

Electrochromic 창호 적용시 지역별 건물 냉난방 에너지 소비량 절감성능

신재윤* · 채영태***

*청주대학교 대학원, 건축공학과, 석사과정

**청주대학교 건축공학과, 조교수

Performance Evaluation of Electrochromic Window System by Different Orientations and Locations in Korea

Shin Jae-Yoon* · Chae Young Tae***

*Department of ArchitECWture Engineering, Cheonju University, Master's Course

**Department of ArchitECWture Engineering, Cheonju University, Assistant Professor

†Corresponding author: ychae@cju.ac.kr

Abstract

The most crucial point of reducing building energy is application of high performance envelope. The amount of heat exchange through window is highest in comparison of other envelopes so that heat exchange through window influence directly with building energy consumption. The window energy performance can be define with thermal, leakage and optical performance. In previous study we can confirmed that not only thermal performance but also optical performance are considered, 11% to 15% of building energy consumption can be reduced. Smart window system has potential of energy saving so that many industry field use smart window system including architectural area and these aspect causes smart window market continuous growth year by year. In this study, building energy consumption has been analyzed which consist of smart window that dynamically control optical states. The consideration of standard commercial building model for research, the reference medium size commercial building model of DOE (Department Of Energy, USA) has been used. The building energy simulation result of 4 axis in 8 regions in Korea shows 8% to 22% reduction of building energy consumption by application of smart window system.

Keywords: 건물에너지소비량(Building energy consumption), 전기변색(Electrochromic), 스마트윈도우(Smart window), 에너지절약(Energy saving), SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)

약어설명

SHGC : Solar Heat Gain Coefficient

ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and A-C Engineers

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.38, No.5, pp.75-84, October 2018
<https://doi.org/10.7836/kjes.2018.38.5.075>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 15 October 2018

Revised: 29 October 2018

Accepted: 30 October 2018

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

건물 부문에서 온실가스 감축을 위한 다양한 노력이 이행되는 가운데 효율적인 건물에너지 수요관리를 위해서는 열성능이 높은 외피를 적용하는 것이 필요하다. 창호는 건물을 구성하고 있는 외피 중 일반벽체에 비해 높은 열관류율을 갖기 때문에 창호의 단열성능 향상을 통한 건물에너지 절감은 건물의 에너지 성능 측면에서 매우 중요하게 고려되어야 할 사항이다. 최근 건물의 냉방 수요 증가에 따라 창호의 열적특성 뿐만 아니라 하절기 일사차폐를 위한 광학 특성 제어에 대한 중요성이 증대되고 있으며 스마트윈도우 등의 다양한 지능형창호가 개발되고 있다¹⁾. 현재 스마트윈도우는 산업계 전반에 걸쳐 에너지 절감을 위한 대응요소로서 기술력의 발달과 더불어 그 가치는 계속해서 증가하고 있으며 전문가들에 의한 시장규모 예측결과에 따르면 2012년 기준 세계 시장 47조 규모에서 2019년 98조 규모로 성장할 것으로 보고된 바 있다. 국내의 경우 시장 형성 기간이 짧아 2010년 기준 해외시장의 3% 정도의 수준이지만 온실가스 감축을 위한 도구로서 향후 높은 성장률을 나타낼 것으로 사료된다²⁾. Psualo et al.(2015)는 일사량을 제어변수로 설정하여 미국 3개 지역에 대해 Electrochromic 창호 적용에 따른 냉방에너지 절감 성능을 평가하였으며 평균 7%의 냉방에너지 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다³⁾. Sbar et al.(2012)는 일반 투명 창호를 포함한 다양한 창호와 Electrochromic을 적용한 경우의 에너지 절감효과를 평가하였으며 전기변색 창호가 건물 신축 단계에 적용될 경우 35%, 개보수 단계에서 적용될 경우 50%의 온실가스 절감효과를 나타낸다고 분석하였다⁴⁾. Firlag et al.(2015)는 다양한 건물 유형을 대상으로 Electrochromic 적용에 따른 건물에너지 절감 성능을 분석한 결과 창면비가 높은 업무용 건물에서의 절감 효과가 가장 큰 것으로 분석되었다⁵⁾. 그러나 전기변색 창호의 특성을 고려하여 다양한 지역 및 방위에 대한 일사조건 분석을 통해 기후대별 Electrochromic 적용성에 대한 평가는 미비한 것으로 평가되었다. 국내의 경우 Park et al.(2014)은 설정조건에 따라 일사 유입을 차단하는 다이내믹 윈도우에 대한 연구가 진행되었으나 다양한 지역 및 방위에서 시뮬레이션이 이루어지지 않음에 따라 국내 지역별 기후특성에 따른 스마트 윈도우 적용효과를 파악하기에 어려움이 존재하였다. Shin et al.(2017)의 국내 지역 및 방위별 최적 SHGC를 산출 및 적용한 결과 평균 중부 지역 11%, 남부지역 16%의 연간 건물에너지 소비량을 절감할 수 있는 것으로 나타났다⁶⁾. 이는 창호의 단열성능 뿐만 아니라 광학적 특성에 대한 고려를 통해 효과적으로 건물에너지 절감효과를 유도할 수 있다는 결과로서 창호의 광학적 특성과 관련하여 현재 열감응, 전기변색창호 등 다양한 성능의 창호가 개발되고 있으나 건물의 냉난방 에너지 소비 패턴과의 응답특성을 분석한 연구는 제한적으로 분석된다. 이에 본 연구에서는 최근 활용도가 높아지고 있는 전기변색창호(Electrochromic Window)를 중소형 상업용 건물에 적용하고 투과일사량을 동적으로 제어하여 각 지역 및 방위별 연간 건물에너지 소비특성 비교분석을 수행하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 전기변색창호의 물리적 특성

능동형 스마트윈도우는 크게 전기변색 (Electrochromic), 광변색 (Photochromic), 열변색 (Thermochromic)

으로 분류되며 사용자 또는 관리자가 설정하는 제어조건에 따라 다양한 구동특성을 나타낼 수 있다. 본 연구에서 활용된 Electrochromic Window (이하 ECW) 의 경우 제어조건에 따라 창호 내부에 전류의 흐름을 유도하여 투과율의 조절할 수 있는 시스템이다. 스마트윈도우의 제어조건으로는 조도, 휘도, 일사량, 외기온도 등 실내 냉·난방 부하에 영향을 미치는 요소가 적용되는데 본 연구에서는 효과적인 기후조건 반영에 용이한 외기온도를 제어 조건으로 설정하였으며 제어 범위는 18.30°C 기준으로 외기온도가 18.30°C 이상일 경우 변색이 되는 switchable glazing 시스템으로 구성하였다. 제어 기준은 국내의 경우 균형점온도에 대한 기준이 명확하지 않기 때문에 ASHRAE 기준에 의거하여 설정하였으며⁷⁾ 검토대상의 열적특성은 열관류율 값이 1.5 W/m²·K, 변색 전 SHGC 0.58로 우리나라 에너지절약기준의 복층 유리조건과 동일하게 설정하였다⁸⁾. 변색상태 SHGC는 0.10로 낮아지며 열관류율 값은 변색 전과 동일한 상태를 유지하도록 하여 동적광학제어에 따른 건물에너지 소비특성 비교가 원활하도록 하였다. 다음 Fig. 1은 검토대상창호의 변색 전과 변색 후의 파장별 투과율을 나타내며 2중 복층유리의 전기변색창호 층에 대한 가시광선 투과율은 변색전 0.54, 변색 후 0.10 으로 나타났다.

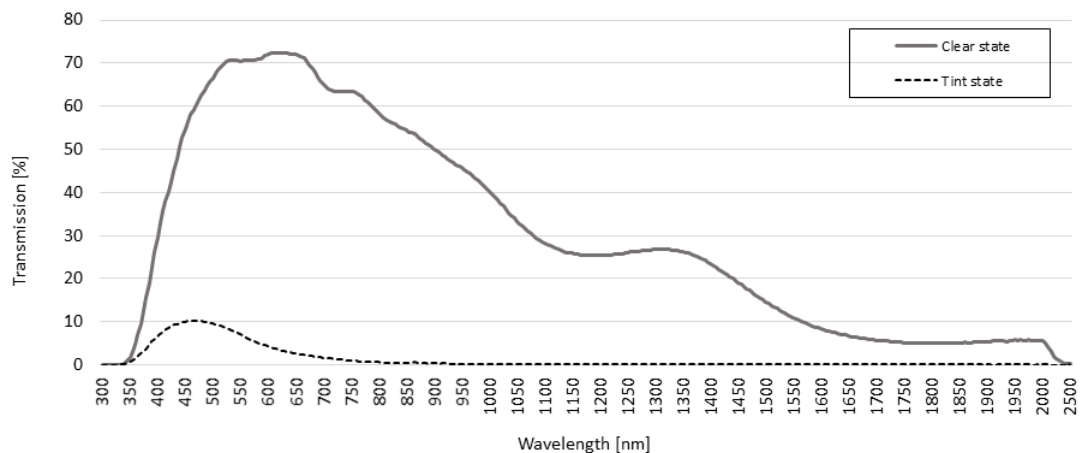


Fig. 1 Electrochromic window transmission spectrum

2.2 대상 건물 및 입력값 개요

건물에너지 시뮬레이션 프로그램은 ECW 적용 효과에 대한 시뮬레이션이 가능한 EnergyPlus 8.4.0을 활용하였으며 Shading Control 항목에서 본 연구에서 목적으로 하는 Switchable Glazing System을 구현하였다. 대상건물은 아래 Fig. 2와 같이 미 에너지성(DOE)의 중소형 상업용 건물(4082.204 m²)을 선정하였다. 창호의 특성에 따른 건물에너지 응답특성을 비교분석하기 위해 베이스모델(이하 Base 모델) 과 스마트윈도우 적용 모델 (이하 ECW 모델)을 구성하였다. Table 1은 대상건물의 열적특성을 나타낸 것으로 창호, 벽체, 지붕 등의 외피조건은 국내 에너지절약설계기준으로 설정하였으며 스마트윈도우 특성은 앞 2.1에 명시된 특성을 적용하였다. 스마트윈도우 적용에 따른 공간별 에너지소비량을 분석하기 위해 냉방코일과 난방코일의 에너지 소비량을 산출할 수 있도록 실내(1), 외주부(4) 5개 영역

에 대한 zoning을 적용하였다. Fig. 2의 우측 다이어그램은 열원시스템과 실내기 유닛을 도식화한 그림으로써 중앙 칠러와 보일러에서 만들어진 냉·온수가 실내기 유닛으로 유입되는 방식으로 공간 수에 따라 총 15개의 팬코일 유닛이 적용되었다.

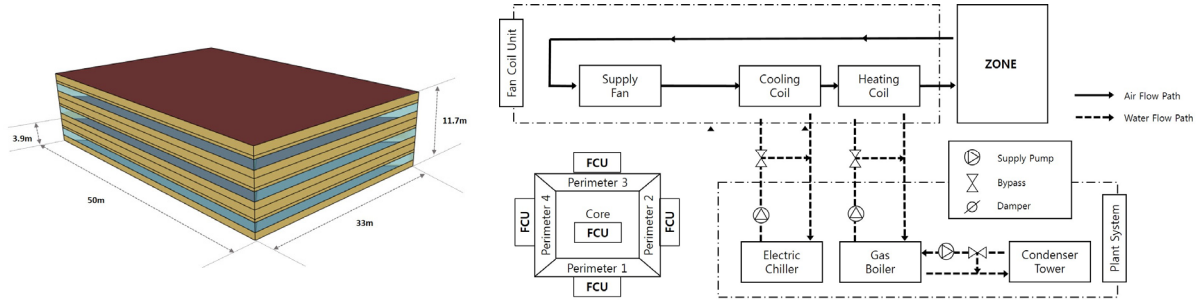


Fig. 2 Simulation modeling and HVAC system diagram

Table 1 Input conditions of simulation model

Category		Value
Building type		Medium office building
Window to Wall Ratio (WWR)		0.33
Internal load	People [m ² /per]	18.58
	Light [W/m ²]	10.76
	Equipment [W/m ²]	10.76
Window	U-value [W/m ² · K]	1.5
	SHGC	0.583
Building property	Roof	0.376
	Exterior	0.514
	Wall Interior [W/m ² · K]	6.299
	Floor	3.401
	Ceiling	4.488
Capacity	Boiler [kW]	1680
	Chiller	1680
COP		3.4
Efficiency	Boiler	0.78
	Fan	Total 0.5 / Motor 0.9

2.3 평가 방법

ECW가 적용되는 중소형 상업용 건물의 연간 냉난방 에너지 소비특성 분석을 위해 태양에너지학회에서 제공하는 8개 지역 표준기상데이터를 활용하였으며 방위별 ECW 적용에 따른 일사유입량 및 시스템 용량의 비교 분석을 수행하였다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 스마트윈도우 적용에 따른 일사유입량 차단효과 분석

Fig. 3은 대전지역 표준기상데이터 상에서 중간기 남향 기준으로 ECW 적용에 따른 시간별 일사유입량의 변화 (ECW)를 기준모델(Base)과 비교한 것이다. 12시 이전의 경우 외기온도가 제어기준점인 18.30°C 미만이므로 두 모델에 유입되는 일사량은 동일한 양상을 나타내지만 12시 이후 외기온도가 18.48°C로 상승함에 따라 ECW는 일사유입을 차단하여 냉방부하 절감을 유도하게 된다. 이 때 차단되는 일사유입량은 평균 94%로 효과적인 일사 차단효과를 나타내는 것으로 분석되었다. Figs. 4와 5는 동절기와 하절기에 나타나는 ECW의 일사 차단효과를 기준모델과 비교한 것이다. 동절기의 경우 난방부하 절감을 위해 일사유입량을 최대한 활용함으로써 두 모델의 일사유입 패턴과 양은 동일하게 나타났다. 하절기의 경우 냉방부하 절감을 위해 외기온도 18.30°C 이상에서 평균 96%의 일사유입을 차단하는 것으로 확인되었다.

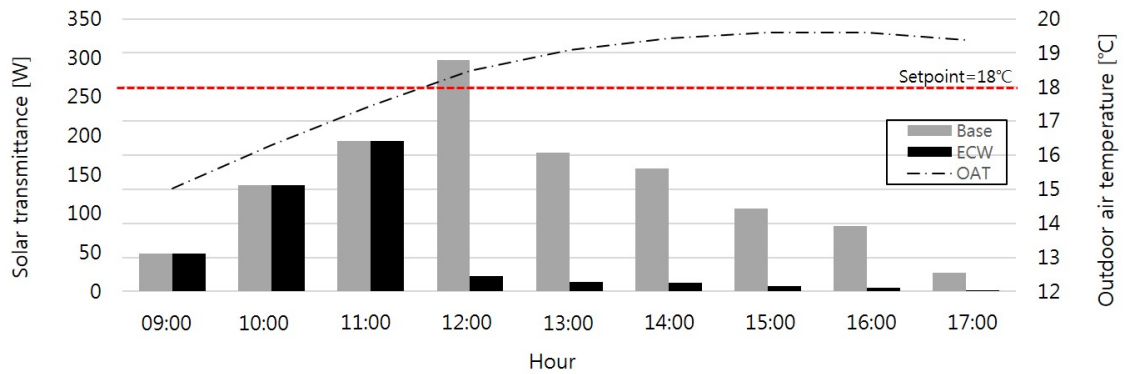


Fig. 3 Solar transmittance reduction by ECW (Transient season)

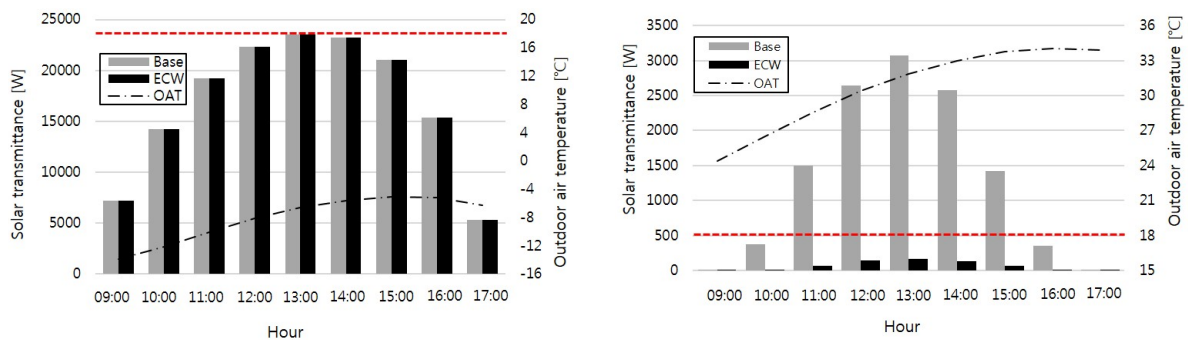


Fig. 4 Solar transmittance reduction by ECW (Winter Season) Fig. 5 Solar transmittance reduction by ECW (Summer Season)

3.2 스마트윈도우 적용에 따른 방위별 냉방에너지 절감성능 평가

건물의 모든 창호가 스마트윈도우 시스템으로 적용될 경우 건물에너지 절감효과는 기대할 수 있으나 국내 스마트윈도우 시스템의 보급률을 고려할 경우 막대한 초기투자비용이 예상된다. 따라서 본 절에서는 대전지역의

기준층(2층)을 대상으로 방위별 냉방에너지 절감성능 평가를 통해 스마트윈도우 시스템을 적용할 경우 가장 유리한 방위에 대한 결과를 도출하였다. Fig. 6는 방위별 냉방에너지 절감성능 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 가장 우수한 절감량을 나타낸 방위는 남향으로 ECW 모델(18.72 kWh/m²)은 Base 모델 (19.72 kWh/m²) 대비

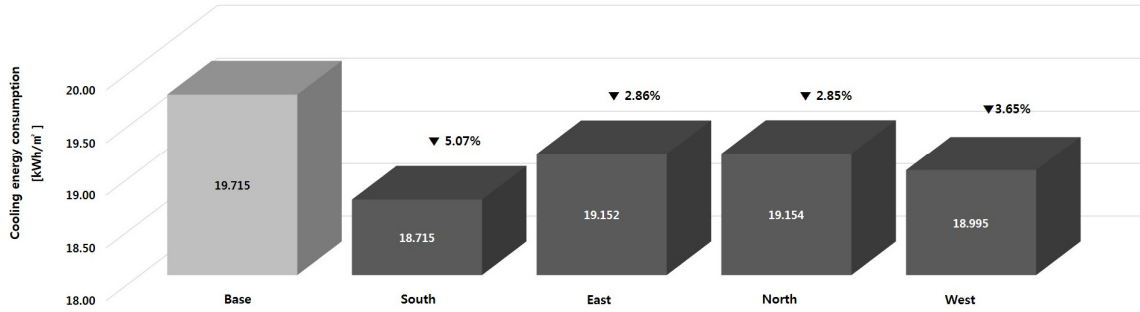


Fig. 6 Energy saving by application of ECW in different orientations in Daejeon

Table 2 Building energy saving rate by application of smart window system in different orientations

Location	Item	Heating & cooling energy consumption [kWh/m ² ·y]					Saving Rate [%]			
		Base Model	South	East	North	West	South	East	North	West
Incheon	Cooling	21.20	19.09	19.47	20.28	19.33	9.95	8.16	4.34	8.82
	Heating	17.46	17.59	17.64	17.51	17.64	-0.74	-1.03	-0.29	-1.03
	Total	38.66	36.69	37.11	37.80	36.97	5.10	4.01	2.22	4.37
Seoul	Cooling	22.56	20.34	20.54	21.61	20.47	9.84	8.95	4.21	9.26
	Heating	20.34	20.47	20.54	20.39	20.55	-0.64	-0.98	-0.25	-1.03
	Total	42.90	40.81	41.08	42.01	41.02	4.87	4.24	2.07	4.38
Gangneung	Cooling	24.77	22.15	22.65	23.78	22.54	10.58	8.56	4.00	9.00
	Heating	11.00	11.10	11.14	11.05	11.15	-0.91	-1.27	-0.45	-1.36
	Total	35.78	33.25	33.79	34.83	33.70	7.07	5.56	2.66	5.81
Daejeon	Cooling	19.71	18.71	19.15	19.15	18.99	5.07	2.84	2.84	3.65
	Heating	17.02	17.03	17.02	17.02	17.03	-0.06	0.00	0.00	-0.06
	Total	36.73	35.75	36.17	36.18	36.02	2.67	1.52	1.50	1.93
Daegu	Cooling	21.54	20.46	20.95	20.95	20.80	5.01	2.74	2.74	3.44
	Heating	11.14	11.15	11.14	11.14	11.15	-0.09	0.00	0.00	-0.09
	Total	32.68	31.62	32.10	32.10	31.95	3.24	1.77	1.77	2.23
Gwangju	Cooling	25.48	22.93	23.23	24.39	23.06	10.01	8.83	4.28	9.50
	Heating	12.29	12.38	12.43	12.34	12.44	-0.73	-1.14	-0.41	-1.22
	Total	37.78	35.31	35.67	36.73	35.50	6.54	5.58	2.78	6.03
Ulsan	Cooling	24.95	22.27	22.71	23.82	22.61	10.74	8.98	4.53	9.38
	Heating	10.92	11.01	11.05	10.97	11.07	-0.82	-1.19	-0.46	-1.37
	Total	35.88	33.29	33.77	34.79	33.68	7.22	5.88	3.04	6.13
Busan	Cooling	21.66	20.69	21.11	21.09	20.99	4.48	2.54	2.63	3.09
	Heating	7.73	7.92	7.73	7.73	7.73	-2.46	0.00	0.00	0.00
	Total	29.39	28.62	28.84	28.83	28.73	2.62	1.87	1.91	2.25

5.07%의 에너지 소비 절감이 가능하였다. 기타 방위의 절감성능은 동향 2.86%, 북향 2.85%, 서향 3.65%로 나타났다. 스마트윈도우는 일반 창호에 비해 높은 투자비가 요구되며 대상건물의 인접건물과의 배치상의 이유로 모든 방위에 스마트윈도 적용이 제한되는 경우도 고려해 볼 수 있다. Table 2는 네 방위 중 단일 방위에만 스마트윈도우가 적용될 경우에 대한 에너지 소비량 및 절감량으로 연간 냉방에너지 소비량 기준 4.48% ~ 10.74%, 전체 지역 평균 6.34%의 절감량을 나타냈다. 스마트윈도우 적용에 따른 난방에너지 소비량 증가를 고려하더라도 총량에너지 측면에서 평균 3.78%의 건물에너지 절감이 가능하였다.

3.3 지역별 스마트윈도우 모델 건물에너지 소비량 산출

ECW의 적용은 하절기 일사유입 차단에 효과적이지만 동절기 난방에너지 절감효과는 기대하기 어려운 특성을 가지고 있다. 따라서 하절기 냉방에너지 소비량은 평균 25% 절감효과가 나타나지만 동절기 난방에너지 소비량은 일사량 확보에 제한적인 특성으로 인해 평균 2% 증가되는 경향을 보였다. Table 3은 본 연구에서 분석된 8개 지역에 대한 결과로써 ECW 적용에 따라 건물에너지 절감성능이 가장 우수한 지역은 울산으로 ECW 모

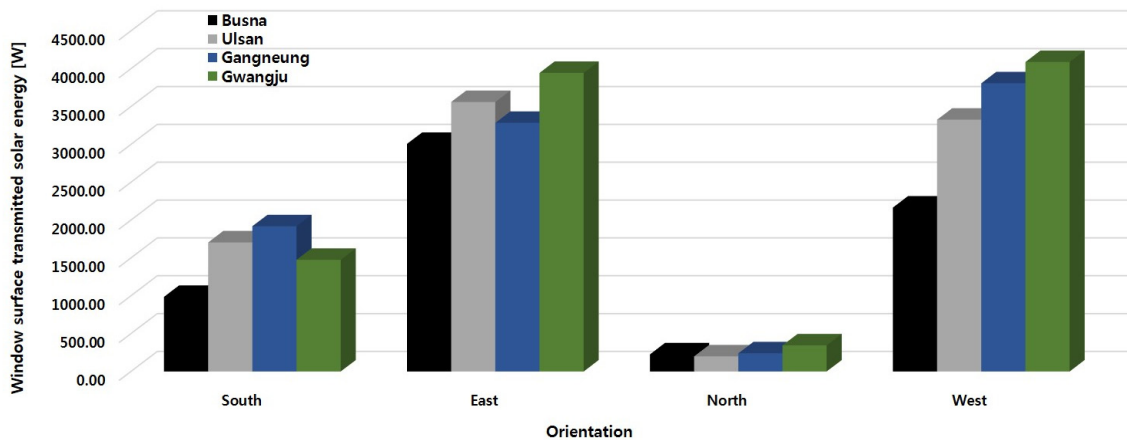


Fig. 7 Surface window transmitted beam solar radiation energy

Table 3 Building energy saving rate by application of smart window system (kWh/m²-y)

Location	Item	Base			ECW			Saving rate [%]		
		Cooling	Heating	Total	Cooling	Heating	Total	Cooling	Heating	Total
Incheon		21.20	17.46	38.66	14.58	18.00	32.58	31.23	-3.09	15.73
Seoul		22.56	20.34	42.90	15.28	20.93	36.21	32.27	-2.89	15.60
Gangneung		24.77	11.00	35.78	16.81	11.43	28.25	32.11	-3.85	21.05
Daejeon		19.71	17.02	36.73	16.87	17.05	33.92	14.43	-0.18	7.66
Daegu		21.14	12.16	33.30	18.13	12.19	30.33	14.20	-0.25	8.92
Gwangju		25.48	12.29	37.78	17.15	12.72	29.88	32.69	-3.54	20.90
Ulsan		24.95	10.92	35.88	16.55	11.34	27.90	33.67	-3.86	22.24
Busan		21.20	8.50	29.71	18.41	8.51	26.93	13.18	-0.14	9.37

텔(11.346 kWh/m²)은 Base 모델(24.957 kWh/m²) 대비 34%의 에너지 소비 절감이 가능한 것으로 나타났다. 울산은 중부지역에 비해 높은 평균온도를 나타내는 남부지역에 위치한 도시로 난방에너지 소비량의 경우 4% 증가되는 것으로 나타났다. ECW의 적용에도 불구하고 비교적 낮은 절감량을 나타낸 도시는 대전, 대구, 부산으로 세 도시의 경우 연간 8~9%의 절감이 가능하였다. 하절기 가장 많은 냉방에너지가 소비되는 도시는 광주로 ECW 모델(17.16 kWh/m²)은 Base 모델(25.49 kWh/m²) 대비 33% 절감이 가능하며 연간 21% 건물에너지 절감효과가 나타났다.

비교적 근접한 지리적 위치를 갖는 울산지역과 부산지역의 ECW 적용에 따른 건물에너지 절감효과는 울산 22.24%, 부산 9.37%로 높은 차이를 보이고 있다. 두 지역의 연간 에너지 소비량을 비교할 때 울산의 경우 부산보다 39%의 높은 냉방에너지 소비량을 보이고 있으며 연간 에너지 소비량의 경우 12%의 높게 나타났다. Fig. 7은 하절기 창면 직달 일사 유입량을 분석한 결과로서 울산 2198.30 W, 부산 1596.49 W로 울산지역이 평균 27% 높은 일사 유입량을 보였다. 또한 에너지 절감성능이 높은 강릉과 광주의 평균 일사 유입량은 각각 2313.33 W, 2464.00 W로 울산과 비교적 유사한 유입량에 따라 건물에너지 절감성능 또한 $\pm 1.19 \sim 1.34$ 로 근사하게 나타났다. 이에 따라 창면에 도달하는 일사유입량이 적은 부산의 경우 냉방에너지 소비량이 적게 소비됨에 따라 낮은 절감량을 나타낸 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구에서는 창호의 광학적 특성 조절에 따른 건물에너지 절감성능을 확인한 선행연구 결과를 기반으로 창호의 광학적 특성에 대한 동적 운전이 가능한 스마트윈도우를 국내에 적용할 경우 기대할 수 있는 건물에너지 절감효과를 분석한 결과의 결론은 다음과 같다.

- (1) 국내 지역별 연간 냉·난방에너지 소비량 산출결과 하절기 냉방에너지 소비량의 절감이 건물의 총량에너지 측면에서 유리한 것으로 나타났으며 스마트윈도우 시스템은 하절기 냉방부하 절감에 효과적으로 활용될 수 있다.
- (2) 본 연구에 활용된 스마트윈도우 시스템은 외기온도를 제어변수로 설정함에 따라 ASHRAE 균형점온도를 기준으로 하여 외기온도가 18.30°C인 경우 변색되는 Switchable Glazing 시스템을 적용하였다.
- (3) 본 연구에 적용된 창호의 SHGC는 국내 에너지절약설계기준에 명시된 0.583(일사유입량의 58.30%)으로써 스마트윈도우 작동 시 SHGC는 0.1(일사유입량의 10.00%)로 변색됨에 따라 외부 일사 유입량을 차단한다.
- (4) 일사유입량 차단 효과를 분석한 결과 스마트윈도우의 동적운전특성에 따라 90% 이상 차단효과를 보임에 따라 냉방에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.
- (5) 방위별 에너지 절감성능 평가 결과 서향의 경우 19% 절감되는 것으로 나타남에 따라 스마트윈도우 적용 시 서향에서 가장 높은 절감성능을 기대할 수 있는 것으로 나타났으며 남향 14%, 북향 11%, 동향 9%로 나타났다.

(6) 국내 8개 지역에 대한 스마트윈도우 적용에 따른 지역별 건물에너지 소비량 산출 결과 평균 25% 냉방에너지 소비량이 절감됨에 따라 연간 평균 15.25% 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

향후 연구에서는 본 연구에서 활용된 제어기법보다 발전된 모델로써 광학적 특성의 변화가 여러 단계로 나누어져 지역별 기후특성에 더욱 민감하게 반응할 수 있는 모델에 대한 연구를 진행하고자 한다.

후기

이 논문은 2018년도 청주대학교 연구장학 지원에 의한 것임.

REFERENCES

1. Granqvist. C. G., Arvizu. M. A., Qu. H. Y., Wen. R. T., and Niklasson. G. A., Electrochromic Materials and Devices for Energy Efficiency and Human Comfort in Buildings:A Critical Review, Journal of International Society of Electrochemistry, Vol. 259, pp. 1170-1182, 2018.
2. Korea Institute of Science and Technology Information, Smart Window, 2017.
3. Tavares. P., Bernardo. H., Gaspa. A., and Martins. A., Control Criteria of Electrochromic Glasses for Energy Savings in Mediterranean Buildings Refurbishment, Solar Energy, Vol. 134, pp. 236-250, 2016.
4. Sbar. N. L., Podbelski. L., Yang. H. M., and Pease. B., Electrochromic Dynamics Windows for Office Buildings, International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 1, pp. 125-139, 2012.
5. Firlg. S., Yazdani. M., Curcija. C., Kohler., Vidanovic. S., Hart. R., and Czarnecki. S., Control Algorithms for Dynamic Windows for Residential buildings, Energy and Buildings, Vol. 109, pp. 157-173, 2015.
6. Shin. J. Y., Lee. M. H., Kim. Y. J., and Chae. Y. T., Estimation of Energy Saving in Residential Buildings by Applying Optimized Window Performance, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 19, No. 6 pp. 173-180, 2017.
7. Park. S. M., and Song. D. S., A Study on Generating Process of Regional Balance Point Temperature for Heating Degree-days in Korea, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 29, No, 9, pp. 482-495, 2017.
8. Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, Regulation of Building Energy Conservation, 2017.
9. Yoon. S. D., Park. S. H., and Sohn. J. Y., Case Study of Energy Performance Evaluation in Office Building, Journal of The Society of Living Environment System, Vol. 15, No. 4, pp. 447-453, 2008.
10. Lee. J. H., and Chae. Y. T., Performance Evaluation of Electrochromic Window System Orienting with Commercial Buildings in Different Climate Conditions, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Summer Conference, pp. 288-289, 2018.
11. Marco. C., Active Dynamic Windows for Buildings:A Review, Renewable Energy, Vol. 119, pp. 923-934, 2018.
12. Sbar. N. L., Podbelski. L., Yang. H. M., and Pease. B., Electrochromic Dynamics Windows for Office Buildings, International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 1, pp. 125-139, 2012.
13. Picclo. A., Marino. C., Nucara. A., and Pietrafesa. M., Energy Performance of an Electrochromic Switchable Glazing:Experimental and Computational Assessments, Energy and Buildings, Vol. 165, pp. 390-398, 2018.
14. Peterson. A., Jenkins. N., and Krebs. M., Advancement of Electrochromic Windows, PIER Final Project Report LBNL.

15. Electronics and Telecommunications Research Institute, Trends and Market Outlook in Electrochromic Technology, Electronics and Telecommunications Trends, 2015.
16. Park. Y., and Park. J. I., Analysis of Energy Performance by Window Directions in Apartment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Summer Conference, pp. 1041-1044, 2012.
17. DeForest. N., Shehabi. A., Donnell. J., Garcia. G., Greenblatt. J., Lee. E., Selkowitz. S., and Milliron. D., United States Energy and CO2 Savings Potential from Deployment of near-infrared Electrochromic Window Glazings, Building and Environment, Vol. 89, pp. 107-117, 2015.