

## 태양광 발전용 마이크로 컨버터 종류에 따른 MPPT 제어 특성 비교

오승택<sup>1</sup>, 안정호<sup>1</sup>, 윤인열<sup>1</sup>, 박광우<sup>2</sup>, 진창성<sup>3\*</sup>  
<sup>1</sup>한양대학교 전기공학과, <sup>2</sup>(주)더블유피, <sup>3</sup>원광대학교 전기공학과

### Comparison of MPPT Control Characteristics According to the Type of Photovoltaic Micro Converter

Seung-Taek Oh<sup>1</sup>, Jung-Ho Ahn<sup>1</sup>, In-Yeol Yun<sup>1</sup>, Kwang-Woo Park<sup>2</sup>, Chang-Sung Jin<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Electrical Engineering, Hanyang University

<sup>2</sup>WP Co.

<sup>3</sup>Division of Electrical Engineering, Wonkwang University

**요약** 태양광 발전 시스템의 경우 대표적인 친환경 에너지로써 매년 많은 성장을 이루고 있으며 발전 효율을 높이기 위한 다양한 방법들이 연구되고 있다. 그중에서 마이크로 컨버터 방식은 각 패널당 하나의 컨버터를 연결시키는 방법으로 부분 음영 및 패널간 전기적 특성으로 생기는 전체 발전 시스템의 하향평준화 현상을 막을 수 있다. 기존 마이크로컨버터에서 사용되는 벡 컨버터는 Bootstrap 구동 방식으로 동작되기 때문에 구동 회로가 복잡하고 이로 인하여 손실이 발생한다. 이를 개선하기 위하여 Negative 벡 컨버터를 제안하였다. Negative 벡 컨버터는 공통 접지단에 MOSFET이 연결되어있어 다이렉트 구동방식으로 스위칭을 할 수 있다. 따라서 구동 회로가 단순해지고 상대적으로 구동손실을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 벡 컨버터와 Negative 벡 컨버터의 시뮬레이션을 통한 출력 및 특성을 비교하고 실험을 통해 그 타당성을 검증했다.

**Abstract** Solar power generation systems, as a representative eco-friendly energy source, are showing continual growth each year, and various methods to improve power generation efficiency are being researched. Among them, the micro-converter method can prevent the downward leveling phenomenon of the entire power generation system that occurs in partial shading and the electrical characteristics between the panels by connecting one converter for each panel. Because the buck converter used in the conventional micro-converter is operated using the Bootstrap driving method, the driving circuit is complicated, and loss occurs. A negative buck converter was proposed to improve this. In the negative buck converter, a MOSFET is connected to a common ground terminal and can perform switching using a direct drive method. Therefore, the driving circuit can be simplified, and the driving loss can be reduced. This study compared the output and characteristics by the simulation of a buck converter and a negative buck converter, and their validity was verified through experiments.

**Keywords** : Buck Converter, MPPT Control, Micro Converter, Negative Buck, Photovoltaic

본 연구는 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 “지역특화산업육성+(R&D, S2911967)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임

\*Corresponding Author : Chang-Sung Jin(Wonkwang Univ.)

email: csjin76@wku.ac.kr

Received May 28, 2021

Revised July 1, 2021

Accepted July 2, 2021

Published July 31, 2021

## 1. 서론

기후변화 및 환경문제로 인하여 신재생에너지의 생산량은 매년 증가하고 있으며 태양광의 경우 그 증가폭이 평균적으로 매년 30%이상 상승하고 있다[1]. 이처럼 태양광을 통한 신재생 에너지의 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

초기엔 태양광 패널의 소재 및 패널의 구성 방식에 대한 연구를 통해 발전해왔다. 하지만 태양광 패널의 소재적인 한계와 설치 환경에 따른 발전량 차이 및 많은 공간을 차지한다는 한계점 때문에 전력 변환시스템의 변환효율을 상승시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 이를 통해 중앙집중형, 스트링인버터, 마이크로 컨버터를 활용한 방법 등이 연구되었다[2-5].

Fig. 1(a)은 기존의 일반적인 중앙집중형 태양광 발전 시스템을 나타내고 있다. 태양광 패널을 직렬로 구성하고 하나의 대용량 인버터를 통하여 발전하는 방법이다. 해당 방법은 설치가 간단하고 상대적으로 유지보수가 용이하다는 장점이 있다. 따라서 대규모 태양광 발전 시 사용된다. 하지만 중앙집중형 방식의 경우 패널간의 제조오차, 외부 환경으로 인한 부분 음영 등으로 일부 패널의 발전량이 저하되면 전체 발전 시스템이 하향평준화가 된다는 단점을 가지고 있다.

이를 보완하기 위해 나온 방식이 Fig. 1(b)와 같이 발전 시스템을 직, 병렬로 구성하는 스트링 인버터 방식이다. 해당 방법은 일부 패널의 발전량이 낮아져도 중앙집중형과 같이 전체 시스템의 영향을 덜 줄 수 있다. 하지만 패널에 따른 발전량의 하향평준화 및 버스 전류가 우회하는 현상 때문에 발전 효율이 떨어진다는 단점이 있다.

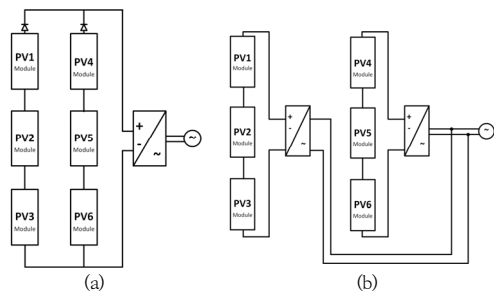


Fig. 1. Converter system  
(a) Center Inverter Type (b) String Inverter Type

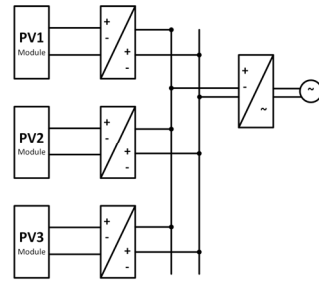


Fig. 2. Micro Converter Type

계속적으로 발생하는 발전량의 불일치 현상을 해결하기 위하여 Fig. 2와 같은 마이크로 컨버터 방식의 발전 시스템이 개발되었다. 마이크로 컨버터는 각 태양광 패널에 컨버터를 설치하여 전기적 특성에 따른 패널간 차이 및 주기적이거나 일시적인 음영, 오물로 인해 발생하는 전압의 불일치 현상을 막아줌으로 전체 전력의 하향평준화를 막아준다는 장점이 있다.

이처럼 마이크로 컨버터 방식이 활발하게 연구됨에 따라서 컨버터의 효율 상승 및 고장진단 등에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이와 같이 컨버터의 종류에 따라 구성되는 시스템의 크기 및 효율특성이 달라진다. 따라서 부하 또는 태양광 발전을 구성하는 환경에 맞는 컨버터의 선택이 필수적이다.

본 논문에서는 첫 번째로 태양광 시스템 및 기존 벽 컨버터의 모델링을 진행하였다 두 번째로는 Negative 벽 컨버터 모델링을 진행하였으며, 마지막으로 PSIM 및 PV Simulator를 통한 실험의 진행을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 태양광 시스템 모델링

태양광 발전 시스템을 구성하는 요소로는 크게 태양광 모듈로 구성되어있는 태양광 어레이 부분, 입력되는 전력을 변환하는 전력전자부분, 시스템 제어를 위한 부분으로 나눌 수 있다. 따라서 태양광 발전 시스템을 구축할 때 이를 예측하기 위해서는 각 부분의 모델링 및 알고리즘 구축이 필수적이다.

#### 2.1.1 태양광 전지 모델링

태양광 발전을 위해서는 Fig. 3과 같이 태양광 전지(셀)의 직, 병렬 구조로 조합된 모듈화가 필요하며 해당

모듈을 다시 직, 병렬로 구성하여 태양광 어레이 모델을 구성해야 한다. 따라서 태양광 발전 시스템에서 가장 최소 단위인 태양광 전지를 모델링하는 것은 필수적인 요소이다[6,7].

태양광 전지는 pn접합 반도체로 구성되어 광기전력 효과를 통해 전기가 생성되는 원리를 이용한다. 이상적인 태양광 전지로는 정전류원 하나와 다이오드 하나로 구성이 된다. 하지만 실제로는 다이오드의 기생 저항 등을 고려하여 다이오드에 병렬로 구성되는 저항과 직렬로 연결되는 저항이 추가된다. 직렬로 연결된 저항  $R_s$ 는 출력 전력에 영향을 준다.

먼저 출력전력  $I$ 는 키르히호프 전류 법칙으로 인해  $I = I_L - I_D$  (1)

이며  $I_L$ 은 태양광 전지에서 광전류를 나타내고  $I_D$ 는 다이오드로 흐르는 전류를 나타낸다. 이때  $I_L$ 을 구하면 식 (2)와 같게 된다.

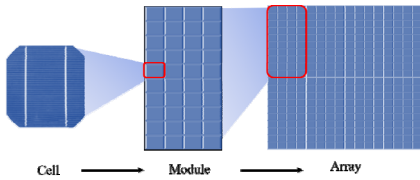


Fig. 3. Solar Array Configuration

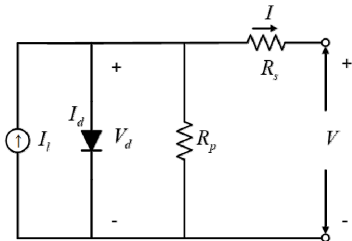


Fig. 4. Solar Cell Equivalent Circuit Model

$$I_L = \left( \frac{G}{G_0} \right) I_{g0} + J_0 (T_c - T_{ref}) \quad (2)$$

여기서  $G_0$ 와  $T_{ref}$ 는 STC(Standard Test Condition)을 기준으로 기준일사량, 태양광 전지의 기준 온도 ( $1,000\text{W}/\text{m}^2$ ,  $25^\circ$ )를 나타내며,  $G$ 는 일사량,  $I_{g0}$ 는 기준 일사량일 때의 전류,  $J_0$ 는 온도계수,  $T_c$ 는 셀의 표면온도이다.

다이오드 전류의 경우 식 (3)과 같이 표현된다.

$$I_d = I_0 \left[ e^{\left( \frac{q(V+IR_s)}{nkT_c} \right)} - 1 \right] \quad (3)$$

여기서  $V+IR_s$ 는 다이오드 양단 전압을 의미하며,  $I_0$

는 다이오드 역포화 전류,  $q$ 는 전자의 전하량,  $R_s$ 는 직렬 저항,  $n$ 은 이상계수,  $k$ 는 볼츠만 상수를 의미한다. 여기서 역포화 전류는 온도에 따라 값이 변하게 되며 식 (4)와 같이 표현된다.

$$I_0 = I_{d0} \left( \frac{T_c}{T_{ref}} \right)^3 \exp \left[ \frac{qE_g}{nk} \left( \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (4)$$

이때  $I_{d0}$ 는 기준온도일 때 역포화 전류를 나타내고,  $E_g$ 는 pn접합 반도체의 band gap을 나타낸다.

따라서 태양광 전지의 실질적인 등가회로인 그림 4에서 I-V 관계식을 구하면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp \left( \frac{q(V+IR_s)}{nkT_c} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (5)$$

이를 바탕으로 동일 온도 및 일사량 일 때 I-V곡선과 P-V 곡선은 Fig. 5와 같이 나타난다.

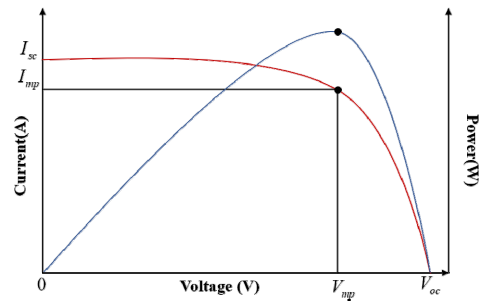


Fig. 5. I-V and P-V characteristics of a solar cell

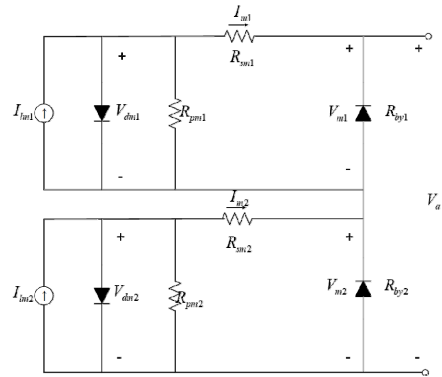


Fig. 6. Equivalent circuit of PV array

### 2.1.2 태양광 어레이 모델링

태양광 어레이는 태양광 전지가 직, 병렬로 모여 모듈을 구성하고 이를 각각 직, 병렬로 구성하여 하나의 어레이를 만들게 된다. 따라서 Fig. 6과 같은 태양광 어레이 등가회로가 구성된다. Fig. 6에서  $m$ 은 태양광 전지의 개

수이며, 추가적으로 바이패스 다이오드를 추가한다. 이와 같은 태양광 어레이는 필연적으로 제작 공차 및 생산 시기에 따라 전기적인 특성이 달라진다. 이로 인하여 모듈 간 역 전압이 발생할 수 있으며 이를 방지하기 위해 바이패스 다이오드를 추가하여 회로를 구성한다.

### 2.1.3 벅 컨버터

벅 컨버터는 입력 전압에 대하여 출력 전압을 낮추는 다운 컨버터 방식이다. 따라서 다양한 발전 시스템 및 배터리 충전에 사용되고 있다. Fig. 7은 스위치 상태에 따른 일반적인 벅 컨버터의 등가회로이다. 벅 컨버터는  $V_{in}$ 에 연결된 스위치를 ON, OFF 해줌에 따라 각 소자에 걸리는 전압 및 전류를 제어할 수 있다. 이를 동작시키기 위해서는 게이트 회로에서  $V_{in}$ 보다 더 높은 전압을 인가하여 스위치를 구동해야한다. 하지만  $V_{in}$ 이 고전압인 경우 스위칭을 위한 PWM신호를 게이트 회로에서 승압해주는 Bootstrap 회로의 구성이 필요하게 된다. 따라서 입력전압이 높아지면 높아질수록 구동 손실이 증가하게 되고 실제 구동회로가 복잡해지며 회로 구성에 많은 비용이 발생하게 된다.

### 2.1.4 Negative 벅 컨버터 모델링

이러한 기존 벅 컨버터의 단점을 개선한 방법이 Fig. 8과 같은 Negative 벅 컨버터이다. Negative 벅 컨버터는 기존 벅 컨버터와 유사하지만 스위치와 인덕터를 공통 접지선에 위치시킴으로 추가적인 Bootstrap 회로가 필요없다. 이로 인해 구동 회로가 단순해지고 입력 전압에 관계없이 10~15V의 낮은 전압으로 스위치를 구동할 수 있게 된다[8].

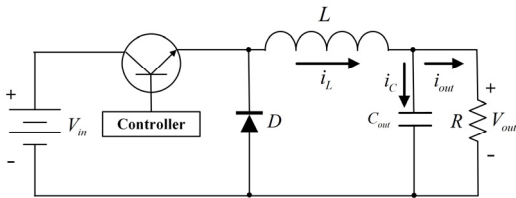


Fig. 7. Buck converter

Fig. 8(a)는 Negative 벅 컨버터가 ON State일 때의 등가회로이다. 스위치가 ON이 되면 다이오드는 OFF가 되고 인덕터에 전류가 흐르게 된다. 이때의 전압, 전류에 대한 상태방정식은 식 (6), (7)로 나타낼 수 있다.

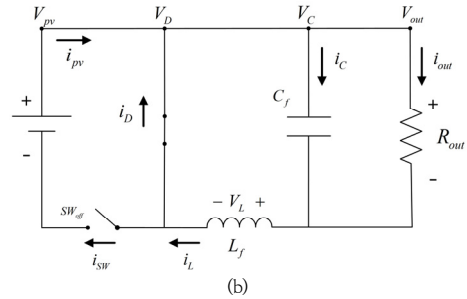
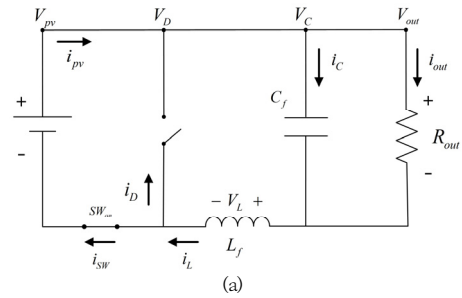


Fig. 8. N-Buck converter equivalent circuit  
(a) ON State (b) OFF State

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} V_{pv} - \frac{1}{L} v_c \quad (6)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C} i_L - \frac{1}{CR} v_c \quad (7)$$

Fig. 8(b)는 OFF State 상태일 때 컨버터의 전압 및 전류의 상태를 나타내는 등가회로이다. 이때 스위치는 OFF상태가 되고 다이오드로 전류가 흐르면서 인덕터에 방전전류가 흐르게 되고 출력 전압이 생성된다. 식 (8), (9)는 OFF 상태일 때의 전압, 전류 상태 방정식을 나타낸다.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L} v_c \quad (8)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C} i_L - \frac{1}{CR} v_c \quad (9)$$

식 (6)~(9)를 바탕으로 시뮬레이션 모델링을 위해 상태공간기법을 활용한 식으로 상태방정식과 출력방정식의 정의가 필요하다. 이를 위한 행렬로 식을 변환하면 식 (10), (11)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_{pv} : \text{ON State} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{pv} : \text{OFF State} \quad (11)$$

위와 같은 전압, 전류 방정식을 바탕으로 상태 방정식과 출력방정식을 정의하면 식 (12), (13)과 같게 정의할 수 있다.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (12)$$

$$y = Cx + Eu \quad (13)$$

A, B는 각각 시스템행렬, 입력행렬을 의미하고 C는 출력행렬, E는 전송행렬을 의미한다. 상태공간기법의 시스템 블록선도는 Fig. 9와 같다.

이를 바탕으로 각각의 계수 행렬 및 상태, 출력방정식을 구하면 식 (14)~(17)과 같다.

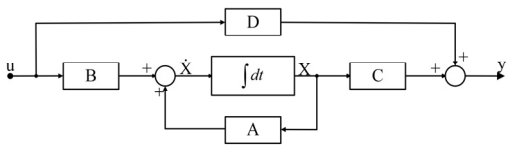


Fig. 9. System Block Diagram of State Space Method

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} D + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} (1-D) \quad (14)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} V_{pv} \\ 0 \end{bmatrix} D + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} (1-D) = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} V_{pv} \\ 0 \end{bmatrix} D \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} V_{pv} \\ 0 \end{bmatrix} D^2 \quad (16)$$

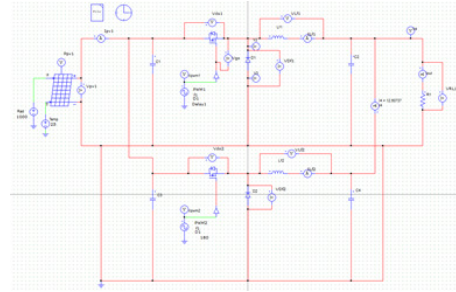
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} D \quad (17)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험

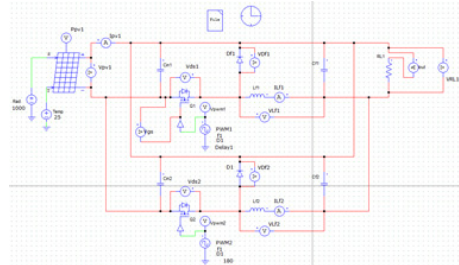
#### 3.1 시뮬레이션

벽 컨버터와 Negative 벽 컨버터의 시뮬레이션 모델

은 PSIM을 사용하여 진행했다. 각 회로도는 Fig. 10에 나타나 있다. Fig. 11은 각 컨버터의 입력 전력 및 출력 전력의 값이다. 결과를 바탕으로 효율을 비교해본 결과 기존 벽 컨버터는 약 97%, Negative 벽 컨버터는 99%의 효율 값을 나타냈다. 이를 통해 Negative 벽 컨버터가 상대적으로 높은 효율을 나타낸다는 것을 확인했다.

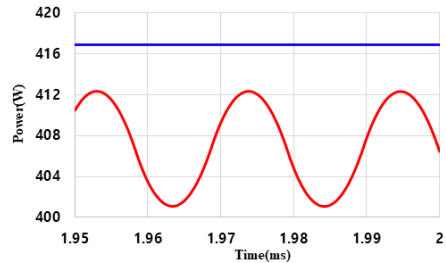


(a)

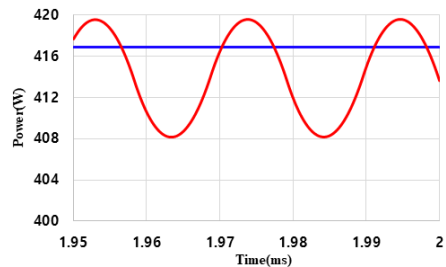


(b)

Fig. 10. PSIM Converter Model (a) Buck (b) Negative-Buck



(a)



(b)

Fig. 11. PSIM Simulation result(Power)

(a) Buck (b) Negative-Buck

### 3.2 실험

실험은 PV Simulator를 활용하여 진행했다. 실험 사양은 Table 1과 같다. MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘은 P&O(perturbation and observation) 방식을 활용하여 구성하였다[9-11]. Fig. 12는 실험에 사용된 벡 컨버터와 Negative 벡 컨버터이다. 게이트 회로 및 Bootstrap 회로를 통합하여 컨버터 종류에 맞는 회로로 연결했다.

Table 1. Converter Experimental Parameters

Parameters	value	unit
Input Voltage, Current	50/9	V, A
Switching frequency	48	kHz
MCU	STM32F103CBT6TR	-
Inductor	33	uH
Capacitor	60	uF
Algorithm	P&O MPPT	-

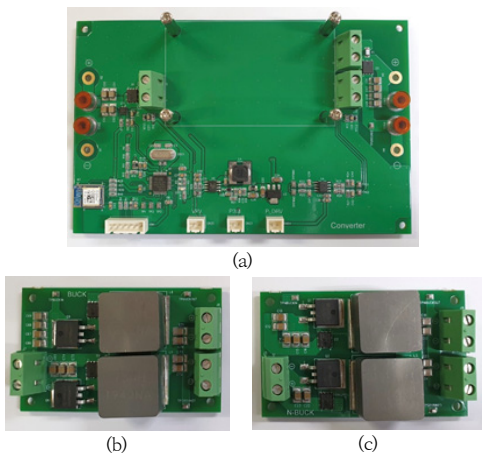


Fig. 12. Test Converter Model  
(a) Master board (b) Buck Converter  
(c) Negative-Buck Converter

Fig. 13는 실제 실험 환경을 보여주고 있다. 태양광 패널을 대신하여 PV Simulator로, 출력 부하는 전자 부하기로 대체하였다.

Fig. 14은 PV 시뮬레이터의 동작파형을 나타낸다. Fig. 14(a)는 벡 컨버터, Fig. 14(b)는 Negative 벡 컨버터의 파형을 나타낸다. 50V, 9A의 입력을 넣었을 때 약 96%, 99%의 효율 차이를 나타내고 있다.

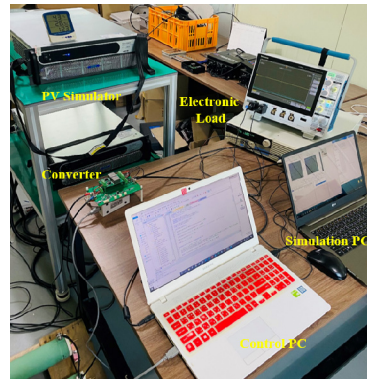
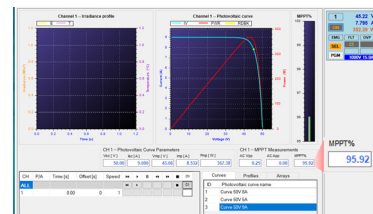
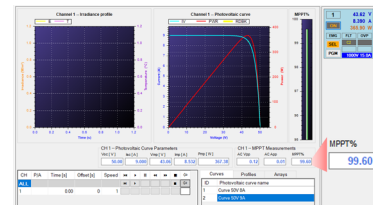


Fig. 13. Converter Experiment Configuration

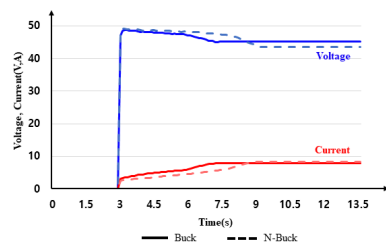


(a)

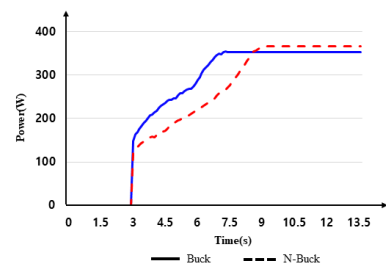


(b)

Fig. 14. PV simulation waveform (a) Buck (b) Negative-Buck



(a)



(b)

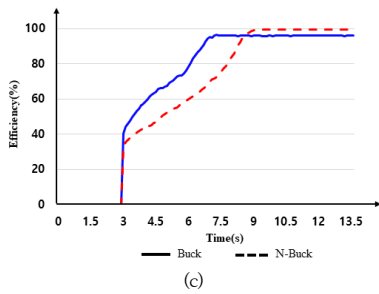


Fig. 15. Buck, N-Back result waveform  
(a) Voltage, Current (b) Power (c) Efficiency

Fig. 15는 컨버터의 전압, 전류, 출력, 효율을 나타내고 있다. 최대 출력 및 효율에 도달하는 시간은 Negative 백 컨버터가 1.5초 정도 느리지만 최대 출력 및 효율에서는 더 나은 성능을 보여주고 있다.

#### 4. 결론

본 논문에선 컨버터 종류에 따른 마이크로 컨버터 방식의 태양광 발전시스템 검증을 위하여 PSIM을 통해 컨버터를 모델링하고 시뮬레이션 및 실험을 진행했다. 실험 결과 Negative 백 컨버터가 기존 백 컨버터보다 높은 출력 및 효율 성능을 보여줬다. 이는 기존 백 컨버터의 경우 스위칭을 위해 높은 전압을 요구하게 되고 이로 인해 발생하는 손실로 인하여 발전효율이 저하되는 모습을 보이고 있다. 하지만 Negative 백 방식의 경우 스위칭을 위한 구동 전압이 낮고 이로 인하여 발생하는 구동 손실이 적으므로 발전 효율이 상대적으로 높게 나타났다.

이를 통해 본 논문에서 기존 백 컨버터 보다 Negative 백 컨버터가 구동 방식에 따른 손실 저감 성능의 타당성을 검증하였다.

#### References

[1] Korea Energy Agency, New and Renewable Energy Supply Performance Survey, [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=337&tblId=DT\\_337001N\\_A002](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=337&tblId=DT_337001N_A002), (accessed May. 27, 2021)

[2] Y. Wang, P. Zhang, W. Li and N. H. Kan'an, "Comparative analysis of the reliability of grid-connected photovoltaic power systems", IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-8, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1109/PESGM.2012.6345373>

[3] S. Bifaretti, V. Iacovone, L. Cina, and E. Buffone, "Global mppt method for partially shaded photovoltaic modules," in Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012 IEEE, sept. 2012, pp. 4768-4775.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ECCE.2012.6342171>

[4] H. Patel and V. Agarwal, "Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions", Industrial Electronics IEEE Transactions on, vol. 55, pp. 1689-1698, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.917118>

[5] Eftichios Koutroulis and Frede Blaabjerg, "A New Technique for Tracking the Global Maximum Power Point of PV Arrays Operating Under Partial-Shading Conditions", IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 2, no. 2, pp. 184-189, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2012.2183578>

[6] W. Desoto, S. A. Klein and W.A. Beckman, 'Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance', Solar Energy, Volume 80, Issue 1, Pages 78-88, 2006  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.010>

[7] Q. Kou, S. A. Klein and W. A. Beckman, 'A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems', Solar Energy, Volume 64, Issues 1-3, pp 33-40, 1998  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00049-8)

[8] V.C. Kotak, Preti Tyagi, "DC To DC Converter in Maximum Power Point Tracker, IJAREEIE, Vol. 2 Issue 12, pp 6115-6125, Dec. 2013

[9] J. M. Enrique, J. M. Andujar and M. A. Bohorquez, "A reliable, fast, and low cost maximum power point tracker for photovoltaic applications", Solar Energy, vol. 84, no. 1, pp.79 -89, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.011>

[10] M. A. Elgendy, B. Zahawi and D. Atkinson, "Operating characteristics of the P&O algorithm at high perturbation frequencies for Standalone PV systems", IEEE Trans. Energy Convers., vol. 30, no. 1, pp. 189-198, Mar. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEC.2014.2331391>

[11] S. Bhattacharyya, D. S. K. Patnam, S. Samanta and S. Mishra, "Steady Output and Fast Tracking MPPT (SOFT MPPT) for P&O and InC Algorithms", IEEE Trans. on Sustain. Energy. Vol. 12, no. 1, Jan. 2021 DOI: <https://doi.org/10.1109/TSST.2020.2991768>



오 승 택(Seung-Taek Oh)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한경대학교 전기전자제어공학부 졸업
- 2018년 8월 : 한양대학교 공과대학 전기공학과(공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 공과대학 전기공학과 박사과정

<관심분야>

모터 제어, 인버터 설계 및 제어, 전력전자

박 광 우(Seung-Taek Oh)

[정회원]



- 2018년 2월 : 순천대학교 식품공학과 학사
- 2021년 8월 : 전남대학교 전기및반도체공학과 (공학석사)
- 2017년 7월 ~ 현재 : ㈜더블유피 기업부설연구소 선임연구원

<관심분야>

전력전자, 신재생에너지

안 정 호(Jung-Ho Ahn)

[준회원]



- 2020년 2월 : 대구대학교 전자전기공학부 학사 졸업
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 전기공학과 석박통합과정

<관심분야>

전기기기, 자기부상, 전력계통

진 창 성(Chang-Sung Jin)

[정회원]



- 2001년 3월 ~ 2003년 2월 : 한양대학교 공과대학 전기공학과(공학석사)
- 2003년 2월 ~ 2007년 6월 : 대우일렉트로닉스 선임연구원
- 2007년 3월 ~ 2011년 2월 : 한양대학교 공과대학 전기공학과(공학박사)

- 2011년 2월 ~ 2018년 3월 : 한화지상방산 국방로봇팀 책임연구원
- 2018년 4월 ~ 현재 : 원광대학교 전기공학과 조교수

<관심분야>

모터 설계 및 제어, 신재생에너지, 전기자동차, 드론

윤 인 열(In-Yeol Yun)

[준회원]



- 2020년 2월 : 경일대학교 전기공학과 학사 졸업
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 전기공학과 석박통합과정

<관심분야>

전기기기, 전력전자