



## BIM기반 BIPV 건축 설계 환경 구축을 위한 프로그램 개발에 관한 연구

### Development of BIM based BIPV Architectural Design Environment

전현우\* · 최규혁\*\* · 이승준\*\*\* · 박서준\*\*\*\*

Jeon, Hyun Woo\* · Choi, Kyu Hyeok\*\* · Lee, Seung Joon\*\*\* · Park, Seo Jun\*\*\*\*

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

\*\*Coauthor, Dept. of Research Institute, BIMS Co., Ltd., South Korea

\*\*\*Coauthor, Dept. of Energy Environment Technology Center, Korea Conformity Laboratories, South Korea

\*\*\*\* Corresponding author, Dept. of Architecture, Konkuk Univ., South Korea (hspk@konkuk.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** BIPV is a multifunctional composite system that combines solar PV technology into buildings, replacing the solar cells themselves with the exterior of the building. Accordingly, the field of architectural design should be the most important and original role. Although the architect plays an important role in integrating and managing the exterior of the building, focusing on the construction of the PV module, the composition of the building, the composition of the building and the optimal panel installation through the construction of the building and the feasibility analysis of the PV modules, the construction of the PV module, and the feasibility analysis of the building, the structure of the building, and the construction of the building. To overcome this, a collaborative system environment is needed to share and make decisions between each discipline to unify and manage each information in the architectural design phase. **Method:** In the architectural design phase, a collaborative system environment is needed to share and make decisions between each discipline to unify and manage each information. In that way, the empirical solar quantity data is a BIM design environment that supports the design of energy savings and energy production from the design stage to project energy savings and energy production. Architects of BIPV expect the BIPV industry to operate as a BIM environment where designers can easily design designs for the BIPV. **Result:** Development of a BIM application that provides a BIM application for optimal design alternatives and provides a BIM application for optimal design alternatives to each phase of the design, providing a uniform analysis of the design outputs of each phased design ① shadow analysis, ② power generation, ③ array design, ④ economic information, providing system.

#### KEYWORD

건물일체형태양광발전시스템  
건물정보통합모델링  
음영분석  
어레이설계  
발전량 예측 분석  
경제성 분석

Building Integrated Photovoltaic System  
Building Information Modelling  
Shading analysis  
array design  
Power generation analysis  
Economic analysis

#### ACCEPTANCE INFO

Received Oct 31, 2017  
Final revision received Feb 7, 2018  
Accepted Feb 12 Feb, 2018

© 2018 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

정부는 2017년 6월 석탄 화력 및 원자력 발전 중심의 발전 계획에서 벗어나, 신재생 에너지를 중심으로 하는 정책전환을 제시하고 있으며 국민 안전과 청정에너지 보급을 위해 2030년까지 기존의 석탄 화력 및 원자력 발전 에너지를 25% 수준으로 축소시키고 현재 4%대의 신재생에너지 비율을 20%까지 증진시키는 에너지 정책방향을 제시<sup>1)</sup>하는 등 정부 주도하에 지속적으로 보급을 장려하고 있다. 세계적으로도 신재생에너지원의 건축물 적용 방안에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 태양광, 태양열, 지열 등의 신재생에너지원이 많이 적용되고 있다. 이중 건축물에 적용되는 BIPV(Building Integrated Photovoltaic, 이하 BIPV) 시스템은 건물의 지붕 및 입면에 외벽마감

재를 PV 모듈로 대체하는 시스템으로서 전기 생산 이외의 건축물의 외장재로 사용될 수 있는 시스템이다. 또한 나대지가 부족하고 고층 건물이 많은 국내 환경에 가장 적합한 시스템으로 각광받고 있다.<sup>2)</sup>

한편 건축계획 및 설계 초기단계부터 반영되어야 하는 BIPV 시스템 설치의 모듈의 종류, 설치유형 및 설치여건 등에 따라 발전성능이 크게 달라지는 특성으로 인해, 전문적인 지식이 부족한건축가나 시공자들이 시스템 설치의 적정성을 판단하기에는 어려운 실정이다.<sup>3)</sup>

그 방안으로 건축설계자의 직관적 사고에 의한 설계보다는 설계 조건에 의한 프로그래밍으로 순차적 적용이 가능한 BIM(Building Information Modelling, 이하 BIM)과 융합하여 BIPV 설계 초기단계부터 외부 주변 환경 분석과 설치 면적에 의한 어레이설계 및 BIPV 시스템의 실증 데이터를 바탕으로 발전성능을 해석하고, 이에 따른 시스템의 적정성을 정확하게 판단하여 창의적으로 최적의

BIPV 설계 대안을 제시 할 수 있는 건축설계자 중심의 BIM기반 BIPV 건축 설계 환경 구축에 목적이 있다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 BIM을 활용하여 국내에 적합한 BIPV 시스템 확대를 위해 실증 데이터를 적용하여 발전성능의 신뢰성을 검증하고, BIM 설계단계에서 다양한 분야의 정보공유 및 협업을 할 수 있는 의사결정 시스템 개발에 초점을 맞추어 연구의 범위로 정하였다.

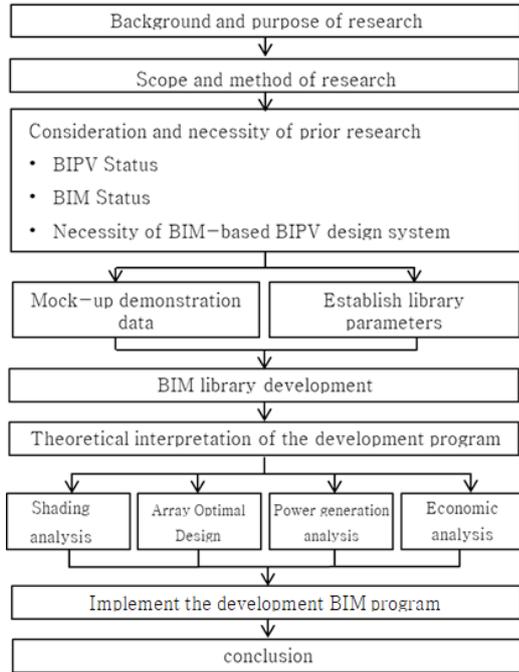


Figure 1. Scope and method of research

- 1) 선행연구 조사를 통하여 국내·외 기존 연구를 정리하고 BIPV 설계에서 중요 고려 사항과 본 개발 시스템의 적용 방향성을 수립하였다.
- 2) BIPV 설계 프로세스 중심으로 다양한 분야 간 정보공유를 위해 매개변수를 정립하고, Mock-up에서 실측한 일사량 데이터를 BIM 라이브러리와 연결 시켜 BIM기반 BIPV 라이브러리를 구축하였다.
- 3) BIPV 설계단계에서 에너지생산 및 경제성 향상을 위해 건물배치, 주변건물과의 음영관계, 설치 위치, 모듈 설비의 건물 직병렬 적용방식, 최적의 발전량 예측, 경제성 분석 등 이론적 계산식을 Autodesk Revit Program 오픈소스로 코딩하여 BIM 설계 환경 시스템을 구축하였다.
- 4) 구축된 BIM기반 시스템을 실제 신축 설계 프로젝트에 적용하여 음영분석, 직병렬 어레이설계, 발전량 예측, 경제성 분석의 방법론을 검증하고 결론을 도출하였다.

## 2. 선행연구 고찰 및 개발의 필요성

### 2.1. BIPV 국내·외 연구 현황

BIPV 설계에서 중요 고려 사항과 본 개발 시스템의 적용 방향을 수립하기 위해서 선행연구 중 건물용 태양광발전 시스템 성능 및 경제성 모듈설계와 건축설계 최적화와 관련된 국내·외 연구를 중심으로 조사·분석 되었다.

#### 1) 국내 연구 현황

이상문(2016)은 모듈 종류별, 설치각도별 발전특성에 대한 옥외 실증시험을 통하여 BIPV 모듈의 발전성능 분석결과를 건축적인 적용형태에 적합한 모듈의 종류를 검증하였다.

김법전(2015)은 전국 162개 지역의 기후분석 데이터베이스를 확보하여 지역별, 태양광모듈의 종류, 설치위치, 설치방법 등 다양한 설계조건에 따른 발전성능을 기존 상용 소프트웨어 PVsyst를 이용하여 그 타당성을 검증하였다.

김동수(2014)는 국내 6대 광역시(서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 제주)를 대상으로 각 경사각, 방위각별 연간 발전량을 도출하였다.

최원기(2016)는 계획단계에서 지역, 모듈의 종류, 설치 각도 및 방위각, 설치 유형 등에 따른 예상 발전량을 손쉽게 계산할 수 있는 약식 예측 기법 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다.

엄재용(2013)은 BIPV 시스템의 적용 확대를 위한 개선 방향 도출을 위하여 설치의무화제도를 통해 공공기관에 설치된 BIPV 시스템의 적용 현황 및 모듈 특성을 사례 조사를 통해 분석하였다.

윤종호(2008)는 국내 PV 시스템 사양 및 엔지니어링 데이터, 기상자료, 부하분포 등을 DB화하여 사용자의 입력조건을 간소화 하고, TRNSYS 해석을 기반으로 하는 태양광 시스템의 해석과 국내 실정이 반영될 수 있는 경제성 평가 모듈의 개발을 통해 건물용 태양광발전 시스템의 통합적인 해석이 가능한 계통 연계형 PV 성능해석 프로그램 개발 연구를 하였다.

Table 1. BIPV system related domestic research status

	Total annual power generation	Installable position	Module performance analysis	Energy efficiency	Economic analysis	Program simulation analysis
Lee, Sang-Moon (2016)	○		○	○		
Kim, Beob-Jeon (2015)	○	○		○		○
Choi, Won-Ki (2016)	○	○	○	○		
Kim, Dong-Su (2014)	○	○	○	○		○
Eom, Jae-Yong (2013)	○		○			
Yoon, Jong-Ho (2008)	○			○	○	○
Joh, Hahn (2006)	○	○		○	○	

조한(2006)은 국내 주거 유형별로 가능한 BIPV 적용방법을 비교 분석하여 유형별로 경제성 있는 적용방법을 제안하였다.

국내 연구는 BIPV 보급을 개선시키기 위한 방안으로 연구가 이루어졌으며 주로 건축물을 활용한 모듈의 발전 효율과 에너지효율, 음영 및 설치부위나 경사 및 방위각에 따른 발전량과 경제성 분석 위주로 진행되었다. 하지만, 태양광 발전 시스템 설계요소 중 음영분석, 어레이설계, 발전량 예측, 경제성분석의 시행 결과 데이터를 구체적으로 적용하여 건축 설계자 중심의 BIPV 태양광 발전 시스템 설계안

을 제시하는 연구는 미흡하였다. 또한, 국내에서 BIPV 시스템을 적용을 위해 실현가능한 신뢰성 있는 분석도구가 필요하고, 많은 연구에서 BIPV 시스템의 효율을 발전시키기 위해 실측데이터가 필요할 것으로 조사 되었다.

2) 국외 연구 현황

Aaditya(2017)는 건물 지붕에 설치한 BIPV가 건물 성능에 미치는 영향에 대해 실제 지붕면에 설치한 5.25kW급 BIPV 시스템 모니터링을 통해 연구를 진행하였다. 콘크리트, 벽돌, 유리 등과 BIPV의 열전도율 및 열관류율을 프로그램 시뮬레이션으로 분석해서 BIPV가 건물 부하에 많은 영향을 줄 것이라 판단하였으나, 정량적인 수치로 건물 부하 변화를 분석하지 못한 것에 한계가 있다.

P.Bonomo(2017)는 초기 설계 단계 건물에서 BIPV를 적용했을 때에 건물의 LCC를 연구하였다. 건물의 설치 부위별, 모듈 효율별 시뮬레이션으로 BIPV시스템의 효율에 따른 건물의 LCC를 분석하여 건설시장에 BIPV 적용 활성화 관점으로 그 가능성을 제시하였다.

Noguchi(2013)는 태양광 시스템을 통해 스코틀랜드 주택 건물에서 BIPV로 인한 건물 부하 평가에 대한 연구를 진행하였다. 건물과 통합된 BIPV 시스템은 추운 기후 지역에서는 난방 효과로 제로 에너지 하우스를 지원하는 효과적인 수단으로 평가하여 BIPV 경제적 효과에 대해 언급하였다.

Peng(2017)은 태양광발전 시스템을 사용한 제로 에너지 하우스의 설계와 적용 사례에 대하여 연구하였다. 패시브 디자인, 고효율 BIPV 시스템을 활용해서 건물 부하를 컨트롤함으로써 건물의 에너지 최적화 유지관리 시스템을 제안하였다.

A.Karthick(2017)은 반투명 셀 BIPV의 효율과 건물 부하에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 투과율이 다른 두 개의 모듈을 비교한 결과 셀의 투과도가 낮은 모듈이 발전 및 열 성능이 우수하고, 건물 부하에서 전력을 절약할 수 있는 것으로 연구되었다.

Fung(2005)은 홍콩 지역에서의 태양 복사의 최적화와 관련된 연구를 진행하였다. BIPV의 최대 효율을 위한 표면의 경사각과 방위에 대해 연구하여 홍콩 지역에서의 최적화 BIPV 설치각, 위치에 대해 언급하였다.

Kosoric(2011)은 싱가포르의 PV 실증 사이트에서 초기 설계 단계 태양광 적용을 위한 설계 방법을 제시하였다. 3단계로 구분된 설계 프로세스를 제시하고 8개의 설계 대안을 MCDM(Multi-Criteria Decision-Making) 방법으로 평가하였다.

Table 2. BIPV system related overseas research status

	Total annual power generation	Installable position	Module performance analysis	Energy efficiency	Economic analysis	Program simulation analysis
Gaathi Aaitya (2017)		○	○	○		○
P.Bonomo (2016)	○	○	○		○	○
Masa Noguchi (2013)	○		○	○	○	○
Changhai Peng (2017)	○		○	○		○
A.Karthick (2017)	○	○	○	○	○	○
Tady Y Y Fung (2005)	○	○	○		○	○
Vesna Kosoric (2011)	○	○		○		○

국외 연구들은 Table 2와 같이 모듈의 효율과 기술적 문제, 건물의 설치 부위별, 모듈 효율별 발전량 산출을 전제로 연구가 진행되었다. 건물에너지 뿐만 아니라 발전량 예측이 가능한 각종 에너지 분석 툴을 사용하여 건물의 외피, 지붕, 차양 형태 등 설치 위치 및 각도에 따라 발전량 시뮬레이션을 진행하고 발전량 예측에 의한 경제성분석을 진행하였다. BIPV 실제 건물에 적용하여 시스템과 데이터를 검증하는 연구가 대다수 수행되었다. 하지만, BIPV 시스템 설계를 위한 건축 통합적 설계 단계별 연구는 아직까지 진행되지 못한 것으로 나타났다.

2.2. BIM 적용 현황

국내·외 건축분야의 BIM기술 관련 정보화 도입은 지속적으로 증가하고 있으며, 기업들은 관련단체 및 업체들의 건설정보를 쉽게 이용할 수 있게 요구하고 있는 실정이다. 이에 정부는 BIM 적용 확대를 위해 BIM 설계기준 제·개정 및 사용 주체별·공사 단계별 가이드라인 마련을 추진 중에 있으며, 건축물의 성능을 사전 검증하는 체계를 유도하고 있다.<sup>4)</sup>

Table 3. BIM based energy performance analysis tools

Program	Data	Analysis element
IES/VE	Revit based (MEP)	● Thermal Load, Lighting, Sunshine Analysis, CFD, Indoor Illumination, Exhaust, Evacuation Analysis, LEED
Energy Plus	CAD based	● Thermal balance load, same time zone wind load, system plant calculation, HVAC system analysis
Green Building Studio	Revit based	● Web-based regional climate, building consumption energy, carbon emissions, estimates
Ecotect	CAD based	● Cumulative solar radiation, solar radiation analysis, airflow distribution, Air volume distribution, daylight rate. Indoor illumination, luminance analysis

국내 BIM기반 BIPV 성능분석 활용도구로는 Table 3과 같이 건물 외관 최적의 설치위치를 찾아내고 열 부하, 빌딩소모에너지, 실내조도와 휘도 등을 분석하여 건물에너지 절감효과가 있는지를 판단하는 기준으로 활용되고 있다. 그러나 정밀한 환경 분석을 위해서는 표준기상자료가 요구되지만 분석도구 프로그램에서 제공되고 있는 국내의 표준기상자료는 일부지역에 불구하며 대부분의 지역은 추정 데이터로서의 효용성만 갖고 정확성 및 신뢰성 검증이 어려워 표준화된 에너지 성능 분석도구로서 활용하기는 어렵다. 또한 BIM활용시 각 요소 기술 및 기법과 관련한 라이브러리가 제한적이다. 이는 정보 및 업무의 통합을 목적으로 하는 BIM이 효율적으로 구현되지 못하고 있다는 것이다. 건설사 및 설계사를 대상으로 한 Building SMART KOREA의 설문조사에 따르면 국내 BIM 도입의 어려움 및 저해원인으로 대상자 66% 이상이 BIM 라이브러리 및 콘텐츠 부족을 꼽았을 만큼 라이브러리 구축이 더딘 실정이다.<sup>5)</sup> 현재 BIPV 시스템에 대한 BIM 라이브러리는 존재하지 않기 때문에 분석/시뮬레이션 도구와 상호호환이 불가능하여 정확한 에너지 성능 분석이 어렵다.<sup>6)</sup>

4) “제6차 건설기술진흥기본계획”, 국토교통부, 2017.12  
 5) 이의범, 김동현, “표준 BIM 라이브러리 활성화를 위한 객체분류체계 및 속성정보 구축방법에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제3권 제12호, 2015.12

### 3. BIM기반 개발 프로그램의 기본구조 및 라이브러리 개발

#### 3.1. BIM기반 설계 환경 프로그램 기본구조

BIM 기반 BIPV 설계 환경은 BIM 모델의 라이브러리 매개변수로부터 산출에 필요한 모든 정보를 불러들여 각 부재에 해당되는 계산 데이터를 산출하는 방식이다. 라이브러리로 이루어진 BIM 모델에서 데이터를 자동으로 추출할 수 있는 방법론의 개발과 BIPV설계 프로세스 업무를 전산화함으로써 통합 설계 자동화시스템의 특징을 가지고 있다.

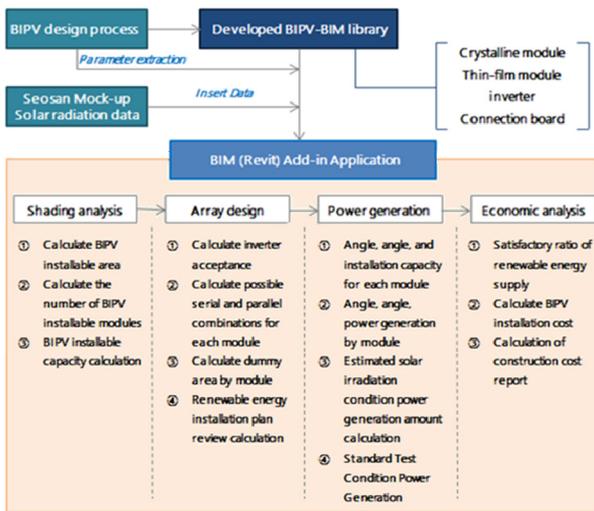


Figure 2. Structure of Development Program

기존 이승연(2017)연구의 BIPV 설계 프로세스를 바탕으로 라이브러리 매개변수를 정립하여 BIPV 지식정보의 연계적 정보교환으로 설계자와 각 주체간의 혼선을 방지할 수 있다. Mock-up의 실증 데이터를 라이브러리 매개변수와 연동시켜 기획설계 단계 때부터 신뢰성 높은 데이터로 조기협업과 최적의 설계안을 도출할 수 있다.

#### 3.2. 실증데이터 수집 개요

국내 환경의 다양한 변수에 따라 효과적으로 발전량을 예측하기 위해 지역별 방위 및 경사각에 대한 연중 적산 일사 획득량의 상대적 성능 비교 데이터 수집이 필요하다. 따라서 Mock-up에서 수집되는 실제 발전량과 설치 지역의 위도, 경도 조건 및 기상데이터에 근거한 환경조건을 기반으로 발전량 산출 및 비교분석을 실시하여 타당한 발전량을 예측할 수 있는 기법을 정립하고자 충청남도 서산시 대산읍 독곶리에 실증 사이트를 선정하였다. Mock-up 시험동의 건물규모는 바닥면적 210㎡, 가로 18.4m×세로 13m×높이 7m, BIPV 모듈은 남쪽 방향을 중심으로 동, 서향 5면에 걸쳐 설치하였으며, 각도는 90도, 75도, 30도, 15도, 3도로 구성되었다. 태양광 모듈은 총 120장(결정질-160W : 60장, 박막-100W : 60장)으로 실제 건물에 적용되는 형태로 제작하여 설치하였다.



Figure 3. Seosan Area Mock-up



Figure 4. Monitoring screen

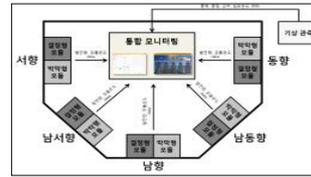


Figure 5. Mock-up floor plan



Figure 6. Mock-up section

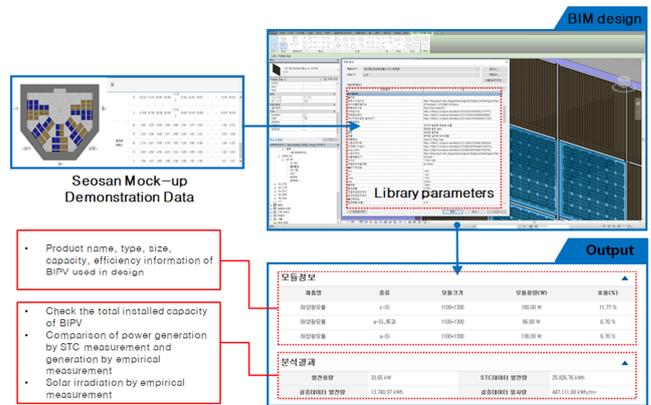


Figure 7. Linking libraries and systems

#### 3.3. BIM 라이브러리 매개변수 정립

BIPV 시스템을 효율적으로 설계하고 관리하기 위해서는 우선적으로 정확한 정보를 BIM 라이브러리에 입력할 수 있도록 매개변수 정보항목과 매개변수 분류에 대한 정립이 필요하다. BIPV 시스템의 정보모델 측면에서 매개변수는 구성부재들의 형상과 성능 데이터 추출관계 등의 상관관계를 연결해 주는 중요한 인자의 역할을 한다. 근본적인 차이는 과거 2D CAD가 제공할 수 없었던 여러 장점을 사용자가 사용할 수 있는 매개변수를 통해 제공하는 것이다.

여기서 BIPV 시스템 BIM 라이브러리 매개변수라 함은 자재의 모듈 구성부품과 사양, 프레임 구성, 자재정보, 전기적 성능, 건축성능, 물리적 성능, 부자재 사양, 가격정보 등 BIPV 시스템을 구성하는 전문 정보를 뜻한다. 설계자 중심의 BIM 정보의 효율적인 사용 및 관리와 정확한 정보를 라이브러리 매개변수에 입력하기 위해서 선행연구의 이승연(2017) 연구 결과에 BIPV 설계 프로세스 중심의 정보제공 방법으로 BIPV 설계 프로세스 현황 조사를 실시하였다. BIPV 건축 설계 프로세스를 바탕으로 BIM 기반의 BIPV 설계 프로세스를 BIPV 설계 단계별로 건축 설계자가 필요로 하는 정보 및 관련 업무를 조사·정리하여 각 단계별 결과물을 기술한 토대로 BIM 라이브러리 매개변수항목과 매개변수분류에 대해 Figure 8과 같이 정립하였다. 이 매개변수

6) 정수진 외, "건물일체형 태양광발전(BIPV)시스템 설계를 위한 BIM 활용에 관한 연구", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2011.11.

7) 이승연, "BIM 기반 BIPV 설계 프로세스 구축에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 계획계 제33권 제4호, 2017

Table 4. BIM parameters in BIM based BIPV process

Configure parameters	Enter an element
<b>Power generation analysis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basic calculation formula according to basic specification of module</li> <li>Calculation formula by Mock-up data</li> </ul>
<b>Economic analysis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>New and renewable energy supply duty ratio = New and Renewable Energy Output / Estimated Energy Usage × 100</li> <li>Estimated energy usage = total building area × unit energy consumption</li> <li>Correction factor by application × Area coefficient</li> <li>New and renewable energy production volume = installation scale by source × Unit energy</li> <li>Production amount × correction factor</li> <li>Break-even point calculation (initial investment cost, annual power generation cost, Cost of replacing exterior materials, cooling / heating energy cost per year)</li> </ul>
<b>BIPV installation basic rules</b>	Installation Specifications
<b>Legal review</b>	New Energy and Renewable Energy Development Promotion Act Regulations on support for renewable energy facilities, etc.
<b>Solar cell characteristics information</b>	Module test report, module specification information, supplementary material specification information
<b>SI Company Information</b>	Model name, manufacturer, manufacturer's phone number, manufacturer URL, module insulation configuration Frame configuration, installation cost
<b>Materials and Finishes</b>	Glass material, frame material
<b>Module Information</b>	Characteristics, function, application, product shape, test report, module product price
<b>Building performance</b>	Power generation, efficiency, module configuration, specification of auxiliary materials, heat transfer rate, permeability, details a Information
<b>size</b>	Vertical bar Vertical length, vertical bar thickness
<b>Estimation Factor</b>	Material cost, labor cost, unit cost
<b>Material Information</b>	Module insulation construction, double layer glass design. Frame composition

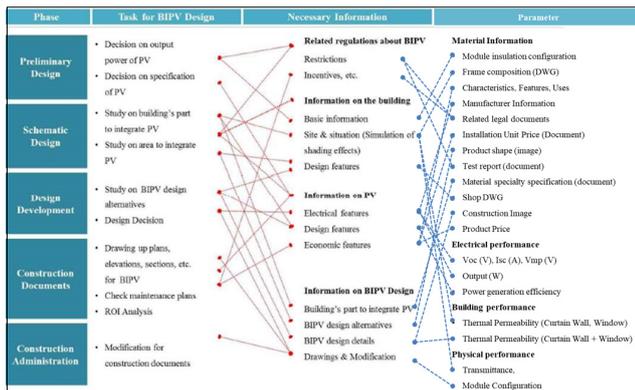


Figure 8. Establishment of parameters by the design process

는 DB로 정의하여 여러 분야에서 데이터를 활용할 수 있는 기회를 제공하며, 작성된 BIM 데이터를 기반으로 설계에 반영된 BIPV정보를 신속하게 확인함으로써 설계업무를 보다 효율적으로 수행할 수 있는 환경을 구축하여 각 주체간 통일된 정보를 제공할 수 있다.

BIPV 정보는 법규, 설계, 시공의 문서파일이나 내용을 확인할 수 있으며, PV 관련 정보는 시험성적서, 자재 특기 시방서, Shop DWG 등의 PV SI업체로부터 획득하는 공식 문서로 구성하였다. 이러한 외부

Table 5. BIPV BIM library construction contents

**About BIM library parameters**

- c-si (Crystal form)**: System Family, Adjustable size freely, Loadable Family (1Panel, 2Panel, 4Panel)
- a-si (thin film type)**: System Family, Adjustable size freely, Loadable Family (1Panel, 2Panel, 4Panel)
- 3D shape**: 3D models of panels.
- elevation**: Elevation views of panels.
- Floor plan**: Floor plan views of panels.
- Level of detail (low, medium)**: Low and medium detail views.
- Detail Level (High)**: High detail view.

**Output quantity of module**

**The size of the frame, material**

**Inverter, connection panel, electrical performance**

DB와의 연계를 통하여 불필요한 업무량을 줄일 수 있다. 또한, 실증 일사량 데이터에 의한 월간, 연간, 각도별, 방위별에 대한 발전 성능을

예측 확인할 수 있도록 실증데이터 매개변수 입력 창을 추가하였다.

### 3.4. 라이브러리 개발

국내의 BIPV는 건물의 창호(커튼월)와 지붕에 적용하는 형태가 90% 이상을 차지하고 있다.<sup>8)</sup> 본 연구에서의 BIPV 라이브러리 구축은 BIPV 시스템의 대부분을 차지하는 G-to-G type의 복층형태 모듈을 대상으로 구축하였으며, 결정질(c-Si)과 박막형(a-Si)의 두 가지 태양전지를 대상으로 구축하였다. 부자재는 모듈 프레임 1종, 인버터(변압기형, 무변압기형) 6종, 접속반(변압기형, 무변압기형) 8종을 구축하였다.

BIPV 라이브러리는 업체정보, 성능정보, 견적정보의 연계자동화를 통하여 건축설계자의 업무 효율성과 신뢰성을 향상 시켜줄 뿐만 아니라 변화하는 정보를 실시간으로 반영할 수 있어, 참여자들과의 의사소통 및 의사결정에서 중요한 역할을 하게 된다. BIM기반 BIPV 라이브러리 개발의 체계화는 각 주체간의 BIPV 시스템에 대한 이해와 제품에 대한 신뢰도를 높임으로써 BIPV설계의 완성도를 향상시킬 수 있다.

## 4. BIM 기반 개발 프로그램의 이론해석 및 타당성 검증

### 4.1. 개발 프로그램의 기본 개요

본 연구에서 BIM 기반의 개념은 Autodesk Revit 프로그램 닷넷 기반의 오픈소스를 사용한 Application Programming Interface (이하 API)개발로 다양한 BIM 건축정보데이터를 활용하는 것이다. 개발 프로그램은 BIPV 이론적 분석 알고리즘과 Autodesk Revit 오픈소스를 코딩하여 시스템을 구축하였다. 건물에 설치될 BIPV의 최적 설계 대안을 찾아내고 발전성능과 경제성 분석을 하기 위해 개발된 BIM 저작도구의 Add-on 형식의설계 응용 프로그램이다. 프로그램은 BIM모델로부터 계산에 필요한 데이터를 직접 추출하여 계산 결과를 산출하며, BIPV 부재정보의 체계화와 디지털 기반의 부재 정보를 구축하고, 실증 일사량 데이터에 의한 예측 산출 알고리즘을 연결시켜 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

#### 1) BIM 프로그램의 개발 화면구성

Figure 10은 Autodesk Revit 프로그램의 인터페이스 상에서 BIPV 설계 환경 분석 기능이 구현된 BIM Add-on 프로그램 초기화면을 나타낸 것이다. Revit 인터페이스 상에 개발 프로그램 실행 기능이 추가되어 있으며, BPMS-BIPV 기능을 클릭하면 태양광발전시스템을 분석할 수 있는 입력 정보창이 생성된다.

초기화면은 ‘메뉴바’와 하단의 프로젝트창으로 구성되며 시스템 설계와 데이터의 입출력 등 모든 작업이 이곳에서 이루어진다. 분석하고자 하는 PV 시스템은 하나의 프로젝트로 정의되며, 시스템 설계를 위한 데이터입력에서 해당지역 기상자료 분석, PV설계분석, 분석 예측, 도서 작성까지 모든 작업이 단일 ‘프로젝트 창’을 통해 이루어진다. ‘프로젝트 창’은 ‘시스템 입력’과 ‘음영분석’, ‘어레이설

계’, ‘발전량 예측’, ‘경제성 예측’, ‘도서 내보내기’ 등 6개의 탭(화면)으로 구성된다. ‘시스템 입력’이 완료되고 시뮬레이션이 종료되기 전까지 각 기능의 결과는 유지하게 되며, 시스템 해석이 완료되면 계산결과는 DB의 데이터베이스 파일로 저장된다. DB파일은 보고서 형태로 제공되어 각각 참여자들이 공유할 수 있게 된다.



Figure 10. Initial screen of BIM-based BIPV design application

#### 2) 설계 프로젝트 검증 건물의 개요

적용 대상건물은 충청북도 진천군 충북혁신도시 내 신축 실험시설로 연면적 7,720.48㎡ 규모로 외벽형에 적용할 수 있는 박막형, 결정형 모듈로 설치용량은 33.652kWp로 계획되었다.

Table 6. Information of research object building

Division	Description
Location	Chungcheongbuk-do Jincheon County
Using	New Building Experiment Facility
Gross floor area	7,720.48 m <sup>2</sup>
Solar Installation Power Generation	33.652 kWp

### 4.2. 4.2. 음영분석의 이론적 해석 및 타당성 검증

#### 1) 음영분석의 이론적 해석

BIPV의 발전성능과 관련된 또 다른 중요사항은 음영에 의한 발전 성능 저하이다. BIPV시스템을 건축물에 적용하기 위해서는 다양한 고려요소에 대한 검토가 있어야 한다. 제한된 면적에 더 많은 태양광 발전설비를 설치하는 것은 중요한 과제이며 설치공간에 대하여 효율적으로 설치할 수 있어야 한다. 따라서 BIM을 활용하여 BIPV 설치시 발생하는 음영에 대한 영향이나 일사량의 정밀 분석을 실시하여 BIPV 설치영역을 산정 할 수 있도록 분석기법을 반영하였다.

분석기법에는 설치위치에 대한 음영발생 여부를 정량적 계산이 가능할 수 있도록, 기존 Solar View 분석기법을 이용한 일조노출면적 계산 프로그램 개발에 대한 연구를 참고하여 계산 이론을 적용하였다.

#### ① 고도각과 방위각 계산

BIM 도구인 Revit환경에서 설계건물과 주변 환경의 음영발생 여부를 분석하여 BIPV 설치가능 여부를 판단하기 위해서는 건물이 위치한 지역별 태양의 고도각과 방위각을 하루 24시간을 기준으로 1시간 간격의 계산 값이 필요하기 때문에 Solar View 분석기법의 계

8) 이상문, "BIPV시스템의 건물적용 실증에 대한 구성요소별 발전성능 분석", 한국태양에너지학회 논문집, 2016

산식을 적용하였다. Solar View 분석기법에서 태양의 고도각과 방위각을 계산하기 위해서는 지구의 중심과 태양의 중심의 선이 지구의 적도와 이루는 각도인 적위를 식(1)에 낱짜를 대입하여 계산한다.

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(n+284)}{365} \right] \dots\dots\dots (1)$$

$n$  : 1월 1일을 기준으로 계산 대상일의 일수

식(1)에서 구한 적위를 식(2)에 적용하여 0시부터 24시까지의 태양의 고도각과 방위각을 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega) \dots\dots\dots (2)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha} \right)$$

$\alpha$  : 대지의 위도  
 $\delta$  : 태양의 적위  
 $\omega$  : 시각

② 방위각의 4분면 좌표 변환

식(1)과 식(2)에서 계산된 태양의 고도각과 방위각은 Revit환경에서 설계건물을 원점으로 하여 위치관계를 정의해야 한다. 이를 위해 고도각과 방위각 계산값을  $x, y, z$  좌표로 변환해야 하며, 변환 방법은 다음의 식(3)에 의해 Revit 환경에서  $x, y, z$  좌표로 변환해서 사용할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= \cos \alpha \times \sin \phi \\ y &= \cos \alpha \times \cos \phi \dots\dots\dots (3) \\ z &= \sin \alpha \end{aligned}$$

③ 객체 투영

객체 투영은 Revit환경에서 모델 입면과 주변 환경 요소의  $x, y, z$  값을 태양 일조에 의한 지표면에 발생하는 음영의 좌표값을 산출하여, 주변 환경 요소에 의한 음영 발생 여부를 판단하기 위한 것이다. 즉, 객체의 3차원 좌표  $x, y, z$ 를 2차원 평면좌표  $x, y$ 에 투영하여 그림자로 바꾸는 것으로, 태양의 고도각 벡터에 따른 투영점은  $z$ 값이 0이므로, 다음의 벡터 방정식(4)으로 구할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \text{객체의 좌표} : P_0(x_0, y_0, z_0) \\ \text{태양 고도각 벡터} : \vec{V}(a, b, c) \dots\dots\dots (4) \\ x = a \left( \frac{-z_0}{c} \right) + x_0 \quad y = b \left( \frac{-z_0}{c} \right) + y_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{객체의 좌표} : P_0(x_0, y_0, z_0) \\ \text{태양 고도각 벡터} : \vec{V}(a, b, c) \dots\dots\dots (5) \\ x = a \left( \frac{-z_0}{c} \right) + x_0 \quad y = b \left( \frac{-z_0}{c} \right) + y_0 \end{aligned}$$

④ 포함검사

포함검사는 객체 투영에 의해 투영된 임의의 점 P가 입면의 내부에 있는지 외부에 있는지 검사하는 것으로, 모델의 입면과 검사하러

는 주변 환경 요소의 점에서 그려진 연장선이 만나는 점의 개수가 홀수면 모델입면의 내부의 점이고 짝수면 외부의 점이라는 것을 이용하는 것으로 이를 이용하여 주변 객체가 분석면에 그림자를 유발하는지 여부를 판단할 수 있다.

2) 음영분석 개발 프로그램의 타당성 검증

Figure 11은 음영분석 개발 프로그램의 태양의 위치 정보와 프로젝트 지역의 방위각 고도각을 계산하기 위해 낱짜와 위치정보를 입력하는 창이다. 낱짜는 춘추분 중 추분 일을 적용하고 위치는 지역의 경도와 위도를 적용한다. 적용된 낱짜와 위치정보는 고도각과 방위각 계산식을 통해 0~24시까지 태양의 방위각과 고도각을 계산한다. 계산 결과에서 고도각 계산값이 음수(-)에서 양수(+)로 바뀌는 시간과 양수(+)에서 음수(-)로 바뀌는 시간을 통해 일출부터 일몰까지 일조시간을 확인할 수 있다.

Figure 12은 BIPV 설치 가능 영역을 분석하기 위해 입면을 설정하는 창이다. 건물의 입면을 설정하고 가장 일반적인 모듈 사이즈로 입면 그리드를 임의로 설정하며 모듈의 용량정보를 입력한다.

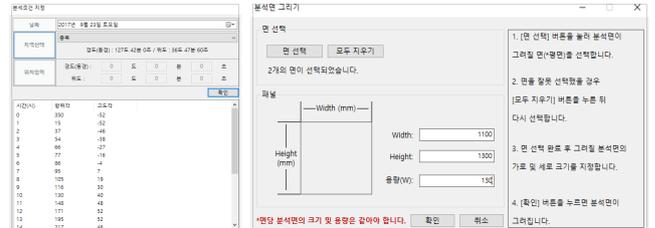


Figure 11. Places settings Figure 12. Analytical surface settings

Figure 13은 BIPV 설치 기준에 따른 분석 조건을 설정하는 창이다. 본 프로젝트에서는 태양광 일조 기준인 춘추분 5시간을 분석 조건으로 설정하였으며, 5시간 일조 조건을 만족하는 영역만 BIPV 설치가 가능하도록 분석된다.

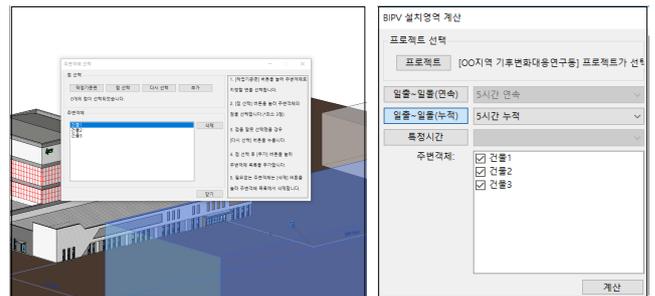


Figure 13. Shading element settings Figure 14. Setting analysis conditions

Figure 14은 건물 주변 음영 요소를 설정하는 창이다. 음영 요소 설정에서는 해당 프로젝트의 주변에 위치한 건물을 '건물1', '건물2', '건물3'으로 설정한다. 설정한 음영 요소는 4분면 좌표 변환식에 의해  $x, y, z$  좌표로 변환된다.

BIPV 설치 가능 분석 입면은 분석면과 음영 요소의  $x, y, z$  좌표값을 사용하여 포함검사 알고리즘으로 분석 전과 설치 조건을 만족하지 않을 때와 주변 환경에 영향을 받는 영역은 Figure 15과 같이 붉은

색 그리드라인으로 모델 입면상에 나타나게 된다. 설치 조건을 만족할 경우는 Figure 16과 같이 녹색 그리드라인으로 나타나게 된다.

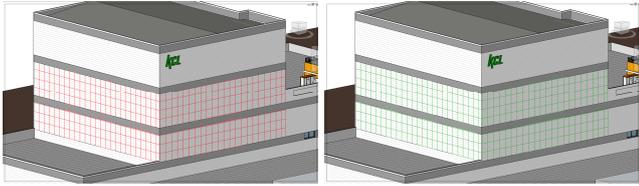


Figure 15. Before the elevation analysis Figure 16. After elevation analysis

Figure 17은 음영분석 단계에서 설정한 BIPV 설치 가능 분석면 입력정보와 분석 결과를 토대로 분석면의 BIPV 설치가능 영역과 용량을 자동 산출된다. 서측면과 남측면에 최대 설치 가능 합산 면적은 466.99㎡이며, 최대 설치가능 용량은 41.54kWp로 계산되었다. 따라서 33.652kWp로 계획한 설치 용량은 가능한 것으로 판단되었다.

프로젝트/분석면	영역(m <sup>2</sup> )	설치가능용량(kW)
OO지역 기후변화대...	456.99	41.54
서측면	243.36	22.12
남측면	213.63	19.42

Figure 17. Calculate Installable Capacity by Installable Area

#### 4.3. 4.3. 어레이 설계의 이론적 해석 및 타당성 검증

##### 1) 어레이 설계의 이론적 해석

건축설계자가 건축주의 의견을 수렴하여 BIPV의 설치 용량을 결정하는 단계로 BIPV 설치 가능한 영역에 적용할 BIPV종류를 결정하고 어레이설계로 인한 인버터, 접속반을 결정하는 중요한 단계로 통합설계의 효율성이 발휘되는 시기이다.

BIPV의 입면설계는 주변 음영분석에 의한 설치 가능면적과 설치 가능용량 산정의 결과에 따라 어레이설계에 있어서 복잡한 요소를 반영하여 시스템적인 설계가 진행되어야 한다. 시스템 구성요소인 인버터와 모듈의 전기적 속성 관계에 의해 모듈이 발전을 하지 못하고 입면 디자인을 위해서만 설치하는 더미 모듈이 발생하게 된다. 이러한 더미 모듈이 많이 발생할수록 BIPV 시스템의 발전 효율과 경제성이 떨어지기 때문에, 설계자는 모듈의 직병렬 배치를 계산하여 가장 효율적인 모듈 배치와 인버터를 선정하여 설계를 진행하여야 한다.9) 모듈의 직병렬 배치를 계산하는 방법은 모듈표면의 온도편차와 모듈의 용량, 전압 및 인버터 용량, 전압 등을 고려하는 계산식을 활용하였다.

9) 유권중, 태양광발전시스템 기술개요 및 현황, 한국에너지기술연구원, 2008.

##### ① 모듈표면 온도편차

모듈 표면의 온도편차는 모듈의 직렬 수를 계산하는데 사용되며 모듈 제품의 시험 조건 온도인 25℃와 설치지역의 온도를 비교해서 다음의 식(5)을 적용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{모듈의 최고온도편차}(\theta') &= 25 - \text{설치지역 최고온도} \\ \text{모듈의 최저온도편차}(\theta) &= 25 - \text{설치지역 최저온도} \end{aligned} \quad \dots\dots (5)$$

##### ② 직렬모듈 개수 계산

모듈의 온도편차를 사용하여 특정 인버터를 사용했을 때 모듈의 최대 최소 직렬 수는 다음의 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{최대직렬모듈개수}(N) &= \frac{V_{dc}}{V_{oc}} \times \{1 + (\beta \times \theta)\} \\ \text{최소직렬모듈개수}(n) &= \frac{V_{dc}'}{V_{mpp}} \times \{1 + (\beta' + \theta')\} \end{aligned} \quad \dots\dots (6)$$

여기서,  $\beta$  : 모듈의 개방전압 온도계수  
 $\beta'$  : 모듈의 운전전압 온도계수  
 $V_{dc}$  : 인버터 최고 입력전압  
 $V_{dc}'$  : 인버터 최저 입력전압  
 $V_{oc}$  : 모듈 개방전압  
 $V_{mpp}$  : 모듈 운전전압

##### ③ 병렬모듈 개수 계산

모듈의 직렬 구성에 따른 병렬 개수는 모듈의 전체 설치 면적, 단위모듈면적을 사용하여 다음의 식(7)으로 구한다.

$$\frac{\text{인버터 용량}(W)}{\text{모듈의 직렬수} \times \text{모듈의 최대출력}(W)} \quad \dots\dots (7)$$

#### 2) 어레이 설계 개발 프로그램의 타당성 검증

Figure 18, 19는 음영분석에서 산출된 설치 가능영역에 어레이를 구성할 PV 라이브러리 모듈을 선택하는 창이다. 박막형(c-Si) 모듈과 결정형(a-Si) 모듈로 전기적 성능, 건축적 성능, 물리적 성능, 부자재 정보, 제조업체정보를 라이브러리 매개변수에서 확인 할 수 있다. 설정한 모듈과 인버터에 탑재된 전기적 속성 정보는 어레이 계산식에 의해 최소 직렬부터 최대 직렬까지 모듈의 직병렬 조합과 더미영역 계산 및 접속반 채널 산정에 사용된다.



Figure 18. Setup module settings



Figure 19. Setup inverter settings

Figure 20은 어레이설계 결과이며, 객체 기반의 모델링을 통한 직병렬 어레이설계 분석에 의해 설치 용량, 투입예산, 신재생에너지 생산량, 예상 에너지 사용량, 신재생 에너지 생산량, 예상 에너지 사용량의 신재생 에너지 공급의무화 비율을 자동으로 산출 할 수 있도록 보고서 형태로 구성되었다.



Figure 20. Array Design Report

4.4. 발전량 예측의 이론적 해석 및 타당성 검증

1) 발전량 예측의 이론적 해석

BIPV의 발전 최대 효율을 위한 시스템의 설치 위치 결정에는 국내 지역별 방위 및 경사각에 대한 연중 적산 일사 획득량의 상대적 성능 비교 데이터 수집과 분석이 필요하다. 이에 본 연구는 발전량 예측을 위한 설계 다이어그램을 개발하여 나열하고자 하였으나, 모듈의 Isc, Voc, Pmax, Vpm, Ipm, FF 및 일사량, 습도, 온도, 풍향, 풍속 등 예측에 필요한 변수들은 건축설계자가 발전량 예측에 사용하기에는 각 변수에 대한 기상데이터와 제품 상세 사양서를 확인해야 하는 편의성 측면과 그로 인한 시간 소요가 많이 발생하는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 지역, 설치각도와 방위각, 모듈 효율 등을 보다 적은 변수를 사용해서 발전량을 예측할 수 있는 계산식을 도출하여 제시하고자 한다.

충남 서산지역의 Mock-up을 통해 모듈의 Isc, Voc, Pmax, Vpm, Ipm, FF 및 일사량, 습도, 온도, 풍향, 풍속 등을 측정하였으며, 이 DB를 구축하여 일별로 데이터를 누적하였다. 본 연구에서 발전량 산출을 위해 Mock-up에서 측정된 일사량 데이터를 월, 년 단위로 실증 일사량을 측정하였다.

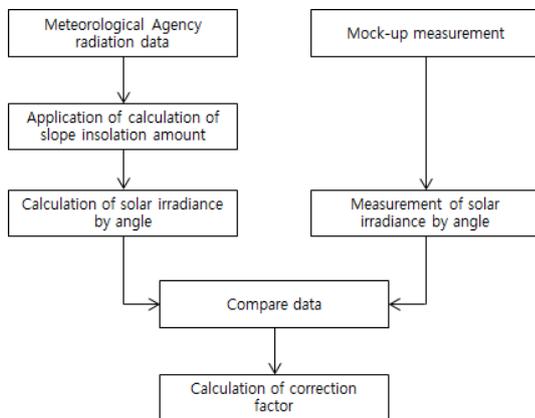


Figure 21. Calculation method of correction factor

측정한 일사량을 충남 서산 지역뿐만 아니라 전국에서 활용할 수

있도록 기상청 일사량 데이터를 경사면 일사량 이론식을 통해 계산한 결과값과 비교하여 보정계수를 산출하였으며, 산출 방법은 Figure 21과 같다.

보정계수 산출 과정에서 기상청 일사량 데이터를 적용한 경사면 일사량 산출식은 다음과 같다.<sup>10)</sup>

$$\text{경사면 일사량} = \text{직달일사량} + \text{천공일사량} + \text{지표면 반사일사량} [W/m^2] \quad (8)$$

여기서,

$$\text{직달일사} = G_{nb} \cdot \cos\theta$$

( $G_{nb}$  : 법선면의 직달일사,  $\theta$  : 경사면의 입사각)

$$\text{천공일사} = G_{hd} \cdot \frac{1 + \cos\phi}{2}$$

( $G_{hd}$  : 수평면 천공일사,  $\phi$  : 경사면의 경사각)

$$\text{반사일사} = \rho G_h \cdot \frac{1 - \cos\phi}{2}$$

( $\rho$  : 지면 반사율,  $G_h$  : 수평면 전일사량,  $\theta$  : 경사면의 경사각)

여기서 직달 일사는 대기의 산란 없이 태양으로부터 직접 지표면에 도달하는 태양복사량을 뜻하고, 천공 일사는 일사가 대기중의 입장에 의해 산란되어 천공전체로부터 복사하여 지면에 도달하는 일사를 뜻하며, 반사 일사는 직달 일사와 천공 일사가 지면으로부터 다시 반사되어 받는 일사를 뜻한다.

Table 7. Comparison of solar irradiance using MBE

Angle (°)	azimuth				
	east	south east	south	south west	west
3	6.8%	2.4%	3.3%	13.4%	3.9%
15	6.5%	3.4%	1.4%	4.7%	8.6%
30	6.2%	0.8%	-1.2%	-1.1%	5.6%
75	6.7%	-1.2%	-3.3%	1.1%	6.8%
90	7.6%	1.9%	-5.2%	-9.5%	8.1%

Mock-up 실증 데이터와 이론식 산출 데이터의 정밀도 비교분석을 위해 MBE(Mean Biased Error)를 사용하여 일사량의 오차율을 검토하였다.

실증 일사량의 경우 기간별 연속적인 측정되지 않아 전면적인 비교 분석이 어렵지만 측정 경향 파악 및 계절대별 측정수치를 비교해보았을 때, MBE의 경우 대부분 기준치인 ±10%를 만족함을 알 수 있었다.

일사량 예측식을 통해 산출된 일사량은 건축설계자가 쉽게 발전량을 예측할 수 있도록 도출한 실증 일사량에 의한 발전량 계산식에 활용하였다.

① 실증 일사량에 의한 방법 : 월간·년간 발전 가능량

$$E_{PM} = P_{AM} \times \left( \frac{H_{AM}}{G_s} \right) \times K \times A [kWh/\text{월 or } kWh/\text{년}] \quad (9)$$

10) 윤갑천, "건물의 일사에너지 예측을 위한 경사면 일사량 측정과 예측모델과의 비교 분석 연구", 태양에너지학회, 2012.

여기서,

- $P_{AM}$  : 모듈 총 설치면적[m<sup>2</sup>]
- $H_{AM}$  : 월 적산 일사량[kWh/(m<sup>2</sup>·월)] 혹은  
년 적산 일사량[kWh/(m<sup>2</sup>·년)]
- $G_S$  : 표준상태에서의 일사강도[kW/m<sup>2</sup>](=1[kW/m<sup>2</sup>])
- K : 모듈 효율(시험성적 평균 효율)
- A : 보정계수(0.78 적용)

② 표준시험 조건에 의한 방법 : 월간·연간 발전 가능량

$$E_{PM} = P_{AM} \times hour \times day \times K [kWh] \dots\dots\dots (10)$$

여기서,

- $P_{AM}$  : 모듈 총 용량[kW]
- hour : 발전시간(일평균 3.4 시간 적용)
- day : 발전일수(월 : 30일, 년 : 365일 적용)
- K : 모듈 효율(시험성적 평균 효율)

2) 발전량 예측 개발 프로그램의 타당성 검증

BIPV 설계 시 BIM활용에 있어서 효율성이 큰 부분은 환경성능 분석이다. 설계 단계에서 BIPV 시스템의 최대발전량을 이끌어낼 수 있도록 BIPV 라이브러리 매개변수에 조건입력 항목을 구성하여 사용자가 직접 입력 할 수 있도록 구성하였다. BIM 모델링에 적용한 라이브러리 매개변수 항목에 설치 각도는 90도, 설치방위는 각각 서측면과 남측면에 춘추분으로 설정하여 분석을 실시하였다.

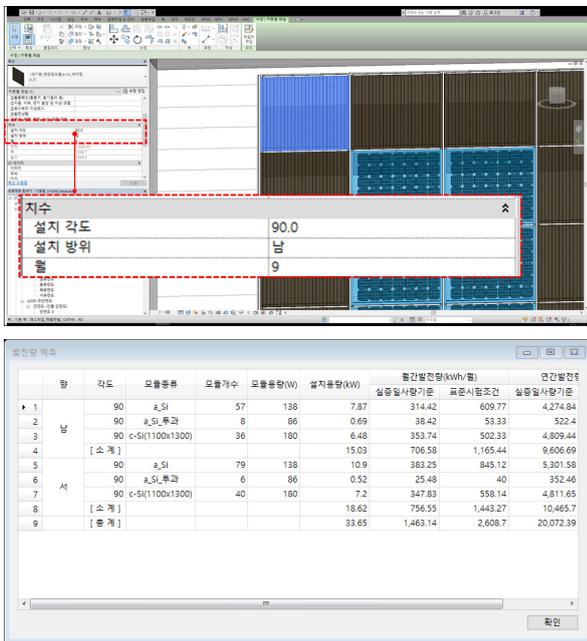


Figure 22. Confirmation of BIM environment power generation forecast result

BIM 환경에서 설치 방위와 각도별, 종류별 디자인에 따라 BIPV의 예상 발전량을 산출한다. 발전량은 BIM에 적용된 모듈 라이브러리의 향과 각도, 용량 매개변수 정보를 이용하여 실증 일사량 기준과 표준시험 조건의 월간, 연간 예상 발전량을 산출한다.

4.5. 경제성 분석의 이론적 해석 및 타당성 검증

1) 경제성 분석의 이론적 해석

BIM 기반 경제성 산출은 BIM 모델의 형상 정보로부터 설치비용 산출에 필요한 자재비, 시공비, 기타비용 등 Table 8과 같은 정보를 불러들여 각 부재에 해당되는 물량을 구하고 내역과 연계된 속성으로부터 초기투자비를 산출하는 것이라고 할 수 있다.

모듈의 종류, 설치유형 및 설치조건 등에 건물의 디자인에 따라 건물의 신재생에너지 공급의무 비율 충족 여부를 확인하고, BIM 라이브러리 객체가 가지고 있는 물량정보를 활용하면 복잡한 설계 또는 형상에 대하여 기존방법보다 훨씬 쉽게 정확한 물량 산출에 따른 초기투자비를 비교 분석하여 최적의 설계안을 도출하게 된다.

신재생에너지공급의무비율

$$= \frac{\text{신재생에너지생산량}}{\text{예상에너지사용량}} \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

Table 8. BIPV installation cost calculation item

division	Contents	unit
Material cost	Solar modules	sheet
	Solar inverter	inverter
	Photovoltaic connection board	face
Cost of construction	Electric work	unit
	Construction work	m <sup>2</sup>
	Double layer outer ration	sheet
Etc	Thin film module test report	unit
	transportation	unit
	Safety management fee	unit
	Pre-use Inspection	unit
	Supervision	unit

2) 경제성 분석 개발 프로그램의 타당성 검증

신재생에너지 공급의무 비율은 기획 단계에서 건물에 요구되는 비율과 BIM 모델 데이터에서 산출된 비율을 비교하여 충족 여부를 판단한다. 설치비용에 대한 항목은 주설비, 계통연계, 공사비, 인허가 비용으로 구분된다. 주설비 항목은 모듈, 인버터, 접속반 라이브러리의 변수 중 단가 정보를 바탕으로 자동 계산되며, 각 단가는 실제 제품 판매처의 가격으로 BIM 라이브러리에 입력되어 있다. 계통연계, 공사비, 인허가 비용 등 노무비나 경비 비중이 큰 항목은 시스템 상에 입력하여 개략적인 설치 비용 검토가 가능하게 된다. 또한, 각각의 BIPV 설계 디자인에 대한 신재생에너지 공급의무 비율과 설치 비용을 대안비교를 통해 검토하여 보다 경제적인 설계 건물을 선정할 수 있다.

1. 신재생에너지공급비율			
요구비율[%]	3	산출비율[%]	7.19
BIPV요구설치용량(kW)	29.98	BIPV산출설치용량(kW)	33.65
예상에너지사용량[kWh/yr]	5,053,948.12	신재생에너지생산량[kWh/yr]	363,411.31

구분	비용	
	[만원/kW]	[%]
주설비	163,978.87	100
계통연계	0	0
공사비	0	0
인허가/설계감리/감사	0	0
[합계]	163,978.87	100

신재생에너지공급비율	4.81%	6.93%	8.46%	6.61%	6.26%
초기투자비	110,031 원	163,979 원	132,118 원	194,901 원	152,640 원

Figure 23. Review installation costs

## 5. 결론

- 1) 건축설계자가 설계단계에서의 직관적 사고에 의한 설계보다는 설계조건에 의한 순차적 적용이 가능한 BIM을 기반으로 BIPV 에너지생산 및 경제성 향상을 위해 건물배치, 주변건물과의 관계, BIPV 설치위치, BIPV 설비의 건물적용방식, 기존 전기시스템과의 연계성 등 설계 단계별 추가적으로 고려해야 할 기술 요소를 보다 체계적인 시스템으로 분석할 수 있도록 BIM 설계 환경 시스템을 구성 하였다.
- 2) 개발된 BIM기반 BIPV라이브러리를 적용하여 BIPV 설계 시 설치 용량, 초기투자비, 신재생에너지 생산량, 예상 에너지 사용량의 신재생 에너지 공급의무화 비율을 자동으로 산출 할 수 있다.
- 3) 디자인 요구에 대응할 수 있도록 BIM이 지원하는 정보체계로부터 업무 프로세스를 단순화 시키고 효율을 향상시키는 메커니즘이 작동할 수 있어 경험이 없는 건축설계자도 국내 여러 지역의 다양한 설치 조건에 따른 발전량예측을 할 수 있어 설계 단계에서 빠르고 용이하게 판단할 수 있다.
- 4) BIM 모델에서 표준 시험조건 이론식의 일사량의 결과와 실측 일사량에 의한 설치각도, 설치 방향 별 발전량 비교결과 평균 약 21%의 오차율을 나타내며, 기울기에 따라 수평보다 수직 예측 시 오차가 증가함을 나타낸다.
- 5) 검증 건물의 BIM 모델에서 표준 시험조건 이론식의 일사량의 결과와 실측 일사량에 의한 설치각도 90°, 설치 방향은 남측으로 발전량 비교결과 평균 약 20%의 오차율을 나타내며, 기울기에 따라 수평보다 수직 예측 시 오차가 증가함을 나타낸다.
- 6) BIM기반 BIPV 라이브러리를 근거로 한 정확한 물량 산출은 견적을 위한 정확한 기준 자료를 제시하며, BIM을 기반으로 주요 자재 및 부재에 대한 발주 관리가 가능하고 이를 현장 공정과 연계하여 관리할 수 있다.

향후 연구에서는 장기간의 수집된 데이터를 바탕으로 발전 성능의 상관관계를 규명하고 신뢰성 높은 경제성 분석의 연구를 진행할 예정이다.

## Acknowledgements

본 연구는 2014년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가

원(KETEP)의 지원을 받은 연구 과제(과제번호 : 20143010011910)에 의하여 지원되었음.

## Reference

- [1] 이상문 외, BIPV시스템의 건물적용 실증에 대한 구성요소별 발전성능 분석, 한국태양에너지학회 논문집 36 (2), 2016.4, pp.53~63 // Lee Sang-Moon, A study on the performance of various BIPV modules applied in a real building demonstration, Journal of the Korean Solar Energy Society, Korea, Vol.36 (2), 2016, pp.53~63
- [2] 김법전 외, 건물일체형 태양광발전 시스템 성능평가 프로그램 개발, 한국생태환경건축학회 논문집 - KIEAE Journal, Vol.15 No.4 (통권 74호), 2015. 08 // Kim, Beob-Jeon, The Development of Performance Evaluation Program of Building Integrated Photovoltaic System, KIEAE Journal, Korea, Vol.15 (4), Aug. 2015, pp.85~90
- [3] 최원기 외, 지역 구분을 통한 약식 BIPV 발전량 예측 모델 개발, 태양에너지(한국태양에너지학회 논문집), Vol.36 (2), 2016. 04 // Choi Won-ki, The Simplified Pre-Estimation Model Development of a BIPV Generation Rate by the District Division, JOURNAL OF THE KOREA SOLAR ENERGY SOCIETY, Vol.36 (2), 2016. 04
- [4] 김동수 외, 건물적용 태양광발전시스템의 국내 지역에 따른 설치각도별 연간 전력생산량 예측에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 14 (1), 2014. 02, pp.67~74 // Kim, Dong Su, Annual energy yield prediction of building added PV system depending on the installation angle and the location in Korea, The International Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment 14 (1), 2014. 02, pp.67~74
- [5] 엄재용 외, 공공건물의 신재생에너지시스템 설치의무화에 따른 BIPV 시스템 모듈 현황 분석, 대한건축학회 논문집 - 계획계 29 (4), 2013. 4, pp.259~266 // Eom, Jae-Yong, The Status Analysis of BIPV System Module in Public Buildings Based on Obligation System of New & Renewable Energy, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design 29 (4), 2013. 4, pp.259~266
- [6] 윤동호, 건물용 태양광발전 시스템 성능 및 경제성 평가 프로그램 개발 연구, 한국태양에너지학회 논문집 제28권 (제1호), 2008.2, pp.1~8 // Yoon, Jong-Ho, Software Development on Power and Economic Analysis of Photovoltaic System for Building Application, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design Vol.28 (1), 2008. 2
- [7] 조한, 건물 통합형 태양광 시스템의 건축 디자인 적용 방법 연구, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.22 (8), 2006. 8 // Joh, Hahn, A Research on Building Integrated Photovoltaic System as Architectural Design Element in Residential Building Type, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design Vol.22 (8), 2006. 8
- [8] 이의범 외, 표준 BIM 라이브러리 활성화를 위한 객체분류체계 및 속성정보 구축방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 - 계획계 31 (12), 2015. 12, pp.79~90 // Lee, Eu-Beom, A Study on the Implementation Method of the Object Classification System and Property Information for Vitalizing Standardized BIM, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design 31 (12), 2015. 12, pp.79~90
- [9] 정수진 외, 건물일체형 태양광발전(BIPV)시스템 설계를 위한 BIM 활용에 관한 연구, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2011. 11 // Jeong, Soo-Jin, A Study on the Application of BIM for the Design of BIPV System, Korea Institute of Construction Engineering and Management (KICEM), 2016. 11
- [10] 이승연, BIM 기반 BIPV 설계 프로세스 구축에 관한 연구, 대한 건축학회 논문집 계획계 제33권 (제4호), 2017 // Lee, Seung-Yun, A Study on BIPV(Building Integrated Photovoltaic) Design Process based on the BIM(Building Information Modelling) for Architects, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Vol.33 (4) (Serial No.342), 2017
- [11] 유권중, 태양광발전시스템 기술개요 및 현황, 한국에너지기술연구원, 2008 // Yoo, Gwan-Jong, Overview and status of PV system, Korea Institute of Energy Research, 2008
- [12] 윤갑춘, 건물의 일사에너지 예측을 위한 경사면 일사량 측정과 예측모델과의 비교분석 연구, 태양에너지학회, 2012 // Yoon, Kap-chun, Comparative Analysis of Measurements and Total Solar Irradiance Models on Inclined Surface for Building Solar Energy Prediction, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, (6), 2012
- [13] 한국에너지공단 신재생에너지센터, 공공기관 신·중·개축 건축물 신재

- 생에너지 설치의무화제도 안내, 2017 // Korea New & Renewable Energy Center, Public institution New, middle, and reconstruction Building New and renewable energy installation mandatory system guidance, 2017
- [14] 지식경제부, 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획 (2009-2030), 2008 // Ministry of Knowledge Economy, A Basic Plan for Developing and Supplying the Third Generation Renewable Energy Technology(2009-2030), 2008
- [15] 이진창호, BIPV 표준설계 가이드 라인, 2016
- [16] Gaathri Aaditya, Monto Mani, BIPV:a real-time guiding performance study for a roof-integrated facility, International journal of sustainable energy, 2016
- [17] P.Bonomo, F.Frontini, P. De Beradinis, I.Donsate, BIPV:building envelope solutions in a multi-criteria approach. A method for assessing life-cycle costs in the early design phase, Advances in building energy research, Vol.11 (1), 2017, pp.104~129
- [18] Masa Noguchi, Calibrating air heating and power generation capacities of low and high efficient BIPV roofs for housing application in Scotland, International Journal of Environmental Studies, Vol.70 (6), 2013, pp.987~998
- [19] Changhai Peng, Lu Huang, Jianxun Liu, Ying Huang, Design and practical application of an innovative net-zero energy house with integrated photovoltaics: a case study from Solar Decathlon China 2013, Architectural Science Review, Vol. 58 (2), 2015, pp.144~161
- [20] A. Karthick, K. Kalidasa Murugavel, L. Kalaivani, U. Saravana Babu, Performance study of building integrated photovoltaic modules, Advances In Building Energy Research, 2017
- [21] Tady Y Y Fung, Yang Hong Xing, Study on Optimum Inclination Angle of Solar Collecting Surface in Hong Kong, HKIE Transactions, Vol.12 (1), 2005, pp.44~48
- [22] Vesna Kosoric, Stephen Wittkopf, Yixiang Huang, Testing a design methodology for building integration of photovoltaics (PV) using a PV demonstration site in Singapore, Architectural Science Review, 2011, pp.192~205
- [23] <http://www.iea-shc.org/solar-power>