[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 30, No. 3, 2010
ISSN 1598-6411

다기능 복합 솔라윈도우 시스템의 에너지성능평가

조일식*, 김병수**

*한국에너지기술연구원(yscho@kier.re.kr), **(주)BEMS컨설팅(ibems@naver.com)

The Energy Performance Evaluation of Multi-purpose Solar Window System

Cho, Yil-Sik* Kim, Byoung-Soo**

*Korea Institute of energy Research(KIER)(yscho@kier.re.kr)
**BEMS Consulting Company, Ltd (ibems@naver.com)

Abstract

The aim of this study was to analysis the Heating/cooling performance of Solar Window System built in apartments. The solar window is the idea to integrate daylight as a third form of solar energy into a PV/Solar Collector system and allows more control due to the possibility to close the reflectors. However, there can be a conflict between the desire for on one hand daylight and view and on the other hand optimal energy conversion for the PV/Solar Collector system.

The process of this study is as follows: 1) The Solar Window system is designed through the investigation of previous paper and work. 2)The simulation program(ESP-r, Therm5.0, Window6.0) was used in energy performance analysis. The reference model of simulation was made up to analysis energy performance on Solar Window system. 3)Selected reference model(Floors:15, Area of Unit:148.5㎡) for heating/cooling energy analysis, Energy performance simulation with various variants, such as U-value of Solar Window system according to its position and angle.

Consequently, When Solar Window system is equipped with balcony window of Apartment, Annual heating and cooling energy of reference model was cut down about 5%~11%.

Keywords : 다기능 솔라윈도우시스템(Multi-Purpose Solar Window System), 가동단열(Movable Insulation System), 냉난방에너지(Heating & Cooling Energy), 샌재생에너지(Renewable Energy), 에너지절약(Energy conservation)

1. 서 론

최근 건축물의 고층화와 함께 하중을 감소시키기 위해 철골조와 같은 경량구조 건축물이 증가하고 그로인해 유리의 사용량이 크게 증가하고 있다. 유리의 사용량 증가는 건물의 냉난방에너지 소비량과 패턴에 직접적인 영향을 미치게 되므로 최근 고효율 창의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 하지만 창의 성능개선을 단열, 기밀 성능개선에 집중되어 있어 채광이나 야간단열, 태양광발전모듈을 일체화시킨 다기능 창에 대한 연구·개발이

투고일자 : 2010년 3월 18일, 심사일자 : 2010년 3월 25일, 게재확정일자 : 20010년 5월 26일
교신저자 : 김병수(ibems@naver.com)

미비한 실정이다. 본 연구에서는 건물의 냉난방, 조명에너지 절감을 위한 야간단열과 수평블라인드, 태양광, 태양열 시스템을 포함하는 하이브리드 형태의 솔라윈도우에 대한 설계를 완료하였으며 설계과정에서 도출된 솔라윈도우의 단열성능 분석과정을 제시하고 주거용 건물에 적용 할 경우 주야간 발생하는 냉난방에너지 절감효과를 정량적으로 분석하는데 연구의 목적이 있다.

2. 솔라윈도우의 개념

솔라윈도우는 창으로 유입되는 태양열, 태양광을 효과적으로 활용하기 위해 기존 창 시스템에 부가적으로 설치되는 시스템을 의미하며 크게 4가지 시스템이 조합되어 있다.

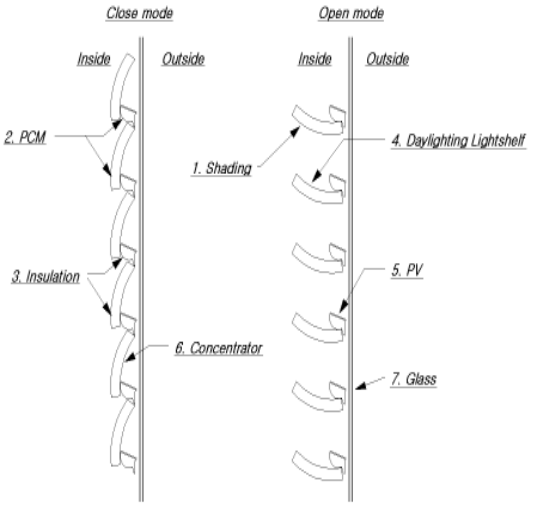


그림 1. 솔라윈도우 시스템의 개념

첫째 블라인드는 20mm ~ 30mm두께로 설계되었으며, 단열성능이 우수한 우레탄폼을 사용하였으며 반사율, 흡수율, 방사율이 다른 기능성 도료가 도포된 외피로 구성되어 있다.

둘째, 태양광발전모듈(PV Module)은 블라인드의 고정부에 설치하였으며, 년간 태양복사를 가장 많이 받을 수 있는 각도를 유지하도록 하였다.

셋째, 태양열시스템은 태양광발전모듈의 하부에 설치하여 태양광발전모듈에서 흡수된 열을 급탕에너지로 전환하는 시스템을 말한다. 태양광발전모듈의 경우 표면온도의 상승으로 인해 발전효율이 감소하는 단점이 있기 때문에 솔라윈도우의 내부에 배관을 두어 셀표면의 온도를 낮추도록 했다.

넷째, 솔라윈도우의 재질은 방사율이 낮고 반사율이 높은 금속으로 외피가 마감처리되어 있으며, 내부에는 열저항이 높은 우레탄폼을 충진하였다. 이것은 야간에 솔라윈도우 시스템을 완전히 닫았을 때 단열효과를 기대할 수 있으며 금속제로 생산되는 기존의 야간단열 셔터와는 구조적 기능적으로 차별화된 시스템이다.[1][6]

3. 솔라윈도우 시스템의 에너지 성능분석

3.1 시뮬레이션 프로그램의 개요

공동주택에 적용된 솔라윈도우 시스템의 에너지성능 평가를 위해 본 연구에서는 해석도구로 ESRU에서 개발한 ESP-r11을 사용하였다. ESP-r은 EU에서 자연형태양열 시스템 해석을 위한 유럽내 표준 프로그램으로 지정된 바 있으며, BEST TEST를 통해 전세계 대표적 시간별 해석 프로그램들과 함께 신뢰성에 대한 세부적 검증도 입증되었다.[9]

특히 수치해석적 알고리즘을 기반으로 하고 있기 때문에 국내 사무소 및 공동주택의 에너지 해석용 평가도구로 가장 적합한 것으로 판단된다.[4]

3.2 기상데이터

본 연구에서는 솔라윈도우 시스템을 주거용 건물에 적용할 경우 에너지 성능분석을 위해 1999년부터 2008년까지 10년간 대전기상데이터를 시뮬레이션을 위한 포맷(TMY)로 제작하였다. 시간별 표준 기상자료를 근거로 월별 통계 처리한 결과는 표 1에 나타내었다.[2]

표 1. 대전지역 기상자료 통계처리 결과

	HDD				CDD			
	18℃	20℃	22℃	24℃	22℃	24℃	26℃	28℃
Jan	600.6	662.6	724.6	786.6	0	0	0	0
Feb	489.5	545.5	601.5	657.5	0	0	0	0
Mar	384.6	446.6	508.6	570.6	0	0	0	0
Apr	186.2	238	29.4	352.8	1.4	0.1	0	0
May	76.3	115.1	16.1	212.4	19	8.4	2.9	0.8
Jun	8.5	23.9	51.2	90.4	42.5	21.7	8.9	2.2
Jul	0.1	1.6	7	21	108.3	60.3	29.7	12.4
Aug	0.3	2.2	9.2	24.1	132.5	85.4	50.7	27.8
Sep	17.1	35.7	69.9	114.9	24.1	9.2	2.1	0.1
Oct	133.6	182.2	237.3	297	3	0.7	0	0
Nov	341.7	401.4	461.4	521.4	0	0	0	0
Dec	527.7	589.7	651.7	713.7	0	0	0	0
HDD	2766	3244	3777	4362	330.8	185.8	94.3	43.3

3.3 솔라윈도우 시스템의 열성능 평가

솔라윈도우의 열관류율(U-value), 태양복사취득계수(SHGC)등 열성능 분석을 위해 THERM6.0, WINDOW6.0 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션에 사용된 환경조건 및 경계조건은 표2, 표3에 나타내었다.[7][8]

표 2. 시뮬레이션 온도조건

	겨울		여름	
	Out	In	Out	In
Lay1	-14.4	-13.8	37.8	38.1
Lay2	6	6.7	37	36.7

표 3. 환경조건(NFRC 100-2001)

	Tout(℃)	Tin(℃)	WndSpd(m/s)	Solar(W/㎡)
U-value	-18	21	5.5	0
Solar	32	24	2.8	783

표 4. 일반 복층 유리의 물리적 특성값

열관류율 (W/㎡K)	차폐계수 (SC)	태양복사취득계수 (SHGC)	Rel Ht. Gain (W/㎡)	가시광선 투과율
2.8	0.808	0.7	532	0.785

표 5. 솔라윈도우 시스템의 물리적 특성값

열관류율 (W/㎡K)	차폐계수 (SC)	태양복사취득계수 (SHGC)	가시광선 투과율 (Tvis)
1.20	0.808	0.7	0.785

솔라윈도우 시스템과 프레임이 없는 일반 이중유리를 분리 또는 조합하여 분석한 결과 이중투명유리의 열관류율은 2.8W/㎡K, 솔라윈도우 단독의 경우 열관류율이 2.0W/㎡K으로 분석되었다. 이중유리와 솔라윈도우를 조합할 경우 전체 통합 열관류율은 1.2W/㎡K로 감소하는 것으로 분석되었다.

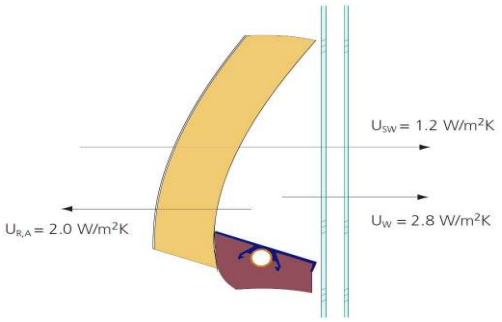


그림 2. 솔라월 시스템과 일반이중유리조합의 열성능분석 결과

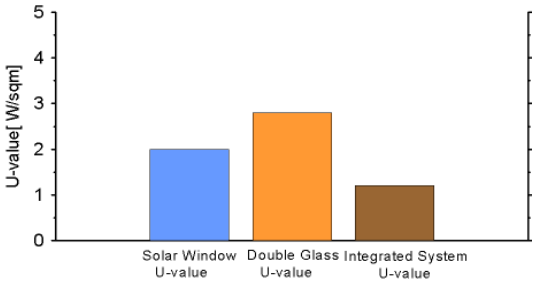


그림 3. 프레임을 포함하지 않은 솔라윈도우 시스템의 통합 열관류율 분석결과

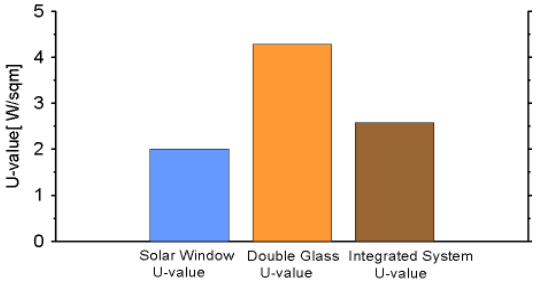
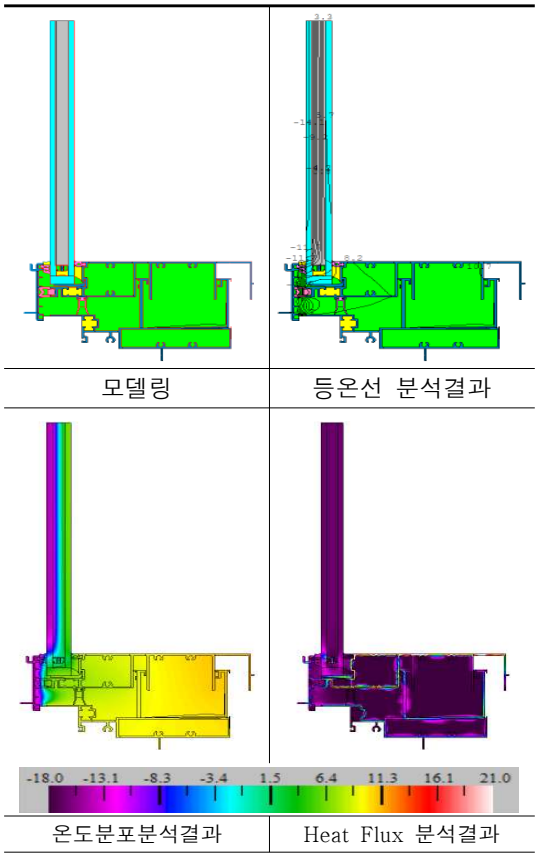


그림 4. 프레임이 포함된 솔라윈도우 시스템의 열관류율 분석결과

표6과 표7에 나타난 것은 THERM에서 분석

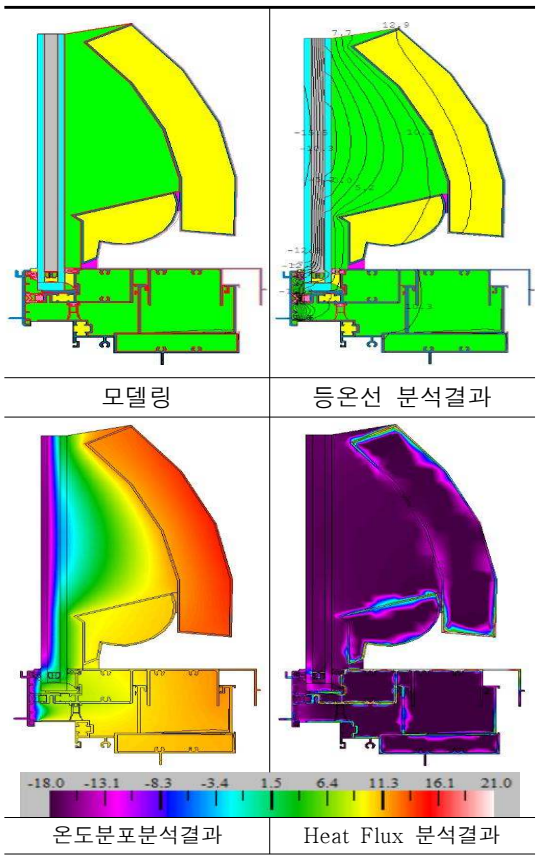
된 결과이다. 표에 나타난 것과 같이 알루미늄 프레임을 적용한 이중유리 창과 솔라윈도우 시스템을 적용한 창의 경우 단면 온도분포를 분석한 결과 솔라윈도우 시스템을 적용한 창의 실내 표면온도가 이중투명유리보다 높게 형성되고 있어 단열효과가 우수한 것으로 분석되었다.

표 6. 일반창의 단열성능 평가 결과



프레임을 포함한 창의 경우 이중유리와 열교차단 알루미늄 프레임의 열관류율은 4.288W/㎡K이며 여기에 솔라윈도우 시스템을 적용할 경우 통합 열관류율은 2.58W/㎡K로 분석되었다. 알루미늄 프레임의 경우 이중유리보다 열적성능이 우수하지 않기 때문에 프레임이 없는 이중유리보다 열관류율이 1.6배 이상 높은 것으로 분석되었다. 따라서 솔라윈도우를 설치할 경우 통합 열관류율도 2배 이상 상승하는 것으로 분석되었다.

표 7. 솔라윈도우의 단열성능 평가 결과



3.4 공동주택의 에너지 성능분석

공동주택의 유리 종류별 냉난방에너지 성능분석을 위해 시뮬레이션 해석모델을 선정하였다. 해석모델의 크기는 45평으로 하였으며, 1동의 층수는 15층으로 하였다.

공동주택의 냉난방 에너지 성능분석을 위해 아래 표와 같이 구조체 부위별로 입력하였으며 발코니의 유무에 따라 외기에 면하는 발코니창의 내측에 설치하여 냉난방에너지 소비량을 분석하였다. 시뮬레이션 해석모델의 부위별 열적특성, 내부발열 조건 및 건축 계획적 특징 등은 다음의 표8, 표9, 표10에 나타내었다.

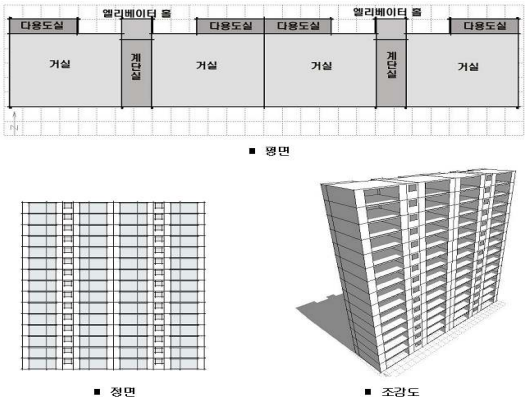


그림 5. 시뮬레이션 해석모델의 입력형태

표 8. 공동주택의 부위별 열적 특성

구성		재 료	두께 (mm)	열전도율 (W/mK)	밀도 (kg/㎥)	비열 (J/kgK)	열관류율 (W/㎡K)
외벽	1	중량콘크리트	200	1.4	2100	653	0.494
	2	단열재	60	0.04	12	840	
	3	공기층	50	–	–	–	
	4	하드보드	10	0.08	600	2000	
내벽	1	벽돌	100	0.04	1500	650	0.298
	2	합성보드	120	0.18	800	837	
창	1	투명유리	6				2.90
	2	공기층	5				
	3	투명유리	6				
최상층 지붕	1	지붕펠트	12	0.19	960	837	0.280
	2	중량콘크리트	150	1.4	2100	653	
	3	단열재	60	0.04	12	840	
	4	공기층	50	–	–	–	
	5	플라스터	9.5	0.38	1120	840	

표 9. 시뮬레이션 해석모델의 실내 조건 설정

실내조건 / 실명	인체발열(W)		기기발열(W/㎡)		난방설정 온도(℃)	냉방설정 온도(℃)
	현열	잠열	현열	잠열		
거실(침실)	120	80	2	1	24	26
부엌	30	20	2	1	24	26
기타	0	0	0	0	–	–

표 10. 공동주택 1세대 당 건축 계획적 요소

	창 면적 (㎡)	벽 면적 (㎡)	창+벽 면적 (㎡)	창면적비 (%)
북쪽	13.2	21.9	35.1	37.6
동쪽	0	30.24	30.24	0
남쪽	16.3	18.8	35.1	46.4
서쪽	0	30.24	30.24	0
바닥	0	133.6	133.6	0
지붕	0	133.6	133.6	0

(1) 시뮬레이션 해석모델의 에너지 사용원단위

기준모델의 냉난방에너지를 분석한 결과 연간 난방에너지는 740MWh(84.8kWh/㎡), 냉방에너지는 201MWh(23.0kWh/㎡)를 사용하는 것으로 나타났다. 즉, 기준모델은 연간 냉난방에너지로 941MWh(107.8kWh/㎡)를 사용하는 것으로 분석되었다. 분석한 결과는 다음 표에 나타내었다.[4][5]

표 11. 기준모델의 냉난방에너지 사용원단위

	Heating Energy (kWh/㎡)	Cooling Energy (kWh/㎡)	Total Energy (kWh/㎡)
Jan	19.8	0.0	19.8
Feb	14.5	0.0	14.5
Mar	11.8	0.0	11.9
Apr	5.8	0.5	6.2
May	1.6	1.3	2.9
Jun	0.2	3.4	3.7
Jul	0.0	4.8	4.8
Aug	0.0	7.3	7.3
Sep	0.3	3.5	3.8
Oct	2.1	2.1	4.2
Nov	10.5	0.0	10.5
Dec	18.2	0.0	18.2
Annual	84.8	23.0	107.8

(2) 발코니의 유무에 따른 공동주택의 냉난방 에너지 성능분석

발코니확장형 모델과 비확장모델의 외기에 면하는 발코니창의 내측에 가동단열을 설치할 경우 에너지 절감효과는 그림 6과 같다.

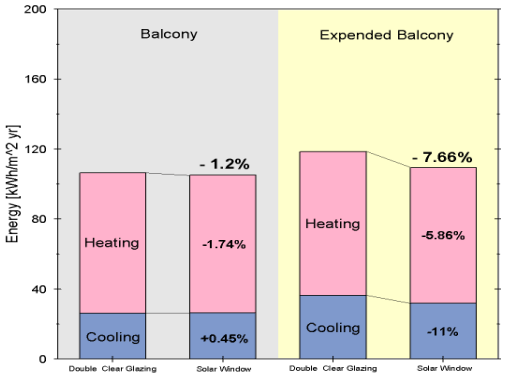


그림 6. 솔라 윈도우를 설치한 공동주택의 냉난방에너지 성능분석결과

발코니 비확장시 솔라윈도우의 설치결과 냉난방절감효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 발코니가 외기와 실내공간을 직접 면하게 하지 않는 완충공간으로 작용하기 때문에 나타나는 결과로 분석되었다.[4]

분석결과 발코니를 확장할 발코니창의 내측에 솔라윈도우를 설치할 경우 발코니창이 직접외기와 면하기 때문에 난방에너지는 5%(약 4.1kWh/㎡yr), 냉방에너지는 11.8%(약 4.2kWh/㎡yr) 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

솔라윈도우 시스템을 알루미늄 프레임 이중유리에 적용할 경우 예상되는 단열성능과 공동주택에 적용할 경우 예상되는 에너지 절감량을 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 솔라윈도우의 설치에 따른 열성능분석 결과 일반창의 열관류율이 2.9W/㎡K, 솔라윈도우 단독 열관류율은 2.0W/㎡K, 일반창과 솔라윈도우 동시에 설치할 경우 열관류율은 1.2W/㎡K로 감소하는 것으로 분석되었다. 이 값은 솔라윈도우의 재료와 두께에 의해 변화할 수 있다.

(2) 알루미늄 프레임의 경우 이중유리보다 열적성능이 우수하지 않기 때문에 프레임이 없는 이중유리보다 열관류율이 1.6배 이상 높은 것으로 분석되었다. 따라서 솔라윈도우를 설치한 통합 열관류율도 2배 이상 상승하는 것으로 분석되었다.

(3) 발코니가 확장된 공동주택에 솔라윈도우 시스템을 설치한 결과 주간의 일사차단 및 야간단열효과에 의해 5%~11.8%의 냉난방에너지 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

솔라윈도우 시스템은 채광, 야간단열, 태양광, 태양열 시스템을 복합적으로 적용한 시스템으로 본 연구에서는 단열효과에 대한 에너지 성능분석 결과를 제시하였으며 추후 솔라윈도우 시스템에 적용된 태양열 및 태양광 발전시스템과 채광성능 분석 결과를 제시할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 기초연구사업 일반연구자지원사업/기본연구지원사업의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 2009-0075779)

참 고 문 헌

1. 전봉구, 이명호, 이언구“ 실험모델에 의한 자연형 태양열 시스템 야간 단열구조의 열성능에 관한 연구”, 대한건축학회논문집,v.7, n.2, 1991. 4
2. 김병수, “그린홈에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 에너지 성능분석”, 대한건축학회계획계논문집,v.25, n.09, 2009.9
3. 나기도,이보람,이철성,진경일,윤종호“가동형 열반사단열재가 공동주택의 냉난방부하에 미치는 영향 분석”, 한국건축환경설비학회 논문집,v.2,n.4, 2008.12
4. 윤종호, 김병수, “ 공동주택 발코니창에 설치된 가동단열 시스템의 열성능평가” 한국태양에너지학회 논문집, Vol.28, no.5, 2008.10
5. 윤종호, 김병수, “공동주택의 에너지 자립을 위한 핵심요소기술의 에너지 성능평가”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.27, no.3, 2007.09.
6. Andreas Fieber "Building Integration of Solar Energy" Report No EBD_T_05/3, ISSN1651-8135, 2005.
7. Therm v5.2 Manual, LBL, 2006.7
8. Window v5.2 Manual, LBL, 2006.7
9. Esp-r cookbook, University of Strathclyde, Glasgow, UK. 2009.1