



## 학교시설 파사드에 BIPV적용을 위한 전제조건 연구 - 태양광패널 모듈 활용을 중심으로 -

*Research on Prerequisites for BIPV Application to School Facility Facades  
- Focusing on the Use of Solar Panel Modules -*

전현우\* · 최종천\*\*

Hyun-Woo Jeon\* · Jong Chon Choi\*\*

\* Principal Research Engineer, Dept. of Research Institute, BIMS Co., Ltd., South Korea (melts@ebims.co.kr)

\*\* Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Chungwoon Univ., South Korea (metapolis@naver.com)

### ABSTRACT

**Purpose :** Existing solar facilities are limited to the installation of rooftops or parking lots, and can only be installed in rectangles, so aesthetic aspects cannot be considered, structural safety review problems are caused, and electricity is often installed while due to rooftop waterproofing problems and exposure to electric wires. In fact, it is pointed out that solar power generation systems can be exposed to a vulnerable environment due to fires caused by inverters and electrical short circuits. Therefore, Building Integrated Photovoltaic (BIPV) is in the spotlight as an alternative. Therefore, this study proposes prerequisites and measures for the application of BIPV to school elevation. **Method :** From the viewpoint of technical, functional, and aesthetic integration, the necessity of applying BIPV in consideration of the slope shape and color design suitable for school buildings is derived, and the applicability of color BIPV design and system is suggested to reflect this in school facility design. **Result :** Based on the analysis of actual BIPV application cases of domestic school buildings, design directions and considerations for each design stage are derived through BIM (Building Information Modeling) simulation. By analyzing the actual amount of power generation of schools applying BIPV and comparing before and after BIPV, the reduction effect of electricity consumption reduction and the saving effect were derived by converting it into electricity bills.

© 2024. KIEAE all rights reserved.

### KEYWORD

건물일체형 태양광  
건물정보통합설계  
건물에너지 분석  
파사드 디자인

Building Integrated Photovoltaic  
Building Information Modeling  
Building Energy Simulation  
Facade Design

### ACCEPTANCE INFO

Received Feb. 1, 2024

Final revision received Feb. 26, 2024

Accepted Mar. 4, 2024

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

2004년 신재생에너지 설치 의무화제도 시행과 함께 정부와 일부 지자체를 통해 이어오는 초·중·고등학교에 대한 태양광 발전설비 설치 지원은 신재생 전력 생산과 체험학습 등 교육적 효과를 목표로 한다. 그러나 대부분 학교 옥상공간이나 지평식 주차장 상부에 구조물을 추가하고 PV를 설치하는 방식을 채택하는 한계 역시 보이고 있다. 디자인 등 미적인 부분에 대한 고려가 미흡하고 기존 시설 옥상에 추가되는 구조물로 인한 구조안전성과 옥상 방수 문제, 그리고 전선 등의 노출로 인한 잠재적인 안전문제, 그리고 이로 인한 교육적 효과 저하 등의 문제가 제기된다. 실제 태풍 등에 의한 사고와 인버터, 전기합선 등으로 인한 화재 사례 등도 다수 보고되고 있다.

태양광 활용방법의 다양성 확보 측면, 그리고 기존 PV방식의 문제점에 대한 대안으로 건물일체형 태양광(Building Integrated Photovoltaic, 이하 BIPV)의 필요성이 제기되는 것이다. 이렇듯 BIPV의 상당한 잠재적 가능성에도 불구하고 학교시설에 본격 도입되지 못하는 기본적인 요인에 대한 구체적인 인식이 필요할 것이다. 이러한 실질적인 문제에 대한 인식과 함께 현장에서 합리적으로 BIPV를 적용할 수 있는 기반 구축이 필요할 것이다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구 2장에서는 최근 제기되는 BIPV 보급 활성화에 대한 필요성을 바탕으로 정부의 정책적 지원방향과 구조적 장애요인을 분석하고 이를 바탕으로 학교시설에 BIPV 적용을 위한 기본방향을 도출한다. 3장에서는 기존 학교건물 입면 특성에 대한 분석을 바탕으로 BIPV패널을 합리적으로 적용할 수 있는 부분을 기술적, 기능적, 미적 통합의 관점을 통해 살펴본다. 실제 사례에 적용된 태양광 패널 모듈의 크기와 컬러 패널 활용 등 학교파사드의 디자인 측면에서의 조건을 설계 단계에 적용되는 BIM 시뮬레이션을 통해 분석한다. 그리고 BIPV의 일차적인 성능평가를 위해 학교시설 준공 후의 실측 발전량을 분석하되, BIPV 설치 전과 설치 후 에너지 소비량과 전기세 등에 대한 비교 분석을 통해 향후 종합적인 경제성 분석을 위한 기초 자료를 제시한다. 이를 통해 BIPV의 기술적, 기능적, 미적 통합에 대한 주요 시사점과 학교시설에 합리적으로 BIPV를 적용하기 위한 전제 조건의 기본방향을 탐구하도록 한다.

## 2. 학교시설의 BIPV 적용 기본방향

### 2.1. BIPV 적용 활성화를 위한 정책적 방향

#### 1) BIPV에 대한 정책적 지원

탄소중립과 제로에너지 건축이 글로벌 아젠다로 제시되면서 태

양광 활용에 대한 주목도 상승과 함께 관련 산업도 꾸준한 성장세를 이어오고 있다. 그러나 기존의 태양광 보급은 주로 옥상에 구조물을 세워서 활용하는 형태가 많아서 관리와 안전, 미관 등에 대한 문제 제기도 이어지는 상황이다. 이제는 단순히 신재생에너지 공급이라는 일차적인 기능 측면만이 아니라 기술적 발전과 함께 건축디자인의 일부로서 도시경관 측면에서 바라볼 시점이 되었다. 건축디자인 측면에서의 고찰을 위해서는 먼저 BIPV가 어떤 형태로 활용되는지를 글로벌시장 조사결과를 통해 살펴볼 필요가 있다.

미국 에너지부(U.S. Department of Energy, 이하 DOE)의 2025년 글로벌 시장에서의 BIPV공급 예측을 보면 여전히 지붕재에 BIPV기술을 적용한 비율이 56.9%로 가장 높은 수치를 보인다. 반면 건축물 유리면이나 파사드와 같은 외장재에 적용되는 비율은 상대적으로 낮은 수치를 보인다[1]. BIPV가 주거부분에 적용하는 비율이 제일 높게 나타나는 유럽 도시의 경우 중저층 주거의 경사지붕에 주로 사용되는 싱글(shingle) 등 전통적인 지붕재가 BIPV지붕재로 대체하는 비율이 높아진 결과로 볼 수 있다. 이러한 유럽도시에 비해 중고층 규모의 평지붕 구조가 많이 보급된 우리의 경우 제한된 지붕재보다는 입면부 적용 필요성이 상대적으로 크다고 볼 수 있다.

유럽 BIPV전문가들에 대한 조사결과를 보면 BIPV를 추동하는 가장 큰 요인으로 첫 번째, 제로에너지에 대한 지침, 두 번째, 새로운 기술에 의한 BIPV효율과 경제성 상승, 세 번째, 공공의 이미지 등이 제시된다[1]. 기술적, 심미적 요인과 함께 제도화된 요구가 가장 크게 나타나는 것이다. 기존 시장에 새로운 기술의 원활한 접목을 위해서는 제도적 요구(push)와 정책적 지원(pull)의 조화가 가장 큰 전제조건이 된다. 프랑스 등 BIPV선도국에서 일반적인 PV기술보다 BIPV에 더 많은 보조금을 지원하는 등 특화된 BIPV지원 정책을 제시하는 것도 신기술의 조기 정착을 위한 push-pull의 합리적 균형을 위한 정책방향으로 볼 수 있다.

서울시의 경우 도시미관을 살리는 외장재로의 가능성에 주목하고 전국 지자체로는 처음으로 2020년부터 BIPV태양광 보급을 지원하는 사업을 진행하고 있지만 아직 큰 효과로 연결되지는 못하고 있다. 국가 차원에서는 제로에너지 건축물인증(ZEB, Zero Energy Building)의무화 확대와 국가온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution) 등 국가적 아젠다 달성을 위한 정책으로 2022년10월 산업통상자원부에서 ‘건물일체형 태양광(BIPV)산업 생태계 활성화 방안’을 제시한다. BIPV인정체계 정립, 제도적 지원 강화, 기술혁신지원, 설계단계부터 BIPV적용 확대 등 상당히 포괄적인 활성화 방안을 담고 있다[2]. 이러한 서울시 등 지자체와 정부의 정책적인 노력이 실효적으로 작동하기 위해서는, 그리고 이를 학교시설 적용 측면에서 본다면 중장기적 관점에서의 기술적, 제도적 발전과 함께 기존에 구축된 기술을 효율적으로 적용하기 위한 조건 도출이 중요한 선결과제가 된다고 볼 수 있다. BIM 시뮬레이션 등을 통한 실증적 설계지원, 그리고 학교시설의 경우 건축서비스산업진흥법에 따른 건축기획업무에 대한 사전검토 단계부터 적극적으로 BIPV채택이 가능하도록 기획단계부터의 체계적인 지원이 필요한 것이다. 아울러 실제 설계단계에 BIPV의 합리적 채택과 디자인발전을 위한 인센티브와 정확한 정보제공 등 실질적 정책적 지원은 지금 활발히 진행 중인 그린스마트미래학교 사업 등 학교시설설계에

Table 1. Global BIPV market in 2025(2019 statistical estimation)[1]

Application site	Amount(\$)	Ratio(%)
Roofings	6,414,100,000	56.9
Glazing	2,411,300,000	21.4
Facades	1,746,800,000	15.5
Architectural shading	696,900,000	6.2
Total	11,269,100,000	100

BIPV적용을 촉진하는 중요한 기반이 될 것이다.

2) 교육시설에 대한 정책적 지원

학교시설의 양적 팽창시기를 지나면서 최근 학교시설의 질적 수준 향상에 대한 수요가 많아지고 있다. 전국적으로 노후화된 학교시설에 대한 기존 학교 공간의 재구조화사업(학교공간혁신사업)과 함께 2020년에 발표되고 2021년부터 활발하게 진행 중인 그린스마트 미래학교 등 정책적 지원사업이 강화되는 것이다. 그린스마트 미래학교사업은 신축은 물론 지은지 40년이 경과한 노후학교의 일부 기존 시설을 철거하고 새로 짓는 개축 또는 증축을 포함하는 리모델링 형태도 포함한다. 그린스마트 미래학교의 핵심 요소로는 공간혁신, 스마트교실, 그린학교, 학교복합화 등이 제시된다[3]. 이 가운데 학교건축의 친환경적 가치를 높이기 위한 그린 학교에서는 기존 옥상에 구조물을 PV를 부가하는 형태와 함께 벽면, 차양 같은 파사드에 통합 적용 등 다양한 방법을 통해 궁극적으로 에너지 자립률 제고가 가능할 것이다. 이는 학교시설이라는 기능과 상징적 측면에서 학생 등 모든 구성원에 대한 신재생에너지의 역할과 효과에 대한 실증적 교육과 친환경 의식의 저변을 높일 수 있는, 경제적 가치 이상의 실질적인 교육현장이 될 수 있다는 점에서 시사적이다. 일반적으로 학교시설은 같은 도시의 다른 고밀도 건축물에 비해 넓은 운동장과 낮은 건폐율, 넓은 외피면적 등 BIPV 적용에 상당히 유리한 환경을 갖추고 있다. 정부정책이나 여러 지원사업과 연계시 상당한 홍보와 교육적 효과가 가능할 것이다.

2.2. 학교시설 설계의 변화

국내 학교시설은 1962년 이후 오랜 시간 동안 학교 표준설계도 중심으로 건축되었다. 초등학교 표준설계도로 출발하지만 중고등학교 시설도 이를 기반으로 해서 보급된다. 이러한 학교시설에 대한 기준설정은 1962년 우리나라에서 처음으로 건축법과 도시계획법이 제정된 시대적 상황과 연결해서 볼 수 있다. 1960년대 이전, 즉 건축법이 제정되지 못한 상황에서의 학교시설은 농촌과 도시 등 지역 간 편차와 전체적인 설계수준의 차이 등 근본적인 문제가 컸을 것으로 보인다. 이러한 상황에서 표준설계도 도입은 전체적인 설계품질의 개선효과와 동농지역간 편차를 줄이는 효과가 가능해 진 것으로 볼 수 있다. 표준설계도서 체제에서는 입면 등 외관도 일체의 장식이 배제된 철저히 기능적인 특성을 보이게 된다. 그러나 사회적 발전에 따른 수요자의 인식전환, 그리고 건축설계, 시공기술 등 관련 산업의 급격한 발전 등으로 말미암아 표준설계의 한계에 대한 문제제기, 즉 다양성이 배제된 획일적 형태의 학교시설이라는 비판이 제기된다. 1980년대에 들어서면서 조립식 학교건축은 물론 자연형 태양열

학교교사 설계도(1983년 문교부)가 보급되기 시작한다[4]. 학교시설설계에도 본격적인 친환경시설개념이 들어오기 시작한 것이다. 1992년에는 표준설계도서 폐지와 함께 현대 학교건축의 시작을 알리는 현대화 시범학교가 시작된다. 지역과 환경, 학교 특성 등을 고려한 학교시설이 건축되기 시작한 것으로 볼 수 있다. 현재 진행 중인 그린스마트미래학교 사업을 통해서도 친환경 건축개념이 글로벌 아젠다와 국가 정책 등과 맞물려서 신재생에너지 등이 학교설계에 구체적으로 검토되고 반영되기 시작한다.

### 2.3. BIPV 적용 설계의 장애요인

BIPV는 신재생에너지 생산이라는 기본적인 기능과 함께 건축 외장재라는 복합적인 기능을 수행한다. 따라서 PV와 건축물의 기술적(technical), 기능적(functional), 미적(aesthetic) 통합이 중요한 조건이 된다. PV기술의 발전단계를 보면 1990년대 초까지만 해도 PV가 건물과 미적으로 통합되지 못하고 단순히 기능적으로 건물에 부가되는 형태로 적용되었다. 그러나 1990년 초를 지나면서부터 건축설계단계에 필요한 건축계획과 미적인 기준에 통합되는 형태로 발전하기 시작한다[5]. 신재생에너지 생산을 위한 기술적인 문제해결과 함께 건축물과의 디자인 통합이 상당히 중요하게 인식되기 시작한 것이다. 그러나 아직 BIPV가 일부 공공시설과 제한된 민간시설에만 적용되고 있는 현실적인 문제는 효율적이지 못한 지원정책과 함께 기획/설계단계에 안전 등 기술적, 경제적 이슈에 대한 대응 부족, 그리고 디자인 솔루션 부족 등 구조적 문제에 기인한다고 볼 수 있다. 미국DOE의 Building Integrated Photovoltaics 보고서에 의하면 BIPV 활성화를 위한 여러 가지 전제조건 중 설계단계에 영향을 주는 중요한 요인들을 다음과 같이 제시한다. BIPV제품이 디자인면에서 보다 더 매력적인 자재로 발전해야 한다는 점과 함께 BIPV 비용에 대한 대중의 이해 부족을 기본 문제로 제기한다. 설문조사 결과에서도 BIPV시스템에 대해 부정적인 인식이 너무 많다는 점이 나타난다. 이렇듯 설계자, 시공사 등 건축관계자들의 BIPV시스템에 대한 전반적인 이해부족과 함께 산업의 표준화(standardization) 부족, 그리고 BIPV 디자인 프로세스가 아직 정착되지 못한 문제 등을 제기한다[1].

BIPV를 학교시설에 적용한 사례 대부분이 파사드의 발코니나 스펀드럴부분에 적용하는 방법(balcony and spandrel) 중심으로 나타난다. 유리면이나 차양 등 입면요소 전반에 대한 적용은 크게 나타나지 않고 있지만 최근 학교시설 입면요소의 다양화와 함께 적용이 확대될 가능성이 크다고 볼 수 있다.

## 3. 학교시설 BIPV모듈 통합적용의 기본 요인

### 3.1. 학교시설 파사드의 계획적 특성

표준설계도의 영향이 크게 나타나는 2000년 이전에 건립된 40년 이상 된 초·중·고등학교의 파사드는 남향의 넓은 창문과 함께 운동장 등 오픈스페이스에 면한 비교적 단순한 패턴을 보인다. 이러한 파사드에 나타나는 발코니는 강한 일사를 차단하고 교실내부 온도를 적절하게 유지하는 차양 역할(architectural shading)을 하게 된다.

Fig. 1. 파사드의 발코니로 인해 전체 패턴에서 수평라인이 강조되는 형태로 나타난다. Fig. 2. 는 서울에 있는 중학교의 건물로 발코니에 전선과 케이블 등이 무질서하게 방치되고 옥상에서 내려오는 선홍통도 노후화가 진행된 상태로 방치되는 경우가 많아서 종합적인 관리와 기능개선이 필요한 부분이다.

최근 교육부의 학교건축 표준매뉴얼(2016년)에서는 학교건축 입면의 방향을 기존의 단조로운 이미지보다 조형미를 강조할 수 있는 입면계획을 통한 생동감있는 입면 조성을 향후 학교시설의 방향으로 제시한다. 따라서 앞으로 학교시설 파사드는 기존 발코니의 기능개선과 다양한 디자인 시도와 함께 친환경기준 강화에 따른 기술적, 기능적, 미적 기준의 변화 흐름도 지속될 것으로 보인다.

### 3.2. 학교시설 파사드 특성에 맞는 태양광 패널

신재생에너지에 대한 제도적 요구와 시설 수요에 따라 지금도 많은 학교시설이 신축과 개축, 리모델링 등의 형태로 진행되지만 대부분 옥상 구조물 중심의 태양광 보급 형태를 보이고 있다. 이러한 적용의 한계를 극복하기 위해서는 학교시설 파사드에 적용방법 모색이 중요할 것이다. BIPV 파사드는 ①외피 시스템(cladding system)에 통합 적용하는 방법, ②일사 차폐기능을 겸하는 차양활용(solar shading), ③발코니나 스펀드럴 적용 방법(balcony and spandrel), ④유리부분에 적용하는 방법(solar glazing) 등으로 구분된다[6].

BIPV는 신재생에너지 적용기술의 다양성 확보 측면에서 중요한 역할을 하지만 일반적인 PV시스템에 비해 보다 면밀한 조건탐색을 전제한다. 음영, 온도, 미관 등 사전에 검토해야 할 다양한 건축적 요소들을 건축물과 통합해서 적용하여야 하는 것이다. BIPV 파사드가 적용되는 건물의 향, 설치각도 등 많은 조건들이 따르는 것이다. 다만 국내 학교시설의 입면은 향, 배치, 파사드 전반적으로 유사한 특징을 보이는 경우가 많고, 특히 2000년대 이전에 건립된 학교 건물의 입면은 Fig. 3.과 Fig. 4.와 같이 수평적으로 길고 같은 형태가 반복되고 전면 벽돌형, 수평 발코니형이 많다. 외장에 사용되는 재료 역시 제한적이어서 교육부의 학교건축 표준매뉴얼에 따른 조형미와 생동감 넘치는 다양한 파사드 연출을 위해서는 칼라 BIPV 활용도 실질적 대안이 될 수 있을 것이다.



Fig. 1. South side of middle school in Seoul (built in 1980)



Fig. 2. The front balcony of the school building

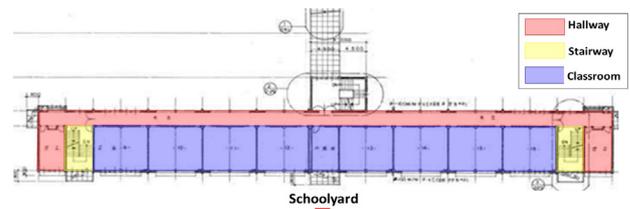


Fig. 3. School floor plan built before 2000s

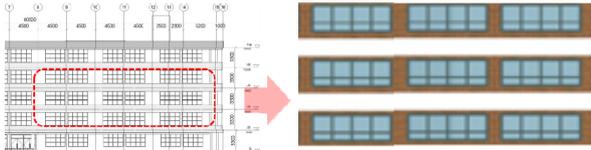


Fig. 4. School elevation patterns built before 2000s



Fig. 5. BIM design modeling

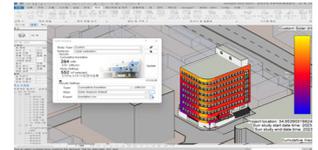


Fig. 6. BIM shading analysis

Table 2. Applicable location for each local school elevation size

Function	Middle school in Seoul	High school in Chungcheongbuk-do	Elementary school in Chungcheongnam-do
Spandal			
	1,350mm ~ 1,600mm		
Window spacing			
	1,400mm ~ 1,800mm		
Floor height			
	3,300mm ~ 3,500mm		

BIPV의 가장 큰 단점으로는 일반적으로 높은 가격과 함께 입면 제약 조건에 따른 상대적으로 낮은 발전 효율 등이 제기된다. 그리고 설치의 제약조건이 상대적으로 적은 기존 태양광 모듈에 비해 규격화가 어렵고, 설치 위치 등 디자인 결정에 영향을 미치는 복합적인 조건 등으로 설치 단가 역시 기존 PV시스템보다 높아질 가능성이 크다고 볼 수 있다. 그러나 신기술개발과 표준화가 촉진되고 BIPV 시장 확대에 따른 모듈제작과 설치비용의 큰 폭 감소 등을 통해 진입 장벽 역시 크게 낮아지게 될 것이다[7]. 따라서 기존 학교시설 파사드의 스펠드럴 부분 크기, 창문과 창문 사이의 크기, 건물의 표준 층고 등을 반영한 태양광패널 모듈을 최적화하고 학교시설에 적용 가능한 다양한 칼라에 대한 성능기준 등에 대한 표준 모델 제시가 요구된다. 이는 제품 개발자와 건축설계자들에게 중요한 사전 조건이 될 것이다.

### 3.3. 태양광패널의 효율적 활용 방안

BIPV를 적용할 수 있는 최적의 입면 위치 및 최적 모듈 도출을 위해 서울지역의 중학교, 충남지역의 초등학교, 충북지역의 고등학교 건물을 대상으로 초, 중, 고등학교 별 입면 형태를 조사하고 파사드 구성요소 별로 분석하였다.

기존 학교 입면에 BIPV패널을 적용 가능한 최적의 위치는 발코니 부분과 창문과 창문사이, 기둥부분으로 정리된다. 따라서 발코니 부분의 수직 길이와 창문과 창문 사이 사이즈, 층고의 사이즈를 조사하여 Table 2.와 같이 적용 가능 부위별 사이즈를 도출하였다.

### 3.4. BIM기반 시뮬레이션 분석

BIPV를 적용하기 위한 건축적 고려사항으로 2000년 초부터 수행

Table 3. BIM-based pre-simulation process specific functionality

Function	Function description
① BIM Design model	3D mass elevation analysis during the initial design planning (PD) phase 
② Enter area information	Enter the longitude and latitude in degree, minutes, and seconds, and calculate the altitude and orientation of the sun from 0:00 to 24:00 
③ Enter BIPV analysis information	Select the BIPV installation surface accordingly by sizing the elevation grid (width x height) 
④ Setting the surrounding environmental factors of the building	Identify the building, vegetation, etc. around the project and obtain the height values of the surrounding elements using x, y, z coordinates 
⑤ Setting BIPV installation conditions	Establish conditions for selecting a 5-hour continuous and 5-hour cumulative or specific time from sunrise to sunset (5 hours is maximum power generation time) 
⑥ Analysis of BIPV installation plan	Model lines created in BIM models allow you to visualize available/non-installed areas and identify available areas, capacities and quantities 

되었던 많은 연구에서 BIPV를 건물에 적용할 때는 기후 요인과 향, 그리고 대지의 특성과 관련된 환경적 요소, 도시계획, 건축법, BIPV 모듈의 유형과 설치방법, 미적인 관점, 그리고 구조 및 엔지니어링 측면의 고려 필요성이 제시되었다. “BIPV 설치·보급 활성화를 위한 수용성 제고 방안” 연구의 가이드라인 보고서[8]에서는 건축적 고려 사항으로 최적의 설치 각도와 방위, 음영분석에 의한 모듈배치 선정, 발전 성능 순으로 제시한다. 대형화, 복합화가 크게 대두되는 현대건축에 합리적 BIPV적용을 위해서는 건축설계자의 직관적 사고에 의한 설계보다는 설계조건을 최적화하고 BIM(Building Information Modeling)을 순차적으로 적용하는 디자인 프로세스가 설계의 중요한 전제조건이 된다. BIM 설계는 여러 디자인 대안에 대해 과학적의 사결정이 가능한 장점이 있기 때문이다.

본 연구의 분석대상인 초등학교, 중학교, 고등학교 건물의 효율적

인 BIPV 적용을 위해 Table 3.과 같이 BIM기반 사전 시뮬레이션을 통해 주변 환경에 의한 음영분석, 설치 가능한 면적분석, 설치 각도와 방위에 의한 설치 가능한 용량계산, 모듈의 수량을 3D BIM 모델 시뮬레이션 데이터에서 자동으로 추출하여 제공하는 BIM Revit 프로그램 응용기술[9]을 사용하였다. 이러한 디자인 프로세스는 설계과정에서 BIPV 파사드의 성능향상을 지원하고 예측 데이터에 대한 근거제시와 신뢰성제고, 그리고 건축주와 건축설계자 등의 과학적 의사결정 지원을 통해 합리적으로 BIPV 적용 여부를 판단하고 그 활용 범위를 넓힐 수 있다는 점에서 BIPV 설계의 중요한 전제조건이 될 것이다.

### 3.5. 초중고 학교시설의 BIPV 적용사례분석

본 사례는 산업통상자원부 신재생 에너지 핵심 개발 사업의 “학교 건물일체형 태양광 제품 및 융합시스템 개발”[10] 연구 결과의 일부이다. 학교 건물 특성과 BIPV 시스템 분석, 국내 학교건축물의 컬러 BIPV 모듈 적용 사례를 바탕으로 디자인 방향과 설계 단계별 고려사항을 분석하고 BIM 설계 시뮬레이션 및 실증 데이터를 분석하였다.

#### 1) 서울 월계중학교 BIPV 적용사례 분석

서울 노원구에 위치한 공립 중학교이다. 1981년에 설립되어 본관 교사동, 체육관 2개동으로 전형적인 1980년대 표준설계도 특성을 보인다. 학교 입면의 특징으로 교실창 입면 부분이 발코니 형태로 되어 있어 강한 일사를 차단하여 교실 내부로 들어오는 일사량을 일부 차단하는 차양 기능을 한다. 이러한 특징점을 살려 BIPV설계는 입체감과 스펀드럴의 연속적인 수평적인 디자인을 강조하고, 수평과 수직의 조화성을 강조하기 위해 무채색 바탕에 유채색으로 포인트와 수직적 액센트를 주어 생동감 있는 입면으로 계획되었다.

#### ① BIPV 적용을 위한 BIM기반 시뮬레이션

BIPV 설계 전 음영분석을 통한 설치 가능 면적 및 용량 검토를 위해서 4방위(동, 서, 남, 북)에 대한 건물의 3층부터 5층 높이에 해당하는 영역을 대상으로 일조시간 연속 5시간 충족 조건으로 BIPV 설치 가능 여부 시뮬레이션을 실시하였다. Table 4.와 같이 녹색으로 되어 있는 영역은 설치가 가능한 영역이며, 적색으로 표시되어 있는 영역은 설치가 불가능한 영역이다. BIM기반 시뮬레이션 결과는 BIPV 설치 가능 영역은 동측면 126.35m<sup>2</sup>, 서측면 155.01m<sup>2</sup>, 남측면 294.55m<sup>2</sup>로 분석되었고, BIPV설치가능 모듈 수량은 BIPV 모듈의 사이즈를 1,100mm × 1,300mm으로 가정하였을 때, 동측면 66EA, 서측면 99EA, 남측면 206EA로 분석되었다. BIPV 모듈의 용량을 100W로 가정하였을 때, 최대 설치용량은 동측면 8.84kW, 서측면 10.84kW, 남측면 20.6kW로 분석되었다.



Fig. 7. Schools before BIPV application



Fig. 8. Schools after BIPV application

#### ② 수평과 수직적 특징의 입면 BIPV 디자인

BIM 시뮬레이션 결과에 의해서 설치 가능 면적과 설치 가능 용량을 산정하여 디자인 및 설계에 반영하였다. 남측면의 식생부분의 음

Table 4. BIM-based pre-simulation

Direction	Results of elevation simulation analysis		
East Side		Module size	1,100mm × 1,300mm
		Module output	100W
		Installable area	126.35m <sup>2</sup>
		Module quantity	66EA
West Side		Module size	1,100mm × 1,300mm
		Module output	100W
		Installable area	155.01m <sup>2</sup>
		Module quantity	99EA
South Side		Module size	1,100mm × 1,300mm
		Module output	100W
		Installable area	294.55m <sup>2</sup>
		Module quantity	206EA
		Installable capacity	20.6kW



Fig. 9. Design and area of BIPV in the facade of the south of middle school

Table 5. BIPV installation capacity for middle schools in Seoul

Color exterior wall BIPV	Division		Pmax (W)	Quantity	Total Output
	Size(mm)	Color			
	1,843 × 870	Gray	244.4	27EA	6.598[kW]
	1,842 × 705		193.3	52EA	10.051[kW]
	1,100 × 1,600	Blue	259.6	4EA	1.038[kW]
Total				83EA	17.689(kW)



Fig. 10. Gray color module



Fig. 11. Blue color module

영으로 3~5층 전면부에 외벽형 컬러 BIPV를 적용 영역으로 설정하였다. 스펠드럴의 연속된 패턴을 통해 선적 요소를 강조하고 모던함을 강조하기 위해 무채색 그레이(Gray)계통 색상을 베이스컬로 사용되었고, 액센트컬러를 사용하여 색 대비를 통해 단조로움을 해소하고 17.7kWp의 용량으로 디자인 되었다. Fig. 9.와 Table 5.와 같이 스펠드럴 부분은 무채색 그레이 계통의 모듈을 적용하였고, 액센트 컬러로 블루 계통의 모듈을 적용하였다.

2) 충북 진천고등학교 BIPV 적용사례 분석

충북 진천군 진천읍에 소재한 공립 고등학교이다. 1976년에 설립



Fig. 12. School facade before BIPV application



Fig. 13. School facade after BIPV application

Table 6. BIM-based pre-simulation

Direction	Results of elevation simulation analysis		
East Side		Module size	1,100mm × 1,300mm
		Module output	100W
		Installable area	57.59m <sup>2</sup>
		Module quantity	41EA
		Installable capacity	4.03kW
West Side		Module size	1,100mm × 1,300mm
		Module output	100W
		Installable area	103.41m <sup>2</sup>
		Module quantity	73EA
		Installable capacity	7.23kW
South Side		Module size	1,100mm × 1,300mm
		Module output	100W
		Installable area	420.27m <sup>2</sup>
		Module quantity	330EA
		Installable capacity	32.89kW



Fig. 14. Design and area of BIPV application in the facade south of high school

되어 본관동, 별관동, 체육관 3개동 교지면적 14,762m<sup>2</sup>의 규모이다. 1970년대에 단순하고 정형화된 고등학교이다. 학교 입면의 특징으로 내부 공간이 단순하여 수평과 수직선이 반복적인 것이 특징이며, 본관동 주변의 별관동과 체육관 건물은 벽돌 패턴을 사용하고 있어 주변의 건물과 조화될 수 있게 벽돌의 색채와 패턴을 조화롭게 사용하여 입체적이고 액자형태의 디자인에 벽돌 색감을 적용하도록 계획되었다.

① BIPV 적용을 위한 BIM기반 시뮬레이션

충북지역의 고등학교 BIM기반 시뮬레이션 결과는 Table 6.과 같이 BIPV 설치 가능 영역은 동측면 57.59m<sup>2</sup>, 서측면 103.41m<sup>2</sup>, 남측면 420.27m<sup>2</sup>로 분석되었고, BIPV설치가능 모듈 수량은 BIPV 모듈의 사이즈를 1,100mm × 1,300mm으로 가정하였을 때, 동측면 41EA, 서측면 73EA, 남측면 330EA로 분석되었다.

BIPV 모듈의 용량을 100W로 가정하였을 때, 최대 설치용량은 동측면 4.03kW, 서측면 7.23kW, 남측면 32.89kW로 분석되었다.

② 입체적 특징을 강조한 입면 BIPV 디자인

BIM 시뮬레이션 결과에 의해서 설치 가능 면적과 설치 가능 용량을 산정하여 디자인 및 설계에 반영하였다. 학교 입면이 슬라브 라인을 따라 수평적 요소가 강조되어있는 디자인이다. 이러한 수평적이고 단조로움을 수직적 요소를 형태적 포인트로 계획하고, 벽돌의 색채와 패턴을 조화롭게 사용하여 디자인 되었다.

14.40kWp 용량으로 디자인 되어 Fig. 14.와 Table 7.과 같이 벽돌 색채의 느낌이 날 수 있게 베이지 컬러와 브라운 계열, 어두운 다크 네이비 색상을 기본 색상으로 정하여 모듈을 적용하였다.

Table 7. BIPV installation capacity

	Division		Pmax (W)	Quantity	Total Output
	Size(mm)	Color			
Color exterior wall BIPV	385 × 385	Gray	13.69	79 EA	1.081[kW]
		Wine	14.22	97 EA	1.379[kW]
		Terracotta	12.44	21 EA	0.261[kW]
	265 × 785	Gray	13.62	4 EA	0.054[kW]
		Gray	20.99	10 EA	0.209[kW]
	385 × 535	Wine	19.51	14 EA	0.273[kW]
		Gray	29.45	134 EA	3.946[kW]
		Wine	26.78	205 EA	5.489[kW]
	385 × 785	Terracotta	24.08	58 EA	1.396[kW]
		Beige	26.76	16 EA	0.428[kW]
Total				638 EA	14.40(kW)



Fig. 15. A physical image of a brick-colored color module

3) 충남 성환초등학교 BIPV 적용사례 분석

① BIPV 적용을 위한 BIM기반 시뮬레이션

충남지역의 초등학교 BIM기반 시뮬레이션 결과는 Table 8.과 같이 BIPV 설치 가능 영역은 남동측면 42.69m<sup>2</sup>, 남서측면 46.11m<sup>2</sup>, 정남측면 65.65m<sup>2</sup>로 분석되었고, BIPV설치가능 모듈 수량은 BIPV 모듈의 사이즈를 1,000mm × 1,500mm으로 가정하였을 때, 남동측면 24EA, 남서측면 29EA, 정남측면 35EA로 분석되었다. BIPV 모듈의 용량을 200W로 가정하였을 때, 최대 설치용량은 남동측면 5.68kWp, 남서측면 6.13kWp, 정남측면 8.73kWp로 분석되었다.

② 입체적 특징을 강조한 입면 BIPV 디자인

BIM 시뮬레이션 결과에 의해서 설치 가능 면적과 설치 가능 용량을 산정하여 디자인 및 설계에 반영하였다. 남측 정면부의 3곳은 큰 식생으로 인하여 음영이 4층까지 영향을 끼치기 때문에 스펀드럴의 연속된 패턴을 통해 선적 요소를 강조하기 보다는 매스의 입체감을 강조하고, 여러 색상을 적용하여 리듬감 있는 디자인을 설정하였다. 입체적인 돌출형 외벽형과 수직형으로 Fig. 18.과 Table 9.와 같이 빨강, 보라, 노랑, 초록(사이언)의 여러 컬러를 적용함으로써 생동감



Fig. 16. School facade before BIPV application

Fig. 17. School facade after BIPV application

Table 8. BIM-based pre-simulation

Direction	Results of elevation simulation analysis			
	Module size	Module output	Installable area	
Front West	1,000mm × 1,500mm	200W	46.11m <sup>2</sup>	
	Module quantity	29EA		
	Installable capacity	6.13kW		
	Front South	1,000mm × 1,500mm	200W	65.65m <sup>2</sup>
		Module quantity	35EA	
Installable capacity		8.73kW		
Front East		1,000mm × 1,500mm	200W	42.69m <sup>2</sup>
	Module quantity	24EA		
	Installable capacity	5.68kW		

있는 학교의 모습을 표현한 것으로 18.829kWp의 용량으로 디자인 되었다.

3.6. 실증데이터 분석

1) 충북 진천고등학교 BIPV 발전량 분석

발전량 모니터링 기간은 Fig. 20.과 같이 2021년 1월~2021년 11월 까지 11개월 간 진행되었으며, 총 8,370kWh가 발전되었다. 설치된 BIPV 모듈의 제품 단위면적당 발전량은 79kWh/m<sup>2</sup>이며, 발전 효율은 10%이다. 실증 모니터링 데이터에 의한 단위면적당 발전량은 58kWh/m<sup>2</sup>이며, 발전 효율은 7%이다. 이러한 차이는 설치각도가 입면 90도로 설치된 것과 BIPV 모듈이 컬러 모듈이기 때문에 차이가 있다. 발전량은 일사량이 감소함에 따라 감소하는 패턴을 보였으며, 5월~8월 발전량이 감소하는 부분에는 하절기 장마와 온도 상승으로 인한 발전량 저하 등으로 기인하는 것으로 판단된다.

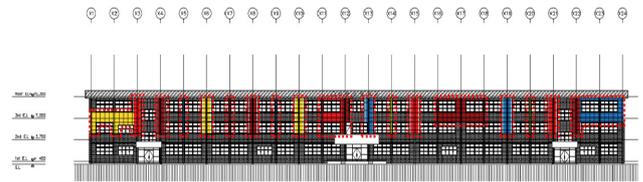


Fig. 18. Design and area of BIPV in the southern facade of elementary school

Table 9. BIPV installation capacity

Color exterior wall BIPV	Division		Pmax (W)	Quantity	Total Output	
	Size(mm)	Color				
Color exterior wall BIPV	1,400 × 1,000	Red	216.98	15 EA	3.255[kW]	
	705 × 1,695		170.17	4 EA	0.681[kW]	
	1,400 × 1,000	Purple	26.11	18 EA	3.890[kW]	
	705 × 1440		137.94	12 EA	1.655[kW]	
	300 × 1440		33.44	6 EA	0.201[kW]	
	1,400 × 1,000	Yellow	196.00	10 EA	1.960[kW]	
	1,025 × 1,420		190.49	8 EA	1.524[kW]	
	1,025 × 380		46.81	4 EA	1.872[kW]	
	1,400 × 1,000	Blue Green	224.96	8 EA	1.800[kW]	
	300 × 2,010		31.69	4 EA	0.127[kW]	
	995 × 1,320		232.97	8 EA	1.864[kW]	
	Total				97 EA	18.829(kW)



Fig. 19. A physical image of a brick-colored color module

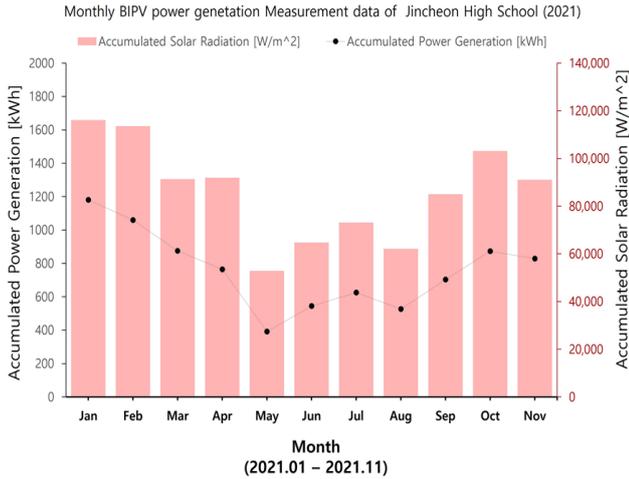


Fig. 20. Monthly BIPV power generation measurement data of Chungcheongbuk-do province

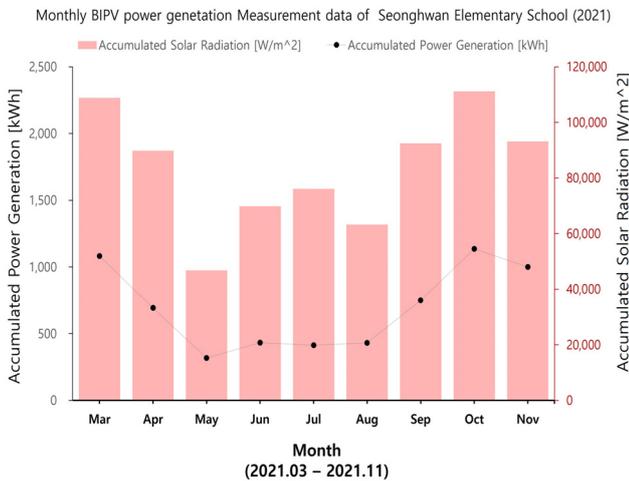


Fig. 21. Monthly BIPV power generation measurement data of Chungcheongnam-do province

2) 충남 성환초등학교 BIPV 발전량 분석

발전량 모니터링 기간은 Fig. 21.과 같이 2021년 3월~2021년 11월 까지 9개월 동안 진행하였으며, 총 6,257 kWh가 발전되었다, 설치된 BIPV 모듈의 제품 단위면적당 발전량은 98.63kWh/m<sup>2</sup>이며, 발전 효율은 12%이다. 실증 모니터링 데이터에 의한 단위면적당 발전량은 56.72kWh/m<sup>2</sup>이며, 발전 효율은 7.1%이다. 충북지역 고등학교와 비슷한 수치와 패턴을 나타내었다.

3.7. 에너지 생산 효과 분석

입면효과 등 복합적인 기능을 수행하는 BIPV에 대한 경제효과 분석을 위해서는 단순히 초기투자비나 에너지 생산효율 분석이 아니라 기술, 기능, 심미성 등 요인들을 포함한 전 생애주기에 대한 종합적인 평가가 필요할 것이다. 본 연구에서는 BIPV적용을 통한 학교 입면의 개선 조건과 함께 전기사용량과 비용 등 일차적인 경제효과에 대해 분석하였다. 초기투자비 분석을 포함한 전 생애주기에 대한 종합적인 경제성 분석은 다른 연구를 통해서 가능할 것이다. 본 연구에서는 분석사례 3개의 학교 중 대표적으로 충북 진천고등학교 사

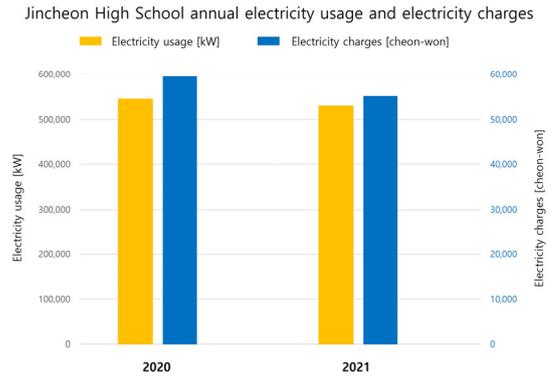


Fig. 22. Comparative analysis of annual energy usage and electricity bills

례를 BIPV 설치 전과 후의 전기에너지 사용량과 전기세 요금의 절감 등에 대한 일차적인 경제적 효과 결과를 제시하였다. 해당 학교의 경우 계절에 따라 에너지 사용량 및 전기세 부분이 상이하고, 누진세와 부수적인 비용이 있기 때문에 태양광 설비가 설치되지 않은 2020년 1월~2020년 11월 까지와 BIPV가 설치 후 2021년 1월~2021년 11월 까지 태양광 설비를 운영한 에너지 사용량과 전기세를 비교분석한 결과 Fig. 22.와 같이 전기사용량은 2.8%의 절감 효과를 나타냈으며, 전기요금은 약 430만원 절감으로 약 7.3%를 절감한 것으로 분석되었다. 다만 이 데이터는 BIPV가 설치된 본관동이 포함된 학교 전체의 전기 사용량에 대한 비율이어서 전체적으로 낮게 나오지만 전기요금은 상당한 절감효과가 나타난 것으로 분석된다.

4. 결론

태양광패널 모듈의 표준화 지원을 위해 충남 성환초등학교, 서울 월계중학교, 충북 진천고등학교 건물에 나타나는 입면형태에 대한 조사결과를 바탕으로 BIPV를 적용할 수 있는 최적의 부분을 찾아내고 적용 부위별 크기를 도출하였다. 이들 학교들도 표준설계도의 영향으로 국내 학교에서 보편적으로 나타나는 수평적으로 길고 같은 형태가 반복되기 입면특성을 보이지만 각 학교에 적용되는 패널의 크기는 큰 차이가 나고 이는 결국 공사비의 증가와 설계적용의 어려움으로 연결될 수 있다는 점에서 이에 대한 표준화가 가장 중요한 전제조건이 된다고 볼 수 있다. 분석대상인 세 학교에는 디자인, 칼라, 패널크기 등의 가능성 분석을 위해 리모델링 설계 시 각각 다른 디자인과 칼라스킴이 적용되었다. 서울 월계중학교는 무채색 계열의 수평면에 엑센트 컬러가 사용되었다. 충북 진천고등학교는 기존 학교 입면 재료를 고려해서 벽돌 모양과 색상을 이용한 BIPV모듈이 적용되었다. 충남 성환초등학교는 여러 가지 색상과 입체적인 벽면형 BIPV 모듈을 적용하여 생동감있는 입면을 적용하였다.

기본적으로 BIPV에 대한 일부 건축관계자들의 인식에도 불구하고 학교건물 파사드 디자인의 개선효과와 함께 초기투자비는 제외하고 생산 효과 분석만 보았을때 전기사용량과 전기요금 등 경제성 부분에서도 일차적인 성과를 나타나는 것으로 분석된다. 학교시설 입면특성에 BIPV모듈을 활용한 디자인을 통해 에너지생산이라는 일차적인 기능수행과 함께 다양한 디자인 솔루션 개발을 통한 미적

수준 향상도 가능하다는 점을 확인할 수 있었다. 이러한 성능과 미적 통합 가능성과 함께 패널의 크기, 칼라 등에 대한 기술적 표준화와 설계단계의 사전 시뮬레이션지원 등은 학교시설의 기술적, 기능적, 미적 통합의 가장 중요한 전제조건이 될 것이다. BIPV패널의 표준화와 함께 BIPV시스템에 대한 정확한 정보제공, BIPV파사드의 성능향상과 합리적인 의사결정 지원을 위한 BIPV디자인프로세스 개발 등은 학교시설에 대한 BIPV시스템의 합리적 적용을 위한 중요한 전제조건이 될 것이다.

본 연구의 전제조건을 구체화할 수 있는 태양광패널 모듈의 최적화 방향, 색채성능에 대한 연구 및 전생애주기를 반영한 종합적인 경제성 분석 확대, 그리고 BIPV파사드의 성능 평가 등에 대한 구체적인 조건 도출은 후속 연구를 통해서 가능할 것이다.

## Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20223030010250)

본 연구는 2021학년도 청운대학교 학술연구조성비 지원사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

## References

- [1] Department of Energy, Building integrated photovoltaics, 2021.
- [2] 산업통상자원부, 건물일체형 태양광(BIPV) 산업생태계 활성화 방안, 2022. // (Ministry of Trade, Industry and Energy, Plan to revitalize the building-integrated photovoltaic (BIPV) industrial ecosystem, 2022.)
- [3] 조시은, 백선경, 방재성, 그린스마트미래학교를 위한 건축기획 개선방안 연구, 건축공간연구원, 2021, pp.17-22. // (S.E. Cho, S.K. Baek, J.S. Bang, Improving architecture planning for the green smart future schools program, Architecture & Urban Research Institute, 2021, pp.17-22.)
- [4] 이경우, 1960~70년대 서울시 초등학교 건축 표준설계도에 관한 연구, 한국산학기술학회논문지, 제9권 제6호, 2008.12, pp.1718-1725. // (J.W. Lee, A study on the standard drawings of Seoul elementary school architecture in 1960~70s, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 9(6), 2008.12, pp.1718-1725.)
- [5] J. Marchwiński, Aesthetic and functional aspects of BIPV - An architectural outlook, Technical Transactions, 120(1), 2023.
- [6] G. Callegari, E. Merolla, P. Simeone, Photovoltaic breakthrough in architecture, In: Arbizzani E et al., editors, Technological imagination in the green and digital transition, Switzerland: Springer, 2023, pp.325-332.
- [7] 송현준, 결정질 실리콘 컬러 태양광 모듈 기술 동향, 한국태양광발전학회지, 제5권 제1호, 2019, pp.38-45. // (H.J. Song, Crystalline Silicon Color Solar Module Technology Trends, Bulletin of the Korea Photovoltaic Society, 5(1), 2019.08, pp.38-45.)
- [8] 산업통상자원부, BIPV 설치·보급 활성화를 위한 수용성 제고 방안, 2018. // (Ministry of Trade, Industry and Energy, Measures to increase acceptance to activate BIPV installation and distribution, 2018.)
- [9] 전현우 외 3인, BIM기반 BIPV 건축 설계 환경 구축을 위한 프로그램 개발에 관한 연구, 생태환경건축학회지, 제18권 제1호, 2018.02, pp.71-82. // (H.W. Jeon et al., Development of BIM based BIPV architectural design Environmet, KIEAE Journal, 18(1), 2018.02, pp.71-82.)
- [10] 산업통상자원부, 신재생 에너지 핵심 개발 사업의 학교 건물일체형 태양광 제품 및 융합시스템 개발, 2019. // (Ministry of Trade, Industry and Energy, Development of school building-integrated solar power products and convergence systems for core new and renewable energy development project, 2019.)