

# 교육시설의 건축물에너지효율등급 사례분석을 통한 에너지자립률 평가

## Evaluation of Energy Self-Sufficiency Rate through Case Analysis of Building Energy Efficiency Rating in Educational Facilities

이 현 승\*      김 지 현\*\*

Lee, Hyun-Seung      Kim, Ji-Hyeon

이 승 민\*\*\*      맹 준 호\*\*\*\*      신 우 철\*\*\*\*\*

Lee, Seung-Min      Meang, Joon-Ho      Shin, U-Cheul

### Abstract

Under the regulation of rational energy use in public institutions, it has been mandatory for educational facilities to meet the first grade or higher since 2014. Also the regulation has forced educational facilities as public institutions to use renewable energy since September 2008. Educational facilities are required to be qualified as zero-energy buildings from 2020 under the revision of the Green Building Act. In this study, we identified the current status of the building energy efficiency rating system and the renewable energy system installation for 316 educational facilities that were accredited as "building energy efficiency rating system" from February 2015 to March 2019. Also we analyzed the energy self-sufficiency rate based on energy requirements and renewable energy output. Of the 316 facilities, 12 had 1++ and 293 had 1++ for the "Building Energy Efficiency Rating System". Among the 12 facilities which had 1+++, 11 recorded ZEB level 5 or higher, and 28 out of the 293 facilities(11%) which got received 1++ had ZEB level 5. Thus, it is impossible to implement the ZEB certification system for educational facilities under the present conditions. Expanding the ratio of 1+++ and investing in renewable energy systems should be preceded.

키워드 : 건물에너지효율등급, 교육연구시설, 신·재생에너지시스템, 에너지 자립률, 제로에너지건축물인증

Keywords : Building energy efficiency rating, Educational research facilities, New & renewable energy system, Energy self-sufficiency rate, Zero energy building certification

### 1. 서론

#### 1-1. 연구의 필요성 및 목적

유치원을 포함한 초등학교, 중학교, 고등학교, 특수학교 등 교육시설은 '공공기관 에너지이용 합리화

추진에 관한 규정'에 따라 2014년부터 '건축물에너지 효율 1등급 이상'의 의무대상 건축물로 지정되었으며, 동 규정에서 정의하는 공공기관 건축물에 해당되어, 2008년 9월 신·재생에너지 의무대상 건축물로 포함되었다. 또한 2019년 4월 녹색건축물 조성 지원법이 개정됨에 따라, 2020년부터 '제로에너지건축물 (Zero Energy Building, 이하 ZEB) 인증' 제도(42)에 교육시설이 의무건축물로 포함되었으며 최소 인증등

\* 대전대학교 건축공학과 박사과정

\*\* 대전대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\* 한국교육녹색환경연구원, 공학박사

\*\*\*\* 한국교육녹색환경연구원, 공학박사

\*\*\*\*\* 대전대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(교신저자 : shinuc@dju.ac.kr)

※ 본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No.20182010600110)

급인 ZEB 5등급이상 (건축물에너지효율등급 1++이상 및 에너지 자립률 20%이상)의 법적기준이 의무적으로 적용될 예정이다. 따라서 기존의 법적기준보다 크게 상향된 ZEB 인증제도의 시행을 대비하여, 기존 교육시설의 에너지 관련 정책들의 실효성 분석이 제기되고 있다.

기존 교육시설의 연구동향을 살펴보면, 김성범 외(2016)는 하나의 서울지역 고등학교 건물의 5년간 용도별 1차 에너지소비량 데이터를 분석한 결과, 난방에너지의 비중이 약 28%, 연면적 및 공조면적 기준 에너지원단위는 각각 158kWh/m<sup>2</sup>yr, 314kWh/m<sup>2</sup>yr로 나타났으며, 난방도일에 따른 에너지원단위의 선형적 증가추세에 대한 결정계수가 0.9763으로 높은 상관관계가 있음을 확인하였다<sup>1)</sup>. 또한 김강식 외(2011)는 전국 고등학교의 에너지사용량에 대한 통계자료를 기반으로 기준학교를 선정하고 현장 실태조사 및 시뮬레이션을 통하여 학교건물의 에너지 소비형태와 구조를 파악하였다. 기준모델학교의 연간 기저전력은 동절기 21kW, 비동절기 12kW이며, 용도별 연간 총 전력사용량은 일반전력 62%, 기저전력 30%, 심야전력 8%의 비율로 나타났다<sup>2)</sup>. 한편 김진호 외(2018)는 기존 연구내용을 바탕으로 교육연구 시설의 에너지요구량에 대하여 13개의 설계변수를 기준으로 다중회귀분석을 진행, 회귀모형을 도출하였으며, 2016년도부터 2017년도까지 2개년간 건축물에너지효율등급 인증을 받은 792개의 교육연구 시설을 대상으로 에너지효율등급별 13개 설계변수의 평균값을 제시하였다<sup>3)</sup>. 맹준호 외(2018)는 학교시설의 에너지설계현황 분석을 위해 에너지절약계획서 작성 대상 1,106건과 에너지효율등급 인증 결과 559건을 대상으로, 에너지성능 수준 및 설계수준을 분석하였다. 학교급별 창면적비는 초등학교 24.88%, 중학교 25.65%, 고등학교 25.46% 등 우수한 수준을 보였으며, 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한

규정에 따라 전기 대체 냉방설비 이용을 위한 방안으로 GHP의 설치가 학교급에 관계없이 50% 이상을 차지하였으며, 지열 냉난방설비는 지역적 편차가 심하게 나타나는 것으로 분석되었다<sup>4)</sup>. 기존 학교건물의 에너지소비는 초중고등학교에 따라 각 사용특성이 다르고, 운영일수가 달라 이를 고려한 에너지소비 형태를 분석할 필요가 있다. 이에 각 학교특성을 고려한 연구사례를 살펴보면, 윤종호 외(2010)는 2008년도 전국 16개 지역의 초등학교에 대한 에너지사용량을 수집하고, 일반전력 및 심야전력, 난방용가스 소비량 등의 각 소비형태별 에너지사용량을 분석하였다. 전국 초등학교의 에너지원 공조면적당 에너지사용량은 평균 76.2kWh/m<sup>2</sup>, 연면적당 에너지사용량은 평균 45.9kWh/m<sup>2</sup>, 건축면적당 에너지사용량은 평균 118.7kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다<sup>5)</sup>. 또한 윤종호 외(2010)는 2008년도 전국 16개 지역에 대한 중학교 3,122개 시설에 대하여 에너지사용량을 분석하였으며 그 결과, 공조면적당 에너지사용량은 평균 74.4kWh/m<sup>2</sup>, 연면적당 에너지사용량은 평균 41.7kWh/m<sup>2</sup>, 건축면적당 에너지사용량은 평균 123.5kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다<sup>6)</sup>. 16개 지역의 2,202개 고등학교의 2008년도 데이터를 기준으로 분석한 연구에서는 공조면적당 평균 98.3kWh/m<sup>2</sup>, 연면적당 평균 60.8kWh/m<sup>2</sup>, 건축면적당 186.1kWh/m<sup>2</sup>로 나타나<sup>7)</sup>, 초등학교와 중학교의 에너지사용량 차이는 5% 이하로 미비하나, 고등학교는 30% 이상, 상대적으로 큰 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 이와 같은 기존 교육시설의 에너지 관련 연구는 실측기반의 에너지사용량 분석과 건축물에너지효율등급에 대한 요소별 에너지사용량 분석 등에 한정되며, ZEB인증에 따른 에너지자립률을 평가하는 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존 교육시설에 적용 중인

1) 김성범·오병철·신우철(2016), 서울지역 고등학교 건물의 에너지소비특성에 관한 사례분석, 한국태양에너지학회 논문집, 36(6), 61-69.  
 2) 김강식·박재완·윤종호·신우철(2011), 고등학교 시설의 에너지 소비량특성에 관한 사례분석, 한국태양에너지학회 논문집, 제31(5), 99-104.  
 3) 김진호·조수영·김창민·장향인·김선숙(2018), 건축물에너지효율등급 인증 현황 분석을 통한 ZEB의 설계영향인자 분석 : 교육연구시설을 대상으로, 한국건축친환경설비학회 논문집, 12(4), 387-399.

4) 맹준호·김성중·이승민·고현수(2018), 학교시설 현황분석을 통한 에너지절약설계 개선방향 연구, 한국교육녹색환경연구원 학술지, 17(3), 1-8.  
 5) 윤종호·신우철·조진일·최형주·김효중(2010), 전국 초등학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 대한건축학회 논문집, 26(9), 275-282.  
 6) 윤종호·신우철·조진일·박재완·김효중(2010), 전국 중학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 10(4), 45-50.  
 7) 윤종호·신우철·조진일·김효중·이철성(2010), 전국 고등학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 30(4), 55-62.

건축물에너지효율등급인증 및 신재생에너지설치의무화의 현황과 실효성을 평가하고 에너지자립률을 분석함으로써 ZEB인증에 대비한 기초자료를 제시하고 한다.

### I-1. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 예비인증을 걸쳐 2015년 2월부터 2019년 5월까지 “건축물에너지효율등급” 본인증을 획득한 316개의 교육시설을 대상으로 등급별 에너지소요량 및 신·재생에너지 생산량을 분석하고 그 자립률을 평가하였다. Table1은 교육시설 유형에 따른 지역별 인증현황을 나타낸 것이다. 전국 17개 지역에서 경기도가 119개로 31.5%의 가장 높은 비율을 차지하였으며, 교육시설 유형은 초등학교가 53%로 가장 높게 나타났다.

Table1. Current status of building energy efficiency rating certification by region according to types of education facilities\*

지역	유치원						합계	비율 (%)
	유치원	초등학교	중학교	고등학교	특수학교			
강원	0	1	2	2	0	5	1.3	
경기	21	66	17	12	3	119	31.5	
경남	1	18	9	5	1	34	9.0	
경북	0	16	9	5	0	30	7.9	
광주	0	5	1	1	0	7	1.9	
대구	10	14	8	3	0	35	9.3	
대전	0	3	0	1	0	4	1.1	
부산	0	10	2	1	0	13	3.4	
서울	2	9	3	4	1	19	5.0	
세종	0	12	9	5	0	26	6.9	
울산	0	2	0	1	0	3	0.8	
인천	1	6	3	0	2	12	3.2	
전남	5	6	6	3	0	20	5.3	
전북	1	7	1	0	0	9	2.4	
전주	0	1	0	0	0	1	0.3	
제주	0	1	0	0	0	1	7.4	
충남	4	14	5	4	1	28	3.2	
충북	0	6	4	1	1	12	0.3	
합계	45	197	79	48	9	378	100	
비율 (%)	11.9	52.1	20.9	12.7	2.4	100	-	

\* K기관 제공. 2015~2019 건축물에너지효율등급 본인증 자료 기준

## II. 건축물에너지효율등급

### II-1. 본인증 대상건물의 단열기준

Table2는 316개 본인증 대상 건물에 적용된 “건축물의 에너지절약설계기준”의 부위별 열관류율을 예시한 것이다<sup>8)</sup>. 여기서 “기준 1”과 “기준 2”로 구분된 법적 단열기준은 본인증에 선행된 모든 대상건물의 예비인증 기간(2014년 5월 ~ 2018년 7월)에 적용되었다.

Table2. Insulation standard by building parts (Central Region)

(단위: W/m<sup>2</sup>K)

지역			기준1 (2013~2015)	기준2 (2016~2018)
건축물의 부위				
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		0.270 이하	0.260 이하
		최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	0.180 이하	0.150 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.230 이하	0.180 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.290 이하	0.220 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.350 이하	0.260 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.410 이하	0.300 이하
바닥난방인 층간바닥			0.810 이하	0.810 이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	창	1.500 이하	1.500 이하
		문		
	외기에 간접 면하는 경우	창	2.600 이하	1.900 이하
		문		

### II-2. 건축물에너지효율등급 분석

교육시설은 ‘공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정’에 따라 기존 ‘건축물에너지효율 1등급 이상’ 법적기준의 의무대상건축물로 지정되어 이를 만족하도록 설계 및 시공되고 있다<sup>9)</sup>.

Figure1은 316개 본인증 교육시설의 1차에너지소비량 분포를 나타낸 것이다. 1차에너지소비량 원단

8) 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, [별표1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표

9) 산업통상자원부, 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정

위가 80kWh/m<sup>2</sup>a 미만일 때 1+++ 등급, 80kWh/m<sup>2</sup>a 이상 ~ 140kWh/m<sup>2</sup>a 미만일 때 1++ 등급, 140kWh/m<sup>2</sup>a 이상 ~ 200kWh/m<sup>2</sup>a 미만일 때 1+ 등급, 200kWh/m<sup>2</sup>a 이상 ~ 260kWh/m<sup>2</sup>a 미만일 때 1 등급이 된다. 13개 시설이 1+++ 등급에 해당되었으며, 1개 시설이 1 등급에 머무는 것을 알 수 있다.

Table3은 단열기준에 따른 건축물에너지효율등급 분포를 나타낸 것이다. 본인증 대상 교육시설의 88.6%가 1++ 등급 이상을 기록하였으며, 이는 2015년 1월부터 2018년 6월까지 주거용을 제외하고 본인증된 1,566개 건물(교육시설 포함)<sup>10)</sup>의 30%와 비교할 때 상대적으로 높은 성능 수준이다. 한편 단열기준 2에서 1+++ 등급 및 1++ 등급을 획득한 교육시설 비율은 각각 5.5%와 89.1%로 단열기준 1의 2.3%와 78.2%에 비해 큰 폭으로 증가하였다. 이것은 에너지 효율등급 상승에 단열기준 강화가 크게 기여하는 것을 의미한다.

Table4는 교육시설 유형별 건축물에너지효율등급 분포를 비교한 것이다. 1++ 등급 이상을 갖는 본인증 비율은 초등학교가 90.5%로 가장 높고, 고등학교가 81.0%로 가장 낮았다.

Table5는 교육시설 유형에 따른 건축물에너지효율등급별 단위면적당 연간 1차에너지소요량을 비교한 것이다. 1+++ 등급의 평균 1차에너지소비량은 69 kWh/m<sup>2</sup>a (표준편차=11.4)로 1++ 등급의 112 kWh/m<sup>2</sup>a (표준편차=14.2)에 비해 38% 이상 감소하였으며, 등급이 높아질수록 1차에너지소비량의 감소폭이 증가하는 것으로 분석되었다.

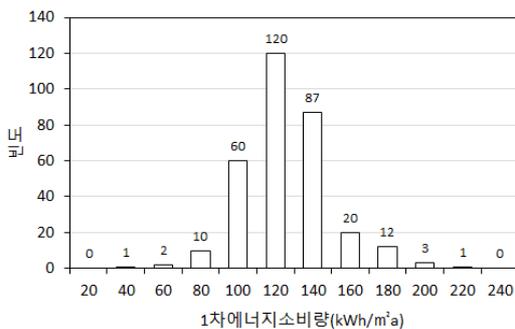


Figure1. Distribution of primary energy consumptions

10) 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증현황 ('18년 2/4분기)

Table3. Number of energy efficiency rating levels according to insulation standard

단열기준 \ 등급	1+++	1++	1+	1	합계
기준 1	3	104	25	1	133
기준 2	10	163	10	0	183
합계	13	267	35	1	316

Table4. Number of building energy efficiency rating levels by type of education facilities

등급	유치원	초등학교	중학교	고등학교	특수학교	합계
1+++	3	7	2	1	0	13
1++	28	145	54	33	7	267
1+	4	15	8	8	0	35
1	0	1	0	0	0	1
합계	35	168	64	42	7	316

Table5. Primary energy consumptions by Building energy efficiency rating levels

(Unit: kWh/m<sup>2</sup>a)

등급	유치원	초등학교	중학교	고등학교	특수학교	평균
1+++	72	69	60	77	0	69
1++	104	114	111	112	117	112
1+	157	156	168	158	0	159
1	0	207	0	0	0	207

### III. 신·재생에너지시스템

2004년 3월 ‘신·재생에너지 설치 의무화’ 제도가 시행되었고, 교육시설은 ‘공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정’에서 정의하는 공공기관 건축물에 해당되어, 2008년 9월 의무대상 건축물로 포함되었다.

Table6은 연구대상 건물의 신·재생에너지 설비 유형을 나타낸 것이다. 기존 대지에 추가 증축 또는 수선되어, 이미 신재생에너지설비가 설치되어있는 6 곳은 의무대상에서 제외되었으며, 태양광발전시스템 및 태양열급탕시스템, 지열히트펌프시스템, 연료전지 등 4가지 신·재생에너지시스템이 적용된 것으로 파악되었다. 전체 316개 교육시설에서 단일 형태로 태양광발전시스템과 지열히트펌프시스템이 각각 56.1%와 3.2%가 설치되었으며, 나머지는 모두 태양광발전시스템과 복합된 형태로 나타났다. 태양광발전

시스템과 지열히트펌프시스템의 복합 형태가 92곳으로 29.7%를 차지하고 있으며, 태양열급탕시스템 및 연료전지가 각각 2.6%와 7.1%로 나타났다. 3가지 시스템(태양광발전과 태양열급탕, 지열히트펌프)이 조합된 곳은 4개소로 1.3%에 해당한다.

Table6. Types of installation of renewable energy systems

태양광	태양열	지열	연료전지	개수	비율 (%)
○	-	-	-	174	56.1
-	-	○	-	10	3.2
○	○	-	-	8	2.6
○	-	○	-	92	29.7
○	-	-	○	22	7.1
○	○	○	-	4	1.3
합계				310	100

Table7은 지역별 신·재생에너지시스템 설치 분포를 나타낸 것이다. 전국 300개 본인증 교육시설에 설치된 태양광발전시스템 평균 모듈면적은 753㎡ (표준편차=388)이며, 12개 태양열급탕시스템의 평균 집열면적은 83㎡ (표준편차=35), 106개 지열히트펌프시스템의 설치용량은 609kW (표준편차=289), 22개 연료전지의 설치용량은 15kW (표준편차=7)로 각각 파악되었다. 한편 지열히트펌프시스템의 경우 전국 17개 지자체에서 경기도가 32개로 30.2%를 차지하였으며, 세종 및 충남, 전북이 각각 19.8%, 18.9%, 7.5% 순으로 나타났다. 이에 반해 대전 및 광주, 인천, 제주 등에는 설치되지 않아 지역 편중성을 드러냈다. 또한 태양열급탕시스템의 경우 75%가 부산지역에 집중되었으며 경기도 및 서울, 전북을 제외한 13개 지자체에는 전혀 설치되지 않는 것으로 나타났다. 연료전지는 81.8%가 경기지역에 집중되었으며, 서울과 인천에서 9.1%로, 세 지역을 제외하고 사용하지 않아, 가장 높은 지역적 편중성이 나타났다.

Figure2는 본인증 교육시설에 적용된 신·재생에너지시스템 생산량분포를 나타낸 것이다. 10kWh/m<sup>2</sup>a 이상 ~ 15kWh/m<sup>2</sup>a 미만의 빈도 수가 가장 많은 것을 알 수 있다.

Table8은 교육시설 유형 및 등급별 신·재생에너지시스템의 평균 1차 에너지생산량을 원단위로 비교한 것이다. 1+++ 및 1++ 등급의 1차에너지생산량은 각

각 20kWh/m<sup>2</sup>a (표준편차=4.4)와 14kWh/m<sup>2</sup>a (표준편차=5.4)로, 에너지효율등급이 낮을수록 신·재생에너지 생산량이 감소하는 것을 알 수 있다.

Table7. Distribution of renewable energy systems by regions

지역	태양광발전		태양열급탕		지열히트펌프		연료전지	
	개소	면적 (㎡)	개소	면적 (㎡)	개소	용량 (kW)	개소	용량 (kW)
강원	5	790	0	0	1	154	0	0
경기	92	775	1	94	32	525	18	15
경남	32	825	0	0	1	322	0	0
경북	23	979	0	0	2	888	0	0
광주	4	699	0	0	0	0	0	0
대구	33	861	0	0	5	608	0	0
대전	2	332	0	0	0	0	0	0
부산	10	863	9	90	2	159	0	0
서울	13	680	1	33	1	1109	2	16
세종	22	651	0	0	21	815	0	0
울산	1	1371	0	0	1	268	0	0
인천	9	920	0	0	0	0	2	13
전남	12	268	0	0	7	551	0	0
전북	9	487	1	59	8	487	0	0
제주	1	601	0	0	0	0	0	0
충남	22	484	0	0	20	700	0	0
충북	10	947	0	0	5	388	0	0
합계/평균	300	753	12	83	106	609	22	15

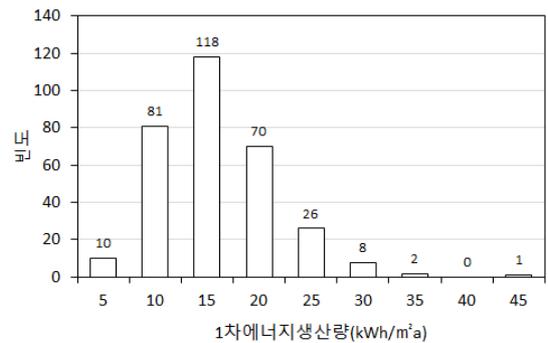


Figure2. Distribution of primary energy production

Table8. Primary energy production by type of education facilities

(Unit: kWh/m<sup>2</sup>a)

등급	유치원	초등학교	중학교	고등학교	특수학교	평균
1+++	18	19	26	16	0	20
1++	17	14	14	12	14	14
1+	7	12	10	9	0	10
1	0	12	0	0	0	12

#### IV. 에너지자립률 분석

교육시설은 2019년 4월 녹색건축물 조성 지원법이 개정됨에 따라, 2020년 ZEB인증의 의무대상 건축물로 확정되어, ZEB 최소인증기준인 ‘건축물에너지효율등급 1++등급 이상’, ‘에너지 자립률 20% 이상’을 의무적으로 만족하도록 기준이 상향되었다.

제로에너지빌딩 인증 기준에 따른 에너지자립률은 다음 식에 따라 산정된다<sup>11)</sup>.

$$\text{에너지자립률} = \frac{\text{단위면적당1차에너지생산량}}{\text{단위면적당1차에너지소비량}} \times 100 \quad (1)$$

$$1\text{차 에너지생산량} = \sum[(\text{신재생에너지생산량} \quad (2)$$

– 신·재생에너지생산에필요한에너지소비량)

× 해당1차에너지환산계수]

$$1\text{차에너지소비량} = \sum[(\text{에너지소비량} \quad (3)$$

× 해당1차에너지환산계수)]

Table9는 에너지자립률에 따른 ZEB 인증등급을 나타낸 것으로 에너지자립률에 따라 5등급으로 구분된다.

Table9. ZEB certification level

ZEB등급	에너지자립률
1 등급	에너지자립률 100% 이상
2 등급	에너지자립률 80 이상 ~ 100% 미만
3 등급	에너지자립률 60 이상 ~ 80% 미만
4 등급	에너지자립률 40 이상 ~ 60% 미만
5 등급	에너지자립률 20 이상 ~ 40% 미만

Table10은 교육시설 유형 및 건축물에너지효율등급별 평균 에너지자립률을 나타낸 것이다. 1+++ 등급을 갖는 교육시설의 평균 에너지자립률은 20% 이상으로 ZEB 4 ~ 5등급에 해당되었다. 이에 반해 1++ 등급의 경우 평균 에너지자립률은 13%로 1+++ 등급에 비해 다소 낮게 나타났다.

Table11은 316개 본인증 교육시설의 건축물에너지효율등급에 따른 ZEB 인증등급을 추정한 것이다.

11) 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 ZEB 인증 기준, [별표 1의2] ZEB 인증 기준

1+++ 등급의 경우 1곳을 제외하고 모두 ZEB 5등급 이상으로 나타났으며, 1++ 등급에서도 28곳(1++등급의 11%)이 5등급에 해당하는 것으로 분석되었다.

Table12는 1++ 등급이상 교육시설을 대상으로 에너지자립률에 대한 Pearson 상관관계 (유의수준 0.001 이하)를 분석한 것이다. 에너지자립률에 대한 신재생에너지생산량의 상관계수는 0.880로 매우 유의한 선형관계를 나타냈으며, 1차에너지소비량의 상관계수는 -0.693으로 뚜렷한 음적 선형관계가 나타났다.

Table10. Average energy self-sufficiency rate by types of education facilities

(단위: %)

등급	유치원	초등학교	중학교	고등학교	특수학교	평균
1+++	26	30	43	20	0	31
1++	16	12	13	12	12	13
1+	4	8	6	6	0	6
1	0	6	0	0	0	6

Table11. Distribution of ZEB levels according to building energy efficiency levels

(단위: 개소)

ZEB등급 효율등급	ZEB등급					
	등급외	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급
1+++	1	10	1	1	0	0
1++	239	28	0	0	0	0
1+	35	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0

Table12. Pearson Correlation of Energy self-sufficiency and renewable energy production and consumption

	신·재생에너지 지생산량	1차에너지 소비량	에너지자립률
신·재생에너지생산량	1		
1차에너지소비량	-0.473*	1	
에너지자립률	0.880*	-0.693*	1

\* p-value <0.001

## V. 결론

본 연구에서는 2015년 2월부터 2018년 6월까지 본인증을 획득한 316개 교육시설에 대한 건물에너지효율등급 및 신·재생에너지설치 현황을 파악하고, 에너지 소요량 및 신·재생에너지 생산량을 기준으로 에너지자립률을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본인증 대상 교육시설의 88.6%가 1++ 등급 이상을 획득하였으며, 이는 동일기간 주거용을 제외하고 본인증된 1,566개 건물(교육시설 포함)의 30%와 비교할 때 상대적으로 높은 성능 수준이다.

둘째, 310개 교육시설에 적용된 신·재생에너지시스템은 단일 형태로 태양광발전시스템과 지열히트펌프시스템이 각각 56.1%와 3.2%가 설치되었으며, 태양열급탕시스템 및 연료전지는 태양광발전시스템과 복합된 형태(지열히트펌프시스템 포함)로 설치되었다.

셋째, 1+++ 및 1++ 등급을 갖는 교육시설의 신재생에너지시스템 1차에너지생산량은 각각 20kWh/m<sup>2</sup>a (표준편차=4.4)와 14kWh/m<sup>2</sup>a (표준편차=5.4)로 나타났다.

넷째, 316개 본인증 교육시설의 건축물에너지효율등급에 따른 ZEB 인증등급을 추정하면 1+++ 등급의 경우 1곳을 제외하고 모두 ZEB 5등급 이상이며, 1++ 등급에서도 28곳(1++등급의 11%)이 5등급에 해당하는 것으로 분석되었다.

이상과 같이 현재 수준에서 일반 교육시설의 ZEB 인증은 무리가 있으며, 건물에너지효율등급 1+++등급으로의 상향과 신·재생에너지시스템 투자가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

## 국문초록

교육시설은 ‘공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정’에 따라 2014년부터 ‘건축물에너지효율 1등급 이상’의 의무대상건축물로 지정되었으며, 동 규정에서 정의하는 공공기관 건축물에 해당되어, 2008년 9월 신·재생에너지 의무대상 건축물로 포함되었다. 또한 2019년 4월 녹색건축물 조성 지원법이 개정됨에 따라, 2020년부터 ZEB인증의 의무대상 건축물로 확정되었다. 따라서 본 연구에서는 2015년 2월부터 2019년 5월까지 “건축물에너지효율등급” 본인

증을 획득한 316개의 교육시설을 대상으로 “건축물에너지효율등급” 및 “신·재생에너지시스템”설치 현황을 파악하고, 에너지 소요량 및 신·재생에너지 생산량을 기준으로 에너지자립률을 분석하였다. 316개 본인증 교육시설의 “건축물에너지효율등급”에 따른 ZEB 인증등급을 추정하면 1+++ 등급 12개 시설의 경우 1곳을 제외하고 모두 ZEB 5등급 이상으로 나타났다으며, 239개의 1++ 등급 시설에서 11%에 해당하는 28곳이 ZEB 5등급 수준에 도달하였다. 따라서 현 수준에서 일반 교육시설의 ZEB 인증은 무리가 있으며, 건물에너지효율 1+++등급 상향과 신·재생에너지시스템 투자가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김성범·오병철·신우철(2016), 서울지역 고등학교 건물의 에너지소비특성에 관한 사례분석, 한국태양에너지학회 논문집, 36(6), 61-69.
2. 김강식·박재완·윤종호·신우철(2011), 고등학교 시설의 에너지 소비량특성에 관한 사례분석, 한국태양에너지학회 논문집, 제31(5), 99-104.
3. 김진호·조수영·김창민·장향인·김선숙(2018), 건축물에너지효율등급 인증 현황 분석을 통한 ZEB의 설계영향인자 분석 : 교육연구시설을 대상으로, 한국건축환경설비학회 논문집, 12(4), 387-399.
4. 맹준호·김성중·이승민·고현수(2018), 학교시설 현황분석을 통한 에너지절약설계 개선방향 연구, 한국교육녹색환경연구원 학술지, 17(3), 1-8.
5. 윤종호·신우철·조진일·최형주·김효중(2010), 전국 초등학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 대한건축학회 논문집, 26(9), 275-282.
6. 윤종호·신우철·조진일·박재완·김효중(2010), 전국 중학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 10(4), 45-50.
7. 윤종호·신우철·조진일·김효중·이철성(2010), 전국 고등학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 30(4), 55-62.
8. 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, [별표 1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표
9. 산업통상자원부, 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정
10. 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증현황 ('18년 2/4분기)

11. 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준, [별표 1의 2] 제로에너지건축물 인증 기준

(논문투고일 : 2019.11.23, 심사완료일 : 2019.12.16,  
게재확정일 : 2019.12.26.)