

# 건축재료의 열전도율 측정방법에 의한 바닥재 난방효율 평가용 열환경 모형 제안\*1

전 지 수\*2 · 서 정 기\*2 · 김 수 민\*2†

## Suggestion of Thermal Environment Miniature for Evaluation of Heating Efficiency Based on Thermal Conductivity Measurement Method of Building Materials\*1

Jisoo Jeon\*2 · Jungki Seo\*2 · Sumin Kim\*2†

### 요 약

오늘날 지구온난화는 전 세계적으로 가장 주요한 문제 중 하나로 부각되고 있다. 이러한 지구온난화는 급속한 에너지 사용량의 증가에 의한 이산화탄소 발생의 증가가 가장 큰 원인이 된다. 그러므로 이에 대비하기 위해서는 모든 영역에서 에너지 절약에 대한 노력이 필요하다. 세계의 총에너지 사용량 중 건설 활동과 건물운영에서 사용되는 에너지량이 차지하는 비율이 절반이 넘는 것으로 조사되었다. 따라서 건물에너지 발생량을 줄이는 것은 전체 에너지를 절감시키는 중요한 역할을 한다. 이에 건물에너지 소비에 대한 관심의 증대와 함께 건물의 에너지 소비와 CO<sub>2</sub> 발생량을 줄이기 위해 친환경 건축물 등급 및 인증이 요구되고 있다. 건물에너지를 줄일 수 있는 여러 가지 요인 중에서 재료의 열전도율은 패시브적인 방법으로 건물에너지를 직접적으로 줄일 수 있는 가장 기본적인 요소라 할 수 있다. 특히 전통적으로 바닥 복사난방시스템을 사용하는 우리나라의 주거건물에서 바닥감재의 열전도율은 난방에너지 효율을 결정하는 중요한 요인이다. 본 논문에서는 주거건물의 난방에너지 절감을 위해 건축 재료의 열전도율 측정방법을 조사하고 난방 효율 평가를 위한 축소모형을 제안하였다.

### ABSTRACT

Today, global warming is one of main problems all over the world. The cause of the global warming is carbon dioxide outbreak by the rapidly increasing energy use. Therefore, it is

\*1 접수 2010년 10월 14일

\*2 송실대학교 건축학부 건축환경재료연구실, Building Environment and Materials Lab, School of Architecture, Soongsil University

† 교신저자(corresponding author) : 김수민(e-mail: skim@ssu.ac.kr)

necessary to save energy in each industrious field. It was investigated that the half of total energy consumption over the world was used for construction and building. Therefore, the saving of the building energy plays a significant role in decreasing total energy consumption. With the considerable increase in building energy consumption, a green building rating system and certification are required to reduce building energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. Of various elements reducing building energy, the thermal conductivity of materials affects the energy consumption as a basic element, which is directly related with reducing energy consumption. In particular, as the thermal conductivity of finishing materials is an important factor to decide heating energy efficiency of floor heating system, the investigation and development are necessary.

**Keywords:** thermal conductivity, floor heating system, energy saving, building materials

## 1. 서 론

최근 에너지공급에 대한 불안과 기후변화협약 및 지구환경문제에 관심이 증대되면서 건축에서도 에너지 절약에 대한 필요성이 점차 증대되고 있고 이로 인해 건축물의 에너지 효율에 대한 강화가 필요하게 되었다. 또한 기후변화협약에 따라 우리나라는 온실가스 배출 저감을 위한 국가 차원의 대책을 수립, 시행하여야 하는 실정에 있다. 우리나라의 에너지소비는 국제적으로 에너지다소비국가인 실정이다. 1차 에너지소비 세계10위, 석유소비 세계7위, 전력소비 세계 11위로 그 결과 이산화탄소 배출이 세계 10위에 이른다. 1인당 1차 에너지에 있어서는 이미 영국과 일본 수준을 넘어섰으며 1인당 전력소비는 독일과 영국 수준을 넘어선 상태이다(홍, 2010).

이에 따라서 '98년 12월 기후변화협약 대응 종합대책'을 수립하고 건축물 분야의 실천과제로서 '에너지 절약 설계기준'을 강화하여 개정하도록 하였다. 과거의 수동적인 대응에서 저탄소 녹색성장(Low Carbon Green Growth)이라는 적극적 대응으로 국가 정책 방향을 선회하였고, 2010년 저탄소 녹색성장기본법의 발효로 그 본격적인 추진이 착수될 예정이다. 건축물 분야의 탄소배출 감축 목표는 타 산업보다 높은 수준으로 설정되어 있다. 그리고 정부는 주택부문에 대하여 2020년부터 제로에너지 주택을, 2025년부터는 제로 에너지 건물 보급을 의무화하겠다는 목표를

제시하고 있다. 이렇듯 건물에서의 에너지 절감을 다른 부문에 비해 더 큰 목표로 삼는 것은 그만큼 건물에서의 에너지 소비가 많기 때문이다(김 등, 2010).

산업자원부의 에너지 통계연보 자료에 따르면 국내 부문별 최종에너지 소비비율에 있어서 건물이 차지하는 비율은 약 24%로 아주 큰 비중을 차지하는 것으로 조사 되었는데, 이와 같이 건물에서의 에너지 소비가 최종에너지 소비비율에서 차지하는 비중은 선진국일수록 증가하는 경향을 나타내는데 미국 에너지부(DOE : Department of Energy)의 분석에 따르면 건물에너지가 2030년에는 42.4%로 증가할 것으로 예상하였다(Building Energy Data Book, 2008). 따라서 건축에서 에너지 소비를 절감해야 하며 이는 우리나라 전체 에너지 소비량을 절감하는데도 많은 도움이 된다고 볼 수 있으며, 또한 탄소 발생을 절감함으로써 지구온난화를 지연시킬 수 있다.

현재 에너지 소비와 온실가스 배출에 대한 절감 노력은 건축물에서 뿐만 아니라 전 부문 더 나아가 전 세계에 걸쳐 최우선 과제라 할 수 있다. 특히 건축 부문에서의 에너지 소비량은 점차 증가하고 있으며, 이와 더불어 친환경 건축물에 대한 수요 또한 점차 높아지고 있다. 2008년 에너지 관리 공단의 에너지 사용량 신고 분석결과 발표에 따르면, 건물부문에서 에너지 사용량이 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다. 이를 위해 건물부문에서 설계기준 강화 및 건물효율등급제도 확대 등을 통해 건물에너지 이용

효율을 높여나가야 한다고 지적하고 있다(에너지관리공단, 2008).

건축에서 에너지를 절감하는 요소는 여러 가지가 있지만, 재료의 열전도율은 에너지 소비 절감을 위한 가장 기본적인 요소로 에너지 소비에 직접적인 관련이 있으며 건물에너지 절약의 기본이 된다고 할 수 있다. 우리나라는 문화적 특성상 바닥의 복사열을 이용하는 바닥복사난방 방식을 사용하고 있다. 바닥복사난방에 있어서 난방에너지 효율은 열원으로부터 발생하는 복사열이 마감재의 표면까지 얼마나 잘 전달되는가에 의해 결정된다. 따라서 건물외피에 열전도율이 낮은 단열재를 사용하여 열의 투과를 막아 에너지를 절감하는 것과는 달리 바닥마감재에는 열전도율이 높은 재료를 선정하여 사용함으로써 바닥난방으로 인해 발생하는 복사열의 열전달 효율을 높일 필요가 있으며, 이는 난방 에너지의 절감을 위한 중요한 역할을 한다. 에너지관리공단의 조사결과 우리나라의 가정용 건물의 에너지 소비량 중 난방 에너지 사용이 전체 소비량의 59.1%를 차지하고 있는 것으로 밝혀졌다. 바닥복사난방의 에너지 효율을 높인다면 난방 에너지 소비량이 크게 줄어들 것이고 이는 건물의 전체 에너지 소비량을 줄이는데도 크게 기여할 수 있다. 하지만 실제로 사용되고 있는 바닥마감재는 열전도율이 낮은 목질의 마루가 대부분을 차지하고 있는 실정이어서 바닥복사난방에 있어서 에너지효율을 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다. 따라서 바닥난방의 에너지효율을 높이기 위한 고열전도율의 바닥 마감재의 개발이 필요하고, 이를 위해 고열전도율의 재료에 대한 연구도 필요하며 나아가 재료가 건물에 적용되었을 때 에너지 성능에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 건축재료의 열전도율이 건물의 에너지 효율에 미치는 영향에 대한 연구를 위해 국내 건축 재료의 열전도율 측정방법 및 기준에 대해 조사해보고 국외 및 국제단체의 기준과 비교 해보았다. 또한, 고열전도율 바닥재의 난방효율 평가를 위해 열전도율과 관련된 기존 연구에 대한 고찰을 통하여 바닥재의 열전도율에 의한 난방에너지효율을 평가할 수 있는 실험용 축소모형을 제안하였다.

## 2. 국내·외 열전도율 측정 기준

### 2.1. 열전도율 측정 관련 한국 산업 규격(KS)

한국 산업 규격에서는 정상상태 측정법, 비정상열선법, 레이저플래시법 각각의 측정방법에 대한 기준이 정해져 있다. 1) KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법. 2) KS F 2463 가열판에 의한 재료의 열전도율 시험 방법. 3) KS L 3306 열선법에 따른 내화 벽돌의 열전도도 측정. 4) KS L 1604 단일체 세라믹스의 레이저 플래시법에 의한 열확산률, 비열 용량, 열전도율 시험 방법 등(전 등, 2010).

재료의 열전도율 시험 원리는 크게 정상상태 측정법과 비정상열선법 그리고 레이저 플래시법으로 나눌 수 있다. 정상상태 측정법은 재료의 두 표면사이의 온도 차이를 일정하게 유지하도록 하는데 필요한 열유속을 측정하여 열전도도를 구하는 방법이다. 이 방법은 지배방정식이 단순하나 두 표면의 배열이 불완전하면 정확도가 떨어지는 단점을 지니고 있다.

근래에는 기체 상태나 액체상태의 유체의 열전도도 측정을 위해 비정상 열선법이 많이 사용되고 있다. 이 방법은 매우 가는 금속선에 전류를 흘려서 시간에 따른 금속선의 온도상승이 금속선 주위에 있는 시료에 따라 결정되는 것을 이용하여 열전도도를 측정하는 것으로 측정시간이 짧고 간결하며 정확하고도 높은 것으로 알려졌다.

또한, 최근에 개발된 레이저 플래시법은 일정 온도에서 재료(고체, 액체 또는 분말 등)의 열확산을 측정하는 분석법이다. 레이저 플래시법에서는 시료의 한쪽 면에 Laser를 투사하면 일정시간 후에 반대편에 열이 전달되게 되고, 열이 전달되면 적외선 센서로 읽어 온도변화를 측정한 후 시간에 대한 함수로 열확산 정도를 계산하게 된다. 열확산정도는 열확산계수로 표시하는데 열확산계수는 반대편으로 열이 완전히 전달될 때까지 시간의 1/2이 되는 시간에 대한 두께의 제곱으로 간단히 정의할 수 있다. 이 때 일정 상수가 포함되어 열확산계수 값이 계산된다. 열확산계수가 구해지면 비열과 밀도 값을 곱하여 열전도

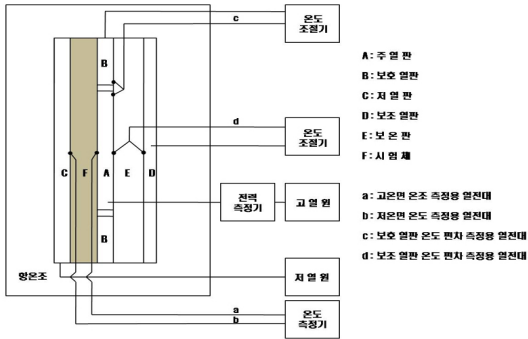


Fig. 1. Schematic diagram of Guarded-hot-plate apparatus.

율을 구하는 방법이다. 이 방법은 측정 시료에 대한 제약이 거의 없어 얇은 박판부터 고분자, 세라믹, 금속은 물론 액체, 분말 상태의 시료까지 다양한 크기 및 재질의 재료 분석에 사용할 수 있기 때문에 최근 신소재의 열전도율 측정에 가장 많이 사용되고 있다.

### 2.1.1. 정상상태 측정법

한국 산업 규격에서 'KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법'은 정상상태 측정원리의 기준으로 대표적인 정상상태 측정법인 평판직접법(보호 열판법)과 평판열류계법에 관한 장치 및 방법 등에 대해 기술되어 있다.

보호 열판법에서는 Fig. 1과 같이 고열판과 저열판 사이에 시험체를 설치하고 전체를 고정시킨 후 시험체 양면에 10°C 이상의 온도차를 부여한다. 시험체를 통과하는 열류량을 전기적으로 측정하고, 그때 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법이다. 저온에서 측정하는 경우는 저온조, 고온에서 측정하는 경우는 가열로 등, 시험체의 분위기를 온도를 조절할 수 있는 항온조에서 측정하여야 한다. 또한 정상 상태에 도달한 것을 확인하기 위해 10~30분 간격으로 시험체 양 표면 온도 및 주열판의 전력을 측정한다.

여기서 정상 상태란 시험체 양 표면 온도가 똑같은 방향에 변화가 없게 된 후부터 시험체 온도차에 대하여 1시간당 1% 이상 변화하지 않는 동시에 주열판의 발생 열량도 1시간당 1% 이상 변화하지 않는 상태를

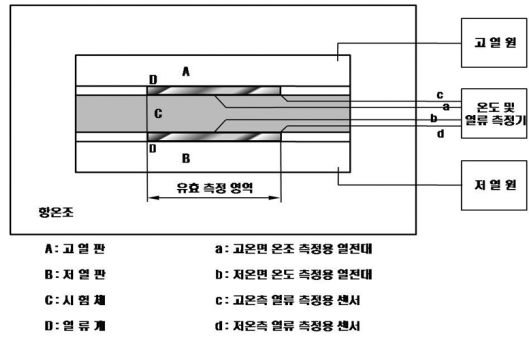


Fig. 2. Schematic diagram of Heat-flow-meter apparatus.

말한다.

보호 열판법의 열전도율 산출은 다음 식에 따른다.

$$\text{열전도율}(W/m \cdot k) = \frac{l}{R_c}, R_c = \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{P}$$

여기에서  $l$  : 시험체의 두께( $m$ )

$R_c$  : 시험체의 열저항( $m^2 \cdot K/W$ )

$A$  : 주열판의 유효면적( $m$ )

$\theta_1$  : 시험체의 고온면온도( $K$ )(°C)

$\theta_2$  : 시험체의 저온면온도( $K$ )(°C)

$P$  : 주열판에 대한 공급 전력( $W$ )

평판열류계법에서는 Fig. 2에 보이는 것처럼 시험체 양 표면의 유효 측정영역 내에 시험체 규모에 적합한 개수의 열전대 온도 측정 접점을 설치하고 전체를 고정한다. 시험체 주위는 충분히 단열하거나 측정장치 몸체를 항온조 속에 수용하여, 시험체 외곽에서의 열손실이 적게 되도록 한 다음 시험체의 양면에 10°C 이상의 온도차를 부여하고 각 표면 온도는 각각 면의 열전대가 표시하는 온도의 산술 평균값으로 한다.

평판 열류계법의 열전도율 산출식은 다음 식에 따른다.

$$\text{열전도율}(W/m \cdot k) = \frac{l}{R_c}, R_c = \frac{\theta_1 - \theta_2}{q}, q = \frac{1}{2}(K_1 \times e_1 + K_2 \times e_2)$$

여기에서  $l$  : 시험체의 두께( $m$ )

$R_c$  : 시험체의 열저항( $m^2 \cdot K/W$ )

$\theta_1$  : 시험체의 고온면온도( $K$ )( $^{\circ}C$ )

$\theta_2$  : 시험체의 저온면온도( $K$ )( $^{\circ}C$ )

$q$  : 단위면적당 열류량(열류밀도)( $W/m^2$ )

$K_1, K_2, K_3$  : 열류계의 감도계수( $W/m^2 \cdot V$ )

$e_1, e_2$  : 열류계의 출력( $V$ )

### 2.1.2. 비정상 열선법

KS L 3306에 명시된 '열선법에 따른 내화 벽돌의 열전도도 측정'에서 비정상열선법을 이용한 열전도율의 측정 장치는 Fig. 3과 같이 구성되어 있다. 이 장치는 시험편 속에 아주 미세한 굵기의 열선을 끼워 넣고, 이 열선에 일정한 전력을 가하였을 때 열선의 온도상승으로 열전도율을 측정할 수 있는 구조이다. 열선을 감싸고 있는 시험편의 열전도율에 따라 열선의 온도상승률의 차이가 있고, 이 온도상승률의 차이를 이용하여 열전도율을 산출해내는 원리이다. 건조 장치로는 온도  $100 \pm 5^{\circ}C$ 로 유지할 수 있는 자동 온도 조절기가 달린 전기 항온기를 사용하고 열선은 KS C 1602에서 규정한 것을 사용하며 열선의 중앙부에 열전대를 용접한다. 중앙부에 열전대의 측온접점이 용접된 열선의 긴 방향에 오도록 시험편 사이에 끼우고 열선과 시험편 사이가 밀착되도록 한다. 또한 시험편의 표면에 온도제어용 열전대를 장치한다.

열전도율은 다음 식에 따라 계산된다.

$$\text{열전도율 } \lambda (W/m \cdot k) = 2.303 \times \frac{I^2 R}{4\pi} \times \frac{\log t_2/t_1}{\theta_1 - \theta_2} \times 3.6\lambda = \frac{I^2 R}{4\pi} \times \frac{\log t_2/t_1}{\theta_1 - \theta_2}$$

여기에서  $I$  : 열선에 흐르는 전류값( $A$ )

$R$  : 열선의 전기 저항( $\Omega/m$ )

$t_1 t_2$  : 열선에 통전한 후의 시간(min)

$\theta_1 \theta_2$  :  $t_1 t_2$ 에 있어서의 열선온도( $^{\circ}C$ )

### 2.1.3. 레이저 플래시법

한국산업규준에서 레이저 플래시법에 의한 열전도

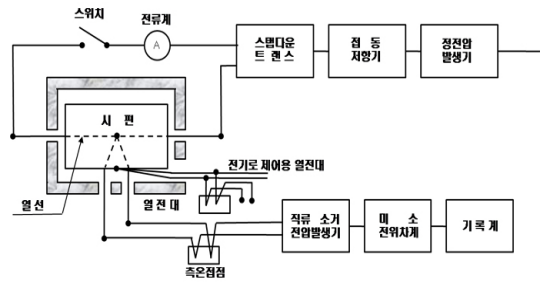


Fig. 3. Schematic diagram of Hot-wire method apparatus.

율 시험 방법은 'KS L 1604 단일체 세라믹스의 레이저 플래시법에 의한 열확산률, 비열 용량, 열전도율 시험 방법'에 명시되어 있다. 이 규준은 레이저 플래시법에 의한 파인세라믹스의 실온에서 1700 K까지의 열 확산률, 실온에서 1,000 K까지의 비열 용량 및 열전도율 시험 방법에 대하여 규정한다. 시험편은 지름이 10 mm정도인 원판 또는 블록 다각형 평판으로 두께는 4 mm 이하로 한다. 측정원리는 시험편의 한쪽에 레이저를 투과시키고 시료 표면에 레이저펄스를 조사하여 레이저펄스에 의한 시료 뒷면의 온도가 열곡선에 의하여 측정하는 방식이다. 이 방법은 열전도율을 바로 구하지 않고 다음 식에 의해 열확산률을 먼저 산출해낸다.

열 확산율은 식 (1) 하프타임법 또는 식 (2) 대수법으로 계산한다.

$$a = \frac{0.1388 \cdot k_1 \cdot k_2 (d+e)^2}{t_{1/2}} \quad (1)$$

$$a = \frac{(d+e)^2}{4h} \quad (2)$$

여기에서  $a$  : 열확산율( $m^2/s$ )

$d$  : 실온에서의 시험편 두께( $m$ )

$k_1$  : 펄스의 불균일성에 관한 보정계수

$k_2$  : 시험편에서의 열 손실에 관한 보정계수

$e$  : 실온에서 시험 온도까지 시험편 두께 방향의 열팽창( $m$ )

$h$ : 온도이력곡선의 솟은 영역에서  
 $\ln \sqrt{t \cdot \Delta t}$  를  $\frac{1}{t}$  에 대해 플롯했을  
 때 얻어진 직선의 기울기( $s$ )

위 식에 의해 열확산률이 구해지면 열전도율은 아래의 식으로 계산하여 구한다. 열전도율은 열확산율과 비열 그리고 밀도 값에 비례한다.

$$k = \alpha \cdot C \cdot \rho$$

여기에서  $k$  : 열전도율 [ $W/(K \cdot m)$ ]  
 $\alpha$  : 열확산율의 실측값 ( $m^2/s$ )  
 $C$  : 비열용량  
 $\rho$  : 시험편의 겉보기 밀도 ( $kg/m^3$ )

## 2.2. 국외 열전도율 측정 기준

### 2.2.1. 국제 표준화 기구(ISO)

ISO (International Organization for Standardization)는 1947년도에 설립된 비정부조직(NGO)으로 전 세계 160여 개국의 국가표준기관의 연합체이다. 상품 및 서비스의 국제간 교류를 원활하게 하고, 지식, 과학, 기술 및 경제활동분야의 협력발전이라는 관점에서 표준화 및 관련 활동을 증진시키기 위해 설립되었다. ISO는 국제표준기관들 중 가장 규모가 크며 산업 전반과 서비스에 관한 국제 표준 제정을 담당한다. 법적인 구속력이 전혀 없지만 현재 ISO의 대부분의 회원국들이 ISO의 표준에 따라가는 추세이고 개별 국가의 표준이 ISO 표준과 차이가 있을 경우 그 표준을 이용하는 사용자가 국제 무역에서 불편을 겪을 수 있기 때문에 ISO는 그 정체성을 키워가고 있다. ISO의 회원가입 현황은 '09.7월 현재 정회원(Member body)에 108개국, 준회원(Correspondent Member)에 48개국, 간행물구독회원(Subscriber Member)에 9개국 등 총 165개국이 가입, 활동하고 있다. 우리나라는 1999년 이후로는 기술표준원(KATS : Korean Agency for Technology and Standards)이 정회원으로 활동 중이다.

우리나라는 국제 표준을 따라가는 실정이고, 따라

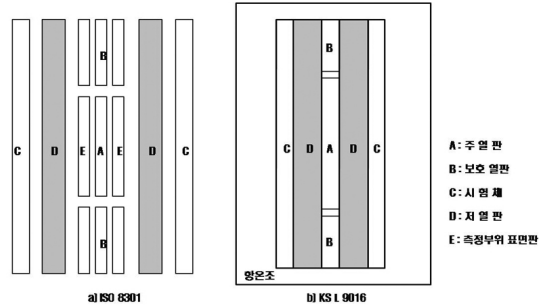


Fig. 4. Schematic diagram of test apparatus, a) ISO 8301 and b) KS L 9016.

서 KS의 열전도율의 측정 기준과 ISO에서 규정하고 있는 측정 기준과는 차이가 없다. ISO의 열전도율 시험방법 관련 표준으로는 1) ISO 8301 단열-정상상태 열 저항 및 관련 특성 측정-열류계 시험 장치 2) ISO 8302 단열-정상상태 열 저항 및 관련 특성 측정-보호 열판 시험 장치 등이 있다. Fig. 4는 ISO 8301의 열류계 시험장치와 KS L 9016의 평판열류계법의 시험 장치가 같음을 보여준다.

### 2.2.2. 미국 재료 시험 학회(ASTM)

WWSS (World-Wide Standard Seismograph)의 대표적인 규격기구의 하나인 미국의 ASTM (American Society for Testing Materials)은 모든 공업재료에 관한 용어, 제품, 시험 방법을 규정하고 있으며, 재료의 용도 및 특성을 시험하고 품질을 규격화하여 생산자와 소비자가 보다 손쉽게 재료를 선정하고 취급할 수 있도록 유도하는데 그 목적을 두고 있다. ASTM에서 규정하고 관련 규정 또한 ISO와 크게 다르지 않고, 따라서 우리나라의 기준과도 같다고 할 수 있는 시험 방법을 사용하고 있다. 예를 들어 ASTM C 177 (Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus)의 규정 내용에서는 ISO 8302의 보호 열판 시험 장치와 방법이 다르지 않다고 기술되어 있으므로, KS L 9016의 보호열판법과도 시험방법이 같다고 할 수 있다.

미국재료시험학회에서는 다음과 같은 기준의 열전

Table 1. Measurement principle and rules concerned of thermal conductivity

측정 원리	관련 규정				
	KS	ISO	ASTM	EN	
정상상태 측정법	보호열판법	KS L 9016 KS F 2463	ISO 8302	ASTM C 177	DIN EN 12667
	평판열류계법	KS L 9016	ISO 8301	ASTM C 518	DIN EN 12939 DIN EN 13163
비정상 열선법	KS L 3306	ISO 8894-1,2	ASTM C 1113	DIN EN 993 DIN EN 8894	
레이저 플래시법	KS L 1604	ISO 18755	ASTM E 1461	DIN EN 821	

도율 측정방법을 규정하고 있다. 1) ASTM C 117 : Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus (보호열판법), 2) ASTM C 518 : Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus (평판 열류계법), 3) ASTM C 1113 : Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (비정상열선법), 4) ASTM E 1461 : Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method (레이저플래시법).

### 2.2.3. 유럽 표준(EN)

유럽 표준은 유럽의 통합에 따라서 유럽 표준 위원회 등에서 상품과 서비스 시장의 단일화를 달성하기 위해 필요성이 있기 때문에 제정된 표준으로, 유럽 각국의 표준 제정 작업을 협의 조정하여 제정된다. 유럽표준은 각 분야에서 선두적으로 제정되고 각종 표준의 지침서 역할을 하기도 한다.

유럽표준으로 제정된 열전도율 측정방법에 관련된 표준은 다음과 같다. 1) DIN EN 12667 : Thermal performance of building materials and products-Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods-Products of high and medium thermal resistance(정상상태 측정법), 2) DIN EN 993 : Methods of test for dense shaped refractory products-Determination of thermal conductivity by the

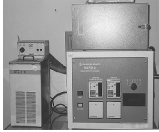





hot-wire (parallel) method, DIN EN 8894 : Refractory materials-Determination of thermal conductivity, Hot-wire methods (비정상 열선법), 3) DIN EN 821 : Advanced technical ceramics-Monolithic ceramics-Thermophysical properties : Determination of thermal expansion (레이저 플래시법).

유럽표준 또한 ISO나 ASTM, KS규준과 같은 방법의 열전도율 측정법에 대한 방법을 표준으로 하고 있다. 그러므로 건축 재료의 열전도율은 재료의 물리적 상태나 필요조건에 따라 선택적으로 측정 방법을 선택 할 수 있으며, 그 측정방법에 관한 규준은 각 국가의 규준이나 단체의 규준이 국제적으로 통합된 상태라고 볼 수 있다. Table 1은 열전도율 측정원리 및 관련규정을 보여준다.

### 2.3. 건축 재료의 열전도율 측정방법

건축 재료의 열전도율은 규준에 맞게 실험 장치를 구성하여 측정할 수도 있지만, 제조사에 의해 만들어진 열전도율 측정기기를 사용하여 쉽게 측정이 가능하다. 열전도율 측정기기는 제조사별로 측정방법이나 관련규준이 다르지만 모두 각 국가나 단체의 규격을 따르며 명시하고 있다. 열전도 측정기를 보유한 기관은 공동기기원이나 연구원, 중소기업청 등이 있으며 부서 내에서 단독으로 활용하는 경우도 있고 외부에 활용 할 수 있도록 공개해 놓은 곳도 있다. 또 하나의 기관에서 재료의 특성이나 적용방법 등에 따라 다른 종류의 측정기가 필요하기 때문에 여러 종류의 측정기기를 보유하기도 한다. 조사된 국내의 열전

Table 2. The present possession of thermal conductivity measurement equipment

측정원리	모 델 명	이미지	제작사
정상상태 측정법	Rapid-k		Holometrix
	HFM-436		Netzsch
	Lambda2300 v	-	Holometrix
	L2330 v/1	-	Holometrix
비정상 열선법	QTM-500		Kyoto Electronics
	TCT-426		Netzsch
레이저 플래시법	LFA-447		Netzsch
	LFA-457		Netzsch
	ThermalFlash	-	Holometrix

도열 측정기기의 보유현황은 Table 2와 같다.

### 3. 바닥재의 난방효율 평가를 위한 축소모형 제안

#### 3.1. 바닥재의 난방효율 평가를 위한 축소모형 설계

현재 건축 재료의 열전도율은 앞에서 조사된 측정 방법에 근거한 측정기기에 의하여 평가되어지고 있다. 하지만 이 수치는 재료 자체의 열전도율 수치로 이 값만을 가지고 그 재료가 건물의 에너지 효율에

미치는 영향을 평가하는 것은 한계가 있다. 즉, 재료 자체의 열전도율이 높아지거나 낮아지는 것을 확인할 수는 있지만 변화된 재료의 열전도율이 건물 에너지에 과연 얼마나 영향을 미치는가를 평가 할 수는 없는 것이다. 이러한 평가는 다양한 건축 재료가 실제로 시공된 후 난방 등에 의하여 재료에 발생하는 열적 퍼포먼스와 에너지 소비 등을 측정함으로써 가능하다. 기존 문헌의 고찰한 결과에서도 재료의 열전도율을 향상을 위한 실험(김, 2007; 이 등, 2003; S.Min 등, 2007) 등 다양한 연구에서 열전도율 측정 장치를 구성하거나 열전도율 측정기기를 사용하여 고열전도율을 갖는 재료를 개발하고 평가한 사례가



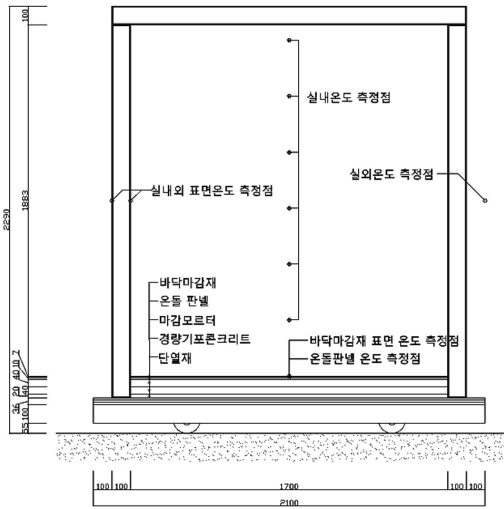


Fig. 5. Sectional of scale model for energy evaluation.

있었으나 열전도율이 향상된 재료가 실제 적용되어졌을 때 그 성능에 관해 평가한 연구는 미흡하였다. 따라서 고열전도율 재료 개발과 병행하여 재료가 실제 적용되었을 때 에너지 성능에 관한 연구가 필요하다. 건축 재료 또한 재료 자체의 열전도율 측정과 함께 재료가 시공되어졌을 때의 효율에 관한 평가가 필요하다.

전통적으로 바닥복사난방 방식을 사용하고 있는 우리문화의 특성상 바닥재의 열전도율은 난방효율에 큰 영향을 미치며, 이는 건물의 사용에너지 중 60%를 차지하고 있는 냉난방에너지를 절감 할 수 있는 중요한 요소라 할 수 있다.

하지만 우리나라는 정서적으로 긍정적인 효과를 갖는 목질의 마루바닥재를 대부분의 주택에서 사용하고 있고, 이러한 목질마루는 단열재에 가까운 낮은 열전도율 수치를 갖기 때문에 바닥마감재로써 종이나 PVC로 된 장판을 사용하던 과거보다 에너지의 효율은 더 떨어지고 있는 실정이다(서 등, 2010). 따라서 고열전도율 목질 마루와 같은 열전도율이 높은 재료의 개발이 필요하며 이와 함께 바닥재의 열전도율이 난방에너지 효율에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 바닥재의 열전도율 향

상에 따른 난방 에너지의 효율성을 측정하기 위한 축소모형을 설계하였으며, 설계 전에 효과적인 에너지 평가를 위해 기존문헌(Zhan 등, 2006; 송 등, 2007; 서 등, 2010)을 고찰하였다. 설계된 축소모형의 단면은 Fig. 5와 같다. 축소모형은 외벽, 지붕, 슬래브 등의 다른 환경의 변화 없이 슬래브 최상층에 설치된 온돌판넬 위의 바닥재만을 교체시킴으로써 바닥재의 열전도율 변화에 따른 난방에너지소비량을 비교할 수 있도록 설계하였다.

바닥재의 난방효율 평가를 위한 축소모형의 내부 바닥면적은 국내에서 생산·판매되는 온돌판넬의 사이즈를 검토하여 1,700 × 850 (mm)로 하여 바닥을 온돌판넬로 완전히 채울 수 있도록 설계하였고, 외벽 판넬의 높이는 2,000 mm로 비교적 작은 사이즈로 이동식 실험용 축소모형이 되도록 하였다. 외벽과 지붕은 단열성능을 갖는 우레탄 샌드위치판넬을 사용하였고, 바닥은 국토해양부 규준에 명시된 표준 바닥판의 구성을 따랐다. 또한 다른 열전도율을 갖는 바닥재에 따른 난방에너지 비교분석을 위해 바닥재를 교체하며 설치 할 수 있도록 하였고, 이를 위해 지붕은 탈착이 가능하도록 설계하였다.

### 3.2. 난방효율 평가

바닥재의 열전도율 변화에 따른 난방에너지 효율을 측정하기 위해 축소 모형에는 총 11개의 온도센서와 이를 기록하기 위한 데이터 로거(Data Logger)가 사용되었다. 난방시 건물에 작용하는 열의 퍼포먼스를 전체적으로 파악하기 위해 바닥면으로부터 940 mm 높이의 벽체 외부와 내부에 온도센서를 설치하였으며, 실내온도 측정을 위해 바닥면의 중심점 위로 6개의 온도센서를 설치하고 온돌판넬과 바닥마감재 표면에도 각각 온도센서를 설치하였다. 또한 난방시 건물에 영향을 미치는 외기의 온도를 측정하기 위해 건물 외부에도 온도센서를 설치하였고, 모든 센서는 데이터 로거에 연결하여 시간에 따라 변화되는 각 지점의 온도를 기록하여 분석 할 수 있도록 하였다.

특히 실내온도를 측정하기 위한 온도센서는 바닥면의 중심부에서 300, 600, 900, 1,200, 1,500, 1,800

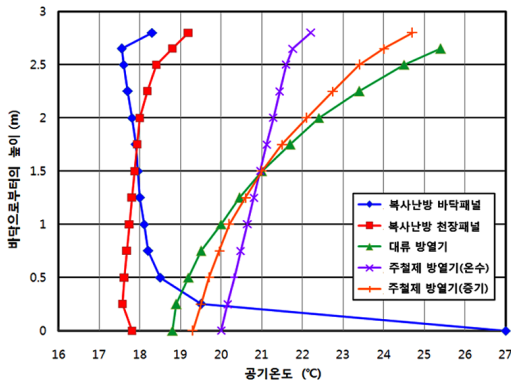


Fig. 6. Comparison of indoor temperature distribution on heating system (유, 2006).

(mm) 높이에 각각 설치하여 총 6개를 설치하였는데, 이를 통해 난방시 실내공간의 수직온도분포를 확인하기 위함이다. Fig. 6은 기존에 알려진 난방방식에 따른 실내 수직온도분포를 비교한 그래프를 보여준다(유, 2006). 그림과 같이 바닥 복사난방의 경우에는 바닥면으로부터 높이가 올라갈수록 온도가 크게 감소하는 모습을 보여줌으로써 실내 거주자의 열적 쾌적감에 문제성을 제기한다. 따라서 바닥재의 열전도율에 따른 실내공간의 수직 온도분포 또한 비교해 보려 하였다.

바닥재 변화에 따른 난방에너지를 비교 평가하는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 실내를 일정한 온도로 유지하는데 소비되는 온돌판넬의 전력량을 비교하여 에너지효율을 평가하는 방법이다. 이를 위해서 모형의 내부에 온도조절기(thermostat)를 설치하여 온돌판넬이 실내를 설정된 온도로 유지하기 위해 작동되도록 한다. 또한 실내를 일정한 온도를 유지하기 위해 온돌판넬이 소비하는 전력량을 전력량계를 이용해 측정해야 한다. 이 실험방법에서는 열전도율이 높은 바닥재를 축소모형에 설치했을 경우와 열전도율이 낮은 바닥재를 설치했을 경우에 건물축소모형의 난방에 소비되는 전력량을 비교하여 바닥재의 열전도율의 향상이 에너지 효율에 미치는 영향을 평가 할 수 있다.

두 번째 방법은 전기온돌판넬이 일정한 온도로 작동될 때 실내온도를 측정하고 비교하여 에너지 효율

을 평가하는 방법이다. 이 실험방법에서는 축소모형에 열전도율이 높은 바닥재를 설치하였을 경우와 열전도율이 낮은 바닥재를 설치했을 경우의 실내 온도를 비교하여 바닥재의 열전도율의 향상이 에너지 효율에 미치는 영향을 평가 할 수 있다.

## 4. 결 론

현재 우리나라 주택에 사용되고 있는 바닥마감재는 열전도율이 낮은 목질의 마루가 대부분을 차지하고 있는 실정인여서 바닥복사난방에 있어서 에너지 효율을 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다. 따라서 바닥난방의 에너지효율을 높이기 위한 고열전도율의 바닥 마감재의 개발이 필요하고, 이를 위해 고열전도율의 재료에 대한 연구도 필요하며 나아가 재료가 건물에 적용되었을 때 에너지 성능에 관한 연구가 필요하다고 본다. 따라서 본 연구에서는 국내 건축 재료의 열전도율 측정방법 및 기준에 대해 조사해보고 국외 및 국제단체의 기준과 비교 해보았다. 또한 고열전도율 바닥재의 난방효율 평가를 위한 연구방법을 알아보기 위해 열전도율과 관련된 기존 연구에 대한 고찰을 통하여 바닥재의 열전도율에 의한 난방에너지효율을 평가하기 위해 축소모형을 제안하였다.

건축재료의 열전도율을 측정하는 기준은 KS나 ISO 등 국가나 단체별로 명확한 기준이 정해져 있으며, 측정방법은 크게 정상상태 측정법, 비정상 열전법, 레이저 플래시법으로 나뉜다. 또한, 각각의 국가나 단체에서 규정하고 있는 측정 방법의 종류나 방법이 유사하므로, 열전도율 측정방법에 관한 기준은 국제적으로 통합된 상태라고 볼 수 있다.

재료의 열전도율 측정은 기준에 맞춰 실험장치를 구성하여 측정 할 수도 있지만, 기준에 맞게 설계된 열전도율 측정기기를 사용하여 간단히 측정 할 수 있다. 기존의 연구에서는 열전도율 향상을 위한 물질에 대한 연구를 위해 열전도율 측정 장치를 구성하여 실험하거나, 열전도율 측정기기를 이용하여 실험을 하였고, 이와 같이 열전도율과 관련된 연구가 각 분야에서 활발히 진행되고 있음을 알 수 있었다. 하지만 이러한 연구들을 통하여 건축재료로 쓰일 수 있는 재

료자체에 대한 열전도율 값에 대한 분석은 진행되고 있지만, 실제 건축물에 재료를 적용하여 실험한 연구는 아직 미비한 실정이라는 것을 알 수 있었다.

제안한 난방효율 평가를 위한 축소모형은 바닥복사난방이 사용되는 실제 건물의 실내공간을 축소하여 설계하였다. 또한, 바닥 마감재를 교체하며 적용시킬 수 있도록 하여 바닥재의 변화에 따라 소비되는 에너지를 비교함으로써 바닥재의 열전도율 변화 따른 에너지 효율을 비교 평가할 수 있도록 하였다. 축소모형의 크기는 1,700 mm × 850 mm × 2,000 mm로 이는 온돌 판넬의 규격에 의해 결정되었다. 온돌 판넬은 구성된 슬래브와 교체 설치되는 바닥마감재 사이에 설치하고 실내의 온도조절기와 연결하여 일정한 실내온도를 유지하기 위해 소비되는 에너지량을 측정할 수 있도록 하였다. 또한, 총 5군데에 설치된 센서를 통해 측정된 온도를 데이터로거를 사용해 저장함으로써 외기의 온도 변화 및 내부의 온도 변화를 알 수 있도록 하였다. 이를 통해 재료자체의 고열전도율이 건물에너지의 고효율화에 미치는 영향을 알아 볼 수 있도록 하였다.

건축에 있어서 재료의 열전도율은 건물에너지 효율과 관련된 중요한 요소이다. 향후 고효율, 에너지 절약건물을 위해서는 건축 재료의 열전도율에 대한 연구로 고효율자체의 개발이 필요하며 이와 병행하여 바닥재 등의 건축재료가 건축물에 실제로 적용되었을 때 건축재료의 열전도율이 건물의 에너지효율에 미치는 영향을 평가하는 등에 대한 실험이 필요하다. 또한 이외에도 건축 재료와 건물에너지에 관련된 다양한 연구를 통해서 건물에서 소비되는 에너지 효율을 높이기 위한 노력이 필요하다.

## 사 사

본 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단).

## 참 고 문 헌

1. ASTM C 177: Standard Test Method for Steady-

State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate ApparatusKS L 9016: 보온재의 열전도율 측정 방법.

2. Min, S., J. Blumm, and A. Lindemann. 2007. A new laser flash system for measurement of the thermophysical properties. *Thermochimica Acta* 455: 46~9.
3. US Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy. 2008 Building Energy Data Book. November 2008.
4. Zhang, Y. P., K. P. Lin, R. Yang, H. F. Di, and Y. Jiang. 2006. Preparation, Thermal performance and application of shape-stabilized PCM in energy efficient building, *Energy and Buildings* 38 (2006) 1262~269.
5. KS L 1604: 단일체 세라믹스의 레이저 플래시법에 의한 열확산률, 비열 용량, 열전도율 시험 방법.
6. KS L 3306: 열선법에 따른 내화 벽돌의 열전도도 측정.
7. ISO 8301: 단일-정상상태 열 저항 및 관련 특성 측정-열류계 시험 장치.
8. 김봉훈. 2007. 탄소 나노튜브 나노유체의 열전도도에 대한 연구. *설비공학논문집* 19(3): pp. 275~283.
9. 김세동. 2010. 이광식, 박원주, 최은혁, 건축전기설비의 에너지절약 성능지표 개발에 관한 연구. *한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집*.
10. 김수민. 2009. 탄소나노재료를 이용한 고효율·고열전도율 축열건축재료, *대한건축학회* 12: 42~44.
11. 김홍열, 채한식, 전현규, 염광수. 2007. Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트의 열전도율 특성 및 모델 제시. *대한건축학회 학술발표대회 논문집* 제27권 제1호(통권 제51집), 10.26~27.
12. 서정기, 김수민. 2010. 목질마루바닥재의 열전도성능 분석을 통한 열전도율 개선 방안 연구. *한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집* 30(1): pp. 49~53.
13. 서정기, 전지수, 김수민, 박윤, 전병환. 2010. 바닥난방시스템에서의 목질 마루바닥재의 열전도율 향상 필요성에 관한 연구. *한국목재공학회 학술발표 논문집* pp. 72~73.
14. 송승영, 이현화, 송설영. 2007. 축소 모형 실험을 통한 흙집의 동계 열환경 및 에너지성능 평가. *대한건축학회 논문집* 23(9): pp. 173~180.
15. 유동렬. 건축설계계획. 문운당. 2006년 1월. p. 199.
16. 에너지관리공단(www.kemco.or.kr). 2008년도 에너지사용량 신고 분석결과 발표.
17. 이승언, 강제식, 정영선, 최현중. 2003. 환경 및 시간경

- 과에 따른 건축용 단열재의 열전도율 변화에 관한 실험적 연구. 대한건축학회논문집 19(12): 235~241.
18. 전지수, 서정기, 김수민. 2010. 국·내외 열전도율 측정 기준 고찰을 통한 건축재료의 측정 방법 연구, 한국목재 공학회 학술발표 논문집(2010 3.11~12), pp. 239~240.
19. 홍원표. 2010. 병원건물의 스마트그리드시스템의 에너지절약평가 및 경제성분석. 한국조명·전기설비학회논문지 24(4): 129~139.