

진공복층 유리와 3중 유리의 결로 위험성 평가

The Condensation Risk Assessment of Vacuum Multi-Layer Glass and Triple Glass using the Temperature Difference Ratio

원종서(Jong-Seo Won)[†], 남중우(Jung-Woo Nam)

대림산업(주) 기술개발원

Technology Research and Development Institute, Daelim Industrial Co. Ltd., Seoul 110-732, Republic of Korea

(Received August 1, 2013; revision received August 19, 2013)

Abstract An external window directly affects the energy performance of its building. In modern well-insulated buildings, U-values for walls of 0.36 W/m²K or even lower can be realized. In such buildings, glazing with typical U-value of 2.1 W/m²K or higher creates thermal weak spots on the facade. The performance of the existing triple glass window has been limited to energy savings and condensation prevention. In this study, the performance of condensation prevention of a vacuum multi-layer glass was analyzed. The final conclusion through mock-up experiments is as follows. The surface temperature of the vacuum multi-layer glass was 2°C higher, and the temperature difference ratio (TDR) was 0.07 lower, than the corresponding values of the triple glass.

Key words Condensation(결로), Vacuum multi-layer glass(진공복층유리), Temperature Different Ratio(온도저하율)

[†] Corresponding author, E-mail: wonjs@daelim.co.kr

기호설명

P_x : 온도 저하율(TDR), 식(1)
 fr : 온도계수(temperature factor), 식(2)
 h_i : 실내표면 열전달계수 [W/m²K]
 R_{si} : 실내표면 열전달저항 [m²K/W]
 RH : 상대습도 [%]
 DP : 노점온도 [°C]
 U -value : 열관류율 [W/m²K]

그리스 문자

θ : 공기 온도, 표면온도 [°C]

하첨자

H, e : 향온향습실의 공기온도
 χ, si : 구하는 위치의 표면온도
 c, I : 저온실의 공기온도

1. 서 론

일반적으로 건물에서 발생하는 에너지 손실은 건물의 벽체, 지붕 및 창 등을 통하여 이루어진다. 이 중에서 창을 통한 열손실량은 주택의 경우에는 전체 열손실량의 20~40% 정도를 차지하고 일반 사무소건물의 경우에는

15~30% 정도를 차지한다. 따라서 건축물에 있어서 다양한 에너지 절감 방법이 제시되고 있지만 그 어떤 방법보다도 창문의 열손실을 줄이는 것이 가장 효과적인 방법이다.





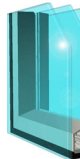

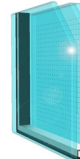
그러나 현재 건축의 흐름상 주거용 및 업무용 빌딩에서 심미성과 조망권 확보라는 이유로 점점 유리사용이 증가하고 있어 이를 통한 열손실이 늘어나는 실정이다. 또한 주택의 경우 창호는 직접외기에 접하는 위치적 특성으로 인해 실내 수증기 배출이 용이하지 않은 기밀화된 현대 건축물에서 결로 발생으로 인한 마감재의 손상 등 2차 피해가 발생할 가능성이 높다.

따라서 미국, 독일, 일본 등의 선진국들은 단열 및 결로 방지성능이 높은 창호시스템을 개발하기 위하여 다양한 연구들을 진행해왔다.

창호를 통한 에너지 흐름은 전도, 대류 및 복사이며, 전도와 대류는 공기를 매체로 전달되고 복사는 전자기파(IR)의 형태로 전달된다. 복사 열전달의 차단은 Low-e 코팅 등의 방법으로 상당량을 차단할 수 있으나 전도와 대류에 의한 손실은 크게 개선할 수 있는 방법이 매우 제한적이다.

이러한 전도와 대류에 의한 열손실을 차단하는 방법으로 진공유리기술이 있는데 이는 열전달의 매질 역할을 하는 복층 유리사이의 공기를 제거하여 열손실을 차단하는 방법이다. 진공창호의 경우 유리창 접합기술, 코팅기술, 진공기술, 설계기술의 발전을 통하여 진공유리 내부의 압력이 10⁻⁵ torr 정도의 고진공 상태를

Table 1 U-value tested glass and general pair glass

16 mm Pair glass (5C+6A+5C)	22 mm Pair glass (6C+10A+6C)	22 mm low-e Pair glass (5L+12A+5C)	22 mm double low-e Pair glass (5D+12A+5C)	52 mm low-e triple glass (6L+17.5A+ 5C+17.5A+6C)	52 mm low-e triple glass (6L+17.5A+ 5C+17.5A+6L)	27 mm low-e vacuum glas (5L+0.25V+ 5C+12A+5C)
						
3.3 W/m ² K	2.7 W/m ² K	1.7 W/m ² K	1.3 W/m ² K	1.2 W/m ² K	1.0 W/m ² K	0.5 W/m ² K

*C : Clear Glass, A : Air, L : Low-e, D : Double low-e, V : Vacuum

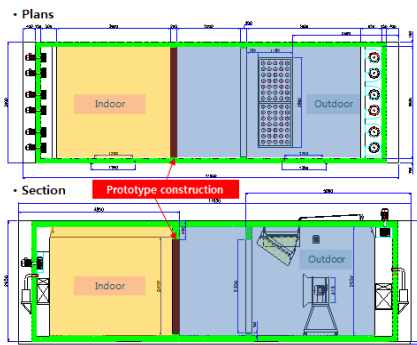
유지할 수 있는 시스템이 개발되었다.⁽¹⁻⁴⁾
 본 연구에서는 진공도 10⁻⁵ torr의 고성능 진공복층유리와 양면 low-e 3중 유리의 항결로성능을 비교 실험하여 결로 위험성을 평가하였다.
 또한, 외기온도 변화에 따른 고성능 진공복층유리와 양면 low-e 3중 유리의 부위별 표면온도를 쉽게 파악할 수 있도록 회귀식을 도출하였다.
 평가 대상 유리 및 유리 복층화에 따른 열관류율은

Table 1과 같다.

2. 실험개요 및 실험방법

2.1 실험장치

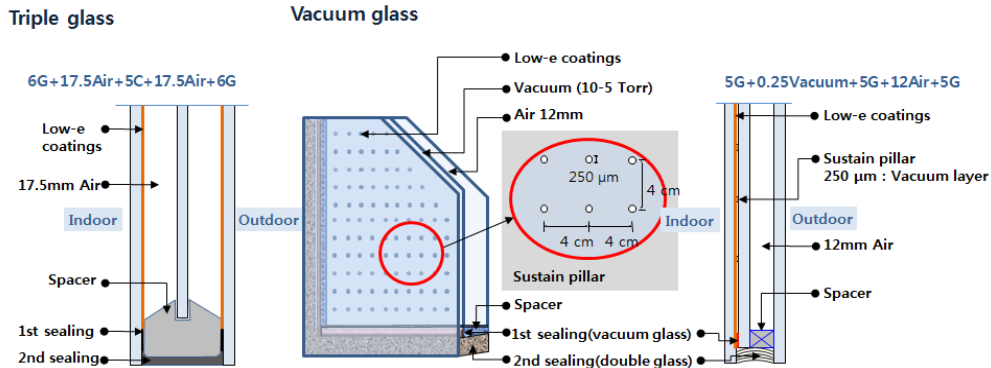
Fig. 1의 (a)는 본 연구에서 사용된 항온항습 챔버로



(a) Schematic of test chamber



(b) Prototype construction



(c) Schematic of triple glass and vacuum glass

Fig. 1 Schematic and photo of test apparatus.

다양한 실내의 환경조건을 구현할 수 있는 형태로 실내 챔버, 중간챔버, 외부챔버로 나뉜다. 실내챔버는 균일한 온습도 유지를 위한 실내공간으로 온도는 0~30℃, 상대습도는 10~95%까지 조절이 가능하며 주로 공동주택의 실내공간으로 사용된다. 중간챔버는 발코니 또는 실외기실과 같은 공간으로 실내챔버와 외부챔버 중간에 위치하며, 성능시험을 위한 시험체가 설치되는 곳이다. 외부챔버는 외기조건을 만들어주는 곳으로 온도 -30~50℃, 상대습도는 30~95%까지 조절이 가능하다.

Fig. 1의 (b)와 (c)는 3중 유리와 진공유리 시험체의 설치모습과 개략도이다.

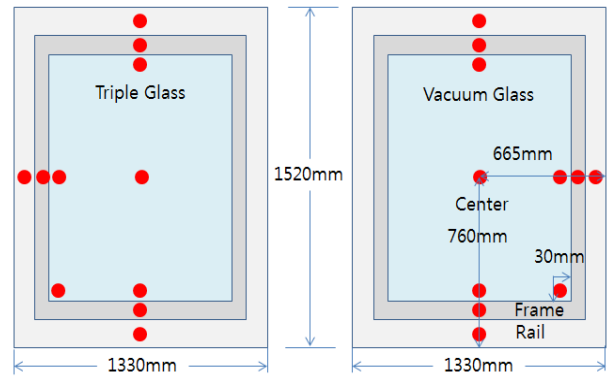


Fig. 2 Sensor location.

2.2 실험방법

본 연구에서는 진공복층창호 및 3중창호의 시험체를 제작하여 향온향습챔버에 Mock-up 시공하였으며, KSF 2295 : 2004(창호의 결로방지성능 시험방법)⁽⁵⁾에 따라 향온향습실 내측 표면온도를 측정하여 비교하고 온도 저하율을 산출하여 향결로 성능을 평가하였다.

3. 성능시험 및 실험결과분석

3.1 결로방지성능 측정 및 평가방법

창호의 결로방지성능을 테스트하기 위한 방법으로 KSF 2295:2004의 시험방법을 본 연구에 적용하였다. 동일한 크기(가로 : 1330 mm, 세로 : 1520 mm, 두께 220 mm PVC 프레임포함)의 3중 및 진공창호를 챔버내부에 Mock-up 시공하였다.

본 실험에서는 저온실의 온도를 KSF 2295 : 2004의 기준(5℃, 0℃, -5℃, -10℃, 4단계)에서 -15℃, -20℃를 추가하여 6단계로 설정하였으며, 정상상태를 기준으로 3시간 동안 표면온도를 측정하고 결로발생을 관찰하였다. 열전대 센서를 유리 및 프레임의 표면에 부착하여 표면온도를 측정하고 육안으로 부위별 결로발생 여부를 점검하였다.

표면온도 측정은 유리의 중앙 및 Edge 부위, Frame과 Rail 부위를 포함하여 총 22 Points이며, 이밖에 저온실의 공기온도, 향온향습실의 공기온도 및 상대습도 측정을

병행하였다. 센서부착 위치는 Fig. 2와 같다.

측정데이터 평가시 각각의 시험조건에서 구한 향온향습실측 시험체 표면온도들을 부위별로 평균하여 온도 저하율을 산출하고 시험체 표면온도와 저온실 내의 공기 온도와의 상관 그래프를 작성하였다.

온도저하율을 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$P_x = \frac{\theta_H - \theta_x}{\theta_H - \theta_c} \quad (1)$$

여기에서, P_x : 구하는 위치의 온도 저하율

θ_H : 향온 향습실 공기 온도(℃)

θ_c : 저온실 공기 온도(℃)

θ_x : 구하는 위치의 표면 온도(℃)

또한 결로위험성을 평가하는 지표인 $f_{Rsi, min}$ (Temperature Factor)⁽⁶⁾를 계산하기 위한 식은 다음과 같으며, 결로위험성 판정은 Table 2와 같다.

$$f_{Rsi, min} = \frac{\theta_{si} - \theta_c}{\theta_i - \theta_c} \quad (2)$$

여기에서, θ_c : 향온 향습실 공기 온도(℃)

θ_i : 저온실 공기 온도(℃)

θ_{si} : 구하는 위치의 표면 온도(℃)

Table 2 Classes for the evaluation of condensation risk⁽⁶⁾

Rsi m ² K/W	hi W/m ² K	Classes of condensation risk evaluation as function of the temperature factor "f"						
		C00 f < 0.6	C60 0.6 ≤ f < 0.65	C65 0.65 ≤ f < 0.69	C69 0.69 ≤ f < 0.7	C70 0.7 ≤ f < 0.75	C75 0.75 ≤ f < 0.8	C80 f ≥ 0.8
0.11	9	not OK : (high risk)	not OK : (mean risk)	not OK : (mean risk)	not OK : (mean risk)	OK : (low risk)	OK : (low risk)	OK : (minimum risk)

3.2 실험결과 분석

저온실 온도변화에 따른 3중 및 진공창호의 표면온도 변화는 각각 Fig. 3(a), Fig. 3(b)와 같다. 실험결과 3중 및 진공복층유리 모두 유리중앙의 표면온도가 가장 높았으며, Frame, Edge, Rail 순으로 나타났다. Frame의 경우 알루미늄에 비하여 열전도율이 낮은 PVC 재질을 사용하여 단열성능이 향상되었으며, Rail의 경우 구조체의 냉기가 전도되어 가장 낮은 표면온도를 보였다.

또한 창호시스템에 적용된 Spacer의 재질이 알루미늄이므로 Edge 부위의 표면온도가 유리중앙과 Frame 보다 낮게 측정된 것으로 판단된다. 저온실의 공기온도가 낮아질수록 3중 유리 및 진공복층유리의 표면온도 편차는 더욱 커지며, 저온실 공기온도 -20℃에서 진공복층유리 중앙의 표면온도는 17.3℃로서 3중 유리의 15.2℃ 보다 2.1℃ 이상 높았다. 또한 3중 유리 및 진공복층유리에 동일한 PVC Frame을 적용하였음에도 불구하고 진공복층유리에 적용된 프레임의 표면온도가 3중 유리 Frame 보다 평균 약 1.5℃ 높았다. 이는 Frame Cavity에 삽입된 진공복층유리의 단열성능이 Frame 전체의 열성능을 향상시킨 것으로 분석된다.

Fig. 3(c)는 3중 유리 및 진공복층유리의 온도저하율을 나타낸 것이다. 분석결과 3중 및 진공복층유리 모두 유리중앙의 온도저하율이 가장 낮았으며, Frame, Edge, Rail 순으로 나타났다. 진공복층창호의 경우 Rail부위를 제외한

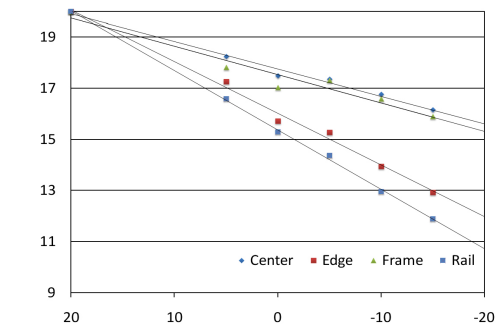
Table 3 Temperature difference ratio(temperature factor) of test glass(at -20℃)

	Triple glass	Vacuum glass
Center	0.12(0.88)	0.07(0.93)
Edge	0.21(0.79)	0.13(0.87)
Frame	0.14(0.86)	0.10(0.90)
Rail	0.22(0.78)	0.19(0.81)

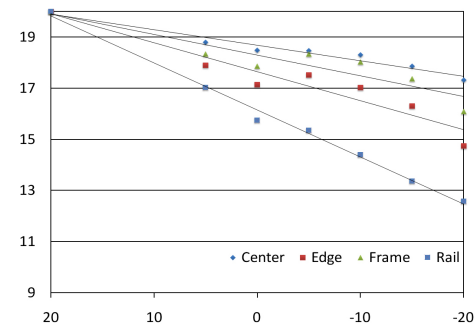
모든 부위가 0.15($f_{Rsi,min} : 0.85$) 이하로 낮게 나타났으며, 특히 유리 중앙부는 0.07($f_{Rsi,min} : 0.9$)로 결로방지 성능이 매우 우수한 것으로 나타났다(Table 2, Table 3 참조).

측정된 표면온도를 추세선(Fig. 3(a), Fig. 3(b))으로 표현하여 외기온도 변화에 따른 3중 및 진공창호의 부위별 표면온도를 예측할 수 있는 회귀식을 도출하였으며(Table 4 참조), 도출된 회귀식을 토대로 진공복층유리 적용시 진공도에 대한 이상유무를 표면온도를 통해 간접적으로 파악 할 수 있는 도구로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

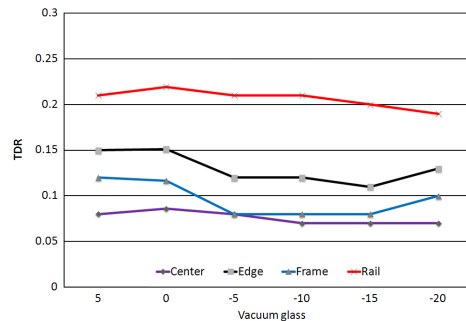
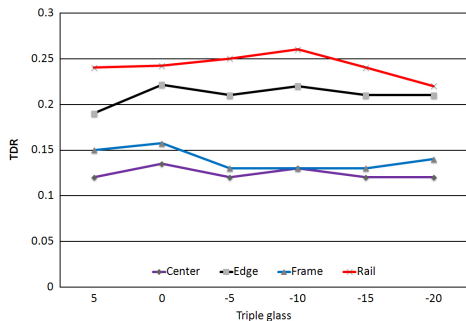
또한, Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)에서 기울기가 급할수록 결로방지 성능은 떨어지는 것을 의미하며 외기온도가 -15℃, 실내온도가 20℃라고 가정할 때 3중 유리 중앙의 경우, 실내 상대습도(RH)가 80%에서 결로가 발생(중앙점 표면온도 15.2℃, DP : 노점온도 15.4℃)하지만 진공복층유리의 경우(중앙점 표면온도 17.8℃) 발생하지 않음을 예측할 수 있었다.



(a) Surface temperature change in triple glass



(b) Surface temperature change in vacuum glass



(c) A comparison of TDR(temperature different ratio) in triple glass and vacuum glass

Fig. 3 Results of surface temperature and TDR in triple glass and vacuum glass.

Table 4 Regression equations of triple and vacuum glass according ambient temperature

Model	Part	Regression equations (y : surface temp. x : ambient temp.)	Standard deviation
triple glass	center	$y = -0.1074x + 17.76$	0.988
	edge	$y = -0.111x + 17.53$	0.948
	frame	$y = -0.2023x + 16.02$	0.993
	rail	$y = -0.2325x + 15.37$	0.999
vacuum glass	center	$y = -0.0607x + 18.69$	0.959
	edge	$y = -0.0806x + 18.30$	0.850
	frame	$y = -0.1133x + 17.64$	0.913
	rail	$y = -0.1841x + 16.15$	0.994

4. 결론

본 연구에서는 진공도 10^{-5} torr의 고성능 진공복층유리와 양면 low-e 3중 유리의 항결로성능을 비교 실험하여 결로 위험성을 평가하였다.

또한, 외기온도 변화에 따른 고성능 진공복층유리와 양면 low-e 3중 유리의 부위별 표면온도를 쉽게 파악할 수 있도록 회귀식을 도출하였다.

- (1) 현재 개발되어 사용되고 있는 3중 및 진공복층유리 모두 유리중앙 부위에서는 뛰어난 단열성능 보였으며, 특히 진공복층유리는 3중 유리보다 최대 약 2°C 이상 높게 나타났다. 또한 온도 저하율의 경우 3중 유리에 비하여 평균 0.07 이상 낮게 나타났으며, 유리중앙은 0.1 이하로서 매우 우수한 항결로 성능을 보였다.
- (2) 단열성능(열관류율 값)이 3중 유리 대비 2배 성능을 갖는 진공복층유리에 동일한 PVC Frame을 적용시 Frame의 표면온도는 약 1.5°C 이상 상승되어 Frame 전체의 항결로성능을 향상시킬 수 있었으며, 이로 인해 유리의 가장 취약부위인 Edge 부위의 항결로

성능을 향상시킬 수 있었다.

- (3) 주요 열교발생 부위는 유리 하단 Edge와 구조체와 접하는 Rail 하단부위로 나타났으며, 고성능 창호의 성능 향상 및 유지를 위해서는 창호설치시 구조체 단열라인과 중첩되게 설치할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- (4) 도출된 회귀식을 토대로 진공복층유리 적용시 진공도에 대한 이상유무를 표면온도를 통해 간접적으로 파악 할 수 있는 도구로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Reference

1. Nam, J. W. and Won, J. S., 2011, A comparative study on the vacuum multi-layer glass and triple glass through the performance test of condensation, Proceedings of SAREK, '11 Summer Annual Conference, pp. 424-427.
2. Cho, S. W. and Tae, C. S., 2000, Experimental study on thermal performance of large size vacuum glazings, Proceedings of SAREK, '00 Summer Annual Conference pp. 37-41.
3. Nam, J. W. and Won, J. S., 2011, Evaluation of condensation resistance performance on the front door of reduced thermal bridges, Proceedings of KIEAE, Vol. 21, pp. 395-398.
4. Nam, J. W. and Won, J. S., 2010, A study on the protection of condensation of the front Door connection depending on anti-thermal bridge details, Proceedings of KIEAE, Vol. 19, pp. 139-142.
5. KS F 2295:2004, Test method of dew condensation for window and doors.
6. Wouters, P., Schietecat, J., and Standaert, P., 2003, Practical guide for the hygrothermal evaluation of thermal bridges, Eurokobra project document 07-05-2003.