

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 25, No. 1, 2005

## 학교 교실의 태양광발전 환기시스템 적용성 연구

장용성\*, 서승직\*\*, 홍성희\*\*\*, 유권중\*\*\*\*, 박효순\*\*\*\*

\* 인하대학교 건축학부 대학원, 박사과정(jangys@kier.re.kr), \*\* 인하대학교 건축학부, 교수(energeti@inha.ac.kr)

\*\*\* 한국에너지기술연구원, 선임연구원(shhong@kier.re.kr),

\*\*\*\* 한국에너지기술연구원, 책임연구원, 공학박사(hspark@kier.re.kr, y-gj@kier.re.kr)

## A Study on Application of a Heat Recovery Ventilator using Photovoltaic System in School

Jang, Yong-Sung\*, Hong, Sung-Hee\*\*, Park, Hyu-Soon\*\*\*,  
Yu, Kwon-Jong\*\*\*\*, Suh, Seung-Jik\*\*\*\*

\* Department of Architectural Engineering, Inha University, Doctorate Course(jangys@kier.re.kr)

\*\* Korea Institute of Energy Research, Senior Researcher(shhong@kier.re.kr)

\*\*\* Korea Institute of Energy Research, Principal Researcher(hspark@kier.re.kr, y-gj@kier.re.kr)

\*\*\*\* Department of Architectural Engineering, Inha University, Professor(energeti@inha.ac.kr)

### Abstract

This study aims to evaluate application of a heat recovery ventilator(HRV) using photovoltaic(PV) system. To this end, we analyzed performance of a PV system, which it was evaluated by monthly power wattage and conversion efficiency according to design capacity of a HRV. The results of this study can be summarized as follows.

(1) A conversion efficiency of the PCS was evaluated about 86% in rated power. (2) A maximum, minimum and average output power were respectively analyzed 49.2W, 47.3W, and 48.8W. (3) Total power wattage of 200W PV system was 211kW and it was 316kW in case of 300W PV system. (4) Insufficient electrical power of a duct and window type ventilation system was respectively calculated 133.5kW and 147.7kW.

**Keywords** : HRV(Heat Recovery Ventilator), PV(Photovoltaic), PCS(Power Conditioning System)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 필요성

건물 에너지절약 관점에서 열효율 향상을 위한 고단열 및 고기밀화 기술, 외기도입량 부족, 실내 마감재로부터 방출되는 오염물질 방출 등의 이유로 인해 실내공기오염은 악화되고 있다. 그 결과 오염된 실내에 장시간 노출된 재실자들에게 이와 관련된 질병이 발생함에 따라 실내공기질 문제에 대한 관심이 급증하게 되었다.

최근에는 실내공기질과 에너지 문제를 동시에 해결하기 위한 방안의 하나로 열회수 장치를 이용하여 환기에 의한 에너지 손실을 최소화함과 동시에 실내공기환경 또한 개선할 수 있는 전열교환 환기시스템의 보급이 확대되고 있다.

그러나 이는 전력사용량의 급격한 증가를 초래하게 될 것으로 예상된다. 이와 같이 전력수요의 확실한 증가 추세가 예상되는 현실에서 미래에너지원의 안정적 공급과 지구환경문제에 관점으로부터 무한정·무공해의 태양광발전기술의 연구개발과 확대보급촉진은 사회적인 관심고조와 국제적인 요청이라 할 수 있다.

### 1.2 연구목적 및 범위

본 연구는 태양광 발전 환기시스템의 적용성 평가를 목적으로 한다. 이를 위해 학교 교실에 설치되어 운전 중인 급기방식이 상이한 두 종류의 전열교환 환기시스템에 친환경에너지원인 태양광 발전시스템을 적용하고, 태양광 발전시스템의 구성요소기별 성능 특성과 태양전지 모듈 및 어레이의 최대출력 전압 특성을 분석하였다.

또한 성능 특성 결과에 의해 환기시스템의 환기용량별 연간 총 출력발전전력량 및 평균 변환효율 특성을 비교 평가하였다.

## 2. 환기시스템 및 태양광발전시스템 설계

### 2.1 환기시스템 개요

실내 공기질 개선을 위한 환기시스템 제원은 표 1과 같다. 표 1의 환기시스템은 실내공간에서 환기에 의해 배출되는 공기로부터 열을 회수하여 다시 공조에 활용할 수 있도록 하는 대표적 에너지 절약기기이다.

창문설치형은 급·배기를 위한 덕트가 필요 없고, 동일 용량의 천정매립형에 비해 소요전력이 적은 것이 장점이다. 천정매립형은 덕트와 연결된 급·배기구를 통해 신선외기를 공급하고 오염공기를 배출함으로써 실내 기류분포를 균일하게 할 수 있는 것이 특징이다.

표 1. 환기시스템 제원

구 분	환기용량	소요전력	구동방식	전압
창문설치형	500CMH	86W×2	교류	220V
	350CMH	105W×2	교류	220V
천정매립형	500CMH	126W×2	교류	220V

### 2.2 태양광발전시스템 설계

환기시스템 소요전력을 토대로 태양광발전시스템의 구성요소기기를 선정한 후 시스템을 설계하였다. 그림 1과 그림 2는 환기시스템에 적용되어 운전 중인 태양광발전시스템으로, 태양전지 어레이는 50W급 태양전지모듈의 1직렬 4병렬로 2군, 1직렬 6병렬로 2군으로 연결하였고, 시스템이 최적의 발전성능을 가질 수 있게 설치 경사각은 30도, 방위각은 0도(정남향)로 고정방식으로 설치하였다. 전력변환장치(Power Conditioning System)는 비용과 환기시스템 소요전력이 1kW이하 인 것을 고려하여 정격출력 200W, 최대출력 300W인 소용량 4대 설치하여 태양광발전시스템에 적용하였다. 계통형 전력변환장치(PCS)의 전력변화효율은 정격출력에서 90% 이상이고, 회로보호기능이 내장되어 있다.

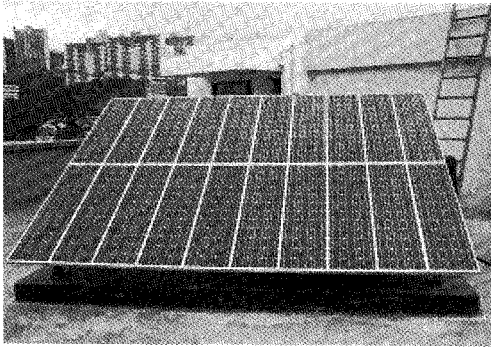


그림 1. 계통연계형 태양광발전(태양전지어레이)

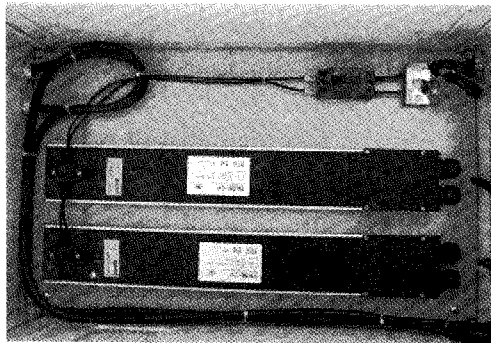


그림 2. 계통연계형 태양광발전(PCS)

환기시스템에 적용된 태양광발전시스템의 태양 전지모듈 및 계통형 전력변장장치(PCS) 제원을 표 2와 표 3에 나타내었다.

표 2. PCS 규격(정격시)

모델명		OK5E-LV
주회로방식	운전방식	전압형 전류제어
	제어방식	MPPT
정격	정격입력전압	16~18VDC
	운전가능전압	12~25VDC
성능	정격출력	200W(최대 300W)
	변환효율	93% 이상
	출력역률	0.99 이상
	총합전류왜율	3% 이하
보호기능	계통보호	OV, UV, OF, UF

표 3. 태양전지모듈 규격(표준조건)

모델명	STM530
모듈종류	단결정·Si
정격출력(W)	50
단락전류(A)	3.30
개방전압(V)	21.2
최대출력전류(A)	3.00
최대출력전압(V)	17.0
모듈수량	20매
외형(mm)	1,293×329×35
무게(kg)	5.5
어레이구성	1×4(2군), 1×6(2군)
어레이면적(m <sup>2</sup> )	25.41
표준조건(STC)	일사강도 1,000W/m <sup>2</sup> , 온도 25℃

### 3. 태양광발전시스템 성능시험 및 결과

태양광발전시스템의 구성요소기인 전력변화장치(PCS)와 태양전지 모듈에 대해 시스템을 설치하기 전에 단기간의 성능평가시험을 통해 성능을 조사·분석한 후 환기시스템에 태양광발전시스템을 적용하였다.

#### 3.1 전력변화장치(PCS) 성능시험 및 결과

환기시스템에 설치된 200W급 소용량 전력변화장치(PCS)의 성능시험 결과는 표 4와 같다.

정격시의 성능시험 결과는 제조회사에서 제시한 사양과 비교하였을 경우 변환효율이 다소 낮은 것으로 나타났다. 그림 3은 전력변화장치의 입력 값 변화에 따른 설계변환효율과 성능시험에 의한 실측변환효율 특성을 나타낸 것이다. 성능시험에 의한 전력변화장치 정격시 변환효율은 86% 정도로 설계변환효율에 비해 성능이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나, 국내·외에서 제작 판매되고 있는 소용량 상용제품 대부분의 변환효율이 90% 미만인 것을 감안하면 사용하기에 적합하다고 판단된다.

표 4. PCS 성능시험 결과

시험 항목	검토 사항	결 과	
효율	86% 이상 (정격시)	직류입력 : 200W	직류입력 : 250W
		교류출력 : 172W	교류출력 : 217W
		효율 : 86%	효율 : 86.8%
왜율 (전류)	3% 이내	(172W) 출력시	(172W) 출력시
		2.5%	2.8%
역률	99% 이상	(172W) 부하시	(172W) 부하시
		유효전력 : 172W	유효전력 : 217W
		피상전력: 172.7VA	피상전력: 217.9VA
		역률 : 99.7%	역률 : 99.7%

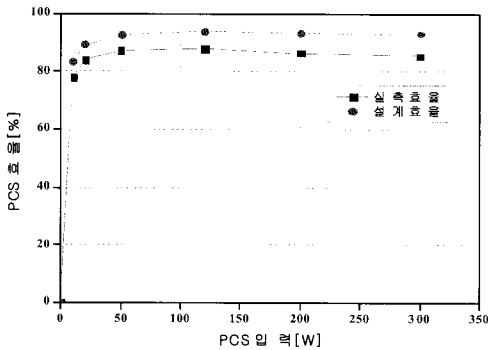


그림 3. PCS 변환효율 특성

### 3.2 태양전지모듈의 성능시험 및 결과

태양전지 모듈은 여러 개의 태양전지로 구성되어 있고 설치장소의 기상조건과 취급시의 충격 등에 견딜 수 있도록 일정 규격으로 제품화되어 있어 단위 태양전지보다 크고, 전압과 전류도 비례하여 커지기 때문에 성능추정에 여러 가지 제약을 받는다. 즉, 큰 면적의 모듈에 균일하게 조사될 수 있는 광원이 필요하며 다수의 태양전지로 구성되어 있으므로 피측정 모듈의 분광특성을 정확하게 규정하는 것이 불가능할 뿐만 아니라 수광면이 투명한 보호재료로 덮여 있으므로 단위 태양전지의 분광특성과는 다를 수도 있고, 기계적 보강구조를 가지고 있으므로 측정시의 온도제어가 어려운 문제점이 있다. 그러나 근본적인 출력특성 측정방법

은 단위 태양전지와 차이가 없으며, 자연 태양광 또는 인공광원에 따라 옥외법 및 옥내법을 사용할 수 있다.

본 연구에서는 인공광원법에 옥내법을 적용하여 성능시험을 실시하였다. 태양전지 모듈의 전기적 성능시험은 Solar Simulator(Spire TM240A, 미국)를 사용하였으며, 광원 균일도는  $\pm 3\%$ , 시험 가능 면적은 800mm×1,300mm로 태양전지 모듈 100W급까지 시험 가능한 장비이다. 대상 환기시스템에 설치된 50W급 태양전지모듈 10매에 대해서 Air Mass 1.5, Lamp intensity 100mW/cm<sup>2</sup>, 측정온도 25℃ 조건으로 전기적 성능시험을 수행하였다. 본 실증연구에 설치된 태양전지 모듈은 각 Site별로 태양전지 모듈의 규격 및 사양이 같지 않기 때문에 Site별로 전기적 성능시험에 대한 비교분석이 불가피하여 각 각의 Site별로 10개의 태양전지 모듈을 선정하여 전기적 성능에 대한 출력의 균일도 분포를 분석하였다.

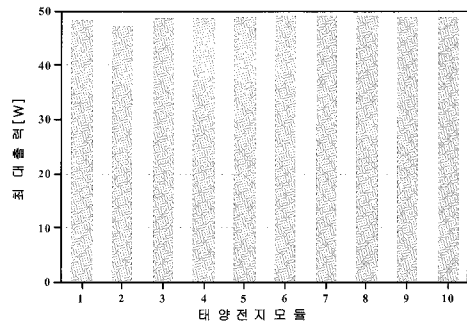


그림 4. 태양전지모듈의 전기적 성능시험

그림 4는 설치된 태양전지모듈의 전기적 성능시험 결과를 보여주고 있다. 태양전지 모듈은 103mm×103mm 단결정 실리콘 태양전지 36개로 구성된 50W급 태양전지 모듈로써 총 10매를 설치하였다. 태양전지 모듈 10매 중 최대 출력값은 49.2W, 최소 출력값은 47.31W로써, 평균 48.8W를 나타내고 있으며, 기준치 50W에서의 2.7~0.8W에 못

미치는 -5.4~-1.6%의 출력 균일도 분포특성을 보여주고 있다. 태양전지 모듈은 기준치에 다소 부족하나, 균일도면에서 볼 때 거의 일정한 전기적 출력특성을 보여주고 있어 태양광발전시스템의 발전 효율면에서는 안정적인 전기적 특성을 나타낼 것으로 판단된다.

#### 4. 태양광발전시스템 성능분석 및 검토

태양광발전시스템의 성능해석 프로그램을 사용하여 환기시스템에 적용한 태양광발전시스템의 종합적인 성능특성을 비교·검토하였다. 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성을 시뮬레이션하기 위해 필요한 일사량, 풍속 및 외기온 등과 같은 기상조건은 한국에너지기술연구원에서 1982년부터 2001년까지 각 지방의 실측 기상데이터를 분석한 자료를 사용하였으며 구성기기의 시스템 성능 및 온도 계수 등은 단기간의 성능시험을 통해서 얻은 시험결과를 이용하였고, 시뮬레이션 해석 결과의 정확성 및 신뢰성을 확보하기 위해서 실제 운전에 따른 손실(그림자 영향, 경사각에 의한 손실, 온도에 의한 손실, 인버터 손실 및 기타 손실 등)을 고려하여 적용하였다.

태양광발전시스템 구성요소기기의 성능시험결과와 성능해석 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 하면 실제 설치되어 운전 중인 태양광발전시스템의 실제 성과와의 오차가 일반적으로 5%이하, 최대 10%이상을 벗어나지 않으므로 설치된 태양광발전시스템의 성능을 비교적 정확히 예측할 수 있다고 판단된다.

태양광발전시스템의 성능특성을 해석하기 위한 시뮬레이션 흐름도는 그림 5와 같다.

그림 6은 태양광발전시스템의 설치지역인 부산 지역의 월별 평균일사량과, 평균온도, 풍속 등의 기상조건을 나타낸 것으로 부산의 연간 총 누적일사량은 1,484kWh/m<sup>2</sup>, 평균온도는 14.6℃, 평균 풍속은 3.73m/s 이다.

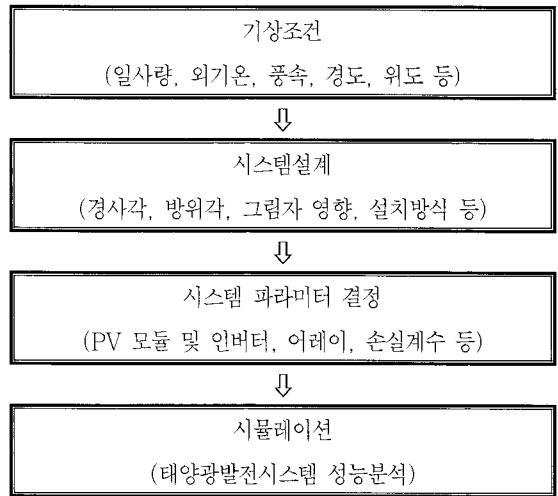


그림 5. 시뮬레이션 흐름도

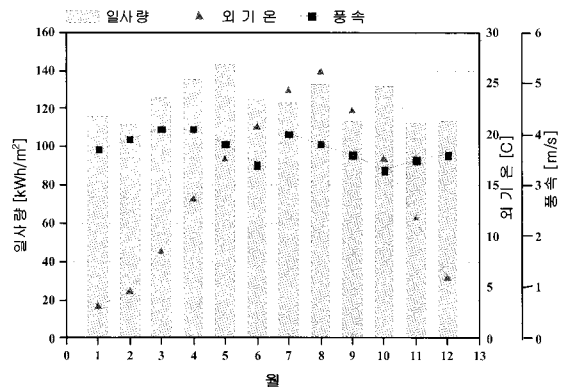


그림 6. 설치지역 기상데이터

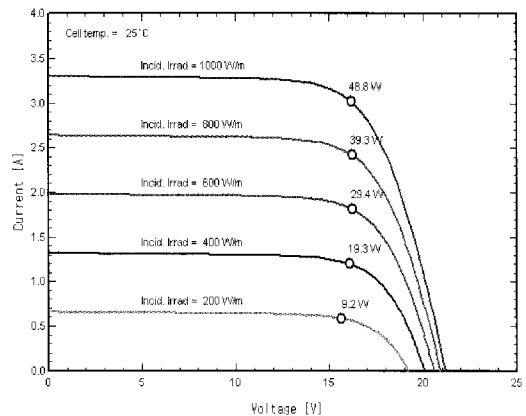


그림 7. 일사량에 따른 태양전지 모듈 I-V 특성

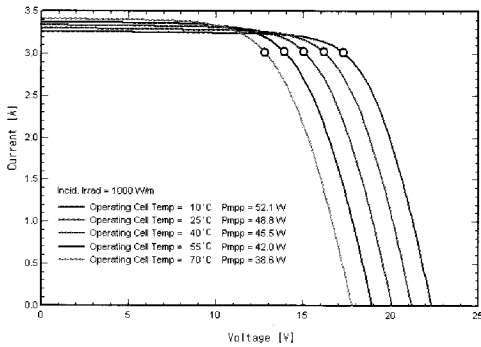


그림 8. 온도변화에 따른 태양전지 모듈 I-V 특성

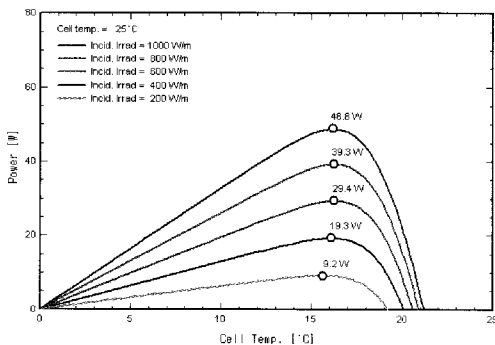


그림 9. 일사량에 따른 태양전지 모듈 P-T 특성

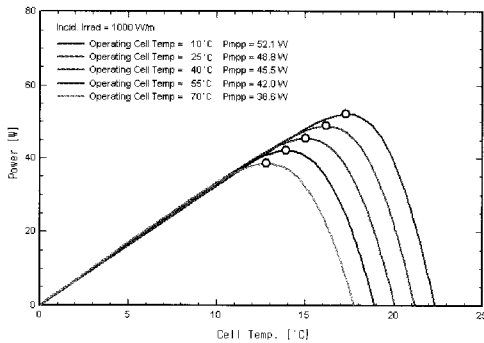


그림 10. 온도변화에 따른 태양전지 모듈 P-T 특성

태양전지 모듈 및 어레이는 일사량과 온도에 의해서 최대출력전압이 변화된다. 그러므로, 일사량 및 온도 변화에 대한 태양전지 모듈의 개방전압, 단락전류, 최대출력 등의 전기적 성능특성을 조사 분석하는 것이 중요하다. 단기간의 성능시험 결과

를 이용, 이러한 변화특성들을 분석하고 시스템 파라미터를 산출하여 시뮬레이션에 적용하여 해석하였다. 그림 7~그림 10은 일사량 및 온도 변화에 따른 태양전지모듈의 전압, 전류, 최대전력 등의 성능특성변화를 나타낸 것이다. 태양광발전시스템에 설치된 전력변환장치(PCS)는 모두 MPP 추종제어와 자동기동/정지기능이 있어 일사강도가 30W/m<sup>2</sup>일 경우 운전을 시작하여 계통으로 전력을 공급하고 일사강도가 약 30W/m<sup>2</sup>이하일 경우, 전력변환장치(PCS)가 운전을 정지한다는 것을 성능시험결과를 통해 나타냈다.

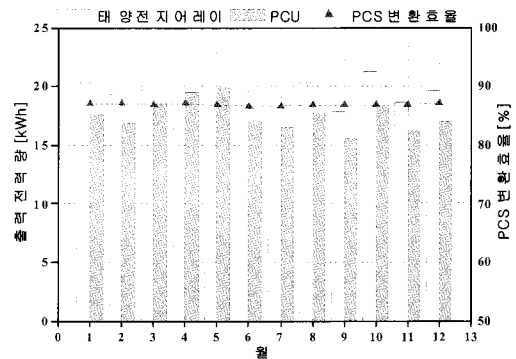


그림 11. 월별 출력전력량 및 변환효율(200W)

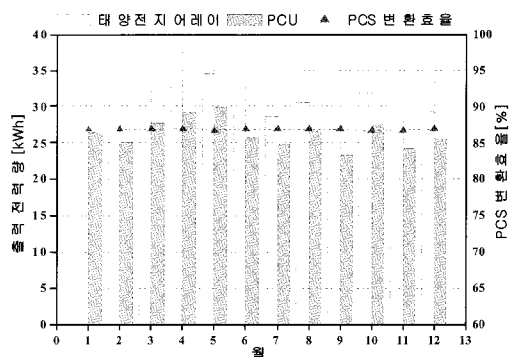


그림 12. 월별 출력전력량 및 변환효율(300W)

태양광발전시스템 용량이 각각 200W, 300W 일 때 월별 출력발전전력량과 변환효율특성을 그림 11과 12에 나타내었다. 태양광발전시스템 용

량이 200W인 경우 총 발전전력량은 211kWh, 평균변환효율은 86.9%이고, 태양광발전시스템 용량이 300W인 경우 총 발전전력량은 316 kWh이고 평균변환효율은 86.8%이다.

태양광발전시스템 용량이 600W, 400W 일 때의 시스템 연간 총 출력발전전력량과 평균 변환효율특성을 그림 13에 나타내었다. 태양광발전시스템의 총 발전전력량은 각 각 632kWh, 422kWh이다.

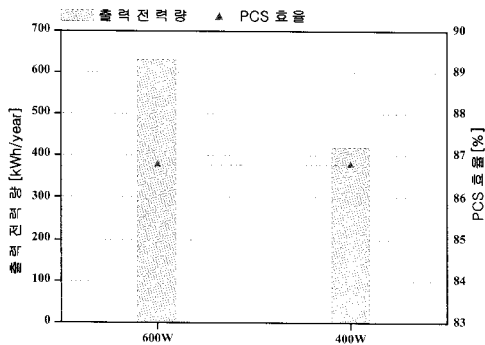


그림 13. 환기시스템 용량별 태양광발전시스템 성능

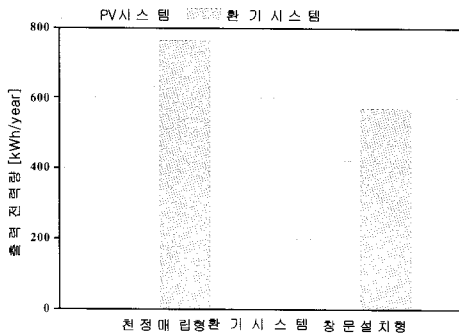


그림 14. 시스템별 전력소요량 비교

창문설치형과 천정매립형 환기시스템의 설계용량에 따른 소비전력량을 예측하여 산출한 결과와 태양광발전시스템을 설치하였을 경우 출력발전 전력량을 비교한 결과를 그림 14에 나타내었다. 천정매립형의 경우에는 정격전력이 462W로 하루 8시간을 운전하고, 비운전시간을 포함하여 예측하

면 1년간 소비전력량이 765kWh이고, 600W 태양광발전시스템의 출력발전전력량은 631.7kWh이다. 창문설치형의 경우에는 정격전력이 344W로 하루 8시간을 운전하고, 비운전시를 포함하여 예측하면 1년간 소비전력량이 569.7kWh이고, 400W 태양광발전시스템의 출력발전전력량은 422kWh이다. 즉, 천정매립형의 경우 133.5kW, 창문설치형의 경우 147.7kWh로 전력이 부족한 것으로 나타났다.

그러나 환기시스템의 추정 소비전력량은 정격출력에서 운전된다는 가정하에 산출된 결과로 실내환경 개선을 위한 환기시스템을 적용한 환기량의 최적제어가 이루어진다면 실제 소비되는 전력량은 상당히 감소될 것이라 예측되므로 본 연구에서 설치된 태양광발전시스템의 설치용량으로 환기시스템의 소비되는 에너지사용량을 감당할 수 있고, 이에 따른 환경개선으로 쾌적한 실내환경 조성과 에너지절약효과를 가져올 수 있을 것이라 기대된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 태양전지 모듈 및 어레이의 월별 출력전력량 및 변환효율에 의해 환기시스템의 환기 용량별 태양광 발전시스템 성능을 분석하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 전력변화장치 정격시 변환효율은 대략 86%로 평가되었다.
- (2) 적용된태양전지 모듈의 최대 출력값은 49.2W, 최소 출력값은 47.3W로 평균 48.8W로 분석되었다.
- (3) 태양광 발전시스템 용량이 200W인 경우 총 발전전력량은 211kW, 평균 변환효율은 86.9%, 300W인 경우 총 발전전력량은 316kWh, 평균변환효율은 86.8%로 평가되었다.
- (4) 천정매립형 환기시스템의 경우에는 정격전력이 462W로 하루 8시간을 운전하고, 비운전시를 포함하여 예측하면 1년간 소비되는 전

력량이 765kWh이고, 600W 태양광발전시스템의 출력발전전력량은 631.7kWh으로 133.5kW 전력이 부족한 것으로 평가되었다.

- (5) 창문설치형 환기시스템의 경우에는 정격전력이 344W로 하루 8시간 운전하고, 비운전시를 포함하여 예측하면 1년간 소비되는 전력량은 569.7kWh이고, 400W 태양광발전시스템의 출력발전전력량은 422.0kWh으로 147.7kWh로 전력이 부족한 것으로 평가되었다.

현재 국내의 시범보급 및 지역에너지사업에 있어 산업자원부에서는 1kW 태양광 발전시스템의 설치비용을 14,000~15,000천원으로 산정하여 지원하고 있다. 국내의 태양광 발전시장의 기반구조의 취약화로 태양광 발전시스템의 제조단가가 선진국에 비해 다소 높으나, 대체에너지 개발이 활성화 되고 향후 태양광 발전시스템 설치비용 단가가 감소되면 국내 태양광 발전시장도 국가경쟁력을 갖춘만큼 경제성이 있게 되어 태양광 발전시스템의 이용보급이 가속화 될 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

1. Imad Abouzahr, and R. Ramakumar, "An approach to assess the performance of utility-interactive photovoltaic systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 8, No. 2, June, 1993, pp. 145-153.
2. Fouad Kamel, "Photovoltaic Long-term test", Renewable Energy, Vol.6, No. 5-6, 1995, pp. 521-525
3. van Dyk EE, Meyer EL, Scott BJ, O Connor DA, Wessels JB, "Analysis of photovoltaic module energy output under operating conditions in South Africa", In: 26th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, September: USA, 1997.
4. Alison R. Wilshaw, Nicola M. Pearsall, and Robert Hill, "Installation and operation of the first city centre PV monitoring station in the united kingdom", Solar Energy, Vol. 59, No. 1-3, 1997, pp 19-26.
5. K. Nishioka, T. Hatayama, Y. Uraoka, T. Fuyuki, R. Hagihara, and M. Watanabe, "Field-test analysis of PV system output characteristics focusing on module temperature", Solar Energy Materials & Solar Cells 75, 2003, pp. 665-671.
6. Takashi Ishikawa, Kosuke Kurokawa, Naotaka Okada, and Kiyoshi Takigawa, "Evaluation of operation characteristics in multiple interconnection of PV systems", Solar Energy Materials & Solar Cell 75, 2003, pp. 529-536.