

고등학교 시설의 에너지 소비량특성에 관한 사례분석

김강식*, 박재완**, 윤종호***, 신우철****

*한전전력연구원녹색성장연구소(kimks@kepri.re.kr), **대전대학교 건축공학과 대학원(mil0516@dju.ac.kr),
한밭대학교 건축공학과(aeerulab@naver.com), *대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr)

A Case Study of Characteristics of Energy Consumption of a High School Education Facilities

Kim, Kang-Sik* Park, Jae-Wan** Yoon, Jong-Ho*** Shin, U-Cheul****

*Green Growth Laboratory, Korea Electric Power Research Institute(kimks@kepri.re.kr),
**Dept. of Architecture, Graduate School, Daejeon University(mil0516@dju.ac.kr),
***Dept. of Architecture, Hanbat University(jhyoon@hanbat.ac.kr),
****Dept. of Architecture, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr)

Abstract

It has to take quantitative energy usage of high school education facilities in nations to set goals of their energy reduction. Therefore, The purpose of this study is to present various analysis result of energy consumption that is a statistical analysis of high school education facilities in Korea to set the goal of energy saving. This study has enforced analysis and has provided used energy for the year 2008 and general information from 2022 high school education facilities in 16 cities in South Korea by the relevant agency. Used energy sources in high school education facilities are electricity, gas for heating, oil, coal, water, and this study has changed the various used energy sources as unit 'kWh' only for comparison and analysis them.

Keywords : 고등학교(High School), 교육시설(Education Facilities), 에너지 사용량(Energy consumption), 에너지 원 단위(Energy Consumption Unit), 통계분석(Statistical Analysis), 시뮬레이션 분석(Simulation analysis)

1. 서 론

1.1 연구의 필요성 및 목적

학교건물은 건폐율이 낮고, 건축구조가 단순하며, 지붕형태, 재질크기, 사용스케줄, 사용인원 및 건물의 규모 등이 학교별로 큰 차이를

보이지 않는다는 측면에서 정부주도의 에너지절약 정책과 기술을 도입하기에 매우 적합하다고 할 수 있다. 특히 공공건물로 분류되는 학교 건물은 에너지절약기술을 도입함으로써 사회 공공성과 교육적 효과를 극대화할 수 있고, 체계화된 행정구조로 인한 정책도입

투고일자 : 2011년 9월 9일, 심사일자 : 2011년 9월 9일, 게재확정일자 : 2011년 10월 20일
교신저자 : 신우철(shinuc@dju.ac.kr)

및 유지관리에 따른 제반비용을 절감할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이에 따라 교육과학기술부는 2009년 그린스쿨 사업추진계획을 통해 생태학교, 자연친화형학교, 에너지절감형학교, 친환경소재형학교에 대한 신축 및 개보수에 대한 구체적인 정부사업을 추진하고 있다¹⁾. 이와 같은 에너지절약사업의 방향과 목표를 세부적으로 구체화하기 위해서는 학교건물에 대한 에너지 사용량 및 사용패턴, 운영실태 등에 대한 기초조사가 선행적으로 이루어져야 한다. 하지만 지식경제부에서 발간하는 ‘에너지총조사보고서’²⁾와 각 교육청에서 보유하고 있는 학교별 전체 에너지사용량 등을 제외하면 학교건물에서 사용되는 에너지의 사용패턴 및 세부사용량, 운전실태 등 학교건물에 대한 면밀한 분석이 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

이에 반해 미국의 경우 학교건물 에너지절감 및 효율에 대한 연구와 디자인가이드라인 연구 개발을 이미 수행해오고 있으며, 그 결과로 ‘Advanced Energy Design Guide for K-12’를 제시하고 있다³⁾.

이에 본 연구에서는 전국 고등학교의 에너지사용량에 대한 통계자료를 기반으로 기준 고등학교를 선정하고, 에너지소비와 관련한 현장실태조사와 에너지 시뮬레이션을 통하여 에너지소비형태 및 특성을 파악함으로써 향후 기존 고등학교 시설의 그린스쿨 사업추진과 관련한 기초자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 절차

본 연구의 단계별 수행방법은 다음과 같다. 첫째, 전국 고등학교의 에너지사용량에 대한 통계자료를 기반으로 기준 고등학교를 선정하고 둘째, 기준학교의 현장방문 및 도면검토, 인터뷰 등을 통해 실제 에너지사용실태와 시뮬레이션 해석에 필요한 입력 데이터를 작성하였으며 셋째, 타당성이 검증된 시뮬레이션 해석을 기반으로 기준학교에 대한 정확한

에너지소비형태 및 특성을 파악하였다.

2. 기준학교의 에너지 소비실태 분석

2.1 전국고등학교의 에너지 사용량 분석

그림 1은 전국 지역별 고등학교의 학생 1인당 에너지사용실태를 2차 에너지(1kWh = 860kcal) 기준으로 분석한 것이다⁴⁾. 그래프는 박스-휘스커 형태로 중앙의 ■는 각 지역별 연간 에너지사용량의 평균값(Mean)을, 박스형태의 □는 표준편차(SD; Standard Deviation) 범위를, I 는 최대값(Max) 및 최소값(Min)의 변화 범위를 나타낸 것이다. 이 그래프를 통해 지역별 학교 시설의 에너지 사용량 변화경향을 손쉽게 파악할 수 있다.

기준모델의 선정은 일정규모 이상의 학교를 대상으로 전국 평균 사용량을 기준으로 하였다. 분석결과 대전이 전국의 평균 에너지소비량에 가장 근접하는 지역으로 조사되었으며, 이 지역에서 전국 학생 1인당 평균에너지소비량, 912kWh/인·yr에 일치하는 D 고등학교를 기준모델로 선정하였다.

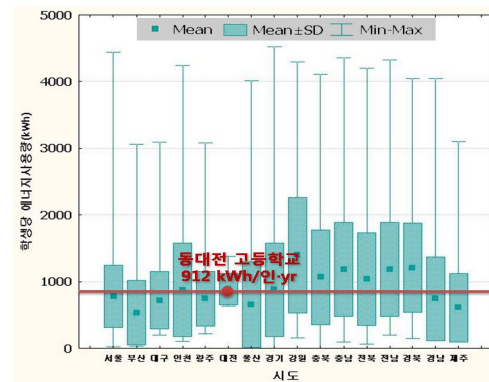


그림 1. 전국고등학교의 에너지사용량 분석

2.2 기준학교의 건축 및 일반현황

표 1은 D고등학교의 건축개요를 나타낸 것이다. D고등학교는 1983년에 설립된 학교시설로 주요구조는 철근콘크리트로 구성되어

있으며, 2001년 남서측의 건축면적 48㎡에 해당하는 건물일부를 철거하고 연면적 867.74㎡의 교사동을 증축하였다.

표 1. 건축개요

개	대지위치	대전광역시 대덕구
	설립연도	1983년
	용도	교육연구시설 (고등학교)
	구조	철근 콘크리트조
	규모	지하 1층, 지상 4층
	연면적	11,596.32㎡
	용적률	69.8%
요	입면구성	시멘트벽돌쌓기, T=60 단열재, 시멘트 몰탈 및 수성페인트마감
	창호	2중창(외부 : 알루미늄창호 내부 : 플라스틱창호)
	지붕	평 슬라브
	냉방	신건물: GHP 냉방 시스템 기존건물: 냉방전용 전기에어컨
	난방	신건물: GHP 난방 시스템 기존건물: 난방전용 가스 온풍기
	학급수	37학급

이에 증축된 신건물과 기존건물의 냉난방 설비가 별도로 설치되어 있다. 신건물의 경우 냉난방 모두 가스엔진 구동 히트펌프 (Gas Engine driven Heat Pump : 이하 ‘GHP’)가 설치된 반면 기존건물의 경우 냉난방설비는 패키지에어컨과 가스온풍기로 각각 이루어져 있다. 창호는 실내·외측 모두 단열간봉이 들어가 있지 않은 알루미늄과 플라스틱 프레임의 2중창으로 구성되었으며, 유리는 실내·외측 모두 12mm 맑은 유리를 사용하고 있다. 또한 08년 기준 1, 2, 3학년 및 특수학급 포함 총 37학급의 1,355명의 학생이 재학하였고, 약 85명의 교직원 재직하였다. 학사일정에 나타난 바에 의하면 수업일수는 1, 2학년이 208일, 3학년이 210일이며, 이외에 학년과 학생의 수준에 따라 방학기간의 보충수업을 하는 것으로 조사되었다.

2.3 기준모델학교의 에너지 소비현황 분석가. 전기사용량 분석

그림 2는 한국전력공사 PCCS(Power Consumption

Consulting System)을 통해 측정된 D 고등학교의 연간 사용전력을 나타낸 것으로 계절별 전력사용이 뚜렷하게 구별되고 있다. 연간 기저전력(대기 전력을 포함한 상시전력)이 24시간 지속적으로 사용되고 있으며 동절기의 기저전력(약 21kW)이 비동절기의 기저전력(약 12kW)에 비해 높은 것으로 파악되었다.

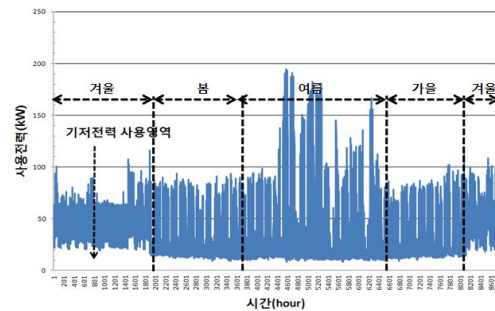


그림 2. 연간 전력사용분포('08)

표 2와 그림 3은 기저전력 파악을 위해 조사된 기기의 현황을 나타낸 것이다. 수배전반에서 고압의 전력을 저압으로 감압시켜주는 과정에서 전력변환 손실과 건물의 보안 및 안전설비, 소방설비 등에서 상시 전력소비가 있는 것으로 파악되었다. 동절기의 기저전력이 하절기에 비해 증가하는 이유는 화장실의 동과방지를 위해 전기히터를 12월부터 3월까지 24시간 사용하기 때문인 것으로 확인되었다.

표 2. 기저전력 사용기기 (단위: W)

구분	대수	전력	소계
냉온수기	11	20	220
화장실배기팬	16	28	448
야간사용등(실내)	28	20	560
야간사용등(실외)	4	224	896
냉장고	15	40	600
보안시스템	8	60	480
연동제어기	8	40	320
소화전	26	20	520
화장실 히터	32	2,400	76,800
수배전반	1	8,000	8,000



그림 3. 기저전력 사용기기

그림 4는 월별 용도에 따른 전기사용량을 나타낸 것이다. 조명 및 사무용기기, 냉난방 기기 등을 포함하는 일반전력과 기저전력 중 화장실 동파방지를 위한 심야전기, 기타 기저전력으로 구분할 수 있다. 동절기 심야전력을 제외한 상태에서도 기저전력이 높게 나타나는 원인은 교직원용 전기 급탕온수기와 난방 기기의 대기전력 등으로 추정된다. 용도별 연간 총 전력사용량은 일반전력이 62%, 기저전력이 30%, 화장실 동파방지를 위한 심야전력이 8%인 것으로 나타났다.

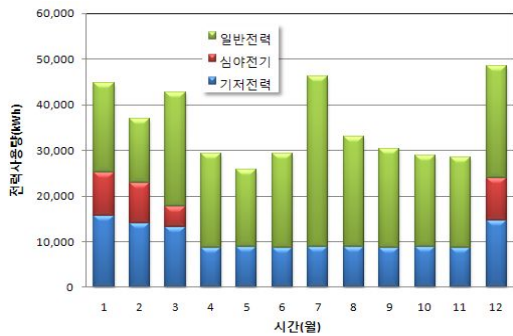


그림 4. 용도별 월간 전기사용량('08)

나. 가스사용량 분석

D 고등학교의 가스사용 용도는 급식실과 체육관의 급탕 및 난방, 조리실 취사, 건물의

냉·난방 등으로 구분된다.

그림 5는 월별가스 사용량을 저위발열량 (9,550 kcal/Nm³) 기준으로 비교한 것이다. 동절기에는 가스온풍기와 GHP의 사용으로 인해 가스사용량이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 동계 방학이 시작되기 직전인 12월의 가스사용량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 7월의 사용량이 중간기인 5월이나 10월에 비해 증가하는 이유는 증축된 신건물이 GHP 시스템을 이용하여 냉방하기 때문이다.

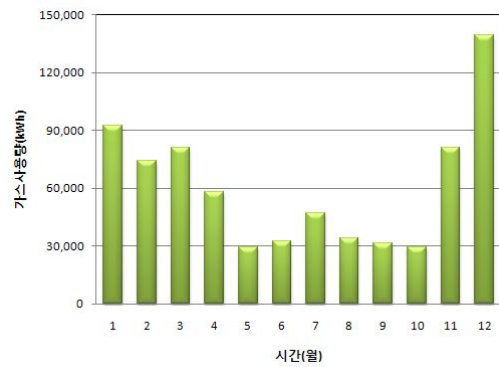


그림 5. 월별 가스사용량('08)

다. 기준모델학교의 에너지 소비현황 분석
그림 6은 D 고등학교의 연간 총 에너지 소비량을 용도별로 나타낸 것이다.

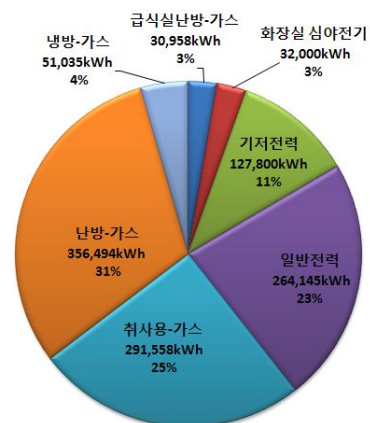


그림 6. 에너지소비량 성분별 구성비

가스와 전기가 각각 63%와 37%로서, 가스의 사용량이 다소 많은 것을 알 수 있으며, 에너지 원단위는 142kWh/m²,yr로 최종 분석되었다.

3. 에너지 성능해석 모델 수립

3.1 기준학교 해석 모델링 수립

시뮬레이션 모델링 수립을 위한 해석도구는 Visual DOE 4.0⁵⁾을 사용하였다. 기준학교의 도면 및 현장조사를 기반으로 그림 7과 같이 실별 공조조건이 동일한 실에 대해 조닝을 실시하였으며, 본관과 분리되어 있는 체육관 건물의 경우 시뮬레이션 특성상 본관과 함께 해석하기 곤란하므로 별도로 시뮬레이션 모델을 수립하였다.

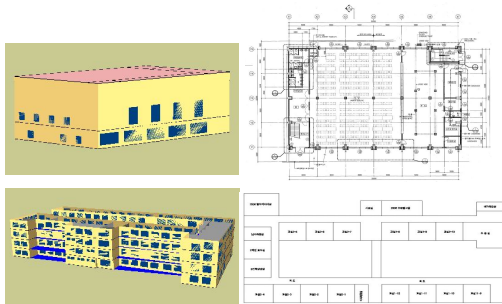


그림 7. 시뮬레이션 모델 (상: 별관, 하: 본관)

전술한 바와 같이 재실스케줄, 조명 및 기기 조명밀도 등 시뮬레이션에 필요한 입력변수는 현장조사 및 인터뷰 등을 통해 파악하였으며, 건물의 침기는 블로우도어 테스트를 통해 측정된 50Pa일 때의 누기량(ACH50)을 기준으로 LBL 침기모델을 적용하였다. D 고등학교의 교실에 대한 블로우도어 누기량 측정 결과 평균 ACH50은 14.81로 나타났다.

시뮬레이션을 위한 기상자료는 대전 기상청에서 측정된 시간별 연간 자료를 사용하였다. 그림 8은 2008년의 대전지방의 월평균 외기온과 수평면 전 일사량⁶⁾을 나타낸 것이다.

연평균 일일 일사량과 연평균 외기온은 각각 4.03kWh/m²와 13°C로서 동일한 연도의 전국 평균값, 4.01kWh/m²와 13°C에 거의 일치하였다.

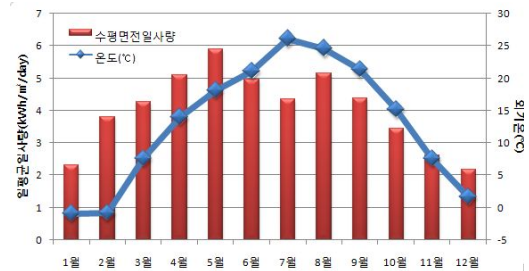


그림 8. 대전지방 기상자료('08)

3.2 시뮬레이션의 타당성 평가

그림 9는 시뮬레이션의 해석 결과와 실측된 사용량을 비교한 것이다. 두 결과의 월별 오차율을 비교하면 6월의 10.5%를 제외한 모든 달에서 10%이내의 값을 나타내고 있다. 또한 두 결과의 연간 오차율이 3.6%로서 해석모델을 통한 시뮬레이션 결과 값을 수용할 수 있는 것으로 판단된다.

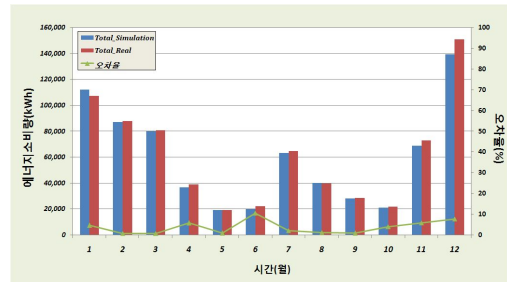


그림 9. 시뮬레이션의 타당성 검토

3.3 시뮬레이션의 에너지 분석

그림 10은 시뮬레이션에서 분석된 용도별 에너지 소비량을 나타낸 것이다. 에너지원단위는 140kWh/m²,yr로 파악되었으며, 이 중 가스 및 전기사용량은 각각 61%와 39%로서 실측 에너지사용량 분석결과와 거의 동일한 것을 알 수 있다.

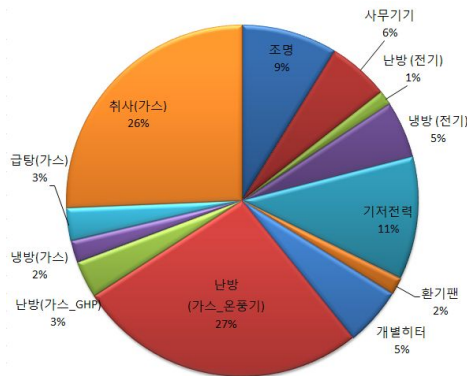


그림 10. 에너지소비량 성분별 구성비

용도별 에너지사용을 살펴보면, 난방에너지가 36%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 그 다음으로 식당의 취사용 가스 26%, 기저전력 11%, 조명전력 9%, 냉방에너지 7%, 플러그부하를 포함한 사무기기 6%, 기타 5% 순으로 나타났다.

여기서 냉방에너지의 사용량이 난방에너지에 비해 현저히 적은 이유는 하절기(6월부터 9월)의 수업일수(58일)가 동절기(11월부터 3월)의 수업일수(74일)에 비해 적으며, 패키지 에어컨의 경우 COP가 2.0 이상인 반면 난방을 위한 가스온풍기의 열효율이 약 80% 이하인 점에 기인한다. 따라서 열부하 측면에서 냉·난방의 차이는 상대적으로 감소하게 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 전국 고등학교의 에너지사용량에 대한 통계자료를 기반으로 기준 고등학교를 선정하고, 에너지소비와 관련한 현장 실태조사와 에너지 시뮬레이션을 통하여 에너지소비형태 및 구조를 파악하였다.

그 결과는 기존이나 신규 고등학교의 에너지 절약 대책의 우선순위 결정에 있어 난방에너지의 비중이 높은 것을 나타냈다. 난방부하 저감을 위한 창호나 벽체의 단열강화 뿐만 아니라 동절기 방학으로 극한기 사용이 제한되

는 점을 고려할 때 열효율이 높은 공기열원식 히트펌프나 지열히트펌프의 적용이 검토되어야 할 것으로 판단된다. 또한 상당한 비중을 차지하는 기저전력의 경우 현 단계에서 정확한 원인규명이 어려운 실정으로서 정밀하고 지속적인 모니터링을 통해 보완되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국전력연구원 녹색성장연구소에서 실시되는 과제의 일환으로 수행되었음

참 고 문 헌

1. 강은주, 학교환경을 고려한 에코스쿨의 계획방향에 대한 연구, 박사학위논문, 충남대학교, 2007
2. 지식경제부, 2008년 에너지총조사보고서, 2009
3. U.S. Green Building Council, U.S. Department of Energy, Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings Achieving 30% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building American, 2008
4. 한국교육개발원, 제로에너지·생태학교 모형개발 연구, 2008
5. Architectural Energy Corporation, Visual DOE user manual, 2004.
6. 신재생에너지자원 데이터센터, <http://kredc.kier.re.kr/kier/default.aspx>