



BIPV 설치 입면 디자인을 위한 BIM기반 설계 지원 모델에 관한 연구

A BIM-based design support model for BIPV installation elevation design

전현우* · 최규혁** · 안재호*** · 박서준****

Jeon, Hyun woo* · Choi, Kyu hyeok** · Ahn, Jae ho*** · Park, Seo jun****

* Dept. of Research Institute, BIMS Co., Ltd., South Korea (melts@naver.com)

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

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

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

ABSTRACT

Purpose: Recently, the importance of renewable energy is increasing due to unstable oil prices and regulatory responses to climate change conventions. New and renewable energy is not only a core solution to the problems of exhaustion of fossil energy and environmental problems, but also a new growth engine industry. In advanced countries, we are pursuing bold research and development policies and dissemination policies. BIPV is a building integrated photovoltaic power generation system, which is used for building finishing materials, roof, and wall, so there is no need for a separate installation space, and the usability is continuously increasing in urban areas with relatively small installation space. And continues to increase. BIPV is a building-integrated type, but the application plan should be made from the early stage of design. However, there is a lack of BIPV related design information. As a result, the possibility of integrating BIPV and building design is reduced and BIPV is applied in a limited range. **Method:** BIM based BIPV design process, BIPV installable location, BIPV elevation design factor. And the theory necessary to implement the support model. Lastly, usability was examined using the support model. **Result:** This study describes a BIM based design support model for BIPV installed elevation design that designers can apply BIPV installation location planning and design in BIM environment.

© 2017 KIEAE Journal

KEYWORD

건물 일체형 태양광 발전 시스템
건축 통합 설계
음영 분석
어레이 설계

Building Integrated Photovoltaic System
Building Information Modelling
Shadow Analysis
Array design

ACCEPTANCE INFO

Received Oct 31, 2017
Final revision received Nov 21, 2017
Accepted Nov 26, 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 에너지 및 환경 문제가 대두됨에 따라 국내의 경우 2004년부터 공공건물에 대하여 신·재생에너지 설치의무화 제도를 시행하고 있으며 공급의무비율은 2017년 기준 21%이며 2020년에는 30%까지 증가될 전망이다.¹⁾ 신·재생에너지 중 건물 일체형 태양광 발전 시스템(Building Integrated Photovoltaic, 이하 BIPV)은 태양광 모듈을 활용한 건물 마감재 및 지붕 또는 벽체 등에 사용되어 별도의 설치 공간이 필요치 않으며 상대적으로 설치 공간이 협소한 도심지에서 에너지 생산이라는 기능과 건축물 마감재 질감이라는 장점을 가지고 있어 사용성이 지속적으로 증가하는 추세이다.²⁾

BIPV는 건물 일체형으로 건물의 디자인에 직접적인 영향을 미치기 때문에 건축 설계 초기단계부터 설치형태, 위치, 색상 등이 고려되어야 한다. 하지만 현재 BIPV 설계는 건축 설계자에게 BIPV 관련 정보가 부족하여 초기 단계부터 BIPV 적용이 계획되는 경우는 적은

편이며, 설치 의무화 범위 준수를 위해 실시설계단계에 BIPV 적용 계획을 시작하는 경우가 대부분이다. 이러한 이유로 BIPV 적용과 건물디자인의 통합 가능성이 적어지고 제한적 범위에서 BIPV 적용을 계획하는 사례도 많다.³⁾

이와 관련해서 한국에너지공단에 보고된 BIPV 설치 사례 중 신재생에너지설치의무기준에 따라 2008년부터 2012년 사이에 BIPV 설치의 약 30%가 지붕면에 BIPV를 적용하였다. 이는 BIPV 적용이 건물디자인과의 통합보다는 건물디자인의 제약으로 인식되어 사람들의 눈에 띄지 않는 지붕면에 적용하는 경우가 많았다고 추정할 수 있다.⁴⁾

이에 본 연구는 건축설계자의 BIPV 적용계획을 지원하기 위한 BIM기반의 설계 지원 모델에 관하여 기술하고자 한다. BIM기반의 BIPV 설계프로세스를 분석하고, BIPV 설치 가능 위치에 대한 활용도에서 건물 입면에 대한 BIPV 설치 수요가 높은 것으로 판단되었다. 또한, 건물 입면에 대한 BIPV 적용 시 고려요소를 분석한 결과, 모듈의 음영과 직병렬(어레이) 조합이 BIPV 건물 디자인에 많은 영향을 주는 것으로 분석되었다. 이에 본 연구는 BIPV 설치 입면 디자

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2017.17.6.177

1) 한국에너지공단 신재생에너지센터, "공공기관 신·중·개축 건축물 신재생에너지 설치 의무화제도 안내" 2017
2) 한민지, 서영석, 오민석, 김희서, "초고층 건축물 적용을 위한 Unit형 BIPV의 설계방안 및 환경성능평가, 한국건축환경설비학회 논문집 제5권 제4호, 2011

3) 이승연, 이아영, "BIM 기반 BIPV 설계 프로세스 구축에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 계획계 제33권 제4호, 2017
4) 한국에너지기술평가원, "디자인적 요소가 가미된 건축 외장형 대면적 BIPV 시스템 상용화 개발 연차보고서, 2013

인을 위한 BIM 기반 설계 지원 모델을 개발하고자 하며, BIPV에 대한 전문적 지식이 없는 건축설계자도 설계 프로젝트에 BIPV를 적용하여 디자인할 수 있도록 지원하여, 건축 업무에서 BIPV 활용성을 높이는 것을 연구의 목적으로 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 범위는 BIM기반 BIPV 설계 프로세스를 바탕으로 BIPV 디자인 단계에서 필요한 건물의 음영분석과 모듈의 직병렬 배치 계산 모델을 개발하고 실제 BIPV 적용 건물과 비교하여 지원 모델의 활용성을 검토하는 것이다.

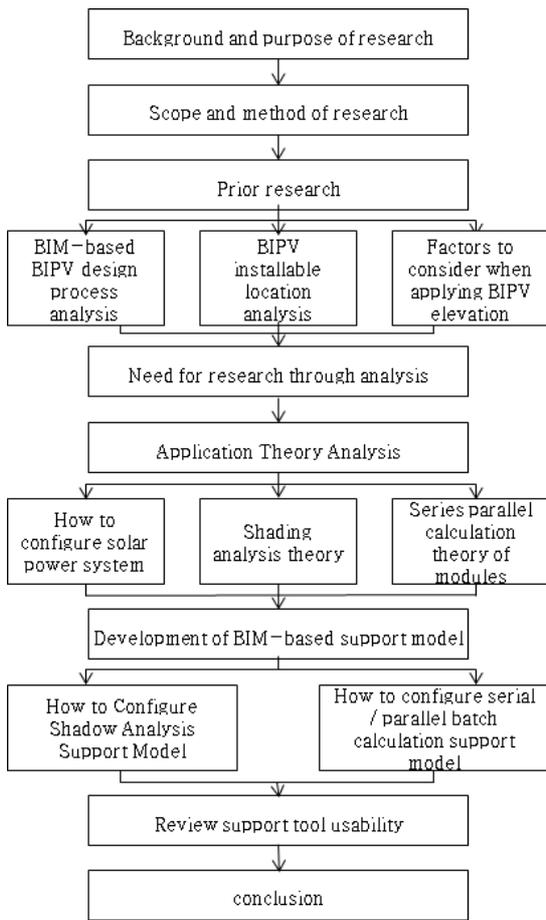


Figure 1. Method and scope of research

본 연구의 방법은 첫 번째로 BIPV 설계프로세스를 조사하여 BIPV 건축 설계 요소를 분석하고, BIPV 설계에서 건축 설계자에게 필요한 업무를 분석하고, 두 번째로 BIPV 설치가능 위치에 대한 문헌 인용 횟수를 분석하여 가장 선호되는 BIPV 설치 형태를 분석하였다. 세 번째로 BIPV를 입면에 적용할 시 고려요소를 분석하여 건축 설계자가 BIPV를 입면에 디자인할 때 검토해야할 요소를 성능적, 디자인적 측면으로 분석하였으며, 네 번째로 BIPV 음영분석 및 모듈의 직병렬 배치에 적용 가능한 이론적 고찰을 수행하였다. 다섯 번째로 이론적 고찰을 통한 수식과 음영분석 알고리즘을 Autodesk Revit에 장착할 수 있는 형태의 지원 모델로 개발하였다. 마지막으로 서울에 위치한 BIPV적용 건물의 설계정보와 지원 모델을 활용한

결과를 비교하여 검증하고, 국내에서 그 적용 방향과 기대효과를 제시하였다.

2. 선행연구 조사

2.1. BIM 기반의 BIPV 설계 프로세스 분석

이승연(2017)은 건축설계단계의 기획설계단계, 계획설계단계, 기본설계단계, 실시설계단계와 건축 설계자들의 설문과 인터뷰를 반영하여 감리단계까지 적용한 BIPV 설계 프로세스를 도출하였다. 기획설계는 조사 분석, 디자인 이슈 설정, 특화 전략 수립의 단계, 계획설계는 기능, 형태, 재료 조정과 디자인 세부항목 확정의 단계, 기본설계는 세부항목별 디자인 실시와 검증의 단계, 실시설계는 도면 작성과 도서 품질 확보의 단계이다.

Table 1. Information on providing BIM in a BIM-based BIPV process

Step	Design information	BIM Information
1. BIPV application target decision	<ul style="list-style-type: none"> BIPV rough installation cost BIPV roughly estimated power generation BIPV related regulations Basic information about BIPV 	<ul style="list-style-type: none"> Providing information on building information, related laws, rough cost, and basic rules for installing solar power
2. Analysis of characteristics of target area and target building	<ul style="list-style-type: none"> Shadow analysis simulation of target building Analysis of target building design characteristics 	<ul style="list-style-type: none"> Shading Analysis Simulation, Target Building Design Characteristics Information
3. Characterization of solar cell	<ul style="list-style-type: none"> Solar cell design characteristics: size, color, material, shape, etc. Solar cell electrical characteristics: power generation, permeability, cell type, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> BIM library: Provides solar cell characteristics information
4. BIPV applied design review	<ul style="list-style-type: none"> BIPV design review according to the installation site: roof, window, facade, louver, etc. Examination of building performance according to installation site: Thermal characteristics, insulation performance, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Building design information, array design information, and environmental simulation information for each installation site
5. Final Design Selection	<ul style="list-style-type: none"> BIPV Detail Design Related Books The amount of actual power generation and actual installation cost through demonstration 	<ul style="list-style-type: none"> Design books, business information
6. Review drawings related to detail design	<ul style="list-style-type: none"> Books related to final draft of BIPV Final power generation and cost (actual) Situation 	<ul style="list-style-type: none"> Write final book

BIPV 설계 프로세스는 이러한 건축설계단계에 따라 BIPV 적용 목표 설정, 대상건물 특성 분석, 태양전지 특성 분석, BIPV 디자인 검토, BIPV 상세도 검토의 5단계 과정으로 구분할 수 있다.

BIPV 적용 목표 설정 단계에서는 신재생에너지설치 의무, BIPV 시공 관련 법규 검토와 개략적 비용 및 에너지 생산량을 검토하고, 대상건물 특성 분석 단계에서는 춘추분 1일 5시간 일조 확보에 대한

분석을 수행하며, 태양전지 특성 분석 단계에서는 적용할 BIPV의 사이즈, 색상, 모양, 크기 등을 파악하고, BIPV 디자인 검토 단계에서 BIPV 적용 디자인에 대한 의사결정을 수행하고, 마지막으로 BIPV 상세도 검토 단계에서 최종 디자인을 결정하고 BIPV 관련 상세도를 작성한다.

BIM기반의 BIPV 설계 프로세스는 앞서 5단계로 구분한 단계가 6단계로 구분되며, 각 단계별 설계자에게 요구되는 정보와 BIM으로 제공해야하는 정보는 다음 표와 같다.

BIM기반의 BIPV 설계 프로세스에서 1단계는 BIPV 적용 목표 결정으로, BIPV의 개략 설치비용, 예상 발전량, 관련 법규, 관련 기본 정보 등을 파악하기 위해 BIM에서 BIPV 설계 건물 정보, 관련 법규, 개략 설치비용, 태양광 설치 기본 규칙 등에 대한 정보를 제공할 수 있어야 한다. 2단계는 대상지 및 대상건물의 특성 분석 단계로 건물의 음영분석 시뮬레이션, 디자인 특성 분석이 이루어져야 하며, BIM에서 시뮬레이션을 통한 건물의 음영분석 정보와 디자인한 건물의 특성 정보를 제공해야 한다. 3단계는 태양전지 특성 분석에서는 태양전지의 크기, 색상, 재질, 모양 등에 대한 디자인 특성, 발전량, 투과율 등에 대한 전기적 특성을 분석하며, BIM에서는 라이브러리에서 해당 정보를 제공할 수 있어야 한다. 4단계는 BIPV 적용 디자인 검토로 지붕, 창, 파사드, 루버 등 설치 부위별 BIPV 디자인과 열, 단열 등 건축성능을 검토하게 되며, BIM에서는 BIPV의 설치 부위별 모델링 디자인과 건축 성능 시뮬레이션 정보를 제공해야 한다. 5단계는 최종 디자인 선정 단계로, 기존 BIPV 설계 프로세스와 달리 BIM기반 BIPV 프로세스에 추가된 단계이다. 해당 단계에서는 BIPV의 건축, 전기 분야의 세부 디자인과 관련 도서를 작성하고, 이에 따른 발전량과 설치비용을 검토하여 최종 디자인을 선정한다. BIM에서는 이를 지원하기 위해 BIM 모델에서 관련 도서를 제공하고 발전량과 설치비용 검토를 통한 BIPV 적용 건물의 사업성 정보를 제공할 수 있어야 한다. 마지막으로, 6단계에서는 세부 디자인 관련 도면 검토로 최종적으로 선정된 BIPV 설계 관련도서와 최종 예상 발전량 및 설치비용을 검토를 수행하게 되며, BIM에서는 최종 디자인에 대한 도서 및 보고서 등을 제공할 수 있어야 한다.

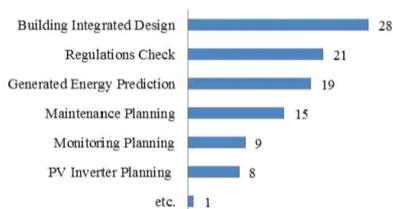


Figure 2. Architect Tasks for BIPV design
「Lee, Seung-yun, 2017」

BIPV 프로세스에서 건축설계자의 업무는 설문조사와 인터뷰 결과에 따라 BIPV 적용 위치 계획과 BIPV 적용에 따르는 디자인 검토, 실시설계 수준의 관련 도서 작성과 관련 법규 검토, 설치 비용과 예상 발전량 산출을 포함한 경제성 분석, 운영계획 관리 등으로 정리할 수 있다.⁵⁾

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

즉, 건축설계자가 BIPV 설계 업무에서 BIPV 디자인 검토, 관련 도서 작성, 경제성 분석 등을 수행하기 위해서는 BIPV 적용 위치 계획이 선행되어야 하며, BIPV 설치 위치계획 업무의 중요성을 인식하고 있음을 확인할 수 있다.

2.2. BIPV의 설치 가능 위치 분석

BIM기반 BIPV 설계프로세스 연구에서 BIPV 설계 업무에서 건축 설계자에게 BIPV 설치 위치 계획의 중요성을 확인할 수 있었으며, BIPV 설치 위치 계획에서 BIPV 설치 가능 위치의 종류와 선호도를 파악하기 위해 BIPV 연구 관련 문헌에서 설치 형태별 인용 횟수를 분석하였다.

BIPV 관련 연구 문헌에서 BIPV의 설치 가능 위치에 대해 인용횟수를 파악한 결과, 총 38건의 문헌에서 14건이 커튼월 형태로 BIPV를 설치하는 외벽 대체의 형태로 설치되어 문헌에서 가장 많이 인용되었으며, 다음으로 지붕 및 옥상, 차양의 형태가 각각 9건, 8건으로 설치가능 빈도가 높음을 알 수 있다. 그 외에도 유리대체와 발코니 난간 대체 형태가 각각 5건, 2건으로 인용되었다.

BIPV 설치 가능 위치에 대한 인용횟수가 외벽과 지붕, 차양 등의 형태로 많이 적용된 이유는 건물의 입면에 BIPV를 설치함으로써 건물과 통합된 디자인이 가능하게 하고, 입면의 유희면적 활용, 효율적 공간 활용이 되게 하며, 획일화된 건물 입면에 차별화된 재질과 다양한 파사드 디자인을 가능하게 하기 때문이다.⁶⁾

Table 2. Possible location and effects of BIPV system

	Division	Number of citations
Installable location	Replacement of outer wall	14
	Glass replacement	5
	Balcony rail replacement	2
	Roof Replacement	9
	shade	8

2.3. BIPV 입면 적용시 고려요소

BIPV를 건물의 입면에 설치할 때에는 일반적인 PV시스템과 달리 성능적인 요소와 디자인적 요소가 함께 고려되어야 한다.

성능적 측면에서 BIPV시스템은 독립형 PV시스템과 달리 건물이라는 특수한 조건과 결합되어야 하기 때문에 독립형 시스템에서는 포함되지 않았던 수많은 고려 변수가 추가된다. 독립형 시스템에서와 같이 에너지 성능의 극대화만이 최종목표가 될 수 없으며, 많은 건축 계획적 요소를 포함하여 계획 전 과정에 걸쳐 종합적인 통합 설계안이 체계적으로 도출되어야 한다.⁷⁾

BIPV시스템의 설치기준은 건축물의 에너지절약설계기준(국토부고시)제10조, 신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 기준(지경부고시) 제17조, 신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침(한국에너지공단 신·재생에너지센터공고) 제7조 및 별표에 따라 시공 되어야 한다.

6) 양혜숙, 박현수, 윤희경, "PV와 BIPV 시스템의 발전효율성 비교분석", 대한건축학회 논문집 계획계 제29권 제11호, 2013

7) 박재완, 신우철, 김대곤, 윤종호, "건물일체형 태양광발전 시스템의 발전성능 분석", 한국태양에너지학회 논문집 제33권 제3호, 2013

Table 3. Factors to consider when designing BIPV

Factor of consideration	Contents
Disturbance factor for solar radiation	Photovoltaic power production needs to be guaranteed maximum Over 5 hours a day in spring and autumn
Using the most of solar power	Optimum installation of PV module varies depending on the region, but in Korea, the inclination angle of 30 degrees
Prevent shading of PV modules	The shading of the PV module is the factor
PV module back ventilation	As the temperature of the PV module rises, power production is reduced (back ventilation is required)
PV module voltage	Considering DC Accidents
Ease of assembly	Save time and money with fast and easy assembly

디자인적 측면에서 고려해야 될 요소는 모듈 종류와 색상의 2 가지이다. 첫째, 모듈의 경우는 주로 PV패널이 입면에 사용될 경우 커튼월 형태로 많이 사용되므로, PV패널의 제품 최대 크기를 확인하여 주위 커튼월의 모듈과 조화를 이루도록 디자인하는 것이 중요하다. 이 경우 부정형의 모듈은 경제성이 크게 떨어지는 사항을 유의해야 한다. 둘째, 색상의 경우는 현재 최대의 효율을 보이는 것은 청색 계열이다. 이외의 색상은 회색, 녹색, 적황색 및 황색 계열도 있으나 비용이 급속하게 증가하는 것으로 조사되었다. 따라서 청색 계열의 색상과 조화를 이루도록 디자인하는 것이 중요하다.⁸⁾

즉, BIPV 시스템의 설계는 앞서 조사된 BIPV 설계프로세스와 마찬가지로 건축설계자 입장에서 BIPV의 성능적 요소인 일사, 음영 등을 환경 분석을 통해 고려한 후, 모듈의 종류, 색상 등 디자인 요소를 고려하여 통합적 설계를 수행해야 한다.

2.4. 분석을 통한 연구 필요성 제시

앞서 BIM기반 BIPV 설계프로세스 관한 연구에서 BIPV 적용은 건축설계 프로세스에 따라 단계적으로 각각 다른 정보와 분석이 필요함을 알 수 있다. 즉, 건축물에 BIPV를 적용하기 위해 설계자는 건축주나 발주처, 인허가권자, 시공사 등에게 많은 정보를 요청하고 공유해야 하기 때문에, 법규 검토, 에너지해석 시뮬레이션, BIPV 제품 정보 검토, 디자인 검토 등 다양한 업무를 수행한다. 이런 과정은 최종적으로 설계자 같은 건물 환경 분석 조건에서 다양한 BIPV 적용 디자인을 할 수 있도록 연구된 결과이며, 설계자에게 있어서 BIPV 적용은 설치 위치 계획 및 디자인과 관련된 건물의 심미적 요소가 중요하게 작용함을 알 수 있다.

BIPV 설치 가능 위치에 대한 문헌 인용 횟수를 통해 BIPV는 건물의 입면에 외부 마감 재료 외벽, 차양, 지붕 등으로 많이 사용되고 있으며, 이는 기존 외부 마감 재료인 유리, 벽체 등에 대신하여 사용하는 것으로 도심지 건물에 보다 효율적으로 적용할 수 있으며 기존 벽체, 지붕 등의 입면에 적용하기 때문에 별도의 설치장소가 필요하지 않고, 기존의 외장 결합구조물을 이용하게 되면 시공 시 효율성과 비용절감 효과를 증진시킬 수 있으며, PV시스템과 달리 건물과의 조화로 디자인적 효과를 기대할 수 있기 때문이다.

8) 오현인, 김덕수, 윤혜경, “건물일체형태양광시스템을 활용한 건물입면 디자인 계획 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 제36권 제1호(통권 제64집), 2016

또한, BIPV를 건물 입면에 설치할 때에는 성능적 요소와 디자인적 요소가 함께 고려되어야 하며, 대체로 BIPV 설치기준과 관련하여 음영, 일사, 전압, 설치위치 등을 고려하여 통합적 설계를 수행해야 한다.

앞선, BIPV 설계 프로세스에서 건축 설계자, 발주자, 시공사, 인허가권자 등이 서로 정보를 공유하고 요청하는 과정에서 대체로 BIPV 시공사에서 음영분석, 모듈의 직병렬 조합(어레이), 인버터 및 모듈 용량 등을 분석한 후, 건축설계자가 분석결과를 토대로 BIPV 디자인을 수행하는 과정이 반복되며, 이 과정에서 많은 시간과 비용이 소요된다.

BIM환경에서는 BIPV프로세스를 하나의 틀안에 통합해서 진행할 수 있는 장점이 있다. 즉, BIM 기반의 BIPV설계에서는 BIPV 설치 입면 디자인에 필요한 정보 검토, 환경 분석, 정보 공유 등을 BIM 환경에 통합해서 수행할 수 있다. 또한 설계 과정에서 핵심적으로 필요한 기능으로만 프로그램을 구성해서 복잡한 BIPV 설치 입면 디자인 과정을 단순화할 수 있다.

이러한 장점 때문에 BIPV 설계와 관련해서 국내외적으로 BIM을 적용하는 방안에 대한 연구가 진행되었다. 국내의 경우, 정수진(2011)은 BIPV 시스템의 적용기법 및 설계 시 고려사항, BIM기반 에너지 성능 분석도구에 대해 분석하여 초기설계단계에서의 BIM 적용방안을 도출하였으나, BIPV설계를 위해 여러 종류의 BIM기반 에너지 성능 분석도구를 활용하는 한계가 있었다.

홍성문(2015)은 비정형 건축물 BIPV 설치시 발생하는 음영에 대한 영향이나 일사량의 정밀 분석을 통해 BIPV 설치영역을 산정하는 지원 도구를 개발하였으나, BIPV 설치면에 대한 음영과 BIPV 모듈, 인버터의 조합에 따른 직병렬 배치를 고려한 연구는 반영하지 못하였다.

국외의 경우, Kuo(2016)는 대만의 BIPV 실증 건물에서 3년간 측정된 발전량을 BIM 기반 에너지 성능 도구에 적용하는 분석 방법에 대해 도출하였으나, 전문성이 필요한 에너지 성능 도구를 사용하여 실제 BIPV 설계에 적용하는 데는 어려움이 있다.

국내외 BIPV 설계 연구들은 음영과 발전량과 관련하여 다양한 연구가 진행되었으나, BIPV 발전 성능과 디자인에 가장 큰 영향을 미치는 음영분석과 모듈의 직병렬 배치를 적용하여 구체적으로 BIM을 기반으로 하는 BIPV 설계안을 제시하는 연구는 미흡하였고, BIPV 설계 프로세스에서 설계자가 직접적으로 활용할 수 있는 지원 모델에 대한 연구는 이뤄지지 않았다.

이에 본 연구는 설계자가 BIM 환경에서 BIPV 프로세스 상의 주된 업무인 BIPV 설치 위치 계획 및 디자인을 적용할 수 있도록, 해당 업무에 필요한 음영분석과 모듈과 인버터의 직병렬 배치 의사결정을 지원할 수 있는 BIM기반의 설계 지원 모델을 개발하고자 한다.

3. 적용 이론 분석

3.1. 태양광 발전 시스템 구성 방법

태양광발전시스템은 Figure3과 같이 건물에 설치할 태양광발전 시스템의 총용량을 먼저 결정하게 된다. 총 용량은 건축주나 발주처

의 요구에 의해 결정되거나, 신재생에너지공급의무비율에 따라 산정되기도 한다.

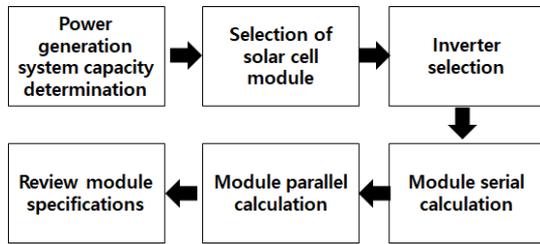


Figure 3. Solar power system configuration process

설계자는 BIPV설치할 건물의 환경 분석을 통해 입면이나 지붕에 설치 가능한 용량 및 면적을 사전에 검토한 후에, 설치할 모듈의 사양을 검토해서 선정한다.

태양광발전시스템의 총용량과 모듈의 사양이 결정되면, 인버터의 사양을 검토해서 적합한 용량의 인버터를 선정한다.

BIPV의 설치위치 및 면적, 모듈의 크기, 용량, 인버터 용량 등을 고려해서 BIPV 시스템의 직병렬 배치를 계산하여 가장 효율적인 직병렬 배치를 결정한다.

설계자는 최종적으로 선정된 모듈의 크기 및 색상을 고려해서 계산된 직병렬 배치에 맞게 디자인을 완성한다.

3.2. 음영분석 이론

BIPV시스템을 건축물에 적용하기 위해서는 수많은 고려요소에 대한 검토가 있어야 한다. 특히 고효율 모듈을 통하여 제한된 면적에 더 많은 태양광 발전설비를 설치하는 것은 중요한 과제이다. 설치공간에 대하여 효율적으로 설치할 수 있어야 한다.

태양광발전시스템의 구성에서 태양의 일조시간을 계산하여 BIPV의 적합한 설치위치와 설치가능 면적을 결정하는 것은 천구상에서 태양경로를 수직(고도각), 수평(방위각)면상의 직교좌표로 나타낸 것으로써, 일조분석 지점으로부터 일조 침해를 유발시키는 구조물의 고도각과 방위각을 산출하여 Waldram상에 표시함으로써 일조침해 여부를 연중 종합적으로 평가하는 도구인 Waldram(태양 궤적도)분석기법과 실제 태양의 이동 경로를 따라가면서 태양의 위치에서 피해 건물을 바라보게 되면 창문 면의 노출 정도에 의해 일조가 되는지의 여부를 판단할 수 있게 해주는 Solar View 분석기법이 있다. Waldram분석기법은 3차원 공간상의 태양궤적을 매핑작업을 통해서 2차원 평면상에 표현함으로써, 쉽게 일조여부를 파악할 수 있으나 점 분석 기반으로, 일조권 분석시 면으로 이루어진 물체에 대한 일조영향을 수치적으로 나타낼 수 없는 단점이 있다. Solar View 분석기법은 Waldram 분석기법에서 나타나는 평면의 문제점을 해소하고, 3차원 상에서 각각의 세부적인 면들에 그림자가 시간대별로 어떻게 변화하는가를 확인할 수 있는 장점이 있다.⁹⁾

이에 본 연구는 Solar View분석기법을 BIM에 적용하여 건물의 일조분석을 통해 BIPV 설치위치에 대한 음영발생 여부를 정량적 계

산이 가능할 수 있도록, 기존 Solar View 분석기법을 이용한 일조노출면적 계산 프로그램 개발에 대한 연구를 참고하여 계산 이론을 적용하였다.

1) 고도각과 방위각 계산

지원모델에서 설계건물과 주변 환경의 음영발생 여부를 분석하여 BIPV 설치가능 여부를 판단하기 위해서는 건물이 위치한 지역별 태양의 고도각과 방위각을 하루 24시간을 기준으로 1시간 간격의 계산 값이 필요하다.

이를 계산하기 위해 Solar View 분석기법의 계산식을 적용하였으며, Solar View 분석기법에서 태양의 고도각과 방위각을 계산하기 위해서는 지구의 중심과 태양의 중심의 선이 지구의 적도와 이루는 각도인 적위를 식(1)에 날짜를 대입하여 계산한다.

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

n : 1월 1일을 기준으로 계산대상일의 일수

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

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

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha} \right) \quad (2)$$

α : 대지의 위도
δ : 태양의 적위
ω : 시각

2) 고도각 및 방위각의 4분면 좌표 변환

식(1)과 식(2)에서 계산된 태양의 고도각과 방위각은 BIM 환경에서 설계건물을 원점으로 하여 위치관계를 정의해야 한다.

이를 위해 고도각과 방위각 계산 값을 x, y, z 좌표로 변환해야 하며, 변환 방법은 다음의 식(3)에 적용하여 BIM 환경에서 x, y, z 좌표로 변환하여 사용할 수 있다.

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

3) 가시면 분석

BIM 환경의 모델 입면이 태양 일조 범위에 포함되는지 여부를 판단하기 위해 일조여부를 판단하기 위한 가시면 분석을 수행해야 한다.

가시면 분석은 객체의 면에서 법선 벡터를 구한 뒤 태양의 고도각 벡터와 비교하여 일사면을 판단하는 것으로 두 벡터의 각도 θ가 -90 ≤ θ ≤ 90 이면 해당하는 객체의 면은 일사면으로 판단한다.

4) 객체 투영

객체 투영은 BIM 환경에서 모델 입면과 주변환경요소의 xyz값

9) 최상원, "건물의 일조시간 산정을 위한 일조노출면적 계산 프로그램 개발", 한양대 공학석사학위논문, 2002

을 태양 일조에 의한 지표면에 발생하는 음영의 좌표값을 산출하여, 주변환경요소에 의한 음영 발생 여부를 판단하기 위한 것이다.

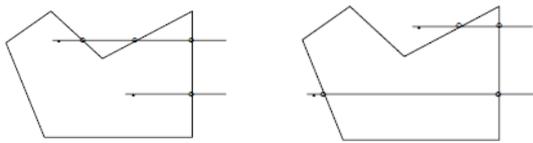
즉, 객체의 3차원 좌표 xyz를 2차원 평면좌표 xy에 투영하여 그림자로 바꾸는 것으로, 태양의 고도각 벡터에 따른 투영점은 z값이 0이므로, 다음의 벡터 방정식(4)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{객체의 좌표 : } P_0(x_0, y_0, z_0) \\ & \text{태양고도각 벡터 : } \vec{V}(a, b, c) \end{aligned} \quad (4)$$

$$x = a \left(\frac{-z_0}{c} \right) + x_0 \quad y = b \left(\frac{-z_0}{c} \right) + y_0$$

5) 포함검사

포함검사는 객체 투영에 의해 투영된 어떤 점 P가 입면의 내부에 있는지 외부에 있는지 검사하는 것으로, 모델의 입면과 검사하려는 주변환경요소의 점에서 그려진 연장선이 만나는 점의 개수가 홀수개이면 모델입면의 내부의 점이고 짝수개이면 외부의 점이라는 것을 이용하는 것으로 이를 이용하여 주변 객체가 분석면에 그림자를 유발하는지 여부를 판단할 수 있다.



a) Inside the model elevation b) Outside of model elevation
Figure 4. Including Inspection

3.3. 모듈의 직병렬 배치 계산 이론

BIPV를 입면에 설치할 때에는 시스템 구성요소인 인버터와 모듈의 전기적 속성 관계에 의해 BIPV 모듈이 발전을 하지 못하고 입면 디자인을 위해 설치만 하는 DUMMY 모듈이 발생한다. 이러한 DUMMY가 많이 발생할수록 BIPV의 발전 효율과 경제성이 떨어지기 때문에, 설계자는 BIPV의 직병렬 배치를 계산하여 가장 효율적인 BIPV모듈과 인버터를 선정해서 설계를 진행해야한다.

지원모델에서는 음영 분석에 의해 BIPV설치 가능 여부가 판단된 건물의 입면에는 설치할 모듈의 전압과 온도계수 정보를 활용하여 인버터와 접속반 용량과 CH수를 산정하여, BIM 설계를 수행한다.

모듈의 직병렬 배치를 계산하는 방법은 모듈표면의 온도편차와 모듈의 용량, 전압 및 인버터 용량, 전압 등을 고려하는 계산식을 활용하였으며, 그 방법은 다음과 같다.¹⁰⁾

1) 모듈표면 온도편차

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

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

2) 직렬모듈 개수 계산

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

$$\begin{aligned} & \text{최대 직렬 모듈 개수}(N) = \frac{V_{dc}}{V_{oc}} \times \{1 + (\beta \times \theta)\} \\ & \text{최소 직렬 모듈 개수}(n) = \frac{V_{dc}'}{V_{mpp}} \times \{1 + (\beta' + \theta')\} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, β : 모듈의 개방전압 온도계수
 β' : 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.

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

3.4. BIM기반 지원 모델 개발

본 연구의 지원모델은 BIM 프로그램 중 Revit 기반의 응용프로그램으로서 C# 언어로 분석 이론을 코딩하여 Revit 프로그램 메뉴에서 실행하는 방식으로 구성된다. 해당 응용프로그램은 BIPV 설치 위치에 대한 설치가능면적을 산정할 수 있는 음영분석 지원과 음영 분석 결과에서 BIPV 설치가능면적에 대한 모듈의 직병렬 배치 계산을 지원하는 프로세스로 구성되며, 각 프로세스에 대한 지원모델의 구성 방법은 다음과 같다.

1) 음영분석 지원모델 구성 방법

BIM기반 태양광발전설비 설계지원 모델에서 음영분석 지원모델은 Figure5와 같이 4단계의 프로세스로 구성된다. 1단계는 건물의 위치한 환경변수 입력을 위해 분석조건을 지정한다. 분석조건 입력 인터페이스는 Figure6-a)와 같다. 여기서 환경변수는 분석날짜와 해당지역의 경도와 위도를 도분초 단위로 입력한다. 입력된 변수는 지원모델에서 태양의 고도각 및 방위각 계산식에 의해 해당 건물 이 위치한 지역에서 태양의 고도각과 방위각을 시간단위로 0~24시까지 계산하게 되며, 4분면 좌표 변환식에 대입되어 x, y, z 좌표 값을 계산한다.

10) 유권중, “태양광발전시스템 기술개요 및 현황”, 한국에너지기술연구원, 2008

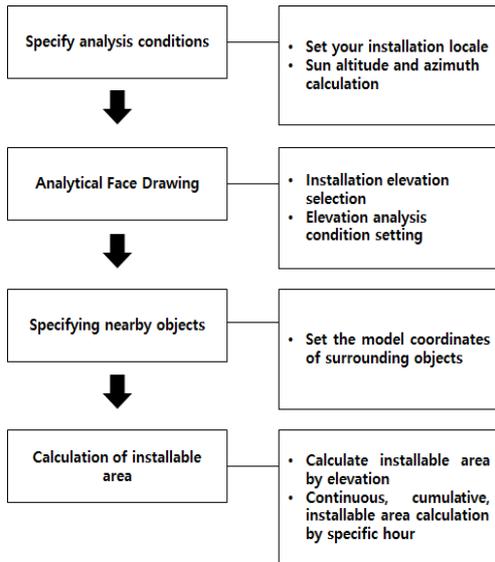


Figure 5. Support model shading analysis process

2단계는 Figure6-b)과 같은 분석면 그리기 인터페이스로 Revit 모델에서 BIPV 설치 면을 선택하고, 해당 면을 분할 크기를 지정하고, 각 분할면에 대한 용량을 지정한다. 이 때, 설치 입면의 분석 조건을 모듈 크기와 용량으로 지정할 수 있다. 설계자가 입력한 분석면의 분할 크기 변수에 따라 Revit 모델의 입면에는 해당 크기로 line으로 분석면을 그린다.

3단계는 주변객체 지정으로 인터페이스는 Figure6-c)와 같다. Revit 모델링 건물의 주변 환경 요소를 선택한 후에 각 객체들의 x, y, z 좌표를 추출한다. 4단계에서는 지원모델에서 계산을 수행하며, Revit 모델에 그려진 분석면의 x, y, z 좌표와 주변 환경 요소의 x, y, z 좌표, 태양의 고도각 및 방위각 x, y, z 좌표값을 사용하여 가시면 검사를 수행한 후에, Revit 모델의 입면이 태양의 가시 범위에 있을 경우 각 좌표값을 투영하여 포함검사를 수행하게 되며, 각 시간대별 포함검사 결과에 따라 Figure6-d)와 같이 연속, 누적, 특정시간에 대한 BIPV의 설치 가능 면적과 용량을 계산한다.

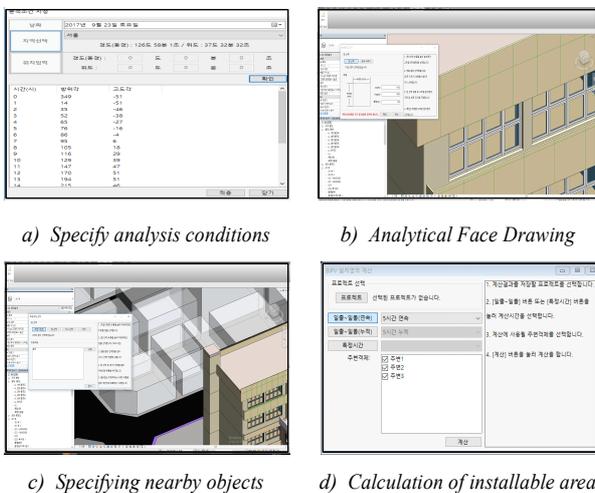


Figure 6. Shading analysis of supported models

2) 직병렬 배치계산 지원모델 구성 방법

음영분석 단계에서 계산된 BIPV의 설치가능 면적은 직병렬 배치계산 지원모델에서 직병렬 계산식에 적용되어 분석면에 대한 모듈의 직병렬 배치계산에 사용된다.

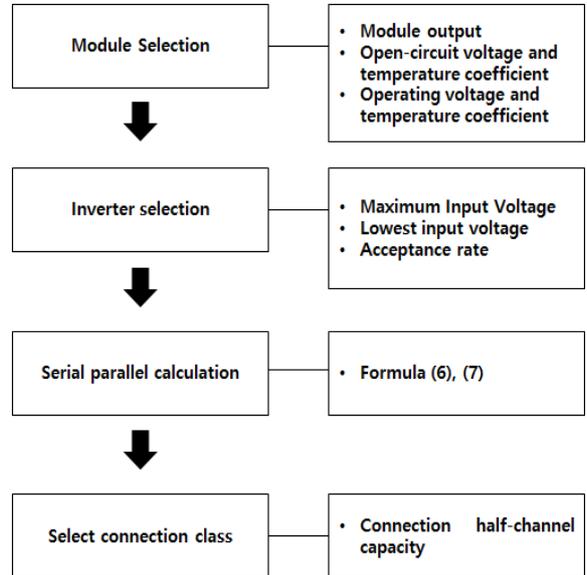


Figure 7. Array Design Process for Supported Models

지원모델은 모듈과 인버터의 용량, 크기, 개방전압 등 기본 사양 정보를 포함하도록 구성하여 설계자가 모듈과 인버터를 선택해서 적용하면 음영분석 단계에서 계산된 설치가능면적에 4단계의 직병렬 계산 프로세스에 따라서 구성가능한 직병렬 배치를 모두 계산한다.

1단계는 모듈 선택 과정으로 Figure8-a)와 같이 모듈의 출력량, 개방전압 및 온도계수, 운전전압 및 온도계수 정보 등 모듈의 기본 사양 정보를 확인하고 Revit 모델에 적용할 모듈을 선택한다. 2단계에서는 모듈 선택 과정과 마찬가지로 Figure8-b)와 같이 인버터의 최고입력전압, 최저 입력전압, 수용률 정보 등을 확인하고 Revit 모델에 적용할 인버터를 선택한다. 3단계에서는 각 모듈과 인버터의 사양 정보를 직병렬 계산식 대입하여 Figure8-c)와 같이 직병렬 배치를 계산하게 된다.

설계자는 계산 결과에서 Dummy 수량, 인버터 수용 가능 정보, 모듈 총 수량 등을 검토하여 가장 효율적인 직병렬 배치를 선택해서 Revit상에 모듈과 인버터를 디자인할 수 있다. 또한, 4단계에서 선택한 직병렬 배치의 병렬 수량에 적합한 접속반을 Figure8-d)와 같이 채널 수용량 정보로 사용 가능한 접속반을 검색하여 Revit 상에 접속반을 디자인할 수 있다.

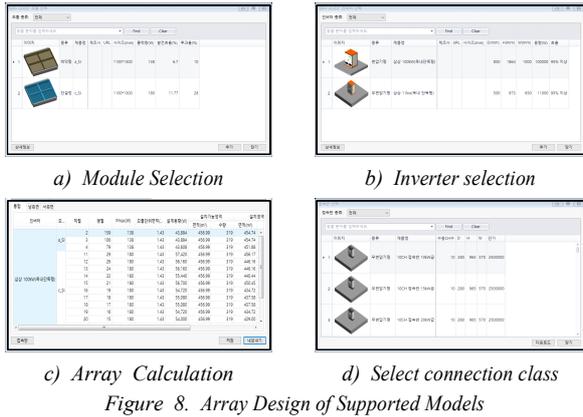


Figure 8. Array Design of Supported Models

4. 지원모델 활용성 검토

본 연구에서 개발된 지원모델을 활용하여 실제 BIPV설계 건물을 BIM 환경에서 설계하여 비교 검토하였다. 적용사례로는 서울지역의 초등학교 건물에 계통연계형 PV시스템을 선정하였다. PV 시스템의 설치용량은 28.62kW로 설정하였으며, PV 어레이는 정남향의 건물 파라펫으로 설치경사각은 90° 로 하였다.

1) 대상건물 특성 분석 단계

대상 건물 특성 분석 단계에서는 건물의 일조를 분석하여 신재생 에너지 설비의 지원 등에 관한 기준 및 지침에 따른 춘추분 1일 5시간 일조 확보 여부를 판단한다.

실제 BIPV 설계 건물의 도면에서는 춘추분 일조시간을 고려하여 건물의 4층과 5층 부분에 BIPV가 설계되었다.

Table 4. Shading analysis condition of target building

Division	Details	Input
Specify analysis conditions	Date of analysis	September 23, 2017
	area	Seoul
	Latitude	37 32 32
	Longitude	126 58 1

BIM환경에서 지원 모델의 분석조건 지정 항목에서 춘추분의 날 짜인 9월 23일을 지정하고 프로젝트의 위치 정보를 서울로 설정하였다. 다음으로 분석면 그리기 기능에서 CAD 도면과 같은 4층과 5층 건물 입면을 설정하고, 분석조건을 5시간 누적 일조가 가능한 BIPV 설치 영역을 산출하였다.

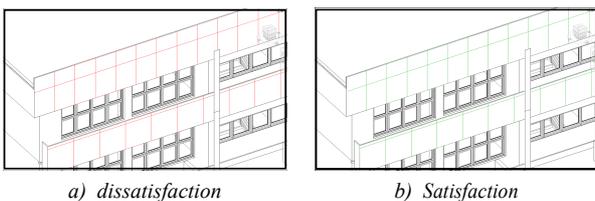


Figure 9. Supported model analysis condition result display in BIM

지원모델에서 산출결과는 Figure9와 같이 일조조건을 불만족하는 영역은 붉은색 라인이 그려지고, 만족하는 영역은 초록색 라인으로 BIM 모델 상에 표시된다. 산출 결과 305.25㎡이 설치 가능한 영역으로 계산되었다.

실제 설계 도면의 BIPV 설치 영역은 4층부분은 125.6㎡, 5층 부분은 179.9㎡, 총 합계 305.5㎡으로 지원모델의 산출 결과인 305.25㎡과 약 0.25㎡의 오차가 있으나 이는 BIPV 모듈 개수에 영향이 없으므로 활용성이 충분하다 판단된다.

2) 태양전지 특성 분석 단계

태양전지 특성 분석 단계에서는 프로젝트에 적용할 모듈과 인버터 정보를 선택하여, 음영분석 결과를 토대로 모듈의 직병렬 조합을 계산하는 어레이 설계 보고서를 산출하였다.

실제 BIPV 설계에 사용 모듈은 4층 부분에 C-Si 단결정 모듈 230W급 54장이 설치되어 총 12.42kW, 5층 부분에 a-Si 박막형 모듈 150W급 108장이 설치되어 총 16.2kW, 건물 전체적으로 총 28.62kW가 설치되었다.



Figure 10. Module selection screen of supported model

설계도서 검토 결과 실제 건물에서 BIPV의 직병렬 배치는 4층에서 직렬 14, 병렬 4 DUMMY는 2장, 5층에서 직렬 4 병렬 27 DUMMY 4장으로, 실제 설치된 BIPV는 230W급 56장, 150W급 112장으로 총 6장의 모듈이 발전에 사용되지 않고 디자인적 요소로 사용되고 있다.

지원모델에서는 모듈과 인버터에 대한 사양 정보를 추가하면 Figure10과 같이 설계자가 모듈의 색상 및 사양을 검토하여 선택할 수 있다. 실제 BIPV 설계 건물에 사용된 모듈의 사양정보 및 인버터 정보를 추가해서 선택한 후 직병렬 배치 계산을 실행하였다.



Figure 11. Array Design Report

배치 결과 보고서에서는 인버터의 활용 가능 여부와 해당 설치가 능역에 대한 모듈의 배치영역, 더미영역을 계산해서 설계자로 하여금 가장 효율적 배치조합을 선정할 수 있게 해준다.

계산 결과 4층 설치 부분에서는 직렬수가 13부터 22, 병렬수가 4부터 2까지 계산되었으며, 보고서 상에서 실제 설계시 사용된 직병렬 조합 직렬 14 병렬 4의 DUMMY는 2장으로 계산되었다. 5층 설치 부분에서는 직렬수가 4부터 7, 병렬수가 15부터 27까지 계산되었으며 실제 설계에서 사용한 직병렬 배치조합 직렬4 병렬 27을 선택하였을 때 DUMMY는 4장으로 실제 설계 조건과 일치함을 확인할 수 있다.

또한, 보고서 목록에서 직병렬 조합을 선정하면 해당 조합을 수용할 수 있는 접속반의 수용 채널을 검색해서 해당하는 라이브러리를 BIM 환경에서 사용할 수 있다.

3) BIPV 디자인 검토 단계

BIPV 디자인 검토 단계에서는 앞서 태양전지 특성 분석 단계에서의 직병렬 배치 계산 결과에서 더미 모듈이 가장 적게 발생하는 직병렬 배치 조합을 선택하면, 지원모델 상에서 Revit으로 해당하는 모듈과 인버터, 접속반 라이브러리를 로드하도록 지원한다.

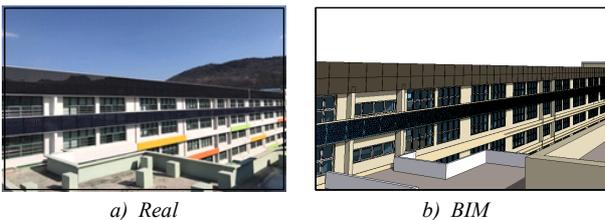


Figure 12. BIPV design result using supporting model

로드된 Revit BIPV 모듈 패밀리로 분석한 입면에 Figure12와 같이 커튼월 패널 형식으로 디자인할 수 있으며, 디자인된 BIPV 패밀리의 정보는 추후 BIPV의 발전량 및 경제성 예측에 활용할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 건축설계자의 BIPV 적용계획을 지원하기 위한 BIM기반의 설계 지원 모델을 개발하는데 목적이 있다. 이에 선행 연구에서 BIM기반의 BIPV 설계 프로세스를 분석하여, 건축설계자의 BIPV 설계 업무영역에서 설치 위치 계획의 중요성을 확인하였다. 이어서 BIPV 관련 연구 문헌의 BIPV 설치 가능 위치 인용 횟수를 분석하여, 건물 입면에 대한 BIPV 적용 수요가 높음을 확인하였으며, BIPV를 건물 입면에 적용시 고려요소를 분석하여 BIPV 성능적 요소 중 일사, 음영, 어레이 등을 고려한 후 통합적 설계를 수행해야 함을 확인하였다.

이어서 선행연구 조사를 바탕으로 BIM기반 설계지원 모델의 구현을 위한 이론 분석을 수행하였다. 첫째로, 지원모델의 전체적인 기능 구성을 위해 태양광 발전 시스템의 구성 방법을 기술하였다. 두 번째로, BIM 환경에서 BIPV 설치 입면에 대한 음영 분석을 구현하기 위한 분석 기법에 대하여 기술하였다. 세 번째로, 설치 입면에

BIPV 모듈의 최적화 적용을 위한 직병렬(어레이) 배치 이론에 대하여 기술하였다. 이어서 본 연구에서 개발한 지원모델의 구성방법에 대하여 기술하였다.

최종적으로, 실제 BIPV 설계 프로젝트에 지원모델을 적용하여, 실제 설계도서와 지원모델을 통한 결과를 비교하여 활용성을 검토하였다. 활용성을 검토한 결과 지원모델을 통한 BIPV 디자인 결과와 실제 설계 도서상 설계 내용이 대부분 일치함을 확인할 수 있었다.

국내 건축설계는 기존 2D기반의 건축설계에서 BIM기반의 3D 건축설계로의 전환이 점차 가속화되고 있으며, 건축물의 요소 중 하나인 BIPV 또한 마찬가지이다. 또한, BIM의 장점과 BIPV의 설계 특성을 고려할 때 BIM을 기반으로 BIPV 설계를 진행하는 것이 효율성이 높다고 판단된다. 이에 현 시점에 BIPV 설치 입면 디자인을 위한 BIM기반 지원모델을 개발하는 것은 건축설계자가 BIPV를 건물의 디자인적 요소로써 통합적 설계를 진행할 수 있도록 하여, 보다 다양하고 효율적인 BIPV 디자인에 기여할 수 있을 것으로 판단한다.

현재 건축설계 관련 BIM 라이브러리들이 국내외 관련 협회나 기관에서 개발되고 있으나 BIPV 시스템과 같은 신재생에 대한 라이브러리는 현재 개발되어 있지 않은 상황이다. 따라서 향후, 본 연구는 지역별 실측 데이터를 연동한 BIPV 라이브러리를 개발하여 에너지 성능예측 및 디자인을 건축설계자가 손쉽게 사용할 수 있는 BIM기반 BIPV 통합 설계 지원 모델에 관한 연구를 진행할 예정이다.

Acknowledgments

본 연구는 2014년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받은 연구 과제(과제번호 : 20143010011910)에 의하여 지원되었음.

Reference

- [1] 한민지, 서영석, 오민석, 김희서 “ 초고층 건축물 적용을 위한 Unit형 BIPV의 설계방안 및 환경성능평가, 한국건축환경설비학회 논문집 제 5권 제4호, 2011 // Han, Min-Ji, Seo, Yong-Seok, Oh, Min-Seok, Kim, Hway-Suh ”The Design Method and Environmental Performance Evaluation for Unit Type BIPV in High Rise Buildings“, Journal of KIAEBS Vol. 5, No. 4, 2011
- [2] 이승연, 이아영, “BIM 기반 BIPV 설계 프로세스 구축에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 계획계 제33권 제4호, 2017 // Lee, Seung-Yun, Lee, Ah-Young, “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 No.4, 2017
- [3] 양혜숙, 박현수, 윤혜경, “PV와 BIPV 시스템의 발전효율성 비교분석”, 대한건축학회 논문집 계획계 제29권 제11호, 2013 // Yang, Hye-Sook, Park, Hyeon-Soo, Yoon, Hea-Kyung, “A Comparative Analysis on the Generation Efficiencies of the Photovoltaic Systems and Building Integrated Photovoltaic Systems”, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Vol.29 No.11, 2013
- [4] 박재완, 신우철, 김대곤, 윤종호, “건물일체형 태양광발전 시스템의 발전성능 분석”, 한국태양에너지학회 논문집 제33권 제3호, 2013 // Park Jae-Wan, Shin, U-Cheul, Kim, Da-Gon, Yoon, Jong-Ho, “A Study on generation characteristics of building integrated Photovoltaic system”, Journal of the Korean Solar Energy Society Vol.33 No.3, 2013

- [5] 오현인, 김덕수, 윤혜경, “건물일체형태양광시스템을 활용한 건물입면 디자인 계획 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 제36권 제1호, 2016 // Oh, Hyun-In, Kim, Duk-Su, Yoon, Hae-Kyung, “Building Facade Design Research to Accept Building Integrated Photovoltaic System”, Journal of the Architectural Institute of Korea Vol.36 No.1, 2016
- [6] 최상원, “건물의 일조시간 산정을 위한 일조노출면적 계산 프로그램 개발”, 한양대 공학석사학위논문, 2002 // Choi, Sang-Won, “Developing a Sunlit Area Calculation Program for Estimating Sunshine Duration of Buildings”, Hanyang University Department of Architectural Engineering 2002
- [7] 유권중, “태양광발전시스템 기술개요 및 현황”, 한국에너지기술연구원, 2008 // Yoo, Gwan-Jong, “Overview and status of PV system”, Korea Institute of Energy Research, 2008
- [8] 정수진, 박정로, 김주형, 김재준, “건물일체형 태양광발전(BIPV)시스템 설계를 위한 BIM활용에 관한 연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2011.11 // Jeong, Soo-jin, Park, Jung-Lo, Kim, Ju-hyung, Kim, Jae-jun, “A Study on the Application of BIM for the Design of BIPV System”, Construction engineering and management, 2011.11
- [9] 홍성문, 김대성, 김민철, 김주형, “비정형 건물일체형 태양광 발전 시스템 규칙기반 BIM 설계 지원 도구 개발”, 한국BIM학회 논문집 Vol.5 No.4, 2015 // Hong, Sung-Moon, Kim, Dae-Sung, Kim, Min-Cheol, Kim, Ju-Hyung, “Development of Rule-based BIM Tool Supporting Free-form Building Integrated Photovoltaic Design”, Journal of KIBIM, Vol.5 No.4, 2015
- [10] 한국에너지공단 신재생에너지센터, “공공기관 신·중·개축 건축물 신재생에너지 설치의무화제도 안내” 2017 // Korea New & Renewable Energy Center, “Public institution New, middle, and reconstruction Building New and renewable energy installation mandatory system guidance”, 2017
- [11] Hang-Jung Kuo, Shang-Hsien, Rong-Chin Guo, Chi-Chang Chan, “A verification study for energy analysis of BIPV buildings with BIM”, Energy and Buildings, Vol.130, 2016