

# 학교시설의 에너지사용 및 건물에너지관리시스템 유지관리 현황 에 관한 연구

## A Study on the Status of Energy Usage and Maintenance of Building Energy Management System in School Facilities

김성중\*

Kim, Sung-Joong

이승민\*\*

Lee, Seung-Min

With the enactment of the "Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth to Cope with Climate Crisis," various sector-specific plans are being implemented to achieve carbon neutrality. School facilities are mandatory buildings for the "Zero Energy Building Certification" and are the buildings that account for the highest proportion among public institution buildings. Therefore, they play a major role in achieving carbon neutrality in the construction sector.

This study analyzed the recent energy use trends and zero energy levels in varied ways to promote the spread of building energy management systems and to provide basic data for efficient operation management and investigated the effectiveness and user opinions of the Building Energy Management System (BEMS) applied to school facilities.

키워드 : 학교시설, 탄소중립, 건물에너지관리시스템

Keyword : School Facilities, Net Zero Energy, BEMS

### I. 서론

#### I-1. 연구의 필요성 및 목적

지구온난화에 대한 대응으로, 2015년 파리협정이 체결된 후 세계적으로 탄소중립을 목표로 하는 다양한 노력이 이루어지고 있다. 영국, 프랑스 등은 각각 2019년 6월, 11월 가장 먼저 2050년까지 탄소중립을 목표로 이를 위한 탄소중립 법제화를 선언하였으며,

최근 대한민국은 2022년 3월, 전세계 14번째 2050 탄소중립 이행을 법제화한 국가가 되었다. 이에 따라 '탄소중립녹색성장 위원회'에서는 각 부문별 '2050 탄소중립 시나리오'를 발표하였다. '2050 탄소중립 시나리오'의 건물부문에서는 2018년기준, 52.1백만톤 CO<sub>2</sub>eq를 배출하던 온실가스를 2050년까지 6.2백만톤CO<sub>2</sub>eq, 약 88.1%의 절감을 목표로 하였으며, 이에 대한 구체적 계획으로 '제로에너지건축물 신규 100%', '그린리모델링 이행 100%'를 주요 내용으로 채택하였다. 따라서 이러한 제로에너지건축물 보급의 이행을 위하여, 현재 에너지사용현황 및 이행 가능성을 파악

\* 한국교육녹색환경연구원, 공학박사  
(교신저자 : ksj@kege.or.kr)

\*\* 한국교육녹색환경연구원, 공학박사

하고 대비가 필요한 시점이다.

초등학교, 중학교, 고등학교 등의 학교시설은 제로에너지건축물 인증의 의무대상건축물에 해당하는 공공기관 건축물로서, 가장 대중적으로 사용되고 있는 건물이다. 국가공공건축지원센터에서 발행한 ‘숫자로 보는 공공건축 2019’ 자료에서는 2019년 기준, 학교시설이 포함된 교육연구시설의 개소가 약 38,667개소로 전체의 17.8%, 연면적 90,939천㎡로, 전체 연면적 중 약 42%의 비중으로 전체 공공건축물 중 가장 높은 개소 및 연면적을 나타내었다<sup>1)</sup>. 학교시설의 개소는 2015년 전체의 18.5%에서 2019년 17.8%로 줄어드는데 반해, 연면적은 2015년 40.9%에서 2019년 42.0%로 성장세를 보임에 따라, 학교시설 1개소의 연면적이 점차 늘어나고 있는 추세를 예상할 수 있으며, 이러한 경향은 신재생에너지시스템의 설치면적이 증가하고 있음을 의미하고, 탄소중립을 위한 조건에 부합한다. 이러한 경향에 따라 학교시설의 탄소중립은 기타 공공건축물에 비해 더 큰 영향력을 가진다고 판단된다.

학교시설에 대한 에너지사용량 관련 연구를 살펴보면, 한국교육개발원에서 진행한 제로에너지 생태학교 모형개발연구(2008, 2009)에서는 제로에너지 생태학교 확산을 위해 시범학교를 지정 및 운영하여 데이터를 분석한 결과, 에너지 자립률 및 생태면적률의 적정성과 학생들의 교육적 활동에 대한 정성적인 효과에 대한 지속적인 모니터링이 필요함을 도출하였다<sup>2)</sup>. 오병철(2020)은 고등학교의 냉난방 에너지절약에 대한 내용으로, 고등학교의 부하 분포에 대하여 조사하였다. 그 결과 조명 발열이 전체 냉방부하의 약 40%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 틸새 바람에 의한 시간당 환기횟수를 5회에서 3회로 줄임에 따라 약 25%의 냉난방 부하 감소, 열손실은 약 48% 감소하는 것으로 분석하였다<sup>3)</sup>. 문기영(2016)은 건물에너지관리시스템 운용에 의한 건물에너지 절감에 대하여 분석하였다. 2010년~2015년의 데이터를 분석한 결과, BEMS 운용에 따라 예상절감량인 15.67% 보다 높은 23.52%의

에너지절감이 나타났으며, 이후 지속적으로 절감이 이루어짐을 확인하였다<sup>4)</sup>. 기존 연구내용의 상당수는 일부 학교시설에 대한 에너지사용량 모니터링을 통해 해당 학교시설의 에너지사용량 인과관계를 분석하는 내용이 주를 이루고 있다.

본 연구의 목적은 기존 학교시설의 건물에너지관리시스템 보급 활성화 및 효율적인 운영관리를 위한 기초자료를 제공하는 것으로 다음의 내용을 분석하고자 한다.

일부 학교시설의 모니터링자료를 통한 설비운영 효과분석에서 확장하여, 전국단위 학교시설의 에너지사용량 및 신재생에너지 등 에너지 관련 내용에 대한 조사 및 분석을 통해, 전체적인 학교시설의 에너지사용 및 유지관리 현황을 확인하고, 이를 통한 제로에너지수준을 파악하고자 전국 학교시설의 에너지사용량과 일부 제로에너지건축물인증 또는 BEMS 설치확인 인증을 받은 학교시설의 BEMS 현황을 조사하였다.

## I-2. 연구범위 및 분석방법

한국에너지공단 및 교육통계시스템을 통해 다양한 학교건물에너지사용량과 관련한 데이터를 수집하였다. 학교 기본 정보 및 실제 에너지사용량이 포함된 11,413개소 학교의 통계자료를 기준으로, 전국 학교시설에 대한 다양한 에너지관련 요소별 분석을 진행하여, 에너지사용량특성을 분석하였으며, 제로에너지건축물 본인증을 획득한 13개 학교, BEMS 설치확인 인증을 획득한 79개 학교시설을 기준으로, 현장조사 및 설문조사를 통해 BEMS 운영현황을 분석하였다.

## II. 학교시설 에너지관련 정책 및 인증

학교건물은 다양한 인증 및 정책에 따라 단열기준과 신재생에너지설비 용량 등의 영향을 받고 있다. 기존 학교시설 데이터 중 에너지사용량에 영향을 주는 주요 요소를 확인하기 위하여, 기존 에너지관련 정책 및 인증을 조사하고, 해당정책 및 인증의 평가내용을 바탕으로 에너지사용량에 영향을 주는 요소를 선별, 각 요소에 따른 에너지사용량 특성을 분석하였다.

1) 이경재, 임유경(2020). 숫자로 보는 공공건축 2019. 국가공공건축지원센터, 7-10.  
2) 조진일(2008, 2009). 제로에너지-생태학교 모형개발연구(I, II). 한국교육개발원 연구보고서, 1-633.  
3) 오병철(2020). 고등학교 건물의 냉난방 에너지절약을 위한 사례연구. 신한대학교 논문집, 43, 159-172.

4) 문기영(2016). 건물에너지관리시스템(BEMS) 운용에 의한 건물에너지절감 분석. 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1-55.

현재 학교건물 에너지사용량에 영향을 주는 정책 및 인증 종류는 건축물에너지절약설계기준, 건축물에너지효율등급 인증, 신재생에너지 공급의무비율 설치의무화 제도, 제로에너지건축물 인증, BEMS 설치확인 인증 등의 내용이 있으며 다음 Table 1은 기존 학교시설에 적용되고 있는 주요 에너지관련 인증의 가장 최근 개정 시행일, 최소 의무기준과 필수적용내용을 정리한 것이다.

Table 1. Energy related certification of school facilities

| 구분                        | 내용                 |                                   |
|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 건축물의 에너지절약 설계기준 (2018.09) | 벽체                 | -중부1, 중부2, 남부, 제주도 지역             |
|                           | 지붕                 |                                   |
|                           | 바닥                 | -외기 직접, 간접 여부                     |
|                           | 창호                 | -바닥난방, 비난방 여부<br>-공동주택, 공동주택 외 여부 |
| 건축물에너지 효율등급 (2020.06)     | 연면적                | 1,000㎡ 이상                         |
|                           | 등급 (공공기관)          | 1등급 이상 (260 kWh/㎡yr미만)            |
| 신재생에너지 공급의무비율 (2012.01)   | 연면적                | 1,000㎡ 이상                         |
|                           | 의무비율               | 30% 이상 ('20~'21)                  |
| BEMS설치 인증 (2017.01)       | 연면적                | 10,000㎡ 이상                        |
|                           | 설치확인               | 설치 10년 이후, 확인서 5년 주기 갱신           |
| 제로에너지 건축물 인증 (2019.12)    | 연면적                | 1,000㎡ 이상                         |
|                           | 자립률 (ECO2)         | 20%이상 (5등급 기준)                    |
|                           | 건축물에너지 효율등급        | 1++ 이상 (140 kWh/㎡yr미만)            |
|                           | BEMS/원격 검침 전자식 계량기 | BEMS or 원격검침전자식계량기 설치 여부          |

건축물의 에너지절약설계기준의 주요 내용으로는 기본적으로 학교시설을 포함한 모든 건축물의 최소 단열 기준을 제시, 의무기준 및 최소점수를 만족하도록 하고 있다<sup>5)</sup>. 건축물에너지효율등급은 연면적 1,000㎡ 이상일 경우 의무건축물에 해당하며, 학교시설과 같은 공공기관 건축물은 최소 1등급 이상 획득의 의무기준

5) 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준 ([https://www.law.go.kr/행정규칙/\(국토교통부\)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/\(2020-574,20200813\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/(국토교통부)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/(2020-574,20200813)))

이 있다<sup>6)7)</sup>. 등급 판단 기준은 전체 냉난방 연면적 대비 연간 에너지사용량을 판단하는 1차에너지 원단위 사용량이다. 신재생에너지 공급의무비율은 기본적으로 해당 건축물의 부지내 연간 예상에너지부하 대비, 신재생에너지설비를 통한 예상에너지생산량의 비중을 기준으로, 의무비율에 맞도록 설치하도록 하고 있다. BEMS 설치확인 인증은 연면적 10,000㎡ 이상의 건축물의 경우 BEMS를 의무적으로 설치하도록 하는 인증으로, 설치 이후 10년뒤 점검을 받고, 이후 5년 주기로 재점검을 받는 형태로, 여러 인증 중 유일하게 지속적인 검토가 이루어지는 인증제도이다. 제로에너지건축물인증은 위 내용 중 건축물에너지효율등급이 1++등급 이상, 에너지자립률이 20%이상을 기준으로, 최소 5등급에서 1등급까지 5등급으로 구분하여 평가하는 인증내용으로, BEMS 및 원격검침내용도 포함하면서, 현재 공공기관건축물, 연면적 1,000㎡이상의 신축, 증축, 개축의 경우 의무대상에 포함된다. 대부분의 신축 및 기축학교의 경우 의무대상에 해당하고, 위 인증 및 정책내용을 모두 포함하면서, 탄소중립시나리오의 건축부문 주요 내용이기 때문에, 본 연구에서는 제로에너지건축물 인증평가 내용인 연면적, 자립률, 1차에너지사용량 (건축물에너지효율등급), BEMS 설치 내용 등을 바탕으로 학교시설의 각 특징별 유형을 분류하여, 에너지사용특성을 평가하였다.

### III. 학교시설 에너지사용 현황

#### III-1. 학교시설 데이터 분석과정

다음 Table 2는 학교유형 분류를 위한 데이터 수집내용을 정리한 것이다. 각 데이터종류별 학교정보 및 에너지관련 내용을 나타낸 것으로, 교육통계시스템 약 11,413개소 데이터, 제로에너지건축물 본인증 획득학교 13개 데이터, BEMS 설치 확인 인증 총 79개 데이터로 총 3가지 종류의 데이터로 구분되며 상세 에너지관련 분

6) 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증 기준([https://www.law.go.kr/행정규칙/\(국토교통부\)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/\(2020-574,20200813\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/(국토교통부)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/(2020-574,20200813)))

7) 산업통상자원부, 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정([https://www.law.go.kr/행정규칙/\(국토교통부\)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/\(2020-574,20200813\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/(국토교통부)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/(2020-574,20200813)))

석은 교육통계시스템 통계자료를 통해 분석되었다.

Table 2. Data for classification of school types

| 구분         | 내용   |   | 학교 개수     |
|------------|------|---|-----------|
| 교육 통계 시스템  | 학교정보 | 조사연도, 학교유형, 학교명, 도로명주소, 개교일, 시도, 시군구, 설립, 본분교, 학교상태, 연면적, 학생수, 학급수        | 11,413 개소 |
|            | 에너지  | 일반전력사용량, 심야전력사용량, 연중최대수요, 가스사용량, 유류사용량, 탄류사용량, 태양광발전량 건물구분, 건물용도, 지역, 건물명 |           |
| 제로 에너지 건축물 | 학교정보 | 인증구분, 에너지자립률, 인증등급, 인증일자  | 본인증 : 13  |
|            | 에너지  | 인증구분, 에너지자립률, 인증등급, 인증일자  |           |
| BEMS 설치 확인 | 학교정보 | 학교명, 주소, 연면적  | 79 개소     |
|            | 에너지  | 인증연도, BEMS등급, 설계검토/설치확인   |           |

주요분석대상 데이터인 교육통계시스템 데이터는 다음 그림과 같이 2015~2020년도 해당데이터를 기준으로 분석내용에 따라, 6년간의 데이터 평균 또는 각 해당 연도 데이터를 분석하였으며, 단일연도 데이터 분석 시 주로 COVID-19의 영향이 없는 2019년도(2019.03~2020.02)의 데이터를 기준으로 분석을 진행하였다. 대상학교 11,413개소는 기존 교육통계서비스 2019년도 통계데이터 12,217개소 중 특수학교, 분교, 폐교 등의 데이터를 제외하고 정리한 내용이다.

Figure 1은 국내 연도별 학교시설의 개수를 Figure 2는 전체 학교시설에서 사용된 1차에너지사용량을 나타낸 것이다. 학교시설의 개수는 코로나 시작 전 2019년까지, 평균 약 0.41%(약 47개소)의 변화폭으로 증가하는데 비해, 에너지사용량은 총량 비교 시 0.13%의 증가율을 보여, 학교수 대비 증가율은 높지 않은 것으로 나타났다.

6년 평균 전국 학교시설의 연간 1차에너지사용량은 약 125억kWh 로 나타났다. COVID-19의 영향으로 2020년도 에너지사용량은 전년도(2019) 에너지사용량에 비해 약 21억kWh, 약 16.2%가 대폭 감소하였음을 확인하였다. 2018년도 에너지사용량은 전년도(2017)

대비 약 0.69%의 에너지사용량이 증가한 것으로 나타났다으며, 이전 2016에서 2017년도 에너지사용량 증가 폭인 3.1%에 비해 줄어듦을 보았을 때, COVID-19의 영향 없이도 학교시설의 에너지사용량은 감소할 가능성이 있었을 것으로 예상되며, 이에 대한 내용은 COVID-19의 종료 이후 안정화가 됨에 따라 추가 변화추이를 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

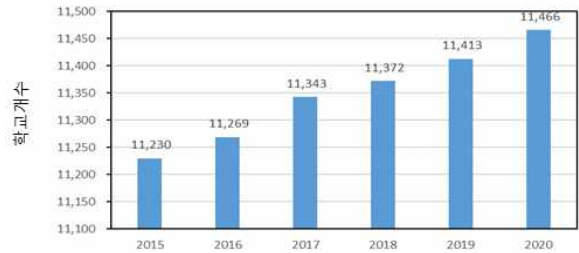


Figure 1. Changes in the number of schools by year

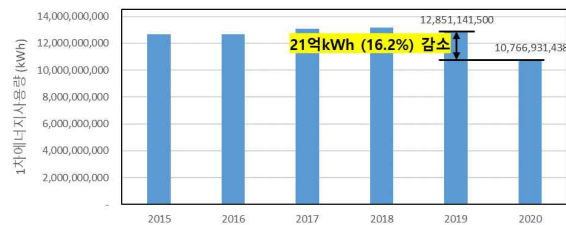


Figure 2. Primary energy consumption by year for all school facilities

### III-2. 학교시설 요소별 에너지사용량 분석

#### 1) 학교유형별(초중고등학교) 분석

Figure 3은 학교유형별 비중을 나타낸 것이다. 2019년 기준으로 초등학교, 중학교, 고등학교의 개수는 약 53%, 26%, 21%의 분포로, 초등학교의 비중이 가장 높게 나타났다.

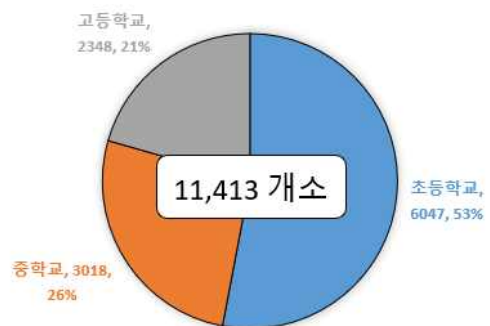


Figure 3. Percentage of number by school type (2019)

본 연구에서는 기존 학교시설의 평가를 위한 평가단위를 건축물에서 연간 사용하는 에너지(kWh/yr)를 해당 건축물의 연면적(m<sup>2</sup>)으로 나누어 나타내는 원단위(kWh/m<sup>2</sup>yr)를 주로 사용하였으며, 해당 단위는 ISO 52016 등 국제규격에 따라 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 등을 평가하는 단위로, 건물에너지효율등급 및 제로에너지건축물 인증 등에서 사용되는 평가지표이다. 다만 본 연구에서는 실제 에너지사용량 데이터를 기준으로 하기 때문에, 플러그 부하 등 기존 5대부하(난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기)외의 에너지사용량을 포함하여 적용하였다.

다음 Figure 4, 5는 2015~2020년 기준 전체학교의 학교유형별 연면적 및 원단위 에너지사용량 분포를 나타낸 것이다. 전체 학교시설의 평균 연면적은 8,583 m<sup>2</sup>로 나타났으며, 고등학교는 13,099m<sup>2</sup>, 초등학교 7,666m<sup>2</sup>, 중학교 7,286m<sup>2</sup>로 고등학교의 연면적이 가장 높게 확인되었고, 초등학교와 중학교의 연면적은 비슷하게 나타났다. 전체학교시설의 에너지사용량은 130 kWh/m<sup>2</sup>yr로 확인되었으며, 고등학교는 초등학교(128 kWh/m<sup>2</sup>yr), 중학교(117 kWh/m<sup>2</sup>yr)에 비해 더 높은 155 kWh/m<sup>2</sup>yr의 평균 원단위를 나타내, 고등학교 1개소의 연간 에너지사용량은 일반 초등학교, 중학교 1개소의 연간 에너지사용량에 비해 약 2.22배, 2.26배 정도 더 높은 것으로 판단된다.

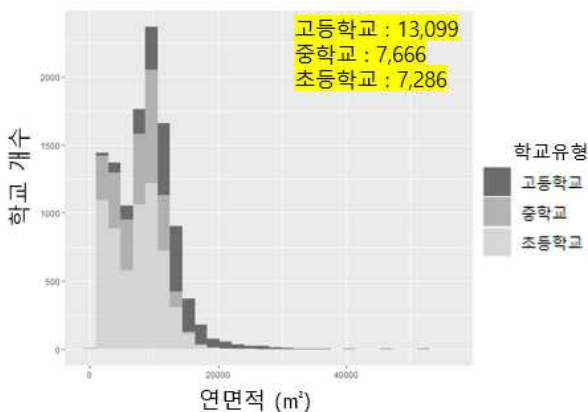


Figure 4. Total floor area distribution by type of school facilities

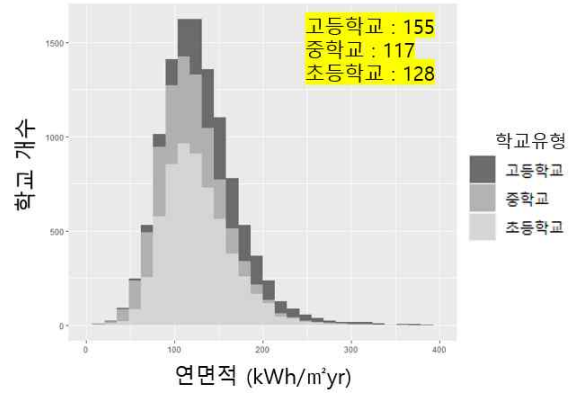


Figure 5. Distribution of energy consumption by school facilities type

Figure 6은 태양광발전설비가 설치되지 않은 학교까지 포함한 전체 학교기준으로 학교유형별 에너지 자립률을 나타낸 것이다. 학교시설의 경우 신재생에너지 설비의 의무 설치기준이 적용되기 전에 설립된 학교가 대부분이기 때문에, 전체 학교의 에너지 자립률은 약 2.8%(SD 14.7)로 나타났으며, 학교유형별로 비교할시 3.2%(SD 17.5), 중학교 2.6%(SD 12.2), 고등학교 1.9%(SD 8.1)로 초등학교만 평균치를 초과하는 것으로 나타났다.

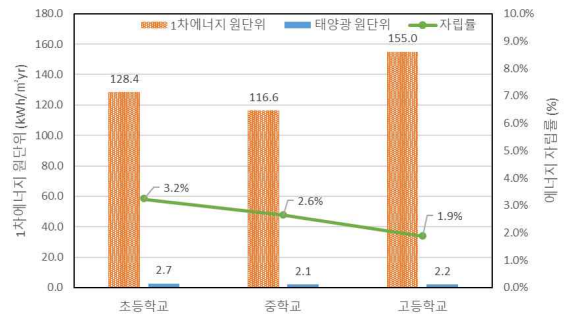


Figure 6. Energy self-reliance ratio by school type (based on all school)

Figure 7은 태양광발전설비가 설치된 학교만을 대상으로 학교유형별 에너지자립률을 나타낸 것이다. 대상학교는 1,710 개교로, 전체 학교 중 약 15%가 태양광발전설비를 설치한 것으로 나타났으며, 대상학교 전체의 에너지자립률은 약 18.7%(SD 33.8)로 나타나, 기존 제로에너지건축물 인증의 최소기준(5등급)인 20%에 비해 낮게 나타남을 확인하였다. 다만 분석된 데이터의 경우 기존 5대부하 외에 기타 에너지사용량

이 포함되어 있으므로, 제로에너지건축물 인증과 같은 기준으로 평가 시 더 높은 자립율이 나타날 수 있는 가능성이 있을 것으로 판단된다. 학교유형별 자립률은 초등학교 21.4%(SD 40.6), 중학교 20.9%(SD 28.1), 고등학교 10.6%(SD 16.6)로 초등학교와 중학교의 경우 평균값으로는 제로에너지건축물 인증의 최소기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.



Figure 7. Energy self-reliance ratio by school type (based on school facilities with solar power generation facilities)

## 2) 단열성능에 강화에 따른 에너지사용량 분석

다음 Table 3은 2015~2020년까지 전체학교 데이터를 기준으로, 법적 단열성능이 강화됨에 따라 6개년 평균 원단위 1차에너지사용량의 변화를 나타낸 것이다. 건축 허가일을 기준으로 분석이 진행되어야 하나, 본 데이터에서는 허가일의 수집이 불가능 하여, 학교시설의 건축기간을 약 1년으로 가정하고 설립연도를 기준으로 분석을 진행하였다. 2014년 09월 부위별 열관류율 기준이 적용됨에 따라 직전 단열성능 변화시기 기준, 원단위 에너지사용량이 약 30kWh/m²/yr의 차이로 가장 크게 에너지절감 효과가 나타났다. 대체로 최근 지어진 학교시설일수록 원단위 및 표준편차의 값이 낮게 나타나며, 2002년도 이전과 최근 2019년 이후 학교시설의 원단위 비교 시 절반 이하인 약 58%의 감소가 나타남을 확인하였다.

Table 3. Primary energy consumption according to changes in insulation performance

| 구분              | 2002.06 이전 | 2002.06.01~2012.01.31 | 2012.02.01~2014.08.31 | 2014.09.01~2017.06.30 | 2017.07.01~2019.08.31 | 2019.09.01~2020.03.01 |
|-----------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 원단위 (kWh/m²/yr) | 129.6      | 134.7                 | 129.4                 | 103.5                 | 76.8                  | 54.0                  |
| 표준 편차           | 148.1      | 186.1                 | 104.6                 | 161.5                 | 32.1                  | 20.9                  |
| 개소              | 56,660     | 8,532                 | 1,232                 | 1,274                 | 316                   | 79                    |
| 비고              | 이전         | 단열재 두께기준 신설           | 단열재 두께 기준 강화          | 부위별 열관류율 적용           | 열관류율 강화, BEMS설 치의무화   | 열관류율 강화, 제로에너지의무화     |

## 3) 규모별 에너지사용량 분석

Table 4는 학급규모에 따라 나타나는 1차에너지 원단위 사용량 분포를 학교유형별로 정리한 내용이다. 초등학교와 중학교는 학급규모가 커질수록 면적당 에너지사용량이 증가하는 경향을 보이며, 24학급 미만의 시설이 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 그러나 고등학교의 경우 규모에 관계없이 비슷한 에너지사용량 (Mean 155)을 보이고 있으며, 다른 학교시설과 달리 24~36학급의 비중이 가장 높았다. 대체로 초등학교, 중학교에 비해 약 30% 더 높은 1차에너지사용량이 나타났다. 이외에 분석내용으로, 1학급당 평균 1차에너지사용량은 60,943 kWh/학급, 학생1인당 평균 1차에너지사용량은 3,915kWh/인으로 나타났다.

Table 4. Primary energy consumption by number of classes

| 구분   |      | ~24학급 | 24~36학급 | 36학급~ |
|------|------|-------|---------|-------|
| 초등학교 | 개수   | 3,798 | 1,323   | 926   |
|      | 평균   | 122.3 | 130.5   | 134.7 |
|      | 중앙값  | 115.0 | 126.9   | 132.9 |
|      | 표준편차 | 40.6  | 33.8    | 37.3  |
| 중학교  | 개수   | 2,229 | 708     | 81    |
|      | 평균   | 112.1 | 129.3   | 128.0 |
|      | 중앙값  | 103.3 | 125.5   | 124.6 |
|      | 표준편차 | 181.4 | 35.6    | 30.5  |
| 고등학교 | 개수   | 901   | 1,137   | 310   |
|      | 평균   | 158.0 | 153.0   | 153.7 |
|      | 중앙값  | 150.8 | 147.5   | 147.0 |
|      | 표준편차 | 62.6  | 46.1    | 40.9  |

## 4) 지역별 에너지사용량 분석

학교시설의 에너지사용수준을 비교하기 위하여 국내 건축물의 표준 평가기준이라고 할 수 있는 '건축물에너지효율등급' 내용을 참고하였다. 다음 Table 5는 건



축물에너지효율등급 등급구분 기준을 나타낸 것이다. 교육통계서비스 데이터는 학교시설의 건축물에너지효율등급인증 내용이 포함되지 않기 때문에, 분석의 편의를 위하여 분석된 1차에너지사용량 원단위를 기준으로 실제 건축물에너지 효율등급기준에 대입하여 임의의 등급(이후 '건축물에너지사용수준')을 적용하였다.

Table 5. Building energy efficiency certification grade

| 구분   | 주거용 이외의 건물  |
|------|-------------|
| 1+++ | 80미만        |
| 1++  | 80이상 140미만  |
| 1+   | 140이상 200미만 |
| 1    | 200이상 260미만 |
| 2    | 260이상 320미만 |
| 3    | 320이상 380미만 |
| 4    | 380이상 450미만 |
| 5    | 450이상 520미만 |
| 6    | 520이상 610미만 |
| 7    | 610이상 700미만 |

Figure 9는 시도별 건축물에너지사용수준을, Figure 10은 시도별 학교설립일 분포를 나타낸 것이다. 제로에너지건축물인증에서 최소기준으로 요구하는 1++등급(제로에너지건축물 5등급)을 기준으로, 경기도는 약 50%, 서울은 약 70%가 1++등급 아래의 수준으로, 그림10에서 경기 및 서울지역의 기존 학교 개교일이 타지역에 비해 더 오래된 비율을 보이고, 개소가 많음에 따라 발생하는 현상으로 판단된다. 세종시의 경우, 재개발영향에 따라 신축 건물의 비율이 높고 에너지효율이 높게 나타났다.

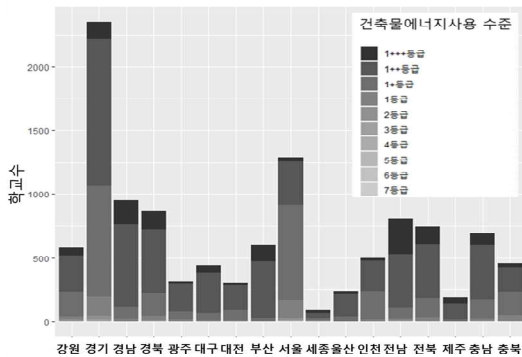


Figure 9. Building energy usage level of school facilities by region (Apply arbitrary criteria)

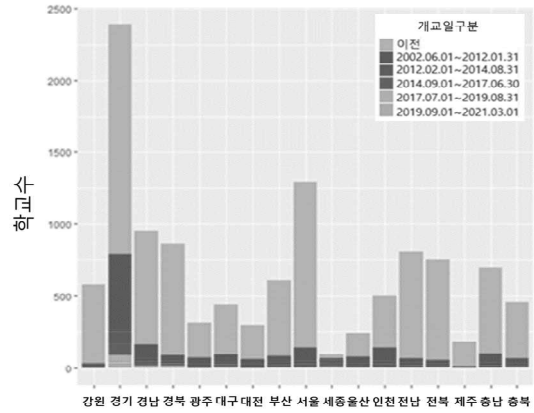


Figure 10. Distribution of school establishment date by region

Figure 11은 지역별 법적단열기준에 따른 건축물에너지사용수준을 나타낸 것이다. 1차에너지사용량 원단위가 가장 높은 지역은 중부1지역으로 147.6 kWh/m<sup>2</sup>yr로 나타났고, 다음으로 중부2 138.2kWh/m<sup>2</sup>yr, 남부 105.2kWh/m<sup>2</sup>yr, 제주 95.7kWh/m<sup>2</sup>yr 순으로 나타났다. 대체로 남부지역에 가까울수록 에너지사용량이 낮아지는 경향을 보임에 따라, 학교시설은 난방위주의 부하가 높을 것으로 예상된다.

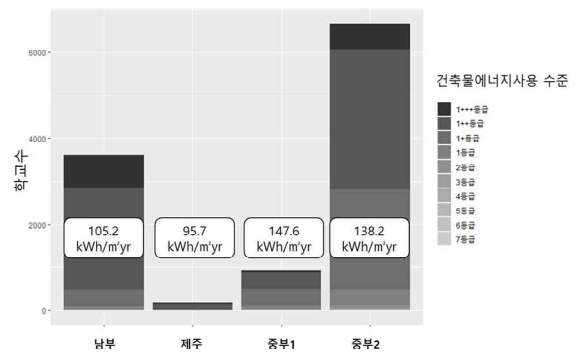


Figure 11. Energy use levels of school facilities in accordance with local law Insulation standards

Figure 12는 2015~2020년 학교시설의 평균 1차에너지사용량, Figure 13은 학교시설 내 평균 태양광발전량을 1차에너지로 환산한 내용에 대하여 시도별 분포로 나타낸 것이다. 전국학교 기준 6개년 평균 에너지 자립률은 2.36%로 나타났으며, 서울 경기 지방의 에너지사용량이 각각 25%, 17%로 전국 학교시설 에너지사용량의 약 40% 이상을 사용하고 있으며, 발전량은 경기 지역이 전체 발전량의 29%로, 전체에

너지사용비중 대비 더 높은데 비해, 서울지역은 6% 대로 더 낮다.

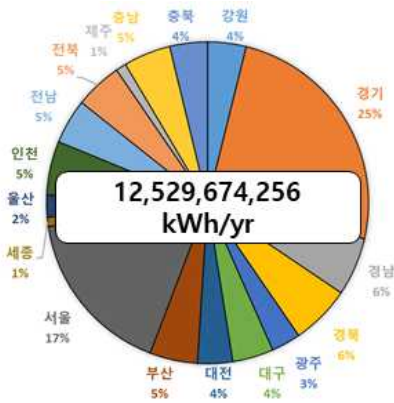


Figure 12. Percentage of primary energy usage in school facilities in Korea by region



Figure 13. Percentage of solar power generation in school facilities in Korea by region

Figure 14는 시도별 에너지 자립률을 나타낸 것이다. 가장 높은 자립률은 8.7%로 세종시로 나타났고, 다음으로 제주 5.3%, 경남 2.7%순으로 높게 나타났다. 가장 낮은 지역은 전북으로 0.5%, 다음으로 서울 0.7%, 대전 1.1% 순으로 낮게 나타났다. 대체로 재개발이나 신축학교가 많은 지역일수록 자립률 분포가 높게 나타났으며, 서울, 대전과 같이 이미 개발된 도시지역의 경우, 자립률이 낮게 나타나는 경향을 보였다. 기존 학교의 비중이 높아 태양광발전시설의 신규설치가 낮아 발생하는 현상으로 예상된다.

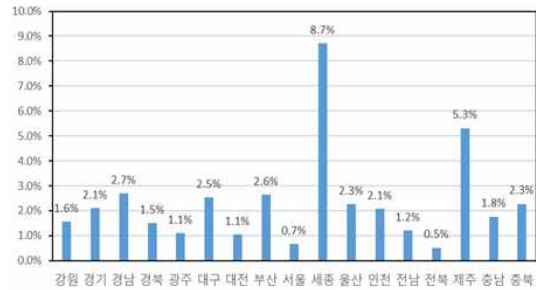


Figure 14. Distribution of energy self-reliance ratio in school facilities by Region

#### IV. 학교시설 유지관리시스템 현황

##### IV-1. BEMS 설치에 따른 에너지사용량 분석

Figure 15는 2019년 이후 신축 및 개축 학교시설에 대한 BEMS 설치 및 미설치 여부에 따른 1차에너지사용량 원단위를 비교한 것이다. BEMS 설치 건물의 경우 2021년 기준으로 확인된 79개 학교중 실제 학교가 설립되고 1년 이상의 데이터가 누적된 학교가 33개소로, 본 내용에서는 충분히 시설운영이 확인된 33개소만을 기준으로 에너지사용량을 평가하였다. BEMS 미설치 학교시설의 경우 2019년 이전 학교는 단열성능 및 시스템등의 차이가 크므로, 이를 제외한 87개소로 평가를 진행하였다. BEMS 미설치 학교의 1차에너지사용량은 79.5 kWh/m<sup>2</sup>yr, BEMS 설치학교는 63.42 kWh/m<sup>2</sup>yr로, 약16kWh/m<sup>2</sup>yr(20.2%)의 에너지 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.



Figure 15. Primary energy consumption according to BEMS installation

Figure 16은 BEMS 설치 학교시설 33개소를 대상으로 'BEMS 설치확인 인증' 등급에 따라 나타난 에너지사용량을 비교한 내용이다. 1등급은 없었으며, 2등급 4개소, 3등급 29개소로 나타났다. 에너지사용량 비교결과, 2등급은 96.6 kWh/m<sup>2</sup>yr, 3등급은 58.8



kWh/m<sup>2</sup>yr 로 등급이 더 높은 수준인 2등급을 획득한 학교시설의 평균 1차에너지사용량 원단위가 오히려 더 높게 나타났다. BEMS의 설치효과에 대한 영향이 미미한 사항이라고 볼 수 있으나, 학교의 개소가 적은 관계로, 데이터를 더 축적하여 추후 재분석이 필요한 내용으로 판단된다.

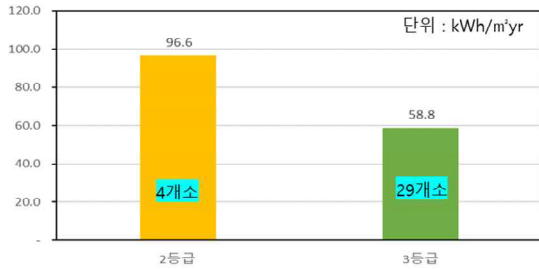


Figure 16. Primary energy consumption according to BEMS installation grade

#### IV-2. 학교시설 에너지관리시스템 유지관리 현황

본 연구에서는 학교시설에 설치된 유지관리시스템의 사용현황 및 기존 사용자들의 시스템에대한 인식을 파악하기 위하여, 기존 BEMS 인증 학교 35개소, 제로에너지건축물 인증학교 5개소, 제로에너지건축물 인증 및 BEMS인증 학교 3개소, 총43개소에 대하여 설문조사를 진행하였다. 또한 실제 학교시설의 BEMS 시설 유지관리현황을 확인하기 위하여 총 5개학교에 대한 현장조사를 진행하였다.

Table 6은 전체 설문조사 대상학교에 대한 응답내용을 정리한 것이다. 크게 현재 적용된 BEMS의 기능, 추가적으로 필요한 기능, 기타 각 학교별 BEMS 운영현황에 대한 인식, BEMS 운영이 잘 이루어지고 있지 않다면, 이를 개선하기 위한 필요내용에 대한 것으로, 전체 전체 답변자 중 약 81%의 과반수가 BEMS 시스템에 대하여 알고 있다고 답변하였으나, 실제로 BEMS 기능을 잘 활용하고 있다는 답변을 한 학교는 32%로 BEMS 시스템의 실질적인 활용성은 낮은 것으로 확인되었다. 이에 대한 BEMS 운영의 개선 필요내용으로 가장 많은 채택을 받은 내용은 전문인력의 필요성이 약 64%의 답변자가 채택을 하였으며, 다음으로 통합관리 시스템이 필요하다는 답변이 37.5%로 나타났다.

Table 6. Summary of answers to the survey of school facilities

| 유형       | 질문 내용                        |  |                               |
|----------|------------------------------|--|-------------------------------|
| BEMS 기능  | BEMS 인식                      | 특정기간 데이터 조회기능  | 냉난방 측정 표시                     |
|          | 모름 19%, 알고 있음 81%            | 모름 16%, 불가 5%, 가능 79%  | 모름 12%, 가능 88%                |
|          | 실내외 온도 및 습도 표시               | 비용조회 기능  | 전문인력 여부                       |
|          | 모름 26%, 불가 9%, 가능 65%        | 모름 39%, 불가 19%, 가능 42%   | 모름 18%, 없음 71%, 있음(설비담당자) 11% |
| 기능 필요 여부 | 냉난방 고장조회기능                   | 냉난방 일괄 on/off 기능   | 조명 일괄 On/Off 기능               |
|          | 필요 없음 5%, 필요함 95%            | 필요 없음 7%, 필요함 93%  | 필요 없음 14%, 필요함 86%            |
|          | 교실내 재실여부 확인기능                | 교실 시건장치일괄 제어   | -                             |
|          | 필요 없음 12%, 필요함 88%           | 필요 없음 23%, 필요함 77%   |                               |
| 기타       | 각 학교 BEMS 운영현황               | BEMS 운영 개선 필요내용  |                               |
|          | 모름 33%, 활용됨 32%, 활용되지 않음 35% | -전문인력이 필요 64%<br>-통합관리 시스템 필요함 37.5%<br>-행정상 절차추가(매월보고) 8.3%<br>-예산부족 8.3% |                               |

Table 7은 현장조사학교를 정리한 것이다. 현장조사 대상학교는 여러유형의 학교를 고려하기 위하여 제로에너지건축물 인증 중 BEMS가 설치된 학교, 원격검침계량기가 설치된 학교, BEMS설치 확인 인증을 받은 학교, 제로에너지건축물 인증 및 BEMS설치 확인 인증을 모두 받은 학교로 5개 학교를 선정하여 현장조사를 진행하였다. 조사 진행중 1개의 학교는 제로에너지건축물 인증을 받았으나, 실제 BEMS시설은 설치 해 놓은 고장으로 인해 사용하고 있지 않아 새로 선별하는 문제가 발생하기도 하였다.

Table 7. List of field survey school facilities

| 구분 | 학교 유형                | 학교명  | 개교 일 | 시도        | 원단 위 | BEMS 인증 등급 | ZEB 인증 등급 |       |
|----|----------------------|------|------|-----------|------|------------|-----------|-------|
| 1  | ZEB (BEMS 선택)        | 초등학교 | A학교  | 1999 0906 | 경기   | 150        | 미해당       | ZEB 5 |
| 2  | ZEB + BEMS (BEMS 선택) | 고등학교 | B학교  | 2019 0801 | 서울   | 142        | 2         | ZEB 4 |
| 3  | ZEB (원격 검침 선택)       | 중학교  | C학교  | 2011 0301 | 경기   | 122        | 미해당       | ZEB 4 |
| 4  | BEMS (작동 안함)         | 초등학교 | D학교  | 2015 0824 | 서울   | 109        | 2         | 미해당   |
| 5  | BEMS                 | 초등학교 | E학교  | 2019 0301 | 서울   | 106        | 3         | 미해당   |

현장조사 결과, B학교를 제외하고 실제 BEMS를 에너지관리에 사용하고 있는 학교는 없었으며, 대부분 BEMS시스템의 조작에 대하여 난이도가 높다는 이유로 사용하고 있지 않다는 답변을 받았다.

Table 8은 BEMS 시스템에 대하여 사용자들이 답변한 대표적인 문제점 유형을 정리한 것이다. 크게 시설 현황, 유지관리, 사용자문제, 운영예산의 문제로 나눌 수 있다. 시설현황의 경우 사용자들이 시스템사용이 어려울 만큼 대시보드가 복잡하다는 의견이 대표적이었으며, 유지관리의 경우 BEMS 업체의 사후지원이 안된다는 점, 사용자문제의 경우 시스템의 난이도와 추가적인 전문인력의 부재 등의 문제, 운영예산은 BEMS 시설의 AS 등을 지적하였다.

Table 8. Types of usability problems in BEMS

| 유형    | 내용   |
|-------|--|
| 시설 현황 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•서버실이 따로 있지 않아, 행정실 업무공간을 차지</li> <li>•대시보드 내용이 복잡. 시스템 관리 난해</li> </ul>  |
| 유지 관리 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•열선 과열, 태양광청소 등 알림기능 필요</li> <li>•시스템 고장 및 유지관리 알림기능활용 안됨</li> <li>•BEMS 업체의 유지관리 - 경우에 따라 문제 발생. 설치이후 관리 없음</li> </ul>                         |
| 사용자   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•전문인력 부재, 사용하지 못 하는 기능 많음</li> <li>•사용자의 에너지 절약 실천 의식 미미</li> <li>•실내 냉난방 온도 자율</li> <li>•공실 냉난방 운전</li> <li>•관리인원 교체 등에 따른 인수인계 어려움</li> </ul> |
| 운영 예산 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•냉난방 운영예산 부족</li> <li>•BEMS 시설 고장 시 AS 기간 지난 후 자체 부담 어려움</li> </ul>   |
| 기타    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•운영스케줄_방과후학습, 주말활용, 저녁 운동장 사용 등 (코로나 이후 영향 적음)</li> </ul>   |

설문조사 및 현장조사에 대한 전체적인 종합의견으로, BEMS에 대해 학교시설의 관리자가 시스템의 기능 및 존재는 알고 있으나, 사용상 일부 기능에 대하여 전문지식이 필요하고, 지속적인 유지관리를 위해서 사용자의 꾸준한 노력이 투입되어야 한다는 점에서, 문제점을 표현하는 사례가 많았다. 때문에 최근 이러한 시스템 및 인력 문제의 해결을 위하여, 실시간 원격관리 및 지원이 용이한 통합관리시스템이 필요하다는 의견이 있다. 그러나 현재 관련연구가 미흡한 바, 통합관리시스템에대한 운영 및 기능에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구는 탄소중립을 위한 건축부문의 목표이행을 위한 기초자료로써, 공공건축물 중 상당부분을 차지하는 학교시설에 대하여 전국단위 에너지사용량 및 BEMS사용 현황을 조사하였다.

(1) 6년(2015~2020) 평균 전국 학교시설의 연간 1차에너지사용량은 약 125억kWh 로 나타났다. COVID-19의 영향으로 2020년도 에너지사용량은 전년도(2019) 에너지사용량에 비해 약 21억kWh, 약 16.2%가 대폭 감소하였다. COVID-19의 영향 없이도 학교시설의 에너지사용량이 감소할 가능성이 있으므로, 추후 COVID-19 안정화에 따른 변화추이를 확인할 필요가 있다.

(2) 학교시설은 법적단열기준이 강화됨에 따라 에너지사용량의 감소가 뚜렷하게 나타났다. 2014년 09월 부위별 열관류율 기준이 적용되고 가장 크게 에너지절감 효과가 나타났다.

(3) 태양광발전설비가 설치된 학교 기준, 학교유형별 자립률은 초등학교 21.4%, 중학교 20.9%, 고등학교 10.6%로 나타났다. 전국학교(태양광발전설비 미설치 학교 포함) 기준 6개년 평균 에너지 자립률은 2.36%로 나타났다.

(4) 법적단열기준에 따른 지역별 1차에너지사용량은 중부1지역 147.6 kWh/m<sup>2</sup>yr, 중부2 138.2kWh/m<sup>2</sup>yr, 남부 105.2kWh/m<sup>2</sup>yr, 제주 95.7kWh/m<sup>2</sup>yr 순으로 나타났다. 이에 학교시설은 난방부하 위주의 건축물로 예상된다.

(5) 시도별 가장 높은 자립률은 8.7%로 세종시로 나타났고, 다음으로 제주 5.3%, 경남 2.7%순으로 높게 나타났다. 대체로 재개발이나 신축학교가 많은 지역일수록 신축학교의 비율이 높아 자립률 분포가 높게 나타나는 것으로 예상된다.

(6) BEMS 미설치 학교의 1차에너지사용량은 79.5 kWh/m<sup>2</sup>yr, BEMS 설치학교는 63.42 kWh/m<sup>2</sup>yr로 나타났다. BEMS 2등급은 96.6 kWh/m<sup>2</sup>yr, 3등급은 58.8 kWh/m<sup>2</sup>yr로 등급에 따른 에너지절감 효과는 추후 BEMS 설치학교의 개수가 충분히 늘어난 후 재확인을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(7) BEMS 시스템에 대하여 약 81%의 사용자가 그 기능 및 설치현황에 대한 내용을 인지하고 있다. 그러나 실제 에너지사용량관련 운영에 사용하고 있는 비율은 약 32%로 나타나, 실제 BEMS의 운영에 문제가 있음을 확인하였다. BEMS설치 학교는 기존 관리자의 BEMS 시스템 활용 및 관리가 어려워, 전문인력의 관리가 필요하다는 의견이 약 64%, 통합관리시스템이 필요하다는 의견이 35.4%로 두 번째로 많았으며, 이에 통합관리시스템에 대한 운영 및 기능에 대한 추가적인 연구가 필요함을 확인하였다.

## 국문초록

'기후 위기에 대처하기 위한 탄소 중립 및 녹색 성장에 관한 기본법'이 제정됨에 따라, 탄소중립 달성을 위한 다양한 부문별 계획들(NDC)이 시행되고 있다.

학교시설은 '제로에너지건축물 인증'의 의무대상 건축물이며, 공공기관 건축물 중 가장 높은 비중을 차지하는 건물로, 탄소중립 시나리오의 건물부문에서 주요한 역할을 한다.

본 연구는 이러한 학교시설의 건물에너지관리시스템 보급 활성화 및 효율적인 운영관리를 위한 기초자료 제공을 위하여, 최근 에너지사용 동향과 제로에너지 수준을 다양한 방면에서 분석하였으며, 학교시설에 적용된 BEMS의 효과 및 사용자 의견을 조사하였다.

## 참고문헌

1. 이정재, 임유경(2020). 숫자로 보는 공공건축 2019. 국가공공 건축지원센터, 7-10.
2. 조진일(2008, 2009). 제로에너지생태학교 모형개발연구(I, II). 한국교육개발원 연구보고서, 1-633.
3. 오병철 (2020). 고등학교 건물의 냉난방 에너지절약을 위한 사례연구. 신한대학교 논문집, 43, 159-172.
4. 문기영 (2016). 건물에너지관리시스템(BEMS) 운용에 의한 건물 에너지절감 분석. 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1-55.
5. 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준([https://www.law.go.kr/행정규칙/\(국토교통부\)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/\(2020-574,20200813\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/(국토교통부)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/(2020-574,20200813)))
6. 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준([https://www.law.go.kr/행정규칙/\(국토교통부\)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/\(2020-574,20200813\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/(국토교통부)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/(2020-574,20200813)))
7. 산업통상자원부, 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정([https://www.law.go.kr/행정규칙/\(국토교통부\)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/\(2020-574,20200813\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/(국토교통부)건축물에너지효율등급인증및제로에너지건축물인증기준/(2020-574,20200813)))