

# 태양광 모듈 출력 보상을 위한 마이크로컨버터 시제품 동작 특성 분석

김지현<sup>1,2)</sup> · 김주희<sup>1)</sup> · 이정준<sup>3)</sup> · 박종성<sup>4)\*</sup> · 김창현<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>태양에너지연구실, 녹색에너지연구원, 목포시, 전라남도, 58656

<sup>2)</sup>일반대학원 광공학협동과정, 전남대학교, 광주광역시, 61186

<sup>3)</sup>(주)더블유피, 순천시, 전라남도, 58023

<sup>4)</sup>에너지공학과, 경상국립대학교, 진주시, 경상남도, 52849

## Characteristics Analysis of Proto-type Microconverter for Power Output Compensation of Photovoltaic Modules

Jihyun Kim<sup>1,2)</sup> · Ju-Hee Kim<sup>1)</sup> · Jeongjun Lee<sup>3)</sup> · Jongsung Park<sup>4)\*</sup> · Changheon Kim<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Solar Energy R&D Dept., Green Energy Institute, Mokpo 58656, Korea

<sup>2)</sup>Interdisciplinary Program for Photonic Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

<sup>3)</sup>WP Co., Ltd., Suncheon 58023, Korea

<sup>4)</sup>Department of Energy Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52849, Korea

Received December 7, 2022; Revised December 16, 2022; Accepted December 19, 2022

**ABSTRACT:** The economic feasibility of a photovoltaic (PV) system is greatly influenced by the initial investment cost for system installation. Also, electricity generation by PV system is highly important. The profits competitiveness of PV system will be maximized through intelligent operation and maintenance (O&M). Here, we developed a microconverter which can maximize electricity generation from PV modules by tracking the maximum power point of PV modules, and help efficient O&M. Also, the microconverter mitigates current mismatch caused by shading, hence maximize power generation. The microconverters were installed PV modules and demonstrated through the field tests. Power outputs such as voltage, string current were measured with various weather environments and partial shadings. We found that PV modules with the microconverters shows 12.05% higher power generation compared to the reference PV modules.

**Key words:** PV system, Microconverter, Photovoltaic module, Operation and maintenance, O&M

### 1. Introduction

우리나라는 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안('19.4)에 따라 국내 재생에너지 산업을 단순 가격 경쟁에서 탈피, 친환경·고효율·융복합제품 중심의 혁신 경쟁형으로 전환하여 산업경쟁력을 확보할 것을 발표하였다<sup>1)</sup>. 또한 재생에너지 3020 이행계획에 따라 태양광 발전의 투자가 빠르게 진행되어 해마다 약 3 GW 용량으로 2030년까지 30.8 GW 태양광발전소가 추가 설치될 예정이다. 태양광발전 시스템의 경제성은 시스템 설치 시의 초기 투자비뿐만 아니라 태양광 발전시스템이 설치되는 지역에서 연간발전량과 발전된 전력의 판매 단가에 의해 크게 좌우된다<sup>2)</sup>. 태양광발전소는 태양광으로 생산되는 발전량을 최대화하고 균등화 발전단가(Levelized cost of electricity, LCOE)를 저감하

기 위해 유지보수는 필수적으로 고려되어야 한다<sup>3)</sup>. 향후 태양광 발전의 경쟁력은 설비의 지능적 운영·유지보수(Operation and Maintenance, O&M)을 통한 수익 극대화가 될 것으로 예상되고 이에 O&M 솔루션의 국산화를 위하여 기술 개발과 실증이 필요하다<sup>4)</sup>. 태양광발전 시스템에서 발생할 수 있는 낙엽, 먼지 등의 부분 음영에 의해 모듈간 또는 스트링간의 출력 미스매치가 발생하여 전체 태양광 발전량이 감소되는 문제점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 마이크로컨버터의 개별 모듈 최대전력 점추적(MPPT) 제어를 통하여 최대효율로 전력을 생산할 수 있게 한다.

태양광 발전 시스템의 효율적 운영을 위하여, 본 논문에서는 태양광 모듈들의 최대 에너지생산을 도와주는 마이크로컨버터 설치 전후 모듈의 전압, 전류 및 발전량등을 통해 마이크로컨버터의 영향성을 필드실증을 통하여 비교분석 하였다.

\*Corresponding author: chkim@gei.re.kr

## 2. Experimental

마이크로컨버터 필드 실증을 위하여 녹색에너지연구원에서 운영하고 있는 국가 MW급 태양광발전 실증단지 나주사이트(전남 나주시)를 활용하였다. 테스트에 활용된 모듈은 단결정 실리콘 1,856 mm × 1,010 mm 사이즈 375 W (개방전압 45.2 V, 단락전류 10.25 A)급을 사용하였으며, 태양광 모듈의 전압 및 전류 측정이 가능한 마이크로컨버터(시제품, ㈜더블유피), Power Optimizer (Solaredge, Israel)를 태양광 모듈에 1:1 설치하여 테스트하였다. 필드 실증을 수행한 태양광 사이트와 실증 방법은 Fig. 1, Table 1에 나타내었다.



Fig. 1. (a) MW scale PV demonstration site, (b) Prototype PV microconverter

Table 1. Analysis target information

	Reference	Proto-type	Commercial
PV	Hansol 375 Wp * 9ea		
Position in Array	Upper side	Lower side	
Optimizer Maker	Upper	Lower	Lower
Optimizer Type	-	N-Buck	Buck-Boost
Inverter	Dasstech 3.5 kW		SolarEdge 5 kW

### 2.1 마이크로컨버터

태양광 모듈 단위에서 부분 음영에 의한 출력 미스매치 개선을 위해 벡(Buck) 컨버터, 부스트(Boost) 컨버터, 벡-부스트(Buck-Boost) 컨버터 및 축(Cuk) 컨버터 토폴로지를 적용한 마이크로컨버터의 동작 성능 연구가 진행되었다(Fig. 2)<sup>5)</sup>. 벡 컨버터는 입력전압을 감압하여 출력하는 회로이고, 반대로 부스트 컨버터는 입력전압에 대해 출력 전압을 높여 사용하기 위한 회로이다. 벡-부스트 컨버터의 경우 벡 컨버터와 부스트 컨버터의 특성을 모두 가진 컨버터로 입력전압을 승압과 강압 두가지 모두 동작이 가능한 컨버터이다<sup>6)</sup>. 마지막으로 축 컨버터는 벡-부스트와 유사하나 출력 전압의 극성이 바뀌는 반전형 컨버터로 다른 컨버터와 달리 캐패시터에 에너지 축적후 부하로 전달하는 특성을 가지고 있다.

본 논문에서 사용된 마이크로컨버터는 벡 컨버터를 변형한 N-벡 컨버터 모델로 적은 연산량으로 비교적 간단하고 최대 전력점을 추정할 수 있고, 개선된 동작특성을 유도할 수 있는 P&O (Perturb and Observe) 알고리즘을 적용하였다<sup>6, 7, 8)</sup>.

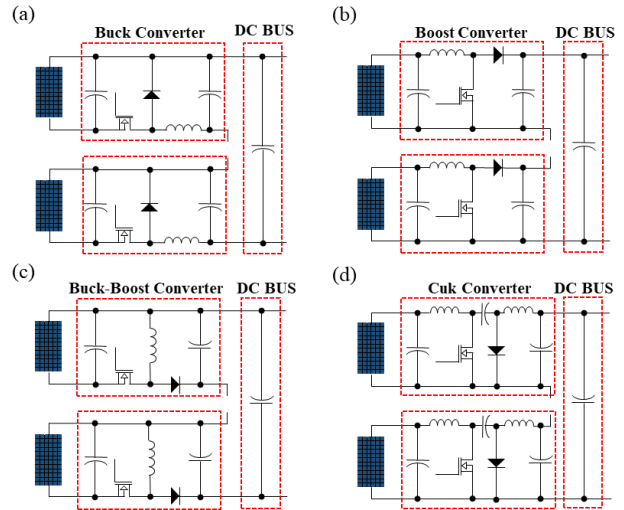


Fig. 2. Micro-converter topologies; (a) Buck converter, (b) Boost converter, (c) Inverting buck-boost converter and (d) Cuk converter<sup>9)</sup>

## 3. Results and discussion

### 3.1 전기적 특성

마이크로컨버터의 환경에 따른 특성을 확인하고자 Solaredge 제품의 마이크로컨버터를 이용하여 맑은 날과 비 오는 날의 마이크로컨버터 유·무에 따른 태양광 모듈 스트링에서의 전기적 특성 분석을 진행하였으며, 인버터의 영향을 제외하기 위하여 DC 전압 및 전력을 확인하였다. Fig. 3에서는 맑은 날과 비 오는 날의 마이크로컨버터 유·무에 따른 환경정보(a, d), DC 전압(b, e) 및 DC 전압(c, f)을 비교하였으며, 일간 DC 전력은 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 볼 수 있듯이 맑은 날의 경우, 마이크로컨버터 유·무에 따라 일간 DC 전력이 각각 20.96 kW, 21.52 kW로 측정되었다. 결과에 따르면 마이크로컨버터가 없을 때 일간 DC 전력이 약 2.6% 높게 측정이 되었으나, 반면에 비 오는 날의 경우에는 마이크로컨버터 유·무에 따라 각각 4.92 kW, 4.57 kW로 상대적으로 마이크로컨버터가 있을 경우 약 7.0% 높게 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 맑은 날은 두 비교군 모두 불규칙적인 음영 없이 일정한 일사량을 받게되며 낮은 전력량 계측 차이는 마이크로컨버터의 동작조건에서 벗어난 무시할 수 있는 수준의 차이로 볼 수 있다. 반면에 맑은 날과 대비하여 음영이 불규칙적인 흐린날에 마이크로컨버터의 동작에 의한 효율 개선이

Table 2. Daily string DC power in sunny and rainy days according to micro-converter

	Daily String DC Power [kW]	
	w/o Micro-converter	w/ Micro-converter
Sunny day	21.52	20.96
Rainy day	4.57	4.92

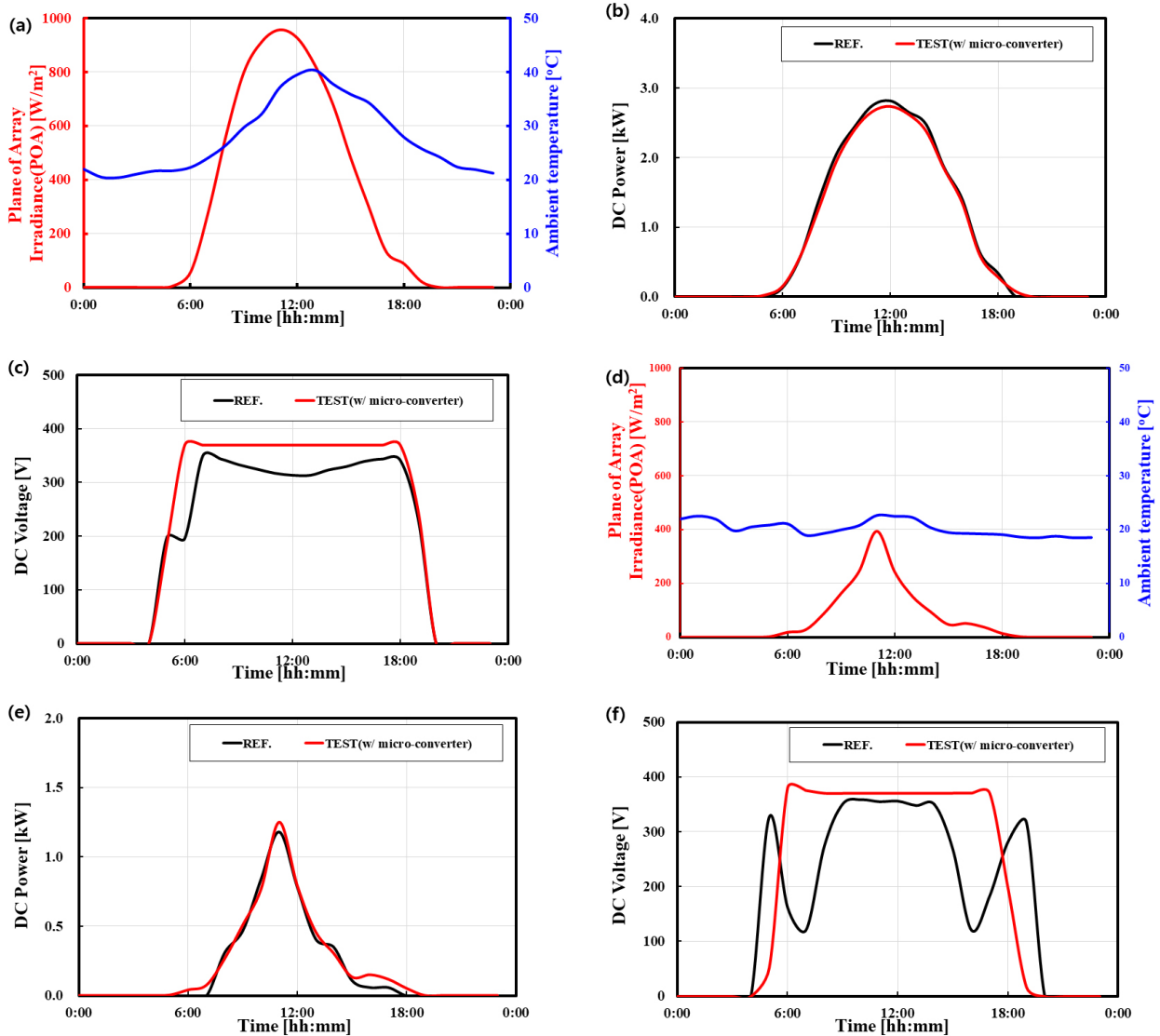


Fig. 3. (a),(d) POA & ambient temp. (b),(e) string DC power, (c),(f) string DC voltage in each sunny and rainy days according to time

되는 것으로 확인되며, 이 결과를 통하여 부분 음영과 같은 불규칙적인 환경조건에서 마이크로컨버터 설치를 통하여 모듈 출력 향상에 기여함을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

### 3.2 전력보상도

태양광발전 실증단지에서 해당 전력보상기들의 전력보상도를 확인하기 위해 마이크로컨버터와 Power-Optimizer를 부착한 스트링의 모듈전압, 전류, 발전량을 비교분석 하였다.

Fig. 4와 같이 설치 전후 모듈의 전력(a), 전압(b), 발전량(c)을 비교 분석한 결과 Solaredge사의 Power-Optimizer 대비 시제품을 설치한 모듈의 발전량이 상대적으로 평균 8.2% (solaredge 평균출력 - 시제품 평균출력/ solaredge 평균출력) 낮게 측정되었다. 이는 시제품과 사용제품의 컨버팅 메커니즘과 사용되는 센서 그리고 회로의 구성과 설계의 차이에 의한 동작 메커니즘의 상이함으로 기인한 것으로 분석된다. 서로 다른 두 장치는 측정

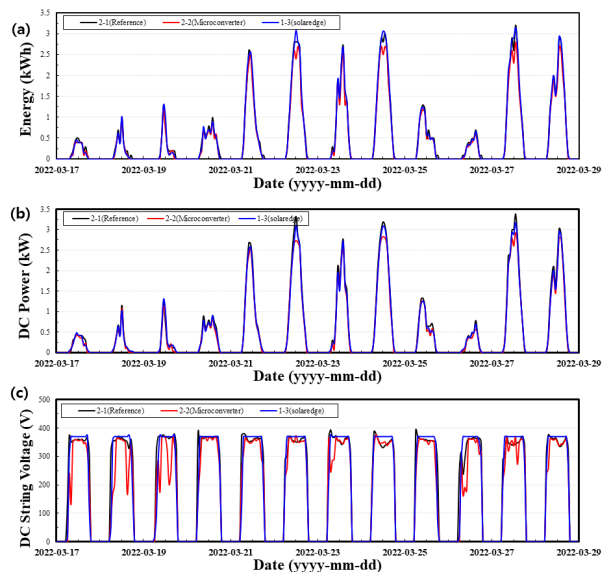


Fig. 4. (a) PV module energy, (b) DC power (c) DV voltage

루프의 횟수, 평균 스위칭 주파수 및 횟수, 인덕터의 리플 전류 및 고조파의 왜곡 등 마이크로컨버터의 주요 동작 파라미터의 비교를 거쳐 정확한 성능 비교가 가능하다<sup>9)</sup> 본 논문에서는 시제품의 동작 특성에 중점을 두고, 향후 보다 상세한 성능 비교분석이 진행될 예정이다.

### 3.3 음영테스트

태양광 모듈의 바이패스 다이오드를 고려하여 셀 면적의 50%, 100% 음영 두 종류로 모듈 3가지, 총 18가지로 분류하여 테스트를 진행하였다. Ref. (Reference, 비교군) 스트링의 경우 전류-전압(I-V)을 측정하였으나, 마이크로컨버터를 설치한 스트링의 경우 I-V 곡선 측정이 불가능하여 Fig. 5와 같이 일사량 및 외기온도의 전체적인 환경정보(a), 인버터 앞단의 Vmax (최대전압,b), Imax (최대전류,c) 값을 통하여 일사량에 따른 상대출력을 비교하였다. 그 결과 50%, 100%의 음영 테스트 결과 각

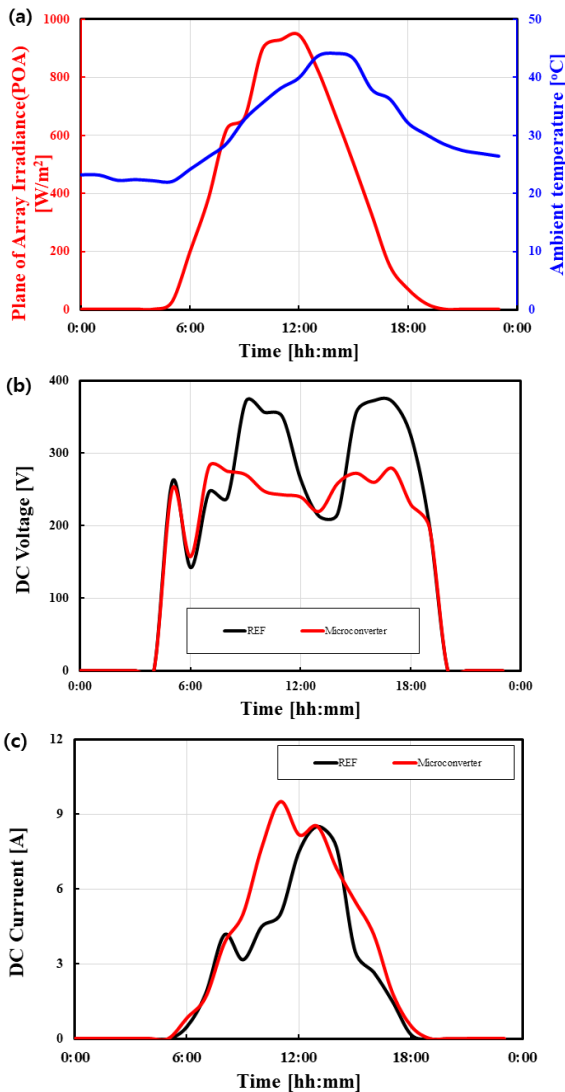


Fig. 5. (a) POA & ambient temp, (b) String DC voltage, (c) String current according to time

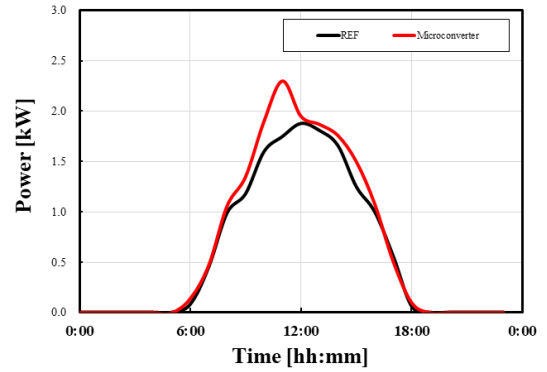


Fig. 6. String power with 50% shading

각 32.86%, 33.3%의 출력 결과를 보였다.

일사량이 양호한 맑은날을 선택하여 모듈 9장을 한 스트링으로 구성된 환경에서, 마이크로컨버터의 동작 특성을 확인하기 위한 불규칙적인 조건을 구성하기 위하여 스트링 모듈 3장의 셀에 50%의 음영을 주고 24시간 동안 출력을 측정하였다. 24시간 출력 및 발전량을 비교한 결과 Ref. 스트링 기준 대비 마이크로컨버터가 설치된 스트링의 출력의 동일시간 비교 시 최대 31.43%, 최소 3.31% 높게 나타났으며, 일간 평균 출력은 12.05% 높게 측정되었다(Fig. 6).

### 4. 결론

본 논문에서는 태양광발전소의 유지관리의 효율을 높여줄 수 있는 마이크로컨버터를 개발하여 필드 성능테스트를 진행하였다. 마이크로컨버터 유·무에 따른 테스트를 진행한 결과 비가 오는 환경조건에서 마이크로컨버터를 설치한 스트링의 DC전력이 7.0% 높게 측정되었다. 이는 마이크로컨버터가 환경조건 및 외부 출력 저하 요인에 노출되었을 때 모듈 출력 효율 향상에 도움을 준다는 것을 보여준다. 또한 타 제품과 비교검증을 위하여 시판중인 Power-Optimizer를 활용하여 측정값을 비교하였으며, 그 결과 시제품의 발전량이 상대적으로 낮게 측정되었으나 이는 각각의 제품에서 사용하는 측정소자와 회로 구성의 차이로 기인한 것으로 판단된다. 또한 외부 출력 저하요인(부분음영)에 따른 전력보상능력은 마이크로컨버터를 설치하였을 경우 출력이 12.05% 높게 나타났다.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호: 20203040010130 & 20215710100310).

## References

1. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Renewable energy industry competitiveness enhancement plan," Policy briefing of Republic of Korea (2019).
2. S. Carpenter and N. Meloche, The RETScreen model for simulating the performance of solar air heating (2002).
3. S. Chan and G. Oh, "An intelligent maintenance (O&M) decision-making platform based on physics of failure (PoF) for reducing the LCOE of solar power plants," The Korean Society of Mechanical Engineers(2021) 44 - 44 systems. Canada: Np., 2002. Web.
4. J. Min, "Technical trends of PV microconverters," Bulletin of the Korea Photovoltaic Society, 4(2), 25-32 (2018).
5. H. T. Choe, "Module Integrated converters and PV systems " Bulletin of the Korea Photovoltaic Society, 5(1), 16-23 (2019).
6. J. Itoh and T. Fujii, "A new approach for high efficiency Buck-Boost DC/DC converters using series compensation," IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference, 130(1), 2109-2114 (2008).
7. J. Min and W. Choi, "Analysis of power generation characteristics of according of the MPPT algorithm period," The Korean Institute of Electrical Engineers, 67(4), 233-237 (2018).
8. Y. Choi, et. al., "MPPT control method of solar power generation system," The journal of the Korean Institute of Power Electronics, 18(1), 29-36 (2013).
9. L. Diana, et al., "Dual-boost inverter for PV microinverter application-an assessment of control strategies," Applied Science, 12, 5952 (2022).