

# 제로에너지 스쿨을 위한 초등 교육시설의 에너지 성능평가

윤종호\*, 신우철\*\*, 조진일\*\*\*, 박재완\*\*\*\*, 김효중\*\*\*\*\*, 이철성\*\*\*\*\*,

\*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr), \*\*대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr),  
\*\*\*한국교육개발원 연구위원(chojinil@kedi.re.kr), \*\*\*\*대전대학교 건축공학과(mil0516@dju.ac.kr),  
\*\*\*\*\*한밭대학교 건축공학과(khj8181@empal.com), \*\*\*\*\*한밭대학교 건축공학과(aeerulab@gmail.com)

## Energy Performance Evaluation of A Primary School Building for Zero Energy School

Yoon, Jong-Ho\*, Shin, U-Cheul\*\*, Cho, Jin-Il\*\*\*  
Park, Jae-Wan\*\*\*\*, Kim, Hyo-Jung\*\*\*\*\*, Lee, Chul-Sung\*\*\*\*\*

\*Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),  
\*\*,Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr),  
\*\*\*Korean Educational Development Institute(chojinil@kedi.re.kr),  
\*\*\*\*Graduate School, Daejeon University(mil0516@dju.ac.kr),  
\*\*\*\*\*Graduate School, Hanbat National University(khj8181@empal.com),  
\*\*\*\*\*Graduate School, Hanbat National University(aeerulab@gmail.com)

### Abstract

---

This study analyzed the standard school's energy usage and patterns as the zero-energy goal of primary school building, and proposed the energy reduction process of school building using energy analysis computing simulation tool. As a analysis simulation tool, Visual DOE 4.0 is used. For analysis of actual energy usage, selected primary school that is standard in the nation's energy consumption. Standard of the school's energy consumption analysis were divided into electric and gas energy. Input parameters of the simulation program based on the literature material and field survey material. after, but it was calibrated to comparison with the standard school's energy consumption. Finally, its energy usage analyzed by component and made the priority order of energy saving. Applied energy saving technologies are envelopment insulation, high efficiency lighting, high performance HAVC system and used active equipment system of solar collector and photovoltaic generation for additional savings

Keywords : 초등교육시설(Primary Education Facilities), 에너지절약(Energy conservation), 에너지시뮬레이션(Energy Simulation), 제로에너지스쿨(Zero Energy School)

---

### 1. 서 론

부존자원의 유한성, 지구환경오염, 유가의  
고공상승 등의 용어는 현재 우리사회에서 환  
경과 관련하여 흔히 사용하는 일상용어가 되

었다. 70년대 후반, 오일 파동 이후만 하더라도 이런 용어는 일시적인 유행어 정도였으나, 현대에 와서는 우리 피부에 직접적으로 와 닿는 우리의 생존을 위한 방안으로 세계가 함께 심도있는 고민을 하지 않으면 안 되는 주제가 되었다. 최근들어 에너지 절약과 신재생에너지의 관심이 높아져 주거 건물 및 상업건물에서 화석연료 에너지 사용을 순차적으로 줄여 결국 제로에너지(Zero Energy) 건물로 가기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이는 비단 주거 및 상업건물에 국한되는 것이 아니며 교육시설 대해서도 제로에너지(Zero Energy) 실현을 모색하고 있다.

따라서 본 연구는 국내 교육시설의 에너지 사용량을 절약 우선순위로 분석하고 여러 가지 기술적용을 통하여 제로에너지 스쿨의 가능성을 검토하는데 그 목적이 있다.

### 1.2 연구의 진행 및 방법

본 연구의 진행 방법은 국내 교육 시설의 에너지 실사용량을 산출하기 위해 초등학교를 대상으로 전국을 대표할 수 있는 기준학교 1개를 선정하였다. 이 기준학교를 근거로 컴퓨터 시뮬레이션 상에서 ZeS(Zero Energy School)를 위한 해석모델을 제시하고 기존 선행연구 및 에너지 사용량 실측조사 결과를 토대로 실제 학교 에너지 사용량과 오차 범위를 최소화하여 다양한 방법으로 ZeS의 가능성을 연구하였다.

## 2. 분석대상 기준학교의 에너지 소비 현황 분석

국내 초등학교 중 에너지 사용량에서 전국의 평균값에 위치하는 분석대상 기준학교의 선정은 수년간의 에너지사용량 실적데이터를 기준으로 선정하였다. 분석대상 학교는 인천지역의 H초등학교이며, 기준학교 선정에 대한 대표값 검증을 위해 초등학교에서 소비되는 다양한 에너지 사용량(전기, 가스, 기름, 집단에너지, 탄류 등)을 하나의 지표로

통일하여 지역별 상대 비교를 실시하였다.

그림 2의 분석결과에 나타난 바와 같이 기준학교의 학생 1인당 에너지 사용량이 375 kWh/인.yr 로 전국적으로 약간 높은 에너지 사용량을 보이고 있지만 인천지역 및 대도시 지역 에너지 사용량으로 볼 때 평균에 위치하고 있다.

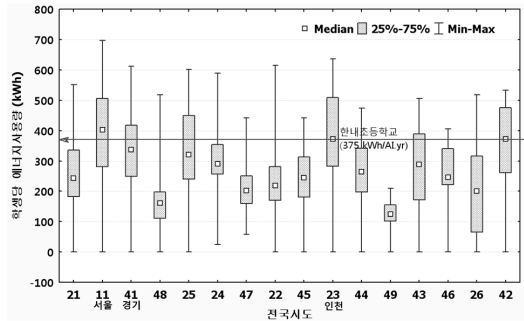


그림 1. 초등학교 학생 1인당 연간 총에너지사용량(2007년, 열+전기)

## 3. 선정된 기준학교의 에너지 사용량 분석

### 3.1 전기 사용량 분석

기준학교의 2007년도 시간별 전기 사용량 실적데이터를 수집하여 이를 근거로 전기사용량 분석을 수행하였다. 그림 3은 월별 사용량에 대한 분석결과에 대한 예이다.

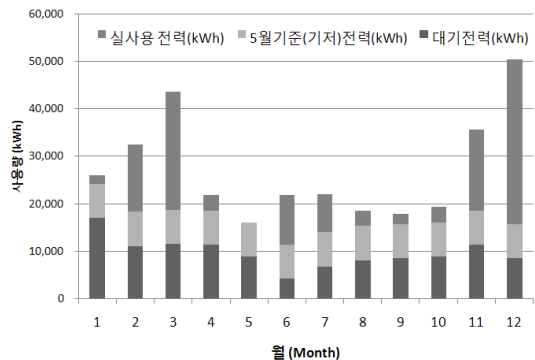


그림 2. 월평균 전기에너지 사용량 분석

그림 3의 월별 그래프 분석에서 방학기간을 제외한 동절기와 하절기에 전기 사용량이

증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 학생들이 재실하는 학기 중 냉난방을 위해 전기를 소비하는 EHP(Electronic Heat Pump)를 사용하기 때문이다. 냉방과 난방의 전기 소비 비율은 난방의 경우가 냉방의 경우보다 약 3.2 배 높다는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 성분별 전기사용량 분석

2007	대기전력 (kWh)	5월 기준 (기저)전력 (kWh)	실사용전력 (kWh)
JAN	17,106	7151.94	1,716
FEB	11,175	7151.94	14,110
MAR	11,632	7151.94	24,734
APR	11,464	7151.94	3,258
MAY	8,928	7151.94	0
JUN	4,320	7151.94	10,470
JUL	6,855	7151.94	8,010
AUG	8,184	7151.94	3,228
SEP	8,640	7151.94	2,040
OCT	8,928	7151.94	3,341
NOV	11,365	7151.94	17,123
DEC	8,653	7151.94	34,516
Total	117,251	85823.28	201,219

표 2.와 같이 전기 사용량을 성분별로 분석해 보면 변압기 손실이 연간 전체 사용량의 5%에 해당하는 16,281kWh, 전기기기를 사용하지 않고 플러그만을 꼽아 발생하는 대기전력은 월별 최소 4,320kWh에서 최고 17,106kWh를 차지한다. 여기서 연간 발생하는 대기전력이 전체 소비전력의 29%를 차지하고 있다는 점이 특이사항으로 분석되었다.

기준(기저)전력은 기기를 가동함으로써 사용되는 전력 중 냉난방을 위해 소비되는 전력을 제외한 값으로서 계절에 관계없이 사용되는 조명, 컴퓨터, 복사기, TV 등의 전기기기가 여기에 해당된다. 이 전력량 산출은 냉난방용 전기 에너지 소비가 없다고 가정한 5월을 기준으로 매월 동일한 7151.94 kWh 값을 적용하여 분석하였다.

실사용전력은 냉난방을 위해 사용되는 전기기기의 전력을 의미하며 EHP, 난방순환펌

프, 개별 냉난방 장치 등이 있다. 냉방과 난방에서 소비된 전기사용량의 비율을 살펴보면 동절기에 사용된 난방용 전기사용량이 하절기에 사용된 냉방용 전기사용량보다 3배 이상 높다는 사실을 알 수 있다. 이로써 국내의 학교시설 건물은 냉방보다 난방위주의 건물이라는 것을 판단할 수 있다.

인천관내 초등학교를 대상으로 분석한 선행사례<sup>1)</sup>와 본 연구의 기준학교 전기사용량 비교 해 보면 기준학교에서 1인당 월평균 전기 사용량이 27.4kWh/인, 인천관내 1인당 월평균 전기 사용량이 25.2kWh/인으로 유사한 값을 보여주고 있다.

### 3.2 가스사용량 분석

난방 및 급탕으로 사용되는 가스사용량은 그림 4의 연도별 분석 결과에 나타난 바와 같이 매년 비슷한 사용량 변화 추이를 보이고 있다.

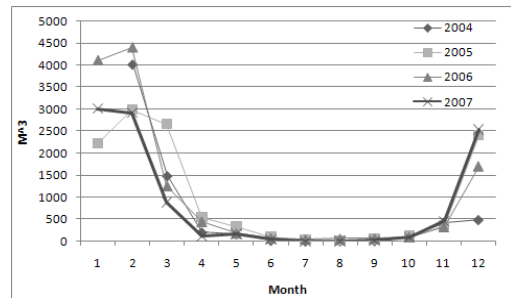


그림 3. 연별 가스사용량 (난방/급탕)

월별 변화에서는 동절기에 집중적으로 사용되고 있음을 알 수 있으며, 본 연구에서 해석 모델 수립을 위해 선정한 2007년 데이터는 1월 달에 약 3000m³로 최고값을 나타내고 있다. 하절기에는 난방과 급탕을 하지 않기 때문에 사용량이 거의 발생하지 않는다.

1) 논문 : 초·중등 교육시설의 유지관리비 분석 / - 인천광역시 초·중등학교 중심으로, 2005년도 시설운영비 - 한국교원대학교 / 김영구 / 2007년

### 3.3 기준학교의 에너지 총사용량 분석

위에서 분석한 에너지 공급 원료별 사용량을 종합하여 원단위로 분석해 보면 그림 4와 같다.

기준학교의 전체 에너지에서 전기와 가스의 에너지를 비교해 보면 전기가 47kWh/m<sup>2</sup>.yr, 가스가 52.9kWh/m<sup>2</sup>.yr이며, 이것은 가스 사용량이 전기사용량보다 약 0.26배 높은 수치로, 가스 소비가 약간 미소하게 많은 수치이지만, 전반적으로 전기 사용량과 가스 사용량이 거의 동일한 비율로 사용되고 있다.

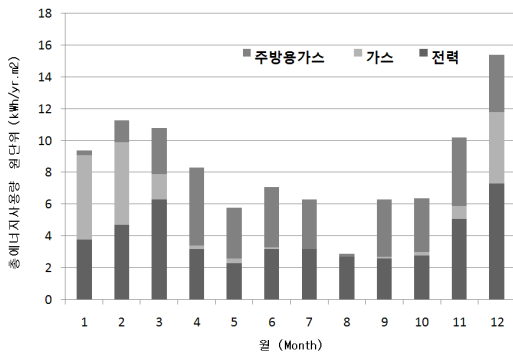


그림 4. 기준학교 에너지 총사용량 분석

## 4. ZeS 검토를 위한 해석모델 제시

표 2. 건물 개요

대지위치	경기도 고양시 일산구 대화동	
용도	교육연구시설 (초등학교)	
구조	철근 콘크리트조	
규모	지하 1층, 지상 5층	
대지면적	11046m <sup>2</sup>	
건축면적	3165.23m <sup>2</sup>	
지상층면적	11354.73m <sup>2</sup>	
지하층면적	386.28m <sup>2</sup>	
개요	건폐율	0.2865
	용적률	1.0279
입면재료	적벽돌 치장쌍기, T=75드라이비트	
	T=3칼라알루미늄쉬트판넬	
창호	T=16mm 칼라복층유리,	
	T=12mm칼라강화유리,	
	T=3mm맑은유리	
지붕	평슬라브지붕, 아치지붕	
냉방	EHP 냉난방 시스템	
학급수	41학급	

### 4.1 해석모델을 위한 시뮬레이션 프로그램

기준학교의 에너지 사용량 및 다양한 정보를 바탕으로 해석모델을 제시하였으며, 그 도구로는 미국 LBNL의 DOE 2.1e를 사용하였다. 본 프로그램은 최근까지 계속 개발·검증되고 있는 건물 에너지해석 프로그램으로서 주어진 기후조건에서 건물에 대한 시간별 에너지소비량을 예측할 수 있다.

### 4.2 기준학교와 해석모델의 오차분석

기준학교의 에너지 실측데이터와 시뮬레이션 프로그램을 활용한 해석모델의 에너지 사용량과의 오차는 기준학교 현장답사를 통해 스케줄, 침기량, 냉난방설정온도 등의 입력 변수를 재조정하여 실제 에너지 사용량과의 오차 범위를 10% 이내로 일치시키는 보정작업을 실시하였으며 그 결과는 그림 5와 같다.

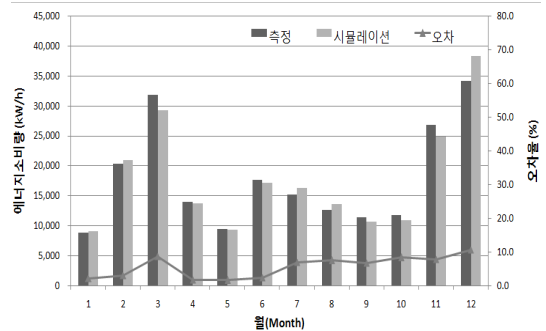


그림 5. 실측 및 해석결과의 오차분석 결과

## 5. 해석모델 시뮬레이션 결과

기준학교를 토대로 작성한 해석모델의 전체 에너지 사용량 원단위는 100.8 kWh/m<sup>2</sup>.yr로 분석되었다. 성분별로 나누어 보면 다음과 같다.

### 5.1 해석모델의 전기에너지 원단위

전기에너지 사용량을 성분별로 분석한 결과 표 4와 같이 냉난방에서 난방용으로 사용되는 비율이 25%, 냉방용으로 사용되는

비율이 8%로 냉방보다 냉방용으로 사용되는 비율이 3.1% 높게 나타났다. 냉난방용 외에 사용기기의 전기에너지가 21%로 높게 나타났으며, 대기전력이 13.7%, 조명의 전기에너지가 11%로 나타났다. 전기 에너지 총 소비량이 47.8kWh/m<sup>2</sup>,yr로, 전체 에너지 소비량 100.8 kWh/m<sup>2</sup>,yr에서 약 47.4%를 차지하고 있다.

표 3. 해석 모델을 통한 전기 에너지 사용량  
원단위 (kWh/m<sup>2</sup>,yr)

조명	5.11
장비	6.68
난방용	11.81
냉방용	3.68
펌프 및 주변설비	0.58
환기팬	1.52
외부 주변설비	1.59
기준부하	10.28
플러그부하	6.55
계	47.81

## 5.2 해석모델의 가스에너지 원단위

표 4. 해석 모델을 통한 가스에너지 사용량  
원단위 (kWh/m<sup>2</sup>,yr)

가사실사용	0.94
화장실난방	7.79
숙직실난방	1.82
급탕사용량	7.70
주방가스사용량	34.71
계	52.96

가스에너지 사용량을 사용 요소별로 분석한 결과 표 5와 같이 주방에서 취사용으로 사용되는 가스 사용량이 65%로 가장 넓은 비율을 차지하며 다음으로 화장실과 급탕 사용량에 각각 15%를 차지하고 있었다. 가스 총 소비량이 52.96 kWh/m<sup>2</sup>,yr로 전체 에너지 소비량의 100.8 kWh/m<sup>2</sup>,yr에서 약 52.5%를 차지하고 있다.

## 5.3 에너지 절약 우선순위 수립

기준학교의 모델을 토대로 작성한 해석모

델에서 용도별 전체 에너지 사용량을 분석한 결과 그림 6과 같이 식당에서 취사용으로 사용되는 에너지 사용량이 34%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었으며 냉난방 에너지 사용량이 16%로 그 뒤를 이었다. 또한 대기 전력이 전체 에너지 소비에 6%를 차지하고 있다. 이들 결과는 제로에너지 스쿨의 구현을 위한 절약기술의 우선순위 판정을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

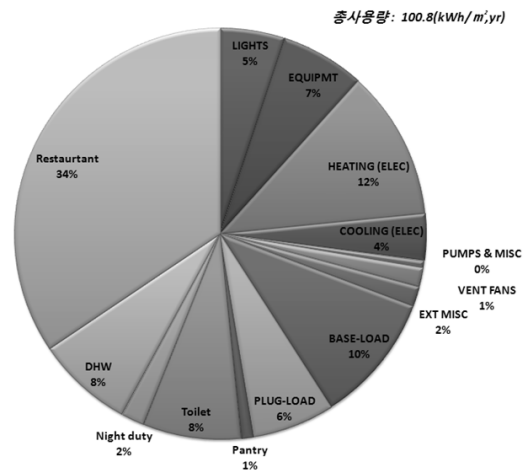


그림 6. 용도별 에너지 사용량

## 5.4 ZeS를 위한 요소기술 적용 분석

에너지 저감을 위한 요소기술별 적용효과 분석은 외피, 조명, 냉난방설비, 신재생에너지 기술적용효과로 나누어 수행하였다. 분석 결과를 중심으로 요소기술별 최적안을 선정하여 단계별 적용효과를 분석하였다.

외피관련기술 적용효과의 경우 단열두께를 125mm에서 500mm로 증가시킴으로서 약 1.3~3.4kWh/m<sup>2</sup>,yr의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

창호관련기술의 경우 색유리, 로이유리, 복층유리, 삼중유리를 사용했을 때 유리의 특성에 따라 4.83kWh/m<sup>2</sup>,yr까지 감소될 수 있는 것으로 나타났다.

침기량의 경우 기준안 0.7회에서 0.2회까지

감소시켰을 때 0.5~1.4kWh/m<sup>2</sup>.yr까지 절감이 가능 한 것으로 나타났다.

표 5. 요소기술단계별 에너지 저감량

(kWh/m <sup>2</sup> .yr)	기준	벽체단열 125mm	지붕단열 175mm	고단열 창호	설정 온도	고효율 설비
조명	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
장비	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
난방용전기	11.8	11.1	10.9	9.2	4.0	3.7
냉방용전기	3.7	3.7	3.7	3.9	3.0	1.4
펌프&설비 환기팬	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
주변설비	1.5	1.5	1.5	1.4	0.8	0.9
주변설비	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
난방가스	10.5	10.0	9.9	8.7	8.4	8.4
급탕	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
기준 전력	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
대기 전력	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
식당급탕	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
식당취사	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
<b>원단위</b>	<b>100.8</b>	<b>99.4</b>	<b>99.2</b>	<b>96.4</b>	<b>90.9</b>	<b>87.2</b>
누적절감량		-1.3	-1.6	-4.4	-9.9	-13.6
개별절감량		-1.3	-0.2	-2.8	-5.5	-3.7
비율 (%)		99%	98%	96%	90%	87%

조명관련 기술효과를 보면 고효율 조명기구와 재실자 센서, 자연채광 조명센서를 적용할 경우 2.55~5.8kWh/m<sup>2</sup>.yr까지 에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

냉난방설비 기술 적용효과의 경우 현재의 난방효율 1.4, 냉방COP 2.2에서 난방효율을 3~4, 냉방COP를 4~5로 증가시켰을 경우 2.9~3.6kWh/m<sup>2</sup>.yr까지 절감 가능한 것으로 나타났다.

현재 난방설정온도 23℃, 냉방설정온도 26℃에서 난방 20~18℃, 냉방 28℃로 유지했을 경우 6.7~8.2kWh/m<sup>2</sup>.yr까지 절감할 수 있을 것으로 분석되었다.

신재생에너지에서 자연형 태양열 난방방식을 적용했을 경우 2.24kWh/m<sup>2</sup>.yr의 에너지가 절감되는 것으로 분석되었으며, 태양열 온수 난방 및 급탕을 적용할 경우 집열기 설치면적(50~200m<sup>2</sup>)에 따라 7.8~14kWh/m<sup>2</sup>.yr의 에너지 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 30kWp의 태양광 발전 시스템을 적용했을 경우 5.1kWh/m<sup>2</sup>.yr의 에너지 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

본 연구는 학교건물의 제로에너지화를 목표로 기준학교의 에너지 사용량 및 사용패턴을 분석하여 각 사용요소별 학교건물에 적합한 에너지 절감 방안을 평가하였다. 이에 따라 우선 기준학교의 에너지 사용량 분석을 수행하고, 이를 기준으로 에너지 해석 모델을 수립하였으며, 시뮬레이션 해석모델을 중심으로 요소기술별 적용을 통한 에너지 저감방안에 대해 분석하였다. 이를 근거로 통합 적용효과 및 제로 에너지화를 위한 요소기술별 단계별 수준을 제시하였다.

모든 요소기술을 적용하였을 경우 최종적으로 72.7kWh/m<sup>2</sup>.yr까지 절약할 수 있으며 이것은 표준모델 원단위 100.8kWh/m<sup>2</sup>.yr에서 27.9%의 에너지를 절약할 수 있는 것으로 평가되었다.

## 참 고 문 헌

1. 김영구, 초,중등 교육시설의 유지관리비 분석, 한국교원대학교, 2007년
2. 윤종호, 이의준, 기준부하 분석을 통한 상업용건물 에너지 해석모델의 보정방법 개발연구, 대한건축학회, 1999년
3. 조두상, 홍원화, 이상홍, 학교건축물의 에너지소비 원단위화에 관한 연구, 대한건축학회, 2002년
4. 윤용상, 친환경 교육시설 모형개발 연구(1) - 에너지 절약학교 시설모형(2), 건설기술연구소, 2007년
5. 조진일 외, 제로에너지·생태학교 모형 개발 연구(1), 한국교육개발원, 2008년
6. U.S. Green Building Council, U.S. Department of Energy, K-12 School Buildings Achieving 30% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building American, 2008년