

한국의 제로에너지건축 정책 추진에 따른 건축물 에너지기술 성능 연구

심홍석^{1,2}, 이성주^{2,3*}

¹한국에너지공단 건물에너지실, ²아주대학교 산업공학과, ³아주대학교 인공지능학과

A Study on the Performance Increase in Building Energy Technology according to the Korea's Zero Energy Building Policy

Hong-Souk Shim^{1,2}, Sungjoo Lee^{2,3*}

¹Building Energy Management Division, Korea Energy Agency,

²Department of Industrial Engineering, Ajou University,

³Department of Artificial Intelligence, Ajou University

요약 한국은 건물부문 온실가스 감축 목표 달성을 위한 핵심정책으로 2020년부터 공공부문 신축 건축물을 대상으로 제로에너지건축물 인증 의무화를 시행하였다. 이 논문은 궁극적인 Net Zero 에너지건축물 달성을 하는 데 있어서 정부의 정책에 따른 건축물 에너지성능의 변화 추세를 파악하고, 최근 건축물에 적용된 에너지기술 성능의 변화 추이를 분석하는 방법론을 제시함으로써 궁극적으로는 장기적인 Net Zero를 달성하고자 하는 정책 환경의 변화에서 건축 관련 이해 관계자들이 건축물 유형별로 적절한 에너지기술들을 적용하는데 도움을 주고자 한다. 본 연구를 위해 최근 4년간 건축물 에너지효율등급 예비인증 데이터를 수집하여 건축물의 에너지성능이 상승하는 추세를 확인하였다. 또한, 최근 건축물에 적용된 에너지기술들의 에너지성능 현황을 분석하기 위하여 K-means 군집분석 활용해 교육연구 시설과 업무시설의 High, Low 에너지성능 군집을 통해 비교군(2016년~2020년, 2020년) 설정하여, 분석하였다. 분석 결과 교육연구 시설의 High, Low 군집 모두 태양광 모듈 면적의 증가율이 261.1%, 283.5% 급증하였으며, 업무시설은 High, Low 군집 모두 태양광 모듈 면적이 감소하는 반면에 대부분의 패시브, 액티브 기술의 에너지성능이 증가하는 것으로 분석되었다.

Abstract As a key policy for achieving the goal of reducing GHG in the building sector, Korea has enforced the mandatory certification of zero-energy buildings for new buildings in the public sector from 2020. This study evaluated a policy to achieve Net Zero by identifying the trend of changes in building energy performance according to policy and presenting a methodology to analyze the current performance state of energy technology applied to buildings. The final goal was to help stakeholders apply appropriate energy technologies for new buildings. For this study, data collected on building energy efficiency certification over the last four years have shown a gradual increase in energy performance. In addition, K-means cluster analysis was used to analyze the performance status of energy technologies applied to buildings. The high and low clusters of education and office facilities were used to analyze the comparative group (2016-2020, 2020). As a result, the solar module area in both high and low clusters of education facilities increased by 261.1% and 283.5%. In contrast, the solar module area decreased by both high and low clusters of office facilities. The most passive and active technologies showed an increase in energy performance.

Keywords : Zero Energy Building Certification, Building Energy Efficiency Certification, Building Energy Performance, Building Energy Technology, Net Zero Energy Building

본 논문은 한국에너지기술평가원(KETEP)의 연구과제(No.2019271010015D)와 한국연구재단(NRF-2019R1F1A1063032)의 재원으로 연구되었음.

*Corresponding Author : Sung-joo Lee(Ajou Univ.)

email: sungjoo@ajou.ac.kr

Received February 8, 2021

Revised April 5, 2021

Accepted May 7, 2021

Published May 31, 2021

1. 서론

유엔환경계획(United Nations Environment Programme)에서는 전 세계 온실가스 배출전망을 2020년 59Gt CO₂에서 2050년에는 약 47.5% 증가한 87Gt CO₂를 배출할 것이라고 전망하며, 기후변화에 대한 위기와 글로벌 사회에 더 강력한 온실가스 감축 정책을 강조하였다[1]. 이를 바탕으로 2015년 12월 제21회 유엔 기후변화협약(UNFCCC) 당사국 총회(COP21) 본회의에서는 195개의 당사국이 2020년 이후의 신 기후체제의 기반이 되는 파리협정을 채택하면서, 신속한 기후변화 대응과 각국의 참여유도를 위해 각 당사국들은 온실가스 감축 목표를 자발적으로 정하는 INDC(Intended Nationally Determined Contributions)를 제출하였다[2,7]. 한국은 2017년 온실가스 배출량 709Mt CO₂ 대비 약 19.8% 증가한 850Mt CO₂를 2030년에 배출할 것이라고 전망하고 있으며, 2016년 11월에는 당사국 총회에 제출하였던 INDC 2030년 온실가스 배출량 BAU(Business As Usual) 대비 37% 감축 하는 목표를 비준하여, NDC(Nationally Determined Contributions)로 등록한 바 있다[3,7]. 각 국가가 등록한 NDC에서 온실가스 감축을 이행하는 수단으로 건물부문의 에너지효율 개선이 가장 많이 언급되었다[4,7]. 한국 역시 2018년 국가 온실가스감축 로드맵을 수정하면서, 건물부문의 온실가스 감축률 목표를 18.1%에서 2018년 32.7%로 확대하여, 국가 목표 달성을 위해 건물 부문의 역할을 강조하였다[5,7].

한국 정부는 건물부문 온실가스 감축 이행을 위해, 2017년 제로에너지건축물(ZEB: Zero Energy Building) 인증제도를 시작하였으며, 2019년에는 제2차 녹색건축물 기본계획 발표를 통해, 2020년 연면적 1,000m² 이상 공공건축물부터 2030년 연면적 500m²이상 민간 건축물 까지 단계적인 제로에너지건축물 의무화 로드맵을 발표하였다[6,7]. 이를 바탕으로 2020년 1월 1일부터 연면적 1,000m² 이상 공공건축물은 사용승인 단계에서 제로에너지건축물 인증표시를 의무화 하도록 녹색건축물 조성 지원법 시행령을 개정하면서, 신축단계부터 에너지고효율 건축물이 지어지도록 적극적인 정책을 추진하고 있다. 2020년 7월에는 한국판 뉴딜과 종합계획을 발표하면서 그린뉴딜 주요과제의 일환으로 국민생활과 밀접한 공공시설의 제로에너지화 촉진을 강조하고, 공공부문 연면적 5백m² 이상 신축건축물의 제로에너지건축물 인증의무화를 2025년에서 2023년으로 앞당겼다[8]. 또한, EU, 중국, 일본, 미국 등 주요 국가들이 탄소중립 선언을 가

속화하면서, 한국 역시 2020년 10월 2050년까지 탄소중립(Net Zero)을 달성하는 목표를 선언하고, 12월에는 '2050 탄소중립 추진전략'을 발표하였다[9]. 특히, 신규 건축물의 제로에너지건축 의무화를 강조하면서, 마을·도시단위 에너지자립률 제고를 통한 탄소중립도시를 조성하는 추진 과제를 구체화하였다. 이를 바탕으로 한국 정부는 2020년 12월에 국가 온실가스 감축목표를 기준 BAU 대비 방식에서 2017년 국가 온실가스 총배출량 대비 24.4%를 감축하는 것으로 목표를 갱신하여 NDC를 제출할 계획을 발표하였다. 이는 배출전망치 유형의 감축목표보다 예측 가능하며 투명한 절대값 유형의 감축목표로 노력을 통해 국내 감축 비중을 증가시킨 감축목표이다[10].

이처럼 최근 전 세계는 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축 계획을 가속화하는 중이며, 최근에는 한국 역시 기후변화 대응을 위한 강력한 전략을 추진하고 있다. 특히, 제로에너지건축물 보급 확산은 탄소중립(Net Zero)을 위한 핵심 수단의 역할에 대한 기대가 커지고 있는 상황으로 한국의 건축물 에너지성능 관련 정책 현황과 중장기 계획 방향에 대한 자료와 연구는 충분히 진행되고 있다. 반면에, 실질적으로 한국에서 최근 지어지고 있는 우수한 에너지성능을 가진 건축물들의 대표적인 에너지 기술들의 성능 값에 대한 추이를 분석한 연구 사례는 부족한 실정으로 실질적으로 장기적으로 계획하고 있는 탄소중립(Net Zero) 건축물의 실현가능성을 논의하는 것이 어려운 상황이다.

본 연구는 최근 건축물 에너지효율등급 인증(BEEC: Building Energy Efficiency Certification)과 ZEB 인증을 받은 건축물들에 적용된 에너지기술의 추이를 분석하는 방법론을 제시하고 실제 이를 적용하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 2016년부터 2020년까지 인증을 받은 건축물들의 종합적인 1차에너지소요량 값들의 변화 추이를 분석하고, 해당 기간 동안 충분한 표본 비중을 가지고 있는 교육연구시설(30.1%)과 업무시설(33.1%)을 대상으로 에너지성능 평가 데이터를 활용한 K-means 군집분석을 통해, 제로에너지건축 의무화 정책 전과 후에 대한 각 에너지기술들의 성능값의 변화 추이를 분석하고자 한다. K-means 군집분석은 데이터를 유사성에 따라 K개의 군집으로 묶어주는 방법으로, 에너지 사용패턴이 비슷한 건축물들을 군집화 하고 이들의 1차에너지소요량 값을 산출함으로써 건축물들의 현황을 보다 정확히 파악 할 수 있도록 한다. 본 논문의 연구결과는 실제 추진하고 있는 건축물 에너지효율등급 인증 데이터를 바탕으로 분

석을 하여 실제 적용된 에너지기술 변화 추이를 파악하는 데 높은 설득력을 가지며, 국내 제로에너지건축 정책 수립에 의미 있는 시사점을 제공할 것으로 기대된다.

2. 예비적 고찰

2.1 제로에너지건축 의무화 정책 동향

ZEB는 건축물의 최소 에너지성능 층족, 신재생에너지 공급, 온실가스 배출량 제한 등 다양한 측면으로 국가별 특성에 맞게 제로에너지건축 의무화 정책을 시행하고 있다. ZEB는 EU 중심으로 정의하고 있는 'Nearly Zero'와 미국 중심으로 정의하고 있는 'Net Zero'로의 개념으로 Table 1과 같이 크게 나눌 수 있다.

EU는 2018년에 EPBD(Energy Performance of Building Directive)를 개정하여 2019년부터 공공부문, 2021년부터 민간부문 신축 건축물의 'Nearly Zero Energy Building'의무화를 명시하였다. 독일은 EPBD를 바탕으로 에너지절약법령(Energieeinsparverordnung, EnEV)을 개정하여 의무화를 적용하고 있으며, 영국은 건축법(Building Regulation 25B)을 개정하여, 'Nearly Zero Carbon' 개념으로 의무화를 적용하였다. 미국은 에너지자립 및 안보법(Energy Independence and Security Act of 2007)을 통해 2020년부터 신축 주거용 건축물, 2030년부터 공공 및 신축 민간 건축물 대상 의무화를 적용하고 있다[13]. 해외 주요국가의 제로에너지건축 의무화 기준은 Table 2와 같다.

Table 1. Definitions of Zero Energy Building(ZEB)

Concept	Definitions	Reference
Nearly Zero	<ul style="list-style-type: none"> A building that has a very high energy performance as determined in accordance with Annex I. The nearly zero or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent by energy from renewable sources 	[11]
Net Zero	<ul style="list-style-type: none"> (Site) A site NZEB produces at least as much Renewable Energy as it uses in a year (Source) A source NZEB produces at least as much Renewable Energy as it uses in a year (Emissions) A building produces enough emission-free Renewable Energy to offset emissions from energy used in the building annually. 	[12]

Table 2. Zero Energy Building Obligation Criteria of Major Foreign Country

Nation	Obligation Year		Evaluation Criteria	
	Public	Private	Criteria	Minimum Energy Performance
U.K	2019	2020	CO ₂ emission under Reference Building	Insulation, Heat Bridge, Blow Door Test etc.
Germany	2019	2021	Primary Energy Need under Reference Building	Insulation, Thermal loss, Renewable Energy etc.
USA	(2020) Residential (2030) Others of Public, Private		Energy Consumption Predicted by Simulation Tool	Following ASHRAE Standard 90.1/90.2

한국의 ZEB는 유럽의 개념과 유사하며, 녹색건축물 조성 지원법 제2조에서 "제로에너지건축물"이란 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신재생에너지를 활용하여 에너지 소요량을 최소화하는 녹색건축물을 말한다."라고 정의하고 있다[14]. 한국은 ZEB의 법적 정의를 바탕으로 단열, 기밀성능 강화를 통한 냉·난방 에너지요구량을 최소화시키는 패시브 개념과 태양광, 지열시스템 등의 신재생에너지를 설치를 통해 건축물의 화석연료 소비량을 감소시키는 액티브 개념을 더한 ZEB 개념을 정립하여, 2017년부터 세계최초로 에너지자립률에 따라 5개 등급으로 구분한 ZEB 국가 인증 제도를 시작하였다. 이를 바탕으로 Figure 1과 같이 2020년부터 공공부문을 선도로 시행하고 단계적으로 민간 부문까지 확대하는 의무화 정책을 시행하고 있다. 본 논문에서는 ZEB 의무화 정책 단계별 건축물의 에너지성능 변화를 분석하고, 건축물 유형별 에너지기술 성능값의 특성을 분석하여 정책의 이행가능성을 파악하는 것이 목적이다.

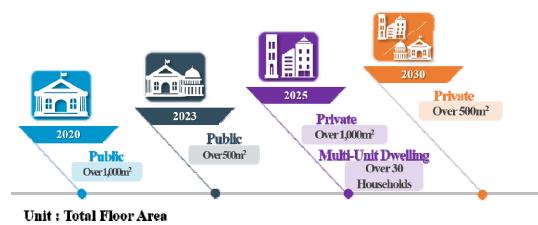


Fig. 1. ZEB Obligation Roadmap of Korea (Reference : ZEB Certification and Practice, Korea Energy Agency)

2.2 기준문헌 고찰

그 동안 건축물 에너지성능 강화 정책에 따른 효과 분석에 관한 연구는 크게 두 가지 관점에서 수행되었다. 첫째는 건축물 에너지성능 강화 정책에 따른 요소별 효과 분석을 진행한 연구들이다. 김지혜 외(2020)는 건축물의 에너지절약설계기준 강화 정책 시행 단계별로 각 지역의 업무용 신축건축물의 평균 1차에너지소요량의 변화를 분석하였다[15]. 김진호 외(2018)는 BEEC에서 1등급 이상 획득한 교육연구 시설을 지역과 규모에 따라 구분하고, 에너지요구량에 영향을 미치는 영향력을 다중회귀분석을 통해 검증하였으며, 등급이 높을수록 영향인자들의 에너지성능 수준도 높아지는 것을 확인하였다[16]. 이항주, 김인수(2019)는 ZEB의 단계적 의무화 로드맵에 따라 발생할 수 있는 이슈사항 및 트랜드 분석을 위해 건축물 인증제도 인센티브 현황과 공사비 증가에 따른 애로사항들을 파악하여, 신규로 지원가능한 인센티브들을 제안하였다[17]. 둘째는, ZEB에 구현을 위한 기술구성에 관한 연구들이 진행되었다. 문정현, 김재철(2018)은 한국토지주택공사의 실증사례건축물을 바탕으로 에너지소요량 평가 프로그램을 활용하여, 태양광 설치용량 확대를 통한 에너지자립률 개선에 대하여 분석하였다[18]. 조수 외(2018)는 ZEB를 위한 건축 자재 및 설비시스템의 정보를 통합하여 자재 및 기술 간 융합이 가능하도록 하는 ZEB 통합설계에 적용할 수 있는 기술 패키지를 패시브(Passive) 기술 요소와 액티브(Active) 기술요소로 분류하여, 이를 구현하기 위한 데이터베이스 구성안을 제시하였다[19]. 그동안 기존 연구들은 '건축물의 에너지절약 설계기준', 'BEEC' 제도 이행에 따른 기술요들의 에너지 성능 변화의 관찰과 ZEB의 정책현황을 파악하고 패시브, 액티브 기술의 요소들에 대한 융합 패키지화시키는 방법론을 제시하였다.

2.3 연구 방법론

본 연구는 기존 연구들과는 차별적으로 ZEB의 의무화 추진 시점을 기준으로 의무화 전과 후 인증을 취득한 건축물들의 에너지성능 수준 변화를 파악하고 건축물들에 적용된 에너지기술의 변화 추이를 분석하는 방법론을 제시하고자 한다. 전반적인 연구 프로세스는 다음과 같다.

먼저 국내에서 추진되고 있는 ZEB 의무화 정책 추진 현황과 ZEB의 법적 인증기준을 파악하고, ZEB 평가 데이터로 활용되는 BEEC 예비인증을 취득한 건축물들의 유형별, 시기별 인증 현황을 분석하였다. 또한, ZEB 정책 이행에 따른 건축물에 적용된 에너지기술수준의 추이 변

화를 분석하기 위하여 BEEC 인증 취득 비중이 높은 교육연구시설과 업무시설에 적용된 에너지기술들의 성능값 데이터를 대상으로 K-means 군집분석을 실시하여 에너지기술의 성능 값 변화 추이를 분석하는 방법론을 제시하였다. 본 연구의 프로세스는 Fig. 2와 같다.

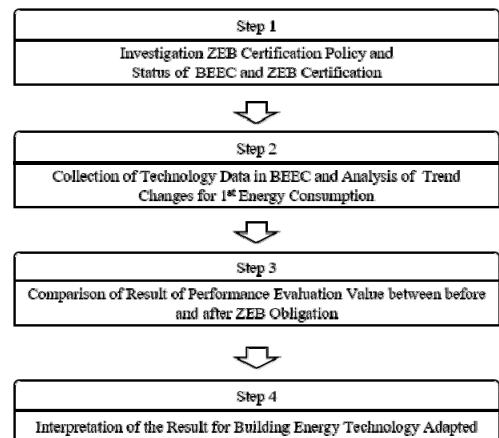


Fig. 2. Process of Study

3. 인증제도 현황

3.1 인증 의무화 대상 및 인증 기준

ZEB 인증제도는 2017년 처음 시행되면서, 2017년 시장형 공기업, 2018년 준시장형 공기업의 업무시설, 교육연구시설의 연면적 3천m²이상 신축건축물을 대상으로 최초 인증 의무화가 시작되었다. 2020년부터는 공동주택, 기숙사를 제외한 연면적 1,000m²이상 전체 공공부분 신축건축물을 대상으로 본격적인 인증 의무화가 Table 3과 같이 시행되고 있다.

Table 3. Status of Zero Energy Building Obligation in Korea

year	Obligation Scope	Related Law
2017	▪ New Education and Office Facility of Public Enterprise with a total floor area of more than 3,000m ²	Regulation on Rationalization of Energy Use in Public Organization
2018	▪ New Education and Office Facility of Semi-market type Public Enterprise with a total floor area of more than 3,000m ²	
2020	▪ All New Building except for Apartment House and Dormitory of All Public Sector with a total floor area of more than 1,000m ²	Green Building Support Act

ZEB 인증을 취득하기 위해서는 우선 건축물 에너지효율등급 1++ 이상 인증서를 획득하여야 하며, 추가적으로 에너지자립률 20% 이상과 건물에너지관리시스템 또는 전자식 원격점침계량기 설치 기준들을 충족하여야 하며, 인증 기준 Table 4와 같다[20].

Table 4. Criteria of ZEB Certification

Category	Obligation Scope
Certified	Aquisition of Over 1++ Certification on Building Energy Efficiency Rating
Rating	1 st : Over 100% of Energy Independence Rate 2 nd : 80 ~ 100% of Energy Independence Rate 3 rd : 60 ~ 80% of Energy Independence Rate 4 th : 40 ~ 60% of Energy Independence Rate 5 th : 20 ~ 40% of Energy Independence Rate
Energy Management	Installation of Building Energy Management System or Smart Energy Meter

3.2 인증 현황 조사

ZEB 관련 데이터 수집을 위해 연계 제도인 BEEC 예비인증 현황 데이터를 2016년부터 2020년 까지 수집하였다. 이 기간 동안 인증을 취득한 비주거 건축물은 총 4,229개이며, 4,229개 건축물의 용도는 Table 5와 같이 교육연구 시설(30.1%)과 업무 시설(33.1%)이 대다수를 차지하고 있다.

BEEC의 등급별 인증 현황 데이터를 활용하여 고등급 건축물이 증가하는 추세를 살펴보면 Fig. 3과 같이 나타난다. 2016년부터 2020년까지 1++ 등급 건축물의 추세선 기울기가 117.5로 가장 크며, 1+++ 등급 건축물은 26.8의 기울기로 증가하고 있다. 반면에 1+등급 인증은

Table 5. Status of Building Energy Efficiency Certification

Related Building Type	Building Energy Efficiency Certification						
	'16	'17	'18	'19	'20	Total	Weight
Factory	13	20	36	44	50	163	3.9%
Education	245	231	251	215	331	1,273	30.1%
Correction & Military	13	27	27	24	39	130	3.1%
Care Center	19	22	18	25	57	141	3.3%
Culture & Assembly	33	37	36	34	46	186	4.4%
Office	215	233	299	296	357	1,400	33.1%
Sports	29	26	23	14	69	161	3.8%
Neighborhood living 1	15	24	44	50	100	233	5.5%
Neighborhood living 2	11	19	33	41	30	134	3.2%
Others	89	70	66	87	96	408	9.6%
Total	682	709	833	830	1,175	4,229	100%

받은 건축물의 추세선은 -7.1의 기울기로 감소하고 있으며, 1등급 건축물의 기울기는 -24.3으로 급격하게 감소하고 있다. 이는 ZEB 인증 기준의 BEEC 1++ 이상 취득 조건을 충족하기 위하여, 해당 건축물의 인증건수 수가 증가는 것을 확인 할 수 있다. ZEB의 등급별 인증 현황은 Table 6과 같다. ZEB 5등급의 인증 비중이 75.3%로 가장 커졌으며, 2등급의 인증 비중이 1.1%로 가장 낮았다. 1등급 비중이 2등급 보도 약 2배 이상 큰 것은 ZEB 1등급을 취득한 건축물의 상징성이 크다는 것을 추정할 수 있다.

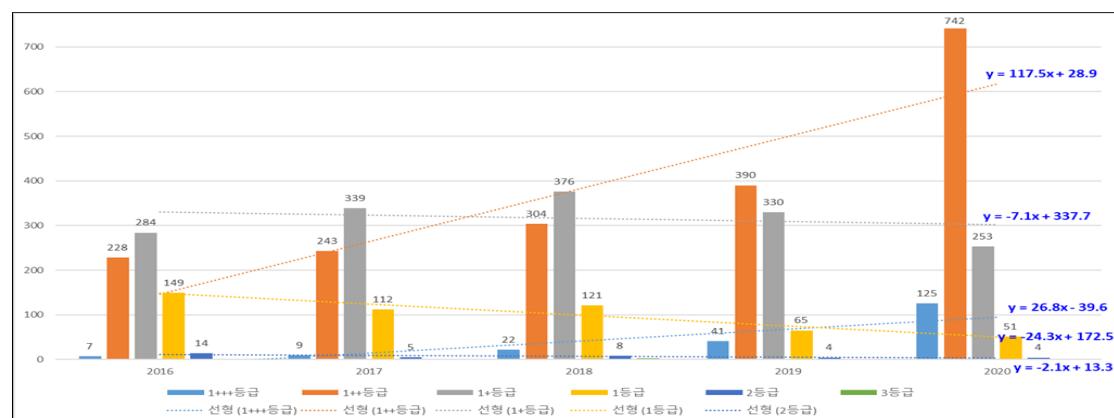


Fig. 3. Status of Building Energy Efficiency Certification

Table 6. Status of Zero Energy Building Certification

year	2017	2018	2019	2020	Total	Weight
ZEB 1	0	2	1	10	13	2.4%
ZEB 2	0	0	0	6	6	1.1%
ZEB 3	1	1	0	26	26	4.9%
ZEB 4	2	2	6	95	87	16.3%
ZEB 5	7	21	28	346	402	75.3%

4. 에너지기술 추이분석

4.1 데이터 수집

제로에너지건축 정책 전과 후의 건축물 적용 에너지기술 추이를 분석하기 위하여 ZEB 인증평가 시 활용되는 BEEC의 예비인증 데이터를 수집하였다. 수집 기간은 BEEC 인증이 온라인으로 관리된 2016년 1월 1일을 시점으로 2020년 12월 22일까지이며, 냉방, 난방, 급탕, 환기, 조명 등 5대 용도를 모두 포함하고 있는 비주거 건축물을 대상으로 하였다.

건축물에 적용되는 에너지기술에 대한 항목들의 선별은 BEEC 인증기관이 신청인에게 제공하는 평가서에 에너지 성능값을 수치로 제시하는 항목들로 선별하였다. ZEB에 적용되는 기술은 패시브 기술, 액티브 기술 그리고 신재생 기술로 구분되며, 패시브 기술은 외벽, 지붕, 바닥의 단열재와 창호가 있으며, 에너지성능값은 열관율($W/m^2\cdot K$)을 활용한다. 액티브 기술은 냉·온 열원시스템의 COP(무차원) 또는 효율(%) 급탕시스템의 COP(무차원) 또는 효율(%), 조명시스템의 조명밀도(W/m^2), 환기시스템의 열교환 효율(%)로 에너지성능 값을 표시하며, 신재생 기술은 설치용량(kW) 또는 효율(%)로 에너지성능값을 표시한다. 각 적용되는 에너지기술에 대한 항목을 정리하면 Table 7과 같다.

Table 7. Category of Zero Energy Building Technology

Category		Building Energy Technology
Passive Factor (Thermal Transmittance)		Exterior wall, Roof, Floor, Window ($W/m^2\cdot K$)
Active Factor	Heating & Cooling	Heat Pump(COP), Boiler(%), District Heat Service
	Hot Water	Boiler(%), District Hot Water Service
	Lighting	Lighting Density (W/m^2)
	Ventilation	Heat Exchanger(%)
Renewable		Solar Power, Geothermal, Fuel-Cell($m^2, kW, \%$)

최초로 BEEC 예비인증을 취득한 4,229개의 건축물 중에 충분한 데이터의 표본을 가질 수 있는 교육연구 시설과 업무시설[Table 5참조]은 총 2,673개이다. Table 7의 에너지기술 항목 중 0으로 기입되어 있거나 필드 값이 없는 데이터가 1개라도 있는 건축물들을 제외하여, 최종적으로 에너지기술 성능 값 추이 분석에 활용된 건축물은 798개이다.

4.2 건축물의 종합 에너지성능 추이 분석

건축물에 적용된 에너지기술들의 성능값 추이분석에 앞서 종합적인 건축물의 에너지성능 추이 변화를 파악하였다. BEEC에서 종합적인 에너지성능을 나타내는 값은 단위면적당 1차에너지소요량이다. 에너지소요량은 해당 건축물에 설치된 난방, 냉방, 급탕, 조명 환기시스템에서 소요되는 에너지량을 말하며, 1차에너지소요량은 에너지소요량에서 1차 에너지 환산계수를 곱한 값을 말하며, 건축물의 1차에너지소요량이 작을수록 건축물의 에너지성능이 높다[20].

교육연구 시설과 업무시설의 평균 단위면적당 1차에너지소요량의 변화는 Table 8과 같다. 2017년 제로에너지건축물 인증제도가 시행된 이후 매년 평균 1차에너지소요량이 감소하고 있으며, 2016년 대비 2020년 평균 1차에너지소요량을 비교해보면 교육연구 시설은 18.2%가 감소하였으며, 업무시설은 24.2% 감소하였다.

Table 8. Trend of Average for Primary Energy Consumption in BEEC

Category	2016	2017	2018	2019	2020
Average of 1 st Energy Need, kWh/m ² ·year					
Education Facility	144.5	143.5	141.4	128.8	118.2
	-	-0.7% ↓	-1.4% ↓	-8.9% ↓	-8.3% ↓
Average of 1 st Energy Need, kWh/m ² ·year					
Office Facility	172.4	160.5	156.3	142.7	130.7
	-	-6.9% ↓	-1.4% ↓	-8.9% ↓	-8.3% ↓

교육연구시설 1,273개, 업무 시설 1,400개 건축물의 1차에너지소요량 추세선은 Fig. 4와 같이 -0.0298, -0.0403의 기울기로 감소하고 있으며, Net Zero 건축물이라고 할 수 있는 음의 1차에너지소요량 값을 가지는 건축물은 2020년에 예비인증을 취득하였으며, Net Zero에 가까운 50미만의 1차에너지소요량 값을 가지는 건축물은 2018년 이후부터 예비인증을 취득한 것을 확인할 수 있다.

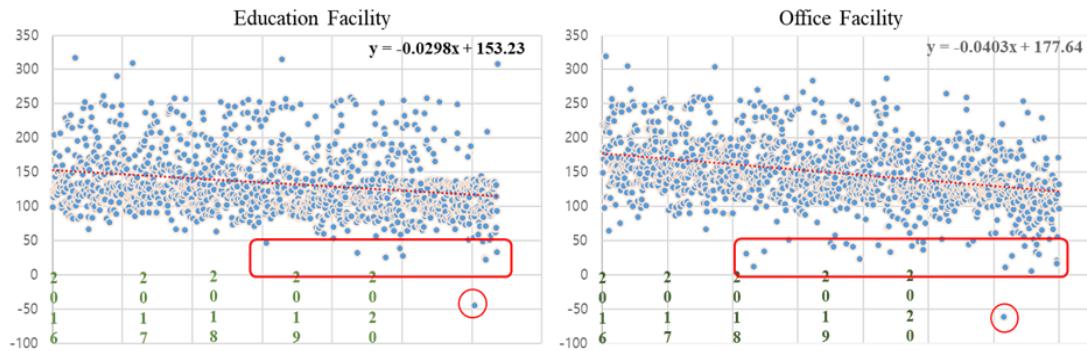


Fig. 4. Status of Primary Energy Need Between Education and Office Facilities

4.3 건축물의 에너지기술 성능 추이 분석

4.3.1 K-means 군집 분석 활용

교육연구시설과 업무시설의 에너지기술 성능 값 추이 분석을 위해 K-means 군집 분석을 실시하였다. K-means 군집 분석은 분리형 군집화 알고리즘 가운데 하나이며, 각 군집은 하나의 중심을 불규칙적으로 중심값을 가지는 데서 시작한다. 이를 바탕으로 각 변수는 가장 가까운 중심에 할당되며, 같은 중심에 할당된 변수들이 모여 하나의 군집을 형성한다. 그래서 K-means는 사전에 군집 수(k)가 정해져야 하는 특징을 가지고 있으며, 이를 수식으로 표현하면, Eq. (1)과 같다. r_{nk} 는 n 번째 데이터가 k 번째 군집에 속하면 1, 아니면 0인 값을 가지는 쌍대변수이며, c_k 는 k 번째 군집의 중심을 뜻한다. k-means 군집을 실행한다는 것은 주어진 데이터 x 에 대하여 r_{nk} 와 c_k 값을 설정하는 것과 같다.

$$\operatorname{argmin} r, c \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K r_{nk} \| x_n - c_k \|^2 \quad (1)$$

한국에서 BEEC과 ZEB 인증을 위해 에너지성능을 평가할 때 공식적인 Tool로 사용되는 ECO2는 ISO 52016 규격을 활용하여 개발되어 각 인증기관들이 활용하고 있다. 그러나 Tool에 입력하는 건축물의 설계요소들의 수많은 입력값들이 존재하는 반면에, 에너지요구량, 1차에너지소요량 등 간소화된 결과 값을 출력 값으로 제시함으로써 적용되는 에너지기술들의 대표적인 성능값을 도출하기는 어렵다. 이에 따라 본 연구에서는 K-means 군집분석의 특성을 활용하여, 데이터가 수집된 각 건축물에 적용데이터 기반의 건축물의 종합적인 에너지성능 값

을 기준으로 군집화 하고 각 군집 내에서 적용된 대표적인 에너지기술들의 중심값을 도출하였으며, 본격적인 ZEB 의무화 이행 시기인 2020년을 기준으로 반복적인 분석을 실시하여, 각 에너지기술의 성능 값의 변화 추이를 확인하였다.

본격적인 K-means 군집 분석을 위해 ECO2 프로그램에 난방, 냉방, 급탕 시스템의 성능 값이 1로 고정되어 있는 지역난방, 전기보일러, 전기온수기 등은 제외하였으며, 신재생은 가장 많이 적용된 태양광으로 한정하였다. 최종적으로 K-means 군집분석을 위한 데이터 분류 기준은 Fig. 5와 같다.

Building	Passive	Exterior wall, Roof, Floor, Window	Thermal Transmittance (W/m ² ·K)	Coefficient of Performance(COP)
	Heating & Cooling	Heat Pump		
Energy Technology	Active	Hot Water	Boiler	Energy Efficiency(%)
	Ventilation	Heat Exchanger	Heat Exchanger	Energy Efficiency(%)
	Lighting	LED	LED	Lighting Density(W/m ²)
	Renewable	Solar Power	Module Area(m ²)	

Fig. 5. Selection Criteria for Analysis

K-means 군집분석을 위해 SPSS를 활용하였으며, 2016년부터 2020년까지 분석에 활용된 교육연구시설은 총 555개이다. 적절한 군집수(K)를 결정하기 위해 반복적인 분석을 실시한 결과, 5개 군집설정 시, 군집 1이 9개의 표본이 도출되었으며, 4개 군집으로 설정 시, 군집 3의 표본이 18개가 도출되어 충분한 표본을 가질 수 없다고 판단하였다. 3개의 군집으로 설정 시에 최소 표본을 가진 군집 1이 93개로 충분한 표본이 도출되어 최종 군집수를 3개로 설정하여 분석한 결과는 Table 9와 같다.

Table 9. Final Cluster Center for Education Facility (2016~2020)

Category	Cluster (Number of Cases)		
	High (93)	Middle (217)	Low (245)
1 st Energy Need	99.59	113.18	125.71
Exterior Wall	.83	.85	.84
Roof	.14	.15	.14
Floor	.20	.16	.19
Window	1.76	1.83	1.98
Heat Pump Heating	2.40	2.57	2.68
Heat Pump Cooling	1.52	1.87	2.22
Hot Water	.95	.94	.94
Heat Exchanger_Heating	.73	.73	.73
Heat Exchanger_Cooling	.54	.53	.54
Lighting Energy Load	5.26	5.36	5.64
Solar Module Area	1586.10	940.57	382.95

3개의 군집 중에 1차에너지소요량의 중심값이 가장 낮은 군집은 High, 중간은 Middle, 가장 높은 건축물은 Low로 건축물의 에너지성능 수준을 군집별로 구분하였으며, 일반적으로 열관류율이 높을수록 에너지성능이 좋으나, 특이사항으로 High 군집의 바닥 열관류율의 중심값이 0.20으로 Middle (0.16), Low (0.19) 군집들의 중심값 보다 높았다. 또한 High 군집의 태양광 모듈 면적의 중심값은 1,586.10으로 Low 군집의 중심값 382.96 보다 약 4배 큰 것으로 분석되었다.

건물 에너지기술의 성능값의 비교 군집을 도출하기 위해 ZEB 인증에 대하여 공공부문 의무화가 본격적으로

시작되고 평균 1차에너지소요량이 가장적은 2020년 당해년도로 한정하여, 158개의 건축물을 대상으로 K-means 군집분석을 실시하였다. 3개의 군집을 설정하였을 때는 군집 2가 7개로 충분한 표본을 가질 수 없었다. 2개의 군집을 설정한 결과 최소 군집이 42개로 충분한 군집 표본을 가졌다고 판단하여, 최종적인 군집수(K)를 2로 설정하여 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 10과 같다. High 군집과 Low 군집의 1차 에너지소요량의 중심값은 92.51과 114.34로 2016년~2020년 High, Low 군집과 비교하여 약 7.1%, 9.1% 감소하였다.

2020년 인증을 취득한 High 군집의 건축물은 외벽, 바닥의 열관류율 중심값이 Low 보다 소폭 높았으며, High 군집의 태양광 모듈 면적의 중심값이 1,468.48로 Low 군집의 439.28보다 약 3배 큰 것으로 분석되었다.

업무시설을 대상으로도 교육연구시설과 같은 분석 절차를 반복하였다. 2016년부터 2020년까지 분석에 활용된 업무시설의 건축물은 총 243개이며, 군집수(K)를 3개로 하였을 때, 군집 3의 표본이 13개로 충분한 표본을 도출하지 못하여, 최종 군집수(K)를 2개로 설정하였으며, 2020년을 한정하여 분석한 건축물은 83개로 충분한 표본이 도출된 2개로 설정하여 K-means 분석을 실시하였다. 최종적인 업무시설의 분석결과는 Table 11과 같다. 2016년~2020년과 2020년 기간 동안의 High 군집의 1차 에너지소요량의 중심값은 약 14.2% Low 군집은 약 6.4% 감소하였다. 특히 1차에너지소요량의 중심값이 가장 낮은 2020년 High 군집의 급탕 시설의 에너지성능의 중심값이 가장 높았으나, 태양광 모듈면적의 중심값은

Table 10. Final Cluster Center for Education Facility (2020)

Category	Cluster (Number of Cases)	
	High (42)	Low (116)
1 st Energy Need	92.51	114.34
Exterior Wall	.80	.78
Roof	.13	.13
Floor	.18	.16
Window	1.71	1.77
Heat Pump Heating	2.57	2.60
Heat Pump_Cooling	1.56	1.94
Hot Water	.96	.95
Heat Exchanger_Heating	.74	.73
Heat Exchanger Cooling	.57	.56
Lighting Energy Load	5.08	5.62
Solar Module Area	1468.48	439.28

Table 11. Final Cluster Center for Office Facility

Category	Cluster (Number of Cases)			
	High		Low	
	'16~20 (70)	'20 (23)	'16~20 (173)	'20 (60)
1 st Energy Need	108.22	92.90	137.31	128.50
Exterior Wall	1.03	1.02	.90	.75
Roof	.13	.13	.14	.12
Floor	.20	.20	.17	.16
Window	2.31	2.27	2.20	1.99
Heat Pump Heating	2.84	2.95	3.41	3.37
Heat Pump Cooling	2.60	2.66	3.22	3.24
Hot Water	.93	.95	.91	.91
Heat Exchanger_Heating	.72	.72	.72	.72
Heat Exchanger Cooling	.54	.56	.54	.55
Lighting Energy Load	5.60	5.23	6.11	5.73
Solar Module Area	880.59	846.74	223.60	208.80

Table 12. Final Cluster Center for Office Facility

Category	Performance Value	Energy Performance	K-means Result				
			Education		Office		
			High	Low	High	Low	
			'16~20 vs '20 (Rate of Increase)				
1st Energy Need	↓	↑	-12.9%	-26.4%	-14.2%	-6.4%	
Passive	Exterior Wall	↓	↑	6.4%	-4.8%	-1.0%	-16.7%
	Roof	↓	↑	7.7%	-7.1%	0.0%	-14.3%
	Floor	↓	↑	25.0%	-5.3%	0.0%	-5.9%
	Window	↓	↑	-0.6%	-13.6%	-1.7%	-9.5%
Active	Heat Pump Heating	↑	↑	-7.7%	-4.1%	3.9%	-1.2%
	Heat Pump Cooling	↑	↑	-21.6%	-29.7%	2.3%	0.6%
	Hot Water	↑	↑	0.0%	2.1%	2.2%	0.0%
	Heat Exchanger_Heating	↑	↑	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%
	Heat Exchanger_Cooling	↑	↑	-3.6%	5.6%	3.7%	1.9%
	Lighting Energy Load	↓	↑	-6.4%	-9.9%	-6.6%	-6.2%
	Solar Module Area	↑	↑	261.1%	283.5%	-3.8%	-6.6%

High, Low 군집 모두 2016년~2020년 기관과 비교하여 2020년의 중심값이 낮은 분석결과를 보였다. 냉난방 시설의 히트펌프 에너지성능은 High 군집보다 Low 군집이 높은 에너지성능의 중간값의 결과를 보였다.

4.3.1 K-means 군집 분석 결과의 해석

일반적으로 1차에너지소요량 값이 낮을수록 에너지성이 높은 건축물이며, Passive 기술의 열관류율값은 낮을수록 에너지성능 높은 기술이다. 반대로 Active 기술은 효율 값이 높을 수록 에너지성능이 높은 기술이며, 태양광은 모듈면적 값이 높을수록 에너지성능이 높은 건축물이다.

K-means 군집분석 결과 교육연구 시설의 High 군집 비교군(2016~2020 vs 2020)에서 1차에너지소요량의 중심값이 약 12.9%가 감소하며, 전체적인 건축물 에너지성능은 높아 졌으나, 패시브 기술(외벽, 지붕, 바닥)과 액티브 기술(히트펌프 난방 및 냉방, 열교환기 냉방 시설)의 에너지성능은 높아지지 않았다. 이와 대비하여 태양광 모듈 면적의 중심값이 261.1% 증가하며, 1차 에너지소요량 중심값 감소에 크게 기여한 것을 간접적으로 확인할 수 있다. 교육연구 시설의 Low 군집 또한 비교군(2016~2020 vs 2020)에서 1차 에너지소요량의 중심값이 26.4% 감소하며, 전체적인 건축물 에너지성능이 높아 졌으나, 액티브 기술(히트펌프 난방 및 냉방)의 에너지성이 높아지지 않았으나 High 군집과 마찬가지로 태양광 모듈 면적의 중심값이 283.5% 증가하였다. 이는 교육

연구 시설의 넓은 대지면적을 바탕으로 많은 면적의 태양광 설치를 통해 종합적인 건축물의 에너지성능을 높이는 것이 용이하다는 것을 추론할 수 있다.

업무시설 또한 High, Low 군집의 1차에너지소요량 중심값이 각각 14.2%, 6.4% 감소하며, 건축물의 에너지성능이 높아진 것을 확인 하였다. 그러나 교육연구 시설과 대조적으로 Low 군집의 일부 액티브 기술(히트펌프 난방)을 제외하고 패시브 기술과 액티브 기술의 에너지성능은 높아졌다. 태양광 모듈 면적의 중심값은 High, Low 군집 모두 -3.8%, -6.6% 감소하였다. 이와 같은 결과를 바탕으로 업무시설은 교육연구 시설과 비교할 때, 태양광을 설치할 수 있는 면적이 충분치 않음에 따라 태양광 설치보다는 패시브 기술과 액티브 기술의 에너지성을 높임으로써 전체적인 건축물의 에너지성능을 높이는 것을 추론할 수 있다.

5. 결론

최근 한국뿐만 아니라 해외 주요 선진국들은 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 수단으로 ZEB를 확산시키는 정책들을 추진하고 있다. 한국의 경우 ZEB 인증 제도가 시작된 2017년을 기준으로 건축물의 종합적인 에너지성능등급을 나타내는 BEEC 인증현황을 분석한 결과 교육연구시설과 업무시설의 인증 비중이 각각 30% 이상으로 분석 표본의 대표성을 가지고 있는 것을 확인하였다. 또

한, ZEB 인증의 요건인 BEEC 1++ 이상 인증을 취득한 신축 건축물들이 급격하게 증가하고 있는 것을 확인하였다.

단순한 인증 등급 외에 건축물의 실질적인 에너지성능 값의 변화 추이를 분석하기 위해 BEEC 예비인증을 취득(2016년~2020년)한 4,229개 건축물들의 단위면적당 1차에너지소요량 변화 추이를 분석하였다. 그 결과 2017년 ZEB 인증 정책이 시작되면서 매년 신축 건축물들의 에너지성능 값이 높아지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 교육연구시설(기울기 : -0.0298)보다 업무시설(기울기 : 0.0403)의 에너지성능이 높아지는 속도가 빠른 것으로 분석되었다.

본격적으로 건축물에 적용된 각 에너지기술들의 에너지성능 값의 변화 추이를 분석하기 위해서 K-means 군집분석을 SSPS를 통해 실시하였다. 분석을 위한 구성은 ZEB 인증 의무화가 시작된 2020년을 기준으로 2016년~2020년, 2020년을 2개의 비교 데이터 수집 집단으로 구성하였으며, 표본 대표성을 가진 교육연구시설과 업무시설을 대상으로 하였다. 교육연구시설은 2020년도 집단과 2016년~2020년 기간의 집단을 비교 분석한 결과 단위면적당 1차에너지소요량의 중심값은 에너지성능이 높은(High) 군집과, 에너지성능이 상대적으로 낮은(Low) 군집 모두 약 7.1%, 9.1%가 감소하였다. 에너지기술별로는 특히, High 군집의 태양광 모듈 면적의 중심값이 Low 군집의 중심값보다 약 3배 큰 것으로 분석되어 교육연구시설의 ZEB를 위한 에너지기술은 태양광을 확대 적용하고 있는 것을 확인할 수 있다. 업무시설의 경우 2020년도 집단과 2016년~2020년 기간의 집단의 비교 분석한 결과 단위면적당 1차에너지소요량의 중심값은 High, Low 군집 모두 14.2%, 6.4% 감소하였다. 그러나 태양광 모듈면적의 중심값은 High, Low 군집 모두 2016년~2020년 기관과 비교하여 2020년의 중심값이 낮은 분석결과를 보였다. 반면에, High 군집에서 냉방(2.3%), 난방(3.9%), 급탕(2.2%) 등 액티브 기술들의 에너지성능 값이 상대적으로 좋아진 것을 확인할 수 있다. 이는 업무시설에서 제로에너지건축을 위한 에너지기술 적용이 태양광의 확대 보다 에너지효율이 높은 냉방, 난방, 급탕 기술들을 적용하는 추이로 분석되었다.

본 연구는 건축물의 설계단계인 건축물 에너지효율등급 예비인증 데이터를 바탕으로 분석하였으나 건축물의 설계단계와 준공단계에서 적용되는 에너지기술들의 변경은 존재할 것이다. 실제 적용된 에너지기술들의 에너지성능 값 추이를 분석하기 위해서는 본인증을 받은 건축물을 대상으로 분석하여야 하지만 2020년 까지 준공이 완

료된 ZEB 본인증 취득 건축물은 24개에 불과하여 제로에너지건축물의 표본을 많이 포함시킬 수 없는 한계가 존재한다. 향후 연구에서는 실제 본인증을 취득한 ZEB의 표본이 충분이 확보된 후 본인증을 취득한 건축물의 데이터를 기반으로 분석을 실시한다면, 조금 더 현실에 가까운 분석결과를 얻을 수 있을 것이다.

이러한 한계점에도 불구하고 이 논문은 그 동안 축적된 BEEC의 예비인증 데이터를 바탕으로 K-means 군집 분석을 통해 한국의 제로에너지건축 정책에 따라 최근 설계된 적용 에너지기술들의 에너지성능 값에 변화 추이를 분석하는 방법론을 제시함으로써 제로에너지건축 이해관계자들이 에너지기술 측면의 의사결정과 ZEB 정책에 관한 향후 연구에 활발히 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] UNEP, "The Emissions Gap Report 2014 : A UNEP Synthesis Report", p.85, United Nations Environment Programme, March 2914, pp.18
DOI : <https://doi.org/10.18356/988ece44-en>
- [2] M. Fischedick, J. Roy, A. Abdel-Aziz, A. Acquaye, J.M. Allwood, J.-P. Ceron et al., "Industry, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change", pp. 739-810, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
DOI : <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416.016>
- [3] Joint Association of related Ministries, "1st Basic Plan for Response to Climate Change", Korean Government, December 2016.
- [4] International Energy Agency, Meeting climate change goals through energy efficiency, p. 10, IEA/OECD, 2017, pp. 2.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "2nd Green Building Mater Plan", December 2019.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The Strategy for Zero Energy Building Diffusion", Korean Government, June 2019.
- [7] H. S. Shim, S. J. Lee, "A Study on the Increase in Construction Cost for Zero Energy Building", Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 22, No. 1, pp. 603-613, January 2021.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.1.603>
- [8] Joint Association of related Ministries, "Korean New Deal Comprehensive Plan", Korean Government, July 2020.
- [9] Joint Association of related Ministries, "2050 Carbon

- Neutral Promotion Strategy”, Korean Government, December 2020.
- [10] Korean Government, “2030 National Greenhouse Gas Reduction Target(NDC)”, Korean Government, December 2020.
- [11] European Union, “Energy Performance of Building Directive”, Article 2, May 2010.
- [12] S. Pless, P. Torcellini, “Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-550-44586, p.21 June 2010, pp.7-8.
DOI : <https://doi.org/10.2172/983417>
- [13] Korea Energy Agency, “A study of preparation of implementation plan for diffusion of Zero Energy Building”, p.186, Korea Energy Agency, December 2020, pp.7-41.
- [14] Ministry of Government Legislation, “Green Buildings Construction Support Act”, Article 2, Korean Law Information Center, 14th August 2018.
- [15] J. H. Kim, J. E. Sung, H. G. Kim, D. J. Park, S. S. Kim, “Improvement in Energy Performance of Office Buildings according to the Evolution of Building Energy Code”, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, vol 14(1), pp. 101-111, February 2020.
DOI : <https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20200010>
- [16] J. H. Kim, S. Y. Jo, C. M. Kim, H. I. Jang, S. S. Kim, “Analysis of Design Parameters Affecting Zero Energy Buildings based on the Building Energy Efficiency Rating Certified Buildings”, Jornal of Korean Institute of Architectural Sustainable Enironment and Building Systems, Vol 12(4), pp. 387-399, August 2018.
DOI : <https://doi.org/10.12972/jkiaebs.20180033>
- [17] H. J. Lee, I. S. Kim, “A Study on the Issues and Trends of Zero Energy Policy”, Journal of Energy Engineering, Vol 29(2), pp. 79-84, June 2019.
DOI : <https://doi.org/10.5855/ENERGY.2020.29.2.079>
- [18] J. H. Mun, J. C. Kim, “A Study on the Improvement of Energy Self-Sufficiency Rate for Obtaining Zero Energy Building Certification, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers”, Vol 32(7), pp. 27-32, July 2018.
DOI : <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2018.32.7.027>
- [19] S. Cho, U. J. Sung, M. Y. Rim, S. H. Kim, A Fundamental Study on the Technical Package in Zero Energy Building, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol 12(3), pp. 253-263, June 2018.
DOI : <https://doi.org/10.12972/jkiaebs.20180022>
- [20] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Criteria of Building Energy Efficiency Rating Certification and Zero Energy Building Certification”, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notice 2020-574, Appendix 1-2, 2, August 2020.

심 흥 석(Hong-Souk Shim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 아주대학교 생명분자공학부 응용화학전공 (공학사)
- 2010년 2월 : 아주대학교 일반대학원 에너지학과 (경제학석사)
- 2017년 2월 : 아주대학교 일반대학원 산업공학과 (박사수료)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국에너지공단 과장

<관심분야>

에너지정책, 4차산업, 스마트시티

이 성 주(Sung-Joo Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학사)
- 2007년 8월 : 서울대학교 일반대학원 산업공학과 (공학박사)
- 2008년 1월 ~ 2008년 12월 : 영국 캠브리지대 방문연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 산업공과 교수

<관심분야>

기술로드맵, 전략기획, 에너지기술정책