

단열시트(뽁뽁이)의 종류 및 부착위치에 따른 창호의 단열성능 평가

Thermal Performance Evaluation of the Window Systems with Air-bubble Sheets

황 제(Je Hwang)¹, 정아희(Ah Hee Jeong)¹, 전병헌(Byung Heoun Jeon)¹, 안영철(Young Chull Ahn)^{2*}

¹부산대학교 대학원 건축공학과, ²부산대학교 건축공학과

¹Department of Architectural Engineering, Graduate School, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

²Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

(Received July 11, 2015; revision received July 27, 2015; Accepted: August 1, 2015)

Abstract The air-bubble sheet has been widely used to wrap fragile products for long-distance transportation. The further usage of the air-bubble sheet as a thermal-insulation material for the reduction of the thermal conductivities of window systems has occurred because of its low price, in addition to its thermal-conductivity properties. In this study, the thermal performances of a variety of commercial air-bubble sheets according to various applications were evaluated. The experiments were performed with single-glazed and double-glazed windows and three types of air-bubble sheets of different air volumes. U-values are used and were calculated for the determination of the thermal performances that are based on the KS F 2278. The maximum decrease of the U-value was measured as 1.092 when a sheet was attached onto the frame of single-glazed window. The square-like air-bubble sheet that contains the largest air volume shows the highest thermal-resistance value. Double layers of the air-bubble sheets show better performances than those of the single layers on both sides of the windows.

Key words Window(창호), Air-bubble sheet(단열시트), Heat loss(열손실), Thermal insulation(단열)

* Corresponding author, E-mail: ycahn@pusan.ac.kr

기호설명

R_s : 표준판의 열저항 [$m^2 \cdot K/W$]
 T : 온도 [$^{\circ}C$]
 d : 표준판의 평균 두께 [m]
 Q : 공급 열량 [W]
 Q_I : 가열 상자 공기의 평균값과 항온실 공기 온도의 평균값의 차로부터 교정열량 선도를 이용하여 구한 교정 열량 [W]
 A : 전열 개구 면적 [m^2]
 ΔR : 표면열전달 저항 보정 값 [m^2K/W]
 K : 열관류율 [W/m^2K]

그리스 문자

λ : 표준판 소재의 열전도율 [$m^2 \cdot K/W$]

하첨자

H_a : 가열 상자 내 공기
 C_a : 저온실 내 공기
 C_s : 표준판 저온실측 표면

H_s : 표준판 가열 상자 측 표면
 H : 가열 상자
 F : 기류 교반 장치
 s : 표준판

1. 서론

최근 건물 외피부분의 열손실에 대한 관심이 높아짐에 따라 이를 저감시킬 수 있는 요소 기술 개발 및 연구가 많이 진행되고 있다.⁽¹⁾ 특히 창호의 경우 건물의 외피 중 일반 벽체에 비해 에너지 손실 측면에서 매우 취약하여, 이를 보완하기 위한 고단열 및 고기밀 기능을 지닌 창호들이 개발되고,^(2,3) 더불어 창호기밀 테이프, 문풍지 등 건물 사용자들이 손쉽게 설치할 수 있는 저렴한 제품들이 시중에 판매되고 있다. 그 중 몇 년 전부터 취성을 가진 제품 포장 시 사용되던 일명 뽁뽁이는 건설 현장에서 콘크리트 양생을 위한 양생시트로 사용되기 시작하였으며⁽⁴⁾ 최근에는 겨울철 창호의 단열 시트 용도로 수요가 급격히 증가하고 있다. 이러한 단열시트

는 창호의 유리부분에 분무기로 물을 분사시켜 간단한 방법으로 부착시켜 사용되고 있다.

본 연구에서는 단열시트(백백이)의 단열 성능에 대한 정량적 평가를 위하여 창호 단열 성능 평가 기준으로 널리 사용되는 열관류율 값을 측정 비교하였다. 분석 대상으로는 시중에서 상용화 되어 있는 공기량이 다른 세 가지의 단열시트를 사용하였으며 창호 부착 위치에 따른 단열특성도 함께 분석하였다.

2. 실험장치 및 대상

2.1 실험장치

Fig. 1은 KS F 2278 “창호의 단열성 시험 방법”⁽⁵⁾에 부합하는 실험 장치의 개략도이다. 실험 장치는 2,000 mm×2,000 mm의 개구부를 사이에 두고 서로 접하는 저온실, 항온실, 항온실 내부의 가열상자, 저온실 냉풍 취출 장치, 그 밖의 측정기 등을 갖춘 항온항습 챔버를 사용하였다. 시험체 부착틀은 두께 200 mm, 열 저항 값이 6.452 m²K/W인 타입 2의 폴리스티렌을 사용하였다.

항온실, 가열상자, 저온실은 온도 분포가 균일하도록 기류를 조절하였으며, 가열 상자 내의 공기가 시험체 표면에 균일하게 흐르도록 기류속도를 조절하였다.

2.2 실험대상

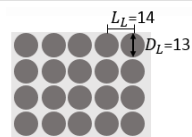
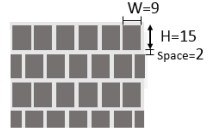
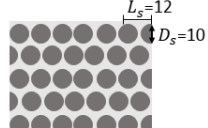
2.2.1 대상창호

Table 1은 본 연구에서 사용된 창호시스템의 사양을 나타낸 것으로 1,000 mm×1,000 mm 크기의 슬라이딩 방식 창호에 5 mm의 유리가 끼워진 단일 미닫이 유리창과 6 mm의 공기층을 가지는 이중 유리가 끼워진 이중 미닫이 유리창을 사용하였다. 두 가지 창호에 대

Table 1 Specifications of the window

Window	Composition of glazing
Single-glazed	5 mm glass
Double-glazed	5 mm glass×6 mm Air×5 mm glass

Table 2 Types of air-bubble sheets

Air-bubble sheet	Air area ratio (%)	Thickness (mm)	Shape of air-bubble (mm)
Large circular air-bubble	28.0	4	
Squarish air-bubble	34.8	4	
Small circular air-bubble	25.1	4	

한 단열성능을 비교함으로써 단열시트의 특성을 분석하고자 하였다.

2.2.2 단열시트

본 연구에서 사용된 단열시트는 에어캡에 들어있는 공기량이 다른 3가지의 종류를 사용하였다. Table 2는 시트 1 m² 중 에어캡이 차지하고 있는 면적의 비율과 두께 및 형상을 나타내었다. 3가지 종류 중 사각형 에어캡의 경우 단위면적당 34.8%의 가장 많은 공기층을 가지고 있으며, 큰 원형과 작은 원형의 단열시트는 각각 28.0%, 25.1%를 차지한다.

3. 실험방법

항온실, 가열상자의 온도는 20±1℃, 저온실의 온도는 0±1℃로 설정한 후, 정상 상태에서 30분 간격으로 온도 및 열량을 3회 측정하여 평균값을 계산하였다.

Fig. 2와 같이 단열시트를 유리 위에 부착한 경우와 프레임 위에 부착한 경우로 나누어 분석하였다. 유리 위에 부착할 경우는 분무기로 물을 뿌려 부착하고, 프레임 위에 부착할 경우 접착용 테이프를 이용하였다. 각각의 경우에 따른 열관류 저항 값 측정은 아래의 실험방법에 따라 반복하여 진행하였다.

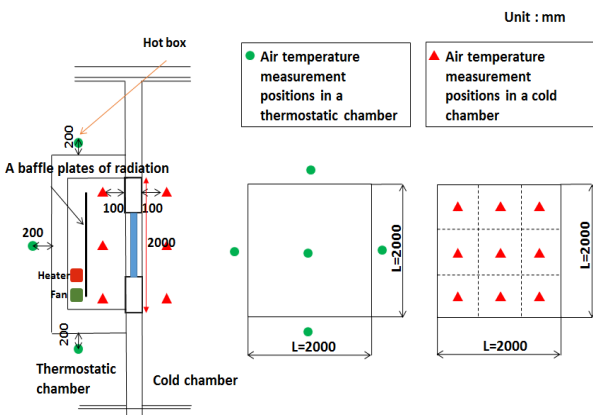


Fig. 1 Schematic of the chamber used for the experiment.

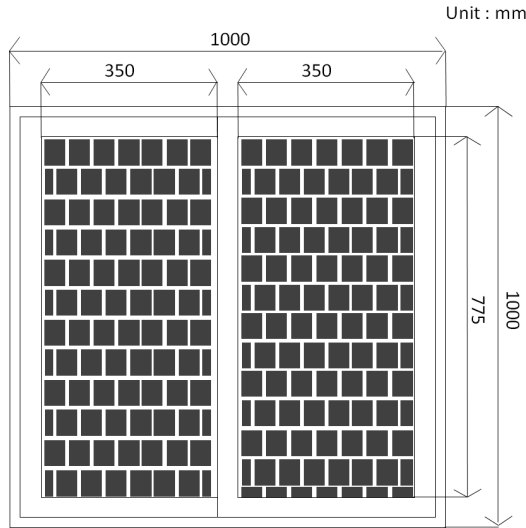


Fig. 2 Window system with squarish air-bubble sheets on the glass.

3.1 표준판에 의한 표면 열전달 저항의 설정

KS M 3808⁽⁶⁾에 규정하는 B류 보온판 3종으로 두께 25 mm, 치수는 개구 치수에 적합한 크기의 표준판을 사용하여 가열 상자 쪽 및 저온실 쪽의 표준판 표면에서 기류를 조정하였다. 표면 온도 및 공기 온도가 정상 상태가 된 후, KS F 2278⁽⁵⁾에 명시되어 있는 측정 점에서 온도를 측정하고 각 부분에 대한 표면 열전달 저항 값을 아래의 식을 통해 계산하였다. 표면 열전달 저항의 평균값은 가열 상자 쪽 표면의 경우 식(1)을 적용하여 계산 값이 $0.11 \pm 0.02 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ 가 되도록 하며, 저온실 쪽 표면에서는 식(2)를 적용하여 값이 $0.05 \pm 0.02 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ 가 되도록 기류를 조정하였다.

$$R_i [\text{m}^2\text{K}/\text{W}] = R_s \frac{T_{Hi} - T_{Hs}}{T_{Hs} - T_{Cs}} \quad (1)$$

$$R_o [\text{m}^2\text{K}/\text{W}] = R_s \frac{T_{Cs} - T_{Hs}}{T_{Hs} - T_{Cs}} \quad (2)$$

3.2 교정열량 산출

교정열량은 가열 상자 둘레 벽과 시험체 부착 틀을 통과하는 열량의 교정값을 말한다. 시험체 부착 틀 개구와 동일한 치수로 표준판을 저온실 쪽 표면으로부터 50 mm 들어간 위치에 부착한 후, 위에서 규정한 항온실, 가열상자 및 저온실 공기 온도 값으로 일정하게 유지시킨다. 앞서 설정한 동일 기류 조건하에서 각각 정상 상태가 된 후, 항온실 공기의 평균값을 가열 상자 공기 온도의 평균값에 대하여 -2°C 에서 $+2^\circ\text{C}$ 까지 임

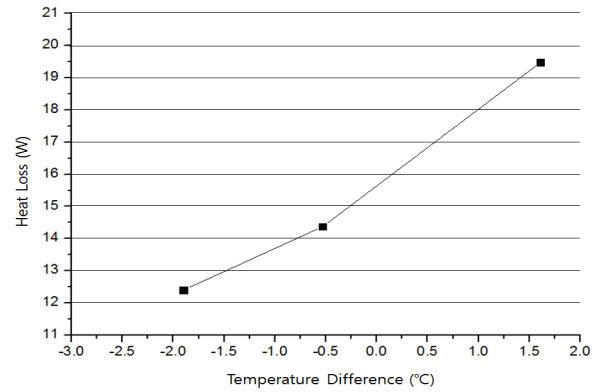


Fig. 3 Calibration curve for the compensation of heat loss from the hot box.

의로 3점을 변화시켜가며 분석하였으며, 각각 정상 상태가 된 후, 양측의 표면 온도, 가열 장치 공급 열량 및 기류 교환 장치 공급 열량을 측정하였다. Fig. 3은 식(3)과 식(4)를 이용하여 구한 교정 열량 선도이다.

$$Q[W] = Q_H + Q_F - Q_S \quad (3)$$

$$Q_s[W] = \frac{T_{Hs} - T_{Cs}}{R_s} \cdot A_s \quad (4)$$

4. 실험결과 및 고찰

4.1 열관류율 값 산출 및 분석

열관류율 값을 식(5)를 이용하여 계산하되 표준판 양쪽 표면 열전달 저항의 합이 $0.16 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ 이 되지 않는 경우는 표면 열전달 저항의 보정 값으로 교정하여 식(6)을 토대로 열관류 저항 값을 산출하여야 하나, 본 연구에서는 표면 열전달 저항 합이 $0.14 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ 로 산출되어 식(5)를 토대로 교정열량 값을 계산하였다.

$$\Delta R [\text{m}^2\text{K}/\text{W}] = 0.16 - (R_i + R_o) \quad (5)$$

$$R [\text{m}^2\text{K}/\text{W}] = \frac{1}{K} = \frac{(Q_{Hs} - Q_{Cs}) \cdot A}{Q_H + Q_F - Q_I} + \Delta R \quad (6)$$

Fig. 4는 단일 유리창과 이중 유리창을 대상으로 3가지 단열시트를 유리에 부착하였을 경우와 프레임 위에 부착하였을 경우의 열관류율 값을 나타낸 것이다. 프레임에 부착할 경우의 열관류율 값은 유리에 부착할 경우에 비해 $0.475 \sim 0.539 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 작은 값을 가졌다. 단열시트 부착전과 비교하였을 때 가장 큰 개선효과를 보인 경우는 단일유리창의 프레임 위에 단열시트를 부착한 경우로 $1.092 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 의 열관류율 값 차이를 가

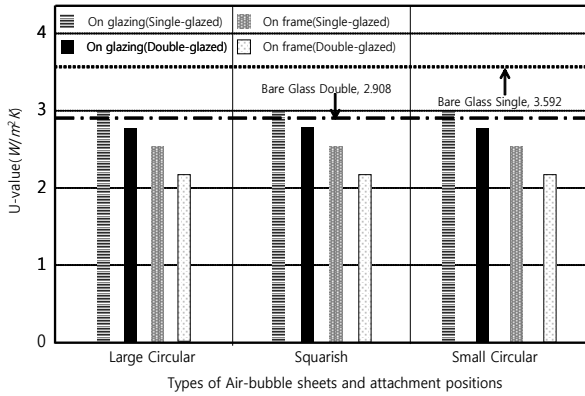


Fig. 4 U-values according to the types of air-bubble sheet and attachment position.

졌다. 이는 프레임에 부착한 경우 차가운 기류가 창틈으로 새어 들어오는 것을 막아 주고, 유리면과 시트 사이의 공기층을 형성하여 기밀 및 단열 성능의 향상으로 열관류 저항이 증가한 것으로 사료된다.

단열시트 부착 시 유리창의 종류에 따른 단열성능을 비교한 결과, 단일 유리창의 유리위에 부착한 경우와 부착하지 않은 경우의 열관류율 값 차이는 0.551~0.617 W/m^2K , 프레임 위에 부착한 경우 1.092~1.082 W/m^2K 차이를 가졌다. 이중 유리창의 경우 유리 위에 부착한 경우 0.102~0.113 W/m^2K , 프레임에 부착한 경우 0.639~0.652 W/m^2K 차이를 가졌다.

단열시트를 유리에 부착하였을 경우 단일 유리창이 이중 유리창에 비하여 열관류 측면에서 개선도가 컸고, 최대 차이 값은 0.504 W/m^2K 이다. 부착위치가 프레임인 경우 이중유리창과 비교하여 단일 유리창의 경우 0.44 W/m^2K 의 차이가 나타난다. 단열시트에 따른 단열성능을 비교한 결과 원형 뿔뿔이에 비해 공기량이 많은 사각형 뿔뿔이의 열관류율 값이 약 0.01~0.06 W/m^2K 작게 나타났다.

가장 단열 성능이 우수한 사각형 단열시트를 대상으로 단일 유리창에 대해서 항온실 측 유리표면에 1겹, 저온실 측 유리표면에 1겹 씩 붙인 경우와 항온실 측 유리표면에 2겹을 붙인 경우를 대상으로 단열성능을 비교 분석하였으며 Fig. 5에 결과를 나타내었다. 항온실 측 유리표면에 2겹을 붙인 경우가 항온실 측 1겹, 저온실 측 1겹을 붙인 경우보다 단열성능이 우수하였다. 열관류율 값 계산 결과 단일유리창의 경우 0.175 W/m^2K 의 차이 값을 가졌다. 이중유리창의 경우 0.214 W/m^2K 의 차이 값을 가졌다. 항온실 측에 1겹을 붙인 경우와 항온실 측에 2겹을 붙인 경우를 비교한 결과, 단일유리창의 경우 열관류율 값의 차이는 0.370 W/m^2K 를 가졌고, 이중유리창의 경우 0.323 W/m^2K 의 값을 가졌다.

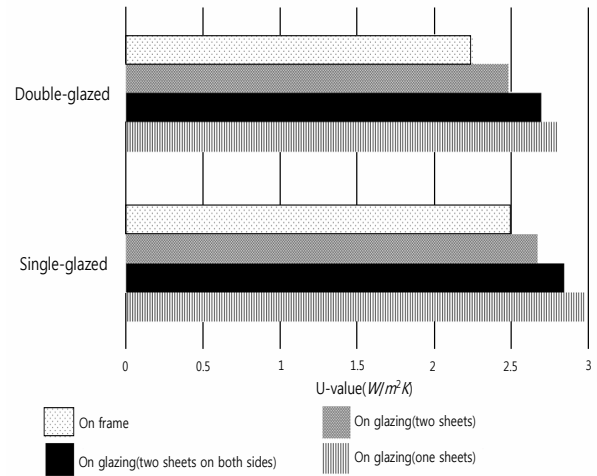
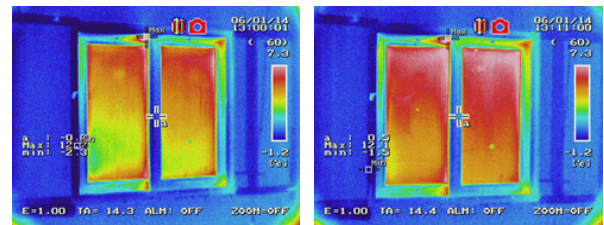


Fig. 5 Changes of u-values according to the attachment positions of squarish air-bubble sheet.

4.2 열화상 카메라 분석 결과

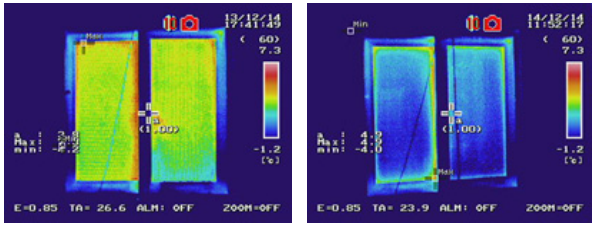
열손실에 취약한 부분을 찾고, 단열효과를 가지적으로 분석하기 위해 열화상 카메라(R300Z, Infrec)를 사용하였다. Fig. 6은 저온실의 온도가 0°C일 때, 항온실 측 유리표면의 온도가 약 20°C로 도달된 시점을 기준으로 1시간 30분 후, 단일유리창을 대상으로 유리표면에 단열시트를 부착한 경우와 미부착한 경우의 열화상 카메라 촬영 결과이다. 단일 창호의 유리 위에 단열시트를 붙인 Fig. 6(a)와 부착하지 않은 Fig. 6(b)를 비교해 보면 열손실의 차이가 확연히 드러남을 알 수 있다.

Fig. 7은 저온실의 온도가 -10°C일 때, 항온실 측 유리표면의 온도가 약 20°C로 도달된 시점을 기준으로 1시간 30분 후, 이중유리창을 대상으로 Fig. 7(a)의 항온실 측 1겹, 저온실 측 1겹을 유리위에 붙인 경우와 Fig. 7(b)의 항온실 측 유리표면에 2겹을 붙인 경우를 비교한 결과이다. 항온실 측에 2겹을 붙인 경우가 양



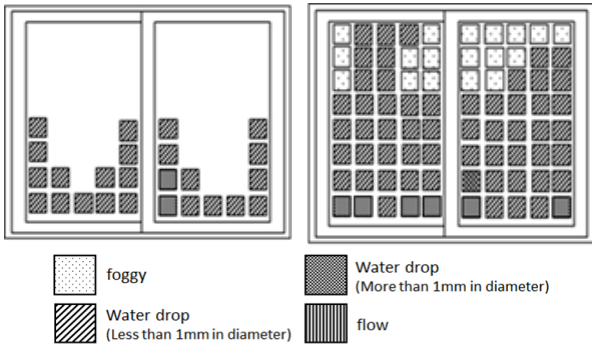
(a) With air-bubble sheet (b) Without air-bubble sheet

Fig. 6 Pictures of the single-glazed window taken with infrared thermography camera in cold chamber.



(a) With 2 air-bubble sheets on the both sides of the window
(b) With 2 air-bubble sheets on the side of thermostatic chamber

Fig. 7 Pictures of the double-glazed window taken by infrared thermography camera in cold chamber.



(a) With air-bubble sheet (b) Without air-bubble sheet

Fig. 8 Formation of water condensations of single-glazed window in thermostatic room.

쪽에 1겹 씩 붙인 경우보다 열손실 정도가 더 낮음을 알 수 있으며 이는 Fig. 5에서 분석한 열관류율 값의 경향과 일치하는 결과이며 2겹의 단열시트가 포개지면서 두 시트 사이에 추가적인 공기층이 형성되어 단열성이 좋아지기 때문이다. 그리고 창호 표면의 온도 분포를 측정한 결과 열손실은 주로 유리의 하부와 수평 및 수직 프레임 부분에서 발생하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 KS F 2295 “창호의 결로 방지를 위한 성능 시험”⁽⁷⁾에 의거하여 저온실의 온도가 -10℃일 때, 항온실 측 유리표면에 단열시트 1겹을 부착한 경우와 시트 미부착시의 결로 발생 특성을 분석한 것이다. 상부에 비해 하부 측에 결로가 많이 발생하고, 수평프레임과 수직프레임을 따라 결로가 발생함을 알 수 있었다. 이는 차가운 유리표면과 맞닿아 차가워진 공기는 유리표면을 타고 밑으로 하강하게 되며, 이때 냉각된 공기가 창호의 하부로 흐르면서 급속히 응축되어 집중적인 결로가 발생하는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 단열시트 부착에 따른 단일창 및 이중창 두 종류 창호의 단열성능을 평가하여 비교 분석하였다. 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 두 종류의 창호 중 단열성능이 상대적으로 낮은 단일유리창에 단열시트를 부착하는 것이 이중 유리창에 비해 단열성능 개선 효과가 더 크게 나타났다.
- (2) 단열시트는 유리 표면에 부착하는 경우 보다 프레임 위에 부착할 때 더 우수한 단열성능을 가지는 것으로 분석되었다.
- (3) 단열시트 내에 많은 공기량을 함유하고 있는 사각형 단열시트가 상대적으로 더 우수한 단열 효과를 보였다.
- (4) 단열시트를 유리표면에 1겹 붙이는 경우보다는 2겹을 붙이는 것이 우수하였으며, 2겹을 설치하는 것보다 프레임 위에 1겹을 설치하는 것이 더 우수한 단열성능을 갖는 것으로 분석되었다.
- (5) 단열시트를 실내측 및 실외측에 각 1겹씩 붙이는 것 보다는 실내측에 2겹을 붙이는 것이 단열성능 향상 정도가 더 우수한 것으로 분석되었다.

References

1. Jang, C. Y., 2010, Current situation of window technology, *Journal of the KSME*, Vol. 50, No. 7, pp. 47-50.
2. Li, S., Zhong, K., Zhou, Y., and Zhang, X., 2014, Comparative study on the dynamic heat transfer characteristics of PCM-filled glass window and hollow glass window, *Energy and Buildings*, Vol. 85, pp. 483-492.
3. Bergh, S. V. D., Hart, R., Jelle, B. P., and Gustavsen, A., 2013, Window spacers and edge seals in insulating glass units : A state-of-the-art review and future perspectives, *Energy and Buildings*, Vol. 58, pp. 263-280.
4. Han, C. G., Oh, S. G., Sin, D. Y., and Kim, J., 2006, The insulation curing method of cold weather concreting using double bubble sheets, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 18 No. 6, pp. 51-59.
5. KS F 2278, 2014, The test method of window's thermal insulation.
6. KS M 3808, 2011, Expandable polystyrene insulation.
7. KS F 2295, 2004, The test method of window's condensation performance.