

## 태양전지 모듈의 발전량 분석 장치 개발에 관한 연구

문채주\*, 광승훈\*, 장영학\*\*, 김태곤\*\*\*, 김의선\*\*\*\*, 김태현\*\*\*\*\*

\*목포대학교 전기공학과(cjmoon@mokpo.ac.kr), \*\*목포대학교 제어로봇공학과(yhchang@mokpo.ac.kr),  
\*\*\*목포대학교 신재생에너지연구소(aicode@nate.com), \*\*\*\*신경대학교 인터넷정보통신학과(eskim@sgu.ac.kr),  
\*\*\*\*\*명지전문대학교 전기과(kth@mail.mjc.ac.kr)

### A Study on Development of Power Analysing Device for PV Module

Moon, Chae-Joo\* Kwak, Seung-Hun\* Jang, Yeong-Hak\*\* Kim, Tae-Gon\*\*\*  
Kim, Eui-Sun\*\*\*\* Kim, Tae-Hyun\*\*\*\*\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University(cjmoon@mokpo.ac.kr),  
\*\*Dept. of Control Robot Engineering, Mokpo National University(yhchang@mokpo.ac.kr),  
\*\*\*New & Renewable Energy Research Institute, Mokpo National University(aicode@nate.com),  
\*\*\*\*Dept. of Information & communication Engineering, Shin Gyeong University(eskim@sgu.ac.kr)  
\*\*\*\*\*Dept. of Electrical Engineering, Myongji College(kth@mail.mjc.ac.kr)

#### Abstract

This study was conducted to estimate the relative performance of modules with changed characteristics due to long term exposure to the outdoor environment, with a specially made test device for simultaneous measurement of real time power output from the photovoltaic array, taking into account the inclined panel, direct irradiation, power being generated, temperature as well as the optimal analysis timing.

In terminology description, M is an abbreviation of module and Group A, Group B are 10 modules series connection (1~10 of M), (11~20 of M) for each of them respectively. The overall mean voltage difference of M-18 with the lowest power output and M-14 with the highest output is -2.13V and it was identifiable that voltage difference was more concentrated to Group B. In addition, in case of M-2 and M-7, M-8, when compared with M-14, the overall mean voltage difference was -0.92V, -1.56 and -0.91V respectively showing the more concentration to Group A. When the temperature of module went up by 1°C, the mean voltage was reduced by 0.35V. For current, Group A was lower than Group B by -0.022A and the ratio of each group was 49.68% and 50.32% respectively, presumably the module with deteriorated properties were more concentrated to Group A relatively. From the comparison of relations with the comprehensive accumulation, M-2, M-7, M-8, M-16 and M-18 were those with deterioration of performance to the worst, thereby requiring precision examination. In comparative efficiency, M-14 was the most excellent one as 12.19% while M-18 as 10.53% was identified that its efficiency was comparatively rapidly reduced.

Keywords : 태양광 발전어레이(Photovoltaic's array), 경사면, 직달일조(Inclined panel, Direct Irradiation), 발전전력(Power Output), 모듈효율(Module Efficiency), 모듈전압(Module Voltage), 출력전류(Output Current)

투고일자 : 2010년 9월 30일, 심사일자 : 2010년 10월 15일, 게재확정일자 : 2010년 12월 2일  
교신저자 : 장영학(yhchang@mokpo.ac.kr)

## 1. 서 론

친환경에너지원인 태양광발전시스템의 이용 보급이 확대됨에 따라 광범위하고 다양화 되는 사용자 요구에 만족할 수 있는 고품질, 신뢰성과 안정성을 가진 시스템들의 기술개발이 점차 요구되어 성능추정, 발생손실 등의 종합적인 성능특성의 정량화가 필요하다.<sup>[1]</sup>

태양광발전은 일조에 의한 광기전력 효과(Photovoltaic effect)로 전기에너지를 발생시킬 수 있음을 기본 원리로 하여 무한한 자연적 광원을 이용한 발전방식으로써 핵심발전체인 PV모듈은 가장 최소단위인 셀로 구성되어 있고 기상조건과 취급 시 충격 등에 견딜 수 있도록 제품화하여 용도의 기준이 되는 사양에 따라 여러 개의 직·병렬 조합으로 하나의 규격화된 모듈로 구성된다.

PV모듈은 제조 방식에 따라 효율차이를 보이며 설치된 이후에는 모듈들의 장기간 사용 시 노화 현상으로 발전출력이 감소된다.<sup>[2]</sup> 따라서 특정모듈의 출력저하는 전체적인 발전 출력에 영향을 미치게 됨으로써 최대 출력을 유지하기 위해 실시간 발전 출력 특성 변화 감시를 통한 유지 보수 대책이 필요하다.

본 연구에서는 모듈이 직·병렬로 연결된 태양광 발전 어레이의 실시간 출력을 동시에 측정하기 위한 장치 제작 및 분석을 통하여 목포대학교 공과대학에 위치한 1kW 정남향 45°고정식 PV어레이(PV Module×20EA)를 대상으로 경사면 일조강도, 발전 전력, 온도 등을 측정하고 측정 데이터를 분석하여 상대적인 출력 비교를 통해 효율이 나빠진 모듈을 추정하고 유지보수를 위한 방안을 제공하고 자한다.

## 2. PV 발전체 이론

### 2.1 태양전지

그림 1은 태양전지의 등가회로이며, 태양

광에 의해 태양전지는 식(1)과 같이 광전류( $I_{ph}$ )를 형성하여 최종전류( $I$ ), 다이오드에 흐르는 전류( $I_d$ ), 병렬저항에 흐르는 전류( $I_{sh}$ )의 합과 같고 이를 자세하게 풀이하면 식(2)로 나타낼 수 있다.

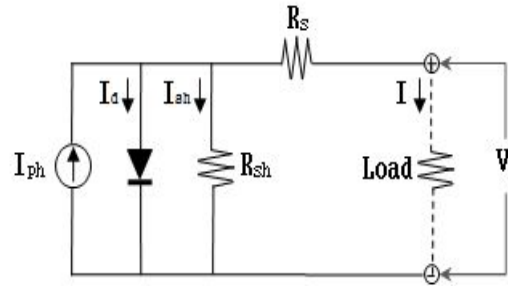


그림 1. 태양전지의 등가회로

$$I_{ph} = I + I_d + I_{sh} \rightarrow I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

$$I = I_{ph} - I_o \left( \exp \left[ \frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right] - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

여기서,  $I_o$ 는 역포화전류,  $n$ 은 다이오드 지수,  $k$ 는 볼츠만상수( $1.38 \times 10^{-23}$ ),  $T$ 는 절대온도,  $q$ 는 전하량( $1.6 \times 10^{-19}$ )이다.

$$I_{sc} = \left( 1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right)^{-1} \left\{ I_o \left[ \exp \left( -\frac{qI_{sc}R_s}{nkT} \right) - 1 \right] - I_{ph} \right\} \quad (3)$$

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left\{ \left( I_{ph} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) / I_o + 1 \right\} \quad (4)$$

광전류( $I_{ph}$ )가 형성되어 양단의 부하저항을 제거한 무한대 임피던스 전압을 개방전압( $V_{oc}$ )이라고 양단을 접촉시켜 흐르는 전류를 단락전류( $I_{sc}$ )라 칭한다. 식(3), (4)를 살펴보면 내부의 직렬저항( $R_s$ )이 커질수록  $I_{sc}$ 가 감소하고 병렬저항( $R_{sh}$ )이 작아질수록  $V_{oc}$ 가 감소하게 된다.

### 2.2 모듈과 어레이

태양전지 모듈을 어레이로 구성할 때 모듈

의 직렬연결 수를 N, 병렬연결 수 M이라고 한다면 어레이 전압 전류는 개별 모듈의 전압을 V라 할 때,

어레이단자 전압  $V_A = n \times V$ , 어레이단자 출력 전류  $I_A = m \times I$ , 발전 전력  $P_o = V_A \times I_A$  으로 계산된다.

효율은  $\eta = P_o / P_i$ ,  $P_i = S(W/m^2) \times A(m^2)$  으로 계산된다.

여기서, S는 일조강도, A는 태양전지 면적,  $P_i$ 는 입력,  $P_o$ 는 출력이다.

### 3. 실험장치 구성

실험장치는 그림2와 같이 발전체의 주위 환경 및 개개의 모듈전압과 A, B그룹의 전류를 측정하는 것으로 모니터링과 데이터 저장에 목적이 있다. 이에 인터페이스를 갖추기 위하여 Visual Studio - Basic .Net(2005)과 NI사의 Measurement Studio를 이용하였고 RS-485통신방식으로 각 담당 검출모듈(Slave)에 ID를 호출하여 이에 응답된 데이터를 다시 PC(Master)에 송신하게 된다. 이때, 모니터링으로는 전압, 전류와 기후를 감시할 수 있으며 측정 데이터는 1분마다 평균적으로 갱신되어 오전12:00:00부터 오후11:59:00까지의 일보 데이터를 날짜별로 구분하여 저장된다.

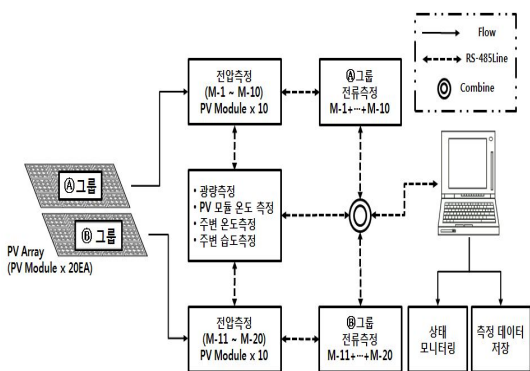


그림 2. 실험장치 구성도

측정대상 물리변수는 표 1에 자세히 나타내었으며 본 실험구성에서 설명은 그림 3과 연관하여 요약하면 다음과 같다.

- (a) PV모듈(Model ; GMG01531)이 총 20개로 구성이 되어있으며 10개를 직렬연결한 A그룹(상단), 나머지 10개를 직렬연결한 B그룹(하단)으로 구성.
- (b) A, B그룹의 전류량을 측정하는 Slave.
- (c) 외기 온·습도 및 모듈후면의 온도를 측정하는 센서부의 Slave.
- (d) 직달 일조강도(Direct Irradiance)를 측정하는 Pyranometer(Model ; Li-200)로써 오차율이  $\pm 3\%$ , 온도 의존은 최대  $\pm 0.15\% / ^\circ C$ , 응답시간  $10\mu s$ 인 포토다이오드 방식.
- (e) 개개의 모듈전압을 측정하는 Slave로 정션박스(Junction box)에 내장.
- (f) A, B그룹에 각각  $50\Omega$ 을 접속하여 부하로 사용.

표 1. 측정대상 물리변수

| 명 칭                          | 내 용   |                              |
|------------------------------|---|------------------------------|
| 전압<br>(Voltage)              | *개별 모듈의 전압측정<br>(M-1, M-2, ... M-20)                        |                              |
| 전류<br>(Current)              | 조합된<br>모듈들과<br>의 전류<br>비교                                   | **① A그룹<br>(M-1+...+M-10)    |
|                              |   | **② B그룹<br>(M-11+...+M-20)   |
| 습도<br>(Humidity)             | 어레이 주위습도를 측정<br>(0 ~ 99.9 %)                                |                              |
| 온도<br>(Temperature)          | 기온  | 옥외온도를 측정<br>(-20 ~ 60℃)      |
|                              | 모듈온도  | 모듈 후면을 측정<br>(-18.6 ~ 83.8℃) |
| 일조량<br>(Solar<br>Irradiance) | 경사면 직달 일조강도 측정<br>- 최대 발전시간대<br>(1 ~ 1000W/m <sup>2</sup> ) |                              |

※ i) \* M은 PV Module의 임의적인 축약어, \*\* A와 B그룹은 각각 PV Module의 10개 직렬구조  
ii) 측정 Slave는 8bit Micro Controller Unit-ATmega8과 개별ID 응답을 위한 Max485 IC를 사용하여 설계.

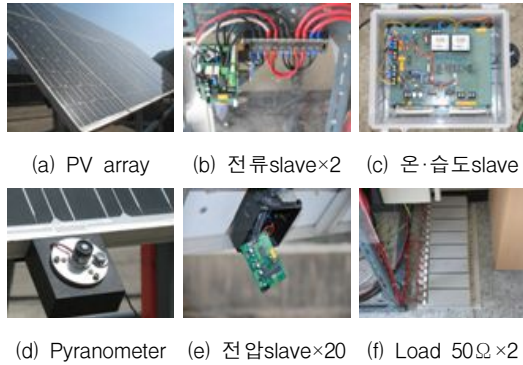


그림 3. 주요 실험구성사진

PV모듈의 사양은 표 2와 같고 제품의 사양서에서 표준시험조건(STC : Standard Test Conditions)의 자료를 참고하였다.<sup>[3]</sup> 제품의 제조연도는 2001년, 설비 및 시공연도는 2005년으로 당해연도에 기준하여 대략적으로 각각 9년, 5년의 시간이 경과되었다.

표 2. PV모듈의 특성

| 명 칭         | 값        |
|-------------|----------|
| 개방전압(Voc)   | 21.59 V  |
| 단락전류(Isc)   | 3.46 A   |
| 최대전력(Pmax)  | 54.14 W  |
| 최대동작전압(Vmp) | 17.62 V  |
| 최대동작전류(Imp) | 3.07 A   |
| 곡선인자(FF)    | 0.73     |
| 직렬저항(Rs)    | 0.65 Ohm |
| 변환효율(Ef, c) | 14.6%    |

\* i) 측정환경 - 광도(Irradiance) : 1000W/m<sup>2</sup>, 온도(Temp) : 25℃, 표준 시험적 에어매스(Air Mass)기준 : 1.5  
 ii) 모델명 - LG사 GMG01531

#### 4. 실험방법

육외측정에서 가장 고려해야 하는 점은 PV모듈의 수광면에 균일한 광 입사가 이루어져야한다.<sup>[4]</sup> 따라서 측정된 데이터의 이용을 고려할 때 구름의 반복적인 교차나 흐린 날의 경우는 적절치 못하므로 저장된 일보데이터 중 일조강도의 변화격차가 고른 때를 표 3과 같이 선별하여 분석하였다.

표 3. 측정시기에 따른 발전환경

| 측정시기         |             | 주위 습도량 [%] | 일조강도 [W/m <sup>2</sup> ] |       |
|--------------|-------------|------------|--------------------------|-------|
| Date         | Time        |            | 최대                       | 평균    |
| 2010. 04. 24 | 12:13~13:20 | 31.6       | 892.4                    | 882.2 |
| 2010. 04. 29 | 12:32~13:33 | 34.1       | 845.4                    | 838.2 |
| 2010. 05. 07 | 12:00~13:00 | 44.6       | 840.3                    | 830.9 |
| 2010. 05. 12 | 12:02~13:15 | 53.6       | 846                      | 815.3 |
| 2010. 05. 13 | 12:08~13:27 | 39.8       | 845.1                    | 814.1 |

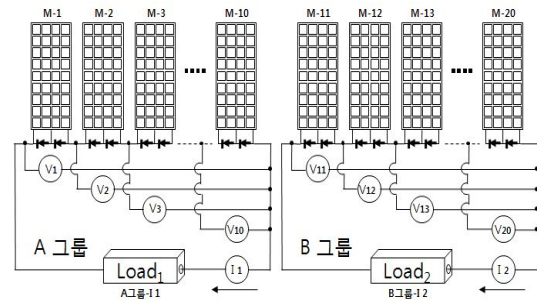


그림 4. 전기적 측정 실험회로 구성도

#### 4.1 개별모듈의 발전전압

개별모듈의 전압산출은 그림 4와 같이 해당 모듈까지의 직렬전압 측정값에서 하위 모듈전압 측정값의 차수를 이용하였으며 식(5)과 같다.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= V_1 - V_2 \\
 M_2 &= V_2 - V_3 \\
 &\vdots \\
 M_{20} &= V_{19} - V_{20}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

모듈의 개별측정을 통한 실험에서는 각 모듈의 발전전압을 통해 일조강도와 외기 및 모듈후면의 온도를 파악하여 출력에 대한 영향을 파악하고 분석시기별로 추이를 비교하여 지정된 모듈의 전압특성에서 변동여부에 따라 각 PV모듈의 성능을 가려내었다.

#### 4.2 A, B그룹의 전류

전류측정은 고정밀센트(±0.5%)를 이용하

여 그림 3과 같이 직렬 모듈조합의 두 그룹 중 개별모듈의 양호 또는 불량에 편중으로 인한 상관관계를 확인하는 방법으로 한다. 따라서  $I_1$ 과  $I_2$ 는 각 모듈전압과 부하저항의 제산으로 두 그룹의 전류를 구분하며 식(6)과 같다.

$$I_1 = \frac{M_1 + M_2 \cdots M_{10}}{Load_1} \quad (6)$$

$$I_2 = \frac{M_{11} + M_{12} \cdots M_{20}}{Load_2}$$

### 4.3 개별모듈의 효율

PV모듈의 광전효율 특성은 태양전지의 면적당 얻어지는 에너지효율과 비례적으로 같으며 환경 노출과 동반된 시간경과로 인하여 특성이 점차 변하게 된다.

식(7)은 모듈에서 효율( $\eta$ )을 나타내는 전형적인 식으로 PV모듈의 품질의 척도인 Fill Factor(FF)에 최대출력과 총에너지의 제산을 통한 곱으로 산출된다. 그러나 옥외에서는 수시로 광량이 바뀌는 것과  $1000W/m^2$ 의 정량적 기준조건에서 실측하기에 결점이 있는 관계로 식(8)와 같이 태양전지의 단위면적당 전력량에 관한 출력과 입력의 비를 백분율로 산출하여 각 모듈을 대상으로 비교하였다.

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{input}} = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (7)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{input}} = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{P_{input}} = \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{P_{input}} \times FF \quad (8)$$

$$\eta_{ran} = (I \times V / An) \quad (8)$$

※  $V_{mp}$  : 최대발전전압(V),  $I_{mp}$  : 최대발전전류(A),  $P_{input}$  : 단위면적 광에너지,  $P_{max}$  : 최대전력량(W),  $\eta$  : PV효율(%),  $\eta_{ran}$  : 비교식PV효율(%),  $An$  : 태양전지면적과 개수

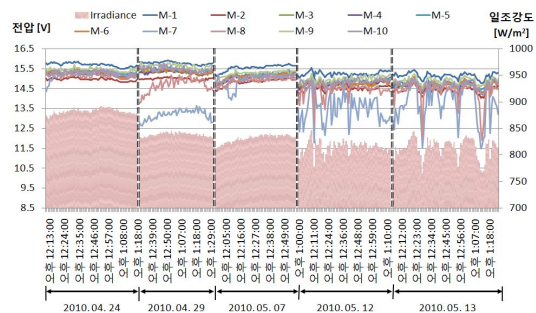
## 5. 실험결과 및 고찰

측정실험을 통하여 동일한 모듈의 각 모듈마다 전압레벨이 서로 상이함을 확인하였으며 옥외에 5년간 경과되어 전기적 성능 특성

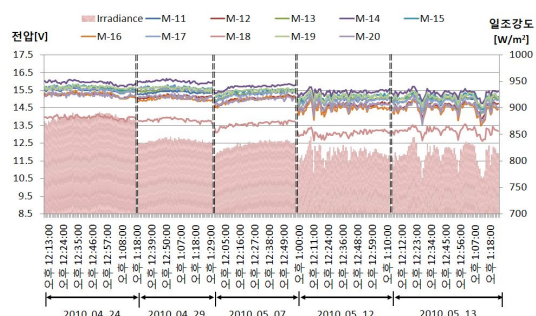
이 변질된 일부 모듈의 직렬조합으로 전체 발전효율이 감소함으로 나타났다. 이는 측정된 환경에 따라 비교적 오차가 있었으며, 측정시기에서 평균적으로 산출하였을 때, 각 모듈의 성능을 추정하기가 용이하였다.

### 5.1 개별모듈의 발전전압 특성

발전전압 특성에서는 그림 5와 같이 일조강도에 따라 전압레벨이 순응되며 20개의 모듈마다 서로 다른 출력이 확인되었다. 특히 비교적 가장 낮은 M-18과 높은 M-14의 전체평균 전압차는  $-2.13V$ 이며 B그룹에 같이 편중되어 있고 M-2, 7, 8의 경우는 M-14와 비교하였을 때 전체평균 전압차는 각  $-0.92V$ ,  $-1.56$ ,  $-0.91V$ 로 A그룹에 편중되어 있음을 알 수 있다.



(a) Module 1 ~ 10의 전압



(b) Module 11 ~ 20의 전압

그림 5. 분석시기별 일조강도에 따른 발전전압

측정시기에서 지정된 모듈의 발전전압 수

치는 표 4와 같으며 그림 6과 대조하면, 양호 또는 불량성에 대하여 상대적으로 크게 변하지 않음을 확인할 수 있다. 즉, 선별된 총 5일의 실측기간과 고른 일조분포에서 변동에 대한 특성유지는 추세적인 면에서 근거가 되는 것으로 사료된다.

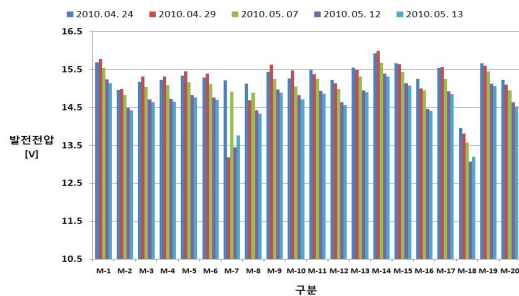


그림 6. 분석시기별 모듈의 평균전압

표 4. 측정시기별 PV모듈의 평균전압[V]

| 모듈 번호 (M-) | 측정시기(2010년) |       |       |       |       |
|------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|            | 4월24일       | 4월29일 | 5월7일  | 5월12일 | 5월13일 |
| 1          | 15.69       | 15.77 | 15.54 | 15.24 | 15.14 |
| 2          | 14.96       | 14.99 | 14.83 | 14.49 | 14.42 |
| 3          | 15.18       | 15.31 | 15.04 | 14.71 | 14.64 |
| 4          | 15.23       | 15.32 | 15.08 | 14.72 | 14.65 |
| 5          | 15.34       | 15.45 | 15.17 | 14.83 | 14.76 |
| 6          | 15.29       | 15.39 | 15.12 | 14.76 | 14.70 |
| 7          | 15.22       | 13.18 | 14.91 | 13.45 | 13.75 |
| 8          | 15.12       | 14.68 | 14.89 | 14.43 | 14.34 |
| 9          | 15.45       | 15.63 | 15.26 | 14.97 | 14.88 |
| 10         | 15.27       | 15.47 | 15.06 | 14.82 | 14.71 |
| 11         | 15.49       | 15.37 | 15.26 | 14.94 | 14.87 |
| 12         | 15.23       | 15.14 | 14.99 | 14.63 | 14.57 |
| 13         | 15.56       | 15.49 | 15.31 | 14.96 | 14.90 |
| 14         | 15.92       | 15.99 | 15.68 | 15.40 | 15.31 |
| 15         | 15.67       | 15.64 | 15.44 | 15.14 | 15.07 |
| 16         | 15.25       | 15.00 | 14.96 | 14.47 | 14.41 |
| 17         | 15.54       | 15.57 | 15.26 | 14.93 | 14.85 |
| 18         | 13.96       | 13.81 | 13.58 | 13.07 | 13.20 |
| 19         | 15.66       | 15.61 | 15.45 | 15.13 | 15.07 |
| 20         | 15.23       | 15.10 | 14.95 | 14.64 | 14.52 |

표 5를 바탕으로 외기온도와 PV모듈의 온도는 약 1.9배정도 차이가 있었으며 각각의 평균비율은 34.5%, 65.5%로 나타났다. 일조

강도는 세기에 따라서 외기온도의 상승을 동반하며 이에 따라 PV모듈의 온도상승은 발전전압의 출력에 대하여 반비례적 특성을 보인다. 온도에 대하여 각 모듈은 균등하게 대응됨에 따라 20개의 모듈에 대한 발전전압을 평균화하여 그림 7에 나타내었다. 특성으로는 1.34℃상승에 따라 전압이 0.047V가 감소되었으며 1℃당 환산 시 모듈의 발전전압은 약 0.035V로 출력을 급속히 낮추게 함으로 나타났다.

표 5. 측정시기별 외기 및 모듈후면 평균온도[℃]

| 구분 | 측정시기(2010년) |       |       |       |       |
|----|-------------|-------|-------|-------|-------|
|    | 4월24일       | 4월29일 | 5월7일  | 5월12일 | 5월13일 |
| 외기 | 18.86       | 17.76 | 22.32 | 22.41 | 23.93 |
| 모듈 | 39.96       | 33.38 | 41.22 | 41.67 | 43.40 |

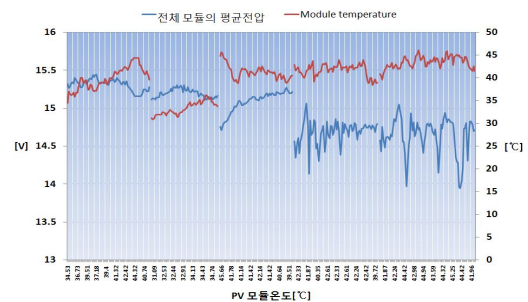


그림 7. PV모듈온도에 따른 발전전압 특성

### 5.2 A, B그룹의 전류

각 그룹의 평균전류는 표 6에 나타내었고 일조강도에 따라 순응되는 발전전류는 그림 8에 나타내었다. 이 두 그룹의 차는 A그룹이 B그룹보다 -0.022A로 낮게 분석되었으며 각각 49.68%, 50.32%의 비율이 된다. 상대적으로 A그룹에 성질이 나빠진 모듈이 편중된 것으로 추정된다.

이에 전류 I<sub>1</sub>과 I<sub>2</sub>와의 각 모듈(M)전압(V)으로 상관관계를 알아보기 위하여 총 5일 기간과 종합누적으로 크기비교를 표 7에 나타내었으며 순서는 큰 순에서 작은 순으로 부등호로 구분하였다.

표 6. 측정시기별 PV모듈의 평균전류[A]

| 그룹 | 측정시기(2010년) |       |      |       |       |
|----|-------------|-------|------|-------|-------|
|    | 4월24일       | 4월29일 | 5월7일 | 5월12일 | 5월13일 |
| A  | 2.93        | 2.90  | 2.87 | 2.83  | 2.82  |
| B  | 2.95        | 2.93  | 2.89 | 2.85  | 2.84  |

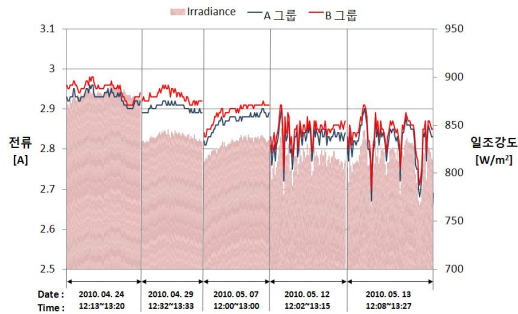


그림 8. 분석시기별 일조강도에 따른 발전전류

표 7. 발전전압 크기비교

| 구분           | M-xx (Module-Number)<br>※ Best > Good > . . . > Bad  |
|--------------|--|
| 2010. 04. 24 | M-14 > M-1 > M-15 > M-19 > M-13 > M-17 > M-11 > M-9 > M-5 > M-6 > M-10 > M-16 > M-12 > M-20 > M-4 > M-7 > M-3 > M-8 > M-2 > M-18 |
| 2010. 04. 29 | M-14 > M-1 > M-15 > M-9 > M-19 > M-17 > M-13 > M-10 > M-5 > M-6 > M-11 > M-4 > M-3 > M-12 > M-20 > M-16 > M-2 > M-8 > M-18 > M-7 |
| 2010. 05. 07 | M-14 > M-1 > M-19 > M-15 > M-13 > M-11 > M-9 > M-17 > M-5 > M-6 > M-4 > M-10 > M-3 > M-12 > M-16 > M-20 > M-7 > M-8 > M-2 > M-18 |
| 2010. 05. 12 | M-14 > M-1 > M-15 > M-19 > M-9 > M-13 > M-11 > M-17 > M-5 > M-10 > M-6 > M-4 > M-3 > M-20 > M-12 > M-2 > M-16 > M-8 > M-7 > M-18 |
| 2010. 05. 13 | M-14 > M-1 > M-15 > M-19 > M-13 > M-9 > M-11 > M-17 > M-5 > M-10 > M-6 > M-4 > M-3 > M-12 > M-20 > M-2 > M-16 > M-8 > M-7 > M-18 |
| 종합<br>누적     | M-14 > M-1 > M-15 > M-19 > M-13 > M-9 > M-17 > M-11 > M-5 > M-10 > M-6 > M-4 > M-3 > M-12 > M-20 > M-16 > M-2 > M-8 > M-7 > M-18 |

크기를 비교해본 결과 A그룹에 성능이 나빠진 모듈(M-2, 3, 4, 6, 7, 8)이 편중해 있음을 확인할 수 있으며 각 모듈의 성능의 크기

에 대한 순은 표 7의 종합누적과 같다.

### 5.3 개별모듈의 효율

본 연구에서 PV모듈의 효율분석은 옥외에서 태양광을 고려한 것이며 모듈의 사양서에 기록된 최대효율인 14.6%(STC조건)의 근접한 범위에는 들지 않았지만 봄철, 맑은 날에서 일조분포가 우수한 날로 선별 하여 모듈의 효율을 서로 비교분석함을 원칙으로 하였다.

효율( $\eta$ )은 일조강도에 의한 모듈의 발전전력(W)과 발전체의 면적( $A_n$ )을 고려한 것으로 식(8)과 같은 방법으로 산출한 결과와 전체모듈에서 차지하는 비율을 표 8에, 분석시기별 해당모듈의 효율을 그림 9에 나타내었다.

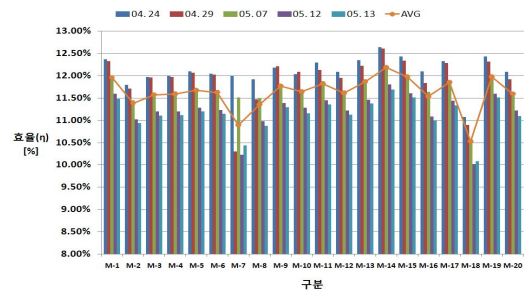


그림 9. 개별모듈의 효율

표 8 개별모듈의 효율과 전력

| 모듈 [M] | 효율 [%] | 해당 비율 [%] | 평균 전력 [W] | 모듈 [M] | 효율 [%] | 해당 비율 [%] | 평균 전력 [W] |
|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|
| 1      | 11.96  | 5.14      | 44.43     | 11     | 11.82  | 5.09      | 43.92     |
| 2      | 11.38  | 4.90      | 42.29     | 12     | 11.61  | 5.00      | 43.14     |
| 3      | 11.57  | 4.98      | 42.98     | 13     | 11.87  | 5.11      | 44.09     |
| 4      | 11.59  | 4.99      | 43.05     | 14     | 12.19  | 5.25      | 45.30     |
| 5      | 11.67  | 5.02      | 43.37     | 15     | 11.98  | 5.16      | 44.52     |
| 6      | 11.62  | 5.00      | 43.19     | 16     | 11.53  | 4.96      | 42.86     |
| 7      | 10.89  | 4.69      | 40.48     | 17     | 11.85  | 5.10      | 44.04     |
| 8      | 11.35  | 4.88      | 42.17     | 18     | 10.53  | 4.53      | 39.12     |
| 9      | 11.77  | 5.06      | 43.73     | 19     | 11.97  | 5.15      | 44.49     |
| 10     | 11.64  | 5.01      | 43.24     | 20     | 11.59  | 4.99      | 43.07     |

그림 9와 표 8을 대조하여 보았을 때 4장 1절의 전압으로 분석한 방법과 유사하며, 효율

의 수치적 차이와 해당되는 모듈에서 전체적인 비율을 통해 비교 하면 이 중 M-14는 12.19%로 가장 우수하였으며 M-18은 10.53%로 가장 효율이 감소하였음을 보여준다. 그러나 전압으로 비교한 방법과 달리 I-V에 대한 효율로 접근 시, 전압과 해당그룹에서 전류의 곱으로 산정하였기 때문에 명확한 효율이라고 보기 어렵다. 즉, 모듈에 단독 부하를 적용하여 독립적으로 효율을 판정하는 방법이 가장 바람직하다고 사료된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 옥외에서 장기적인 노출로 특성이 변한 모듈의 상대적인 성능을 추정하기 위하여 직·병렬로 연결된 태양광 발전 어레이에서 개별모듈의 실시간 출력을 동시에 측정하기 위한 실험장치를 제작하였다. 이를 바탕으로 경사면 직달일조, 발전전력, 온도 등과 최적 분석시기를 고려하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 가장 낮은 M-18과 높은 M-14의 전체평균 전압차는  $-2.13V$ 이며 B그룹에 같이 편중되어있고 M-2, 7, 8의 경우는 B그룹의 M-14와 비교하였을 때 전체평균 전압차는 각  $-0.92V$ ,  $-1.56$ ,  $-0.91V$ 로 A그룹에 편중되어 있음을 알 수 있다.
- (2) 모듈의 온도가  $1^{\circ}C$  상승에 따라 전압은 약  $0.35V$ 씩 감소된다.
- (3) A그룹이 B그룹보다  $-0.022A$ 가 낮았다. 비율이 각 49.68%, 50.32%임에 따라 상대적으로 A그룹에 성질이 나빠진 모듈이 편중된 것으로 추정한다.
- (4) 종합 누적으로 관계를 비교한 결과 M-2, 7, 8, 16, 18은 성능이 나빠졌으며 정밀검사를 요한다.
- (5) M-14는 12.19%로 가장 우수하였으며 M-18은 10.53%로 가장 효율이 낮았다.

향후 옥외측정방법에서 다양한 접근으로

성능을 추정하는 추가연구를 수행할 예정이며 장기간의 실험을 통해 미흡한 부분을 보완할 수 있는 근거제시가 필요하다고 생각된다. 또한 실험장비의 거듭되는 정량화와 국산화를 바탕으로 모듈에 국한되지 않고 발전단지의 어레이를 중심으로 활용되기를 기대하여 본다.

## 후 기

본 논문은 2009학년도 목포대학교 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. 에너지관리공단 신·재생에너지센터 & 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D전략 2030, 2007. 11
2. 강기환외 태양전지모듈의 노화현상에 따른 전기적 특성 고찰, KIEEME, Vol 17, No. 12. 2004. 12
3. LG산전주식회사 Hyperion LG태양광발전 시스템, 제품사양서, 2002. 5
4. PV시스템 구성요소 기기의 성능평가법 및 기술기준(안) 확립연구, 최종보고서, 2004. 9
5. 태양광발전 용어집, 산업자원부, 2007