

단열성 시험 방법을 통한 진공유리의 구성 및 필러 배치에 따른 열 성능 평가

The Evaluation of Thermal Performance of Vacuum Glazing by Composition and the Pillar Arrangement through Test Method of Thermal Resistance

조 수*† · 김석현*,** · 엄재용***

Cho Soo*† , Kim Seok-Hyun**, Eom Jae-Yong***

(Received 30 December 2014; accepted 9 February 2015)

Abstract : The advanced countries effort to the supplement of the zero energy buildings for the global building energy saving. In the middle of the development of passive technology, the government has to effort to the energy saving of buildings by enhanced performance of the window thermal insulation. By the method of enhanced performance of window thermal insulation, the use of vacuum double glazing saves the energy consumption in building. This glazing has low U-value(heat transmission coefficient) than normal double glazing. The vacuum glazing enhanced thermal insulation performance by vacuum space of between the glass and glass. For this vacuum glazing, pillar maintain the space between glass and glass. But this structure cause the raising the heat transmission coefficient in pillar approaching glass.

This study confirmed the U-value by the test method of thermal resistance for windows and doors. Also this study confirmed the variation of heat transmission coefficient by the structure of vacuum glazing. And this study measured the surface temperature of the vacuum glazing about pillar approaching glass and vacuum space in cool chamber and hot box. That result, this study confirmed U-value of 0.422 W/m²·K of vacuum glazing. Also this study confirmed U-value of 0.300~0.422 W/m²·K by various the structure of vacuum glazing. And this study confirmed the heat flow in pillar approaching glass.

Key Words : 진공유리(Vacuum glazing), 단열성 시험 방법(Test method of performance), 필러(Pillar), 열관류율(Heat transmission coefficient), 건물에너지(Building energy), 창(Window)

*† 조 수(교신저자) : 한국에너지기술연구원
E-mail : scho@kier.re.kr, Tel : 042-860-3231

*,**김석현 : 한국에너지기술연구원, 영남대학교 대학원 건축공학과

***엄재용 : 인하대학교 대학원 건축공학과

*† Cho Soo(corresponding author) : Korea Institute of Energy Research.

E-mail : scho@kier.re.kr, Tel : 042-860-3231

*,**Kim Seok-Hyun : Korea Institute of Energy Research, Department of Architecture Engineering, Yeungnam University

***Eom Jae-Yong : Department of Architecture Engineering, Inha University

기 호 설 명

- K : 열관류율 ($W/m^2 \cdot K$)
- A : 전열 개구 면적 (m^2)
- Q_{Ha} : 가열 상자 내 평균 공기온도 (K)
- Q_{Ca} : 저온실 내 평균 공기온도 (K)
- Q_H : 가열 장치 공급열량 (W)
- Q_F : 기류 교환 장치 공급열량 (W)
- Q_I : 교정열량 (W)

1. 연구의 배경 및 목적

현재 주요 선진국은 건축물의 패시브(Passive) 기술을 기반으로 IT융합을 통한 에너지관리기술 및 신재생에너지 융합을 통해 시장 주도권을 확보하고 있으며, 최종 목표는 자립형 또는 제로에너지 수준의 건물을 구체적으로 구현하기 위한 NZEBs(Net Zero Energy Buildings)프로그램이 진행되고 있다.¹⁾ 이에 우리나라에서도 그린에너지 전략 로드맵 등을 통해 에너지절약형 건물을 구현하는데 많은 노력을 기하고 있다.

각종 융합기술을 통하여 건물의 냉난방 에너지절약에 관한 노력이 가해지는 가운데, 기본적인 패시브 기술의 개발은 더욱 중요하게 여겨지고 있다. 건물에너지 절약을 위한 패시브 기술 중 창호부분은 단열 성능의 강화를 위해 여러 가지 기술이 개발되고 있다. 그중에서 유리 부분의 단열성능 향상을 위하여, 두장의 유리 사이에 공간을 유지하는 복층유리에 대한 기술개발 진행되고 있다. 이때 유리가 공간을 건조공기층으로 유지하거나, 불활성 가스 충전 또는 진공층을 형성하여 단열성능을 개선하고 있다.

진공유리는 호주 시드니 대학에서 개발이 시작된 이래 관련 연구가 지속적으로 진행되어 왔으며 국내에서는 진공유리의 설계 조건에 따른 단열 성능 연구²⁾를 통해 3차원 CFD(computation fluid dynamics)를 이용하여 진공유리의 내부 압력, 간격, 방사율, 지지기둥 간격에 따른 열관류율을 확인하였다. 또한 가드열판기의 원리를 이용한 실험과 이론식을 통해 진공유리의 열전달계수를 확인하였다.³⁾ 이러한 수치적 해석이나 이론적 검증이 이루어지고 있는 가운데 진공간극 유지를 위해 배치하는 필리의 배치 간격에 따른 유리의 강도를 해석 및 시험을 통해 그 내구성 또한 검증이 이루어지고 있다.⁴⁾ 그러나 실제 물리적 시험방법을 통한 열 성능 확인에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 국내 창 세트 성능 측정 방법 규격인 「KS F 2278:창호의 단열성 시험방법」⁵⁾의 규격을 통해, 물리적 실험으로 진공유리의 열관류율을 측정하여 열 성능을 확인하였고, 진공유리의 구성에 따른 열관류율의 변화와 필리 배치 간격에 따른 열관류율 변화를 확인하였다. 또한 진공유리 표면온도 측정을 통해 필리배치에 따른 진공유리의 열 성능 특성을 확인하였다.

1) 한국에너지기술평가원, 그린에너지 전략로드맵 2011 에너지절약형건물, 2011

2) 황일선, 이영림, 진공유리의 설계조건에 따른 단열 성능 연구, 한국생산제조시스템학회지, 2012
 3) 이보화, 윤일섭, 송태호, 곽호상, 단열 진공유리의 제작 및 열전달계수 측정에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 논문집, 2006
 4) 김재경, 전의식, 진공간극 유지용 필리의 배치 간격에 따른 유리의 강도 해석 및 시험, 대한설비공학회 학술 발표대회, 2013
 5) KS F 2278:창호의 단열성 시험방법, 산업통상자원부 기술표준원, 2014

2. 진공유리 열 성능 평가

2.1 실험개요

본 연구에서는 진공유리의 열 성능 평가를 위해 창호 열관류율(U-value)을 측정하는 산업규격인 「KS F 2278:창호의 단열성 시험방법」의 실험방법을 참고하여 진공유리 시험체를 제작하였고, 진공유리의 열관류율을 측정하였다. 시험조건은 KS F 2278의 규격에서 제시하는 시험조건과 동일하도록, 저온실(Cool chamber)은 0(±1)℃, 향온실(Warm chamber)의 가열상자(HOT BOX)는 20(±1)℃로 설정하였고 시험장비의 내부온도 및 투입 열량의 정상상태를 확인 후, 90분 동안 30분의 간격으로 총 3회의 데이터를 측정하였다. 본 연구에서 사용된 진공유리 시험체의 크기는 1,500 mm(W) × 1,500 mm(H)으로 구성하였다.

가열상자와 저온실 사이에 시험체를 설치한 뒤, 계측장비를 통해 측정된 히터와 기류교환 장치의 전력량 등을 이용한 시험체의 열관류율 계산은 실제 진공유리의 열관류율을 확인하기 위해 「KS F 2278:창호의 단열성 시험방법」에서 창 세트의 열관류율을 계산하는 식 1과 같이 계산하였다. 그림 1은 진공유리 단면을 나타내며, 그림 2은 열관류율 측정장비의 구성을 나타내고 그림 3은 시험체를 부착한 모습을 나타낸다.

$$K = \frac{Q_H + Q_F - Q_I}{(Q_{Ha} - Q_{Ca}) \cdot A} \quad (1)$$

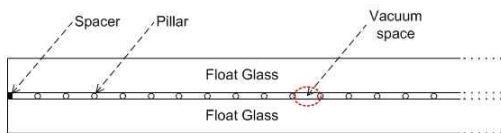


Fig. 1 Sectional view of vacuum glazing specimen

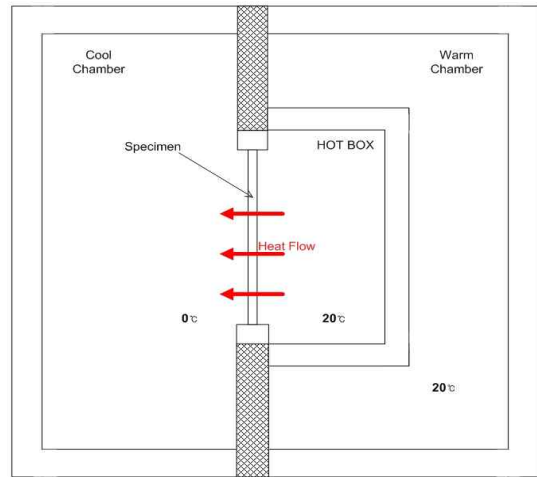


Fig. 2 Heat transmission coefficient measure chamber



Fig. 3 View of specimen

2.2 열관류율 측정

진공유리의 구성 및 필러 배치에 따른 열 성능을 확인하기에 앞서, 일반적으로 많이 사용되는 투명복층유리(CASE 1-1)와 로이유리와 투명유리로 구성된 로이복층유리(CASE 1-2)의 열관류율과 로이유리와 투명유리를 사용하고 중공층을 진공으로 구성한 진공유리(CASE 1-3)의 열관류율을 실험을 통해 확인하여 진공유리의 열 성능 우수성을 확인하였다. 표 1은 열관류율 비교 분석에 사용된 창호의 구성을 나타내고 그림 4은 구성 단면을 나타낸다.

Table. 1 The glazing component by CASE

CASE	Glazing
CASE 1-1	5 mm CL + 12 mm Air + 5 mm CL
CASE 1-2	5 mm CL + 12 mm Air + 5 mm Low-e
CASE 1-3	5 mm CL + 0.25 mm Va + 5 mm Low-e

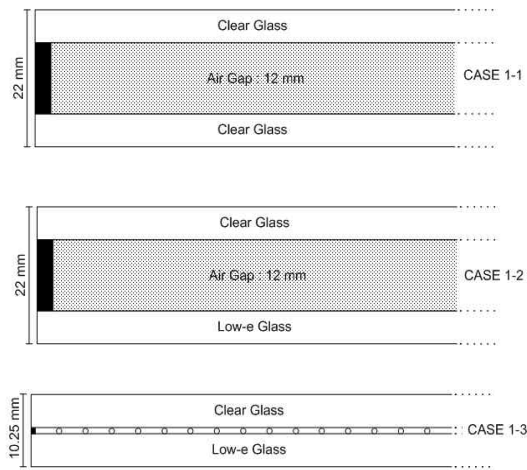


Fig. 4 Glazing sectional view by CASE

가열장치 사용전력 측정 결과, 투명유리로 구성된 투명복층유리를 사용한 CASE 1-1은 측정기간 동안 평균 약 114 W의 전력소비량이 나타났고 로이복층유리를 사용한 CASE 1-2의 경우 평균 약 82 W의 전력소비량이 나타났으며, 로이유리를 적용한 진공유리인 CASE 1-3의 경우는 평균 약 33 W의 전력소비량을 나타냈다. 또한 기류순환장치의 CASE 별 평균 전력 사용량은 약 11 W로 나타났다. 이를 통해 투명복층유리(CASE 1-1)보다 로이복층유리(CASE 1-2)의 전력소비량이 약 29% 감소하는 것을 확인하였고 진공유리(CASE 1-3)는 전력소비량이 약 72%감소하는 것을 확인하여, 로이유리만 적용하는 경우보다 진공층을 형성하는 경우가 가열장치의 전력 소비량이 대폭 감소하는 것을 확인하였

다. 그림 5, 6은 각 CASE별 가열장치의 사용 전력량 및 기류순환장치의 사용 전력량을 나타낸다.

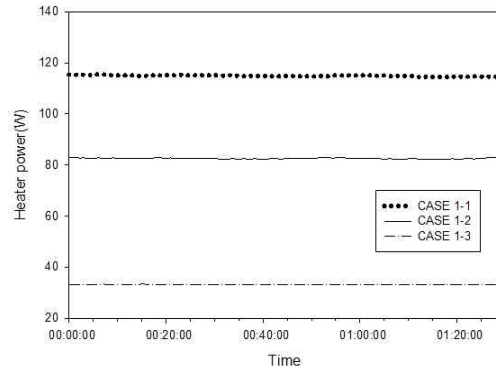


Fig. 5 Heater Power consumption by CASE

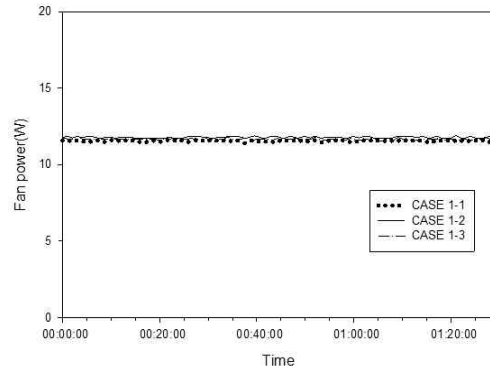


Fig. 6 Fan Power consumption by CASE

열관류율 분석 결과, 투명유리로 구성된 투명복층유리(CASE 1-1)의 경우는 열관류율이 $2.840 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 나타났고 로이유리를 적용한 로이복층유리(CASE 1-2)의 경우 $1.877 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 의 열관류율을 보였다. 그리고 로이유리를 적용한 진공유리(CASE 1-3)의 경우 $0.422 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 의 열관류율을 나타냈다. 투명유리를 적용한 투명복층유리 경우보다 방사율이 낮은 로이유리를 사용한 로이복층유리의 열관류율이 약 34% 낮게 나타났고 진공층을 추가한 진

공유리의 경우 진공층이 단열성능 증가시켜 로이복층유리에 비해 약 77%의 열관류율 감소가 나타나는 것으로 보인다. 물리적 시험방법을 통한 열관류율 측정으로 투명복층유리나 로이복층유리에 비해 진공유리의 열관류율이 낮게 나타나는 것을 확인하였고 이를 통해 진공유리의 단열 성능이 투명복층유리나 로이복층유리에 비해 우수한 것을 확인하였다. 그림 7은 case별 열관류율을 나타낸다.

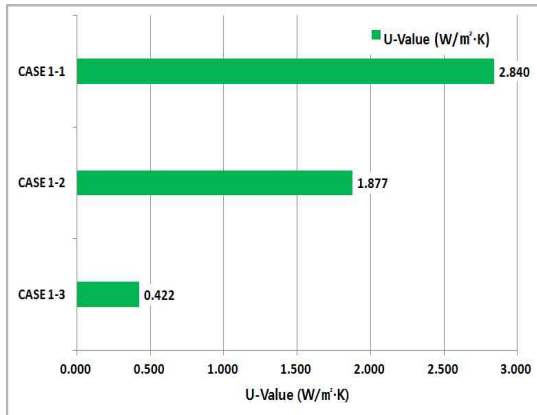


Fig. 7 Glazing U-value by CASE

3. 진공유리 구성에 따른 열 성능 평가

진공유리가 투명유리와 로이유리의 복층창 구조보다 단열성능이 우수한 것을 물리적 실험을 통해 확인하였다. 본 장에서는 진공유리의 구성에 따른 열 성능을 확인하기 위하여 진공유리(CASE 2-1), 투명유리와 진공유리를 복층 구성한 투명진공복층유리(CASE 2-2), 로이유리와 진공유리를 복층 구성한 로이진공복층유리(CASE 2-3)의 열관류율을 측정하여 비교 분석하였다. 표 2는 측정에 사용된 CASE 별 유리 구성을 나타내고 그림 8은 구성 단면을 나타낸다.

Table. 2 Vacuum glazing component by CASE

CASE	Glazing	Pillar interval
CASE 2-1	5 mm CL + 0.25 mm Va + 5 mm Low-e	40 mm
CASE 2-2	5 mm CL + 12 mm Air + 5 mm CL + 0.25 mm Va + 5 mm Low-e	
CASE 2-3	6 mm Low-e + 12 mm Air + 5 mm CL + 0.25 mm Va + 5 mm Low-e	

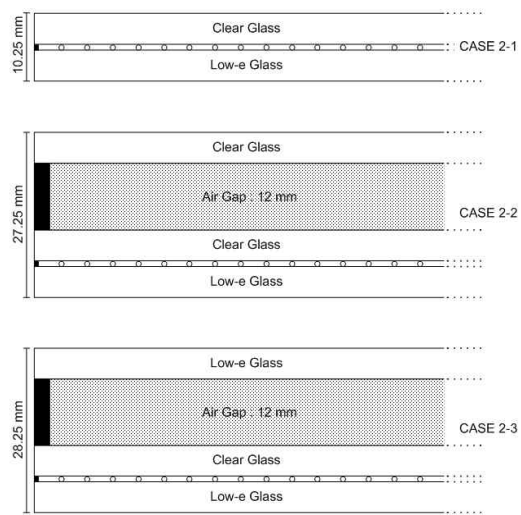


Fig. 8 Vacuum glazing sectional view by CASE

열관류율 분석 결과, 로이유리를 일면 적용한 진공유리(CASE 2-1)는 0.422 W/m²·K의 열관류율을 나타냈고 투명유리로 복층 구성한 투명진공복층유리(CASE 2-2)는 0.363 W/m²·K의 열관류율을 나타냈으며 로이유리로 복층 구성한 로이진공복층유리(CASE 2-3)는 0.300 W/m²·K의 열관류율을 나타냈다. 이러한 결과를 통해 진공유리(CASE 2-1)보다 투명진공복층유리(CASE 2-2)와 로이진공복층유리(CASE 2-3)의 단열 성능이 우수한 것으로 나타났고 복층유리 중에서 로이면의 적용 유무에 따라 단열 성능의 차이가 발생함을 알 수 있었다. 그림 9은 진공유리 구성에 따른 열관류율을 나타낸다.

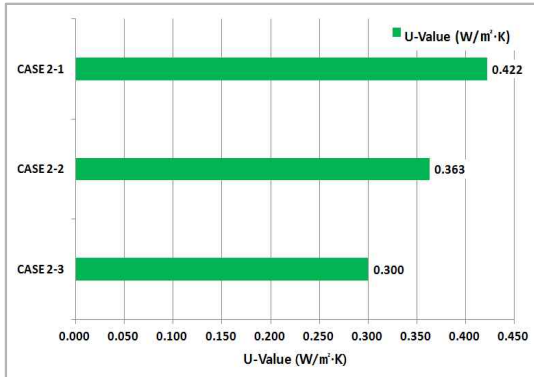


Fig. 9 Vacuum glazing U-value by CASE

4. 필러 간격에 따른 진공유리 특성 확인

진공유리의 진공공간유지용 필러는 유리표면과 접촉하는 면적이 적을수록 열손실은 감소되지만 설치 간격이 과도하게 넓게 되면 필러 주위에 응력이 집중되어 유리가 파괴될 수 있다. 따라서 적당한 간격의 필러 배치가 필요하다. 이에 본 장에서는 필러 배치간격에 따른 단열성능의 변화를 확인하기 위해, 물리적 실험을 통한 진공유리의 열관류율 변화를 확인하고 유리면과 필러가 접촉하는 부분과 유리면과 필러가 접촉하지 않는 부분의 표면온도를 비교 분석하였다.

4.1 필러 간격에 따른 열관류율 비교 분석

열관류율 비교를 위한 시험체는 필러 간격 배치에 따른 성능 변화를 확인하기 위하여 진공공간 유지용 필러의 배치 간격을 각각 40 mm(CASE 3-1), 50 mm(CASE 3-2)로 달리 하여 비교분석하였다. 표 3는 필러 배치 변화에 따른 진공유리 구성을 나타내고 그림 10은 필러간격을 40 mm, 50 mm로 배치한 진공유리의 단면을 나타낸다.

Table. 3 Vacuum glazing component by CASE

Case	Glazing	Pillar interval
CASE 3-1	5 mm CL + 0.25 mm Va	40 mm
CASE 3-2	+ 5 mm Low-e	50 mm

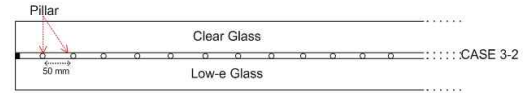
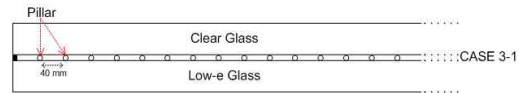


Fig. 10 Vacuum glazing sectional view by pillar interval

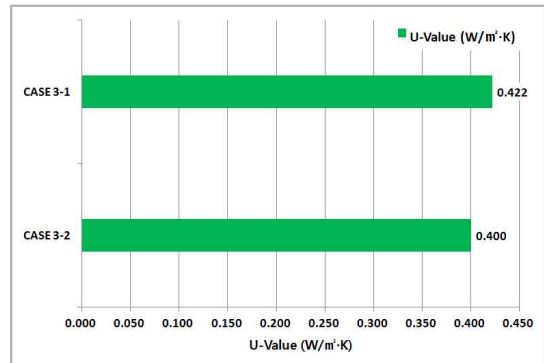


Fig. 11 U-Value of vacuum glazing by pillar interval

필러 배치에 따른 진공유리의 열관류율을 분석한 결과, 필러간격이 40 mm(CASE 3-1)인 경우 열관류율은 0.422 W/m²·K로 나타났고 필러간격을 50 mm(CASE 3-2)인 경우는 열관류율이 0.400 W/m²·K로 나타났고 필러간격이 40 mm(CASE 3-1)인 경우보다 필러간격이 50 mm(CASE 3-2)인 경우의 열관류율이 약 0.022 W/m²·K 낮게 나타났다. 이를 통해 필러간격을 넓혀 상대적으로 필러를 통한 열손실을 줄이는 경우 진공유리의 단열성능을 향상시킬 수 있음을 정량적으로 확인하

였다. 그림 11은 필러 배치 간격에 따른 진공 유리의 열관류율을 나타낸다.

4.2 진공유리 표면온도 분석

진공유리의 필러는 간극을 지지하며 유리와의 접촉하여 전도 손실을 가져올 수 있기 때문에 필러가 유리와 접촉하는 부분과 필러가 삽입되지 않은 부분의 표면온도를 각각 저온실측과 가열상자 측 표면에서 측정하였다. 그림 12은 진공유리의 표면온도 측정지점을 나타낸다.

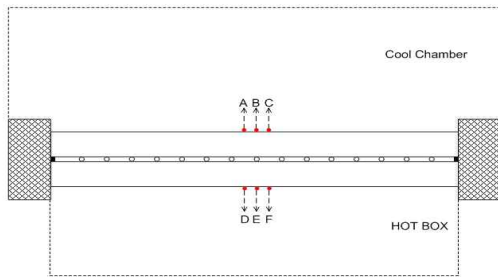


Fig. 12 Measure point on surface of vacuum glazing

측정결과, 저온실과 인접한 진공유리 표면은 필러와 접촉한 유리 부분인 B 지점의 표면온도가 0.45~0.83°C의 분포를 나타냈으며 측정기간 평균 0.65°C로 나타났고, 필러가 없는 진공유리 부분의 유리 표면인 A와 C 지점의 온도는 각각 0.53~0.80°C, 0.53~0.88°C의 분포를 나타내며 측정기간 평균 0.69°C, 0.73°C로 나타났다. 또한 가열상자와 인접한 진공유리 표면은 필러 부분인 E 지점의 표면온도가 19.00~19.20°C로 나타났고 측정기간 평균 19.12°C로 나타났다. 필러가 없는 진공유리 부분인 D와 F의 유리 표면온도는 각각 19.13~19.38°C, 19.25~19.73°C로 나타났고 측정기간 평균 19.23°C, 19.50°C로 나타났다. 이는 저온실의 경우, 공기온도보다 표면의 온도가 높기 때문에 필러에 면하는 부분이 열전도가 이루어져 주위에 비해 온도가 낮아진

것으로 보이며 가열상자의 경우는 공기온도가 표면온도보다 높기 때문에 저온실 쪽으로 열전도가 이루어져 필러와 접한 부분의 유리 표면이 주위에 비해 상대적으로 온도가 낮아진 것으로 보인다. 이를 통해 필러가 지지하는 진공유리의 부분이 전도에 의한 열 교환이 더 활발한 것을 확인 할 수 있었다. 그림 13은 측정시간 동안 저온실측 진공유리 표면온도 분포를 나타내고 그림 14은 측정시간 동안 가열상자 측 진공유리 표면온도 분포를 나타낸다.

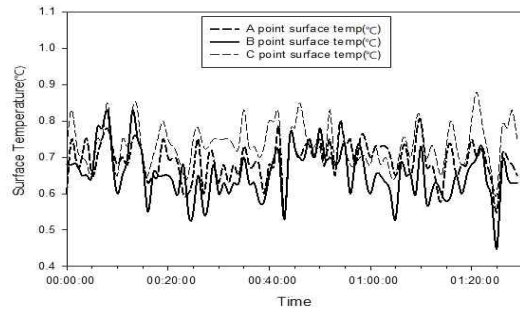


Fig. 13 Temperature on surface of vacuum glazing in cool chamber

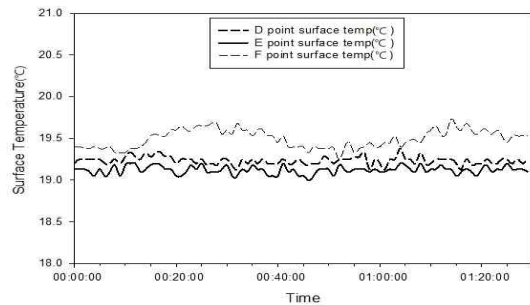


Fig. 14 Temperature on surface of vacuum glazing in hot box

5. 결 론

본 연구에서는 진공유리의 열 성능을 확인하기 위해 물리적 시험방법을 통한 열관류율을 분석하고 진공유리 구성에 따라 열관류율 성능 변

화를 확인하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 투명복층유리와 로이복층유리에 대한 진공유리의 단열 성능 비교를 위해 단열성 시험을 실시한 결과, 투명복층유리의 열관류율이 $2.840 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 로이유리를 적용한 로이복층유리의 경우 $1.877 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 로이유리를 적용한 진공유리의 경우 $0.422 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 의 열관류율을 확인하여 진공유리의 단열 성능이 우수한 것을 확인하였다.
- (2) 진공유리의 구성 차이에 따른 단열성 시험 결과, 로이유리를 일면 적용한 진공유리는 $0.422 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 의 열관류율을 나타냈고 투명유리로 복층 구성한 투명진공복층유리는 $0.363 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 의 열관류율을 나타냈으며 로이유리로 복층 구성한 로이진공복층유리는 $0.300 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 의 열관류율을 나타냈다. 이를 통해 로이진공복층유리의 단열 성능이 우수한 것으로 나타났고 진공복층유리 중에서 로이면의 적용 유무에 따라 단열 성능의 차이가 발생함을 알 수 있었다.
- (3) 진공유리의 필러 배치 간격에 따른 단열 성능을 확인하기 위해 필러간격을 바꾸어 단열 성능을 확인한 결과, 필러간격을 40 mm로 둔 진공유리의 열관류율은 $0.422 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 나타났고 필러간격을 50 mm로 둔 진공유리의 경우는 열관류율이 $0.400 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 으로 나타나 필러간격을 넓혀 상대적으로 필러를 통한 열손실을 줄이는 경우 진공유리의 단열성능을 향상 시킬 수 있음을 정량적으로 확인하였다.
- (4) 진공유리의 표면온도 측정을 통해 필러가 단열 성능에 미치는 영향을 확인하였다. 측정결과, 저온실과 인접한 진공유리 표면은 필러와 접촉한 유리 부분은 표면온도가 측정기간 평균 0.65°C 로 나타났고, 필러가 없는 진공층 부분의 유리 표면의 온

도는 각각 측정기간 평균 0.69°C , 0.73°C 로 나타났다. 또한 가열상자와 인접한 진공유리 표면은 필러와 접촉한 유리 부분의 표면온도가 측정기간 평균 19.12°C 로 나타났다. 진공층 부분의 유리 표면온도는 각각 측정기간 평균 19.23°C , 19.50°C 로 나타났다. 이를 통해 필러가 지지하는 진공유리의 표면에서 전도에 의한 열 교환이 더 활발한 것을 확인 할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0017458).

Reference

1. Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planing, Green Energy strategy road map Energy saving Building, 2011.
2. Hwang. I. S., Lee. Y. L., A Study of Adiabatic Performance for Vacuum Glazing with Design Conditions, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol.21 No.4 pp.582-587, 2012.
3. Lee. B. H., Yoon. I. S., Song. T. H., Kwak. H. S., Experimental Study on Manufacturing of Insulation Vacuum Glazing and Measurement of the Thermal Conductance, Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers B Vol.30 No.8 pp. 772~779, 2006.
4. Kim. J. K., Jeon. E. S., The strength Simulation and Test of Glass According to Array Separation of Pillars to Maintain Vacuum Gap, 2013 Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea winter conference, pp133-135, 2013.
5. KS F 2278, Standard test method for thermal resistance for windows and doors, 2014.