

스틸 커튼월의 단열성능 및 결로방지성능 평가

Evaluation of the Thermal Performance and Condensation Resistance of a Steel Frame Curtain Wall System

김선숙*† · 조봉호**

Kim Sun Sook*† , Cho Bong Ho**

(Submit date: 2013. 3. 19. Judgment date: 2013. 3. 24. Publication decide date : 2013. 6. 7.)

Abstract : Metal curtain wall systems are widely used in high-rise commercial and residential buildings. While aluminum is the most frequent used frame material, steel framing is also reemerging as a high-performance material in glazed curtain walls due to less thermal conductivity and design flexibility. The purpose of this study is to evaluate thermal performance of a steel frame curtain wall system by comparing with a aluminum frame curtain wall system. The thermal transmittance was measured according to KS 2278, and condensation resistance was calculated by the test results according to KS F 2295. The steel framing test specimen showed lower thermal transmittance and temperature descending factor compared to the aluminum framing test specimen.

Key Words : 커튼월(Curtain wall), 열관류율(Thermal transmittance), 단열성능(Thermal performance), 결로방지(Condensation Resistance)

기 호 설 명

K	: 열관류율 ($W/m^2\text{℃}$)	θ_x	: 각 측정위치의 표면온도 ($^{\circ}\text{C}$)
A	: 전열개구면적 (m^2)	Q	: 전열개구면적을 통한 전열량 (W)
P_x	: 온도저하율 ($^{\circ}\text{C}$)	R_i	: 가열상자측 표면 열전달저항 ($m^2\text{℃/W}$)
θ_H	: 가열상자 내 평균공기온도 ($^{\circ}\text{C}$)	R_o	: 저온실측 표면 열전달저항($m^2\text{℃/W}$)
θ_C	: 저온실 내 평균공기온도 ($^{\circ}\text{C}$)		

*† 김선숙(교신저자) : 아주대학교 건축학과
E-mail : kss@ajou.ac.kr, Tel : 031-219-3571

** 조봉호 : 아주대학교 건축학과

*† Kim Sun Sook(corresponding author) : Department of Architecture, Ajou University.

E-mail : kss@ajou.ac.kr, Tel : 031-219-3571

** Cho Bong Ho : Department of Architecture, Ajou University.

1. 서 론

커튼월 시스템은 구조, 시공 상의 이점 및 외관의 미려함 등으로 인해 고층화되고 있는 현대 건축물의 대표적인 외장 마감 방식으로 널리 활용되고 있다. 커튼월은 프레임의 종류에 따라 알루미늄 커튼월, 스틸 커튼월, 목재 커튼월, SPG(Suspended Point Glazing : 유리 프레임) 등으로 구분되는데, 특히 경량으로 제작 및 설치가 용이하고 가공성이 우수한 알루미늄 커튼월이 많이 사용되어 왔다. 알루미늄과 같은 금속재를 프레임 재료로 사용할 경우, 금속의 높은 열전도율로 인하여 프레임 부위가 커튼월의 전체 열관류율을 저하시키는 요인이 되므로 프레임 부위의 단열성능은 특히 중요하게 고려되어야 한다. 커튼월의 결로 현상 또한 열교 부위에서 집중적으로 발생하므로 프레임의 단열성능을 향상시킴으로써 프레임을 통한 열손실을 최소화할 필요가 있다. 특히 열적으로 취약하였던 유리 부위의 성능이 로이코팅, 불활성 가스주입, 복층 유리 등 다양한 기술로 인해 향상됨에 따라, 프레임 부위의 단열 및 결로방지 성능이 전체 커튼월에 성능에 미치는 영향은 더욱 커지고 있다.

이와 같은 단열 및 결로방지의 측면에서 스틸 커튼월은 알루미늄(열전도율 160W/mK)에 비해 열전도율¹⁾이 낮은 스틸(열전도율 50W/mK)을 사용할 뿐 아니라, 스틸 자체의 높은 강도 및 강성으로 인하여 프레임 사이즈를 줄이거나 프레임 사이 간격을 늘림으로써 전체 커튼월에서 프레임 면적비율을 줄일 수 있으므로 알루미늄 커튼월에 비해 유리할 수 있다²⁾. 이외에도 자재비 절감, 2~3개층 동시 시공 가능, 시야 개방성 확보, 내구성 및 화재안전성 등 여러 가지 장점이 있어, 유럽을 중심으로

스틸 커튼월의 적용이 활발히 이루어지고 있으며 향후 그 수요가 증가할 것으로 예상된다³⁾.

따라서 본 연구에서는 국내의 창호 단열성능 및 결로방지성능 시험 규격인 KS 2278⁴⁾과 KS 2295⁵⁾에 따라 스틸 커튼월의 단열 및 결로방지성능을 평가하고, 일반적으로 사용되고 있는 알루미늄 커튼월의 성능과 비교 분석함으로써, 열성능 측면에서 스틸 커튼월의 우수성을 평가하고자 한다.

2. 평가대상 및 방법

2.1 시험체 개요

스틸 커튼월의 단열성능 및 결로방지성능을 알루미늄 커튼월의 성능과 비교 평가하기 위하여, 24mm 복층 Low-E 유리(6LE+ 12Ar+6CL) 및 스테인리스 스틸 스페이서를 포함하여 그림 1과 같은 단면 형상을 갖는 커튼월 시험체를 제작하였다. 커튼월은 시공 방법에 따라 밀리언과 트랜섬을 가공하여 현장 조립하는 스틱 시스템과 공장에서 1~2개 층 단위로 완전 조립하여 현장 시공하는 유닛 시스템으로 크게 구분되는데, 본 연구에서는 스틱 시스템을 시험 대상으로 선정하였다.

또한 스틸 커튼월은 프레임 제작방식에 따라 냉연 또는 열연강판을 롤포밍 가공하는 방식과 T형 부재나 Box형 부재 등 후판을 용접하여 프레임의 구조성능을 구현하는 빌트업 방식으로 구분할 수 있다. 이 중에서 보다 일반적인 방식인 아연도금 강판을 롤포밍 가공한 스틸 커튼월을 대상으로 하였으며, 알루미늄 커튼월의 경우 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 열교 차단재(Thermal breaker) 적용 단면 설계안을 선정하였다.

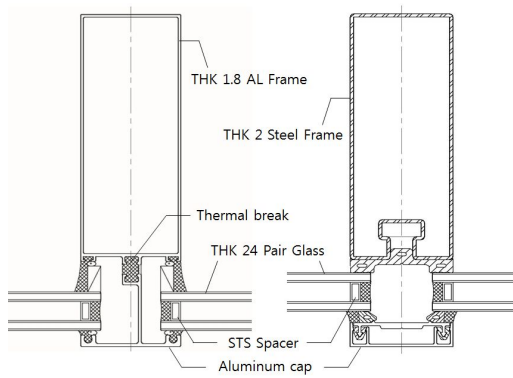


Fig. 1 Cross sections of curtain wall frame

해외에서 제품화된 스틸 커튼월 단면 형상을 분석해 보면, 단열성능을 향상시키기 위해 그림 2에서 보는 바와 같이 프레임 중공층에 EPDM(Ethylene propylene diene monomer), GFRP(Glass fiber reinforced polymer) 소재 등의 단열 블럭을 충전하거나 PVC, PE 폼 Isolator를 적용하는 사례가 많다⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾. 그러나 본 연구에서는 알루미늄 커튼월과의 형평성을 고려하여 별도의 충전재 없이 가스켓만을 이용하여 프레임과 유리, 외부 알루미늄 캡을 결합하는 가장 단순한 형태의 단면을 선정하였다.

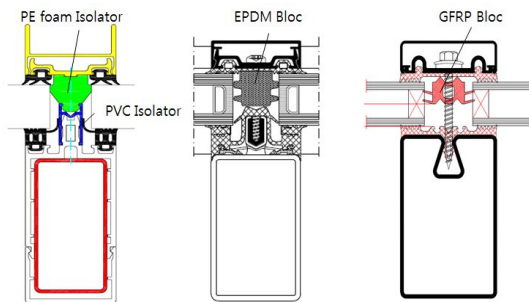


Fig. 2 Examples of steel curtain wall frames

2.2 단열성능 평가방법

커튼월 시험체의 열관류율 측정은 KS 2278

규격에 따라 한국건설기술연구원에서 수행하였다. 2.0m×2.0m×0.3m 크기의 시험체 부착틀 전열 개구부에 그림 3과 같은 크기 및 형상의 시험체를 설치한 후, 시험체 부착틀과 시험체 사이의 틈새를 우레탄 폼으로 충전하고 실리콘으로 마감하였다. 시험체를 9등분한 각 영역의 중앙부 9개 지점에 T type 열전대를 부착하여 시험체의 표면온도를 측정하였다. 항온실과 저온실의 온도 및 표면열전달계수는 표 1과 같이 설정하였으며, 실제 측정에서 양쪽 표면 열전달 저항의 합이 0.16 m²K/W이 되지 않은 경우에 대해서는 KS 2278에 따라 보정을 실시하였다.

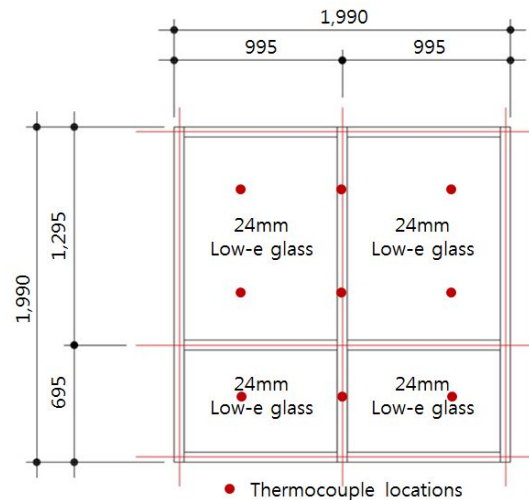


Fig. 3 Dimensions of the test specimen

Table 1 Environmental conditions for thermal transmittance measurement

	Cold side	Warm Side
Temperature (°C)	0	20
Surface thermal resistance (m ² K/W)	0.05	0.11

각 실의 온도 및 열량은 정상상태가 된

후 30분 간격으로 3회 측정하였으며, 측정 결과를 활용하여 식 (1)에 의해 열관류율을 계산하였다. 각 커튼월 시험체의 최종 열관류율은 3회 측정을 통해 계산된 열관류율 값을 평균하여 도출하였다.

$$K = \frac{1}{\frac{(\theta_H - \theta_C)A}{Q} + (0.16 - R_i - R_o)} \quad (1)$$

2.3 결로방지성능 평가방법

스틸 커튼월의 결로방지성능은 KS F 2295 규격에 따라 실시하였다. 단열성능 평가 시와 마찬가지로 2.0m×2.0m×0.3m 크기의 시험체 부착틀 전열 개구부에 커튼월 시험체를 설치하였으며, 틈새를 우레탄 폼과 실리콘으로 마감하였다. 시험체의 표면온도는 그림 4와 같이 결로에 취약할 것으로 예상되는 프레임 및 Edge 부위 유리 등을 중심으로 시험체 내외표면의 총 18개 지점에 대하여 측정하였다. 향온향습실의 상대습도는 시험체의 중앙에서 부착 패널면으로부터 약 30cm 떨어진 위치에서 측정하였다.

향온향습실 내의 공기온도는 20℃, 상대습도 40%로 유지하였고, 저온실 내의 공기온도는 0℃부터 -15℃까지 5℃간격으로 4회 변경하여 설정하였다. 공기 및 시험체 표면온도가 정상상태에 도달하면 온도를 측정하고, 향온향습실을 가습하여 상대습도를 50%까지 상승시켜 이 조건을 1시간동안 유지한 후 시험체 표면에서의 결로 상태를 관찰하였다. 시험체 표면에 결로가 발생한 경우에는 향온향습실내 상대 습도 및 저온 실내의 공기온도를 조절하여 표면을 건조시킨 후, 다음 단계의 저온실 공기온도 조건에 대한 측정을 동일한 방법으로 실시하였다.

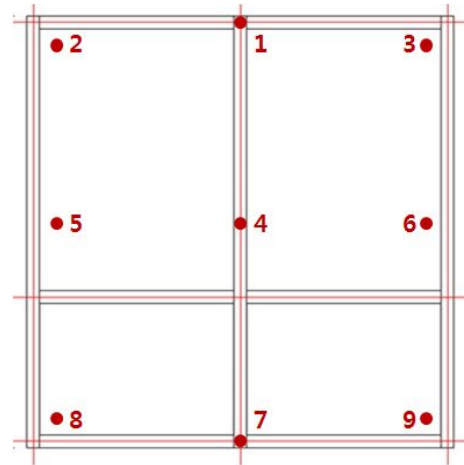


Fig. 4 Surface temperature measuring points

창호의 결로방지성능은 창호 내측 결로발생 시점의 저온실 공기온도와 온도저하율의 두 가지 지표를 이용하여 평가하였다. 창호 내측 결로발생 시점의 저온실 공기온도는 각 측정 위치에서 측정된 향온향습실 측의 시험체 표면온도와 저온실 공기온도의 상관그래프를 통해 도출할 수 있다. 즉, 시험체 내측 표면온도가 향온향습실 공기온도 20℃, 상대습도 50% 조건에서의 노점온도 9.3℃이하가 되면 결로가 발생하므로, 이 때의 저온실 공기온도가 결로 발생이 시작되는 외기온이라고 판단하는 것이다. 창호 내측 결로발생 시점의 저온실 공기온도가 낮을수록 결로방지성능이 우수함을 의미한다.

두 번째 지표인 온도저하율은 그림 4의 1~9번 각 측정 위치에 대해 식 (2)을 이용하여 산출하며, 표면온도가 낮은 지점에서 결로가 발생할 우려가 크기 때문에 온도저하율 값이 작을수록 결로방지성능이 우수함을 나타낸다.

$$P_x = \frac{\theta_H - \theta_x}{\theta_H - \theta_C} \quad (2)$$

3. 평가결과 및 분석

3.1 단열성능 평가결과 및 분석

KS 2278에 따라 열관류율을 측정한 결과, 스틸 커튼월 시험체는 $2.0\text{W/m}^2\text{K}$, 알루미늄 커튼월 시험체는 $2.13\text{W/m}^2\text{K}$ 로 스틸 커튼월이 알루미늄 커튼월에 비해 약 6% 정도 단열성능이 우수한 것으로 나타났다. 일반적으로 커튼월을 포함한 창호를 통한 열류는 유리 부위, 프레임 부위, 유리와 프레임이 접하는 Edge 부위로 구분하여 평가하는데, 이 때 Edge 부위는 프레임에서 63.5mm 떨어진 부위까지로 정의된다⁹⁾. 그림 3의 시험체에서 프레임 및 Edge 부위의 면적은 1.54m^2 , 유리 부위의 면적은 2.42m^2 이고 24mm 복층 Low-E 유리 (6LE+12Ar+6CL)의 열관류율이 약 $1.46\text{W/m}^2\text{K}$ 이므로, 면적가중법을 이용하여 스틸 커튼월과 알루미늄 커튼월의 프레임 및 Edge 부위의 열관류율을 구하면 각각 $2.85\text{W/m}^2\text{K}$, $3.18\text{W/m}^2\text{K}$ 이다. 즉, 열적으로 취약한 프레임 및 Edge 부위만을 비교하면, 스틸 커튼월이 알루미늄 커튼월에 비해 10% 정도 단열성능이 우수함을 알 수 있다.

3.2 결로방지성능 평가결과 및 분석

(1) 결로발생 시점의 저온실 공기온도

결로방지성능 평가실험 측정치를 이용하여 저온실 공기온도 하강에 따른 스틸 커튼월과 알루미늄 커튼월 시험체의 향온향습실측 표면온도 분포 상관그래프를 작성한 결과는 그림 5, 그림 6과 같다. 온도 20°C, 상대습도 50%인 향온향습실 공기의 노점온도 9.3°C에 비해 커튼월 표면온도가 낮을 때 결로가 발생하게 되는데, 스틸 커튼월 및 알루미늄 커튼월 모두 저온실 공기온도가 -15°C가 될 때까지 우측

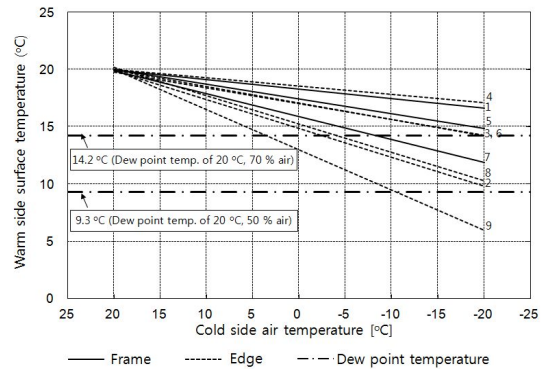


Fig. 5 Surface temperature variation of steel curtain wall

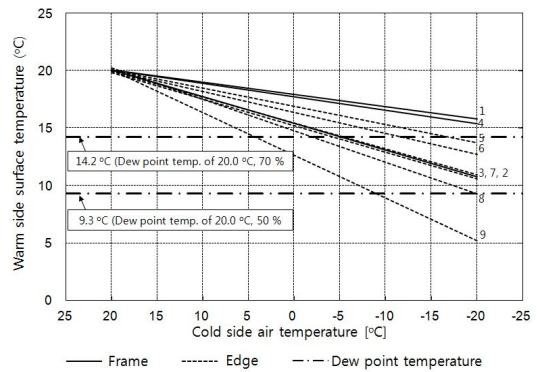


Fig. 6 Surface temperature variation of aluminum curtain wall

하부 Edge 부분(9번 지점)을 제외하고는 표면온도가 노점온도 이하로 낮아지지 않았다. 9번 지점의 경우, 스틸 커튼월에서는 저온실 공기온도가 -15°C일 때 표면온도가 7.73°C로 향온향습실 공기 노점온도보다 낮아져 결로가 발생하는 것으로 관측되었다. 알루미늄 커튼월의 경우, 저온실 공기온도가 -15°C일 때 표면온도가 6.77°C로 공기 노점온도보다 낮아질 뿐 아니라, 저온실 공기온도가 -10°C일 때에도 표면온도가 8.93°C로 노점온도보다 낮아져 결로가 발생하였다.

그림 5, 그림 6을 이용하여 실내 온도 20°C, 상대습도 50%일 때 9번 Edge 부위에서 결로

가 발생하는 외기 온도를 추정하여 보면, 스틸 커튼월이 약 -10.51°C , 알루미늄 커튼월이 약 -8.89°C 로 나타났다. 또한 미국NRFC(National Fenestration Rating Council)에서 보다 다양한 습도 조건을 반영하 창호의 결로방지성능을 평가하는 점을 위하여¹⁰⁾, 수증기 발생량이 많은 상황을 가정한 온도 20°C , 상대습도 70%, 노점온도 14.2°C 인 조건에 대해 9번 Edge 부위에서 결로가 발생하는 외기 온도를 예측하였다. 이 때의 외기 온도도 스틸 커튼월이 약 3.4°C , 알루미늄 커튼월이 약 4.5°C 로 나타나 스틸 커튼월이 알루미늄 커튼월에 비해 결로방지성능이 우수한 것으로 판단된다.

(2) 온도저하율

0, -5, -10, -15°C 의 4개 실외 온도 조건에 대해 식 (2)를 이용하여 계산한 스틸, 알루미늄 커튼월 각 부위에서의 온도저하율 평균 값은 그림 7과 같다. 스틸 커튼월 및 알루미늄 커튼월에서 공통적으로 멀리언과 트랜섬이 결합되는 상부(1~3번)나 하부(7~9번) 측정점에 비해 멀리언만의 영향을 받는 중심부(4~6번) 측정점의 온도저하율이 전반적으로 낮게 나타나, 프레임 부위가 커튼월의 결로방지성능에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

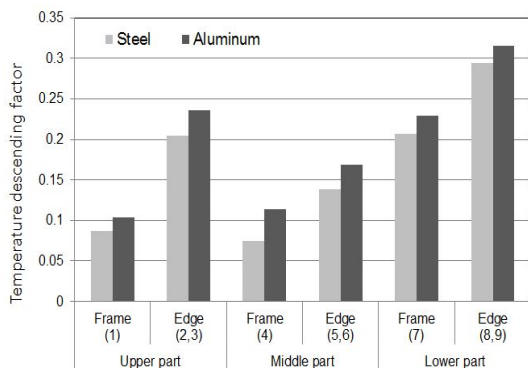


Fig. 7 Temperature descending factor

또한 대류의 영향으로 커튼월의 상부에 비해 하부의 온도저하율이 높게 나타나 커튼월 하부의 결로방지성능이 취약함을 알 수 있다. 특히 프레임 자체보다는 Edge 부위의 결로방지성능이 낮게 나타나, 프레임과 유리 접합부위를 보강하여 Edge 부위를 통한 열류를 최소화하고 표면온도를 높게 유지할 필요가 있는 것으로 파악되었다. 스틸 커튼월과 알루미늄 커튼월을 비교하여 보면, 모든 부위에서 스틸 커튼월의 온도저하율이 더 낮게 나타나 결로방지성능이 상대적으로 우수함을 확인할 수 있다.

5. 결 론

스틸 커튼월은 알루미늄에 비해 열전도율이 낮은 스틸을 재료로 사용하면서 자재비 절감, 내구성 및 화재안전성 등의 측면에서 장점이 있어 유럽을 중심으로 제품 개발이 증가하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 성능시험 규격에 따라 스틸 커튼월의 단열 및 결로방지성능을 평가하고, 일반적으로 널리 사용되고 있는 알루미늄 커튼월의 성능과 비교 분석하였다. 스틸 커튼월 시험체의 열관류율은 $2.0\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 로 알루미늄 커튼월 시험체의 열관류율은 $2.13\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 에 비해 낮게 나타났으며, 특히 열적으로 취약한 프레임 및 Edge 부위의 단열성능이 우수함을 알 수 있었다. 결로방지성능 시험 결과에서도 스틸 커튼월의 온도저하율이 알루미늄 커튼월에 비해 더 낮아 결로방지에 상대적으로 유리할 것으로 예측되었다. 연구 수행 결과, 스틸 커튼월 및 알루미늄 커튼월에서 공통적으로 프레임 부위가 커튼월 전체의 단열 및 결로방지성능에 미치는 영향이 큰 것으로 확인되었다. 특히 Edge 부위의 성능이 낮게 나타나, 향후 프레임과 유리 접합부위의 단열 및 결로방지 성능 보강 기술을 개발할

필요가 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 POSCO와 포항산업과학연구원의 지원에 의한 연구결과임.

참 고 문 헌

1. ISO 10456:2007, Building materials and products - Hygrothermal properties- Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, International Standard Organization, 2007
2. Chuck Knickerbocker, Advanced steel framing emerges for demanding curtain wall applications, Structure magazine, pp.10-11. 2011.
3. Cho, B.H., Youn, K.J., Shin, S.H., Yim, H.C., and Kim, J.H., Market study of steel curtain wall and application for high-rise buildings, Magazine of Korean Society of Steel Construction, Vol. 22, No. 2, pp.27-33, 2010.
4. KS F 2278:2008, Test method of thermal transmittance for windows and doors, Korea Standard Association, 2008.
5. KS F 2295:2004, Test method of dew condensation for windows and doors, Korea Standard Association, 2004.
6. <http://www.rehau.com>
7. <http://www.raico.edu>
8. <http://www.stabalux.com>
9. Lawrence Berkeley National Laboratory, THERM 6.3/WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual, 2011.
10. NFRC 500-2010 : Procedure for determining fenestration product condensation resistance values, National Fenestration Rating Council, 2010.