



## 공동주택 창 벽체 접합부 시공방식에 따른 열교 영향 평가

### Thermal Bridging Effect of Window-Wall Junction in Apartment Buildings using Current Installation Method of Window to Wall

송진희\* · 이동윤\*\* · 최보혜\*\*\* · 송승영\*\*\*\*

Jin-Hee Song\* · Dong-Yun Lee\*\* · Bo-Hye Choi\*\*\* · Seung-Yeong Song\*\*\*\*

\* Corresponding author, Senior associate, Research & Development Center, LOTTE Engineering & Construction, South Korea (jinhee.song@lotte.net)

\*\* Coauthor, Manager, Research & Development Center, LOTTE Engineering & Construction, South Korea (dongyun.lee@lotte.net)

\*\*\* Coauthor, Researcher, Dept. of Architectural Engineering, Ewha Womans Univ., South Korea (bhchoi@ewha.ac.kr)

\*\*\*\* Coauthor, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Ewha Womans Univ., South Korea (archssy@ewha.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** The insulation performance of walls and windows has been gradually improved. In the German passive house certification, the thermal transmittance of an installed transparent building component and the general thermal transmittance of window products are considered as certified factors. However, the method of installing windows to walls has not changed, and the thermal bridge of the window-wall junction is rarely evaluated during the design and construction stages. Therefore, it is necessary to quantitatively evaluate the effects of thermal bridges on the junction to improve the method of installing windows to walls. **Method:** In this study, the thermal bridges of window-wall junctions were quantitatively evaluated in the term of linear and point thermal transmittances. In addition, the installed thermal transmittances of actual windows in a domestic apartment building were calculated and compared with the designed thermal transmittance of the window. Furthermore, the annual energy requirements of the apartment were evaluated by including the installed thermal bridges. **Result:** The insulation performance improved with the decrease in the linear thermal bridges because the thickness of the insulation materials could have been increased. However, the point thermal bridges barely changed because the thermal conductivity values of the fixing brackets were very high. The installed thermal transmittances of the four types of windows increased by 1.1–1.2 times of the designed value, and the corresponding heating energy requirement increased by 4.2% annually.

© 2020. KIEAE all rights reserved.

#### KEYWORD

공동주택  
창 벽체 접합부  
창 설치열교  
선형 열관류율  
점형 열관류율

Apartment Building  
Window-Wall Junction  
Window Installation Thermal Bridge  
Linear Thermal Transmittance  
Point Thermal Transmittance

#### ACCEPTANCE INFO

Received Aug. 28, 2020

Final revision received Sep. 28, 2020

Accepted Oct. 5, 2020

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

국내 외피 단열성능 기준은 개정 이래 지속적으로 강화되고 있다. 현재 건축물의 에너지절약 설계기준[1] 및 에너지절약형 친환경주택의 건설기준[2] 상의 건축물 외피 열관류율은 중부1 지역 공동주택 기준 외기에 직접 면하는 벽, 지붕, 바닥  $0.150 \text{ W/m}^2\text{K}$  이하, 외기에 직접 면하는 창 및 문  $0.900 \text{ W/m}^2\text{K}$  이하로, 유럽 패시브하우스의 설계 열관류율 수준으로 강화되었다.

유럽 패시브하우스 설계 기준에서는 외벽 열관류율  $0.150 \text{ W/m}^2\text{K}$  이하, 창호 열관류율  $0.800 \text{ W/m}^2\text{K}$  이하의 높은 단열성능을 요구함과 동시에, 추가적인 평가 지표로 창호의 설치 열관류율 ( $U$ -value of an installed transparent building component)을  $0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$  이하로 제시함으로써[3], 단열재, 창호 등 개별적인 제품에 대한 열성능 뿐 아니라 창호의 시공으로 인해 발생하는 창 벽체 접합부의 열교도 고려하고 있다. Fig. 1.은 패시브하우스 창호 인증의 한

사례이며, 외벽 시공 방식에 따른 제품의 설치 열관류율에 대한 정보도 함께 제시하고 있다[4].

국내 공동주택의 경우, 법규의 강화에 맞추어 외벽과 창호의 단열성능은 지속적으로 향상되었으나 창 벽체 접합부 열교의 영향은 고려되지 않거나, 드물게 고려되더라도 대부분 외단열 주택 위주의 연

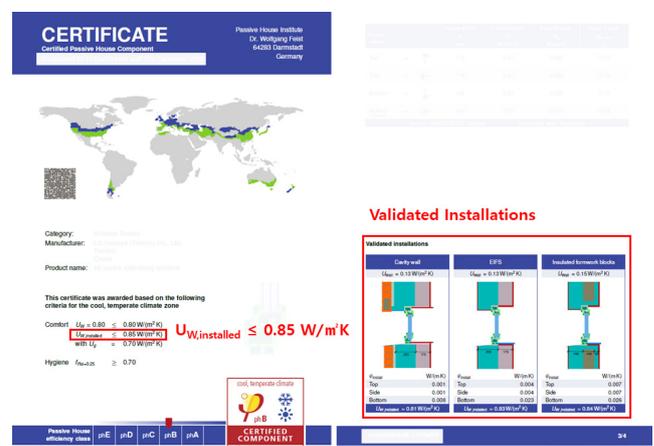


Fig. 1. Example of Passive House Window Certificate

구가 수행된 바 있다[5~7]. 그러나 공동주택의 결로하자 중 하나로 창 벽체 접합부의 국부적인 열손실로 인한 결로 및 곰팡이 발생 하자가 지속적으로 보고되며[8], 시공 시 결로 예방 조치가 필요한 부위로 인식되고 있다. 국내 공동주택이 대부분 내단열로 시공되며 창호 시공 위치가 벽체 단열 마감선에 맞추어 시공되거나 창호 시공을 위한 고정철물의 영향을 포함한 정량적인 열교 수준 평가 사례는 드물다.

그러나 외피 단열성능의 강화와 더불어 창 벽체 접합부 시공 방식의 개선 필요성을 판단하기 위해서는 국내 내단열 공동주택 창 벽체 접합부의 정량적인 열교 수준 파악이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 내단열 공동주택을 대상으로 단열성능 강화에 따른 창 벽체 접합부의 선형 및 점형 열관류율 변화와 설치 열교를 반영한 창호의 설치 열관류율을 산출하여 창 벽체 접합부의 열교 영향을 평가하고, 건물 에너지해석을 통해 공동주택 세대의 냉난방에너지 요구량 증감에 미치는 영향을 분석함으로써 창 벽체 접합부 현재 시공 방식에 따른 열교 영향을 종합적으로 평가하고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 국내 내단열 공동주택 창 벽체 접합부 열교에 대한 정량적인 평가를 수행하고, 해당 열교가 공동주택 세대 냉난방에너지 요구량에 미치는 영향을 평가하였다. 연구의 방법은 다음과 같다.

(1) 창 벽체 접합부 열교의 평가 방법에 대해 국외와 국내 자료에 대한 이론적 고찰을 수행하여 평가 방법을 결정하였다.

(2) 연도별 외벽, 창호 단열성능 강화에 따른 창 벽체 접합부 열교의 선형 열관류율을 산출하고 변화 추이를 알아보았다. 선형 열관류율 산출 시 2차원 전열해석을 수행하였으며, 창호 고정철물인 T자형 브라켓 시공 단면에 대해서도 동일하게 평가를 진행하였다. 외벽은 단열재 종류에 따라 비드법보온판, 경질우레탄폼 단열재, 페놀폼 단열재 적용 시로 세분화하여 연도별 열관류율을 달성하기 위한 두께를 산출하였다. 창호는 단순화된 박스 형태로 모델링하고 등가 열전도율을 산출하여 반영하였다.

(3) 임의의 공동주택 세대를 대상으로 세대 시공 창호의 설치 열관류율을 산출하여, 창 벽체 접합부 열교 영향 반영 시 설계 열관류율 대비 열관류율 증가 정도를 평가하였다. 설치 열관류율 산출을 위한 창호 선형 및 점형 열관류율은 3차원 전열해석을 수행하여 산출하였다. 또한 EnergyPlus 기반의 DesignBuilder 6.1.5를 이용하여 동일한 공동주택 세대에 대한 건물 에너지 해석을 수행하여 설계 열관류율 이용 시와 설치 열관류율 이용 시 냉난방에너지 요구량의 차이를 분석하였다.

## 2. 창 벽체 접합부 열교 평가 방법

창 벽체 접합부 열교 영향 평가는 독일 패시브하우스 등 외단열 주택에 대해 주로 수행되었으며, 열교의 정량적 평가 지표인 선형 혹은 점형 열관류율 계산 방법은 ISO 10211[9]을 기반으로 하고 있다. 창 벽체 접합부 열교 수준을 결정하는 주요 변수는 창호 설치 위치, 창호 주변 단열재 시공 방식, 창호 프레임 폭 등이며, 창 벽체 접합부의 선형과 점형 열관류율, 이를 반영한 설치 열관류율을 산출함으로써

열교에 대한 정량적인 평가를 수행하도록 한다.

국내외 기존 연구로 F. Cappelletti et al.[10]은 외단열 및 중단열 건물에서 창호 설치 위치와 창호 주변 단열재 시공 방식에 따른 열관류율 변화를 평가하였으며, 창호 설치 위치에 따라 선형 열관류율은 최대 70~75%까지 감소함을 언급하였다. 또한 창호의 성능을 평가할 때 창 벽체 접합부 열교를 포함한 열관류율 값을 평가 지표로 할 것을 권장하였다. J. Adamus and M. Pomada[11]는 단열재 상부 창호 설치 시 보강을 위한 섬유강화 폴리우레탄 복합자재의 열교 영향을 실험 및 전열해석을 통해 평가하였으며, 보강 자재 내부의 금속 프레임으로 인한 영향이 매우 크며, 단열재 내부로 보강 자재를 삽입하고 단열재 두께를 증가시키는 것이 결로 방지를 위해 효과적이라고 보고한 바 있다. 문선혜 외[6]는 패시브하우스 수준의 단열성능을 가지는 외단열 건물에서 창호 설치 위치에 따른 선형 열관류율을 계산하고 이를 포함한 창호의 상당 열관류율 보정계수를 제시하였다. 이규남 외[7]는 외단열 공동주택에서 창호 설치 위치에 따른 단열성능과 일사 획득량을 반영하여 건물 에너지해석을 수행하여, 창호를 최대한 실외측으로 설치하는 것이 연간 냉난방에너지 저감에 유리하다고 보고하였다. S.M. Lee et al.[12]은 공동주택의 삼중창 및 이중창 각각에 대해 내단열과 외단열 건물 적용 시 창호 설치 열관류율을 산출하고 증감율을 비교하였으며, 프레임의 폭이 좁은 삼중창의 경우 창호 설치 위치에 따른 창호 설치 열관류율의 차이가 크다고 보고하였다.

### 1) 유럽 패시브하우스 기준

독일 Passive House Institute에서는 창호의 패시브하우스 제품 인증을 위한 기준 및 계산 알고리즘을 제시하고 있다[3]. 계산 알고리즘 및 평가 모델 설정에 대한 기준은 기본적으로 ISO 10077[13], EN 673[14], ISO 12631[15]을 기반으로 하며, 창 벽체 접합부의 선형 열관류율을 산출하여 창호 열관류율에 반영하도록 하고 있다.

해당 문서에서는 창호 등 건물의 투명 외피 부위에 대한 설치 전 열관류율(U-value of an uninstalled transparent building component) 및 설치 후 열관류율(U-value of an installed transparent building component) 계산식을 제시하고 있으며, 각각 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f} \dots\dots\dots (식1)$$

여기에서  $U$ 는 ISO 10077에 따라 산출한 열관류율(W/m<sup>2</sup>K)이며,  $A$ 는 면적(m<sup>2</sup>), 아래첨자  $w, g, f$ 는 각각 창호(window), 유리(glass) 및 프레임(frame)을 의미한다.  $\Psi_g$ 는 유리 에지(glass edge)를 통한 선형 열관류율(W/mK)이며,  $l_g$ 는 유리 에지의 길이(m)이다.

$$U_{w, installed} = \frac{U_w \cdot A_w + \sum \Psi_{w,i} \cdot l_i}{A_w} \dots\dots\dots (식2)$$

여기에서  $U_{w, installed}$ 는 설치 후 창호의 열관류율(W/m<sup>2</sup>K)이며,  $A_w$ 는 유리와 프레임을 합친 창호 전체 면적(m<sup>2</sup>)을 의미한다.

$\Psi_{w,i}$ 는 동일한 단면 형상을 가진 창 벽체 접합부  $i$ 에서 발생하는 열교 부위의 선형 열관류율(W/mK)을 의미한다.

창 벽체 접합부는 2차원 혹은 3차원의 열류가 발생하며,  $\Psi_w$  산출을 위해서는 창호 상부(Head), 측부(Jamb), 하부(Sill) 각각의 시공 디테일을 반영한 2차원 전열해석을 수행하여 식 (3)으로 산출하며, 이 때 프레임 고정부의 점형 열교는 포함하지 않는다. 여기에서  $Q_{2D}$ 는 충분히 큰 2차원 모델을 통한 전열량(W/m),  $Q_w$ 는 유리 및 유리 에지를 통한 전열량(W/m),  $U_{wall}$ 은 벽체 열관류율(W/m<sup>2</sup>K),  $\Delta\theta$ 는 실내외 온도차(K)를 의미한다.

$$\Psi_w = \frac{Q_{2D} - Q_w - U_{wall} \cdot l_{wall} \cdot \Delta\theta}{\Delta\theta} \dots\dots (식3)$$

2) 한국건축환경설비학회 기준

국내의 경우, 한국건축환경설비학회에서 창 벽체 접합부의 열

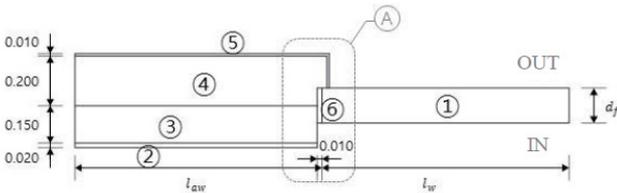


Fig. 2. Two-dimensional Model for Calculating  $\Psi_w$  [8]

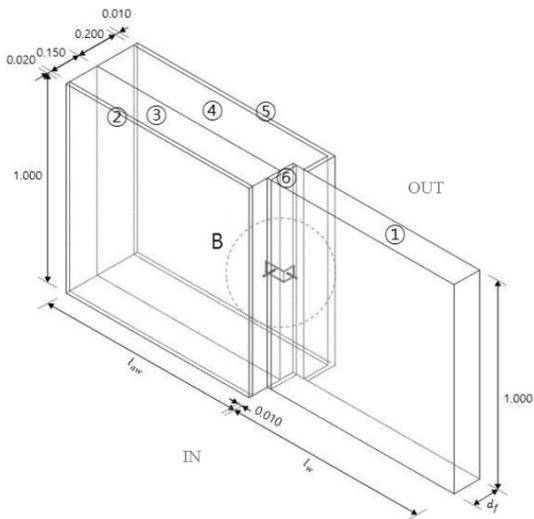


Fig. 3. Three-dimensional Model for Calculating  $\chi$  [8]

교를 포함한 열성능 평가에 대한 기준을 제공하고 있다[16]. 설치 후 창호의 열관류율은 식 (4)와 같으며, 여기에서  $\Psi_t$ 는 선형 열교와 고정물 시공 부위의 점형 열교를 포함한다. 모든 계산 방법은 ISO 10211[9]을 기반으로 한다.

$$U_{w, installed} = U_w + \frac{\Psi_t \cdot l_w}{A_w} \dots\dots\dots (식4)$$

$$\Psi_t = \Psi_w + \Delta\Psi_\chi \dots\dots\dots (식5)$$

$$\Delta\Psi_\chi = \frac{n \cdot \chi}{l_w} + \chi_{other} \dots\dots\dots (식6)$$

$\Psi_w$ 는 창 벽체 접합부에서 발생하는 열교 부위의 선형 열관류율(W/mK),  $\Delta\Psi_\chi$ 는 창호 고정부위의  $n$ 개의 점형 열관류율  $\chi$ (W/K)의 합을 창호 둘레로 나눈 추가적인 선형 열관류율(W/mK)이다.

$$\Psi_w = \frac{Q_{2D}}{\Delta\theta} - \sum_{i=1}^N U_i \cdot l_i \dots\dots\dots (식7)$$

$$\chi = \frac{Q_{3D}}{\Delta\theta} - \sum_{i=1}^N U_i \cdot A_i - \sum_{j=1}^N \Psi_j \cdot l_j \dots\dots\dots (식8)$$

$\Psi_w$ 는 Fig. 2.의 모델을 이용하여 2차원 전열량과 외벽과 창호 일반부위를 통한 1차원 전열량의 차를 이용하여 산출할 수 있으며,  $\chi$ 는 Fig. 3.의 모델을 이용하여 3차원 전열량과 외벽과 창호일반부위를 통한 1차원 전열량, 선형 열교를 통한 2차원 전열량의 차를 이용하여 산출할 수 있다. 고정부위의 개소  $n$ 은 창호 시공 상세도를 참고하여 산정할 수 있다.

3. 창 벽체 접합부 열교 영향 평가

외벽 및 창호 열관류율은 점차 강화되고 있으나, 내단열 공동주택의 창 벽체 접합부의 시공 방식은 크게 변하지 않았다. 근래에 들어서 강화플라스틱을 이용한 고정물 등 대안이 나오고 있으나, 정량적인 효과에 대한 평가가 부족한 실정이다. 본 장에서는 외벽 및 창호의 열관류율 변화에 따른 내단열 공동주택 창 벽체 접합부의 열교 수준을 평가하여, 창 벽체 접합부 열교 영향을 파악하고자 하였다.

Table 1. Cases for Evaluating Installation Thermal Bridges

Step	Year	U-value (W/m <sup>2</sup> K)		EPS (Expanded Polystyrene)			PIR (Polyisocyanurate)			PF (Phenolic Form)		
		Window	Wall	Insulation thickness (mm)	Uwall (W/m <sup>2</sup> K)	Case	Insulation thickness (mm)	Uwall (W/m <sup>2</sup> K)	Case	Insulation thickness (mm)	Uwall (W/m <sup>2</sup> K)	Case
1	2008	1.8	0.36	80	0.343	E-①						
2	2010	1.4	0.30	95	0.294	E-②						
3	2012	1.2	0.25	120	0.238	E-③	90	0.235	P-①			
4	2015	1.0	0.21	145	0.200	E-④	105	0.204	P-②	90	0.207	PF-①
5	2017	1.0	0.17				130	0.167	P-③	115	0.164	PF-②

또한 임의의 공동주택 세대를 대상으로 세대 시공 창호의 크기, T자형 브라켓 설치 개소를 고려한 설치 열관류율을 산출하여, 설계 열관류율 대비 열관류율 증가 정도를 평가하였다. 또한 공동주택 세대에 대한 건물 에너지 해석을 수행하여 설계 열관류율과 설치 열관류율 이용 시 냉난방에너지 요구량의 차이를 분석하였다.

외피 단열성능에 따른 창 벽체 접합부 열교 영향 평가

1) 대안 선정

외벽 및 창호의 열관류율 변화에 따른 내단열 공동주택 창 벽체 접합부의 열교 수준을 평가하기 위해 Table 1.과 같이 대안을 설정하였다. 외벽 및 창호의 열관류율은 중부지역 기준 시행 연도에 따라, 비드법보온판 2종1호(E-①~④), 경질우레탄폼 단열재(P-①~③), 페놀폼 단열재(PF-①,②)의 세 종류의 단열재를 사용한 경우에 대해 대안을 설정하였다. 단열재 두께는 5mm 단위로 산정하였으며, 열관류율을 가장 근접하게 달성하는 두께로 하였다. 창호 열관류율은 1차적으로 유리 스펙 변경을 통해 달성하는 경우가 많으므로, 프레임 폭은 동일한 것으로 모델링하였다.

2) 평가 방법 및 평가 모델

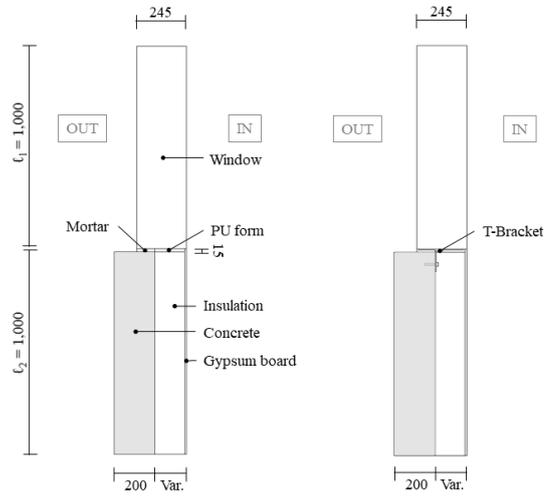
평가는 평가 모델에 대한 세부사항을 보다 상세하게 제시하고 있는 한국친환경건축설비학회 창 벽체 접합부 열교 평가 기준을 참고하였다. 평가 모델은 Fig. 4.와 같이 창호 하부(Sill)로 설정하고, T자형 브라켓이 없는 부위와 T자형 브라켓 부위의 단면에 대해 각각

수행하였다.

내단열 공동주택의 경우 창호 시공 위치가 벽체 단열 마감선에 맞추어 시공됨을 고려하여 Fig. 4.와 같이 모델을 설정하였다. 대부분의 국내 공동주택은 콘크리트 외벽 시공 후 창호를 설치하므로 창 벽체 접합부는 10mm~20mm의 갭을 가지며, 창호 설치 후 시멘트 몰탈(창호 하부 외측) 혹은 우레탄 폼(창호 상부, 측부)으로 사춤하는 것이 일반적인 시공방법이다. 학회 기준 상에는 갭의 너비를 10mm로 정하고 있으나, 평가 모델 상에는 시공오차를 반영하여 15mm로 설정하였다. 창호는 PVC 이중창을 가정하고, 프레임과 동일한 너비를 가지는 박스 형태로 모델링하고 창호 설치 전 열관류율과 동일하도록 창호의 폭을 반영한 상당 열전도율을 산출하여 입력하였다. 평가를 위한 경계조건 및 재료 물성치는 Table 2.와 같다.

3) 평가 결과

외벽 및 창호 열관류율 변화에 따른 창 벽체 접합부 선형 열관류율은 Table 3. 및 Table 4.와 같다. Table 3.은 T자형 브라켓이 없는 부위



(a) Model without T-bracket (b) Model with T-bracket  
Fig. 4. Models for Evaluating Installation Thermal Bridges

Table 2. Boundary Conditions and Material Properties

	Temperature[17]	Heat transfer coefficient[1]	
Outside	-15℃	23.26 W/m <sup>2</sup> K	
Inside	25℃	9.09 W/m <sup>2</sup> K	
	Thermal conductivity	Thermal conductivity	
Concrete	1.600 W/mK	Insulation	EPS 0.031 W/mK
Gypsum board	0.180 W/mK		PIR 0.023 W/mK
Cement mortar	1.400 W/mK		PF 0.020 W/mK
Polyurethane foam	0.040 W/mK	Steel(for bracket)	53.00 W/mK

Table 3. Characteristics of Linear Thermal Bridges per each Insulation Cases - Junctions without the Steel Bracket

Step	U-value (W/m <sup>2</sup> K)		EPS (Expanded Polystyrene)			PIR (Polyisocyanurate)			PF (Phenolic Form)					
	Window	Wall	Case	Q <sub>2D</sub> (W/K)	Ψ <sub>w</sub> (W/mK)	Q <sub>TB</sub> /Q <sub>2D</sub>	Case	Q <sub>2D</sub> (W/K)	Ψ <sub>w</sub> (W/mK)	Q <sub>TB</sub> /Q <sub>2D</sub>	Case	Q <sub>2D</sub> (W/K)	Ψ <sub>w</sub> (W/mK)	Q <sub>TB</sub> /Q <sub>2D</sub>
1	1.8	0.36	E-①	89.09	<b>0.084</b>	3.77%								
2	1.4	0.30	E-②	70.27	<b>0.062</b>	3.53%								
3	1.2	0.25	E-③	59.15	<b>0.041</b>	2.77%	P-①	59.94	<b>0.063</b>	4.20%				
4	1.0	0.21	E-④	48.97	<b>0.025</b>	2.04%	P-②	50.03	<b>0.046</b>	3.68%	PF-①	50.58	<b>0.057</b>	4.51%
5	1.0	0.17					P-③	47.97	<b>0.032</b>	2.67%	PF-②	48.21	<b>0.041</b>	3.40%

Table 4. Characteristics of Linear Thermal Bridges per each Insulation Cases - Junctions with the Steel Bracket

Step	U-value (W/m <sup>2</sup> K)		EPS (Expanded Polystyrene)			PIR (Polyisocyanurate)			PF (Phenolic Form)					
	Window	Wall	Case	Q <sub>2D</sub> (W/K)	Ψ <sub>w</sub> (W/mK)	Q <sub>TB</sub> /Q <sub>2D</sub>	Case	Q <sub>2D</sub> (W/K)	Ψ <sub>w</sub> (W/mK)	Q <sub>TB</sub> /Q <sub>2D</sub>	Case	Q <sub>2D</sub> (W/K)	Ψ <sub>w</sub> (W/mK)	Q <sub>TB</sub> /Q <sub>2D</sub>
1	1.8	0.36	E-①	94.83	<b>0.228</b>	9.62%								
2	1.4	0.30	E-②	76.42	<b>0.216</b>	11.31%								
3	1.2	0.25	E-③	65.85	<b>0.209</b>	12.70%	P-①	65.78	<b>0.209</b>	12.71%				
4	1.0	0.21	E-④	55.90	<b>0.198</b>	14.17%	P-②	56.03	<b>0.197</b>	14.06%	PF-①	56.15	<b>0.197</b>	14.03%
5	1.0	0.17					P-③	54.59	<b>0.198</b>	14.51%	PF-②	54.48	<b>0.198</b>	14.54%

의 선형 열관류율 산출 결과이다. 창 벽체 접합부 선형 열관류율은 단열성능이 강화됨에 따라 감소하였으며, 2차원 전열량에 대한 열교부위 전열량 비율도 감소하였다. 비드법보온판의 경우, 단열재 두께 80mm인 2008년 대비 단열재 두께가 145mm로 증가한 2015년에 선형 열관류율이 0.084 W/mK에서 30% 수준인 0.025 W/mK로 감소하였다. 경질우레탄폼 보온판 및 페놀폼 보드도 선형 열관류율은 점차 감소하였다.

세 종류의 단열재에 대해 모두 모델링이 수행된 2015년에는 벽체 열관류율의 경우 비드법보온판, 경질우레탄폼 단열재, 페놀폼 보드 각각 0.200W/m<sup>2</sup>K, 0.204W/m<sup>2</sup>K, 0.20W/m<sup>2</sup>K로 유사하나 단열재 두께는 145mm, 105mm, 90mm로 단열재의 열전도율이 낮아짐에 따라 달리 적용되었으며, 이 경우 선형 열관류율은 단열재의 두께가 가장 두꺼운 비드법보온판에서 0.025W/mK로 가장 낮게, 단열재의 두께가 가장 얇은

페놀폼 보드에서 0.057W/mK로 가장 높게 나타났다. 또한 열관류율 수준은 다르지만 두께가 유사한 대안 E-②, P-①, PF-①에서 선형 열관류율은 유사하게 나타났으며, 이를 통해 고정철물이 없는 경우 창 벽체 접합부의 선형 열관류율은 외피 열관류율 수준보다는 단열재의 두께에 따른 창 벽체 접합부 사출재 열저항의 증가가 주요인인 것으로 판단된다.

Table 4.는 T자형 브라켓 부위 단면의 선형 열관류율 산출 결과이다. 금속 재질의 브라켓이 있는 경우, 창 벽체 접합부 선형 열관류율은 단열성능이 강화됨에 따라 다소 감소하였으나 2차원 전열량에 대한 열교부위 전열량 비율은 증가하였다. 비드법보온판의 경우, T자형 브라켓을 포함하지 않은 대안에서 2008년 대비 2015년에 70%, 0.059 W/mK 감소한 것과 대비하여 T자형 브라켓을 포함한 2차원 모델에서는 13%, 0.030 W/mK 감소하였다. 또한 세 종류의 단열재에 대해 모두 모델링이 수행된 2015년의 비드법보온판, 경질우레탄폼 단열재, 페놀폼 보드의 해석 결과 단열재 두께는 다르게 적용되었으나, 선형 열관류율은 각각 0.198W/mK, 0.197W/mK, 0.197W/mK로 유사하게 나타났다.

최근 외벽 및 창호의 단열성능 기준 강화로 공동주택의 내측 단열 마감 두께를 줄이기 위해 열전도율이 낮은 고성능 단열재로 설계 시공되는 추세이다. 열전도율이 높은 단열재를 두껍게 시공하는 경우 대비 선형 열관류율은 상대적으로 증가할 것이고, 고정철물 부위는 두께와 상관없이 열교로 인한 열손실이 큼을 알 수 있다. 따라서 국내 내단열 공동주택의 창 벽체 접합부 열교에 대한 정량적 수준을 정확히 파악하고 열교 영향 감소를 통한 열손실 및 결로 하자 방지에 대한 가이드라인 등의 마련이 필요하다.

### 3.1. 창호 설치 열관류율 반영한 연간 에너지요구량 평가

#### 1) 창호 설치 열관류율 산출

임의의 공동주택 설계 도서를 바탕으로 외기에 직접 면한 창호의 설치 열관류율을 산출, 평가하였다. Fig. 5.는 전용면적 84m<sup>2</sup> 공동주택 세대 평면이다. 평가 대상이 되는 외기에 직접 면한 창호는 총 4군데 설치되며, 부위별로 크기가 다르다. 각 창호의 경우 하부(Sill), 측부(Jamb), 상부(Head)의 브라켓 형상 및 설치 개소, 채움재 등에서 차이가 있다. 설계도서 및 일반적인 창호 시공 방식을 참고로 하여, 선형 및 점형 열관류율을 산출하고, 제품 열관류율에 열교로 인한 증가분을 더하여 설치 열관류율을 산출하였다. 창호별 크기 및 브라켓 설치 개소는 Table 5.와 같다.

설치 열관류율은 식 (4) ~ 식 (6)을 이용하여 계산하였으며, 산출 시 필요한 창 벽체 접합부의 선형 및 점형 열관류율은 식 (7) 및 식 (8)과 3차원 전열해석을 이용하여 산출하였다.

식 (4)에서 창호 제품 열관류율은 설계도서 상의 값을 이용하였다. 설계도서 상의 값은 KS F 2278[18]에 따른 공인 열관류율 시험을 위해 제품 사이즈가 2m×2m로 정해져 있으며, 프레임 단면 형태 및 유리 구성은 동일하나 실제 적용되는 부위별 창호와 유리 및 프레임 면적 비율이 달라 실제 열관류율은 시험 값 대비 10% 이내의 편차가 존재할 것으로 판단된다.

식 (7) 및 식 (8)의 2차원 및 3차원 전열량 산출 내용은 Table 6.과 같다. 브라켓 형상에 따른 전열량 차이가 존재하므로, T형 및 ㄱ형 각각에 대해 별도의 모델링을 진행하였다. 모르타르 사출되는 창 벽체 접합부 하부 선형 열관류율은 0.04625 W/mK, 우레탄 폼이 사출되는 창 벽체 접합부 측부 및 상부 선형 열관류율은 0.02525 W/mK이며, T형 브라켓의 점형 열관류율은 0.01975 W/K, ㄱ형 브라켓의 점형 열관류율은 0.0095 W/K로 나타났다. 추가적으로 고정 브라켓의 점형 열교는 창호 하부 최저 표면온도에 영향을 미치며, T형 브라켓의 경우 실내측 표면온도 18.3°C, ㄱ형 브라켓의 경우 19.7°C로 나타났다. 이는 브라켓의 특성에 따라 창 벽체 접합부의 단열성능 뿐 아니라 실내측 표면결로 방지성능에도 영향이 있음을 보여주며, T형 브라켓의 경우 실내 상대습도 65% 이상에서 결로발생 가능성이 있음을 알 수 있다.

식 (4) ~ 식 (6)을 이용한 창호 설치 열관류율은 창 A~D 타입별 각각 1.264W/m<sup>2</sup>K, 1.317W/m<sup>2</sup>K, 1.30W/m<sup>2</sup>K, 1.371W/m<sup>2</sup>K로, 설계 열관류율로 적용 되는 시험값 1.178 W/m<sup>2</sup>K 대비 0.086W/m<sup>2</sup>K~0.193W/m<sup>2</sup>K까지 증가하였다. 설치 열관류율 증가

Table 5. Size and Installed Bracket Number for A~D Windows

	Location	Size(m)		Area(m <sup>2</sup> )	Type and number of brackets		
		Sill/Head	Jamb		Sill	Head	Jamb
A	Living room	3.60	2.12	7.632	T-bracket / 6ea	ㄱ-bracket / 6ea	T-bracket / 2ea and ㄱ-bracket / 2ea
B	Bed room(South)	1.50	1.60	2.400	T-bracket / 3ea	ㄱ-bracket / 3ea	ㄱ-bracket / 3ea
C	Bed room(North)	1.80	1.60	2.880	T-bracket / 3ea	ㄱ-bracket / 3ea	ㄱ-bracket / 3ea
D	Kitchen	1.00	1.18	1.180	T-bracket / 2ea	ㄱ-bracket / 2ea	ㄱ-bracket / 2ea
Ref.	Test specimen	2.00	2.00	4.000	T-bracket / 3ea	ㄱ-bracket / 3ea	ㄱ-bracket / 3ea

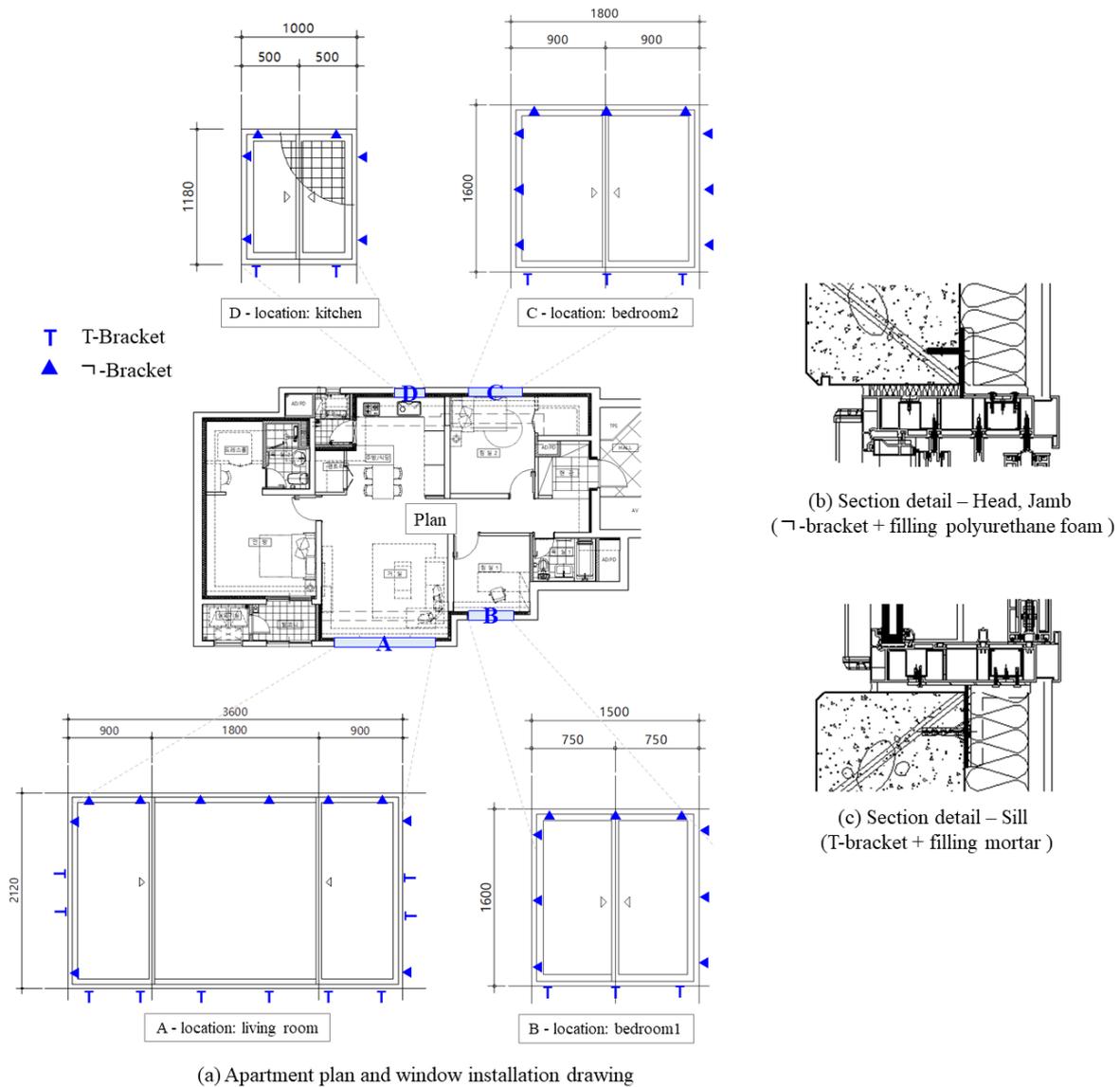


Fig. 5. Window Installation Drawing for a Typical 84 m<sup>2</sup> Apartment Plan

Table 6. Size and Installed Bracket Number for A~D Windows

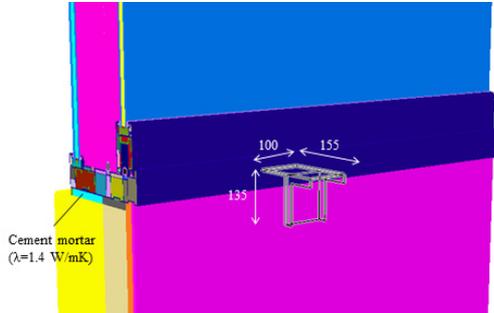
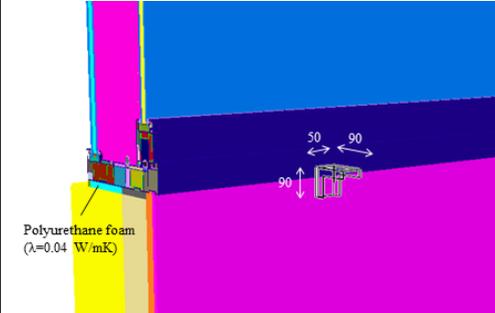
Type	T-bracket (Sill)	L-bracket (Jamb, Head)
Model		
$Q_{3D}$	67.75 W	66.50 W
$Q_{2D}$	66.96 W/m	66.12 W/m
$\Psi$	0.04625 W/mK	0.02525 W/mK
$X$	0.01975 W/mK	0.0095 W/mK
Surface temperature	18.3°C (at the center of the Window-wall junction)	19.7°C (at the center of the Window-wall junction)

Table 7. Size and Installed Bracket Number for A~D Windows

Type	U <sub>design</sub>	U <sub>install</sub>	ΔU	ΔU*A	Area/Perimeter
A (3.6×2.12m)	1.178	1.264	0.086 (-11.3%)	0.656 (+69.1%)	0.67
B (1.5×1.6m)	1.178	1.317	0.139 (+43.3%)	0.334 (-13.9%)	0.39
C (1.8×1.6m)	1.178	1.301	0.123 (+26.8%)	0.354 (-8.8%)	0.42
D (1.0×1.18m)	1.178	1.371	0.193 (+99.0%)	0.228 (-41.2%)	0.27
Reference (2×2m, test specimen)	1.178	1.275	0.097 (-)	0.388 (-)	0.50

Table 8. Input Parameters and Modelling Image

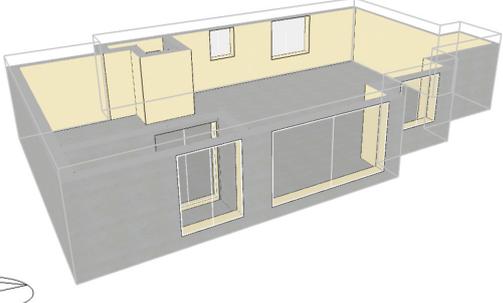
Modelling image	
	
Division	Input values
Weather data	Incheon
Setpoint temperature	Heating: 20°C / Cooling: 26°C
Occupancy	4 people
Internal Heat Gain [21]	Equipment : 6.61 W/m <sup>2</sup> Lighting : 4.32 W/m <sup>2</sup>
Infiltration/ventilation	0.5 ACH
HVAC	Ideal Load System

Table 9. Annual Heating and Cooling Energy Demand using Installed Window U-values

	Input values (W/m <sup>2</sup> K)			Annual heating and cooling energy demand (kWh/m <sup>2</sup> ·yr)		
	Wall	Roof /floor	Window1)	Heating energy demand	Cooling energy demand	Total
Case1	0.216	Adiabatic	U <sub>design</sub> = 1.178	18.9	16.3	35.2
Case2	0.216	Adiabatic	U <sub>install</sub> (refer to Table 7)	19.7 (+4.2%)	16.1 (-1.7%)	35.7 (+1.4%)

1) SHGC=0.47 (as results of WINDOW7.6 for the glass (5CL-12Air-5LE /5CL-12Air-5CL))

폭은 돌레에 대한 면적의 비가 클수록 작으며 이는 창호 브라켓 시공 간격이 창호 크기별로 크게 차이가 나지 않기 때문으로 판단된다. 단, 실제 증가하는 전열량의 경우 창호 면적이 반영되므로 거실창(A 타입)의 경우 설치 열관류율 증가폭이 가장 작더라도 전열량에 미치는 영향은 가장 크다.

2) 창호 설치 열관류율을 반영한 냉난방에너지 요구량 평가

Fig. 5.의 공동주택 기준층 세대에 대해 창호 설치 열관류율 반영한 연간 냉난방에너지 요구량을 산출하여, 창 벽체 접합부 열교를 통한 열손실이 전체 건물 에너지요구량에 미치는 영향을 평가하였다. 건물 에너지해석은 DesignBuilder 6.1.5를 이용하여 수행하였다.

DesignBuilder는 건물의 동적 에너지해석이 가능한 EnergyPlus[19]를 Calculation engine으로 이용하며, 건물 모델링 및 결과 구현을 손쉽게 할 수 있도록 하는 Third-Party User Interface이다[20]. 건물 에너지해석을 위한 기본적인 입력값은 Table 8.과 같다.

Table 9.는 창호 열관류율 입력값에 따른 연간 냉난방에너지 요구량 산출 결과이다. 창호 설계 열관류율 값을 이용한 경우, 난방에너지요구량 18.9 kWh/m<sup>2</sup>·yr, 냉방에너지요구량 16.3 kWh/m<sup>2</sup>·yr, 연간 냉난방에너지 요구량은 35.2 kWh/m<sup>2</sup>·yr이었다. 반면, 창호 설치 열관류율 값을 이용한 경우, 난방에너지요구량은 4.2% 증가한 19.7 kWh/m<sup>2</sup>·yr, 냉방에너지요구량은 1.7% 감소한 16.1 kWh/m<sup>2</sup>·yr, 연간 냉난방에너지 요구량은 1.4% 증가한 35.7 kWh/m<sup>2</sup>·yr 였다.

창 벽체 접합부 열교로 인한 열손실이 연간 냉난방에너지 요구량에 미치는 영향은 1.4% 내외이며, 난방에너지요구량에 미치는 영향은 4.2% 수준이다. 본 논문의 외벽 열관류율은 0.216 W/m<sup>2</sup>K으로 현재 법규인 0.150 W/m<sup>2</sup>K 수준으로 강화된 케이스의 경우, 상대적인 비율은 보다 커질 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 내단열 공동주택 창 벽체 접합부의 열교 영향을 정량적으로 평가하기 위해, 단열성능 강화에 따른 창 벽체 접합부의 선형 및 점형 열관류율의 변화, 실제 공동주택 세대 창호의 설치 열관류율을 산출하고 창 벽체 접합부 열교부위 열손실이 연간 냉난방에너지 요구량에 미치는 영향을 평가하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 외벽 및 창호 열관류율 변화에 따른 창 벽체 접합부의 열교 영향을 평가 결과, T자형 브라켓이 없는 창호 하부 2차원 단면의 선형 열관류율은 열관류율이 상향됨에 따라 감소하였으며, 이는 열관류율 상향에 따른 벽체 두께 증가로 인한 사춤부위 열저항 증가로 인한 것으로 판단된다. T자형 브라켓 단면 부위의 선형 열관류율은 유사한 수준으로 열전도율이 높음 금속 철물 부위의 열교 영향이 큼을 알 수 있다. 고성능 단열재를 사용하여 벽체 두께가 감소할 경우 창 벽체 접합부 열교는 상대적으로 증가할 것으로 판단된다.

(2) 임의의 공동주택 세대의 실제 창호 크기 및 고정 브라켓 설치 특성을 반영하여 창호 설치 열관류율 산출 결과, 창호의 설계 열관류율 대비 1.1배~1.2배 증가하였다. 설계 열관류율 적용 시 대비하여 설치 열관류율 적용 시 연간 난방에너지요구량은 4.2% 증가하며, 냉방에너지요구량은 1.7% 감소하여 연간 냉난방에너지 요구량은 1.4% 증가하였다. 외벽 열관류율 수준이 현 법규 수준인 0.150W/m<sup>2</sup>K 이하로 강화될 경우 증가율은 보다 커질 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현재 일반적인 창호의 시공방식에 대한 창 벽체 접합부 열교 영향을 평가하였다. 창 벽체 접합부 열교는 에너지요구량 증가에 미치는 영향뿐 아니라 결로 및 곰팡이 발생 방식을 위해서도 열교 감소 방안에 대한 고려가 필요한 부위이다. 최근 시공사태가 늘고 있는 강화 플라스틱 브라켓 등 대안적인 시공부자재, 시공법에 대한 개발 및 검증이 요구된다.

### Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(20RERP-B082204-07)에 의해 수행되었습니다.

### Reference

[1] 국토교통부, 건축물의 에너지절약 설계기준, 국토교통부고시 제 2017-881호. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Saving Design Standards of Buildings, Korean MOLIT, 2017-881, 2017.)

[2] 국토교통부, 에너지절약형 친환경주택의 건설기준, 국토교통부고시 제 2020-335호. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Construction Standard of Energy Saving Environmental Friendly House, Korean MOLIT, 2020-335, 2020.)

[3] Passive House Institute, Information. Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components: Transparent Building Components and Opening Elements in the Building Envelope, 2019.

[4] Passive House Institute, Certification, <http://passivehouse.com>, 2020.09.01.

[5] 추소연, 김정운, 이명주, 전열해석 시뮬레이션을 통한 패시브주택의 단열외피 열교 최소화 상세 개발 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 제 30권 제5호, 2014, pp.85-96. // (S.Y. Chu, J.U. Kim, M.J. Lee, A Study on the Thermal-bridge-free Construction Details of the Thermal Envelope for a Passive House using Heat Transfer Simulation, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 30(5), 2014, pp.85-96.)

[6] 문선혜, 신성은, 윤용상, 창호시스템의 선형열관류율에 따른 열관류율 변화, 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, 2011, pp.85-89. // (S.H. Mun, S.E. Shin, Y.S. Yoon, The Change of U-value with the Linear Thermal Transmittance of Window System, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, Autumn proceeding, 2011, pp.85-89.)

[7] 이규남, 정근주, 외단열 벽체에서 창호 설치 위치에 따른 단열성능 및 냉난방 에너지 소비량, 대한건축학회논문집 구조계, 제33권 제 12호, 2017, pp.91-98. // (K.N. Lee, G.J. Jung, Insulation Performance and Heating and Cooling Energy Consumption depending on the Window Reveal Depth in External Wall Insulation, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 33(12), 2017, pp.91-98.)

[8] 한국시설안전공단, 공동주택 결로 하자/보수 사례집, 2016. // (Korea Infrastructure Safety Corporation (KISC), Casebook about condensation defect and repair of Apartment Buildings, 2016.)

[9] International Organization for Standardization (ISO), ISO 10211 -Thermal bridge in building construction - Heat flows and surface temperatures - detailed calculations, 2017.

[10] F. Cappelletti et al., Analysis of the influence of installation thermal bridges on windows performance: The case of clay block walls, Energy and Buildings, 43, 2011, pp.1435-1442.

[11] J. Adamus and M. Pomada, Analysis of heat flow in composite structures used in window installation, Composite Structures, 202, 2018, pp.127-135.

[12] S.M. Lee, et al., Thermal Performance Evaluation of Junction Thermal Bridge according to Installation Position of Window, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 17(3), 2017, pp.15-21.

[13] International Organization for Standardization (ISO), ISO 10077- Thermal Performance Of Windows, Doors And Shutters - Calculation Of Thermal Transmittance, 2017.

[14] European committee for standardization, EN 673 - Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value). Calculation method, 2011.

[15] International Organization for Standardization (ISO), ISO 12631 - Thermal Performance Of Curtain Walling - Calculation Of Thermal Transmittance, 2017.

[16] 한국건축친환경설비학회, 설치열교를 포함한 창호 열성능 평가 기준, 제2018-01호, 2017. // (Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System (KIAEBS), Thermal performance of window including installation thermal bridge, 2018-01, 2017.)

[17] 국토교통부, 공동주택 결로방지를 위한 설계 기준, 2016. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Design Standard for Preventing Condensation in Apartment Buildings, 2016.)

[17] 국토교통부, 공동주택 결로방지를 위한 설계 기준, 제2016-835호, 2016. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Design Standard for Preventing Condensation in Apartment Buildings, Korean MOLIT, 2016-835, 2016.)

[18] 국가기술표준원, 창호의 단열성 시험방법, 국가기술표준원 고시 제 2017-0081호, 2017. // (Korean Agency for Technology and Standards, Standard test method for thermal resistance for windows and doors, KS F 2278, 2017-0081, 2017.)

[19] EnergyPlus, Getting Started, <http://energyplus.net>, 2020.09.01.

[20] DesignBuilder, Product Overview, <http://www.designbuilder.co.uk>, 2020.09.01.

[21] 조선호, 최경석, 공동주택 세대 위치와 건물 향에 따른 냉난방에너지 소비 특성, 한국생태환경건축학회, 제18권 6호, 2018, pp.89-95. // (S.H. Cho, G.S. Choi, Energy Consumption Characteristics of Apartment Buildings on Household Location and Building Orientation, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 18(6), 2018, pp.89-95.)