

## Irradiation Dependence of I-V Characteristics of Photovoltaic System

박 세 준\* · 황 준 원\*\* · 최 용 성<sup>†</sup> · 이 경 섭\*\*\*  
(Se-Joon Park · Jun-Won Hwang · Yong-Sung Choi · Kyung-Sup Lee)

**Abstract** - Solar, as an ideal renewable energy, has inexhaustible, clean and safe characteristics. However, solar energy is an extreme intermittent and inconstant energy source. In order to improve the photovoltaic system efficiency and utilize the solar energy more fully, and the DC current vary with the irradiation, it is necessary to study the characteristics of photovoltaic I-V according to the external factors. This paper presents the analysis of characteristics of photovoltaic I-V according to the irradiation. The results show that the DC current of the photovoltaic system are increased along with the increasing values of irradiation.

**Key Words** : Photovoltaic System, I-V Characteristics, P-V Characteristics, Irradiation, Module Temperature

## 1. 서 론

대체에너지는 석탄, 석유, 원자력 및 천연가스가 아닌 태양에너지, 바이오매스, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄의 액화, 가스화, 해양에너지, 폐기물에너지 등으로 구분되고 있고 이외에도 지열, 수소, 석탄에 의한 물질을 혼합한 유동성 연료를 의미하며 넓은 의미로는 석유를 대체하는 에너지원으로 좁은 의미로는 신·재생에너지원으로 구분된다. [1], [2] 신·재생에너지는 과도한 초기투자의 장애요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점에서 선진 각 국에서는 신·재생에너지에 대한 과감한 연구개발과 보급정책 등을 추진해오고 있다.

최근 10년간 우리나라의 에너지 소비는 매년 10%라는 세계 최고의 증가율을 기록하고 있으며 온실가스배출량 증가율 역시 세계 1위를 기록하고 있다. 세계기후협약 이행이 늦추어지고는 있지만 머지않아 우리도 여기에 참여하지 않을 수 없는 형편이어서 대체에너지 개발의 필요성은 더욱 절실하게 요구되고 있는 실정이다. 11개 분야의 신·재생 에너지 중에서 최근 가장 많은 관심을 갖고 있는 태양광 발전은 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로서 광을 조사시 광전효과에 의해 전기를 발생하는 원리를 이용한 발전방식이다. [1], [3]

태양에너지는 지구의 위치에 따라 받는 양에 차이가 크며

열대지방은  $m^2$ 당 2,500[kWh]의 태양에너지를 받는데 비해 양 극지방은 불과  $m^2$ 당 500[kWh]를 받고 우리나라의 경우는  $m^2$ 당 1,250~1,500[kWh]의 태양열을 받는 것으로 추정된다. 이 태양에너지를 전기에너지로 전환하여 사용하는 방법으로 전력계통과의 연계관계에 따라 독립형과 계통 연계형으로 분류되며, 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module)과 발전된 직류 전력을 교류전력으로 변환시키는 인버터, 전력계통과 연계시키기 위한 계통연계장치, 그리고 발전시간대와 부하사용 시간대가 다른 경우 독립형으로 전력을 저장하는 축전지 등으로 구성된다. [3]~[7]

따라서, 본 논문에서는 이러한 구성장치에 의해 넓은 부지가 필요하며 햇빛의 방향에 따라 또는 태양전지에 입사하는 일사량의 정도에 따라 많은 발전전력에 차이가 있으므로 태양광 발전의 경우 발전단가가 높고 효율이 낮기 때문에 일사량에 따른 전력을 측정하여 효율적인 발전에 필요한 조건을 알아 보기위해 2007년 1년간의 실증운전을 통한 일사량과 전력발생량을 비교 분석하였으며 또한 햇빛의 일사량은 시간대별, 일별, 월별, 년별로 각각 달리 측정되므로 각각의 일사량에 따른 전력패턴을 분석하여 태양광 발전에 필요한 일사량과 전력과의 상관관계를 연구하였다.

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

## 2.1 실험장치

태양전지 모듈은 수평면 기준으로 정남향 방향으로 45[°] 기울어져 설치되었으며 모니터링 결과는 1년을 기준으로 분석하였다. 실험장치가 구성된 태양광발전 어레이 출력 800[W], 인버터출력 1[kW] 태양광 발전설비에 대해 1년간의 Data를 전력량 측정기로 준계, 하절기, 동절기별로 가장 일사량이 많은 달을 선정하여 특정일 외기 온도 변화에 따른 PV (photovoltaic) 어레이의 출력값(Vdc,

<sup>†</sup> 교신저자, 시니어회원 : 동신대학교 전기공학과 교수 · 공박  
E-mail: yschoi67@dnu.ac.kr

\* 정 회 원 : 동신대학교 겸임교수 · 공박

\*\* 준 회 원 : 동신대학교 석사과정

\*\*\* 시니어회원 : 동신대학교 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 8월 12일

최종완료 : 2009년 9월 1일

<본 논문은 본 학회 2009년도 하계학술대회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회에서 심사 후 본 논문에 게재 되었음>

Idc)을 15분 단위로 측정된 결과를 분석하였다.

태양광발전설비 원격감시 및 운전상태 감시 장치의 구성은 설치된 태양전지 지지대 부위에 온도 2개소 일사량 1개소의 센서를 연결하여 기상관측반을 통하여 개별모니터링 메인 통신부위에 기후조건에 대한 신호를 송출하도록 하였으며 인버터의 통신보드 내에서는 태양광발전에 각각의 대한 발전량, 전압, 전류, 주파수, 역률 등 전기적 특성을 MAIN 컴퓨터에 각종 자료를 보내어 감시 및 측정하도록 하였다. 고정식, 발전량, 전압, 전류, 주파수, 역률 등 전기적 특성 자료를 감시 및 측정, 비교, 판단 분석할 수 있도록 구성하였고 모든 기기는 현장 제어실에서 1인 제어방식으로 구성 하였다.

**2.2 실험방법**

태양전지의 구성 기준은 표 1과 같다. 일사량센서의 민감성은 약 9 [μV/Wm<sup>2</sup>]이며 임피던스는 약 650[Ω], 온도 의존성은 ±1% 이상의 외기온도이며 반응 시간은 1초이며 온도 범위는 -20~+40[°C]이고 ±3% 70-80[°] 천정 각도로 구성하였다.

정밀도는 +/- 1 %, +/- 0.4 [°C]이며 온도 범위는 -20~+80[°C]이고 측정 시간은 20초이다. 송신기의 종류는 Pt 100 급A이며 하우징은 ABS이고 크기는 100 x 83 x 42[mm]이다. 보호는 IP65이고 케이블 그림은 7[mm]의 직경이다. 출력은 4-20[mA]이고 전력 공급은 24 [Vac/dc] +/-10%이며 동작 온도는 -10 +50[°C]이고 무게는 145[g]이다.

본 시스템의 운영 체계는 Window NT급이며 계측사항 샘플링 타임은 1분 이내가 되도록 하였다. 계측사항 백업 메모리

**표 1 태양전지의 구성**

**Table 1 Configuration of solar cell**

설비구분	형 식	기술규격	비 고
태양전지	종 류	단결정 실리콘 태양 전지 4조	
	모듈 효율	16% 이상	
	설비 용량	고정식 800[W]	
	모듈 최대출력	210W급 이상	
인버터	형 식	내부거치	강제 풍냉식
	출력 용 량	1000[W]	
	입력 전압	12[V] 또는 24[V]	
	출 력	순수 정현파	
접속반 (DC, AC 접속반 포함)	형 식	육내 콘트롤 박스	블록킹다이오드, 퓨즈 브레이크, 센서4대, TD 등 자재 일체포함
	설비용량	2 [kVA]	
	식	1식 분리형	
발전설비 원격감시 및 운전상태 감시장치	운영체계	Window NT Base	
	중앙처리장치	펜티엄 4급	산업용 PC(1대)
	원격통신망식	LAN	
	설치 개소	1개소	
	감시 모니터	1대	21" LCD
	소프트웨어		개별모니터링

기간은 31일이고 PC 사양으로 P4 core2 1[GHz], 120[Gbyte], 모니터는 21" LCD 모니터로 구성하였으며 디지털 감시 화면을 통하여 태양광, 인버터 등의 동작상태를 확인하며 인버터 보호 계전기(온도, 과전류, 과/저전압, 과/저주파수) 동작 상태를 확인할 수 있게 되었다. 계측 화면은 각 감시 요소별 아날로그 값을 막대 그래프와 디지털 값으로 분리 표시하여 나타내었으며 주요 계측 요소는 태양전지 출력(직류전류, 전압, 전류), 인버터 출력(단상 전압, 전류, 유효전력, 전력량, 역률, 주파수) 그리고 기후 조건(외기온도, 태양전지 표면온도, 일사량 및 풍향 풍속)이다.

그래프 감시(일보1)는 일 단위별로 경사면 일사량, 태양전지 발전전력 그리고 부하 전력소비량을 표시할 수 있도록 1일 24 시간 그래프로 출력토록 소프트웨어를 개발하여 적용되었다. 이때 그래프 우측 상단에 일사량 적산치, 최대치, 발전 적산치, 최대치 및 부하량 최대치, 적산치를 표시할 수 있도록 되었다. 일일 발전 현황(일보2)으로 일일 시간대별 기상현황(경사면 일사량, 수평면 일사량, 외기온도, 태양전지 표면온도), 태양전지 발전 현황, 부하 현황 등을 표시할 수 있도록 소프트웨어를 구성하였으며 월간 발전 현황(월보1)으로 월간 일자별 기상현황(경사면 일사량, 수평면 일사량, 평균 외기온도), 태양 전지 발전전력, 부하 소비전력 등을 표시할 수 있도록 하였다.

**2.3 인버터**

태양광 발전설비의 출력 및 상태를 감시하여 항상 최적의 상태로 동작되도록 하며 기동은 태양전지의 개방 전압을 감시하여 설정치를 넘으면 자동적으로 기동하며 정지는 태양 전지의 출력 전류를 감시하여 설정치 이하가 되면 자동적으로 운전을 정지하도록 설계하였다.

Soft-start는 부하의 기기 또는 제품의 장치가 전원스위치 ON 상태에서 전원을 공급해야 할 경우가 있으므로 돌입전류를 방지하기 위하여 2~20초의 대기시간 기능을 갖도록 하며 최대출력점 추적제어(Maxim Power Point Tracking)는 태양전지의 출력특성은 온도, 습도 등에 따라 변동하므로 태양전지로부터 외부 변화 요인에 따라 최대출력을 낼수 있도록 최대출력점 추종제어를 하도록 하였다.

출력과전압 검출회로(Output Over Volatge, O.O.V)는 인버터 제어회로 이상으로 출력전압이 상승될 경우 기기 또는 제품의 손상을 방지하기 위하여 출력전압이 ± 10 %를 벗어나면 정지되는 기능을 갖추도록 하였다.

출력 과전류 검출회로(Output Over Current, O.O.C)는 과부하시 또는 선로의 단락시에 전류제한 모드에 의해 주어진 시간동안 동작하여야 하며, 순간단락이나 급격한 부하변동에 의한 출력과 전류변동현상이 수초이상 계속되면 인버터는 정지해야하며 주어진 시간내에 과전류 모드가 해제 되면 인버터는 정상적인 모드에서 운전되는 기능을 갖추도록 하였고 과열검출 및 정지 (Over Temp.)는 전력소자에서 발생한 열에 의한 기기손상을 방지하기 위하여 일정온도 이상 운전시 thermal relay 동작에 의하여 인버터를 정지하도록 해야 하며 단독운전 방지 (Islanding)는 한전 배전선로의 단락 또는 인버터 고장시 운전을 중단하고 계통 및 부하를 분리하도록 하였고, 트립후 재기동은 계통 이상에 따라 발전설비 운전중단 상태에서 계통정상화 될 경우 일정시간 경과 후 발전설비가 정상 가동되도록 설계하였다.

### 3. 결과 및 검토

#### 3.1 일사량에 따른 전력패턴

##### 3.1.1 일일간의 일사량에 따른 전력패턴

그림 1은 100[W/m<sup>2</sup>]에서 일사량에 따른 전류-전압 특성을 나타내며 이 조건에서는 240[V]에서 288[V]까지 직류전압이 증가함과 동시에 모듈온도가 24[°C]에서 0[°C]까지 감소하고 직류전류가 0.186[A]에서 0.308[A]까지 증가함을 볼 수 있다.

일사량 변화가 양호한 하루를 측정된 결과 일출 시점인 6시 이후 일사량이 측정되면서 전력량도 같이 측정되기 시작하여 일사량이 가장 많은 12시부터 13시까지 최대의 전력 발생량이 측정되었다. 최대전력량은 12시 30분에 164 [Wh]로 이때의 일사량은 911 [W/m<sup>2</sup>]로 측정되었다. 일사량에 의해 전력발생량이 변화하지만 일사량의 증가에 비례하여 전력이 변화하지 않았다. 그림 2에서 13시에 일사량이 622 [W/m<sup>2</sup>]일 때 전력발전량이 162 [Wh]이었고, 12시 30분에 일사량이 611 [W/m<sup>2</sup>]일 때 전력발전량이 164 [Wh]이었다 이는 모듈은 고정이고 태양의 위치는 변화하고 또한 주위온도와 모듈

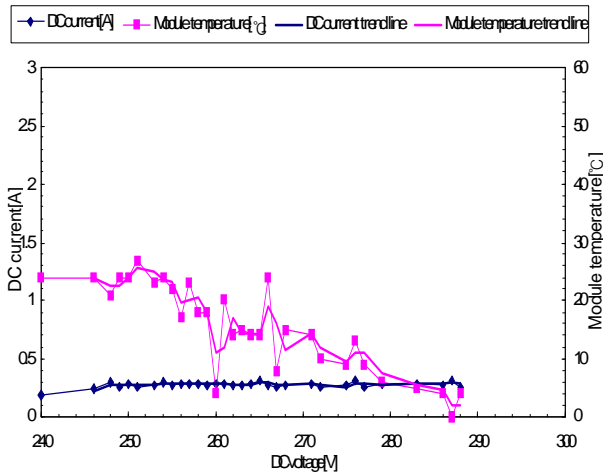


그림 1 일사량에 따른 전류-전압 특성  
Fig. 1 I-V Characteristics According to the Irradiation

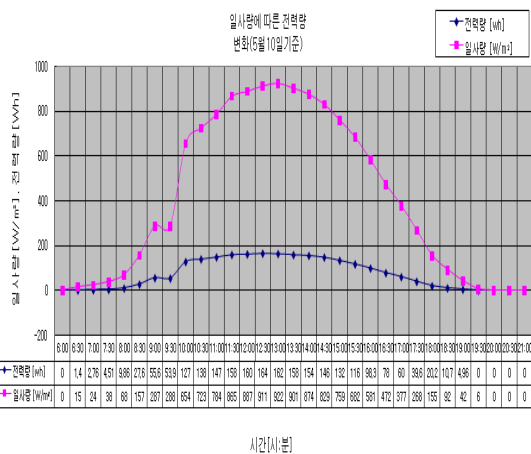


그림 2 일일간의 일사량에 따른 전력변화  
Fig. 2 The power change according to irradiation of daily data

온도가 변화하여 생기는 현상으로 관측되었으며 태양과 모듈의 방향에 따라 그리고 모듈의 온도 및 기타 다른 조건에 의한 것으로, 그림 2와 같이 일일간의 일사량에 따른 전력변화를 보면 일사량에 의해 전력의 발생량이 결정됨을 알 수 있다. 또한, 일사량이 약 600 [W/m<sup>2</sup>] 이상일 때 전력발전량이 100 [Wh] 이상으로 양호한 것으로 관측되었다.

##### 3.1.2 월간의 일사량에 따른 전력패턴

년간 전력발생량이 최대인 5월을 기준으로 월간 일사량 누계와 전력발전량 누계를 분석하였다. 일사량은 자연환경에 기인한 것으로 자연환경은 수시로 변화하며 일사량 또한 변화가 매우 크며 연간 발전량이 가장 큰 5월의 경우에도 25% 정도 일사량이 20,000 [W/m<sup>2</sup>] 이하이고 이때의 전력발전량이 2,000 [Wh]로 측정되었다. 그림 3에서 월간의 일사량에 따른 전력변화는 그림 3과 같이 일사량 변화에 의해 전력의 발생량이 결정됨을 알 수 있었다.

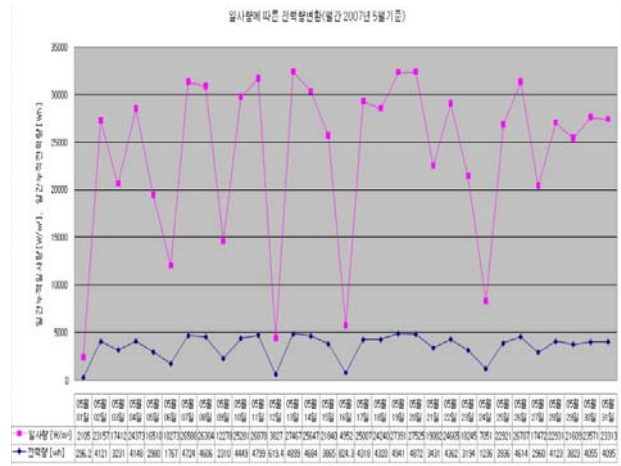


그림 3 월간의 일사량에 따른 전력변화(누계)  
Fig. 3 The power change according to irradiation of monthly data

##### 3.1.3 년간의 일사량에 따른 전력패턴

그림 4는 월별 전력발생량을 나타내고 있다. 연간 전력발생량은 각월별로 일사량과 전력발생량의 누계를 분석하였으며

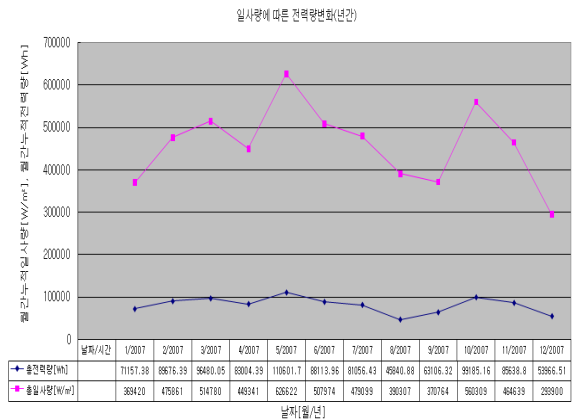


그림 4 년간의 일사량에 따른 전력변화(누계)  
Fig. 4 The power change according to irradiation of a year

각 월별 일사량과 전력 패턴을 분석한 결과, 5월에 일사량 누계가 626,622[W/m<sup>2</sup>]이고 이때 전력발생량은 110,601 [Wh]로 최대였으며 10월과 3월 순으로 측정되었다. 계절별로 보면 봄과 가을이 가장 전력발생량과 일사량이 높고 그 다음 여름, 겨울 순으로 일사량과 전력 발생량이 측정된 것을 알 수 있었다.

3.2 일사량과 전력패턴

3.2.1 일사량과 온도변화에 의한 전력패턴

태양광발전 시스템의 전력발생은 일사량에 의해 크게 작용되며 그 외 모듈온도와 태양과 모듈과의 각도에 의해 변화하므로 태양의 방향을 추적하는 위치 추적식과 고정식의 경제성 검토가 필요하다. 그림 5는 일사량과 온도변화에 의한 전력패턴변화를 비교한 결과로서, 전력량이 최대일 때는 164[Wh]로 이때의 일사량은 911[W/m<sup>2</sup>]이고 모듈온도가 40[°C], 외기온도는 25[°C]가 측정되었으며, 일사량이 최대일 때는 922[W/m<sup>2</sup>]이고 이때의 전력발생량이 162[Wh]이고 모듈온도는 43[°C], 외기온도는 27[°C]가 측정되었다. 실험 결과 값 예시와 같이 일사량에 의해서만 전력발생량이 변화하지 않고 외기온도와 모듈온도, 모듈과 태양과의 각도에 의해서도 좌우됨을 알 수 있었다.

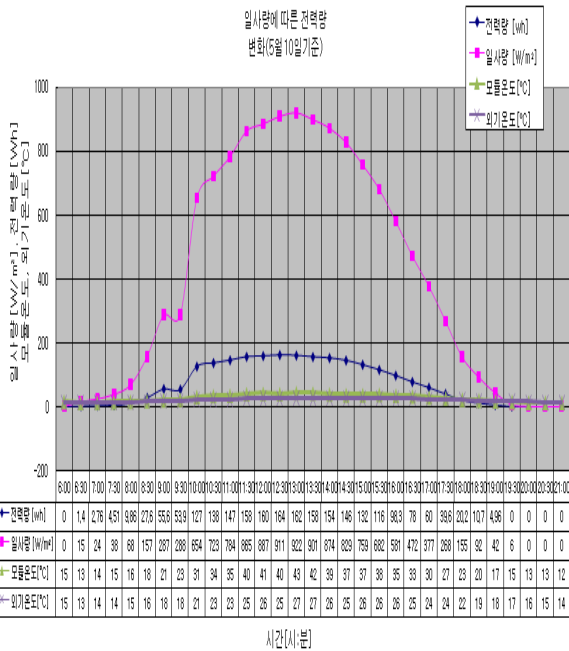


그림 5 일사량과 온도변화에 따른 전력변화  
Fig. 5 The power change according to the variation of irradiation and temperature

3.2.2 일사량과 온도에 의한 직류전압 전류변화

그림 6은 월별 일사량 중에 동일 일사량을 인위적으로 적용하여 온도변화에 의해 직류전압과 전류변화를 측정하는 것으로 같은 일사량이라도 모듈온도에 의해 전압과 전류의 차이가 발생하였다. 일사량이 200[W/m<sup>2</sup>]일 때 전압은 약 290[V]이고 전류는 약 0.6[A] 정도로 측정되었고, 일사량이 600[W/m<sup>2</sup>]일 때 전압은 약 270[V]이고 전류는 약 1.8[A] 정

도로 측정되었으며 이는 일사량이 증가할수록 직류전압은 감소하고 직류전류는 증가하는 것을 알 수 있고 이 또한 비례하여 변화하지 않음을 알 수 있었다.

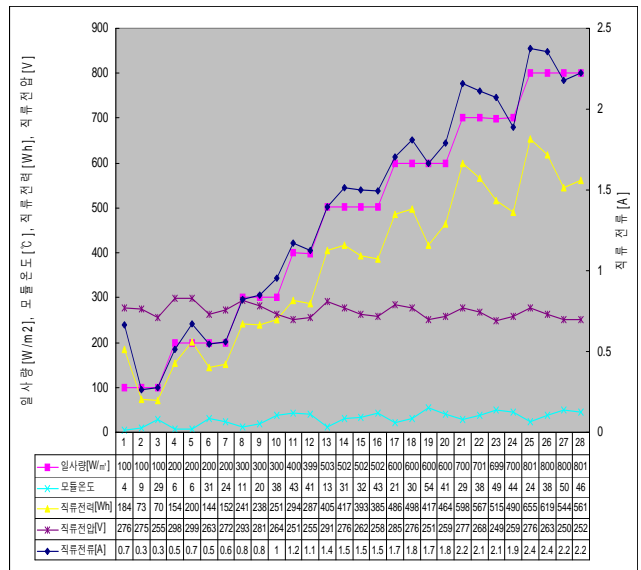


그림 6 일사량과 온도변화에 따른 전류변화  
Fig. 6 The current change according to the variation of irradiation and temperature

4. 결 론

본 논문은에서는 태양광 발전의 경우 발전단가가 높고 효율이 낮기 때문에 일사량에 따른 전력을 측정하여 효율적인 발전에 필요한 조건을 알아보았으며, 햇빛의 일사량은 시간대별, 일별, 월별, 년별로 다르게 측정되므로 각각의 일사량에 따른 전력패턴을 분석하여 태양광 발전에 필요한 일사량을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

태양광 발전시스템의 일사량에 따른 전력패턴은 일사량 증가에 전력발생 량이 증가함을 알 수 있었다. 일사량이 약 600 [W/m<sup>2</sup>] 이상일 때 전력발생량이 100 [Wh] 이상으로 양호한 것으로 측정되었고, 일사량에 의해 전력발생량이 변화하지만 일사량증가에 따라 전력량이 비례하여 증가하지는 않았으며 이는 전력발생량은 일사량에 의해서만 적용되는 것이 아니고 모듈온도와 일사량의 방향등에 의해 발생전력이 변화됨을 알 수 있었다.

또한 월간 일사량누계와 전력 발생량 누계의 경우 5월과 10월에 최대 일사량과 최대 전력발생량이 측정되었고 봄, 가을, 여름, 겨울 순으로 일사량과 전력 발생량 누계가 감소되는 것으로 측정되었다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 지원 전력산업연구개발사업 (R-2007-2-234-01)에 의하여 수행되었습니다.

**참 고 문 헌**

- [1] 이재형, “태양전지 원론”, 흥릉과학출판사, pp. 104~117 (2005).
- [2] Man Gu Kang et al, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, Issue 5, pp. 574-581 (2006).
- [3] Jae-Shik Park, Myung-Ok So, Heui-Han Yoo, "A Study on the Operation Method of Photovoltaic/Diesel Hybrid Generation System", Journal of the Korean Society Marine Engineers. vol. 28. No. 2. pp. 309~314 (2004).
- [4] Zhao Zhengming, Chen Kurlun, Yuan Liqiang, "Implementation of a stand-alone Photovoltaic Pumping System with Maximum Power Point Tracking", Proceedings ICPE '01, Seoul, pp. 635~638 (2001).
- [5] G. K. Kiema, M. J. Colgan and M. J. Brett, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 85, Issue 3, pp. 321-331 (2005).
- [6] J. N. Hart, R. Cervini, Y. -B. Cheng, G. P. Simon and L. Spiccia. Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol.84, Issue 1-4, pp. 135-143 (2004).
- [7] 박남규, “연료감응 태양전지”, J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 15, No. 3, pp 265~277 (2004).

**저 자 소 개**



**박 세 준 (朴世竣)**

1980년 10월 10일생. 2002년 동신대학교 전기전자공학과 졸업(학사). 2004년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공박). 현재 (주)세화테크 기술연구소 선임연구원. 동신대학교 전기공학과 겸임교수.  
 Tel : 061-330-3218  
 Fax : 061-330-3105  
 E-mail : ssejoo@nate.com



**황 준 원 (黃俊元)**

1984년 2월 2일생. 2009년 조선대학교 졸업(학사). 현재 동신대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정.  
 Tel : 061-330-3218  
 Fax : 061-330-3105  
 E-mail : mind0202@naver.com



**최 용 성 (崔龍成)**

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공박). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~2005년 원광대학교 연구교수. 2006년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 기획운영부장.  
 Tel : 061-330-3204  
 Fax : 061-330-3105  
 E-mail : yschoi67@dsu.ac.kr



**이 경 섭 (李炘燮)**

1956년 11월 09일생. 1983년 조선대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1988년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 1994년~1995년 동경공업대학 객원연구원. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 단장.  
 Tel : 061-330-3203  
 Fax : 061-330-3105  
 E-mail : kslee@dsu.ac.kr