KIEAE Journal, Vol. 21, No. 6, Dec. 2021, pp.63-68.

KIEAE Journal
Korea Institute of Ecological Architecture and Environment
112

발열유리 창호시스템의 발열량에 따른 실내공간 열적 쾌적성능 분석

Thermal Comfort Performance Analysis According to the Heat Generation of the Heated Glazing System

강은호* · 김동수** · 윤종호***
Eun-Ho Kang* · Dong-Su Kim** · Jong-Ho Yoon***

* Ph.D. Graduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (silverskang@gmail.com)
** Coauthor, Assistant professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (dongsu.kim@hanbat.ac.kr)
*** Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (jhyoon@hanbat.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: In this study, an approach using the heated glazing window system as an auxiliary heating system is evaluated in terms of thermal comfort. Heat loss through window parts can occur relatively high because of low thermal resistance, which causes keeping lower surface temperature of the window, typically when outdoor air temperature is lower. With such issues, occupants may feel thermal discomfort near window parts mainly due to the radiant temperature asymmetry. In this study, an approach using the heated glazing window system as an auxiliary heating system is proposed to improve the performance of occupant's thermal comfort in a conditioned room. **Method**: For this analysis, a floor radiant heating system is considered as the main heat supply system in the conditioned zone. The internal thermal information of the room is calculated using a two-dimensional heat transfer analysis simulation (i.e., TRISCO). To quantitatively analyize the thermal comfort of the space adjacent to the window, the Predicted Mean Vote(PMV) at each point is derived by dividing the internal space into a two-dimensional grid. **Result**: As a result of the analysis, it was found that the heated glazing window system contributes to making the indoor thermal comfort uniform and can improve the thermal comfort of the window adjacent area. The maximum PPD deviation of the indoor space is about 6.3% when the heated glazing system is not operated, 1.8% under the heating of 20W/㎡, and 0.08% under the heating of 40W/㎡

ⓒ 2021. KIEAE all rights reserved.

KEYWORD
열적 쾌적도
복사온도
발열유리
예상 평균 온열감

Thermal Comfort
Radiant Temperature
Heated Glass
PMV

ACCEPTANCE INFO
Received Dec. 3, 2021
Final revision received Dec. 13, 2021
Accepted Dec. 17, 2021

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

창문은 일사의 유입을 통한 열 획득 및 채광과 같은 에너지측면의 기능뿐만 아니라 시각적인 개방감을 통해 외부와의 통로 기능을 함으로써 건물에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 비교적 열적으로 취약한 창문은 외부의 영향을 실내로 쉽게 전달하기 때문에 창문의 면적 비율이 높아질수록 건물에너지 손실 및 열적 쾌적도 측면에서 불리한 부분이 존재한다. 일반적으로 외기에 직접적으로 면하는 창문은 벽체와 같이 단열재가 별도로 시공되지 않으므로 열적 저항이 낮다. 이 때문에 창문에서는 열손실이 비교적 크게 발생함에 따라 창문의 실내측 표면온도가 현저히 낮아질 수 있다. 주로 동절기 일몰 시간부터 일출 시간까지 심화되어 나타나며 이러한 현상으로 인해 창문 표면은 동일한 공간 내의 벽체 및 천장보다 낮은 표면 온도를 갖는다.

실내 공간에 국부적으로 낮은 표면온도가 존재하면 해당 공간에서의 평균복사온도가 낮아지기 때문에 재실자에게 추가적인 복사열손실을 발생시킬 수 있다. 따라서 창문의 실내측 표면온도가 낮아지면, 인접 공간의 재실자는 국부적인 복사 열손실로 열적 불쾌감을 느낄 수 있으며 [1] 특히 창문과 마주보는 표면에 대해 복사온도 불균형(Radiant temperature asymmetry)이 심화되어 열적 불쾌적도가 상대적으로 높게 나타날 수 있다[2]. 열적 쾌적성능에 관련한 선행연구에 따르면 Q. Dong[3]은 차가운 표면을 가진 창문이나 뜨거운 복사 열원으로 인한 실내의 복사 불균형이 인간의 열적 쾌적성에 큰 영향을 미친다고 보고했다. 또한 N. Ghaddar[4]는 3D 유한 요소 모델을 이용하여 복사 난방기기 위치에 따른 실내 온열 쾌적 성능을 분석하였다. 그 결과, 실내의 열적 쾌적도는 공간 내 창문 위치에 따라 크게 달라지기 때문에 이를 고려하여 난방기기를 배치해야 한다고 보고하였다. 따라서 창문의 표면온도는 실내 열적 쾌적도 측면에서 중요하게 고려되어야 함을 시사한다.

동절기에 창의 표면온도를 적정수준으로 유지시키지 위한 방법으로 창문의 단열 수준을 높이는 패시브적인 방법과 창문에 에너지를 투입하여 발열시키는 액티브적인 방법이 있다. 창의 단열 수준을 높이는 것이 가장 근본적인 해결책이 되겠지만, 실내외 온도차가 크고 일사가 없는 외기조건에서는 창의 물리적인 특성으로 인해 표면온도를 높이는 데 한계가 존재한다. 하지만 에너지를 투입하여 발열시키는 방법은 에너지투입량에 따라 표면온도를 큰 범위까지 증가시킬 수 있으므로 동절기에도 높은 표면온도 유지가 가능하다. 창문에 에너지를 투입하여 발열시키는 기술로 발열유리를 적용한 창문이 있다. 발열유리는 금속 산화물로 이루어진 투명 전도막(Transparent Conductive Oxide)을 유리 표면에 코팅하여 제작된 것으로 전도막이 코팅된 면에 전류를 흐르게 하여 열을 발생시킴으로써 표면온도를 높인다.

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
https://doi.org/10.12813/kieae.2021.21.6.063

발열유리가 창문에 적용될 경우 발생된 열이 실내 방향으로 유도될 수 있도록 외측 표면에 Low-E 코팅을 하여 제작된다. 투입된 열은 대부분 실내 방향으로 유입되며 이에 따라 실내측 창문 표면온도는 투입된 에너지에 따라 빠르게 상승할 수 있다. 따라서 이를 적절히 활용하면 창문 근처 실내공간의 복사온도 불균형을 개선할 수 있으므로 실내 열적 쾌적성능 향상에 크게 기여할 수 있다. 관련 연구[5]에 따르면 발열유리를 보조난방으로 활용하면 실내 쾌적도 개선 측면에서 이점이 있다고 보고되었으며 해외에서는 이미 발열유리 창호가 실내 쾌적도 개선, 결로방지, 복사난방, 적설제거 등에 상용화되는 추세이다. 하지만 국내에서는 발열유리 창호 시스템이 적용된 사례는 여전히 미흡한 편이며, 이에 따른 연구 사례 또한 많지 않은 편이다. 발열유리 시스템은 창문형태로 설치되는 복사 난방의 형태이기 때문에 난방 성능이 적용된 공간의 열원 위치 및 인접 표면(벽체, 바닥 등) 같은 경계조건에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 특히 국내 주거건물의 경우 일반적으로 바닥 복사난방이 적용되어 바닥의 표면온도가 높게 형성되기 때문에 해외의 사례와 상이한 결과가 나타날 수 있다.

따라서 발열유리 창호 시스템은 국내 난방조건 및 외기조건을 경계조건으로 하여 정량적으로 검토될 필요가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 국내 공동주택 기준과 국내 동절기 외기조건으로 평가 모델을 수립하여 발열유리 창호 시스템 적용에 따른 실내공간의 열적 쾌적도 개선 효과를 정량적으로 분석하고자 한다. 연구방법은 열전달 이론에 기초한 시뮬레이션을 통해 분석을 진행하였다. 시뮬레이션 분석은 정상상태를 가정한 경계조건과 관련 법규를 반영하여 모델링을 수행하였다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 발열유리 창호 작동에 따른 실내의 열적 쾌적성능을 정량적으로 파악하는데 목적이 있다. 이 절에서는 연구결과를 도출하기 위한 연구방법을 서술한다. 전반적으로 연구과정은 Fig. 1.과 같이 세 단계에 걸쳐 진행된다.

첫 번째 단계에서는 해석 모델을 수립한다. 해석 모델은 국내 실내 환경을 반영하여 바닥난방이 적용된 공동주택 침실을 2차원 형태로 제작하였으며 관련연구 및 표준에 따라 실내측 및 실외측 경계조건을 설정하였다. 대상 모델의 기하학적 경계조건은 국내 주요 지침과 세종시에 위치한 공동주택 도면을 참고하여 결정되었으며 열적 경계조건은 표준기상데이터[6] 및 관련 표준[7]을 참고하여 결정되었다. 발열유리 창호 시스템 작동조건 및 2중창 적용조건에 따라 Case 시뮬레이션이 진행되며 이때 바닥 표면온도와 외기조건은 모든 Case에서 동일하게 설정되었다.

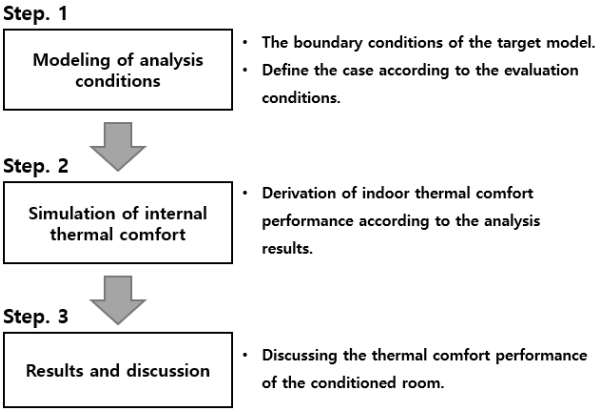

Fig. 1. Schematic diagram of research process

두 번째 단계에서는 수립한 모델에 대해 각 내부조건에 따라 실내측 열적 특성을 시뮬레이션한다. 본 연구에서 얻고자 하는 실내측 열적 특성은 실내 모든 표면의 표면온도 및 공기온도로써 정상상태 전열 해석 프로그램을 통해 진행되었다. 2차원 이상 경계조건에서는 정확한 해를 도출하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 수치 열전달 분석을 위해 Physibel Trisco[8]라는 해석 프로그램을 사용하였다. Trisco는 데카르트 좌표계를 기반으로 해석 대상 객체의 형상 및 경계 조건 모델링을 지원한다. 모델링이 완료되고 계산이 수행되면, Trisco는 객체 모델을 3D 직사각형 검사체적으로 이산화시키고 지배방정식 조건 하에 각 직사각형의 공유 노드에서 정상 상태 열전달 계산을 수행한다. 얻어진 실내측 표면온도를 이용하여 실내 각 공간의 평균복사온도가 계산된다. 평균복사온도는 실내 공간을 주요 부분으로 분할하여 각 지점에 대해 기하학적인 특성을 반영하여 도출된다.

세 번째 단계에서는 해석 결과를 토대로 실내 공간 각 지점의 열적 쾌적 지표가 도출된다. 위의 과정은 첫 번째 단계에서 수립한 모든 Case에 대하여 반복적으로 수행된다. 이후 마지막으로 각 Case의 열적 쾌적성능 결과를 비교하여 발열유리 창호시스템 작동에 따른 실내 열적 쾌적도 개선 효과를 검토한다.

2. 실내 열적 쾌적성능 평가

2.1. 열적 쾌적성능 지표

재실자의 열적 쾌적성능은 ISO-7730[9]에 의해 국제 표준화된 지표인 예상 평균 온열감(Predicted Mean Vote, PMV)과 예상 불만족 비율(Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)를 이용하여 도출된다. PMV와 PPD는 P.O. Fanger[10]가 제안한 열적 쾌적 지표로써 주어진 환경에 대해 임의의 집단 내 구성원들이 본인들이 느끼는 온열 쾌적감을 주관적으로 평가하여 도출된 지표이다.

현재 PMV는 국내 및 국외에서 주거건물, 사무실, 병원 등 건물 실내 환경의 쾌적도를 평가하거나 난방 및 냉방 설비를 제어하기 위한 지표로써 활용되고 있다. PMV는 인체의 열 균형에 기초하여 6가지 지표(온도, 습도 기류속도, 평균복사온도, 착의량, 활동량)을 이용하여 계산되며 -0.5 ~+0.5 범위의 값을 쾌적한 범위로 판정하고 있다. PPD는 노출된 환경에 대해 열적으로 쾌적하지 않다고 느끼는 사

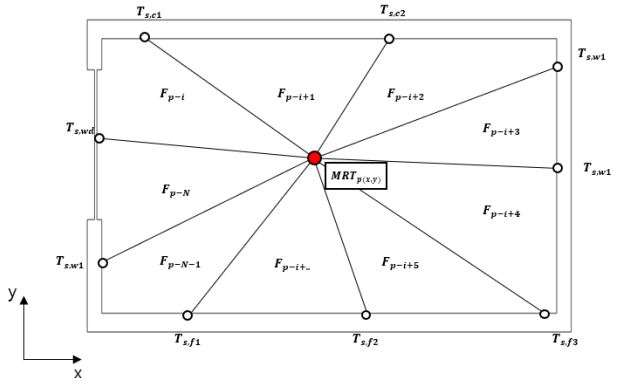

Fig. 2. The schematic representation of mean radiant temperature

람들의 비율로 PMV에 기반하여 도출된다. PMV와 PPD는 아래 식 (1, 2)에 따라 계산되었다[9].

$$PMV_p = [0.303 - \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \cdot 58.15] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_a] \\ -0.42[(M - W) - 58.15] \\ -1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) \\ -0.0014 \cdot M \cdot (34 - T_{in}) \\ -3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(T_{in} + 273)^4 - (MRT_p + 273)^4] \\ -f_{cl} \cdot h_{c,h} \cdot (T_{cl} - T_{in}) \end{array} \right\} \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$PPD_p = 100 - 95 \cdot \exp\left\{ \begin{array}{l} -0.03353 \cdot PMV_p^4 \\ -0.2179 \cdot PMV_p^2 \end{array} \right\} \quad \text{(Eq. 2)}$$

여기서,

M : 활동량 (W/㎡)

W : 외부 일 (W/㎡)

p_a : 수증기압 (Pa)

T_{in} : 실내 공기온도(℃)

T_{cl} : 의복 표면온도(℃)

f_{cl} : 인체의 의복 면적 비율 (-)

$h_{c,h}$: 재실자 대류열전달계수 (W/㎡K)

PMV 계산 시에 대부분의 인자들은 상수 형태로 반영되지만 복사열원에 의한 영향을 정량적으로 검토하기 위해 평균 복사온도(Mean Radiant Temperature, MRT)는 실내공간 위치에 따라 계산된다. MRT는 재실자와 실내 환경 사이의 복사 열전달을 결정하는 중요한 요인으로 모든 방향의 표면온도와 관련하여 계산을 진행해야 한다. 본 연구에서는 각 표면에서 방사되는 복사에너지는 파장과 방향에 따라 무관하도록 모든 표면은 흑색(Black body) 및 확산(Diffuse) 방사체라 가정하여 계산된다. MRT는 전열 해석 결과로 나타난 실내측 표면온도를 이용하여 형상계수를 반영하여 식 3과 같이 계산되었다[11]. Fig. 2.는 MRT와 각 표면과의 관계를 보여주는 개략도이다.

$$MRT_p = \sqrt[4]{\sum_{j=1}^{N} F_{p-s_j} T_{s,j}^4} \quad \text{(Eq. 3)}$$

여기서,

MRT_p : p지점의 평균복사온도(℃)

F_{p-s_j} : p지점에서 표면 j지점으로의 형상계수(-)

$T_{s,j}$: j지점의 표면온도(℃)

3. 해석모델의 수립 및 평가조건 정의

3.2. 해석모델 수립

모델 내부 공간은 반자높이 2.3m, 외벽 실내측 표면부터 반대편 내벽 표면까지 5.0m로 설정되었으며 창문 높이는 1.3m으로 바닥으로부터 1.0m 지점에 설치되어 있다. 해당 모델의 주난방은 바닥 복사난방 시스템이며 보조난방으로 발열유리 창호 시스템이 적용되었다. 아래 Fig. 3.은 수립된 모델의 개략도이다.

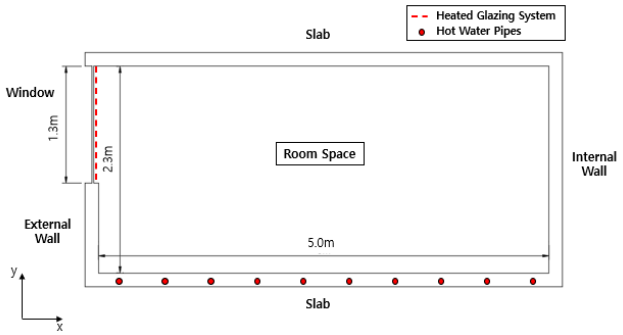

Fig. 3. The schematic representation of the model

Table 1. Physical properties of materials

Category	Materials	Thermal conductivity (W/mK)	Thickness (mm)
External Wall	Gypsum board	0.30	10
	Concrete	2.50	150
	Insulator	0.03	200
	Exterior Finishing	1.50	10
Slab	Surface Finishing	0.20	10
	Mortar	1.15	40
	Lightweight Aerated Concrete	0.16	40
	Insulator	0.03	30
	Concrete slab	2.50	210

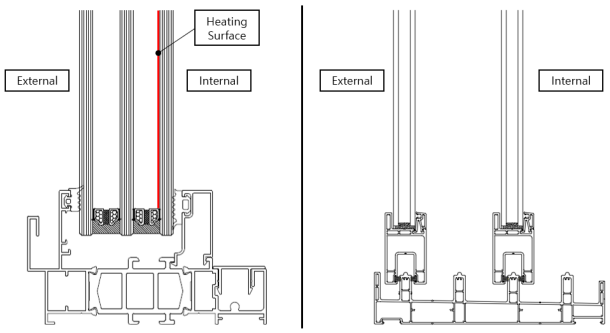

Fig. 4. Applied windows(left: Heated glazing system, right: Four track window)

대상 모델은 국내의 주요기준들을 참고하여 작성되었다. 벽체의 경우 국토교통부고시 '건축물의 에너지절약설계기준[12]'의 중부 2지역(공동주택 외)에 따라 구성되었다. 벽체 열관류율은 0.150W/㎡K로 외기에 직접 면하는 경우의 기준(열관류율 0.15W/m2K 이하)를 만족한다. 내단열 형태로 되어 있으며 외기와 접하는 면은 타일마감으로 되어 있다. 슬래브의 경우 국내 관련 법규[13]의 표준바닥구조 1에 따라 구성되었으며 열관류율은 0.597W/㎡K으로 바닥난방인 층간바닥의 기준(열관류율 0.810W/㎡K 이하)를 만족한다. 대상 모델링 구성요소에 입력된 열적 물성은 다음 Table 1.과 같다.

Fig. 4.는 해석 모델에 적용된 창문 단면도를 보여준다. 먼저 발열유리 창호의 경우 프레임은 알루미늄 재질로 되어 있으며 내부에 폴리아미드 재질의 열교차단재가 삽입되어 있다. 발열유리 창호의 Glazing

ⓒ2021. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

은 실외측부터 6mm Low-E 유리, 6mm 투명유리, 6mm Low-E 유리로 각 유리 사이에는 12mm로 공기층으로 채워져 있다. 실내측 유리 외측 표면에는 발열이 되도록 투명전도막 코팅이 적용되었다. 발열설정 시에 전체 발열량 대비 실내로 유입되는 비율은 85%이며 발열량이 없는 조건에서 해당 창문의 종합 열관류율(2m*2m 크기기준)은 1.25W/m^{2}K 이다. 이중창 창문의 경우 프레임은 PVC 재질로 되어 있으며 각 Glazing은 2장의 5mm 클리어 유리와 7mm 공기층으로 구성되어 있다. 해당 창문의 종합 열관류율(2m*2m 크기기준)은 1.523W/m^{2}K 이다. 바닥 난방은 관련 문헌[14]의 권장온도를 참고하여 표면온도 27.5℃±0.1℃ 범위로 작동하도록 설정되었다. 이때 배관 피치는 250mm이며 배관 구경은 16mm로 적용되었다.

Table 2.는 입력된 외부 및 실내측 경계조건을 나열한 표이다. 실내 경계조건은 관련 표준[7][15]을 참고하여 입력되었으며 외부 경계조건은 동절기 표준기상데이터(ASHRAE IWEC2)[6]를 참고하여 적용되었다. 본 연구의 취지에 따라 창문에 의한 복사 열손실이 심화되는 동절기 야간 시간대의 기상데이터를 이용하여 외부 경계조건을 산정하였다. 이때 천공복사온도와 외부 표면 대류열전달계수는 관련문헌[16]을 참고하여 표준기상데이터의 노점온도 및 풍속을 매개변수로 하여 아래 식(4, 5)에 의하여 산정되었다.

$$T_{sky} = (IR_H/\sigma)^{0.25} - 273.15 \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$h_{c,ex} = 4 + 4v \quad \text{(Eq. 5)}$$

여기서,

T_{sky} : 천공복사온도(℃)

IR_H : 수평면 적외 복사 (W/m^2)

σ : 스테판 볼츠만 상수(W/(m^{2}K^4))

$h_{c,ex}$: 외부 대류열전달계수(W/m^{2}K)

v : 풍속(m/s)

Table 2. The description of the indoor and outdoor boundary conditions

Item		Value
External air temperature (℃)		-3.34
External dew temperature (℃)		-9.36
External Convective heat transfer coefficient [W/㎡K]		12.31
Internal surface heat transfer coefficient [W/㎡K]	Vertical 90° ≥ α ≥ 60°	7.7
	Horizontal [60° > α ≥ 0°]	5.0

Table 3. The description of the cases

Parameter	Window	Heat flux of heated glazing [W/㎡]	Floor Surface Temperature[℃]
Case A	Four track window	0	27.5 ± 0.1
Case B-1	Heated glass window	0	
Case B-2		10	
Case B-3		20	
Case B-4		30	
Case B-5		40	

3.2. 평가조건에 따른 Case 정의

본 연구에서는 발열유리 창호 시스템 적용이 실내 열적 쾌적성능에 미치는 영향을 정량적으로 파악하는데 목적이 있으므로 발열유리 창호 작동 조건에 따라 시뮬레이션 Case를 분류한다. 아래 Table 3.과 같이 일반적인 이중창 적용 사례(Case A)와 발열유리 창호 작동조건에 따른 사례(Case B 1-5)로 총 6개 Case가 정의되었다.

4. 평균예상온열감(PMV) 산출 결과

본 연구에서는 MRT를 계산하기 위한 실내측 표면온도를 주요 부분(창문, 천장, 바닥, 내벽, 외벽)별로 면적 가중 평균하여 적용하였다. 각 부분에 대해 얻어진 표면온도는 Fig. 5.에 제시되어 있다. Fig. 5.를 보면 발열유리 창호 시스템의 발열량이 증가함에 따라 공간 내 표면온도 편차가 적어지는 것을 확인할 수 있다. 바닥 난방만 작동하였을 경우인 Case A와 Case B-1의 벽체 표면온도와 창문 표면온도의 편차는 각각 5.69℃, 4.01℃로 나타났으며 발열유리 창호의 발열량이 증가함에 따라 표면온도의 편차는 감소하여 40W/㎡까지 발열하였을 경우(Case B-5) 벽체 표면온도와 창문 표면온도의 편차는 0.08℃로 적은 편차를 보였다. 표면온도 산출 이후, 2차원 밀폐공간이라 가정된 실내 공간을 그리드 형태로 분할하여 각 지점의 MRT가 계산되었다. 실내 표면온도는 실내공간의 MRT에 영향을 미쳤으며 22℃에서 27℃까지 다양하게 나타났다.

대상 모델의 실내 열적 쾌적도를 정량화하기 위해 재실자 상태에 따라 가정된 변수와 대류 열전달 계수, 공기 온도 등 실내 열적 매개변수를 바탕으로 PMV 지수를 계산하였다. 이때 상대습도, 기류, 공기온도는 실내 공간 전체에 걸쳐 일정하다고 가정된다. 그리고 재실자 상태에 따른 매개변수는 아래 Table 4.와 같이 주거환경 재실자의 정보를 가정하여 복장형태(Clothing: underwear, shirt, trousers,

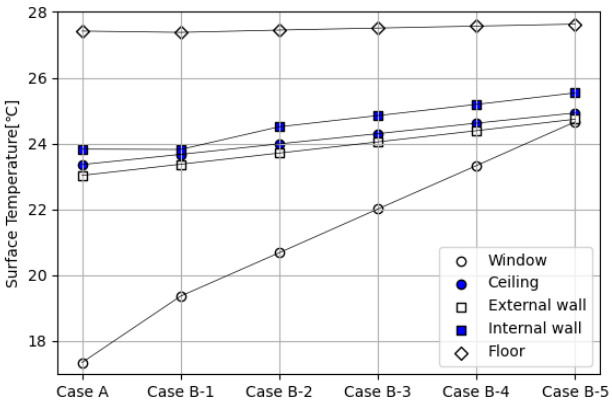

Fig. 5. The surface temperature obtained in the simulation

Table 4. Constant comfort parameters applying throughout the study

Parameter description [unit]	Value
Metabolic rate [W/㎡]	58
External work [W/㎡]	0
Relative humidity [%]	50
Clothing [-]	0.7

socks, shoes), 활동상태(Metabolic rate: seated)를 상수 형태로 가정하여 계산을 진행하였다.

Fig. 6.은 일반적인 2중 창문이 설치된 실내공간(Case A)의 PMV 계산결과를 나타낸 그래프이며 Fig. 7.~11.는 발열유리 창호 시스템이 설치된 실내공간(Case B)의 PMV 계산결과를 나타낸다. 각 그래프는 외벽과 바닥이 만나는 지점을 x=0, y=0으로 간주하여 직사각형 x, y평면으로 나타내었다. 제시된 시뮬레이션 결과는 동일한 바닥 표면온도가 설정되었을 경우, 창문 성능 및 발열유리 창호 시스템 발열량에 따른 PMV를 나타낸다고 할 수 있다.

Case A와 Case B-1는 발열조건이 없는 유형이다. 발열유리 창호 시스템의 열관류율이 일반 2중창의 열관류율보다 높기 때문에 Case B-1가 Case A보다 양호한 열적 쾌적도를 나타낸다. 하지만 두 유형 모두 낮은 창문 표면온도 영향으로 창문 인접공간(0〈x≤1m)에서 PMV −0.5이하로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 창호 주변부의 PMV는 창호 주변부에서 낮게 형성되었으며 실내 중심부의 PMV와 큰 편차가 나타났다.

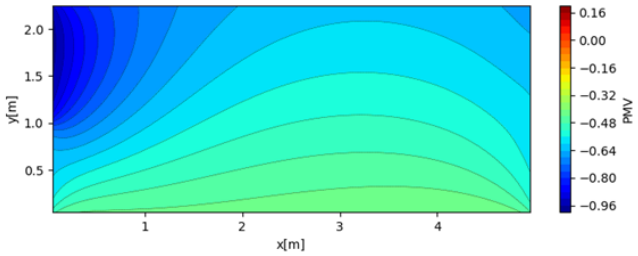

Fig. 6. PMV field in the room(Case A)

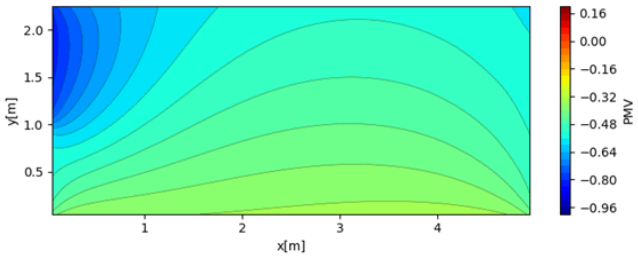

Fig. 7. PMV field in the room(B-1)

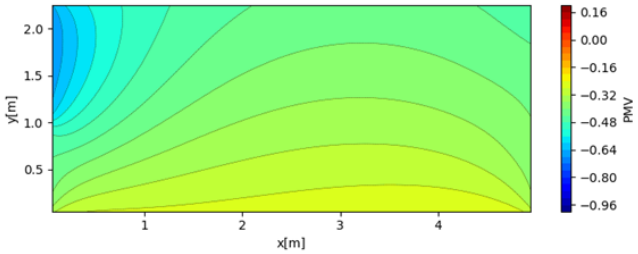

Fig. 8. PMV field in the room(B-2)

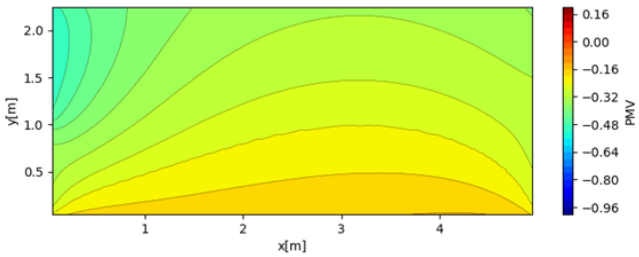

Fig. 9. PMV field in the room(B-3)

Case B-2부터 Case B-5는 발열유리 창호 시스템이 작동되는 유형이다. 발열량이 증가된 유형일수록 실내 전체 PMV가 개선되는 것을 확인할 수 있으며 특히 창호 인접공간(0〈x≤1m)에 대한 PMV가 타 공간(1m〈x〈5m) PMV 대비 크게 개선되는 것으로 나타났다. 벽체 표면온도와 거의 동일한 표면온도를 갖는 Case B-5의 경우 창호 표면온도에 의한 PMV 저하가 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다(Fig. 11.).

나타난 결과를 정량적으로 비교하기 위해 PPD 지수로 변환하였다. Fig. 12.은 수직방향에 대한 평균 PPD를 창문과의 거리에 따라 나타낸 그래프이다. 발열유리 창호 시스템의 발열량이 높아질수록 창호인접 공간(0〈x≤1m) PPD와 실내 중심 공간(2m〈x≤3m) PPD 편차가 감소하는 것으로 나타난다. 실내 최대 PPD 편차는 Case A에서 6.3%으로 나타났으며 발열량 20W/㎡ 조건(Case B-3)에서 1.8%, 발열량 40W/㎡ 조건(Case B-5)에서는 0.08%로 실내 공간의 PPD 편차가 현저히 감소하였다.

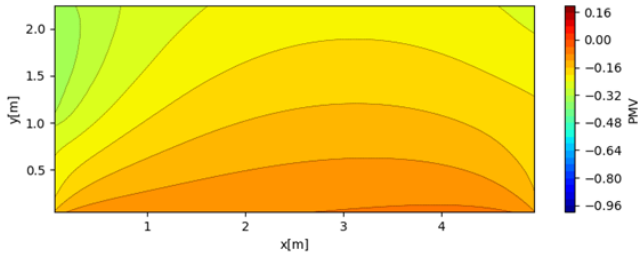

Fig. 10. PMV field in the room(B-4)

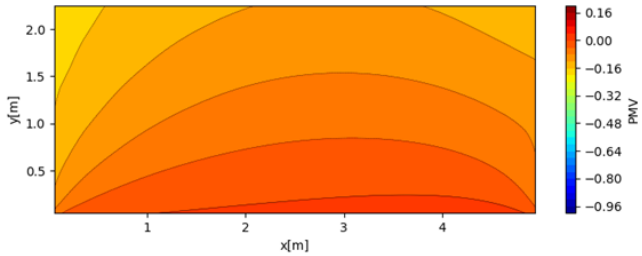

Fig. 11. PMV field in the room(B-5)

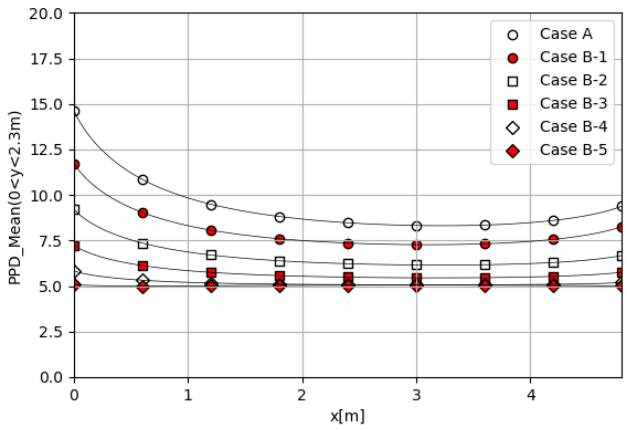

Fig. 12. Average PPD depending on the distance from the window

ⓒ2021. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

5. 결론

본 연구에서는 바닥난방 및 발열유리 창호가 적용된 침실을 모델링하여 발열유리 창호 작동에 따른 실내공간의 열적 쾌적 성능을 검토하였다. 연구 결과, 창문 근처의 온열쾌적 성능은 실내공간에서 가장 낮게 형성됨을 보여준다. 바닥 표면온도 27.5℃ 조건에서, 일반적인 이중창호가 설치된 Case A의 경우, 열적 쾌적도 결과는 대부분의 실내공간에서 실내의 대부분의 영역에서 열적 쾌적함(-0.5〈PMV〈0.5)을 느낄 수 있더라도 창문 인접공간의 PMV는 −0.5 이하로 창문 표면 근처에서 열적 불쾌감을 느낄 수 있는 것으로 나타났다.

실내 공간의 열적 쾌적도 균일성 측면에서 실내 최대 PPD 편차는 창문 근처와 실내 중심과 비교하였을 때 일반 2중창 적용 Case에서 약 6.3%로 나타났다. 이후 해당 편차는 발열유리가 작동함에 따라 발열량 20W/㎡조건에서 1.8%, 발열량 40W/㎡조건에서 0.08%로 발열유리 표면온도가 벽체 표면온도와 가까워짐에 따라 실내 열적 쾌적도가 균일하게 형성되는 것으로 나타났다.

검토된 바와 같이, 발열유리 창호 시스템은 실내 열적 쾌적도를 균일하게 유지하는데 기여하며 창문 인접구역의 열적 쾌적도를 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 정상상태 조건 및 설정된 경계조건상에서 검토되었기 때문에 다양한 조건상에서 검토될 필요가 있다. 차후 현장조건과 유사한 비정상상태 외기조건을 고려한 모델을 수립하여 열적 쾌적도 영향과 건물에너지 측면의 영향을 고려하여 발열유리 창호 시스템 적용 연구를 진행할 예정이다.

Acknowledgement

실내 열적 쾌적성능 평가본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(21CTAP-C163698-01).

Reference

[1] I. Atmaca, O. Kaynakli, A. Yigit, Effects of radiant temperature on thermal comfort, Building and Environment, Vol.42, Issue 9, 2007, pp.3210-3220.
[2] C. Marino, A. Nucara, M. Pietrafesa, Thermal comfort in indoor environment: Effect of the solar radiation on the radiant temperature asymmetry, Solar Energy, Vol.144, 2017, pp.295-309.
[3] Q. Dong, S. Li, C. Han, Numerical and experimental study of the effect of solar radiation on thermal comfort in a radiant heating system, Journal of Building Engineering, 32, 2020.
[4] N. Ghaddar, M. Salam, K. Ghali, Steady Thermal Comfort by Radiant Heat Transfer: The Impact of the Heater Position, Heat Transfer Engineering, 27(7), 2006, pp.29–40.
[5] 이도형 외 3인, 주거건물 단열수준에 따른 발열유리의 난방에너지 성능 평가, 한국태양에너지학회 논문집, 제41권 제4호, 2021, pp.73-84. // (D.H. Lee et al., Heating Energy Performance of Heated Glass According to Insulation Level of the Residential Building, The Korean Solar Energy Society, 41(4), 2021, pp.73-84.)
[6] ASHRAE IWEC2, https://www.ashrae.org/, Accessed 2021.11.20.
[7] International Organization for Standardization, ISO 6946:2017 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods.
[8] Trisco 12.0w, https://www.physibel.be/en/, Accessed 2021.11.20.
[9] International Organization for Standardization, ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
[10] P. Fanger, Thermal Comfort-Analysis and Applications, Environmental Engineering, 1982, pp.128-133.
[11] International Organization for Standardization, ISO 7726:1998 Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities.
[12] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토교통부고시 제2017-881호. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy-saving Design Standards, 2017-881, 2017.)
[13] 국토교통부, 소음방지를 위한 층간 바닥충격음 차단 구조기준, 국토교통부고시 제2018-585호. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Structural standards for floor impact sound blocking for noise prevention, 2018-585, 2018.)
[14] ANSI/ASHRAE Standard 55 -2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
[15] International Organization for Standardization, ISO 10456:2007 - Building materials and products
[16] M. Li, Y. Jiang, C. F. M. Coimbra, On the Determination of Atmospheric Longwave Irradiance under All-sky Conditions, Solar Energy, 144, 2017, pp.40-48.