

## 온실설비 작동용 태양광발전시스템의 발전 성능 분석

윤용철<sup>1</sup> · 배용한<sup>2</sup> · 유영선<sup>3</sup> · 이성현<sup>3</sup> · 서원명<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 지역환경기반공학과(농업생명과학연구원), <sup>2</sup>경상대학교 대학원,

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립농업과학원

## Power Generating Performance of Photovoltaic Power System for Greenhouse Equipment Operation

Yong Cheol Yoon<sup>1</sup>, Yong Han Bae<sup>2</sup>, Young Sun Ryou<sup>3</sup>,  
Sung Hyoun Lee<sup>3</sup>, and Won Myung Suh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Agricultural Eng., Gyeongsang National Univ.

(Institute of Agriculture and Life Science, GNU), Jinju 660-701, Korea

<sup>2</sup>Graduate school, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea

<sup>3</sup>National Academy of Agricultural Science, RAD, Suwon 441-707, Korea

**Abstract.** For the purpose of reducing the cost for greenhouse operation by acquiring the electric power necessary for it, this study installed a solar photovoltaic system on the roof of the building adjacent to greenhouses and experimentally examined the quantity of power generation based on weather conditions. The results of the study are as per the below: The maximum, average and minimum temperature while the experiment was conducted was 0.4~34.1, -6.1~22.2, and -14.1~16.7°C respectively, and the solar radiation was 28.8MJ · m<sup>-2</sup> (maximum), 14.9MJ · m<sup>-2</sup> (average), and 0.6MJ · m<sup>-2</sup> (minimum). The quantity of electric power didn't increase in proportion to the quantity of solar radiation and instead, it was almost consistent around 750W. Daily maximum, average and minimum consumption of electric power was 5.2kWh, 2.5kWh and 0kWh respectively. Based on the average electric power consumption of the system used for this experiment, it was sufficient in case the capacity and the working time of a hot blast heater are small, but it was short in case they are big. In case the capacity of the hot blast heater is big, the average electric power quantity will be sufficient for array area 21m<sup>2</sup>, about three times of the present area. In summer when the temperature of the array becomes high, the generation of electric power didn't increase in proportion to the quantity of solar radiation, but this experiment result shows a high correlation between two factors (coefficient of correlation 0.84).

**Key words :** electric energy, electric power, greenhouse, solar photovoltaic module, solar radiation, temperature

### 서 론

국내 시설원에 면적은 1990년 약 25,000ha에서 2000년에는 약 55,000ha로서 10년 사이에 2배 이상 증가하였으며, 시설재배 기술 수준도 한 단계 향상되는 전기를 맞이하였다. 2007년 말 현재 시설원에 면적은 약 58,000ha로서 채소류 및 화훼류가 각각 약 49,800ha

및 3,200ha를 차지하고 있다(농림수산식품부, 2008a, b). 시설원에 가온면적은 1990년에 전체 면적중 약 9%인 2,200ha이었던 것이 2007년 말 현재 약 23%인 14,000ha 정도로 증가하였다(농촌진흥청, 2008a). 최근 면세유의 가격변화 추이를 보면, 2004년 말에 경유 및 중유의 가격이 각각 리터당 466원 및 331원이었던 것이 2008년 말에 각각 1,048원 및 633원으로써 최근 몇 년간에 각각 2.2배 및 1.9배 상승하였다(농촌진흥청, 2008a). 시설원에 난방에너지원의 대부분을 석유에 의존하고 있는 상황에서 유가의 상승은

\*Corresponding author: hominkang@kangwon.ac.kr

Received August 27, 2009; Revised September 9, 2009;

Accepted September 17, 2009

난방비를 급격히 상승시켜 시설원예농가에 큰 어려움을 가져오고 있는 실정이다. 이로 인해 겨울철 가온재배를 포기하는 농가가 속출하고 있는 것도 현실이다.

예를 들면, 경상남도의 온실단지에서 재배되는 주요 작물인 고추, 착색단고추, 딸기, 오이 및 토마토에 대해 2007년도의 광열동력비는 각각 약 4,390,000원, 9,480,000원, 650,000원, 3,700,000원 및 1,860,000원이었다. 이것은 온실 전체경영비에서 차지하는 비중은 작물별로 각각 약 37%, 33%, 6%, 31% 및 25% 정도로서 오이를 제외하면 광열동력비가 차지하는 비중이 상당히 높은 것을 알 수 있다(www.rda.go.kr).

시설원예에 있어 난방에너지 비용을 절감시키기 위해서는 보온성을 개선한 시설의 구조 및 자재의 개발, 난방용 기계장치의 효율 개선뿐만 아니라 석유대체 에너지에 의한 난방에너지 등 종합적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이들과 관련하여 농촌진흥청에서는 지열, 바이오매스 및 태양광 등 신·재생에너지 이용 기술을 포함한 다양한 기술 및 제품 등을 개발하여 농가에 보급하고 있는 실정이다(농촌진흥청, 2008a, b). 본 연구실에서도 에너지비용 절감을 전제로 태양열 집열기 및 히트펌프에 대한 연구결과를 발표한 적이 있으며(Yoon 등, 1998a, b), 온풍난방기의 폐열회수 시스템에 대해서도 연구한 결과를 발표한 적이 있다(Suh 등, 2000, 2003).

최근 관심이 고조되고 있는 신·재생에너지는 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물 에너지, 연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지로 분류되지만(www.knrec.or.kr), 이들 중 현재까지 시설원예 분야의 경우 주 관심의 대상은 지열

이나 공기를 열원으로 하는 히트펌프, 태양열 집열기 등 이었다. 태양광발전은 주로 산업 현장이나 주거 공간 등에 이용되고 있지만, 시설원예에 이용한 사례는 찾아보기 극히 어려운 실정이다. 그러나 저탄소 녹색성장의 국가 비전을 실현하고 에너지 자원의 외국 의존도를 경감시키기 위하여 태양광에 대한 관심도 점점 증가되면서 태양에너지의 자원분석(기상청, 2008; Nam 등 2008a), 연구 및 기술개발도 활발히 진행되고 있는 실정이다(Nam 등, 2008b).

따라서 본 연구에서는 온실 운영에 필요한 전력량을 확보함으로써 온실경영비 절감을 목적으로 우선 태양광발전시스템을 온실의 인접한 건물의 옥상에 설치하여 기상상태에 따른 발전량을 실험적으로 검토하였다.

### 재료 및 방법

본 실험에 이용한 태양전지 모듈 및 어레이(array)의 특징은 Table 1과 같고, 태양광발전시스템의 구성도 및 어레이의 설치된 전경은 각각 Fig. 1 및 Photo. 1과 같다.

태양전지 모듈의 모델과 규격은 각각 KD6200 및 986 × 1,500 × 38mm(1.479m<sup>2</sup>)이고, 본 실험에서는 모

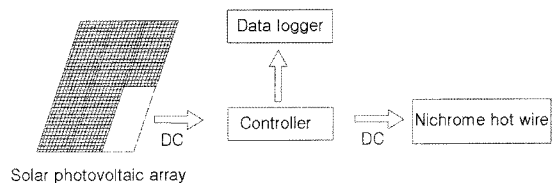


Fig. 1. Block diagram of photovoltaic power system.

Table 1. Specifications of solar photovoltaic (PV) module.

	Item	Value
System	type of PV module	multi
	cell number per PV module	54pcs
	area of PV array	7.4m <sup>2</sup> (1.479m <sup>2</sup> × 5 modules)
PV module	nominal peak power	200Wp
	peak power voltage	25.70V
	peak power current	7.80A
	power of PV array	1kWp (200Wp × 5 modules)
	efficiency	13.52%
	temperature coefficient of PV	-0.46% · °C <sup>-1</sup>
PV array	setting slope angle	30°
	setting direction angle (south-facing)	0°

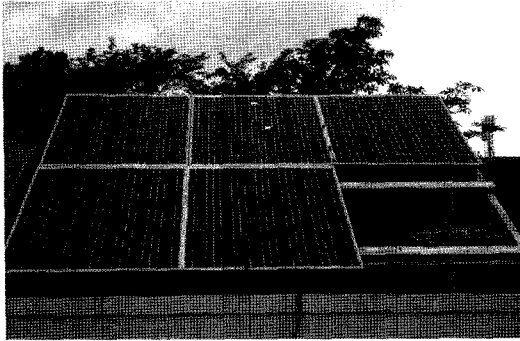


Photo. 1. View of photovoltaic power system.

둘 1장당 정격출력이 200Wp인 5장(array, 1kWp)으로 구성하였다.

태양광발전시스템에서 발생하는 전력은 컨트롤러에 의해 전력과 전압을 측정하여 데이터로거(KEO, SOLAK)에 저장하여 계산하였다. 수평면 일사량은 태양광발전기가 설치되어 있는 옥상 바닥에 일사센서(MS-802)를 설치하여 측정하였으며, 모듈의 표면 및 배면 온도, 백엽상내의 건습구 온도는 온도센서(T-type) 및 데이터로거(ALMEMO 5690-1M)를 이용하여 측정하였다. 모든 데이터는 1분 간격으로 측정하였다. 그리고 발생하는 전력량은 부하장치, 즉 니크롬 열선을 이용하여 전력이 발생됨과 동시에 소모되도록 하였다. 물론 발생하는 전력이 직류(DC)이기 때문에 온실 등에 이용할 경우에는 인버터를 사용하여 교류(AC)로 변환한 후, 축전지에 축전하여 사용하여야 할 것이다. 이와 같이 구성할 경우, PV 모듈의 효율도 감소하고

시스템의 설치비도 증가하지만 본 실험에서는 시스템의 비용 등을 고려하여 Fig. 1과 같이 구성하였다.

Photo. 2는 전압과 전류를 측정하는 컨트롤러와 니크롬 열선을 나타낸 것이다. 발생하는 전력을 100% 소비하기 위하여 설치해야 될 니크롬 열선의 개수는 다음과 같이 계산하였다. 단, 니크롬 열선은 병렬로 연결하였다.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{n}{R}$$

$$R_T = \frac{R}{n} \leq 3.3\Omega, n \geq \frac{R}{3.3} \quad (1)$$

여기서,  $R_T$ : 태양전지(PV) 모듈의 최대출력 전압과 전류로부터 구한 저항( $\Omega$ )

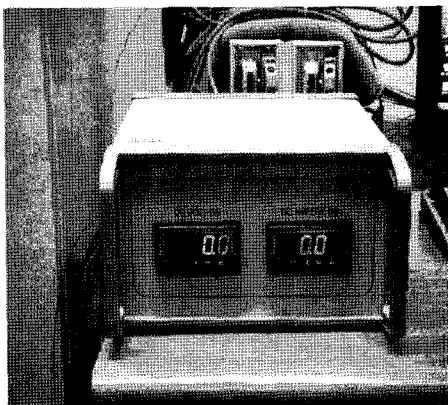
$R$ : 니크롬 열선 1개의 저항( $\Omega$ )

$n$ : 니크롬 열선의 개수

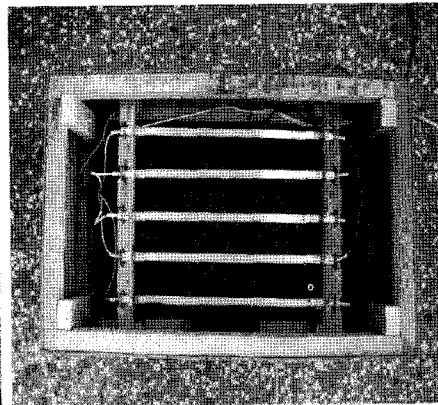
본 실험에 사용된 니크롬 열선의 저항은  $15.4\Omega$  이므로 식(1)에 대입하여 구하면 니크롬 열선은 약 5개이다. 그리고 열선은 220V용이고 개당 소비전력은 400W이다.

### 결과 및 고찰

Fig. 2와 Fig. 3은 경상대학교 교내 실험온실 및 태양광발전시스템이 설치되어 있는 인접한 백엽상에서 측정한 외기온(최고, 평균, 최저) 및 수평면 일사량과 교



(a) controller



(b) load

Photo. 2. View of controller and load devices.

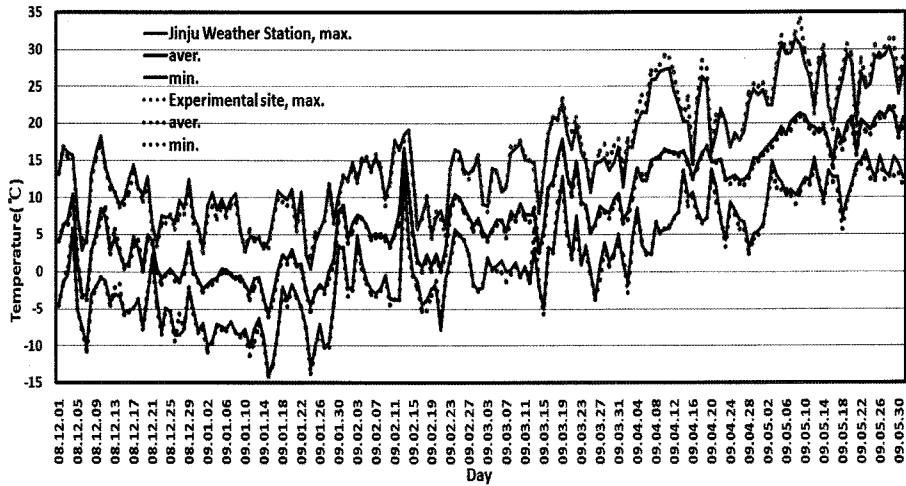


Fig. 2. Comparison of measured temperature at experimental site and Jinju Weather Station.

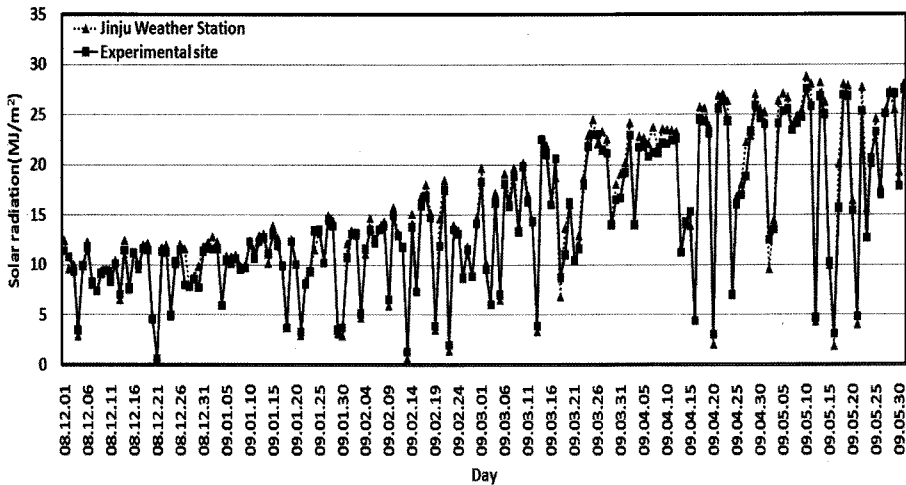


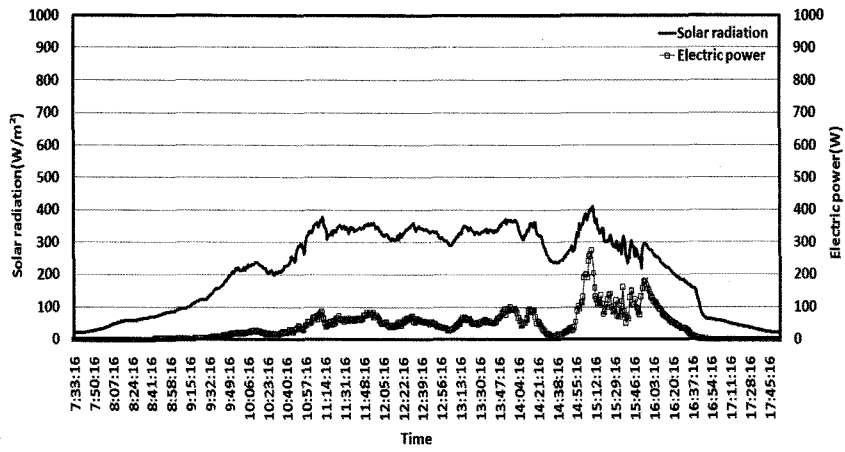
Fig. 3. Comparison of measured solar radiation at experimental site and Jinju Weather Station.

내에서 약 4km 정도 떨어진 진주기상대에서 측정된 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2를 보면, 진주기상대와 교내를 포함하여 최고온도, 평균온도 및 최저온도는 각각 0.4~34.1, -6.1~22.2 및 -14.1~16.7°C 정도의 범위에 있었다. 그리고 일사량의 경우, 최고 및 최저는 각각 28.8MJ · m<sup>-2</sup> 및 0.6MJ · m<sup>-2</sup> 정도였지만, Fig. 2와 Fig. 3에서 알 수 있듯이 두 지역에서 측정된 온도 및 일사량에는 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 본 연구에서는 경상대학교 교내에 위치한 온실에서 측정된 값들을 이용하였다.

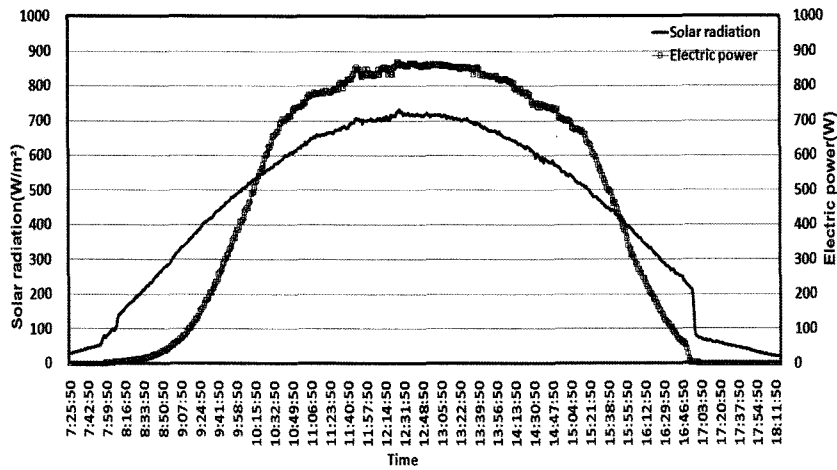
Fig. 4는 실제로 발생된 전력과 수평면 일사량을 나

타낸 일례로서 일사량의 정도에 따른 발생전력량을 보 기위한 것이다. 일사량은 태양광발전시스템이 설치되어 있는 옥상의 수평면에서 측정된 전천일사량이다. Fig. 4(a)는 일사량 및 전력량은 각각 8.1MJ · m<sup>-2</sup> 및 0.4kWh이고, Fig. 4(b), (c)의 일사량과 전력량은 각각 16.9MJ · m<sup>-2</sup>, 24.30MJ · m<sup>-2</sup> 및 4.8kWh, 4.6kWh이었다. 여기서 일사량과 전력량은 면적으로 환산한 값이고, 전력량은 어레이 면적을 약 7.4m<sup>2</sup>(Table 1참조)를 기준으로 한 것이다. Fig. 4(b)의 일사량이 Fig. 4(c)보다 적지만 전력량은 약간 많은 것을 알 수 있고, 또 한 Fig. 4(c)를 보면 일사량에 비해서 전력이 증가

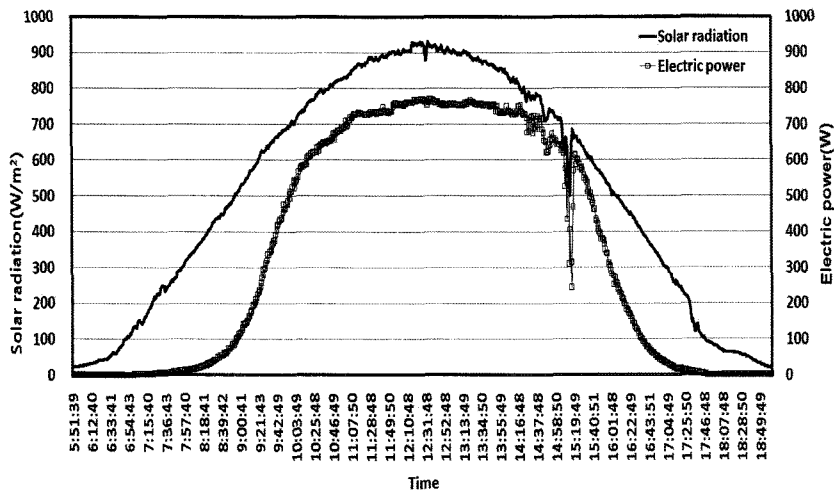
온실설비 작동용 태양광발전시스템의 발전 성능 분석



(a) 2009. 01. 22



(b) 2009. 02. 17



(c) 2009. 04. 18

Fig. 4. Horizontal solar radiation and electric power.

하지 않고 약 750W 전후에서 거의 일정한 것을 알 수 있다. 이것은 태양전지 모듈내의 태양전지 셀이 온도의 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 즉 태양전지 셀의 최대(피크) 출력은 일사량  $1\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 에서 셀의 온도가  $25^{\circ}\text{C}$ 인 경우이다. 실제로 셀의 온도를 직접 측정하지 않았지만, Fig. 4(b), (c)에 대해 어레이 표면에서 측정된 온도를 보면, 각각 약  $25^{\circ}\text{C}$ 와  $45^{\circ}\text{C}$  정도로서 후자가 전자에 비해 상당히 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 실험기간동안(2008. 12. 01~2009. 05. 31)의 일사량과 전력량을 일별로 나타낸 것이다. 실험기간동안 일사량의 최대, 평균 및 최소값은 각각 약  $28.8\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $14.9\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  및  $0.6\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  정도였고, 일일 전력량은 각각 약 5.2kWh, 2.5kWh 및 0kWh 이었다. 그리고 누계 일사량과 전력량은 각각 약  $2,594.7\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  및 463.7kWh 정도이었다. 농가에 보급되고 있는 개폐기의 소비전력은 제작회사에 따라 다소 차이가 있지만, 주로 대당 50W 정도이다. 1~2W 온실 2연동의 경우, 온실 한 동에 일반적으로 10개 정도의 개폐기가 필요하고 일일 개폐시간을 중부지방을 기준으로 1시간(농촌진흥청, 2008a) 정도로 산정하면 개폐기 작동에 필요한 전체 전력량은 0.5kWh이다. 따라서 평균전력량 2.5kWh 정도이면 개폐기 작동에는 충분한 것으로 판단된다. 그러므로 본 실험의 경우, 실험에 사용된 어레이 면적을  $1/5(1.5\text{m}^2)$  정도로 감소시켜도 충분한 것으로 판단된다. 또한 온풍난방기의 소비전

력도 재배면적, 설정온도 및 연료소모량 등에 따라 다양하지만 소비전력  $0.5\sim 12.0\text{kW}(20,000\sim 350,000\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1})$  정도가 일반적이다. 전국(강원, 중부 및 제주지역)을 대상으로 하고, 채소, 화훼 및 과수재배용 온실 기준으로 온풍기 연간 작동시간을 보면, 약 300~850시간인 것으로 보고되어 있다(농촌진흥청, 2008a). 이를 기준으로 연간 난방기간을 지역과 작목에 관계없이 약 170일로 보면, 일일 난방기의 작동시간은 약 1.8~5.0 시간이다. 따라서 일일 소비전력량을 계산해 보면,  $0.9\text{kWh}(0.5\text{kW} \times 1.8\text{h})\sim 60.0\text{kWh}(12.0\text{kW} \times 5.0\text{h})$  정도이다. 따라서 본 실험에 사용된 시스템의 평균값을 기준으로 보면, 온풍기의 용량 및 작동시간이 작은 경우(제주도, 채소재배)는 충분하지만 큰 경우는 부족한 것으로 나타났다. 온풍기의 용량이 큰 경우, 어레이 면적이 현재의 약 3배인 약  $21\text{m}^2$  정도이면 평균 전력량으로 충분할 것으로 판단된다. 여기서는 안전을 고려하여 평균 전력량으로 비교하였기 때문에 축전지와 인버터 등을 설치하면 전력 손실이 발생되지만, 실제로 개폐기와 온풍 난방기에 소요되는 전력량을 얻기 위해서는 앞에서 제시한 어레이 면적보다 다소 감소할 것으로 판단된다.

Fig. 6은 일사량과 전력량의 상관관계를 나타낸 것이다. 물론 어레이의 온도가 높아지는 한 여름철에는 일사량에 비례해서 발생 전력이 증가하지 않은 것으로 예상되지만, 현재까지 실험결과로 보면, 두 인자 간에 상관계수가 0.84 정도로 상관관계가 높은 것으로 나타

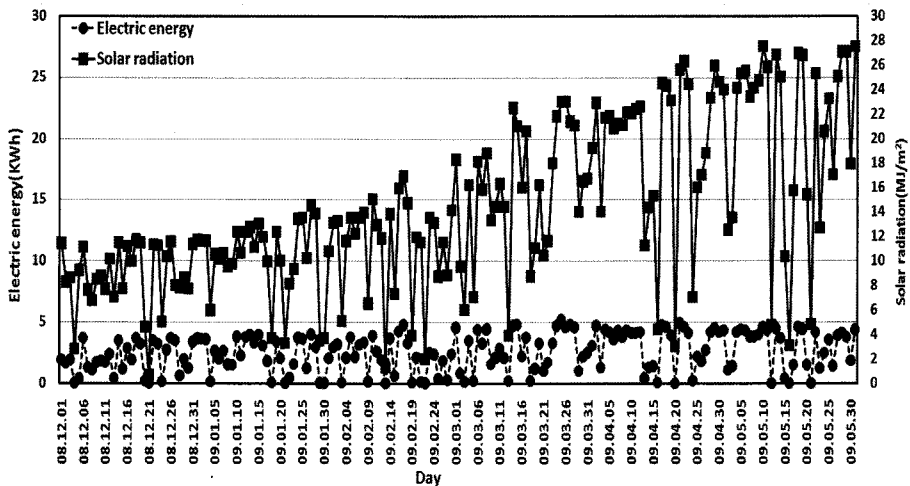


Fig. 5. Electric energy and solar radiation.

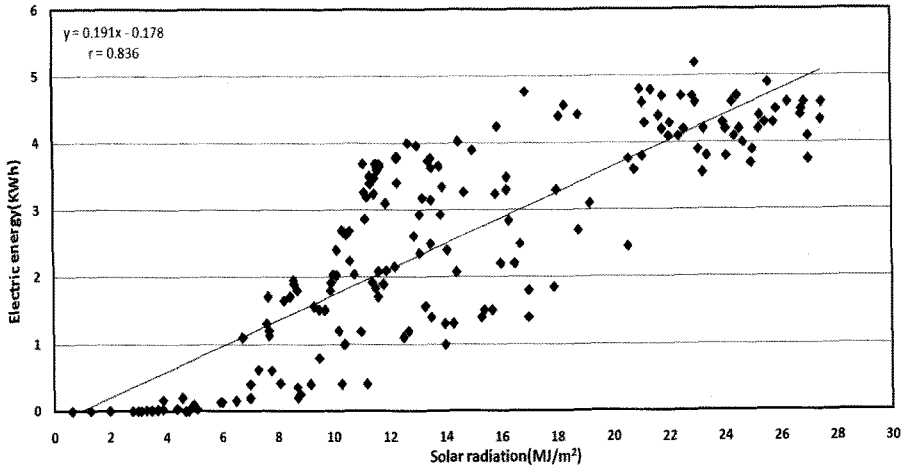


Fig. 6. Relationship between electric energy and solar radiation.

났다. 이 또한 1년의 데이터를 기준으로 추후 보고할 예정이다.

### 적 요

본 연구는 온실 운영에 필요한 전력량을 확보함으로써 온실경영비 절감을 목적으로 우선 태양광발전시스템을 온실의 인접한 건물의 옥상에 설치하여 기상상태에 따른 발전량을 실험적으로 검토하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 실험기간 동안 최고, 평균 및 최저온도는 각각 0.4~34.1, -6.1~22.2 및 -14.1~16.7°C 정도의 범위에 있었다. 그리고 일사량의 경우, 최대, 평균 및 최저값은 각각 28.8MJ·m<sup>-2</sup>, 14.9MJ·m<sup>-2</sup> 및 0.6MJ·m<sup>-2</sup> 정도였고, 전력은 일사량에 비례해서 증가하지 않고 약 750W 전후에서 거의 일정한 것을 알 수 있었다. 일일 최대, 평균 및 최소 소비전력량은 각각 약 5.2kWh, 2.5kWh 및 0kWh 정도였다. 본 실험에 사용된 시스템의 평균 소비전력량을 기준으로 보면, 온풍기의 용량 및 작동시간이 작은 경우는 충분하지만 큰 경우는 부족한 것으로 나타났다. 온풍기의 용량이 큰 경우, 어레이 면적이 현재의 약 3배인 약 21m<sup>2</sup> 정도이면 평균 전력량으로 충분할 것으로 판단되었다. 물론 어레이의 온도가 높아지는 한 여름철에는 일사량에 비례해서 발생 전력이 증가하지 않은 것으로 나타났지만, 현재까지 실험결과로 보면, 두 인자 간에 상관관계가 0.84 정도로 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

**주제어** : 온도, 온실, 일사량, 전력, 전력량, 태양전지모듈

### 사 사

이 논문은 2008년, 2009년 농촌진흥청 어젠다 중심 농업과학기술개발 공동연구사업 “친환경 에너지 절감기술 및 바이오 대체에너지 개발-온실내 분석 모델 개발-”의 연구비에 의해 수행되었습니다.

### 인 용 문 헌

1. Kim, D.S., S.M. Koo, and S.W. 2008b. Estimating optimal probability distribution of daily potential photovoltaic power generation for development of rural green village by solar energy. J. KSAE, 50(6):37-47 (in Korean).
2. Korea Meteorological Administration. 2008. Analysis report of meteorological source for optimum utilization of solar energy.
3. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2008a. Production results of vegetable crop in 2007. 52-64 (in Korean).
4. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2008b. Cultural state of floricultural crop in 2007. 3-13 (in Korean).
5. Nam, S.W. and D.S. Kim. 2008a. A study on application of new & renewable energy for environmental friendly planning of rural villages. J. KSAE, 50(3): 105-112 (in Korean).
6. Rural Development Administration. 2008a. Guide book of energy down to tide over of high oil price.

7. Rural Development Administration. 2008b. Technology of operating cost down for agriculture.
8. Suh, W.M., Y.C. Yoon, and J.G. Kang. 2000. Analysis of heat exchanging performance of heat recovering device attached to exhaust gas duct. *J. Bio-Env. Cont.* 9(4):21-222 (in Korean).
9. Suh, W.M., Y.C. Yoon, and J.K. Kwon. 2003. Heat exchange performance of improved heat recovery system. *J. Bio-Env. Cont.* 12(3):107-113 (in Korean).
10. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and S.G. Lee. 1998a. A study on the greenhouse heating performance of heat pump system. *J. KSAE*, 40(3):94-102 (in Korean).
11. Yoon, Y.C., W.M. Suh, and S.G. Lee. 1998b. Analysis on the thermal performance of flat-plate solar collector for greenhouse heating. *J. KSAE*, 40(6):46-56 (in Korean).
12. [www.knrec.or.kr](http://www.knrec.or.kr).
13. [www.rda.go.kr](http://www.rda.go.kr).