

비정형 건물일체형 태양광 발전 시스템 규칙기반 BIM설계 지원 도구 개발

Development of a Rule-based BIM Tool Supporting Free-form Building Integrated Photovoltaic Design

홍성문¹⁾, 김대성²⁾, 김민철³⁾, 김주형⁴⁾

Hong, Sung-Moon¹⁾ · Kim, Dae-Sung²⁾ · Kim, Min-Cheol³⁾ · Kim, Ju-Hyung⁴⁾

Received December 11, 2015 / Accepted December 20, 2015

ABSTRACT: Korea has been at the forefront of green growth initiatives. In 2008, the government declared the new vision toward 'low-carbon society and green growth'. The government subsidies and Feed-in Tariff (FIT) increased domestic usage of solar power by supplying photovoltaic housing and photovoltaic generation systems. Since 2000, solar power industry has been the world's fastest growing source with the annual growth rate of 52.5%. Especially, BIPV(Building Integrated Photovoltaic) systems are capturing a growing portion of the renewable energy market due to several reasons. BIPV consists of photovoltaic cells and modules integrated into the building envelope such as a roof or facades. By avoiding the cost of conventional materials, the incremental cost of photovoltaics is reduced and its life-cycle cost is improved. When it comes to atypical building, numerous problems occur because PV modules are flat, stationary, and have its orientation determined by building surface. However, previous studies mainly focused on improving installations of solar PV technologies on ground and rooftop photovoltaic array and developing prediction model to estimate the amount of produced electricity. Consequently, this paper discusses the problem during a planning and design stage of BIPV systems and suggests the method to select optimal design of the systems by applying the national strategy and economic policies. Furthermore, the paper aims to develop BIM tool based on the engineering knowledge from experts in order for non-specialists to design photovoltaic generation systems easily.

KEYWORDS: BIPV, BIM, Engineering Knowledge, Free-form, Design Supporting Tool

키워드: 건물일체형태양광발전시스템, 빌딩 정보 모델링, 지식기반, 비정형, 설계지원도구

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

대한민국 정부는 2008년도 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가 발전전략 목표로 채택하고 그린에너지산업 활성화 일환으로 태양광주택 보급 및 발전차액지원제도를 통해 태양광 발전 시스템 보급을 확대하고 있다. 태양광 에너지의 공급비중이 적고 건물에 적용된 태양광 발전 시스템이 미흡한 실정이었으나, 국제사회의 관심과 전력수요의 증가 등으로 태양광 발전시스템 설치사례가 점차 늘어나고 있다(김현일, 2010). 이중 건물일체

형 태양광발전(Building Integrated Photovoltaic: BIPV) 시스템은 전기에너지생산과 동시에 피사드, 블라인드, 태양열 집열기 등과 같이 건물외피와 결합하여 또 다른 기능을 제공할 수 있는 가능성을 열었다(김지연, 2007).

정형건축물의 경우 BIPV를 도입하더라도 모듈 설계 및 제작, 최적의 발전효율을 검토해 건축설계에 반영하는 것이 비교적 용이하다. 그러나 판교알파돔시티, 동대문디자인플라자, 여수 EXPO 주제관, 부산국제영화센터, 서울시청 등과 같이 사례가 증가하고 있는 비정형 건축물의 경우 BIPV모듈도 비정형을 띄게 될 뿐만 아니라, 정형에 비해 음영지역을 예측하는 것도 복잡

¹⁾학생회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정 (sm.hong@icloud.com)

²⁾학생회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정 (knkyeskn@nate.com)

³⁾학생회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정 (kimc3235@naver.com)

⁴⁾정회원, 한양대학교 건축공학과 교수 (kcr97jhk@hanyang.ac.kr) (교신저자)

해진다. 이에 건축 설계안에서 정보를 추출해 실시간으로 최적의 효율을 가지면서 비정형 설계에 제약받지 않는 BIPV설계를 실시간으로 수행할 경우 다양한 제안을 검토해 최적화 할 수 있다. 비정형의 시간적 설계요소와 엔지니어링을 위해 필요한 정보를 모두 관리할 수 있는 BIM(Building Information Modeling) 적용이 필요한 이유다(권순호, 2010).

구체적으로 BIM설계 프로세스를 도입해 비정형 건축물에서 BIPV를 활용한 곡면유형 인식 및 수직분할, 기준점과 등분 개수 인식, 수평분할, 가상데이터베이스, 음영과 일사량 분석을 수행한다. 또한, 건축물 부분(area)별 패널을 자동 설계하고 부품을 생성하여 추출하도록 지원한다. 이 과정에서 필요한 전문가 지식은 동일 건축물 상에서 다양하게 나타나는 방위각 및 경사도에 따라 태양광 발전 설비의 설치 지점별로 발전량을 정확하게 예측한 후 그에 따른 어레이 설계를 진행하는데 필요한 것들이다(강병복, 2004). 건축물 BIPV 시스템의 설치과정에서 어레이 및 모듈의 설계는 주로 설계자의 경험이나 직관에 의해 이루어지는 경우가 많아 설치비용을 최소로 투자하면서 전력 생산량을 최대로 늘릴 수 있는 설계안을 도출하는데 한계가 있기 때문에(김세중, 2012), 이 분야의 전문가가 아니더라도 비정형 건축물 설계과정에서 이를 충분히 검토할 수 있는 지원도구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 기존 BIPV 시스템 계획 및 설계 업무의 문제점을 도출하고 전문가 지식을 구축하고자 비정형 BIPV 설계 지원 BIM의 도구를 적용함으로써 전문가 및 사용자에게 정보를 공유하고 시각화 및 코디네이션, 매개변수를 실시간으로 반영하는 설계의사결정 도구 개발을 목적으로 한다.

1.2 연구범위 및 구성

본 연구는 BIM을 활용하여 비정형 건축물 BIPV 설치시 발생하는 음영에 대한 영향이나 일사량의 정밀 분석을 각 패널별로 실시하고, BIPV 설치영역을 산정하여 반영하고자 한다.

첫째, 비정형 BIPV 설계지원 BIM 도구의 3차원 저작도구를 이용하여 모델을 구축한다. 둘째, 이를 기반으로 일사량과 음영을 분석하는 스크립팅을 구축하여 비정형 BIPV에 적용한다. 셋째, 스크립팅을 통한 파라메트릭 모델링을 구축하고, 마지막으로 패널화 모델링, 패널별 좌표값, 패널별 일사량을 분석하고 데이터화 시킨다.

본 설계 지원 BIM 도구 개발은 비정형 곡면과 관련되는 전문가 지식이 규칙베이스로 반영된 규칙기반 시스템으로 구축된다. 설계자가 비정형 BIPV 태양광 발전 시스템 설계를 진행하는데 초기단계에서 설계자에게 최적의 설계 대안을 제시하고, 비전문가의 경우에도 손쉽게 태양광발전 시스템 설계안을 산출할 수 있게 하고자 한다. 이러한 연구는 기존 연구방식과는 차별화된 점이라 할 수 있다.

2. BIPV 설계 최적화 연구에 관한 고찰

2.1 BIPV 시스템의 필요성 및 선행연구 고찰

2.1.1 BIPV 시스템의 필요성

Figure 1과 같이 신재생에너지 분야에서 태양광발전은 2005년에서 2010년까지의 연평균 성장률이 60%, 2010년 한해에만 80%에 달할 정도로 신재생에너지 산업의 핵심역할을 담당하고 있다. 정부는 정책지원을 통해 태양광 발전 시스템은 주로 임야나 나대지 등 토지비용이 낮은 땅을 이용하여 설치되는 지상형이 대부분이었다(김세중, 2012). 이러한 지상형 태양광 발전 시스템은 그린에너지와 친환경적 요소를 수반하는 도입 취지와는 다르게 산지나 농지의 파괴 및 투기과열 등으로 또 다른 피해를 증가시키는 결과를 가져왔다. 지상형 태양광사업의 피해를 줄이기 위해 건축물의 지붕, 천창 및 외피를 활용한 BIPV 시스템의 설치확대가 늘어나고 있는 추세이다(이시원, 2014).

솔라앤에너지(2011)에 의하면 BIPV 설치시장은 2009년 181.6MWp에서 2015년 1,865MWp로 약 40% 이상의 성장률을 보이는 등 대폭 확대될 것으로 예측되고 있다. 현재 건축물을 활용한 BIPV 시스템 중 발전효율 등 기술적 문제와 인접 시설에 의한 음영효과 및 태양 입사각에 따른 발전량 등을 고려하여 지붕형 태양광 발전 시스템의 설치가 대부분을 차지하고 있다(김세중, 2012).

최근 기존의 정형화된 틀을 벗어나 건물 형태가 유동적이고 유연하며 규칙적이지 않은 비정형 건축물에 대한 관심이 증대되고 있다.

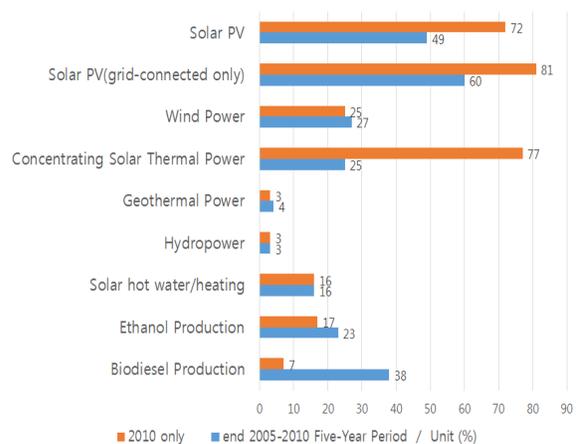


Figure 1 Annual growth rate of new renewable energy from 2005 to 2010 (REN, 2011)

2.1.2 BIPV 시스템 관련 국내 연구 현황

국내 BIPV 시스템 연구는 주로 설치부위나 경사 및 방위각에 따른 발전량의 변동을 전제로 하는 최적 배치안 산정 모델 위주로 진행되었다. 강태우(2013)는 수직형 반투명 BIPV 모듈의 열 및 전기적 특성에 관한 연구를 진행하여 건물 전체 에너지 부하량과 BIPV 모듈의 발전량에 대한 정량적 분석을 실시하였으나, 통합적인 예측 분석을 통한 최적의 BIPV 모듈의 설계 및 건물 적용 방안에 대해서는 고려하지 못하였다.

김세종(2012)은 GIS기반 지붕형 태양광 어레이 설계지원 시스템 구축 연구를 진행하였다. 프로토타입 제작을 통해 음영에 따른 직렬어레이 전체의 발전량 저하 문제를 해결하고 자동배치 방안을 제시하였으나, 기하학적인 형태의 배치와 전기적 특성에 대한 영향은 반영하지 못하였다.

김하련(2012)은 BIPV 커튼월 적용방식에 따른 열 및 전기적 특성에 관한 연구를 진행하였다. 경제성 및 적용 확대를 위한 기존 창호와의 특성을 분석하였지만, 계절별 데이터와 음영을 반영한 모델링 기법에 대한 연구는 반영하지 못하였다.

김현일(2010)은 424세대의 공동주택 단지의 사례 분석을 통해 BIPV 시스템의 광학 및 열적 성능을 측정하는 연구를 진행하였다. BIPV 시스템의 사례연구 결과 20년간의 설비 운영시 회수율을 추정하고 지상형 태양광 설비와의 상대적 성능 차이를 결론으로 도출하였으나, 음영에 따른 일사량 손실을 반영하지 못하였고 모델링 검토 및 건물 용도별 적합한 BIPV 시스템의 정립 필요성을 강조하였다.

한재경(2010)은 공동주택을 대상으로 태양광설비의 적용 디자인 패턴을 5가지로 분류하고, 경사각, 음영, 모듈 등을 고려한 수익성 분석을 시행하였고, 또한 태양광 발전 시스템의 디자인 패턴별 수익성 분석을 시행하였다. 태양광 모듈의 면적과 방위각, 경사각을 고려한 발전량 분석을 시행하였지만 디자인 패턴별 음영에 따른 영향을 고려하지 못하는 한계가 있었다.

국내의 BIPV 시스템 설계 관련 연구들은 Table 1과 같이 음영 분석과 발전량 분석을 포함한 다양한 방법론이 시도되었으나,

Table 1 Domestic research trends on BIPV Systems

	강태우 2013	김세종 2012	김하련 2012	김현일 2010	한재경 2010
insolation analysis		○		○	○
shadow analysis		○			○
temperature analysis	○		○	○	
electrical analysis	○		○		
economic analysis		○			
design optimization		○		○	○
atypical application					

태양광 발전 시스템 성능에 가장 큰 영향을 미치는 음영분석의 시행 및 결과 데이터를 적용하여 구체적으로 BIPV 태양광 발전 시스템 설계안을 제시하는 연구는 미흡하였고 비정형 건축물 배치에 관련한 연구는 존재하지 않았다.

2.1.3 BIPV 시스템 관련 국외 연구 현황

국외 BIPV 시스템 설계 최적화 관련 연구는 음영 분석, 경제성 분석, 설계대안 제시 등 관심도가 높은 분야를 위주로 연구들이 대다수 진행되었다. Anton(2012)은 미국과 이탈리아의 태양광 발전 시스템을 대상으로 태양광 모듈의 음영, 온도, 전기적 성능을 산출하는 툴을 개발하는 연구를 진행하였다. 수평면과 경사면의 시간 및 분당 일사량을 계산하는 VR4PV라는 프로토타입 프로그램을 개발하였지만, 구체적 설계안을 제시하는 개발까지는 이어지지 못하였다.

Wang(2011)은 상하이의 건축물 지붕에 설치된 태양광 발전 시스템을 대상으로 태양광 어레이 경사 각도 및 음영분석을 통한 에너지 균등화 비용(LCOE, Levelized Cost Of Energy)을 산출하고자 하였다. Ecotect® 프로그램을 활용하여 대상 건축물의 음영 면적과 발전량을 산정하고 그에 따른 에너지 균등화 비용을 산출하였으나, 정형화된 건축물에만 한정적으로 사용하는데 그쳤다.

Vicenzo(2010)은 영국 Strathclyde 대학교의 건축물 지붕을 활용한 지붕형 태양광 발전 시스템을 대상으로 부분적 음영에 따른 태양광어레이의 발전량 손실을 예측하는 연구를 진행하였다. Ecotect® 프로그램을 활용하여 음영을 분석하고 알고리즘을 통해 건축물 형태에 따른 발전량을 예측하였으나, 정밀한 음영 분석과 태양광 어레이의 설계에 있어 구체적 대안을 제시하는 연구는 수행하지 못하였다.

Reich(2010)은 제품일체형 태양광 설비(PiPV, Product Integrated Photovoltaic)를 대상으로 발전량 산출 연구를 진행하였다. 상용 소프트웨어인 3D MAX를 사용하여 렌더링 이미지를 수치화하여 발전량을 산출하고 결과값을 BIPV에 적용할 수 있다고 제안하였으나, 실제 BIPV 시스템에 적용 연구는 수행하지 못했다.

Woyte(2003)는 Leuven 대학교 건물에 위치한 태양광 발전 시스템을 대상으로 하여 주변 장애물(나무, 굴뚝, 인접건물 등)의 영향으로 인한 발전량 저하 정도를 분석하는 연구를 진행하였다. 2년간의 실적 데이터와 실제 음영 면적을 측정된 연구는 결과값의 신뢰도를 올리는 성과를 얻었지만 구체적 설계안의 제시는 미흡하였다.

BIPV 시스템 관련 국외 연구들은 Table 2와 같이 음영 분석과 그에 따른 발전량 산출을 전제로 다양한 연구가 진행되었다. 각종 에너지 분석 툴을 사용하여 시뮬레이션을 시행하고 전문가

Table 2 Foreign research trends on BIPV systems

	Anton 2012	Wang 2011	Vicenzo 2010	Reich 2010	Woyte 2003
insolation analysis	○				○
shadow analysis	○	○	○		○
temperature analysis	○				
electrical analysis	○				
economic analysis		○			
design optimization	○			○	
atypical application					

시스템 구축 및 BIPV 사례를 적용하여 시스템을 검증하는 연구가 다수 수행되었다. 시뮬레이션 및 에너지 분석 툴과 함께 다양한 연구가 진행되었음에도 불구하고, 실질적인 태양광 어레이 설계를 위한 대안의 제시가 일괄적으로 진행된 연구는 아직까지 진행되지 못한 것으로 분석되었다. 또한 국내와 같이 대다수의 연구는 정형화된 건축물 적용 방안에 국한되었고, 비정형 건축물에 적용하는 연구는 진행된 바가 없음을 확인할 수 있었다.

2.1.4 BIPV 설계지원을 위한 파라메트릭 연구동향

BIM 저작도구를 이용한 파라메트릭 모델링(Parametric modeling)은 객체간의 관계 및 구속조건을 지정하고 조건에 따라 작동하며, 사칙연산을 통해 값을 정의함으로써 모델의 형상을 조절하는 방식이다. 이러한 방식은 모델의 형상 또는 단계별 종속 및 상호 연결 관계를 부여함으로써 어떠한 형태를 변경할 경우 다른 형태의 크기나 위치 등에 영향을 주는 종속 방식이다. 최근 건축경향을 보면 3차원 CAD 발전에 기반을 둔 기하학적 형태의 제안들이 나타나고 있으며, 상업용 저작도구는 복잡한 곡면에 대한 수학적 기술방식으로서 매개변수(Parameter)를 기반으로 한 NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)를 적용하고 있다(박홍식, 2009). Eastman(2008)은 일부 BIM 설계 소프트웨어는 스플라인과 NURBS 같은 복잡한 곡선과 면간의 파라메트릭 관계를 지원한다. 이 소프트웨어들은 복잡한 곡선 형상이 다른 유형의 형상과 유사하게 정의되고 제어될 수 있게 한다.

파라메트릭 모델링 기술을 이용한 대표적인 두 가지 방법은 번식조건 기반(Propagation Based)과 구속조건 기반(Constraint Based)으로 구분될 수 있다(Javier, 2006).

1) 번식조건기반

구속조건기반의 단점을 개선하기 위해 개발된 번식기반 파라메트릭 모델링 방법은 파라메트릭 디자인을 생성디자인 시스템(Generative Design System)으로 확장이 가능한 장점을 가지고 있다. 번식기반 방식은 설계자가 의도하는 규칙에 의해 객체

의 조정이 가능한 방법이다. 비정형 형태는 수학적 매개변수인 규칙을 통해 형성하는 방식이기 때문에 번식기반을 통해 적용이 가능하며 변화시키고자 하는 객체의 범위 선택이 자유롭게 때문에 모델링에 있어서도 선택적으로 변수 값을 설정 및 수정이 용이하다.

2) 구속조건기반

구속조건기반의 파라메트릭 모델링은 모든 객체와의 관계를 매개변수를 통해 결정하게 된다. 저작도구의 발달로 인해 3차원 모델링이 쉽게 구현할 수 있게 되면서 주어진 조건이 정형일 경우 프로그래밍 된 상태의 객체들로 완벽한 구속조건 기반의 모델링이 가능하다. 하지만 비정형일 경우 객체가 형상에 따라 입체적으로 변화되기 때문에 모든 조건을 수정해줘야 하는 불편함이 있다. 현재 나와 있는 객체지향의 저작도구들은 사전에 정의된 객체의 정보를 기반으로 하기 때문에 2차원 상의 변화에 적절히 대응한다. 하지만 구속조건기반의 모델링은 비정형 형태 적용이 어렵다는 단점이 있다(문성우, 2011; Javier, 2006).

2.1.5 BIPV 에너지 분석도구 연구동향

본 연구에서는 번식조건기반의 파라메트릭 디자인 생성 방식 저작도구의 플러그인(plug-in) 형태로 존재하며 다음과 같은 도구들이 존재한다(박중하, 2014; Javier, 2006).

1) Grasshopper

사칙연산 알고리즘을 이용한 새로운 형태를 제안할 수 있는 플러그인으로 건축 디자인 분야에서 관심을 받고 있으며 부재간의 관계를 구성하고 정의하여 스크립트를 작성할 수 있다. 또한 프로그래밍 언어의 배경지식이 없이도 저작도구인 라이노(Rhino)의 명령어를 통해 형태를 생성하고 변형할 수 있다는 장점이 있다.

2) ParaCloud

Microsoft Excel과 저작도구를 연동하여 사용하는 프로그램으로 비슷한 모든 계열의 저작도구와 연동이 가능하다. 여러 레이어(Layer)의 행렬 구조를 기초로 지식기반의 규칙을 바탕으로 표면(surface)을 생성하며 좌표를 통해 수치변화를 가지는 형태를 생성하는데 유용하게 사용할 수 있다.

3) Generative Component

뛰어난 자유 곡면과 솔리드 모델링 기능을 갖추고 있고, 통합된 렌더링엔진, 루솔로지(Luxology)의 빠르고 높은 품질의 렌더링을 제공한다(Eastman, 2008). 또한, 파라메트릭 객체와 객체의 네트워크를 통해 형태를 구현하고 제어가 가능한 저작도구인 Bentley Architecture V8i의 내장 플러그인으로 사용할 수 있다.

Table 3 Comparison on parametric modelling plug-in (문성우, 2011)

Division	Grasshopper	ParaCloud	Generative Component
workability	●●●●●●	●●●●○○	●●●●○○
learnability	●●●●●●	●●●●○○	●●●●○○
popularity	●●●●●●	●●●●○○	●●●●○○
compatibility	●●●●●●	●●●●●●	●●○○○○
total	●●●●●●	●●●●○○	●●●●○○

본 연구에서는 Table 4를 통해 종합평가한 바와 같이 가장 뛰어난 저작도구의 플러그인(plug-in) 그래스호퍼를 중심으로 분석 하였다. 그래스호퍼는 라이노의 내부 명령어 체계를 갖는 특성으로 습득하기 쉬우며, 비정형 객체를 생성하기 위한 방법이 다양하기 때문에 효율성을 높일 수 있었다.

3. 비정형 BIPV 설계지원을 위한 모델링 방법

3.1 파라메트릭 모델링(Parametric modeling)

파라메트릭 모델링은 건축 전반에서 새로운 디자인 영역으로 규칙, 제약, 기능 및 매개변수와 모델의 수치적 정보와 연관되어 있다. 규칙과 제약은 사칙연산과 함께 모델의 속성을 조정하거나 모양이나 크기를 바꾼다. 파라메트릭 설계는 전체 모델을 재현하지 않고도 특정 규칙을 기반으로 모델 구성 요소의 특성을 자동적으로 제어 및 수정 할 수 있다. 이러한 매개변수와 규칙을 통한 사칙연산 방법은 하중, 다양한 환경 데이터(태양 일조량, 태양 각도, 풍속 등), 부재 변경 또는 단순한 치수의 변경 등을 들 수 있으며 복잡하고 시간이 많이 소요되는 특정 디자인 작업에 유용하게 이용할 수 있다는 차별화된 장점을 가지고 있다. 또한, 파라메트릭을 이용하여 건물의 주요 목적에 따라 특정 변

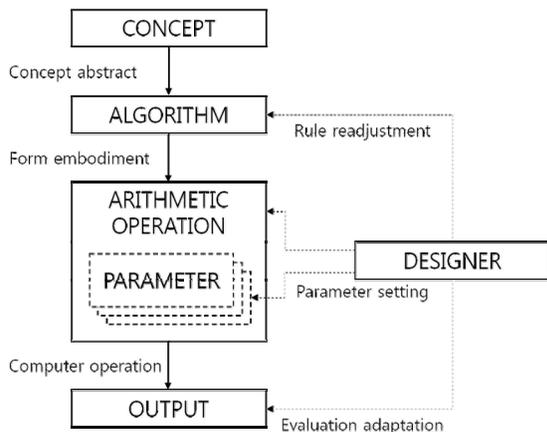


Figure 2 Parametric modeling diagram

수, 데이터에 반응하는 다양한 디자인이 가능하다. 파라메트릭 디자인의 장점은 이렇듯 다양성·적응성·반응성으로 요약될 수 있다(Kolatan, 2006).

3.2 파라메트릭 모델링 프로세스 구축

그래스호퍼를 활용하여 작성된 스크립팅(Scripting)을 통해 구현되는 개발 BIM 도구의 구조 조건은 비정형 건축물 적용을 위한 곡면분할 알고리즘과 태양광에너지 적용을 위한 알고리즘을 정립하고, 부재 및 형태별 곡면분할 방식을 토대로 정립된 매개변수를 각 단계별 적용으로 구축된다. 이러한 과정을 통해 추출되는 결과물은 매개변수의 변화에 따라 Figure 3 프로세스에 따라 곡면유형 및 수직분할, 기준점과 개수 인식, 수평분할, 기상 데이터 베이스, 음영과 일사량 분석으로 다양한 형태의 비정형 건축물 및 부재의 BIPV 설계안을 자동 생성한다. 그러므로 패널화 모델링, 패널별 좌표값, 패널별 일사량 등을 분석 및 데이터화 시켜 나간다.

3.3 BIPV 태양에너지 및 기상자료 분석 방법

Engineering knowledge의 요구되는 규칙 기반 시스템(Rule based system)을 구성하기 위해 추론엔진의 지식 베이스를 살펴 적용할 지식을 찾고, 그 지식을 써서 그래스호퍼의 스크립팅(Scripting)을 구축한다. 태양광 시스템 구축을 위해 아래와 같은 연산식을 적용하였다. 태양에너지는 지표에 도달하는 전체 일사

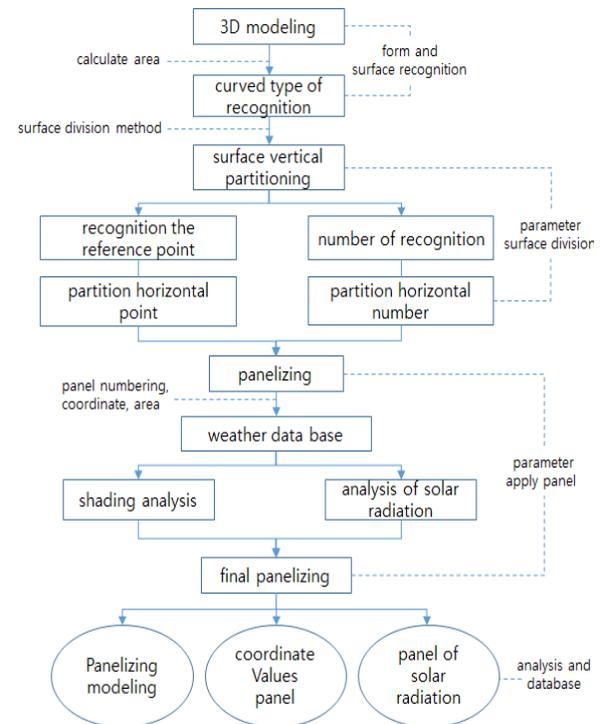


Figure 3 Atypical BIPV design supporting BIM process

량으로 위도, 경도, 시간, 공기질, 기상조건 등 여러 요소에 의해 변동한다. 따라서 대기의 영향을 받지 않는 대기 외에서의 일사를 정했을 때 이를 태양정수(solar constant ; 1,370W/m²)라 한다. 태양과 지구 사이의 거리 변화는 약 3%의 범위 내에서 대기권 밖 일사량의 변화를 가져온다. 연중 시간에 따른 대기권 밖 일사량은 수식 (1)에 의해 계산 될 수 있다.

$$G_o = G_{sc} \times \left\{ 1 + 0.033 \cdot \cos \left(\frac{2\pi n}{365} \right) \right\} \quad (1)$$

여기서,

G_{sc} : 태양정수 1,370 [W/m²]

n : 통산일 (1월 1일에 $n = 1$, 12월 31일에 $n = 365$)

기상 조건으로는 국내의 표준기상데이터의 TRY, TMY, WYEC, HASP/ACLD-8001 등과 같이 세계적으로 공인받을 수 있는 형식을 취하지 않고 있으며, 출처 또한 불분명하여 데이터로 사용하기에 부적합한 경우가 많다. Energy plus의 경우 에너지 성능 평가 및 분석 프로그램에 사용되는 세계 여러 지역의 기상 자료를 제공하고 있다. 하지만 국내의 인천, 울산, 광주, 강릉 4개 지역만 한정되어 있기 때문에 국내에서의 기상자료 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 서울과 기상자료가 가장 유사한 인천 IWEC (International Weather for Energy Calculations) 기상 자료를 사용하였다. IWEC는 Numerical Logicsr과 Bodycote Materials Testing Canada for ASHRAE Technical Committee 4.2 Weather Information에 수행된 ASHRAE Research Project 1015의 결과물이다. IWEC 데이터 파일은 미국과 캐나다를 포함한 277개 지역에서 사용이 가능하도록 에너지 분석 시뮬레이션 프로그램에 적합하게 개발된 기상자료이다. 이 파일은 U.S National Climatic Data Center에 보관되어져 있는 18년 동안의 DATASAV3 기상 자료로부터 얻어진 것이며, 이 자료에 매시간 단위를 기본으로 한 태양복사와 운량 자료 등이 보충되어 기상자료를 제작하였다 (김경률, 2008; 유호천, 2008).

4. 비정형 BIPV 설계지원 구축

4.1 비정형 BIPV 설계지원을 위한 시스템

본 연구에서 제안하는 비정형 BIPV 설계지원 BIM 도구는 3차원 저작도구를 이용해 모델을 구축하고, 이를 기반으로 일사량과 음영을 분석하고, 스크립팅을 구축하여 비정형 BIPV에 적용

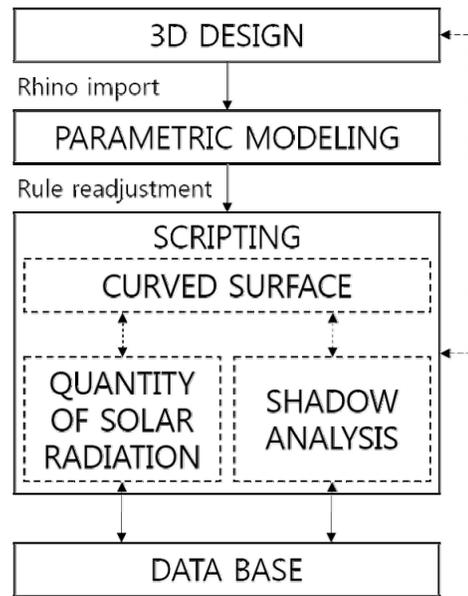


Figure 4 Atypical BIPV modeling of design support and database linkages

하는 구조이다. Figure 4는 개발 시스템의 3차원 설계 모델링 및 데이터베이스 연계도이다.

4.2 비정형 BIPV 적용 및 구현

비정형 건축물 및 부재의 곡면분할 유형과 방식이 적용된 Figure 5와 같이 스크립팅을 통해 일정한 규칙을 부여한 시나리오를 정리하고, 모든 스크립팅을 하나로 통합할 수 있는 알고리즘을 확립한다. 이를 바탕으로 그래스호퍼 기반의 스크립팅을 통한 비정형 BIPV 설계지원 BIM 도구 툴을 구축하고 시각화 할 수 있다.

비정형 건축물 및 부재를 기준으로 각 방위별 일사에 대한 장애물을 위치 시켰을 때, 첫 번째 조건은 인위적으로 일조시간

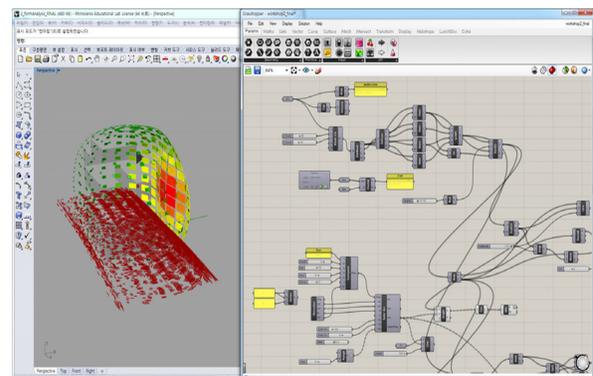
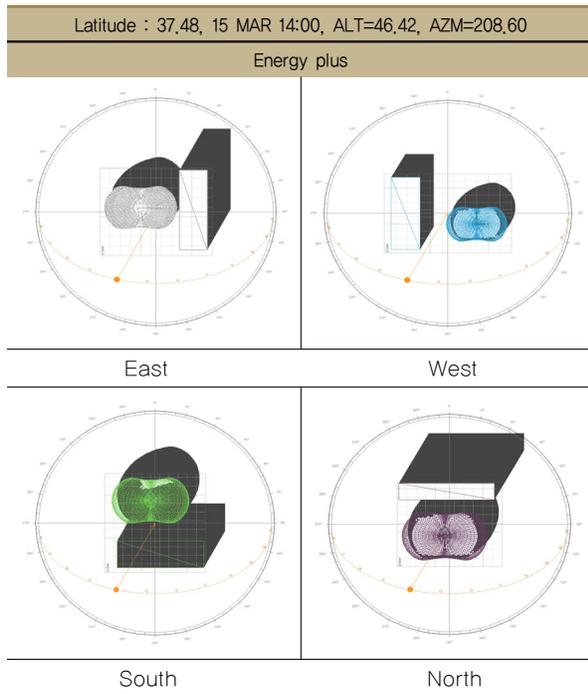


Figure 5 Rhino plug-in Grasshopper (Grasshopper3D.com)

Table 4 A comparison on solar chart of energy plus and BIM tools regarding adjacent objects



을 하고 두 번째 조건으로는 춘분, 하지, 추분, 동지로 조절했다.

방위별 인접 장애물에 따른 일사량 및 음영 분석은 인접 장애물과 비정형 건축물 및 부재의 일사량 분석과 음영분석의 신뢰도 검증에 위해 비정형 건축물 및 부재를 기준으로 동, 서, 남, 북 방위별로 인접 장애물을 배치하여 Table 4와 같이 태양계적도를 비교 하였다. 각 프로그램은 동일조건인 IVEC(인천) 기상데이터와 3월 15일 14시 00분의 시간데이터를 적용하여 측정하였다.

신뢰도가 검증된 에너지 분석 시뮬레이션 프로그램인 Energy plus와 개발 BIM 도구의 동일 기상조건을 기반으로 측정된 방위별 인접 장애물에 따른 태양계적도 비교를 통해 주어진 결과 값인 그림자 높이 값 오버레이(Overlay) 분석을 실시하였다. 비교한 결과 98.7% 동일한 값을 나타냈다. 이를 통해 개발 BIM 도구의 일사량 및 음영분석 신뢰성을 입증하였다.

4.3 비정형 BIPV 패널 분석 정보 추출

4.3.1 신재생에너지 공급 의무비율의 적용

신재생에너지 공급의무 비율 산정방법, 예상에너지사용량과 신재생에너지생산량은 서울시 기준으로 수식 (2)와 같다. 적용 대상은 공공 건축물 중 그 용도가 업무시설의 용도로 신축 또는 리모델링하는 건축물로서 연면적 3,000㎡이상의 건축물에 해당한다. 또한 외국인 투자기업지원시설 또는 국제기구 유치대상 건축물에 적용한다(서울시 공공건축물 신축 가이드라인, 2014).

$$\text{신재생에너지 공급의무비율} = \frac{\text{신재생에너지 생산량}}{\text{예상에너지사용량}} \times 100$$

$$\text{예상에너지사용량} = \text{건축연면적} \times \text{단위에너지사용량} \times \text{용도별보정계수} \times \text{지역계수}$$

$$\text{신재생에너지생산량} = \text{원별설치규모} \times \text{단위에너지생산량} \times \text{원별보정계수} \quad (2)$$

4.3.2 비정형 BIPV 설계 지원 BIM 도구 실효성 검토

개발 BIM 도구의 실효성 검토를 위해 비정형 건축물 및 부재의 2015년도 신재생에너지 공급 의무 비율에 따른 원별 설치규모를 산정하여 일사량 및 음영에 따른 필요 BIPV 패널을 산출한다.

1) 대상건물 개요

대상건물은 저작도구를 통해 가상으로 만들어진 것으로 위치는 IVEC(인천)데이터 적용을 위해 인천광역시로 선정하였다. Table 5와 Figure 6은 가상으로 설계한 대상건물의 개요를 나타낸다.

그리고 Figure 7과 같이 일사량 분석과 음영분석을 적용한 개발 BIM 도구의 스크립팅을 통해 각 Area의 필요한 패널 정보를 추출한다.

Table 6은 가상으로 구축한 대상건물에 개발 BIM 도구를 활용하여 신재생에너지 공급의무비율을 만족하기 위한 원별 설치규모 55.82kWh(1395.58㎡) 해당하는 패널과 좌표값, 태양에너지 변환값, 면적을 산출한 결과이다.

Table 5 Information of research object building

Division	Description
location	Incheon Metropolitan City
using	Culture and assembly facilities
area	6445.95㎡

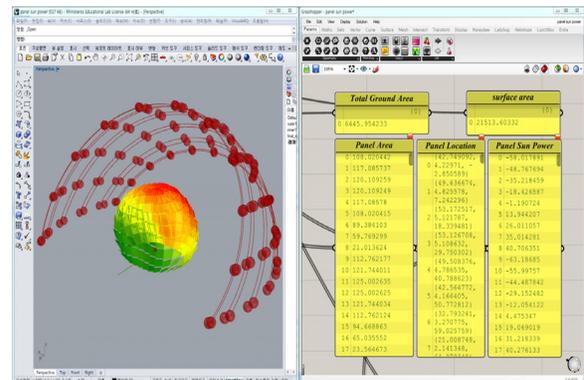


Figure 6 3D modeling and script of the target building

Panel Area	Panel Location	Panel Sun Power
0 108.020442	{42.749092,	0 -58.017891
1 117.085737	0 4.22971, -	1 -48.767694
2 120.109259	2.850589}	2 -35.218459
3 120.109249	{49.636674,	3 -18.426587
4 117.08578	1 4.825578,	4 -1.190724
5 108.020415	7.242296}	5 13.944207
6 89.384103	{53.172517,	6 26.011057
7 59.769299	5.121787,	7 35.014281
8 21.013624	18.339481}	8 40.706351
9 112.762177	{53.126708,	9 -63.18685
10 121.744011	3 5.108632,	10 -55.99757
11 125.002635	29.750302}	11 -44.487842
12 125.002625	{42.564772,	12 -29.152482
13 121.744034	5 4.166405,	13 -12.054122
14 112.762124	50.772812}	14 4.475347
15 94.668863	{32.793241,	15 19.069019
16 65.035552	6 3.270775,	16 31.218339
17 23.564673	59.025759}	17 40.276133
	{21.008748,	
	2.141348,	
	64.873246}	

Figure 7 Extraction of panels using BIM tools

Table 6 Determining installation scale of BIPV using BIM

NO	Solar Value	Coordinate Value	Area
178	71.09	{-9.012147, -20.609404, 65.025756}	54.77
169	70.61	{-12.717237, -17.370379, 64.99259}	64.63
187	70.56	{-5.112835, -22.792474, 64.984144}	45.24
160	69.49	{-16.069181, -13.312427, 64.93359}	69.88
196	68.85	{-1.061569, -23.773979, 64.900501}	40.37
151	67.88	{-18.780535, -8.838071, 64.896998}	67.85
152	67.69	{-8.289298, -4.050457, 67.664749}	25.22
143	67.69	{-9.044914, -1.943954, 67.712626}	22.07
168	67.34	{-19.961575, -24.26983, 59.252894}	79.07
134	66.91	{-9.300712, 0.045382, 67.733075}	20.62
161	66.76	{-7.117873, -6.27762, 67.627276}	28.00
205	65.97	{3.036391, -23.446353, 64.882527}	42.05
159	65.76	{-25.171735, -19.317633, 59.15589}	93.30
142	65.55	{-20.549615, -4.341561, 64.883003}	62.07
125	65.47	{-9.023603, 2.039053, 67.709753}	22.07
170	64.92	{-5.648968, -8.487182, 67.632792}	28.96
177	64.85	{-14.164777, -27.476072, 59.293113}	62.75
116	63.31	{-8.240252, 4.15019, 67.667903}	25.22
150	62.87	{-29.365952, -13.167476, 59.080093}	96.58
179	62.66	{-4.000846, -10.44638, 67.674768}	28.17
133	62.08	{-21.160394, 0.036687, 64.875871}	58.89
214	61.75	{7.022227, -21.855502, 64.922845}	49.64
107	60.48	{-7.040187, 6.368487, 67.648393}	28.00
188	60.42	{-2.262384, -11.888923, 67.723534}	26.57
141	58.94	{-32.089007, -6.578361, 59.03759}	91.86
197	58.22	{-0.487282, -12.566995, 67.753514}	25.53
222	58.03	{17.074308, -26.05552, 59.109912}	70.49
158	57.72	{-32.717044, -23.653102, 50.891112}	106.69

5. 결론

5.1 연구의 요약

본 연구는 BIM을 활용하여 비정형 건축물 BIPV 설치시 발생하는 음영에 대한 영향이나 일사량의 정밀 분석을 실시하여

BIPV 설치영역을 산정하고자 제안하였으며, 기존 BIPV 시스템 계획 및 설계 업무의 문제점을 도출하여 전문가 지식을 Engineering Knowledge로 구축하여 비정형 BIPV 설계 지원 BIM 도구를 활용하는데 목적을 두었다.

기존의 국내외 태양광 설비 시스템의 설계와 연관되는 연구 사례들을 고찰하여 기존 연구의 미비점과 본 연구의 개선방향을 수립하였다. 현재까지 비정형 건축물 및 부재를 대상으로 하는 태양광 설비 시스템의 설계 관련 연구사례가 많지 않아, 비정형 건축물 및 초고층 BIPV 시스템 등을 이용한 유사 분야의 국내외 연구를 분석하여, 방법론과 적용상의 한계점 등을 정리하였다. 또한, 태양광 사업의 추진 근거인 정부제도와 정책들을 분석하여 본 연구에서 도출하고자 하는 비정형 BIPV 설계 적용기준을 설정하였다. 신재생에너지 공급의무화 제도의 시행 근거 및 제반 규정들을 분석하여 원별 설치규모를 근거로 하는 태양광 설비 시스템 적용기준을 도출하였고 파라메트릭 모델링 기법을 분석하여 비정형 건축물 및 부재의 BIPV 적용 방안을 선택하였다.

BIM 도구의 검증을 위하여 신뢰성이 검증된 에너지 분석 시뮬레이션 프로그램인 Energy plus와의 비교 검증을 실시하여 개발 BIM 도구의 일사량 및 음영분석 신뢰성을 입증하였다. 또한, 실효성 검토를 위하여 비정형 건축물 및 부재의 2015년도 신재생에너지 공급 의무 비율에 따른 원별 설치규모를 산정하여 일사량 및 음영에 따른 필요 BIPV 패널을 산출하였다. 결론적으로 BIM 도구를 활용하여 설계자가 비정형 BIPV 태양광 시스템 설계를 진행하는데 설계 초기단계에서 설계자에게 최적의 설계 대안을 제시하고, 비전문가의 경우에도 손쉽게 태양광 어레이 설계 계획안을 산출할 수 있다.

5.2 연구의 의의 및 한계점

5.2.1 연구의 의의

본 연구는 정부제도 및 정책에 부합되는 의사결정 대안의 제시, 최근 사용도가 높아지고 있는 비정형 건축물 및 부재의 BIM 적용을 통한 3차원 모델링의 활용 측면에서 의의가 있다. 첫째, 본 연구의 모델링 방법론은 지붕 및 지상형 태양광 어레이 설계 지원 시스템 개발 및 발전량 예측 연구에 국한된 기존 연구의 한계를 극복하였다. 둘째, 최근 컴퓨터 기술의 발달과 더불어 사용빈도가 증가하고 있는 비정형 건축물 및 부재의 활용으로 태양광 설비 시스템의 설계 대안을 산출하는 도구를 구축함으로써 설계과정에서 설계자의 의사결정을 지원하고 비전문가가 직접 설계 계획안을 도출할 수 있도록 한다. 이러한 적용 알고리즘은 정형화된 건축물에 국한되어 적용되던 기존 설계방법의 문제를 개선하였다. 셋째, 태양광 설계와 관련된 전문가 지식을 규칙으로 반영하여 규칙기반 시스템을 구축하였다. 넷째, RPS 제도

및 신재생에너지 공급의무화 제도 등에 따라 설치하고자 하는 건축물 태양광 설비 시스템에 있어서 요구되는 발전용량별 배치 대안을 도출하는 모델로서 정부정책에 부합된다.

5.2.2 연구의 한계점

본 연구에서 제안된 비정형 BIPV 설계 지원 BIM 도구는 상용 소프트웨어와의 연계 및 전문 프로그래밍의 한계 등으로 인하여 독립된 범용 시스템으로서 구축되지 못하였다. 향후 전문 프로그래밍 작업을 통해 독립된 시스템으로서 통합되고 사용자 인터페이스를 구축하여 비정형 건축물 및 각 부재의 태양광 설비 시스템을 위한 범용 시스템 시뮬레이션으로 구축되고 활용되어야 한다. 향후 태양광 모듈과 인버터간의 조합에 따른 직렬·병렬 배치, 음영에 따른 어레이 전체의 발전량 저하 문제 등 전기적 특성까지 고려된 설계 분야까지 통합적 시스템으로 구축될 필요가 있다.

References

- Kang, B-B (2004), "Study on the web based monitoring and output characteristic analysis of PCS for 10kW BIPV", Doctorate Thesis, University of Dongshin.
- Kang, T-W (2013), "Study on Thermal and Electrical Performance of Vertical Semi-Transparent BIPV Module According to Insulation", Master's Thesis, University of Kongju.
- Kwon, S-H (2010), "A Study on the Identification of As-Built Quality Control Points for the Free-Form Building Facade Panels", Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- Kim, K-R (2008), "Comparison of Methodologies for Typical Meteorological Data Generation for Seoul in Korea", Master's Thesis, University of Ulsan.
- Kim, S-J (2012), "Prototype System to Support Array Design of Roof-Top Photovoltaics Based on 3D GIS", Doctorate Thesis, University of Seoul.
- Kim, H-R (2012), "Study on Electrical and Thermal Performance of BIPV Curtain Wall Systems", Master's Thesis, University of Kongju.
- Kim, H-I (2010), "Study on the Performance Analysis and Reliability Assessment for BIPV System", Doctorate Thesis, University of Inha.
- Moon, S-W (2011), "Study on the Designs Systemization of Architecture Using Parametric Technology", Master's Thesis, University of Ajou.
- Park, J-H (2014), "A Study on the Parametric Design Process for the Curved Surface Division of Irregular-Shaped Tall", Master's Thesis, University of Yeungnam.
- Park, H-S (2009), "study on a surface generation method of free-form architecture using a planar quadrilateral mesh technique", Master's Thesis, University of Hanyang.
- Seoul Special City Architecture Planning Division (2014), "guideline of Public Buildings".
- Solar & Energy (2011), "BIPV technology and market (2009-2015)", pp.24-25.
- Renewable Energy Center, "Supply obligation of renewable energy(RPS)system guide", Korea Energy Management Corporation, pp.1-273. 2012.
- Yang, H-B (2009), "study on the application of the BIPV system in building skin design", Master's Thesis, University of Yonsei.
- Yoo, H-C, Park, S-H, Kim, K-R (2008), "Comparison of Methodologies for Typical Meteorological Data Generation for Seoul", Korea Institute of Energy Research, 28(2), pp.10-18, 2008.
- Lee, S-W (2014), "A study on development of building-integrated solar power system performance", University of Pukyong.
- Ministry of Knowledge Economy (2008), "Development of the third-order new renewable energy technologies and use popular basic plan(2009-2030)".
- Han, M-J (2011), "The Design Method and Environmental Performance Evaluation for Unit Type BIPV in High Rise Buildings", Master's Thesis, University of Dankook.
- Han, J-K (2010), "A Study on Architectural Design Application of Photovoltaic System in Environment-Friendly Housing", Master's Thesis, University of Dongguk.
- Anton, J. V, Reinders, A, H, M, E, (2012) "Real-Time Irradiance Simulation for PV Products and Building Integrated PV in a Virtual Reality Environment", IEEE Journal of Photovoltaics, 2(3), pp.352-358.
- ANSI/ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 140-2001, (2006) "Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs".
- Di Vincenzo, M, C, Infield, D, (2010) "Artificial Neural Network for real time modelling of photovoltaic system under partial shading", Sustainable Energy Technologies (ICSET),

- 2010 IEEE International Conference on, Kandy, Sri Lanka, pp.1–5.
- Javier Monedero, (2006) “Parametric design : A review and some experiences”, 15th CAADe–Conference Proceedings, Vienna University of Technology.
- Kolatan, Ferda, (2006) “Responsive Architecture through Parametric Design”, New Kind of Science, University of Pennsylvania.
- Reich, N. H, Van Sark, W, Turkenburg, W. C, (2010) “Using CAD Software to Simulate PV Energy Yield - The Case of Product Integrated Photovoltaic Operated under Indoor Solar Irradiation”, Solar Energy, 84(8), pp, 1526–1537.
- Woyte, A, Nijs, J, Belmans, R, (2003) “Partial Shadowing of Photovoltaic Arrays with Different System Configurations : Literature Review and Field Test Results”, Solar Energy, 74(3), pp.217–233.
- Zhaoyu Wang, Qian Ai, Da Xie, Chuanwen Jiang, (2011) “A Research on Shading and LCOE of Building Integrated Photovoltaic”, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, Wuhan, China, pp.1–4.
- Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K, (2014) “BIM Handbook Second Edition”, pp.52–92.