

# 건물 에너지 사용량 분석을 통한 광변색유리 창호 성능 평가

## A Performance Evaluation of Photochromic Windows by Analyzing Building Energy Consumption

조혜운(Hye Un Cho)<sup>1</sup>, 박보랑(Bo Rang Park)<sup>1</sup>, 최은지(Eun Ji Choi)<sup>1</sup>, 최영재(Young Jae Choi)<sup>1</sup>, 조지현<sup>1</sup>(Ji Hyeon Cho), 이춘엽(Choonyeob Lee)<sup>2</sup>, 문진우(Jin Woo Moon)<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 <sup>2</sup>(주)오리온엔이에스

<sup>1</sup>Chung-Ang University, 84 Heukseok-ro, 06974, Korea

<sup>2</sup>Orion NES Co.,Ltd, 217 Gongdan-ro, 39370, Korea

**Abstract** This study analyzed the energy performance of Photochromic window (PCW) as a building exterior component. Three different types of windows were used to compare heating, cooling, and lighting energy consumption. The simulation results showed that PCW reduced total amount of heating, cooling energy by 14.9% compared to those of Clear Window (CW). However, PCW had the lowest VLT during the glass-colored period which led to increase in lighting and overall energy consumption. Therefore, in order to apply PCW as an alternative, further study of VLT performance and glass coloring schedule is required.

**Keywords** 광변색유리(Photochromic glass), 건물에너지(Building Energy), 스마트윈도우(Smart window)

† Corresponding author, E-mail: gilerbert73@cau.ac.kr

## 1. 서론

2030년까지 제로에너지빌딩 의무화에 따라 건축물 에너지 소비량 절감 및 단열성능은 지속적으로 강화되고 있다.<sup>(1)</sup> 건물 에너지 소비량의 약 30-40%가 냉난방을 위해 소비되고 있으며<sup>(2)</sup> 전체 에너지 손실 중 60% 가량이 창호에 의해 발생되고 있다.<sup>(3)</sup> 에너지 손실 최소화를 위해 고단열, 고성능 창호로 로이 유리(Low-e) 외에도 다양한 고효율 창호가 널리 적용되어지고 있다. 그러나 창호 대부분은 부가적인 차양 장치의 설치가 동반되어 건물 외피 설계에 적용되고 있다. 차양 장치는 열획득 및 열손실을 위한 대안으로 사용되어지고 있으나 심미성 및 시야 확보에 방해요인이 될 수 있기 때문에 최근 단열성능의 개선 뿐만 아니라 투과 가변성을 가진 변색유리 창호 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

현재 가장 대두되고 있는 변색 유리로는 전기변색 유리(ECW, Electrochromic Window)와 광변색소자 유리(PCW, Photochromic Window)가 있다. 변색 가동 시 전압이 필요한 ECW와는 달리 PCW는 별도의 전력 공급 없이 실외의 가시광선 또는 자외선에 의한 변색에 따라 일사취득계수(SHGC, Solar Heat Gain Coefficient) 및 가시광선투과율(VLT, Visible Light Transmittance)의 변화를 일으켜 건물 실내로 유입되는 일사량의 조절이 가능하다는 장점이 있다. PCW 관련 국내·외 선행연구로는 소자와 필름소재, 투과성을 주로 다루고 있으며 건물 외장재로 적용하여 건물 에너지 성능, 실내 환경 성능을 분석한 연구는 현저히 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 건물 외장재로서의 PCW 성능을 확인하고자 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 Clear window, Low-e window, PCW 세 가지 유형의 창호 적용에 따른 연간 건물 냉·난방 및 조명 에너지의 비교·분석을 실시하였다.

## 2. 입력모델 설정

### 2.1 시뮬레이션 모델링

본 연구에서는 창호의 성능 분석을 위하여 DesignBuilder (Version. 6.1.4)을 사용하였다. DesignBuilder는 EnergyPlus 기반의 통합 건물 에너지해석 시뮬레이션 프로그램으로 LEED와 ASHRAE 90.1의 기준조건을 포함하고 있다.<sup>(4)</sup> 대상건물은 서울에 위치한 연면적 640m<sup>2</sup>, 4층 높이의 일반 업무 시설로 Table 1과 같이 설정하였다. 창면적비는 50%이며 건물 외피의 열관류율은 2018년 개정된 에너지절약설계기준에 따라 설정하였다. 냉난방시스템은 일반 업무 시설에서 사용되는 Fan coil unit (4-Pipe)을 선정하였고 냉방기는 3월~10월, 난방기는 1월~2월과 11월~12월로 설정하였다. 내부발열 요소는 일반 업무시설의 표준값을 적용하였고<sup>(5)(6)</sup> 실내 조도에 따른 조명기기 제어가 가능하도록 Dimming Control을 설정하였다.

Table 1 Site Database

| Location           |  | Seoul, Republic of Korea                                   |  |
|--------------------|--|--|--|
| Area & Other data  | Building Area  | 640m <sup>2</sup> (160m <sup>2</sup> per each floor)       |  |
|                    | Number of Floors   | 4F   |  |
| Building Footprint | Building Orientation                                     | South  |  |
|                    | Floor Heights (Flr-To-Flr)                               | 3.5m   |  |
|                    | Window-to-Wall-Ratio (WWR)                               | 50%  |  |
| Building Envelope  | Roof surface / Above grade wall / Ground floor (R-value) | 0.15 / 0.24 / 0.2 (W/m <sup>2</sup> K)                     |  |
|                    | Infiltration   | 0.7 ACH  |  |
| Schedule           | Heating Period   | January - February, November - December                    |  |
|                    | Cooling Period   | March - October  |  |
| System             | Heating / Cooling System type                            | Fan coil unit (4-pipe)                                     |  |
|                    | Heating / Cooling COP                                    | 0.85/5.96  |  |
|                    | Heating / Cooling setpoint                               | 20°C/26°C  |  |
|                    | Dimming Control / Illuminance setpoint                   | On, 400Lux   |  |
| Occupied load      | Lighting   | Office - 10.2 W/m <sup>2</sup> / Core - 2 W/m <sup>2</sup> |  |
|                    | People   | 0.161 person/m <sup>2</sup>                                |  |
|                    | Office equipment   | 11.8 W/m <sup>2</sup>                                      |  |

### 2.2 창호 유형별 성능 및 PCW 변색 스케줄

본 연구에 적용된 3가지 유형의 창호 특성은 Table 2와 같다. PCW의 성능평가를 위하여 기존에 적용되고 있는 기본형인 Clear window (CW)를 기준모델로 설정하였다. LW (Low-e window), PCW 창호의 경우 IGDB 데이터(International Glazing Data Base)를 기반으로 하는 DesignBuilder의 Glass Data를 이용하였다. PCW는 변색 유무에 따라 PCC (Photochromic-colored), PCB (Photochromic-Bleached)로 구분하였다. 계절별 일사유입 시간을 고려하여 동절기 8시간, 중간기 10시간, 하절기는 12시간으로 변색 스케줄을 설정하였다.

Table 2 Window Properties and Operation schedule

| Type                            | Glazing                                 | U-Factor (W/m <sup>2</sup> K) | SHGC | VLT (%) |
|---------------------------------|---|-------------------------------|------|---------|
| PCW                             | PCC<br>PCW (Colored 5) + Ar 12 + Clr 5  | 1.487                         | 0.23 | 23.3    |
|                                 | PCB<br>PCW (Bleached 5) + Ar 12 + Clr 5 | 1.487                         | 0.64 | 68.5    |
| LW (2e)                         | Low-e 5 + Ar 12 + Clr 5                 | 1.487                         | 0.52 | 67.4    |
| CW                              | Clr 5 + Ar 12 + Clr 5                   | 2.531                         | 0.76 | 80.9    |
| Window discolor operation (PCC) | Month                                   | Time                          |      |         |
|                                 | January - February, November - December | 09:00~17:00 (8hr)             |      |         |
|                                 | March - May, October                    | 08:00~18:00 (10hr)            |      |         |
|                                 | Jun - September                         | 07:00~19:00 (12hr)            |      |         |

### 3. 건물 에너지 소비량 분석

#### 3.1 창호 유형별 냉·난방·조명 에너지 소비량

창호 유형별 냉·난방·조명 에너지 소비량 분석 결과는 Table 3에 나타난다.

냉방 에너지는 세 가지 유형의 창호 중 PCW 적용 시 가장 낮게 나타났다. PCW는 기준모델 대비 2,091 kWh/yr (18.7%) 낮았으며, LW 대비 827 kWh/yr (8%) 낮게 나타났다. LW는 기준모델(CW) 대비 1,264 kWh/yr (11.3%) 낮았다. 이는 냉방 에너지 소비량에 창호의 열관류율 뿐만 아니라 SHGC 값의 차이에 따른 열획득 또한 크게 작용한다는 것을 의미하며 PCW는 변색 시 낮은 SHGC에 의해 하절기 냉방 에너지 절감에 효과적임을 확인할 수 있다.

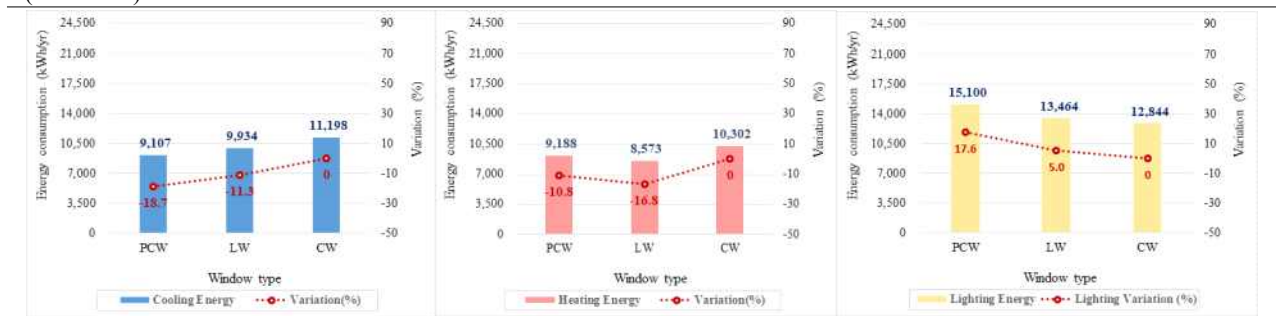
난방 에너지의 경우, 모든 창호 중 열관류율이 가장 취약한 기준모델은 10,302 kWh/yr로 계산되었다. LW가 기준모델 대비 1,729 kWh/yr (16.8%) 감소를 보여 모든 창호 유형 중 가장 낮게 나타났으며 PCW는 기준모델 대비 1,114 kWh/yr (10.8%) 낮게 나타나 LW보다 낮은 감소율을 보였다. 이는 두 창호의 열관류율은 동일하나, PCW의 SHGC 값이 LW 보다 낮음에 따라 더 많은 일사량 획득이 가능한 LW가 난방에너지 절감에 유리했던 것으로 사료된다.

조명 에너지는 실내 조도와 직접적인 관련이 있어 VLT 영향분석을 위해 디밍컨트롤을 실시하였다. 제어기 준 조도는 일반 사무소 기준인 400lux로 설정하였다. CW 적용 시 연간 12,844 kWh/yr로 가장 낮은 조명 에너지가 소비되었고 PCW가 15,100 kWh/yr로 가장 많이 소비되어 기준모델 대비 17.6% 증가하였다. LW는 기준 모델 대비 5% 증가된 13,464 kWh/yr 로 PCW보다 조명 에너지 부문에서 더 효율적인 것으로 확인되었다. 이는 PCW가 변색기간동안 낮은 VLT 성능을 가짐에 따라 실내 조도 확보를 위한 추가적인 인공조명 사용량 증가에 따른 것으로 판단된다.

냉·난방 에너지 합산 시 기준모델 대비 에너지 소비 절감량은 PCW (3,205 kWh (14.9%)) > LW (2,993 (13.9%)) 순으로 PCW가 냉·난방 에너지 절감에 유리한 창호로 나타났다. 그러나 조명 에너지를 고려한 총 에너지 소비량의 경우 기준모델 대비 LW (2,373 kWh/yr (7%)) > PCW (949 kWh/yr (2.8%)) 순으로 절감률을 보였다. 이는 변색 시 PCW의 낮은 VLT로 인한 과도한 조명 에너지가 전체 에너지 소비량의 45% (15,100 kWh/yr)를 차지함에 따른 결과로 보인다. 조명 에너지는 인공조명 사용량에 따라 실내발열에 의해 냉·난방 부하에도 영향을 줄 수 있는 중요한 요소이다. 따라서 조명 에너지 및 총 소비 에너지 절감을 위해서는 PCW 창호의 적절한 VLT 및 변색 스케줄이 고려된 추가 연구가 실시되어야 한다고 판단된다.

Table 3 Window types & Energy consumption

| Type              | Cooling         |               | Heating         |               | Lighting        |               |
|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
|                   | Energy (kWh/yr) | Variation (%) | Energy (kWh/yr) | Variation (%) | Energy (kWh/yr) | Variation (%) |
| PCW<br>(PCC+PCB)  | 9,107           | -18.7         | 9,188           | -10.8         | 15,100          | +17.6         |
| LW                | 9,934           | -11.3         | 8,573           | -16.8         | 13,464          | +5            |
| CW<br>(Base case) | 11,198          | -             | 10,302          | -             | 12,844          | -             |



## 4. 결 론

본 연구에서는 건물 외장재로써 변색 가능한 PCW 적용 시 건물 에너지 성능 분석을 실시하였다. 이를 위해 세 가지 유형의 창호를 설정하여 시뮬레이션을 통해 냉·난방·조명 에너지 소비량을 비교·분석 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

광변색창호 PCW (PCC+PCB)는 기준모델(CW) 대비 냉·난방 에너지 소비량이 각각 18.7%, 10.8% 감소하였으며 냉·난방 통합 14.9% 감소하였다. 난방 에너지 감소는 하절기·중간기에 12시간 변색 시(PCC)의 SHGC가 낮아 실내 일사열획득 감소에 따른 현상으로 사료된다. 난방 에너지 감소의 경우 기준모델 대비 높은 열관류율을 성능에 의한 것으로 확인된다. LW는 냉·난방 에너지 소비량이 기준모델 대비 각각 11.3%, 16.8% 감소하였다. LW와 PCW의 열관류율이 동일함에도 불구하고 LW의 난방 에너지 감소율이 PCW 보다 높은 현상은 겨울철 난방 시 PCW 가 변색 8시간 동안 SHGC 성능이 낮아 일사열획득 감소에 의한 것으로 판단된다.

조명 에너지의 경우 VLT 특성으로 인해 PCW가 15,100 kWh/yr로 기준모델보다 17.6% 증가하여 세 가지 창호 중 가장 높은 소비량을 보였다. 이는 PCW가 변색된 상태인 PCC의 VLT가 23.3%로 기준모델의 약 28.8% 수준에 그쳐 실내조도 확보를 위해 조명 사용량이 늘어남에 따른 현상으로 확인된다.

따라서, PCW는 건축 외장재로써 냉·난방 에너지 소비 측면에서는 효과적인 것으로 확인되나, 조명 에너지 측면에서는 과도한 소비량을 나타냄에 따라 VLT 개선의 필요성을 확인하였다. 또한, 향후 건축 외장재로써 에너지 절감 개선 및 적용성 확대를 위하여 더욱 다양한 용도의 건물을 대상으로 다양한 조합의 물리적 특성에 대한 성능 평가 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## 후기

이 논문은 2018년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단-미래선도기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.(No. NRF-2018M3C1B9088457).

## References

1. 김성범, 이수열, 김선형, 박기영, 최원기, 2017, 주거용 건물의 창호 단열성능과 에너지 상관관계, 대한설비공학회 하계 학술발표대회 논문집, pp. 615-618.
2. 최영재, 박보량, 최은지, 문진우, 2019, 전기변색유리 적용에 따른 건물 실내온도 및 난방 에너지 분석, 한국생태환경건축학회 춘계 학술발표대회 논문집, pp. 110-111.
3. A. Gustavsen, B.P. Jelle, D. Arasteh, C. Kohler, 2007, State-of-the-art highly insulating window frames - Research and market review. SINTEF Building and Infrastructure, Project report 6.
4. DesignBuilder, <https://designbuilder.co.uk>, 2020.04
5. 한국건설기술연구원, 건물부문 온실가스 감축 잠재량 모형분석을 위한 표준모델 구축(1), 보고서, 2016.08
6. B.R. Park, J.I. Hong, E.J. Choi, Y.J. Choi, C.Y. Lee, J.W. Moon, 2019, Improvement in energy performance of building envelope incorporating electrochromic window (ECW), Energies, Vol.12, No.6, 1181.