

# 태양광발전 에너지이용시스템의 계측과 평가에 관한 연구

정헌상, 백형래, 조근배, 김동휘, 김대근\*, 유권종\*\*  
 \* 조선대학교      \*\* 한국동력자원연구소

A Study on the Instrumentation and Valuation  
 of Photovoltaic Energy Utilization System

Heun-Sang Chung, Hyung-Lae Baek, Geum-Bae Cho, Dong-Hwi Kim, Dae-Gon Kim\*, Gwon-Jong You\*\*  
 \* Cho Sun University      \*\* Korea Institute of Energy and Resources

## ABSTRACT

Photovoltaic system has very low energy conversion efficiency and the output characteristics of solar cell is varied by the insolation quantity and the temperature.

In order to improve the efficiency of photovoltaic system, the energy which has got from solar cell must be use maximum.

In this paper, it was simultaneous executed both MPPPT control and instrumentation in order that the operating point of solar cell is located maximum power point, using the PWM inverter and micro-computer, which is for the purpose of acquiring maximum power from the solar cell.

As a result, maximum power point tracking had carried out and the efficiency of photovoltaic system improved, even if insolation quantity and the temperature are varied.

## 1. 서론

최근 에너지자원의 이용증가와 매장된 에너지자원의 한계성으로 인하여 대체에너지자원 중의 하나로써 태양에너지를 개발하고 있다.

태양광발전은 깨끗하고 안전하며, 인도의 수송, 운전 및 보수가 불필요한 에너지원으로서 무한정으로 전기를 얻을수 있는 미터의 에너지원이다. 그러나 기존 발전방식에 비하여 발전단가가 높고 기상조건에 절대적인 영향을 받고 부하추종능력이 거의 없으며 발전량에 비하여 많은 면적을 차지하는 단점들을 가지고 있다. 그래서 현재 인공위성, 산간벽지, 봉대 그리고 군사용동에 한정되어 있으나 앞으로 태양광발전은 소규모의 가정용으로부터 대규모의 발전시스템에 이르기까지 PV module의 가격저하와 높은 비의 효율로 발전할수 있도록 선진국을 중심으로 연구개발이 활발히 추진되고 있다.

태양광 발전시스템에서 태양전지의 에너지변환 효율이 매우 낮기때문에 전체 발전시스템에서 효율을 최대화시켜 경제성이 있는 시스템을 만들기 위해서는 시스템의 효율을 극대화 시켜야 할 뿐만 아니라 태양전지에서 얻은 에너지를 최대한으로 활용할 수가 있어야 한다.

태양전지에서 최대출력을 얻기 위해서는 태양전지의 동작점이 최대전력점에 위치하도록 제어해야 하는데 최대전력점은 복사에너지와 온도에 따라 변동하고 태양전지 제조업체마다의 특성이 다르므로 MPPPT (Maximum Power Point Tracking)를 실행할 필요가 있다.

태양전지는 DC 전력을 발생하기때문에 상용 교류전원과 연계할 경우는 DC-AC 변환용 인버터가 필요로 하게된다.

만일 연계시스템일 경우, 발생전력은 인버터를 지나 전력계통선과 직접 연결되어 있기때문에 인버터 발생고조파와 유도전력과 무효전력에서의 문제가 일어나게 된다. 그러므로 이러한 문제를 제어할 필요가 있다.

본 논문에서는 전력용 단결정태양전지 Array가 최적동작점에서 운전하고 있을때의 발전특성과 태양광 발전시스템의 이용형태에 대해서 연구하였으며, 태양광 발전시스템의 계측시스템을 구성하고 태양전지 Array 최대전력 추적방법에 대해 실험을 통하여 최대전력점 추적을 검토하고 그 경우의 발전시스템의 계측시스템에 대해서 고찰하였다.

## 2. 태양광발전에너지 이용시스템

### 2.1 태양전지의 특성

태양전지는 광기전력 효과를 이용하여 태양전지를 직접 전기에너지로 변환시키는 소자이다. 내부저항을 무시한 이상적인 태양전지는 그림1에서처럼 태양광이 입사할때 태양광에 의한 광전류( $I_{ph}$ )와 암전류( $I_0$ )로 구분된다. 암전류는 빛을 받지않는 상태에서 태양전지로부터 흡수된 에너지가 태양전지 양단에 순방향 바이어스전압에 의해 생성되는 전류로서 광전류와 반대방향을 갖는다.

그러므로 태양전지의 출력전류는 다음과 같이된다.

$$I = I_{ph} - I_0 \quad (1)$$

여기서,  $I_0$ 는 다이오드의 포화전류,  $I_{ph}$ 는 광전류,  $V$ 는 단자전압,  $A_0$ 는 다이오드상수,  $K$ 는 일사상수,  $T$ 는 온도이다.

식(1)에서 태양전지의 양단의 출력전압을 구해보면 다음과 같다.

$$V = A_0 K T / q \ln((I_{ph} - I) / I_0 + 1) \quad (2)$$

태양전지로 부터 얻어지는 태양전지 출력전력은 직렬저항과 병렬저항을 각각 무시한경우 다음과 같이된다.

$$P = I \cdot V = (I_{ph} - I_0(\exp(qV/A_0KT) - 1)) V \quad (3)$$

태양전지로 부터 얻을수 있는 최대출력전력은 그림2에서처럼

$$P_{max} = I_m \cdot V_m \quad (4)$$

이 된다.

태양전지 module의 출력전압 - 출력전류 특성에 대하여 태양전지의 출력은 주로 일사량과 동작온도에 따라 좌우된다. 그림3는 각각 일사량 및 소자온도를 파라미터로 한 출력전류 - 출력전압 특성이다.

따라서 태양전지 출력전력  $P_p$ 는 각 동작점에서  $I_m, V_m$ 의 곱으로 되며 이것을 일사량을 파라미터로 하여 나타내면 그림4과 같이 된다. 태양전지 출력전력  $P_p$ 가 최대가 되는 Point를 최대동작점(Maximum Power Point), 즉 최적 Matching상태라고 한다. 이 최대동작점에서의 전압은 거의 개방전압에 가

값과 일정치이며, 온도에 따라서만 약간 변화한다. 그러므로 태양전지의 출력은 주로 출력전류에 의존하게 된다.

즉 태양전지의 출력은 일사량과 태양전지의 동작온도에 따라서 변하게 되므로 같은 Array 용량에 대하여 전류-전압곡선이 개략적으로 바뀌게 될뿐만 아니라 노화로 인한 동작특성의 변화 그리고 관력의 청결상태등에 의해서도 동작특성이 변화하므로 시스템설계에 있어 태양광발전의 효율을 향상시키기 위해서는 동작점을 최대출력점에 위치하도록 제어하는것은 매우 중요하다.

### 2.2 태양광발전시스템의 구성형태

태양광 발전시스템 설비에는 독립형(stand-alone)설비와 계통선연계형(grid-connected)설비 두가지가 있다.

#### (1) 독립형 설비시스템

독립형설비는 태양전지와 축적배터리로부터의 직류전력을 교류전력으로 변환하여 상용 교류부하에 전력을 공급하는 그림5와 같은 시스템이다.

이 시스템은 PV module, 축적배터리, 그리고 인버터로 구성되어 있으며 PV module과 축적배터리 사이에 DC/DC converter를 삽입하거나 PV module과 축적배터리를 DC/DC converter 없이 직접 병렬 연결하여 구성할수 있다.

PV module과 축적배터리를 직접 병렬로 연결하는 경우 신뢰성이 있고 충방전 제어회로로서 battery over-charging을 피할수 있으며 쉽게 set-up 할수 있다.

그러나 이 시스템에서 실제의 배터리전압과 최대전력점에 일치하는 전력점전압은 불일치(mismatch) 하게되어 이러한 불일치를 피하기 위하여 PV module과 배터리사이에 DC/DC converter를 삽입하여 태양광 복사에너지와 온도의 변화 그리고 기타 동작특성등의 변화에 의해 발생된 전력의 변동을 최대전력점에서 제어하는 것이 가능하다.

#### (2) 계통선연계형 설비시스템

계통선연계형 설비시스템은 그림6에서 보는것처럼 독립형 설비시스템에서와 같이 축적배터리가 필요없으며 PV module과 인버터를 직접 연결하므로써 PV module로부터 나오는 직류전력과 계통선의 교류전력을 균일하게 유지하여 부하에 전력을 공급하는 시스템이다.

PV module로부터 발생된 인버터출력이 부하의 수요전력보다 클 경우 그 잉여전력은 계통선으로 공급하며 인버터 출력이 부하의 수요전력보다 부족할 경우 부족전력은 계통선에 의해 부하로 공급되어진다. 그러나 발생전력은 인버터를 지나서 전력계통선과 직접 연결되어 있기 때문에 이 시스템에서의 진압동요는 직접전력 계통선에 영향을 미치게 되며 계통선으로 유입되는 인버터 발생교조파와 유효전력 그리고 무효전력에서의 용오는 전력의 질을 저하시키는 원인이 된다.

이러한 형태의 시스템은 축적배터리의 비용과 설비공간 그리고 충방전 손실이 없으므로 비용과 효율에서 독립형시스템보다 잇점이 있다.

### 2.3 태양전지 출력방식의 검토

태양전지 Array의 Maximum Power Tracking 제어방식에는 극치탐색법, 정전압 제어법, 비선형 함수발생기에 의한 제어방법, 임피던스 비교법, 인버터 출력전력 제어법등이 있다.

본 시스템에서는 극치탐색법에 의한 출력제어 방식에 대하여 설명하기로 한다.

본 실험에 이용한 극치탐색법은 태양전지의 동작점을 미소 변화시켜, 그 전의 출력과 현재 태양전지의 출력을 비교하여 전보다 출력이 증가한 경우에는 똑같은 방향으로 동작점을 이동한다. 그러나 전보다 출력이 감소한 경우에는 역의 방향으로 동작점을 이동시킨다. 최대 동작점에 이르렀을 때와 후부분에서 미소진동하여 최대동작점을 구하게 된다. 이 방

법은 최대동작점이 하나만 존재한다는 것으로부터 가능하게 된 제어방식이다. 이 방법의 장점은 순간순간에 그 상태에 응해서 제어할 수 있는 것이기 때문에 온도나 일사량의 영향을 받지않는다.

## 3. 태양광발전 시스템의 개측

### 3.1 개측시스템의 구성

그림7은 본 실험에서 태양광 발전시스템의 전력전환 처리부와 개측제어 처리부의 요소구성을 시스템화 한 것이다. 여기서 전력전환 처리부는 태양전지 Array, Chopper, 충전에 필요한 배터리, 직교변환용의 인버터, 계통연계용의 반도체 스위치 그리고 부하기기로 구성되었다.

### 3.2 개측시스템

개측시스템은 본 태양광 발전시스템을 최적동작점으로 제어하고 있을때의 데이터를 기록하며, 일사량과 태양전지 출력전류 I 그리고 태양전지 출력전압 V동용 A/D Converter를 통하여 마이크로 컴퓨터에 입력된다.

마이크로 컴퓨터 소프트웨어에서 1초간 10회의 비율로 MPPT제어를 하는 동시에 계속한 데이터를 플로터 디스크로 보내며 프린트와 CRT에 기록된다.

### 3.3 MPPT제어 시스템

MPPT제어 시스템은 태양전지로부터의 출력을 최대한 이용하기 위하여 최대전력 동작점에서 운전될수 있도록 최적동작을 인버터 제어로서 실현하여 최대동작점을 찾아낸다.

#### (1) MPPT제어용 인버터

그림8은 Power MOS-FET를 사용한 단순 PWM 제어용 인버터이고, 그림9는 인버터의 MOS-FET신호 타이밍스를 나타낸다.

그림9에서 위상  $\phi$ 를 제어하여 인버터 교류전력을 변화시킴으로써 인버터 직류측의 전력을 변화하며, 이것으로부터 최적동작에서 동작하도록 위상  $\phi$ 를 제어하여 MPPT를 실행한다.

#### (2) Power MOS-FET Drive 회로

Drive 회로의 구성은 그림10과 같으며 photo coupler를 이용하여 제어회로부와 인버터 본체를 절연하였다. Drive 회로의 출력단은 Complementary Transistor로서 구성하였다.

#### (3) 인버터 주변제어 회로

출력 인터페이스의 제어신호에 따르는 단순 PWM 인버터의 펄스폭, 즉 위상제어각  $\phi$ 를 바꾸는 부분으로 그림 11은 제어 블록도를 나타낸다.

V.C.O 발진주기에 대해 그림11에 나타난 PLL 위상기, 즉 자동 AMP의 직류 제어신호를 변화한 V.C.O의 발진주기와 동기한 위상지연 신호를 만들어내는 방법이다.

#### (4) MPPT제어 Flow - Chart

본 논문에서는 극치탐색법을 이용하여 MPPT를 실행하였으며 그림12는 MPPT제어의 flow-chart를 나타낸다.

## 4. 실험의 결과 및 고찰

측정망은 주로 태양전지 주위에서 행해졌으며, 오전 7시부터 오후 4시까지 실험을 하였다. 태양전지 출력전압과 출력전류 그리고 일사량등을 자동계측하도록 했으며, MPPT제어를 했던 경우의 측정데이터와 단순한 부하(램프)일 경우의 데이터만을 표시하였다.

그림13을 보면 출력전압은 거의 일정하고, MPPT가 행해지고 있는것을 알수있다. 이것은 그림14와 그림15에서 알수 있는 바와같이 출력전류와 일사량이 거의 같은 형태이며 이것으로부터도 MPPT가 행해지고 있다는 것을 알수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 효과적 운전유 도모하 기 위해 Power MOS-FET를 사용한 단순 1W 인버터로서 수치 탐색법에 의한 제어방법으로 최대전력점을 추적하는 동시에 출력전압과 출력전류 그리고 일사량을 자동계측하여 특성 을 평가, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 태양전지 출력전압은 40V 근처에서 거의 일정하게 나타 나고 있다. 이것으로부터 MPPT가 행해지는것을 알수 있었다.
2. 태양전지 출력전류와 일사량의 데이터로부터 최대출력점 추적이 행해지는 것을 알수 있었다.
3. 일사량과 온도특성이 변화하여도 최대출력점 추적을 할 수 있음을 알수 있었다.

본 논문에서는 비연계시스템에 대하여 고찰했지만, 앞으로 의 연구는 연계시스템일 경우와 축전지가 있는 독립형시스 템일 경우의 최대출력점 추적에대하여, 그리고 연계시스템 일 경우 계통선에 미치는 역조류동에 대하여 연구하고자 한 다.

### 참고문헌

- [1] 大庭勝實, 佐藤剛, "太陽光発電システムの最大電力追跡法", "電氣學論文集 B, 16卷 7號, PP. 72-78, 1985.
- [2] 太陽技術開發室, "太陽技術開發特集," NEDO NEWS, PP. 5-15, 1988.
- [3] 林田達博, 中岡隆雄, 丸橋徹, "電力變換裝置による太陽池 出力制御方式と省エネルギー化應用システム," SPC-82-49, PP. 11-19, 1982.
- [4] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants," IEEE, PP. 507-512, 1982.
- [5] F. Alana, F. Nunez, E. Ollas, J. Uceda, "Maximum Power Control Circuit for a Solar Converter," IFAC Control in Power Electronics and Electrical Device, PP. 669 -675, 1983.
- [6] Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Interconnected with Utility," Proceedings of the American Power Conference, PP. 276-281.
- [7] Ziyad Salameh, Daniel Taylor, "Step-up Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays," Solar Energy , Vol. 14, No. 1, PP. 57-61, 1990.
- [8] A. F. Boehringer, "Self-Adapting DC Converter for Solar Spacecraft Power Suppling," IEEE Trans Aerosp and Electron Syst, AES-4, 102, 1983.
- [9] Masato Hoshino, Gunji Kimura, Mitsuo Shioya, "DC-DC Converters and Inverter for Photovoltaic Modules," IECON, PP. 569-574, 1988.

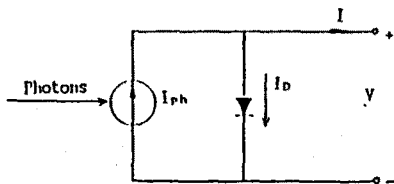


그림 1. 이상적인 태양전지 동가회로

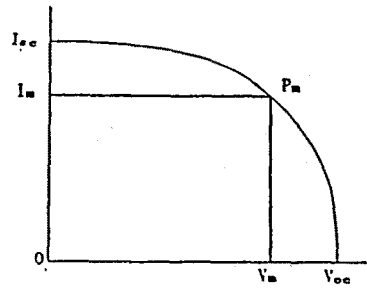


그림 2. 태양전지의 I-V 특성

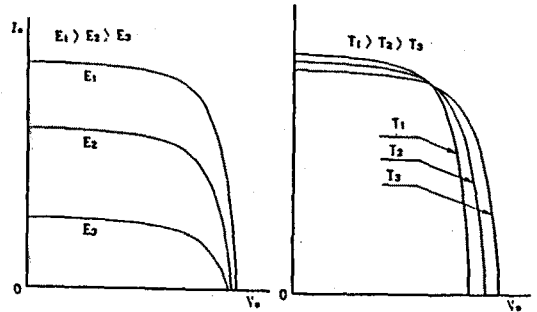


그림 3. 태양전지의 출력전류-출력전압 특성

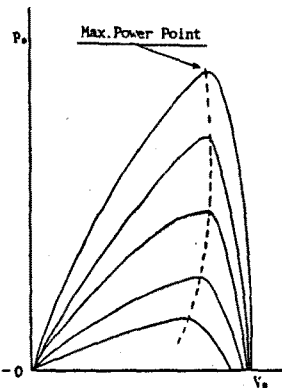


그림 4. 태양전지의 출력전력 특성

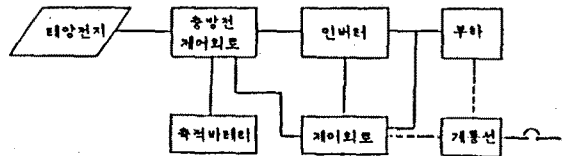


그림 5. 독립형 설비시스템의 블록도

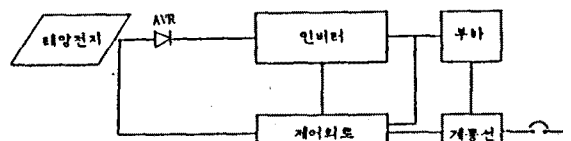


그림 6. 계통선연계형 설비시스템의 블록도

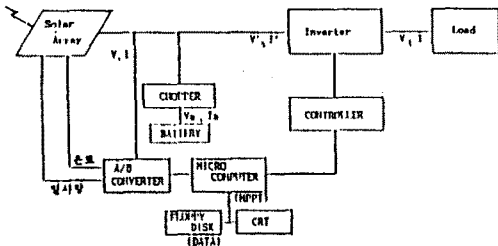


그림 7. 계속시스템의 구성

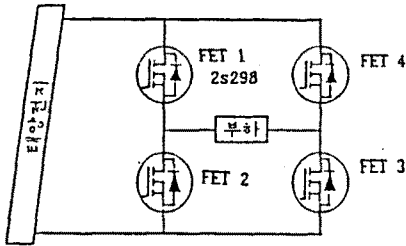


그림 8. 인버터 주회로

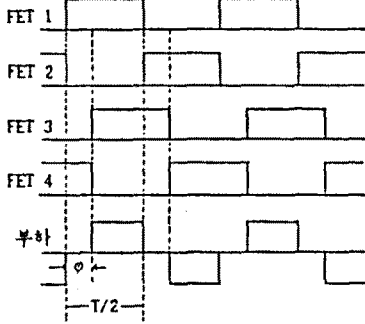


그림 9. MOS-FET 신호 타이밍스

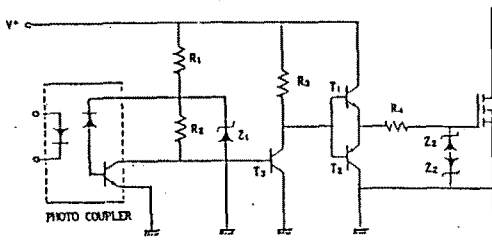


그림 10. Power MOS-FET Drive 회로

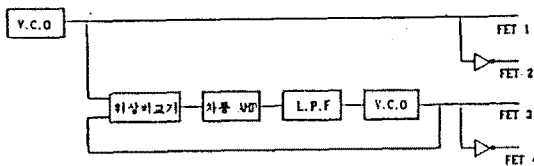


그림 11. 제어 블록도

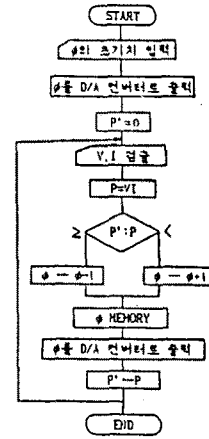


그림 12. MPPT Flow Chart

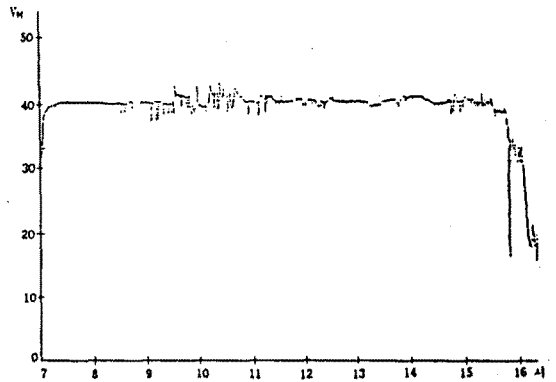


그림 13. MPPT 제어의 경우 태양전지 출력전압

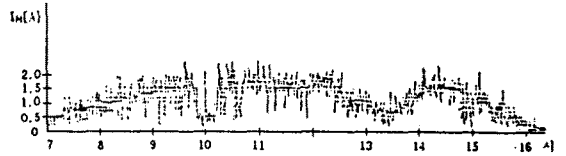


그림 14. MPPT 제어의 경우 태양전지 출력전류

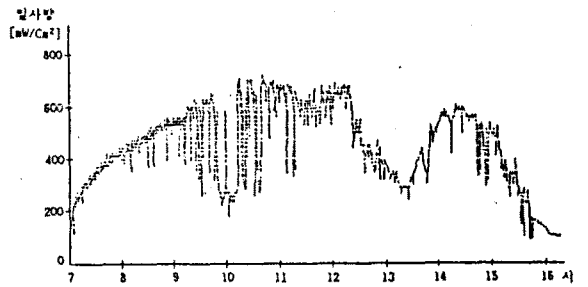


그림 15. 입사량