

# 친환경 교육시설을 위한 태양광 추적형 BIPV시스템의 성능평가에 관한 연구

## A Study on the Performance Evaluation of the Solar Light-Tracking BIPV System for the Zero Energy building in Educational Facility

박열\*      최진희\*\*  
Park, Yeol      Choi, Jin-hee

Abstract : The efficiency a solar cell system us mainly affected by the solar incident angle on the photovoltaic panels. The purpose of this thesis is to investigate a solar light-tracking BIPV system as the applicability on the educational facilities. Two typical types of BIPV system by operating system; fix PV panel type and rotating PV panel type, are analyzed in the performance of electric power generation and compared with solar light-tracking BIPV system. The simulation of solar irradiance is performed using ECOTECT, which has various advantage such as easy user interface and simple simulation processes. In order to evaluate the electric power generation efficiency, the electric power generation rate and global irradiation were measured on the spring/autumn equinox and the summer/winter solstice. As a result, the generation of solar power by solar light-tracking BIPV system shows 6.7% higher than fix-PV panel system. Meanwhile the generation of solar power by rotating PV system shows 1% higher than fix-PV panel system. Therefore, the solar light-tracking BIPV system will be an effective solution to develop for the zero energy building in educational facility.

주요어 : 태양광 추적형 BIPV, 에코텍, 태양광에너지, 교육시설.

Keyword : Solar Light-Tracking BIPV, Ecotect, Solar Energy, Educational Facility.

### I. 서론

#### 1. 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라에서는 에너지의 과소비 실태를 해결하고자 신재생에너지 시스템 보급을 확대하기 위한 다양한 지원과 규제가 시행되고 있으며, 오늘날 공공건축물 계획에 있어 신재생에너지계획은 거의 의무화되어 반영되고 있다. 현재 신재생에너지시스템 보급관련 정책을 살펴보면, '공공기관 에너지 합리화 추진' 지침에서 2008년 6월부터 신재생에너지 이용을 의무화 하고 있으며, 학교시설을 포함하여 '신재생에너지 개발·이용·보급 촉진법'이 시행되고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 신재생에너지

는 태양광, 태양열, 풍력, 수력 등이 있으나 정부는 교육시설 내 신재생에너지 생산을 위한 활용방안으로 태양광에너지에 중점을 두고 있으며, 여기에는 태양광발전(PV:Photovoltaic)시스템이 이용되고 있다.<sup>2)</sup>

태양광을 이용하여 건물에 필요한 전력을 충분히 공급하기 위해서는 PV 패널 설치에 많은 면적이 요구되어 기존의 건축물의 옥상에 설치하는 태양전지 모듈만으로는 매우 부족한 실정이다. 따라서 신재생에너지

은 법 시행령 제15조에 따라 공지하고 있으며, 신재생에너지 시스템 보급을 확대하기 위해 '신재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(대통령령 제26316호)이 시행되고 있다. 규정은 2015년 6월 15일에 공포되었으며 2015년 7월 31일부터 시행하고 있다(한국통상자원부).

2) 2014년 4차 신재생에너지기본계획에서 태양광 비중을 1차 에너지 기준 2012년 2.7%에서 2035년 14.1%로 증가시키는 목표를 발표함(한국통상자원부, 제4차 신재생에너지기본계획 공청회 발표자료, 2015.9).

\* 주저자 : 광운대학교 건축학과 조교수

\*\* 교신저자 : 경기대학교 건축학과 부교수  
jeanheechoi@gmail.com

이 논문은 2017년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

1) 산업통상자원부의는 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정 「에너지이용 합리화법」제8조 및 같

<표 1> 선행연구 분석

연구자	제 목	주요 연구 내용
최원제 외 2인 (2002)	건축물 적용을 위한 가동형 수평루버 PV의 적경범위 및 제어방법에 관한 실험적 연구	건물 수직벽면에 적용되는 태양전지의 발전효율을 높이기 위해 가동형 수평루버에 PV를 부착할 수 있는 적용 방법 연구
박경은 외 2인 (2004)	학교건축에 대한 BIPV시스템의 성능평가	기존 학교 건물을 통한 BIPV유형별 적용방법 및 에너지 생산가능 분석
유승호 (2007)	차양장치로서의 건물일체형 태양광발전의 효과적인 이용을 위한 변수 시뮬레이션	차양 형태의 BIPV시스템에 대한 설계단계 변수를 반영한 시뮬레이션을 진행하여 주요 인자들의 효과적인 적용 방안 제시
이충식 외 1인 (2007)	차양형 BIPV 시범보급사업의 사례에 대한 분석 연구	공공건물의 BIPV활성화를 위해 기존 대학건물에 차양형 BIPV설치 후 발전량 비교분석
이강국 외 2인 (2011)	에너지 소비 원단위를 기초로 한 벽면부착형 BIPV시스템의 성능평가에 관한 연구	단위면적당 발전량 시뮬리예션을 통한 창문형, 스펀드럴형, 조합형 부착방식의 특성과 성능평가 분석
이상길 외 3인 (2012)	냉,난방을 고려한 차양식 BIPV의 경사각에 대한 연구	차양식 BIPV와 평지에 설치된 동일한 설치각의 PV시스템의 발전량을 측정한 성능비교 분석
김빛나 외 2인 (2012)	천공상태에 따른 박막BIPV 창호의 온도 및 발전특성에 실측연구	BIPV창의 설치위치별 발전성과 온도특성을 도출하여 발전성능에 영향을 미치는 인자들과 방전성능광의 상관성을 분석
엄재용 외 2인 (2013)	공공건물의 신재생에너지시스템 설치의무화에 따른 BIPV 시스템 모듈 현황 분석	BIPV 시스템의 적용현황과 BIPV 모듈의 특성 분석
박세현 외 3인 (2015)	차양형 BIPV가 적용된 사무소 건물의 외피 최적설계에 관한 연구	차양형 BIPV가 적용된 업무시설을 중심으로 건축물 외피의 건물에너지 성능과 발전량에 대한 최적화 설계 방안 제시
송진희 외 4인 (2016)	도심지 건물에 설치된 루버형 BIPV 시스템의 발전 성능 분석	건물 입면에 설치된 루버형 BIPV 시스템의 모니터링을 통한 루버형 BIPV 발전성능 저하요인 분석

건축물 보급에 있어 건축물의 수직 벽면 사용은 하나의 대안이라 하겠다. 실제로 건축물에 있어 건물 외피시스템은 건축물의 냉난방 및 조명에 필요한 에너지와 밀접한 관계가 있으며, 이 중 외피에 PV패널을 통합화한 BIPV(Building Intergrated PV)는 건축물의 다양한 디자인 적용과 동시에 태양광 에너지 발전이 가능하여 활용이 증가하고 있는 추세이다. 특히 최근 선진국에서 건물의 입면에 적용하고 있는 “외부환경에 반응하는 움직이는 외피(Kinetic Skin)” 기술은 BIPV시스템이 고효율의 친환경 건축요소로서 적용될 수 있는 가능성을 충분히 보여주고 있다.

따라서 본 연구는 일반적인 학교건축의 교사계획을 바탕으로 절기별 태양광시뮬레이션을 통해 기존 BIPV 시스템(고정형, 1축 가동형)과 태양광 추적형 BIPV시스템의 태양에너지 효율과 발전량의 비교분석을 하고자 한다. 이를 통해 태양광 추적형 BIPV시스템의 교육시설에서의 적용가능성을 확인하고자 한다.

**2. 연구의 범위 및 방법**

본 연구는 태양광 추적형 BIPV 시스템 활용 방안에 관한 연구로서 실험대상으로는 서울 내 학교시설로 설정하여 진행하였다. 대부분의 학교시설은 배치계획에 있어 실내 환경의 양호한 자연채광을 위해 남향배치를 원칙으로 하고 있다는 특성이 있으며, 이는 연구의 실험에 있어서도 태양광 에너지 발전 측면에서 최적의 조건이 갖추어진 시설이다. 연구 범위로는 건축물 내 신재생에너지 계획을 위한 다양한 요소 중 차양시스템에 한정한다.

현재까지 BIPV에 대한 연구들 <표 1>을 살펴보면 BIPV시스템 대부분이 창호 상부에 고정된 오버행 타입

에 집중된 유형별 사례와 성능평가에 국한되어 있음을 알 수 있다. 이에 반해 본 연구에서 수행하는 태양광 추적형 BIPV시스템 에너지 변환 효율성 비교검토는 태양광 추적형 방식의 BIPV 차양시스템 적용가능성에 대한 연구라는 점에서 기존 연구들과 차별화를 가진다.

연구의 진행 방법은 다음과 같다.

첫째, 태양광 추적형 BIPV 시스템의 개념을 이해하기 위해 기존 BIPV 시스템의 특성과 입면 적용 방식에 대해 살펴보고, 태양광 발전에 있어 태양광 추적방식에 대해 고찰해보았다.

둘째, 발전량 시뮬레이션을 위한 실험조건으로 건축물의 배치와 절기별 서울의 태양위치를 방위각과 고도각을 시간대별로 좌표화하여 정리하였다.

셋째, Ecotect 프로그램에서 제공되는 기상데이터를 바탕으로 절기별로 기존 BIPV 차양시스템(고정형과 1축 회전형)과 태양광 추적형 BIPV 차양시스템의 시간대별 BIPV모듈에 입사되는 총 일사량을 계산하였다.

넷째, 도출된 BIPV모듈에 입사되는 총일사량 값을 이용하여 절기별로 기존 BIPV 차양시스템(고정형과 1축 회전형)과 태양광 추적형 BIPV 차양시스템의 시간대별 BIPV 발전량을 계산하여 비교분석하였다.

시뮬레이션 분석 대상은 차양의 가동방식에 따라 고정형 차양, 1축 가동형 차양, 태양광 추적형 차양로 분류하여 진행하였으며, 분석 시간대 범위는 춘분·하지·추분·동지의 날짜별 가조시간<sup>3)</sup>을 고려하여 04:00~20:00로 설정하였으며, 매 시간마다 측정하였다.

3) 해가 뜬 다음부터 다시 질 때까지 태양에서 오는 직사광선, 즉 일조를 기대할 수 있는 시간을 말하며 산, 구름, 안개나 건조물에 의해 바뀔 수 있다(두산백과, 2016).

II. BIPV시스템

1. BIPV 시스템 개념과 적용

BIPV는 태양광 발전시스템 중 건물 외피가 내·외부 공간의 경계 기능을 수행하면서 자체 전력 생산을 담당하는 건물통합형 태양광 발전시스템(BIPV : Building Integrated Photovoltaic)으로서 외장재와 PV패널 설치에 필요한 경비를 절감함과 동시에 별도의 설치 공간이 필요하지 않는 이중적 장점을 가지고 있다(이강국, 서원덕, 홍원화, 2011).

건축물에 있어 BIPV시스템은 적용위치에 따라 그 방식이 다르며, 일반적으로는 건축물의 지붕, 아트리움 상부, 건물의 입면 등 다양한 방식으로 적용되고 있다.

이중 건물의 입면에 있어서는 BIPV모듈의 설치방식에 따라 창문형, 스펀드럴형, 조합형으로 구분할 수 있으며, 가동방식에 따라 고정형과 일체형으로 분류된다.

대부분은 외장재에 BIPV부착에 의한 것이며 여기에는 고정형 방식이 적용된다. 그리고 창문형은 창호 상부에 매다는 오버행 방식과 상하로 슬랫이 연속되는 루버형이 있으며, 여기에는 고정형과 가동형이 있다. <표 2>는 BIPV 가동방식에 따른 특성을 나타낸 것이다.

차양방식이나 루버 방식에 적용가능한 가동형 BIPV 시스템은 태양의 움직임에 따라 모터의 구동에 의해 일정 각도로 회전을 함에 따라 태양에너지를 보다 잘 응집할 수 있으며, 이에 따라 에너지 발전 효율에 있어서도 고정형에 비해 우수하다. 현재 건축물에 적용되고 있는 가동형방식의 구동방식은 수평, 또는 수직으로만 움직이는 1축형 방식으로서 이는 삼차원으로 움직이는 태양의 위치를 추적하는 데는 한계가 있다.

2. 태양광 추적형 BIPV

일반적으로 태양광발전시스템은 주로 태양으로부터 방출되는 태양에너지의 입사각도에 따라 시스템 효율이 성능이 크게 좌우되며, 방위각에 따라 경사면에 입사되는 태양광은 태양광 시스템 설치각도와 방향에 따라 크게 영향을 받는다. 이러한 측면에서 PV패널의 전력생산 효율의 극대화를 위해서는 BIPV시스템의 PV패널과 태양광의 입사각도가 항상 법면을 유지하여야 한다.

본 연구에서 제안하는 태양광 추적형 BIPV시스템은 PV패널이 하루에도 지속적으로 변하는 태양의 위치를 추적하도록 하여 PV패널의 전력생산효율을 최대한 높이기 위한 방식이다. 이를 위해서는 기존의 1축형으로 회전하는 방식이 아닌 다축형으로 회전하는 구동방식이 필요하다. 그러나 이러한 태양을 따라 다축으로 회전하는 구동방식은 태양의 위치를 추적하는 복잡한 계산을 위한 프로그램, 제품제작 등 고가의 초기투자비로 인해 건축물에 적용되기에는 현실적 한계성을 가지고 있다.

그러나 오늘날 글로벌 태양전지 업체들의 기술개발에 따른 지속적 원가 절감과 선진국을 중심으로 신재생에너지 개발에 대한 투자 및 세제 감면 등 정책적 지원

<표 2> 가동 방식별 BIPV 모듈

유형	BIPV 모듈	
	입면	단면
고정형		
1축형		
태양광 추적형		

의 확대는 신재생에너지와 화석연료 발전단가가 같아지는 시점인 그리드 패리티(Grid Parity) 달성지역을 확대해 나가고 있다.4) 이러한 사회적 배경은 태양광 추적방식을 통한 태양광에너지의 생산효율성 극대화를 일상생활에 상용화될 수 있는 가능성을 높여주고 있다. 또한 오늘날 선진국을 중심으로 활발히 연구되는 건축에 있어서 융복합기술인 키네틱건축(Kinetic Architecture) 역시 건축에 있어 태양광 추적방식과 같은 자연에 반응하는 건축물의 가능성을 보여주고 있다.

<표 3> 태양광 발전에 있어 태양광 추적방식과 특징

부착방식	주요 특성
센서에 의한 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양전지에 광센서 부착</li> <li>특별한 연산이 불필요하여 사용에 용이, 구성 용이</li> <li>센서의 외부노출로 인한 외란에 오작동 발생</li> <li>구름에 의해 일정시간 태양이 사라질 경우 추적불가</li> </ul>
프로그램 및 센서 조합방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로그램을 통해 태양의 대략적 위치 파악하여 지속적 추적 가능</li> <li>정확한 추적을 위한 센서의 외부노출로 인한 외란에 의한 오작동 문제 미해결</li> <li>태양의 대략적인 위치 추적을 위한 프로그램 필요</li> </ul>
프로그램에 의한 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>정확한 태양위치 파악으로 인한 추적 가능</li> <li>이를 위한 지구의 운동 관계식을 사용한 계산프로그램 필요</li> </ul>

4) 2028년, 신재생에너지 생산량은 신재생에너지 생산에 대한 세금공제혜택과 풍력·태양광 에너지 시장의 성장으로 화석에너지 생산량을 추월하게 될 것이다. 미국의 풍력, 태양광, 지열, 바이오메스, 수력 등 신재생에너지를 활용한 전력생산량은 2000년부터 2015년까지 13% 성장하였으며, 2030년까지 24%, 2040년까지 27% 성장이 예상된다. 여기에는 풍력과 태양광에너지가 대부분을 차지할 것으로서 미국 풍력에너지생산량은 2022년에 현재의 두 배 증가한 144GW, 태양광 에너지는 2030년까지 5배 증가한 125GW에 이를 것으로 내다보고 있다(2016년 연간에너지전망보고서(Annual Energy Outlook, AEO) 자료, 미국에너지정보청(Energy Information Administration, EIA)).

현재 전문분야에서만 사용되어진 태양광 추적방식을 살펴보면 광센서를 이용하는 방법과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램식, 센서와 프로그램을 병행하는 방법 등 크게 3가지가 있다(김용진, 2012).

센서에 의한 방법은 태양전지 면에 부착된 4개의 광센서가 입사되는 광량을 비교하여 태양전지와 태양을 항상 법선방향으로 유지하도록 하는 것이다. 이 방법은 구성이 간단하고 특별한 연산이 필요 없으나 센서가 외부환경에 노출되어있어 외란에 의한 오동작이 발생하며, 구름 등 외부환경에 의해 일정시간 태양광이 센서에 도달하지 않을 경우 태양을 추적하지 못하는 경우가 발생한다는 단점을 가지고 있다.

프로그램 및 센서 조합방법은 프로그램을 통해 태양의 위치를 추적함으로써 센서만을 통한 태양추적의 오류를 보완하기 위한 것이다.

프로그램에 의한 방법은 현재 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 어느 정도 시간 간격을 두고 계산하여 추적하는 방식이다.

이와 같은 세 가지 태양광 추적방식은 서로 장단점을 가지고 있어 사용하는 목적과 외부환경 및 태양 추적 정확도를 고려하여 선택적으로 적용하여야 한다.

위의 세 가지 방식 중 프로그램을 사용한 태양광 추적방식은 컴퓨터 기술의 발전에 따른 다양한 소프트웨어를 통해 가능하다. 이 중 오늘날 건축분야에서 친환경건축 관련 소프트웨어인 에코텍(Ecotect)은 시간 경과에 따른 태양의 궤도를 동적으로 추적 및 분석이 가능하며, 이를 통해 일사량 산정 및 분석을 일간, 월간, 연간 데이터 등의 다양한 방식으로 데이터를 산출할 수 있다.

### III. 시뮬레이션 개요 및 분석

#### 1. 시뮬레이션 개요

학교시설은 일반적으로 공간배치 유형에 있어 운동장을 전면에 둔 정남향배치를 가지고 있어 태양광발전시설을 위한 유리한 조건을 가진 건축용도라 할 수 있다. 이에 본 연구의 BIPV시스템 태양광발전량 측정 시뮬레이션을 위한 대상으로 서울지역에 위치한 9.0m x 8.1m x 3.0m인 초등학교 표준교실로 설정하였다. 표준교실은 <그림 1>과 같이 크기 7.5m x 1.5m, 남측 개구부에 3개의 창호와 총 3세트의 차양형 BIPV시스템이 있는 것으로 설정하였다.

BIPV 모듈은 직렬로 연결된 크기 6x6인치 단결정 태양전지 셀로 설정하였으며, <그림 1>과 같이 고정형과 1축 가동형은 BIPV 모듈을 차양 상부에 수평으로 연결하였다. 태양광 추적형은 각 BIPV 모듈이 태양빛의 입사각에 항상 법면을 유지할 수 있도록 구성하였다.

일사량 시뮬레이션은 에코텍(Ecotect)프로그램을 통해 경사각 30도를 가진 고정형, 태양위치에 따라 상하로

회전하는 1축가동형과 3차원으로 회전하는 태양광 추적형을 절기별로 매 시간마다 측정하여, 이에 따른 BIPV발전량을 차양 유형별로 계산하였다.

<표 4> 시뮬레이션 개요

구분	조건
용도	초등학교 24인 교실
교실	9.0m×8.1m×3.0m
개구부	7.5m×1.5m
시스템	차양형 BIPV 시스템
평가 날짜	춘분(03/21), 하지(06/22), 추분(09/20), 동지(12/18)
평가 시간	04:00 ~ 20:00 (1시간 간격)
방위각	(남측면)

#### 2. BIPV의 PV패널 연간 발전량 계산

PV 모듈에 입사되는 총 일사량 계산은 태양의 일사 중 태양고도각, PV 모듈면 일사입사각, 천공일사량, 직달일사량을 통해 할 수 있으며, 다음 식(1)과 같다.

$$I_r = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (1)$$

여기서,

$I_r$  : PV 모듈에서 입사되는 총 일사량(W/m<sup>2</sup>)

$I_b$  : 직달 일사량(W/m<sup>2</sup>)

$R_b$  : 수평면 일사량에 대한 경사면 직달일사량 비율

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2}$$

$$\cos \theta = -\sin \delta \cos \phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega$$

$$\cos \theta_2 = \sin(90 - \theta_z)$$

$$= \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta$$

$\theta$  : 일사 입사각(°)

$\delta$  : 일적위

$\phi$  : 해당지역 위도

$\gamma$  : 건물일면 방위각

$\omega$  : 시간각(15°/h)

$\theta_2$  : 태양 고도각(°)

$I_d$  : 천공 일사량(W/m<sup>2</sup>)

$\beta$  : 수평면에 대한 PV모듈의 경사각

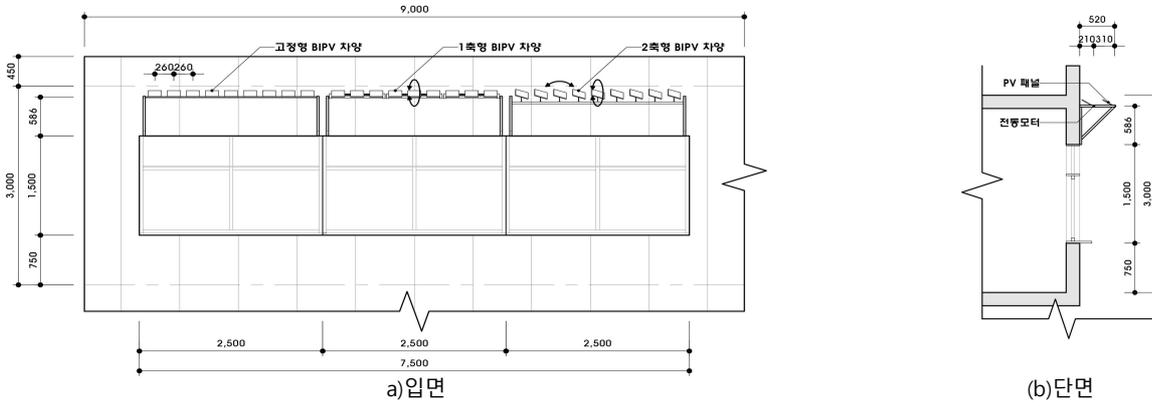
그리고 PV 발전량을 계산하는 방법에는 PV의 발전전력(W)을 이용하는 방법과 PV모듈에 입사되는 총 일사량에 PV 모듈의 효율(%)을 고려하는 방법이 있다. 본 연구에서는 일사량을 이용하여 PV발전량을 계산하였으며, 계산식은 다음 식(2)와 같다. PV 발전량은 태양전지의 효율, 운전온도 영향, 배선손실, PV 직교류 변환기 효율과 같은 시스템 사양과 연관되어 있으며 일반적으로 적용되는 수치는 <표 5>와 같다.

$$PV\text{발전량} = I_r \times A_{pv} \times E_{sys} \quad (2)$$

•  $A_{pv}$  : 태양전지 면적(m<sup>2</sup>)

•  $E_{sys}$  : 시스템 효율(%)

$$(E_{sys} = \text{태양전지효율} \times \text{운전온도영향} \times \text{배선손실} \times \text{PV직·교류 변환기 효율})$$



<그림 1> BIPV차양시스템 입면 및 단면

<표 5> BIPV 발전 시스템 사양

시스템 요소	효율
태양전지 효율	17%
운전온도 영향	9%
배선손실	98%
PV 직교류 변환기 효율	9%

3. 절기별 BIPV 모듈 총일사량 비교 분석

일반적으로 태양광 발전 시스템은 PV 모듈 및 인버터 등 구성요소 자체의 특성, 입사되는 일사의 강도, 입사각, 셀 주변 및 표면온도 등에 따라 발전량이 달라진다(송진희 외, 2016).

본 연구에서는 차양형 BIPV 시스템의 가동방식에 따른 PV모듈의 발전량을 비교 평가하고자 하였으며 이를 위해 우선 에코텍(Ecotect)에서 제공하는 서울지역의 절기 별, 시간대 별 태양고도를 바탕으로 차양형식 BIPV 시스템('30도 고정형', '1축 회전형', '태양광 추적형')을 모델링 하였다. 이후, 동 프로그램에서 제공하는 서울지역의 절기별 일사량을 적용하여 각 방식 별 BIPV모듈의 총일사량, 직달일사량, 천공일사량을 시뮬레이션 하였으며 <표 8>과 같은 결과 값을 얻었다.

이때, 총일사량은 시간대 별 각 PV패널 당 직달일사량과 천공일사량의 합을 의미하며, 직달일사의 경우 PV패널과 일사입사각이 수직을 이룰 때 최대값을 이루고 천공일사의 경우 PV패널이 수평에 가까울수록 최대값을 갖는다.

유형별 BIPV에 발생하는 총 일사량을 절기별로 비교 분석하면 <표 7>과 같다.

3.1 춘분 일사량 분석

춘분의 총일사량은 고정형의 경우 187,763.45W/m<sup>2</sup>이며 1축 회전형 186,879.83W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 0.5% 감소), 태양광 추적형 195,550.30W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 4.1% 증가)로 나타났다.

춘분 총일사량에 있어 '30도 고정형'과 '1축 회전형'은 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 춘분에서의 최적화 된 PV패널의 각도가 30도와 비슷하여 일사량 획득에 큰 차이가 없기 때문이다. 반면에 '태양광 추적형'은 비교

<표 6> 절기별 서울의 태양위치

시 간	춘분(03/21)		하지(06/22)		추분(09/20)		동지(12/18)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
06:00			66.3	7.7				
07:00	93.3	3.9	74.5	18.9	94.1	7.6		
08:00	102.8	15.7	82.6	30.6	103.7	19.4	122.1	2.3
09:00	113.4	27.0	91.3	42.4	114.7	30.6	132.2	11.8
10:00	126.3	37.3	102.0	54.2	128.4	40.7	143.9	19.8
11:00	142.9	45.8	118.2	65.4	146.3	48.8	157.4	25.6
12:00	164.1	51.2	150.1	74.1	169.1	53.4	172.5	28.7
13:00	-171.7	52.0	-156.7	74.9	-165.7	53.0	-171.8	28.7
14:00	-149.1	47.9	-121.3	66.9	-143.5	47.9	-156.8	25.4
15:00	-131.1	40.3	-103.8	55.9	-126.3	39.4	-143.4	19.5
16:00	-117.2	30.4	-92.6	44.1	-113.1	29.1	-131.8	11.4
17:00	-106.0	19.3	-83.7	32.2	-102.3	17.7	-121.8	1.9
18:00	-96.3	7.7	-75.6	20.5	-92.8	6.0		
19:00			-67.5	9.2				
20:00								

A: 방위각(Azimuth) B: 고도각(Altitude)

적 큰 차이를 보이며 특히 직달일사량이 강한 오전시간대에 급격하게 증가하고 있다. 이는 '태양광 추적형'의 PV패널이 직달일사량 획득에 최적화 되어있기 때문이다. 다만 15시 이후 PV패널이 태양의 입사각과 법면을 이루며 획득하는 직달 일사량에 비해 천공 일사량이 높은 이유로 총 일사량은 감소함을 알 수 있다.

<표 7> 서울지역 절기별 일사량(W/m<sup>2</sup>)

시간	천공일사량(I <sub>a</sub> )				직달일사량(I <sub>b</sub> )			
	춘분	하지	추분	동지	춘분	하지	추분	동지
04	0	0	0	0	0	0	0	0
05	0	41	0	0	0	13	0	0
06	47	103	25	0	16	45	10	0
07	83	112	84	33	143	100	46	0
08	114	150	115	51	306	234	200	78
09	138	152	142	89	424	358	338	187
10	146	165	152	108	473	469	433	224
11	156	176	158	130	504	530	495	273
12	144	176	157	112	509	549	539	276
13	155	177	145	114	372	546	556	240
14	138	149	135	94	203	483	452	161
15	124	151	123	84	61	387	296	52
16	71	115	95	21	23	278	178	16
17	21	105	39	4	0	107	25	0
18	0	44	26	0	0	22	0	0
19	0	20	0	0	0	0	0	0
합계	1337	1836	1396	840	3034	4121	3568	1507

<표 8> 절기별 BIPV 모듈에 입사되는 총 일사량(W/m<sup>2</sup>)

시간	춘분			하지			추분			동지		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
04	a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05	a	0	0	0	2,022.26	2,036.88	2,036.88	0	0	0	0	0
	b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	c	0	0	0	2,022.26	2,036.88	2,036.88	0	0	0	0	0
06	a	0	0	0	5,080.32	5,287.14	5,287.14	1,233.09	1,258.41	1,258.41	0	0
	b	0	0	0	0	170.10	170.10	0	16.41	16.41	0	0
	c	0	0	0	5,080.32	5,117.04	5,117.04	1,233.09	1,242.00	1,242.00	0	0
07	a	4,645.11	4,402.36	2,759.84	6,172.23	6,761.07	6,761.07	4,490.93	4,520.88	4,520.88	0	0
	b	543.62	543.62	728.97	648.00	1,196.91	1,196.91	347.76	347.76	347.76	0	0
	c	4,101.50	3,858.74	2,030.87	5,524.23	5,564.16	5,564.16	4,143.17	4,173.12	4,173.12	0	0
08	a	11,736.76	11,526.85	12,090.36	12,705.65	13,932.93	13,932.93	9,668.20	9,079.46	9,079.46	3,596.10	2,797.61
	b	6,113.88	6,125.67	8,753.63	5,307.12	6,480.44	6,480.44	3,996.00	3,359.55	3,359.55	1,080.60	254.49
	c	5,622.87	5,401.18	3,336.73	7,398.52	7,452.50	7,452.50	5,672.20	5,719.91	5,719.91	2,515.50	2,543.12
09	a	19,857.36	19,823.68	25,387.64	19,289.68	20,762.05	24,964.88	18,502.70	18,252.33	23,218.79	9,220.67	6,934.96
	b	13,050.72	13,287.36	20,664.12	11,792.52	13,166.14	19,168.36	11,498.77	11,514.92	18,094.86	4,830.89	4,393.64
	c	6,806.64	6,536.32	4,723.51	7,497.17	7,595.90	5,796.54	7,003.93	6,737.41	5,123.91	4,389.79	2,541.32
10	a	26,868.56	26,847.11	31,032.81	27,132.88	29,004.59	32,207.92	26,436.59	26,136.73	29,277.68	12,853.33	12,704.48
	b	19,667.35	19,929.28	25,294.88	18,994.50	20,527.39	25,089.04	18,939.43	18,952.98	23,164.74	7,526.40	8,936.61
	c	7,201.22	6,917.82	5,737.96	8,138.37	8,477.18	7,118.87	7,497.17	7,183.75	6,112.93	5,326.94	3,767.87
11	a	32,461.02	32,746.48	33,653.20	34,152.73	36,005.45	36,809.81	32,384.71	32,337.60	33,569.55	18,353.07	18,164.80
	b	24,766.57	25,226.44	26,943.86	25,471.79	26,907.62	28,338.90	24,591.61	24,869.95	26,474.45	11,941.02	13,457.15
	c	7,694.46	7,520.06	6,709.35	8,680.93	9,097.82	8,470.90	7,793.11	7,467.64	7,095.08	6,412.05	4,707.64
12	a	33,763.99	33,722.43	33,773.90	36,844.64	38,428.41	38,419.45	36,267.67	36,234.43	36,152.48	18,043.59	18,462.99
	b	26,661.44	26,900.02	27,174.53	28,163.71	29,348.76	29,348.76	28,523.89	28,819.47	28,819.47	12,519.36	14,302.97
	c	7,102.58	6,822.40	6,599.39	8,680.93	9,079.65	9,070.70	7,743.79	7,414.94	7,332.99	5,524.23	4,160.01
13	a	27,331.39	27,178.56	27,013.68	37,034.89	38,301.59	38,387.86	36,575.44	36,544.70	36,442.99	16,509.27	16,398.64
	b	19,686.24	19,841.94	19,841.94	28,304.65	29,172.33	29,172.33	29,423.54	29,695.97	29,695.97	10,886.40	12,168.82
	c	7,645.13	7,336.62	7,171.75	8,730.25	9,129.26	9,215.55	7,151.90	6,848.74	6,747.04	5,622.87	4,229.82
14	a	16,891.67	16,801.09	17,009.32	30,823.02	32,456.79	33,191.32	28,625.87	28,550.33	30,150.43	11,678.54	11,226.39
	b	10,085.03	10,268.23	10,814.42	23,473.79	24,753.28	25,795.52	21,967.21	22,172.94	24,122.21	7,042.14	7,825.26
	c	6,806.64	6,532.86	6,194.90	7,349.20	7,703.50	7,395.81	6,658.67	6,377.39	6,028.22	4,636.41	3,401.13
15	a	8,850.13	8,651.70	8,415.27	23,957.25	25,694.46	27,574.75	18,374.47	18,088.19	20,891.60	8,580.88	5,021.91
	b	2,734.02	2,791.18	3,250.90	16,509.43	17,946.98	20,659.88	12,307.68	12,283.15	15,792.62	1,729.23	2,105.43
	c	6,116.11	5,860.52	5,164.37	7,447.85	7,747.48	6,914.86	6,066.79	5,805.04	5,098.99	4,143.17	2,916.48
16	a	4,321.69	4,190.45	3,775.20	14,679.39	15,950.23	19,342.00	10,164.57	9,947.52	12,429.11	1,454.79	1,153.06
	b	819.72	840.34	1,223.43	9,007.20	10,176.77	14,816.19	5,478.84	5,455.29	9,053.88	425.32	489.92
	c	3,501.97	3,350.10	2,551.77	5,672.20	5,773.47	4,525.82	4,685.73	4,492.23	3,375.23	1,035.79	663.14
17	a	1,035.79	989.12	639.08	7,547.94	8,144.96	8,144.96	2,409.62	2,348.12	1,945.65	197.29	105.31
	b	0	0	0	2,368.98	2,943.71	2,943.71	486.0	483.57	799.86	0	0
	c	1,035.79	989.12	639.08	5,178.96	5,201.25	5,201.25	1,923.62	1,864.55	1,145.79	197.29	105.31
18	a	0	0	0	2,436.19	2,584.38	2,584.38	1,282.41	1,312.21	626.20	0	0
	b	0	0	0	271.87	398.46	398.46	0	0	0	0	0
	c	0	0	0	2,164.32	2,185.92	2,185.92	1,282.41	1,312.21	626.20	0	0
19	a	0	0	0	981.54	993.60	993.60	0	0	0	0	0
	b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	c	0	0	0	981.54	993.60	993.60	0	0	0	0	0
합계	a	187,763.45	186,879.83	195,550.30	260,860.60	276,344.52	290,638.95	226,416.25	224,610.90	239,563.23	97,785.38	92,970.15
	b	124,128.58	125,754.08	144,690.68	170,313.56	183,188.87	203,578.58	157,560.72	157,971.97	179,741.79	57,981.34	63,934.29
	c	63,634.91	61,125.74	50,859.68	90,547.04	93,155.61	87,060.39	68,855.56	66,638.91	59,821.39	39,804.03	29,035.86

A: 30도 고정형 B: 1축 회전형 C: 태양광 추적형 a: 총일사량 b: 직달일사량 c: 천공일사량

3.2 하지 일사량 분석

하지의 총일사량은 고정형의 경우 260,860.60W/m<sup>2</sup>이며 1축 회전형 276,344.52W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 5.9% 증가), 태양광 추적형 290,638.95W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 11.4% 증가)로 나타났다.

이러한 결과는 하지의 경우 직달일사량의 영향이 크기 때문에 '30도 고정형'보다 직달 일사량 획득에 최적화 된 '1축 회전형'과 '태양광 추적형'이 유리하기 때문이다. 또한 태양의 고도가 높아 '1축 회전형'과 '태양광 추적형'의 PV패널이 수평에 가깝게 배열되면서 천공일

사량 획득에도 유리하기 때문에 더 큰 차이를 보인다. 다만 '태양광 추적형'의 천공일사량의 수치가 급격하게 낮아지는 구간이 발생하는데 이는 2축 회전으로 인하여 PV패널의 각도가 큰 폭으로 변하였기 때문으로 보인다.

3.3 추분 일사량 분석

추분의 총일사량은 고정형의 경우 226,416.25W/m<sup>2</sup>이며 1축 회전형 224,610.90W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 0.8% 감소), 태양광 추적형 239,563.23W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 5.8% 증가)로 나타났다.

추분 또한 춘분과 마찬가지로 직달일사량 획득에 최적화 된 PV패널의 각도가 30도와 유사하여 총일사량 획득에 있어 '30도 고정형'과 '1축 회전형'이 큰 차이를 보이지 않는다.

오전 8시의 경우 '1축 회전형'과 '태양광 추적형' 방식이 직달 일사량 획득에 최적화 되었음에도 불구하고 '고정형'보다 직달 일사량이 낮게 나타나는데 이는 PV패널이 회전하면서 자체적으로 음영이 발생하기 때문이다. 또한 17시 이후 '태양광 추적형'은 춘분과 마찬가지로 총 일사량이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

3.4 동지 일사량 분석

동지의 총일사량은 고정형의 경우 97,785.38W/m<sup>2</sup>이며 1축 회전형 92,970.15W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 4.9% 감소), 태양광 추적형 98,930.20W/m<sup>2</sup>(고정형 대비 1.1% 증가)로 나타났다.

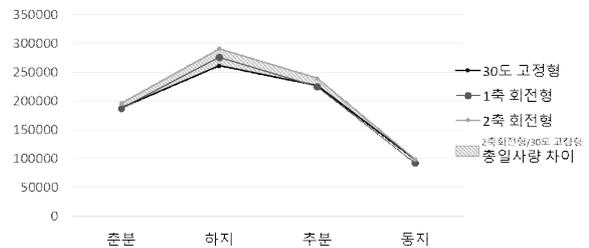
동지의 경우 '고정형'과 '1축 회전형', '태양광 추적형'의 총일사량의 큰 차이가 없으나 '1축 회전형'은 '고정형' 대비 감소폭이 크게 나타난다. 그 이유는 '1축 회전형'과 '태양광 추적형' 방식이 직달일사량 획득에 최적화 되어있기 때문이다. 동지의 경우 직달일사량이 낮을 뿐더러 태양의 고도가 낮아 '1축 회전형'과 '태양광 추적형' PV패널이 수직에 가깝게 서게 되는데 이때 천공 일사량 획득마저 불리하게 된다. PV패널이 수직을 이루면서 손해를 본 천공일사량에 대해 '태양광 추적형'의 경우 높은 직달 일사량 획득을 통해 보완이 가능하지만 그렇지 못한 '1축 회전형'의 경우 '고정형' 보다 총일사량이 낮게 나타나는 것으로 나타난다.

3.4 소결

절기별 일사량의 총량을 비교한 결과 '태양광 추적형'은 '30도 고정형' 대비 6.7%, '1축 회전형' 대비 5.6% 우수한 것으로 나타났다.

춘분의 경우 '30도 고정형' 대비 4.1% 증가, '1축 회전형' 대비 4.6% 증가하였으며 추분의 경우 '30도 고정형' 대비 5.8% 증가, '1축 회전형' 대비 6.6% 증가한 것으로 나타났다. 직달일사의 영향이 큰 하지의 경우 '추적형'의 가변형 PV패널 시스템이 직달일사량 획득에 최적화 되어있어 '30도 고정형' 대비 11.4%, '1축 회전형' 대비 5.2%로 큰 폭으로 증가하였다. 반면에 동지의 경우 '1축 회전형' 대비 6.4% 증가, '30도 고정형' 대비 1.1% 증가에 그쳤다.

이론적으로 총일사량 획득에 있어 '태양광 추적형' > '1축 회전형' > '30도 고정형'이 성립될 것으로 예측되었지만 시뮬레이션 결과 하지를 제외한 절기에서 '1축 회전형'이 '30도 고정형'보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 직달일사량의 영향이 큰 하지 이외의 절기에서는 총 일사량 획득에 있어 직달일사량 만큼이나 천공일사량이 중요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 천공일사량의 영향이 큰 겨울이나 해가 뜨는 오전, 해가 지는 오후 시간대에 총일사량을 효과적으로 높이기 위해서는 직달일사 만큼이나 천공일사에 대한 고려가 중요하며, 특정한 시간대에는 직달일사를 최대로 받기 위해 PV패널과 일사입사각이 수직을 이루기보다는 천공일사 획득에 최적화 된 각도가 적용되어야 함을 알 수 있다. 또한 기본적으로 PV패널 간의 자체음영에 대한 고려도 이루어져야 할 것이다.



<그림 2> 절기별 BIPV 구동 방식별 총 일사량(W/m<sup>2</sup>)

<표 9>는 BIPV 구동방식별로 절기별 태양의 총일사량을 바탕으로 에너지 발전량을 계산하여 비교한 것이다. 절기에 따라 순서의 차이가 있지만 총발전량의 합은 '30도 고정형'의 경우 1,351.6kW, '1축 회전형'의 경우 1,365.55kW, '태양광 추적형'의 경우 1,442.29kW로 나타났으며 이는 각각 고정형 대비 '1축 회전형'은 1%, '태양광 추적형'은 6.7% 증가한 수치를 나타내고 있다.

IV. 결론

기존의 BIPV 차양시스템을 살펴보면 가동의 유무에 따라 크게 고정형, 1축 가동형, 태양광 추적형으로 분류되어진다. 가동형은 절기에 따라 수직, 또는 수평의 단방향으로 가동되며 태양광 추적형은 기존의 가동형 시스템의 수평, 수직의 일방향성이 아닌 태양의 3차원 궤도를 따라 움직이는 다축성을 가진 차양시스템으로 BIPV패널과 태양이 이루는 일사각이 항상 법면을 유지할 수 있도록 한 것이다.

<표 9> 절기별 BIPV 구동 방식별 에너지 발전량(kW)

유형	30도 고정형	1축 회전형	태양광 추적형
춘분	328.38	326.83	342.00
하지	456.22	483.30	508.30
추분	395.98	392.82	418.97
동지	171.02	162.60	173.02
합계	1351.6	1365.55	1442.29

본 연구는 학교건축계획에 있어 신재생에너지 생산을 위한 친환경 시스템으로서 태양광 추적형 BIPV 차양시스템에 대한 적용 가능성을 살펴보고자 한 것이다.

이를 위해 BIPV 차양시스템의 유형적 구성원리에 대한 이해를 바탕으로 시뮬레이션을 통한 절기별 에너지 발전량을 비교분석하여 태양광 추적형 BIPV의 성능에 대해 상대적으로 비교해보았다. 이에 대해 정리하면 다음과 같다.

첫째, 태양의 총 일사량은 직달일사와 천공일사의 합으로 계산되어지는데 1축 회전형과 태양광 추적형과 같은 가동형 BIPV의 에너지 발전을 위한 PV모듈로의 입사된 총 일사량은 태양의 고도가 낮아지는 오전과 오후에 천공일사량에 의해 총일사량이 급격히 낮아짐을 알 수 있다. 일반적으로 태양의 움직임을 따라 PV패널이 회전하는 가동형은 최대의 직달일사를 받기 위함이나, 시뮬레이션의 결과 PV패널이 태양의 움직임에 따라 일정 각도 이상을 벗어날 경우 천공일사량이 급속히 감소하였으며, 이에 따라 총일사량 역시 고정형에 비해 낮아지는 경우도 발생하였다. 따라서 가동형 BIPV 계획을 적용함에 있어 직달일사와 천공일사의 비중을 감안한 PV패널의 최대 회전각이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

둘째, 가동형 BIPV의 경우 PV패널의 시간별 회전에 따라 자체 음영이 발생하게 된다. 이는 에너지 발전을 위한 총 일사량의 수치에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 가동형 BIPV를 건축물 입면에 적용할 경우 태양광 에너지 생산량을 극대화하기 위해서는 최적화 된 패널의 배열을 통해 자체 음영을 최소화하고 절기와 시간대에 따라 적합한 BIPV패널 각도를 적용하거나 제한하는 것이 중요함을 알 수 있다.

셋째, 위의 두 가지의 고려사항에도 불구하고 시뮬레이션을 한 결과 에너지 발전을 위한 PV모듈의 총 일사량은 "고정형<1축형<태양광 추적형"으로 나타나고 있으며, 특히 고정형과 대비하여 태양광 추적형 BIPV 차양시스템의 태양광에너지 생산량이 약 6.7% 높은 효율을 가지고 있음을 알 수 있다.

이번 연구에서는 절기별로 시뮬레이션 프로그램만을 이용한 것으로 실제적으로 검증은 되지 않았다. 또한 총 발전량 계산에 있어 시스템 효율( $E_{sys}$ )에 해당되는 태양전지효율, 운전온도영향, 배선손실, PV직·교류 변환기 효율은 일반적이라 할 수 있는 수치를 적용함으로써 실제와는 차이가 있을 것이라 여겨진다. 그러나 태양광 추적형 BIPV 차양시스템은 BIPV 패널의 배열 및 각도의 최적화를 통해 차양의 기능 및 다양한 입면 요소의 활용뿐만 아니라 교육시설에서 사용되는 전기에너지의 소모를 자급하는 용도로서 효용적 가치가 있을 것으로 판단되며 나아가 교육시설이 에너지 생산적인 측면에 기여할 수 있는 건축물로 이용될 수 있을 것이라 여겨진다.

추후 일 년간의 시뮬레이션을 통한 유형별 BIPV 차

양시스템의 에너지 발전량을 비교해본다면 보다 정밀한 자료와 함께 태양광 추적형 BIPV 차양시스템의 연간 효율을 검토를 통하여 적용가능성을 가능할 수 있을 것이라 사료된다.

## 참고문헌

- 고동환 (2010). Autodek ECOTECT Analysis 2010을 이용한 친환경 건축물 평가 및 분석, 대한건축학회, 54(7)
- 김득현 (2013). 학교건축 창조계획의 친환경성 제고방안 연구, 충북대 석론
- 김민석, 임혜리, 김주형, 김재준 (2012). 루버종류 및 간격에 따른 실내 일조조건 변화에 관한 연구, 한국 CAD/CAM학회 학술발표논문집
- 김철, 이해원, 한기정 (2013). 건축물 패시브 디자인 가이드라인 개발연구, 대한건축학회논문집, 29(6)
- 이정철 (2010). 시뮬레이션과 실태조사를 통한 초등학교 채광성능 개선방안에 관한 연구, 강원대 석론
- 윤종호, 신우철, 조진일, 최형주, 김효중 (2010). 전국 초등학교 시설의 에너지 사용실태 분석 연구, 대한건축학회, 26(9)
- 차성준, 조정제, 정유근 (2011). 태양광 발전차양의 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회, 31(2)
- 최우람, 한석종, 윤영일 (2013). Ecotect 시뮬레이션을 활용한 학교건축 창조계획에 관한 연구, 한국생태환경건축학회, 13(6)
- 한승훈 (2014). 가동형 차양 시스템의 구성과 에너지 효율, 한국생태환경건축학회, 14(5)
- 한국에너지관리공단 (2016). 2016 에너지통계 핸드북 한국통상자원부, <http://www.motie.go.kr/>

(2018년 01월 17일 접수)

1차 심사완료 : 2018년 01월 29일

최종수정본 접수 : 2018년 02월 26일

3인 익명심사필