

노후 초등학교 건물에너지 절감을 위한 요소기술의 성능 비교

Comparing Performances of Factors for Reducing Energy at Deteriorated Elementary School Buildings

이 상 춘* 최 영 준** 김 현 기*** 최 을****
Lhee, Sang-Choon Choi, Young-Joon Kim, Hyun-Ki Choi, Yool

Abstract

Faced with the international issue of environmental problems from global warming and energy consumption, the Korean Government has made many efforts on reducing energy and CO₂ emission under the motto of "Low-Carbon Green Growth". In order to reduce energy in the building sector, severe design standards and regulations on saving energy in new buildings have been established. Now, it is necessary to focus on deteriorated buildings where applications of energy saving designs and techniques have been insufficient, for maximizing energy saving in the building sector. Specially, it is very important to reduce energy through the remodeling process at deteriorated school buildings which were built over 20 years ago and sharply changed into the excessive energy consumption structure from new educational curricula. Thus, this paper examined the effects of potential factors to reduce energy at deteriorated elementary school buildings using the energy simulation on the Visual DOE 4.0 program. Among applied factors of insulations, southern louver, window's SHGC, indoor setup temperature, and system efficiency, all factors except window's SHGC turned out contribute to reduce energy at the deteriorated elementary school buildings, compared with the baseline energy performance.

키워드 : 노후초등학교건물, 리모델링, 에너지절감요소, 에너지시뮬레이션

Keywords : Deteriorated elementary school buildings, Remodeling, Energy saving factors, Energy simulation

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

전 세계적으로 온실가스 증가에 따른 지구 온난화와 같은 환경문제 해결을 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 에너지 소비 세계 10위국인 우리나라 또한 "저탄소 녹색성장"이라는 모토 아래 에너지 수요 및 온실가스 배출 감소를 위한 다각적인 노력을 기울이고 있다. 특히, 세계지속가능발전사업협의회(World Business Council for Sustainable Development: WBCSD)의 발표에 따르면 세계 에너지 사용량의 40%가 건물분야에서 소비되고 있는 것으로 나타나 정부에서도 건물에 대한 에너지 절약 설계 기준 및 시설기준의 강화 등 정책적인 노력을 기울이고 있다. 건물에서의 에너지 소비 저감을 위한 방안으로

는 신축 건물에 대한 각종 에너지 기준 강화와 규제를 통해 에너지 저감형 건물의 비중을 늘려 나가는 것도 중요하지만 에너지 절약 설계가 미진한 노후 건물에 대한 에너지 효율화 리모델링의 중요성도 크게 부각되고 있다. 주거건물의 경우 직접적인 노후화와 경제적, 사회적 기대 이익 요소에 의해 재건축, 리모델링 등이 비교적 활발히 이루어지고 있는 반면 학교시설의 경우 국가 예산 부족과 함께 체계적인 설계기술 및 관련정책의 수립 등이 미비하여 에너지효율화 리모델링이 활발히 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 변화하는 교육과정과 교육인적 자원부의 학습형태, 과학교육 내실화, 교육여건 개선, 사회적 요구 등에 적용하기에는 시설의 제약이 크며 신 교육과정에 따른 다양한 용도를 가진 교과교실의 증가로 인해 냉·난방, 조명 및 전기시설과 전력사용이 급격하게 증가되는 에너지 소비구조로 변화했다. 그 결과 신교육과정에 부합하는 학교건물 에너지 절약 설계가 미진하여 시설확충 및 기존시설의 개선이 필요하고 현 실정에 맞는 학교건물의 리모델링은 불가피하게 되었다.

* 주저자, 한국환경건축연구원 이사, Ph.D. (lheesch@kriea.re.kr)

** 한국환경건축연구원 본부장, 공학박사 (choiyj@kriea.re.kr)

*** 한국환경건축연구원 실장, 공학석사 (hkim@kriea.re.kr)

**** 교신저자, 건양대학교 의료건축디자인공학과 교수, 공학박사 (ychoi@konyang.ac.kr)

노후학교 건물 리모델링 관련된 선행 연구¹⁾를 통해 노후학교 리모델링시 에너지 저감을 위한 요소기술의 중요성과 우선순위를 조사하였다. 따라서 본 연구에서는 노후화에 대한 설정기준을 바탕으로 표준학교를 설정하여 선행연구에서 조사된 에너지 저감 요소기술을 노후 초등학교 건물에 적용하여 해당 요소기술의 절감 효과를 분석한 후, 노후 초등학교 건물의 에너지 효율화 리모델링의 시행시 우선적으로 적용되어야 할 요소기술의 우선순위에 대한 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구의 범위는 노후화에 따른 리모델링이 필요한 초등학교 건물에서 에너지 절감을 위한 요소기술의 여러 대안을 적용하여 각 요소기술의 기본안 대비 절감효과를 조사한다. 이를 위하여 본 연구에서는 여러 가지 대표성을 가진 표준학교 모델을 설정하여 재실자의 재실밀도, 재실 스케줄에 따른 운영시간 및 운영스케줄 등과 같은 입력 자료를 정리하였으며 Visual DOE 4.0 프로그램을 통한 에너지 시뮬레이션을 실시하여 요소기술의 성능을 도출하였다. 적용요소기술로서는 기존연구에서 최우선 순위로 나타난 단열, 자연채광, 제어(시스템효율 및 실내설정온도), 창호부문으로 한정하였다.

2. 표준학교모델의 기준 설정

본 연구에서 “표준학교모델”은 학교건물의 에너지 효율화를 위하여 선정된 분석공간이며 분석 모델의 객관성을 가지기 위해서 시간적, 물리적, 성능적, 운영적 측면에서의 대표성을 갖는 분석 모델을 제시하였으며 각 필요 요소에 대한 선정 기준 및 결과는 다음과 같다.

2.1 시간적 범위의 선정

표준학교 모델 설정에 최우선적으로 고려되어야 할 사항은 ‘노후화 학교’에 대한 명확한 시간적 범위를 선정하는 것이며 본 연구에서는 노후학교의 판정에 대한 가장 객관적인 기준으로 제시될 수 있는 관련 법규를 조사하였다. 학교보건법 시행규칙에서는 교사 안에서의 공기질 관리기준을 설정함에 있어 10년 이상이 된 학교를 노후화된 학교로 규정하였다. 건축법에서는 ‘리모델링을 건축물의 노후화를 억제하거나 기능 향상 등을 위하여 대수선하거나 일부 증축하는 행위’로 정의하고 노후 공동주택의 리모델링 행위에 대한 규정은 사용승인 후 20년 이상의 노후화 범위를 제시하였다. 또한 건축법 시행령에서는 리모델링이 필요한 건축물을 사용승인 후 15년 이상 경과된 건축물로 규정하였다. 따라서 본 연구에서는 노후학교에 대한 시간적 개념은 위에 제시된 모든 판정 기준을 만족하는 건립 후 20년이 경과된 학교(1990년 이전 신축된 학교)로 정의하였다.

2.2 물리적 기준의 선정

물리적 범위란 학교 건축물의 에너지 성능에 영향을 미치는 요소 중 등급 및 지역 분류, 건립연도, 규모, 형태, 방위와 같은 기본 요소를 의미한다. 본 연구에서는 교육시설이라는 특정한 건물 용도에 의해 등급에 따른 건축적 변화가 크지 않은 학교의 특성과 연구과정상의 효율성과 접근성을 고려하여 표준학교의 등급 및 지역 분류는 서울·경기 소재의 초등학교로 한정하였으며 건립연도는 1980~1990년 건립된 학교로 분석범위를 설정하였다. 학교 규모는 대지면적, 연면적, 학급수, 학생수 등 다양한 기준에 의한 평가가 가능하지만 본 연구에서는 학교시설에서 에너지 소비에 가장 큰 영향을 줄 것으로 판단되는 학급수를 규모 분류의 기준으로 선정하였다. 전국 초등학교의 시설통계를 활용하여 평균 학급수를 산정한 결과 전국 초등학교의 학교당 평균 학급수는 21.2학급으로 나타났으며 이를 지역적인 특성에 따라 결정되어지는 경향이 큰 도서벽지 및 군/읍/면 지역의 학교를 제외한 대도시와 중소도시의 학교당 학급수가 각 31학급, 28학급 수준으로 유사하게 나타나 합산평균인 29.5학급인 학급수의 5% 오차 수준 내에 있는 초등학교로 표준학교의 범위를 좁혔다.

표준학교 선정 기준에 의해 최종적으로 분류된 초등학교 중 건립연도, 학급수, 리모델링 실시여부 등을 최종적으로 검토하여 경기도 소재 S초등학교를 물리적 기준에서의 표준학교로 최종 선정하였으며 전반적인 개요는 표 1과 같다.

표 1. S초등학교 개요

설립일	학급수	학급당 학생수	연면적
1988년	28학급	28.5명	5,826m ²
교사 현황			
일반교실	특별교실	기타교실	도서관
28실	2실	2실	1실
시청각실	교원시설	관리/지원	체육/집회
0실	2실	5실	1실
보건실	화장실	급식실	기타공간
1실	8실	1실	2실

2.3 성능적 기준의 선정

표준학교모델의 성능적 기준은 벽체의 구성, 창호의 종류, 적용 시스템 방식 등 학교 에너지 소비량에 직접적인 영향을 미치는 건물구성요소로 정의될 수 있으며 성능 기준은 리모델링을 통해 변경 가능한 범위에 대한 요소로서 정량적인 에너지 성능평가의 기준으로 활용될 수 있으며 본 연구에서 건축부문과 시스템부문으로 구분하였다. 건축부문의 성능 기준은 1980년도 ‘학교교사 표준설계도’를 근거로 설정하였으며 이는 표준학교모델의 시간적 범위인 1980~1990년이 표준설계도에 의해서 학교 건축이 가장 활발하게 이루어진 시기로 부위별 성능내역에 대한 대표성을 충분히 확보하기 때문이다. 시스템부문의 성능은 현재 노후화된 학교에 적용된 다양한 기준을 적용하였다. 표 2와 같이 연대별 학교 냉·난방설비시설 및 에너지원의 변화는 현재와 같은 다양한 시스템으로 이용되고 열원에 의한 냉·난방은 1990년대 이후에 이용되

1) 이상준 외. AHP 방법을 이용한 노후학교 에너지절감을 위한 요소기술의 우선순위 결정, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 11. No. 6. 2011. pp.127-132.

는 것을 알 수 있다²⁾.

표 2. 연대별 학교건물의 냉·난방 설비 및 에너지원변화

구분	난방		냉방	
	시설	에너지원	시설	에너지원
50년대	난로	솔방울	-	-
60년대	난로	갈탄	-	-
70년대	난로	갈탄	-	-
80년대	온풍기	유류/가스	선풍기	전기
90년대~	EHP/GHP	가스/전기	EHP/GHP	가스/전기

2.4 운영적 기준의 선정

운영적 기준은 표준학교의 실제 사용시간과 재실밀도, 공조시간 등을 포함한 포괄적인 범위에서의 사용 스케줄로 학교건물의 에너지 성능 평가에서 에너지 소비특성을 결정짓는 가장 큰 변수 중의 하나이며 학교급별로 구분할 수 있는 가장 중요한 요소이다. 학교시설의 운영시간, 수업일수, 학급당 학생수, 실내환경기준 등은 학교별 차이는 있으나 관련 법규, 교육과학기술부 및 교육청 등에서 권고하는 범위 내에서 결정되기 때문에 학교시설은 타 건물유형에 비해 비교적 명확한 사용스케줄을 가지고 있으며 운영 기준 설정의 신뢰성이 높은 건물유형으로 판단할 수 있다.

본 연구에서 초등학교시설의 운영기준은 학사일정, 사용시간, 발열요소의 밀도 및 실내 온도조건에 대해 설정하였으며 각 항목별 결과는 표 3과 같다.

표 3. 초등학교의 운영적 기준 설정

학기 및 수업일수 ³⁾	학기		수업일수	
	1학기	2학기	기준	예외
사용시간 ⁴⁾	3/1일부터	2/28일까지	220일/년	198일/년
	월~금요일		토요일	
발열밀도 ⁵⁾	08:30~15:30		08:30~12:30	
	인체 ⁶⁾		0.42인/m ²	
실내온도 조건 ⁸⁾	조명 ⁷⁾		9.5W/m ²	
	법령기준		설정기준	
냉방온도	냉방온도	난방온도	냉방온도	난방온도
	26~28℃	18~20℃	26℃	20℃

3. 에너지 해석을 위한 표준학교모델의 설정

표준학교 해석모델의 도출을 위한 시뮬레이션 과정의 초기 단계인 표준학교의 모델링 작업은 1980년 학교교사 표준설계도와 2장에서 표준학교로 선정된 경기도 S초등

- 2) 김태우 외. 교육시설변화에 따른 학교건축물의 에너지원 변화에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 10. No. 6. 2010. pp.73-80.
- 3) 초·중등교육법 시행령 제 44조 1항 및 제 45조 2항 기준임.
- 4) 조진일 외. 제로에너지·생태학교 모형개발 연구(II), 한국교육개발원
- 5) 학급 내 기기(TV, VTR, 컴퓨터 등)는 분석영역에서 제외됨.
- 6) 초등학교 학급당 평균 학생수인 28.6명을 표준교실면적인 67.5m²로 나눈 값임.
- 7) 표준교실면적에 대한 조명의 총 설치용량(300Lux 조도기준적용)으로 환산하여 계산한 값임.
- 8) 학교보건법 시행규칙 실내환경기준임.

학교의 설계도면을 참고하여 실시하였다. 따라서 가상의 표준학교 해석모델은 건립연도가 1980년대로 설정되었으며 건축구조는 1980년대에 따라던 철근 콘크리트 구조형식을 가져 왔으며 4층 규모의 건축면적 1,333m²로 설정하였다. 건물 내 냉·난방 방식으로는 학교건물에서 많이 적용되었던 냉방은 패키지 에어컨, 난방은 가스온풍기로 지정하였다. 또한 외벽단열은 T50 단열재, 지붕단열은 T100 단열재로, 바닥은 인조석 마감, 창호는 이중창으로 설정하였다. 그림 1과 표 4는 표준학교의 기준층 도면과 개요를 보여준다.

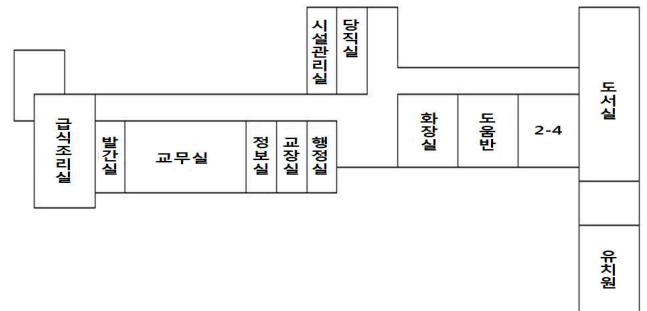


그림 1. 표준학교 모델의 기준층 도면

표 4. 표준학교모델 개요

구조	철근 콘크리트 구조
규모	지상 4층
건축면적	1,333m ²
연면적	5,826m ²
공조면적	3,193m ²
비공조면적	1,672m ²
입면구성	표준벽돌 0.5B, 1.0B쌓기, T=50 비드범보온판, 시멘트몰탈 마감
창호	U-factor=4.06(W/m ² ·℃), SHGC=0.774, Tvis=0.83 이중창
지붕	평슬라브 지붕
냉방	패키지 에어컨
난방	가스 온풍기
학급수	25 학급

시뮬레이션 해석모델 정의시 실별 공조조건이 동일한 실에 대하여 조닝을 실시였고 비공조실에 대한 에너지 사용량 산정도 모델링에 포함시켰다(그림 2 참조). 또한 공조공간과 비공조공간의 구분에 따른 스케줄, 침기 스케줄, 재실자 스케줄, 각 재료의 물성치, HVAC 시스템 변수 등 표준학교 해석모델 수립을 위한 입력 자료를 표준학교 설계도 및 S초등학교 건축도면을 바탕으로 설정하였다.

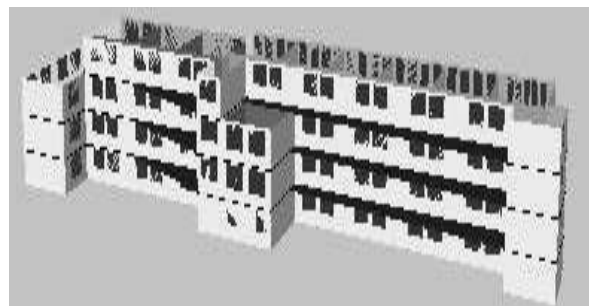


그림 2. 시뮬레이션 해석 모델링 및 조닝

표 5. 초등학교 기기, 조명 및 재실밀도 입력값 및 재실 스케줄

실구분		면적(m ²)	조명(W/m ²)		기기(W/m ²)	재실(m ² /인)		기기냉방능력(kW)	스케줄		재실 스케줄	
대구분	소구분		입력	등기구		입력	최대인원		학기중	연중	개시	종료
일반교실	학급	68/81	11.9	10EA	-	2.10	32	11	●		8:30	16:30
				12EA		2.53		13				
특별교실	컴퓨터실	162	8.89	18EA	50	1.90	85	13×2EA		●	8:30	17:00
	도서실	162	11.85	24EA	-	1.90	85	13×2EA		●	8:30	16:30
	과학실	162	8.89	18EA	-	4.05	40	13×2EA	●		8:30	17:00
교사	교무실	135	10.7	24EA	15	3.50	39	13×2EA		●	8:00	17:00
	교장실	34	9.5	4EA	15	34.0	1	5	●		8:30	17:00
	연구보건실	68	9.5	8EA	15	34.0	2	5	●		-	-
업무행정	정보실	34	9.5	4EA	15	17.00	2	-	●		8:30	17:00
	행정실	34	9.5	4EA	15	6.80	5	-	●		-	-
	발간실	34	9.5	4EA	15	17.00	2	-	●		-	-
	당직실	41	3.9	2EA	15	20.00	2	11		●	17:00	8:30
지원	급식실	105	11.4	15EA	5	2.1	50	13×2EA	●		11:30	13:30
	방송실	68	9.5	4EA	50	13.6	5	11	●		11:30	13:30
비공조	화장실	68	9.5	4EA	-	-	-	-		●	-	-
	복도	-	-	-	-	-	-	-		●	-	-
	계단	-	-	-	-	-	-	-		●	-	-
	시설관리실	-	-	-	-	-	-	-		●	-	-

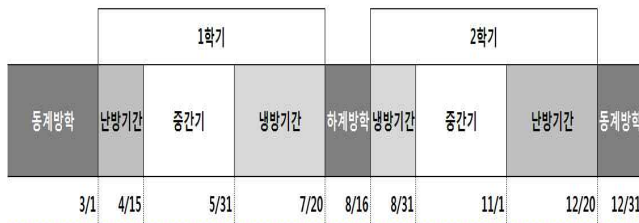


그림 3. 초등학교 운영 스케줄

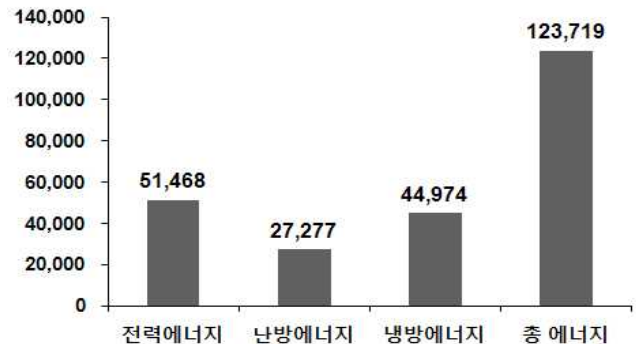


그림 4. 초등학교 기본 해석모델 연간 에너지 소비량(단위:kWh)

4. 에너지 해석모델 시뮬레이션 결과

4.1 기본 해석모델 입력 데이터 및 시뮬레이션 결과

에너지 시뮬레이션 변수 입력시 학교급별 가장 큰 차이를 나타내는 것은 재실자의 재실밀도, 재실 스케줄에 따른 운영시간 및 운영 스케줄 등이다. 본 연구에서는 시뮬레이션시 이러한 정확한 입력변수를 산정하기 위해서 교육통계서비스와 초·중등 교육법 시행령을 조사하였으며 초등학교의 입력변수는 표 5 및 그림 3과 같다.

가상의 표준학교 해석모델의 기본안을 바탕으로 Visual DOE 4.0 프로그램을 이용하여 에너지 시뮬레이션을 실시하여 연간 에너지 기본 사용량을 용도별로 그림 4와 같이 산출하였다. 연간 전력에너지 사용량의 경우 표준학교 해석모델에서 51,468kWh로 공조면적당 16.1kWh/m²로 분석되었다. 연간 난방에너지의 경우 27,277kWh로 공조면적당 난방에너지 소비량은 8.5kWh/m²으로 나타났으며, 연간 냉방에너지의 경우 44,974kWh로 공조면적당 14.1kWh/m²으로 나타났다. 이는 전력에너지인 조명사용량이 건물의 사용시간에 그대로 반영되었고 학교건물의 특성상 재실밀도에 따른 냉방부하의 증가로 판단된다. 또한, 다른 용도의 건물과 비교해서 단위공조면적당 상대적으로 적은 에너지 소비량은 방학이라는 긴 휴지기를 가지는 학교사용일정에 의한 것으로 판단된다. 표준학교의 해석모델에서 초등학교인 경우 총 연간 에너지 사용량은 123,719kWh,로 공조면적당 38.8kWh/m²으로 나타났다.

4.2 요소기술 개별적용 에너지 시뮬레이션 결과

기존 연구에서 도출된 노후학교건물에서의 에너지 절감을 위한 리모델링시 중요한 요소기술은 단열, 자연채광, 제어(시스템효율 및 실내설정온도), 창호 부문 등으로 나타났다. 따라서 본 연구는 위 요소기술의 여러 대안들을 중심으로 표준학교 해석모델에서 에너지 시뮬레이션을 실시하였다. 네 가지 요소기술의 대분류 및 대안들은 표 6 및 7과 같다. 외벽, 내벽 및 지붕단열의 경우 단열등급과 두께별로 나누어서 열관류율(단위: W/m²K) 대안을 설정하였으며 내·외벽창호단열의 경우 알루미늄 창틀에 유리 종류별로 나누어서 열관류율 대안을 설정하였다. 창호 SHGC(Solar Heat Gain Coefficient) 또한 유리 종류별로 대안을 분류하였다. 자연채광부문에서 남측루버 설치하는 루버의 깊이에 따라서 대안을 선정하였으며 실내설정온도조절의 경우 학교보건법 및 건축물의 에너지절약 설계기준인 냉방 26~28℃, 난방 18~20℃ 규정을 바탕으로 대안을 분류하였다. 시스템효율 변경에 대한 에너지 절감량 산정을 위해서 효율등급별로 대안을 나누어서 선정하였으며 5개의 EHP(Electric Heat Pump) 시스템효율등급은 효율관리기자재 운용규정에 따라서 냉난방 COP(Coefficient of Performance)를 계산하여 에너지 시뮬레이션에 적용하였다.

표 6. 단열 및 창호부문 요소기술별 분류 및 대안

구분	외벽 단열	내벽 단열	지붕 단열	외벽창호 단열	내벽창호 단열	창호 SHGC
기본안	0.47	3.26	0.34	4.07	3.26	0.78
대안 1	0.36	2.30	0.28	2.80	3.08	0.60
대안 2	0.34	2.10	0.25	2.10	3.01	0.35
대안 3	0.29	2.00	0.22	1.90	2.92	-
대안 4	0.25	1.95	0.20	1.80	2.83	-
대안 5	0.21	1.90	0.17	1.40	-	-
대안 6	0.17	-	0.15	1.30	-	-

표 7. 자연채광 및 제어부문 요소기술별 분류 및 대안

구분	남측루버깊이	시스템효율	실내설정온도
기본안	-	패키지에어컨 + 가스온풍기	냉방 26℃/난방 20℃
대안 1	200mm	EHP 1등급	냉방 27℃/난방 19℃
대안 2	400mm	EHP 2등급	냉방 28℃/난방 18℃
대안 3	600mm	EHP 3등급	-
대안 4	800mm	EHP 4등급	-
대안 5	1,000mm	EHP 5등급	-

각 요소기술의 대안을 초등학교의 표준해석모델에 개별적으로 적용한 결과, 용도별 평균 연간 에너지 소비량은 그림 5와 같이 산출되었다. 전력에너지의 경우 조명기기 및 밀도와 관련이 있어서 본 연구에서 적용된 요소기술에서는 기본안 대비 아무런 증감이 없었으며 냉방에너지의 경우도 기본안 대비 크게 증감이 나타나지 않은 것으로 나타났다. 그러나 초등학교 건물에서 냉방에너지는 지붕단열, 내벽창호단열, 내벽단열, 남측루버깊이, 실내설정온도, 시스템효율, 창호 SHGC 변경 순으로 절감되는 것으로 나타났으며 외벽단열 및 외벽창호단열은 냉방에너지를 증가시키는 것으로 나타났다.

난방에너지의 경우 요소기술을 적용할 경우 크게 증가 또는 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 창호 SHGC 변경에 따라서 난방에너지는 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 내벽창호단열, 지붕단열, 외벽단열, 실내설정온도, 시스템효율, 외벽창호단열 순으로 난방에너지가 초등학교 해석모델의 기본안 대비 크게 감소되는 것으로 분석되었다. 따라서 총 연간 에너지 측면에서는 냉방에너지보다 난방에너지에 의해서 기본안 대비 에너지 증감율의 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

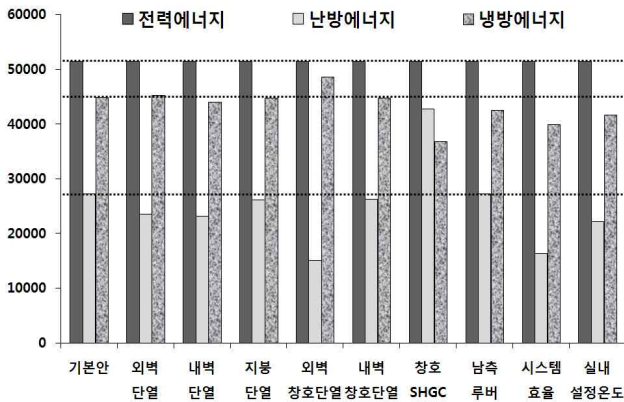


그림 5. 요소기술 대안의 용도별 평균 연간 에너지 소비량(kWh)

그림 6은 기본안 대비 연간 총 에너지 소비량의 평균 절감율을 나타내며 창호 SHGC를 제외한 다른 요소기술을 적용시 노후 초등학교 건물에서 연간 총 에너지는 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 시스템효율과 실내설정온도조절과 같은 제어부문에서 기본안 대비 에너지 절감이 크게 이루어지는 반면 지붕 및 내벽단열과 남측루버설치에서는 에너지 절감이 적게 이루어지는 것으로 나타났다.

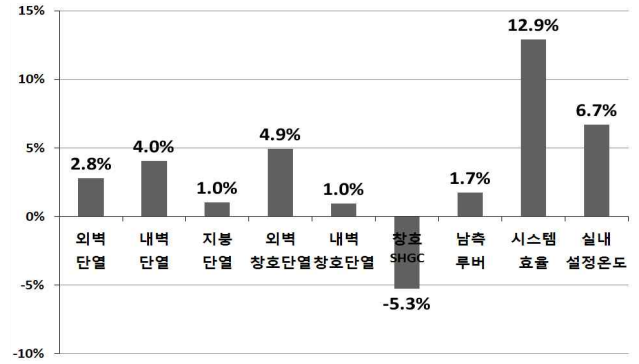


그림 6. 요소기술별 평균 총 에너지 절감율

기본안 대비 각 요소기술의 최고대안에 대한 용도별 연간 에너지 성능을 분석한 결과는 표 8과 같다. 연간 총 에너지 소비량 측면에서 창호 SHGC를 제외한 요소기술 중에서 내벽창호단열, 지붕단열, 남측루버깊이, 외벽단열, 내벽단열, 외벽창호단열, 시스템효율 순으로 절감되는 것으로 나타났다. 초등학교 해석모델에서 연간 난방에너지의 경우 내벽창호단열, 지붕단열, 내벽단열, 외벽단열, 시스템효율, 외벽창호단열 순으로 절감되는 반면에 연간 냉방에너지의 경우 내벽창호단열, 지붕단열, 내벽단열, 남측루버, 창호 SHGC, 시스템효율 순으로 절감되는 것으로 분석되었다.

표 8. 요소기술별 최고대안 용도별 에너지 증감율

구분	전력 에너지	난방 에너지	냉방 에너지	전체 에너지	전체 증감율
기본안	51,468	27,277	44,974	123,719	-
외벽단열	51,468	21,655	45,461	118,584	-4.15%
내벽단열	51,468	22,664	43,928	118,060	-4.57%
지붕단열	51,468	25,510	44,809	121,787	-1.56%
외벽창호단열	51,468	11,798	49,955	113,221	-8.49%
내벽창호단열	51,468	25,858	44,669	121,995	-1.39%
창호 SHGC	51,468	50,170	33,416	135,054	9.16%
남측루버	51,468	27,277	41,547	120,292	-2.77%
시스템효율	51,468	14,200	31,452	97,120	-21.50%

5. 결론

본 연구에서는 기존 연구의 결과로서 노후학교 리모델링에서 에너지 절감을 위해서 최우선적으로 적용되어야 하는 요소기술을 초등학교 표준모델에 적용하여 각 요소기술의 에너지 성능을 평가하였다. 노후 초등학교의 에너지 시뮬레이션 해석모델 구현과정에서 시간적, 물리적, 성능적, 운영적 측면에서 타당성 있는 분석모델을 제시하

였으며 기본 해석모델의 입력데이터는 교육통계서비스와 관련법규를 조사하여 산정하였다. 적용된 요소기술로서 건축부문에서의 단열과 창호, 빛환경부문의 남측루버깊이, 제어부문의 시스템효율과 실내설정온도조절 중심으로 노후 초등학교 에너지 해석모델에서 기본안 대비 절감효과를 분석하였다.

에너지 시뮬레이션 도구인 Visual DOE 4.0 프로그램을 이용한 각 요소기술의 용도별 에너지 성능에 대한 비교 분석결과는 다음과 같다.

(1) 노후 초등학교 건물에서 연간 냉방에너지는 지붕단열, 내벽창호단열, 내벽단열, 남측루버깊이, 실내설정온도, 시스템효율, 창호 SHGC 변경 순으로 절감되는 것으로 나타난 반면 외벽단열 및 외벽창호단열은 냉방에너지를 증가시키는 것으로 나타났다.

(2) 연간 난방에너지 측면에서는 창호 SHGC 변경은 난방에너지를 크게 증가하는 것으로 나타난 반면 내벽창호단열, 지붕단열, 외벽단열, 실내설정온도, 시스템효율, 외벽창호단열 순으로 기본안 대비 난방에너지가 크게 감소되는 것으로 나타났다.

(3) 연간 전력에너지 측면에서는 조명기기 및 밀도와 관련이 있어서 적용된 요소기술에서는 기본안 대비 아무런 증감이 없는 것으로 나타났다.

(4) 연간 총 에너지 측면에서는 창호 SHGC를 제외한 다른 요소기술을 적용시 노후 초등학교 건물에서 기본안 대비 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 시스템 효율과 실내설정온도와 같은 제어부문에서는 에너지 절감이 크게 이루어지는 반면, 지붕 단열, 내벽단열 및 남측루버부문에서 에너지 절감이 적게 이루어지는 것으로 나타났다.

본 연구에서의 노후 초등학교 건물에서의 에너지 절감 요소기술의 성능평가결과를 바탕으로 학교 리모델링시 에너지 절감을 위한 요소기술의 적용우선순위를 제시하는 기초자료로서 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 향후 연구주제로서 선정된 요소기술의 여러 대안에 대한 공사비 증감과 관련된 공사비 대비 에너지절감효과를 조사하여 요소기술 대안별 객관성 및 적정성을 검증하는 연구와 본 연구에서 적용되지 않은 요소기술인 차양설치, 침기, 자연환기 및 인공조명 등과 같은 요소의 에너지 절감효과를 분석하는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 또한 에너지 시뮬레이션 변수 입력시 학교급별로 가장 큰 차이를 나타내는 재실자의 재실밀도, 재실 스케줄에 따른 운영시간 및 운영스케줄 등의 변수를 중학교 및 고등학교 해석모델에 다르게 적용하여 학교급별 해당 요소기술의 리모델링 적용시 우선순위를 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

이 논문은 2011년도 에너지관리공단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011507820-00).

참고문헌

1. 국가법령정보센터, <<http://www.law.go.kr/main.html>>.
2. 김태우, 이강국, 홍원화, 교육 시설기준 변화에 따른 학교건물의 에너지원 변화에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 10. No. 6. 2010. pp.73-80.
3. 안광호, 김형근, 최용석, 에너지 시뮬레이션을 통한 친환경학교의 에너지절약 계획방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, Vol. 27. No. 12. 2011. pp.19-26.
4. 윤종호, 신우철, 조진일, 최형주, 김효중, 전국초등학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 대한건축학회논문집 계획계, Vol. 26. No. 9. 2010. pp.275-282.
5. 이상춘, 최영준, 최율, AHP 방법을 이용한 노후학교 에너지절감을 위한 요소기술의 우선순위 결정, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 11. No. 6. 2011. pp.127-132.
6. 조진일, 윤종호, 신우철, 강은주, 최형주, 제로에너지·생태학교 모형개발 연구(II), 한국교육개발원, 2009.
7. Architectural Energy Corporation, Visual DOE 4.0 User Manual, 2004.
8. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, 2007.

투고(접수)일자: 2012년 3월 19일

수정일자: 2012년 4월 12일

게재확정일자: 2012년 4월 15일