

건물 에너지 절약을 위한 수치해석적/실험적 이중창 열전달 연구

장동순 · 송은영* · 이상일**

충남대학교 환경공학과

*충남대학교 환경공학과(대학원 석사과정)

**충북대학교 환경공학과

A Numerical and Experimental Study of Heat Transfer through a Double Pane Window to Enhance Thermal Insulation of Building

Jang, Dong-Soon, Song, Eun-Young and Lee, Sang-Il

요 약

二重窓의 열전달 性能을 수치해석과 실험적 방법을 통하여 조사하였다. 이중창 사이의 간격이 0.5 cm에서 10 cm 사이의 실제적인 범위에서 이중창 사이의 간격이 작을 때에는 전도에 의한 열전달이 두드러졌으며 이중창 사이의 간격이 넓어지고 Rayleigh 수가 높은 영역에서는 대류에 의한 열전달이 크게 나타나 이중창 간격이 넓어진 利點을 크게 상쇄시켰다. 이와 같은 이중창 斷熱문제에 대한 보완책으로 이중창 중앙에 하나의 유리창을 더 설치한 3중창 경우에 대해 대류열전달 감소효과와 복사열차폐(radiation shield) 효과를 검토하였으며 또한 이중창 중간 높이에 스페이스(spacer)를 설치하여 대류유동 강도를 줄이는 방안 등에 대한 분석이 이루어졌다. 3중창을 사용한 경우에는 이중창에 비해 30-50%, 이중창에 스페이스를 설치한 경우에는 10% 정도의 에너지 절약 효과를 기대할 수 있다.

Abstract

The performance of heat transfer through double pane window has been investigated using experimental and numerical methods. The range of the gap distance between glasses are 0.5-10 cm. The convection heat transfer plays the dominant role for the case of the wide gap distance together with the large Rayleigh number and thereby, reduces the enhanced thermal resistance due to the increased air gap, while the conduction heat transfer does the major role for the case of small gap distance. In order to enhance the thermal insulation of the double pane window, the heat transfer of triple pane window, which is constructed to put one more glass at the middle of the double pane, is investigated to check the reduction of the convection heat transfer together with the effect of the radiation shield due to the presence of the additional glass. Further, a spacer is installed at the middle height of the double pane, and the effect of which on the suppression of the convective heat transfer is analyzed carefully, using experimental and numerical methods. For the case of the spacer-installation, the amount of energy saving is considered about 10%, but the energy saving increases a lot to 30-50% for the case of triple pane window, due to the substantial radiation shield effect of the presence of the additional glass.

I. 서 론

본 論文의 목적은 二重窓의 창간거리(L), 높이(H), 그리고 Rayleigh(Ra) 수 등 이중창 설계에 필요한 주요 변수에 따른 열전달 기구를 파악하고 이를 토대로하여 3중창 및 스페이서가 설치된 이중창 등에 대한 정량적인 에너지 절약효과를 산정/제시 함으로써 창문 설계에 관한 구체적인 대안을 제시 하고자 함이다. 본 연구에서는 이중창내에서 발생하는 대류(convection), 전도(conduction), 그리고 양 쪽창의 온도차이에 따른 복사(radiation) 효과 등을 모두 고려하여 열전달 성능을 평가하였으나 복사열 전달 문제에 있어서 태양의 단파장 직접복사(solar insolation) 효과는 현단계에서 포함시키지 아니하였다. 그 이유는 태양열 직접 복사에 따른 비정상적(unsteady)인 열전달 및 유리창의 투과율 등에 관련된 복잡한 문제를 크게 단순화시킬 수 있을 뿐만 아니라 태양열 직접 복사가 없는 경우(즉, 야간, 북향, 우천시 등)도 실제에 있어서 중요한 고려대사이고, 나아가서 이 경우가 태양열 직접 복사를 고려한 시스템의 분석을 위한 선행연구로서 중요하기 때문이다[1, 2].

본 논문에서 고려하고 있는 구체적 연구 목표는

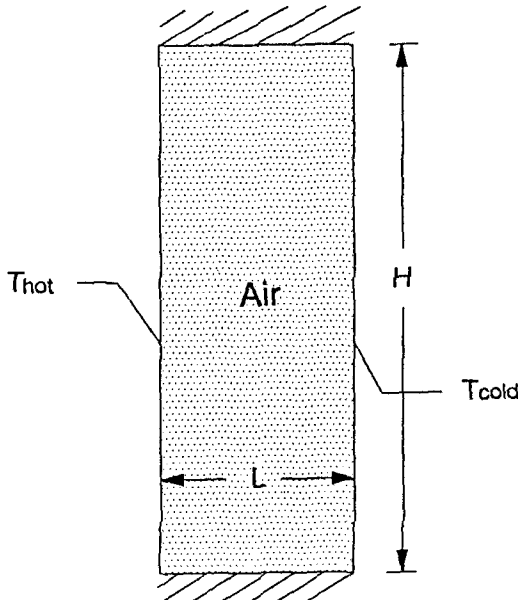


Fig. 1. Schematic of double pane window.

그림 1에 나타낸 바와 같이 이중창의 양쪽면이 고온과 저온의 각각 일정한 온도로 유지되고 있고, 그리고 종횡비(aspect ratio, A)가 큰 직사각형 밀폐 공간에서 작동 유체가 공기인 경우에 복사, 전도, 대류에 의한 열전달 성능을 규명하고자 하는 것이다. 본 연구에서 고려한 종횡비, A의 범위는 10-200의 범위로서 창문의 높이를 1m로 정하였을 때 창간사이의 거리가 5mm에서부터 10cm로서 실제적인 영역의 값이다.

앞으로의 토론을 진행시키기에 필요한 이중창내에서의 복사, 전도 및 대류열전달 특성에 대하여 각각 간략하게 기술하면, 그림 1과 같은 이중창 설비에서 양쪽면의 높고 낮은 온도(T_{hot} , T_{cold})가 각각 정해지면 양쪽 유리창 사이에 복사에 의한 열유속(thermal flux)은 창유리 복사 특성을 ‘diffuse’, ‘graybody’ 그리고 장파장 복사에 대한 ‘opaque’ 가정을 적용할 경우에 아래식 (1)로 주어진다[3].

$$q_{rad} = \frac{\sigma(T_{hot}^4 - T_{cold}^4)}{\frac{2(1-\epsilon)}{\epsilon} + \frac{1}{F}} \tag{1}$$

윗식에는 σ 는 Stefan-Boltzman 상수를 나타내고, ϵ 와 F 는 각각 ‘emissivity’와 ‘shape factor’를 각각 나타낸다.

복사열전달은 창간사이의 거리(L)에 따라 크게 변화하지 않을 것으로 예측되는데 이는 식 (1)에서 ‘view factor’ F 만이 변수이고 이 값이 창간 거리에 따라 크게 변하지 않는 것으로 설명할 수 있다. 이에 반하여 전도에 의한 열전달은 Fourier의 전도법칙에 의하여 주어진 온도차 $\Delta T = T_{hot} - T_{cold}$ 에 대하여 창간사이의 거리, L 이 커질수록 선형적으로 감소한다. 이는 전도열저항값(L/k)이 선형적으로 증가하는 것에 기인한다.

$$q_{cond} = k \frac{\Delta T}{L} \tag{2}$$

마지막으로 대류에 의한 열전달은 보다 복잡한 양상을 띠게 되는데 이는 대류열전달이 Ra수와 종횡비 등 여러 함수로 나타나기 때문이다. Rayleigh 수는 보통 부력에 의한 유동과 점성저항력의 비를 나타냄으로서 유동의 세기를 나타내는 무차원 변수인데(식 (3)), 같은 종횡비에 대해 Ra가 커지면 유

동이 증가함으로써 유동열전달이 증가하게 된다.

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TH^3}{\nu\alpha} = \frac{\text{부력}}{\text{저항력}} \quad (3)$$

윗식에서 g , β , ν , α 는 각각 중력가속도, 열팽창계수, 동점성계수, 그리고 열확산계수를 나타낸다.

Ra수와 A에 따른 유동열전달 특성은 Bejan[4]의 이론적 분석에 의하면 전도영역과 대류영역 등으로 정리될 수 있는데, 중형비가 큰 직사각형 공간에서는 $Ra^{1/4}$ 의 값이 H/L 보다 작아지면 열전달특성은 전도에 의해 주도되며 그 반대의 경우에는 대류에 의한 영향을 받게된다. δ_T 를 대류영향이 나타나는 경우 수직 유리창면에서의 대류열 경계층 두께라 하면 위의 두 경우의 열전달은 정성적으로 아래와 같이 요약된다.

$$\text{전도성 열전달 } Ra^{1/4} < \frac{H}{L} \quad q \sim \frac{\Delta T}{L} \quad (4)$$

$$\text{대류경계층열전달 } Ra^{1/4} > \frac{H}{L} \quad q \sim \frac{\Delta T}{\delta_T} \quad (5)$$

즉, 전도성 열전달 범위에서는 유체의 흐름에 의한 열전달 효과는 작으며 이중창의 간격이 넓어질 수록 열차폐 효과가 선형적으로 증가함을 의미한다. 경계층 영역에서는 열경계층의 두께 δ_T 가 열전달 성능을 좌우한다. 그러나 밀폐 공간에서의 δ_T 에 대한 정량적인 계산은 쉽지 않다. 그러므로 대류경계층 영역의 열전달 특성을 규명하기 위해서는 수치해석이 유력한 방법으로 많이 사용되고 있다[5, 6]. 본 연구에서는 이를 위하여 검사 체적에 기초한 유한차분법(control-volume based-finite difference method)을 사용하여 수치해석을 시도하였다[7]. 이상의 검토 결과에서 이중창에서의 열전달 기구의 규명을 위해서는 대류열전달 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하며 이 대류열전달은 Ra, A 등의 변수에 따른 영향 파악이 선행되어야 한다.

위에서 언급한대로 Ra수는 대류열전달에 매우 중요한 역할을 하는 변수이므로 이중창 경우에 적용되는 Ra값은 범위를 산정해 보는 것이 필요하다. 유리창의 높이 1 meter, 외창과 내창의 온도차, $\delta T = 10^\circ\text{C}$ 인 경우에 작동 유체는 공기를 가정하고 300°K 의 온도의 경우에 대해 Ra수를 계산하면 $Ra = 6.9$

$\times 10^8$ 이 된다. 그러므로 이중창 문제에 있어서 Ra수 범위는 겨울과 여름의 최대 실내외 온도차와 유리창의 높이 변화 등을 고려하면 10^7 - 10^{10} 범위에 있다고 판단할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 Ra수를 10^0 - 10^{10} 범위에서 10^0 , 10^3 , 10^4 , 10^6 , 10^8 , 10^9 , 10^{10} 등 7가지 경우에 대해 Ra수에 따른 영향을 조사하였다. 그리고 무차원 높이 1.0인 경우에 대해서 무차원 넓이를 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00으로 중형비 16가지를 고려하여 총 112 경우에 대한 기본적인 계산을 수행하였으나 본 논문에서는 이중창의 설계에 실제적으로 흥미있는 두께인 0.1까지의 결과를 제시한다. 이중창의 계산 결과를 분석하였을 때에 놀랍게도 유리창간의 간격이 증가될 경우에 열전달 성능이 Ra수가 높은 영역, 즉 10^8 - 10^{10} 범위에서 급격히 증가함을 보여주고 있다. 이는 이중창의 간격 증가가 유동에 의한 열전달의 증가 때문에 기대한 바의 절연 효과를 나타내지 못함을 보여주는 것이다. 이러한 이중창에 대해 절연 효과를 증진시켜 소기의 에너지 절약의 목적을 달성하기 위해서는 2중창 시스템에 대한 보완이 필요하며 보완 방법의 하나로 3중창을 고려하여 열저항성능 등에 대한 계산을 시도하였다. 3중창에 대한 성능 평가를 한 이유는 2중창 중간에 하나의 유리를 추가하여 3중창을 만들 경우에 중앙 유리창의 복사열 차폐를 할 뿐만 아니라 중앙유리창에 의해 유리창 사이의 간격이 1/2로 줄어들므로 유동 효과를 저감시킬 수 있기 때문이다. 3중창 외에 시도된 다른 방법은 이중창의 유동열전달을 감소시켜 에너지 절약 효과를 얻기 위한 방법으로서 이중창 중간 높이에 유동 억제용 스페이스(spacer)를 설치하는 것이다. 이 방법은 이중창의 높이를 줄임으로써 유동을 억제시키는 방법으로써 유동강도를 나타내는 Ra수가 $Ra \sim H^3 \Delta T$ 에 비례하므로 H의 높이를 1/2로 줄이는 것은 Ra수를 1/8로 줄이는 것과 동등한 효과가 있다고 판단되기 때문이다. 이와 같은 주장은 실험적/이론적인 방법에 의해 성공적으로 검증되었으며 본 논문에서는 실험적인 확인 사실을 제시하였다.

2. 수치해석

2.1 수치해석 방법

이중창에서의 유체의 흐름을 층류(laminar flow), 정상상태, 비압축성, Newtonian 유체를 가정하였을 때 운동량 및 에너지에 대한 지배방정식(governing equation)은 아래와 같다.

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \rho g \quad (7)$$

$$\rho u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{K}{C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (8)$$

식 (6-8)에 대해 부스네스크 가정(Boussinesq approximation)을 하고 아래와 같은 무차원 변수를 도입하면

$$X = \frac{x}{H} \quad (9)$$

$$Y = \frac{y}{H} \quad (10)$$

$$U = \frac{u}{v/H} \quad (11)$$

$$V = \frac{v}{v/H} \quad (12)$$

$$\theta = \frac{T - T_0}{T_h - T_c} \quad (13)$$

$$T_0 = \frac{T_h + T_c}{2} \quad (14)$$

다음과 같은 최종 무차원 지배방정식을 얻을 수 있다.

$$U = \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (15)$$

$$U = \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + Ra \cdot \theta \quad (16)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{Pr} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (17)$$

여기서 변형압력 P, Prandtl수(Pr), Ra수는 각각 아래와 같이 정의된다.

$$P = \frac{P + \rho_0 g y}{\rho_0 (v/H)^2} \quad (18)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (19)$$

$$Ra = \frac{g \beta (T_h - T_c) H^3}{\alpha \nu} \quad (20)$$

식 (15-17)를 검사체적에 기초한 유한차분방법에 의하여 해를 구하였으며 경계조건은 양유리창의 각각의 온도를 등온으로, 상하벽면은 완전열도체(perfect thermal-conductor) 경계조건을 가정하였다. Ra 및 A에 따른 열전달 성능변화를 나타내기 위해 무차원 열전달 변수, Nusselt 수를 오른쪽 벽면을 따라 계산한 평균값을 제시하였다. 기타 사항은 본 논문의 두번째 저자의 석사학위 논문의 일부로서 자세히 기술될 것이다[8].

2.2 수치해석 결과

수치해석의 결과는 本稿에는 구체적으로 나타내지 않았지만 다른 여러 문헌치 등과 Nu수나 유동형태 등을 비교하였을 때 수치해석의 여러 범위내에서 잘 일치하였다. 그림 2와 3은 26×32 격자크기를 사용한 높이 1.0, 그리고 Ra=10⁸인 경우에 폭을 0.06과 0.07로 변화시켰을 때의 벡터 유동과 등온선 분포도를 같이 나타내었다. 그림에 나타난 ‘multicellur’ 형태의 유선도는 문헌에 나타난 현상[6]과 잘 일치하는 것이다.

그림 4는 폭 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10에 대해서 Ra수에 따른 Nu수 계산결과를 나타낸 것이다. 본 계산에서 H는 공히 1.0이므로 0.01에서부터 0.1까지의 변화는 종횡비 100에서 10까지의 변화를 나타낸다. 종횡비 100인 L=0.01인 경우에는 Ra=10⁶-10¹⁰까지 변화하는 동안에 Nu수가~100 근처에서 일정하게 유지됨을 보여주고 있는데 이는 유동강도가 증가함에도 불구하고 Ra수가 계산 전영역에서 높은 종횡비에 의해 전동성열전달 영역을 벗

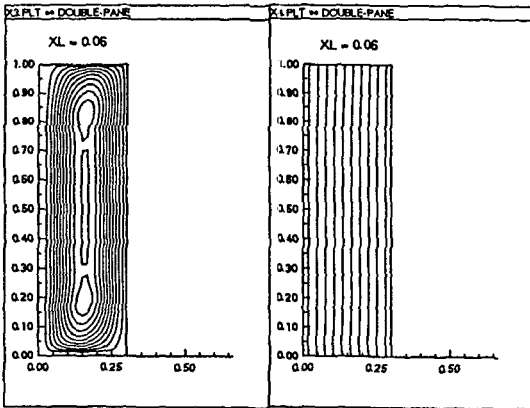


Fig. 2. Streamline and isothermal line for $Ra \approx 10^8$ and $L=0.06$.

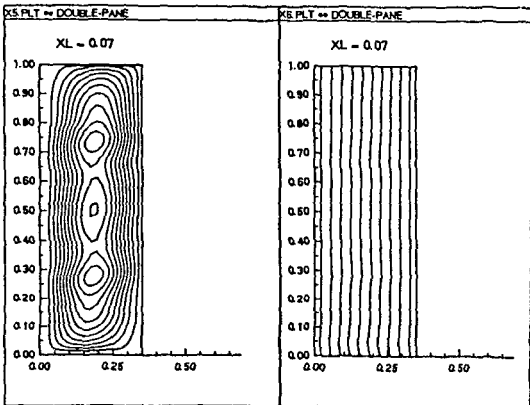


Fig. 3. Streamline and isothermal line for $Ra \approx 10^8$ and $L=0.07$.

어나지 못하고 있기 때문으로 판단된다. 이 경우에 대류열전달의 영향이 나타나기 위한 Ra값을 참고로 계산하여 보면 $Ra^{1/4} > 100$ 이어야 하므로 $Ra > 10^8$ 보다 커야한다. 종횡비가 50인 $L=0.02$ 인 경우에는 Ra수가 10^8 보다 낮은 영역에서는 $L=0.01$ 인 경우에 비해 Nu수가 1/2로 감소함을 보이고 있다. 이는 예상했던 결과로써 유동 영향이 나타나지 않는 상태에서 이중창간의 간격이 2배로 증가된 것에 기인한 전도 열저항의 단순 증가에 의한 것이다. 그러나 유리창 사이의 거리가 0.01에서 0.02로의 증가는 유동 영향이 나타나기 시작하는 Ra수를 낮아지는 양상을 보이고 있다. 이 경우에는 Ra수가 10^8 부터 서서히 변화하는 양상이 나타났으며 10^{10} 에 이르러서는 전도만에 의한 값 $Nu=52.7$ 에 비해서 70%나 증가한 89.5를 보이고

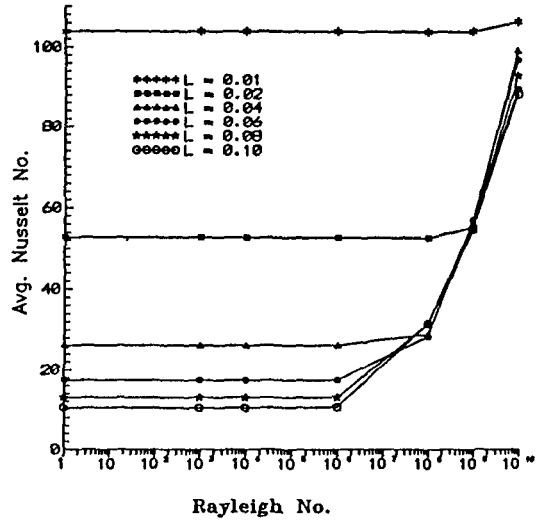
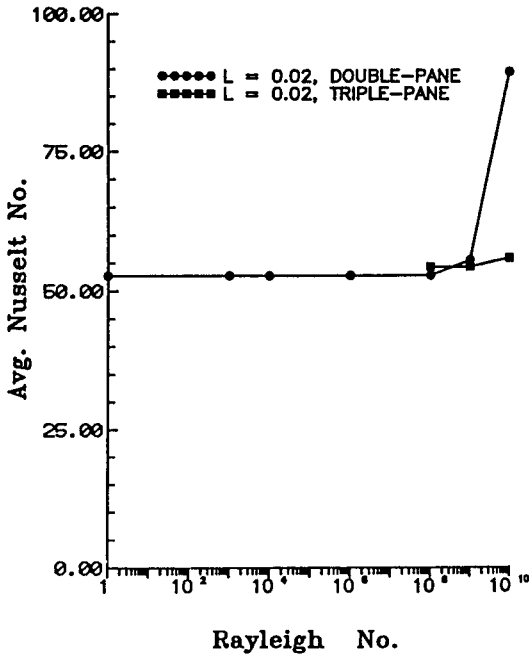


Fig. 4. Average Nusselt No. calculation as a function of Ra No. for various double pane width.

있다. 그림 4는 종횡비 $L=0.04, 0.06$ 등으로 증가함에 따라 유동에 의한 영향이 나타나는 Ra수가 점점 작아지는 양상을 일관성 있게 보여주고 있다.

서론에서 언급한대로 Ra수가 10^7-10^{10} 범위가 현실적으로 흥미있는 영역임을 고려하면 그림 4의 결과는 이 영역에서 열전달 양상은 아주 극심한 변화를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, Ra수가 비교적 낮은 경우는 예, $Ra=10^7$ 전도 영역에 해당하기 때문에 이중창의 간격(L)이 늘어남에 따라 이중창 사이의 공기는 훌륭한 절연체 역할을 하지만은 Ra수가 높은 경우, 예를 들어, $Ra=10^{10}$ 인 경우에는 1cm 간격의 이중창이나 이중창 간격이 10cm인 경우에도 열전달 성능은 대차가 없고 에너지 절약 효과가 거의 없는 극단적인 양상을 보여주고 있다. 이상의 결과를 토대로 하여 볼 때 이중창의 단일 효과는 일반적으로 바람직하다고 볼 수 없는데 그 이유는 이중창 사이의 간격이 작을 때에는 유동열전달 효과는 작으나 열전도(conduction)의 효과가 두드러지고 열전도를 작게 하기 위해 간격을 넓혔을 때는 유동에 의한 영향이 심하게 나타나 전도 열저항 증가를 상쇄시키기 때문이다.

유동에 의한 열전달이 매우 커지는 Ra수가 높은 영역 $10^8, 10^9, 10^{10}$ 인 경우에 대하여 이중창에 'partition'을 설치한 3중창 열전달을 조사하였다. 본



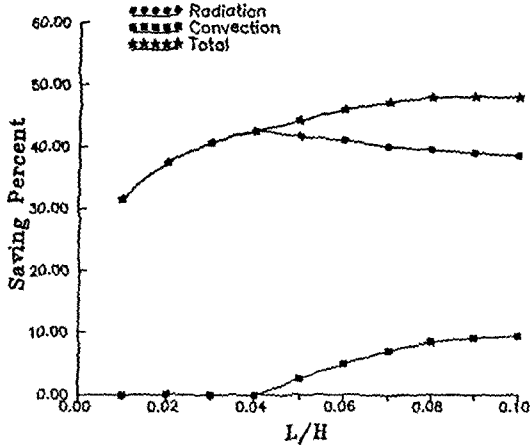


Fig. 9. Heat transfer reduction of triple pane compared to double pane for Ra=10⁸.

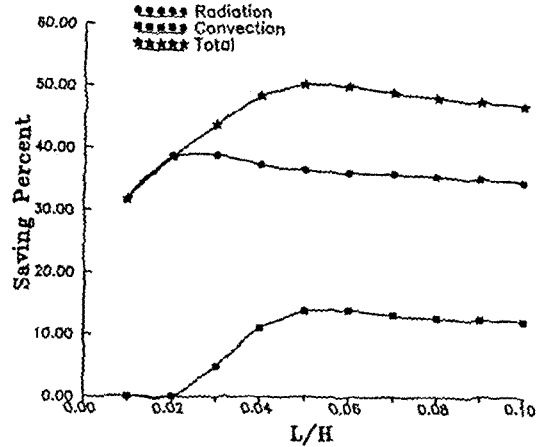


Fig. 10. Heat transfer reduction of triple pane compared to double pane for Ra=10⁹.

효과가 거의 없는 전도성 영역에서 중간 차폐 장치로 삽입한 가운데 유리의 전도도가 공기의 전도도에 비해 상당히 큰 것에 기인한다. 그러나 L이 증가함에 따라 3중창은 실질적인 열차폐 효과를 보여주고 있는데 L=0.02, 0.04, 0.06, 0.08의 결과를 그림 5, 6, 7, 8에 각각 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 3중창의 효과는 Ra수가 클수록 크게 나타나는데 최대 50%까지 유동에 의한 열전달이 감소하는 것으로 보여진다. 그림 9, 10, 11은 3중창을 사용한 경우에 2중창에 비해 얻어지는 에너지 절약 효과를 각각 나타내었다. 이때에 3중창의 경우에 복사열전달은 앞에서 이미 언급한 바와 같이 'diffuse', 'opaque', 'graybody' 가정을 사용하여 아래식 (21)로 계산하였다.

$$q_{rad, triple} = \frac{\sigma(T_{hot}^4 - T_{cold}^4)}{\frac{4(1-\epsilon)}{\epsilon} + \frac{2}{F}} \quad (21)$$

그림에 나타난 바와 같이 3중창에서의 열차폐 효과는 Ra=10⁸일 때는 복사열차폐가 주종을 이루나 Ra수가 증가할수록 유동에 의한 영향이 증가함을 보인다. 그림 12는 Nu수를 L/H비에 따라 Ra=10⁸, 10⁹, 10¹⁰에 대하여 각각 나타내었다. 각각의 주어진 Ra수에 대하여 Nu 수가 최소가 되는 최적 유리창의 두께가 0.02-0.05 사이에 존재하는 것으로 나타난다. Nu수가 최소가 되는 최적 유리창 두께는 그림 2, 3에 나타난 바와 같은 유리창내의 유동이 'multicel-

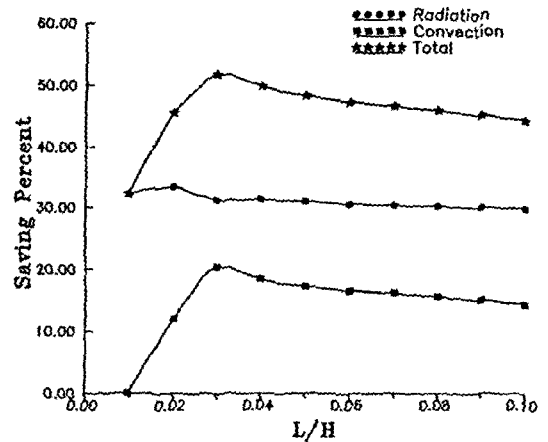


Fig. 11. Heat transfer reduction of triple pane compared to double pane for Ra=10¹⁰.

lur' 형태를 보이는 것과 일치하는데 이것은 다른 문헌에서도 발견할 수 있는 공통 현상이다[6]. 그림 12의 결과에서 얻을 수 있는 실질적인 유용한 결론은 Nu수는 L/H비가 아주 작은 경우, 즉 L=0.01를 제외하고는 같은 Ra수에 대해서는 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 L이 작아짐에 따라 Nu수는 급격하게 증가하므로 효과적인 절연을 위해서는 L이 비교적 큰 것이 바람직하다고 할 수 있다.

그리고 최적유리창 사이의 간격은 그림 12에서 각 Ra수에 따라 최저가 되는 L의 두께로써 Ra수가 10¹⁰인 경우에는 L=0.02이고 Ra수가 10⁸인 경우에

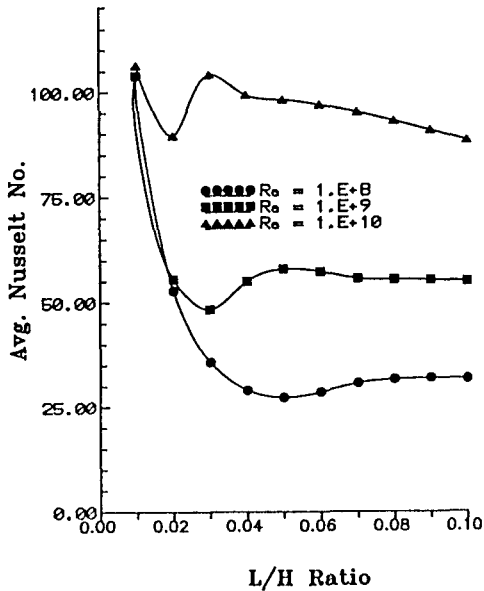


Fig. 12. Avg. Nusselt No. calculation as a function of L/H ratio for $Ra=10^8, 10^9, 10^{10}$.

는 $L=0.03$ 으로 Ra 수가 감소함에 따라 증가하는 양상을 보이고 있다. 그러나 같은 높이와 간격을 가진 이중창 문제에서도 Ra 수는 지방과 계절에 따라 다르고 하루중에서도 오전, 오후, 낮과 밤에 달라서도 달라지므로 실제 설계에서는 유리창 사이의 최적 간격을 결정하는 것은 현실적으로 용이한 문제라고 할 수 없다. 그림 9의 결과를 토대로 분석할 때 에너지절약을 위해서는 유리창 사이의 간격을 줄이는 것보다는 Ra 수를 10^{10} 에서 10^9 으로 또는 10^9 에서 10^8 등으로 감소시키는 것이 Nu 수를 현실적으로 감소시키는 방법이라고 판단된다. 이를 위하여 유리창의 높이를 1/2로 줄이면 L/H 비는 2배 증가하나 $Ra \sim H^3 \Delta T$ 의 관계에서, Ra 수는 1/8배 즉, 1/10배 정도 감소한다. 이것이 의미하는 바는 창을 높이를 반으로 줄였을 때 Ra 수가 1/10로 작아짐을 뜻하고 이는 Nu 수의 현실적인 감소를 의미하므로 상당한 에너지 절약을 기대할 수 있다고 보여진다. 이러한 사실을 실험적으로 확인하기 위해 아래와 같은 일련의 실험을 수행하였다.

3. 이중창 열전달 실험

이중창의 높이를 줄이는 것이 어느 정도의 열차폐

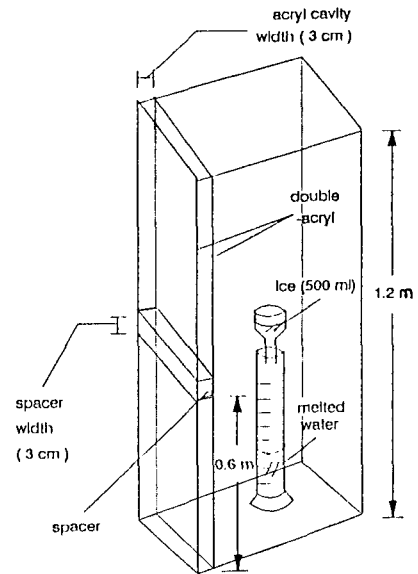


Fig. 13. Experimental set-up of double pane window with spacer.

Comparison of Heat Transfer Rate across the Double-pane w/ and w/o Spacer

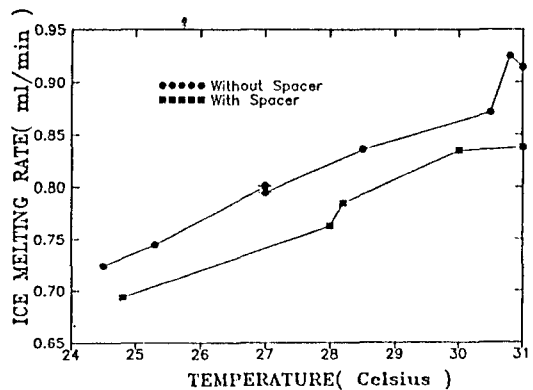


Fig. 14. Comparison of heat transfer rate across the double pane and without spacer.

효과가 있는지를 검토하기 위하여 다음과 같은 일련의 실험을 수행하였다. 그림 13은 실험장치를 보여주는 것으로서 $1.2 \times 0.4 \times 0.3$ m의 나무상자에서 이중 아크릴로 만들어진 전면을 제외하고 나머지 다섯면은 5 cm 두께의 스티로 폼으로 절연시켰다. 이중유리창을 모사하기 위해서 5 mm 두께의 아크릴을 3 cm 사이를 두고 아크릴을 이중으로 설치하

였으며 높이에 따른 영향을 검토하기 위하여 높이 1.2 m되는 박스 중간에 이중 아크릴을 설치하고 3 cm 넓이 빈공간을 두어 이중 유리 상단과 하단의 유동과 열전달을 차폐할 수 있도록 하였다. 박스 내부의 기밀성을 유지하기 위해 이중아크릴은 매우 단단하게 박스에 부착시켰으며 실리콘으로 공기의 유입 등을 방지하였다. 이렇게 함으로서 전면의 이중유리창을 제외하고는 박스 내부와 외부 사이에 열전달 효과를 가능한 감소시켰으며 스페이서의 유무, 즉 이중창 높이에 따른 열전달 효과를 검토하기 위해 박스 내부에 물 500 ml를 열려 녹는 속도를 관찰하였다. 박스 외부의 온도는 항온이 유지되는 실험실에서 온도를 24°C ~ 31°C 범위에서 변화시켜 가며 15회 이상의 실험을 통하여 온도에 따른 영향 및 실험 결과의 일관성 여부를 세밀하게 검토하였다.

실험결과(그림 14)에 의하면 전 실험에 대해 스페이서가 없는 경우가 스페이서가 있는 경우보다 열음이 녹는 속도가 ~10% 정도 빨랐다. 이상의 결과에서 볼 때에 이중창의 높이를 1/2로 감소시키거나 중간 높이에 스페이서를 설치함으로써 10% 정도의 에너지 절약이 가능하다고 판단된다.

4. 결 론

수치해석방법과 실험적인 방법을 토대로 하여 이중유리창에 대해 열전달 성능을 분석한 결과 아래와 같은 유용한 결론을 얻었다.

첫째, 이중유리창의 중앙에 유리 하나를 더 설치한 3중유리창의 열차폐 효과는 이중유리창에 비해 30~50% 정도의 에너지 절약 효과가 기대되는데 이중복사열차폐에 의한 효과는 20~40%이고 유동감소에 의한 효과는 10%로써 복사열차폐에 의한 효과가 두드러졌다.

둘째, 이중창의 유동에 의한 열전달을 감소시키기 위한 방법으로 이중유리창의 높이를 1/2로 줄이거나 또는 중간에 스페이서(spacer) 등에 의한 유동 및 열차폐 방법 또한 10% 정도의 에너지 절약 효과를 기대할 수 있다.

본 논문에서 고려한 $Ra=10^{10}$ 영역은 층류가 아니라 난류 영역으로써 난류유동모델을 고려하지 않은 본 논문의 결과는 그 경향만을 정성적으로 예측하였다고 판단되며 난류모델을 사용한 높은 Ra 수

영역에 대한 문제는 추후 연구 대상임을 밝힌다.

Nomenclature

A	:aspect ratio
C_p	:specific heat
F	:radiation view factor or shape factor
g	:gravity
H	:height
k	:thermal conductivity
L	:width
p	:pressure
P	:modified pressure
Pr	:Prandtl number
Ra	:Rayleigh number
T	:temperature
u	:axial velocity
U	:dimensionless axial velocity
v	:radial velocity
V	:dimensionless radial velocity
x, y,	:coordinate
α	:thermal diffusivity
a_{10b}	:thermal expansion coefficient
δ_T	:thermal boundary layer thickness
ϵ	:emissivity
θ	:dimensionless temperature
μ	:dynamic viscosity
ν	:kinematic viscosity
ρ	:density
σ	:Sefan-Boltzman constant

참고문헌

1. 박상동, 서항석, 조성환, 유승선, 공기집열장치시스템 개발 연구(I), 한국에너지기술연구소 보고서(1989년 4월).
2. Pratt, A.W., Heat Transmission in Buildings, John Wiley & Sons, (1981).
3. Thomas, L.C. Heat Transfer, Prentice-Hall Int'l, Inc. (1992).
4. Bejan, A., Convection Heat Transfer, John Wiley & Sons, p. 166 (1984).
5. Korpela, S.A., Y. Lee and J.E. Drummond, "Heat

- Transfer through a Double Pane Window”, Journal of Heat Transfer, Vol. 104, pp. 539-594 (1982).
6. Lee, Yee and S.A. Korpela, “Multicellular Natural Convection in a Vertical Slot”, J. Fluid Mech. Vol. 126, pp. 91-121 (1983).
 7. Patankar, S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation (1980).
 8. 송은영, 축상형 사이클론, 이중창, 스토키소각로 고도설계를 위한 열유동치 해석연구, 충남대학교 환경공학과 석사학위 논문(1993예정).
7. Patankar, S.V., Numerical Heat Transfer and