

건물 외피 투과형단열 벽체의 열성능 해석 연구

Thermal Performance of Building Envelope with Transparent Insulation Wall

장용성* 윤용진** 박효순**
 Jang, Yong-Sung Yoon, Yong-Jin Park, Hyo-Soon

Abstract

Global efforts have made to reduce energy consumption and CO₂ gas emission. One of the weakest parts for energy loss through the whole building components is building envelopes. Lots of technologies to increase the thermal performance of building envelopes have been introduced in recent year. Transparent Insulation Wall(TIW) is a new technology for building insulation and has been function both solar transmittance and thermal insulation.

A mathematical model of a Transparent Insulation Wall equipped with south wall was proposed in order to predict thermal performance under varying climates(summer and winter). Unsteady state heat transfer equations were set up using an energy balance equation and solved using Gauss-Seidel iteration solution procedure. The thermal performance of the TIW determined from a wall surface and air layer temperature, non-airconditioned room temperature and air conditioning load. As a result, this numerical study shows that the TIW is effective in an air conditioning load reduction. Further experimental study is required to establish complete TIW system.

Keywords : Transparent Insulation Wall, Air Conditioning Load, Numerical Analysis, Building Envelope

1. 서론

1.1 연구의 필요성

건물외피는 건물을 구성하는 여러 요소 중 가장 큰 에너지손실 경로 중의 하나로 알려져 있다. 건물외피를 통한 열손실을 저감하기 위하여 선진 각국은 물론 우리나라에서도 지역별, 건물 부위별 단열기준을 강화하는 한편, 법적 단열기준치인 최소 요구수준을 넘어 건물외피의 단열성능 극대화를 위한 각종 기술개발을 위해 노력하고 있다. 자연에너지의 적극적인 이용은 유한한 화석에너지 문제 및 환경오염으로부터 지구를 보호하기 위한 최우선의 방법이라는 것은 두 말할 여지가 없다. 이런 관점에서 기존의 단열기술은 실내 열의 외부 손실 방지가 주목적이었기 때문에 겨울철에 태양에너지를 차단할 수밖에 없었다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 수단 중의 하나로 기존 단열벽체의 장점을 유지하면서도 태양열을 최대한 흡수하여 입사된 태양에너지를 유효하게 이용할 수 있고, 건물 외벽에 적용하여 외피시스템으로의 활용도 가능한 투과형 단열벽체 기술 개발이 필요하다.

1.2 연구목적 및 내용

본 연구는 기존 건물 외벽에 일반적으로 사용되는 일반벽체(기준모델)와 건물 외벽 1면에 부착되는 투과형단열벽체(비교모델)의 열성능 비교·평가를 직접 개발한 수치 시뮬레이션 프로그램에 의해 이론적으로 분석하는 것이다.

이를 위해 투과형 단열시스템의 구성요소들의 변화에 따른 복사와 전도에 의한 열손실을 및 전체 열관류율 특성을 분석하였고, 수치시뮬레이션 프로그램을 통해 각 벽체 표면온도, 자연열 및 냉·난방부하를 비교하였다.

2. 건물 외피 투과형단열벽 시스템¹⁰⁾

투과형단열벽 시스템은 건축구조에 따라 벽체에 직접 부착하거나, 태양복사에너지에 의한 과열을 방지하기 위해 투과형단열벽에 수직의 통기구를 만들어 냉방기에는 공기층의 과열공기를 자연적으로 배출하도록 설치할 수 있다. 투과형단열벽 시스템은 태양에너지를 이용하는 방법에 따라 3가지의 기본 형태로 구분할 수 있다.

2.1 직접취득형 투과형단열벽 시스템

그림 1은 직접취득시스템의 개념도로 기존 벽체 없이

* 인하대학교 건축학부 박사과정

** 한국에너지기술연구원 책임연구원, 공학박사

단독으로 외피 기능을 수행할 수 있다. 직접취득시스템은 태양 복사에너지가 투과형단열재를 통하여 직접 실내로 유입되어 실내의 표면에서 열로 변화하게 된다. 실의 온도는 실내 표면의 온도에 비례하여 시간에 따라 변화한다. 태양 복사에너지가 열로 변환되기 때문에 축열에 의한 손실이 발생하지 않는 것이 특징이다.

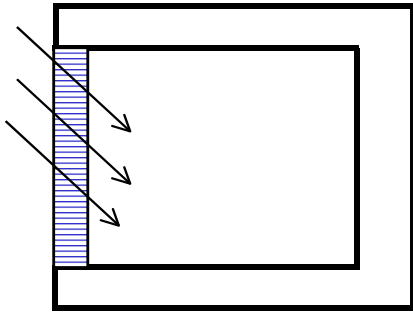


그림 1. 직접취득형 시스템

2.2 태양벽형 투과형단열벽 시스템

태양벽 시스템에서는 외벽구조체의 외부면에 입사하는 태양복사열이 열로 변환된다. 투과형단열재의 단열작용에 따라 에너지는 벽체의 단면을 통하여 실내의 벽체표면으로 전달되어 공기로 방출된다. 실내온도는 태양복사열에 대해 시간 지연되어 변화하며, 시간지연효과(Time Lag Effect)는 축열벽의 재료와 두께에 의해 영향을 받는다.

그림 2는 태양벽 시스템의 개념도로 간단한 시스템 구성, 시간지연 된 실의 가열, 직접취득시스템에 비해 실에서의 온도변화가 상대적으로 적은 점 등은 장점이거나 직접취득시스템에 비해 외부로의 열손실이 크고, 복사에너지가 축열체에서 일단 흡수되면 실내로의 열공급에는 더 이상 영향을 주지 못하는 단점이 있다.

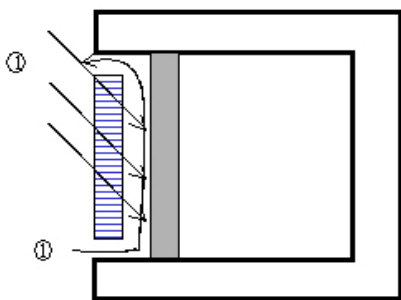


그림 2. 태양벽 시스템

2.3 분리형 투과형단열벽 시스템

분리형시스템에서는 태양복사열이 실에서 분리된 흡수면에서 열로 변환된다. 태양열은 덕트시스템을 통하여 실내로 직접 전달되거나 건물구조체의 구성요소 또는 설비기술에 속할 수 있는 축열체에 전달된다. 그림 3은 분리형시스템의 개념도이다. 열매로는 대부분 공기나 물이 이용되며 열적으로 분리된 축열체에서 실내로의 열방출은 흡수체나 축열체의 온도에 상관없이 조절된다. 분리형시

스템은 태양복사열과 열부하 사이에 큰 시간지연효과를 이용하는 경우와 분리형 축열체나 단순히 건물구조에 통합 될 수 있는 건물에 적합하다.

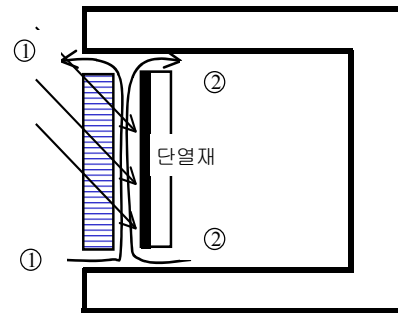


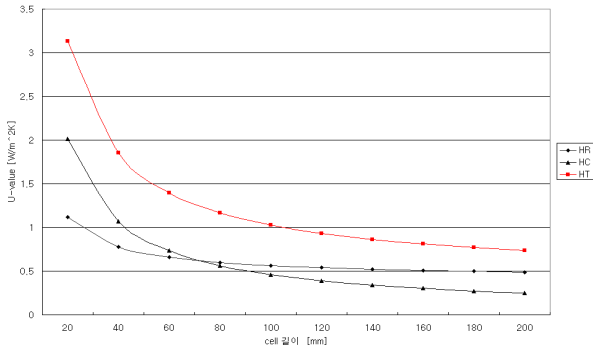
그림 3. 분리형 시스템

3. 투과형단열벽 시스템 요소 설계

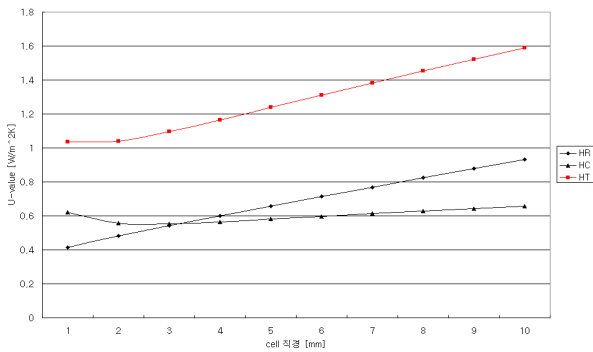
투과형단열재의 사양을 결정하기 위해서는 시스템 구성의 변수가 되는 재료의 열적, 광학적 특성, 규격 및 유리와의 조합에 의한 복합적인 특성을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 J. A. Chattha가 개발한 투과형단열재 열특성 분석 프로그램의¹⁾ 알고리즘을 일부 수정한 후 구성요소들의 변화에 따른 복사와 전도에 의한 열손실 및 전체 열관류율을 계산하였다. 또한 설계 변수 변화에 따른 성능 변화(열관류율)의 추이를 검토하여 최적안 설계에 활용하였다.

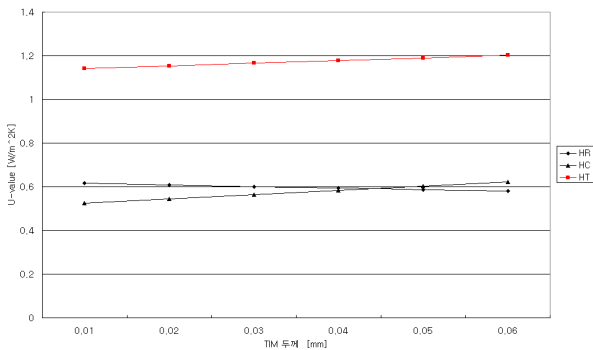
변수 분석결과는 그림 4와 같다. 전체 열관류율 기준에 의한 검토에 의하면 변수 변화에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 투과형단열재의 길이와 직경인 것으로 나타났다. 길이의 경우, 길이의 증가에 따라 완만하게 열관류율이 감소하나 60~80mm 이후의 하강 폭은 완만한 경향을 보인다. 따라서 시스템의 크기는 벽체의 두께 등을 감안할 때 50mm 이상 80mm 이하가 적절한 것으로 판단된다. 또한 문헌에 의하면 셀의 길이와 직경과의 관계는 셀의 길이가 최소한 직경의 10배 이상이어야 대류를 억제할 수 있는 것으로 보고 되어 있다. 단열재의 직경은 길이와 함께 투과형단열재의 성능에 큰 영향을 미친다. 직경이 커질수록 열관류율이 증가하기 때문에 작을수록 좋으나 직경이 너무 작을 때에는 고체 면적율이 커지므로 빛의 투과율이 상대적으로 나빠지게 된다. 따라서 직경은 길이와의 관계를 고려하여 선택해야 하며 대부분 3~4mm 정도를 채택하고 있다. 이 외의 변수들도 투과형단열재의 성능에 영향을 미치나 타 변수에 비해 그 영향은 매우 미미하다. 그러나 이러한 변수들의 영향은 투과형단열벽 시스템의 또 다른 구성 요소인 유리화 사용 장소들에 대한 영향을 고려하여 결정되어야 할 것이다.



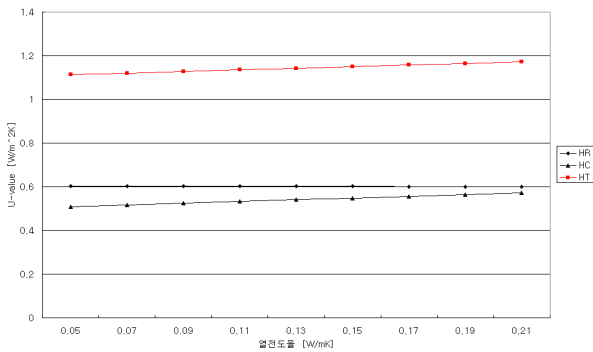
(a) 셀의 길이



(b) 셀의 직경



(c) 셀의 두께



(d) 셀의 열전도율

그림 4. 투과형단열재 변수 변화에 따른 전도-복사 및 열관류율 (HR - 복사열손실, HC - 전도열손실, HT - 총합열손실)

4. 이론해석

건물 외벽에 부착되는 투과형단열재의 열성능 해석을 위한 수치모델은 그림 5와 같이 유리 덮개를 갖는 투과형단열재, 중공층 및 축열벽으로 구성되어 있으며, 투과형 단열재의 상·하부에는 외부 공기가 출입할 수 있도록 통기구(air vent)를 설치하였다.

중공층에 면하는 투과형단열재 후면 덮개와 축열벽 표면은 태양복사열에 의하여 가열되고, 열전달에 의하여 중공층내의 공기를 서서히 가열한다.

중공층 온도가 외기온도보다 상대적으로 높으면 하부 통기구를 통하여 외기가 유입되고 가열된 공기는 굴뚝효과(stack effect)에 의하여 상부 통기구를 통해 배출된다. 이와 같은 자연대류에 의한 공기순환을 제어조건에 따라 적절하게 조절함으로써 실내에 작용하는 관류열부하를 감소시키게 된다.

건물 외벽에 부착되는 투과형단열재의 열해석은 복사, 대류 및 전도등의 복합된 경계조건을 갖는 열전달 문제로서 수치모델의 이론해석을 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) x축 방향의 온도구배만을 고려한 1차원 열전달 문제로 간주하였다.
- (2) 재료의 물성치는 온도변화와 무관하다.
- (3) 투과형단열재의 축열벽면에 흡수되는 일사량 산출시 그림자에 의한 영향은 무시하였다.
- (4) 중공층에서 공기의 물성치는 온도의 함수이다.
- (5) 모든 표면은 산란반사와 방사에 대하여 회색체로 간주하였다.
- (6) 지표면 온도는 외기온도와 동일하다.

그림 6은 건물외벽에 일반적으로 사용되는 벽체로서 기준모델을 나타낸다.

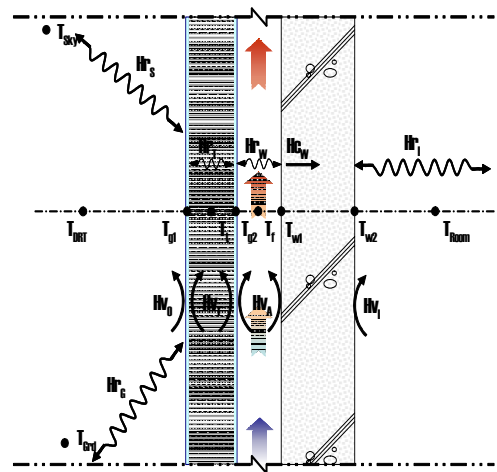


그림 5. 투과형단열재(TIM) 벽체(분석모델)

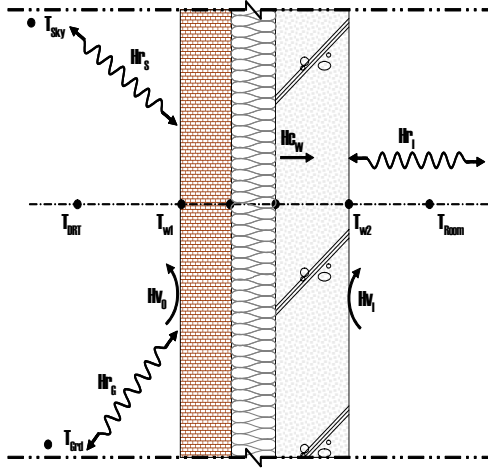


그림 6. 일반벽체(기준모델)

4.1 일사량 분석

수평면에 입사하는 총일사량 및 확산일사량을 알고 있으면 수직면에 대한 시간당 직달일사량과 확산일사량(산란일사 + 반사일사)은 식(1)~식(3)에 의해 계산된다.

$$G_b = (\cos \theta / \cos \theta_z)(I_t - I_d) \quad (1)$$

$$G_d = 0.5 I_d \quad (2)$$

$$G_{gr} = 0.5 \rho_{gr} I_t \quad (3)$$

4.2 에너지평형방정식

외부에 면하는 유리덮개, 투과형단열재, 중공층에 면하는 유리덮개 및 중공층에서의 에너지평형방정식은 각각 식(4), (5), (6) 및 (7)과 같고, 천공온도(T_{sky})는 Berdahl과 Martin의 제안식, 즉 건구온도와 노점온도, 시각의 함수에 의해 산출하였다.

$$Hv_o(T_{g1} - T_{dnt}) + Hr_s(T_{g1} - T_{sky}) + Hr_g(T_{g1} - T_{grd}) = Hv_f(T_{g2} - T_{g1}) + Hr_f(T_{g2} - T_{g1}) + \alpha_g I \quad (4)$$

$$T_t = (T_{g1} + T_{g2})/2 \quad (5)$$

$$Hv_i(T_{g2} - T_{g1}) + Hr_f(T_{g2} - T_{g1}) = Hv_a(T_f - T_{g2}) + Hr_w(T_{w1} - T_{g2}) + \tau_g \tau_r \alpha_g I \quad (6)$$

$$Hv_a(T_{w1} - T_f) = Hv_a(T_f - T_{g2}) + \dot{Q} \quad (7)$$

$$T_{sky} = T_{dnt}(0.711 + 0.0056 T_{dew} + 0.000073 T_{dew}^2 + 0.013 \cos(t)) \quad (8)$$

중공층의 온도가 외부온도보다 상대적으로 높은 경우 중공층 내에서는 열사이펀 작용에 의한 Thermocirculation이 발생하며, 이 때 공기에 전달되는 열량은 식(9)에 의해 산출된다.

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} C_a (T_{out} - T_{in})}{WH} \quad (9)$$

중공층 내의 평균온도는 식(10)과 같이 나타낼 수 있으며, 식(9)는 식(10)에 의해 식(11)로 변환된다.

$$T_f = (T_{out} + T_{in})/0.5 \quad (10)$$

$$\dot{Q} = \frac{2 \dot{m} C_a (T_f - T_{in})}{WH} \quad (11)$$

중공층의 평균온도 및 밀도가 높이에 따라 선형적으로 변화한다고 가정하면 Bernoulli 방정식에 의해 중공층내의 평균 유속(\bar{V})는 식(12)에 산출 가능하다.

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{2gH}{C_1 \left(\frac{A_g}{A_v}\right)^2 + C_2} \frac{(T_f - T_{in})}{|T_f|}} \quad (12)$$

윗 식에서, $C_1(A_g/A_v)^2 + C_2$ 는 압력손실을 나타내며, C_1 과 C_2 는 각각 8.0과 2.0으로 Trombe et. al.이 제안한 값을 이용하였다.

그러므로 하부 통기구를 통해 중공층 내로 유입되는 공기 질량유량은 식(13)과 같다.

$$\dot{m} = \rho_a A_g \bar{V} \quad (13)$$

중공층의 온도가 외부온도 보다 낮아 통기구가 차단되어 유동(air flow)이 발생되는 않는 경우 중공층 온도는 중공층에서 면하는 유리덮개와 축열벽면의 평균온도와 동일하다.

$$T_f = \frac{T_{g2} + T_{w1}}{2} \quad (14)$$

축열벽면에서의 지배방정식은 열발생이 없는 1차원 열전도 방정식으로 식(15)와 같다. 이는 중공층 및 실내와 접하는 표면에서 일사, 대류 및 복사가 복합된 경계조건, 즉 식(16) 및 식(17)을 만족하여야 한다.

$$\rho_w C_w \frac{\partial T_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_w \frac{\partial T_w}{\partial x} \right) \quad (15)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=w1} = hv_a(T_f - T_{w1}) + hr_w(T_{g2} - T_{w1}) + \tau_g^2 \tau_r \alpha_w I + hr_w(T_{g2} - T_{w1}) + \tau_g^2 \tau_r \alpha_w I \quad (16)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=w2} = hv_i(T_f - T_{w2}) + \sigma \sum_k F_{w2,k} Fe_{w2,k} (T_{w2}^4 - T_k^4) \quad (17)$$

4.3 열전달계수

외부에 면한 유리덮개에서의 대류열전달 계수는 McAdams의 제안식에 의해 산출되었고, 식(18)에서 v 는 외부 풍속이다.

$$hv_o = 5.6 + 4.0v (v \geq 4.88) \quad (18)$$

$$hv_o = 7.2v^{0.78} (v < 4.88) \quad (19)$$

중공층 내부에서의 열전달 계수는 유량(mass flow rate)의 흐름 유무와 Reynolds Number에 따라 식(20), (21) 및 (22)에 의해 산출된다.

$$\begin{aligned} & \cdot \dot{m} = 0 \\ & hv_a = \frac{k_a}{d} (0.01711 (Gr \cdot Pr)^{0.29}) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & \cdot Re > 2000 \\ & hv_a = \frac{k_a}{d} (0.0158 Re^{0.8}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & \cdot Re \leq 2000 \\ & hv_a = \frac{k_a}{d} \left[4.9 + \frac{0.0606(x^*)^{-1.2}}{1 + 0.0856(x^*)^{-0.7}} \right] \end{aligned} \quad (22)$$

식(22)에서 $x^* = \frac{H}{Re \cdot Pr \cdot D_h}$, $D_h = \frac{2A_g}{1+W}$

실내에 면한 축열벽면에서의 대류열전달 계수는 아래의 관계식을 사용하여 계산하였다.

$$hv_i = \frac{k_a}{H} 0.59 Ra_H^{0.25} (10^4 < Ra_H < 10^9) \quad (23)$$

$$hv_i = \frac{k_a}{H} 0.10 Ra_H^{0.33} (10^9 < Ra_H < 10^{12}) \quad (24)$$

외부 유리덮개와 친공 및 지면 사이의 복사열전달 계수는 아래 식과 같다.

$$hr_s = 0.5\sigma\epsilon_{g1}(T_{sky}^2 + T_{g1}^2)(T_{sky} + T_{g1}) \quad (25)$$

$$hr_g = 0.5\sigma\epsilon_{g1}(T_{gvd}^2 + T_{g1}^2)(T_{gvd} + T_{g1}) \quad (26)$$

중공층에 면하는 유리덮개와 축열벽면, 축열벽면과 실내 벽면 사이의 복사열전달 계수는 식(27), (28)을 이용하여 산출하였다.

$$hr_w = \frac{\sigma(T_{g2}^2 + T_{w1}^2)(T_{g2} + T_{w1})}{\frac{1}{\epsilon_{g2}} + \frac{1}{\epsilon_{w1}} - 1} \quad (27)$$

$$hr_{w2,k} = \sigma \sum_k F_{w2,k} Fe_{w2,k} (T_{w2}^2 + T_k^2)(T_{w2} + T_k) \quad (28)$$

평형한 두 직사각형면간의 방사율 $Fe_{i,j}$ 는 식(29), 직교하는 두 직사각형면간의 방사율 $Fe_{i,j}$ 는 식(30)과 같다.

$$Fe_{i,j} = [(1/\epsilon_i) + (1/\epsilon_j) - 1]^{-1} \quad (29)$$

$$Fe_{i,j} = \epsilon_i \epsilon_j \quad (30)$$

5. 수치해석

일사, 대류 및 복사가 복합된 경계조건을 갖는 식(15)는 유한체적법(Finite Volume Method)에 의한 음해법(Implicit)으로 이산화하였고, 이산화된 방정식의 해는 Gauss-Seidel 반복해법에 의해 계산되었다. 수치 시물레이션 시간스텝(Time Step)은 30초를 설정하였으며, 해를 얻기 위한 수렴조건은 식(31)과 같다.

$$\frac{\sum_i |(T_{new} - T_{old})|}{\sum_i |T_{new}|} \leq \epsilon (10^{-3}) \quad (31)$$

5.1 이산화방정식

축열벽면의 지배방정식과 경계조건, 즉 식(15), (16) 및 (17)에 대한 이산화방정식은 식(32)~식(34)와 같다.

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \alpha \left(\frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2} \right) \quad (32)$$

식(32)에서 $i = w1, w1+1, w1+2, \dots, w2-1, w2$ 이고, $\alpha = \frac{k_w}{\rho_w \cdot C_w}$ 로 열확산계수이다.

$$\begin{aligned} -\frac{k_w}{2\Delta x} (T_{w1+1}^n - T^*) &= hv_a (T_f^n - T_{w1}^n) \\ &+ hr_w \cdot (T_{g2}^n - T_{w1}^n) + \tau_1^2 \tau_2 \alpha_3 I \end{aligned} \quad (33)$$

$$\frac{k_w}{2\Delta x} (T^* - T_{w2-1}^n) = hv_i (T_r^n - T_{w2}^n) + hr_i (T_{w2}^n - T_k^n) \quad (34)$$

식(33), (34)에서 T^* 는 가상의 온도로서 이산화과정에서 소거되는 항이며, T_k 는 실내 벽면의 온도이다.

5.2 기상데이터 및 재료물성치

표 1. 시멘트 벽돌 벽체의 물성치

재료명	열전도율 (kJ/mh°C)	밀도 (kg/m³)	비열 (kJ/kgK)	두께 (mm)
콘크리트	5.86	2,400	0.92	0.19
적벽돌	2.81	1,660	0.84	0.09
단열재	0.13	30	1.38	0.05
유리	3.78	2,710	0.82	0.005
투과형단열재 ⁽¹⁾	0.22	905	0.50	0.08
공기층	0.094	1.1614	1.102	0.05

수치 시물레이션에 사용된 기상데이터(외기온, 일사량, 풍속 등)은 기상청에서 제공된 대전지방의 30년 평균치를

(1) 제로에너지하우스개발, 2차년도보고서, 한국에너지기술연구원

이용하였다. 그리고 투과형 단열재가 부착된 외벽 재료의 물성치는 표 1과 같다.

6. 결과 및 고찰

6.1 투과형 단열재의 중공층 및 축열벽면 온도

실내온도를 일정하게 설정한 상태에서 통기구 작동(ON/OFF)에 따른 중공층 및 축열벽 내·외표면 온도변화를 그림 7, 8에 나타내었다. 그림 7의 결과에 의하면 통기구가 개방되는 경우 중공층의 온도는 평균 7°C 정도 하강하는 것으로 나타났으며, 공기의 열순환에 의하여 중공층내의 상승된 공기를 외부로 배출시킴으로서 실내로 전달되는 관류열부하 또한 감소하였다.

그리고 통기구는 1일 1회 ON-OFF 작용으로 중공층의 온도를 효과적으로 제어하는 것으로 나타났다.

그림 8의 결과는 축열벽면 내·외표면의 온도변화를 나타낸 것으로 통기구의 작동으로 인하여 표면온도가 대략 2°C 하강하는 것으로 나타났다.

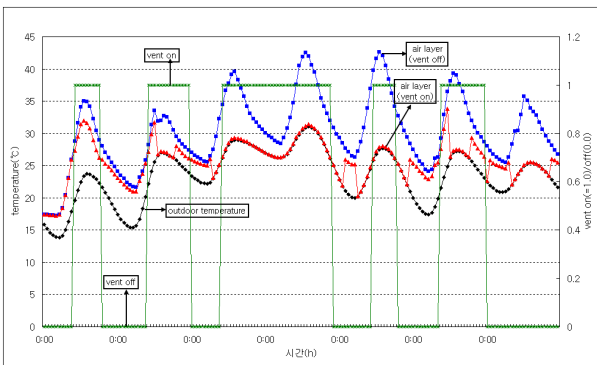


그림 7. 중공층의 온도변화

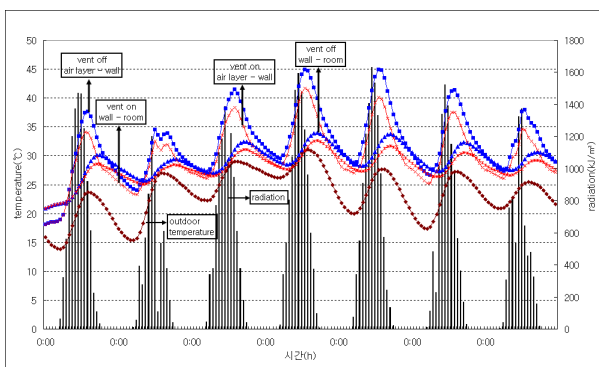


그림 8. 축열벽면의 온도변화

6.2 자연실온 비교

상기의 그림 7과 그림 8은 실내온도를 일정하게 설정한 후, 벽체의 표면온도와 통기구의 작동 여부에 따라 중공층의 온도를 살펴보았다. 그러나 각 표면의 온도변화 해석만으로는 투과형단열재가 부착된 벽체와 일반벽체를 사용하는 건물에서의 열성능을 평가하기에는 한계가 있어, 단위모델을 대상으로 자연실온 및 냉·난방부하 시뮬

레이션을 수행하였다.

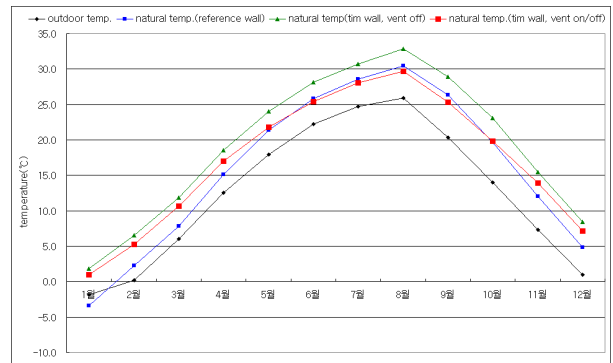


그림 9. 건물 자연실온의 비교

그림 9는 각 단위모델에 대한 월 평균 자연실온을 나타낸 것으로 난방기간(1, 2, 3, 12월)에는 통기구가 작동되지 않는 건물의 자연실온이 가장 높게 나타났으며, 냉방기간(6, 7, 8, 9월)에는 통기구가 적용된 건물의 자연실온이 가장 낮게 나타났다. 통기구가 적용된 건물의 자연실온은 일반벽체 건물보다 난방기간에는 평균 3.2°C 높게, 냉방기간에는 평균 1.0°C 이상 낮게 유지되었다.

따라서 통기구가 설치된 투과형단열벽체에서 외기온도에 따른 통기구 ON-OFF 작동만으로도 겨울철 난방효과는 물론 여름철 냉방부하 저감에도 효과적으로 대처할 수 있음을 알 수 있다.

6.3 냉·난방부하 비교

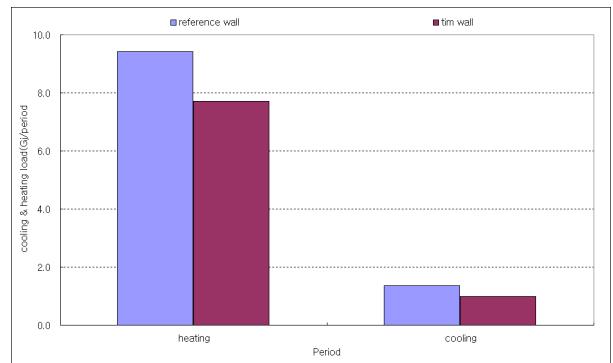


그림 10. 건물 냉·난방부하 비교

일반벽체 및 투과형단열재가 부착된 건물의 연간 냉·난방부하를 그림 10에 나타내었다. 냉·난방설정온도는 각각 26°C, 20°C로 설정하였다. 시뮬레이션 결과 일반벽체 건물 대비 투과형단열재가 부착된 건물의 연간 난방부하 절감율은 18.2%(1.7GJ/기간), 냉방부하 절감율은 28.1%(0.39GJ/기간)로 계산되었다.

이상의 결과를 통해 자연환기는 투과형단열재가 부착된 건물의 난방은 물론 냉방부하 저감에도 효과적인 수단으로 적용할 수 있음을 알 수 있었다. 다만, 본 시뮬레

선은 단위 유니트를 대상으로 계산한 결과이기 때문에 이를 건물 전체 단위로 해석할 때에는 건물의 형태나 규모, 평면 및 입면의 구성사례별로 결과가 달라 질 수 있음을 이해해야 할 것이다.

7. 결론

본 연구에서는 투과형단열재가 부착된 건물 외피의 열성능을 수치 시뮬레이션을 통해 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 중공층의 온도가 외기 및 실내온도보다 상대적으로 높아 통기구가 개방되는 경우 중공층의 온도는 7°C 정도 하강하는 것으로 나타났다.
- (2) 통기구는 1일 1회 ON-OFF 작용으로 중공층의 온도를 효과적으로 제어하였다.
- (3) 투과형단열재가 부착된 건물의 자연실온은 일반벽체 건물보다 난방기간에는 평균 3.2°C 높게, 냉방기간에는 1.0°C 이상 낮게 유지되었다.
- (4) 일반벽체 건물 대비 투과형 단열재가 부착된 건물의 연간 난방부하 절감율은 18.2%(1.7GJ/기간), 냉방부하 절감율은 28.1%(0.39GJ/기간)로 산출되었다.

기호설명

C_a	공기의 비열[kJ/kgK]
hw	대류열전달 계수[W/m ² K]
hr	복사열전달 계수[W/m ² K]
I	수직면 전 일사량[kJ/m ² h]
k	열전도율[W/mK]
\dot{m}	질량유량[kg/s]
\dot{Q}	공기에 전달되는 열량[kJ/m ²]
T	온도[K]
\bar{V}	중공층 평균속도[m/s]

그리스문자

α	흡수율
ϵ	방사율
τ	투과율
ρ	밀도[kg/m ³]
σ	Stefan-Boltzmann 상수

참고문헌

1. J. A. Chattha, Influence of parametric on radiative and conductive losses through transparent honeycomb insulation(THI), 7th International Meetings on Transparent Insulation Technology, 1994.
2. Z. Zrikem, E. Bilgen, Theoretical study of a composite

- Trombe Michel Wall solar collector system, Solar Energy, Vol. 39, No. 5, pp409-419
3. Jonh A. Duffie, William A. Bechman, 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, 2th, Jonh Wiley & Sons.
4. W. M. Kays and M. E. Crawford, 1993, Convective Heat and Mass Transfer, 3th, McGraw-Hill.
5. J.Schmid. Transparente Waermedaemmung, C.F.Muller, Heidelberg, 1995
6. Wittwer, V., Platzer. W, Transparent Insulation Material, Proc. SPIE 1272, 1990
7. A. Haller, H-J. Althaus, Gain Control for Solar Wall Heating with Transparent Insulation Requirements for Cost Effective Application of Natural Ventilation in Multi-functional and Ventilated Facade(MFVF), 1999
8. Development of Building Envelope System with Transparent Insulation Panel, Final report, 2003. 6
9. Trnsys 15 Reference Manual.
10. 건물외피의 복합단열구조시스템 개발, 최종보고서, 산업자원부, 2003. 5