

EnergyPlus에 적용된 Simple Window Model의 한계와 개선에 관한 연구

A Study on the Limitation and Improvement of Simple Window Model applied to EnergyPlus

김태호(Tae Ho Kim), 고성호(Sung Ho Ko)[†]

충남대학교 기계공학부

School of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

(Received June 30, 2017; revision received September 4, 2017; Accepted: September 12, 2017)

Abstract EnergyPlus, which is widely used in various fields, provides Simple Window Model, a window model that can be used practically. However, the results of building load using the model are different from those of the standard model. The main cause of the deviation by Simple Window Model was analyzed to be due to the assumption that all windows were considered as single layer. The purpose of this study is to propose a window model that improves the cause of deviation by Simple Window Model and can be easily calculated from the algebraic relations. The proposed window model solved the heat balance equation algebraically by using seven window characteristic coefficients. The coefficient relationships consisted of the heat transmission coefficient and solar heat gain coefficient as input parameters make practical use and calculation possible. As a result of comparing the deviation between each window model by implementing the dynamic analysis method, the proposed window model showed that the deviation of the total heating/cooling energy consumption was reduced to 1/3 compared to Simple Window Model for one year. Although the maximum energy consumption did not show any significant improvement, the indoor temperature evaluation showed significantly reduced deviation.

Key words Simple window model(단순창호모델), EnergyPlus(에너지플러스), Thermal analysis(열해석), Inward flowing fraction(내부유입율)

[†] Corresponding author, E-mail: sunghoko@cnu.ac.kr

1. 연구배경 및 목적

창호는 건물을 구성하는 ‘투명한’ 재료로서, 온도차에 의한 열전달이 발생하는 동시에 일사열을 유입시킴에 따라 건물 내에 미치는 열적/광학적 영향이 매우 크다. 이로써 창호는 전통적인 에너지 다소비 구조체로 여겨져 왔으며, 창호로 인한 열손실을 줄이기 위해서 낮은 방사율 코팅막, 적절한 공극 기체 선정 등과 같은 유리와 관련된 설계를 포함한 스페이서, 프레임 등에 관한 많은 개선안이 제안되어 왔다.^(1,2) 하지만 건물의 전체 열손실 중, 창을 통한 열손실이 차지하는 비중은 주택의 경우는 20~40%, 일반 사무소의 경우에는 15~35%에 달하여 여전히 창호에 의한 에너지 손실은 매우 큰 실정이다.^(3,4) 또한 현대에 들어 건물 미관상의 이유로 건물의 외장처리를 유리로 구성된 커튼월로 하는 사례가 많아져 창호에 의한 소비 에너지를 평가하는 것은 더욱 중요한 과제가 되었다.

유럽연합의 몇몇 나라는 신축건물의 에너지성능 요구조건의 만족여부를 입증하기 위해 건물 에너지 해석을 요구하고 있으며, 이와 동일한 목적으로 미국에서는 신축 건물 설계 시, EnergyPlus를 에너지성능 예측을 위한 시뮬레이션 프로그램으로 공인하고 있다.^(5,6) 이때 건물 소비 에너지의 많은 비중을 차지하는 창호는 건물 에너지

해석 결과에도 큰 영향을 미치므로 창호에 의해 발생하는 열류를 정확히 분석하는 창호 모델을 정립하는 것은 적절한 창호설계를 통한 에너지절감의 기초가 된다.⁽⁷⁾ 본 연구는 다양한 건물 에너지 해석툴 중에서도 가장 공신력 있다고 평가받는 프로그램인 EnergyPlus에 적용된 창호 모델을 연구대상으로 하며, 이와 관련된 기존의 연구는 다음과 같다.

EnergyPlus에서는 창호를 해석하기 위해 각 구조층의 열평형상태를 해석하며, 이를 위해 반복적인 계산이 요구된다. 창호해석에 필요한 정보를 얻는 창호 모델에는 다음과 같은 여섯 가지의 방법이 있다⁽⁸⁾ : Full Spectral Method(FSM), Average Spectral Method(ASM), WINDOW Report Method(WRM), Bi-directional Scattering Distribution Functions Method(BSDF), Refraction Extinction Method(REM), Simple Window Model(SWM). 이 중에서 FSM은 EnergyPlus에서 추천하는 유일한 창호 모델로, 해석을 위한 기준 모델로 삼을 수 있지만 얻기 어려운 정보인 파장별 물성정보가 필요하다.⁽⁹⁾ 이를 개선한 방법이 ASM이며 파장별로 평균된 대표 물성정보가 사용된다. 이외에 WRM는 WINDOW 프로그램으로부터 창호물성을 직접 가져온다는 차이를 가질 뿐, 계산과정은 앞선 방법과 동일하다. BSDF법은 차양 등을 가진 복잡한 창호시스템의 빛의 유입 계산에 사용되며, 관련 물성은 WINDOW 프로그램으로 얻을 수 있다. 그리고 REM은 코팅된 창호의 해석에 부적절하다는 태생적인 단점을 가지고 있다.⁽¹⁰⁾

앞선 방법들은 제품 카탈로그 등을 통해 얻기 어려운 정보인 파장별 물성 등의 정보가 요구된다. 이를 해결하기 위해 제안된 방법이 SWM⁽¹¹⁾이다. SWM은 제품 카탈로그 등을 통해 쉽게 얻을 수 있는 정보인 창호의 열관류율 U, 태양열획득계수 SHGC, 가시광선 투과도 Tvis를 이용하여 실제 창호와 가장 유사한 창호를 추정하는 ‘smart’ 알고리즘을 내포한다.⁽¹²⁾

각 창호 모델의 해석결과를 비교/분석한 논문은 매우 드물며, 그 중에서 Peter et al.⁽¹²⁾은 SWM이 FSM을 합리적으로 대체한다고 평가한 반면, Lam et al.⁽¹⁰⁾은 SWM과 FWM의 해석결과에는 오차가 발생함을 보였다. 하지만 기존연구는 부하결과만을 비교하는데 그쳤고, 오차의 원인과 이에 대한 개선방향은 제시하지 못하였다.

본 연구에서는 FSM과 ASM, 그리고 SWM이 해석결과에 어느 정도의 차이를 보이는지 분석하고, 이에 대한 원인을 파악하였다. 그리고 오차요인을 제거하기 위한 방법을 모색하고, 열평형식을 풀기 위해 많은 연산이 요구되는 기존의 모델을 대체할 모델인 Modified Simple Window Model(MSWM)을 제안하였다. 제안한 창호 모델과 기존의 모델 사이의 오차를 비교하기 위해 동적 부하해석 과정을 구현하였고, 설정한 준모델의 부하를 도출하여 EnergyPlus 결과와 비교하였다. 이때 본 연구의 범위는 광학적 분석을 제외한 건물의 열적 분석에 한정하였다.

2. EnergyPlus에 적용된 창호 모델의 결과 비교

EnergyPlus에 적용된 각각의 창호 모델을 사용함에 따라 발생하는 냉난방에너지 해석결과와의 차이를 분석하기 위해 단순한 단일 존을 설정하고, 다양한 창호를 적용하였다. 이때 가장 정확한 FSM을 표준 창호 모델로 설정하였고, ASM과 SWM을 함께 비교하였다. 설정한 존 모델은 ANSI/ASHRAE Standard 140의 Case 600(Base case Low Mass Building)으로, Fig. 1과 같은 구조(8 m wide×6 m long×2.7 m high)를 가지며 남향에 3 m×2 m 크기의 창호 2개가 적용되어 있다. 기타 공조조건은 Table 1과 같으며, 분석을 위해 사용된 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 미국 Chicago의 표준기상데이터이다.

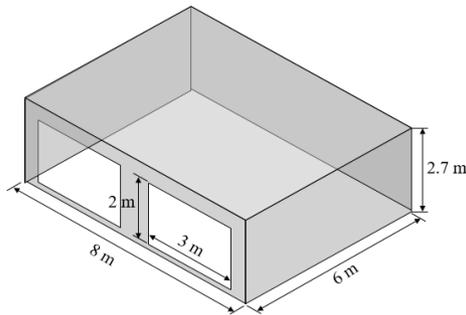


Fig. 1 Base building model-Isometric view.

Table 1 Air-conditioning conditions for simulation

Conditions	Setting value	Conditions	Setting value
Infiltration	0.5 air change/hour	Internal Load	200 W continuous (60% radiative, 40% convective, 100% sensible)
Thermostat	Dual setpoint (heating < 20°C, cooling > 27°C)	Air conditioning system	100% convective air system-ideal system

Table 2 Total/Maximum air-conditioning energy consumption for a year by window models

Glazing system	H/C	Total heating/cooling energy consumption[MWh]			Maximum heating/cooling energy consumption[kW]		
		FSM	ASM	SWM	FSM	ASM	SWM
Single Clear	Heating	6.38	6.38(0.00)	6.32(0.07)	4.53	4.53(0.00)	4.52(0.01)
	Cooling	4.35	4.33(0.01)	4.57(0.22)	6.21	6.19(0.02)	6.35(0.15)
Double Clear Air	Heating	5.07	5.08(0.01)	5.05(0.01)	3.78	3.78(0.00)	3.78(0.01)
	Cooling	3.64	3.59(0.05)	3.47(0.18)	5.28	5.25(0.03)	5.23(0.05)
Triple Clear Air	Heating	4.59	4.60(0.01)	4.60(0.01)	3.48	3.48(0.00)	3.49(0.01)
	Cooling	3.15	3.07(0.08)	2.85(0.30)	4.67	4.61(0.06)	4.56(0.11)
Double Clear with Argon	Heating	4.93	4.93(0.00)	4.88(0.04)	3.74	3.74(0.00)	3.75(0.01)
	Cooling	4.04	4.01(0.03)	4.08(0.04)	5.74	5.70(0.04)	5.79(0.05)
Double Low-e Air	Heating	4.68	4.72(0.04)	4.90(0.22)	3.46	3.46(0.00)	3.47(0.01)
	Cooling	2.17	2.04(0.13)	1.59(0.57)	3.49	3.34(0.15)	3.07(0.42)
Double High solar Gain Low-e	Heating	4.41	4.42(0.01)	4.61(0.20)	3.53	3.53(0.00)	3.55(0.02)
	Cooling	3.81	3.75(0.06)	3.44(0.38)	5.34	5.28(0.07)	5.19(0.16)

() : absolute deviation from FSM.

FSM와 ASM, 그리고 SWM을 해석하기 위해 요구되는 정보는 WINDOW 프로그램을 통해 얻을 수 있다. 따라서 WINDOW 프로그램에서 제공하는 창호시스템 중에서 차양 및 오프닝 등의 조건을 가진 창호를 제외 하여 유리로만 구성된 6가지 창호를 분석대상으로 선정하였으며, 창호물성과 함께 나타내면 다음과 같다: Single Clear(Uvalue : 5.913, SHGC : 0.861), Double Clear Air(Uvalue : 2.703, SHGC : 0.704), Triple Clear Air (Uvalue : 1.744, SHGC : 0.617), Double Clear with Argon(Uvalue : 2.576, SHGC : 0.764), Double Low-e Air (Uvalue : 1.684, SHGC : 0.431), Double High Solar Gain Low-e(Uvalue : 1.935, SHGC : 0.686). 이때 물성은 NFRC 100-2010을 기준으로 구해졌으며, 유리로만 구성된 창호임에 따라 프레임은 설정되어 있지 않다.

창호 모델별 연간 총 냉난방 소비 에너지와 년중 최대 냉난방 소비 에너지를 비교하여 Table 2에 나타내었다. 이때 괄호안의 숫자는 FSM과의 절대편차를 의미한다. ASM은 FSM과 비교적 차이가 없으나, SWM은 창호 종류에 따라 큰 차이가 생길 수 있음을 알 수 있으며, 특히 Double Low-e Air 창호에서 가장 큰 오차를 보였다. EnergyPlus의 SummaryReport에서 제공하는 창호만의 연간 열유입·열유출을 비교하더라도 유사한 결과가 나타났다. 분석된 오차는 단일 존에 대해 분석된 오차로써, 다수의 존으로 이루어진 건물의 경우에는 오차가 누적 되어 결과차이가 매우 커질 수 있다고 여겨진다. 이러한 차이는 기기의 설계는 물론 적절한 창호설계를 통해 이루어지는 건물 소비 에너지관리에도 악영향을 가져올 수 있을 것이라 판단된다.

주로 어떤 창호 종류에서 위와 같은 오차가 발생하는지 파악하기 위해 EnergyPlus의 DataSets에서 제공하는 144개의 이중창에 대해 냉난방 소비 에너지 해석결과를 비교하였으며, 이때 EnergyPlus의 DataSets에서는 FSM에 필요한 정보를 제공하고 있지 않으므로 ASM과 SWM의 결과만을 비교하였다. 두 창호 모델 간의 절대오차를 정리하여 Fig. 2에 나타내었으며, 이때 창호종류를 간략히 표시하였다. 그 결과, 그림에서 알 수 있듯이 Ref(one pane has a metallic reflective coating)와 Tint(one pane is tinted), Spec Sel(Spectrally selective) 그리고 Elec(electrochromic glass) 창호 종류에서 창호 모델 간의 큰 냉방에너지 오차를 보였다.

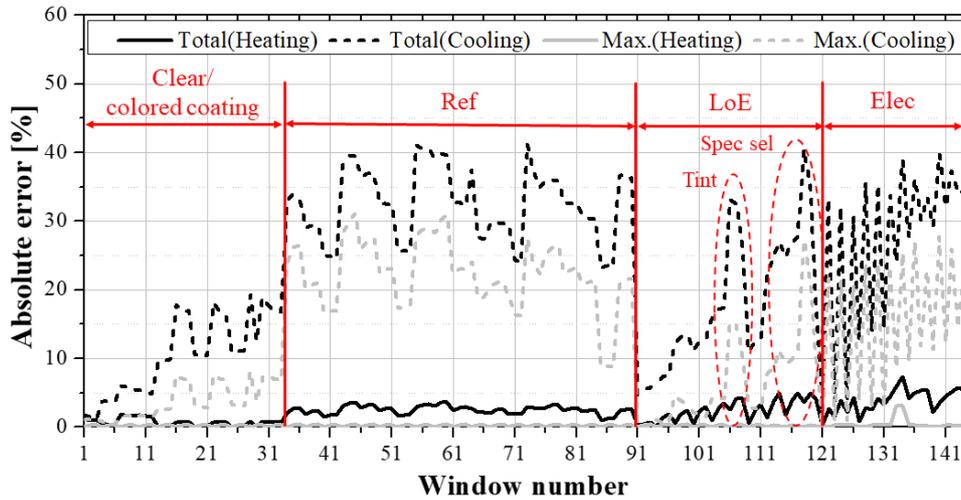


Fig. 2 Comparison of absolute errors between two window models(ASM, SWM).

3. Simple Window Model의 오차원인 분석

창호를 해석할 때, 일반적으로 다음과 같은 합리적인 가정이 적용된다.⁽⁹⁾ (1) 창호의 구조는 매우 얇아서 축열 효과는 무시할 수 있다. (2) 창호는 적외선(장파복사)에 대해 불투명하다. (3) 단일 유리층에 흡수된 단파복사는 재료층 내외측면에 고르게 작용한다. 가정에 의해 창호의 축열효과가 무시됨에 따라 창호 내외측면의 총 열전달량은 항상 동일하며, 창호에 흡수된 열은 내외측면에 즉각적으로 발현된다. 창호 내외측면의 열평형상태를 정리하면 식(1), 식(2)와 같고, Fig. 3은 이러한 관계를 도시적으로 표현한 것이다. 여기서 N은 단파복사 분배율로 창호에 흡수된 단파복사가 내외측면에 각각 얼마의 비율로 분포하는지를 나타낸다. 따라서 창호에 흡수된 일사량의 분포만을 표현하는 SHGC의 N값과는 차이를 갖는다.

Inside face : Conduction heat-($N \times$ Absorbed shortwave radiation heat)
 \approx Convection heat + Thermal radiation heat + Internal gains radiation heat + System radiation heat (1)

Outside face : Conduction heat + (($1-N$) \times Absorbed shortwave radiation heat)
 \approx Convection heat + Thermal radiation heat (2)

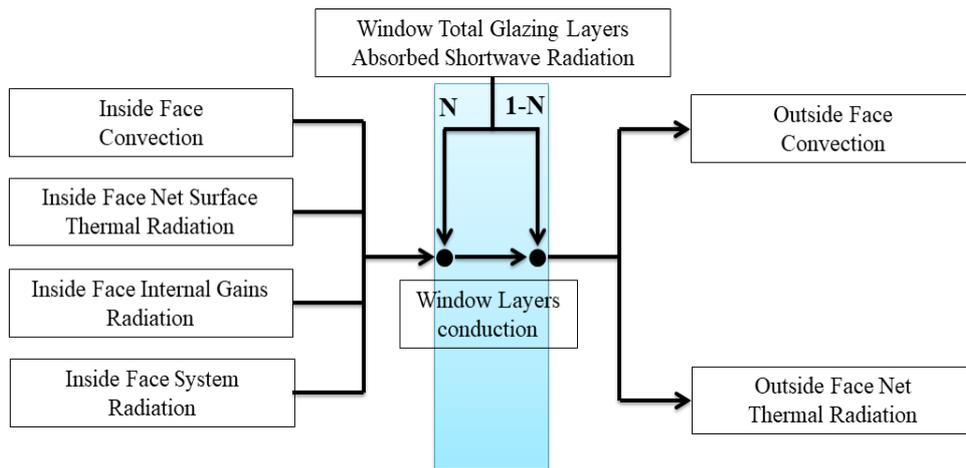


Fig. 3 Heat balance state at glazing system.

Table 3 Comparison of solar absorptance obtained from assumption and estimated solar absorptance

Window type	Transmittance τ of SWM	Absorptance α of SWM	$\tau+\alpha$	Estimated ($1-\rho$)	Deviation
Sgl clr 6 mm	0.692	0.169	0.861	0.861	0
Sgl Bronze 6 mm	0.404	0.483	0.887	0.887	0
Sgl Clr Low Iron 5 mm	0.811	0.036	0.847	0.847	0
Dbl Clr 3 mm/6 mm Air	0.601	0.184	0.785	0.785	0
Dbl Ref-A-L Tint 6 mm/13 mm Arg	0.027	0.769	0.795	0.606	0.189
Dbl Ref-C-M Clr 6 mm/13 mm Arg	0.112	0.634	0.746	0.632	0.114
Dbl Ref-D Clr 6 mm/6 mm Air	0.282	0.350	0.632	0.654	0.022
Dbl LoE(e2 = .1) Tint 6 mm/6 mm Air	0.232	0.606	0.838	0.747	0.091
Dbl LoE Elec Ref Colored 6 mm/13 mm Arg	0.039	0.702	0.741	0.617	0.124
Trp Clr 3 mm/6 mm Air	0.486	0.258	0.744	0.744	0
Trp LoE Film(33) Bronze 6 mm/13 mm Air	0.068	0.688	0.756	0.475	0.281

단일 유리층에 흡수된 단파복사는 내외측면에 동등하게 작용한다는 가정에 따라 단층구조를 가진 창호의 N값은 항상 0.5가 된다. 하지만 다중창의 경우는 창호 시스템을 구성하는 유리특성과 유리 사이의 기체특성에 따라 단파복사가 내외측면에 균등하게 분포하지 않아 N값이 0.5에서 크게 벗어날 수 있다.

SWM은 창호 시스템을 하나의 유리층인 equivalent layer로 고려하는 가정조건을 갖는다.⁽¹¹⁾ SWM의 알고리즘에는 N값을 구하는 과정이 포함되어 있으나 모델 자체가 가진 가정에 의해 해석결과와 N값은 항상 0.5가 된다. 이로 인해 창호에 흡수된 단파복사가 실내 측에 작용하는 비율을 적절히 표현하지 못해 오차가 증가하게 된다.

추가적으로 창호 내측면에 도달하는 단파복사열을 분석한 결과, SWM의 결과는 ASM의 결과와 약간의 차이가 발생하였으며, 이는 창호의 단파복사 흡수율의 차이로 인해 발생한 오차로 파악되었다. EnergyPlus의 문헌에 제시된 단파복사열 분배공식은 식(3)과 같다. 여기서 QS_{tot} 는 내부에서 발생된 총 단파복사, α 는 태양열 흡수율(단파복사 흡수율), A 는 면적, i 는 벽체의 넘버, NS 는 구조체의 수를 의미한다. 투과도 τ , 흡수도 α , 반사도 ρ 의 합은 1이라는 관계에 따라 SWM에서는 분모의 $(1-\rho)$ 항(solar absorptance)을 일괄적으로 $(\tau+\alpha)$ 으로 계산한다($\tau+\alpha+\rho = 1$ 에서 $1-\rho = \tau+\alpha$). 하지만 내부 구조체간의 단파복사 열평형을 만족하는 $(1-\rho)$ 값을 직접 추정할 결과, Table 3과 같이 투과도가 낮은 창호에서는 이러한 관계가 성립하지 않는 경우가 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 영향으로도 SWM은 내재된 오차를 갖게 되는 것으로 파악되었다.

$$QS_i = \frac{\alpha_{solar,i} A_i QS_{tot}}{\sum_{i=1}^{NS} A_i (1-\rho_i)} \quad (3)$$

4. Modified Simple Window Model 제안

SWM은 쉽게 얻을 수 있는 정보인 U값과 SHGC 값, Tvis 값으로부터 열평형 해석에 필요한 정보를 유추하는 역할을 할 뿐, 창호 해석을 위해서는 각 구조층의 열평형식의 수렴과정이 요구되므로 반복적인 계산이 필수적이다. 본 연구에서는 반복계산을 피하며 열적 상태를 계산하기 위해 창호 전체에 대한 열평형식의 대수적 계산에 기초한 창호 모델을 제안하며, 이때 앞서 분석한 SWM의 오차발생요인을 개선하고자 한다. 창호 열평형을 구성하는 열전달 요소들의 수식을 내외측 열평형식인 식(1)과 식(2)에 대입하여 정리하면 식(4), 식(5)와 같다.

Inside face :

$$U_{eff}(T_{surf,i} - T_{surf,o}) - Nq_{absorbed}(t) = h_i(T_{indoor} - T_{surf,i}) + q_{heat\ gain,i} \quad (4)$$

Outside face :

$$U_{eff}(T_{surf,i} - T_{surf,o}) + (1-N)q_{absorbed} = -h_o(T_{outdoor} - T_{surf,o}) - h_{air}(T_{outdoor} - T_{surf,o}) - h_{sky}(T_{sky} - T_{surf,o}) - h_{gnd}(T_{outdoor} - T_{surf,o}) \quad (5)$$

여기서 창호의 U_{eff} 는 대류열전달을 제외한 창호 구조체만의 열관류율임에 유의한다. 또한 $q_{absorbed}$ 는 창호에 흡수된 단파복사를 의미하며, $q_{heat\ gain,i}$ 는 내부발생열 등에 의해 창호의 실내측에 유입되는 단파/장파복사의 합을 의미한다. 그리고 h_i 와 h_o 는 창호 실내외측의 대류열전달계수를 나타내고, h_{air} 와 h_{sky} , h_{gnd} 는 각각 대기, 천공, 지표면 사이의 복사열전달계수를 의미하며 복사열 흡수율(장파복사 흡수율) ε 와 Stefan-Boltzmann 상수 σ , 경사각 ϕ 를 사용하여 다음 식으로부터 결정된다. 또한 T_{sky} 는 천공온도를 의미한다.

$$h_{air} = \frac{0.5\varepsilon\sigma(1 + \cos\phi)(1 - \beta)(T_{surf,o}^4 - T_{outdoor}^4)}{(T_{surf,o} - T_{outdoor})} \quad h_{r,sky} = \frac{0.5\varepsilon\sigma(1 + \cos\phi)\beta(T_{surf,o}^4 - T_{sky}^4)}{(T_{surf,o} - T_{sky})}$$

$$h_{gnd} = \frac{0.5\varepsilon\sigma(1 - \cos\phi)(T_{surf,o}^4 - T_{outdoor}^4)}{(T_{surf,o} - T_{outdoor})} \quad \beta = \sqrt{0.5(1 + \cos\phi)}$$

식(4)와 식(5)를 다시 창호의 내외측 표면온도에 대해 정리하면 식(6)과 같은 하나의 행렬식으로 표현된다. 외기조건과 벽체에 흡수된 복사열, 그리고 창호 특성계수인 U_{eff} , N 을 알면 내외측 표면온도를 대수적으로 계산가능하다. 이때 복사열전달계수를 계산하는데 내외측 표면온도가 필요하나 이전 timestep의 값을 사용해도 결과에 큰 영향을 미치지 않는다.

$$\begin{pmatrix} T_{surf,i} \\ T_{surf,o} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{eff} + h_i & -U_{eff} \\ U_{mat} & -(U_{eff} + h_o + h_{air} + h_{sky} + h_{gnd}) \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} h_i T_{indoor} + q_{heat\ gain,i} + Nq_{absorbed} \\ -(h_o + h_{air} + h_{gnd})T_{outdoor} - h_{sky}T_{sky} - (1 - N)q_{absorbed} \end{pmatrix} \quad (6)$$

창호의 열평형 상태 외에도 창호에 흡수되거나 창호로 인해 실내에 유입된 후, 다시 창호에 영향을 미치는 복사열류를 고려해야 하며, 이를 표현하기 위해 몇 가지의 특성계수를 설정한다. 창호를 통해 투과된 일사량은 투과도(τ , transmittance)를 통해 결정되고, 창호에 흡수된 일사량은 흡수도(α , absorptance)를 통해 구한다. 이때 창호를 투과하거나 내부에서 발생된 단파복사열의 일부는 내부 구조체에서 반사되어 창호에 도달하여 흡수된다. 이는 창호에 흡수된 일사량과는 별개로 창호에 추가적으로 흡수되는 단파복사열로서, 재흡수도($Re\alpha$, re absorptance)라는 개념을 도입하여 정의한다. 따라서 창호를 통해 투과된 일사량은 ($\tau \times$ 입사된 일사량), 흡수된 일사량은 ($\alpha \times$ 입사된 일사량), 그리고 창호에 흡수된 단파복사는 (재흡수도 \times 구조체에서 반사되어 창호에 도달하는 단파복사)로 계산된다. 구조체 간의 단파복사 열평형은 표면의 태양열 흡수율(α_{solar} , 단파복사 흡수율)을 통해 구하며, 구조체 간의 장파복사 열평형은 표면의 복사열 흡수율($\alpha_{thermal}$, 장파복사 흡수율)로 계산하고, 이때 구조체별 장파복사열 분배는 Net-Radiation법 혹은 Gebhart법 등을 통해 구한다.

Angular property인 직달 투과도와 직달 흡수도, 직달 반사도는 태양의 입사각(ϕ)에 따라 변한다. 본 연구에서는 투과도만이 입사각에 따라 변한다고 가정하며, 투과도 변화식은 EnergyPlus의 Simple Glazing System에 적용된 식을 사용하였다. 다만, 본 연구에서는 확산투과도($\tau_{diffuse}$)를 분석대상으로 함에 따라 투과도 변화식에서도 확산투과도를 사용하는 것이 편리하다. 따라서 입사각이 0°일 때를 기준으로 한 투과도인 $\tau(\phi = 0)$ 를 $1.22\tau_{diffuse}$ 로 대체하며, 여기서 보정계수 1.22는 입사각이 0°일 때의 투과도와 입사각이 90° 이상일 때의 투과도인 확산투과도의 평균비이다.

$$\tau_{direct}(\phi) = \tau(\phi = 0)\cos(\phi)(1 + (0.768 + 0.817SHGC^4)\sin^3(\phi)) \quad (7)$$

정리하면 제안한 창호 모델의 열적 상태는 식(6)과 일곱 개의 계수(유효열관류율, 단파복사분배율, 투과도, 흡수도, 재흡수도, 태양열 흡수율, 복사열 흡수율)를 통해 결정되며, 이 과정에서 반복계산은 필요하지 않지만 계수가 사전에 정의되어야 한다.

Table 4 Meaning and derivation method of the characteristic coefficients

Characteristic coefficient	Meaning	Derivation method
Effective heat transmission coefficient	heat transmission coefficient of window structure only	calculate the value to satisfy heat balance with optimization function (the N value must be calculated simultaneously)
Transmittance	the ratio of solar radiation transmitted through window	output results by EnergyPlus
Absorptance	the ratio of solar radiation absorbed into window	output results by EnergyPlus
Reabsorptance	the ratio of shortwave radiation absorbed into window reflected from internal structure	(absorbed shortwave radiation-absorbed insolation)/ (shortwave radiation reflected from internal structure)
Shortwave radiation distribution ratio	the ratio of the shortwave radiation transferred to inside face	calculate the value to satisfy heat balance with optimization function (the Ueff value must be calculated simultaneously)
Solar absorptance	shortwave absorptance related to shortwave heat balance between structures	calculate the value with the same shortwave radiation distribution as the results of ASM
Thermal absorptance	longwave absorptance related to longwave heat balance between structures	fixed to 0.84(the value is also applied to other models)

계수를 도출하기 위해 앞서 정의한 모델존의 창호를 하나로 변경하고, 조명발생열을 추가로 고려하였다. 이때 입사각에 따라 값이 변하는 투과도와 흡수도를 상수로 고려하기 위해 태양입사각이 90° 이상이어서 확산일사만이 존재할 때의 확산투과도와 확산흡수도를 분석기준 값으로 하였다. 다양한 창호 종류별로 계수를 도출하기 위해 EnergyPlus의 DataSets에서 제공하는 207개의 창호를 분석하였으며, 37개의 단창, 144개의 이중창, 25개의 삼중창, 그리고 1개의 사중창으로 구성되어 있다. 앞서 언급한 대로 DataSets에서 제공하는 정보는 파장별로 평균된 정보이므로, 기준으로 삼은 모델은 ASM의 해석결과이다. 각 계수의 의미와 열류와의 관계, 그리고 도출방법을 정리하여 Table 4에 나타내었다.

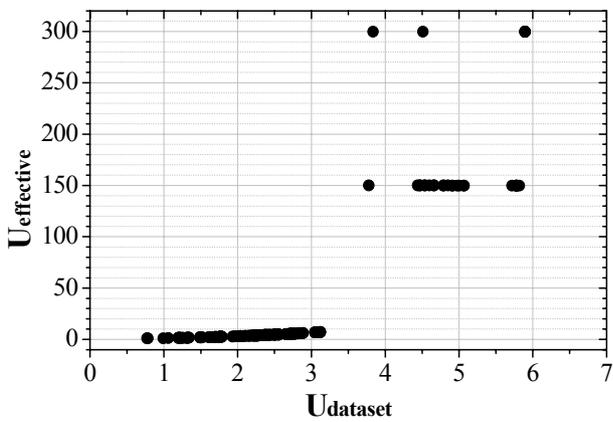
Fig. 4(a)는 EnergyPlus DataSets의 U 값과 도출된 U_{eff} 를 비교한 결과이다. 중공층이 없이 유리로만 구성되어 있는 단층창의 U_{eff} 는 150 혹은 300으로, 매우 높고 일정한 값을 갖는다. 이는 DataSets의 유리 열전도도가 0.9 W/mK로 설정되어 있고, 유리의 두께는 3 mm 혹은 6 mm임에 따라 도출된 결과이다. 반면 다중창의 경우는 유리 사이에 간극이 있어 열관류율이 현저히 낮아진다. 단층창을 제외하고 다중창만을 확대한 Fig. 4(b)로 보아 DataSets의 U 값과 도출된 U_{eff} 값은 눈에 띄는 관계를 가짐을 알 수 있다.

DataSets의 SHGC 값과 기타 계수를 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 투과도와 재흡수도는 SHGC 값과 큰 연관이 있고, 흡수도의 경우는 경향을 벗어나는 경우가 많음을 알 수 있다. N 값의 경우, 변화가 매우 다양함을 알 수 있고, 이 중에서 0.5의 값을 가지는 경우는 모두 단층창의 경우이다. 이를 제외한다면 SHGC가 작을수록 N 값이 작아지면서 분포가 적어짐을 알 수 있다. 반면 기존의 SWM의 N 값을 도출한 결과 창 구조에 상관없이 N 값은 0.5의 값을 보였다.

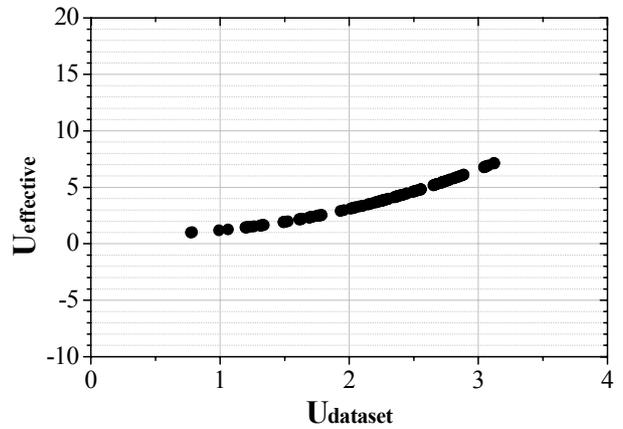
참고로, EnergyPlus의 DataSets의 U 값은 National Fenestration Rating Council에서 규정한 NFRC 100-2010 Winter 조건에서 구해진 값이고, SHGC 값은 NFRC 100-2010 Summer 조건을 기준으로 구해진 값이다.

DataSets의 값과 도출된 계수 사이의 관계를 수식으로 정리하여 사용이 쉽도록 하였다. 이때 단층창과 다중창의 특성계수는 매우 상이한 변화양상을 보이므로 수식화는 다중창을 기준으로 수행하였다. 다중창에 대한 DataSets의 U 값과 특성계수 U_{eff} 값 사이의 관계식은 식(8)과 같으며, 관계식의 결정계수(R-square)는 0.9967의 값을 가졌다.

$$(1/U_{eff}) = 0.95835 - 0.57104U_{dataset} + 0.81508U_{dataset}^2 \quad (8)$$



(a) including single layer glazing system



(b) excluding single layer glazing system

Fig. 4 Comparison of effective U value and the U value of DataSets.

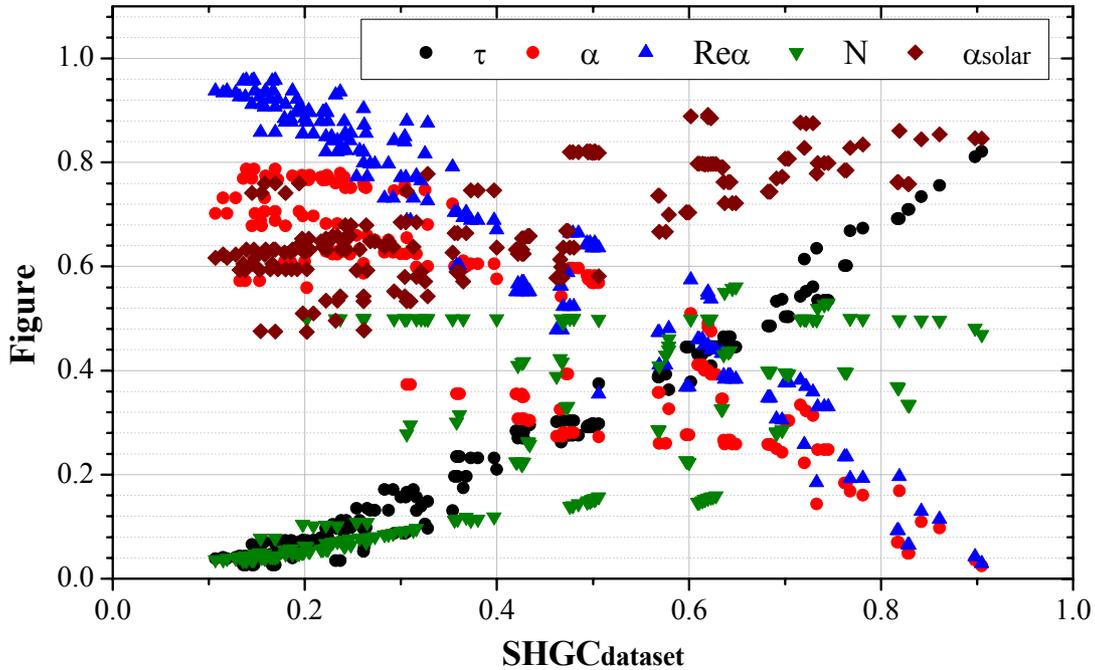


Fig. 5 Comparison of other characteristic coefficients with the SHGC value of DataSets.

이외의 특성계수는 DataSets의 U 값과 $SHGC$ 값의 함수로 구성하였으며, 이때 식(9)와 같은 동일한 형태의 식을 적용하였다. 각 특성계수에 대한 관계식의 상수를 정리하여 Table 5에 정리하였다. 계수가 잘 도출되었는지는 Table 4의 도출방법으로 직접 얻은 값과 피팅하여 얻어진 값을 비교하여 평가되었다. 투과도, 재흡수도, 태양열 흡수율의 경우, 대부분의 데이터가 10% 오차 내에 위치하였지만, 흡수도와 단파복사 분배율의 대부분의 데이터는 20% 내에 위치하였다.

$$\begin{aligned}
 Coeff. = & (C_1 SHGC_{dataset}^2 + C_2 SHGC_{dataset} + C_3) U_{dataset}^2 \\
 & + (C_4 SHGC_{dataset}^2 + C_5 SHGC_{dataset} + C_6) U_{dataset} \\
 & + (C_7 SHGC_{dataset}^2 + C_8 SHGC_{dataset} + C_9)
 \end{aligned} \tag{9}$$

Table 5 Constants of relational expression for each characteristic coefficient

	Transmittance	Absorptance	Reabsorptance	Shortwave radiation distribution ratio	Solar absorptance
C_1	-0.0134413	-0.0741173	0.0080460	0.3685004	0.0087955
C_2	0.0091263	0.1202023	0.0568846	-0.3461032	-0.0245737
C_3	-0.0175155	-0.0509829	-0.0310159	0.0730096	-0.0088317
C_4	0.2155512	0.1145896	-0.2239212	-0.8582648	-0.1904976
C_5	0.0719069	-0.4133142	-0.2754159	0.6374230	0.4849117
C_6	-0.0772660	0.2884780	0.2143280	-0.2034916	-0.0484392
C_7	-0.0900259	0.0203580	0.1882294	-0.0802685	-0.2560087
C_8	0.5362136	-0.5091746	-0.5530456	1.0342213	-0.1282406
C_9	0.0648579	0.4783312	0.7442028	0.0155473	0.6350346

5. 동적 부하해석법 구현을 통한 창호 모델의 결과 비교

제안된 Modified Simple Window Model(MSWM)의 결과를 기존의 창호 모델의 결과와 비교하기 위해 건물의 동적 부하해석법을 구현하였다. 제안된 창호 모델만의 검증은 위해서는 창호 이외의 열전달 요소들의 계산 결과가 EnergyPlus의 계산결과에 상응해야 한다. 이를 위해 EnergyPlus에 적용된 부하해석 알고리즘을 대부분 그대로 사용하였으며, 이외에 몇몇의 요소를 단순화하였다. 본 연구에 적용된 각 열전달 요소의 해석법을 정리하면 Table 6과 같으며, 부하해석법은 Matlab을 통해 구현되었다. 각 열전달 요소들의 수식 및 관계에 대한 설명은 본 논문의 범위를 넘어서므로 생략한다.

건물 냉난방 소비 에너지(냉난방 부하) 평가는 앞서 설정하였던 ANSI/ASHRAE Standard 140의 Case 600 건물모델에 대해 수행하였으며, 4가지의 경우를 비교하였다. 첫 번째 경우는 EnergyPlus의 DataSets에서 제공하는 ASM 정보를 이용한 EnergyPlus 해석결과이고, 두 번째 경우는 DataSets에서 제공하는 SWM 정보를 이용한 경우이다. 세 번째 경우는 MSWM를 이용한 경우로, 이때 피팅식을 이용하는 것이 아니라 Energy-Plus로부터 얻어진 계수를 직접 사용한 경우이다. 마지막 네 번째 경우는 앞서 얻어진 피팅식을 사용하여 MSWM를 수행한 결과이다. 따라서 첫 번째와 두 번째는 EnergyPlus의 결과이며, 세 번째와 네 번째는 Matlab의 결과이다. 각 경우는 순서대로 ASM, SWM, MSWM, MSWM(equ.)로 나타내며, 해석에는 미국 Chicago의 기상데이터를 사용하였다.

Table 6 Analysis method of each heat transfer element applied to dynamic analysis method

Thermal element	Analysis method
Wall conduction	CTF(Conduction Transfer Function) method
Convection	Fixed convection heat transfer coefficient
Solar insolation distribution	MinimalShadowing distribution model
Shortwave/Longwave radiation distribution	The method described above
Internal generation heat	Method using radiation/convection fraction value
Longwave radiation exchange between internal structure	Gebhart method
Indoor temperature change	3rdOrderBackwardDifference model
Air-conditioning system	100% convective air system-ideal system
Zone-System coupled calculation	coupled model using Predictor-Corrector procedure

비교를 위해 EnergyPlus DataSets에서 선정한 창호는 다음 8가지와 같으며, 이때 프레임은 적용되어 있지 않다. 이중창을 기준으로 하되 다양한 코팅 및 내부 기체 조건이 조합되도록 창호를 선정하였다. 창호의 명칭에서 Dbl은 이중창, Trp은 삼중창을 의미하며 Clr은 보통유리, Ref는 한쪽 면에 금속 반사코팅이 적용된 경우이다. 또한 LoE는 저방사 금속 코팅이 적용된 경우이고, mm 단위를 가지는 숫자는 유리의 두께와 공극의 두께를 의미하며 공극에 채워진 기체의 종류는 명칭의 마지막에 표시되어 있다.

• Dbl Clr 6 mm/13 mm Arg(Dbl Clr) (Uvalue : 2.511, SHGC : 0.704)	• Dbl Ref-A-L Clr 6 mm/6 mm Air(Dbl Ref Clr) (Uvalue : 2.714, SHGC : 0.153)
• Dbl Ref-A-L Tint 6 mm/6 mm Air(Dbl Ref Tint) (Uvalue : 2.724, SHGC : 0.166)	• Dbl LoE(e2 = .1) Clr 6 mm/13 mm Arg(Dbl LoE Clr) (Uvalue : 1.493, SHGC : 0.568)
• Dbl LoE(e2 = .1) Tint 6 mm/13 mm Arg(Dbl LoE Tint) (Uvalue : 1.493, SHGC : 0.373)	• Trp Clr 3 mm/13 mm Arg(Trp Clr) (Uvalue : 1.624, SHGC : 0.685)
• Trp LoE(e2 = e5 = .1) Clr 3 mm/6 mm Air(Trp LoE Clr) (Uvalue : 1.525, SHGC : 0.472)	• Trp LoE Film(66) Clr 6 mm/13 mm Air(Trp LoE Film) (Uvalue : 1.22, SHGC : 0.361)

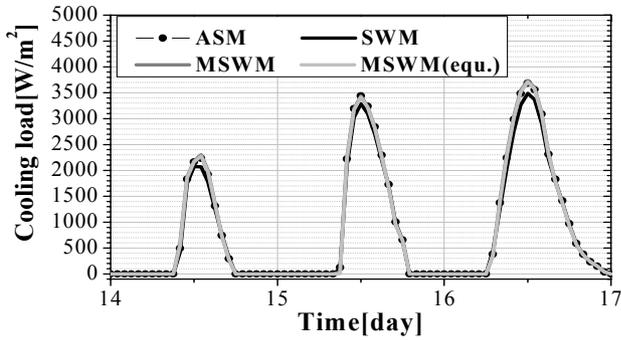
Fig. 6은 8가지 창호에 대해 분석한 7월 14, 15, 16일의 시간별 냉방부하를 비교한 결과이다. 14일에 부하가 발생하지 않는 경우가 있는데, 이는 실내 온도가 설정온도범위인 20℃~27℃ 내에 유지되어 부하가 발생하지 않았기 때문이다. 이러한 결과와 더불어 Matlab으로 구한 부하변화가 EnergyPlus의 결과와 일치하는 것으로 보아 동적 부하해석법은 적절히 구현되었다고 여겨진다. 그림에서 볼 수 있듯이 SWM은 ASM과는 다소 차이를 보이는 경우가 발생함을 알 수 있다. 반면 MSWM을 적용한 결과, 8개의 창호에 대해 전반적으로 결과가 개선되었음을 알 수 있으며 특히 LoE 코팅된 창호에서 눈에 띈 개선을 보였다. MSWM(equ.)는 구해진 계수를 직접 사용하는 것이 아닌 피팅식으로부터 구해진 계수를 사용하므로 ASM과의 차이가 SWM보다는 작지만 MSWM보다는 큼을 알 수 있다. 하지만 결과가 MSWM에 더 근접함으로써 SWM보다 더 개선된 결과를 가졌다.

결과를 정략적으로 비교하기 위해 창호 모델별 연간 총 냉난방에너지와 연중 최대 냉난방에너지를 비교하여 각각 Table 7과 Table 8에 나타내었다. 이때 괄호안의 숫자는 ASM법과의 절대편차를 의미한다. 연간 총 난방 에너지의 경우, Trp LoE Clr을 제외하면 MSWM과 MSWM(equ.)는 SWM보다 개선된 결과를 보였고 MSWM(equ.)은 SWM보다 평균 약 1.5%, 최대 약 3%의 오차가 개선되었다. 마찬가지로 연간 총 냉방 에너지의 경우 또한 MSWM(equ.)은 대부분의 창호에서 SWM보다 개선된 결과를 보였고, Trp LoE Film의 경우의 개선된 오차는 25%였다. 반면 MSWM(equ.)은 MSWM에 비해 오차가 증가하였으며, 이는 구해진 계수를 직접 사용하는 방법(MSWM)이 아닌 실용적인 사용을 위해 U값과 SHGC 값을 입력값으로 하는 계수식을 사용하는 방법(MSWM(equ.)) 사이에서 발생한 차이로 인한 결과이다. 하지만 여전히 SWM보다 오차가 줄었음을 확인할 수 있었다.

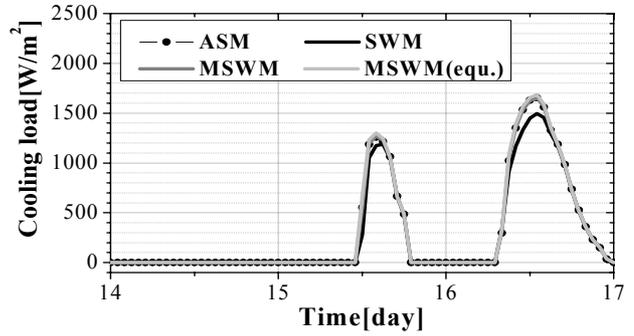
냉/난방에너지의 총합인 연간 총 냉난방 에너지의 경우, 8개의 창호에 대한 ASM와의 절대편차 평균치는 SWM의 경우 0.162 MWh인 반면, MSWM과 MSWM(equ.)은 각각 0.031 MWh와 0.073 MWh로 나타나 제안된 모델을 통해 오차가 크게 개선되었음을 확인하였다.

연중 최대 냉난방에너지는 제안된 모델로 인해 오차가 늘어나거나 줄어드는 경우가 혼재되어 있다. 최대 난방에너지의 경우, MSWM는 SWM에 비해 ASM와의 오차가 더욱 증가하였지만, 최대 냉방에너지의 경우에는 오차가 감소하였다. 하지만 SWM가 큰 오차를 보이는 LoE 창호에 대해서는 큰 개선효과는 보임에 따라 제안된 창호 모델은 LoE 창호의 열적 거동을 자세히 표현할 수 없는 SWM의 한계를 어느 정도 해결하고 있다고 판단된다.

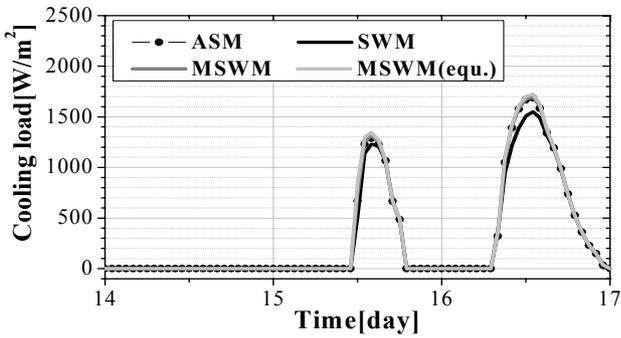
앞선 결과들은 모두 난방기간보다 냉방기간에서 오차가 더 크게 나타나는 경향을 보였다. 이는 냉방기간인 여름철의 실내외 온도차가 작아짐에 따라 창호에 흡수되는 단파복사의 영향이 커지기 때문이라 판단된다. 또한 ASW와 SWM, MSWM의 주된 차이는 흡수된 단파복사의 분배를 어떻게 수행하느냐에 있고, 단파복사의 영향이 커지는 냉방기간에서 제안된 모델의 개선은 두드러졌다. 이로 인해 MSWM은 난방기간과 냉방기간의 오차가 큰 차이가 없었지만, 반면 MSWM(equ.)은 냉방기간의 오차가 증가하였다. 이러한 결과의 원인은 Fig. 5에서 볼 수 있는 N값의 규칙적이지 않은 변화를 하나의 계수식으로 만듦에 따라 발생하는 결과로 여겨지며, U값과 SHGC값 이외의 다른 창호물성을 이용한 계수식을 통해 결과는 개선될 수 있을 것이라 여겨진다.



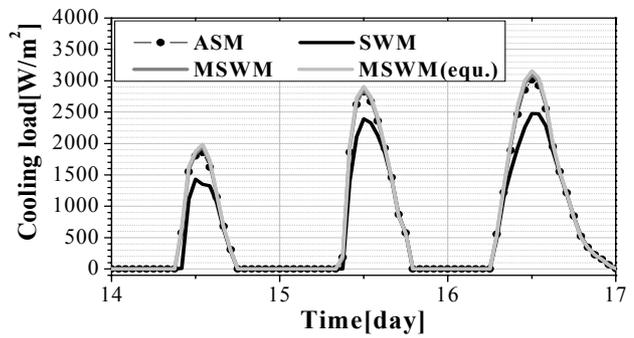
(a) Dbl Clr 6 mm/13 mm Arg



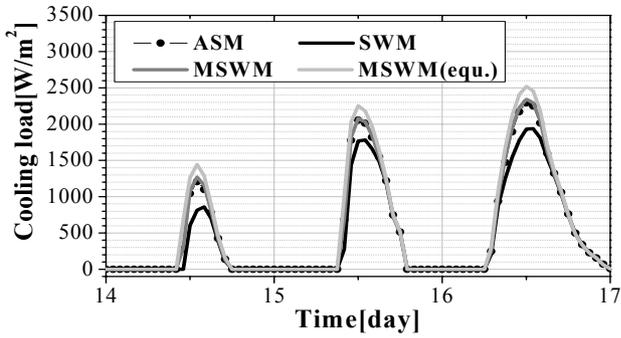
(b) Dbl Ref-A-L Clr 6 mm/6 mm Air



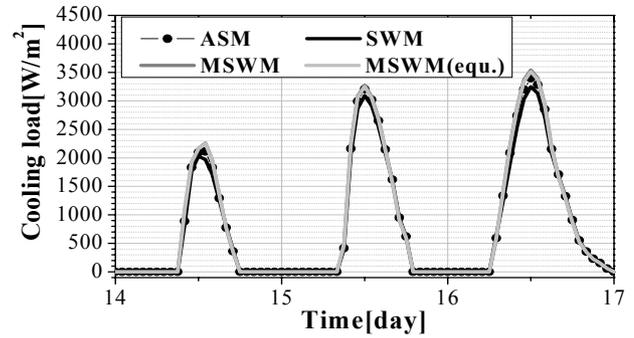
(c) Dbl Ref-A-L Tint 6 mm/6 mm Air



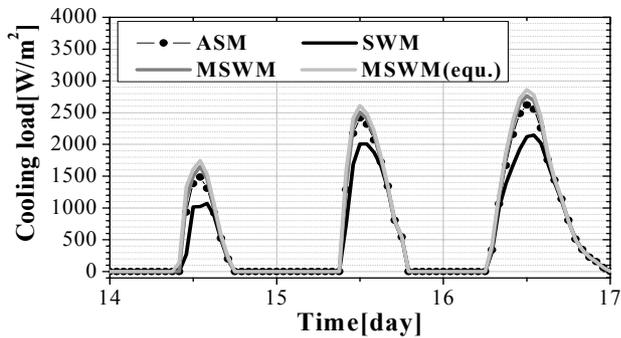
(d) Dbl LoE ($e_2 = .1$) Clr 6 mm/13 mm Arg



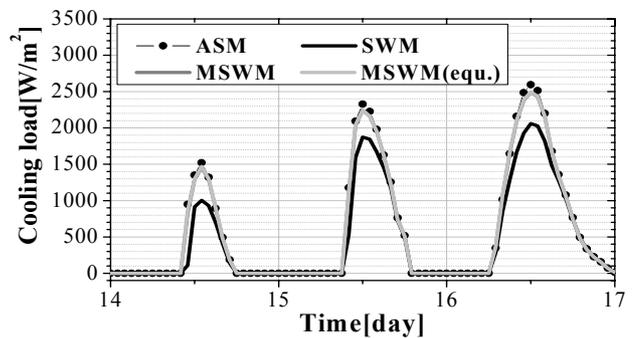
(e) Dbl LoE ($e_2 = .1$) Tint 6 mm/13 mm Arg



(f) Trp Clr 3 mm/13 mm Arg



(g) Trp LoE ($e_2 = e_5 = .1$) Clr 3 mm/6 mm Air



(h) Trp LoE Film (66) Clr 6 mm/13 mm Air

Fig. 6 Comparison of hourly cooling loads by window models.

Table 7 Comparison of annual total heating/cooling energy consumption by window models

Window type	Total heating energy consumption[MWh]				Total cooling energy consumption[[MWh]			
	ASM	SWM	MSWM	MSWM(equ.)	ASM	SWM	MSWM	MSWM(equ.)
Dbl Clr 6 mm/13 mm Arg	5.59	5.47(0.12)	5.64(0.05)	5.63(0.04)	2.44	2.38(0.06)	2.48(0.04)	2.48(0.03)
Dbl Ref-A-L Clr 6 mm/6 mm Air	8.45	8.21(0.24)	8.45(0.00)	8.46(0.01)	0.32	0.29(0.02)	0.32(0.00)	0.33(0.01)
Dbl Ref-A-L Tint 6 mm/6 mm Air	8.44	8.14(0.30)	8.43(0.01)	8.40(0.03)	0.33	0.32(0.01)	0.34(0.01)	0.35(0.02)
Dbl LoE(e2 = .1) Clr 6 mm/13 mm Arg	4.40	4.58(0.18)	4.43(0.03)	4.45(0.05)	1.87	1.52(0.35)	1.90(0.03)	1.96(0.09)
Dbl LoE(e2 = .1) Tint 6 mm/13 mm Arg	5.17	5.32(0.15)	5.19(0.02)	5.08(0.09)	0.94	0.77(0.18)	0.96(0.01)	1.12(0.17)
Trp Clr 3 mm/13 mm Arg	4.48	4.38(0.10)	4.54(0.06)	4.39(0.09)	2.46	2.43(0.03)	2.53(0.07)	2.54(0.08)
Trp LoE(e2 = e5 = .1) Clr 3 mm/6 mm Air	4.94	5.00(0.06)	4.97(0.04)	4.76(0.18)	1.30	1.03(0.27)	1.38(0.07)	1.52(0.02)
Trp LoE Film(66) Clr 6 mm/13 mm Air	4.79	4.96(0.17)	4.79(0.00)	4.75(0.04)	1.19	0.85(0.34)	1.14(0.04)	1.15(0.04)
Mean absolute deviation		0.165	0.026	0.065		0.159	0.035	0.082

() : absolute deviation from ASM.

Table 8 Comparison of annual maximum heating/cooling energy consumption by window models

Window type	Maximum heating energy consumption[kW]				Maximum cooling energy consumption[MWh]			
	ASM	SWM	MSWM	MSWM(equ.)	ASM	SWM	MSWM	MSWM(equ.)
Dbl Clr 6 mm/13 mm Arg	4.54	4.52(0.02)	4.58(0.04)	4.57(0.04)	5.48	5.52(0.05)	5.57(0.09)	5.61(0.14)
Dbl Ref-A-L Clr 6 mm/6 mm Air	4.65	4.66(0.01)	4.71(0.06)	4.73(0.08)	1.75	1.59(0.16)	1.74(0.01)	1.77(0.02)
Dbl Ref-A-L Tint 6 mm/6 mm Air	4.66	4.67(0.01)	4.73(0.07)	4.74(0.08)	1.79	1.65(0.14)	1.79(0.00)	1.82(0.03)
Dbl LoE(e2 = .1) Clr 6 mm/13 mm Arg	3.89	3.85(0.04)	3.80(0.09)	3.82(0.07)	4.26	4.14(0.12)	4.31(0.05)	4.38(0.12)
Dbl LoE(e2 = .1) Tint 6 mm/13 mm Arg	3.89	3.85(0.04)	3.79(0.09)	3.82(0.07)	2.82	2.71(0.11)	2.84(0.03)	3.09(0.27)
Trp Clr 3 mm/13 mm Arg	3.93	3.93(0.00)	3.99(0.06)	3.91(0.02)	5.43	5.46(0.04)	5.39(0.03)	5.37(0.06)
Trp LoE(e2 = e5 = .1) Clr 3 mm/6 mm Air	3.86	3.87(0.01)	3.89(0.03)	3.84(0.02)	3.49	3.28(0.21)	3.51(0.02)	3.73(0.24)
Trp LoE Film(66) Clr 6 mm/13 mm Air	3.70	3.68(0.02)	3.68(0.02)	3.66(0.04)	3.17	2.70(0.47)	3.08(0.09)	3.08(0.09)
Mean absolute deviation		0.017	0.059	0.051		0.161	0.041	0.121

() : absolute deviation from ASM.

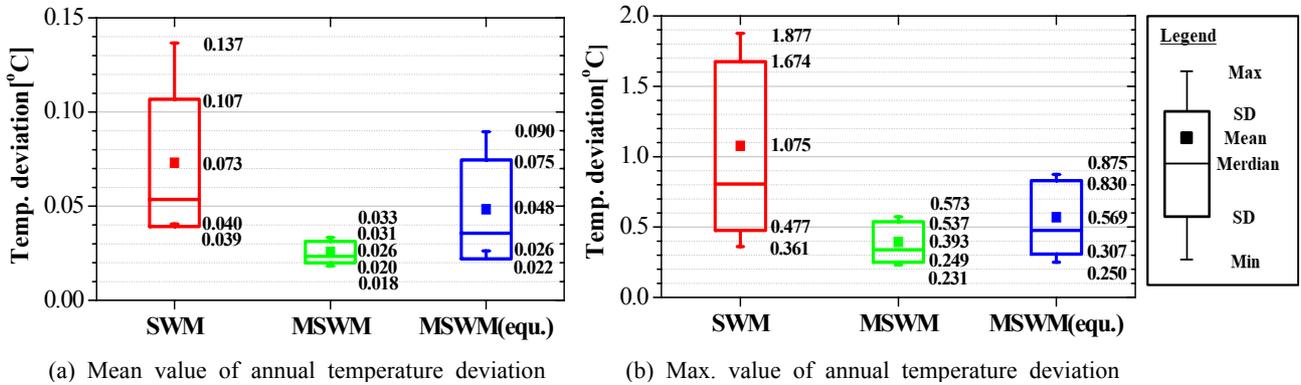


Fig. 7 Absolute deviation of indoor temperature from ASM.

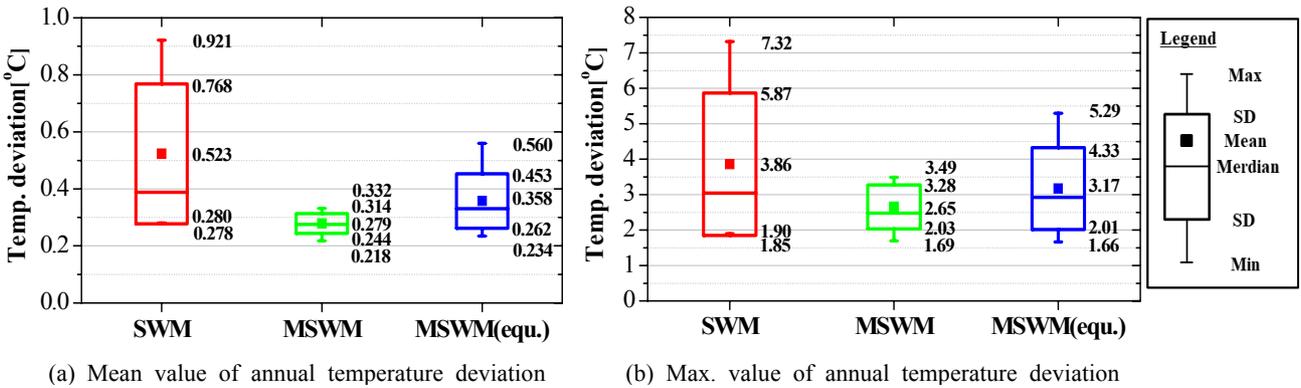


Fig. 8 Absolute deviation of inside face temperature from ASM.

건물의 냉난방부하는 건물 공조시스템과 연관을 갖지만, 건물 내의 실내온도는 재실자가 느끼는 열쾌적성과 연관을 갖는다. 따라서 건물의 주요 평가지표인 실내온도를 함께 분석하였다. 분석지표로는 각각의 창호 모델을 적용하였을 때 발생하는 ASM와의 절대편차로 설정하였으며, Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 각각 1년간 발생한 시간별 절대편차의 평균값과 최대값을 나타낸 것이다. 그림을 통해 MSWM은 SWM에 비해 ASM와의 차이가 눈에 띄게 줄었음을 알 수 있고, 각 창호에 대한 표준편차(SD) 또한 크게 줄어든 것으로 보아 결과의 신뢰성이 더욱 높아졌다고 판단된다. 다만 실용적으로 사용할 수 있는 MSWM(equ.)는 MSWM의 경우보다 오차가 더욱 증가하였지만 SWM에 비해 개선된 결과를 가짐을 볼 수 있다. 특히 연중에 발생된 최대 온도차는 창호에 따라 최대 1.0°C, 평균 0.5°C가 개선되었으므로 MSWM(equ.)을 이용하면 실내온도를 파악할 때 더 정확한 결과를 도출할 수 있다고 사료된다.

결로 현상의 방지를 위해 창호의 내측표면 온도를 평가할 필요가 있으며, 건물의 실내온도와 동일한 방법으로 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. 변화양상으로 보아 실내온도와 유사한 패턴을 가지는데, 이는 창호의 내측면은 실내상태의 영향을 많이 받기 때문이다. 실내온도와 마찬가지로 제안된 창호 모델을 사용함으로써 8개 창호에 대한 절대편차의 폭이 줄어들었으며, 특히 연중 최대 온도차는 창호에 따라 최대 2.0°C, 평균 0.7°C가 개선되었다.

6. 결론

창호는 에너지 다소비 구조체로, 창호의 정확한 열적 거동 평가는 건물의 소비 에너지 평가에 중요한 요소이다. EnergyPlus에서는 6가지의 창호 모델이 적용되어 있으나 이 중에서 카탈로그 등을 통해 쉽게 얻을 수 있는 정보인 열관류율, 태양열획득계수, 가시광선 투과도만을 요구조건으로 하는 실용적인 모델은 Simple Window

Model(SWM)이다. 하지만 SWM은 권장 모델인 Full Spectral Method(FSM) 혹은 이에 근접한 모델인 Average Spectral Method(ASM)와 차이를 보인다는 기존 연구의 지적에 따라 오차원인을 분석하고, 이를 개선할 수 있는 창호 모델을 제안하였다. 연구로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 단순한 존모델에 대해 FSM, ASM, SWM의 EnergyPlus 해석결과를 비교한 결과, ASM는 FSM와 유사한 수준의 결과를 보였지만 SWM은 창호 종류에 따라 큰 차이를 보이기도 하였다. 이러한 오차는 주로 표면에 낮은 방사율을 가지는 재료가 코팅된 창호에서 발생하였다.
- (2) SWM의 오차원인을 열평형상태로부터 평가한 결과, 모든 창을 하나의 층인 equivalent layer로 고려하는 SWM의 가정으로 인해 오차가 발생하는 것으로 분석되었다. 이로 인해 SWM는 창호 종류에 상관없이 흡수된 단파복사가 내외측에 골고루 분포되는 결과를 가졌다. 또한 태양열 흡수율을 단순히 투과도와 흡수도의 합으로 고려하는 과정이 더 큰 오차를 유발하는 것으로 평가되었다.
- (3) SWM의 오차원인을 개선하면서 단순한 대수적인 계산으로부터 창호 상태를 평가하는 창호 모델을 제안하였다. 제안된 창호 모델의 계산을 위해서는 일곱 가지의 창호특성계수(요구되며, 열관류율(U값)과 태양열 획득계수(SHGC값)를 입력조건으로 하는 관계식을 만들어 실용적으로 이용될 수 있게 하였다.
- (4) 제안된 창호 모델을 평가하기 위해 EnergyPlus에 상응하는 결과를 보이는 동적 부하해석법을 Matlab으로 구현함으로써 해석결과를 EnergyPlus결과와 비교하였다. 시간별 부하량 및 연간 냉난방 소비 에너지, 그리고 실내온도와 창호 내표면 온도를 비교한 결과, 제안된 창호 모델은 SWM보다 개선된 결과를 가졌다. 특히 연간 총 냉난방에너지의 경우, SWM는 ASM의 결과와 0.18 MWh의 오차를 보인 반면, 제안된 모델은 0.06 MWh의 결과를 보여 오차가 1/3 수준으로 감소하였다. 반면 년중 최대 소비 에너지에서는 큰 개선을 보이지 못하였지만 실내온도평가에서는 큰 개선효과가 나타났다.

본 연구에서 제안된 창호 모델은 열평형식을 풀기 위해 대수적인 계산만이 요구되면서도 동적해석과 유사한 결과를 가지므로 국내 창호 효율등급 평가 등과 같은 다양한 사례에 실용적으로 이용될 수 있을 것이라 예상된다.

후 기

본 연구는 충남대학교 자체학술연구비의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

References

1. Bjørn, P. J., Andrew, J., Arild, G., Dariush, A., Howdy, G., and Robert, H., 2012, Fenestration of today and tomorrow : A state-of-the-art review and future research opportunities, Solar Energy Material, Vol. 96, pp. 1-28.
2. Lee, S. J., Kim, J. G., Kim, J. H., Jeong, H. G., Lee, J. S., and Jang, C. Y., 2015, A Comparative Evaluation on the Thermal insulation Performance of Windows according to the Temporary Improvement Method, The International Journal of KIEAE, Vol. 15, No. 1, pp. 77-82.
3. Yoon, J. H., Park, J. W., Kim, H. J., Lee, C. S., and Shin, U. C., 2009, Software Development on a Thermal Performance Evaluation and Economic Analysis of Window System for an Early Design Stage, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 1, pp. 24-31.
4. Huang, Y. J. and Brodrick, J., 2000, A Bottom-Up Engineering Estimate of the Aggregate Heating and Cooling Loads of the Entire US Building Stock, Lawrence Berkeley National Laboratory Report, LBNL-46303.
5. Marin, T., Jarek, K., and Handrik, V., 2015, Comparison of Simplified and Detailed Window Models in Energy Simulations, Proceeding of REHVA Annual Conference, pp. 26-31.
6. Yoon, Y. B. and Lee, K. H., 2014, Annual Building Energy Simulation Software-EnergyPlus, Magazine of the SAREK, Vol. 43, No. 9, pp. 30-37.
7. Neal, K., Chuck, B., and Craig, C., 2012, COMPARISON OF ENERGYPLUS AND DOE-2 DETAILED WINDOW

- HEAT TRANSFER MODELS, Fifth National Conference of IBPSA-USA, pp. 537-544.
8. Winkelmann, F. C., 2001, MODELING WINDOWS IN ENERGYPLUS, Seventh International IBPSA Conference, pp. 457-464.
 9. EnergyPlus Documentation-EngineeringReference.
 10. Lam, T. C., Ge, H., and Fazio, O., 2014, Study of difference glazing modelling approaches in assessing energy performance of curtain wall systems using EnergyPlus, In eSIM 2014 Conference Proceedings, International Building Performance Simulation Association.
 11. Dariush, A., Christian, K., and Brent, G., 2009, Modeling Windows in EnergyPlus with Simple Performance Indices, Lawrence Berkeley National Laboratory Report, LBNL-2804E.
 12. Lyons, P., Wong, J. and Bhandari, M., 2010, A COMPARISON OF WINDOW MODELING METHODS IN ENERGY-PLUS 4.0, Fourth National conference of IBPSA-USA, pp. 177-184.