

창호의 광학적 특성에 따른 ZeSH의 일사취득 및 난방부하에 관한 민감도 분석

손선우*, 백남춘**, 서승직***

*인하대학교 건축공학과 대학원(swson@inhaian.net),

**한국에너지기술연구원(baek@kier.re.kr),

***인하대학교 건축학부(energeti@inha.ac.kr)

A Sensitivity Analysis about Solar Heat Gain and Heating Load of ZeSH According to Optical Characteristics of Window system

Son, Sun-Woo*, Baek, Nam-Choon**, Suh, Seung-Jik***

*School of Architecture, Graduate School, Inha University(swson@inhaian.net),

**Korea Institute of Energy Research(baek@kier.re.kr),

***School of Architecture, Inha University(energeti@inha.ac.kr)

Abstract

To reduce the building energy consumption, the major advanced nations are conducting actively many researches on so called a "self-sufficient building(or other words zero energy building)" which can support its required energy by itself. Given this background, KIER(Korea Institute of Energy Research) built full size test-bed of the zero energy solar house in early 2002, and has studied on the self-sufficient heating load up to now. We analyse the sensitivity between the heating load and the solar radiation gain according to the change the effective transmittance of windows.

The authors classified 9 cases by solar transmittance of glass. The results demonstrate the solar radiation amount is 0.466 MWh from the eastern zone of FL,1(the first floor), 0.332 MWh from FL,2(the second floor), 1.194 MWh from the southern zone of FL,1, and 0.822 MWh from the southern zone of FL,2 on the case 1(each cases are classified by window types). On the case 9, the solar radiation amount is 3.127 MWh, 2.662 MWh, 8.799 MWh and 6.078 MWh from the same condition. For the FL,1, the amount of Heat Load that is saved per year ranged 10.5 to 48 %, and the reduction was anywhere from 0.2 to 17.9% for FL,2.

Keywords : 제로에너지 솔라하우스(Zero Energy Solar House), 유효투과율(Effective transmittance), 난방부하(Heating Load)

기 호 설 명

G_{SC} : 태양상수

G_{on} : 대기권 밖 법선면 일사량

I_b : 직달일사량

I_{ds} : 천공확산일사량

I_{dg} : 지표면 반사일사량

I_T : 전 일사량

I_{α} : 총 흡수일사량

I_{ρ} : 총 반사일사량

- I_T : 총 투과일사량(유효투과일사량)
- n : 통상일
- p : 지표면 형태계수
- V_T : 가시광선 총 투과율
- $V_{\rho(out)}$: 실외측 가시광선 반사율
- $V_{\rho(in)}$: 실내측 가시광선 반사율
- z : 천정각
- $\alpha_{(out)1}, \alpha_{(out)2}, \alpha_{(in)1}, \alpha_{(in)2}$
: 유리의 실내·외측 흡수율
- $\alpha_{T(out)}$: 실외측 유리의 총 흡수율
- $\alpha_{T(in)}$: 실내측 유리의 총 흡수율
- β : 경사각
- θ_i : 직달일사 입사각
- $\rho_{(out)1}, \rho_{(out)2}, \rho_{(in)1}, \rho_{(in)2}$
: 유리의 실내·외측 반사율
- ρ_T : 유리의 총 반사율
- τ_b : 직달일사 대기투과율
- τ_{ds} : 직달일사 대기산란율
- $\tau_{(out)1}, \tau_{(out)2}, \tau_{(in)1}, \tau_{(in)2}$
: 실내·외측 유리의 투과율
- τ_T : 유리의 총 투과율(유효투과율)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 건물에너지 절약에 대해 구체적이고 적극적인 대책 마련이 요구되면서 “에너지 저감기술”과 “신재생에너지 기술”을 혼합한 건물에너지 절약기술의 개발 및 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이에 생태건축(ecological architecture), 그린빌딩(green building), 에코하우스(ecohouse), 환경 건축(green architecture), 제로 또는 로우 에너지 빌딩(zero or low energy building) 등의 새로운 건물들의 등장과 동시에 친환경적이면서 에너지 자립형 건축물에 대해 초점이 맞춰지고 있다. 이러한 바탕하에 국내에서도 한국에너지기술연구원(Korea Institute of Energy Research : 이상 “KIER”이라 함)에서 100% 에너지 자립형 주택인 제로에너지 솔라 하우스(Zero energy Solar House : 이

상 “ZeSH”라 함)를 건설하여 현재 난방에너지 절감을 위한 시스템을 중심으로 연구를 진행하고 있다.¹⁾ 본 논문에서는 이러한 난방에너지 절감을 위해 ZeSH에 적용된 시스템에서 건물 외피에 적용된 창호의 성능 중, 단열성능과 더불어 유리의 광학적 특성에 따른 난방에너지 절감에 관하여, 이론적 분석 및 시뮬레이션 분석을 중심으로 연구를 수행하였다. 아울러 이러한 결과를 바탕으로 추후, ZeSH의 창호최적설계 및 난방에너지 절감에 관한 기초자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

창호에 따른 실내 일차취득량과 난방부하의 변화율을 분석하기 위해 창호 해석 프로그램(Therm 5.2 & Window 5.0)을 이용하여 Frame과 유리의 구성 그리고 흡수율, 반사율, 유효투과율 등을 고려한 각 Caes별 이중창호를 구성하고 이를 건물해석 프로그램인 IES_VE(Integrated Environmental Solution s_virtual Environment)와 연동하여 각 Case별 창호의 적용에 따른 ZeSH의 일사취득량과 난방부하의 변화 패턴을 정량적으로 분석하였다.

2. 이론적 고찰

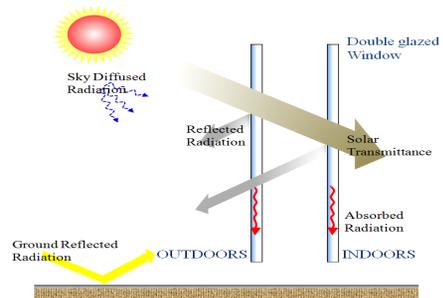


그림 1. 이중유리의 유효 투과 일사량 개념도

그림 1은 이중유리를 통해 투과되는 일사의 개념도를 나타낸다. 일반적으로 유리에서

1) 한국에너지기술연구원, 보급형 제로에너지 하우스 개발 3차년도 최종 보고서, 2003, 12, pp. 1~8.

의 일사 흡수율(α), 투과율(τ) 그리고 반사율(ρ)은 창문을 통한 유효 투과 일사량(I_T)을 산출하기 위해 필요한 물성 값들이며 직달일사(I_b), 천공확산일사(I_{ds}), 지표면 반사일사(I_{dg}) 등의 일사 조건과 유리의 투과 특성 등에 따라 일사의 유효 투과량이 달라지게 된다. 그림 1, 2에서와 같이 이중유리를 통한 일사의 유효 투과율을 산출하기 위해서는 직달일사량(I_b)과 천공확산일사량(I_{ds}) 및 지표면 반사일사량(I_{dg})의 계산이 선행되어야 하며, 다음의 식에 따라 계산할 수 있다.

$$G_{on} = G_{SC} \left(1 + 0.033 \times \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \quad (1)$$

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot \exp \left(\frac{-k}{\cos(z)} \right) \quad (2)$$

$$a_0 = 0.4237 - 0.00821 \cdot (6 - A)^2 \quad (3)$$

$$a_1 = 0.5055 + 0.00595 \cdot (6.5 - A)^2 \quad (4)$$

$$k = 0.2711 - 0.01858 \cdot (2.5 - A)^2 \quad (5)$$

여기서, a_0 , a_1 , k , 및 A 는 각각 가시도 (Visibility) 23km의 표준 대기상태 상수와 관측지의 고도를 의미한다.²⁾

그리고 대기권밖 일사량(G_{on}) 및 직달일사 대기투과율(τ_b)과 입사각(θ_i)의 함수로 대기 중을 통과하는 직달일사량(I_b)를 계산하면 다음의 식과 같다.

$$I_b = G_{on} \cdot \tau_b \cdot \cos \theta_i \quad (6)$$

또한, 확산일사는 천공확산일사(I_{ds})와 지표면 반사일사(I_{dg})의 합으로 나타낼 수 있으며, 이를 통한 전일사량(I_T)의 계산식은 다음과 같다.

$$\tau_{ds} = 0.2710 - 0.2939 \cdot \tau_b \quad (7)$$

$$I_{ds} = G_{on} \cdot \sin h_s \cdot \tau_{ds} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (8)$$

$$I_{dg} = [G_{on} \cdot \sin h_s \cdot (\tau_b - \tau_{ds})] \cdot p \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (9)$$

$$I_T = I_b + I_{ds} + I_{dg} \quad (10)$$

한편, 대기 중의 일사가 유리를 통해 얼마나 실내로 유입되는지를 계산(유효투과율)하기 위해서는 유리의 흡수율(α), 반사율(ρ), 투과율(τ)의 물성 값들이 필요하다. 특히 이중유리의 총 유효투과율의 산출은 그림 2에서와 같이 각 유리의 광학적 특성을 이용하여 산출할 수 있으며 다음의 식과 같다.

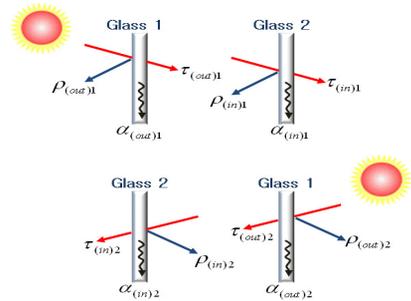


그림 2. 이중유리의 실내·외 각 표면별 흡수, 반사, 투과율

$$\alpha_{T(in)} = \frac{\tau_{(out)1} \cdot \alpha_{(in)1}}{1 - \rho_{(in)1} \cdot \rho_{(in)2}} \quad (11)$$

$$\alpha_{T(out)} = \alpha_{(out)1} + \frac{\alpha_{(in)2} \cdot \tau_{(out)1} \cdot \rho_{(in)1}}{1 - \rho_{(in)1} \cdot \rho_{(in)2}} \quad (12)$$

$$\rho_T = \rho_{(out)1} + \frac{\tau_{(in)2} \cdot \tau_{(out)1} \cdot \rho_{(in)1}}{1 - \rho_{(in)1} \cdot \rho_{(in)2}} \quad (13)$$

$$\tau_T = \frac{\tau_{(out)1} \cdot \tau_{(in)1}}{1 - \rho_{(in)1} \cdot \rho_{(in)2}} \quad (14)$$

$$I_p = I_T \cdot \rho_T \quad (15)$$

$$I_\alpha = I_T \cdot (\alpha_{T(in)} + \alpha_{T(out)}) I_p = I_T \cdot \rho_T \quad (16)$$

$$I_\tau = I_T \cdot \tau_T \quad (17)$$

3. 분석 및 고찰

3.1 창호의 열성능 분석

창호의 유효 투과율에 따른 실내 일사취득량 및 난방부하 변화 패턴을 분석하기 위해

2) 조덕기, 강용혁, 오정무, 고지대의 일사량 특성분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 2003, 23권 3호

서는 창호의 열성능 평가와 광학적 특성 분석이 선행되어야 한다. 본 연구에서 적용한 창호는 기존 ZeSH의 연구에서 활용된 슈퍼윈도우를 적용하였으며, 시뮬레이션을 통해 KS F 2278 「창호의 단열성 시험방법」에 따른 열성능 평가를 수행함과 동시에 Window 5.0에서 제공하는 Glass Library를 통해 유리의 광학적 특성을 분석하였다.³⁾⁴⁾ 다음의 표 1은 창호의 열성능 평가를 위한 실내·외 경계조건이며 표 2는 분석결과를 나타낸다.

표 1. 창호의 실내·외 경계조건

	실내측	실외측
온도	20(±1) °C	0(±1) °C
대류열전달계수	9.1 W/m ² ·K	20 W/m ² ·K

표 2 창호의 열성능 분석 결과

Result 1			Result 2		
section	Head		section	Sill	
U-Factor	Frame (W/m ² ·K)	1.87	U-Factor	Frame (W/m ² ·K)	1.87
	Edge (W/m ² ·K)	2.56		Edge (W/m ² ·K)	2.56
Result 3			Result 4		
section	Jamb		section	Meeting Rail	
U-Factor	Frame (W/m ² ·K)	1.92	U-Factor	Frame (W/m ² ·K)	2.57
	Edge (W/m ² ·K)	2.57		Edge (W/m ² ·K)	2.20

Window U-Factor : 1.33 W/m²·K

창호의 부위별 열성능 분석 결과, Frame은 1.87~2.57 W/m²·K로 나타났으며, Glass Edge의 경우, 2.20~2.57 W/m²·K로 분석되었으며 창호 전체의 단열성능은 1.33 W/m²·K로 분석되었다.

3.2 창호의 광학적 특성 분석

이러한 열성능을 가진 창호를 건물에너지 해석 프로그램과 연동하고자 모델링된 ZeSH에 동일한 열성능을 가진 창호를 적용한 후, 유리의 흡수율, 반사율, 투과율만을 변화하였

을 시, 실내의 일사취득량과 난방부하의 변화를 분석하였다. 특히 창호의 광학적 특성에 따른 Case의 구성과 각각의 특성은 표 3 및 표 4와 같다.

표 3. 단일유리의 물성치

Glass No.	T _{sol}	R _{sol 1}	R _{sol 2}	T _{vis}	R _{vis 1}	R _{vis 2}
Glass ①	0.1	0.419	0.631	0.196	0.481	0.466
Glass ②	0.2	0.056	0.102	0.218	0.055	0.083
Glass ③	0.3	0.048	0.048	0.645	0.064	0.064
Glass ④	0.4	0.054	0.051	0.391	0.056	0.051
Glass ⑤	0.5	0.063	0.065	0.809	0.073	0.074
Glass ⑥	0.6	0.061	0.060	0.828	0.076	0.076
Glass ⑦	0.7	0.068	0.068	0.895	0.080	0.080
Glass ⑧	0.8	0.069	0.069	0.883	0.076	0.076
Glass ⑨	0.9	0.081	0.081	0.912	0.085	0.085

표 4. 복층유리의 유효 일사 투과율

	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9
실내 측투 과율	0.1 (Glass ①)	0.2 (Glass ②)	0.3 (Glass ③)	0.4 (Glass ④)	0.5 (Glass ⑤)	0.6 (Glass ⑥)	0.7 (Glass ⑦)	0.8 (Glass ⑧)	0.9 (Glass ⑨)
실외 측투 과율	0.1 (Glass ①)	0.2 (Glass ②)	0.3 (Glass ③)	0.4 (Glass ④)	0.5 (Glass ⑤)	0.6 (Glass ⑥)	0.7 (Glass ⑦)	0.8 (Glass ⑧)	0.9 (Glass ⑨)
총투 과율 (T _{sol})	0.014	0.040	0.089	0.161	0.251	0.361	0.493	0.644	0.822

3.3 일사취득량 및 난방부하 분석

3.3.1 시뮬레이션 조건

창호의 유효투과율 변화에 따른 실내 일사취득량 분석은 방위별로 남측존과 동측존, 층별로 1층과 2층을 구분하여 분석하였다. 특히 북측과 서측은 실제 건립된 ZeSH주택에서 창호가 설치되어 있지 않거나 일사의 영향이 거의 없는 북측이기 때문에 본 연구 대상에서 제외하였다. 또한 시뮬레이션에 적용된 기상데이터는 서울지방을 이용하였고 건물외피의 구성 및 열관류율과 내부 발열량 등은 실제 ZeSH에 적용된 것과 동일하게 구성하였다.⁵⁾ 그리고 냉·난방 설정온도는 각각 26 °C와 20 °C이며 환기횟수는 0.5 회/h로 설정하였다. 이러한 조건을 바탕으로 각 유리의 흡수율, 반사율, 유효투과율에 따른 실

3) Window 5.0 User Manual, Glass Library List View, 2001, p. 4. 23

4) 한국산업규격, 「KS F 2278 창호의 단열성 시험방법」, 2008, 12, 30 (최종개정일자)

5) Ibid, pp. 22~24

내 일사취득량 및 난방부하에 관한 분석결과
는 다음과 같다.

3.3.2 일사취득량 분석

(1) 동측존 일사취득량 분석

그림 4는 동측존 1, 2층의 연간 일사취득량
결과를 나타낸다. 남측존 대비, 일조시간이
짧아 일사취득량이 상대적으로 낮게 나타났
고, 최초 이중유리의 유효투과율이 0.014인
Case1 일 때의 일사취득은 1층의 경우, 0.466
MWh이고 2층은 0.332 MWh로 나타났다. 또
한 유효투과율을 단계별로 증가시켜 투과율
이 0.822인 Case9의 경우, Case1에 비해 1층
은 약 8배인 3.127 MWh, 2층은 약 7배인
2.205 MWh로 분석되었다.

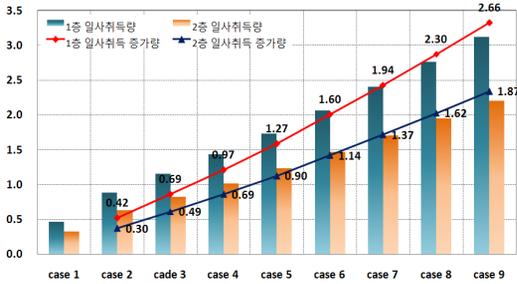


그림 4. 동측존 연간 일사취득량(MWh)

(2) 남측존 일사취득량 분석

그림 5는 남측존 1, 2층의 연간 일사
취득량을 나타내고 있다.

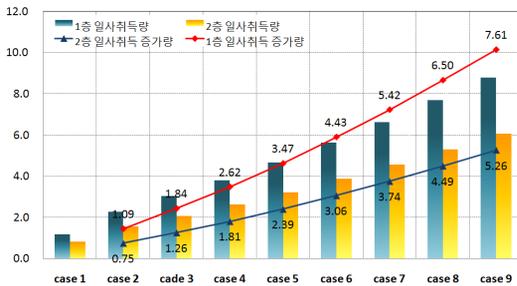


그림 5. 남측존 연간 일사취득량(MWh)

이중유리의 유효투과율이 0.014인 Case1의
경우, 1층과 2층에서 각각 1.194 MWh와

0.822 MWh로 나타났으며 유효투과율을 계
속 증가시켜 투과율이 0.822인 Case 9까지
단계별로 적용하였을 시, 1층에서는 약 8배
증가한 8.799 MWh, 2층에서는 약 6배 증가
한 6.078 MWh로 분석되었다. 특히, 2층 대
비, 창호면적비가 상대적으로 큰 1층의 일사
취득량이 높게 나타남과 아울러 창호를 통한
일사의 유효투과율이 증가할수록 일사취득
증가 폭도 2층에 비해 1층이 높게 나타났다.

(3) 연간 총 일사취득량 분석

그림 6은 ZeSH의 1층과 2층의 연간 총 일
사 취득량과 증가량을 나타낸다.

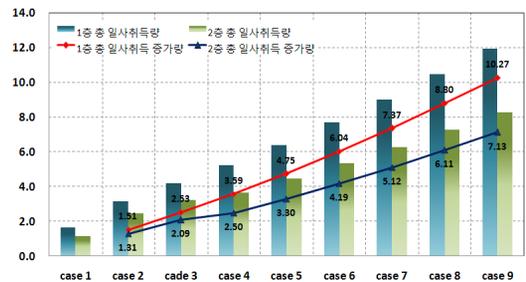


그림 6. 층별 연간 총 일사취득량(MWh)

유효투과율이 0.014인 창호를 적용하였을
시, 1층의 연간 총 일사취득량은 1.659 MWh
이고 2층의 경우, 1.154 MWh로 분석되었다.
또한 창호의 유효 투과율을 증가시킬수록 연
간 일사취득량은 지속적으로 상승하여 유효
투과율이 0.822의 창호를 적용한 Case9의 경
우, 1층은 Case1과 비교할 때, 약 10배 증가
한 11.926 MWh, 2층은 8.283 MWh로 일사
취득량이 약 8배 증가한 것으로 분석되었다.

4.2.3 난방부하 분석

다음의 그림 7, 8은 유효투과율에 따른 1,
2층 연간 총 난방부하 및 감소율을 나타낸
다. 1층과 비교해 2층의 창호면적이 상대적
으로 적어 일사취득량이 1층에 비해 낮아 난
방부하가 전체적으로 높게 분석되었다. 또한
창호의 유효투과율이 0.014인 Case1의 경
우의 난방부하량은 1층이 6.247 MWh, 2층이
17.572 MWh로 분석되었으며 창호의 유효투

과율을 단계적으로 증가시켜 Case2에서 Case9까지 적용한 결과 최초 유효투과율이 0.014인 Case1과 비교하여 1층은 10.5 ~ 48.0 %, 2층은 0.2 ~ 17.9 % 난방부하가 감소하였다.

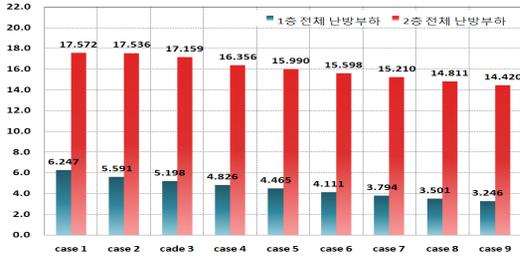


그림 7. 층별 연간 총 난방부하(MWh)

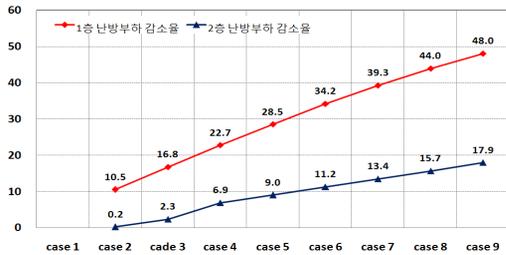


그림 8. 층별 연간 난방부하 감소율(%)

4. 결론

창호를 통한 유효투과 일사량에 따른 실내의 일사취득량 및 난방부하 변화에 관한 민감도 분석을 수행하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같다.

- (1) 동측존 일사취득량의 경우, 1층과 2층의 연간 일사취득량은 각각 0.466 MWh와 0.332 MWh이며 단계별로 유효투과율을 증가시켜 Case9를 적용하였을 때, 1층은 약 8배 증가한 3.127 MWh, 2층은 약 7배가 증가한 2.662 MWh로 분석되었다.
- (2) 남측존의 경우, Case1일 때, 1층 및 2층의 연간 일사취득량은 각각 1.194 MWh와 0.822 MWh로 나타났으며 Case 9의

적용 시, 1층은 약 8배 증가한 8.799 MWh, 2층은 약 6배 증가한 6.078 MWh로 분석되었다.

- (3) 연간 총 일사취득량은 Case1의 유리를 적용하였을 때, 1층은 1.659 MWh, 2층은 1.154 MWh로 나타났으며, Case9의 적용 시, 1층과 2층의 연간 일사취득량은 각각 11.926 MWh와 8.283 MWh로서 약 10배와 8배가 증가한 것으로 분석되었다.
- (4) 창호의 유효투과율의 변화에 따른 연간 난방부하 및 감소율을 층별로 살펴보면 Case1에서 Case9까지 단계별로 적용한 결과, 1층은 난방부하가 6.247 ~ 3.246 MWh로 나타났으며 2층은 17.572 ~ 14.420 MWh로 분석되었으며 최초 Case1의 창호를 적용한 결과와 비교하였을 때, 1층은 10.5 ~ 48.0 %, 2층은 0.2 ~ 17.9 %까지 난방부하를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

이상의 연구결과에서 보는바와 같이 창호의 단열성능과 더불어 복층유리에서의 광학적 특성은 실내의 일사취득량 및 난방부하에 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 한국에너지기술연구원, 보급형 제로에너지 하우스 개발 3차년도 최종보고서, 2003, 12.
2. 조덕기, 강용혁, 오정무, 고지대의 일사량 특성분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 2003, 23권 3호
3. Window 5.0 User Manual, Glass Library List View, 2001, p. 4. 23
4. 한국산업규격, 「KS F 2278 창호의 단열성 시험방법」, 2008, 12, 30(최종개정일자)