

부분 음영에서의 태양광 발전 효율을 높이기 위한 MPPT 전략

허철영* · 김용래* · 이영권** · 이동윤*** · 최 익**** · 최주엽*****

*광운대학교, 대학원생
**금비전자, 대표
***한국폴리텍대학, 교수
****광운대학교, 교수

MPPT Strategy to Improve Photovoltaic Power Generation Efficiency in Partial Shadows

Heo Cheol-Young* · Kim Yong-Rae* · Lee Young-Kwoun** · Lee Dong-Yun*** · Choy Ick**** · Choi Ju-Yeop*****

*Kwangwoon University, Graduate Student
**Keumbee Electronics, Representative
***Korea Polytechnic Colleges, Professor
****Kwangwoon University, Professor

†Corresponding author: juyeop@kw.ac.kr

Abstract

In order to increase the power generation efficiency of the photovoltaic system, a new algorithm that can follow the maximum power point of the photovoltaic power generation system having nonlinear output characteristics is proposed. Conventional maximum power point tracking (MPPT) algorithms such as Perturbation and Observation (P&O) and InCond (Increment and Conductance) schemes can not find the global maximum power point at a plurality of pole points in the unmatched state of unbalanced PV modules. However, even if the global maximum power point is found at a plurality of pole points, the global maximum power that can not be the real maximum power by the photovoltaic generation system. In order to solve this problem, a few PV companies propose installing several small PV inverters instead of if big one. However, since this will require additional costs, we herein propose a Multi-MPPT system using individual 3-point MPPT to track true MPPT at a plurality of pole points in the unmatched state of unbalanced PV modules.

Keywords: 태양광 인버터(PV inverter), 부분 음영(Partial shadow), 3-point MPPT, 국부적인 최대전력점 추종(Local MPPT), 다수모듈 최대전력점 추종(Multi-MPPT)

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

태양광 모듈간의 출력이 Fig. 1과 같이 불균형해지는 상황(표면 오염, 구름 및 나무에 의



OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.2, pp.1-9, April 2019
<https://doi.org/10.7836/kSES.2019.39.2.001>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 18 February 2019

Revised: 28 February 2019

Accepted: 28 February 2019

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

한 부분적 그림자 등)에서 발생하는 전력이 모듈 각각의 최대전력의 합보다 작아지게 되어 부분 음영에 의한 부정손실(Mismatch loss)이 발생한다.



Fig. 1 An example of the mismatched situation caused by partial shadow in PV array

태양전지의 미스매치 현상은 태양광 발전시스템의 발전효율을 악화시키며 이로 인한 모듈온도의 상승을 유발하여 장기적으로 수명을 단축시킨다¹⁾. 또한 정상상태의 태양전지의 경우 태양전지 특성곡선에서 하나의 국부점(Local maximum point)을 가지게 되지만, 이 상황에서는 다수의 국부점을 가지게 되어 정확하게 최대전력점을 추종하지 못하여 출력이 저하되므로 이를 시정하기 위한 새로운 MPPT 기법이 필요하다. 기존에 다양한 MPPT 알고리즘이 사용되어 왔으나 실제로 태양광 발전소 설치 위치 및 주변 환경으로 인한 그림자로 인해 최대전력점 추종이 이루어지지 않는다. 본 논문에서는 태양광발전용 전력변환장치(DC-DC 컨버터 + DC-AC 인버터)에서 태양전지의 그림자 영향에 따른 태양전지 어레이의 계단형 I-V 커브로부터 직류출력 전력손실을 최소화 및 전력변환효율을 향상하고자 스트링별 DC-DC 컨버터 및 Multi-MPPT 제어방법을 제안한다. 태양전지 모듈 스트링이나 어레이에 음영이 발생하는 경우 1개의 MPPT(central inverter)에서 발생하는 손실을 해소하기 위한 multi-MPPT 방식을 채택하는 것으로서, 일반적으로 “multi”의 정의가 “2개 이상”보다는 “3개 이상”이라는 의미로 사용되는 경우가 많다. 실험에서는 하드웨어적인 제약으로 두 대의 MPPT를 사용하였지만 알고리즘이나 시뮬레이션에서는 세 대 이상으로 구성되었다. 하지만 이때도 부분 음영이 발생하면 최대전력점에서 동작하지 못하므로 태양광 발전효율을 저하시킨다. 이를 높이기 위하여 인버터 한 대에 여러 대의 부스트 컨버터를 사용하여 태양광 어레이를 일부 나누어 제어하는 것과 이 때 필요한 알고리즘을 제시하고자 한다. 종래의 P&O, InCond 및 LA 기법은 부분 일사량에 따른 최대전력점 추종이 불가능하므로 이를 고려하여 개별적으로 일사량 급변 시 유용한 3-point 태양광 인버터 MPPT 알고리즘을 수행하는 부스트 컨버터에 최대전력점을 추종하는 Hybrid MPPT 기법을 사용할 수 있다^{2,3)}. 마지막으로 특성 곡선에 따른 전력출력이 가능하며 부분 음영 시 다수 대 부스트 컨버터의 효율을 비교하기 위하여 전력변환장치를 제작하였으며 시뮬레이션 및 기기를 통해 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

2. 연구방법

Fig. 2는 부분 음영 상황에서 모듈을 나타낸 그림이다. 모듈은 출력되는 전압을 높여주기 위하여 직렬로 연결하며 전류를 높여주기 위해 병렬로 연결한다. Fig. 2와 같이 모듈의 일부가 그림자로 인해 전력을 생산하지 못하거나 적게 생산하는 모듈이 발생하게 되면, 전력을 생산하지 않는 모듈로 인하여 전압 또는 전류가 감소하게 된다.

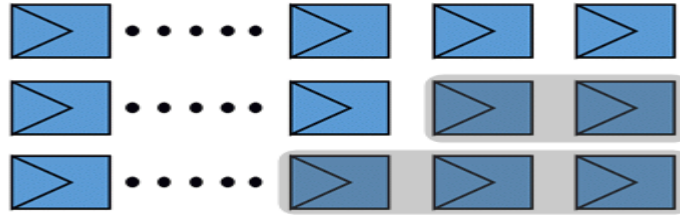


Fig. 2 The partial shade on a photovoltaic array

Fig. 2의 태양광 어레이 18 kW를 6 kW씩으로 세 부분으로 나누어 한 부분은 그림자가 발생하지 않고 다른 두 부분은 그림자가 발생하였다고 가정하여 나타냈다. Fig. 2의 1단에서는 개방전압 650 V와 단락전류 12 A를 가지며 최대전력은 6 kW를 출력한다. 반면에 Fig. 2의 2단에서는 약 20% 정도의 음영이 발생하였을 때의 출력이며 개방전압은 416 V이고 단락전류는 병렬연결된 부분의 음영은 없다고 가정하여 음영이 없는 태양광 어레이 부분과 마찬가지로 12 A이며 최대전력은 약 80%인 4.8 kW를 출력한다. 마지막으로 3단에서는 약 40% 정도의 음영이 발생하였을 때의 출력이며 개방전압은 330 V이고 단락전류는 병렬연결된 부분의 음영은 없다고 가정하여 음영이 없는 태양광 어레이 부분과 마찬가지로 12 A이며 최대전력은 60%인 3.6 kW를 출력한다. 음영에 대한 영향이 있는 상황에서는 Fig. 3과 같이 국부점이 여러 개인 출력곡선을 가지고 발전하게 된다. 이러한 상황에서는 국부점이 세 개이기 때문에 낮은 국부점에서 최대전력을 추종할 수 있다는 문제점이 있으며 높은 국부점을 찾더라도 실질적인 최대전력을 출력하지 못한다.

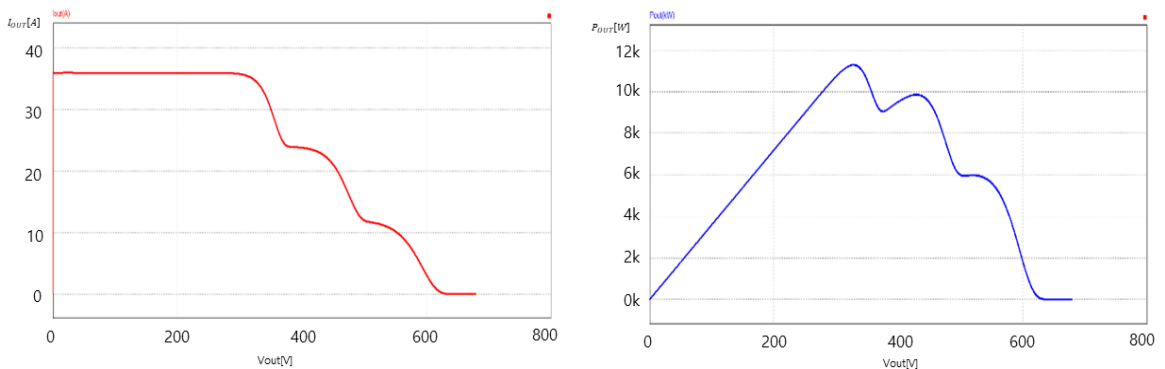


Fig. 3 The power from a total photovoltaic array with shade

부분음영이 발생하지 않은 부분의 최대전력은 6 kW이며 부분음영이 발생한 최대전력은 각각 4, 8 kW 3.6 kW이다. 이 둘을 합하면 최대전력은 14.4 kW가 출력되어야 이 태양광 어레이의 최대전력을 출력하게 된다. 하지만 Fig. 3의 특성곡선의 최대출력점은 11.3 kW이다. 본 논문에서는 14.4 kW를 출력할 수 있도록 각 단 어레이의 부스트 컨버터에 새로운 3-point MPPT 알고리즘을 제시하고, 3단을 통합한 Multi-MPPT의 성능을 알아보기 위해 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

3. 3-Point MPPT 알고리즘

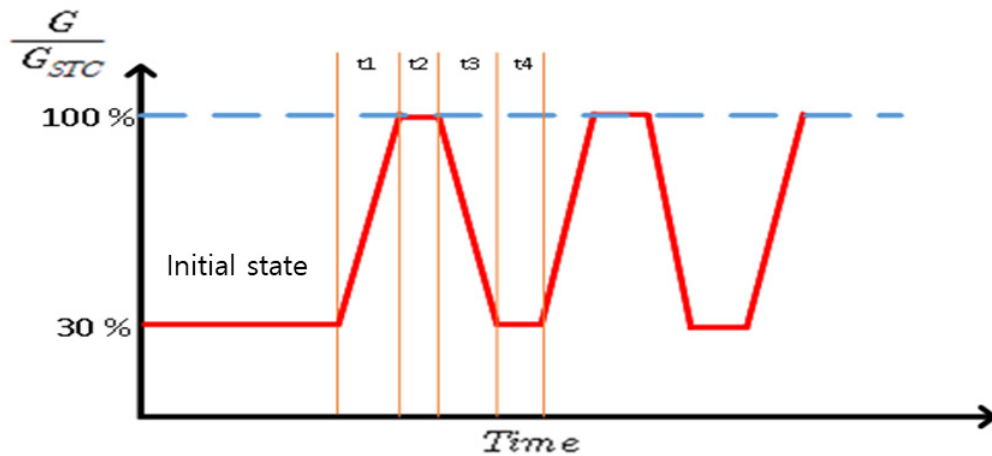


Fig. 4 Graph of high-mid irradiation (EN50530)

유럽에서는 여러 조건에 따라 MPPT의 효율을 측정하는 평가를 실시하고 있다. Fig. 4는 고-중 일사량 그래프(EN50530)로서 일사량이 급변 시에 MPPT 효율이 어떻게 되는지를 측정하는 시험이다. 기존의 MPPT의 경우는 일사량이 급변 시 효율이 낮아지는 현상을 나타낸다. Fig. 4는 일사량이 변화할 때 최대전력점의 전압은 많이 변화하지 않는 태양광 어레이 특성을 이용하여 Fig. 5와 같은 3-point MPPT 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘은 주기적으로 일사량이 변화하는지를 검사하고 변화를 한다면 그 전주기의 전압의 크기를 유지하며 일사량이 변화하지 않으면 MPP점을 추종하는 것이며 동작 순서는 다음과 같다.

첫 번째로 현재 전력과 전 주기의 전력을 비교한 후 기준 전압을 증가 또는 감소시킨다. 두 번째로 기준 전압을 증가 또는 감소시키기 전 기준 전압을 출력한다. 세 번째로 일사량이 변할 때와 일사량이 변하지 않을 때로 구분된다. 일사량이 변할 경우 현재 전압과 전 주기의 전압을 번갈아가면서 출력하고 일사량이 변하지 않는다고 판단될 때까지 반복된다. 일사량이 변하지 않을 경우 현재 전압과 전 주기의 전압을 비교하여 더 높은 전력의 전압점을 출력하고 다시 처음으로 돌아간다.

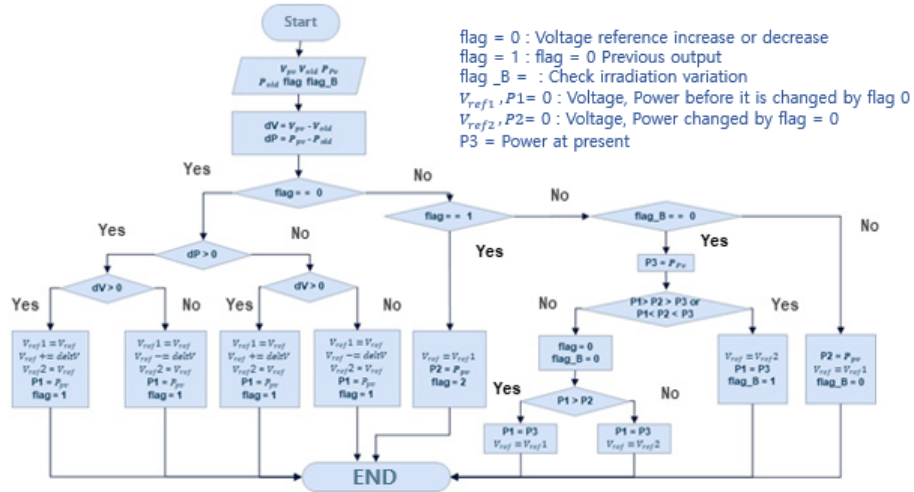


Fig. 5 Algorithm of 3-point MPPT flow chart

Fig. 6은 기존의 일반적으로 사용되고 있는 MPPT 기법인 P&O 기법과 3-Point 기법을 비교하기 위한 시뮬레이션이다. 고-중 일사량 증 기울기가 $100 \text{ W/m}^2/\text{s}$ 로 급변 시 출력되는 전력과 최대 출력할 수 있는 전력을 비교한 그래프이다. 그래프 상으로 보아도 3-Point MPPT가 최대 출력점과 가깝다는 것을 확인할 수 있다. 태양광 효율 기준 규정인 IEC의 EN50530을 참고하여 일사량이 변하는 상황을 모의했다. EN50530에서 P&O 알고리즘은 일사량이 증가할 때와 감소할 때 기준 전압이 증가하는 방향인지 감소하는 방향인지에 따라 효율 차이가 크게 발생한다. 정확한 효율을 관찰하기 위해 기준 전압이 증가할 때와 감소할 때를 나눠 효율을 분석하였다. Tables 1과 2는 여러 일사량 변화에 따른 효율을 나타낸 표이다.

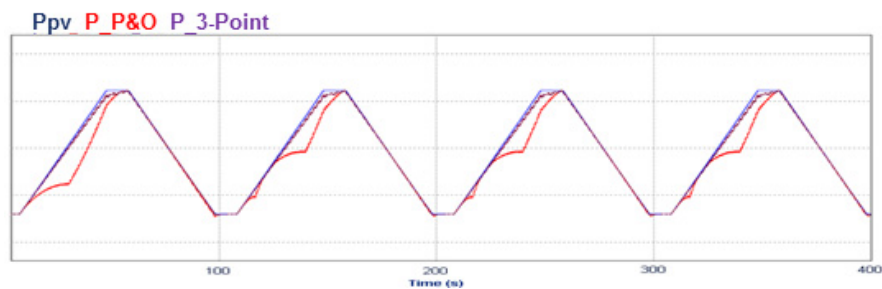


Fig. 6 Power of P&O and 3-Point according to high-mid irradiation

Table 1 Efficiency of MPPT according to high-mid irradiation (V_{ref} Increase)

Voltage variation period	Efficiency (V_{ref} Increase)									
	Low-mid irradiation					High-mid irradiation				
0.5 (sec)	5	10	20	40	50	10	20	50	70	100
3-Point	99.71%	99.33%	99.07%	99.18%	99.27%	99.77%	99.86%	99.86%	99.91%	99.91%
P&O	99.61%	99.06%	94.50%	98.66%	98.35%	99.73%	99.07%	95.42%	98.83%	97.80%

Table 2 Efficiency of MPPT according to high-mid irradiation (V_{ref} decrease)

Voltage variation period 0.5 (sec)	Efficiency (V_{ref} Decrease)									
	Low-mid irradiation					High-mid irradiation				
Gradient ($W/m^2/s$)	5	10	20	40	50	10	20	50	70	100
3-Point	98.56%	98.58%	98.60%	98.73%	98.73%	99.64%	99.51%	99.60%	99.65%	99.69%
P&O	99.61%	98.67%	92.85%	83.62%	88.17%	99.59%	98.81%	88.71%	86.75%	92.86%

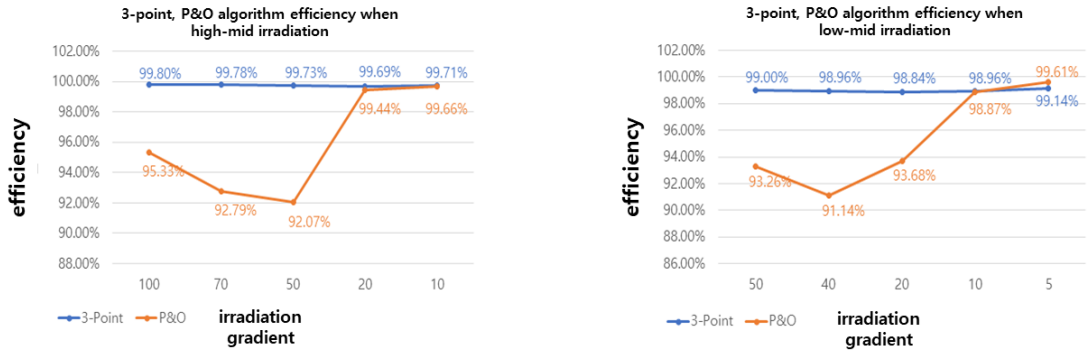


Fig. 7 Graph of efficiency of MPPT according to high-mid irradiation

Fig. 7은 일사량이 증가할 때 기준 전압이 상승할 때와 감소할 때의 효율을 평균치로 나타낸 그래프이다. Fig. 7의 왼쪽 그래프는 저-중 일사량 상황이며, Fig. 7의 오른쪽 그래프는 고-중 일사량 상황이다.

4. Multi-MPPT 기법

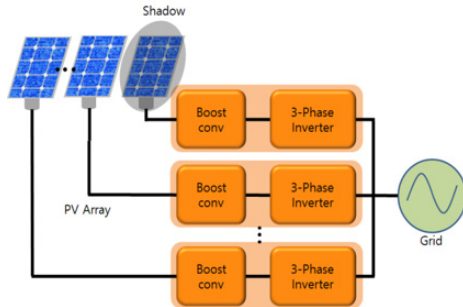


Fig. 8 Multi individual inverters for efficiency

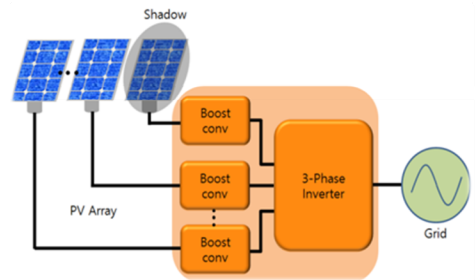


Fig. 9 One inverter with multi boost converters

건물과 나무 등 외형지물로 인해 그림자가 발생할 장소에 태양광을 설치하였다면 Fig. 8과 같이 어레이를 나누어 인버터를 설치하는 것이 출력을 좋게 할 수 있다. 하지만 인버터를 여러 대 사용하기에는 비용이 커지므로 이를 대신하여 MPPT를 각각 할 수 있도록 Fig. 9와 같이 한 대의 인버터에 세 대의 부스트 컨버터를 배치하여 각각 MPPT를 하는 시스템을 제안하였다.

5. 시뮬레이션

Fig. 10에서는 부스트 한 대를 동작시킨 것과 세 대를 동작시켰을 때를 비교하는 시뮬레이션으로 구성하였으며, 한 대를 이용할 경우 3-point 알고리즘으로 구현하였으며 세 대의 경우 Multi-MPPT 알고리즘으로 각 부스트 컨버터가 3-point 알고리즘을 수행하도록 구현하였다. ‘일반 MPPT’는 부스트 컨버터 한 대를 이용한 MPPT, ‘부분 일사량을 고려한 MPPT’는 Hybrid MPPT를 이용한 MPPT 그리고 ‘Multi-MPPT’는 각 PV에 부스트 컨버터를 한 대씩 달아 총 세 대의 부스트 컨버터를 사용한 MPPT이다. PV1은 음영 효과가 없으며 PV2는 음영 효과가 10%, 그리고 PV3는 음영 효과가 0% ~ 40% 있는 상황을 모의하여 Table 3에 MPPT 효율을 비교했다.

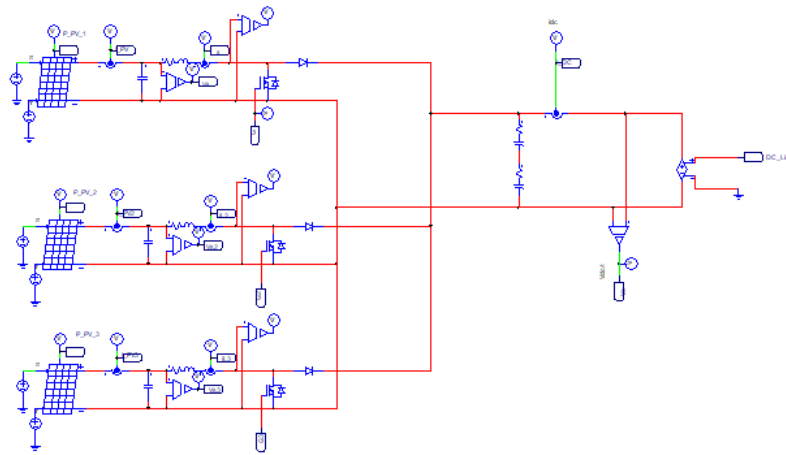


Fig. 10 Simulation of three boost converters

Table 3 Comparison of MPPT in simulation

PV3 condition	Nomal-MPPT (kW)				Hybrid-MPPT (kW)				Multi-MPPT (kW)			
	PV1	PV2	PV3	Total	PV1	PV2	PV3	Total	PV1	PV2	PV3	Total
100	6.0	4.8	6.0	16.8	5.9	5.1	5.9	16.9	6.0	5.4	6.0	17.4
90	6.0	4.8	4.8	15.6	5.8	5.2	5.3	16.3	6.0	5.4	5.4	16.8
80	6.0	4.8	0.0	10.8	5.5	5.2	4.6	15.3	6.0	5.4	4.8	16.2
70	6.0	4.8	0.0	10.8	5.0	4.9	3.9	13.8	6.0	5.4	4.2	15.6
60	6.0	4.8	0.0	10.8	4.3	4.2	3.3	11.8	6.0	5.4	3.6	15.0

6. 실험

실험에서는 하드웨어적인 제약으로 3상 12 kW 인버터, 태양광 발전 모의전원장치(Fig. 11) 두 대로 Table 4와 같은 결과를 얻었다.

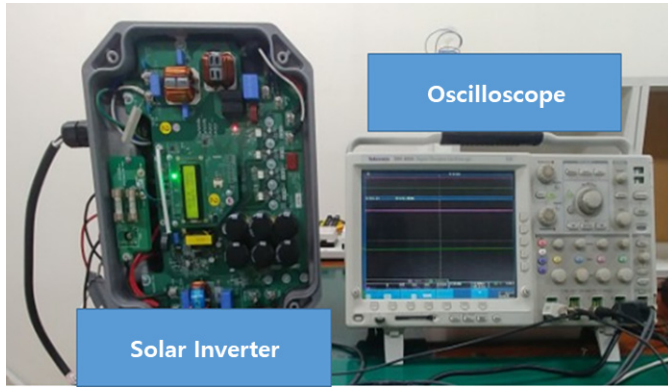
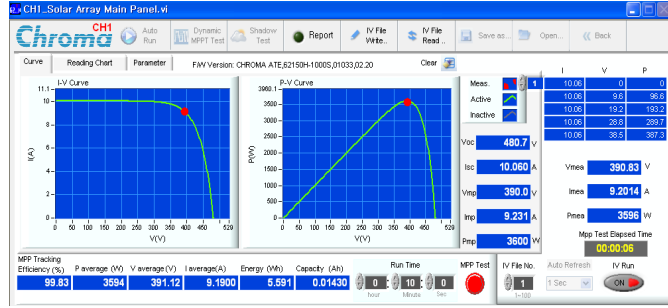


Fig. 11 Result of Multi-MPPT scheme in mismatched situation

Table 4 Comparison of MPPT in 12 kW PCS

PV2 condition	Nomal-MPPT (kW)			Hybrid-MPPT (kW)			Multi-MPPT (kW)		
	PV1	PV2	Total	PV1	PV2	Total	PV1	PV2	Total
100	6.0	6.0	12.0	6.0	6.0	12.0	6.0	6.0	12.0
90	5.8	5.2	11.0	5.7	5.2	10.9	6.0	5.3	11.3
80	6.0	0.0	6.0	5.1	4.8	9.9	6.0	4.8	10.8
70	6.0	0.0	6.0	4.5	4.2	8.7	6.0	4.2	10.2
60	6.0	0.0	6.0	3.9	3.6	7.5	6.0	3.6	9.6

위 실험에서 PV1은 음영 효과를 받지 않으며, PV2는 음영 효과를 0% ~ 40%로 변화시킨 효율 표이다. 부분 일사량을 고려한 MPPT는 Hybrid-MPPT 기법이다. PV2의 음영효과가 20% 이상일 때 일반 MPPT에서 PV2의 출력은 0 kW인 반면에 부분 일사량을 고려한 MPPT는 4.8 kW를 출력한다. 일반 MPPT가 음영 효과를 받을 때 큰 출력 저하가 발생하는 데 비해, Multi-MPPT의 경우는 PV2가 음영 효과를 받을 때 PV2가 낼 수 있는 최대 출력 전력에 근접하며 일반 MPPT와 비교했을 때 출력이 매우 높음을 확인했다.

7. 결론

본 연구에서는 그림자가 발생할 경우 Multi-MPPT라는 기법을 이용하여 효율을 높일 수 있는 방안을 제시하였다. Multi-MPPT의 방식은 부스트 컨버터를 여러 대 이용하여 태양광 어레이를 각각 다른 그룹으로 나누

어 MPPT를 할 수 있다. 이를 통하여 부분적으로 그림자가 발생하는 태양광 어레이를 제어하여 다른 어레이에 끼치는 악영향을 줄여 효율을 높일 수 있다는 것을 검증하였다. 향후 계획은 3대의 부스트 컨버터를 사용한 50 kW 3상 컨버터를 이용하여 제안한 Multi-MPPT 알고리즘의 효용성을 증명해 보이도록 하겠다. 또한 부스트 컨버터를 여러 대 설치하면 소자 비용이 별도로 추가되지만 부스트 컨버터의 대수에 따라 소자의 용량도 감소되므로, 용량이 커지면서 발생하는 비용과 Multi-MPPT를 이용하여 저용량의 소자를 사용함으로써 줄어드는 비용 및 발전효율의 증가 등을 비교하여 경제성 분석을 제시하고자 한다.

후기

본 연구는 한국전력공사의 2016년 선정 기초 연구개발과제 및 2017년도 광운대학교 교내학술연구비 지원을 받아 연구되었음(과제번호 : R17XA05-26).

REFERENCES

1. Jinlei Ding, A New Method to Determine the Optimum Load of a Real Solar Cell Using the Lambert W-function, Journal of Power Electronics, Vol. 92 , No. 12, pp. 1566-1569, 2008.
2. Kim, D. G., 3-Point MPPT Algorithm Under Dynamic Irradiation for Photovoltaic PCS, Journal of Power Electronics, Vol.2016 , No. 7, pp. 469-470, 2016.
3. Kim, S. B., A Novel Hybrid MPPT Control for Photovoltaic System, Journal of Power Electronics, Vol. 2014, No. 11, pp. 7-8, 2014.