DBpia

난방부하 절감을 위한 진공유리의 열 성능 분석

Analysis on Thermal Performance of Vacuum Glazing to Reduce Heating Load

저자
(Authors)
백상훈, 박진철
Sang-hoon Baek, Jin Chul Park

출처
(Source)
대한설비공학회 학술발표대회논문집 , 2015.6, 359-362 (4 pages)

발행처
(Publisher)
대한설비공학회
The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea

URL
http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06382610

APA Style
백상훈, 박진철 (2015). 난방부하 절감을 위한 진공유리의 열 성능 분석. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 359-362.

이용정보
(Accessed)
중앙대학교 서울캠퍼스
165.194.26.63
2015/11/30 12:12 (KST)

저작권 안내
DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다.
이 자료를 원저작자와의 협의 없이 무단게재 할 경우, 저작권법 및 관련법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information
The copyright of all works provided by DBpia belongs to the original author(s). Nurimedia is not responsible for contents of each work. Nor does it guarantee the contents.
You might take civil and criminal liabilities according to copyright and other relevant laws if you publish the contents without consultation with the original author(s).

대한설비공학회 2015 하계학술발표대회 논문집 pp. 359 ~ 362

15-S-096

난방부하 절감을 위한 진공유리의 열 성능 분석

Analysis on Thermal Performance of Vacuum Glazing to Reduce Heating Load

백상훈(Sang-hoon Baek)[1], **박진철**(Jin Chul Park)[2†]

[1]중앙대학교 건축공학과 대학원, [2]중앙대학교 건축학부

[1]*Department of Architectural Engineering, Graduate School Chung-Ang University, Seoul 156-756, Republic of Korea*

[2]*School of Architecture & Building Science, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Republic of Korea*

Abstract This study was performed to evaluate structure and thermal performance of a Vacuum Glazing to reduce cooling and heating load via computer simulation. For this, we conducted works which build the mathematical model to theoretically analyze thermal performance of the Vacuum Glazing and Heat Transfer Process, and compared the U-value of the Vacuum Glazing with U-values of double glazing, filled insulating gases, 「Air」, 「Argon」, 「Krypton」 during heating period. As the results, while one showed that U-values of double glazing, injected 「Air」, 「Argon」, 「Krypton」 are each 1.405[W/m^2.K], 1.137[W/m^2.K], 0.938[W/m^2.K], another expressed that U-values of Vacuum Glazing, including 「Air+Vacuum」, 「Argon+Vacuum」, 「Krypton+Vacuum」 were calculated to each 0.580[W/m^2.K], 0.539[W/m^2.K], 0.479[W/m^2.K]. Therefore, if the Vacuum Glazing suggested in the study is applied to a building, it can be expected to achieve saving of heating load.

Key words Vacuum Glazing(진공유리), U-value(열관류율), Insulating gas(단열가스), Heating load(난방부하)

† Corresponding author, E-mail: *jincpark@cau.ac.kr*

기호설명

A : 전열면적[m]
C_p : 유체의 정압비열[W/kg-K]
C : 표면의 형상 및 Ra수의 범위에 따른 상수
Gr : Grashof Number
g : 중력가속도 [m/s^2]
H : 유리의 수직높이 [m]
h : 대류열전달계수[W/m^2-K]
k : 열전도율 [W/m-K]
L : 매질의 특성길이 [m]
Nu : Nusselt Number
Pr : Prandtl Number
$Pvac$: 진공압[Pa], [torr]
Q_{cond} : 전도에 의한 열전달 [W]
Q_{conv} : 대류에 의한 열전달 [W]
Q_{rad} : 복사에 의한 열전달 [W]
Q_{Total} : 총 열전달 [W]
Ra : Rayleigh Number
$\triangle T$: 고온측 및 저온측의 온도차 [K]
T_s : 매질의 표면온도 [K]
T_∞ : 매질 주위의 유체온도 [K]

그리스 문자

β : 체적팽창계수
δ : 유체의 특성길이 [m]
ϵ : 유리의 표면방사율
ν : 유체의 동점성계수 [m^2/s]
ρ : 유체의 밀도 [kg/m^3]
σ : Stefan-Bolzmann 상수 [W/m^2-K^4]

1. 서 론

단열가스가 주입된 이중유리의 가스층은 판유리로부터 전달되는 전도와 복사, 그리고 유리표면과 단열가스 사이에서의 대류에 의해 열성능이 결정된다. 그러나 기존의 이중유리와 달리, 진공유리의 진공층은 이론적으로 유체가 존재하지 않기 때문에 전도와 대류에 의한 열전달은 존재하지 않으며, 오직 복사에 의한 열전달만 이루어짐으로 열적인 관점에서 상반된 공간에서 에너지 흐름을 효과적으로 차단할 수 있는 뛰어난 단열성능을 가지고 있다.Philip C. Eames.(1), N. Ng et al.(2) 또한, 진공유리의 구성에 따라 겨울철의 열손실과 여름철의 열 취득을 줄일 수 있기 때문에, 연간 건물의 에너지 요구량을 감소시킬 수 있는 획기적인 건물 외피로서 활용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 난방부하

중앙대학교 서울캠퍼스 | IP: 165.194.26.63 | Accessed 2015/11/30 12:12(KST)

를 줄일 수 있는 진공유리의 구성방법과 열전달 특성을 이론적으로 분석한 후, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 난방기를 중심으로 단열가스가 주입된 이중유리와 진공유리의 U-value를 비교・분석하였다.

2. 선행연구 분석

진공유리에 대한 국외의 연구 중, 우선 진공에 따른 실내외 압력차를 극복하기 위한 저전도 필러(Pillar)의 개발에 관한 연구와 Low-emission(Low-e)코팅의 성능 및 적용방법에 따른 진공유리의 열 성능 변화에 관한 연구가 수행되고 있다. 또한, 진공유리를 위한 마감 스페이서(Finishing Spacer) 및 실링(Sealing)기술의 개발과 진공튜브를 삽입한 이중유리의 개발 등 다양한 관점에서 진공유리에 대한 연구가 수행되고 있다.Minxi Bao et al.[3], Yueping Fang et al.[4], Erdem Cuce et al.[5] 반면, 국내에서는 진공유리에 대한 이론적 연구와 단열성능 측정 등 몇몇 진공유리에 대한 연구가 수행되고 있지만, 국외와 비교하여 진공유리에 대해 이론적으로 분석하고 열적으로 효율적인 진공유리를 구성하기 위한 연구는 많이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 진공유리에 대한 이론적 분석과 난방기의 에너지 부하를 효과적으로 줄일 수 있는 진공유리의 구조를 제안하고 이에 대한 열 성능을 정량적으로 분석하고자 한다.

3. 이론적 분석

[Fig. 1]은 냉방기 및 난방기의 상반된 기후조건을 가진 지역에서 각각의 기후조건에 대응할 수 있는 진공유리의 구조를 도식화한 것이다. 실내외측에 설치된 판유리 및 필러(Pillar)를 포함하는 진공층을 가진 진공유리를 설치한 후, 단열가스가 주입된 이중유리의 형태와 동일한 방법으로, 가스층을 추가하고 최종적으로 외기와 접하는 부분에 판유리를 추가함으로서 진공유리를 형성하게 된다.

또한, [Fig. 2]는 [Fig. 1]과 같이 구성된 진공유리에 대해, 냉방기 및 난방기에 대한 열전달 과정을 회로도화한 것이며, 각각의 과정에서의 열전달은 식 (1), (2), (3)를 이용하여 산출할 수 있다. 특히, 실내외측 및 가스층에서의 대류 열전달계수는 제시된 식 (4), (5), (6)을 이용하여 계산할 수 있다.Yunusa A. Cengel.[6]

$$Q_{cond} = k \cdot A \cdot \frac{\triangle T}{L} \quad (1)$$

$$Q_{conv} = h \cdot A \cdot \triangle T \quad (2)$$

$$Q_{rad} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

$$h = \frac{H}{\delta} Nu \quad (4)$$

$$Nu = \frac{h\delta}{k} = C(Gr \cdot \Pr) = CRa \quad (5)$$

$$Ra = GrPr = \frac{g \cdot \beta(T_s - T_\infty) \cdot \delta^3}{\nu^2} \Pr \quad (6)$$

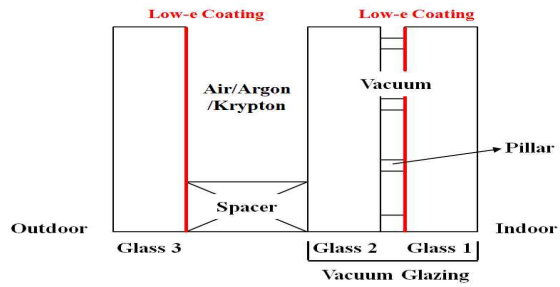

Fig. 1 The structure of the Vacuum Glazing to reduce cooling and heating loss

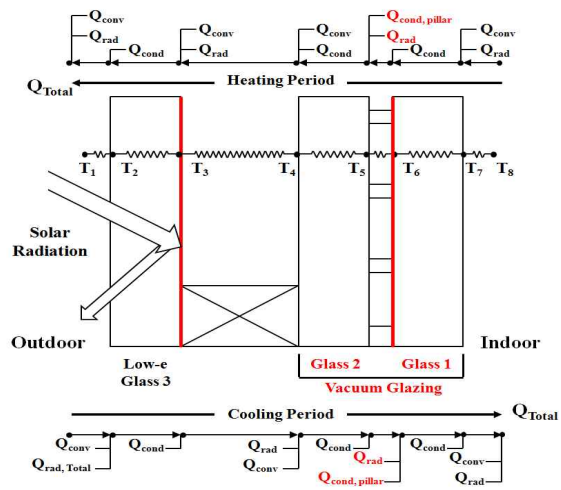

Fig. 2 Heat Transfer Process via the Vacuum Glazing in cooling and heating period

4. 시뮬레이션 분석

단열가스가 주입된 이중유리와 진공유리의 U-value를 비교하기 위해, 본 연구에서는 대표적인 창호 연구기관인 미국의 LBNL(Lawrence Berkely National Laboratory)에서 제공하는 WINDOW 7.3프로그램을 이용하였다. 특히, Glazing의 U-value를 계산하기 위해, WINDOW 7.3프로그램에서 제공하는 「Glass Library」와 「Gap Library」, 「Glazing System Library」그리고 「Environmental Conditions Library」에 포함된 알고리즘을 이용하였으며, 오직 실내・외 온도차에 의한 열전달만을 고려하기 위해 일사(Solar Radiation)와 대기 복사(Atmospheric Radiation)는 초기조건에서 제외하였다. LBNL.[7][8]

4.1 시뮬레이션 조건

4.1.1 판유리(Sing glass)

이중유리 및 진공유리를 구성하기 위한 판유리의 특징은 [Table 1]과 같다. 단열가스가 주입된 이중

중앙대학교 서울캠퍼스 | IP: 165.194.26.63 | Accessed 2015/11/30 12:12(KST)

유리에 적용된 판유리의 두께는 실내·외측 모두 5[mm]로 적용한 반면, 진공유리를 위한 판유리의 두께는 3[mm]로 적용하였다. 또한, 열전도율은 이중유리 및 진공유리에 적용된 판유리 모두 동일하게 설정하였으며, 특히 유리의 표면 방사율의 경우, 가스층에 접한 유리의 표면에 Low-emission코팅을 적용한 것으로 가정하였고, Low-emission코팅이 적용된 유리의 표면 방사율은 0.2인 것으로 설정하여 설정하였다.

Table 1. Physical properties of the sing glasses

No.	Thickness [mm]	Conductivity [W/m²-K]	Surface Emissivity		Size (Height × Width) [mm]
			Exterior (Left)	Interior (Right)	
①	5	0.50	0.2	0.8	1000×1000
②	5	0.50	0.2	0.2	1000×1000
③	3	0.50	0.2	0.2	1000×1000
④	3	0.50	0.2	0.2	1000×1000
⑤	3	0.50	0.8	0.8	1000×1000

4.1.2 단열가스

이중유리에 주입되는 단열가스는 일반적으로 많이 활용되고 있는「Air」, 「Argon」, 「Krypton」가스로 선별하였으며, 특히 이중유리에 주입 시, 순수 가스 100[%]가 주입되는 것으로 가정하였다. 각각의 가스에 대한 물리적 및 열적 특성은 [Table 2]와 같다.

Table 2. Physical properties of the existing gases

Gas Type	k [W/m-K]	Viscosity [kg/m·s]	C_p [W/kg-K]	ρ [kg/m³]	Pr
Air	0.026	0.000017	0.240	1.2	0.715
Argon	0.017	0.000021	0.125	1.7	0.669
Krypton	0.009	0.000023	0.059	3.5	0.672

4.1.3 진공

일반적으로 10[mm]이상의 가스층을 갖는 이중유리와 달리, 진공층은 이보다 1/50이상 얇은 두께를 가지지만, 높은 열 성능을 발휘하는 것이 특징이다. 또한 진공층의 U-value 계산 시, 진공층에 삽입된 필러의 열전도율을 고려해야 하며, 특히 완전진공(진공도 100[%])을 갖지 않은 이상, 진공층에는 미소공기가 포함되므로 미소공기에 의한 대류열전달을 고려해야 한다. 그러나 이러한 미소공기는 다른 열전달계수와 비교하여 극히 작은 값이기 때문에 열전달 과정에서 미소공기에 의한 대류열전달은 무시할 수 있다. 따라서 이러한 내용을 바탕으로 하여 본 연구에 적용된 진공의 물리적 및 열적 특성은 [Table 3]과 같다.

Table 3. Thermal and physical properties of vacuum layer

Thickness [mm]	P_{vac} [Pa]	P_{vac} [torr]	Pillar		Gap Conductance [W/m-K]
			Radius [mm]	Spacing [mm]	
0.2	0.133	0.001	11.5	30.0	0.107

4.1.4 이중유리의 구성

시뮬레이션을 통해 단열가스가 주입된 이중유리와 진공유리와의 U-value를 비교하기 위해, 앞서 구성된 판유리, 단열가스, 진공을 이용하여 3종류의 이중유리(1~3)와 3종류의 진공유리(4~6)를 구성하였다. 특히 진공유리의 경우, 진공층을 적용한 부분은 동일하지만, 실 외측에 가스층과 판유리가 추가 설치된 부분에서 가스의 종류를 「Air」, 「Argon」, 「Krypton」로 구분하여 서로 다른 타입의 진공유리를 3종류로 형성하였다.

각각의 유리의 구성 및 특징은 [Table 4]와 같다.

Table 4. Structures of the double glazing and the vacuum glazing

No.	Structure of Glazing	Thickness of Glazing [mm]
1	Glass①+Air+Glass②	20
2	Glass①+Ar+Glass②	20
3	Glass①+Kr+Glass②	20
4	Glass③+Air+Glass⑤+Vacuum+Glass④	19.2
5	Glass③+Ar+Glass⑤+Vacuum+Glass④	19.2
6	Glass③+Kr+Glass⑤+Vacuum+Glass④	19.2

4.1.5 경계조건

시뮬레이션에 적용된 실내·외 경계조건은 한국산업규격 중, 건축분야에서 규정하고 있는 「KS F 2278 창호의 단열성능 측정 방법」의 조건을 적용하였으며, 그 내용은 다음의 [Table 5]와 같다.

Table 5. Boundary conditions of interior and exterior

	Temperature [℃]	Velocity [m/s]	Convection Heat Transfer Resistance [m²-K/W]	Convection Heat Transfer Coefficient [W/m²-K]
Indoor	20.0	1.25	0.11 ± 0.02	9.00
Outdoor	0.00	4.00	0.05 ± 0.02	20.00

4.2 결과분석

시뮬레이션을 통해, 「Air」, 「Argon」, 「Krypton」의 단열가스를 주입한 이중유리와 본 연구에서 제안한 진공유리와의 U-value값을 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다. 우선, 「Air」, 「Argon」, 「Krypton」을 주입한 이중유리의 U-value는 각각 1.406[W/m²-K], 1.137[W/m²-K], 0.938[W/m²-K]인 것으로 나타난 반면, 진공유리의 경우에서 「Air+Vacuum」, 「Argon+Vacuum」, 「Krypton+Vacuum」을 포함한 진공유리의 U-value는 각각 0.580[W/m²-K], 0.539[W/m²-K], 0.479[W/m²-K]인 것으로 분석되었다. 따라서 난방기동안에 단열가스가 주입된 이중유리와 비교하여, 진공유리의 낮은 U-value의 원인은 전도와 대류가 발생되지 않고 오직 유리의 표면방사율에 따른 진공층의 열전달 감소 때문이며, 특히 진공층에 접한 실 내측 표면유리의 방사율을 최소화하였기 때문에 저 방사율로 인한 복사 열전달의

중앙대학교 서울캠퍼스 | IP: 165.194.26.63 | Accessed 2015/11/30 12:12(KST)

감소가 크게 작용한 결과라 사료된다. 또한 냉방기의 열 취득을 최소화하기 위해 형성된 실 외측의 추가적인 판유리 및 가스층에서의 열전달 감소가 진공창의 U-value를 더욱 낮게 유지시켜주는 것으로 분석되었다.

단열가스가 주입된 이중유리와 진공유리의 U-value 감소율[%]의 분석에서도, 동일한 경계조건 하에서 「Air」가스를 주입한 이중유리보다 「Air+Vacuum」로 형성된 진공유리가 U-value를 58.72[%] 더 감소시키는 것으로 분석되었으며 그 외, 「Argon」,「Krypton」 가스와의 비교에서도 「Air+Vacuum」을 포함한 진공유리리가 각각 48.99[%], 38.17%[%]의 U-value를 감소시키는 것으로 분석되었다.

Table 6. U-values of double glazing and vacuum glazing

No.	Structure of Glazing	Thickness of Glazing [mm]	U-value [W/m^2-K]
1	Glass①+Air+Glass②	20	1.406
2	Glass①+Ar+Glass②	20	1.137
3	Glass①+Kr+Glass②	20	0.938
4	Glass③+Air+Glass⑤+Vacuum+Glass④	19.2	**0.580**
5	Glass③+Ar+Glass⑤+Vacuum+Glass④	19.2	**0.539**
6	Glass③+Kr+Glass⑤+Vacuum+Glass④	19.2	**0.479**

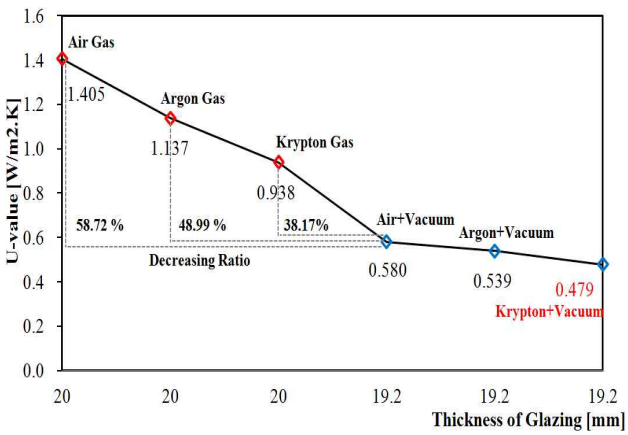

Fig. 3 Heat Transfer Process via a Vacuum Glazing in cooling and heating period

6. 결론

본 연구에서는 난방부하 절감을 위한 진공유리에 대해 이론적으로 분석하였으며 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 열성능을 분석하였다. 이에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 난방부하 및 냉방부하를 줄이기 위한 진공유리의 구성은 [Fig. 1]과 같으며, 이에 대한 열전달 과정은 [Fig. 2]와 같다. 따라서 본 연구에서 제안한 진공유리의 이론적 분석을 통해, 각각의 열 전달(전도, 대류, 복사)량과 진공유리를 통한 총 열전달량을 계산하는 것이 가능하다.

(2) 단열가스가 주입된 이중유리와 진공유리와의 U-value를 비교분석하였으며, 그 결과, 「Air」, 「Argon」, 「Krypton」을 주입한 이중유리의 U-value는 각각 1.406[W/m^2-K], 1.137[W/m^2-K], 0.938[W/m^2-K]으로 계산된 반면, 「Air+Vacuum」, 「Argon+Vacuum」, 「Krypton+Vacuum」을 포함한 진공유리의 U-value는 각각 0.580[W/m^2-K], 0.539[W/m^2-K], 0.479[W/m^2-K]인 것으로 분석되었다.

(3) 동일한 경계조건 하에서 「Air」, 「Argon」, 「Krypton」을 주입한 이중유리와 비교하여, 「Air+Vacuum」,「Argon+Vacuum」, 「Krypton+Vacuum」으로 형성된 진공유리가 U-value를 각각 58.72[%], 48.99[%], 38.17%[%] 더 감소시키는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. Philip C. Eames, 2008, Vacuum glazing: Current performance and future prospects, Vacuum, Vol. 82, No. 7, pp. 717-722
2. N. Ng, R.E. Collins, L. so, 2006, Thermal conductance measurement on vacuum glazing, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 49, No. 25-26, pp. 4877-4885
3. Minxi Bao, Xiaogen Liu, Jian Yang, Yiwang Bao, 2014, Novel hybrid vacuum/triple glazing units with pressure equalisation design, Construction and Building Materials, Vol. 73, pp. 645-651
4. Yueping Fang, Trevor J. Hyde, Farid Arya, Neil Hewitt, Philip C. Eames, 2014, Indium alloy-sealed vacuum glazing development and context, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 37, 480-501
5. Erdem Cuce, Saffa B. Riffat, 2015, Vacuum tube window technology for highly insulating building fabric: An experimental and numerical investigation, Vacuum, Vol. 111, pp. 83-91
6. Yunusa A. Cengel, 2006 Introduction to Termodynamics & Heat Transfer Trans.Vol. 3, pp. 217-260
7. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2013, THERM 6.3 /WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual
8. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006, Conrad 5 & View 5 Technical and Programming Documentation.

중앙대학교 서울캠퍼스 | IP: 165.194.26.63 | Accessed 2015/11/30 12:12(KST)