

# 노후 고등학교 건물의 에너지효율화 리모델링을 위한 요소기술의 성능 평가

## Evaluating Performance of Energy Conservation Measures on Energy-Efficient Remodeling at Deteriorated High School Buildings

이 상 춘\*  
Lee, Sang Choon

최 영 준\*\*  
Choi, Young Joon

최 율\*\*\*  
Choi, Yool

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### Abstract

Many countries over the world have acknowledged the global warming problem by greenhouse gas emission and tried to solve the problem. The Korean government has also taken many actions such as The Act on Low Carbon, Green Growth and on Promoting Green Building in that architectural building section takes 1/4 of national greenhouse gas emission. Under the situation that buildings constructed 15 years ago when insulation standards were reinforced take about 74%, The Plan on Vitalizing Green Remodeling, finally established on July 2013, will induce energy-efficient remodeling of deteriorated buildings. Using the energy simulation by the Visual DOE 4.0 program, this paper proposed the ways of energy-efficient remodeling of deteriorated high school buildings by measuring energy saving performance of factors that were drawn from the previous study. The factors considered are insulation, window's SHGC, south louver, system efficiency, and indoor setting temperature. Among them, all factors except SHGC proved contribution to reducing energy use at deteriorated high school buildings, compared with the baseline energy consumption.

키워드 : 에너지효율화 리모델링, 노후고등학교건물, 에너지시뮬레이션

Keywords : Energy-efficient remodeling, Deteriorated high school building, Energy simulation

## 1. 서 론

### 1.1. 연구배경 및 목적

전 세계 주요 국가들은 온실가스 배출에 따른 지구 온난화 문제의 심각성을 인식하고 이러한 환경문제의 극복을 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 에너지의 해외의존도가 97%이상인 국내에서도 「저탄소 녹색성장 기본법」에 따라 2020년까지 BAU (Business As Usual) 대비 온실가스의 배출 30%를 감축하는 목표를 설정하고 있으며 2013년 2월에는 「녹색건축물 조성지원법」을 제정하여 국가 온실가스 배출량의 1/4를 차지하는 건축물부문에서의 온실가스 배출량 감소에 대한 실질적인 기반을 구축하였다.

또한 정부의 기본 에너지 정책은 매년 거듭되는 예비전력의 부족 등 에너지 수급 불균형이 심화되는 에너지 위기를 효율적

으로 극복하기 위해서 발전소의 추가 건설 등 에너지 공급 중심에서 수요 저감 중심으로 변화하고 있다. 특히 국내 에너지 사용량의 21%를 차지하고 있는 건축물 부문은 감축 잠재력이 높아서 성능 개선을 통한 에너지 수요의 감축은 효과적인 것으로 기대되며 특히 건립되어진지 15년 이상 된 단열기준 강화 이전 건축물이 전체의 74.1%를 차지하고 있는 상황에서 노후 건축물의 에너지효율화 리모델링은 필수적이어서 2013년 7월에는 경제관계장관회의에서 「그린 리모델링 활성화 방안」을 최종적으로 확정하였다<sup>1)</sup>. 이는 신축건물에 대한 각종 에너지 기준 강화와 규제를 통해 에너지저감형 건축물의 비중을 늘리는 것도 중요하지만 지금까지 에너지 절약 설계가 미진한 노후 건축물에 대한 에너지효율화 리모델링의 중요성을 보다 부각시키는 것을 시사한다.

주거용 건축물의 경우 직접적인 노후화와 경제적, 사회적인 기대이익 요소에 의해서 재건축, 리모델링 등이 비교적 활발히 이루어지고 있는 반면 학교시설의 경우 정부예산의 부족과 함께 체계적인 설계기술의 수립 등이 미비하여 에너지효율화 리모델링이 활발히 이루어지지 못하고 있는 상황에 있다. 특히 1997년

\* Main author, Technology Development Team, Nepes ENC Inc., S. Korea (leesc@nepes.co.kr)

\*\* Technology Development Team, Nepes ENC Inc., S. Korea (yjchoi@nepes.co.kr)

\*\*\* Corresponding author, Department of Medical Space Design & Management, Konyang University, S. Korea(ychoi@konyang.ac.kr)

1) 국토교통부, 건축물 에너지 수요절감을 위한 그린 리모델링 활성화 방안(2013. 07. 24 보도자료)

제7차 교육과정 개정과 교육인적자원부(現 교육부)의 학습형태, 과학교육의 내실화, 교육여건 개선 등에 적용하기에는 시설물의 제약이 크며 신교육과정에 따른 다양한 용도를 가진 교과교실의 증가로 인하여 냉·난방, 조명 및 전기시설과 전력사용이 급격하게 증가되는 에너지 소비구조로 변화하였다. 하지만 신교육과정에 적합한 학교건물의 에너지절약 설계가 미진하여 시설 확충 및 기존시설의 개선을 위한 학교 건물의 리모델링 가이드라인이 부족한 현 상황에 있다<sup>2)</sup>.

노후학교 건물의 리모델링에 대한 선행연구<sup>3)</sup>에서는 노후학교 리모델링시 에너지 저감을 위한 요소기술의 중요도 및 적용 우선순위를 도출하였다. 따라서 본 연구에서는 노후학교에 대한 여러 기준에 맞는 설정된 가상의 표준학교모형을 가지고 선행연구에서 도출된 에너지저감 요소기술을 노후 고등학교의 운영현황에 적용하여 해당 요소기술의 에너지 저감효과를 동적 에너지 시뮬레이션을 통하여 분석하고 노후 고등학교 건물의 향후 에너지효율화 리모델링에서 우선적으로 적용되어야 할 요소기술의 우선순위에 대한 정보를 제시하는데 그 목적이 있다.

### 1.2. 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 선행연구에서 도출된 학교건물의 특성을 고려하면서 신축과는 차별화된 에너지효율화 리모델링 요소기술을 가지고 노후화에 따른 리모델링이 필요한 고등학교의 표준건물모형에서 에너지 저감을 위한 각 요소기술별 여러 대안을 가지고 기본안 대비 절감효과를 비교·분석하였다. 이를 위하여 시간적, 물리적, 성능적 및 운영적 기준에서 대표성을 가지는 표준학교 모형을 설정하여 재실밀도, 재실스케줄에 따른 운영시간 및 운영스케줄 등과 같은 필수 입력자료를 정리하였으며 동적 에너지 평가도구인 Visual DOE 4.0 프로그램에서 에너지 시뮬레이션을 실시하여 요소기술별 기본안 대비 여러 대안의 에너지 저감효과를 분석하였다. 다만, 본 연구에서 적용한 요소기술은 크게 단열, 자연채광, 제어(시스템 효율 및 실내설정 온도), 창호부문으로만 한정하였다.

## 2. 표준학교모형의 설정을 위한 기준

본 연구에서 정의하는 “표준학교모형”은 학교건물의 에너지효율화 리모델링을 위하여 설정된 분석공간이며 분석모델의 객관성을 유지하기 위해서 시간적, 물리적, 성능적, 운영적 기준에서 대표성을 가지는 분석 모델을 설정하였으며 각 요소에 대한 선정기준 및 결과는 아래와 같다.

### 2.1. 시간적 범위의 선정

표준학교모형 설정에서 가장 우선시 고려되어야 할 요소는 노후학교에 대한 시간적 범위를 선정하는 것이며 본 연구에서는 관련 법규 및 에너지성능 관련기준의 변화 등을 조사하여 노후학교의 시간적 범위에 대한 객관적인 기준을 선정하였다. 「학교보전법 시행규칙」의 「교사 안에서의 공기의 질에 관한 유지·관리기준」에서는 “노후화된 학교를 10년 이상이 된 학교”로 규정하였으며 「건축법」에서는 노후 공동주택의 리

모델링 행위에 대한 규정은 사용승인 후 20년 이상의 노후화 범위를 제시하였다. 또한 「건축법 시행령」에서는 “사용승인 후 15년 이상 경과된 건축물”을 리모델링이 필요한 건축물로 규정하였으며 1996년 제정된 「건축물 에너지절약설계기준」에서 외피 단열 및 설비 시스템의 성능 기준 등을 의무화하기 시작하여 현재까지 강화·적용되고 있으므로 본 설계기준이 적용되기 이전에 건립된 학교건물은 에너지 성능의 확보에 필요한 시설로서 에너지효율화 리모델링의 필요성을 갖는다고 판단할 수 있다. 최종적으로 본 연구에서는 노후학교에 대한 시간적 범위를 모든 판정기준을 만족하는 “건립된 후 20년이 경과된 학교”로 정의하였다.

### 2.2. 물리적 범위의 선정

물리적 범위는 건축물의 에너지 성능에 영향을 미치는 요소 중에서 등급 및 지역 분류, 건립연도, 규모, 형태, 방위, 배치 등과 같은 기본계획요소를 의미하며 본 연구에서는 교육시설이라는 특정된 건물용도에 의해서 학교 등급에 따른 건축적 변화가 크지 않는 학교 건물의 특성과 연구과정에서의 효율성 및 접근성을 고려하여 수도권 소재의 초등학교로 한정하였으며 건립연도는 앞 절에서 설정된 시간적 범위 내에 있는 1980~1990년에 건립된 학교로 분석 범위를 축소하였다. 규모는 대지면적, 연면적, 학급수, 학생수 등 다양한 기준에 의한 평가가 가능하지만 본 연구에서는 규모 선정 기준 중에서 학교 건물에서 에너지소비에 가장 큰 영향을 미치는 학급수를 분류기준으로 선정하였다. 전국 초·중·고등학교의 시설통계<sup>4)</sup>를 활용하여 전국 초등학교의 평균적인 학급수를 산정한 결과 학교당 평균 학급수는 21.2학급으로 나타났으며 지역적 특성에 따라서 결정되어지는 경향이 큰 도서벽지 및 군/읍/면 지역의 학교를 제외한 대도시 및 중소도시의 학교당 학급수는 각각 31학급, 28학급으로 유사하게 나타나서 합산 평균인 29.5개 학급수의 ±5% 오차범위 내에 있는 초등학교를 표준학교의 범위로 한정하였으며 최종적으로 건립연도, 학생수, 리모델링 실시 여부를 검토하여 경기도 소재 S초등학교를 표준모델의 물리적 범위인 기준학교로 최종 선정하였다. S초등학교의 전반적인 개요는 Table 1과 같다.

Table 1. Overview of S-Elementary School

Establishment Type	Public	Establishment year	1988		
No. of class	28	Student no./class no.	28.5		
Site area	4,460m <sup>2</sup>	Gross area	5,826m <sup>2</sup>		
Classroom status					
General classroom	28	Library	1	Video room	-
Special classroom	2	Other classroom	2	Teacher space	2
Administration room	5	Gymnastics	1	Health office	1
Restroom	8	Dining room	1	Other space	2

- 김태우 외 2명. 교육 시설기준 변화에 따른 학교건축물의 에너지원 변화에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 10. No. 6. 2010. p.73-80.
- 이상춘 외 2명. AHP 방법을 이용한 노후학교 에너지절감을 위한 요소기술의 우선순위 결정, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 11. No. 6. 2011. p.127-132.
- 한국교육개발원, 교육통계연보, 2010.

### 2.3. 성능적 기준의 선정

표준학교모델의 성능적 기준은 벽체 구성, 창호 종류, 시스템 방식 등 에너지 소비량에 직접적인 영향을 미치는 건물구성요소로 정의될 수 있으며 이러한 기준은 리모델링을 통하여 변경 가능한 범위에 대한 요소로서 정량적인 성능평가의 기준으로 활용된다. 건축부문의 성능기준인 벽체 구성 및 창호 종류는 1980년에 제작된 「학교교사 표준설계도」를 근거로 설정하였으며 이는 본 연구에서 선정된 노후학교의 건립연도 범위인 1980~1990년에 건립된 학교의 설계 기준이 되므로 부위별 성능내역에 대한 충분한 대표성을 확보할 수 있다. 시대적·사회적 요구에 따라서 민감도가 상대적으로 큰 시스템 부분의 성능은 현재 노후학교에 적용된 다양한 기준을 적용하였으며 Table 2와 같이 건립연대별 학교 냉·난방설비시설 및 에너지원의 변화는 현재와 같은 다양한 시스템, 열원에 의한 냉·난방은 1980년대 이후에 실시된 것을 확인할 수 있다.

Table 2. Chronical Change of Cooling-Heating System & Energy Source<sup>5)</sup>

Category	Heating		Cooling	
	System	Energy source	System	Energy source
1960s	Stove	Brown coal	-	-
1970s	Stove	Brown coal	-	-
1980s	Fan heater	Oil/Gas	Fan	Electricity
1990s~	EHP/GHP	Electricity/Gas	EHP/GHP	Electricity/Gas

### 2.4. 운영적 기준의 선정

표준학교모델의 운영적 기준은 실제 사용시간, 재실시간 및 밀도, 공조시간 등을 포함하는 스케줄을 의미하며 학교 건물의 에너지 성능평가에 있어서 에너지소비 특성을 결정짓는 가장 큰 요소 중의 하나이며 학교등급을 초·중·고등학교로 구분해야 하는 가장 중요한 요소이다. 학교의 운영시간, 수업일수, 실내환경기준 등은 학교별로 차이는 있으나 관련 법규, 교육부 및 교육청 등에서 권고하는 범위 내에서 결정되기 때문에 학교시설은 다른 건물유형에 비해 비교적 뚜렷한 사용스케줄을 가지고 있으며 운영적 기준에 대한 선정의 신뢰도가 매우 높은 건물유형으로 볼 수 있다. 본 연구에서 고등학교의 운영적 기준은 학사일정, 사용시간, 발열요소의 밀도 및 실내온도조건에 대하여 설정하였으며 각 항목별 선정결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Operational Standards for High School

Semester & School day <sup>6)</sup>	Semester		School day	
	1st semester	2nd semester	Standard	Exception
	From 3/1	To late Feb.	220day/yr	198day/yr
Operational hour <sup>7)</sup>	Monday-Friday		Saturday	
	07:50~22:00		07:50~12:00	
Density <sup>8)</sup>	Human <sup>9)</sup>	0.54 People/m <sup>2</sup>		
	Lighting <sup>10)</sup>	9.5 W/m <sup>2</sup>		
Indoor temperature	Legislation standard		Setting standard <sup>11)</sup>	
	Cooling	Heating	Cooling	Heating
	26~28°C	18~20°C	26°C	20°C

## 3. 표준학교모델의 설정 및 모델링

### 3.1. 표준학교 설정

노후 고등학교의 에너지 성능평가를 위한 표준학교 해석모델은 「학교교사 표준설계도」와 2.2절에서 선정된 기준학교인 S초등학교의 설계도면을 참고하여 가상의 표준학교를 설정하였다. 가상의 표준학교는 건립연도가 1980년대로 설정되었으며 건축구조는 철근콘크리트구조의 형식을 적용하였으며 건축면적은 4층 규모의 1,333m<sup>2</sup>로 설정하였다. 또한 건물 내 냉방방식은 패키지 에어컨, 난방방식은 가스온풍기로 지정하였으며 외벽단열은 T50 단열재, 지붕단열은 T100 단열재, 바닥은 인조석마감, 창호는 이중창으로 설정하였다. Table 4와 Fig. 1은 설정된 가상의 표준학교에 대한 개요 및 기준층의 평면을 보여준다.

Table 4. Overview of Standard School

Structure	Reinforced concrete
Size	Four floors above ground
Building area	1,333m <sup>2</sup>
Gross area	5,826m <sup>2</sup>
AC area	3,193m <sup>2</sup>
Non-AC area	1,672m <sup>2</sup>
Architectural form	0.5B/1.0B Brickmasonry T50 Bid-type insulating board, Cement-mortar finish
Window	U-factor: 4.06 W/m <sup>2</sup> ·°C, SHGC: 0.774, Tvis: 0.83 Double window
Roof type	Flat slab
Cooling system	Package air conditioner
Heating system	Gas fan heater
No. of class	25

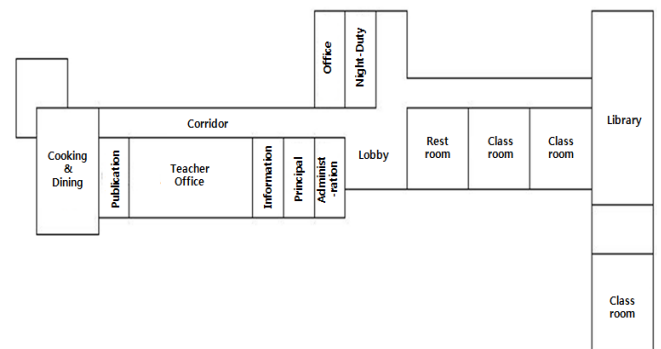


Fig. 1. Typical Floor Plan of Standard School

- 김태우 외 2명. 교육 시설기준 변화에 따른 학교건축물의 에너지원 변화에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 10. No. 6. 2010. p.73-80.
- 초·중등교육법 시행령 제 44조 및 제 45조.
- 조진일 외. 제로에너지·생태학교 모형개발 연구(II), 한국교육개발원.
- 학급 내 기기(TV, VTR, 컴퓨터 등)의 경우 분석영역에서 제외함.
- 고등학교 학급당 평균 학생수인 36.2명을 표준교실면적인 67.5m<sup>2</sup>로 나눈 값임.
- 학교보건법 시행규칙 실내조도기준인 300lx를 표준교실면적에 대한 총 설치용량으로 환산하여 적용한 값임.
- 본 연구에서의 실내온도 설정기준은 학교보건법 시행규칙 실내환경 기준 규정을 따랐음.

Table 5. Device, Lighting and Occupancy Density & Occupancy Schedule for High School

Room type		Area (m <sup>2</sup> )	Lighting(W/m <sup>2</sup> )		Device (W/m <sup>2</sup> )	Occupancy(m <sup>2</sup> /people)		Device cooling capacity(kW)	Schedule		Occup. schedule	
Division	Sub-division		Input	Number		Input	Max. number		Semester	Yearly	Start	End
General classroom	Classroom	68/81	11.9	10 ea.	-	1.36	36 People	11	●		8:30	22:00
				12 ea.		2.25						
Special classroom	Computer	162	8.89	18 ea.	50	1.9	85 People	13×2 ea.		●	8:30	18:00
	Library	162	11.85	24 ea.	-	1.9	85 People	13×2 ea.		●	8:30	18:00
	Science	162	8.89	18 ea.	-	4.05	40 People	13×2 ea.	●		8:30	18:00
Office	Teacher	135	10.7	24 ea.	15	3.5	39 People	13×2 ea.		●	7:30	22:00
	Principal	34	9.5	4 ea.	15	34.0	1 People	5	●		8:30	18:00
	Health	68	9.5	8 ea.	15	34.0	2 People	5	●		8:30	18:00
Administration room	Information	34	9.5	4 ea.	15	17.0	2 People	-	●		8:30	18:00
	Administration	34	9.5	4 ea.	15	6.8	5 People	-	●			
	Publication	34	9.5	4 ea.	15	17.0	2 People	-	●			
	Night-duty	41	3.9	2 ea.	15	20.0	2 People	11		●	18:00	8:30
Support room	Cooking&dining	105	11.4	15 ea.	5	2.1	50 People	13×2 ea.	●		11:30	13:30
	Broadcasting	68	9.5	4 ea.	50	13.6	5 People	11	●		11:30	13:30
Non-AC space	Restroom	68	9.5	4 ea.	-	-	-	-		●	-	-
	Corridor	-	-	-	-	-	-	-		●	-	-
	Stair	-	-	-	-	-	-	-		●	-	-

3.2. 표준학교 에너지 해석 모델링

표준학교모델의 에너지 해석을 위한 동적 시뮬레이션 프로그램으로는 Visual DOE 4.0을 사용하였으며 Fig. 2 및 3에서 보듯이 시뮬레이션 해석모델을 정의시 실별 공조조건이 동일한 실에 대하여 조닝을 실시하였다. 또한 비공조실에 대한 에너지소비량 산정도 모델링에 포함시켰으며 공조공간과 비공조공간의 구분에 따른 스케줄, 침기 스케줄, 재실 스케줄, 각 재료의 물성치, HVAC 시스템의 변수 등 표준학교 에너지해석 모델링을 위한 입력자료를 「학교교사 표준설계도」와 S초등학교의 설계도면을 바탕으로 설정하였다.



Fig. 2. Energy Simulation Modeling for Standard School

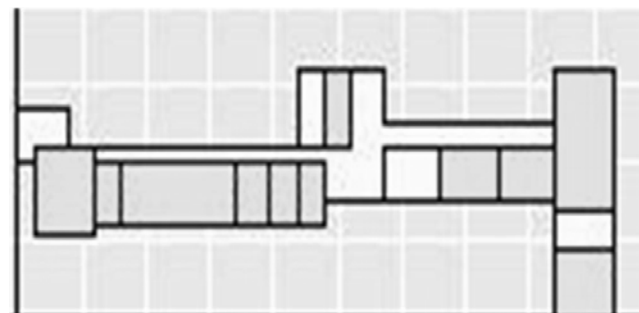


Fig. 3. Energy Simulation Zoning for Standard School

4. 에너지 시뮬레이션 결과

4.1. 해석모델 입력자료 및 시뮬레이션 결과

에너지 시뮬레이션시 학교급별 가장 큰 차이를 나타나는 입력변수는 재실자의 재실밀도, 재실스케줄에 따른 운영시간 및 운영스케줄이다. 본 연구에서는 표준모델의 에너지 시뮬레이션시 정확한 입력변수를 결정하기 위해서 교육통계서비스와 초·중등교육법 시행령을 조사하여 고등학교의 입력변수를 Table 5 및 Fig. 4와 같이 정리하였다.

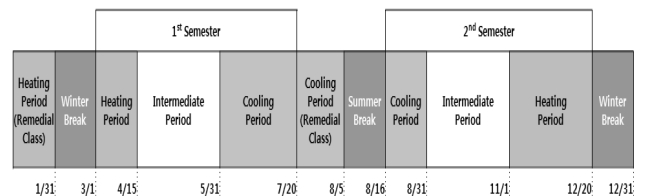


Fig. 4. Annual Operational Schedule of High School

Fig. 5는 표준학교 해석모델의 기본안을 바탕으로 에너지 시뮬레이션을 실시하여 용도별 연간 에너지 소비량을 산출한 결과를 보여준다. 연간 전기에너지 사용량의 경우 88,268kWh로서 공조면적당 27.7kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. 연간 냉방에너지 사용량의 경우 72,372kWh, 연간 난방에너지 사용량의 경우 39,342kWh로 해석되어 공조면적당 냉·난방 에너지 사용량은 각각 22.7kWh/m<sup>2</sup>, 12.3kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. 이는 건물의 사용시간이 전기에너지인 조명사용량에 그대로 반영되었고 학교건물의 특성상 재실밀도에 따른 냉방부하의 증가로 판단된다. 또한 다른 건물유형에 비하여 공조면적당 상대적으로 낮은 에너지사용량은 방학이라는 휴지기를 가지는 학교사용일정에 의한 것으로 판단되며 표준 고등학교 해석모델에서 총 연간 에너지사용량은 199,982kWh로 공조면적당 62.7kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다.

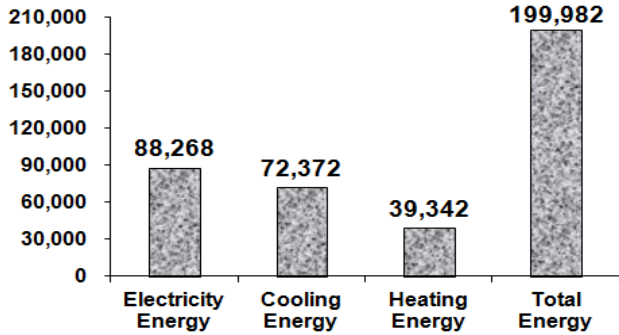


Fig. 5. Annual Energy Use of Baseline Model (Unit: kWh)

#### 4.2. 개별 요소기술별 에너지 성능평가

선행연구에서 신축과는 차별화된 노후학교 에너지효율화 리모델링을 위한 주요한 요소기술은 단열, 창호, 자연채광, 제어(시스템 효율 및 실내설정온도)부문으로 나타났다. 이에 본 연구는 선행연구의 결과를 바탕으로 상기 요소기술의 여러 대안을 중심으로 표준 고등학교 해석모델에서 에너지 시뮬레이션을 실시하였다. 상기 요소기술의 설정된 기본안 및 대안은 Table 6 및 7과 같다. 외벽(Ext. W), 내벽(Int. W) 및 지붕(Roof)단열의 대안은 단열등급과 두께별로 나누어서 해당 열관류율로서 설정하였으며 창호단열의 대안은 PVC창틀에 유리종류별로 나누어서 해당 열관류율을 정리하여 설정하였다. 창호(W/D)부문의 대안은 유리종류별 SHGC(Solar Heat Gain Coefficient)로 구분하였다. 또한 자연채광부문에서 남측루버의 설치는 루버의 깊이에 따라 대안을 분류하였으며 제어부문 시스템 효율은 EHP(Electrical Heat Pump) 등급별로 대안을 나누어서 「효율관리기자재 운영규정」에 따라서 냉난방 COP(Coefficient of Performance)를 계산하여 적용하였다. 마지막으로 실내설정온도의 경우 「학교보건법」 및 「건축물의 에너지절약설계기준」인 냉방 26~28℃, 난방 18~20℃ 규정을 바탕으로 대안을 분류하였다.

Table 6. Alternatives of Insulation and Window Factors

Type	Insulation(W/m <sup>2</sup> K)					Window SHGC
	Ext. W	Int. W	Roof	Ext. W/D	Int. W/D	
Baseline	0.47	3.26	0.34	4.07	3.26	0.78
Alt. 1	0.36	2.30	0.28	2.80	3.08	0.60
Alt. 2	0.34	2.10	0.25	2.10	3.01	0.35
Alt. 3	0.29	2.00	0.22	1.90	2.92	-
Alt. 4	0.25	1.95	0.20	1.80	2.83	-
Alt. 5	0.21	1.90	0.17	1.40	-	-

Table 7. Alternatives of Daylighting and Control Factors

Type	South louver depth	System efficiency	Indoor temperature
Baseline	-	Air-conditioner + Gas heater	C 26℃ / H 20℃
Alt. 1	200mm	EHP grade 1	C 27℃ / H 19℃
Alt. 2	400mm	EHP grade 2	C 28℃ / H 18℃
Alt. 3	600mm	EHP grade 3	-
Alt. 4	800mm	EHP grade 4	-
Alt. 5	1,000mm	EHP grade 5	-

각 개별요소기술의 대안을 표준 고등학교 에너지 해석 모델에 적용한 결과 용도별 연간 평균에너지 사용량은 Fig. 6과 같다. 전기에너지의 사용은 조명기구 및 밀도와 직접적인 관련이 있어서 본 연구에서 적용된 요소기술에서는 기본안 대비 아무런 증감이 없었으며 냉방에너지의 경우도 요소기술 적용시 기본안 대비 큰 증감이 나타나지 않는 것으로 나타났다. 그러나 노후고등학교 모델에서 창호 SHGC, 시스템효율, 실내설정온도, 남측루버 설치, 내벽단열, 지붕단열, 내벽창호단열 순으로 냉방에너지 절감에 효과적인 요소기술로서 나타난 반면 외벽단열 및 외벽창호단열은 냉방에너지를 증가시키는 것으로 나타났다.

난방에너지의 경우 개별 요소기술을 적용시 다른 용도의 에너지보다 증감이 크게 나타났다. 특히, 창호 SHGC의 변경시 난방에너지는 크게 증가하는 것으로 나타났으며 시스템효율, 외벽창호단열, 실내설정온도, 내벽단열, 외벽단열, 남측루버 설치, 지붕단열, 내벽창호단열 순으로 난방에너지 절감에 효과적인 요소기술로서 확인하였다. 따라서 연간 총 에너지 측면에서 냉방에너지보다 난방에너지의 영향에 의해서 노후 고등학교건물의 기본안 대비 에너지 증감의 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

Fig. 7은 요소기술별 각 대안들의 기본안 대비 연간 총 에너지사용량의 평균 절감율을 나타내며 창호 SHGC를 제외한 모든 다른 요소기술을 적용시 노후 고등학교 건물에서 연간 총 에너지는 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 시스템효율, 외벽창호단열 및 실내설정온도에서 총 에너지 절감이 크게 이루어지는 반면 내벽창호단열, 지붕단열에서는 에너지 절감이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

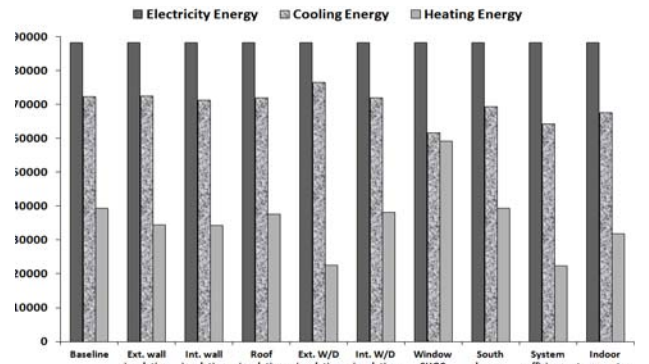


Fig. 6. Annual Average Energy Use by Factor (Unit: kWh)

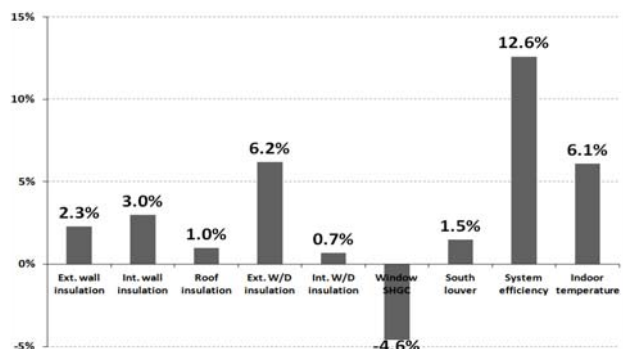


Fig. 7. Average Energy Reduction Rate by Factor

Table 8. Energy Reduction Rate by Best Alternative of Factors

Type	Electricity energy	Cooling energy	Heating energy	Total energy	Reduction rate
Baseline	88,268	72,372	39,342	199,982	-
Ext. wall ins.	88,268	72,763	32,290	193,321	-3.3%
Int. wall ins.	88,268	71,228	33,678	193,174	-3.4%
Roof ins.	88,268	71,999	36,852	197,119	-1.4%
Ext. W/D ins.	88,268	78,318	17,545	184,131	-7.9%
Int. W/D ins.	88,268	72,040	37,579	197,887	-1.0%
W/D SHGC	88,268	57,139	69,027	214,434	7.2%
South louver	88,268	68,075	39,342	195,685	-2.1%
System Eff.	88,268	50,612	19,168	158,048	-21.0%
Indoor Temp.	88,268	66,061	29,518	183,847	-8.1%

기본안 대비 각 요소기술의 최고 대안에 대한 용도별 연간 에너지 소비량을 산출한 결과는 Table 8과 같다. 냉방에너지의 경우 시스템효율, 창호 SHGC, 실내설정온도, 남측루버 설치, 내벽단열, 지붕단열, 내벽창호단열 순으로 에너지가 절감되었으며 난방에너지의 경우 외벽창호단열, 시스템효율, 실내설정온도, 외벽단열, 내벽단열, 지붕단열, 내벽창호단열 순으로 에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 총 에너지사용량은 창호 SHGC를 제외한 모든 요소기술, 즉 시스템효율, 실내설정온도, 외벽창호단열, 내벽단열, 외벽단열, 남측루버 설치, 지붕단열, 내벽창호단열 순으로 노후 고등학교 해석모델에서 절감되는 것으로 나타났다.

### 5. 결론

본 연구에서는 선행연구에서 도출된 노후학교 에너지효율화 리모델링에서 우선적으로 적용되어야 할 요소기술을 노후 고등학교의 표준해석모델에 적용하여 요소기술별 에너지 성능을 비교, 분석하였다. 적용된 요소기술은 건축부문의 단열 및 창호, 빛환경부문의 남측루버 설치, 제어부문의 시스템효율 및 실내설정온도 중심으로 에너지 시뮬레이션 소프트웨어인 Visual DOE 4.0 프로그램을 활용하여 각 요소기술을 적용하였다. 각 요소기술의 용도별 에너지 성능에 대한 평가결과는 다음과 같다.

- (1) 노후고등학교 해석모델에서 조명기기 및 밀도와 직접적인 관련이 있는 연간 전기에너지는 요소기술의 적용시 기본안 대비 아무런 에너지의 증감이 나타나지 않았다.
- (2) 연간 냉방에너지는 창호 SHGC, 시스템효율, 실내설정온도, 남측루버 설치, 내벽단열, 지붕단열, 내벽창호단열 순으로 절감되는 반면 외벽 및 외벽창호단열은 냉방에너지를 증가시키는 것으로 나타났다.
- (3) 연간 난방에너지는 창호 SHGC를 제외한 모든 요소기술에서 절감되는 것으로 나타났으며 시스템효율, 외벽창호단열, 실내설정온도, 내벽단열, 외벽단열, 남측루버 설치, 지붕단열, 내벽창호단열 순으로 난방에너지가 절감되는 것으로 나타났다.
- (4) 연간 총에너지 또한 창호 SHGC를 제외한 모든 요소기술을 적용시 노후 고등학교 건물에서 기본안 대비 총 에너지가 감소하는 것으로 나타났다.

본 연구에 도출된 고등학교 표준해석모델의 요소기술별 에너지 성능결과는 노후 고등학교건물의 에너지효율화 리모델링시 에너지 절감에 영향을 미치는 요소기술의 선택 및 적용우선순위를 제시하는 기초자료로서 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 다만 선정된 요소기술에 대한 공사비 대비 에너지 절감비용에 대한 경제성을 분석하여야 하며 본 연구에서 적용되지 않은 침기, 자연환기, 인공조명 및 신재생에너지 적용과 같은 다른 요소기술에 대한 에너지 절감효과를 분석하는 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

### Acknowledgements

This work was supported and funded by the Korea Energy Management Corporation(No.2011507820-00).

### References

- [1] Korea Ministry of Government Legislation. Government legislation information center <http://www.law.go.kr/main.html>
- [2] Jin-Il Cho, Jong-Ho Yoon, U-Cheul Shin, Eun-Joo Kang, Hyeong-Ju Choi. A study on developing zero energy & ecological school model(II), Korea Educational Development Institute. 2009.
- [3] Korea Educational Development Institute. Yearbook of education statistics. 2010.
- [4] Tae-Woo Kim, Kang-Guk Lee, Won-Hwa Hong. A study on the energy source in school buildings with the changes of educational facilities standard, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System. Vol. 10. No. 6. 2010. p. 73-80.
- [5] Korea Research Institute of Eco-environmental Architecture, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment. A study on developing model and guide for energy-efficient remodeling at deteriorated k-12 school. Korea Energy Management Corporation. 2011.
- [6] Sang-Choon Lhee, Young-Joon Choi, Yool Choi. Determining the priority of factors for reducing energy at the deteriorated school buildings using AHP method, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System. Vol. 11. No. 6. 2011. p. 127-132.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Ways for promoting green remodeling to reduce energy at buildings, Press Release. 2013.07.24.

Received September 11, 2013;  
Final revision received October 07, 2013;  
Accepted October 28, 2013