



기존 학교 건물의 외피 성능 개선 방안에 관한 연구

The Improvement of Building Envelope Performance in Existing School Building

방아영* · 박세현** · 김진희*** · 김용재**** · 김준래*****

Bang, Ah-Young* · Park, Se-Hyeon** · Kim, Jin-Hee*** · Kim, Young-Jae**** · Kim, Jun-Tae*****

* Dept. of Architectural Engineering, Kongju National Univ., South Korea (aayoung90@kongju.ac.kr)

** Coauthor, Dept. of Architectural Engineering, Kongju National Univ., South Korea(sehyun1091@kongju.ac.kr)

*** Coauthor, Green Energy Technology Research Center, Kongju National Univ., South Korea(jimy@kongju.ac.kr)

**** Coauthor, Dept. of Architectural Engineering, Kongju National Univ., South Korea(ena@enadesign.com)

***** Corresponding author, Dept. of Architecture, Kongju National Univ., South Korea(jtkim@kongju.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study is to investigate the effects of facade insulation and window remodeling of an existing old middle school building on the reduction of energy consumption. **Method:** To analyze energy performance of building, using DesignBuilder v3.4, building energy simulation tool based EnergyPlus engine. Energy consumption and problem of target building was analyzed based on data and survey. Based on building energy simulations it analyzed the variation of energy demand for the building according to U-value of wall, glazing properties and external shading devices. **Result:** When insulation of building was reinforced, cooling and heating load was decreased. Glazing properties that minimize cooling and heating energy consumption were analyzed. In conclusion, it is important to choose SHGC and U-value of window fit in characteristic of target building. Setting external blind for cooling load decreases 5%.

KEYWORD

그린 리모델링
노후 중학교 건물
건물 에너지 소비량
창호 요소
외부 블라인드

Green remodeling
Existing old school building
Building energy consumption
Window element
External blind

ACCEPTANCE INFO

Received May 18, 2015

Final revision received June 30, 2015

Accepted July 1, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경

급변하는 사회 환경 변화는 건물 기능의 고도화와 다양화를 요구하고 있으며, 노후화가 진행된 건물은 현재 요구되는 건물의 에너지 성능을 만족하지 못하고 있다. 노후 건물의 기능을 향상시켜 거주자의 쾌적성 확보 및 건물 성능 향상의 필요성이 증대됨에 따라 건축물의 리모델링이 각광받고 있다.

학교 건물은 에너지 절약 측면에서뿐만 아니라 교육 과정의 변화, 인구의 변화 등 학교 시설의 변화가 발생되어[1] 이에 따른 기존 건물의 리모델링의 필요성이 점차 강조되고 있다. 한 보고서에 따르면 교육 시설의 50% 이상이 20년 이상 경과된 노후 건물이다.[2] 실제로 국내에서 노후 학교 시설에 대한 개축 사업이나 그린리모델링 사업, 그린스쿨 사업 등의 제도가 시행되었다. 그러나 기존 건물에 대한 정확한 분석 없이 리모델링이 실행되어 실질적인 에너지 절약 및 쾌적성 향상에 크게 기여하지 못하는 문제가 발생하기도 한다. 따라서 학교 건물의 특성을 파

악하여 전략적인 리모델링 대안을 설정하는 것이 중요하다.

건물은 용도 및 사용 패턴에 따라 냉난방 부하 비중이 다르며, 건물의 외피 부하는 창호 성능 및 단열에 따라 크게 좌우된다. 특히 외피의 상당 부분을 차지하고 있는 창호를 통한 열의 손실 및 획득은 건물의 냉난방 부하에 크게 영향을 미친다.

일반적인 교실은 자연채광의 유입을 최대화하기 위하여 대부분 남향에 배치되어 있고, 창면적비가 약 40% 이상이다. 그러나 창호에 대한 계획이 미흡하여 주간에 과도한 일사 유입으로 인한 현회 발생 및 균제도 불균형을 초래하게 된다. 또한 여름철의 과도한 냉방 부하와 겨울철 난방 부하를 발생시켜 에너지 사용량 증가를 야기하고 있다. 따라서 쾌적한 빛 환경 조성 및 냉난방 부하 절감을 위한 일사 조절장치 등이 포함된 창호 및 외피 설계는 매우 중요하다.

1.2. 연구의 목적 및 방법

본 연구는 학교 건물의 에너지 절감을 위한 효율적인 리모델링 방안을 제시하는데 목적이 있다. 이를 위해 노후 중학교 건물을 대상으로 그린 리모델링을 위한 외피 설계 요소를 제안하고 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 성능 평가를 실시하였다. EnergyPlus 엔진 기반의 건물에너지 시뮬레이션 툴인 DesignBuilder v3.4를

이용하여 각 요소별 에너지 소요량에 대해 비교·분석하였다.

2. 선행 연구 분석

Zinzi[3]는 에너지 절감을 위해 기존 학교 건물의 리모델링을 통한 연간 에너지 절감량을 확인하였다. 노후화로 인하여 건물의 에너지 성능이 저하되었다고 판단되는 학교 건물을 선정했고, 건물의 특성을 고려하여 외피 단열의 강화, 창호 교체, 원격 에너지 제어 시스템의 도입, PV 적용 및 기계 환기 설비를 적용했다. 대상 건물은 단열에 매우 취약하였으며 또한 설비의 성능 저하로 인해 연간 에너지 사용량 중 약 90% 이상이 난방을 위해 사용되었다. 리모델링을 통해 연간 약 42%의 에너지가 절감 될 것으로 예상했으며, 실제 사용량을 일정 기간 모니터링 한 결과 예상 대비 약 10% 더 절감되는 것으로 분석되었다. Santoli[4]는 학교 건물의 성능을 향상시키고 동시에 기회비용을 최소화하기 위한 효과적인 리모델링 전략을 분석하였다. 이를 위해 지역의 사립학교에 대한 정보를 구축하였다. 또한 규모, 적용 기술, 건물의 특성에 따라 리모델링 계획을 달리 적용하여 각각 경제성 분석을 통해 효율적인 방안을 제시하였다. Ma[5]는 기존 건물의 리모델링은 전 세계적으로 에너지 및 탄소 배출 절감을 위한 중요한 요소이며, 또한 저비용으로 지속가능한 건물 달성을 위한 방법 중 하나라고 결론지었다. 그리고 적절한 리모델링 요소와 최적의 설계 대안 설정을 위해 체계적인 접근 방법을 제시하였다. 건물의 특성 분석, 경제성 분석, 위험 요소 분석, 에너지 절감의 확인 등 다양한 분석이 중요하다고 하였으며, 현재 주요 적용되고 있는 리모델링 요소와 미래의 기술에 대한 분석을 진행했다. Gasparella[6]는 건물의 에너지 성능은 창호의 특성에 따라 달라지기 때문에 효과적인 창호 설계를 위해 성능 요소 별로 민감도를 분석 했다. 난방에 유리한 설계와 난방에 유리한 설계는 다르며 이에 따른 적절한 설계가 요구된다고 보고 했다. 창호의 성능 요소 중 단열, 투과율, 창면적비 및 방위 등을 고려하여 회귀 분석을 통해 하절기·동절기 기간의 피크부하 절감을 위한 적정 창호 성능 분석이 중요하다고 결론지었다. Lee[7]는 서로 다른 타입의 창호를 건물에 적용하여 연간 냉난방 및 조명에너지 사용량을 최소화 할 수 있는 창호의 성능을 도출하였다. 열관류율(U-value), 일사획득계수(SHGC; Solar Heat Gain Coefficient), 가시광선 투과율(VLT; Visual Light Transmittance), 창면적비(WWR; Window to Wall Ratio) 등을 통해 아시아 5개국의 기후 차이에 따른 최적의 설계 값을 제안하였다. Hee[8]는 에너지 절약과 빛 환경 측면에서 창호의 설계는 매우 중요하다고 하였다. 창호의 물성치, 방위 및 기후 별로 에너지 절감률 및 경제성 분석을 통해 건물의 특성과 환경에 적절한 창호의 최적 설계안을 제시하였다. 또한 투광조절형 창호 및 태양광(PV) 창호 등 고효율의 특수 창호에 대해 분석하였고 경제성 등을 고려하여 고성능 건물에 적용하는 것이 효율적이라고 제시하였다.

3. 대상 건물 분석

3.1. 대상 건물 현황

대상 건물은 충남 천안에 위치하며, 1995년 4월 5일에 개교한

공립중학교이다. 철근콘크리트 구조형식이고 4층 규모의 연면적은 약 5,776㎡이다.(Table 1.)

Table 1. Overview of B-middle school

Location	Chungnam, Cheonan
Founded	1995.4.25
Application	Middle school
Configuration	Classroom : 26, Other : 26
Total floor area	5776.18 m ²
EHP (Electric Heat Pump)	Cooling COP : 2.4 Heating COP : 2.8
Electric Radiator	Toilet (1.5 kW)

각 실에는 EHP가 설치되어 있으나 냉난방 기기 작동 시간에 제한을 두기 때문에 성장기 학생들이 거주하기에 온열 환경적으로 열악한 상황이었다. 각 층 화장실에는 1.5 kW용량의 전기라디에이터가 설치되어있으며, 대상건물의 전체적인 외관은 Fig. 1.과 같다.



Fig. 1. Photo of the B-Middle School

본관 건물은 교실, 업무 공간 등으로 구성되어 있으며 별관 건물에는 식당, 체육관 시설이 있다. Fig. 2와 같이 개별 교실의 크기는 9m(W)×7.5m(D)이며, 편복도형으로 이루어져있다.

과목별로 교실이 나뉘져 있으며 2, 3, 4층 중앙에는 각 학년 별 Home base가 있는데 주로 학생들이 쉬는 시간이나 점심시간에 이용하고 있다. 학생들의 휴식 공간임에도 불구하고 간헐적으로 사용되기 때문에 냉난방은 거의 하지 않았다.

3.2. 벽체 구성 및 창호 구성

대상 건물의 에너지 성능평가를 위하여 설계도면을 바탕으로 기존 벽체 및 창호 등 외피설계 요소를 분석하였다. 외벽과 최하층 바닥에는 50 mm 두께의 EPS 단열재가 적용되어 열관류율 값이 각각 0.633 W/m²K, 0.579 W/m²K이다. 지붕에는 60 mm 두께의 EPS 단열재가 적용되어 열관류율 값이 0.52 W/m²K 인 것으로 확인되었다. 외벽 창호는 3 mm 투명 유리로 적용한 알루미늄이중창으로 구성되어 있다. 열관류율 값은 창호의 낮은 열 성능을 고려하여 단창 유리와 동일하게 5.897 W/m²K로 설정하였다. 건물 각 부위의 구성 및 열관류율 값은 Table 2.와 Table 3.과 같다.

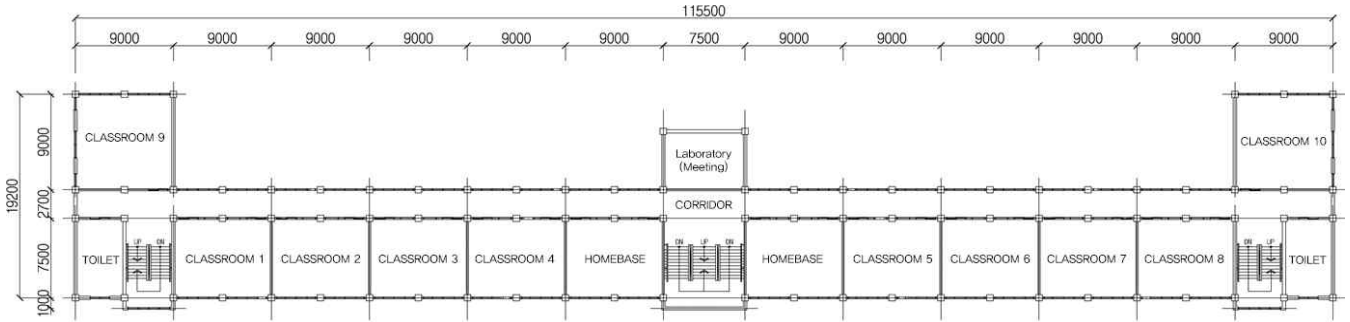


Fig. 2. Typical floor plan

Table 2. Properties of building envelope

	Material	THK. (mm)	Thermal conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	U-value (W/m ² K)
External wall	Concrete	200	2.5	2400	0.633
	Mortar	24	0.88	2800	
	EPS	50	0.04	1400	
	Plasterboard	13	0.25	2800	
Internal wall	Con block	200	2.5	2400	1.533
Ground floor	Granite	30	2.8	2600	0.579
	mortar	15	0.88	2800	
	Concrete	120	2.5	2400	
	EPS	50	0.04	1400	
	sand	100	1.21	840	
Internal floor	Tile	30	0.85	2000	1.612
	Concrete	150	2.5	2400	
	Plasterboard	6	0.25	2800	
Roof	Mortar	24	0.88	2800	0.520
	Concrete	130	2.5	2400	
	EPS	60	0.04	1400	
	Plasterboard	6	0.25	2800	

Table 3. Glazing description

	Type	SHGC	U-value (W/m ² K)
Win1	Clear 3T, Double window	0.703	5.897
Frame	Aluminium		

3.3. 내부 발열 요소

대상 학교는 교과교실제로 운영되어 학생이 항상 교실에 상주하지 않고 시간표에 따라 해당 과목의 교실로 이동하기 때문에 교실에는 재실자가 없는 경우가 발생하게 된다. 이에 따라 교실의 운영 스케줄은 2014년도 시간표를 근거로 하였다. 또한 재실스케줄은 조명부하, 기기부하, 냉난방기기부하, 인체 발열부하 등 건물의 에너지 소비패턴을 결정짓는 변수 중 하나로 작용된다. 따라서 교사의 야근 또는 방학 중 특별 교실 운영 등 최대한 실제 운영 시간에 대한 정보를 수집하였다. 학교 시설의 경우 교육청 등에서 권고하는 범위 내에서 수업일수가 정해지기 때문에 상대적으로 명확한 사용 스케줄 설정이 가능하다. 각 실에서 사용되고 있는 기기는 24시간 운영되는 냉장고, 온수기와 스케줄에 따라 작동되는 사무기기로 구분하였다. Table 4.와 같이 현장 조사를 토대로 건물의 조명밀도와 장비밀도가 산정되었다.

3.4. 대상 건물 에너지 성능 분석

3.4.1. 실제 전기 에너지 사용량 분석

대상 건물은 가스에너지와 전기에너지가 열원으로 사용되고 있다. 가스에너지의 경우 주로 본관 건물과 분리되어있는 급식실에서 조리를 위해 사용되고 있다. 따라서 본 연구는 가스에너지를 제외하고 전기에너지 사용량으로 한정하여 분석하였다.

한국전력의 I-smart[9] 서비스는 실시간, 일별, 월별 전력 사용량과 요금정보 그리고 요금 예측 등 실시간 전기 에너지 사용량과 탄소 배출량에 대한 정보를 제공하고 있다. 사용자가 전력 수요를 인지하고 절약 할 수 있도록 마련된 서비스이며, 대상 건물의 연간 총 전기 에너지 사용량은 매년 증가하고 있는 추세를 보이고 있다.(Fig. 3.)

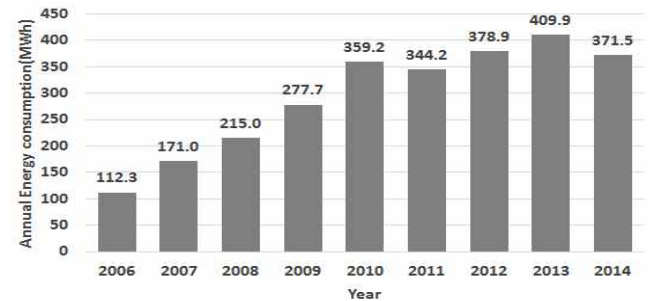


Fig. 3. Annual Electric energy use of B-middle school

3.4.2. 건물의 전기 에너지 소요량 및 부하 분석

I-smart에서 제공하는 실시간 전력사용량 데이터는 별관이 포함된 학교 전체의 전력 사용량이다. 따라서 본 연구에서는 실제 사용량과 시뮬레이션 값을 비교하기 위해 전체 건물을 모델링하였고, 리모델링 요소에 대한 분석은 별관을 제외한 본관을 대상으로 실시하였다. 대상건물의 에너지 소비 특성을 파악하고자 수집한 자료를 근거로 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 모델링을 수행하였다. 기상 데이터는 한국패시브건축협회[10]에서 제공하는 2000년도부터 2009년까지 천안 지역의 10년간 평균 기상데이터를 사용하였다.

시뮬레이션에서 냉난방 설정 온도 및 환기량은 Table 5.와 같으며, 학교 보건법[11]과 에너지절약설계기준[12]에 근거하여 가정치를 사용하였다.

Table 4. Details of building use, energy density & schedule

Room type	Area (m ²)	Occupancy (people/m ²)	Lighting (W/m ²)	Device (W/m ²)		Schedule		Occupancy schedule		
				Computer	Other	Semester	Vacation	Start	End	
General classroom	65	0.49	7.88	6.25	3.91	√		Time Table		
Home base	65	0.49	7.88	-	-					
Special classroom	Computer	78	0.41	9.85	169.23	3.21	√			
	Science	128	0.25	8.00	3.13	1.95	√			
	Language	78	0.41	9.85	169.23	3.21	√			
	Wee class	78	0.41	9.85	6.25	3.91	√			√
Teacher	Library	130	0.25	3.94	5.13		√	09:00	18:00	
	Principal	65	0.02	7.88	6.25	1.25	√	09:00	18:00	
	Teacher	65	0.26	7.88	62.5	6.41	√	√	09:00	18:00
Office	Laboratory(Meeting)	39	0.13	13.13	52.63	10.79	√	√	09:00	21:00
	Administration	65	0.078	7.88	31.25	46.88	√	√	09:00	18:00
	Night-duty	65	0.02	7.88	3.85	5.84	√		18:00	08:00
	Audio	65	0.02	7.88	9.23	1.85	√		12:30	15:30
	Print	32.5	0.03	7.88	25	12.5	√		09:00	18:00
	Counseling	65	0.02	11.82	6.25		√		09:00	18:00
Corridor, Toilet	Nurse	32.5	0.03	7.88	12.5	4.69	√		09:00	18:00
	Corridor, Toilet	580, 30	-	1.09, 0.9	-	0.43, 5	√	√	09:00	18:00
Gym	Gym toilet	39	-	0.72	-		√		09:00	18:00
	Cafeteria	302	0.66	4.45	-		√		12:00	13:30
	Cooking	167	0.03	3.07	-	97.38	√		10:00	14:30
	Gym	554	0.06	9.48	-		√		Time Table	

Table 5. Indoor set point temperature, ventilation

Set point	Heating	20 °C
	Cooling	26 °C
Ventilation rate	21.6 m ³ /h/people	

시뮬레이션의 침기울 값을 위해, 대상 건물의 기밀성능을 파악 하 하고자 블로어 도어 테스트를 진행하였다. Fig. 2.에 명시된 ‘CLASSROOM 4’ 교실을 대상으로 실험을 실시하였으며, 실험을 통해 도출된 결과 값을 모든 실에 동일하게 적용하였다. 실내 외의 압력차가 50 Pa인 경우 침기량은 11ACH로 분석되었다.(Table6.)

Table 6. Infiltration rate

Model	KNS-5000C
Measurement method	KS L ISO 9972
Infiltration rate	ACH ₅₀ 11

Fig. 4.는 실제 전기 에너지 사용량과 시뮬레이션을 통한 전기 에너지 소요량 결과를 비교한 그래프이다. 모델링 결과 실제 에너지 사용량과 다소 차이는 있으나 월별 사용 패턴은 유사한 것을 알 수 있다. 2014년도에 소비된 전기에너지량과 시뮬레이션을 통해 분석된 에너지 소요량을 비교해보면 월별 평균 15%차이로 분석되었으며, 연간 약 10%의 차이가 발생되는 것으로 분석되었다. 시뮬레이션을 통해 분석된 연간 전기 에너지 소요량은 본관의 경우 약 377 MWh, 별관은 약 86.8 MWh로 나타났으며, 단위 면적당 96.9 kWh/year·m², 87.81 kWh/year·m² 의 전기 에너지가 소비되는 것으로 분석되었다.

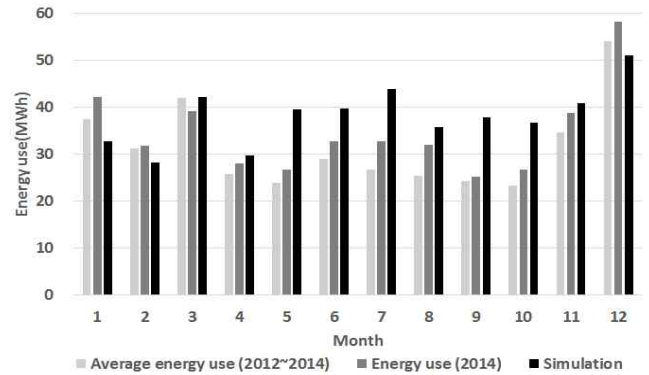


Fig. 4. Comparison of Electric energy consumption

그래프에서 보면, 에너지사용은 11월부터 증가하여 12, 1월 동절기의 에너지사용량이 큰 것을 알 수 있다. 이는 방학기간 에도 보충수업 등으로 에너지사용량이 큰 것으로 확인되었으며 이에 따라 시뮬레이션에서도 방학기간 스케줄 값에 반영하였다. 동절기에 실제 에너지사용량이 시뮬레이션 값보다 높은 것은 건물의 노후화에 따른 큰 열손실로 개별난방 기기 사용이 증가했기 때문으로 파악되었다. 또한 하절기에 에너지 사용량이 시뮬레이션 값보다 낮은 것은 시뮬레이션에서는 재실스케줄에 따라 냉방기기를 운영하지만 실제로 에너지 절약을 위해 자연 환기 또는 선풍기 등을 사용하기 때문인 것으로 조사되었다.

Fig. 5.는 시뮬레이션을 통해 분석된 연간 전기 에너지 소요량 분포를 나타낸 그래프이다. 각 실에서 사용되는 기기 장비에 의한 전력 사용량이 전체 에너지 소요량 중 37%로 가장 많았고, 냉난방 에너지는 각각 24%, 조명 에너지는 15%로 분석되었다.

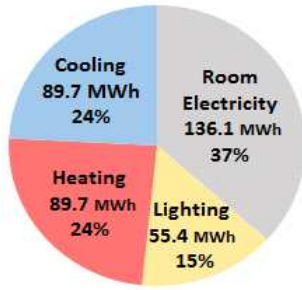


Fig. 5. Annual Electric energy consumption distribution

4. 리모델링 기술 요소 적용 방안

대상건물의 에너지 성능 분석을 통해 리모델링 요소 기술의 적용 가능성, 중요도 등을 고려하여 리모델링 요소를 선정하였다. 대상 건물은 전체 에너지 사용량 중 냉난방에너지 사용 비율이 약 절반가량이며, 최근 냉난방 설비의 교체는 이루어 졌으나 단열 기준이 미흡했던 시기에 설립되어 현재의 기준과 비교했을 때 단열 성능이 매우 취약한 상황이다. 또한 창호는 3mm의 단창으로 이루어져 냉난방 에너지 절감을 위해 고효율 창호의 적용이 필요하다고 판단하였다. 대상 건물의 외피 중 창호가 약 40%를 차지하고 있는 만큼 창호의 성능은 건물의 에너지 소비에 많은 영향을 끼치기 때문에 SHGC, VLT, U-value 등을 각각 다르게 설계하여 적절한 대상 건물에 가장 효과적인 창호의 물성치를 도출하고자 하였다. 또한 교실의 외벽 창호는 남향에 위치하여 동절기에는 난방부하 절감에 유리하였지만 하절기 과도한 일사 유입으로 인해 실내가 과열되는 문제가 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 개폐가 가능한 외부 블라인드와를 적용하였고, 리모델링 요소에 대한 분석 방안을 Fig. 6.과 같이 나타냈다.

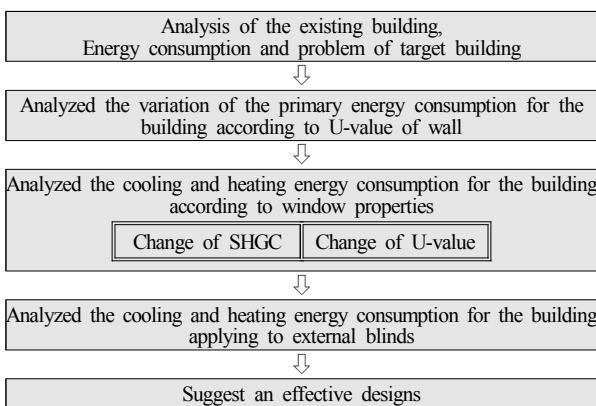


Fig. 6. Retrofitting steps for the school building

5. 리모델링 기술 요소 설계

본 건물은 2012년도에 단순 외피 도색 및 인테리어 변경, 복도와 교실 사이의 창호 변경이 이루어졌다. 그러나 준공 당시 법규

를 만족하는 최소 단열기준으로 설계되었기 때문에 창호 및 벽체 등 건물 외피를 통해 다량의 에너지가 손실되고 있는 상황이었다.

따라서 대상 학교 건물의 에너지 소비 특성 분석을 바탕으로, 냉난방 에너지 절감을 위해 세 가지의 리모델링 요소를 선정하였다. 즉 외피의 단열 성능 향상, 고효율 창호로 교체, 창호의 외부 블라인드 적용을 통해 에너지성능 시뮬레이션을 수행하였다.

5.1. 외피 단열 강화

선행연구를 통해 외피 단열에 대한 중요성이 입증되었다.[13] 본 연구에서는 외벽, 지붕, 최하층 바닥의 열관류율이 현행 법규 기준을 만족하도록 각 부위의 단열 성능을 강화하였다. 외벽과 최하층 바닥의 EPS 두께를 100mm 증가시켰고, 지붕은 150mm 추가하여 Table 7.과 같이 단열 성능을 약 2배 이상 강화 하였다.

Table 7. U-value variation of the building envelope components

	Base case	Increasing thickness	Insulated case
	U-value (W/m ² K)	EPS(mm)	U-value (W/m ² K)
External wall	0.633	100	0.245
Roof	0.520	150	0.176
Ground floor	0.579	100	0.237

5.2. 창호 성능 변경

대상 건물의 경우 냉난방 에너지의 사용 비율이 일반 비주거용 건물과 같이 뚜렷한 경향을 보이지 않는다. 이에 따라 건물의 에너지 사용 비율 분석을 통한 적절한 창호의 설계가 필요하다. 이에 본 연구에서는 Table 8.과 같이 창호의 설계 대안을 선정하였다.

Table 8. The window system properties used in simulation

	Layer		SHGC	U-value (W/m ² K)
	Type	IGDB		
Win1	6CL+12Air+6CL	5012	0.703	2.704
Win2	6CL+12Air+6Lowe	4351	0.663	1.774
Win3	6CL+12Air+6Loweblue	11060	0.408	1.611
Win4	6CL+12Air+8Loweblue	11455	0.324	1.605
Win5	6CL+12Ar+6Lowegreen	11686	0.573	1.365
Win6	6CL+12Ar+8Lowegreen	11461	0.468	1.273
Win7	6CL+12Ar+6Lowegray	4379	0.360	1.281

모든 창호는 기존의 알루미늄 프레임에서 PVC 프레임으로 변경하였고, Win1은 투명 유리가 적용된 일반 복층창, Win2~Win7은 로이복층창이다. 복층 창호의 두께는 24mm(6mm+12mm+6mm)로 모두 같으며 실내 측 유리의 종류와 증공층에 주입되는 가스의 종류를 변경하였다. Win2, Win3, Win4는 열관류율 값은 비슷하지만 SHGC 값이 각각 0.66, 0.40, 0.32인 로이복층창이다. Win5, Win6, Win7은 아르곤가스를 주입하여 단열을 강화한 로이 복층창이며, 각각의 SHGC 값은 약 0.57, 0.46, 0.36으로 변화를 주었다.

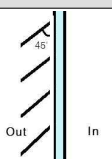
5.3. 일사 조절 장치 적용

건물에서 창면적비의 증가는 과도한 일사 유입과 복사열로 인해 실내환경 및 건물 에너지 소비 측면에서 불리한 영향을 끼치게

된다. 이에 따라 블라인드 종류, 길이, 각도 별 분석 등[14] 일사를 효과적으로 차단 또는 획득하기 위한 연구가 진행되고 있다. 또한 2015년 5월부터 차양 장치 또는 일사 조절장치의 설치가 일부 건물을 대상으로 의무화되는 등 직달 일사를 차단하여 하절기 냉방 부하 절감 및 태양열의 실내 유입을 조절하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 시각적 측면과 일사 차단을 고려하여 Table 9와 같이 45° 각도의 외부 블라인드를 각 교실의 남측 창에 적용하여 하절기 냉방 에너지 절감량을 분석하였다. 특히 외부 블라인드는 열 환경적 측면에서 일사가 창에 도달하기 전에 차단이 가능하므로 내부 블라인드에 비해 효과적일 것으로 판단하였다.

Table 9. External blind design

External Blind	
Slat angle	45°
Slat width	50 mm
Slat separation	48 mm
Operation	May~September



6. 리모델링 기술 요소 적용에 따른 에너지 성능비교

대상 건물은 연간 에너지 사용량 중 약 절반가량이 냉난방을 위해 소비되는 건물로 앞서 설계된 리모델링에 요소를 적용하여 냉난방 에너지 절감 효과를 분석하였다.

6.1. 외피 단열

기존의 학교 건물에 단열성능을 향상시키기 위해 단열재의 두께를 증가시켜 열관류율을 현재 법규 수준으로 강화하였다. Fig. 7은 단열강화 이전 건물과 연간 냉난방 에너지 소요량을 비교한 그래프이다. 연간 냉난방 에너지 소요량이 179.36 MWh에서 171.78 MWh로 약 5% 감소되었으며, 단위 면적당 냉난방 에너지 소비는 약 46.12 kWh/year·m²에서 약 44.17kWh/year·m² 절감된 것으로 분석되었다. 또한 난방 에너지는 약 8% 절감되었으나 냉방 에너지 절감량은 미미한 것으로 나타났다.

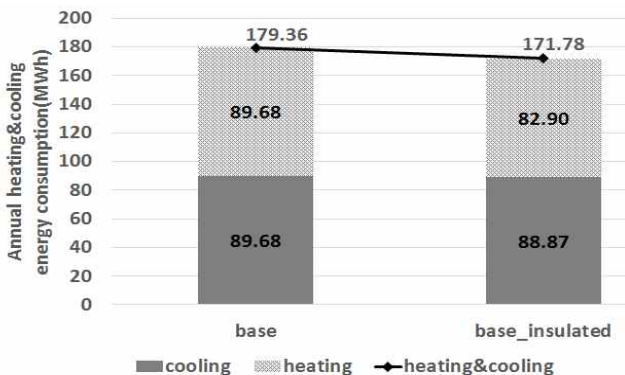


Fig. 7. Annual Electric energy consumption according to enhanced insulation

6.2. 창호

단열을 강화한 뒤 앞서 설계한 창호를 적용했을 때 연간 냉난방 에너지 소요량은 Fig. 8과 같이 분석되었다. SHGC 값이 낮아질수록 일사획득량이 줄어들기 때문에 냉방부하는 감소되었지만 난방부하가 증가되었다. 그리고 SHGC 값이 0.4에서 일정 수준 이하로 낮아지게 되면 오히려 난방부하가 크게 상승하여 전체 냉난방 에너지 소요량이 증가되는 것으로 분석되었다. 냉방에너지는 상대적으로 SHGC 값이 낮고 열관류율 값이 높은 Win4를 적용했을 때 약 19% 절감되어 상대적으로 절감률이 가장 높았다. 반면 난방에너지는 SHGC 값이 높고 열관류율 값이 낮은 Win5를 적용했을 때 기존 건물 대비 약 46% 감소되어 가장 큰 절감률을 보였다. 그러나 냉난방을 모두 고려했을 때 대상 건물에는 SHGC가 0.468이고 아르곤가스를 주입하여 단열을 강화한 Win6을 적용하는 것이 연간 약 21%의 냉난방 에너지가 절감되어 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

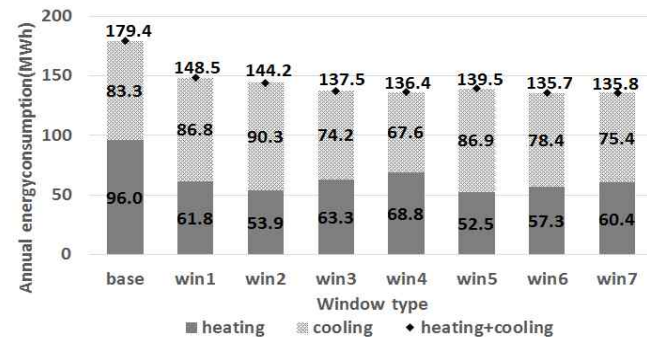


Fig. 8. Heating and cooling energy consumption for the seven glazing systems

6.2.1. 창호의 SHGC

Fig. 9는 비슷한 열관류율 값을 갖고 SHGC 값에 변화를 주었을 때 연간 냉난방 에너지를 비교한 그래프이다. 창호의 SHGC 값이 건물의 냉난방 에너지 소요량에 미치는 영향을 분석하였다. Win2와 Win4는 SHGC 값이 각각 약 0.66, 0.34이며, 열관류율 값이 약 1.6 W/m²K이다. 창호를 Win2에서 Win4로 변경 했을 때 냉방에너지는 약 26% 절감되지만 난방 에너지가 약 27% 증가되는 것으로 분석되었다.

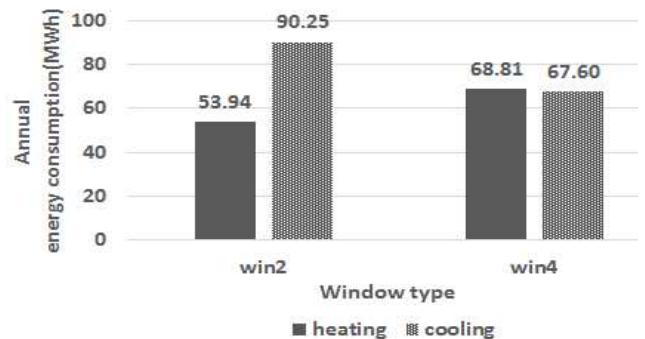


Fig. 9. Annual heating and cooling energy consumption (Win2 : SHGC 0.6, U-value 1.7 W/m²K; Win4 : SHGC 0.3, U-value 1.6 W/m²K)

6.2.2. 창호의 열관류율

Fig. 10.은 비슷한 SHGC 값을 갖고 열관류율 값이 서로 다른 창호를 비교한 그래프이다. Win4 과 Win7 은 SHGC 값이 약 0.3 정도 이고, 열관류율 값이 각각 1.611 W/m²K, 1.273 W/m²K 이다. Win4를 Win7로 변경 할 경우 열관류율 값이 감소되면서 연간 난방에너지는 약 13% 감소하지만 냉방 에너지는 약 11% 증가 되는 것으로 분석되었다.

이와 같이 SHGC 값과 열관류율 값은 냉난방 부하 발생에 상호연관성이 있으며 따라서 적정 수준의 값을 갖는 창호의 설계가 필요하다.

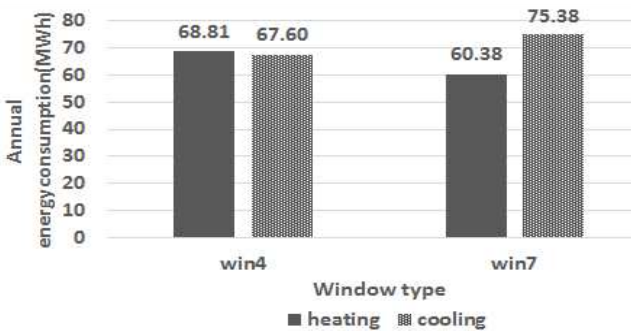


Fig. 10. Annual heating and cooling energy consumption (Win4 : SHGC 0.3, U-value 1.6 W/m²K; Win7 : SHGC 0.3, U-value 1.2 W/m²K)

6.3. 일사 조절 장치

Fig. 11.과 같이 각각의 창호에 외부 블라인드를 적용했을 때 하절기 냉방에너지 소요량이 절감되는 것을 확인하였다. Win6에 외부 블라인드를 적용하게 되면 연간 약 9%의 냉난방 에너지가 절감되었다. 그리고 SHGC 값이 낮아질수록 블라인드를 통한 냉방 에너지 절감량이 감소되었다. 이는 SHGC가 낮은 창호의 경우 일사 차단률이 높아서 블라인드를 통한 일사 차단효과가 상대적으로 줄어들기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

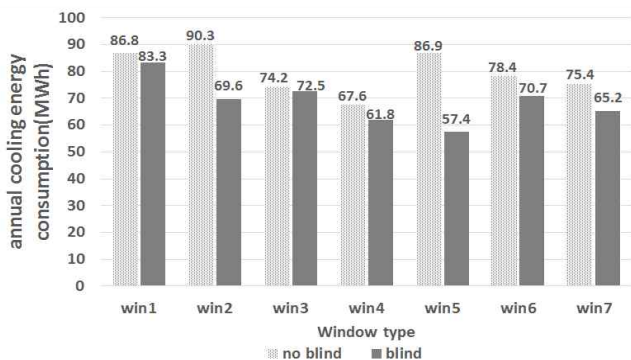


Fig. 11. Comparing the cooling energy consumption reduction according to blind installation

6.4. 에너지 절감형 리모델링 방안

Fig. 12.는 선정된 리모델링 요소를 단계적으로 적용했을 때 각

각 연간 냉난방 에너지 소요량을 나타낸 그래프이다. 최종적으로 단열 강화, 창호 변경, 외부 블라인드를 적용함으로써 연간 약 31%의 냉난방 에너지 절감이 가능할 것으로 예상된다.

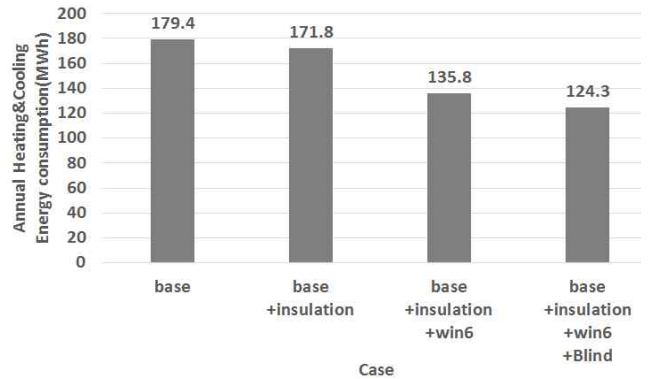


Fig. 12. Comparing the total Electric energy consumption according to remodeling element

7. 결론

노후 중학교 건물을 선정하여 건물에서의 에너지 소비 문제점을 파악하고, 현실성 있는 리모델링 요소로서 외피 단열, 창호 성능, 일사 조절 장치를 선정하여 연간 전기 에너지 소요량 절감효과를 확인하였으며, 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 건물의 단열이 강화되면서 실내외 온도차에 의한 열의 이동이 최소화되어 냉난방부하가 절감되었다.

둘째, 유리의 SHGC 값이 감소됨에 따라 난방 에너지 소요량이 증가되고 냉방 에너지 소요량은 감소하였으며, 열관류율 값이 낮아지면 난방 에너지 소요량이 감소되고 냉방 에너지 소요량이 증가 되었다. SHGC 값이 일정 수준 이하로 감소되면 전체 냉난방 에너지가 증가되어 대상 건물에는 약 0.4정도 일 때 가장 효과적이었다.

셋째, 창호에 외부 블라인드를 적용 하면 하절기의 냉방부하가 감소되었으며 SHGC 값이 높을수록 블라인드에 의한 냉방 에너지 소요량 절감 효과가 큰 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 각 설계안 별 에너지 소요량 분석을 통해 최종적으로 비교우위 항목을 도출하여 사례 건물에 적합한 설계안을 제시하였다. 추후 본 연구에서 적용되지 않은 설계 요소에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 보다 적극적인 리모델링 방안에 대한 연구를 통해 학교 건물의 그린리모델링 활성화를 위한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the New & Renewable Energy Core Technology Program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (No.

20143010011910) and the Human Resources Program in Energy Technology of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (No. 20134010200540).

Reference

[1] 박성철 오병욱, "노후학교시설 개축 판별모델 개발", 한국 교육개발원 연구 보고서, 2009 // (Park, Seong-cheol, Oh, Byeong-uk, "Development of reconstruction decision model for old middle school", Korea Educational Development Institute, 2009)

[2] 조진일, 류호섭, 이화룡, 최병관, 박성철, 최형주, 민부자, 이병호, "학교시설기준 개정에 관한 연구", 교육과학기술부 연구과제, 2011 // (Joe, jin-il, Ryu, Ho-Seop, Lee, Hwa-ryong, Choi, Byeong-gwan, Park, Seong-Cheol, Choe, Hyeong-ju, Min, Bu-ja, Lee, Byeong-Ho, "A study on the revised standards for school facilities", Korea Ministry of Education, 2011)

[3] Zinzi, M, Agnoli, S, Battistini G and Bemabini, G, "Retrofit of an existing school in Italy with high energy standards", Energy Procedia, Vol. 48, pp. 1529-1538, 2014

[4] de Santoli, L, Fraticelli, F, Fornari F and Calice, C, "Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome", Energy and Buildings, Vol. 68, pp.196-202, 2014

[5] Ma, Zhenjun, Paul, Cooper, Danniell, Daly and Laia, Ledo, "Existing building retrofits : Methodology and state-of-the-art", Energy and Buildings, Vol. 48, pp. 1529-1538, 2014.

[6] Andrea, Gasparella, Giovanni, Pernigotto, Francesca, Cappelletti, Piercarlo, Romagnoni and Paolo, Baggio, "Analysis and modelling of window and glazing systems energy performance for a well insulated residential building", Energy and Buildings, Vol. 43, pp. 1030-1037, 2011.

[7] Lee, J.W, Jung, H. J, Park, J. Y, Lee, J. B and Yoon, Y, "Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements", Renewable Energy, Vol. 50, pp. 522-531, 2013.

[8] Hee, W. J, Alghoul, M. A, Bakhtyar, B, Elayeb, Elayeb, Shameri, M. A, Alrubaih, M. S and Sopian, K, "The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 42, pp. 323-343, 2015

[9] I-Smart service, <http://pccs.kepco.co.kr/>, Korea Electric Power Corporation.

[10] Weather data, <http://www.phiko.kr/>. Passive House Institute Korea.

[11] 교육부, 학교보건법, 법률 제 12131호, 2014 // (Korea Ministry of Education, School Health Law, Notice No. 12131, 2014)

[12] 국토교통부, 에너지절약설계기준, 국토교통부 고시 제 2014-947 호, 2014 // (Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy saving designing standard, Notice No. 2014-947, 2014)

[13] 이상준, 최영준, 최윤, "교육시설 리모델링을 위한 에너지 절감 요소기술의 성능 평가 -노후 중학교 건물 중심으로-", 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 12, No. 4, pp. 105-110, 2012 // (Lhee, Sang-Choon, Choi, Young-Joon and Choi, Yool, "Evaluating performance of energy conservation measures for remodeling educational facilities -Focused on Deteriorated Middle School Buildings-", Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 12, No.4, pp. 105-110, 2012)

[14] 윤여범, 김동수, 박장우, 이광호, "내·외부 블라인드 운영방법과 창호성능에 따른 건물에너지 성능 평가 연구", 대한건축학회 논문집, Vol. 29, No. 7, pp. 309-316, 2013 // (Yoon, Yeo-Beom, Kim, Dong-Soo, Park, Jang-Woo, and Lee, Kwang-Ho, "A study on the building energy performance depending on the blind location", blind operation and glazing type, Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 7, pp. 309-316, 2013)

[15] 박대선, "로이창호의 일사 획득계수에 따른 건물에너지 성능평가 연구", 석사학위논문, 한밭대학교, 2008 // (Park, Dae-Sun, "A study on the building energy performance evaluation by solar heat gain coefficient of low-e window", Master thesis Hanbat National University, 2008)

[16] 정재욱, "에너지 절감을 위한 노후 사무소 건물의 리모델링에 관한 연구", 석사학위 논문, 인하대학교, 2014 // (Jung, Jae-Uk, "A study on

the remodeling of deteriorated office building for the energy saving", Master's thesis, Inha University, 2014)

[17] 강수현 외 5, "사무소 건물의 창호설계 요소별 에너지 소비량 비교 연구", 한국건축환경설비학회 학술발표대회 논문집, pp.145-148, 2012 // (Kang, Su-Hyun, Cho, Young-Hum, Yu, Hyun-Jung, Kim, Sun-sook, Lee, Byung-Hee, Kim, Kwang-woo, "A comparison of energy consumption on facade design factors in office building", Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, pp. 145-148, 2012)