



RESEARCH ARTICLE

주거건물에서의 Electrochromic Window 제어방법에 따른 에너지 절감 효과 비교 분석

김유정¹ · 이수진¹ · 송승영^{2*}

¹이화여자대학교 건축도시시스템공학과 연구원, ²이화여자대학교 건축도시시스템공학과 교수

Energy Performance Evaluation of Electrochromic Windows by Control Schemes in Residential Buildings

Kim, You-Jeong¹ · Lee, Soo-Jin¹ · Song, Seung-Yeong^{2*}

¹Researcher, Department of Architectural and Urban Systems, Ewha Womans University, Seoul, Korea

²Professor, Department of Architectural and Urban Systems, Ewha Womans University, Seoul, Korea

*Corresponding author: Song, Seung-Yeong, Tel: +82-2-3277-3913, E-mail: archssy@ewha.ac.kr

ABSTRACT

Highly efficient window systems have been consistently demanded since the amount of heat exchange through windows is significant. In particular, the large amount of solar heat gains through the south-facing window of the living room during the summer season is the main culprit of the increase in cooling load. Electrochromic window (ECW) can be an effective solution to this. We found out that there is few prior study which has applied ECW to residential buildings and has made comparative review of various environmental factors for ECW control. Therefore, in this study, we applied ECW to an apartment unit and evaluated the energy saving potential of ECW by various environmental factors for ECW control such as incident solar radiation on vertical surface, daylight illuminance, indoor air temperature and outdoor air temperature. As a result, applied with ECW, solar heat gains through the windows decreased by about 60% on average, resulting in an average reduction of about 25% and 13% in cooling energy use and cooling peak load, respectively. Among the environmental factors, daylight illuminance was most effective in reducing cooling energy use (-32%) and cooling peak load (-15%). Comparing the cases of different orientations of ECW, it was shown that there was not much additional energy savings when ECW is applied to both Southward and Northward windows. Moreover, the result indicates that when the occupants are not at home during the daytime, ECW should also be operated as the varied occupants schedule to save cooling energy more effectively.

주요어 : 전기변색 창, 스마트 윈도우, 제어 방법, 주거건물, 냉방 에너지

Keywords: Electrochromic window, Smart window, Control scheme, Residential building, Cooling energy

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2020 December, 14(6): 707-718
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20200060>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: November 3, 2020

Revised: November 16, 2020

Accepted: November 18, 2020

© 2020 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

정부는 2017년 신기후체제 출범에 따른 에너지 정책의 일환으로 제로에너지 건축물 인증제를 시행하였으며, 2020년까지 공공건물을, 2025년부터는 민간건물을 대상으로 제로에너지 의무화 방안을 추진 중에 있다(MOLIT, 2019). 이에 따라 주거건물의 에너지 효율에 대한 요구 수준 또한 강화되고 있다. 고성능 건물 외피는 주거건물의 에너지 효율을 높이기 위한 가장 기본적이고 중요한 요소이다. 특히, 창은 열관류율과 일사 투과율이 높아 실내외간 열교환이 매우 많이 일어나는 부위이므로(Gustavsen et al., 2007), 고효율 창에 대한 요구는 지속적으로 커져 왔다. 국내 대부분의 선행 연구는 창의 단열성능을 향상시켜 난방 부하를 절감하는 데 치중되어 왔다. 그러나 최근 생활수준의 향상으로 인해 주거건물의 실내 발열이 증가하는 추세이므로, 냉방 부하 절감을 위한 노력 또한 필요하다. 특히 여름철 거실 남향 창을 통한 일사열 획득은 냉방부하를 증가시키는 주범이라고 할 수 있다.

실로 유입되는 일사열을 효과적으로 차단하기 위해서는 외부 차양 설치가 바람직하다. 그러나 국내 주택은 대부분 고층 아파트이므로 외부 차양 구조물을 설치하는 것은 관리상, 안전상, 미관상의 문제를 야기할 수 있다. 스마트 윈도우는 이에 대한 효과적인 대안이 될 수 있다. 스마트 윈도우는 환경조건에 따라 유리를 변색시켜 일사열 획득계수(Solar Heat Gain Coefficient, SHGC)와 가시광선 투과율(Visible Light Transmittance, VT)을 달리함으로써 일사 에너지의 실내 유입을 조절하는 기술이다. 스마트 윈도우의 작동 원리는 크게 열, 빛, 전기에 반응하는 크롬 물질(Thermo-, Photo-, Electro-chromic), 액정(Liquid Crystal), 그리고 부유 입자 장치(Suspended Particle Devices) 방식으로 구분된다(Jelle et al., 2012). 그 중 Electrochromic Window(이하 ECW)는 여러 기술 중 안정성이 매우 높으며(Baetens et al., 2010) 사용자가 인위적으로 조절할 수 있어 건물 외피에 적용하기에 적합하다. ECW는 환경조건에 따라 창 내부에 전기 흐름을 유도하여 전기화학적 산화, 환원 반응에 의해 유리의 태양에너지 투과율을 조절한다. 대표적인 환원착색 물질인 WO_3 로 리튬이온(Li^+)이나 수소이온(H^+)과 전자가 주입되면 WO_3 가 변색되고, 반대로 전자가 방출되면 원래의 소색상태로 돌아오게 되는 것이다(Baucke, 1991). ECW 제어의 기준이 되는 환경인자는 조도, 휘도, 일사량, 온도 등이 될 수 있으며, Figure 1은 ECW의 개념도를 나타낸 것이다.

국내에서 ECW와 관련된 선행 연구로, Park and Park (2014)은 ECW를 사무소 건물에 적용하고 총 일사량을 기준으로 제어한 경우의 에너지성능을 평가한 바 있다. Shin and Chae (2018)는 ECW를 국내 8개 지역의 상업용 건물에 적용하고, 실외 온도를 기준으로 제어한 경우의 지역별 에너지 절감 효과를 평가하였다. Choi et al. (2019)은 시뮬레이션을 통해 국내 업무시설에 ECW를 적용하였을 때 하절기 실내온도는 Low-e 유리 대비 약 $0.3\sim 0.8^\circ C$ 감소하며, 냉방 에너지소비량은 평균 10.4% 감소함을 확인하였다. 그러나 국내 선행 연구 중 ECW를 주거건물에 적용한 연구는 부족한 실정이며, 특히 ECW 제어를 위한 여러 환경인자에 대한 비교 검토는 미흡한 것으로 평가된다. 또한, ECW는 여름철 냉방 부하 절감에는 유리하지만 겨울철 난방 부하 절감에는 불리할 수 있으므로 이를 고려하여 제어로직을 설계할 필

요가 있다. 이에 따라 본 논문에서는 ECW를 국내 아파트 건물에 적용하고 제어를 위한 여러 환경인자 및 제어 시나리오에 따른 에너지 절감 효과를 비교 분석하고자 한다.

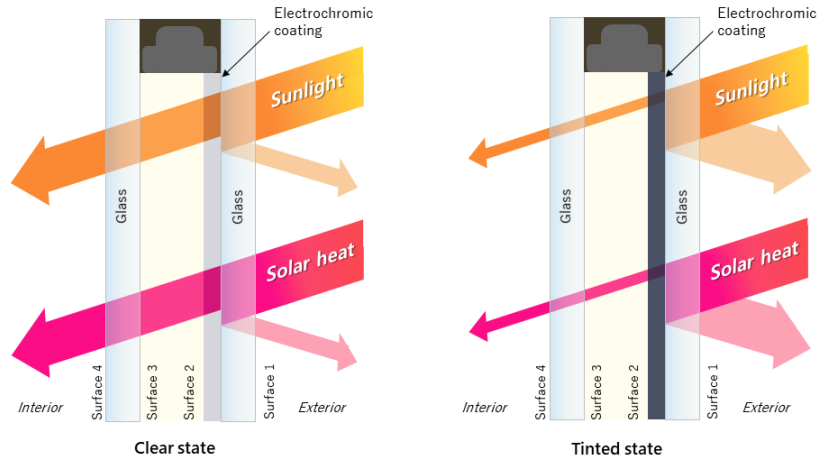


Figure 1. ECW technology in clear and tinted states

연구방법

대상 건물

본 논문에서는 서울 소재 아파트 세대를 대상으로 ECW 적용 시 에너지성을 평가하고 적정 제어방법을 도출하고자 하였다. 에너지성능 평가는 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus (ver. 9.2.0)를 통해 수행되었으며, 기준층에 위치한 한 세대를 대상으로 하였다. 대상 건물의 개요는 Table 1과 같고, 세대 평면도는 Figure 2와 같다. 기상데이터는 서울 지역 표준 기상데이터를 사용하였다. 외피 열관류율은 에너지절약형 친환경주택의 건설기준에 제시된 중부 2지역 열관류율 기준에 따라 설정하였으며, ECW가 적용되지 않은 기준모델의 창은 아르곤 충전 및 로이코팅된 복층유리 이중창(내창 5Cl+10Ar+5Cl, 외창 5Le+10Ar+5Cl)으로 설정하였다. ECW는 세대 거실 및 침실의 남향 창에만 적용하는 것으로 하였고, 세대 침기율은 한국건축친환경설비학회 기밀성능 기준을 참고하여 3.0ACH50으로 설정하였다. HVAC 시스템 관련 모델은 Simple HVAC으로 설정하였으며, ECW 적용에 따른 자연채광량 감소와 이에 따른 조명 에너지소요량의 증가를 평가에 반영하기 위하여 Daylight dimming control이 가능하도록 조명 시스템을 설정하였다. 실내 일광 조도가 국내 주거공간의 요구 조도수준인 200 lux 미만이 되면 인공조명이 켜지며, 실내 일광 조도수준에 비례하여 인공조명의 밝기가 결정된다. 내부 발열 수준은 건축물 에너지효율등급 인증제도의 주거공간 용도 프로필에 따라 설정하였으며, 해당 용도 프로필에 제시되어 있지 않은 인공조명, 작업보조기기, 재실자의 시간별 스케줄은 U.S. Department of Energy (DOE) Reference Building Model (National Renewable Energy Laboratory, 2011) 스케줄을 적용하였다.

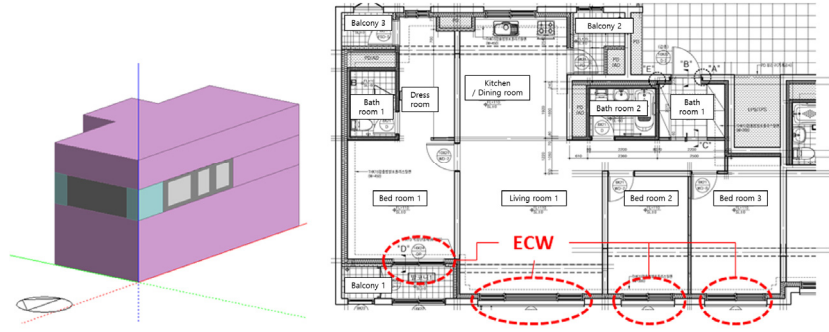


Figure 2. 3D view and floor plan of the simulation model

Table 1. Simulation model description

Category			Value
Building type			Residential building (Apartment)
Location			Seoul, South Korea
Orientation			South
Floor area of the unit [m ²]			84.99
Building conditions	Exterior wall	U value [W/m ² K]	0.170
	Semi-exterior wall		0.240
	Window (without EC pane)	U value [W/m ² K]	0.900
		SHGC	0.506
		VT	0.620
Model type			Simple HVAC
Heating	Fuel type	Gas	
	COP	0.85	
	Setpoint temperature [°C]	20	
System conditions	Fuel type	Electricity from grid	
	Cooling	COP	3.0
		Setpoint temperature [°C]	26
	Mechanical ventilation	Minimum fresh air [l/s/pers]	2.5
Lighting	Control type	Continuous on/off	
	Minimum illuminance [lux]	200	
	Occupant density [pers/m ²]	0.0315	
Internal heat gain conditions	People	Metabolic rate [W/pers]	126
	Appliances [W/m ²]	2.17	
	Lighting [W/m ²]	8.0	

ECW 모델링

기준모델의 복층유리 이중창의 한 레이어(외창의 외측유리, EC 코팅은 2면, Figure 1참고)를 EC pane으로 교체하여 ECW를 생성하였으며, EC pane의 열적, 광학적 특성은 Table 2와 같다. ECW는 세대 거실 및 침실의 남향 창에만 적용되었다. ECW가 변색되어 일사열을 차단하게 되면 여름철 냉방 부하 절감에는 유리하지만 겨울철 난방 부하를 증가시켜 전체적인

에너지성능이 저하될 수 있다. 따라서 ECW를 통해 효과적으로 에너지를 절감하기 위해서는 비냉방기간에는 현휘가 발생하지 않는 한 소색상태(Clear state)를 유지하여 일사열을 획득하도록 운전하는 것이 바람직하다. 같은 원리로 재실자가 없는 주간 외출시간의 경우, 냉방기간에는 ECW가 변색상태를 유지하여 일사열을 차단하고, 비냉방기간에는 소색상태를 유지하여 일사열을 획득하도록 운전하는 것이 바람직하다. 이에 따라 Figure 3과 같이 ECW의 제어로직을 설정하였고, 재실자가 있는 동안 현휘가 발생하면 무조건 변색되도록 하였으며 현휘 기준값은 22 GI (Glare Index)로 설정하였다(Chauvel et al., 1982).

Table 2. Thermal and optical properties of EC pane

State	Solar			Visible		
	Transmittance	Reflectance, Front	Reflectance, Back	Transmittance	Reflectance, Front	Reflectance, Back
Tinted	0.099	0.219	0.219	0.155	0.073	0.073
Clear	0.816	0.071	0.071	0.894	0.080	0.080

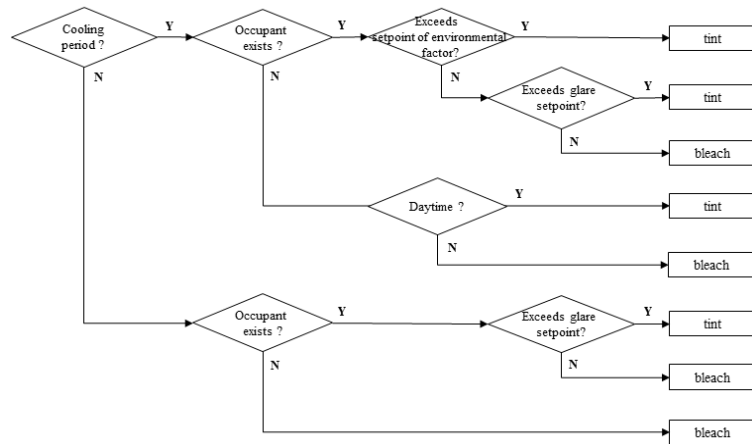


Figure 3. ECW control scheme

평가 대안

ECW 적용에 따른 건물 에너지소요량을 비교분석하기 위해 기준모델(Base)과 ECW 적용 모델을 구성하였다. 그리고 ECW 제어를 위한 환경인자를 수직면 도달 일사량(ECW_sol), 실내 일광조도(ECW_day), 실내온도(ECW_iat), 외기온도(ECW_oat)로 달리하여 ECW 적용 모델을 구성하였다. 실내 일광조도는 창을 통해 실내로 유입되어 거실 중앙의 조도센서에 직접 도달한 일광성분과 유입되었다가 실내 표면에서 반사되어 도달한 일광성분이 포함되며, 인공조명에 의한 조도는 포함되지 않는다(U.S. Department of Energy, 2019). 각 환경인자의 ECW 변색 기준값은 Table 3과 같이 설정하였다. 수직면 도달 일사량의 경우 통용되는 기준값이 마련되어 있지 않은 관계로 Radiance 시뮬레이션을 통해 대상 건물의 수직면 도달 일사량을 계산하여 적용하였다. 6월부터 9월까지의 평균값은 79 W/m²이었으며, 이 값의 -

50% (40 W/m²)와 +50% (119 W/m²) 값을 변색 기준값으로 설정하여 세부 모델(ECW_sol_low, ECW_sol_mid, ECW_sol_high)을 구성하였다. 본 논문에서 평가한 대안을 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3. Simulation models by environmental factors for ECW control

ID	Environmental factor	Setpoint value for ECW tinting
ECW_sol_low	Incident solar radiation on vertical surface [W/m ²]	40 or more
ECW_sol_mid		79 or more
ECW_sol_high		119 or more
ECW_day	Daylight illuminance [lux]	200 or more
ECW_iat	Indoor air temperature [°C]	26 or more
ECW_oat	Outdoor air temperature [°C]	26 or more

평가 방법

EnergyPlus 시뮬레이션을 통해 앞에서 설명한 대안별로 창을 통한 일사열획득, 난방, 냉방, 조명 에너지소요량 및 냉방 최대부하를 계산하고, 기준모델 대비 변화율을 비교분석하여 에너지 절감 효과가 가장 좋은 ECW 제어를 위한 환경인자를 도출하였다. 또한, 전체 에너지 소요량 절감 효과가 가장 큰 대안에 대해서 ECW 적용 위치 및 제어로직에 따른 에너지 절감 효과를 함께 분석하였다.

시뮬레이션 결과

ECW 제어를 위한 환경인자 종류에 따른 에너지 절감 효과

Table 4와 Figure 4는 냉방 최대부하 발생일(7월 15일)에 대해 30분 간격으로 일사열획득을 계산한 결과이다. ECW 적용 시 일간 일사열획득은 평균 8.9 kWh/d로, 기준모델(22.2 kWh/d) 대비 약 60% 감소하였다. 외기온도로 ECW를 제어한 경우 일사열획득 감소가 가장 컸으며 기준모델 대비 약 78% 감소하였다. 그리고 수직면 도달 일사량으로 제어한 경우에는 ECW 변색 기준값이 낮을수록 일사열획득 감소가 크게 나타났다.

Table 4. Daily solar gains through windows by environmental factors for ECW control

ID	Solar gains	
	Daily peak [kW/d]	Daily sum [kWh/d]
ECW_sol_low	0.3	5.1
ECW_sol_mid	0.5	6.7
ECW_sol_high	0.7	10.8
ECW_day	0.4	8.9
ECW_iat	1.4	16.7
ECW_oat	0.3	4.9
Base	1.4	22.2

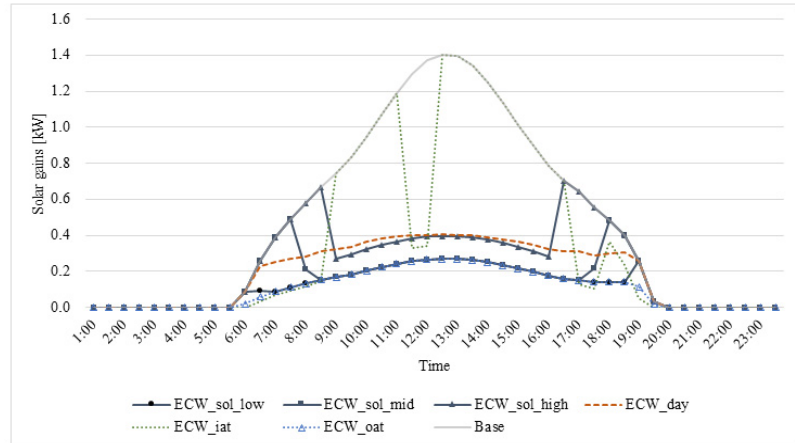


Figure 4. Hourly distribution of solar gains through windows by environmental factors for ECW control

Table 5는 각 대안과 기준모델의 연간 에너지소요량 및 냉방 최대부하 계산 결과이며, Table 6과 Figure 5는 각 대안의 기준모델 대비 에너지소요량 및 냉방 최대부하 변화율을 나타낸 것이다. ECW 적용 시 냉방 에너지소요량은 기준모델 대비 약 15~32% 감소하고, 조명 에너지소요량은 약 0.03~14% 증가하는 것으로 나타났다. 난방 에너지소요량 증가율은 0.5%로 매우 작게 나타났으며, 이는 비냉방기에는 현휘 발생 시에만 ECW가 변색되도록 제어로직을 설정했기 때문이다. ECW 적용 시 난방 에너지소요량 증가는 미미하고, 냉방 에너지소요량 감소분은 조명 에너지소요량 증가분보다 커 결과적으로 난방, 냉방, 조명 에너지소요량을 합한 전체 에너지소요량이 감소하였다.

Table 5. Energy use and cooling peak load by environmental factors for ECW control

ID	Energy use [kWh/y]				Cooling peak load [kW/y]
	Heating	Cooling	Lighting	Total	
ECW_sol_low	11,162.6	1,948.9	2,162.0	15,273.5	5.38
ECW_sol_mid	11,162.6	1,888.9	1,975.9	15,027.4	5.39
ECW_sol_high	11,162.6	1,955.3	1,947.5	15,065.3	5.39
ECW_day	11,162.6	1,838.5	1,895.7	14,896.7	5.35
ECW_iat	11,162.6	2,253.7	2,110.4	15,526.7	5.90
ECW_oat	11,162.6	2,320.7	1,990.2	15,473.4	5.39
Base	11,103.1	2,714.0	1,895.0	15,712.1	6.31

수직면 도달 일사량으로 ECW를 제어한 경우, 변색 기준값이 중간(79 W/m², 6~9월의 남향 수직면 도달 일사량 평균)일 때 전체 에너지소요량 절감 효과가 가장 크게 나타났다. 변색 기준 일사량 값이 낮아지면 창을 통한 일사열획득이 감소하지만 자연채광 또한 감소하여 인공조명에 대한 요구가 증가할 수 있다. 이 경우 인공조명에 의한 내부 발열이 증가하여 냉방 에너지소요량이 오히려 커질 수 있다. ECW_sol_low의 냉방 에너지소요량이 ECW_sol_mid

보다 큰 것은 이로 인한 것으로 판단된다. ECW 제어를 위한 네 가지 환경인자 중 전체 에너지 소요량 절감 효과가 가장 큰 환경인자는 실내 일광조도로, 냉방 에너지소요량은 -32.3%로 크게 감소한 반면, 난방 및 조명 에너지소요량은 거의 증가하지 않았다. 전체 에너지소요량 절감 효과가 가장 작은 환경인자는 실내온도이다.

ECW 적용 시 냉방 최대부하는 기준모델 대비 약 7~15% 감소하는 것으로 나타났다. 수직면 도달 일사량으로 ECW를 제어한 경우, 변색 기준값 대소에 따른 냉방 최대부하 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 전체 에너지소요량 평가 결과와 마찬가지로, 실내 일광조도에 따라 ECW를 제어한 경우 냉방 최대부하 절감 효과가 가장 크게 나타났다.

Table 6. Change rate of energy use and cooling peak load by environmental factors for ECW control

ID	Energy use change rate [%]				Cooling peak load change rate [%]
	Heating	Cooling	Lighting	Total	
ECW_sol_low	+0.5	-28.2	+14.1	-2.8	-14.7
ECW_sol_mid	+0.5	-30.4	+4.3	-4.4	-14.6
ECW_sol_high	+0.5	-28.0	+2.8	-4.1	-14.6
ECW_day	+0.5	-32.3	+0.0	-5.2	-15.3
ECW_iat	+0.5	-17.0	+11.4	-1.2	-6.6
ECW_oat	+0.5	-14.5	+5.0	-1.5	-14.6

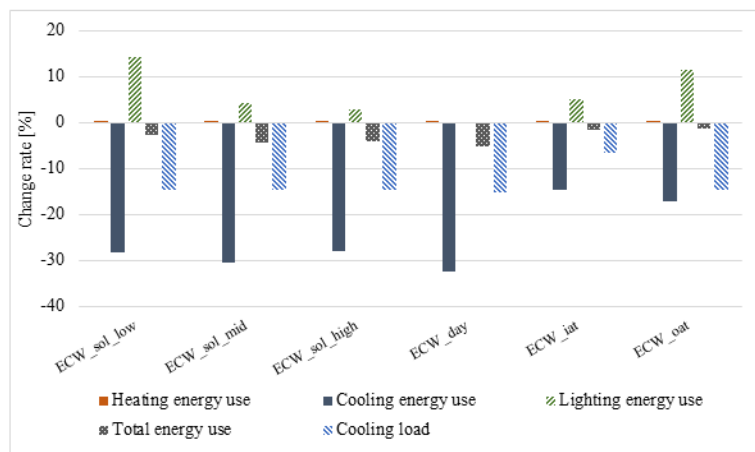


Figure 5. Change rate of energy use and cooling peak load by environmental factors for ECW control

ECW 적용 위치에 따른 에너지 절감 효과

전체 에너지소요량 절감 효과가 가장 큰 대안(ECW_day)에 대해서 ECW가 남향 창에만 적용된 경우(ECW_day_S)와 남향과 북향 창 모두에 적용된 경우(ECW_day_S+N)를 추가적으로 비교해 보았으며 그 결과는 Table 7~9와 같다. ECW를 북향 창에도 적용하면 남향 창에만 적용하는 경우 보다 일간 일사열획득이 약 10%p 더 감소하는 것으로 나타났다. ECW를

남향과 북향 창 모두에 적용한 경우 냉방 에너지소요량 및 냉방 최대부하 절감율은 약 36% 및 17%로 남향 창에만 적용한 경우보다 약간 더 큰 것으로 나타났다. 전체 에너지소요량 또한 남향과 북향 창 모두 적용한 경우가 더 절감되는 것으로 나타났으나 그 차이는 0.4%p로 크지 않다.

Table 7. Daily solar gains through windows by ECW orientation and control scheme

ID	Solar gains	
	Daily peak [kW/d]	Daily sum [kWh/d]
ECW_day_S	0.4	8.9
ECW_day_S+N	0.3	6.6
ECW_day_sch	0.2	4.1
ECW_day_nsch	0.3	6.6
Base	1.4	22.2

Table 8. Energy use and cooling peak load by ECW orientation and control scheme

ID	Energy use [kWh/y]				Cooling peak load [kW/y]
	Heating	Cooling	Lighting	Total	
ECW_day_S	11,162.6	1,838.5	1,895.7	14,896.7	5.35
ECW_day_S+N	10,501.3	1,171.3	1,813.5	13,485.8	5.26
ECW_day_sch	9,905.3	1,171.3	1,780.0	12,856.7	8.28
ECW_day_nsch	9,908.5	1,268.5	1,780.0	12,956.9	8.64
Base	11,103.1	2,714.0	1,895.0	15,712.1	6.31
Basec_sch	9,905.3	1,801.0	1,780.0	14,055.3	9.43

Table 9. Change rate of energy use and cooling peak load by ECW orientation and control scheme

ID	Energy use (change rate [%])				Cooling peak load change rate [%]
	Heating	Cooling	Lighting	Total	
ECW_day_S	+0.5	-32.3	+0.0	-5.2	-15.3
ECW_day_S+N	+0.8	-36.1	+0.5	-5.6	-16.6
ECW_day_sch	+0.0	-35.0	+0.0	-4.7	-12.2
ECW_day_nsch	+0.0	-29.6	+0.0	-3.9	-8.4

제어로직에 따른 에너지 절감 효과

앞서 수행한 시뮬레이션 결과는 24시간 재실자가 있는 상황에 대한 결과이다. 재실자가 없는 경우 냉방기에는 변색, 비냉방기에는 소색되는 것으로 설정한 제어로직의 효과를 검토하고자 스케줄을 변경하여 추가적인 분석을 수행하였다.

ECW가 외출 스케줄에 맞춰 운전되는 경우(ECW_day_sch)와 외출 스케줄에 맞춰 운전되지 않는 경우(ECW_day_nsch)를 비교 평가하였다. 외출 스케줄에 맞춰 운전되는 경우 ECW는 Figure 3 제어로직에 따라 운전되도록 설정하였다. 외출 스케줄에 맞춰 운전되지 않는 경

우 ECW가 재실 상태 변화를 반영하지 않고 24시간 재실자가 있는 조건으로 운전되도록 설정하였다. 즉, 재실자가 없어도 ECW는 제어를 위한 환경인자 조건에 따라 변색 또는 소색되게 하였다. 적용된 스케줄은 Figure 6과 같다. Figure 6(a)와 같이 재실자가 주중 9시부터 18시 사이에 외출하는 것으로 설정하였으며, 이 시간 동안 인공조명 및 HVAC 시스템 운전 또한 정지되도록 하였다. 주말 스케줄은 DOE Reference Building Model 스케줄과 동일하며, 이는 Figure 6(b)와 같다. ECW 제어를 위한 환경인자는 실내 일광조도로, ECW 적용 위치는 남향 및 북향 창으로 설정하였다. 에너지소요량 및 냉방 최대부하 변화율은 외출 스케줄을 적용한 기준모델(Base_sch)과의 비교를 통해 도출되었다.

시뮬레이션 결과는 Table 7~9와 같다. ECW가 외출 스케줄에 맞춰 운전될 경우 그렇지 않은 경우보다 일간 일사열획득이 약 11%p 더 감소하며, 냉방 에너지소요량은 약 5%p, 냉방 최대부하는 약 4%p 더 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 전체 에너지소요량 또한 주간 외출 스케줄에 맞춰 운전될 경우 0.8%p 더 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 재실자가 낮 동안 외출을 하는 경우, 이를 반영한 ECW 제어가 필요함을 나타낸다.

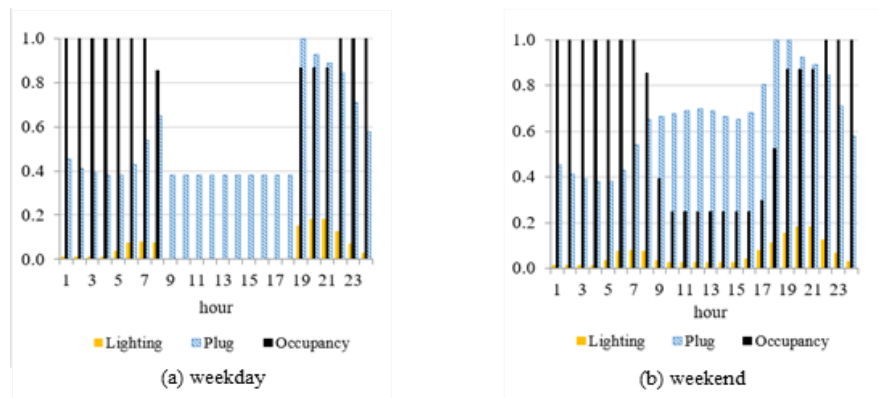


Figure 6. Lighting, plug, and occupancy schedule for occupants go out during the day

결론

본 논문에서는 서울소재 아파트 세대를 대상으로 ECW (Electrochromic Window) 적용 시 제어방법에 따른 에너지 절감 효과를 비교 분석하였으며, 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) ECW를 적용할 경우, 냉방 최대부하 발생일을 기준으로 창을 통한 일간 일사열획득이 평균 약 60% 감소하였으며, 연간 냉방 에너지소요량 및 냉방 최대부하가 평균 약 25% 및 13% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 난방, 냉방, 조명 에너지소요량을 합한 전체 에너지소요량은 평균 약 3% 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) ECW 제어를 위한 환경인자에 따른 전체 에너지소요량 절감 효과는 실내 일광조도, 수직면 도달 일사량(Mid), 수직면 도달 일사량(High), 수직면 도달 일사량(Low), 외기온도, 실내온도 순으로 크게 나타났다.

- (3) 실내 일광조도에 따라 ECW를 제어(Setpoint = 200 lux)할 경우, 냉방 에너지소요량은 약 32%, 전체 에너지소요량은 약 5%, 냉방 최대부하는 약 15% 감소하는 것으로 나타났다.
- (4) ECW를 남향 창에만 적용한 경우와 남향 및 북향 창 모두에 적용한 경우의 에너지 절감 효과 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.
- (5) 재실자가 24시간 재실하지 않고 낮 동안 외출하는 경우, 이를 반영하여 ECW 제어로직이 설계되어야 에너지를 더 효과적으로 절감할 수 있다.

본 연구의 결과는 서울지역에 한정되어 있으므로 향후 다른 기후지역에 대한 추가적인 검토를 진행하고자 한다.

후기

본 연구는 국토교통부 AI기반 스마트하우징 기술개발사업의 연구비지원(20SHTD-B157018-01)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Baetens, R., Jelle, B.P., Gustavsen, A. (2010). Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: a state-of-the-art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94, 87-105.
2. Baucke, F.G.K. (1991). Electrochromic applications. *Materials Science and Engineering: B*, 10(4), 285-292.
3. Chauvel, P., Collins, J.B., Dogniaux, R., Longmore, J. (1982). Glare from windows: current views of the problem. *Lighting Research and Technology*, 14(1), 31-46.
4. Choi, Y.J., Park, B.R., Choi, E.J., Moon, J.W. (2019). Analysis of building indoor temperature and cooling energy by applying electrochromic windows. *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 19(1), 110-111.
5. Jelle, B.P., Hynd, A., Gustavsen, A., Arasteh, D., Goudey, H., Hart, R. (2012). Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 96, 1-28.
6. Park, Y., Park, K.S. (2014). Analysis of energy performance for dynamic windows on office buildings. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 26(10), 481-485.
7. Shin, J.Y., Chae, Y.T. (2018). Performance evaluation of electrochromic window system by different orientations and locations in Korea. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 38(5), 75-84.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2019). Zero Energy Building Spread Policy.
9. Gustavsen, A., Jelle, B.P., Arasteh, D., Kohler, C. (2007). State-of-the-art highly insulating window frames—research and market review, Project Report 6, SINTEF Building and Infrastructure.

10. National Renewable Energy Laboratory (2011). U.S. Department of Energy Commercial Reference Building Models of the National Building Stock, Appendix B, Table B-6, 83-84.
11. U.S. Department of Energy (2019). EnergyPlus version 9.2.0 documentation, Engineering Reference.