

창문 열관류율 저감을 위한 열교 저감형 보강재 연구

장혁수 · 김영일*[†] · 정광섭*

서울과학기술대학교 에너지환경대학원, *서울과학기술대학교 건축학부
(2015년 9월 14일 접수, 2015년 11월 16일 수정, 2015년 11월 18일 채택)

A Study on the Thermal Bridge Reduced Stiffeners for the Reduction of Window Overall Heat Transfer Coefficient

Hyok-Soo Jang, Young-Il Kim*[†], Kwang-Seop Chung*

Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 01811, Korea,

*Department of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 01811, Korea
(Received 14 September 2015, Revised 16 November 2015, Accepted 18 November 2015)

요 약

PVC 프레임의 취약한 강도를 보완하기 위해 사용되는 철재 보강재는 상대적으로 높은 열전도 특성으로 인해 PVC 프레임의 전체적인 열 성능을 떨어뜨리는 역할을 한다. 본 연구는 철재 보강재의 타공을 통해 표면적을 줄임으로서 전열 면적의 감소를 통한 열저항 특성을 개선하고, 감소된 만큼 두께를 높임으로서 타공으로 인한 강도 저하를 보완하였다. 이에 대한 성능을 평가하기 위해 PVC frame, PVC frame + original steel stiffener, PVC frame + 30% perforated steel stiffener, PVC frame + 50% perforated steel stiffener, PVC frame + 65% perforated steel stiffener 등 5개의 시험체를 구성하였으며, 시험 방법은 수식과 시뮬레이션에 의한 방법을 적용하였다. 시험 결과 PVC frame + 65% perforated steel stiffener이 열저항 특성과 강도특성에서 가장 높은 것으로 평가되었다.

주요어 : 열관류율, 창문, 열교, 보강재, 열전달

Abstract - Steel stiffener is required for reinforcing the structure of the window frame made of versatile but weak PVC material. Steel stiffener however becomes a source of greater heat loss and frequently plays a role of thermal bridge due to its high thermal conductivity. To maintain thermal resistance similar to PVC frame, steel stiffener is perforated to reduce the effective heat transfer area. To compensate the structural strength of the steel stiffener which is weakened by the perforation, the thickness is increased. Increase in thickness will also increase the thermal heat resistance. Five samples which are PVC frame, PVC frame + original steel stiffener, PVC frame + 30% perforated steel stiffener, PVC frame + 50% perforated steel stiffener, PVC frame + 65% perforated steel stiffener are modeled and simulated for 2nd moment of area and thermal resistance. Therm/window version 6.3 is used for thermal analysis. The results show that among the five samples analyzed, PVC frame + 65% perforated steel stiffener best satisfies both structural strength and thermal resistance.

Key words : U-factor, Window, Thermal bridge, Stiffener, Heat transfer

[†]To whom corresponding should be addressed.
School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology
Tel : +82-2-970-6557 E-mail : yikim@seoultech.ac.kr

1. 서론

1-1. 연구배경 및 목적

창문 전체의 총열전달계수(U-factor)는 이들을 구성하는 각각의 요소들이 지닌 열전달 특성에 의해 결정된다. 창문 등급제 시행 이후 총 열전달계수에 대한 성능 기준이 강화되자 유리, 간봉, 프레임, 창틀 등 창문을 구성하고 있는 요소별 분야에서 열적 성능을 높이는 방향으로 연구개발이 집중되고 있다. 그 중에서도 창문 전체 면적의 30% 내외를 차지하고 있는 프레임은 유리 요소 다음으로 창문 전체의 총 열전달계수에 미치는 영향이 큰 분야로서 현재 프레임 내부에 단열재를 충전하는 등 단열성능 개선을 위한 다양한 시도들이 이루어지고 있다.

현재 창문 프레임으로 활용되는 재질로는 알루미늄과 PVC인데, 특히 상대적으로 구조적 강도가 취약한 PVC 창문에 있어서 보강재의 사용은 필수적이다. PVC 프레임의 경우 외부 열에 의한 변성이 취약해 구조적 강도 확보 이외에도 열에 의한 프레임의 처짐(휨) 방지 목적으로도 사용되고 있다.

프레임의 단열 성능 개선을 위한 또 다른 고려 대상은 구조적 강도를 높이기 위해 프레임 내부에 삽입되는 보강재이다. 보강재는 유리를 포함한 창문의 자중과 내풍압 성능에 대응하기 위해 사용되는 부자재이다.

내풍압성은 강풍으로 인해 창문 프레임에 휨이 발생됨으로써 창문이 창틀과의 지지되어지는 높이가 감소되어 이탈되거나 유리가 파손되는 것을 방지하기 위한 프레임에 요구되는 구조적 성능이다.

현재 보강재는 철판을 프레임 내부 형상에 따라 성형하여 사용된다. 재질 특성상 강도가 높아 보강 효과가 크고, 보강재로 사용할 수 있는 재질 중 가장 저렴하다는 가격적 특성이 장점이다. 그러나 철판 보강재는 PVC 재질에 비해 열전도가 매우 높아 결과적으로 창문의 전체적 열적 성능을 떨어뜨리는 역기능적 작용을 한다는 것이 단점이다. 그럼에도 불구하고 보강재에 대한 열적 성능개선에 관한 연구는 현재까지 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다.

따라서 프레임의 U-factor 개선을 위해서는 단열재 충전 방법뿐만 아니라 보강재의 U-factor 개선을 위한 다양한 시도가 필요하다.

본 연구의 목적은 PVC 창문에서 사용되고 있는 기존 철판 보강재의 열적 성능을 개선하기 위한 것으로서, 이론적 고찰을 통해 성능개선을 위한 가설을 설정

하고, 설정된 가설 조건에 부합되도록 설계된 열교저감형 보강재를 대상으로 수식 및 시뮬레이션 평가를 통해 개선 효과를 검증 하고자 한다. 또한 검증된 평가 결과를 시제품 설계 시 반영함으로써 제작 단계에서 발생할 수 있는 시행착오를 미연에 방지함에 따른 시간 및 비용 절감을 위한 기초적 자료로 활용하고자 한다.

1-2. 연구 목적 및 방법

본 연구는 PVC 창문에서 사용되고 있는 종래 철판 보강재의 열적 성능을 개선하기 위한 것으로, 이론적 고찰을 통해 성능 개선을 위한 가설을 설정하고, 가설에 따라 보강재의 이론적 모델을 대상으로 시험, 평가한 결과를 시제품 설계 시 반영함으로써 제작 단계에서의 시행착오에 따른 시간 및 비용 절감을 위한 기초적 자료로 활용하기 위한 목적으로 수행하였다.

열교 저감형 보강재의 열 성능 시험과 구조적 안정성은 각각의 시험체를 대상으로 계산식 및 시뮬레이션을 통해 각각의 U-factor를 구한 뒤 종래 보강재의 결과 값을 기준으로 상대적인 비교를 통해 평가하였다.

1-3. 연구 범위 및 방법

열교저감형 보강재의 성능 평가는 각각의 시험체를 대상으로 계산식 및 시뮬레이션을 통해 각각의 결과 값을 구한 뒤 종래 보강재의 결과값과 상대적인 비교를 통해 평가하는 것으로 연구 범위를 한정하였다.

보강재의 U-factor를 구하기 위한 시뮬레이션은 Therm/window 6.3 프로그램을 사용하였으며, 보강재의 단면 성능 및 풍압에 따른 휨 변위량을 구하기 위해 Auto CAD 와 Ansys 16.1 을 사용하였다.

2. 가설의 설정 및 이론적 고찰

2-1. 가설의 설정

2-1-1. 가설(1)

전도 열전달률은 표면적에 비례하고 두께에 반비례한다. 따라서 부재의 체적이나 질량의 증감 없이 표면적을 저감하고 두께를 높인다면, 표면적으로 감소로 인한 열 흡수 면적의 열교 면적이 감소함은 물론 두께에 의한 열저항 증가로 인해 보강재의 전체적 U-factor를 개선시킬 수 있다.

2-1-2. 가설(2)

부재의 강도는 단면의 크기와 형태, 재료의 성질에

의해 결정된다. 부재의 축 강도(압축, 인장)와 전단 강도는 단면의 크기에 의해 결정되며, 휨 강도는 단면의 높이에 의해 결정된다. 따라서 동일 체적 내에서 부재의 표면적을 저감하고 상대적으로 두께를 높인다면 단면 2차 모멘트의 증가로 부재의 휨 강도가 증가 될 수 있다.

2-2. 이론적 고찰

2-2-1. 보강재의 열전달

열전달이 발생하는 원인은 온도차며, 온도차는 열전달을 일으키는 구동력으로 작용된다. 즉 온도차에 의해 발생된 구동력은 열을 고온부에서 저온부로 이동하게 하며, 두 물질간의 평형을 이루는 순간 열은 구동력을 상실하며 열전달은 종료된다.

열전달은 전도, 대류, 복사의 세 가지 경로를 통해 이루어진다. 보강재에서의 열전달은 전도와 복사에 의해서만 이루어지나, 불투명 소재에서는 복사에 의한 열전달을 거의 고려되지 않으므로 전도에 의해서만 가능하다.

전도에 의한 열전달은 외부 열원에 의해 물질 내부로 흡수된 열이 인접한 분자를 충돌하게 함으로서 열을 전달시키는 현상이다. 전도에 의한 열전달률 Q_{cond} (W)는 다음과 같이 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{cond} = kA \frac{T_{in} - T_{out}}{L} = \frac{T_{in} - T_{out}}{R} \quad (1)$$

여기서 k 는 부재의 열전도도(W/m·K), A 는 부재의 면적(m²), L 은 부재의 두께(m), T 는 온도 (°C), R 은 열저항(°C/W)이다. 두께에 따른 열손실, 즉 열저항 R 은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$R = \frac{L}{kA} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)을 보면 전도열전달율은 표면적에 비례하여 증가됨을 알 수 있으며, 두께(길이)에 비례해 열저항은 증가됨을 알 수 있다. 즉, 표면적이 크면 열전달량이 증가하고, 두께가 크면 반대로 열전달량은 감소된다. 따라서 보강재의 열전달량을 감소시키기 위해선 부재의 표면적을 감소시키고 두께를 증가시켜 부재에 의한 열저항을 최대한으로 높이는 것이 중요하다.

2-2-2. 보강재의 강도

창문에서의 보강재는 프레임의 내풍압성을 높이기 위해 사용된다. 풍압에 의해 부재에 외력이 작용되면 외력에 대항하여 응력이 발생된다. 이러한 응력의 상태는 부재 단면의 크기 및 형상에 따라 변하는데, 이를 단면(응)력이라 한다. 단면력은 휨 모멘트(M , bending moment), 전단력(V , shearing force), 축력(N , axial force) 등의 3가지가 있으며, 부재의 종류에 따라 단독, 또는 복합적으로 작용된다. 일반적인 보(beam)와 마찬가지로 보강재의 단면에서는 휨 응력과 전단 응력이 작용한다.

전단응력은 보의 단면에 서로 반대 방향의 힘이 직각 방향으로 작용되어 발생하는 응력이다. 일반적인 등분포 하중이 작용 될 경우 휨 모멘트의 변화는 그 단면에서의 전단력과 같게 나타난다^[4]. 따라서 풍압에 대한 보강재의 구조 검토 시 휨 응력만을 고려한다.

휨 응력(bending stress)은 부재에 휨 모멘트가 작용될 때 압축과 인장에 의해 발생하는 응력이다. 이러한 휨 응력은 보강재의 단면 형상에 따라 달라지는데 이것을 결정하는 것이 단면 2차 모멘트이다.

Fig 1에서와 같이 가로와 세로변의 길이가 각각 b , h 인 채널의 경우, 채널의 중심부를 통과하는 X축, Y축에서의 단면 2차 모멘트는 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[2]

단면 2차 모멘트는 형상 단면에 대한 휨의 정도를 나타내는 값으로 식(3)에서 보면 단면의 길이 b 보다는 단면의 높이 h 가 높아질수록 결과 값이 커진다. 즉, 도심의 위치로부터 먼 거리에 위치한 단면 일수록 단면 계수가 높아지는 결과를 얻게 된다. 따라서 보강재가 지닌 전체 단면적 크기는 유지하면서 힘이 작용하는 방향으로 단면의 길이를 늘려 배치한다면 단면 2차 모멘트를 증가 시킬 수 있게 된다.

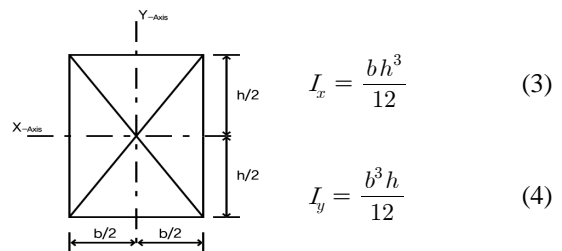


Fig. 1. Geometrical Moment of Inertia of Beam.

3. 시험체의 구성 및 시험방법

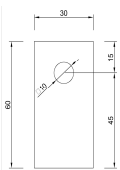
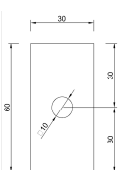
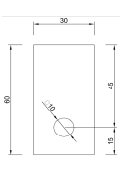
3-1. 열교 저감형 보강재의 시험체 모델링

열교 저감형 보강재의 모델링은 종래 2차 형태의 철재 보강재를 대상으로 하여 Fig 2에서처럼 타공을 통해 표면적을 감소시키고 Table 2에서처럼 타공된 체적만큼 단면 두께를 높여 타공 전·후 보강재의 단면적 크기를 동일하게 하면서, 결과적으로 힘의 방향에 따른 단면의 크기는 각각 다르게 배치되도록 하였다.

3-1-1. 타공 위치의 결정

구조적 관점에서 타공 위치는 부재의 도심을 결정하는 단면 1차 모멘트의 변수로 작용한다. 이는 다시 주축의 변화를 일으켜 단면 2차 모멘트에 영향을 미친다. 열교 저감형 보강재에서 최적의 타공 위치를 결정하기 위해 Table 1에서처럼 부재의 상, 중, 하 위치

Table 1. Perforation location and geometrical moment of Inertia

Specimens	Values
	<p>영역</p> <p>면적: 1721.4602 둘레: 211.4159 경계 상자: X: -15.0000 -- 15.0000 Y: -29.3157 -- 30.6843 중심: X: 0.0000 Y: 0.0000 관성 모멘트: X: 521031.4257 Y: 134509.1261 관성곱: XY: 0.0000 회전 반경: X: 17.3974 Y: 8.8395 중심에 관하여 주 모멘트의 X-Y 방향: I: 134509.1261 [0.0000 -1.0000] J: 521031.4257 [1.0000 0.0000]</p> <p>Area(mm²) : 1721.46 $I_x(J): 521031.43mm^4, I_y(J): 134509.13mm^4$</p>
	<p>영역</p> <p>면적: 1721.4602 둘레: 211.4159 경계 상자: X: -15.0000 -- 15.0000 Y: -30.0000 -- 30.0000 중심: X: 0.0000 Y: 0.0000 관성 모멘트: X: 539509.1261 Y: 134509.1261 관성곱: XY: 0.0000 회전 반경: X: 17.7032 Y: 8.8395 중심에 관하여 주 모멘트의 X-Y 방향: I: 134509.1261 [0.0000 -1.0000] J: 539509.1261 [1.0000 0.0000]</p> <p>Area(mm²) : 1721.46 $I_x(J): 539509.13mm^4, I_y(J): 134509.13mm^4$</p>
	<p>영역</p> <p>면적: 1721.4602 둘레: 211.4159 경계 상자: X: -15.0000 -- 15.0000 Y: -30.6844 -- 29.3156 중심: X: 0.0000 Y: 0.0000 관성 모멘트: X: 521031.4257 Y: 134509.1261 관성곱: XY: 0.0000 회전 반경: X: 17.3974 Y: 8.8395 중심에 관하여 주 모멘트의 X-Y 방향: I: 134509.1261 [0.0000 -1.0000] J: 521031.4257 [1.0000 0.0000]</p> <p>Area(mm²) : 1721.46 $I_x(J): 521031.43mm^4, I_y(J): 134509.13mm^4$</p>

에 각각 타공 면을 형성하고 이에 따른 단면 2차 모멘트 값을 구하여 비교하였다. Table 1에서처럼 부재의 상, 하부보다 중심에 타공 되었을 때 Y축에 대한 단면 2차 모멘트 크기는 모두 동일하나, 강축인 X축에 대한 단면 2차 모멘트가 가장 큰 값을 보여주고 있다.

따라서 보강재의 타공 위치는 부재의 높이(h)에 영향을 주지 않으면서도 합력이 작용되는 중심점을 타공 부위로 설정하였다.

3-1-2. 타공에 따른 열교 저감형 보강재의 모델링

보강재의 타공은 단면 손실을 가져와 열 성능에는 유리하나 그만큼의 모멘트를 저하 시키게 된다. 즉, 부재 중심의 타공은 Fig 2의 그림에서처럼 결국 X축 단면 2차 모멘트 $I_x = bh^3/12$ 에서 결과 값의 비중이 높은 h³값을 유지 시키나 b값을 감소 시켜 그만큼의 모멘트를 저하 시키게 된다.

따라서 타공으로 손실된 b 값만큼의 단면량을 보강재 3면 전체의 두께를 높임으로서 타공 전·후 보강재의 체적을 모두 동일하게 하였다. 시험체 모델의 타공 면적과 이에 따른 두께의 증가 치수는 Table 9에서와 같다.

3-2. 시험항목별 시험체 구성조건 및 시험방법

3-2-1. U-factor 산출

보강재의 U-factor 산출을 위한 시험체는 ①보강재가 없는 PVC 프레임, ②PVC 프레임 + 기본형 보강재, ③PVC 프레임 + 30% 저감형 보강재, ④PVC 프레임 + 50% 저감형 보강재, ⑤PVC 프레임 + 65% 저감형 보강재로 구성하였다. 보강재가 없는 PVC 프레임 시험체는 보강재의 삽입에 따른 단열 성능 저하 정도를 평가하기 위해 구성하였다.

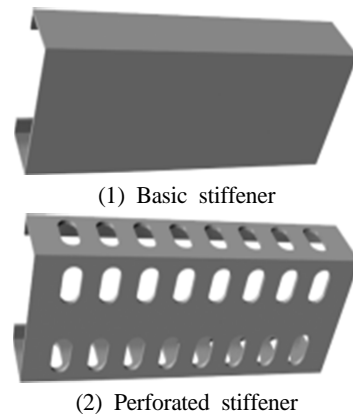


Fig. 2. Modeling of Thermal Bridge Stiffener.

(1) 계산식에 의한 U-factor 산출

열교 저감형 보강재는 타공에 의해 전체 면적을 감소시키고 이 부분에 공기가 치환되게 한 것이므로, U-factor 산출을 위한 모델링 시 편의상 타공되어진 면적을 줄인 만큼 단면적이 길이를 축소하여 전체 면적을 산출 하였으며, 상대적으로 증가된 두께를 고려하여 식(5), 식(6)에 의해 U-factor를 산출하였다. 계산 시 환경 설정은 Table 2에서와 같다.

$$Q = \frac{T_{indoor} - T_{outdoor}}{R_{total}} \quad (5)$$

$$U = \frac{Q}{A(T_{indoor} - T_{outdoor})} \quad (6)$$

(2) 시뮬레이션에 의한 U-factor의 산출

시뮬레이션에 의한 U-factor의 산출을 위해서는 이론식 모델링과 동일한 방법으로 시뮬레이션 모델링 한 후 Therm/window 6.3 프로그램을 이용하여 U-factor를 산출하였다. 환경은 계산식에서와 동일한 조건으로 Table 2에서와 같이 설정하였다^[4]

3-2-2. 구조적 안정성 시험

(1) 단면성능 시험

단면성능은 부재의 단면적 크기에 의해 결정되는데, 도심 위치를 구하기 위한 단면 1차 모멘트, 관성모멘트, 휨의 특성을 결정하는 단면2차 모멘트 등을 말한다.

이러한 단면 성능은 보강재의 휨 응력이나 처짐 정도를 결정하는 요소로 사용된다. 본 연구에서는 보강재의 단면성능에서 강축인 X축을 기준으로 한 단면 2차 모멘트 I_x 를 구한 뒤 각 case 별로 비교하였다.^[5]

단면성능 시험을 위한 시험체는 ①기본형 보강재, ②30% 저감형 보강재, ③50% 저감형 보강재, ④65% 저감형 보강재로 구성하였다. 단면 2차 모멘트 I_x 값을 구하기 위해 Auto CAD를 사용하였다.

Table 2. Environment Conditions

Temperature	indoor	21℃
	outdoor	- 18℃
Emissivity	0.9	
Convection heat transfer coefficient	h_indoor	2.44 W/m ² ·K
	h_outdoor	26 W/m ² ·K

(2) 풍하중에 따른 보강재의 처짐 시험

본 시험은 풍압력에 의한 하중이 각각의 부재에 작용할 때 보강재가 지닌 휨 응력에 따라 발생하는 처짐량을 상대적으로 비교하기 위해 실시하였다. 부재는 양단이 고정된 단순보 형식으로 표현 하였으며, 풍압에 의한 하중은 100,000 Pa, 하중형태는 등분포하중, 부재의 길이는 240 mm로 하였다.

풍하중에 의한 처짐 시험은 강축인 X축과 약축인 Y축에 대하여 각각 시행하였다.

처짐에 대한 변위량을 알아보기 위한 각각의 시험체는 ①PVC 프레임 + 기본형 보강재, ②PVC 프레임 + 30% 저감형 보강재, ③PVC 프레임 + 50% 저감형 보강재, ④PVC 프레임 + 65% 저감형 보강재로 구성 하였다. 처짐 시험을 위해 사용한 시뮬레이션 프로그램은 Ansys 16.1을 이용하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4-1. 시험결과

4-1-1. U-factor 산출

(1) 계산식에 의한 U-factor 산출

계산식에 의한 U-factor 산출 결과 값은 Table 3과 같다.

계산식에 의한 U-factor 산출 결과 PVC frame에 비해 PVC frame + Basic stiffener 즉, 보강재를 삽입한 경우 U-factor 값이 0.9085 정도 증가였으며, PVC frame + 65% perforated stiffener 경우 PVC frame에 비해 0.1626 정도 증가 하였으나, PVC frame + basic stiffener 비해 0.7459 정도가 감소한 것으로 나타났다.

Table 3. Thermal Resistance, Heat Transfer Rate and Overall Heat Transfer Coefficient

Case	Rtotal(℃/W)	Q (W)	U(w/m2·K)
PVC frame	34.57	1.1280	0.5785
PVC frame + basic stiffener	13.45	2.8997	1.4870
PVC frame + 30% perforated stiffener	19.61	1.9885	1.0198
PVC frame + 50% perforated stiffener	23.79	1.6391	0.8406
PVC frame + 65% perforated stiffener	26.99	1.4451	0.7411

(2) 시뮬레이션에 의한 U-factor의 산출

시뮬레이션에 의한 U-factor의 산출결과 Table 4와 같다⁴⁾.

시뮬레이션에 의한 U-factor 산출 결과 PVC frame에 비해 PVC frame + Basic stiffener 즉, 보강재를 삽입한 경우 U-factor 값이 1.4373 정도 증가였으며, PVC frame + 65% perforated stiffener 경우 PVC frame에 비해 0.0973 정도가 증가 하였으나, PVC frame + Basic stiffener 비해 1.34 정도가 감소한 것으로 나타났다.

(3) 계산식과 시뮬레이션 결과값의 비교

계산식과 시뮬레이션 결과값의 비교 결과 계산식에 의한 값이 전체적으로 낮게 나타났다. PVC frame + Basic stiffener에서 큰 폭의 차이를 보이고 있으나, 저감 면적이 늘어날수록 PVC frame + 65% perforated stiffener 두 값이 각각 0.7411와 0.7710로 유사하게 근접하는 것으로 나타났다.

4-1-2. 구조적 안정성 시험

(1) 단면 성능 시험

열교 저감형 보강재의 X축을 기준으로 한 단면 2차 모멘트 I_x 에 대하여 계산식에 의해 산출한 결과 값은 Table 6과 같다.

Table 4. Simulation Result of the Perforated Stiffener (Unit : W/m²·K)

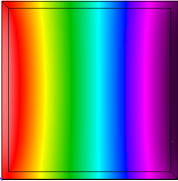
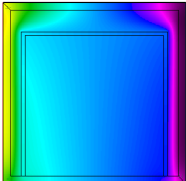
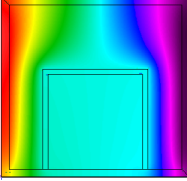
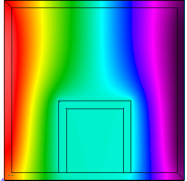
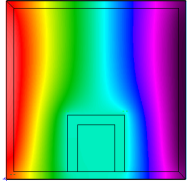
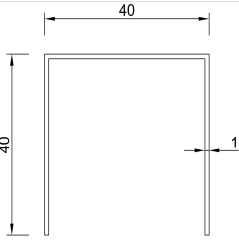
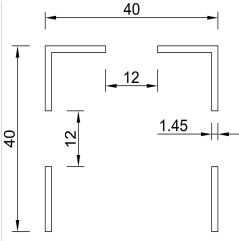
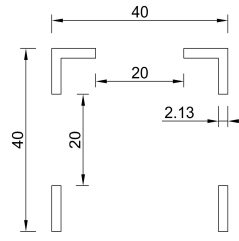
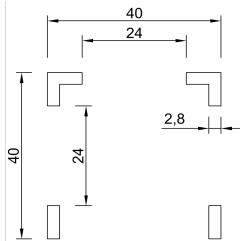
PVC frame	PVC frame + Basic stiffener	PVC frame + 30% perforated stiffener	PVC frame + 50% perforated stiffener	PVC frame + 65% perforated stiffener
				
0.6737	2.1110	1.1310	0.8774	0.7710

Table 5. U-factor Calculations by Equation and Simulation (Unit : W/m²·K)

Case	U-factor by equation	U-factor by simulation	Difference value
PVC frame	0.5785	0.6737	0.0952
PVC frame + basic stiffener	1.4870	2.1110	0.6240
PVC frame + 30% perforated stiffener	1.0198	1.1310	0.1112
PVC frame + 50% perforated stiffener	0.8406	0.8774	0.0368
PVC frame + 65% perforated stiffener	0.7411	0.7710	0.0299

Table 6. Model Size and Geometrical Moment of Inertia (Unit : mm⁴)

Basic stiffener	30% perforated stiffener	50% perforated stiffener	65% perforated stiffener
			
34999.3	36143.6	37189.8	37329.3

계산식에 의해 열교 저감형 보강재의 I_x 산출결과 기본형 보강재에 비해 모든 결과값이 일정한 비율로 증가되었으며, 65% perforated stiffener 경우 기본형 보강재에 비해 2,330 mm⁴ 크게 증가한 것으로 나타났다.

(2) 풍하중에 따른 보강재의 처짐 시험

풍하중에 의한 열교저감형 보강재의 휨응력과 처짐에 대한 변위량 시험결과는 Table 7, 8 과 같다.

상기 결과 풍하중에 대하여 강축인 X축의 경우 기

본형 보강재에 비해 열교저감형 보강재의 처짐 크기가 모두 감소한 것으로 나타났으며, 65% perforated stiffener 경우 기본형 보강재에 비해 0.127 mm크기로 처짐이 감소되는 것으로 나타났다. 반면, 약축인 Y축에 대해선 타공 면적이 증가함에 따라 처짐량도 증가하는 것으로 나타났다.

4-2. 결과 고찰

U-factor, 단면성능, 부재 강도(처짐)에 대한 시험결과를 종합한 결과 Fig 3~5와 같이 나타났다.

Table 7. Total Deformation of the Frame Due to Wind Load Test (Unit : mm)

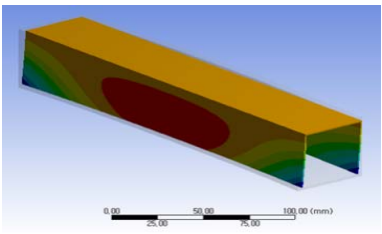
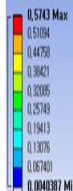

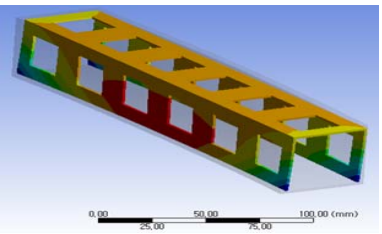
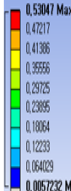

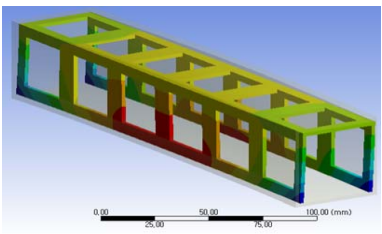
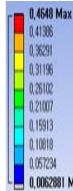

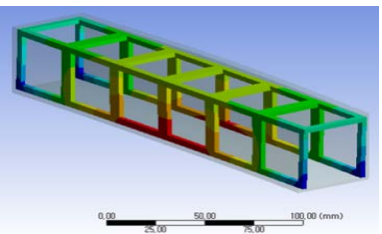
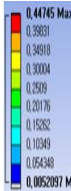
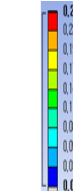
Case1	PVC frame + Basic stiffener	Case2	PVC frame + 30% perforated stiffener
	X-axis Y-axis  		X-axis Y-axis  
X-axis deformation Max: 0.574, Min: 0.004		X-axis deformation Max: 0.530, Min: 0.006	
Y-axis deformation Max: 0.068, Min: 0.014		Y-axis deformation Max: 0.092, Min: 0.011	
Case3	PVC frame + 50% perforated stiffener	Case4	PVC frame +65% perforated stiffener
	X-axis Y-axis  		X-axis Y-axis  
X-axis deformation Max: 0.465, Min: 0.006		X-axis deformation Max: 0.447, Min: 0.005	
Y-axis deformation Max: 0.134, Min: 0.007		Y-axis deformation Max: 0.256, Min: 0.003	

Table 8. Total Deformation of the Frame Due to Wind Load Test (Unit : mm)

Case	X-axis deformation(Max)	Y-axis deformation (Max)
PVC frame + basic stiffener	0.574	0.068
PVC frame + 30% perforated stiffener	0.530	0.092
PVC frame + 50% perforated stiffener	0.465	0.134
PVC frame + 65% perforated stiffener	0.447	0.256

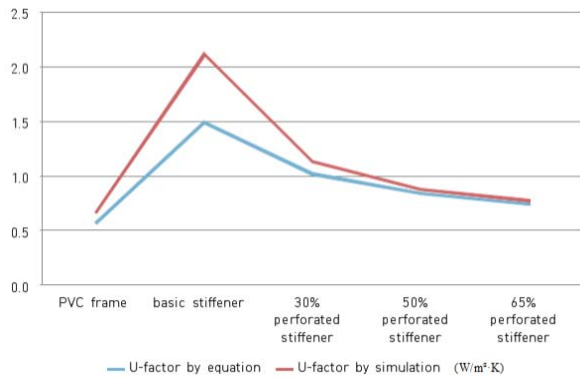


Fig. 3. U-factor Calculations by Equation and Simulation.

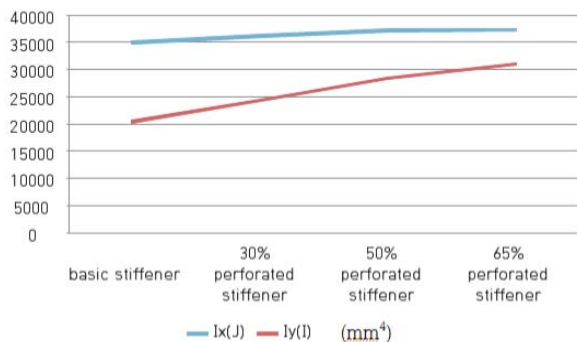


Fig. 4. Model Size and Geometrical Moment of Inertia.

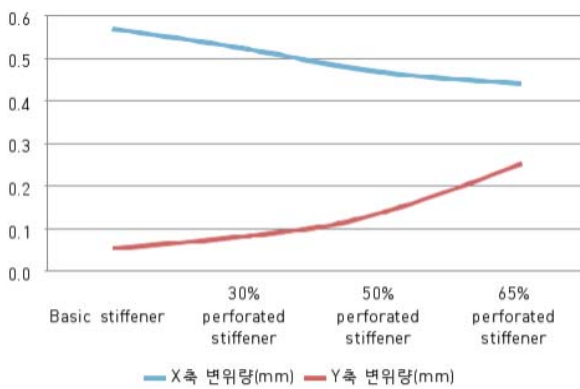


Fig. 5. Total Deformation of the Frame Due to Wind Load Test.

열교저감형 보강재의 U-factor 값은 Fig 3에서와 같이 계산식과 시뮬레이션에 의한 값 모두 기본형 보강재에 비해 개선된 것으로 나타났으며, 타공에 따라 표면적이 저감될수록 U-factor값이 감소되는 것으로 나타났다.

계산식에 의한 열교 저감형 보강재의 I_x 산출결과 기본형 보강재에 비해 모든 결과값이 높게 나타났으며 두께 증가에 따라 일정한 비율로 결과값이 증가되었음을 알 수 있다.

풍압에 의한 프레임의 변위량(처짐) 시험 결과 Fig 5에서처럼 강축인 x축을 기준으로 기본 보강재에 비해 처짐 정도가 모두 감소되었으며, 두께 증가에 따라 처짐량이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 y축 방향에 대해서는 기본형 보강재에 비해 열교저감형 보강재의 처짐값이 증가하는 것으로 나타났으나, 창문에서의 보강재는 풍압에 따른 하중 방향에 대하여 부재의 강축인 x축 방향으로 배치되므로 y축 방향에 대한 결과 값은 본 연구의 가설 1과 2에 영향을 주는 요소는 아니다.

상기 시험에 따른 Fig 3~5의 모든 결과를 종합해 보면 가설 1, 2의 내용과 정확히 일치하는 흐름을 보여주고 있다. 따라서 본 연구는 가설1, 2를 바탕으로 구현된 열교 저감형 보강재의 실질적 구현 가능성을 간접적으로 보여준 것으로 본 연구 결과의 현실적 반영을 통해 제작 단계에서 필연적으로 발생하는 시행착오에 의한 시간과 비용을 충분히 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 가상의 모델을 대상으로 하여 간접적인 방법에 의해 시험 평가가 이루어진 것으로 실제 시험체를 제작하여 물리적인 시험을 통해 얻어진 결과와 비교한다면 분명한 차이가 발생할 것이다. 그러나 본 연구에서는 결과 값의 정확성 보다는 시험 결과가 보여주는 전체적 흐름과 경향을 더욱 중시하였다

(1) Table 8에서 보면 이론에 의한 결과보다 시뮬레이션에 의한 U-factor가 높은 것으로 나타나는데, 이러한 차이는 수식의 경우 전도와 대류에 의한 1차원 열 전달만을 고려한 것이고, Therm/window 프로그램은 복사를 추가하여 계산했기 때문인 것으로 평가된다.

그 예로 수식에 의한 산출 결과값 Table 6을 보면 보강재의 위치에 상관없이 모두가 동일한 결과 값을 보여 주고 있는데 반해, 시뮬레이션에 의한 결과 값 Table 7은 위치에 따라 각각 다른 값을 보여주고 있다는 사실을 통해 확인 할 수 있다.

(2) 보강재가 없는 PVC 프레임과 기존 보강재가 삽입된 PVC 프레임과의 U-factor를 비교 시 두 계산 방법 모두 3배 이상의 차이를 보이는데, 이는 보강재가 프레임의 열관류율을 크게 증가 시키는 원인으로 작용됨을 알 수 있다.

(3) Table 8에서 종래(기본형) 보강재에 비해 열교 저감형 보강재의 모든 열관류율 값이 낮게 나타나는데, 이는 보강재의 전열면적의 감소가 실질적으로 U-factor를 저하시키고 있음을 보여주고 있다.

따라서 기존 보강재의 열교 면적 감소를 통해 기존 보강재의 열적 성능을 충분히 개선 할 수 있다는 사실을 보여주고 있다.

(5) 보강재의 단면 성능 및 부재의 휨에 의한 변위량 시험 결과를 보면, 기존 보강재에 비해 열교 저감형 보강재의 강도가 모두 높은 것으로 나타났다.

이는 X축 단면 2차 모멘트 $I_x = bh^3/12$ 에서 타공으로 손실된 b값만큼의 단면이 결과적으로 c자 부재의 강도에서 상대적으로 큰 비중을 차지하고 있는 h^3 값을 증가 시킨 결과로 판단된다.

(6) 타공 면적을 지속적으로 늘리게 되면 열전달량은 비례적으로 감소하고 단면 2차 모멘트도 비례적으로 증가한다. 그러나 b 와 h의 크기가 일정한 범위 내에서의 관계를 가지지 못한다면 비틀림 현상이 발생될 수 있음을 고려해야한다.

(7) 복사 열전달은 열원의 온도 및 거리와 관계가 있다. 높은 온도 열원 주변의 부재는 이보다 거리가 상대적으로 먼 부재에 비해 더 많은 복사 열전달을 받게 된다.

Table 8은 이러한 복사 열전도의 특성을 그대로 보여 주고 있다. 즉, 보강재를 기준으로 똑같은 크기의 공기층을 양측에 분배한 경우의 시험에서는 가장 낮은 U-factor를 보여주고 있으며, 똑같은 양의 공기층을 실내 측으로 배분하고 보강재를 외기 접합부의 프레임에 밀착시킨 경우 가장 높은 U-factor를 보여주고 있다.

이러한 사실은 고려하면 프레임 전체의 U-factor는 프레임 내부에 형성된 격실의 형태 및 크기, 보강재의 형태 및 삽입 위치 등에 따라 다르게 나타날 수 있음을 간접적으로 보여 주고 있다. 따라서 추후 이와 관련된 다양한 연구가 필요할 것으로 사료되어진다.

5. 결론

본 연구의 목적은 이론적 근거를 바탕으로 설정된 가설의 구체적 실현 가능성을 검증하기 위해 구현된 열교 저감형 보강재와 기존 보강재와의 상대적 성능 비교를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 계산식과 시뮬레이션에 의한 U-factor 산출결과 계산식에 의한 결과보다 시뮬레이션 의한 U-factor가 높은 것으로 나타나는데, 이러한 차이는 수식의 특성상 전도와 대류에 의한 1차원 열전달만을 고려한 것이고, Therm/window 프로그램은 복사를 추가하여 계산했기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 보강재가 없는 PVC 프레임과 기존 보강재가 삽입된 PVC 프레임과의 U-factor를 비교 시 두 계산 방법 모두 3배 이상의 차이를 보이는데, 이는 보강재가 프레임의 열관류율을 크게 증가 시키는 원인으로 작용됨을 알 수 있다.

(3) 계산식과 시뮬레이션에 의한 U-factor 산출결과에서 종래(기본형) 보강재에 비해 열교 저감형 보강재의 모든 열관류율 값이 낮게 나타나는데, 이는 보강재의 전열면적의 감소가 실질적으로 U-factor를 저하시키고 있음을 보여주고 있다. 따라서 기존 보강재의 열교 면적 감소를 통해 기존 보강재의 열적 성능을 충분히 개선 할 수 있다고 판단된다.

(4) 보강재의 단면 성능 및 부재의 휨에 의한 변위량 시험 결과를 보면, 기존 보강재에 비해 열교 저감형 보강재의 강도가 모두 높은 것으로 나타났다. 이는 X축 단면 2차 모멘트 $I_x = bh^3/12$ 에서 타공으로 손실된 b값만큼의 단면이 결과적으로 c자 부재의 강도에서 상대적으로 큰 비중을 차지하고 있는 h^3 값을 증가 시킨 결과로 판단된다.

(5) 타공면적을 지속적으로 늘리게 되면 열전달량은 비례적으로 감소하고 단면 2차 모멘트도 비례적으로 증가한다. 그러나 b 와 h의 크기가 일정한 범위 내에서의 관계를 가지지 못한다면 비틀림 현상이 발생될 수 있음을 고려해야한다.

상기에서 도출된 결론은 기본형 보강재에 비해 열교저감형 보강재의 열성능이 일정부분 개선되는 것으로 나타났다. 프레임 전체의 U-factor는 보강재의 열성능 뿐 만아니라 프레임 내부에 형성된 격실의 형태 및 크기, 보강재의 형태 및 삽입 위치 등에 따라 다르게 나타날 수 있다. 따라서 향후 이와 관련된 다양한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

1. Cengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Turner, R. H. (2012). *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*, 4th ed., McGraw-Hill.
2. Kwon, T., W. (1993). *Curtain Planning and Construction*, Publishing Company Sewoong.
3. Kim, S. S., & Youn, S. K. (2014). *Steel Structure Design*, Publishing Company Munundang.
4. No, S. T., & Jeong, J. W. (2011). A Study on Analysis Method of Curtain Wall Thermal Performance Comparing Simulation and Mock-up Test, *Journal of the KIAEBS of Korea*, Vol. 5, 1-6.
5. Kim, J. Y., (2015). Evaluation of Probabilistic Capacities of Old Window System in Residential Buildings for Strong Winds, *J, Korean Soc. Hazard Mitig.* Vol. 15,
6. Lee, Y. W., (2010). The Analysis of Wind Load On Curtain Wall Member of the Building, *Journal of the Architectural Institute of Korea*,
7. Lee, J. B., (2011). Systematic Performance Assessments for the Design of High Performance Glazing, *Journal of the Architectural Institute of Korea*,