

# BIM기반 BIPV 적용 건축물의 제로에너지 자립률 검토 방법에 관한 연구

최규혁<sup>1</sup>, 전현우<sup>2</sup>, 박경도<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>(주)비아이엠에스 기술연구소 선임연구원, <sup>2</sup>(주)비아이엠에스 기술연구소 책임연구원, <sup>3</sup>건국대학교 건축학부 교수

## A Study on the Review Method of Zero Energy Independence Rate in Building Applied with BIM-based BIPV

Kyu-Hyeok Choi<sup>1</sup>, Hyun-Woo Jeon<sup>2</sup>, Kyung-Do Park<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Dept. of Research Institute, BIMS Co., Ltd.

<sup>2</sup>Head Researcher, Dept. of Research Institute, BIMS Co., Ltd.

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Architecture, Konkuk University

**요약** 제로에너지 건축물(ZEB)은 건축물 자체의 에너지 자립도를 높인 건축물로서 에너지를 생산할 수 있는 신재생 요소가 필수적이며, 건물형 태양광(BIPV)이 가장 주목받고 있는 기술이다. ZEB의 설계에서 BIPV는 설계 초기에 계획되어야 하나, 초기 단계에서 BIPV 계획은 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 설계 초기 BIPV의 계획과 ZEB 자립률 검토를 위해, 3차원 설계와 빅데이터의 융·복합 설계기술인 건축물 정보통합 모델링(BIM)을 기반으로, BIM과 ZEB에 대한 이론적 고찰 및 ZEB 자립률 분석을 위한 요소를 도출하고, BIPV 에너지 생산량과 건물 에너지 소비량 산출 방법을 분석하였다. 최종적으로, 프로젝트 모델에서 에너지 자립률을 산정하고, 등급 기준을 검토함으로써, 설계 초기 ZEB의 에너지 자립률 산정에 대한 기초적인 연구 방법을 제시하였다. 이를 통해, ZEB 주체자의 의사결정을 지원함으로써 설계 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 건축물정보통합모델링, 건물형태양광, 제로에너지건축, 건축융복합, 에너지자립률

**Abstract** ZEB is a building that increases the energy independence of the building itself, and new and renewable elements that can produce energy are essential, and BIPV is the most notable technology. In ZEB's design, BIPV should be planned early in the design, but BIPV plans are insufficient in the early stages. Therefore, this study derived elements for theoretical consideration of BIM and ZEB and analysis of ZEB independence rate based on BIM, a convergence design technology, and analyzed BIPV energy production and building energy consumption. Finally, by calculating the energy independence rate and reviewing the rating criteria in the project model, a basic research method for calculating the energy independence rate of ZEB at the beginning of the design was presented. Through this, it is expected that design productivity can be improved by supporting the decision of ZEB subjects.

**Key Words** : BIM, BIPV, ZEB, Building convergence, Energy independence rate

\*This paper was written as part of Konkuk University's research support program for its faculty on sabbatical leave in 2020. This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20203040010330)

\*Corresponding Author : Kyung-Do Park(hspk@konkuk.ac.kr)

Received January 4, 2022

Revised February 8, 2022

Accepted February 20, 2022

Published February 28, 2022

# 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

2015년 12월 195개국이 기후변화협약 파리협정을 채택하고 각국은 자체적으로 2030년까지의 온실가스 배출량 감축 목표를 실행하는 신기후체제에 참여하게 되었다. 이러한 상황에서 국제 에너지 기구인 IEA(International Energy Agency)에서는 건축물의 에너지소비가 전체 에너지소비의 상당수를 차지하는 것으로 보고되었으며, 이에 따라 건물에너지 절감이 국가적 온실가스 감축 달성의 주요 목표로 주목 받고 있다[1].

이러한 관점에서 건물 분야의 에너지효율 기준을 기존의 에너지 효율성 중심에서 에너지 충족성(Energy sufficiency), 에너지 효율성(Energy efficiency), 신재생에너지(Renewables)를 포괄적으로 포함하는 통합 접근(Comprehensive Integrated Approach) 방법으로 변화되어야 한다는 필요성이 강조되고 있다[2].

이를 위해, 국토교통부에서는 제로에너지 건축물 인증제를 2017년 1월 20일부터 시행하고 있으며, 2020년부터 연면적 1,000m<sup>2</sup> 이상 공공건축물 의무화 및 2025년부터는 민간 대상으로 확대될 전망이다[3].

제로에너지 건축물(Zero Energy Building, 이하 ZEB)은 건축물에 사용되는 에너지 소비를 최소화하고 신재생에너지를 적극적으로 활용하여 건축물 자체의 에너지 자립도를 높인 건축물로서, 이미 미국, 유럽 등 선진국에서는 ZEB 의무화 목표를 수립하여 재정적·경제적 지원을 통해 시장 확대를 유도하고 있다[4].

ZEB을 위해서는 필연적으로 전기에너지를 생산할 수 있는 기술이 도입되어야 하며, 현 기술 및 시장 여건을 고려할 때 에너지 생산 효율이 다소 낮다 할지라도 태양광 발전 기술이 가장 유력한 기술이다. 태양광발전 기술 중에서도 특히 건축 외장재와 태양광 모듈의 기능을 복합해 건물 외피에 일체화시키는 건물형 태양광(Building Integrated Photovoltaic, 이하 BIPV)이 가장 주목받고 있는 기술 분야다[5].

또한, 국토부는 ZEB 와 같은 건축물의 품질, 안전 및 친환경의 극대화하기 위해 3차원 설계와 빅데이터의 융·복합 기술인 건축물 정보통합 모델링(Building Information Modeling, 이하 BIM)을 도입하여 건설산업의 디지털화 달성을 이루기 위해 ‘2020 건설산업 BIM 기본지침’을 발표하였다.

따라서, 본 연구는 건설 산업에서 ZEB 와 BIM 의무화가 확대되고 이와 관련된 인증 제도들이 강화됨에 따

라 ZEB에서 신·재생에너지원으로 주목받고 있는 BIPV를 적용했을 때 에너지 생산량과 건물의 에너지 소비량을 BIM으로 분석하여, 설계 초기에 건축설계자가 ZEB의 에너지 자립률을 검토할 수 있도록 서울지역 BIPV 실증 데이터를 기반으로 신속하고 정확한 의사결정 방법을 지원함으로써 건축설계자의 ZEB 설계 시 생산성을 향상하는 방법을 제시하는 데 목적이 있다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 ZEB의 신재생 요소 중 BIPV를 대상으로, Fig. 1과 같이 BIM과 ZEB에 대한 이론적 고찰 및 ZEB의 에너지 자립률 분석을 위한 검토 요소를 도출하고, 융·복합 설계기술인 BIM과 BIM 기반의 BIPV 설계환경을 활용하여, 설계 초기 BIPV의 에너지 생산량과 건물의 에너지 소비량 분석을 통한 건물의 에너지 자립률 검토 방법을 제시하였다.

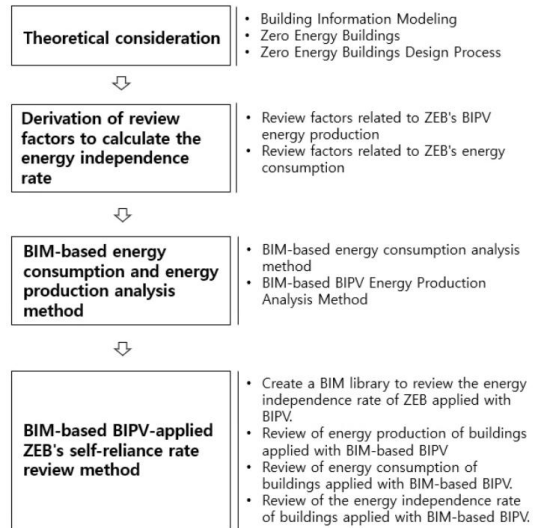


Fig. 1. Methods and scope of the study

Fig. 1의 각 단계를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 3차원 설계와 데이터의 융·복합 기술인 BIM의 특징과 장점에 대해 분석하고, ZEB의 적용 기술 및 관련 기준, ZEB 설계 프로세스를 조사하였다. 둘째, ZEB의 에너지 자립률 산출 시 BIPV의 에너지 생산량 관련 검토 요소와 건물의 에너지 소비량 관련 검토 요소를 분석하였다. 셋째, BIM을 활용한 BIPV 설계 방법을 조사하고 ZEB를 계획하는 데 필요한 BIPV의 설치 위치, 방위, 각도, 발전량 등 BIPV 에너지 생산량 산출 방안과 BIM에서 건물 에너지를 분석하는 방법을 조사하여 ZEB의 난방, 냉방, 조명

부하 등의 에너지 소비량 산출 방안에 대해 분석하였다. 넷째, 프로젝트 건물에 BIPV를 설계하고 BIM기반으로 에너지 생산량과 에너지 소비량을 산출하여 건물의 에너지 자립률을 검토할 수 있는 방법을 제시하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 건축물 정보통합 모델링

건축물 정보통합 모델링(BIM, Building Information Modeling)은 시설물의 생애주기 동안 발생하는 모든 정보를 3차원 모델 기반으로 통합하여 건설 정보와 절차를 표준화된 방식으로 상호 연계하고 디지털 협업이 가능하게 하는 디지털 전환 체계를 의미한다[6].

BIM 기술은 기존의 건축 설계에서 다루었던 2차원 평면설계 및 산출, 시공 문서화 방식에서 직접 3차원 설계로 정보를 형성하고 형태 구성, 건축개념의 적용, 물량산정, 시공간섭 체크 등 IT 기반의 건설 모델링 방법으로 변화하는 과정의 중심에 있다. 일반적인 공간 설계 시, BIM 설계를 단순한 건축의 디자인과 도면 추출에 그치지 않고 설계를 진행하면서 축적된 다양한 형태의 설계 정보를 통해 설계의 타당성을 확인하는 데 활용할 수 있다. 또한, 건축공간의 규모 및 범위 검토, 친환경 분석, 에너지 분석 등에 활용함으로써 설계의 품질을 높일 수 있어 설계의 기술적인 검토와 관리에 매우 효과적인 기술이라 할 수 있다[7].

### 2.2 제로에너지 건축물

제로에너지 건축물(ZEB, Zero Energy Building)이란 단열·기밀을 극대화하여 에너지 부하를 줄이고 고효율 설비, 신·재생에너지 등으로 건물의 에너지 소요량을 최소화하여 설계단계부터 에너지효율 관점에서 지어진 건축물을 의미한다.

Table 1과 같이 ZEB을 구현하는 데 적용되는 기술들은 패시브(Passive), 액티브(Active), 신·재생에너지(New and Renewable Energy)로 구분할 수 있다. 패시브 기술은 계절, 외기 온도 등의 변화가 건축물에 미치는 영향을 최소화하여 적은 에너지만으로도 쾌적한 실내 환경을 유지할 수 있게 하는 기술로 외단열, 고성능 창문, 고기밀 등이 해당된다. 액티브 기술은 다른 기자재보다 적게 에너지를 사용하면서도 높은 성능으로 운전할 수 있게 하는 기술로 고효율 냉난방 및 급탕설비, 폐열회

수 환기장치 등이 해당된다. 신재생에너지 기술은 액티브 기술의 일종으로 기존의 화석 연료를 변환시켜 이용하거나 수소, 산소 등의 화학반응을 통해 전기 또는 열을 이용하는 신에너지와 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 재생에너지로 구분되며 태양광, 태양열, 지열 등이 해당된다.

Table 1. Zero energy building implementation technology

Division	Contents
Passive	Exterior insulation, high-performance windows (window), meat wheat, exterior shades, natural ventilation, natural lighting, rooftop greening
Active	High-efficiency heating and heating systems, waste heat recovery ventilation, building energy management system (BEMS), high-efficiency LED lighting, high-efficiency home appliances
New and Renewable Energy	Photovoltaic power generation, solar power generation, geothermal power generation, fuel cell

이러한 ZEB은 국내의 경우 2020년부터 1,000m<sup>2</sup> 이상 공공건축물을 대상으로 의무화하고 2025년부터 민간 건축물 대상으로 범위가 확대될 예정이다.

[1]에 따르면 ZEB은 건축물에너지효율등급 1++이상, 에너지 자립률 20%이상, BEMS 또는 원격검침전자식계량기 설치의 3가지 인증 기준을 모두 충족하는 건축물을 대상으로 에너지 자립률에 따라 등급별 인증을 부여한다.

### 2.3 ZEB 설계 프로세스

2025년부터 민간건축물까지 ZEB 의무화 확대 시행을 앞두고, ZEB 보급 활성화를 위해 건축 설계 분야의 경제적인 설계 방법이 요구되고 있다. 건축 설계 프로세스에서 건물 에너지 절감을 위한 노력은 건축 인허가 시에 에너지절약설계 기준을 준수하고, 인증이 요구되는 경우 이에 따라 해당 등급을 달성하는 것을 목표로 진행하고 있다. 하지만 건축 설계 초기 단계에서 에너지 자립도와 같은 건물 에너지 성능에 대한 목표치를 설정하지 않는, 점수 및 인증 등급을 만족하는 수준의 계획으로는 ZEB을 구현하는 수준이 낮다고 할 수 있다[8].

이에, 한국건설기술연구원에서는 건축 설계 프로세스에서 ZEB 계획을 위해 필요한 계획 요소, 기술 요소, 신재생 요소를 세분화 및 정량화하고, 이를 적절하게 적용할 수 있도록 Table 2와 같은 ZEB 통합 설계 프로세스를 제시하였다.

Table 2. ZEB design process

Design phase	ZEB process	Design technology
Schematic/ Development	Building load reduction	Ventilation/sunset, Recorded/sleep secured, Temperature/humidity, Light, Indoor air quality, Sunlight, Reinforcing the insulation of the building's outer shell, Reduce internal heat.
	Using natural energy	Natural lighting/ventilation, underground heat/sun heat
Development / Construction	High efficiency of facility system	Lighting facilities, heat source facilities, transportation facilities, individual dispersion systems, electric facilities, other facilities, and unused energy utilization.
Development / Construction	Renewable energy production	Consideration for resources (water), consideration for materials, waste reduction, solar/solar heat, geothermal/wind/fuel cells.
Administration	Energy management	Life Cycle Energy Management, Building Energy Management Consideration of resources and materials, efforts at off-site, and connection with local energy systems.

Table 2의 ZEB 설계 프로세스가 기존 건축 설계 프로세스와 다른 점은 설계 초기에 ZEB 구현을 위한 목표 수준을 정확하게 설정하고 이에 적합한 설계 기법을 적용하는 것으로, 통풍, 일조, 온도, 습도, 발열 등 실내·외 환경 및 에너지 시뮬레이션을 설계 초기부터 협업하여 진행하고, 이러한 분석을 기반으로 중간/실시 과정에서 BIPV와 같은 신재생에너지를 적용하고, 이후 건물의 에너지 관리에 대한 관리 기법들을 고려한다.

그러나 ZEB 설계 프로세스에서 ZEB 구현을 위해서는 BIPV와 같은 신재생에너지 설치 계획이 매우 중요하나 관련 도면이 기계 및 전기 도서에 포함되어 있고, 건축 도면에는 배치도 정도만 나타내는 수준으로 건축의 계획 단계에서 BIPV에 대한 고려는 미비한 수준으로 분석하고 있다.

### 3. BIPV 적용 ZEB의 에너지 자립률 산출을 위한 검토 요소 도출

#### 3.1 ZEB의 BIPV 에너지 생산량 관련 검토 요소

BIPV를 적용한 ZEB은 건축물에너지효율등급, 에너지 자립률을 검토를 통한 ZEB 인증 외에 건축허가와 관련된 에너지절약 설계계획서, 공공건축물의 경우 신재생에너지 설치의무화, 태양광 설치시방서 등 Table 3과 같이

설치 기준 및 설계 시 검토해야 할 고려 요소들이 있다.

Table 3. Review factors related to BIPV in ZEB

Division	Content	Reviewing factors.
Energy saving design plan	Renewable energy facility sector	Renewable energy capacity ratio 2%
Mandatory installation of new and renewable energy	Renewable energy supply obligation ratio	30% or more
Guidelines for Supporting New and Renewable Energy Facilities	Construction standards for solar power facilities.	Based on the south-facing standard, within 90 degrees left and right in the installation direction, and more than 5 hours a day.
Zero energy building certification	Energy independence rate	energy independence rate 20%

건축물 에너지절약 설계계획서는 “녹색건축물 조성 지원법” 및 “건축물의 에너지절약 설계기준”에 의거 연면적 500㎡이상의 건축물의 건축허가 신청 때 제출되도록 규정하고 있다. ZEB은 에너지절약 계획서 제출 대상에 해당한다. 에너지절약 계획서 작성 항목은 건축, 기계, 전기, 신재생 부문으로 나뉘며 허가기준은 민간건축물은 에너지성능지표(EPI) 점수 65점 이상, 공공 건축물은 74점 이상이다[9]. 여기서, BIPV와 관련된 내용은 신재생 부문에 해당되며 건물의 전체 전기 용량에 대한 신재생에너지 용량 비율로 2% 이상(의무화 대상:4%) 적용 여부를 기준으로 하며, 전기 용량은 수전 용량(변압기 용량 합계)이나 한전계약 전력을 의미한다. 즉, 에너지절약 설계계획서에서는 건물에 적용된 BIPV 설치 용량을 검토해야 한다.

신재생에너지 설치 의무화는 국가, 지자체 등의 공공기관이 신축, 증축 또는 개축하는 건축 연면적 1,000㎡ 이상의 건축물에 대하여 일정 비율 이상을 신재생에너지를 통해 공급되는 에너지로 사용토록 신재생 설비 설치를 의무화하는 제도로 ZEB 인증 의무 대상이 여기에 해당한다. 22년 기준 32% 이상 신재생 에너지를 공급토록 의무화되어 있으며, 신재생 에너지 생산량과 예상 에너지 사용량의 비율로 공급의무비율 적합성 여부를 검토해야 한다[10]. 여기서, 예상 에너지 사용량은 건축 연면적, 용도별 단위에너지 사용량, 지역 계수의 곱으로 산출되며, BIPV에 해당하는 신재생 에너지 생산량은 예상 에너지 사용량, 해당연도 공급 의무비율의 곱으로 산출할 수 있다. 최종적으로 신재생 에너지 생산량을 BIPV의 에너지원별 단위에너지 생산량으로 나누고, 나눈 값에 원별 보정계수를 나눠 BIPV를 적용했을 시 설치 의무용량을 산출한다. 신·재생 에너지 설비 원별 시공기준은 한국에

너지공단 ‘신·재생 에너지 설비의 지원 등에 관한 지침’의 내용으로, 국내 신재생 에너지 보급 관련하여 공통적으로 적용되는 기준이다. 여기서, BIPV와 관련된 사항으로는 모듈의 일조면이 정남향을 기준으로 동쪽 또는 서쪽 방향으로 90도 이내에 설치되어야 하며, 일조시간은 춘계, 추계기준 1일 5시간 이상 모듈에 음영이 없는지 검토해야 한다[11].

제로에너지 건축물 인증은 건축물에너지효율등급 1++이상, 에너지 자립률 20% 이상, BEMS 또는 원격검침전자식계량기 설치의 3가지 기준을 만족해야 하며, BIPV는 이 중 에너지 자립률을 산정하는 데 고려된다. 에너지 자립률은 1차 에너지 생산량과 1차 에너지 소비량의 비율로 산정된다. 1차 에너지 생산량은 대지 내부와 외부에서 생산하는 에너지로 구분되며, 대지 내부 에너지 자립률에 따라 대지 외부 생산량 가중치를 적용받게 된다[12]. 여기서, BIPV는 에너지별 환산계수 중 전력계수를 적용하여 1차 에너지 생산량에 산정되어야 한다.

### 3.2 ZEB의 에너지 소비량 관련 검토 요소

ZEB의 에너지 소비량은 건축물 에너지효율등급 1++과 에너지 자립률 20% 이상 2가지 항목의 인증 기준에서 검토되어야 하며, 소비량 산정을 위해 Table 4와 같이 항목별 검토 요소가 있다.

Table 4. Review factors related to energy consumption

Division	Reviewing factors.
Building energy efficiency grade certification	Cooling and heating load, hot water load, lighting load, ventilation load, floor area, renewable energy production
Zero energy building certification	Cooling and heating load, hot water load, lighting load, ventilation load, renewable energy production

건축물 에너지효율등급 인증은 주거용 건축물과 주거용 이외의 건축물로 구분하여 1+++에서 7등급까지 총 10개의 등급으로 구성되어 있다. ZEB은 연간 단위면적당 1차 에너지 소요량을 산출하여 등급 기준 1++이상을 획득해야 한다. 1차 에너지 소요량은 석유, 전기 등 화석 연료와 같은 1차 에너지에 연료별 환산계수를 곱하여 계산한 결과이다. 여기서, 연료별 환산계수는 연료 1.1, 전력 2.75, 지역 난방 0.728, 지역 냉방 0.937로 규정되고 있다[13]. 단위면적당 1차 에너지 소요량은 건물의 냉·난방, 급탕·환기·조명 에너지 소요량을 각각 산출하고, 이를 바닥면적 나눈 뒤 합산하여 산출한다. 여기서 BIPV의 1차 에너지 생산량은 에너지 소요량에 반영되어 평가할

수 있다. 에너지 자립률은 건물의 단위면적당 1차 에너지 소비량 대비 단위면적당 1차 에너지 생산량의 비율을 말하며, 산정 방식에 따라 산출된 에너지 자립률을 기준으로 ZEB 인증 등급이 1~5등급으로 부여된다[14]. BIPV의 1차 에너지 생산량이 계산되면, 에너지 생산량과 같은 방식으로 1차 에너지 환산계수를 적용하여 건물의 에너지 소비량을 산정한 후, 생산량과 소비량의 비율로 에너지 자립률 20% 이상 기준을 검토해야 한다. 여기서, ZEB 인증에서 에너지 소비량은 건축물 에너지효율등급 인증의 에너지 소요량과 같은 의미로 사용되고 있다.

## 4. BIM기반 에너지 소비량 및 에너지 생산량 분석 방법

### 4.1 BIM기반 에너지 소비량 분석 방법

BIM에서는 모델데이터를 기반으로 RTS 계산법과 Energy Plus 엔진을 통해 에너지 소비량을 분석한다. 여기서, RTS 계산법은 미국공조냉동학회(ASHRAE)에서 발표한 계산법으로 Radiant Time Series의 약자이다. 국내에서는 연구를 통해 RTS 계산법을 활용하여 대한설비공학회에서 RTS-SAREK 프로그램을 개발하고 건물 냉난방부하 계산 시 공인 프로그램으로 활용하고 있다. Energy Plus는 미국 에너지부(DOE)가 개발한 건물 에너지 분석 프로그램으로 냉방, 난방, 환기, 조명, 전기 등 에너지 소비량을 분석할 수 있다.

BIM에서는 RTS 계산법과 Energy Plus 엔진을 통해 Fig. 2와 같은 순서로 벽, 바닥, 지붕 등 건축 부자재 각각의 재료에 열전도율, 열관류율 등의 열 특성 정보가 포함되어있는 BIM 라이브러리를 활용하여 모델링을 수행할 수 있다.

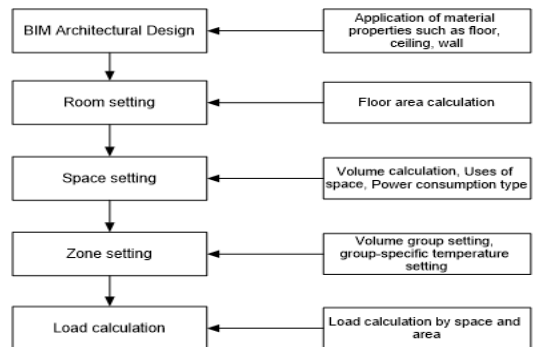


Fig. 2. BIM-based energy consumption analysis

또한 아래 Fig. 3과 같이 건물을 이루는 공간과 구역을 설정하면 건물 모델링과 라이브러리에 포함된 정보를 기반으로 에너지 소비량 보고서를 산출할 수 있다.

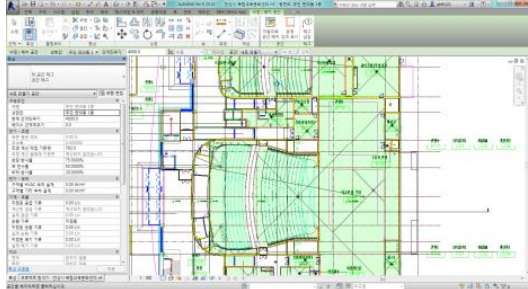


Fig. 3. BIM-based space setting

산출되는 보고서에는 Table 5와 같이 건물의 유형, 위치, 설비시스템 등 건물을 이루는 공간과 구역에 대한 에너지 소비량 결과를 도출하고, 상세적으로 건물 유형에 따라 공간 및 구역 구성요소에 대한 각각의 부하재에 대한 부하값과 습도, 온도, 기류 등 다양한 결과값을 산출할 수 있다[15].

Table 5. BIM load calculation results

Division	Calculation results
Project Summary	Project, Address, Latitude, Longitude, Summer Dry Bulb, Summer Wet Bulb, Winter Dry Bulb, Mean Daily Range
Zone Summary	Peak Cooling Total Load, Peak Cooling Month and Hour, Peak Cooling Sensible Load, Peak Cooling Latent Load, Maximum Cooling Capacity, Peak Cooling Airflow, Peak Heating Load, Peak Heating Airflow, Peak Ventilation Airflow
Space Summary	Wall Area, Roof Area, Door Area, Partition Area, Window Area, Skylight Area, Lighting Load, Power Load, Number of People, Sensible Heat Gain/Person, Latent Heat Gain/Person, Infiltration Airflow, Space Type, Peak Cooling Total Load, Peak Cooling Month and Hour, Peak Cooling Sensible Load, Peak Cooling Latent Load, Peak Cooling Airflow, Peak Heating Load, Peak Heating Airflow, Airflow

BIM 설계에서는 이러한 에너지 해석 데이터들을 건축 설계와 동시에 모델 데이터에 포함하여 동시에 적용할 수 있으며, 건물의 디자인이 확정되지 않은 초기설계단계에서도 건물의 다양한 설계변경 사항들을 반영하면서 건물 에너지를 검토할 수 있는 장점이 있다.

#### 4.2 BIM기반 BIPV 에너지 생산량 분석 방법

BIM기반 BIPV 건축 설계 환경에서는 BIPV의 실증 시스템을 통하여 수집된 BIPV의 일사량 데이터를 적용하였다. Fig. 4와 같이 BIPV를 적용하기 전 전기계통 및

일조 조건, 주변 환경의 음영 등을 분석하여 먼저 주변 환경이 적합한지를 분석할 수 있고, 건물의 형상과 방위, 설치면 경사각, 구조적 안정성, 설치면의 위치 및 면적 등 BIPV 설치면에 대해 검토하고, 발전량과 경제성 평가를 통해 BIPV 적용의 적정성을 판단할 수 있다[16].

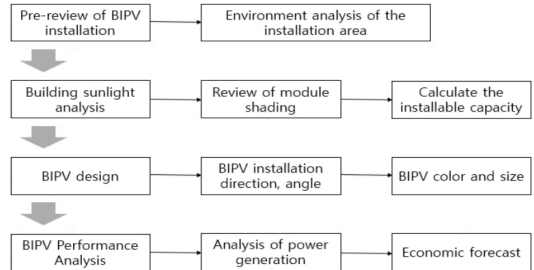


Fig. 4. BIM-based BIPV design method

BIPV의 설치 적합성 여부는 BIM 모델링 건물에서 BIPV를 설치하고자 하는 위치의 일조시간을 분석하고, 각 지자체의 일조 시간 기준에 따라 모델링에 표시되는 선의 색상으로 판단한다. 선의 색상은 Fig. 5의 a)와 같이 빨간색과 초록색으로 표시되며, 빨간색은 일조 조건 부적합을 의미하고 초록색은 적합을 의미한다.

BIM기반 BIPV 건축 설계 환경은 BIM 모델의 라이브러리 매개변수에서 필요한 모든 정보를 로드하여 각 부재에 해당하는 계산 데이터를 산출하는 방식이다. BIPV의 설치 적합성이 판단되면, 건물 모델링에서 초록색으로 표시된 위치에 Fig. 5의 b)와 같이 BIM 라이브러리를 사용하여 BIPV를 설계할 수 있으며, BIM기반 BIPV 건축 설계 환경에 탑재된 발전량과 경제성 예측 계산식을 통해 설계 과정에서 BIPV의 발전 성능과 효율을 검토할 수 있다.

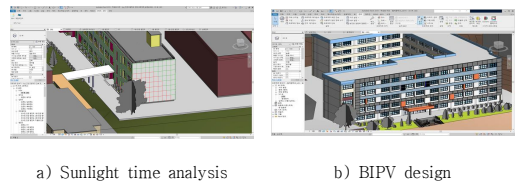


Fig. 5. BIM-based BIPV Design Environment

본 연구에서 BIM기반 BIPV 설계 환경에 탑재된 발전량 계산식은 Fig. 6과 같이 국내 연구를 통해 서울 노원구 지역의 학교 건물에 설치된 BIPV의 실제 일사량과 발전량 데이터를 수집하여, 개발한 실증 데이터 기반 발전량 계산식이다.



Fig. 6. BIPV demonstration building

Fig. 7과 같이 2017년 2월부터 2018년 8월까지 약 18개월간 수집된 실 발전량 데이터와 계산식에 의한 발전량의 상대표준오차(RSE : Relative Standard Error) 분석 방법을 통해 오차계산식에 의한 발전량 데이터 활용 가능 여부를 판단하였다. 연 누적 데이터의 상대표준 오차는 16%로 분석되었으며, 30% 미만일 경우 이용에 문제 없음, 30% ~ 60%는 주의와 함께 이용 가능, 60% 이상은 이용에 주의가 필요하다고 판단하는 통계청 자체 통계품질진단의 상대표준오차 신뢰도 기준에 따라 예측 데이터의 실제 설계 업무 적용의 활용 가능성을 확보하였다[17].

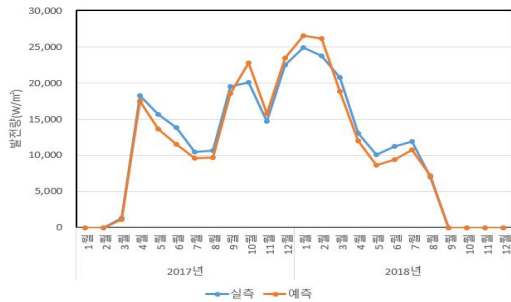


Fig. 7. Comparative analysis of BIPV power generation of school in Nowon

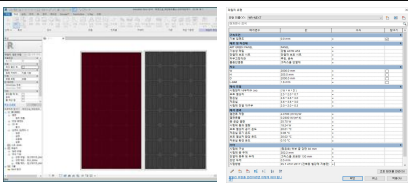
## 5. BIM기반 BIPV 적용 ZEB의 에너지 자립률 검토 방법

### 5.1 BIPV 적용 ZEB의 에너지 자립률 검토를 위한 BIM 라이브러리 작성

BIM에서는 건물을 구성하는 벽, 바닥, 지붕 등 건축 부자재의 제품 사양, 성능, 가격 등의 정보를 포함하는 라이브러리를 사용하여 건물을 모델링한다. 라이브러리가 포함하고 있는 정보는 BIM 프로그램 외부로 내보내거나 내부에서 에너지 해석, 물량 산출 등 건물과 관련된 모든 정보 분석에 활용되기 때문에 라이브러리 작성은

ZEB 검토 방법에서 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 3장의 ZEB 관련 검토 요소를 BIM 라이브러리 매개 변수에 탑재하여 BIPV 라이브러리를 작성하였다.

Table 6. BIPV-BIM library construction contents

Division	BIM library parameters
BIPV Library	
Installation information	Angle, Month, and Azimuth parameters
Specification information	Isc, Voc, Imp, Vmp, Pmax, F.F, Efficiency
Thermal performance	Thermal resistance, Thermal conductivity, Heat transfer coefficient

BIM 데이터를 활용하여 ZEB의 에너지 자립률을 계산하기 위해서는 ZEB에 적용할 BIPV 모듈의 제품 사양 정보와 시험성적서를 참고하여 Table 6과 같은 설치 정보, 특성 정보, 열 성능 정보를 포함하는 매개변수를 BIPV 라이브러리에 탑재하고 BIM 설계에 적용해야 한다.

Table 7. Utilization of parameters by type

Parameter	Type	Utilization
Installation information	BIPV	Energy production
Specification information	BIPV	Energy production
Thermal performance	BIPV, Wall, Floor, Ceiling, Etc.	Energy consumption

Table 7과 같이 BIPV 및 건축 부자재의 매개변수 정보와 각 변수가 본 연구에서 활용되는 범위를 구분하였다. 설치 정보와 특성정보는 BIPV 라이브러리에만 해당되는 매개변수로, BIPV의 설치 각도, 설치 방위, 분석 월에 대한 변수와 BIPV의 전압, 전류, 출력량 등 전기적 성능 정보를 포함하고 있으며, 이는 BIM기반 BIPV 건축 설계 환경에서 발전량 예측 알고리즘에 적용되어 BIPV의 에너지 생산량을 산출하는데 활용된다. 열 성능 정보는 BIPV를 포함한 건물 구성하는 모든 부자재에 해당되며, 열전도율, 열저항, 열관류율 정보가 BIM의 Energy Plus 에너지 소비량 계산 알고리즘에 적용되어, 급탕, 조명, 환기, 난방, 냉방 등 건물의 에너지 소비량을 산출하는데 활용된다.

### 5.2 BIM기반 BIPV 적용 건축물의 에너지 생산량 검토

BIPV 적용 건축물의 에너지 생산량을 검토하기 위해, 안산지역 초등학교 체육관 건물을 대상으로 BIM 모델링을 하고, Fig. 8과 같이 BIM기반 BIPV 설계에서 건물의 지붕에 대한 BIPV 설치 적합성을 판단하였다. 한국에너지공단 ‘신·재생에너지 설비 원별 시공기준’에 따라 준계를 기준으로 1일 5시간 음영 발생 여부를 분석하였다. 분석 결과, 학교 건물 특성상 개방된 형태로 체육관 주변 높은 건물이 없고, 일조 조건이 유리하여 전체 지붕 면적 1,149m<sup>2</sup>가 BIPV 설치 기준에 적합함을 확인하였다.

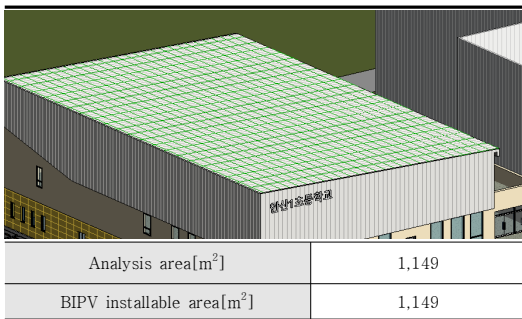


Fig. 8. Sunlight analysis

음영 분석을 통해 분석된 지붕의 BIPV 설치 적합 영역에 BIPV를 설계하고, 에너지 생산량을 검토하기 위해, Fig. 9와 같이 지붕층에 적용할 BIPV의 BIM 라이브러리를 작성하고, 분석한 지붕 영역에 모델링 하였다. BIPV의 성능은 발전효율 10%의 사양으로, 지붕에 적용된 BIPV의 총 설치 용량은 114kW이다.

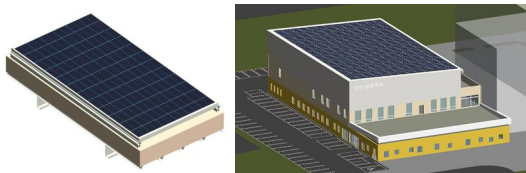


Fig. 9. BIPV library and BIM modeling

BIM기반 BIPV 설계환경의 발전량 예측을 통해 Table 8과 같이 월별, 연별 발전량을 계산하였다.

지붕에 적용된 BIPV 에너지 생산량은 최대 5월에 약 18,667kWh이며, 1년간 약 145,409kWh의 에너지를 생산할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Table 8. BIPV energy production

Division	Energy Production[kWh]
January	7,459
February	8,912
March	13,712
April	15,754
May	18,667
June	16,968
July	13,152
August	16,002
September	12,316
October	9,323
November	7,121
December	6,024
Annual	145,409

### 5.3 BIM기반 BIPV 적용 건축물의 에너지 소비량 검토

BIM기반 에너지 소비량 분석을 통해 BIPV의 에너지 생산량과 비교하여 건물의 에너지 자립률을 산출할 수 있다. 본 연구에서는 BIPV가 설치된 위치한 지붕층 공간 연구 범위로 하여, 에너지 소비량을 산출하였다.

건물 모델링에 사용된 라이브러리의 열 성능 정보는 Table 9와 같으며, 건물을 구성하는 지붕(BIPV), 벽, 천장, 바닥, 슬라브, 창문으로 구분하여 적용하였다.

Table 9. BIM model thermal performance data

Division		Coefficient of heat transmission(W/m <sup>2</sup> K)
Roof	BIPV	0.2365
Wall		0.2367
Celing		1.3610
floor		2.9582
Slab		0.7059
Window		2.9214

Fig. 10과 같이 지붕 레벨의 공간에 대한 에너지 소비량을 분석하였으며, 월별 냉방에너지와 난방에너지의 합으로 전체 에너지 소비량을 산정하였다.



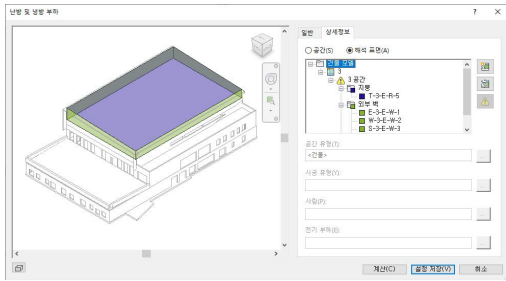


Fig. 10. BIM modeling and building load analysis

Table 10과 같이 BIM기반 냉방, 난방에너지 소비량을 월별, 연별로 산출하였으며, 냉방과 난방의 합계로 건물의 전체 에너지 소비량을 산정하였다. 건물의 연간 냉방에너지는 87,488kWh, 난방에너지는 345,097kWh로 건물 전체 에너지 소비량은 432,585kWh로 분석되었다.

Table 10. Building energy consumption analysis

Division	Cooling [kWh]	Heating [kWh]	Total [kWh]
January	-	58,221	58,221
February	-	49,149	49,149
March	-	43,011	43,011
April	-	32,448	32,448
May	3,568	22,297	25,865
June	15,357	10,769	26,126
July	27,085	-	27,085
August	27,858	-	27,858
September	13,620	10,769	24,389
October	-	27,918	27,918
November	-	37,979	37,979
December	-	52,536	52,536
Annual	87,488	345,097	432,585

#### 5.4 BIM기반 BIPV 적용 건축물의 에너지 자립률 검토

BIM기반 BIPV 설계환경을 통해 산출한 BIPV의 에너지 생산량과 에너지 소비량 산출 결과에 환산계수를 적용하여 Table 11과 같이 에너지 자립률을 분석하였다.

환산계수는 BIPV의 에너지 생산량에 전력 환산계수 2.75, 건물 냉방에너지 소비량에 전력 환산계수 2.75, 난방에너지 소비량에 연료 환산계수 1.1을 적용하여 건물의 에너지 자립률을 계산하였다.

분석 결과, 건물 지붕층의 에너지소비 영역이 작기 때문에 에너지 자립률 39%로 ZEB 인증 기준 5등급에 해당함을 확인할 수 있었다.

Table 11. Energy self-reliance rate review

Division	Cooling	Heating	BIPV
Energy conversion factor	2.75	1.1	2.75
Energy[kWh]	87,488	345,097	145,409
1st energy consumption[kWh]	240,592	379,606	399,874
1st energy production [kWh]	-	-	399,874
Energy self-reliance rate	39%		

본 연구에서는 건물 에너지소비 영역을 지붕층으로 한정하여 분석하였으나, 건물 전체 영역에 대한 에너지 소비량을 산출하고 건물에 적용된 BIPV의 에너지 생산량과 비교하여 BIPV를 통한 건축물의 에너지 자립률을 분석하였다.

이와 같은 방법으로, 설계자는 설계단계에서 BIPV를 건물에 적용하고, 설계 건물의 에너지 소비량과 BIPV를 통한 에너지 생산량을 상시 체크하며, 건축물의 에너지 자립률을 사전에 검토할 수 있어, 설계 초기부터 ZEB의 패시브 요소뿐만 아니라 액티브 요소까지 종합적으로 고려할 수 있는 장점이 있다.

## 6. 결론

ZEB은 설계 초기부터 건물의 실내의 환경 및 에너지 시뮬레이션 등 건물의 패시브, 액티브, 신재생에너지 요소를 통합하여 계획되어야 한다. 하지만, ZEB에서 매우 중요한 신재생에너지 요소는 건축 설계에는 배치 정도만 나타내는 수준으로 건축의 계획 단계에서 BIPV를 포함하는 신재생에너지에 대한 고려는 미미한 수준이다.

BIM은 3차원 설계와 데이터의 융·복합으로, 엔지니어링과 모델링 데이터의 가시화를 통해 ZEB의 계획 단계부터 건축, 기계, 전기 등 주체들의 신속하고 원활한 의사결정을 지원하여, 설계 초기부터 ZEB에서 BIPV 적용 여부와 에너지 성능을 분석할 수 있는 환경과 기반을 구축할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 ZEB의 BIPV 적용 관련 기준과 BIM의 적용 방법을 분석하고, 안산 지역 초등학교 체육관 BIM 모델링을 통해 지붕층을 기준으로 BIPV를 적용했을 때, 에너지 소비량과 에너지 생산량을 산출하고, 에너지 자립률을 산정하여 ZEB 등급 기준을 분석하였다.

BIM 라이브러리로 BIM기반 BIPV 설계환경에서 체육관 지붕의 일조를 분석하고, BIPV를 설계하여 연간 에

너지 생산량 145,409kWh를 산출하였다. 이어서, BIM 시뮬레이션으로 체육관 지붕층의 에너지 소비량 432,585kWh를 산출하였다. 산출된 에너지 생산량과 에너지 소비량에 전력과 연료의 1차 에너지 환산계수를 적용하여, 에너지 자립률을 분석하였다. 분석 대상의 에너지 자립률은 39%, ZEB 5등급으로 에너지 자립률 기준에 적합함으로 분석되었다. 이를 통해, BIM기반으로 BIPV 설계 분석과 에너지 시뮬레이션을 적용하여 ZEB의 에너지 자립률을 검토할 수 방법을 확인하였다.

하지만, ZEB 에너지 자립률 검토에 대한 기초 연구로, ZEB의 에너지 생산 요소를 BIPV로 한정하였기 때문에, 고효율 설비기기, 지열 생산량 등을 고려한 ZEB의 종합적인 에너지 자립률 산정에는 한계가 있다.

본 연구는 설계 초기부터 ZEB에서 중요한 요소인 BIPV에 대한 설치 환경 및 에너지 시뮬레이션 등을 종합적으로 고려하여 ZEB를 계획할 수 있도록, 3차원 설계와 데이터의 융·복합 기술인 BIM과 BIPV 설계 환경을 활용한 ZEB의 에너지 자립률 산정에 대한 기초 연구이다.

지속적인 연구를 통해, BIPV 뿐만 아니라, ZEB의 태양열, 지열 등의 기타 에너지원들의 에너지 생산량과 고효율 설비기기 성능을 반영한 BIM기반의 에너지 자립률 산정 연구를 진행할 예정이다. 이를 통해 건축설계자가 패시브, 액티브, 신재생 등 더 다양한 제로에너지 건축 요소를 설계 초기부터 고려할 수 있어, ZEB의 계획 단계부터 전기, 기계, 건축 등 주체자의 의사결정을 지원하고, 설계자의 ZEB 설계 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] S. M. Lee & T. K. Lee & J. U. Kim. (2018). A Study on the Design Method of Zero Energy Building considering Energy Demand and Energy Generation by Region, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 34(8), pp. 13–22.  
DOI : 10.5659/JAIK\_PD.2018.34.8.13
- [2] Y. Saheb. (2013). Modernising Building Energy Codes, *The International Energy Agency Policy Pathway*, pp. 24–28.
- [3] Korea Energy Agency New and Renewable Energy Center. (2021). Mandatory installation.  
<https://www.knrec.or.kr>
- [4] J. H. Mun & J. C. Kim. (2018). 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*, 32(7), pp. 27–32.  
DOI : 10.5207/JIEIE.2018.32.7.027
- [5] J. H. Yoon. (2014). Technical Approach Method for Zero Energy Building and the Integration of Re Systems, *Review of Architecture and Building Science*, 58(3), pp. 32–37.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2020). Construction industry BIM Basic Guidelines, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2010). Building BIM Application Guide, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- [8] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. (2019). Final Report on the Development of Optimization Simulator for Promotion of Energy Building Transition to Low Cost Zero (Technology/Cost), Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- [9] Korea Energy Agency. (2019). Energy saving plan, Korea Energy Agency.
- [10] Renewable Energy Center. (2020). The mandatory guide for installing new and renewable energy. Korea Energy Agency.
- [11] Renewable Energy Center. (2020). Guidelines on the support of new and renewable energy facilities, Korea Energy Agency.
- [12] Korea Energy Agency. (2020). Zero Energy Building Certification Guide, Korea Energy Agency.
- [13] Korea Energy Agency. (2013). Building Energy Efficiency Rating Certification System Operational Regulations, Korea Energy Agency.
- [14] Korea Energy Agency. (2021). Building Energy Efficiency Rating Certification.  
[http://www.kemco.or.kr/web/kem\\_home\\_new/ener\\_efficiency](http://www.kemco.or.kr/web/kem_home_new/ener_efficiency)
- [15] H. W. Jeon & K. H. Choi & S. J. Park. (2019). BIM-based building integrated photovoltaic power generation system design analysis through building energy use analysis, *KIEAE Journal*, 19(3), pp. 63–70.  
DOI : 10.12813/kieae.2019.19.3.063
- [16] H. W. Jeon & K. H. Choi & S. J. Lee & S. J. Park. (2018). Development of BIM based BIPV architectural Design Environmet, *KIEAE Journal*, 18(1), pp. 71–82.  
DOI : 10.12813/kieae.2018.18.1.071
- [17] D. S. Kim & J. J. Choi & K. J. Kim & H. W. Jeon. (2021). Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Demonstration and Power Generation Analysis for The School Building, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 41(3), pp. 193–207.  
DOI : 10.7836/kses.2021.41.3.193

최 규 혁(Kyu-Hyeok Choi)

[장학원]



- 2014년 5월 ~ 현재 : (주)비아이엠에스 기술연구소 선임연구원
- 2014년 2월 : 건국대학교 건축학과(석사수료)
- 2012년 2월 : 건국대학교 건축학부 건축설계전공 (공학사)
- 관심분야 : 디지털건축, BIM, 제로에너지건축, 건물태양광

· E-Mail : optiky@ebims.co.kr

전 현 우(Hyun-Woo Jeon)

[장학원]



- 2010년 3월 ~ 현재 : (주)비아이엠에스 기술연구소 책임연구원
- 2019년 12월 ~ 현재 : 한국건물태양광협회 이사
- 2020년 8월 : 건국대학교 건축공학과 (공학박사)
- 관심분야 : BIPV, BIM설계, 건물에너지, 신재생에너지, 디지털건축

· E-Mail : melts@ebims.co.kr

박 경 도(Kyung-Do Park)

[장학원]



- 2001년 3월 : 미국 Harvard University (건축학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 건국대학교 건축대학 건축설계전공 교수
- 관심분야 : 건축설계, 디지털건축, 친환경건축

· E-Mail : hspk@konkuk.ac.kr