

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 1, 2006

주택지붕용 2kWp BIPV시스템의 성능 실험 및 전기 부하 감당에 관한 연구

이강록*, 오명택**, 박경은***, 김진희*** 김준태****

*공주대학교 공학연구원(rock214@kongju.ac.kr), **삼성물산 건설부문(mtack5.oh@samsung.com)

***공주대학교 대학원 건축학부(kepark@kier.re.kr), ***공주대학교 대학원 건축학부(jhkim3904@kongju.ac.kr)

****공주대학교 건축학부(jtkim@kongju.ac.kr)

The Performance and Energy Saving Effect of a 2kWp Roof-Integrated Photovoltaic System

Lee, Kang-Rock*, Oh, Myung-Tack**, Park, Kyung-Eun***,
Kim, Jin-Hee***, Kim, Jun-Tae****

*Engineering Research Institute, Kongju National University

**Engineering & Construction, Samsung Corporation

***Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Kongju National University

****Dept. of Architectural Engineering, Kongju National University

Abstract

The efficiency of building-integrated photovoltaic(BIPV) system is mainly determined by solar radiation and the temperature of PV modules. The performance of BIPV systems is reported to be different from that of conventional PV systems installed in the open-air. This paper presents the relationship of solar radiation and electricity generation from a 2 kWp roof-integrated PV system that is applied as building elements on an experimental house, and the energy saving effect of the BIPV system for a typical house. For the performance evaluation of the BIPV system, it produced a regression equation with measured data for winter days. The regression equation showed that a comparison of the measured electricity generation and the predicted electricity generation of the BIPV system were meaningful. It showed that an annual electricity generation of the system appeared to cover around 52% of an annual electricity consumption of a typical domestic house with the floor area of 96m².

접수일자:2005년 12월 8일, 심사완료일자:2006년 3월 15일

Keywords : 지붕통합형 태양광발전(roof-integrated photovoltaic), 실험평가(experimental evaluation), 전력생산량(generated electricity), 일사량(solar radiation), 전기부하절약효과(electrical load saving effect)

1. 서 론

1.1 연구배경

최근 태양광발전 시스템은 청정 무한정의 재생 에너지자원으로 전력수요의 증가에 따른 에너지원의 안정적 공급과 지구환경문제의 대안으로 전 세계적으로 이용보급이 확대되고 있다. 뿐만 아니라 태양광발전의 출력이 냉방기 최대전력소비 시점에 증대되고 지역분산형태로 전력 생산이 이루어져 전력수급의 불균형 해소에 기여할 수 있다. 특히 건물에 부착되는 BIPV(Building-integrated photovoltaic)시스템은 전력생산이라는 PV 본래의 기능 이외에 건물재료의 일부로서 지붕 및 외피에 적용되어 PV시스템의 경제성을 증진시킬 수 있다. PV시스템의 성능은 일사량뿐만 아니라 PV 모듈의 온도, 음영 등에 따라 결정되기 때문에 BIPV시스템의 성능은 개방 형태로 설치되는 기존의 PV시스템과 차이를 갖는다. 이러한 측면에서 BIPV 어레이의 설치 방향과 경사각도, PV모듈의 통풍 및 음영 등 건축적으로 관련된 요소들을 고려해야 한다. 지붕일체형 BIPV시스템의 성능에 미치는 영향에 대한 연구¹⁾가 수행되기는 하였으나 실제 건물에 적용된 건물일체형 BIPV시스템의 성능평가는 미비한 실정이다. 한편 BIPV시스템의 보급 활성화를 위해서는 설치 시스템의 경제적인 효과에 대한 분석이 필요하나, BIPV시스템의 측정 실험에 기초하여 건물의 전력 부하에 대한 감당 정도를 밝히려는 노력이 미진한 실정이다.

이에 본 연구의 목적은 주택 건물에 적용한 지붕일체형 BIPV시스템의 성능 및 특성을 분석하

고, 이를 이용하여 국내 일반 주택에 대한 본 BIPV시스템의 에너지절약 효과를 분석하는 것이다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 실험주택에 설치한 지붕일체형 2kWp 용량의 BIPV시스템에 대해 동절기 동안 성능을 모니터링하였다. PV시스템의 성능에 주요한 외기 조건인 일사량과 BIPV시스템의 전력생산량의 상관성을 도출하였으며, 도출된 상관식을 통해 해당 BIPV시스템의 연간 전력생산량을 예측하였다. 이를 이용하여 한국의 일반적인 가정용 주택의 전력사용량에 대한 본 BIPV시스템의 전기부하 감당 정도를 분석하였다.

2. 시스템 성능실험

2.1 실험장치

그림 1은 2kWp급 주택용 지붕일체형 BIPV시스템이 설치된 실험주택 외관이며, 이와 관련된 개요는 표 1과 같다.

실험주택은 정남향으로 공주시 공주대학교 내

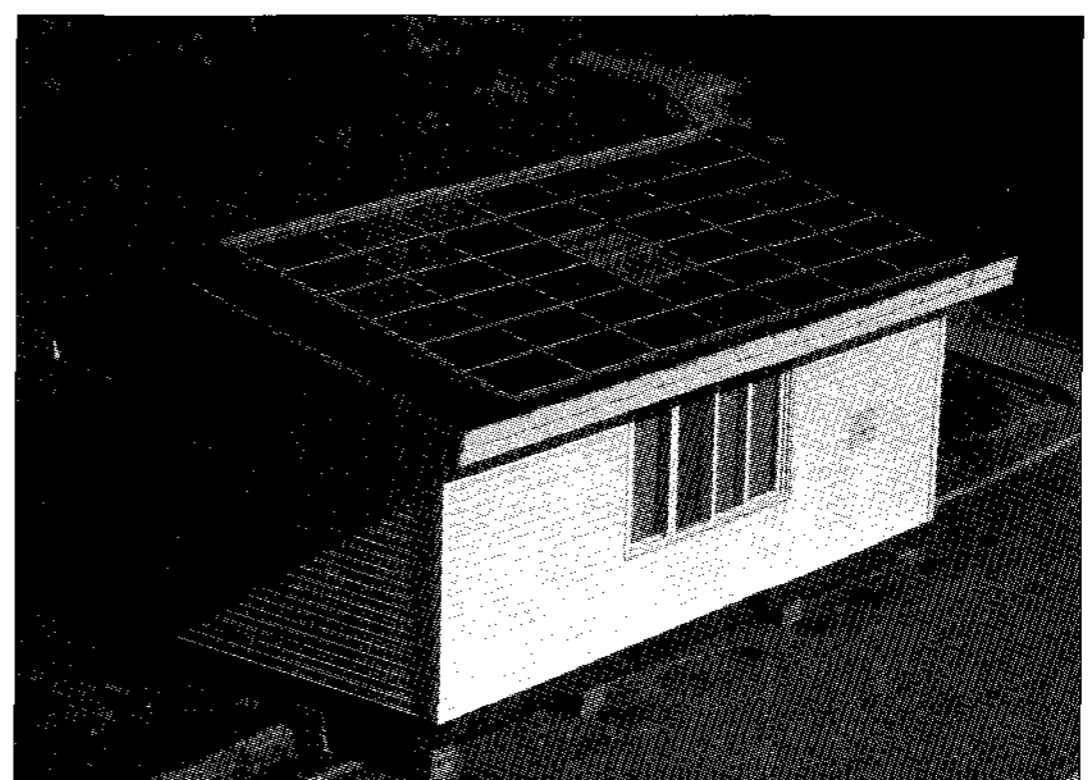


그림 1. 지붕일체형 BIPV시스템 적용 실험주택

1) 김진희 외, 2004, PV모듈 온도를 고려한 BIPV시스템의 성능 평가, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회논문집, p.54

(위도 36도, 경도 127도)에 설치되었다. 전체 바닥면적이 25.2m²인 본 건물은 경량 철골조로 구성되었으며 샌드위치 판넬로 마감하였으며 지붕은 샌드위치 판넬 위에 방수층을 설치하였다. 지붕에 설치된 PV모듈의 면적은 20.5m²이고 나머지 부분은 아스팔트 싱글로 마감하였다. 지붕은 안전한 시공을 위해 15° 경사로 만들어졌다.

표 1. 실험주택 및 PV시스템 개요

바닥 면적	25.2m ² (3.5m×7.2m)
건물 높이	3.5m
지붕 경사	15°
적용 유형	전면 지붕면
후면 통풍	5cm(자연환기가능)
모듈 타입	SM-50, Standard 50Wp
시스템 용량	20.5m ² (2kWp : 다결정 50Wp×38개)
시스템 결선	19S(직렬) × 2P(병렬)(38EA)

이와 같이 지붕면에 덧붙인 형태의 PV시스템은 지붕으로부터의 PV모듈 온도상승을 고려하여 지붕면과 PV모듈 사이에 통풍간격을 50mm 확보하여 PV어레이를 설치하였다. 또한 그림 2와 같이 지붕상부 용마루 구조체를 개방구조로 만들어 PV모듈 후면의 가열된 공기가 자연대류에 의해 상단부로 배출되도록 후면통풍을 유도하였다.

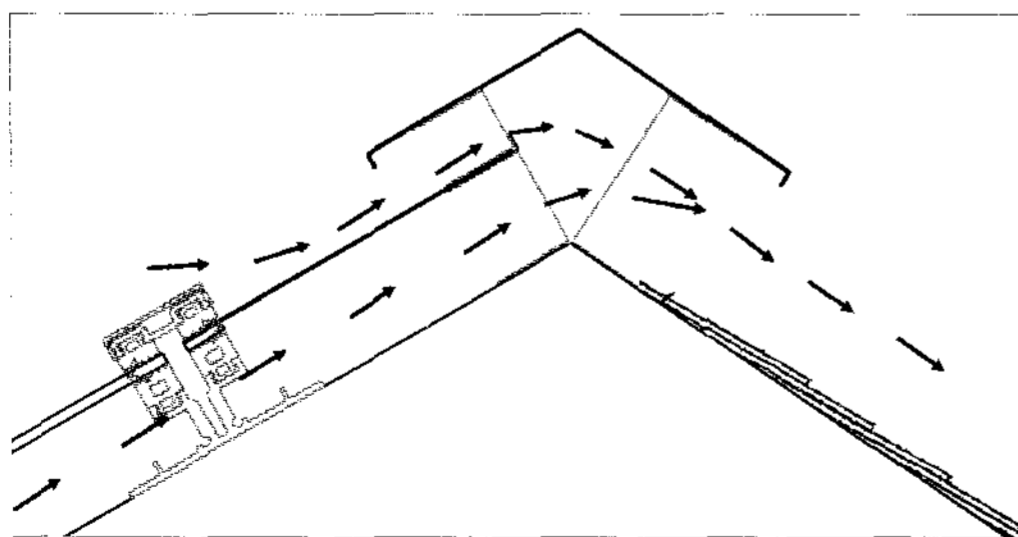


그림 2. 지붕일체형 BIPV시스템의 자연통풍

본 실험체에 사용된 PV모듈은 다결정 실리콘 태양전지로 만들어졌으며 최대출력 50W용량으로 모듈의 평균 효율은 13.8%였다. 총 38개의 PV

모듈을 2병렬 19직렬로 연결하여 최대전압 302V, 최대전류 6A를 갖는 어레이를 구성하였다. 적용된 PV모듈의 상세규격은 표 2와 같다.

표 2. PV모듈 상세 규격

항 목	상세 규격
최대 출력	50W
최대 전압	16.8V
최대 전류	2.97A
단락 전류	3.23A
개방 전압	21.0V
평균 효율	13.8%
크 기	501*1108*50mm

또한 발전된 직류(DC) 전기를 교류(AC)로 변환시키기 위해 3kW급 계통연계형 인버터를 연결하여 시스템을 구성하였다. 인버터는 정격부하에서 90%이상의 변환효율, 98%이상의 역률을 가지고 과전압, 과부하, 과열, 정전 등의 고장에 대한 경보 및 차단기능의 보호시스템을 내장하고 있다(표 3).

표 3 인버터 상세 규격

항 목		상세 규격
시스템 구성	상 수	단상
	입력 제어방식	MPPT
	스 위 칭 소 자	IGBT
입 력	정 격 전 압	DC 348[V]
	전압입력범위	DC 0~450[V]
출 력	정격출력용량	3kW
	정격출력전압	계통선 전압
	출력 주 파 수	60[Hz]
	주파수변동을	±3Hz 이내
	변 환 효 율	90%이상(정격부하시)
	역 률	98%이상(정격부하시)

2.2 실험방법

앞서 언급된 실험장치를 구성하고 주택 지붕일체형 2kWp 용량의 BIPV시스템에 대한 성능실험을 수행하였다. 실험은 2004년 12월(1일~18일)부터 1월(1일~31일)에 걸쳐 동절기 49일 동안

수행하였으며, 9시부터 16시까지 7시간 동안의 전력생산량을 측정하였다. 또한 PV시스템의 발전 성능에 결정적인 영향을 미치는 경사면 전일사량을 측정하였고 외기온도를 함께 측정하였다.

시스템의 전력생산량은 PC 모니터링시스템인 전력량 측정기에 의해 PV어레이의 출력 값(DC)과 인버터의 출력 값(AC)으로 실시간 계측되었다. 그리고 일사량과 외기온도는 별도의 센서와 데이터 측정 장치를 통해 기록되었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일사량 및 외기조건

실험기간인 동절기 49일 동안의 외기 측정 결과는 그림 3에 나타난 바와 같으며, 일평균 경사면 전일사량은 약 366W/m²이었으며, 최저 70W/m², 최고 565W/m²의 분포를 나타냈다. 또한 12월, 1월에 걸쳐 측정된 일평균 경사면 전일사량은 각각 332W/m², 376W/m²로 나타났다.

실험기간 중 외기온도는 일평균 약 0.8℃, 최저 영하 4℃에서 최고 11.5℃의 변화분포를 나타냈으며, 일평균 외기풍속은 약 1.6m/s의 분포를 나타냈다.

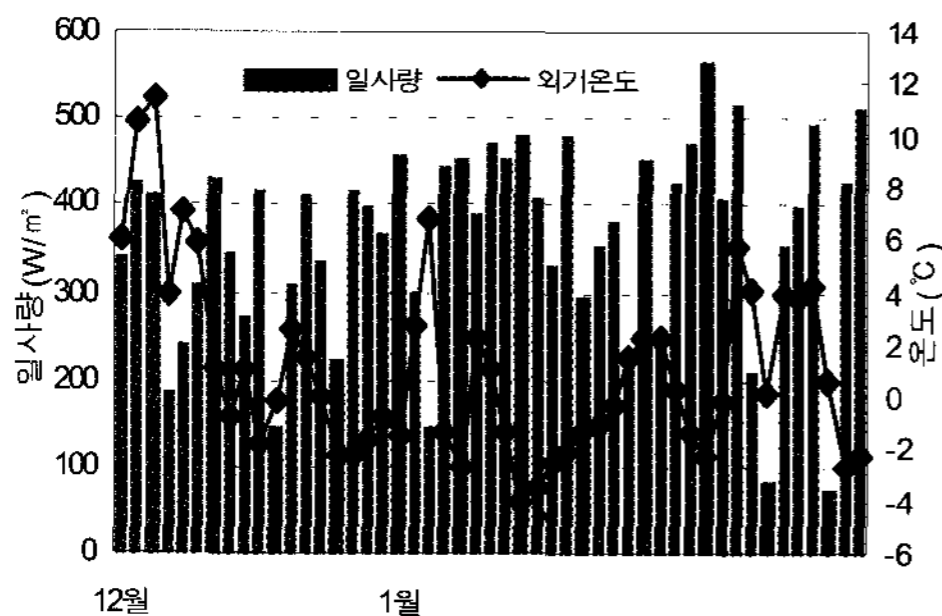


그림 3. 일평균 경사면 전일사량 및 외기온도 변화

3.2 BIPV시스템의 발전성능

측정된 주택 지붕일체형 2kWp급 BIPV시스템의 전력생산량은 일평균 약 2.6kWh로 나타났으

며, 실험기간 동안의 누적 전력생산량은 127kWh로 측정되었다.

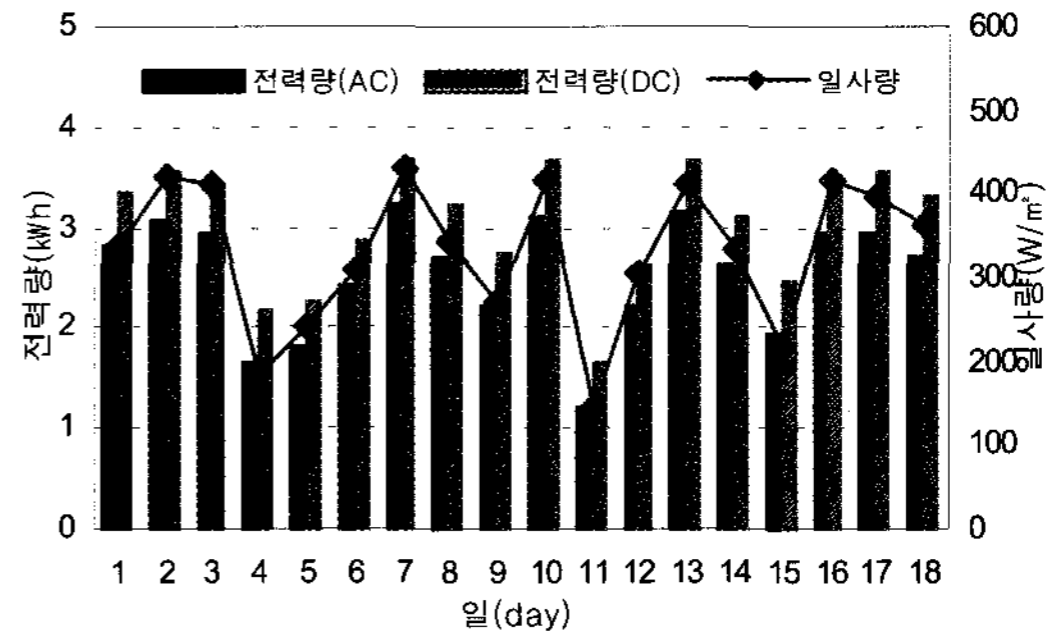


그림 4. 일평균 경사면 전일사량과 전력량 변화(12월)

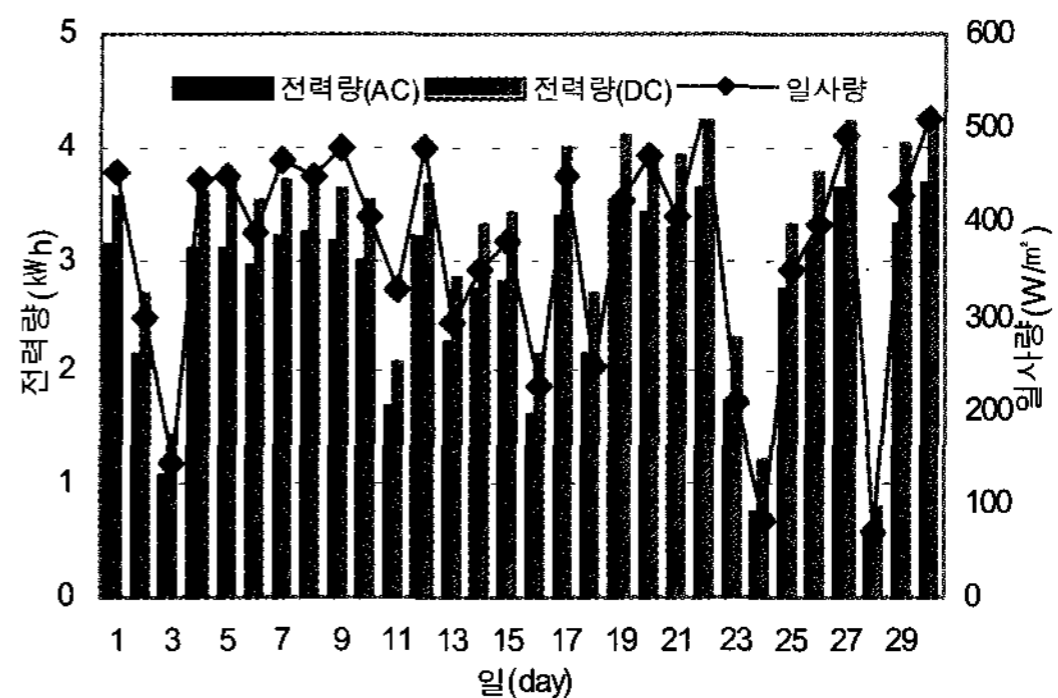


그림 5. 일평균 경사면 전일사량과 전력량 변화(1월)

월별 시스템성능을 분석해보면, 18일 동안 측정된 12월의 일평균 일사량은 최고 약 410W/m²로 하루 동안 총 전력생산량은 최고 3.2kWh로 나타났다. 또한 12월 측정기간 동안의 전력생산량은 46kWh이며 일평균은 2.54kWh이었다(그림 4).

1월의 일평균 일사량은 최고 510W/m², 하루 동안 누적전력생산량은 최고 3.7kWh로 나타났다. 31일 동안 측정된 1월 총 전력생산량은 81kWh였고 일평균 2.71kWh로 나타났다(그림 5).

실험시간 중 기상상태가 좋은 하루(12월 23일)의 시간대별 평균 일사량에 따른 전력생산량을 비교하였다(그림 6). 실험일의 시간대별 일사량은 낮 최고 약 750W/m²로 나타났고, 전력생산량

은 0.82kWh로 나타났다. 실험일 시간대별 전력생산량 추이를 살펴보면 오전 10시부터 일사량이 증가할수록 전력생산량이 증가되었다. 그림에서 오후 15시 이후 일사량에 따라 전력량이 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 각 시간대별 측정일사량의 변화에 따른 전력량의 변화로 판단된다.

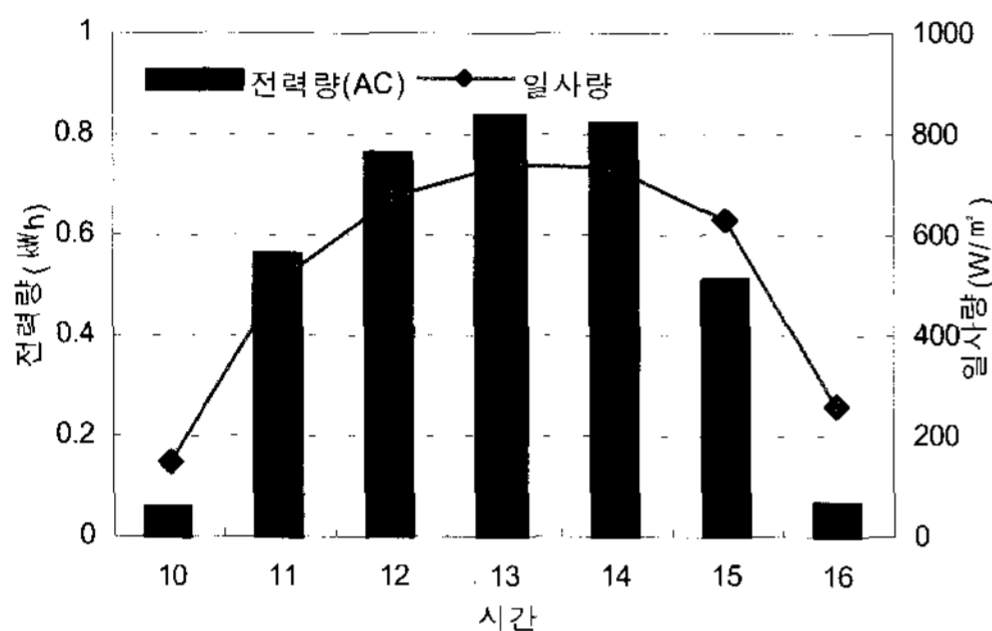


그림 6. 시간대별 경사면일사량에 따른 전력량변화(12월23일)

4. 연간 전력생산량

4.1 일사량에 따른 전력생산량

BIPV시스템의 성능을 파악하기 위해 일사량에 따른 전력생산량의 상관식을 도출하였다(그림 7).

일사량에 따른 전력생산량은 그래프에 나타난 추세선과 거의 일직선상에 분포하여 일사량이 증가함에 따라 BIPV시스템의 전력생산량이 일정하게 증가하는 비례관계를 이루는 것으로 나타났다.

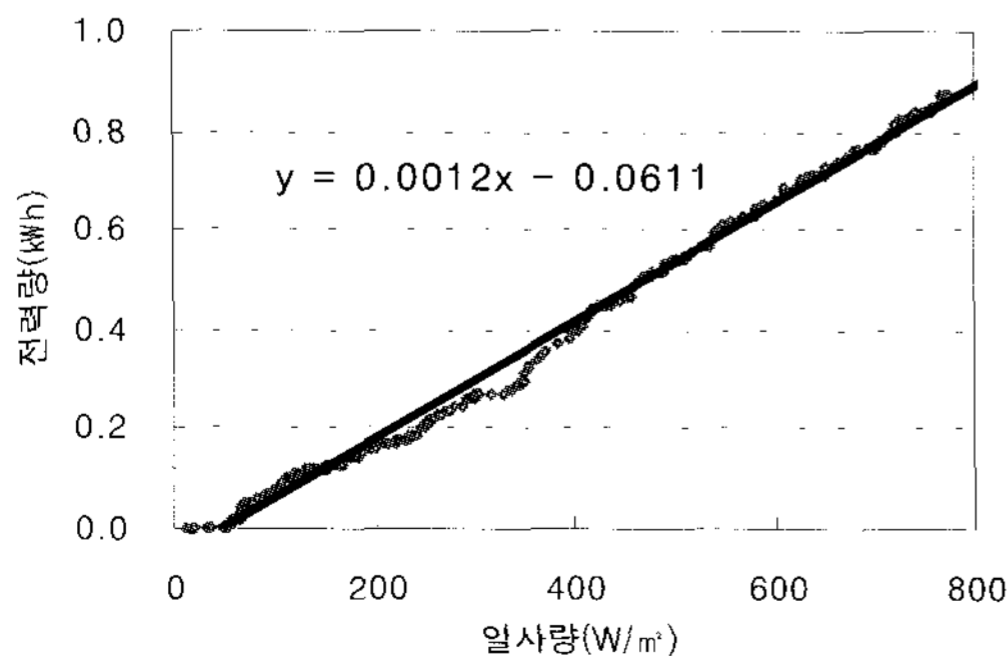


그림 7. 경사면 전일사량과 BIPV시스템 생산 전력량

이를 통해 본 BIPV시스템의 성능에 대한 일사량의 영향이 지배적임을 알 수 있다. 이는 일사조건에 의해 도출된 상관식이 본 시스템의 연간 성능을 예측하는 의미 있는 도구임을 나타내고 있다.

4.2 연간 전력생산량 예측

본 BIPV시스템의 연간 전력생산량은 BIPV모듈 경사면에서 떨어지는 일사량을 파악하면 위의 상관식을 이용하여 예측할 수 있다.

본 연구에서는 에너지해석프로그램인 TRNSYS의 일사량 계산 부프로그램(Radiation Processor)에 인근 대전지역의 시간별 수평면 일사량²⁾을 적용하여 본 실험조건인 정남향, 15° 경사각에서 얻어지는 경사면 전일사량을 산출하였다. 그림 8은 앞의 계산을 통해 산출된 월별 일평균 경사면 일사량과 이를 이용하여 예측한 전력생산량을 나타내고 있다. 일사량은 월 평균 290W/m², 전력생산량은 연간 1,284kWh로 나타났다.

예측된 연간 전력생산량은 계절적으로 일사량이 높은 봄, 가을에 전력생산량이 다른 계절에 비해 높게 나타났다. 반면에 일사량이 비교적 낮은 겨울철에 전력생산량이 가장 낮은 분포를 나타냈다. 이는 겨울철 낮게 유지되는 태양고도와 계절적인 태양에너지 감소에 기인한다고 할 수 있다.

반면 일사량이 높게 예측되는 여름철은 봄철과 비교하여 비교적 전력생산량이 낮게 나타났는데, 이는 여름철 높은 외부온도에 따른 PV모듈 온도의 상승, 또 장마로 인한 청명일수의 감소 등으로 BIPV 시스템의 전력생산 능력이 저하되기 때문으로 분석된다. 여기서 예측 계산된 BIPV시스템의 전력생산량은 앞서 겨울철 측정값을 바탕으로 도출된 상관식을 이용한 것으로 실제 BIPV시스템의 성능에 영향을 미치는 모듈온도, 통풍간격,

2) 김두천 외, 1996, 건물의 공조부하계산용 표준전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구, 통상산업부 연구보고서, 94-P-11-03

경사각 등이 고려되지 않았다. 이런 요소가 고려되면 계절별로 특히 하절기 동안 상관식의 기울기는 달라질 수 있다.

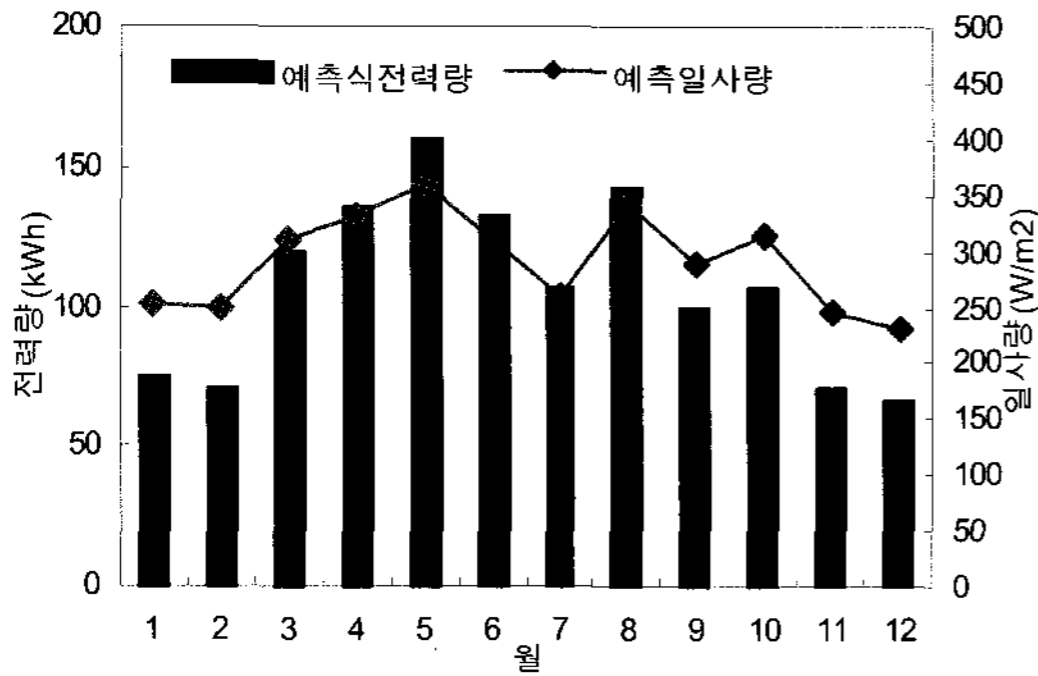


그림 8. 월별 일평균 경사면 전일사량 및 전력생산량

4.3 BIPV시스템의 전기부하

본 연구에서는 앞서 성능실험에 의해 분석된 결과를 바탕으로 국내 가정용주택의 실제 전력사용량에 대한 예측된 BIPV시스템의 전기부하 감당률을 분석하였다.

표 4)는 한국전기연구소에서 발표한 국내 주택규모별 연평균 전력사용량으로 일반적인 주택은 연평균 233(kWh/월)의 전력을 사용하는 것으로 나타났다. 여기서 사용된 주택 전력사용량은 단독, 공동주택 등에 대한 구분이 없으며 단순히 바닥면적을 기준으로 산출되었다.

표 4. 주택규모별 전력사용량

규모	3-4월평균	7-8월평균	12-1월평균	연평균
전체	전력량 (kWh/월)	전력량 (kWh/월)	전력량 (kWh/월)	전력량 (kWh/월)
	223	248	236	233
29평이하	199	218	210	207
30-39평	226	251	239	236
40평이상	302	348	325	319

3) <http://kdiin3.inn.co.kr/iinip11/user/data/T6130-4.htm>, 1999, 한국전기연구소, 전력수요DB, 전력사용실태조사, 주택규모별 전력사용량

그림 9는 일반적인 주택규모를 29평 이하기준으로 가정하고 계절별, 연평균 월 전력사용량에 대한 2kWp급 BIPV시스템의 전기부하 감당률을 나타내고 있다. 여기서, 연평균 월 전력사용량은 207kWh로 BIPV시스템은 연평균 월 107kWh의 전력을 생산하여 약 52%의 전기부하를 감당할 수 있는 것으로 분석되었다. 계절적으로 봄, 여름에는 평균 약 60%의 전기를 감당할 수 있는 것으로 나타났으며, 겨울철에는 약 34%의 전기부하를 감당할 수 있는 것으로 분석되었다. 겨울철의 경우 봄, 여름에 비해 매우 낮은 감당률을 나타내는데, 이는 겨울철에 획득되는 일사량이 적기 때문이다.

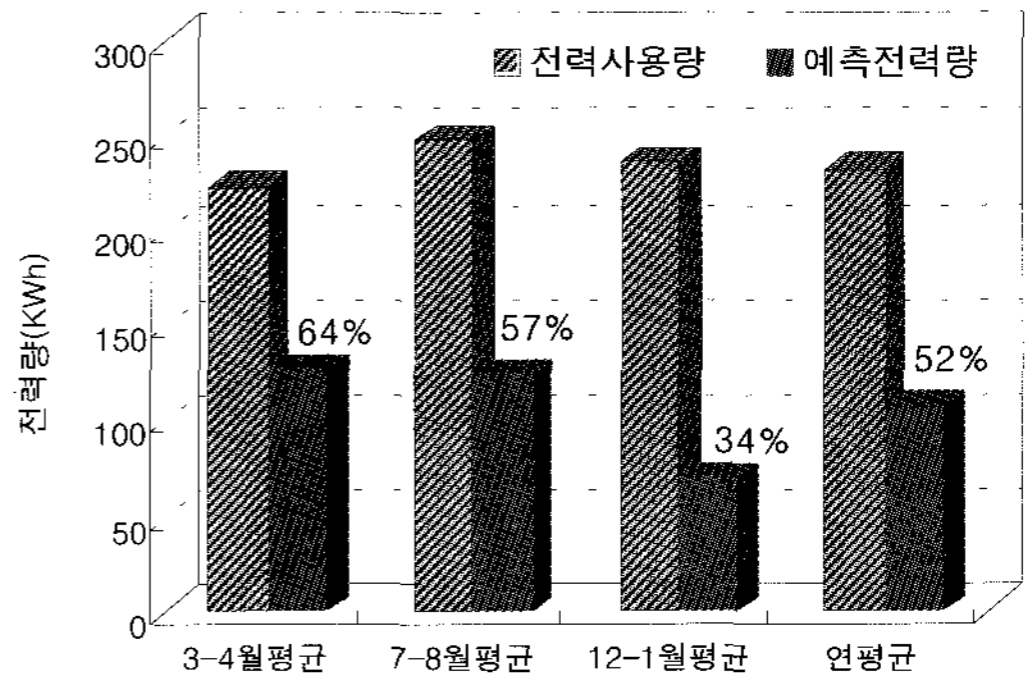


그림 9. BIPV시스템의 전기부하 감당률(29평이하)

5. 결 론

본 연구는 2kWp 용량의 주택 지붕일체형 BIPV 시스템의 일사량에 따른 실측 전력생산량을 분석하기 위해 동절기 49일 동안에 걸쳐 실험을 수행하였다. 이와 함께 실험값에 따른 발전성능의 분석결과를 바탕으로 실제 가정용 주택에 대한 전기부하 감당률을 분석하였다.

실험 결과를 통해 특정지역의 동절기 49일 동안 실측된 일평균 경사면 전일사량은 366W/m²이며, 총 누적 전력생산량은 약 127kWh로 나타났다. 실험값에 의해, 전력생산량은 일사량에 따라

크게 좌우되며 비례하여 전력생산량이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 실험결과 분석을 통해 도출된 상관식에 의해 BIPV시스템의 연간 전력생산량에 대한 개략적인 예측이 가능할 것으로 분석되었다.

또한 실제 가정용주택의 전력사용량에 대한 전기부하 감당률을 비교분석하였으며, 주택용 2kWp급 BIPV시스템은 29평 이하 기준으로 가정하면 연평균 약 52%의 전기부하를 충당할 수 있는 것으로 예측되었다. 이러한 BIPV시스템의 감당률 분석은 특정한 지역 및 건물을 대상으로 이루어진 분석 결과를 일반화하는 데는 한계가 있으나 새로운 지붕일체형 BIPV시스템의 실질적인 성능평가를 통해 도출된 상관관계로 의미를 갖는다.

본 연구는 BIPV시스템의 전력생산량이 특정지역의 동절기 일정 기간 동안 획득되는 일사량만을 고려한 것으로 시스템 성능에 영향을 미치는 모듈 온도, 통풍간격, 경사각 등에 대한 실험이 수행되지 않았기 때문에 일반화에 대한 제한이 따를 수 있다. 따라서 향후 BIPV시스템의 성능에 영향을 주는 여러 요소들을 고려한 보다 구체적인 분석연구가 필요하고, BIPV시스템의 계절별 장기간에 걸친 실험을 통해 성능특성을 분석하는 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단 연구사업의 일환(과제번호: 2005-E-BD02-P-02)으로 수행되었음

참 고 문 헌

1. Morgan D. Bazilian, Frederik Leenders, B. G. C. Van Der Ree and Deo Prasad, Photovoltaic cogeneration in the built environment, Solar Energy, Vol.71, No.1, pp.57-69, 2001
2. Steven J. Strong, The Solar Electric House, Sustainability Press, Boca Raton, 2000
3. 김진희, 김준태, PV 모듈 온도를 고려한 BIPV 시스템의 성능평가, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회논문집, pp.53-58, 2004
4. 김두천, 조춘식, 류해성, 건물의 공조부하계산용 표준전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구, 통상산업부 연구보고서, 94-P-11-03, 1996
5. <http://kdiin3.inn.co.kr/iinip11/user/data/T6130-4.htm>, 한국전기연구소, 전력수요DB, 전력사용실태조사, 주택규모별 전력사용량, 1999