

# Solar Array의 전압-전력 특성을 이용한 MPPT 제어 시스템

권두일, 지상근, 유철희, 한상규, 노정욱, 홍성수  
국민대학교 전력전자연구소

## MPPT Control using Power-Voltage Characteristic of Solar Array for Photovoltaic Applications

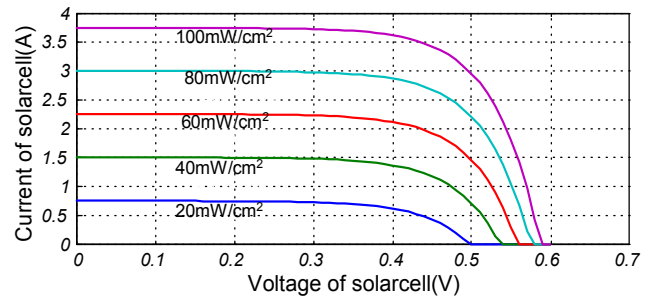
Doo-il Kwon, Sang-keun Ji, Cheol-hee Yoo, Sang-kyoo Han, Chung-wook Roh, Sung-soo Hong  
Kookmin University Power Electronics Center

### ABSTRACT

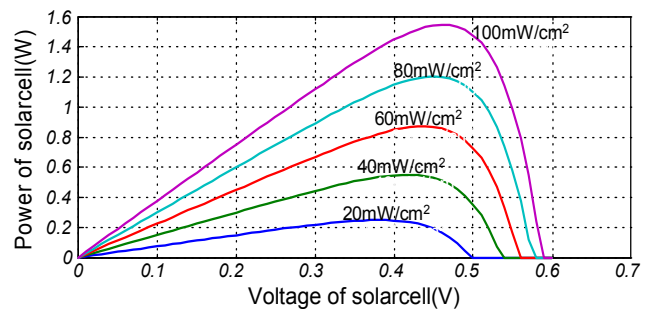
Solar Array는 일사량 및 온도에 의해 얻을 수 있는 최대 전력이 변화한다. 또한 Solar Array의 전압에 따라 출력 전력이 변화한다. 따라서 태양전지의 동작점을 최대 전력점에서 동작하게 하는 최대 전력점을 추적(MPPT: Maximum Power Point Tracking)하는 제어 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 Solar Array의 전압과 전력의 상관관계를 이용하여 최대 전력점을 추종하는 제어 시스템을 제안한다. 이 방식은 빠르게 최대 동작점을 찾을 수 있고 높은 전력 변환 효율을 가지며 다른 방식에 비해 구성이 간단하다. 제안된 제어기법의 타당성을 검증하기 위하여 MPPT 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

### 1. 서론

산업이 발달하면서 에너지의 소비가 급증하고 있다. 반면, 에너지원의 대부분인 석탄, 석유, 원자력, 천연가스 등은 고갈될 위기에 처해있고, 환경오염의 원인이 되어 대체할 에너지원에 대한 필요성이 증대되고 있다. 이에 선진국들을 중심으로 무한 청정 에너지원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 활발히 기술개발이 진행되어 실용화 단계에 접어든 대체 에너지로는 태양 에너지와 풍력 에너지가 주종을 이루며, 바이오 매스, 지열, 파력, 조력 등을 이용한 대체 에너지 개발이 활발히 진행되고 있다. 이중 태양광 에너지는 어디서나 쉽게 이용 가능하며 한번 설치해 놓으면 유지비용이 거의 들지 않기 때문에 가장 각광받는 미래의 대체 에너지로 손꼽히고 있다<sup>[1]</sup>. 태양광 발전 시스템 기술은 태양광 에너지를 직류 전기에너지로 변환하는 태양 전지 기술과 태양 전지로부터의 직류 전력을 교류전력으로 변환하는 전력 변환 및 제어 기술로 나눌 수 있다. 그림 1과 같이 태양 전지는 일사량과 온도에 의해서 전압-전류 특성과 전압-전력 특성이 시시각각 변한다. 그림 1에서 일사량이 최소 20[mW/cm<sup>2</sup>]부터 최대 100[mW/cm<sup>2</sup>]로 가변하면서 Solar Cell의 전류-전압, 전력-전압 곡선 특성



(a) 전압-전류 특성 곡선



(b) 전압-전력 특성 곡선

그림 1. 일사량에 따른 태양 전지의 전기적 특성 곡선

Fig 1. The electrical characteristic of the solar cell due to the changed irradiance

에서 전기적으로 비선형 특성임을 알 수 있다. 그림 1-(b)의 전압-전력 곡선에서 일사량에 따라서 최대전력점이 결정되는데 바로 이점이 Solar Array가 출력할 수 있는 최대 전력 동작점이 되며, 이러한 최대 전력점이 변해도 항상 Solar Array의 최대 출력을 얻어지도록 하는 것을 최대 전력 추종(MPPT: Maximum Power Point Tracking) 제어 라고 하며, 태양광 발전시스템의 DC/DC 컨버터 또는 DC/AC 인버터 등 전력 변환 장치는 Solar Array의 출력이 항상 최대 전력점에서 동작할 수 있도록 최대 전력점 추종(MPPT)제어를 수행하여야 한다. MPPT 제어 방식 중 가장 알려진 방식은 P&O(Perturbation & Observation) 방식과 IncCond(Incremental Conductance) 방식등이 있다<sup>[2][3]</sup>. 하지만, 일반적으로 대부분의 MPPT 제어

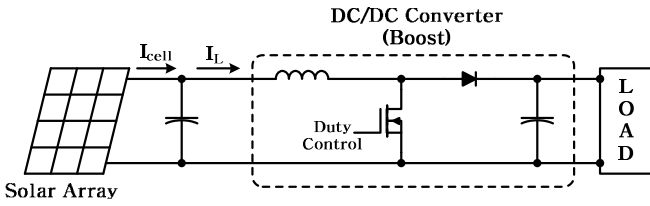


그림 2-1. Solar Array에 연결된 Boost converter  
Fig 2-1. The Boost converter tied Solar Array

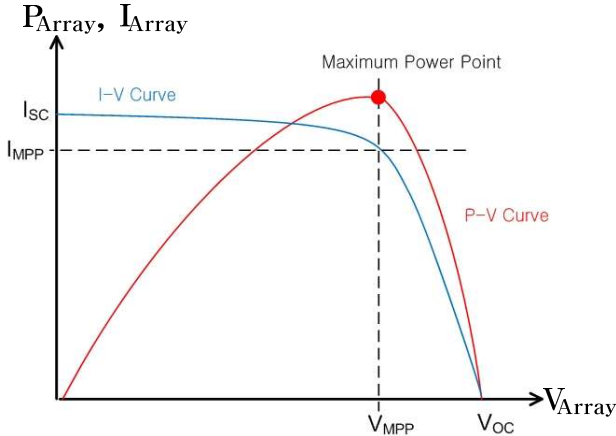


그림 2-2. Solar Array의 전압에 따른 전류 및 전력 곡선  
Fig 2-2. The current and power waveform of Solar Array according to Solar Array voltage variation

방식은 고가의 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 곱셈이나 나눗셈, 미분과 같은 복잡한 연산을 수행하여 대용량의 시스템에 적용하고 있다. DSP를 이용한 제어방식은 외란에 대해 매우 민감하고 이것은 시스템의 치명적인 오동작을 초래할 수 있다. 또한 소용량의 시스템의 경우 높은 가격은 단점이 될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 소용량 시스템에서 실용적으로 구현 가능한 저가의 간단한 Analog 회로로 구성되고, One-chip화가 가능한 새로운 MPPT제어 방식을 제안한다.

## 2. 제안된 MPPT 제어 Algorithm

그림 2-1은 Solar Array에 Boost converter를 연결한 회로이다. 회로에서 Boost Converter의 Duty Ratio가 증가하면, 인덕터 전류( $I_L$ )가 증가하고, 이는 Solar Array의 전류( $I_{cell}$ )가 증가함을 의미한다. 그림 2-2.에서 볼 수 있듯이 Solar Array의 전류가 증가함에 따라 Solar Array의 전압은 감소하게 된다. 마찬가지로 Duty Ratio가 감소하게 되면, 인덕터 전류가 감소하게 되고, 그에 따라서 Solar Array의 전류가 감소하게 되고, Solar Array의 전압은 증가하게 된다. 따라서 Solar Array의 전압이 그림 2-2에서  $V_{MPP}$ 보다 작은 영역, 즉  $\frac{\partial P}{\partial V} \geq 0$  이면, Duty Ratio는 감소하는 경향을 가져야하고, Solar Array의 전압이  $V_{MPP}$  보다

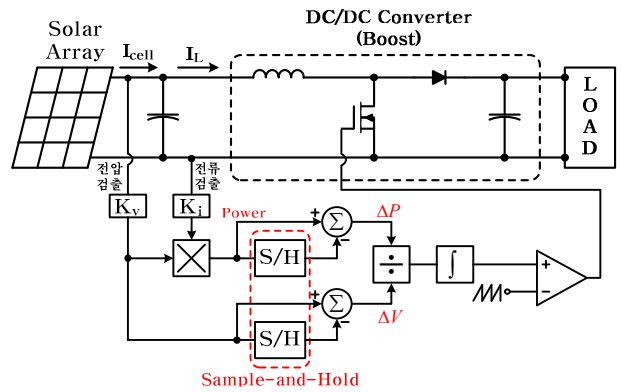


그림 2-3. 제안된 MPPT 제어 방식 Block diagram  
Fig 2-3. The Block diagram of proposed MPPT control

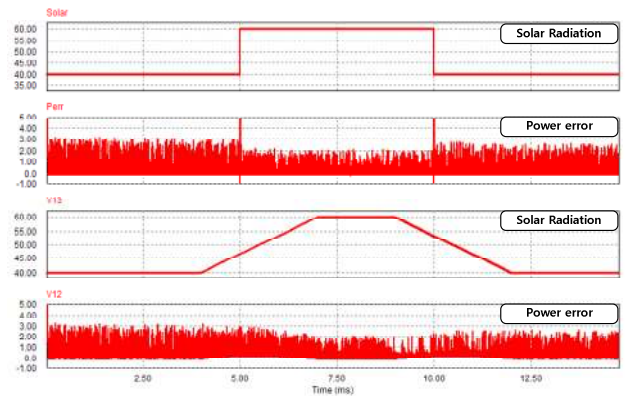


그림 2-4. MPPT 성능 평가를 위한 PSIM Simulation 결과  
Fig 2-4. PSIM simulation result for MPPT performance

큰 영역, 즉  $\frac{\partial P}{\partial V} \leq 0$  이면, Duty Ratio는 증가하는 경향을 가져야한다. 이러한 Duty Ratio의 증가의 경향은 다음의 식(1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$d(t) = -k \int \frac{\partial P}{\partial V} dt \quad \text{식(1)}$$

하지만, 식(1)과 같은 미분은 Noise 환경에 매우 취약하므로 실제 하드웨어 구현이 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 식(1)을 식(2)와 같이 변환한 후 그림 2-3.과 같이 Sample-and-Hold 기능을 이용하여 전압과 전력의 변화량을 구하는 하드웨어를 구성하였다.

$$d(t) = -k \int \frac{\Delta P}{\Delta V} dt \quad \text{식(2)}$$

그림 2-3.과 같이 구성된 하드웨어를 PSIM Simulation을 통해 MPPT Performance를 검증하였다. PSIM Simulation에 사용된 각 부의 파라미터는 표 1에 나타내었다. 그림2-4는 Solar radiation이 Step으로 Up/Down하는 입력과 Ramp로 Up/Down하는 입력에 대해 이론적 최대 전력과 시뮬레이션상의 출력 전력의 차이를 나타낸 결과 파형이다. MPPT

Boost 컨버터의 파라미터	
L	1.5[mH]
C <sub>out</sub>	220[μF]
R <sub>o</sub>	200[Ω], 500[W]

표 1. Boost Converter의 파라미터  
Table 1. Parameter of Boost Converter

Solar Array의 파라미터	
개방전압(V <sub>oc</sub> )	64.2[V]
단락전류(I <sub>sc</sub> )	2.26875[A]
MPP전압(V <sub>mp</sub> )	50[V]
MPP전류(I <sub>mp</sub> )	2.00841[A]

표 2. Solar Array Simulator의 파라미터  
Table 2. Parameter of Solar Array Simulator

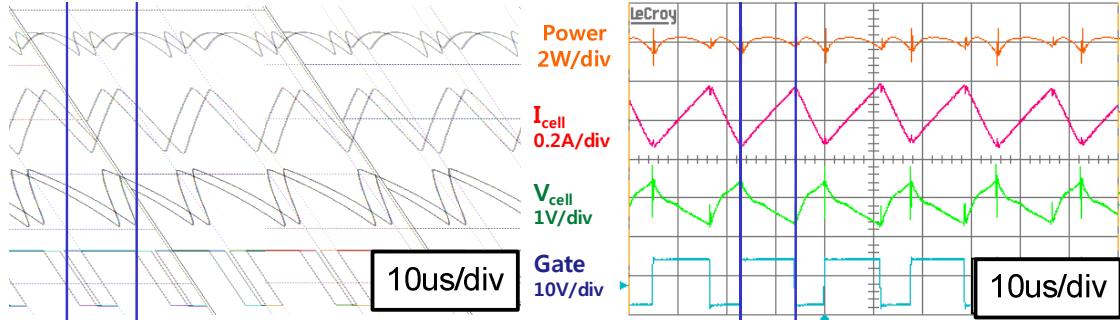


그림 2-5. 정상상태에서의 PSIM Simulation 결과 파형과 실험 결과 파형  
Fig 2-5. The waveform of PSIM Simulation result and Test result

Performance를 Power Error 측면과, 입력 변화에 대한 Dynamics 측면에서 평가하면 우수함을 알 수 있다.

PSIM Simulation에서 살펴본 바에 의하면 제안된 MPPT 제어 방식의 성능이 우수한 것으로 판단되고, 이를 실험을 통해 검증하였다. 실험에 사용된 파라미터는 PSIM Simulation과 마찬가지로 표 1에 나타난 파라미터를 사용하였다. 또한 Solar Array Simulator의 파라미터는 표 2에 나타내었다.

그림 2-5는 정상상태에서의 PSIM 시뮬레이션 파형과 실험 결과 파형이다. 그림은 위에서부터 Power, 인덕터 전류, Solar Array 전압, Boost 컨버터의 Gate Signal 순서이다. 그림에서 알 수 있듯이 실제 실험 파형은 Simulation에서 본 파형과 매우 유사하다. Power는 MPP지점을 중심으로 움직이고 있음을 알 수 있으며, 전압 파형의 차이는 PSIM과 Solar Array Simulator간의 전압-전류 곡선에 차이로 인해 발생하는 것이다. Switching 주파수는 약 57kHz이며, 전력 변환 효율은 약 98.97%로써 앞서 PSIM을 통해 살펴본 바와 같이 MPPT Performance가 우수함을 확인할 수 있다. 여기에서 Switching 주파수를 높이고, Sample-and-Hold의 Sampling 주파수를 높인다면 전력 변환 효율은 더욱 높아질 것으로 예상된다.

### 3. 결론

태양전지는 전류-전압, 전력-전압의 관계가 비선형 특성을 가지고 있고 외부조건(온도, 일사량)에 의해서 최대전력점이 수시로 변화하므로 태양전지로부터 최대전력을 얻는 것은 중요한 일이다. 기존 MPPT 제어기법은 Digital 제어방법인 P&O와 IncCond와 같이 전력값의 이산된 현재값과 이전값의 미소 변동차를 측정하여 스위치 동작을 결정하는 방법이었다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서 제안된 MPPT 제어 방식은 메모리를 사용하지 않고 간단한 아날로그 회로를 이용하여 MPPT 제어를 한다. 제안된 방식은 Solar Array의 전압-전력 특성 곡선으로부터 Duty Ratio의 증감 경향을 결정하여 동작하고, 이를 PSIM Simulation과 실험을 통해서 빠르게 MPP를 추종하고 전력 변환 효율이 높음을 확인하였다. 제안된 아날로그 MPPT 방식은 소용량 시스템 및 독립형 시스템에 적용하기에 가격적 측면에서 유리한 것으로 판단되며, 알고리즘에 대한 원리가 간단하기 때문에 DSP를 이용하여 대용량 시스템에서도 기존 제어기법보다 쉽게 구현할 수 있는 장점을 가진다.

이 논문은 삼성전기(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

### Reference

- [1] C. R. Sullivan and M. J. Powers, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic array in a solar-powered race vehicle", ZProceedings of the IEEE, pp,574~580, 1993.
- [2] O.Wasynczuk, "Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems," IEEE Trans. Power Applicat. Syst., vol. PAS-102, pp. 3031-3037, Sept. 1983.
- [3] P. Huynh and B. H. Cho, "Design and analysis of a microprocessor controlled peak-power-tracking system," IEEE Trans. Aerosp. Electron.Syst., vol. AES-32, pp. 182-190, Jan. 1996.
- [4] Kasemsan Siri, Vahe A. Caliskan, C. Q. Lee "Maximum Power Tracking in Parallel Connected Converters", IEEE Transaction on Aerospace and Electronic systems, vol. 29, No 3, July 1993.