

실제 일사프로파일에 근거한 PV 패널의 최적 MPPT 제어주기

류단비, 김용중, 정우용, †김효성

†공주대학교 전기전자제어공학부

Optimum MPPT Control Period for PV Panel based on Real Insolation Profile

Danbi Ryu, Yong Jung Kim, Woo Yong Jeong, †Hyosung Kim

†School of EE and control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

태양광발전시스템은 낮은 효율의 PV 패널을 사용하여 최대의 전력을 생산하기 위해 PV 패널의 최대전력점에서 운전하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어가 반드시 필요하다. 기존의 MPPT 알고리즘은 대부분 경사법에 기초하고 있으며 그 중 대표적인 방법이 P&O(Perturb and Observe) 알고리즘이다. P&O 알고리즘의 MPPT 성능을 좌우하는 두 가지 인수는 MPPT 제어주기와 변량전압의 크기이다. MPPT 제어기의 빠른 동특성과 극대화된 효율을 위한 최적의 MPPT 제어주기와 변량전압의 크기를 결정하기 위해서는 실제 날씨 환경에서 다양한 일사량 프로파일 패턴에 대한 MPPT 제어기의 성능분석이 필수적이다. 본 논문에서는 대한민국 중부지역의 전형적인 맑은 날씨와 흐린 날씨에서 실제 일사량을 측정하고, 취득한 일사량데이터를 기초로 저자가 개발한 다이오드 등가모델을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 기반으로 MPPT 제어주기의 설정값에 따른 PV 패널의 전력생산량을 예측하여 MPPT 목표 효율을 극대화할 수 있는 최적의 MPPT 제어주기를 제시한다.

1. 서론

태양광발전시스템은 낮은 효율의 설비를 사용하여 최대의 전력을 생산하기 위하여 PV 패널을 최대전력점에서 운전하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어가 반드시 필요하다. 더욱이 시시각각 일사량이 변화하는 실제적인 환경에서 태양광발전시스템이 최대전력을 생산하기 위해서는 빠르고 정확하게 MPP를 찾는 제어기가 요구된다. 기존의 MPPT 제어 알고리즘은 PV 패널의 운전점 변화에 따른 출력 전력의 기울기를 판단하여 최대전력 운전점을 찾아가는 경사법에 기반을 두며, 그 대표적인 것으로 P&O(Perturb and Observe) 알고리즘이 있다.^[1] 이러한 경사법 알고리즘은 일정한 MPPT 제어기마다 PV 패널의 단자전압을 일정한 변량으로 빼거나 더하는 변화를 주고, 그에 따른 PV 패널 출력전력의 변화를 계산하여, 최대 출력 전력을 향하여 PV 패널 단자전압의 다음 운전점을 찾아간다.

이러한 MPPT 제어기의 성능을 좌우하는 두 가지 인수는 MPPT 제어기의 제어주기와 변량전압의 크기이다. 다시 말해, MPPT 변량전압을 크게 설정하면 일사량이 변화할 때 빠르게 최대전력점을 찾아갈 수 있지만, 일사량이 변화하지 않는 안정된 상태에서 PV 패널 출력전력이 최대전력점을 중심으로 크게 진동하게 되며 전력생산에 손실이 발생한다. 반대로 변량전압

을 작게 설정하면 일사량이 변하지 않는 안정된 상태에서 PV 패널의 출력전력이 최대전력점 부근에서 작게 진동하게 되어 전력생산량을 안정되게 유지할 수 있으나, 구름이 많이 낀 흐린 날과 같이 일사량이 자주 변화하는 상황에서는 최대전력점을 미처 추종하지 못하여 전력생산에 큰 손실이 발생할 수 있다. 한편, MPPT 제어주기를 짧게 설정하면 변량전압을 작게 설정해도 MPPT 제어기의 동특성을 빠르게 할 수 있으나, 필요 이상으로 짧은 MPPT 제어주기는 MPPT의 성능개선에는 기여하지 못하면서 MPPT 설비의 비용과 제어기의 시간자원만 소모하는 문제를 일으킨다.

따라서 MPPT 제어주기에 따른 성능은 해당지역의 날씨조건에 영향을 받게 된다. 실제 날씨 환경에서 일사량의 변화가 심하다면 빠른 과도응답 특성을 위하여 MPPT 제어주기를 짧게 설정하여야 하지만, 일사량의 변화가 스무드하다면 MPPT 제어주기를 필요 이상으로 짧게 설정할 이유가 없는 것이다. 본 논문은 실제 날씨 환경에서의 일사량을 측정하여 프로파일을 구축하고 그에 따른 시뮬레이션을 수행하여 최적의 발전 효율을 도출할 수 있는 최적의 MPPT 제어주기를 제시한다.

2. 실제 날씨 환경의 일사량 분석

일사량을 측정하는 방법으로는 일사량계를 사용한 직접측정 방법과 PV 패널의 단락 전류 I_{SC} 가 일사량에 비례하는 특성을 이용하여 PV 패널의 I_{SC} 변화를 관찰함으로써 일사량의 변화를 간접적으로 추정하는 방법이 있다. 본 논문에서는 실험의 경제성과 효과성을 고려하여 간접측정 방법을 채택하였다. PV 패널의 단락 전류 I_{SC} 는 일사량에 비례하므로 날씨 변화에 따른 일사량 백분율(G)은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(t) = \frac{I_{SC/SEN}(t)}{I_{SC/NOM}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

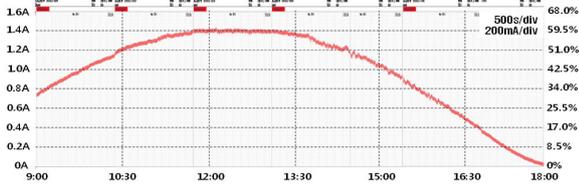
단, $I_{SC/SEN}(t)$: 실제 일사조건에서 측정된 PV패널의 단락전류

$I_{SC/NOM}$: 100% 일사 표준시험조건(STC)에서 PV패널의 단락전류

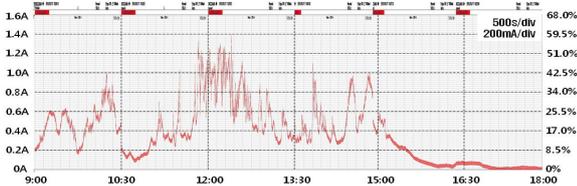
본 논문에서 일사량 분석에 사용된 PV 패널은 다결정 타입이며, 전기적 사양은 표 1과 같다. 하루 동안의 날씨 변화에 따른 일사량 분석을 위해 오전 9시부터 오후 6시까지 9시간 동안 일사량을 측정 하였다. 일사량의 샘플링 구간은 0.02초로 설정 하였다. 그림 1과 그림 2는 충남 천안시 맑은 날씨와 흐린 날씨의 일사량 프로파일을 나타낸 것으로 맑은 날은 일사량의 변화가 완만한 반면에 흐린 날은 일사량이 매우 불규칙적으로 급변하는 것을 확인할 수 있다.

[표 1] 실험에 사용한 PV 패널의 전기적 사양

Parameter	Value
Maximum power(P_{MPP})	20 [W]
MPP voltage(V_{MPP})	17.5 [V]
MPP current(I_{MPP})	1.14 [A]
Open circuit voltage(V_{OC})	21.5 [V]
Short circuit current(I_{SC})	2.36 [A]



[그림 1] 충남 천안시 맑은 봄날의 9시간 일사량 프로파일



[그림 2] 충남 천안시 흐린 봄날의 9시간 일사량 프로파일

[표 2] 날씨에 따른 샘플시간 중 적산일사량

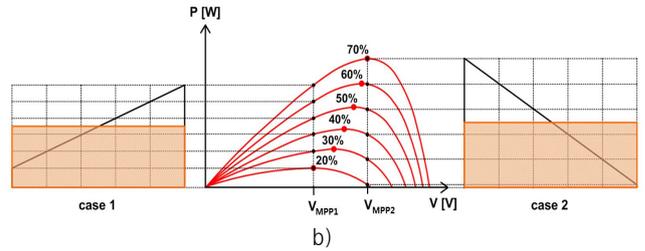
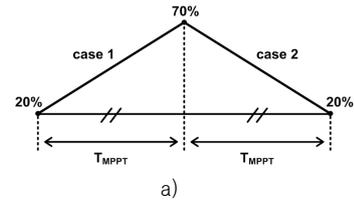
Weather condition	Insolation quantity		
	Real value [A.s]	Percentage [%]	
STC condition	57,595	100	
Real	Clear sky	24,015	41.70
	Cloudy sky	10,332	17.94

표 2는 1일 중 총 일사량을 약 7.7시간의 샘플시간에 대하여 적산한 것으로, 맑은 날의 총 일사량이 흐린 날에 비해 약 2.3 배 큰 것을 확인할 수 있다. PV 패널의 발전량이 이상적으로 일사량에 비례하는 것으로 가정한다면 맑은 날은 흐린 날에 비해 약 2.3배 발전량이 증가할 수 있음을 알 수 있다. 표 2에서 적산일사량의 백분율(G_{TOT})은 다음 식(2)와 같이 계산하였다.

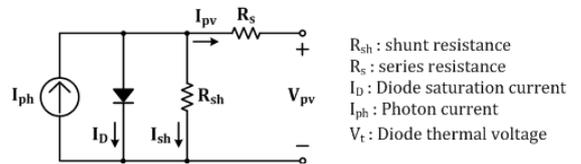
$$G_{TOT} = \int G(t) \cdot dt [\%] \quad (2)$$

3. PV 패널 모델에 의한 상세 추정법

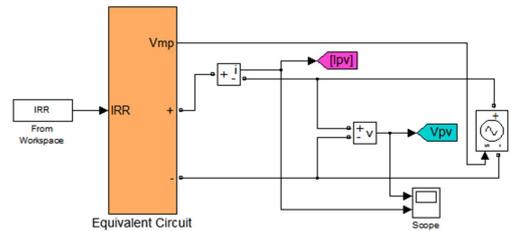
본 논문에서는 그림 1과 그림 2의 맑은 날과 흐린 날에 취득한 실제 날씨 환경에서의 일사량 데이터를 대상으로 MPPT 제어주기의 설정에 따른 PV 패널의 발전효율을 추정하여 태양 광발전의 기여하는 MPPT 제어주기의 특성을 비교 분석하였다. 사용 데이터는 날씨조건에 따른 일사량의 패턴이 확실히 구별되는 약 7.7시간 동안의 일사량 데이터를 기초로 분석을 수행한다. 취득한 일사량데이터를 기초로 저자가 개발한 다이오드 등가모델을 적용하여 각 MPPT 제어주기에서 취득한 일사량 정보로부터 매 샘플링 순간 PV 패널의 I V 특성커브를 시뮬레이션 하고, 각 MPPT 제어 주기에서 최대의 발전을 할 수 있는 MPP 전압을 적용하여 발전전력을 추산한다. 이때 모든 값은 비교를 위하여 백분율로 계산하여 단위를 일치시키도록 한다.



[그림 3] 이상적인 MPPT 제어가 PV패널에서 발전되는 전력량의 개념; a)일사량 프로파일, b)일사량 프로파일에 따른 PV 패널의 발전전력량



[그림 4] PV 패널의 다이오드 등가회로



[그림 5] Mat lab으로 구성한 PV 모델

그림 3은 MPPT 제어가 이상적으로 수행되었을 때 1주기의 MPPT 구간에서 PV 패널이 발전하는 전력량을 설명한다. 그림 3a)는 상정된 일사량 프로파일을 보인다. 그림 3a)의 Case1 MPPT 제어구간에서 일사량은 20%에서 70%로 선형적으로 상승하며, 반대로 Case2 MPPT 제어구간에서는 일사량이 70%에서 20%로 선형적으로 감소하는 것으로 가정하였다.

그림 3b)는 앞에서 가정한 일사 조건에서, MPPT 제어가 완벽하게 MPP 운전점을 추종하였다고 가정할 때 예상되는 발전전력량을 보인다. 예를 들어, Case1 MPPT 제어구간에서 MPPT 제어기는 초기 일사량인 20%의 조건에서 MPP 운전점인 V_{MPP1} 을 찾고 PV 패널의 단자전압을 그 전압에 고정시킨다. 따라서 MPPT 제어구간 내에서 일사량이 20%에서 70%로 선형적으로 증가하여도 PV 패널의 단자전압이 V_{MPP1} 에 고정되어 있으므로 발전전력량은 그림 3b)의 왼쪽과 같은 양상으로 증가하게 된다. 반대로 Case2 MPPT 제어구간에서 MPPT 제어기는 초기 일사량인 70%의 조건에서 MPP 운전점인 V_{MPP2} 을 찾고 PV 패널의 단자전압을 그 전압에 고정시킨다. 따라서 MPPT 제어구간 내에서 일사량이 70%에서 20%로 선형적으로 감소하여도 PV 패널의 단자전압이 V_{MPP2} 에 고정되어 있으므로 발전전력량은 그림 3b)의 오른쪽과 같은 양상으로 감소하게 된다. 그림 3b)에서 음영색으로 표시된 사각형은 각 일사량 패턴

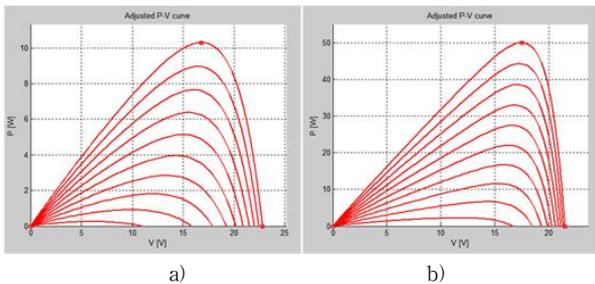
에서 MPPT 제어가 이상적으로 수행되었을 때에 각 경우의 발전전력량의 크기를 의미한다.

그림 4은 본 논문에서 채택한 PV 패널의 다이오드 등가회로이고 그림 5은 Matlab으로 구성한 PV 모델이다. PV 모델은 본 논문의 저자가 개발한 K Algorithm을 적용하여 구현하였다.^[2] 표 3은 본 논문의 시뮬레이션에서 적용한 PV 패널로서, 아몰퍼스 박막형 ASI 12 모델과 실리콘결정형 AT50 모델의 전기적 사양을 보인다. 그림 6은 K algorithm에 의하여 구축한 두 PV 모델의 P V 특성곡선을 보인다. 10%~100%의 일사량 변화에 대하여 아몰퍼스 박막형 PV 패널의 MPP 전압범위는 11~22.8[V]이고 결정형 PV 패널의 MPP 전압범위는 16.5~21.5[V]로서, 아몰퍼스 박막형 PV 패널의 MPP 전압범위가 더 넓은 것을 볼 수 있다. 따라서 그림 3에서 설명한 이론에 의하면 일사량의 변화가 격심한 흐린 날의 경우 아몰퍼스 박막형 PV 패널의 MPPT 효율은 결정형 PV 패널에 비하여 상대적으로 작아지며, MPPT 제어주기가 길어질수록 이러한 차이는 더욱 심화될 것이 예상된다.

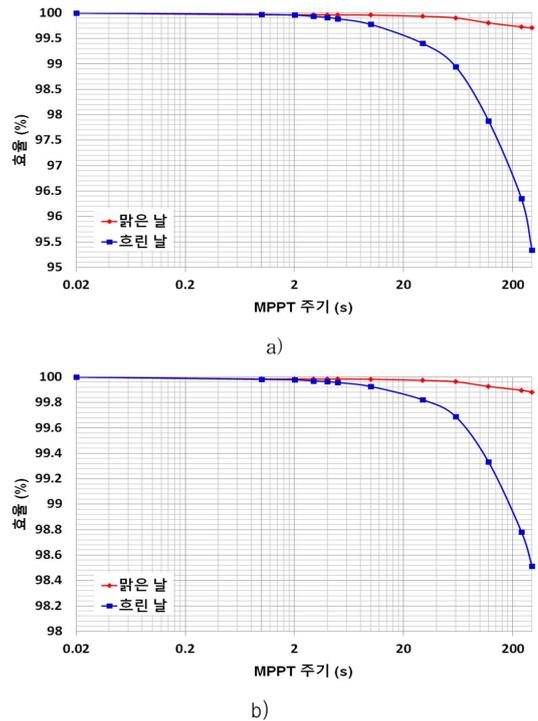
그림 7은 제안한 방법으로 추정한 맑은 날과 흐린 날에서 박막형 PV 패널 및 결정형 PV 패널의 MPPT 제어 주기와 MPPT 효율의 관계를 보인다. 전체적으로 볼 때 박막형 PV 패널보다 결정형 PV 패널의 MPPT 효율이 높게 나온다. 이러한 현상은 MPPT 제어주기가 길어질수록 더욱 심화되고 있다. 이는 그림 6의 박막형 PV 패널 및 결정형 PV 패널의 P V 특성곡선에서 MPP 전압범위의 차이에서 예상된다. 즉, 박막형 PV 패널은 결정형 PV 패널에 비하여 MPP 전압범위가 넓으므로 흐린날의 급격한 일사량변화에 상대적으로 잘 따라가지 못하는 것이다. 그림 7을 통해 두 PV 패널에서 MPPT 임계주기는 약 2초 정도에서 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 맑은 날과 흐린 날 모두에서 공통적으로 MPPT 효율이 크게 차이가 나기 시작하는 변곡점은 MPPT 제어주기가 약 4초를 넘어서는 시점인 것을 볼 수 있다. 이보다 큰 MPPT 제어주기에서 흐린 날에서의 MPPT 효율은 맑은 날에 비하여 급격히 낮아진다. 그러므로 맑은 날과 흐린 날에 유사한 MPPT 효율을 기대할 수 있는 최적의 MPPT 제어주기는 약 4초인 것으로 결론지을 수 있다.

[표 3] 시뮬레이션에 적용한 PV 패널의 전기적 사양

Parameter	PV module type	
	Thin film (ASI 12)	Si crystal (AT50)
Maximum power(P_{MPP}) [W]	10.30	86.06
MPP voltage(V_{MPP}) [V]	16.80	17.60
MPP current(I_{MPP}) [A]	0.613	4.89
Open circuit voltage(V_{OC}) [V]	22.80	21.50
Short circuit current(I_{SC}) [A]	0.808	5.31



[그림 6] PV 모델링에 의한 P-V 특성곡선; a) 박막형 ASI-12, b) 결정형 AT50



[그림 7] 상세 추정법에 의한 MPPT 제어 주기와 효율의 관계 분석; a) 박막형 ASI-12, b) 결정형 AT50

4. 결론

본 논문은 실제 날씨 환경에서 MPPT 목표 효율을 극대화할 수 있는 적절한 MPPT 제어주기를 결정하기 위한 연구 결과이다. 대한민국 중부지역의 전형적인 맑은 날씨와 흐린 날씨에서 일사량을 측정하였고 측정된 일사량 자료를 바탕으로 MPPT 제어주기에 따른 발전량을 시뮬레이션 하여 MPPT 효율을 분석하였다. 그 결과, 맑은 날과 흐린 날을 불문하고 모든 날씨 환경에서 높은 MPPT 효율을 가지며 MPPT 제어 연산 시간에 따른 손실을 최소화 하는 최적의 MPPT 제어 주기는 약 4초임을 확인하였다. 제안된 분석방법은 태양광발전소를 설치하고자 하는 지역의 연간 기상데이터를 기반으로 예상발전량을 예측하거나, 태양광발전용 PCS(power conditioning system)의 적절한 MPPT 제어주기를 결정하는데 활용할 수도 있다.

이 논문은 2016년도 정부(교육과학기술부)의 재원을 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (2016R1D1A3B01008279)

참고 문헌

- [1] Jung Sik Choi, Jae Sub Ko, Dong Hwa Chung, "Development of VPO MPPT of PV System Considering Shadow Influence" KIPE, vol. 16, no. 5, pp. 521-531, 2011.10
- [2] Hyunah Park, Yong Jung Kim, Hyosung Kim, "PV Cell Model by Single diode Electrical Equivalent Circuit" JEET, Vol. 11, No. 5, pp. 1323-1331, 2016.9