

# 일사량 분석을 통한 PV모듈 발전량과 시뮬레이션을 이용한 실내 조명에너지 절감량 비교

(A Study on the Comparison of the PV Module Generation from Daylight Irradiation and  
Indoor Lighting Savings with Lighting Simulation)

박윤민\* · 홍성관 · 최안섭\*\*

(Yoon-Min Park · Seong-Kwan Hong · An-Seop Choi)

## Abstract

Recently, BIPV system which is good enough for maintenance and functions with the shading system is being used. However BIPV system with the shading system is different from existing PV module because of using flexible PV module. Prior to the application of the BIPV system, the clearness index was calculated by Erbs et al.(1982) and analyzed for the amount of electric power generation of sky irradiance with measured data. To predict electric lighting energy savings in daylit space, electric lighting power savings with amount of PV module electric power generation was compared by using Relux 2010 software in this study.

Key Words : Skylight, Daylight Simulation, PV Module Generation

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

자원의 고갈 현상과 환경오염의 문제는 세계 경제의 발전과 함께 더욱 가속화되었다. 이러한 문제가 전 세계적으로 대두되면서 신·재생에너지의 활용에 대한 관심과 연구가 활발해 지고 있으며, 우리나라도 국제

적 상황에 맞춰 신·재생에너지를 국가 주력 산업으로 선정함으로써 현재와 미래의 자원 및 환경문제를 동시에 고려하기 시작했다[1].

우리나라 전체 산업분야에서 건물에너지소비가 25[%]를 차지하고 있으며 특히 조명에너지가 차지하는 비중은 30[%]에 이르고 있다[2]. 건물분야에서 에너지소비의 최소화를 위하여 태양에너지를 이용하는 설비가 증가하였다. 태양에너지를 이용하는 분야는 크게 태양열발전과 태양광발전으로 구분된다. 태양열발전은 설치장소가 매우 한정적이라는 큰 단점을 가지고 있어 적용하기가 매우 어려운 반면에 태양광발전은 태양의 일사를 직접 전기에너지로 생산하므로 주간에는 언제나 발전이 가능하여 태양열보다 적용성의 범위가 크다. BIPV(Building Integrated Photo

\* 주저자 : 세종대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 교신저자 : 세종대학교 건축공학과 교수  
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331  
E-mail : aschoi@sejong.ac.kr  
접수일자 : 2010년 9월 13일  
1차심사 : 2010년 11월 19일, 2차심사 : 2010년 11월 29일  
심사완료 : 2010년 12월 3일

Voltaic) 시스템은 건물의 외부에 태양광발전모듈 (Photovoltaic module)을 설치하여 전기를 생산하는 태양광발전 시스템으로 우리나라에서는 일정 면적 이상의 건축물에는 BIPV 시스템 의무화설치 규정이 추진되고 있다[3]. 그러나 사전조사의 미흡과 PV모듈 설치에만 성급한 실적주의적 규정은 실효성이 크게 떨어져 경제적이지 못하다는 점과 BIPV 시스템은 외부 조망과 채광이 불가능한 점이 문제점으로 지적되고 있어 BIPV 시스템과 주광을 활용한 조명제어시스템에 대한 경제성 평가를 위한 정확한 일사량 연구가 필요하다.

### 1.2 연구의 목적

최근 BIPV 시스템의 실효성을 높이기 위해 PV모듈을 차양시설과 접용하여 전기를 생산하는 시스템이 늘어나고 있다[4]. PV모듈을 차양시설과 접용하였을 경우에서 실내로 직달일사가 입사할 때 대부분 실내에서는 차양시설을 내려 차양을 하게 된다. 그러나 북향과 같이 직달일사가 입사하지 않는 방위 또는 담천공의 상태에서는 차양시설을 올려서 주광을 실내의 조명으로 이용할 수 있다. 이 경우에 차양시설을 내려 차양과 동시에, 부착된 PV모듈을 이용하여 발전을 하는 것과 차양시설을 올려 주광을 실내조명으로서 인공조명의 조광과 함께 에너지를 절약하는 것 중에 어느 것이 더 경제적이며 에너지 소비 면에서 절약적인지에 관한 연구가 이뤄지지 않았다. 본 연구에서는 이러한 두 가지 경우에서 어떠한 것이 더 효율적인가를 판단하는데 목적이 있다.

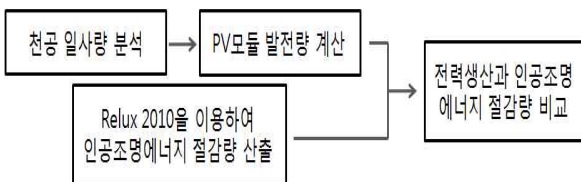


그림 1. 에너지 절감량 분석 흐름도  
Fig. 1. Flowchart for energy saving analysis

본 연구는 위의 그림 1의 과정으로 수행되었다. 우

선 Erbs et al.(1982)의 유도된 식을 측정 데이터에 적용하여 시간과 계절의 변화에 따라 일사량을 비교하였고, 실내로 들어오는 주광 분포와 양을 자연 채광과 인공조명의 분석 소프트웨어를 통해 에너지 절감량을 계산하였다.

### 1.3 차양시설 접용형 BIPV

일반적인 BIPV 시스템은 PV모듈을 건물 외부에 설치하게 되고, 이는 외부 조망을 할 수 없게 되는 단점이 발생한다. 또한 유지보수가 쉽지 않아 설치 후 발전량이 급격히 떨어진다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 제안된 차양시설 접용형 BIPV 시스템은 과도한 직사일광을 막음과 동시에 주광으로 발전도 가능하다. 그리고 더불어 외부조망이 필요한 경우 차양 시설을 올려 조망이 가능하므로 발전과 외부조망이 능동적으로 적용 가능한 시스템이다. 다음 그림 2는 차양시설과 접용한 BIPV 시스템의 사례이다.



그림 2. 차양시설 접용형 BIPV 시스템  
Fig. 2. BIPV system with blind system

## 2. 이론고찰

### 2.1 천공 일사량 계산

PV모듈 설치가 계획되기 이전에 설치될 장소에서 얼마나 많은 일사량이 입사되며 입사된 일사량이 BIPV시스템에서 전기를 얼마나 생산시킬 수 있는지에 대한 정확한 예측은 태양광 발전설비에 있어서 가장 중요한 기본 요소이다. 지표에 도달하는 일사량은 Air mass, 위도, 태양의 적위를 통해 직달일사와 천공일사로 구분된다. 또한 천공일사는 운량 및 대기청정도 등의 요소로 인해 청천공, 부분담천공, 담천공으로 구분된다. 이렇게 구분된 일사량은 PV모듈의 설치 방

향 및 각도에 영향을 미치므로 위의 요소를 고려하면 보다 신뢰성 높은 PV모듈의 발전량 예측이 가능하다.

지표면으로 입사되는 일사량의 분석은 대기권 밖 일사량  $I_o$ 로부터 시작된다. 대기권 밖 태양광은 대기를 통과하면서 일사량이 줄어들게 되고 감소 비율은 그 날의 운량과 관계가 깊다. 계수  $K_T$ 는 0부터 1사이의 값이며  $K_T$ 가 1에 근접 할수록 청명한 날씨인 청천공을 의미한다.

다음의 식 (1)에서  $I_o$ 는 위도, 일적위, 시간각에 관한 함수이며 대기권 통과 전 일사량이다. 식 (2)에서 계수  $K_T$ 는 구름의 양에 관한 계수이며 대기권 통과 전 일사량  $I_o$ 과 지표에 도달하는 일사량  $I$ 의 비로 다음의 식으로 나타낼 수 있다[5].

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} (1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}) \times [\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \times \sin \phi \sin \delta] \quad (1)$$

- 여기서  $\phi$  : 해당지역의 위도 [degree,°]
- $\delta$  : 일적위 ( $\delta = 23.45 \sin(360 \times \frac{284+n}{365})$ )
- $n$  : Julian date
- $G_{sc}$  : 태양상수 [1367Wh/m<sup>2</sup>]
- $\omega_1, \omega_2$  : 시간각 [15°/h]
- $I_o$  : 대기권 통과 전 일사량 [MJ/m<sup>2</sup>]

$$K_T = \frac{I}{I_o} \quad (2)$$

- 여기서  $I$  : 해당지역에서 측정된 일사량 [MJ/m<sup>2</sup>]
- $I_d$  : 천공일사량 [MJ/m<sup>2</sup>]
- $I_b$  : 직달일사량 [MJ/m<sup>2</sup>]
- $K_T$  : Clearness Index

지표면 일사량  $I$ 는 태양 에너지에 대한 상세한 표준 데이터인 표준일사량을 이용하여야 한다. 그러나 표준기상데이터는 시간별 자료가 없으므로 지표에서 측정된 데이터를 이용하였으며, 측정 일사량 데이터는 기상청에서 제공하는 서울의 시간별 일사량 데이터를

사용하였다. 본 데이터의 측정기간은 2008년 5월 1일부터 2009년 4월 31일까지 1년간 오전 9시부터 오후 6시이며 매 시간마다 대기권을 통과하여 지표로 입사된 일사량을 측정된 값이다. 위의 식에서 구한  $K_T$ 는 값이 클수록 구름량이 적은 청명한 날씨이며 크게 청천공, 부분담천공, 담천공으로 분류한다. Erbs et al.(1982)는  $K_T$ 를 이용하여 식 (3)과 같이 지표로 도달하는 천공일사량과의 관계식을 정리하였다.

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09K_T & 0 < K_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604K_T + 4.388K_T^2 - 16.638K_T^3 + 12.336K_T^4 & 0.22 < K_T \leq 0.8 \\ 0.165 & K_T > 0.8 \end{cases} \quad (3)$$

$K_T$ 값이 계산되면 일사량 실측데이터인  $I$ 와 천공 일사량  $I_d$ 와의 비  $I_d/I$ 가 산출된다.  $K_T$ 값이 작을수록  $I_d$ 와  $I$ 의 비율이 1에 근접하며 지표로 도달하는 일사량이 대부분 천공일사로 입사함을 나타낸다. 직달일사가 입사하는 청천공의 상태에서는 실내의 과도한 일사와 열적부하를 감소시키기 위하여 대부분 차양 시설을 사용하므로 주광을 실내조명으로 이용하지 못한다. 그러나 담천공의 상태에서는 차양시설을 사용하지 않고 자연채광을 실내로 유도하여 인공조명 대신 이용하게 된다. 이 때 주광을 이용하여 인공조명의 에너지 절약을 하는 것과 차양시설을 사용하여 천공일사에 의한 전기에너지 생산을 하는 것 중에서 어느 것이 더 에너지 절약적인지 판단되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 담천공의 상태에서 PV모듈 발전량과 인공조명 에너지 절감량과의 비교를 위한 연구이므로 직달일사량을 제외한 천공일사로 들어오는 일사량만을 조사하였다.

## 2.2 PV모듈의 발전량 계산

앞 절에서 계산한 천공일사량을 통하여 차양시설 접용형 BIPV 시스템의 모듈 발전량 예측을 위해서는 PV모듈에서 발전되는 전기량에 대한 기초조사가 선행되어야 한다. 본 연구의 차양시설 접용형 BIPV시스

템에서 선정한 PV모듈은 비결정질 PV모듈로 모듈 효율은 약 10[%]로 비교적 효율이 낮다. 태양광발전 시스템에서 발전되는 전기량은 시스템 효율인 태양전지 효율, 운전온도 영향, 배선손실, PV 직·교류 변환기 효율 등이 고려되며, 다음 식 (4)와 같이 특정지역의 일사량에 PV모듈의 설치면적과 시스템 효율을 고려하면 개략적인 발전량 예측이 가능하다[6].

$$PV\text{시스템의 발전량} = I_d \times A_{pv} \times E_{sys.} \quad (4)$$

여기서  $I_d$  : 천공일사량  
 $A_{pv}$  : PV모듈의 면적  
 $E_{sys.}$  : 시스템효율

### 2.3 조명시뮬레이션 소프트웨어 개요

Relux는 스위스 Relux사에서 1994년 개발한 상용프로그램으로 실내 마감재료의 반사율, 광원의 보수율 등을 고려하여 해당지역의 위치값을 입력하면 자연채광과 인공조명을 분석하여 실내조도를 예측하는 프로그램이다. Relux는 공개된 인터페이스의 소프트웨어로, 실내·외 공간과 도로설계를 위한 인공조명, 주광 시뮬레이션 등이 가능하다. 그리고 조도 계산 및 분석에는 광속전달법을 기반으로 하는 계산 알고리즘을 사용하며, 자연채광 계산은 CIE 주광 계산법을 사용한다[7]. 이 소프트웨어를 이용하여 차양시설에 부착한 BIPV 시스템과 연계하여 조명부하의 절감량 및 PV모듈의 발전량을 분석하였다.

## 3. 천공 일사의 계산 및 적용

### 3.1 기상데이터에 의한 일사량 계산

연중 각 계절의 일일 평균 운량과 가장 비슷한 날을 선정하여 측정된 일사량  $I$ 와 통과 전 일사량  $I_0$ 으로 다음의 표 1과 같이 PV모듈로 입사되는 천공일사량  $I_d$ 를 계산하였다. 각각의 총 일사량은 비교적 날씨가 청명한날을 선정하여 계산하였다. 여름 기간의 일사량은 태양고도가 높고 일사 기간이 길어 증가한다. 그러

나 이 기간은 비가 많이 내리는 장마기이므로 천공일사에 의한 일사량이 직달일사에 의한 일사량보다 약간 증가함을 알 수 있다. 봄과 가을은 17시 이후의 일사량이 일몰로 인하여 측정되지 않으며 겨울 또한 봄, 가을보다 이른 일몰시간으로 16시 이후의 일사량이 측정되지 않는다.

표 1. 계절에 따른 천공 일사량 산출  
 Table 1. Sky irradiance calculation by seasons

2009.3.24 (봄)				
구분	$I_0$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	$K_T$	$I_d/I$	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
9시	3.205	0.340	0.915	0.997
10시	3.725	0.429	0.793	1.269
11시	3.995	0.373	0.877	1.307
12시	3.995	0.323	0.931	1.201
13시	3.725	0.419	0.811	1.265
14시	3.205	0.290	0.955	0.888
15시	2.468	0.267	0.967	0.638
16시	1.567	0.223	0.979	0.343
17시	0.561	0.445	0.766	0.191
2008.7.1 (여름)				
구분	$I_0$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	$K_T$	$I_d/I$	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
9시	3.899	0.197	0.982	0.756
10시	4.360	0.186	0.983	0.796
11시	4.599	0.411	0.823	1.556
12시	4.599	0.491	0.678	1.530
13시	4.360	0.495	0.669	1.444
14시	3.899	0.567	0.514	1.135
15시	3.248	0.653	0.328	0.696
16시	2.449	0.641	0.352	0.552
17시	1.559	0.975	0.165	0.251
18시	0.638	0.941	0.165	0.099

2008.10.7 (가을)				
구분	$I_o$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	$K_T$	$I_d/I$	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
9시	2.808	0.235	0.977	0.645
10시	3.324	0.126	0.989	0.415
11시	3.592	0.234	0.978	0.821
12시	3.592	0.348	0.906	1.133
13시	3.324	0.469	0.721	1.125
14시	2.808	0.602	0.435	0.736
15시	2.077	0.284	0.959	0.566
16시	1.182	0.600	0.438	0.311
17시	0.184	0.976	0.165	0.030
2008.12.16 (겨울)				
구분	$I_o$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	$K_T$	$I_d/I$	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
9시	1.799	0.011	0.999	0.020
10시	2.290	0.148	0.987	0.335
11시	2.544	0.259	0.970	0.640
12시	2.544	0.366	0.886	0.824
13시	2.290	0.445	0.766	0.781
14시	1.799	0.522	0.612	0.575
15시	1.105	0.570	0.506	0.319
16시	0.255	0.706	0.235	0.042

### 3.2 계산된 일사량을 통한 PV발전량 계산

차양시설 접용형 BIPV 시스템에서 고려될 요소는 태양전지 효율과 운전온도의 영향, 배선손실, PV 직·교류 변환기 효율이며, 각각 약 10[%], 10[%], 2[%], 90[%] 정도의 영향을 받는다. 따라서 총 시스템 효율은 7.938[%]가 된다. 또한 본 연구에서 사용되는 차양시설 접용형 BIPV 시스템에 사용되는 PV모듈은 실내에서 부착되기 때문에 태양광의 유리투과율 또한 시스템효율에 영향을 끼친다. 본 논문에서는 일반적인

맑은 유리의 태양광 투과율인 80[%]를 시스템효율에 고려하였다[8]. 모듈의 일사면적은 창문크기와 동일한 너비 2.4[m], 높이 1.7[m]이다.

다음의 표 2는 표 1에서 구한 천공일사량으로 PV시스템의 발전량을 계산하였다. 표 2의 발전량의 단위는 MJ이고 봄기간의 오전 9시부터 오후 6시까지 하루 동안의 총 발전량은 5.292[MJ], 여름기간은 5.711[MJ], 가을기간은 3.792[MJ], 겨울기간은 2.291[MJ] 정도이다.

표 2. 계절에 따른 발전량  
Table 2. Generation of sky irradiance calculation by seasons

날짜	2009.3.24(봄)		2008.7.1 (여름)	
구분	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	발전량 [MJ]	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	발전량 [MJ]
9시	0.997	0.646	0.756	0.490
10시	1.269	0.822	0.796	0.516
11시	1.307	0.847	1.556	1.008
12시	1.201	0.778	1.530	0.991
13시	1.265	0.819	1.444	0.935
14시	0.888	0.575	1.135	0.735
15시	0.638	0.413	0.696	0.451
16시	0.343	0.222	0.552	0.358
17시	0.191	0.124	0.251	0.163
18시	0.000	0.000	0.099	0.064
날짜	2008.10.7(가을)		2008.12.16(겨울)	
구분	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	발전량 [MJ]	$I_d$ [MJ/m <sup>2</sup> ]	발전량 [MJ]
9시	0.645	0.418	0.020	0.013
10시	0.415	0.269	0.335	0.217
11시	0.821	0.532	0.640	0.415
12시	1.133	0.734	0.824	0.534
13시	1.125	0.729	0.781	0.506
14시	0.736	0.477	0.575	0.372
15시	0.566	0.367	0.319	0.207
16시	0.311	0.201	0.042	0.027
17시	0.030	0.019	0.000	0.000
18시	0.000	0.000	0.000	0.000

## 4. 시뮬레이션 적용

### 4.1 공간 모델링

본 연구에서는 다음 그림 3은 앞 절에서 구한 PV모듈의 발전량과 조명에너지의 절감량을 비교하기 위하여 Relux로 모델링하였다. 모델링 공간은 북위 37°, 경도 135°인 서울의 모 지역이며 너비 6.4[m], 폭 14[m], 높이 2.8[m]의 길이가 깊은 공간이다. 너비 2.4[m], 높이 1.7[m]의 창문 2개가 0.9[m] 간격으로 위치하며 이 공간의 방향은 북향이다. 그림 3에서처럼 창문에서 거리에 따라 공간을 나누어 P1부터 P5까지 정의하였으며 국내·외의 사무실 권장조도인 500[lx]를 만족하도록 각 지점별로 형광등을 조광제어 하여 조명에너지 절감량을 계산하였다[9]. 다음의 그림 4는 2009년 3월 24일의 각 지점별 필요 조도와 주광에 의한 조도, PV모듈의 발전량 그래프이다. 창에서 가장 가까운 지점인 P1이 소비전력이 0에 가깝다.

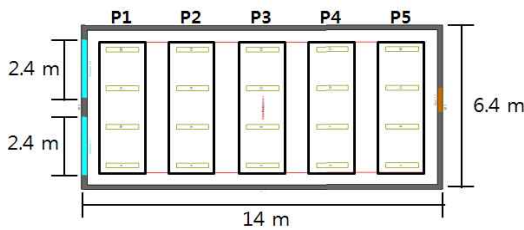


그림 3. Relux 모델링의 조명기구 배치도  
Fig. 3. Luminaires plan of Relux Modeling

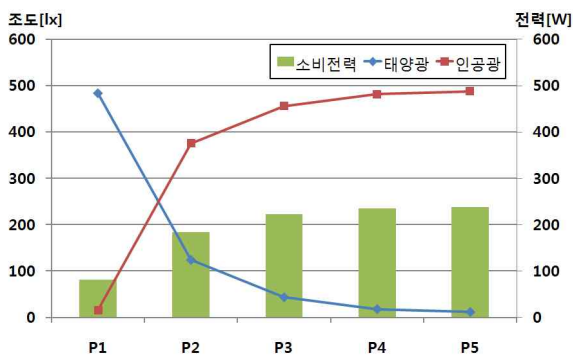
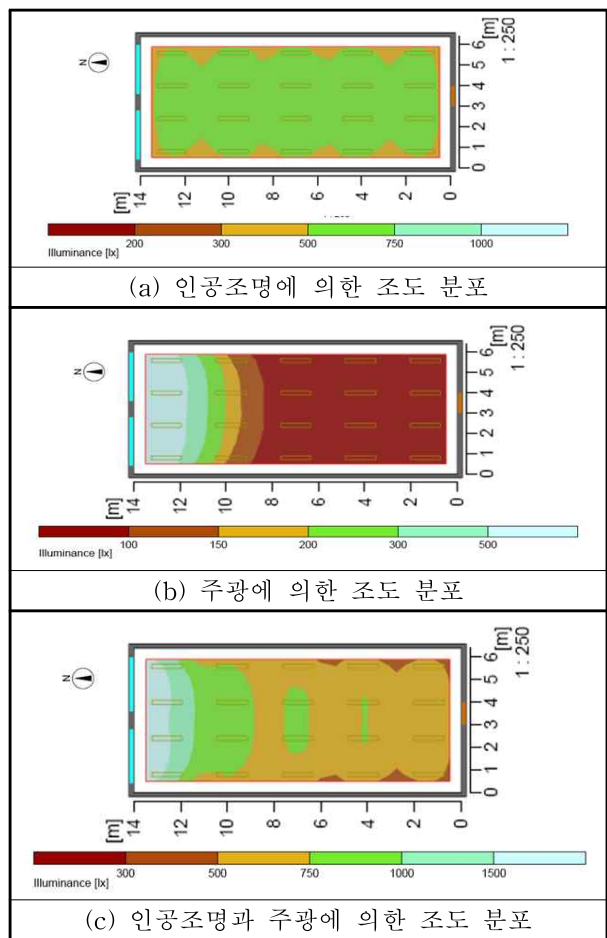


그림 4. 각 지점의 인공 조명 필요조도와 소비전력  
Fig. 4. Artificial lighting Illuminance needed and power consumption of each point

다음 표 3은 모델링한 공간을 조명에 의한 조도와 주광에 의한 조도, 조명과 주광에 의한 조도로 시뮬레이션한 결과물이다. 특히 주광에 의한 조도 분포는 창문에서 멀어질수록 급격히 낮아지므로 인공조명으로 실내의 조도를 유지하여야 한다. 반면 창문에 가까이 위치한 곳은 500[lx]를 만족하므로 인공조명을 사용하지 않고 작업이 가능하다.

표 3. Relux 시뮬레이션 결과  
Table 3. Result of Relux simulation



### 4.2 모듈 발전량과 조명에너지 절감량 비교

다음 그림 5는 각 기준일의 오전 9시부터 오후 6시 사이의 시간별 PV모듈 발전량과 조명에너지 절감량

과의 차이를 그래프화하였다. 모든 시간동안 발전량은 조명에너지 절감량에 비해 적다. 그러므로 모든 시간 동안의 PV모듈 발전량은 조명에너지 절감량을 충족하지 못하므로 천공 상태에서는 차양시설을 내려 발전을 하는 경우보다 주광을 실내조명으로 이용하는 것이 더욱 효율적일 수 있다.

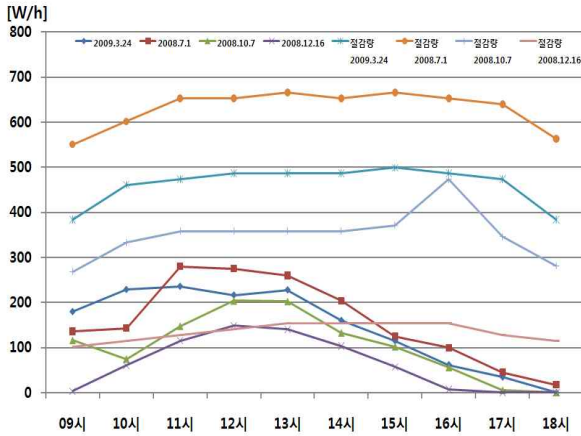


그림 5. 시간별 발전량과 조명에너지 절감량  
Fig. 5. Hourly power generation and lighting energy savings

표 4. 계절별 30일간의 발전량과 조명에너지 절감량  
Table 4. Seasonal power generation and lighting energy savings in 30 days

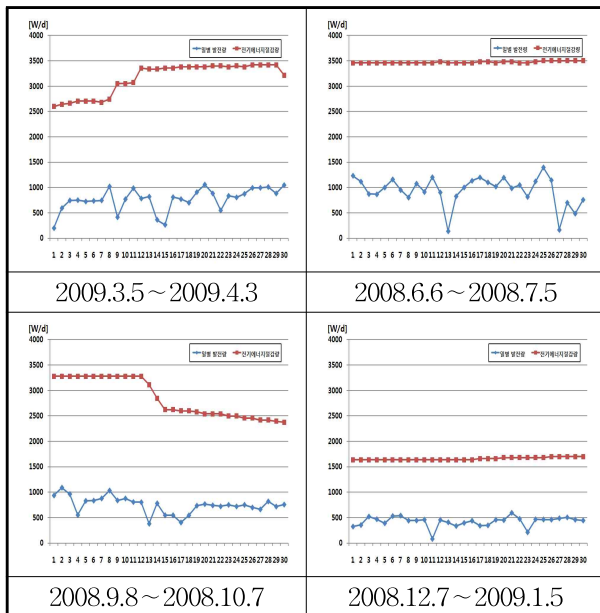


표 4는 각 기준일부터 한달간 하루 동안의 천공일사를 통한 PV모듈의 발전량과 실내 조명에너지 절감량과의 차이를 그래프화하였다. 모든 기간에서의 발전량은 인공조명에너지 절감량보다 미비하다. 따라서 시스템 효율을 증가시킴과 동시에 일사를 보다 많이 획득할 수 있는 방법을 모색하여야 발전량을 증가시킬 수 있다. 그러나 본 연구에서는 천공일사에 의한 발전량만 고려하였으므로 직달일사가 입사하는 일반적인 경우에는 더 높은 발전량을 기대할 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구는 서울 모 지역의 시간과 계절의 변화에 따라 일사량을 분석하였고, 실내로 들어오는 주광분포와 양을 Relux를 통해 에너지 절감량을 분석하였다. 천공일사에 의한 발전량과 조명에너지의 절감량을 비교하여 다음 2가지로 요약이 가능하다.

- (1) 본 연구에서는 천공상태에서의 조명에너지 소비의 절감량과 차양시설 접용형 BIPV 시스템 발전량을 비교하였다.
- (2) 모듈 발전량에 비해 조명에너지 소비의 절감량이 크므로 직달일사가 없는 담천공의 상태에서는 차양시설을 내려 전기에너지를 생산하기 보다는 주광에 의한 인공 조명에너지 절약을 하는 것이 효율적이다.

에너지 절약과 생산이라는 유리한 조건에도 불구하고 BIPV 시스템 적용이 미비한 이유는 기존 일사데이터, 설치방향, 기상조건 등이 고려되지 않고 PV모듈을 설치하여 적은 에너지 생산으로 초기 투자비를 회수하지 못하거나 회수기간이 매우 길어짐에 있다고 판단된다. 이를 해결하기 위해서 PV모듈의 BIPV 시스템 적용 시 이러한 기초적인 일사데이터를 고려하여 설치되어야 하며 이로 인하여 더 많은 발전량을 얻게 되어 경제성과 효율을 고려한 BIPV 시스템 적용이 가능할 것이다. 본 논문의 결과에서 직달일사를 제외한 천공일사의 발전량만 계산하였으므로 실제 발전량과의 차이가 존재할 수 있으나, 담천공의 상태에서는 주간시간의 주광을 실내조명으로 이용하여 실내부하를 감소하는 것이 효율적이다. 따라서 설치에만 성급한



실질적인 규정보다는 PV모듈 설치지역의 정확한 일사량 데이터의 측정이 필요하며 기존에 유도된 Erbs et al.(1982) 식은 미국지역의 일사통계를 바탕으로 유도된 식이기 때문에 우리나라의 기상조건이나 위도, 태양의 고도에 맞지 않으므로 우리나라 실정에 맞는 계산식의 유도가 필요하다.

감사의 글

이 연구에 참여한 연구자의 일부는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음.

References

- [1] 지식경제부 신성장동력기획단(www.mke.go.kr).
- [2] 삼성물산 친환경에너지연구소(www.samsungcnt.com).
- [3] 에너지관리공단 신재생에너지센터(www.energy.or.kr).
- [4] 삼성물산(www.greentomorrow.co.kr).
- [5] John A. Duffie & William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition.
- [6] Claudia Luling, 건축과 태양광 발전, 세진사, 2005.
- [7] Relux User's Guide.
- [8] KCC(www.kccworld.co.kr).
- [9] Peter R. Boyce, Human Factors in Lighting, 2nd Edition, Lighting Research Center, 2003.

◇ 저자소개 ◇



**박윤민**(朴允旻)

1987년 7월 17일생. 2010년 세종대 토목 환경공학과 전공, 건축공학과 부전공 졸업. 현재 세종대 건축공학과 석사과정.



**홍성관**(洪性觀)

1983년 7월 10일생. 2007년 세종대 건축 공학과 졸업. 2009년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.



**최안섭**(崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축 공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명 시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania States University 건축 공학 건축조명시스템전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축공학과 교수. 본 학회 이사 및 편수위원.