

노후 학교건물의 창호 교체에 따른 부하분석

Analysis of Heating and Cooling Load Profile According to the Window Retrofit in an Old School Building

이예지(Ye Ji Lee)¹, 김주욱(Joo Wook Kim)², 송두삼(Doo Sam Song)^{3*}

¹성균관대학교 건설환경시스템공학과, ²성균관대학교 건설환경연구소, ³성균관대학교 건설환경공학부

¹Dept. of Civil, Architectural and Environmental System Eng., SungKyunKwan University, SuwonSi, 16419, Korea

²Center for Built Environment, SungKyunKwan University, SuwonSi, 16419, Korea

³School of Civil, Architectural Eng., and Landscape Architecture, SungKyunKwan University, SuwonSi, 16419, Korea

(Received July 11, 2017; revision received August 3, 2017; Accepted: August 11, 2017)

Abstract The purpose of this study is to analyze heating and cooling load variation due to envelope retrofits in an old school building. In a previous study, envelope retrofit of an old school building resulted in annual energy consumption reduction. However, cooling energy consumption increased with the envelope retrofit. This is because of high internal heat generation rates in school buildings and internal heat cannot escape through windows or walls when the envelope's thermal performance improves. To clarify this assumption, thermal performance changes due to envelope retrofits were analyzed by simulation. Results revealed indoor temperature and inner window surface temperature increased with high insulation level of windows. Indoor heat loss through windows by conduction, convection and radiation decreased and resulted in an increase of cooling load in an old school building. From results of this study, energy saving impact of envelope retrofits in an old school building may not be significant because of high internal heat gain level in school buildings. In case of replacing windows in school buildings, local climate and internal heat gain level should be considered.

Key words Old building(노후건물), Analysis of load(부하분석), Retrofit of window(창호변경), Simulation(시뮬레이션), Internal heat generation(내부발열)

* Corresponding author, E-mail: dssong@skku.edu

기호설명

E_i : 창호로 입사하는 내부의 장파 복사 [W/m^2]

ϵ_i : 유리면 i 의 방사도 [-]

σ : 스테판볼츠만 상수 [-]

θ_i : 유리면 i 의 온도 [K]

k_i : 유리 레이어 i 의 열전도도 [W/m^2K]

h_i : 내표면 대류 전도도 [W/m^2K]

T_i : 실내 공기 온도 [K]

S_i : 유리면 i 에 흡수된 실내 열원으로부터의 장/단파 복사 [W/m^2]

1. 서 론

최근 국토교통부에서 발표한 ‘전국 건축물 현황’을 보면 2016년 기준으로 준공 후 30년 이상 된 노후 건축물이 국내 전체 건물의 약 36%에 이르는 것으로 나타났다. 학교건물의 경우도 예외가 아니어서 전국 1만 1천여 개 이상의 학교건물 중 과반수가 준공한지 30~40년이 지난 노후 건물이다.⁽¹⁾ 이러한 노후 건물은 상대적으로 많은 에너지를 소비하고 있으며,^(1,2) 정부는 신축뿐만 아니라 기존 건물에 대한 에너지 개수(retrofit)를 통해 건물 에너지 소비량을 대폭 감축하는 방안을 추진하고 있다.⁽³⁾ 특히 학교건물의 경우에는 건물의 노후화, 대형기기/

설비의 도입, 컴퓨터 기반 수업의 증가로 에너지 사용량이 급격히 증가하고 있다. 또한 기존 냉난방시스템이 설치되지 않았던 교실에 냉난방시스템(EHP)이 추가 설치되면서 학교에서 소비하는 전체 에너지 중 전기에너지 사용량의 비율이 높아지고 있다.⁽⁴⁾ 이러한 노후 학교건물의 에너지 소비량 감축을 위해 개보수가 이루어지고 있으며 주로 조명기기 교체, 실내 냉난방시스템 개선 및 추가 등이다. 그러나 부분적인 개보수만으로 에너지 절감이 어려워 보다 적극적인 보수방안으로 외피의 단열성능 및 기밀성능 강화 등의 대책이 요구되고 있다.⁽⁵⁾ 이에 본 연구에 앞서 선행 연구에서는 노후 학교건물을 최신의 건축물에너지절약설계기준에 따라 외피를 변경하는 경우의 에너지 절감효과를 분석하였다. 그 결과, 기존 노후건물의 외피 단열성능을 강화할 경우, 난방 에너지 소비량은 다소 감소하나 냉방에너지 소비량은 증가하는 결과를 확인하였다.⁽⁶⁾ 이와 유사한 결과로 Lee et al.은⁽⁷⁾ 오피스건물의 내부발열 수준, 외피 단열수준별 건물 냉난방에너지 소비량을 분석한 결과, 내부발열 수준이 낮은 주거건물과 달리 내부발열 수준이 높은 오피스 건물에서 외피 단열성능을 강화하는 경우에는 냉방에너지 소요량이 증가하여 결과적인 연간 에너지 소요량의 증가를 보였다.

이어 본 논문에서는 위와 같이 상대적으로 내부발열 수준이 높은 노후 학교건물에 대해 외피 단열성능 강화가 실내 온열환경 및 냉난방부하에 미치는 영향 및 요인을 상세히 분석하고자 한다.

2. 분석의 개요

2.1 분석 대상 건물 개요

분석 대상 학교건물은 경기도 김포시에 위치한 J고등학교(Fig. 1)이며 그에 대한 시뮬레이션 모델링은 Fig. 2와 같다. 대상건물에서 단위 교실을 대상으로 분석을 실시하였으며 개요는 Table 1과 같다. 분석대상 교실은 중간층에 위치하며 다른 교실에 인접하고 있다. 내부발열 조건과 운영스케줄은 Table 2와 같다. 시뮬레이션은 EnergyPlus를 이용하였으며, 기상데이터는 EnergyPlus에 구비되어 있는 인천지역 기상데이터를 적용하였다. 재실인원은 교육부 기준에 따라 고등학교 기준인 30명으로 가정하였으며, 내부발열은 남학생은 1.0(met.),

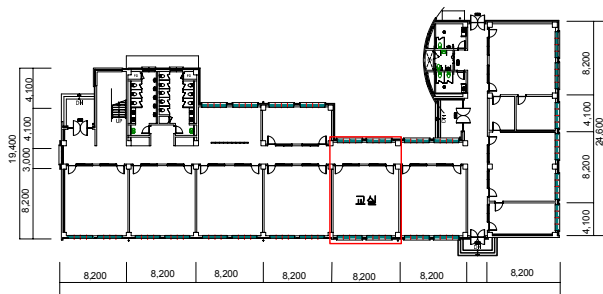


Fig. 1 Simulation object-high school floor plan.

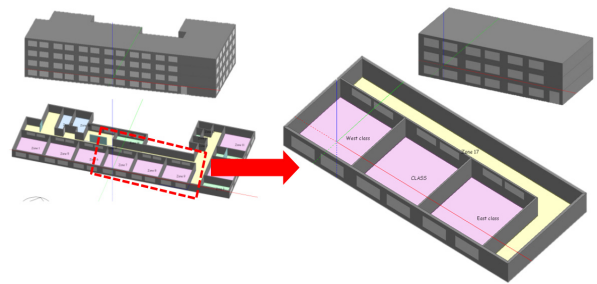


Fig. 2 Modeling by design builder.

Table 1 Information of the analyzed classroom

Class	Orientation	South
	Volume(m ³)	182.45
	Area(m ²)	70.17
	Occupants(person)	30
Object envelope	Wall Area(m ²)	21.32
	Window Area(m ²)	9.6
	WWR(%)	45.03

Table 2 Internal gain

Human	Heat generation	99 W/person (Latent Fraction 0.5)
	Metabolic rate	0.9
	Clo ⁽⁸⁾	Summer : 0.44, Winter : 1.11
Light	Heat generation	15 W/m ²
	Illumination	300 lux
Infiltration ⁽¹⁰⁾	All days	0.74 ac/h
	Summer	Jun~Sep
	Winter	Nov~Feb
Schedule	Weekday	08 : 50~17 : 20
	Weekend	Off

여학생은 0.8(met.), 평균 0.9(met.)로 설정하였다. 착의량(Clo)은 ASHRAE에서 제시한 값을 기준으로 계절별 남녀 교복 착의량을 산정하였다.⁽⁸⁾ 조도는 학교보건법에 따라 300(lx)로 선정하였다.⁽⁹⁾ 칩기율은 노후 학교건물의 실측 데이터를 기반으로 설정하기 위해 1980년대에 지어진 학교건물에서 실측한 연구결과를 참고하였다.⁽¹⁰⁾ 외피 변경에 따라 자연상태에서의 실내 온도, 냉난방부하 변동을 분석하기 위해 별도의 냉난방시스템은 설정하지 않았다. 건물의 벽체 구성은 Table 3과 같으며 내부발열은 스케줄은 고등학교 수업시간을 반영하여 평일 08 : 50~17 : 20, 주말에는 등교하지 않는 것으로 설정하였다.

2.2 분석 방법

외피 변경에 따른 실내 온도변화, 냉난방부하 변동에 대한 분석은 상세한 벽체 열류분석이 가능한 Energy-Plus를 사용하였다. EnergyPlus는 미국 에너지성(DOE : Department of Energy)에서 개발한 에너지 해석 프로그램으로 기상데이터(epw)를 이용하여 건물의 동적열부하 및 에너지 소비량을 산출하는 프로그램이다. EnergyPlus는 건물 냉난방부하를 산출하는 방법으로 열평형법(Heat Balance Method)을 기본으로 하고 있다. 열평형법은 공간의 현열부하를 산정하는 두 가지 방법(가중계수법, 열평형법) 중에서 더 기본적인 방법으로 밀폐된 공간에 대해 여러 세트(set)의 에너지 평형(energy balance) 방정식을 통해 미지의 표면온도와 공기온도를 동시에 계산한다. 결과적으로 열전달 과정의 선형성과 시불변(Time-Invariant) 특성과 같은 방법을 적용할 경우에 요구되는 가중은 열평형 방법에서는 필요하지 않다. 열평형법에서는 한 영역에서 공기온도가 균일하다고 가정한다.⁽¹¹⁾

Fig. 3과 같이 N장의 유리로 구성된 창호의 경우, 2N개의 면이 발생하는데 이 면에 대해 열평형식을 세워 부하를 분석한다.^(12, 13) 열평형식은 각 레이어마다 존재하는데 본 연구의 경우, 최종적으로 외피를 통한 열류가 실내에 미치는 영향을 파악하기 위함으므로, 외피의 내표면과 실내와의 열교환에 의한 것으로 판단하여 이에 해당하는 실내로 향하는 창호 표면과 실내와의 열평형식을 고려해 부하를 분석하였으며 식은 다음과 같다.

$$E_i \epsilon_4 - \epsilon_4 \sigma \theta_4^4 + k_2 (\theta_3 - \theta_4) + h_i (T_i - \theta_4) + S_4 = 0 \quad [W/m^2] \quad (1)$$

각 항을 살펴보면, 1항은 내부에서 창문으로 입사하는 장파복사에 대한 방사율(emission rate), 2항은 유리 내표면의 총 방사량, 3항은 Glass layer #2의 전도열량, 4항은 내측 유리 내표면과 실내 공기와의 대류 열전달량, 5항은 내부 열원으로부터 유리표면에 흡수되는 장/단파 복사량을 의미하며 기호에 대한 설명은 앞서 설명되어 있다. 각 항의 단위는 W/m^2 이다. 본 연구는 단열성능이 강화된 창호 변경에 따른 실내로의 영향을 분석하기 위한 것이므로 위 식을 근간으로 EnergyPlus에서의 창호로부터의 열 취득량을 요소별로 정리하여 부하를 분석하였다.

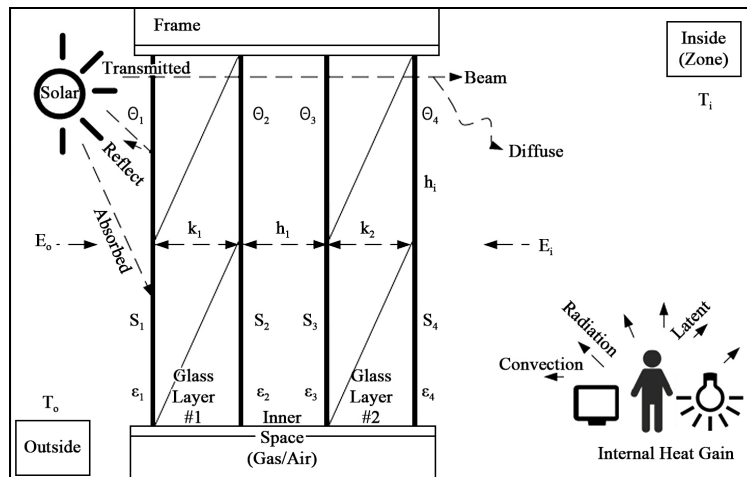


Fig. 3 Modeling for heat balance equation of double window.

Table 3 Analyzed case

Case	Window		Wall		SHGC [-]	Note
	Year	U-value [W/m ² K]	Year	U-value [W/m ² K]		
1	1996	3.37				
2	2010	2.4				
3	2013	2.1	1996	0.58	0.7	Window thermal resistance enhanced
4	2015	1.5				
5	1996	3.37			0.4	Window SHGC enhanced

2.3 분석 케이스

분석케이스는 Table 3과 같다. 본 연구에서는 현재 노후 학교건물의 에너지 절감 방안으로 가장 많이 검토되고 있는 창호교체에 따른 에너지 절감효과를 분석하고자 하였다. 따라서 외부 창호를 제외한 나머지 벽체는 모두 단열(Adiabatic)조건으로 가정하였으며 기타 출입문의 개폐는 고려하지 않았다. Case 1~Case 4는 대상 학교건물 창호의 단열성능을 1996년(Case 1)에서 각각 2010년, 2013년, 2015년의 건축물의 에너지절약설계기준에 따라 강화시킨 경우이다. 즉 1996년 기준으로 건축된 기존 학교건물을 최신의 단열성능 기준에 따라 창호를 교체하는 경우이다. Case 5는 기존건물의 창이나 벽을 교체하기 보다는 유리에 코팅을 통해 창을 통한 일사취득율(SHGC)을 0.7에서 0.4로 낮춘 경우이다. SHGC는 ‘Solar heat gain coefficient’의 약자로써 태양으로부터 받는 열 취득량의 지표로 창호 유리의 특성을 나타내는 값이다. 0~1 사이의 수로 표현하며 0에 가까울수록 태양열 취득이 적다는 것을 의미한다. 현재 국내에는 SHGC 기준이 마련되어 있지 않다. 현재 국내 건물에 적용되는 유리의 일사취득율(SHGC)은 0.38에서 0.64까지 다양하다. 본 연구에서 설정한 0.4는 한국패시브건축 협회에서 국내 기후특성을 고려하여 제시한 값이다. 본 연구에서는 기존 학교건물의 창호 교체 시 자연상태(냉난방을 가동하지 않은 상태)에서의 실내 형성온도 그리고 실내 설정온도를 냉방 26℃, 난방 21℃로 설정한 경우의 냉방부하, 난방부하를 산정하였다.

3. 분석 결과

3.1 연간 단위면적당 냉난방부하 분석

Fig. 4는 각 검토케이스에 대한 분석 대상교실의 단위면적당 연간 냉난방부하 변화이다. Case 1~Case 4, 즉 기존 학교건물인 Case 1에 대해 각각의 건축물에너지절약설계기준에 따라 창호를 교체한 경우, 전체 연간 냉난방부하의 합은 약간씩 감소하나 그 변화폭은 매우 작은 것으로 나타났다. 난방부하, 냉방부하를 분리하여 분석하면 창호교체에 따라 난방부하는 감소하나 냉방부하는 오히려 약간씩 증가하는 결과를 보였다. 이 결과는 본 연구에 선행하여 수행했던 연구와 유사한 결과를 보인다.⁽⁶⁾ 이 결과를 통해 기존 학교건물에 대해 단순히 창호를 교체하는 것으로는 에너지 절감 효과가 미미하다는 것을 알 수 있다. 아울러 창과 벽체를 교체하기 보다는 기존 창에 코팅을 통해 창을 통한 일사열취득율(SHGC)을 낮춘 경우(Case 5), 냉방부하는 크게 감소하나 난방부하 또한 크게 증가하여, 결과적으로 연간 냉난방부하의 합이 개수 전(Case 1)보다 증가하는 것을 알 수 있다.

3.2 창호 단열성능 강화

Fig. 5는 창호의 단열성능 강화(Case 1~Case 4)에 따라 냉방기에 형성되는 실내 최고온도 및 해당 시간대의 실내측 유리 표면온도를 보이고 있다. 검토일은 6월 21일이며 내부발열과 일사의 영향으로 가장 높은 실내 온도를 보이는 오후 3시의 결과이다. 창호의 단열성능을 높이면 높일수록 실내 형성온도는 높아지는 것을 알 수 있다. 창호의 실내측 표면온도도 단열성능이 강화되면 될수록 높아지는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 창을 최신의 단열성능기준에 따라 교체할 경우, 여름철 실내 형성온도는 높아지는 것을 알 수 있다.

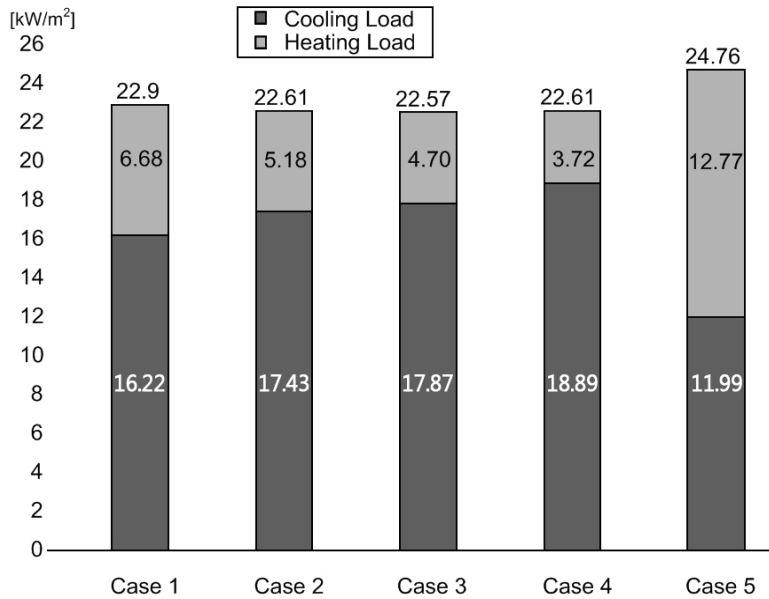


Fig. 4 Annual heating and cooling load per area in the analyzed class.

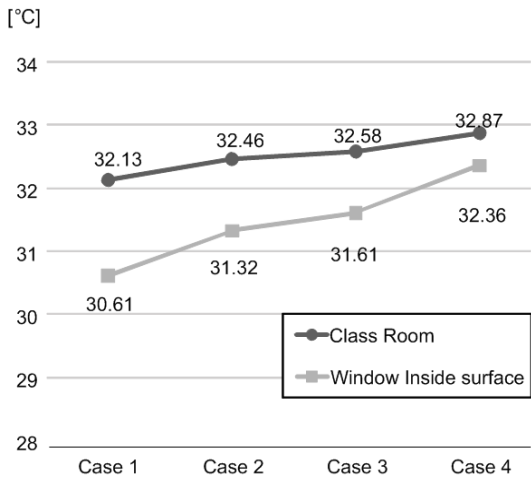


Fig. 5 Indoor and window surface temperature changes according to the window U-value changes.

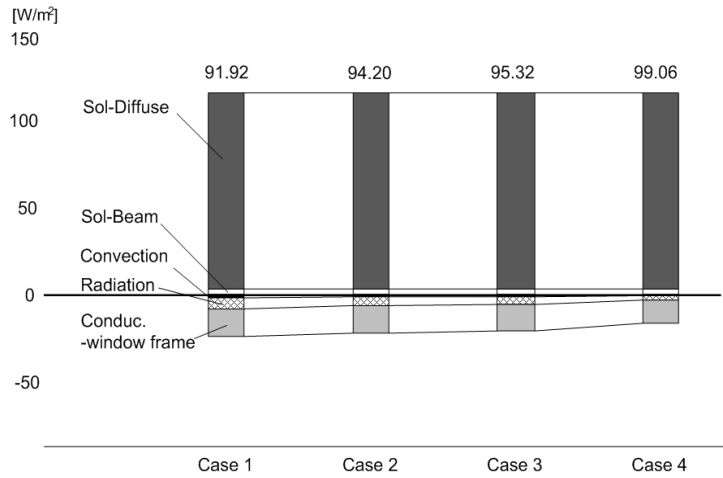


Fig. 6 Cooling load profiles of window according to window U-value changes.

Fig. 6은 Fig. 5와 동일한 6월 21일 오후 3시의 창호의 단열성능 강화(Case 1~Case 4)에 따른 냉방부하를 요소별로 정리한 결과이다. Case 1~Case 4는 SHGC 값이 동일하기 때문에 창을 통한 직달일사(solar-beam) 및 확산일사열(solar-diffuse) 취득량은 동일하다. 그러나 창호의 열관류율 차이에 따라 창을 통한 열손실(convection, radiation, conduction through window frame)은 열관류율이 낮아짐에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 Fig. 5의 교실의 실내온도와 실내측 창표면 온도차이가 열관류율이 낮아지면 감소하는 결과를 통해서도 알 수 있다.

Fig. 7은 난방기(12월 19일 오후 1시)에 형성되는 실내 온도 및 그 때의 실내측 유리 표면온도를 보이고 있다. 난방기와 마찬가지로 창호의 단열성능 강화로 인해 실내와 실내측 창 표면온도는 상승하는 결과를 보이고 있다. Fig. 8은 Fig. 7과 동일한 날의 오후 1시의 난방부하를 요소별로 정리한 것이다. 창호의 SHGC 값이 동일하기 때문에 창을 통한 일사열 취득(solar-beam, solar-diffuse)은 모든 케이스에서 동일하다. 그러나 창호의 단열성능이 향상됨에 따라 창을 통한 전도, 대류, 복사 열손실은 감소하는 것을 알 수 있다.

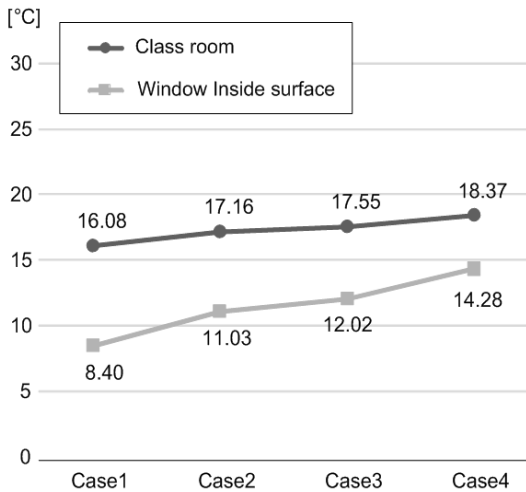


Fig. 7 Indoor and window surface temperature changes according to the window U-value changes.

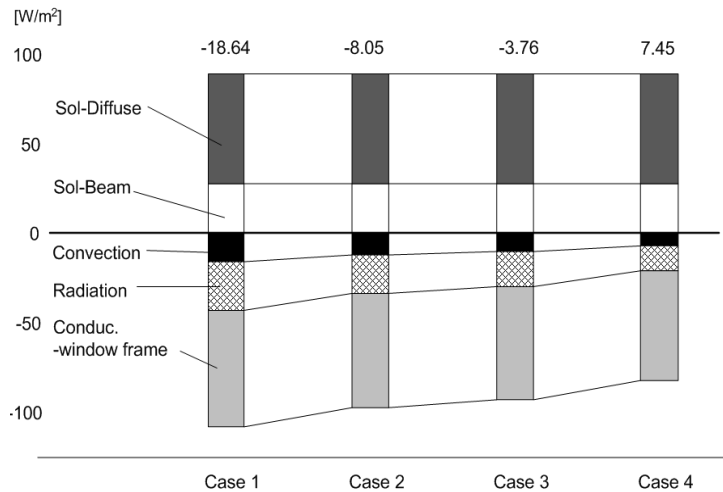


Fig. 8 Heating load profiles of window according to window U-value changes.

3.3 창호 SHGC 강화

창호의 단열성능 변화 없이 SHGC를 0.7(Case 1)에서 0.4(Case 5)로 변경하는 경우, 즉 일사열 취득을 줄이는 경우이다. Fig. 9는 냉방기인 6월 21일 오후 3시의 Case 1과 Case 5의 교실 및 창측 내표면의 온도 변화를 비교한 결과이다. 기존 노후건물의 경우 창호의 SHGC 값은 0.7이었으나 Case 5는 SHGC 값이 0.4로 낮아져 실내 형성온도 및 창호 내표면 온도가 Case 1 대비 전부 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 창을 통한 일사열 취득이 감소했기 때문이다.

Fig. 10의 경우 Fig. 9와 동일한 일자, 시간에 대해 냉방부하를 요소별로 정리한 것이다. SHGC 값을 낮추는 경우, 직달일사(solar-beam)와 확산일사열(solar-diffuse) 취득량이 감소한 것을 확인할 수 있다. 이 외의 창측 실내의 표면온도차 저감에 따라 열손실(convection, radiation, conduction through window frame) 또한 감소하였음을 알 수 있다. 따라서 창호의 SHGC를 낮추는 경우, 일사열 취득이 감소하여 결과적으로 냉방부하가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

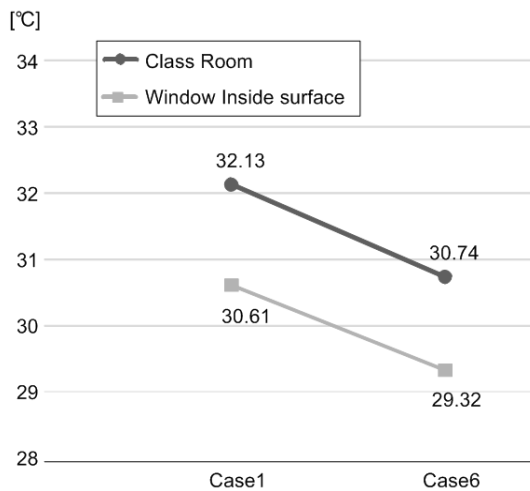


Fig. 9 Indoor and window surface temperature changes according to the window SHGC changes.

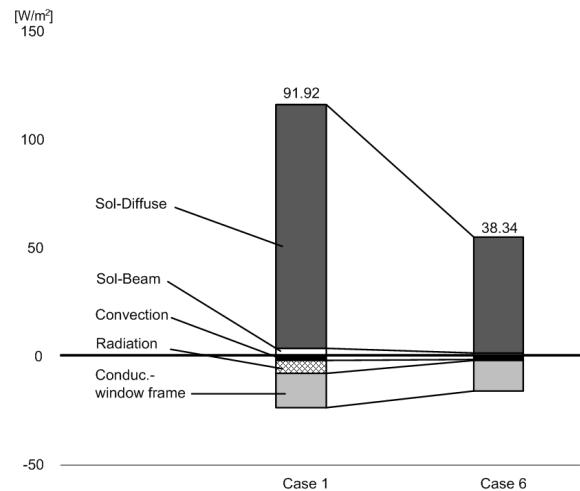


Fig. 10 Cooling load profiles of window according to window SHGC changes.

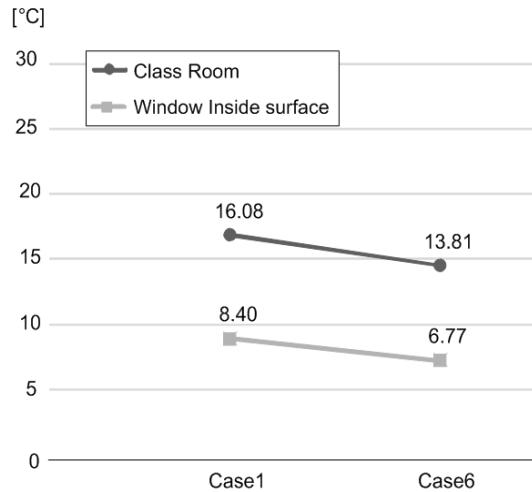


Fig. 11 Indoor and window surface temperature changes according to the window SHGC changes.

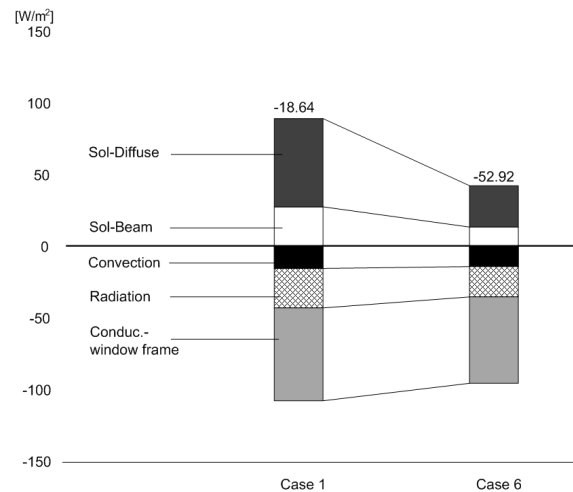


Fig. 12 Heating load profiles of window according to window SHGC changes

Fig. 11은 난방기인 12월 19일 오후 1시의 SHGC 변경에 따른 실내 형성온도, 창측 내표면 온도를 보이고 있다. 냉방기와 마찬가지로 SHGC 값을 낮은 유리로 교체함에 따라 실내온도 및 창호 내표면 온도가 하강함을 알 수 있다. 또한 Fig. 12에 Fig. 11과 동일한 일시의 요소별 난방부하를 분석한 결과를 보이고 있다. 기타 열손실은 약간 감소하였으나 일사열 취득이 급격히 감소함에 따라 전체적으로 난방부하가 증가하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4의 결과에서 알 수 있듯이 창호 유리의 SHGC 값을 0.7에서 0.4로 낮추는 경우, 냉방 부하는 감소하나 난방부하가 증가하여 연간 전체 냉난방부하의 합은 증가하는 결과를 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 노후 학교건물에 대해 창호 교체를 통해 창호의 단열성능 강화, 창호의 SHGC 값을 변경하는 등 노후 학교건물의 창호 개선에 따른 실내 온열환경 변화, 냉난방부하 변동을 시뮬레이션 분석을 통해 상세히 분석하였다. 본 연구에서는 제시되었던 유사한 결과에 대해 그 원인을 면밀히 검토할 수 있도록 다양한 분석을 실시하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

- (1) 기존 노후 학교건물의 창호를 최신의 단열설계기준에 의거하여 교체한 경우, 전반적으로 난방부하는 감소하나 냉방부하는 다소 증가하는 결과를 보였다. 결과적으로 내부발열 수준이 비교적 높은 학교건물은 냉방 부하가 점점 증가하는 추세에 있어 에너지 절감 차원에서 단순히 창호를 교체하는 경우, 오히려 전체적인 냉난방에너지 소비의 증가를 초래할 수 있음을 시사하고 있다.
- (2) 연간 부하분석과 더불어 창호 단열성능 강화에 따른 요소별 부하분석을 실시하였다. 단열성능을 강화한 창호로의 교체로 실내온도 및 창호의 내표면 온도가 상승하였다. 창호 교체 시 일사 취득량은 동일하나 단열성능 강화로 실내와 내표면간 온도차가 감소하고 전도, 대류, 복사의 열류 이동이 감소하였다. 이는 실내 열이 외부로 배출되지 못해 냉방부하의 증가, 난방부하의 감소를 야기하였음을 알 수 있다.
- (3) 창호의 SHGC 값을 낮추는 방안으로 창호의 성능을 변화시킨 경우, 일사 취득량이 크게 감소하여 냉방부하 감소에는 도움이 되나 난방부하를 증가시키는 원인이 되었다. 따라서 노후 학교건물의 창호 교체 시 내부 발열 수준, 열관류율과 SHGC 값을 동시에 검토하여 연간 냉난방부하의 합이 가장 작은 값을 나타내는 창호 물성치를 선택하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2017년 국토교통부의 재원으로 도시건축연구사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(과제 번호 : 17AUDP-B099686-03).

References

1. Park et al., 2009, Development of determine model for renovation of old school buildings, KEDI, pp. 4-5.
2. Choi et al., 2013, Study on Greenhouse Gas Reduction in School, National Institute of Environmental Research, pp. 36-39.
3. Ministry of land, infrastructure and transport, 2017 green remodeling support service.
4. Shin J. A., 2012, Research of Energy Consumption and Energy Consumption structure by Education Building's Cooling and Heating System, pp. 2-64.
5. Ministry of land, infrastructure and transport, 2015, Standard of Building Energy Saving design.
6. Lee, Y. J. and Song, D. S., 2016, Analysis of an energy saving effect with the envelope retrofit of school building, SAREK, pp. 91-94.
7. Lee, J., Kim, J., Song, D., Kim, J., and Jang, C., 2017, Impact of external insulation and internal thermal density upon energy consumption of buildings in a temperate climate with four distinct seasons, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 75, pp. 1081-1088.
8. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, p. 19.
9. School Health Act, enforcement regulation article 3 section 1 number 1 asterisk 2-3-Ga.
10. Kim et al., A Case Study of Characteristics of Energy Consumption of a High School Education Facilities, 2011, pp. 99-104.
11. ASHRAE Handbook-Fundamentals, Chapter F. 18.
12. Engineering reference, input output reference, Energy Plus.
13. Joo, S. H., Kim, J. Y., and Shin, H. J., 2010, A Comparative Study on Educational Structure thermal load simulation with Heat Balance method, SAREK, pp. 1531-1535.