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

Vol. 31, No. 6, 2011
ISSN 1598-6411

시뮬레이션에 의한 다기능 복합 솔라윈도우 시스템의 채광과 에너지성능평가

정열화*, 이순명**

*한국폴리텍Ⅶ대학 울산캠퍼스(jyh1210@kopo.ac.kr), **한국에너지기술연구원(smlee@kier.re.kr)

The Daylight and Energy Performance Evaluation of Multi-purpose Solar Window System Using Simulaton Program

Jeong, Yeol-Wha* Lee, Seun-Myung**

*Korea PolytechnicsⅦ College Ulsan Campus(jyh1210@kopo.ac.kr),
**Korea Institute of energy Research(KIER)(smlee@kier.re.kr)

Abstract

The aim of this study was to analysis the Heating/cooling performance and Daylighting 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.

The process of this study is as follows: 1) Solar Window system was designed through the investigation of previous paper and work. 2)The simulation program(Lightscape3.2) was used in daylighting performance analysis. the reference model of simulation was made up to analysis daylighting performance on Solar Window system. 3)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 and daylighting performance on Solar Window system. 4)The Size of Simulation model for daylighting and heating/cooling energy analysis was 148.5㎡ 5)The lighting performance analysis was carried out with various variants, such as the size and installed area of Solar Window system. 6)Energy performance simulation was carried out with various variants, such as Integrated U-value of Solar Window system according to its position, installed angle and insulation thickness. Consequently, When Solar Window system is equipped with balcony window of Apartment, Annual heating and cooling energy of reference model was cut down at the average of 4.1kWh/㎡ or 4.2%.

Keywords : 다기능 솔라윈도우시스템(Multi-Purpose Solar Window System), 채광성능(Daylighting Performance) 가동단열(Movable Insulation System), 냉난방에너지(Heating & Cooling Energy),

투고일자 : 2011년 11월 4일, 심사일자 : 2011년 11월 4일, 게재확정일자 : 2011년 12월 15일,
교신저자 : 이순명(smlee@kier.re.kr)

1. 서 론

최근 건물에너지 성능개선 및 에너지 절약을 위해 설계, 시공, 재료, 설비시스템등 건축부분과 설비부분에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 2010년에는 건물에너지효율등급이 의무화되면서 건물의 냉난방, 조명, 급탕, 환기부분의 에너지합을 300kWh/㎡yr이하로 설계, 시공하도록 하고 있다. 하지만 5개 부분에서 에너지를 절감하기 위해서는 새로운 형태의 고효율 시스템이나 신재생에너지의 적용이 불가피하기 때문에 경제성 측면에서 상당한 부담으로 작용하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 산학연을 중심으로 2가지 이상의 복합기술이 적용된 하이브리드 시스템이 등장하게 되었다. 본 연구에서는 창호부분의 단열과 채광효과, 태양광, 태양열 시스템을 복합적으로 적용시킨 솔라윈도우를 제안하였으며, 조명해석프로그램을 활용하여 설치방법에 따른 채광성특성 과 냉난방에너지 절감효과를 정량적으로 분석하는데 연구의 목적이 있다.

2. 솔라윈도우의 이론적 고찰

솔라윈도우는 창으로 유입되는 태양열, 태양광을 효과적으로 활용하기 위한 시스템으로 크게 4가지 시스템이 조합되어 있다.

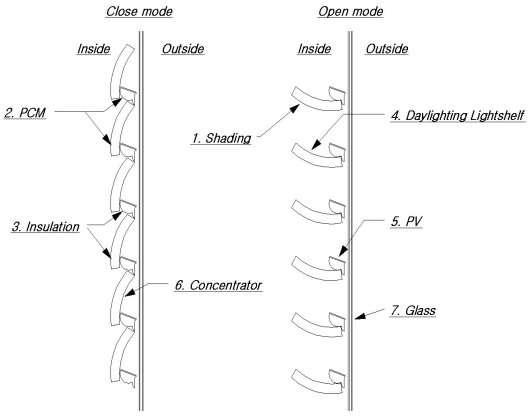


그림 1. 솔라윈도우 시스템의 개념

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 내부에 우레탄폼을 설치하고, 표면에 반사율, 방사율, 흡수율이 서로 다른 도료를 도장하여 야간에 블라인드를 완전히 닫을 경우 이존의 이중유리창보다 열저항이 2배 이상 상승하게 된다.

3. 솔라윈도우의 성능평가

3.1 단열성능분석

(1) 단열성능분석조건

솔라윈도우의 단열성능평가를 위해 설계된 시스템의 도면을 근거로 창호의 복합 열성능 분석 프로그램인 Therm6.0, Window6.0 프로그램을 이용하여 계산하였다. 시뮬레이션에 사용된 환경조건 및 경계조건은 아래의 표에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 온도조건

	Winter		Summer	
	Out	In	Out	In
Lay1	-14.4	-13.8	37.8	38.1
Lay2	6	6.7	37	36.7

표 2. 환경조건(NFRC 100-2001)

	Tout (℃)	Tin (℃)	WndSpd (m/s)	Wnd Dir	Solar (W/㎡)	Tsky (℃)	Esky
U-value	-18	21	5.5	Windward	0	-18	1
Solar	32	24	2.8	Windward	783	32	1

(2) 단열성능분석결과

솔라윈도우 시스템을 일반 이중유리 시스템과 조합하여 분석한 결과 솔라윈도우 시스템이 없는 이중투명유리의 경우 열관류율이 2.9W/㎡K, 솔라윈도우 단독의 경우 열관류율이 2.0W/㎡K으로 분석되었다. 이중유리와 솔라윈도우를 조합할 경우 전체 통합 열관류율은 1.2W/㎡K로 감소하는 것으로 분석되었다. 프레임을 포함할 경우 일반유리와 솔라윈도우를 조합한 통합 열관류율을 분석한 결과 열교차단 알루미늄 프레임을 이중투명유리와 조합할 경우 열관류율은 4.288W/㎡K, 프레임을 포함한 이중유리에 솔라윈도우를 적용할 경우 통합 열관류율은 2.58W/㎡K로 분석되었다. 이 값은 프레임의 단열성능에 빠라 변화할 수 있는 값이다.

표 3. 일반창호의 단열성능 평가 결과

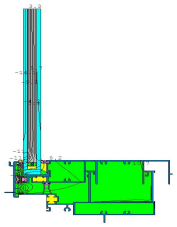
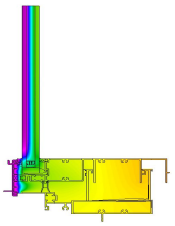
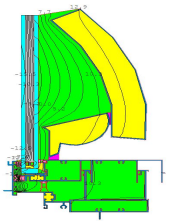
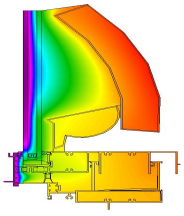
	
모델링 및 등온선분석결과	온도분포분석결과
	
등온선 분석결과	온도분포분석결과

표 4. 일반 복층 유리의 물리적 특성값

	유리		유리+프레임	
	일반투명 유리	투명유리+ 솔라윈도우	일반투명 유리	투명유리+ 솔라윈도우
열관류율 (W/㎡K)	2.99	1.28	4.28	2.58

3.2 솔라윈도우의 채광성능분석

(1) 시뮬레이션 프로그램의 입력조건

Lightscape을 통한 해석모델의 시뮬레이션 입력조건은 외부조도 40,000lux, 춘하추동의 고도각, 방위각을 변경시켰으며 내부의 실내표면상태는 일반적인 상업용 건물의 마감상태를 고려하여 아래의 표와 같이 설정하였다.

표 5. Lightscape 시뮬레이션을 위한 변수입력

변수의 종류		변수 설정값
시 간		8월 20일 12시, 16시
위 치		대전, 위도36, 경도-126
천공조건		청천공
방위		정남향
반사율	천 정	85%
	벽	80%
	바 닥	70%
	솔라윈도우	95%
투과율	유리창	90%
외부조도		40,000lux

외부 건물에 대한 영향은 없는 것으로 가정하였으며, 지면 반사율은 20%, 방위는 정남향으로 하였다. 해석모델의 입력조건에 대한 자세한 사항을 표5에 나타내었으며 Lightscape에서 모델링된 해석모델의 내부모습을 그림2에 나타내었다.

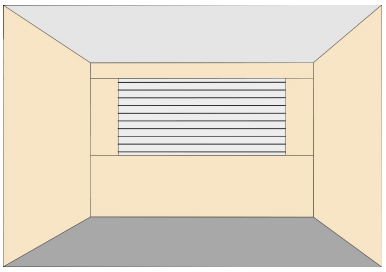


그림 2. Lightscape를 이용한 해석모델

(2) 솔라윈도우 시스템의 채광성능 평가

솔라윈도우의 채광성능을 분석하기 위해 블라인드 설치면적, 블라인드의 크기, 계절별을 분석변수로 설정하여 분석하였다.

블라인드의 설치면적은 창면적대비 블라인드 면적을 차폐면적비(Shading Ratio)로하고 설치

되지 않은 경우는 0%, 완전히 차폐한 경우는 100%, 중간을 50%로 설정하였다. 표 6, 표 7에 나타난 것과 같이 차폐면적비가 크고 블라인드의 크기가 작을수록 실내로 유입되는 주광의 확산성분이 많기 때문에 실내의 최대, 최소, 평균 조도는 감소하는 것으로 분석되었다. 하지만 실내의 최대조도의 감소율이 평균조도의 감소율보다 크기 때문에 실내의 균제도는 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 현상은 태양 고도각이 높은 하절기에 두드러지게 나타났으며, 동절기로 갈수록 균제도 증가률은 감소하는 것으로 나타났다.

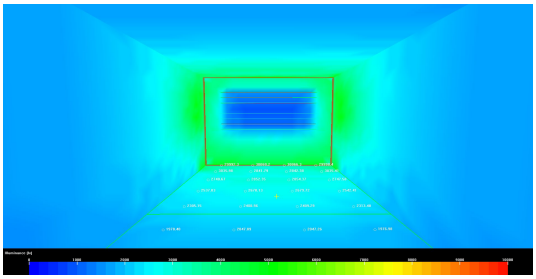


그림 3. 폭180mm설치후 조명시뮬레이션 결과(하지)

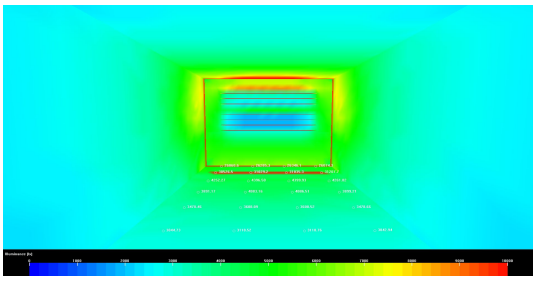


그림 4. 폭180mm설치후 조명시뮬레이션 결과(동지)

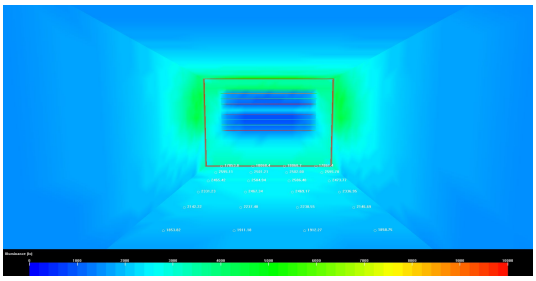


그림 5. 폭180mm설치후 조명시뮬레이션 결과(춘추분)

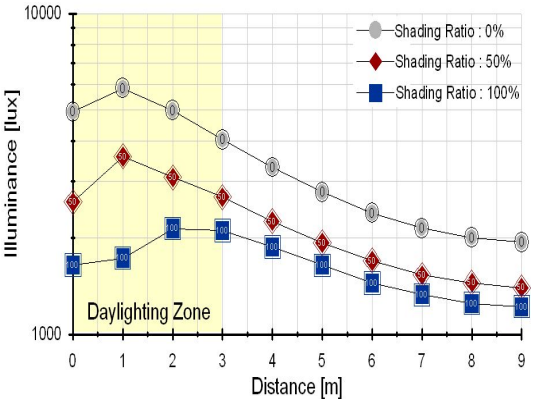


그림 6. 내부 블라인드 설치방법에 따른 실내의 조도분포(하지, 블라인드 60mm)

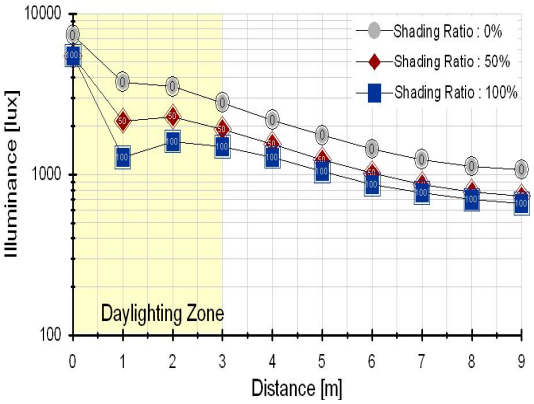


그림 7. 내부 블라인드 설치방법에 따른 실내의 조도분포(하지, 블라인드 120mm)

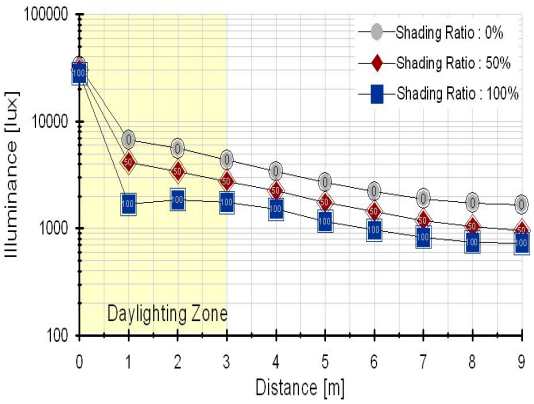


그림 8. 내부 블라인드 설치방법에 따른 실내의 조도분포(하지, 블라인드 180mm)

표 6. 외부조도 40000lux일 때 계절별 실내조도 분석결과

	차폐장치의 크기	설치면적/창 면적	최대 (lux)	최소 (lux)	평균 (lux)	균제도 (%)
춘추분	60mm 블라인드	0%	38217	2075	7569	27.4
		50%	36850	1817	6156	29.5
		100%	2899	1128	2160	52.2
	120mm 블라인드	0%	38217	2075	7569	27.4
		50%	45550	973	3106	31.3
		100%	44747	835	2558	32.6
	180mm 블라인드	0%	38217	2075	7569	27.4
		50%	50442	1273	5386	23.6
		100%	46481	630	2191	28.7
동지	60mm 블라인드	0%	5325	555	1987	27.9
		50%	4759	330	1122	29.4
		100%	4571	279	905	30.8
	120mm 블라인드	0%	6777	299	1352	21.4
		50%	6305	202	1020	19.8
		100%	6017	168	855	19.6
	180mm 블라인드	0%	35065	2331	10652	21.8
		50%	33061	1486	6990	21.2
		100%	30391	1168	5715	20.4
하지	60mm 블라인드	0%	8862	291	872	33.7
		50%	755	211	460	45.8
		100%	455	184	341	53.9
	120mm 블라인드	0%	13154	954	2573	37.1
		50%	10347	730	1879	38.8
		100%	10614	570	1415	40.3
	180mm 블라인드	0%	59141	1155	5537	20.8
		50%	56666	682	3053	22.3
		100%	54042	490	2090	23.4

표 7. 외부조도 40000lux일 때 계절별 실내휘도 분석결과

	차폐장치의 크기	창면적/설치면적	최대 (cd/㎡)	최소 (cd/㎡)	평균 (cd/㎡)
춘추분	60mm 블라인드	0%	8023	434	1587
		50%	7480	327	1009
		100%	583	229	435
	120mm 블라인드	0%	9569	204	652
		50%	9400	175	537
		100%	10006	256	803
	180mm 블라인드	0%	11103	402	1896
		50%	10597	267	1131
		100%	9765	132	460
동지	60mm 블라인드	0%	25349	2645	9461
		50%	22657	1574	5341
		100%	21760	1328	4311
	120mm 블라인드	0%	6777	299	1352
		50%	6305	202	1020
		100%	6017	168	855
	180mm 블라인드	0%	7366	489	2237
		50%	6945	312	1468
		100%	6384	245	1200
하지	60mm 블라인드	0%	8862	291	872
		50%	755	211	460
		100%	455	184	341
	120mm 블라인드	0%	2763	200	540
		50%	2173	153	394
		100%	2229	119	297
	180mm 블라인드	0%	12424	242	1121
		50%	11904	143	641
		100%	11353	103	439

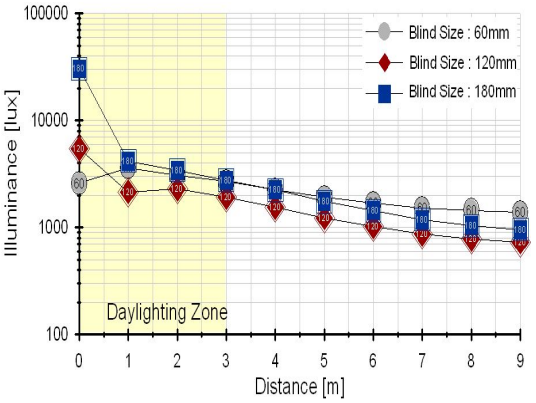


그림 9. 내부 블라인드 크기에 따른 실내조도분포(동지, 차폐율 50%)

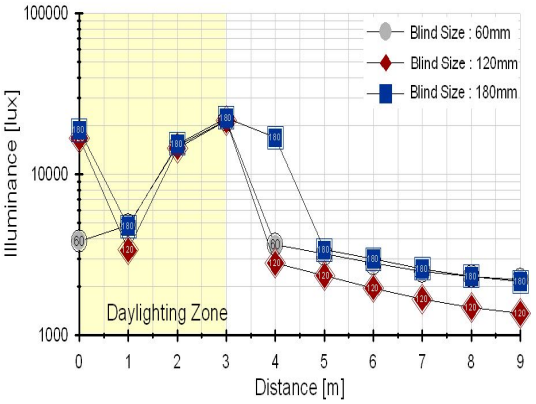


그림 10. 내부 블라인드 크기에 따른 실내조도분포(춘추분, 차폐율 50%)

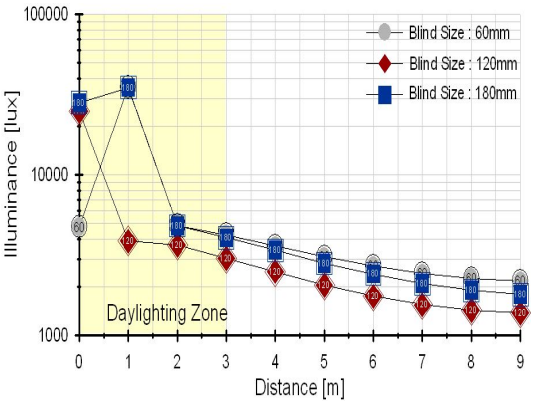


그림 11. 내부 블라인드 크기에 따른 실내조도분포(춘추분, 차폐율 50%)

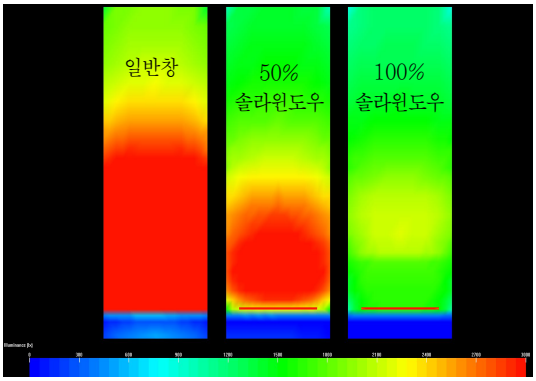


그림 12. 60mm블라인드 설치 후 실내조도분포(하지, 외부조도40000lux)
좌:일반창, 중간:50% 솔라윈도우, 우:100%솔라윈도우

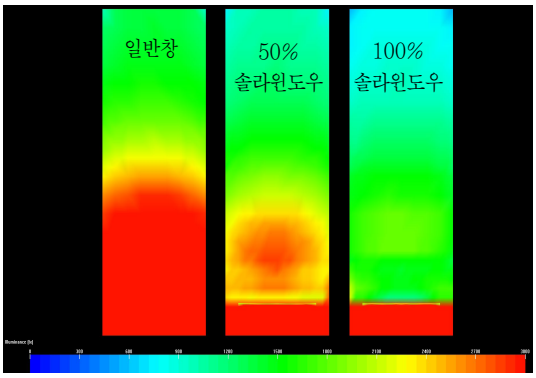


그림 13. 120mm블라인드 설치 후 실내조도분포(하지, 외부조도40000lux)
좌:일반창, 중간:50% 솔라윈도우, 우:100%솔라윈도우

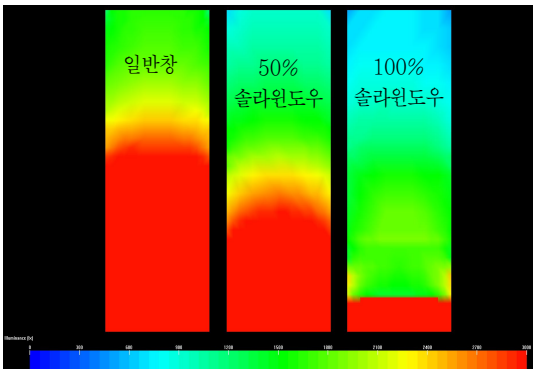


그림 14 180mm블라인드 설치 후 실내조도분포(하지, 외부조도40000lux)
좌:일반창, 중간:50% 솔라윈도우, 우:100%솔라윈도우

하지만 블라인드의 크기가 작을수록 블라인드를 개방 할 때에도 설치밀도가 높아 이중창과 블라인드를 조합한 투과율이 적정값 이하로 감소할 수 있을 뿐만 아니라 재실자의 시야에 나타나는 수평 차양장치가 조망하는데 폐쇄감과 불쾌감을 유발할 수 있기 때문에 성능위주로 블라인드 크기를 결정하는 것은 바람직하지 않을 수 있다.

4. 솔라윈도우의 에너지 성능분석

4.1 시뮬레이션 프로그램의 개요

공동주택에 적용된 솔라윈도우 시스템의 에너지성능 평가를 위해 본 연구에서는 해석도구로 ESRU에서 개발한 ESP-r11을 사용하였다. ESP-r은 EU에서 자연형태양열 시스템해석을 위한 유럽내 표준 프로그램으로 지정된 바 있으며, BESTTEST를 통해 전세계 대표적 시간별 해석 프로그램들과 함께 신뢰성에 대한 세부적 검증도 입증되었다. 특히 수치해석적 알고리즘을 기반으로 하고 있기 때문에 국내 사무소 및 공동주택의 해석용 평가도구로 가장 적합한 것으로 판단된다.

4.2 기상데이터

본 연구에서는 솔라윈도우 시스템을 주거용 건물에 적용할 경우 에너지 성능분석을 위해 1999년부터 2008년까지 10년간 대전기상데이터를 시뮬레이션을 위한 포맷(TMY)로 제작하였다.

표 8. 대전지역 2007년도 기상자료 통계처리 결과

구분 / 시간	Heating Degree Day(HDD)				Cooling Degree Day(CDD)			
	22		24		24		26	
	Avg/d	total	Avg/d	total	Avg/d	total	Avg/d	total
1	23.35	723.7	0	0	0	0	0	0
2	21.47	601.1	0	0	0	0	0	0
3	16.33	506.31	0	0	0	0	0	0
4	9.73	291.9	0.1	3.05	0	0.15	0	0
5	5.12	158.68	0.86	26.69	0.28	8.55	0.09	2.91
6	1.66	49.88	1.94	58.08	0.73	21.96	0.3	8.98
7	0.22	6.75	4.44	137.77	1.94	61.1	0.97	30.03
8	0.29	8.93	5.18	160.59	2.79	86.58	1.66	51.6
9	2.28	68.52	1.19	35.72	0.31	9.37	0.07	2.18
10	7.6	235.55	0.18	5.7	0.02	0.68	0	0
11	15.33	460.05	0	0	0	0	0	0
12	21	650.88	0	0	0	0	0	0

시간별 표준 기상자료를 근거로 월별 통계 처리한 결과는 표 8에 나타내었다.

4.3 공동주택의 에너지 성능분석

(1) 시뮬레이션 해석모델의 개요

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 표9, 표10, 표11에 나타내었다.

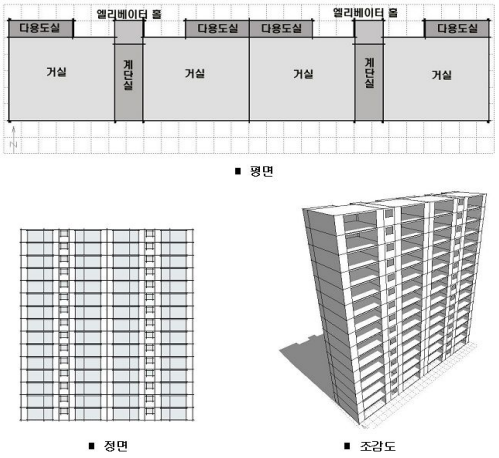


그림 15. 시뮬레이션 해석모델의 입력형태

표 9. 공동주택 1세대 당 건축 계획적 요소

	창 면적 (㎡)	벽 면적 (㎡)	창+벽 면적 (㎡)	창면적비 (%)
NORTH	13.2	21.9	35.1	37.6
EAST	0	30.24	30.24	0
SOUTH	16.3	18.8	35.1	46.4
WEST	0	30.24	30.24	0
FLOOR	0	133.6	133.6	0
ROOF	0	133.6	133.6	0

표 10. 시뮬레이션 해석모델의 실내 조건 설정

실내조건 / 실 명	인체발열 (W)		기기발열 (W/㎡)		난방 설정 온도(℃)	냉방 설정 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 11. 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	
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	

(2) 시뮬레이션 해석모델의 에너지 사용원단위

기준모델의 냉난방에너지를 분석한 결과 연간 난방에너지는 740MWh(84.8kWh/㎡), 냉방에너지는 201MWh(23.0kWh/㎡)를 사용하는 것으로 나타났다.

표 12. 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

즉, 기준모델은 연간 냉난방에너지로 941MWh (107.8kWh/㎡)를 사용하는 것으로 분석되었

다. 분석한 결과는 표12에 나타내었다.

(3) 솔라윈도우 유무에 따른 에너지성능

분석결과 발코니를 확장후 외기와 면하는 창의 내측에 솔라윈도우를 설치할 경우 발코니창이 직접외기와 면하기 때문에 난방에너지는 5.86%(약 4.1kWh/㎡yr), 냉방에너지는 11.8%(약 4.2kWh/㎡yr) 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

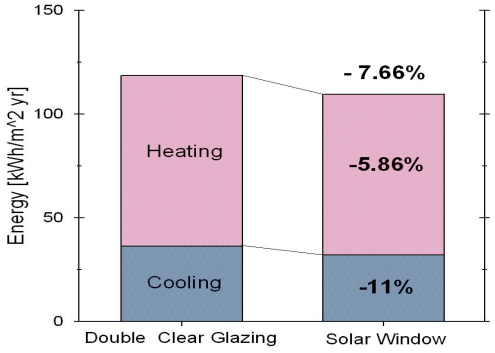


그림 16. 솔라 윈도우를 설치한 공동주택의 냉난방에너지 성능분석결과

4. 결 론

(1) 일반창에 솔라윈도우을 설치할 경우 설치면적을 창면적대비 0%, 50%, 100%로 설치할 경우 설치면적이 증가할수록 실내 균제도는 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 솔라윈도우의 크기를 60mm, 180mm로 크게할수록 균제도는 감소하는 것으로 분석되었다.

(2) 계절별 태양고도각에 따른 실내조명환경 분석결과 블라인드의 크기가 작을수록 실내로 유입되는 확산광 유입이 많기 때문에 균제도가 상승하는 것으로 분석되었다.

(3) 블라인드의 크기가 작을수록 균제도가 높아져 실내조명환경은 개선되지만 재실자가 수평블라인드에 의해 창호에 대한 차폐, 폐쇄감을 발생할 우려가 있다.

(4) 솔라윈도우의 설치에 따른 열성능분석 결과 일반창호의 열관류율이 2.99W/㎡K, 솔라윈도우 단독 열관류율은 2.0W/㎡K, 일반창과 솔라윈도우 동시에 설치할 경우 열관류율은 1.28W/㎡K로 감소하는 것으로 분석되었다.

(5) 발코니를 확장할 경우 발코니창이 직접외기와 면하기 때문에 난방에너지는 5.86%(약 4.1kWh/㎡yr), 냉방에너지는 11.8%(약 4.2kWh/㎡yr) 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 전봉구, 이명호, 이언구“실험모델에 의한 자연형 태양열 시스템 야간 단열구조의 열성능에 관한 연구”,대한건축학회논문집,1991. 4
2. 송승영, 이수진,“에너지절약형 공동주택을 위한 주요 설계변수별 비용효율 분석 및 설계 모델 설정”, 대한건축학회 계획계논문집, 2008.11.
3. 김병수, “그린홈에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 에너지 성능분석”, 대한건축학회계획계논문집, 2009.9
4. 김정태, 정유근, 문기훈, “채광성능 평가용 시뮬레이션 프로그램의 비교분석”, 한국태양에너지학회논문집, Vol23, No.1, 2003.
5. 윤종호, 김병수, “ 공동주택 발코니창에 설치된 가동단열 시스템의 열성능평가” 한국태양에너지학회 논문집, V.28, n.5, 2008.10
6. 윤종호, 김병수, “공동주택의 에너지 자립을 위한 핵심요소기술의 에너지 성능평가”, 한국태양에너지학회 논문집, V.27, n.3, 2007.09.
7. 조일식, 김병수, 이진숙,“ 축소모형을 이용한 광선반의 시환경 특성평가 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, V23., N.3, 2003.09
8. 문기훈, 김정태, “ 자연채광 성능의 가시화 도구로서 Lightscape의 유용성 평가” 한국실내디자인학회논문집, 37호, 2003. 4(ISSN 1229-7992)