

# 배면 통기유로를 가지는 태양광 발전시스템의 발전효율과 열전달의 관계

김명준<sup>†</sup> · 채규훈<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2010년 3월 30일, 원고수정일 : 2010년 5월 26일, 심사완료일 : 2010년 7월 7일)

## Relationships between Electric Power Generation of PV System and Heat Transfer which has Free Air Ventilation Duct

Myoung-Jun Kim<sup>†</sup> · Gyu-Hoon Chea<sup>1</sup>

**요약:** 최근 몇 년간 에너지 위기에 대한 우려가 급격히 증가하고 있으며, 방대한 에너지소비에 따른 환경오염도 큰 문제로 대두되고 있다. 사회적으로 에너지 위기가 고조되고 있는 가운데 새로운 에너지나 신재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하는 하나의 수단으로 태양에너지를 적극적으로 이용하기 위한 태양광발전시스템의 발전효율을 상승시키는 일환으로 대류열전달의 향상을 도모한 실험을 수행한 결과를 정리한 논문이다.

**주제어:** 태양광 시스템, 신재생에너지, 열전달, 일사량, 통기유로

**Abstract:** Recently, the fossil energy and its related environmental problems (increase in PPM of CO<sub>2</sub>) have been increased. Therefore, the interests on new and renewable energy have been increased as the one of the future industrial leading items. Among the renewable energy, the PV (Photo-Volatic) systems has particular merit at the electricity can be directly acquired from the sun. Usually in PV systems, the ambient temperature and air velocity have strongly related on the effect of power generation of PV panel. So the purpose of this study is to clarify relationships between power generation of PV panel and outer environmental factors like temperature and air velocity. And these types of applications using natural energy are strongly affected by the climate conditions. Therefore the data of this study were re-arranged in terms of non-dimensional correlations.

**Key words:** Photo-Voltaic (PV) system, New and renewable energy, Heat transfer, Insolation, Ventilation duct

### 1. 서 론

최근에 들어 1차 에너지인 화석연료의 소비 급증으로 인한 대기환경이 극심하게 오염되어 에너지 소비에 대한 사회적인 관심이 매우 높아지고 있으며 국제적인 이슈로 대두되고 있다[1]. 우리 정부는 이러한 문제를 해결하기 위하여 신재생에너지의 이용을 확대하기 위한 RPS(Renewable Portfolio

Standards)사업을 추진할 계획을 가지고 있으며, 지구온난화 유발 가스로 취급되는 이산화탄소를 줄이기 위한 다양한 노력이 시행 중에 있으며 그 해법의 일환으로 신재생에너지의 보급확대에 큰 기대를 걸고 있다[2~4].

신재생에너지 중 태양광 분야는 보급 촉진을 위하여 지식 경제부 산하 에너지 관리공단 주도하에

<sup>†</sup> 교신저자(군산대학교 동력기계시스템공학과, E-mail:mjkim@kunsan.ac.kr, Tel: 063-469-1849)

<sup>1</sup> 군산대학교 동력기계시스템공학과



### 3. 실험방법

전술한 바와 같이 본 연구의 목적은 PV패널의 발전량과 열전달과의 관계를 규명하기 위한 실험이며, 열전달 향상을 위한 대책으로는 PV패널 배면에 통기유로를 제작하여 대류에 의한 열전달을 향상시키고자 한 것이다. 따라서 실험은 통기유로의 간격을 1cm, 3cm, 5cm로 변화시키며 실험을 수행하였다.

본 연구와 같은 태양광에너지를 이용하는 경우는 기상상태에 매우 민감하게 반응하기 때문에 가급적이면 같은 조건의 날씨에 실험을 수행하도록 하였으며, 같은 실험을 3번씩 실시하여, 기상의 영향을 가장 적게 받은 경우의 값을 이용하여 데이터를 작성하였다.

실험을 통해 규명하고자 하는 대류열전달의 효과는 배면에 설치한 통기유로를 흘러가는 공기의 유속 및 온도차로 알 수 있기 때문에 유속측정기를 PV패널의 상부 및 하부에 설치하여 유속을 측정하였고, 온도는 열전대를 이용하여 Figure 2에 나타난 바와 같은 측정위치에서 측정하였다.

PV패널로부터 발생하는 직류전력은 멀티테스터를 이용한 전압 및 전류를 측정하여 산출하였으며, 일사량 측정기를 이용하여 같은 시간대의 일사량도 동시에 측정하였다. 전술한 바와 같이 기상의 영향을 많이 받는 실험이기 때문에, 본 연구에서는 PV패널의 단위면적당 발생전력과 일사량계의 측정값과의 비를 이용한 무차원 발생전력으로 데이터를 정리하여, 기상의 변화에 대한 일반성을 유지하도록 하였다.

실험기간은 2009년 4월 27일로부터 5월 13일까지 총 12일에 걸쳐 수행 하였으며, 일일 실험 시간은 일사량과 전력의 측정이 양호한 시간인 09시부터 17시까지 8시간에 걸쳐 실험을 수행하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 외기온도에 따른 영향

Figure 3은 외기온도와 PV패널의 발전량과의 관계를 나타낸 것이다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, 전체적인 데이터는 외기온도가 상승함에 따라 발전량이 감소하고 있음을 알 수 있다. 또

한 정오를 기점으로 발생전력이 하강하고 있음을 알 수 있으며 이는 태양의 고도가 최적점에 도달한 후, Figure 4에 나타난 바와 같이 시간의 경과와 함께 고도가 하강하여 입사각이 증가하기 때문이다.

외기온도가 가장 낮은  $h = 3\text{cm}$ 의 경우가 발전효율이 가장 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 외기온도가 낮을수록 PV패널 표면의 온도가 낮아져 복사에너지가 증가하여 발전효율이 높아짐을 알 수 있다. Stefan-Boltzmann 법칙으로 설명되는 복사열전달의 관점에서 보면 PV패널의 복사에너지가 낮을수록 많은 복사에너지를 흡수하게 된다. 따라서 외기의 온도가 낮을수록 PV패널의 온도도 하강하게 되어 PV패널 자체에서 발생하는 복사에너지는 줄어들게 되어 온도가 낮을수록 더 많은 복사에너지를 태양으로부터 받게 되어 발생전력이 상승하게 된다.

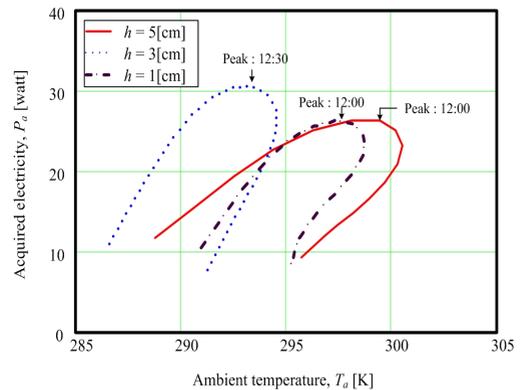


Figure 3: Effect of ambient temperature

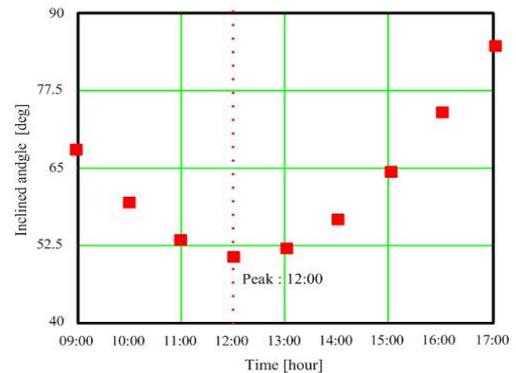


Figure 4: Variation of incidence angle

4.2 통기유로 간격의 변화에 따른 영향

Figure 5는 통기유로의 간격을 조절하여 대류열 전달의 영향을 살펴보기 위한 실험을 수행한 결과를 나타내고 있다. 이 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이 통기유로의 간격이 증가함에 따라 레이놀즈수가 증가하여 열전달 향상과 함께 무차원 전력량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 하지만 가장 큰 무차원 전력량은 통기유로의 간격이  $h = 3\text{cm}$  일 때 피크가 된다. 이러한 현상은 전술한 바와 같이 외기의 온도가 통기유로의 간격이  $3\text{cm}$  일 때 가장 낮기 때문이다.

즉, 대류열전달에 의한 영향과 외기온도의 영향에 대한 복합적인 원인으로 인해 이러한 현상이 나타나고 있다. 하지만, 외기온도가  $22^\circ\text{C}$ 인  $h = 1\text{cm}$ 의 경우를 살펴보면, 외기온도는  $h = 5\text{cm}$ 에 비해  $2^\circ\text{C}$  정도 낮지만 통기유로가 크게 확보되지 않아 대류열전달의 영향을 충분히 인지 못해 전체적인 무차원 발생전력값이 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

$h = 5\text{cm}$ 의 경우 시각이 15:00 이후에 무차원 전력량이 급격하게 증가하고 있는데 이것은 기상의 변화(구름양의 증가)에 의해 일사량이 급격하게 강해졌기 때문이다.

그래프에서 사용된 레이놀즈수의 정의는 아래와 같다.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} \tag{1}$$

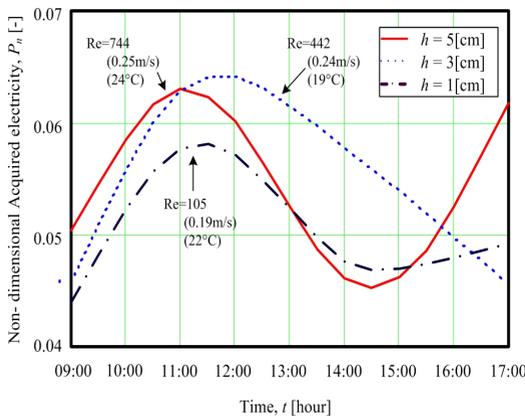


Figure 5: Non-dimensional acquired electricity

여기서,  $\rho$ 는 공기의 밀도,  $V$ 는 유속,  $d$ 는 통기유로 간격,  $\mu$ 는 공기의 점도를 각각 나타내고 있다.

본 연구는 통기유로를 설치함으로써 인한 대류열전달 향상을 도모하여 PV패널의 발생전력을 상승시키기 위한 것이다. 즉 상기의 식 1에 나타난 무차원수인 레이놀즈수는 같은 유체, 같은 유속일 때, 통기유로의 간격이 증가할수록 크게 된다. 따라서 일반적으로 알려져 있는 대류열전달계수의 값은 통기유로의 높이가 높아질수록 증가하게 되고, 또한 PV패널의 표면온도는 대류열전달의 향상으로 인해 감소하게 되어, 태양으로부터 들어오는 복사에너지를 더 많이 받게 된다.

4.3 무차원 발생 전력량과 Nusselt 수와의 관계

태양광에너지를 이용하는 경우는 기상의 영향을 크게 받기 때문에 실험 데이터의 일반성을 얻기 어렵다. 그래서 본 연구에서는 실험 결과에 크게 영향을 미치는 온도 및 유속을 무차원화 하기 위하여 Rayleigh수 및 Reynolds수를 이용하였다.

Figure 6은 무차원 열전달 계수  $Nu$ 와 무차원 발생전력량  $P_n$ 과의 관계를 나타낸 것이다. 이 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이  $Nu$ 가 증가할수록  $P_n$  또한 증가하고 있음을 알 수 있으며, 통기유로의 간격이 증가함에 따라 공기의 유동이 활발하게 이루어져 열전달이 상승함으로 인하여 무차원 발생전력량도 상승하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 열전달과 PV 시스템의 발생전력량과는 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

그래프에서 사용된 무차원 전력량( $P_n$ )과 너셀트 수 ( $Nu$ )는 아래의 수식을 이용하여 산출하였다.

$$P_n = \frac{P_a}{A \cdot I_a} \tag{2}$$

$$Nu = \frac{Ra(S/L)}{24} \tag{3}$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)S^3}{\alpha v} \tag{4}$$

여기서,  $\alpha$ : 온도확산계수,  $v$ : 동점성계수,  
 $\beta$ : 온도 팽창율,  $T_s$ : PV패널 배면 온도,  
 $S$ : 통기유로 간격

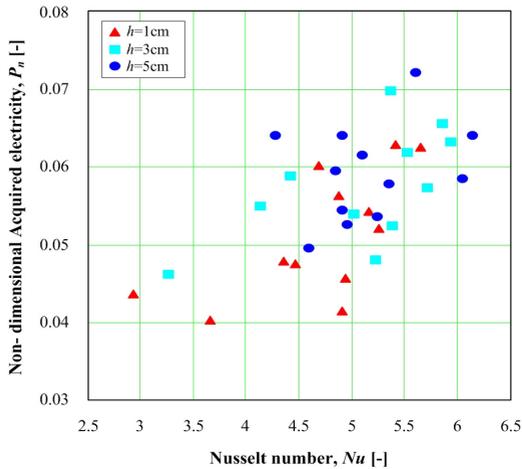


Figure 6: Relationship between  $P_n$  and  $Nu$

4.4 무차원정리

Figure 6에서 살펴본 바와 같이 본 연구에서 다루고 있는 PV패널의 발생 전력량은 열전달과 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 전술한 무차원수인  $Ra$ ,  $Re$ 에 대한 무차원 발생 전력과의 관계를 명확히 해야 할 필요가 있으며, 또한 각 통기유로의 간격에 대해 얻은 정리식으로부터 각 인자의 영향도를 파악해야 할 필요가 있다.

실험 데이터의 상관식을 유도하는 방법 중 가장 널리 사용되고 있는 최소자승법에 기초하여 본 실험에서 얻은 상관식을 정리한 것이 Table 1이고, 계산은 공학연산 소프트웨어인 Mathcad(Ver.13)을 이용하여 계산하였다.

Figure 7~10은 최소자승법으로 구한 상관식을 그래프로 나타낸 것들이다. 이 그래프들로부터

Table 1: Non-dimensional correlations and maximum errors of experimental data

Class	Correlations	Maximum errors
1cm	$P = 0.025 \cdot Ra^{0.053} \cdot Re^{0.042}$	$\pm 12\%$
3cm	$P = 0.011 \cdot Ra^{0.132} \cdot Re^{0.043}$	$\pm 4.5\%$
5cm	$P = 0.00809 \cdot Ra^{0.142} \cdot Re^{0.062}$	$\pm 3\%$
Total	$P = 0.014 \cdot Ra^{0.111} \cdot Re^{0.034}$	$\pm 7.5\%$

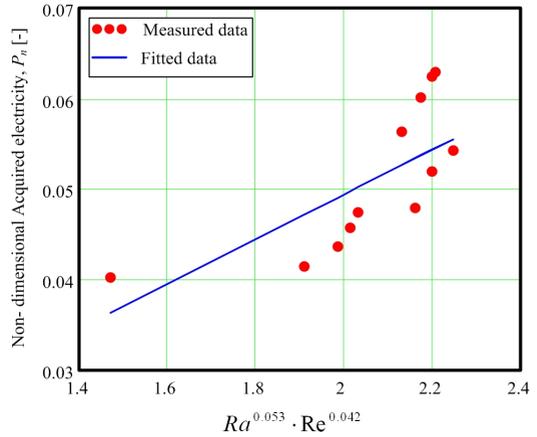


Figure 7: Non-dimensional acquired electricity [1cm]

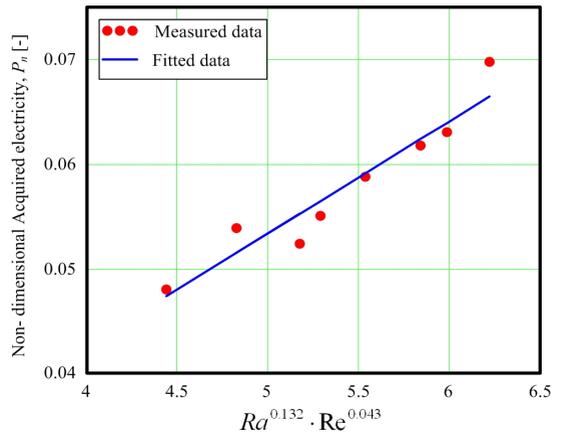


Figure 8: Non-dimensional acquired electricity [3cm]

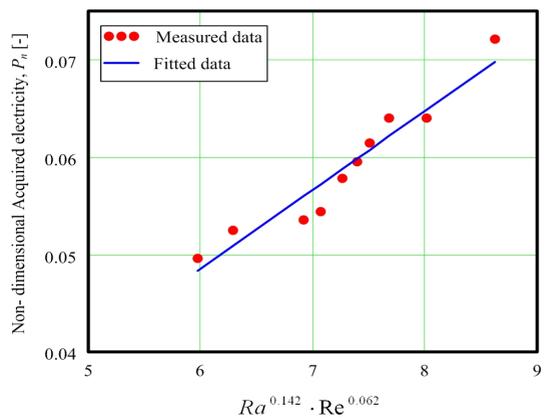


Figure 9: Non-dimensional acquired electricity [5cm]

알 수 있는 바와 같이 데이터의 경향 및 무차원 상관식은 잘 일치하고 있음을 알 수 있고, 최대 오차의 발생은 통기유로의 간격이 1cm의 경우로 +12%에 해당한다. 이 경우를 제외하고 나머지 정리식은 평균  $\pm 5\%$ 에서 일치하고 있다. 또한 전체적인 경향을 살펴보면 본 실험의 범위에서  $Ra$  수가  $Re$ 수 보다 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

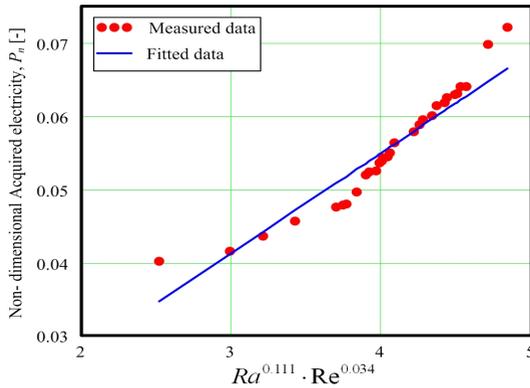


Figure 10: Non-dimensional acquired electricity [total]

## 5. 결 론

본 연구는 PV 시스템의 발전효율과 열전달과의 관계를 규명하기 위하여 PV 시스템에 통기유로를 각각 5cm, 3cm, 1cm의 간격으로 설치하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 외기의 온도가 낮을수록 PV패널 표면온도가 낮아져 복사 입사량이 증가하여 발전효율이 높아짐을 알았다. 실험상관식으로 얻은 인자들의 지수로부터 살펴보면 본 실험의 범위내에서 외기온도의 영향이 통기유로를 흐르는 유속 영향의 약 3배 정도가 된다는 것을 알 수 있다.

(2) 일사량은 태양의 고도가 높아질수록 증가하고, 일사량의 증가에 따라 발전효율 또한 증가한다는 것을 알았으며, 기상의 영향을 매우 크게 받는다는 것을 알았다.

(3) 통기유로 간격의 증가에 따라 레이놀즈수가 증가하여 대류열전달계수의 향상과 함께 발생전력 또한 증가함을 알았다. 정량적인 값을 나타내는 Reynolds수의 지수의 증가로부터 이러한 영향을

과약할 수 있다.

(4) 본 연구는 기상조건에 크게 영향을 받기 때문에 무차원 발생전력과 무차원 열전달계수인 Nusselt수를 비교한 결과 열전달과 PV패널의 발생 전력과는 밀접한 관계를 가지고 있음을 알았고, 실험데이터를 무차원화하여 본 실험의 범위내에서 각 통기유로의 간격에 대한 실험상관식을 유도하였다.

## 후 기

본 연구는 2009년도 호남씨그랜트사업단 연구개발사업(태양광을 구동동력으로 하는 소형선박에 관한 연구)과제의 지원으로 진행되어진 연구임.

## 참고문헌

- [1] 上野兼吾, 酒井考司, 石原修, “太陽光發電システムの發電効率と影響因子に関する計測解析 その8 シミュレーションを用いたpvパネル通氣層厚さとパネル温度との關係に関する考察”, JES/JWEA Joint Conference, pp.173-176, 2003.
- [2] 윤중호, “대전지역 직달일사량 실측치 통계분석을 통한 국내일사량 자료의 신뢰성 검증연구”, 공기조화냉동공학회 대전 충청지부 학술강연회, 2003.
- [3] Randall Thomas, Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London, pp. 14, 2001.
- [4] California Energy Commission, “A Guide to Photovoltaic(PV) System Design and Installation”, pp. 5-8, 2001.
- [5] Ahn, Ho-Gyun, A Study the Utility-Interactive Operation between Inverter System and Utility Line, 고려대학교 전기공학과 박사 학위 논문, 1992.
- [6] 고석철, 임성훈, 한병성, “전하 펌프를 역률 개선회로를 적용한 양방향성 AC-DC Convertter 설계”, 대한 전기 학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 227-230, 2001.
- [7] 소정훈, 유권중, 정면웅, 정영석, 최주엽,

“3KW급 계통 연계형 태양광 발전 시스템이 실  
증 시험 분석 평가”, 대한 전기 학회 하계 학술  
대회 논문집, pp. 1353-1355, 2003.

## 저 자 소 개



**김명준(金明俊)**

1971년 3월생. 1994년 한국해양대학교  
기관공학과 졸업(학사). 1998년 한국해  
양대학교대학원 기관공학과 졸업(석사).  
2002년 일본 오카야마대학 기계공학과  
졸업(박사). 2002~2003년 일본 오카야  
마대학 기계공학과 외국인 객원 연구  
원. 2003년~현재 국립 군산대학교 동력기계시스템공학과  
재직 중(부교수). [주 관심분야] 열 및 물질전달, 신재생에  
너지 등



**채규훈(蔡奎玆)**

1960년 8월생. 1982년 전북대학교 전기  
공학과 졸업(학사). 1984년 전북대학교  
대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년  
전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박  
사). 1989~1992년 군산수산전문대학 기  
관공학과. 1992년~현재 국립 군산대학  
교 동력기계시스템공학과 재직 중(교  
수). [주 관심분야] 전기, 전력, 신재생에너지 등