에 저온부는 대기온도 보다 약간의 온도상승이 있으며, 정상상태에서 고온부와 저온부의 평균온도를 기준으로 열전도율(k)을 계산할 수 있다.

$$k(\text{열전도율}) = \frac{L(\text{매트두께})}{T_2(\text{고온평균}) - T_1(\text{저온평균})} \frac{I(\text{전류}) \times V(\text{전압})}{A(\text{단면적})}$$

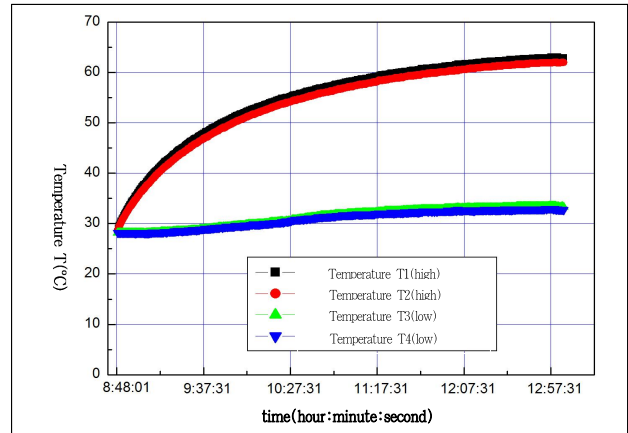


Figure 7. Temperature characteristics of measuring points by time

Table 2. Measured value and calculated value for Plant Mat No. 1

Time	Temperature measurement				→	Calculation value				
	Temperature T1	Temperature T2	Temperature T3	Temperature T4		Calorie (Watt)	High temperature(average)	Low temperature(average)	Temperature difference	Thermal conductivity
10:35:37	145.4	143.6	49.4	46.3		70.2	144.5	47.9	96.7	0.281
10:55:37	144.8	143.0	49.3	46.6		70.2	143.9	48.0	96.0	0.284
11:23:07	144.5	142.7	49.3	46.5		70.2	143.6	47.9	95.7	0.284
11:53:37	142.6	141.0	49.0	45.9		70.2	141.8	47.5	94.4	0.288
12:03:37	142.3	140.6	49.1	45.1		70.2	141.5	47.1	94.4	0.288
12:13:37	141.9	140.2	48.6	44.9		70.2	141.1	46.8	94.3	0.288
12:23:37	141.4	139.7	48.4	44.4		70.2	140.6	46.4	94.2	0.289
12:33:37	141.0	139.4	48.0	44.3		70.2	140.2	46.2	94.1	0.289
12:43:37	140.5	138.9	48.0	44.2		70.2	139.7	46.1	93.6	0.291
13:53:37	140.1	138.5	47.8	44.1		70.2	139.3	46.0	93.4	0.291
13:03:37	139.8	138.1	47.9	43.9		70.2	139.0	45.9	93.1	0.292
13:13:37	139.3	137.7	47.9	44.1		70.2	138.5	46.0	92.5	0.294
13:23:37	138.9	137.3	47.5	44.2		70.2	138.1	45.9	92.3	0.295
13:31:07	138.4	136.8	47.0	44.0		70.2	137.6	45.5	92.1	0.295
13:32:07	138.1	136.5	47.3	44.0		70.2	137.3	45.7	91.7	0.297
13:33:07	137.7	136.2	47.2	43.8		70.2	137.0	45.5	91.5	0.297
13:34:07	137.4	135.8	47.0	43.9		70.2	136.6	45.5	91.2	0.299
13:35:07	137.1	135.5	46.8	43.8		70.2	136.3	45.3	91.0	0.299
13:35:37	137.0	135.4	46.6	43.6		70.2	136.2	45.1	91.1	0.299
13:36:07	136.8	135.3	46.5	43.8		70.2	136.1	45.2	90.9	0.299

\* Voltage(30.12 volt), Electric current(2.33 ampere), Section area(A: 0.0841m<sup>2</sup>), Thickness of Plant Mat(L: 32.6mm)

Table 3. Measured value and calculated value for Plant Mat No. 2

Time	Temperature measurement				→	Calculation value				
	Temperature T1	Temperature T2	Temperature T3	Temperature T4		Calorie (Watt)	High temperature(average)	Low temperature(average)	Temperature difference	Thermal conductivity
10:29:41	119.7	119.9	43.0	42.5		30.83	119.80	42.75	77.05	0.126
10:59:41	117.8	118.1	43.0	42.4		30.83	117.95	42.7	75.25	0.129
11:22:11	115.3	115.5	43.1	42.5		30.83	115.40	42.8	72.60	0.134



(Table 3. Continued)

11:51:41	113.1	113.2	43.2	42.5		30.83	113.15	42.85	70.30	0.138
12:21:41	112.8	113.1	43.2	42.4		30.83	112.95	42.80	70.15	0.138
12:31:41	112.2	112.6	43.1	42.4		30.83	112.40	42.75	69.65	0.139
12:41:41	112.1	113.1	43.1	42.6		30.83	112.60	42.85	69.75	0.139
12:51:41	113.1	112.7	43.1	42.4		30.83	112.90	42.75	70.15	0.138
13:01:11	112.8	112.8	43.0	42.6		30.83	112.80	42.80	70.00	0.139
13:11:41	112.9	112.6	43.0	42.5		30.83	112.75	42.75	70.00	0.139
13:21:41	112.7	112.2	43.0	42.5		30.83	112.45	42.75	69.70	0.139
13:23:41	112.7	112.4	43.1	42.5		30.83	112.55	42.80	69.75	0.139
13:25:41	112.3	112.9	43.0	42.6		30.83	112.60	42.80	69.80	0.139
13:28:41	112.2	112.3	43.1	42.5		30.83	112.25	42.80	69.45	0.139
13:30:41	112.4	112.5	43.2	42.5		30.83	112.45	42.85	69.60	0.149
13:32:41	112.9	113.0	43.2	42.6		30.83	112.95	42.90	70.05	0.139
13:34:41	112.3	112.5	43.2	42.4		30.83	112.40	42.80	69.60	0.139
13:35:11	112.6	112.1	43.1	42.5		30.83	112.35	42.80	69.55	0.139
13:37:41	112.8	112.5	43.0	42.5		30.83	112.65	42.75	69.90	0.139
13:38:41	112.1	112.7	43.0	42.6		30.83	112.40	42.80	69.60	0.139

\* Voltage(20.02 volt), Electric current(1.54 ampere), Section area(A: 0.0841m<sup>2</sup>), Thickness of Plant Mat(L: 32.6mm)

Table 4. Measured value and calculated value for Plant Mat No. 3

Time	Temperature measurement				→	Calculation value				
	Temperature T1	Temperature T2	Temperature T3	Temperature T4		Calorie (Watt)	High temperature(average)	Low temperature(average)	Temperature difference	Thermal conductivity
10:30:20	113.8	114.0	34.9	32.4		31.4	113.9	33.7	80.3	0.158
10:50:50	113.9	114.1	34.8	32.6		31.4	114.0	33.7	80.3	0.158
11:22:20	114	114.2	34.9	32.5		31.4	114.1	33.7	80.4	0.158
11:53:50	114.1	114.2	34.8	32.5		31.4	114.2	33.7	80.5	0.158
12:04:20	114.1	114.2	34.8	32.4		31.4	114.2	33.6	80.6	0.158
12:14:50	114.1	114.3	34.7	32.3		31.4	114.2	33.5	80.7	0.158
12:25:20	114.2	114.4	34.8	32.5		31.4	114.3	33.7	80.7	0.158
12:35:50	114.2	114.4	34.9	32.6		31.4	114.3	33.8	80.6	0.158
12:46:20	114.3	114.4	34.7	32.4		31.4	114.4	33.6	80.8	0.157
12:56:50	114.4	114.5	34.7	32.3		31.4	114.5	33.5	81.0	0.157
13:07:20	114.3	114.5	34.5	32.0		31.4	114.4	33.3	81.2	0.157
13:17:50	114.4	114.5	34.5	32.0		31.4	114.5	33.3	81.2	0.157
13:27:20	114.4	114.6	34.6	32.2		31.4	114.5	33.4	81.1	0.157
13:28:50	114.5	114.7	34.6	32.2		31.4	114.6	33.4	81.2	0.157
13:29:20	114.5	114.7	34.6	32.2		31.4	114.6	33.4	81.2	0.157
13:30:20	114.7	114.8	34.5	32.0		31.4	114.8	33.3	81.5	0.156
13:31:50	114.7	114.8	34.7	32.5		31.4	114.8	33.6	81.2	0.157
13:32:50	114.7	114.9	34.8	32.6		31.4	114.8	33.7	81.1	0.157
13:33:50	114.8	115.0	34.9	32.6		31.4	114.9	33.8	81.2	0.157
13:34:50	114.9	115.1	35.0	32.6		31.4	115.0	33.8	81.2	0.157
13:35:50	114.9	115.1	34.9	32.8		31.4	115.0	33.9	81.2	0.157
13:36:50	115.1	115.2	35.0	32.8		31.4	115.2	33.9	81.3	0.157

\* Voltage(19.88 volt), Electric current(1.58 ampere), Section area(A: 0.0841m<sup>2</sup>), Thickness of Plant Mat(L: 32.6mm)

Table 5. Measured value and calculated value for Plant Mat No. 4

Time	Temperature measurement				→	Calculation value				
	Temperature T1	Temperature T2	Temperature T3	Temperature T4		Calorie (Watt)	High temperature(average)	Low temperature(average)	Temperature difference	Thermal conductivity
10:27:28	92.7	90.7	38.2	38.7		25.88	95.0	38.60	56.40	0.150
10:50:58	96.1	93.9	38.4	38.8		26.00	97.0	38.95	58.05	0.146
11:10:58	98.1	95.9	38.7	39.2		26.00	98.9	39.20	59.65	0.142
11:40:58	100	97.7	38.9	39.5		26.13	100.2	39.45	60.75	0.140
12:11:28	101.3	99.1	39.2	39.7		26.07	101.1	39.70	61.40	0.138
12:39:28	102.2	100.0	39.4	40.0		26.44	103.7	40.25	63.40	0.136
12:44:58	104.8	102.5	39.9	40.6		26.28	104.2	40.40	63.75	0.134
12:54:58	105.3	103.0	40.1	40.7		26.64	107.1	41.05	66.00	0.132
13:04:58	108.2	105.9	40.8	41.3		26.61	107.6	41.15	66.40	0.131
13:18:28	108.7	106.4	40.8	41.5		26.61	109.0	42.20	66.75	0.130
13:29:28	110.1	107.8	41.9	42.5		26.61	109.0	42.20	66.75	0.130
13:30:58	110.1	107.8	41.9	42.5		26.61	109.0	42.20	66.80	0.130
13:32:28	110.1	107.9	41.9	42.5		26.61	109.0	42.30	66.70	0.130
13:33:58	110.1	107.9	42.0	42.6		26.61	109.1	42.25	66.80	0.130
13:35:28	110.2	107.9	41.9	42.6		26.61	109.1	42.20	66.85	0.130
13:36:58	110.2	107.9	41.9	42.5		26.61	109.1	42.25	66.85	0.130
13:37:28	110.2	108.0	42.0	42.5		26.61	109.1	42.20	66.90	0.130
13:38:28	110.2	108.0	41.9	42.5		26.61	109.1	42.20	66.90	0.130
13:39:28	110.2	108.0	41.9	42.5		26.61	109.2	42.30	66.85	0.130

\* Voltage(18.48 volt), Electric current(1.44 ampere), Section area(A: 0.0812m<sup>2</sup>), Thickness of Plant Mat(L: 32.6mm), Thickness of glass fiber(0.9mm)

Table 6은 자체 제작한 3종류의 실험매트(No.1, No. 2, No. 3)와 1종류의 복합매트(No. 4)에 대한 실험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 여기서 No.1과 No. 2를 비교해 보면 마대가 있는 경우에는 마대로 인해 접촉열저항이 열저항 증가효과(공기층 생성)로 작용하여 열전도율이 많이 줄어들었음을 알 수 있다.

Table 6의 측정값은 'Table 2. No. 1 식생매트에 대한 측정값 및 계산 값', 'Table 3. No. 2 매트마대에 대한 측정값 및 계산 값', 'Table 4. No. 3 흙마대에 대한 측정값 및 계산 값', 'Table 5. No. 4 복합매트(그라스포 0.9mm+매트마대)에 대한 측정값 및 계산 값'에 대한 측정값인데 30초 간격으로 측정하였다 (Table 2~5 참조). 데이터가 방대하여 측정값인 열전도율(k)이 일정한 상태에 이르는 부분 이전의 자료 중 일부 구간은 삭제하였다. 각각의 표에서 열전도율 값은 일정한 시간이 지난

후 온도가 일정해지며, 그때의 값이 최종 값이다. 열전도율 값은 비정상상태(Unsteady State)에도 값을 표시한 이유는 변해가는 정도를 보기 위해서이며, 계산 값이 시간이 지남에 따라 점점 감소(혹은 증가)함을 알 수 있는데, 이것은 주변온도가 지속적으로 변하기 때문이다.

벽면녹화용 실험용 매트의 실험값을 보면 No. 1 식생매트의 열전도율은 0.299W/mK, No. 2 매트마대의 열전도율은 0.139 W/mK이며, No. 3 흙마대(흙+마대)의 열전도율은 0.157W/mK, 단열제인 그라스포 0.9mm를 첨가한 복합매트의 열전도율은 0.130W/mK로 나타났다. 복합매트에 사용된 그라스포의 열전도율은 0.036W/mK인데, 그라스포 0.9mm에 매트마대를 복합으로 사용한 결과는 매트마대 열전도율 0.139W/mK보다 0.009 W/mK 낮아진 0.130W/mK이다. 이는 식생매트에 단열제를 복합적으로 첨부해도 단열제의 성능이 유지됨을 나타낸다.

실험결과 값과 일상재료의 열전도율을 비교하면 실험용 식생매트의 경우 흙마대, 매트마대, 복합매트(그라스포 0.9mm+매트마대)의 실험값이 목재정도의 값을 나타낸다. 이는 열전도성이 상당히 낮게 나타나고 있음을 보여준다.

2. 식생매트의 열관류율 측정

'건축물 에너지절약설계기준'에서 정한 최소 등급인 '라 등

Table 6. Measurement of the thermal conductivity of the experimental mat(Section area: 0.0812m<sup>2</sup>, Thickness: 32.6mm)

Plant mat	Types of experimental mat	Thermal conductivity k (W/mK)	Mat
1	Plant mat	0.299	x
2	Mat bag	0.139	o
3	Soil bag	0.157	o
4	Complex mat (glass fiber 0.9m + mat bag)	0.130	o

급'의 열전도율은 0.047~0.051W/mK이다. 실험에 의해 매트의 열전도율은 흙매대 0.157W/mK, 매트매대 0.139W/mK이다. 이 기준으로는 '라 등급' 단열기준에 미치지 못하므로 4번 실험 매트인 복합매대(그라스포 0.9mm+매트매대)를 이용하여 열전도율 목표값 0.051W/mK 이하의 열전도율이 가능한지 실험을 하였다.

1) 4번 복합 매트(그라스포 0.9mm + 매트매대)의 열전도율 목표값(복합열전도율)에 대한 고찰

에너지 보존식(Figure 8 참조)

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_2} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A}} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{L_1 + L_2}{k_t A}} = \frac{T_1 - T_3}{R_t}$$

복합벽에 대한 단열재 두께( $L_1$ ) 계산식

$$L_1 = \frac{1/k_t - 1/k_2}{1/k_1 - 1/k_t} \times L_2$$

매트매대의 경우, 실제로 현장에 설치 가능한 식생매트인데 열전도율이 0.139W/mK이다. 두께가 0.9mm의 글래스 Fiber(그라스포)를 사용했을 때, 열전도율 측정값은 0.130W/mK로 0.01 정도 낮은 값을 보여준다. 여기서 복합벽(다중벽, Composite Wall)에 대한 1차원 정상상태(Steady State)의 에너지보존 법칙과 열저항 개념을 이용하면, 단열재 두께( $L_1$ )를 구할 수 있다.

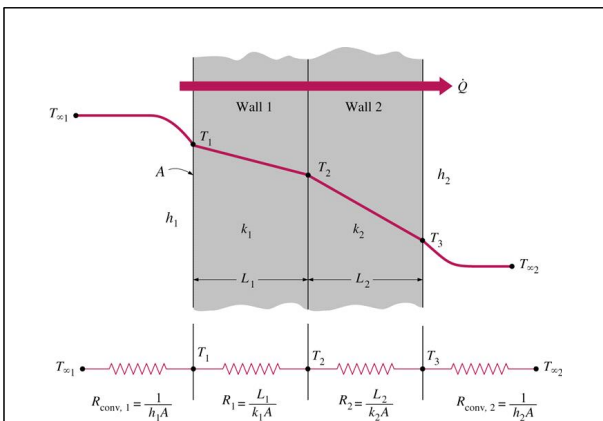


Figure 8. Conceptual diagram of thermal resistance for composite walls(Yunus, C.(2017), Heat and mass transfer)

여기서  $T[^\circ\text{C}]$ 는 온도,  $R[\text{K/W}]$ 은 열저항,  $L_1[\text{m}]$ 은 단열재(그라스포) 두께,  $L_2[\text{m}]$ 는 매트매대의 두께이다. 또한,  $k_t[\text{W/mK}]$ 는 복합벽 전체에 대한 열전도율이고  $k_2[\text{W/mK}]$ 는 매트매대의 열전도율이며,  $k_1[\text{W/mK}]$ 은 단열재(그라스포)의 열전도율이다. 그리고 두께가 0.9mm인 단열재(그라스포)와 매트매대를 복합벽으로 사용했을 경우에 대한 실험값과 이론적인 계산값이 잘 일치하고 있음을 Table 7에서 알 수 있다.

이상에서 계산값과 실험값이 거의 일치함을 바탕으로 녹화패널을 복합매트로 제작하였을 경우, 원하는 단열 목표값 설정에 따른 내부 단열재 두께 계산이 가능하다. 본 연구에서는 실험용으로 제작한 No. 1 식생매트, No. 2 매트매대, No. 3 흙매대에 목표값을 설정하고, 그라스포(단열재)의 두께를 계산하였다(Figure 9 참조).

단열재인 그라스포의 두께는 3종류의 실험용 매트에 대하여 목표값이 0.04W/mK에서 0.13W/mK까지 증가함에 따라 지속적으로 감소함을 알 수 있다. 또한 그라스포의 두께는 동일한 목표값을 기준으로 식생매트, 흙매대 및 매트매대의 순으로 상대적인 값이 적으며, 녹화패널에서 원하는 목표값이 낮아질수록(단열이 더 잘될수록) 단열재의 두께는 기하급수적으로 증가함을 알 수 있다.

녹화패널을 복합매트(단열재+실험용 매트) 형태로 제작했을 경우, '건축물 에너지절약설계기준'에서 정한 최소기준(목표값)인 0.051W/mK 값을 가지기 위해서는 단열재의 두께를 조절함으로써 목표값 달성이 가능하다. 본 연구에서 사용한 3종류의 실험용 매트를 기준으로 단열재인 그라스포의 두께를 계산해

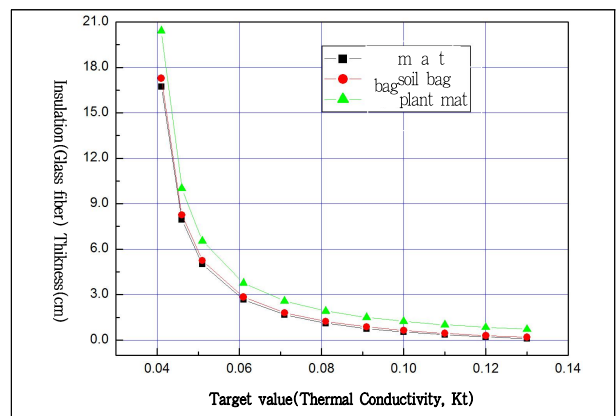


Figure 9. Insulation thickness according to target value of planting panel(Thickness of three experimental mats: 32.6mm criteria)

Table 7. Comparison of the measurement data about complex mat(glass fiber)

Mat bag thermal conductivity $k_t$ (W/mK)	Glass fiber		⇒	Combined thermal conductivity $k_t$ (W/mK)		Tolerance
	Thermal conductivity $k_t$ (W/mK)	Thickness(mm)		Experimental value	Calculation value	
0.139	0.036	0.9		0.129815	0.129990	0.15%

보면, 식생매트 6.55cm., 흙마대 5.33cm 그리고 매트마대의 경우는 5.00cm 이다.

다른 종류의 단열제인 수성연질폼(하이트폼)은 열전도율이 0.037W/mK 부근으로 그라스포와 거의 비슷하기 때문에 단열제의 두께를 계산해 보면 거의 동일하다. 또한, 폴리우레탄은 열전도율이 0.025W/mK 정도라서 단열효과가 뛰어나기 때문에 목표값(0.051W/mK)을 가지기 위해서 본 연구에서 사용한 3종류의 실험용 매트를 기준으로 두께를 계산해 보면, 식생매트 2.62cm., 흙마대 2.13cm 그리고 매트마대의 경우는 2.00cm 정도라서 녹화패널을 상대적으로 얇게 제작할 수 있는 이점이 있다.

#### IV. 결론

국내의 식생매트에 대한 연구의 대부분이 단열효과가 있음을 열화상카메라 혹은 온도측정 등을 통해서 온도저감효과를 밝히고 있으나, '건축물의 에너지절약설계기준'에 만족하는 단열효과를 나타내는 외벽의 열관류율(U)을 측정할 사례는 찾아볼 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 다양한 형태의 식생매트에 대한 열전도율 측정실험을 통해서 단열성능을 예측해 보았다.

첫째, 세 종류(식생매트, 흙마대, 매트마대)의 매트 및 복합매트(그라스포+매트마대)에 대한 열전도율 측정실험에서 열전도율이 식생매트(0.299W/mK) < 흙 마대(0.157W/mK) < 매트마대(0.139W/mK) < 복합매트(0.130W/mK) 순으로써 작아짐(단열효과 증가)을 확인하였다. 둘째, 매트마대와 단열제(그라스포)의 복합재료에 대한 열전도율 실험을 수행하여 이론적인 계산값(0.1299W/mK)과 실험값(0.1298W/mK)이 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 셋째, 3종류의 실험용 매트에 대하여 열전도율(복합열전도율)이 감소함에 따라 단열제의 두께가 지속적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 복합열전도율(목표값)의 값을 조금만 낮추어도 단열제의 두께를 많이 줄여서 실용성을 높일 수 있다. 넷째, 매트의 주위를 마대로 감싸는 형태의 식생매트 제작은 접촉열저항(Contact Heat Resistance)의 증가효과를 가져와서 단열에 크게 도움을 주는 것으로 사료된다. 다섯째, 식생매트의 단열 목표값이 커질수록(단열정도에 대한 요구조건이 낮아질수록), 내부단열제의 두께는 적어지며, 단열제의 종류에 영향을 덜 받음을 알 수 있다. 여섯째, 복합구조(단열제+매트)로 식생매트를 제작하면, 열전도율이 '건축물 에너지절약설계기준'에서 정한 최소 기준 0.051W/mK를 만족하며, 벽면녹화에 의한 외벽의 단열성능을 충분히 만족하는 에너지 성능을 가짐을 알 수 있다.

이상의 결과로 알 수 있는 것은 벽면녹화의 단열성능은 확실한 효과가 있음이 열관류율(U) 측정에서 밝혀졌다. 본 연구의 성과로 벽면녹화에 의한 에너지 저감이 단순한 데이터상의 수

치가 아니라, 국가에서 정한 기준을 만족할 수 있는 기술임이 밝혀졌다. 그럼에도 불구하고 2013년 옥상조경이 에너지성능지표(EPI)의 평가항목에서 제외되어졌다. 이는 녹화기술에 대한 에너지 성능의 저평가 결과이기에 조속히 옥상조경과 벽면녹화가 에너지 성능평가 항목으로 포함되어야 함을 여실히 보여주고 있다. 사실, 본 논문은 식생매트의 다양한 재료의 열전도율을 측정하기 위하여 직접 기구를 제작하고 실험하여 위와 같은 연구결과를 도출하였음에도 불구하고, 식생의 종류와 식생기반체의 함수율에 따른 열전도율이 달라지는 것에 대한 고찰이 매우 미흡하였다. 이러한 연구의 한계는 지속적인 연구를 이끌어가는 동기가 될 것이다. 아울러 본 고찰의 결과를 바탕으로 녹화에 의한 에너지 성능평가에 대한 연구가 다각도로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

#### References

- Han, J. H. and J. O. Yoon(2010) A study on the effect of wall planting on surface temperature. A Study on the Journal of Korean Ecology Environmental Architecture 10(2): 125-128.
- Jang, D. H. and S. H. Shin(2015) Development of building integrated wall green system for reduction of urban heat island. Journal of Korean Ecology Environmental Architecture 15(1): 100-101.
- Kim, B. R.(2012) A Study on the Present Condition and Problems of Wall Green Building: Study on the Improvement of Recertification Evaluation, Master's Thesis on Ecology and Landscape in Seoul National University. Korea, pp. 78-80.
- Kim, K. Y., S. H. Kim., H. D. Kim., S. J. Jo and S. M. Park(2011) An empirical study on the effect of wall greening on urban savings in Daegu. Journal of the Korea Environmental Science Association: 187-190.
- Kwon, K. W.(2014) Performance Analysis of Building Materials for Low Energy Wall Greening, Master's Thesis on the Department of Life Resources Environmental Science at Konkuk University. Korea, pp. 44-50.
- Ministry of Trade, Industry and Energy(2015) 2014 Energy Total Survey Report.
- Park, M. H. and H. D. Kim(2011) An observatory study on the effect of the greening of a wall on the reduction of urban temperature. Journal of the Environmental Science 15(1): 114-129.
- Seok, H. T., J. H. Yang and J. W. Jung(2008) A study on the evaluation of energy performance according to greenery cover in education buildings. Journal of the Korean Solar Energy Society 28(6): 40-47.
- Shin, J. H., H. Kim, S. H. Ki, and S. M. Kim(2014) Effect of wall greening on indoor thermal environment and CO<sub>2</sub> Concentration Control. Journal of the Korean Society of Furniture 25(2):148-153.
- Yunus, C.(2017) Heat and Mass Transfer, McGraw-Hill.

Received : 08 October, 2018

Revised : 30 October, 2018 (1st)

20 November, 2018 (2nd)

08 December, 2018 (3rd)

Accepted : 08 December, 2018

3인익명 심사필