

# 가변 스텝 사이즈를 적용한 P&O 방식 기반의 고효율 MPPT 알고리즘 연구

정가준, 조종민, 이정섭, 차한주  
충남대학교

## A Study on High-Efficiency MPPT Algorithm Based on P&O Method with Variable Step Size

Jiajun Ding, Jongmin Jo, Jungsub Lee, Hanju Cha  
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

### ABSTRACT

본 논문은 최대 전력점을 추종하는 기존 P&O 방식의 동적 응답 특성을 향상시키기 위해 가변 스텝 사이즈를 적용한 P&O 방식 기반의 MPPT 알고리즘을 제안하였으며, 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증하였다. 제안된 알고리즘은 듀티 제어를 통해 최대 전력점을 추종하며, 2가지 동작모드로써 가변 스텝 모드와 고속모드로 구성된다. 일사량이 일정한 경우, 가변 스텝 모드에서 듀티의 스텝 사이즈 감소를 통해 최대 전력점에서 동작점의 전압변동이 작아짐에 따라 진동이 감소하여 발전 효율이 증가한다. 일사량이 변동하는 경우, MPPT 오류를 피하기 위해 듀티와 PV 전압은 일정하게 유지하며, 일사량 변화가 끝난 시점에서 고속모드 동작을 통해 빠르게 최대 전력점으로 추종한다. 최대 전력점에 도달하면 가변 스텝 모드로 변경하여 듀티 스텝 사이즈를 감소시켜 최대 전력점을 추종한다. PV 패널, 부스트 컨버터로 구성된 PV 시스템의 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

태양광 발전은 청결하고 효율적인 특성으로 인해 널리 연구되고 있으며 태양광 발전 시스템에서 PV(photovoltaic) 모듈의 특성 곡선은 일사량 및 온도와 관련이 있다. PV 시스템이 동작할 때, 동작점은 PV 모듈의 특성 곡선을 따라 이동하며, PV 모듈의 출력이 최대 값에 도달하면 이 점을 최대 전력점(maximum power point: MPP) 이라고 한다. PV 모듈의 출력은 환경의 일사량과 온도의 변화에 따라 변할 수 있기 때문에 최대 전력점 추종(maximum power point tracking: MPPT)을 통해 PV 시스템을 실시간으로 제어하여 최대 전력을 유지할 필요가 있다. 최근 연구자들은 MPPT 기술에 대한 연구를 많이 하였으며 다양한 MPPT 알고리즘을 개발하였다. 가장 보편적인 MPPT 방식은 P&O(perturb and observe) 방식 및 INC(incremental conductance) 방식이 있다. P&O 방식은 간단한 구조를 갖고 있으며 PV 모듈의 전압을 변경시켜 출력 전력을 변경하여 다른 전압에서 출력 전력을 비교하여 최대 전력의 동작점 전압을 결정한다. INC 방식은 PV 모듈의 전압변동을 통해 PV 시스템의 동작점을 PV 모듈의 특성 곡선을 따라 이동시키며, 동작점의 기울기가 0 일 때 동작점이 최대 전력점에 도달한다. INC 방식은 P&O 방식보다 복잡하며 계산량이 많다. 일사량 및 온도 변화로 인해 PV 모듈의 특성 곡선이 변동될

때 MPPT 알고리즘에 따라 이동한 동작점의 드리프트 현상이 발생할 수 있고 동작점이 최대 전력점의 반대 방향으로 이동하여 PV 시스템의 효율이 감소한다<sup>[1]</sup>. 따라서 알고리즘을 개선하고 드리프트 문제를 해결하는 연구가 필요하다. 또한 MPPT의 추종 속도와 최대 전력점에 도달한 후 정상 상태의 효율은 전압변동의 스텝 사이즈에 의해 결정될 수 있다. 스텝 사이즈가 크면 추종 속도가 빠르지만 동작점이 최대 전력점에서의 진동이 크고 정상 상태 효율이 낮다. 스텝 사이즈가 작으면 추종 속도가 느리지만, 동작점이 최대 전력점에서의 진동이 작고 정상 상태 효율이 높다. 조건에 따라 스텝 사이즈를 조정할 수 있는 가변 스텝 사이즈는 MPPT의 추종 속도와 정상 상태 효율을 모두 고려할 수 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문은 P&O 방식을 이용하여 MPPT 알고리즘을 제안하였으며 PV 모듈의 특성 곡선이 변할 때 드리프트 현상을 고려하여 알고리즘을 개선하였다. 또한 가변 스텝 사이즈를 사용하여 기존 P&O 방식에서 MPPT의 동특성이 최적화되고 추종 속도 및 정상 상태 효율을 개선하였으며 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

### 2. 고효율 MPPT 알고리즘

본 논문에서 제안된 가변 스텝 사이즈를 적용한 P&O 방식 기반의 MPPT 알고리즘은 듀티 제어를 통해 전압을 변경하여 PV 모듈의 최대 출력 전력을 추종한다. 제안된 알고리즘은 2가지 동작 모드로써 고속모드와 가변 스텝 모드로 구성되며, 흐름도는 그림 1과 같다.

#### 2.1 고속모드

MPPT가 초기 상태에서 시작될 때 또는 PV 모듈의 특성 곡선이 변동될 때에는 고속모드에서 동작한다. 고속모드에서 듀티의 스텝 사이즈는 큰 고정 값인  $D_{fast}$  이며 최대 전력점에 빠르게 도달할 수 있다. 임계 값  $dp_{th}$ 를 설정하며 전압변동으로 인한 전력변동의 값이 임계 값을 2번 초과하면 일사량이 변경되고 PV 모듈의 특성 곡선이 변동된 것으로 간주된다. 그 후 MPPT가 고속모드로 변경되고 새로운 최대 전력점을 빠르게 추종한다. 일사량이 변할 때 PV 모듈의 특성 곡선은 그림 2와 같으며, 특성 곡선의 변동으로 인한 동작점의 드리프트를 방지하기 위해 본 논문에서는 일사량이 변할 때 듀티와 PV 전압을 일정하게 유지하도록 설계하였다. 따라서 특성 곡선이 변동한

후 동작점이 새 특성 곡선에 수직으로 이동하여 드리프트 현상을 피할 수 있는 장점을 갖는다.

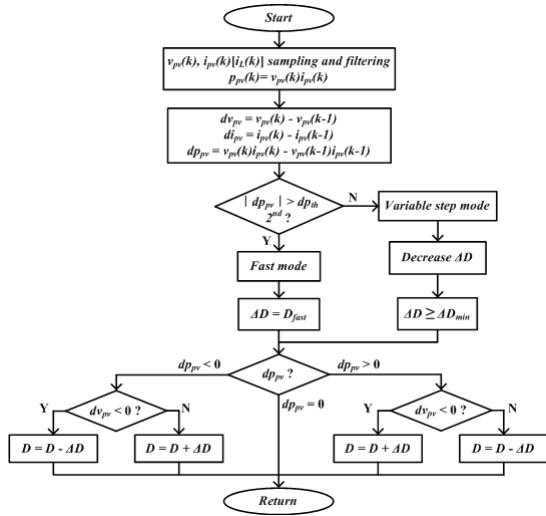


그림 1 제안된 MPPT 알고리즘의 흐름도  
Fig. 1 Flowchart of the proposed MPPT algorithm

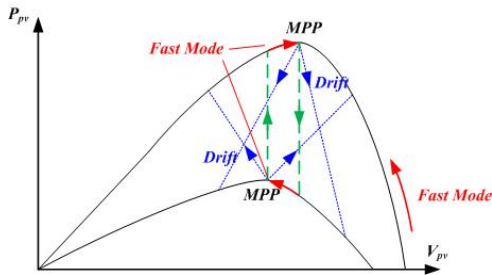


그림 2 PV 모듈의 특성 곡선 변동 및 고속모드 동작  
Fig. 2 Variation of characteristic curve of PV module and fast mode operation

## 2.2 가변 스텝 모드

가변 스텝 모드는 동작점이 최대 전력점에서 멀리 있을 때 큰 스텝 사이즈를 사용하여 최대 전력점에 도달하는 시간을 줄이고, 동작점이 최대 전력점에 가까울 때 작은 스텝 사이즈를 사용하여 진동을 줄이고 효율을 향상시킨다. 고속모드에서 움직이던 동작점이 최대 전력점에 도달하면 가변 스텝 모드로 전환한다. 가변 스텝 모드에서 듀티의 스텝 사이즈는 고속모드의 큰 스텝  $D_{fast}$  부터 감소하기 시작하고 설정된 최소 값  $\Delta D_{min}$  까지 감소한다. 가변 스텝 모드에서 스텝 사이즈의 조정은 계산된 전력 차의 부호와 관련이 있으며  $sign$  함수를 사용한다. 전력 차이가 0보다 작으면  $sign$ 는 -1이 되고, 전력 차이가 0보다 크면  $sign$ 는 +1이 된다.

그림 3은 MPPT 동작에 따른  $sign$ 의 가능한 케이스이다. 그림 3(a)에서  $sign[dp_{pv}(k)]$ 와  $sign[dp_{pv}(k-1)]$ 는 모두 1이며 동작점은 최대 전력점으로 이동한다. 그림 3(b)와 그림 3(c)에서  $dp_{pv}(k)$ 와  $dp_{pv}(k-1)$ 의 부호는 반대이며, 동작점은 최대 전력점에 도달하고 지나간다. 그림 3(d)에서  $sign[dp_{pv}(k)]$ 와  $sign[dp_{pv}(k-1)]$ 는 모두 -1이며, 동작점은 최대 전력점과 반대 방향으로 이동한다. 그림 3에 따라  $sign$ 의 합계의 절대

값은 0 또는 2임을 알 수 있으며, 스텝 사이즈를 감소하기 위한 비례 계수는 상황에 따라 0에서 1까지 설정될 수 있다. 스텝 사이즈는 그림 3(a)와 (d)의 경우 때마다 동일하게 유지되며, 그림 3(b)와 (c)의 경우 때마다 동작점이 최대 전력점을 지나가고 스텝 사이즈는  $\Delta D_{min}$  까지 비례로 감소한다.

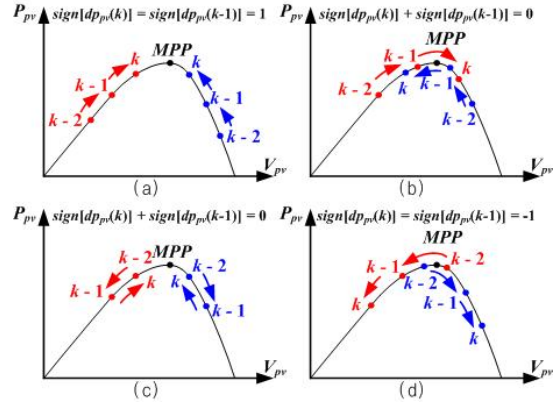


그림 3 MPPT 동작에 따른  $sign$ 의 가능한 케이스  
Fig. 3 Possible cases of  $sign$  according to MPPT operation

제안된 MPPT 알고리즘은 일사량이 변할 때 PV 전압은 변하지 않고, 일사량 변화가 끝난 후 변동된 PV 특성 곡선에서 고속모드를 통해 최대 전력점에 도달하는 시간이 감소된다. 최대 전력점에 도달하면 동작 모드는 가변 스텝 모드로 전환되며 최대 전력점에서의 진동이 감소되고 PV 시스템의 효율이 향상된다.

## 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

### 3.1 시뮬레이션 결과

그림 4는 PV 시스템의 시뮬레이션 회로이며 PV 패널, DC 링크 커패시터, 부스트 컨버터 및 부하로 구성된다.

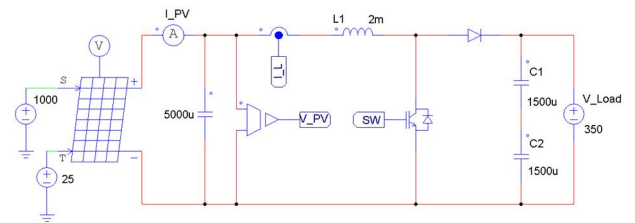


그림 4 PV 시스템 시뮬레이션 회로  
Fig. 4 Simulation circuit of PV system

그림 5는 MPPT가 초기 상태에서 시작되는 시뮬레이션 결과이며, 소프트 스타트를 확인하였고 MPPT가 고속모드에서 시작하고 가변 스텝 모드로 전환하는 것을 확인하였다. 듀티의 스텝  $\Delta D$ 가  $D_{fast}$  부터 최소 값  $\Delta D_{min}$ 로 감소하는 것을 확인하였다. 그림 6은 일사량이 변동된 후 MPPT의 시뮬레이션 결과이며 일사량은 5s 때  $1000W/m^2$ 에서  $500W/m^2$ 로 감소된다. 일사량이 변동된 후 듀티와 PV 전압이 일정하게 유지되고 MPPT가 다시 고속모드로 전환한 다음에 가변 스텝 모드로 들어가는 것을 확인하였다. 듀티의 스텝  $\Delta D$ 가 0으로 변하고 고

속모드의  $D_{fast}$  로 전환한 다음에 최소 값  $\Delta D_{min}$  로 감소하는 것을 확인하였다. 제안된 MPPT 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

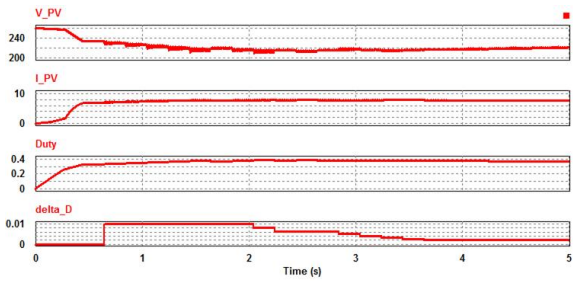


그림 5 초기 상태에서 시작되는 MPPT의 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 Simulation results of MPPT starting from initial state

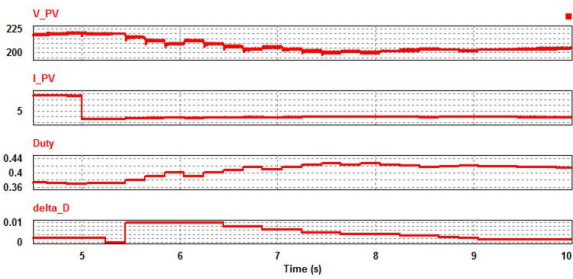


그림 6 일사량이 변할 때 MPPT의 시뮬레이션 결과  
Fig. 6 Simulation results of MPPT when solar irradiance changes

### 3.2 실험 결과

제안된 MPPT 알고리즘을 사용하여 실험을 수행하였으며 실험장비의 구성은 그림 7과 같다.

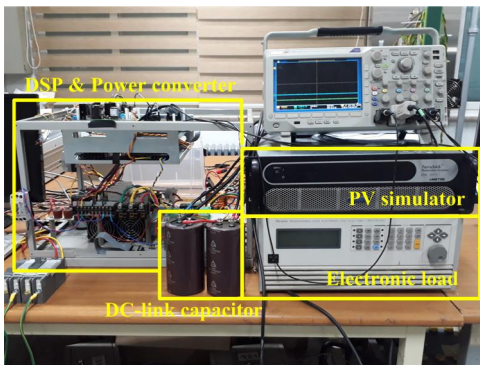


그림 7 실험장비 구성  
Fig. 7 Configuration of experimental equipment

그림 8은 MPPT가 초기 상태에서 시작되는 실험 결과이다. MPPT가 고속모드에서 동작하기 시작하고 동작점이 최대 전력점에 도달하면 가변 스텝 모드로 전환하는 것을 확인하였으며 듀티의 스텝  $\Delta D$ 가  $D_{fast}$  부터 최소 값  $\Delta D_{min}$ 로 감소하는 것을 확인하였다. 그림 9는 일사량이  $1000W/m^2$ 에서  $500W/m^2$ 로 감소될 때 MPPT의 실험 결과이다. 일사량이 변동된 후 듀티와 PV 전압이 일정하게 유지되며, MPPT가 고속모드로 전환한 다음에 가변 스텝 모드로 들어가는 것을 확인하였다.  $\Delta D$

가 0으로 변하고  $D_{fast}$  로 전환한 다음에 감소하는 것을 확인하였다. 제안된 MPPT 알고리즘은 실험을 통해 검증되었다.

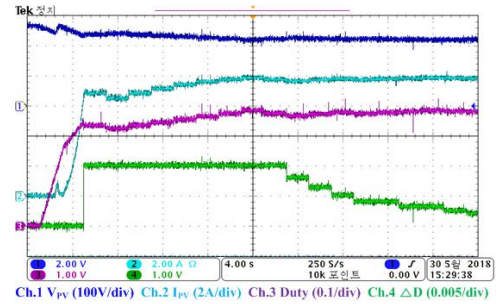


그림 8 초기 상태에서 시작되는 MPPT의 실험 결과  
Fig. 8 Experimental results of MPPT starting from initial state

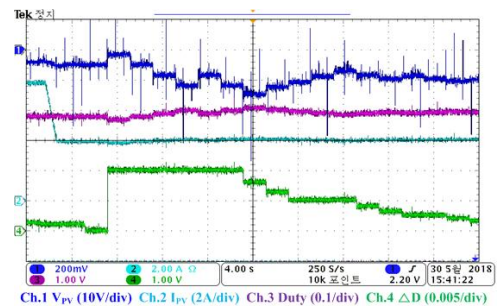


그림 9 일사량이 변할 때 MPPT의 실험 결과  
Fig. 9 Experimental results of MPPT when solar irradiance changes

## 4. 결론

본 논문은 PV 시스템의 MPPT 효율을 향상시키기 위해 가변 스텝 사이즈를 적용한 P&O 방식 기반의 MPPT 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에 따라 일사량이 일정한 경우, 가변 스텝 모드에서 듀티의 스텝 사이즈 감소를 통해 최대 전력점에서 동작점의 진동이 감소하여 효율이 증가하며 일사량이 변동한 경우, 드리프트 현상을 피하기 위해 듀티와 PV 전압은 일정하게 유지한 다음에 고속모드 동작을 통해 빠르게 최대 전력점으로 추종한다. 최대 전력점에 도달하면 가변 스텝 모드로 변경하여 듀티 스텝 사이즈를 다시 감소시킨다. 시뮬레이션 및 실험을 통해 MPPT 동작 모드의 전환과 듀티 스텝 사이즈의 변화를 확인하였으며 제안된 알고리즘을 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] Yuxiang Shi, Rui Li, Yaosuo Xue, Hui Li, "High Frequency Link Based Grid Tied PV System With Small DC Link Capacitor and Low Frequency Ripple Free Maximum Power Point Tracking", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 31, NO. 1, Page: 328 339, 2016
- [2] Sathish Kumar Kollimalla, Mahesh Kumar Mishra, "Variable Perturbation Size Adaptive P&O MPPT Algorithm for Sudden Changes in Irradiance", IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 5, NO. 3, Page: 718 728, 2014