

일사량 변화 시 동적응답 특성 향상을 위한 가변 스텝 사이즈 기반의 P&O 알고리즘

심우식, 조종민, 차한주
충남대학교

P&O Algorithm based on Variable Step Size for Improvement of Dynamic Response Characteristics in Change of Insolation

Woosik Sim, Jongmin Jo, and Hanju Cha

Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 일사량 변화 시, 최대 출력점을 추종하는 태양광 발전시스템의 동적 응답특성을 향상시키기 위해 가변 스텝 사이즈 기반의 P&O (perturb & observe) 알고리즘을 제안하였다. 제안된 기법은 일사량과 PV (photovoltaic) 전류 관계로부터 일사량 변화에 따른 최대 전력점 전류 I_{MPP} 변화 특성을 이용하여, 새로운 I-V 곡선에서 PV 동작점을 최대 출력점으로 빠르게 이동시키는 고속모드와 정상상태 부근에서 정상상태 효율 향상을 위한 가변 스텝 모드로 구성된다. 시뮬레이션 및 실험을 통해 $500W/m^2$ 와 $1000W/m^2$ 일사량 증감 조건에서 제안된 MPPT(maximum power point tracking) 기법의 추종 성능을 검증하였으며, MPPT 주기가 2초이고 일사량 $500W/m^2$ 과 $1000W/m^2$ 증감을 할 때 추종시간은 약 30초 정도이며, 정상상태 PV 전압변동은 약 0.1V로써 일사량 변화 조건에서 제안된 MPPT 기법의 알고리즘 성능을 검증하였다.

1. 서론

기존의 태양광발전은 청결하고 효율적인 특성으로 인해 많은 연구가 되고있는 친환경적인 신재생에너지이며, 일반적으로, 태양광발전시스템에서 PV(photovoltaic) 모듈의 특성 곡선은 일사량 및 온도와 밀접한 관련성이 있다. 태양광발전시스템은 동작점이 태양광 모듈의 특성 곡선을 따라 이동을 하며 동작점이 PV 모듈의 출력이 최대값에 도달할 때 이 점을 최대 전력점(maximum power point: MPP) 이라고 한다. 태양광을 이용하여 전력을 발생하는 태양광 인버터에서 중요한 기법 중의 하나가 최대전력점 추종(maximum power point tracking: MPPT) 기법이다. 최근 MPPT 기술에 대해 많은 연구가 진행되고 있으며, 다양한 알고리즘을 연구자들이 개발하였다. 이러한 기법은 P&O (Perturbation and Observation) 기법, INC (Incremental Conductance) 기법, Fuzzy 기법 등의 여러 가지가 있는데 가장 보편적으로 사용하는 기법은 P&O 방식이다. P&O 방식은 PV 모듈의 출력전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 이전의 출력전력과 현재의 출력을 비교하여 최대 전력점을 찾는 방식의 간단한 구조를 갖고 있다. INC 방식은 측정된 전압과 전류를 통해 PV 어레이의 출력을 계산하고 전압의 변화량과 출력 전력의 변화량에 따라 동작점을 증가시키며 최대 전력점을 추종하는 제어기법이며 동작점의 기울기가 0 일 때 동작점이 최대 전력점에 도달한다. INC 방식은 P&O 방식보다 복잡하며 계산량이 많다.

태양전지의 출력은 주변 환경의 일사량 및 온도 변화에 따라 변할수 있기때문에 최대 전력점 추종을 통해 태양광발전시스템을 실시간으로 제어하여 최대 전력을 유지해야한다. 따라서 알고리즘을 개선하여 일사량 및 온도 변화로 인해 태양전지의 특성곡선이 변동이 될 때 태양전지의 최대 출력 전력을 추종하는 기법이 필요하다. 일사량 및 온도 변화 시 최대 전력점 운전을 할수 있도록 일사량과 온도에 대한 값을 직접 측정하거나 통신을 통해 전달받고, 이 정보를 바탕으로 최대 전력점 전류 I_{MPP} 에 대한 값을 직접 계산하거나 룩업 테이블(Lookup Table)에서 가져와 일사량 및 온도 변동에 검출에 사용이 되는 방법을 고려할 수 있다. I_{MPP} 를 통해서 일사량 및 온도 검출이 되면 최대 전력점 추종을 위해 큰 스텝 사이즈와 작은 스텝 사이즈를 조절할 수 있는 가변 스텝 사이즈로 최대 전력점 추종 속도와 정상 상태 효율을 모두 만족시킬 수 있다.^{[1]-[2]}

본 논문은 태양광 환경에서 최대 전력점 운전을 할 수 있도록 일사량에 대한 값을 측정하여서 이 정보를 바탕으로 최대 전력점 전류 I_{MPP} 에 대한 값으로 일사량 변동의 검출에 사용할 수 있도록 고려하여 알고리즘을 개선하였다. 또한 가변 스텝 사이즈를 적용한 P&O 방식 기반의 MPPT 기법을 적용하여 듀티 제어를 통해 전압을 변경하여 태양전지의 최대 출력 전력을 추종하며, 태양광발전시스템의 발전 효율을 개선하였으며 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

2. 태양광 시스템 구성 및 특성

2.1 태양광 시스템 구성

그림 1은 태양광발전시스템의 구성회로를 보여주는 것으로 태양광 패널, 부스트컨버터, 3상 2레벨 인버터로 구성된다. 부스트컨버터는 태양광패널 전압의 동작 범위를 넓히기 위해서 부스트 컨버터를 적용하였으며 3상 2레벨 인버터는 DC 전력을 계통으로 AC 전력을 공급하는 역할을 한다.

2.2 일사량 및 온도 변화에 따른 P-I 특성 곡선

그림 2는 일사량 변화에 따른 P-I 특성 곡선을 보여주며 I_{MPP} 의 변화를 볼수 있다. 일사량 $600W/m^2$, $800W/m^2$, $1000W/m^2$ 의 일사량 변화에 따라 최대 전력점 지점의 전류 I_{MPP} 변동이 큰 것을 볼 수 있다. 태양광발전시스템에서 PV 모듈의 특성 곡선은 일사량에 관련이 있어서 최대 전력점도 일사량에 따라서 동작점 변동이 크다. 그림 3은 온도에 따른 P-I 특성 곡선이며 I_{MPP} 의 변화를 볼 수 있다. 온도 $60^\circ C$, $40^\circ C$, $25^\circ C$

의 온도 변화에 따라 최대 전력점 지점의 전류 I_{MPP} 의 변동이 작은 것을 볼 수 있는 P-I 특성 곡선이다. 온도 변화에 따른 태양광발전 PV 모듈 특성곡선의 최대 전력점의 변화가 있지만 일사량의 변화에 비해 특성곡선의 동작점의 변동이 작다.

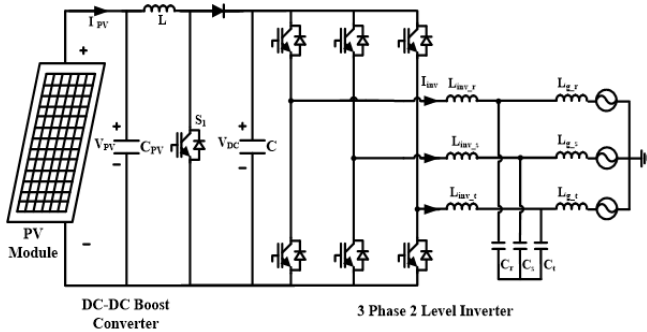


그림 1 태양광발전시스템 구성 회로
Fig. 1 Configuration of photovoltaic system

3. 일사량 변화 시 MPPT 알고리즘

그림 4는 본 논문에서 제안하는 MPPT 알고리즘의 흐름도이다. 일사량과 온도 변화 시 동적응답 특성 향상을 위한 가변 스텝 사이즈 기반인 P&O 알고리즘으로 듀티 제어를 통해 태양전지 전압을 변경하여 PV 모듈의 최대 출력 전력을 추종한다. 일사량과 온도의 변화가 있을 때 I_{MPP} 를 식 (1)에서 일사량과 온도의 함수로 계산하여 I_{MPP} 를 도출한다. 계산된 I_{MPP} 와 $i_{pv}(k)$ 를 비교해서 차이가 ΔI_{th} 이상이면 일사량이 변한 것을 판단하여 변화된 일사량으로 인해 새로이 변경된 최대 전력점을 추종한다. 동작모드는 2가지로써 고속모드와 가변 스텝 모드로 구성되며 변동된 PV 특성 곡선에서 움직인다. 그림 5는 MPPT 모드 전환을 위한 판별 기준이며 고속모드로 움직이던 동작점이 최대 전력점에 2번 도달하면 가변스텝 모드로 전환한다. 가변 스텝 모드에서 듀티의 스텝 사이즈는 고속모드의 큰 스텝 D_{fast} 부터 감소하기 시작하고 설정된 최소 값 ΔD_{min} 까지 감소한다. PV 전력은 최대 전력점에서 진동이 감소되므로 PV 시스템의 효율이 향상된다.

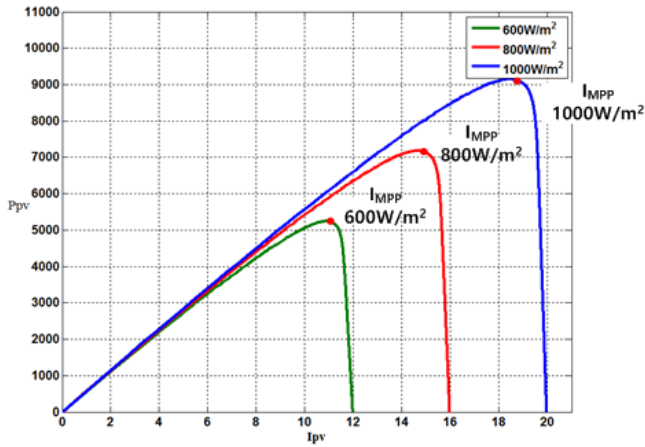


그림 2 일사량 변화에 따른 I_{MPP} 의 변화
Fig. 2 The change of I_{MPP} according to solar radiation

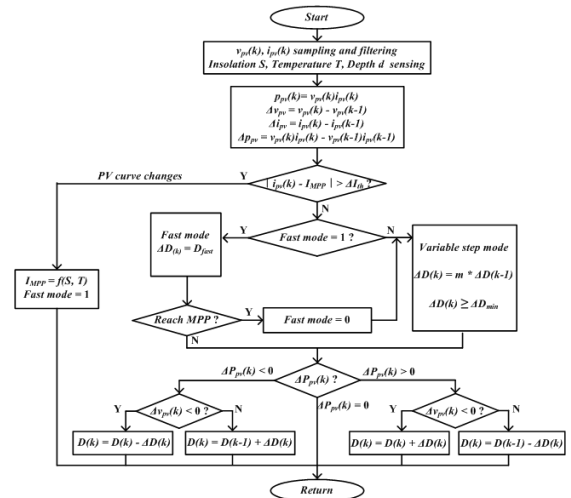


그림 4 제안된 MPPT 알고리즘의 흐름도
Fig. 4 Flowchart of the proposed MPPT algorithm

$$I_{MPP} = f(S, T) \quad (1)$$

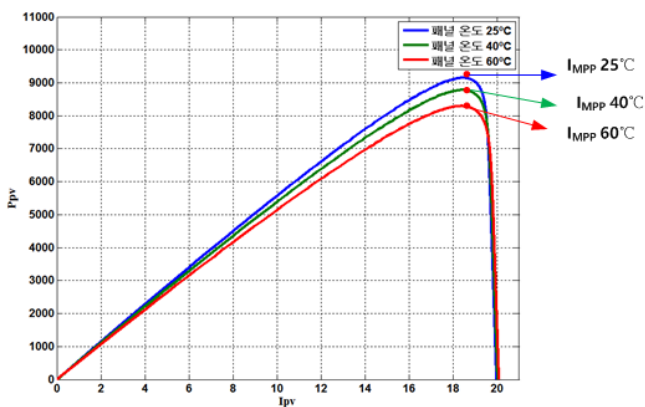


그림 3 패널 온도 변화에 따른 I_{MPP} 의 변화
Fig. 3 The change of I_{MPP} according to Panel temperature

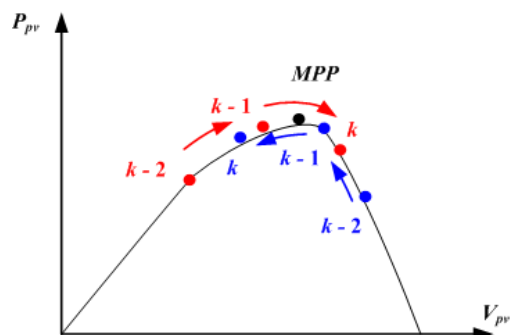


그림 5 MPPT 모드 전환을 위한 판별 기준
Fig. 5 MPPT mode switching standard

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

4.1 시뮬레이션 결과

그림 6은 PSIM을 이용한 일사량 변화 시 PV 시스템의 시뮬레이션 회로이며 PV 패널, DC링크 커패시터, 부스트 컨버터 및 부하로 구성된다.

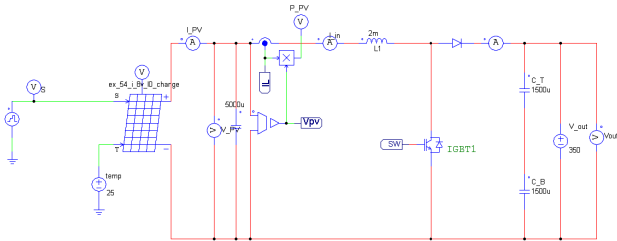


그림 6 PSIM을 이용한 일사량 변화 시 PV 시스템 시뮬레이션 회로
Fig. 6 Simulation circuit of PV system in case of solar irradiance change using PSIM

그림 7은 태양광 시스템의 PV 모듈에서 일사량 변화 시 일사량의 함수로 계산을 하여 I_{MPP} 를 구하여 일사량 변화를 판단한 시뮬레이션 결과이다. 실제 일사량은 4초 일때 $1000W/m^2$ 에서 $500W/m^2$ 로 감소되며, 다음주기에서 일사량이 변화를 인식하면 $1000W/m^2$ 에서 $500W/m^2$ 로 감소된다. 계산된 I_{MPP} 의 정보를 받은 후 전류는 실제 전류보다 2초 뒤에 전류가 감소하는 것을 확인하였다. 듀티의 스텝 ΔD 는 일사량 정보를 받을 때 까지 0으로 변하고 고속모드의 D_{fast} 로 바뀌고 최소값 ΔD_{min} 로 점차 감소하는 것을 확인하였다. 제안된 MPPT 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

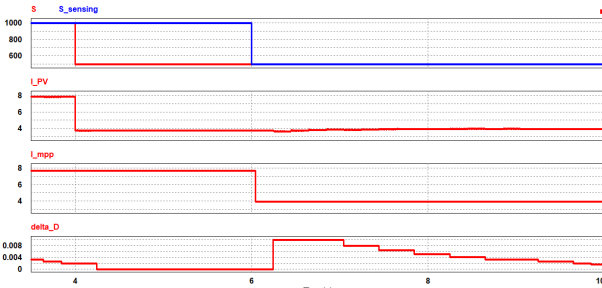


그림 7 일사량 변화를 판단한 시뮬레이션 결과
Fig. 7 Simulation result of solar radiation change

4.2 실험 결과

그림 8은 제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위한 실험구성이다. 그림 9는 태양광 시스템의 PV 모듈에서 일사량 변화 시 일사량의 일정한 함수의 수식으로 계산을 하여 I_{MPP} 를 구하여 일사량 변화를 판단한 실험에 대한 결과이다. 실제 일사량이 $1000W/m^2$ 에서 $500W/m^2$ 로 감소되고, 다음 주기에서 일사량이 변화를 인식하면 일사량이 $1000W/m^2$ 에서 $500W/m^2$ 로 감소된다. 계산된 I_{MPP} 의 정보를 받은 후 전류는 실제 전류보다 후에 전류가 감소하는 것을 확인하였으며, 듀티의 스텝 ΔD 는 일사량 정보를 받을 때 까지 0으로 변하고 고속모드의 D_{fast} 로 바뀌고 최소값 ΔD_{min} 로 점차 감소하는 것을 확인하였다. 제안된 MPPT 알고리즘 동작을 실험을 통해 검증하였다.

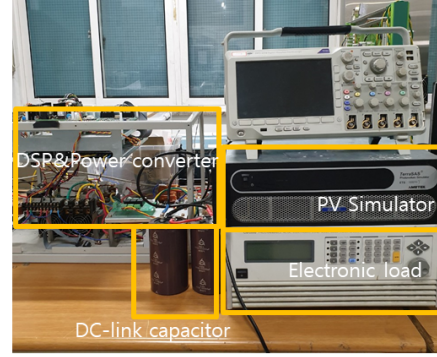


그림 8 실험장비 구성
Fig. 8 Configuration of experimental equipment

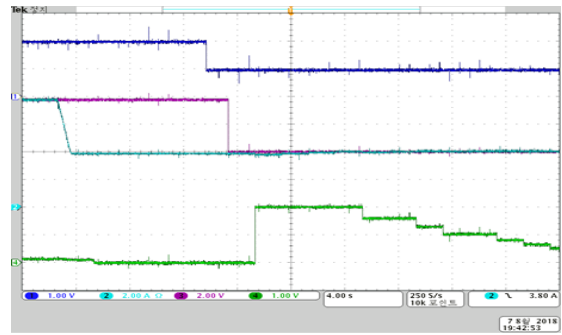


그림 9 일사량 변화를 판단한 실험 결과
Fig. 9 Experimental results of solar radiation changes

5. 결론

본 논문은 태양광 시스템의 PV 모듈에서 일사량 변화 시 동적응답 특성의 향상을 위한 가변스텝 사이즈 기반인 P&O 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에 따라 일사량과 PV 전류 관계로부터 일사량 $500W/m^2$ 과 $1000W/m^2$ 증감 시 변화에 따른 최대 전력점 I_{MPP} 변화 특성을 이용하며, 새로운 I-V 곡선에서 고속모드에서는 PV 동작점을 최대 출력점으로 빠르게 이동시키고 가변 스텝 모드로 들어가서 정상상태 부근에서 정상상태 효율을 향상시킨다. 시뮬레이션 및 실험을 통해 일사량 $500W/m^2$ 과 $1000W/m^2$ 증감 시 계산된 I_{MPP} 의 정보를 받은 후 전류는 실제 전류와 같은 값이 변동되는 것을 확인하였으며 MPPT 동작 모드의 전환과 듀티 스텝 사이즈의 변화를 확인하였으며 제안한 알고리즘을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 정가준, 조종민, 이정섭, 차한주 “가변 스텝사이즈를 적용한 P&O 방식 기반의 고효율 MPPT 알고리즘 연구”, 2018학계 전력전자 학술대회, pp.120-122, 2018, 7
- [2] S. K. Kollimalla, M. K. Mishra, “Variable Perturbation Size Adaptive P&O MPPT Algorithm for Sudden Changes in Irradiance”, IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 5, no. 3, pp. 718-728, July, 2014