

학교 건축에 대한 BIPV시스템의 성능 평가

Performance Evaluation of BIPV Systems Applied in School Buildings

박경은*

Park, Kyung-Eun

김진희**

Kim, Jin-Hee

김준태***

Kim, Jun-Tae

Abstract

Building-integrated photovoltaic(BIPV) systems can operate as a multi-functional building components, which generates electricity and serves as part of building envelope. It can be regarded as a new architectural elements, adding to the building's aesthetics. Besides of these benefits, the application of PV systems into school buildings tends to play an important role in energy education to students. In this context, this study aims to analyse the applicability of PV systems into school buildings. For an existing school building, four types of BIPV designs were developed; rooftops, wall-attached, wall-mounted with angle, and sunshading device. Based on energy modeling of those BIPV systems, the whole 60.1kWp rated PV installation is expected to yield about 65.6MWh of electricity, that is about 50% more than the annual electricity consumption of the school, 44MWh. It was also found that the applicability of the PV systems into the school building was very high, and the rooftop systems with the optimized angle was the most efficient in energy production, followed by sunshading, wall-mounted with angle and wall-attached. It concludes that school buildings have a reasonable potential to apply PV systems in the aspects of building elements and electricity production.

키워드 : 건물통합형 태양광발전시스템, 교육용 건물, 전력생산량

Keywords : Building Integrated Photovoltaic(BIPV), Educational Building, Generated Electricity

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 교육용 시설에서의 냉난방 시설 및 각종

교육 시설의 첨단화에 따라 전력 소비량의 비중이 높아지고 있다. 실제로 국내 545개 교육시설을 대상으로 에너지 사용현황을 조사한 결과, 교육 시설의 연간 에너지 소비량은 382,204toe, 이 중 전력사용량은 1,068,463MWh로 에너지 사용량의 69.9%를 차지하는 것으로 나타났다.¹⁾

이와 같은 에너지소비에 대한 부담과 환경 오염

* 정회원, 공주대학교 건축공학과 대학원, 박사과정

** 정회원, 공주대학교 건축공학과 대학원, 석사수료

*** 정회원, 공주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

문제에 대한 대안으로 태양에너지를 이용하는 태양광발전(Photovoltaic; PV)시스템을 이용하는 것은 매우 바람직하다. 건물에 통합적으로 적용되는 PV시스템은 건물일체형(Building-Integrated Photovoltaic; BIPV)시스템이라 하고 이는 기존의 설치 방식과는 달리 건물의 외피요소를 이용하는 방식으로 시스템의 전반적인 효율성 증진이 가능하다. 특히, 교육용 건물에 PV시스템을 일체화하여 적용하면 새로운 에너지 시스템의 효율을 더욱 높일 수 있고, 새로운 학습 소재를 제공할 수 있다. 지금까지 거의 확실화된 형태로 지어진 초·중·고교의 건물의 경우, 디자인 요소로서 건물의 가치를 높여 줄 수 있다는 점에서 더욱 유용하다. 그러나 학교 건축에 대한 BIPV시스템의 적용은 아직 그 기반 연구가 부족하고 높은 초기 투자비용의 문제로 인해 국내에서는 그 사례가 거의 전무한 실정이다.

이러한 배경 하에 본 연구의 목적은 기존 학교 건물을 대상으로 BIPV 시스템의 유형별 적용방법을 도출하고 에너지 생산 성능을 분석하여 학교건축에서의 BIPV 시스템의 적용 가능성을 살펴보기 위한 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

먼저 BIPV시스템의 개념을 설명하고 건물 적용방법에 대한 유형별 구분을 하였다. 전통적인 형태라고 할 수 있는 기존 학교인 논산시 소재 B초등학교를 대상으로 BIPV시스템을 지붕, 벽면, 차양에 적용하여 각각 설치가능한 면적과 시스템 용량을 산정하는 유형별 시스템 적용 설계를 하였다. 다음으로 기존 PV시스템 성능 평가방식을 이용하여 각 유형별 연간 전력생산량을 모델링하였다. 그리고 계획한 각 유형별 BIPV시스템이 대상 학교의 실제 전력사용량에 대해 어느 정도 감당하는지를 비교 분석하였다.

2. 건물통합형 PV(BIPV) 시스템

태양광발전(Photovoltaic; PV) 시스템을 건축물

에 적용한 것은 1970년대에 처음 시작되었는데 일반적으로 전력공급체계와 멀리 떨어져 있는 곳에 위치한 건물에 금속 프레임의 PV모듈을 장치하는 형태로 이루어졌다. 그 후 점차 발전해 1990년대부터 PV모듈이 건물외피 내에 일체화 되어 디자인되면서 건물통합형 태양광발전시스템(Building-Integrated Photovoltaic; BIPV) 시스템이 상업적으로 널리 이용되기 시작되었으며 현재까지 주거용, 상업용, 산업용 그리고 공공기관 건물에 다양하게 적용되고 있다.²⁾ BIPV시스템은 PV 시스템이 건물에 통합되어 일체화 된다는 의미로, 별도의 지지구조물을 세우고 PV모듈을 덧붙이는 기존의 PV 설치 방식과는 달리 PV모듈을 건물 외피 재료로 적용하는 것이다.

건물의 지붕이나 벽면 등에 설치된 태양광발전시스템은 그림 1과 같이 지역 전력계통선과 연계될 수 있다. 이때 건물에서는 필요에 따라 전력 공급자로부터 전기를 공급받거나, 잉여 전기가 발생하면 반대로 공급자에게 전기를 보낼 수 있다. 태양전지에서 발생하는 전기는 직류이며 이는 인버터에 의해 일반 전기제품에 쓸 수 있는 교류로 전환된다.

이러한 BIPV시스템은 전기를 생산하는 동시에 지붕이나 벽면, 차양, 채광창 등과 같은 건물외피의 기능을 부여함으로써 시스템의 경제성을 확보할 수 있는 다기능 건물 재료로 PV시스템의 효율성을 높일 수 있다. 또한 건물의 새로운 외장재로서 건축의 혁신적인 설계요소로 사용될 수 있다.

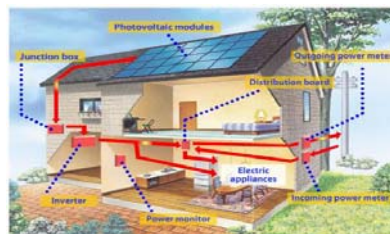


그림 1. BIPV 시스템 구성³⁾

2) P. Eiffert and G. Kiss, Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures, U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge, p.59, 2000

3) Mitsubishi Electric, How Solar Power Works- Residential Types System, Mitsubishi Electric Corporation, 2004 <http://www.global.mitsubishielectric.com/bu/solar/overview/howworks.html#> 2004. 8. 12

1) 에너지관리공단, 건물용도별 전력원단위 조사연구, 산업자원부, p.111, 2002

3. BIPV시스템 적용 유형

최근 BIPV시스템은 다양한 형태로 적용되고 있는데 커튼월 벽면, 아트리움 지붕, 지붕의 타일, 채광창, 차양 등으로 광범위하게 활용되고 있다. BIPV시스템의 적용 유형은 일반적인 건물의 구성 요소에 따라 지붕, 벽면, 그리고 차양 및 채광요소로 구분할 수 있다.

3.1 지붕 요소 적용

일사획득이 가장 용이한 적용 기법으로 가장 많이 이용되는 방법으로 여겨진다. 특히, 단독 주택 등의 주거용 건물이나 학교 등의 건물에 많이 이용되고 있다. 적용 유형은 크게 두가지로 구분되는데 하나는 기존의 지붕 마감재료인 아스팔트 싱글이나 지붕기와 타일의 규격으로 제작된 PV모듈을 적용하는 형태(그림 2)이고, 다른 하나는 기존의 PV모듈을 지붕구조에 통합하여 설치하는 방식이다(그림 3).



그림 2. 기와 지붕 적용 (스위스)⁴⁾



그림 3. 지붕 적용 사례 ((Aussen 독일)

4) I. Hagemann, Gebaudeintegrierte photovoltaik, Rudolf Muller, p.283, 2002

3.2. 벽면 요소 적용

건물 벽면 요소로서 PV시스템을 적용하는 대표적인 방법은 커튼월로 결합하는 것이다(그림 4).

이는 최근 유리채를 이용한 커튼월 공법을 주로 사용하는 상업용 건물에서 유용하게 적용될 수 있다. 이때, 광선 투과가 가능한 투명 반투명 모듈을 이용하면 자연채광을 실내로 유입하는 효과까지 얻을 수 있다. 그러나 이 공법을 적용하기 위해서는 다른 환경적인 요인들에 대한 고려와, 설치 시 공 시 좀 더 세밀하고 정밀한 기술 등이 수반되어야 한다.

이 외에도 타일, 벽돌, 판석재 등 건물의 외부 마감재를 대신하여 PV모듈을 건물에 통합적으로 적용하기도 한다(그림 5).



그림 4. 커튼월 적용⁵⁾
(Walther-Technology 독일)



그림 5. 외장재 적용
(Federal Institute of Technology Lausanne 스위스)

3.3. 차양 및 채광 요소

BIPV 기술은 과도한 직사일광의 유입을 막고 채실자로 하여금 불쾌감을 유발하는 현휘 등을 방지하기 위해 사용되는 차양 요소에 적용될 수 있다(그림 6(a)). 반대로, 셀 자체의 미세한 구멍을 통하여 빛을 투과시키거나, 셀 사이에 일정한 간격을 두어 자연광을 실내로 유입하는 채광 요소로 사용되기도 하는데, 최근 사무실이나 공공건물 등에 사용되는 커튼월에 기존 재료를 대체하여 유용하게 사용될 수 있는 기법이라 할 수 있다(그림 6 (b)).

이와 같이 빛을 조절하는 기능 이외에도 이러한 요소들의 건물의 이미지를 향상시키는 디자인적인

5) Ibid., p.321

요소로서의 역할까지 기대할 수 있다.



(a) University of Erlangen⁶⁾ (b) Governmental Quarter⁷⁾

그림 6. 차양 및 채광 요소 적용 (독일)

4. BIPV 시스템의 학교적용 성능 평가

4.1 대상건물 개요

연구 대상으로 선정한 대상은 1933년에 설립된 논산 소재 한 초등학교로 그림 7과 같이 배치된 전형적인 초등학교라고 할 수 있다. 대상 학교는 3개의 교사동과 그 외 병설유치원을 포함하여 5동으로 이루어졌으며, 남향에 위치한 교사동인 가동이 2층 건물이고 다른 동은 모두 1층 건물이다. 교사동인 가동은 2004년도에 증축되어 일반교실과 다목적 강당이 증설되었다. 연구 대상인 교사동은 기존 건축면적 1,572.97m²와 증축 건축면적 856.19m²

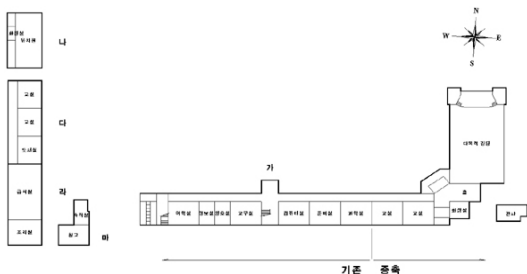


그림 7. 대상 초등학교 건물배치도

6) International Energy Agency(IEA) PVPS Task7, Project & Browser Details
<http://www.pvdatabase.com/images/projects/DBioErl1.jpg>
 7) Ibid.
<http://www.pvdatabase.com/images/projects/DWirmin2.jpg>

를 포함하여 총 2,408.36m²의 면적을 갖는 건물이다. 건물의 주요 제원은 표 1과 같다.

표 1. 건물 개요

대지위치	충남 논산시 부적면
지역, 지구	준농림지역
용도	교육연구 및 복지시설(초등학교)
대지면적(m ²)	11,867
건축면적(m ²)	2,408.36
연면적(m ²)	3,288.80
건폐율(%)	20.29
용적률(%)	27.71
구조	철근콘크리트조

건물의 냉난방 방식은 전기를 이용한 공기식으로 용량 8,600kcal/h의 천정형 냉난방기가 각실에 적용되었다.

대상 건물에서 지난 2003년에 건립되어 전력사용에 대한 자료 파악이 어려운 증축부는 본 연구 대상에서 제외하고 기존의 건축부분만을 고려하였다. 그림 8과 9는 BIPV시스템이 적용될 건물의 입면과 지붕층 평면을 나타낸 것이다.

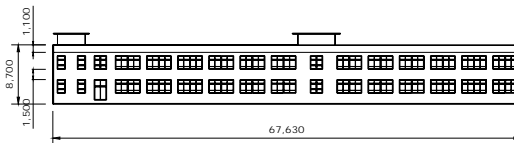


그림 8. 교사동 입면도 (기존부분)

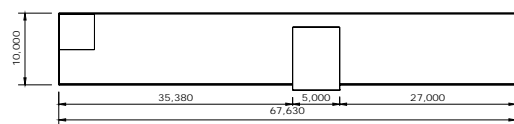


그림 9. 교사동 지붕층 평면도 (기존부분)

4.2 BIPV시스템 적용계획

BIPV시스템의 성능평가 모델링을 위하여 각 적용 유형별로 실제 건물에 설치가능한 면적과 시스템 용량을 산정하였다.

본 연구에서는 남향으로 면해 있어 일사확보에 유리한 교사동 건물을 대상으로 PV시스템을 건물

에 적용하여, 지붕, 벽면에 부착하는 방식과 차양 장치로 적용하는 방식 등 3가지 유형으로 구분하여 계획하였다.

각 유형별로 건물에 설치할 수 있는 BIPV시스템의 용량은 그림 10과 같이 산정되었다.

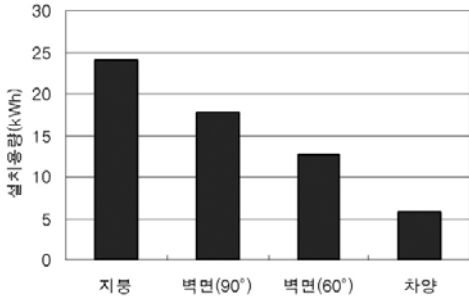


그림 10. 적용유형별 BIPV시스템 설치용량

1) 지붕

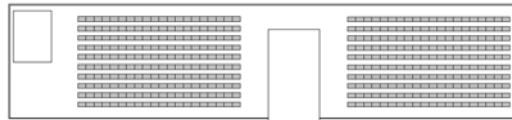
대상건물의 지붕은 판상형으로 지붕에 적용한 PV시스템은 지붕에 가대를 세우고 그 위에 PV모듈을 설치하는 형식으로 계획하였다(그림 11).

다음 표 2에 나타나 바와 같이 지붕에 설치할 수 있는 PV시스템의 용량은 24kWp로, 지붕의 설치면적은 지붕 총면적 673.8m² 중 450m²로 시스템에 대한 음영을 배제하고 유지보수의 작업면적을 고려하여 PV모듈을 배열하는 것으로 하였다. 전체 시스템은 하나 당 60Wp 용량인 모듈을 20개 연결한 PV어레이 20개로 구성하여 지붕에 총 400개의 모듈을 설치하는 것으로 하였다. 각 어레이의 앞뒤 사이에는 45cm 간격을 유지하여 겨울철 낮은 태양고도에 의해 PV어레이 간에 발생할 수 있는 음영을 배제하였다. PV어레이의 설치 경사각도는 TRNSYS를 이용해 분석한 일사량 자료에 기초하여 일사량 확보에 가장 우수한 각도인 27°로 설계하였다.

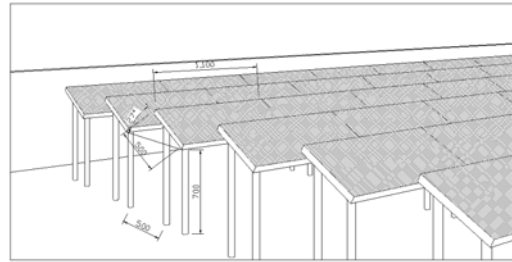
표 2. 지붕 적용 BIPV시스템의 설치내용

설치용량		설치면적*	설치경사도
용량(kWp)	모듈수 (개) (60Wp)		
24	400	45m×10m	27

* 60Wp 단위 PV모듈 면적: 0.5m×1.1m



a. 지붕적용 BIPV모듈 설치 평면도



b. 지붕적용 BIPV모듈 설치 상세도

그림 11. 지붕층 BIPV시스템 설치 형상

2) 벽면

벽면에는 두 가지 형태로 PV시스템을 적용하였는데, 남향인 수직벽면 입면에 PV모듈이 부착되는 형태(90°로 표기)와 경사를 갖는 형태(수평면과 60°도 각도 유지)로 고려하였다(표 3).

표 3. 벽면 적용 BIPV시스템 설치용량 및 면적

구분	설치용량		설치면적*
	용량(kWp)	모듈 용량 / 개수	
수직부착형 (90°)	17.76	53Wp / 335	67m×1.35m + 67m×0.9m
경사부착형 (60°)	12.6	150Wp / 84	63.6m×0.79m×2

*53Wp 단위 PV모듈 면적: 0.45m×0.98m

*150Wp 단위 PV모듈 면적: 0.79m×1.59m

먼저 입면에 부착하여 수직을 유지하는 설치 형태는 건물 1층과 2층 사이의 층간과 2층과 옥상층 사이 면적에 적용하였다(그림 12). 설치면적은 층간벽면 입면의 총면적 약 175m² 중 146m²(1층과 2층 사이 층간면적 60.3m²와 2층과 옥탑층 사이의 층간면적 90.45m²)로 산정하였다. 이 설치 시스템의 용량은 17.76kWp로 53Wp 모듈을 335개 설치한 것이며, 이는 1, 2층간에 201개, 2층과 옥상층 사이에 134개를 덧붙이는 형태로 설계하였다.

벽면에 경사를 유지하며 적용되는 BIPV시스템은 PV모듈의 경사를 수평면에서 60°가 되도록 벽

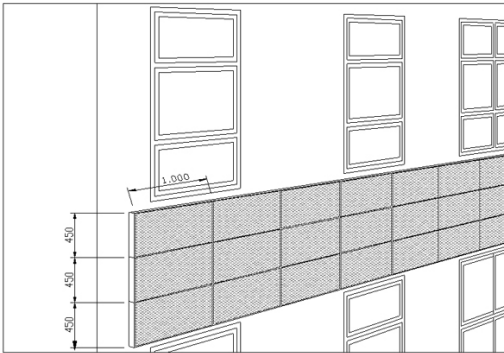
하였다. 이 설치방법에서 PV모듈의 하단부는 차양 처럼 돌출되며 그 길이는 약 0.4m이다.

3) 차양

가동의 전체 입면 면적은 약 546m²(67.38m×8.1m)로 남향의 전체 창 면적은 약 190m²이다. 이 중 계단실과 화장실 창을 제외한 각 층의 교실창(3.6m×2)에 수평 차양형으로 PV시스템을 계획하였다. 대상건물의 남측면 유리창은 각 층에 12개씩 총 24개이며 창 면적은 총 172.8m²(7.2m²×24)이다. 이 남측 창문 위에 적용한 차양형태의 PV시스템은 설치용량이 5.76kWp이다(그림 14). 교실의 단위 창문 폭 3.6m에 80Wp 용량의 모듈 3개를 길이방향으로 연결하여 설치하는 형태로 설계하였다. 전체 남측창문 24개에 80Wp 모듈 72개 설치가 가능하였다(표 4).



a. 수직부착형 BIPV모듈 설치 입면도



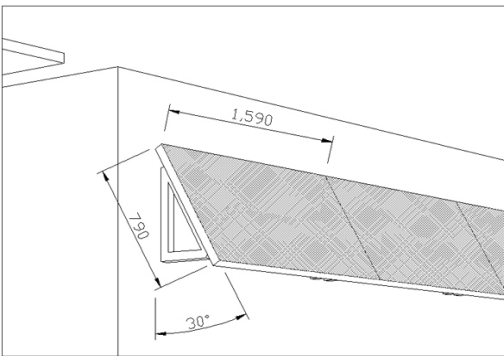
b. 수직부착형 BIPV모듈 설치 상세도

그림 12. 수직벽 부착 BIPV시스템 설치 형상

면에 가대를 설치하여 차양의 역할을 겸하는 방식으로 설계하였다(그림 13). 시스템용량은 12.6kWp로, 설치면적은 벽면 층간 총 면적 175m²중 106m²로 각 층간에 53m²씩 산정하였다. 경사 부착형에서는 PV모듈의 돌출에 의한 음영을 방지하기 위해 벽면 층면적보다 설치면적을 축소하여 산정하였다. 시스템은 150W모듈을 각 층간벽면에 42개씩 총 84개 모듈을 길이방향으로 설치하는 것으로



a. 경사부착형 BIPV모듈 설치 입면도

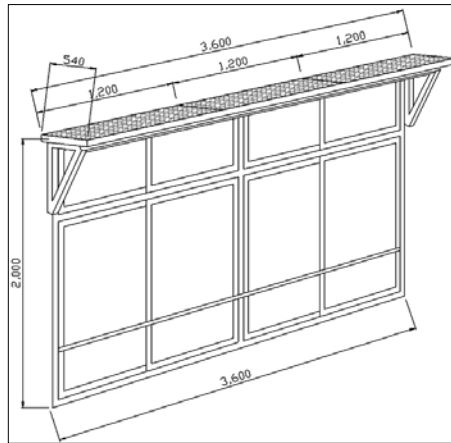


b. 경사부착형 BIPV모듈 설치 상세도

그림 13. 벽면 경사부착형 BIPV시스템 설치 형상



a. 차양형 BIPV모듈 설치 평단면도



b. 차양형 BIPV모듈 설치 상세도

그림 14. 차양형 BIPV시스템 설치 형상

표 4. 차양형 BIPV시스템 설치용량 및 면적

구분	설치용량		설치면적*
	용량 (kWp)	모듈용량 / 개수	
차양	5.76	80W / 72개	172.8m ²

* 80Wp 단위 PV모듈 면적: 0.54m×1.2m

4.3 BIPV시스템 성능평가 모델링

적용된 BIPV시스템의 성능에 대한 평가는 각 유형별로 산출되는 전력량을 도출하여 수행하였다.

먼저 TRNSYS⁸⁾를 이용하여 시간별 기후데이터(TMY2)의 일사량을 분석하고 일반적으로 사용되는 PV전력계산식에 의해 연간전력량을 시간별로 계산하는 방식으로 수행하였다. PV모듈은 시스템 설계에 사용된 특정업체의 다결정실리콘 모듈을 적용하여 모델링하였으며 각 용량에 따른 모듈의 사양은 표5와 같다. 모델링에 필요한 기상데이터는 대한공조학회에서 제공하는 TMY2⁹⁾ 형태의 대전지역의 연간 시간별 기상데이터를 사용하였다.

표 5. PV모듈 사양

항목	상제사양			
	53W	60W	80W	150W
최대 출력	53W	60W	80W	150W
최대 전압	17.2V	16.8V	17.6V	34.5V
최대 전류	3.08A	3.56A	4.55A	4.35A
보증출력	50W	58W	75W	140W
단락전류	3.33A	3.87A	4.8A	4.75A
개방전압	21.3V	21V	22.1	43.5V
단락전류시 온도계수	(0.065±0.015)/°C	(0.065±0.015)/°C	(0.065±0.015)/°C	(0.065±0.015)/°C
개방전압시 온도계수	-(80±10)mV/°C	-(80±10)mV/°C	-(80±10)mV/°C	-(80±10)mV/°C
전력 온도계수	-(0.5±0.05)/°C	-(0.5±0.05)/°C	-(0.5±0.05)/°C	-(0.5±0.05)/°C
NOCT	47±2°C	47±2°C	47±2°C	47±2°C
크기	447×985×38mm	502×1110×50mm	537×1204×38mm	790×1595×50mm
무게	6.2kg	7.2kg	7.7kg	15.4kg

1) PV전력량 계산식

일반적으로 PV시스템의 생산 전력량은 아래 식 1과 같이 최대전류와 최대전압의 곱으로 구해지며, 외부조건에 의해 변화하는 단락전류(Isc)와 개방전압(Voc) 값에 의해 결정된다. 식2와 3에 나타난 바와 같이 단락전류와 개방전압은 모듈표면에 떨어지는 일사량과 모듈온도, 외기온도가 고려되어 계산된다. Fill Factor(FF)는 최대 전력점에서

8) Solar Energy Laboratory, TRNSYS Volume 1(Reference Manual), University of Wisconsin-Madison, 2000
 9) 김두천, 서진석, 건물의 공조부하계산용 표준전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구, 통상산업부 연구보고서, 94-p-11-03, 1996

의 전류밀도(최대전류) Im값과 전압(최대전압) Vm값의 곱을 개방전압 Voc와 단락전류 Isc의 곱으로 나눈 값이다(식4).

$$P_m(\text{전력량}) = I_m \times V_m = FF \times I_{sc} \times V_{oc} \quad (1)^{10}$$

여기서, Im : 최대전류
 Vm : 최대전압
 Isc : 단락전류
 Voc : 개방전압
 FF : Fill Factor

$$I_{sc} = I_{sc1} \times (q / 1000) \quad (2)^{11}$$

$$V_{oc} = V_{oc1} - 0.0023 \times T_a \times (T_c - 25) \quad (3)^{12}$$

$$FF = P_{max1} / I_{sc1} \times V_{oc1} \quad (4)^{13}$$

여기서, q : 표면일사량(W/m²)
 Ta : 외기온도(°C)
 Tc : 셀 온도(°C)
 Isc1 : 표준조건에서의 단락전류(A)
 Voc1 : 표준조건에서의 개방전압(V)
 Pmax1 : 표준조건에서의 최대전력(W)

한편 PV 셀 온도, Tc는 다음 식 5를 통해 계산된다.

$$T_c = T_a + ((NOCT - 20) / 0.8)q \quad (5)^{14}$$

여기서,
 NOCT : nominal operating cell temperature

PV시스템에 의한 최종 전력생산량은 아래 식 6와 같이 위에서 계산된 단락전류, Isc와 개방전압,

10) R. Messenger and J. Ventre Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, Boca Raton, p.45, 2000
 11) Ibid., p.43
 12) T. Markvart, Solar Electricity, John Wiley & Sons, LTD, Chichester, p.90, 2000
 13) Ibid., p.90
 14) R. Messenger and J. Ventre, op., cit., p.48

V_{oc} , FF¹⁵⁾, 그리고 사용된 모듈 수를 곱하여 산출하였다.

$$P_m = FF \times I_{sc} \times V_{oc} \times \text{모듈 수} \quad (6)$$

4.4 모델 성능평가 결과

본 연구에서 BIPV시스템의 유형별로 연간 전력 생산량을 모델링하여 표 6과 같은 결과를 얻었다. 유형별로 설치 용량에 차이가 있어 전력생산량에 대한 상대 비교하는 것에 큰 의미는 없으나, 유형별로는 지붕, 벽면(수직부착), 벽면(경사부착), 차양의 순서로 많은 전력을 생산하는 것으로 나타났다.

표 6. 적용유형별 BIPV시스템 연간전력 예측량

구분	설치용량	연간전력 생산량 (MWh)	설치용량당 연간전력생산량 (MWh/kWp)
	용량(kWp)		
지붕	24	29.89	1.25
벽면(90°)	17.76	14.72	0.83
벽면(60°)	12.6	14.33	1.14
차양	5.76	6.67	1.16
합계		65.61	1.09

그러나 PV모듈의 설치 위치별로 설치용량에 대한 전력생산량을 비교하면 지붕, 차양, 경사 벽면(60°), 수직 벽면(90°) 적용의 순서로 전기 생산을 많이 하는 것으로 나타났다. 지붕적용 BIPV시스템은 설치용량이 24kWp로 연간 29.89MWh의 전력을 생산하는 것으로 계산되었는데 이는 PV시스템 설치용량당(kWp) 약 1.25MWh를 생산하는 것이다. 이에 비해 건물의 남측 벽면에 수직으로 부착한 PV시스템의 경우 kWp 설치용량당 0.83MWh의 전력을 생산하여 가장 낮은 것으로 모델링되었다. 이러한 차이는 태양의 위치 변화에 따라 PV모듈에 떨어지는 일사량에 차이가 있기 때문으로 분석된다. 지붕 적용의 경우 일사량 확보에 가장 유리한 경사각인 27°로 PV모듈을 설치하여 가장 높은 전력생산 효율을 갖는 것으로 파악되었다.

표 6에 나타난 바와 같이 4가지 BIPV시스템 유형을 모두 적용하게 되면 설치 용량은 60kWp가

되며 연간 전력은 약 66MWh를 생산하는 것으로 나타났다. 이렇게 모델링된 전력생산량은 실제 대상 학교의 2002년도 전력사용량 44MWh와 비교하면 약 22MWh의 잉여전력이 생산되는 것으로 나타났다.

표 7. 월별 전력사용량과 BIPV시스템 적용 전력예측량

월	전력 사용량 (kWh)	BIPV시스템 전력 예측량(kWh)			
		지붕	벽면(90°)	벽면(60°)	차양
1	4,608	2,014	1,410	1,162	355
2	4,278	1,913	1,122	992	390
3	5,085	2,912	1,465	1,410	601
4	3,335	2,991	1,244	1,325	743
5	3,217	3,385	1,209	1,416	812
6	3,171	2,844	1,053	1,188	754
7	3,517	2,364	917	1,013	562
8	2,234	2,858	1,151	1,272	729
9	3,067	2,396	1,140	1,138	525
10	2,836	2,461	1,394	1,268	528
11	4,106	1,983	1,340	1,119	351
12	4,947	1,772	1,272	1,030	323
계	44,401	29,893	14,717	14,333	6,673

BIPV시스템의 적용 유형별로 예측한 연간전력 생산량을 대상건물의 연간 전력사용량과 비교해보면(표 7 및 그림 15), BIPV시스템을 지붕에 적용한 경우는 연간 약 30MWh의 전기를 생산하여 대상건물 전체 전력소비의 약 67%를 감당하는 것으로 나타났다. 벽면 수직 부착의 경우 설치용량에 비해 연간전력생산량이 적지만 전체 전력소비의 33%를 감당하는 것으로 나타났다. 또한 벽면 경사부착 유형에서는 수직부착형 시스템보다 설치용량이 약 5kWp정도 적으나 연간 전력생산량은

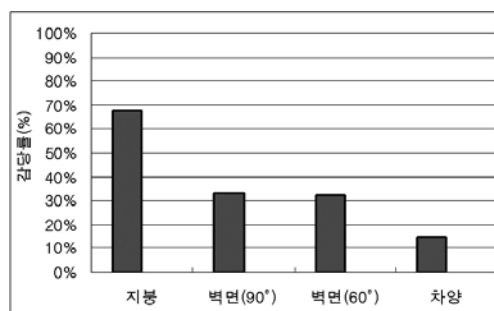


그림 15. 연간 전력사용량에 대한 시스템의 전력 감당률

15) 사용된 PV모듈의 사양으로 계산된 FF값 0.74를 사용.

거의 같은 수준의 전력을 생산하는 것으로 나타났다. 반면 차양으로 적용한 BIPV시스템은 다른 유형에 비해 설치용량이 적어 연간 전체 전력생산량은 6.7MWh로 15%를 감당하는 수준으로 모델링되었다.

대상건물에 대한 각 유형별 BIPV시스템이 건물의 실제 월별 전력사용량에 대해 감당하는 정도(감당율)를 나타내면 표 8과 같다. 지붕에 적용한 유형의 경우, 일사량이 낮은 11~2월을 제외하고 대부분 50%이상의 전기사용량을 감당할 수 있게 모델링되었다. 특히 5월과 8월은 전력사용량보다 많은 전력을 생산하여 잉여전기를 생산하는 것으로 나타났다. 수직 벽면(90°)에 적용한 경우 월별 감당율은 7월의 최소 26%, 8월 최대 52%에 이르렀다. 또한 경사 60°도의 벽면으로 적용한 경우도 비슷한 분포로 일사량이 낮은 7월과 겨울철의 감당율이 낮은 것으로 파악되었다. 차양형 시스템은 평균 15% 정도로 월별 최소 감당율은 7%(12월)이며, 최대 감당율은 8월의 33%로 나타났다.

표 8. BIPV시스템 적용유형별 월별 전력 감당율

월	전력 사용량 (kWh)	지붕 (%)	벽면 (90°) (%)	벽면 (60°) (%)	차양 (%)
1	4,608	44	31	25	8
2	4,278	45	26	23	9
3	5,085	57	29	28	12
4	3,335	90	37	40	22
5	3,217	105	38	44	25
6	3,171	90	33	37	24
7	3,517	67	26	29	16
8	2,234	128	52	57	33
9	3,067	78	37	37	17
10	2,836	87	49	45	19
11	4,106	48	33	27	9
12	4,947	36	26	21	7
계	44,401	67.3	33.1	32.3	15.0

5. 결론

본 논문에서는 논산시에 위치한 B초등학교 기존 건물을 대상으로 지붕, 벽면, 차양에 PV시스템

을 적용하고, 각 BIPV시스템의 성능을 예측하기 위한 모델링을 수행하였다.

대상 건물에 PV를 복합적으로 적용하면 대상 학교의 실제 연간 전력사용량, 44MWh보다 많은 65.6MWh의 전력 생산이 가능한 것으로 나타났다.

적용유형별로는 차양을 제외한 모든 유형이 연간 전력사용량의 최소 30%이상을 감당 할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 학교건축에 있어 BIPV시스템의 적용에 따른 전력생산량은 매우 높은 것으로 판단된다.

BIPV시스템의 적용 유형별 효율성을 단위 설치용량당 전력생산량으로 비교하면, 최적 경사도를 유지하는 지붕형이 가장 유리하고, 이어 수평 차양, 벽면 경사적용, 그리고 마지막으로 수직벽면에 적용하는 형태의 순서가 된다.

특정 학교건물을 대상으로 성능을 평가하여 연구된 결과를 일반적으로 적용하는 데는 한계가 있으나, 결론적으로 본 연구는 학교 건물에 대한 BIPV시스템의 적용성이 높고 에너지 생산 측면에서도 그 가능성이 충분하다는 것을 보여 주었다.

각종 기자재 사용의 증가, 실내 환경조건에 대한 기대치의 상승 등으로 인해 국내 교육용 시설의 에너지 부담이 점증하는 상황에서 환경친화적인 학교 조성을 위한 BIPV시스템의 적용은 시급한 사안이라 할 수 있다.

학교건물에 대한 이러한 재생에너지 이용 시스템의 적용은 에너지 생산의 효율성 측면뿐만 아니라 학생들에게 직접적인 에너지 교육의 매체를 제공하기에 더욱 의미가 있다고 할 수 있다. 또한 BIPV시스템은 새로운 건축계획 요소로 활용이 가능하여 학교건축의 이미지 개선에도 효과를 줄 수 있다. 그러나 학교시설에 대한 PV시스템의 적용은 우선적으로 적용 유형별 모델을 개발하고 이를 체계적으로 검증하고 분석하는 선행 노력을 필요로 한다.

참고문헌

1. 에너지관리공단, 건물용도별 전력원단위 조사 연구, 산업자원부, 2002

2. 김두천, 서진석, 건물의 공조부하계산용 표준전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구, 통상산업부 연구보고서, 94-p-11-03, 1996
3. P. Eiffert and G. Kiss, Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures, U.S. Department of Energy(DOE), Oak Ridge, 2000
4. G. Kiss and J. Kinkead, Optimal Building-Integrated Photovoltaic Applications, National Renewable Energy Laboratory(NREL), Colorado, 1995
6. Kiss Cathcart Anders Architects, P.C., Building-Integrated Photovoltaics, National Renewable Energy Laboratory(NREL), Colorado, 1993
7. F. Sick and T. Erge, Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers, IEA, James and James Ltd, London, 1996
8. R. Thomas and M. Fordham, Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London and New York, 2001
9. O. Humm and P. Toggweiler, Photovoltaics in Architecture, Birkhauser Verlag, Basel, 1993
10. CADDET Centre for Renewable Energy, Building-integrated Photovoltaic System in the UK, CADDET, Technical Brochure No. 67, 1998
11. Herrmann and Bosch, Fachhochschule für Technik Esslingen Neubau Kiesstraße, Freie Architekten BDA, 2000
12. Mistubishi Electric, How Solar Power Works-Residential Types System, Mistubishi Electric Corporation, 2004
<http://www.global.mitsubishielectric.com/bu/solar/overview/howworks.html#> 2004. 8. 12
13. IEA Photovoltaic Power System Programme, Wasgenring School House, Switzerland, 2003
http://www.oja-services.nl/iea-pvps/cases/che_02.htm, 2004. 8. 12
14. I. Hagemann, Gebaudeintegrierte photovoltaik, Rudolf Muller, 2002
15. Solar Energy Laboratory, TRNSYS Volume 1(Reference Manual), University of Wisconsin-Madison, 2000
16. T. Markvart, Solar Electricity, John Wiley & Sons, LTD, Chichester, 2000
17. R. Messenger and J. Ventre Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, Boca Raton, 2000
18. International Energy Agency(IEA) PVPS Task7, Project & Browser Details
http://www.pvdatabase.com/search_form.cfm, 2004. 8. 12