

태양광 모듈형 전력조절기를 위한 양방향 벡-부스트 포워드 컨버터

김경탁¹, 전영태¹, 박종후[†]

Bi-Directional Buck-Boost Forward Converter for Photovoltaic Module type Power Conditioning System

Kyoung-Tak Kim¹, Young-Tae Jeon¹, and Joung-Hu Park[†]

Abstract

This paper proposes an energy storage-assisted, series-connected module-integrated power conversion system that integrates a photovoltaic power conditioner and a charge balancing circuit. In conventional methods, a photovoltaic power conditioner and a cell-balancing circuit are needed for photovoltaic systems with energy storage devices, but they cause a complex configuration and high cost. Moreover, an imbalanced output voltage of the module-integrated converter for PV panels can be a result of partial shading. Partial shading can lead to the fault condition of the boost converter in shaded modules and high voltage stresses on the devices in other modules. To overcome these problems, a bidirectional buck-boost converter with an integrated magnetic device operating for a charge-balancing circuit is proposed. The proposed circuit has multiple secondary rectifiers with inductors sharing a single magnetic core, which works as an inductor for the main bidirectional charger/discharger of the energy storage. The secondary rectifiers operate as a cell-balancing circuit for both energy storage and the series-connected multiple outputs of the module-integrated converter. The operating principle of the cell-balancing power conversion circuit and the power stage design are presented and validated by PSIM simulation for analysis. A hardware prototype with equivalent photovoltaic modules is implemented for verification. The results verify that the modularized photovoltaic power conversion system in the output series with an energy storage successfully works with the proposed low-cost bidirectional buck-boost converter comprising a single magnetic device.

Key words: SCPVM(Self-Controlled PV Module), Bi-directional dc-dc converter, Voltage balance, MPPT(Maximum Power Point Tracking), Partial shading

1. 서 론

최근 수십 년 동안 환경오염과 기후변화 문제의 심화에 대한 이슈화와 함께 태양광, 풍력 등 신재생 에너지를 활용한 발전 방식이 관심을 받아 왔고, 이를 이용한

배터리, ESS와 같은 전기 에너지 저장장치에 대한 연구가 미래 산업의 하나로써 활발히 연구되고 있다. 이 중 태양 에너지를 이용한 태양광 발전은 다른 신재생에너지 기반의 발전보다 적은 제약사항으로 인해 가장 활발히 연구되고 있다. 태양광 발전의 가장 큰 단점중의 하나는 환경변화에 따른 발전량의 변화라고 할 수 있다. 해가 뜨고 짐에 따라 24시간 발전이 불가능한 것은 물론이고 비나 눈, 온도의 변화나 구름의 움직임과 같은 기상 변화에 취약하며 해가 뜬 상태에서도 발전이 가능한 시간이 제약적이다. 이러한 제약사항을 극복하는 것이 태양광 연구의 핵심으로 다뤄지고 있다. 일반적으로 태양에너지를 직접 전기에너지로 바꾸는 과정에서 태양광 패널이 만들어내는 직류 에너지를 우리가 사용하는

Paper number: TKPE-2016-21-4-8

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: wait4u@ssu.ac.kr, Dept. of Electrical Engineering., Soongsil University

Tel: +82-2-820-0645 Tel: +82-2-814-7965

¹ Dept. of Electrical Eng, Soongsil University

Manuscript received Mar. 1, 2016; revised Apr. 7, 2016;

accepted Jun. 17, 2016

— 본 논문은 2015년 추계학술대회 우수추천논문임

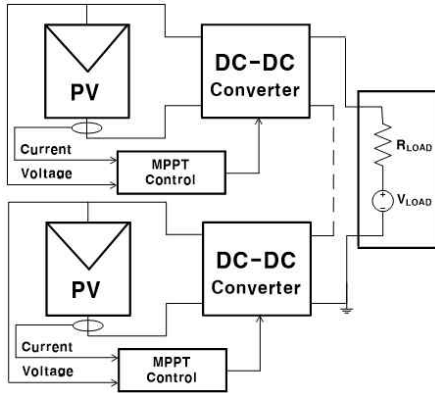


Fig. 1. Self-controlled PV module(SCPVM).

계통인 교류로 만들기 위해 계통연계 혹은 독립운전형 인버터를 통과하게 되는데 일사량의 변화와 같은 기상 조건에 따라 태양광 패널이 제공하는 출력이 변하게 된다면 최대의 발전량을 얻을 수 없게 된다. 이를 극복하기 위해 최대전력점추종(MPPT, Maximum Power Point Tracking) 제어 기술이 대표적으로 사용되고 있다^[1-2]. 일사량의 변화에 따라 항상 최대의 전력으로 발전할 수 있게 최적의 동작점을 추적해서 제어하는 방식이다.

분산 모듈형 컨버터 구조를 이용한 시스템은 일사량 변화에 따라 태양광 패널 각각의 MPPT를 추적하기 때문에 부분 그늘짐과 같은 현상에 대비할 수 있다^[3]. 이 구조에서 태양광 패널은 각각 전용의 DC-DC 컨버터가 연결되어 있는데 이런 구조를 자가제어태양광모듈(SCPVM, Self-Controlled PV Module)이라고 하고 일반적으로 부스트 컨버터가 DC-DC 컨버터로서 사용되고 있다^[4-5]. 그림 1은 SCPVM의 구조를 나타내고 있다. 분산 모듈형 컨버터 구조는 특성상 SCPVM간의 출력이 직렬로 연결되어 DC링크 커패시터를 통해서 계통연계형 혹은 독립형 부하에 연결되는데 직렬 연결된 SCPVM의 출력부로 인하여 SCPVM의 출력전압은 SCPVM 각각의 출력전력과 전체 SCPVM 출력전력 총합의 비로서 결정되게 된다. 이는 위에서 언급한 부분 그늘짐 현상이 발생시 DC 링크 커패시터간의 전압 불균형이 발생하게 된다. 이 전압불균형은 극심한 경우 부스트 컨버터의 작동을 제한하여 태양광 모듈의 발전을 중단시킬 수 있고 소자들의 과도한 스트레스를 유발한다. 예를 들면 1번 태양광 패널의 MPPT 지점이 50V이고 90W의 출력을 제공하고 2번 태양광 패널의 MPPT 지점은 40V이고 10W의 출력을 제공한다고 한다면 부스트 컨버터의 출력전압은 태양광 패널의 출력전력에 비례하므로 계통연계 혹은 독립운전형 인버터 입력이 311V일 때 각각 280V와 31V가 될 것이다. 이는 부스트 컨버터의 특성상 2번 태양광 패널의 발전이 중단됨을 의미한다. 이러한 상황을 그림 2의 비균등 일사량에서의 SCPVM의 간략화 모델 그림과 식으로 나타내 보면 다음과 같다.

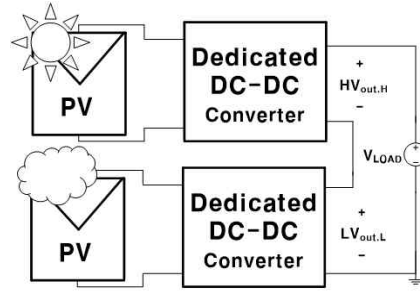


Fig. 2. Simplified model of SCPVM while unbalanced solar radiation.

$$V_{out,X} = V_{LOAD} \frac{P_{out,X}}{HP_{out,H} + LP_{out,L}} \quad (1)$$

X : H 혹은 L

H : 정상적인 일사량을 받는 태양광 패널의 수

L : 부분 그늘짐 상태의 태양광 패널의 수

식 (1)^[4]을 살펴보면 부분그늘짐 상태에 놓이게 되면 1번 태양광 패널들을 구성하는 소자들의 스트레스를 예상할 수 있다. 부분그늘짐 현상이 발생한 태양광 패널의 전압 $V_{out,H}$ 은 $\frac{V_{LOAD}}{H}$ 가 될 것이고 H 가 충분히 작은 경우라면 $V_{out,H}$ 는 일반적인 상황보다 커지게 되며 부스트 컨버터의 출력전압은 스위치와 출력 커패시터 전압의 최대값으로 나타내지는 특성상 소자의 스트레스를 유발하여 이에 대비해 여유를 더 주어야 한다. 이러한 상황은 $V_{out,H} \leq V_{dsmax}$ 의 조건을 제한하게 하는 시스템을 요구한다.

본 논문에서는 위에서 언급한 SCPVM의 문제점을 보완하는 태양광 모듈형 전력조절기를 위한 양방향 백-부스트 파워 컨버터를 제안한다. 부분그늘짐 현상 하에서 태양광 패널간 전압불균형을 개선하여 정상적인 태양광 발전을 유도하고 소자들의 스트레스를 줄여 SCPVM의 효율 증대를 목적으로 한다. 제안하는 컨버터의 토폴로지는 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다.

2. 회로의 구성

그림 3은 본 논문에서 사용된 SCPVM 부분, 그림 3은 제안하는 양방향 백-부스트 파워 컨버터를 나타낸다. 두 개의 태양광패널-부스트 컨버터로 이루어진 SCPVM은 DC링크 커패시터를 통해 계통연계 혹은 독립운전형 인버터와 연결된다. 양방향 백-부스트 파워 컨버터는 크게 백-부스트 컨버터와 그의 자화인덕턴스 L_m 을 기준으로 양쪽으로 다중 출력 파워 컨버터의 2차 측으로 구성되어 있다.

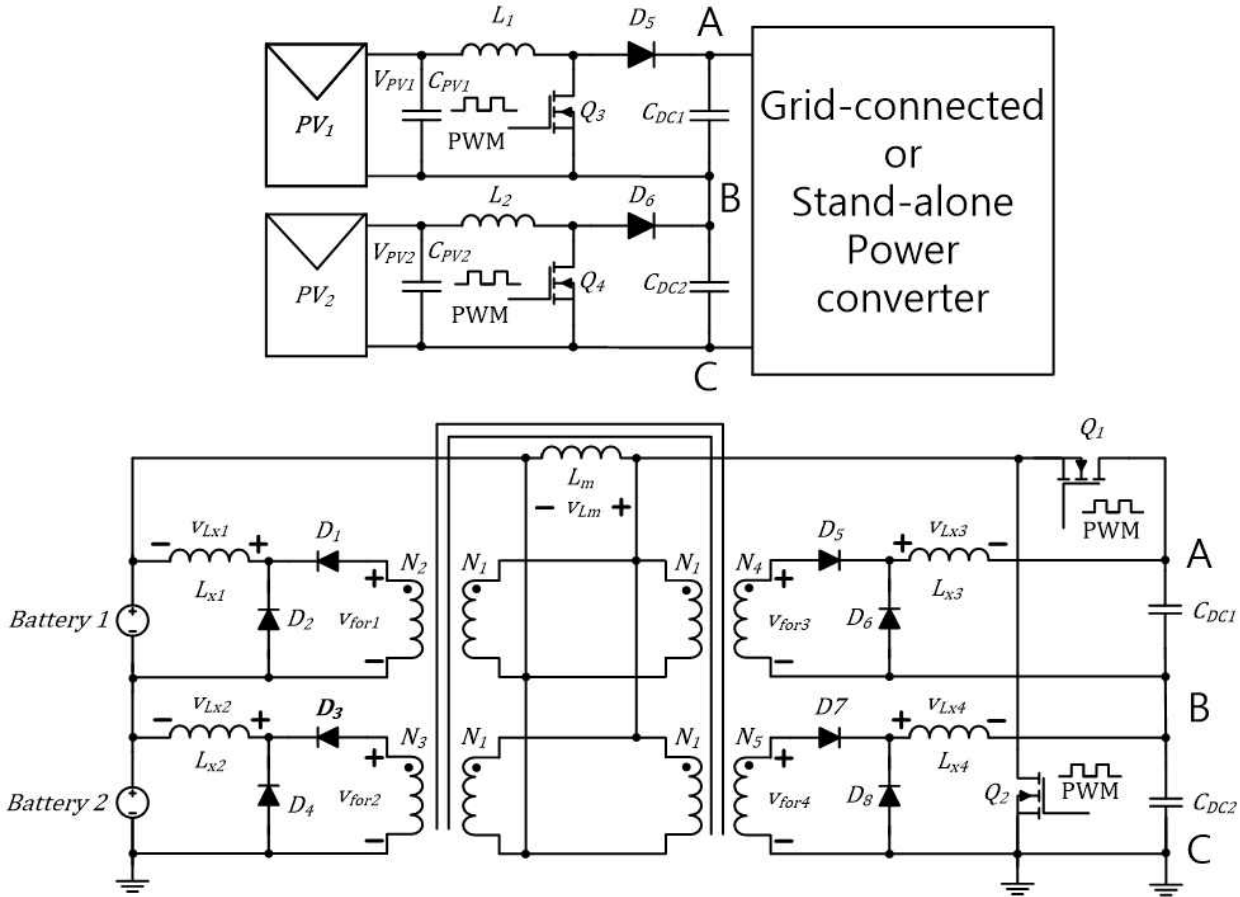


Fig. 3. Overall circuit: Proposed bi-directional buck-boost forward converter connected with series connected two SCPVM.

3. 제안하는 양방향 벡-부스트 파워드 컨버터

3.1 제안하는 양방향 벡-부스트 파워드 컨버터의 회로 해석

제안하는 회로는 양방향 작동이 가능한 벡-부스트 컨버터를 사용함으로써 벡 모드와 부스트 모드로서의 작동 두 가지를 설계할 수 있다. 부스트 모드로 작동할 때는 계통연계 혹은 독립운전형 인버터의 입력에 제안하는 컨버터의 부스트 회로 출력부가 연결되고 직렬 연결된 다 수의 배터리 혹은 ESS를 입력부로 가정한다. 이때는 SCPVM의 출력전압의 균형을 위해 배터리 혹은 ESS가 가동하고 이에 따른 배터리의 수명과 지속적인 성능 유지를 위해 배터리 간의 전압균등화 회로 역시 작동한다. 벡 모드로 작동할 때는 SCPVM 출력전압의 불균형이 발생하지 않는 정상 발전 상태이며 계통에서 배터리나 ESS를 충전하는 등의 충전모드로 동작한다. 본 논문에서는 부스트 모드에서의 동작을 분석한다.

제안하는 회로의 가장 중요한 부분은 양방향 벡-부스트 컨버터의 인덕터로서 하나의 자기 소자를 이용하여 양방향 벡-부스트 컨버터와 각각의 파워드 컨버터를 연결하는 것이라고 할 수 있다. 일반적인 플라이백 컨버터

에서 외형으로는 트랜스포머처럼 보이는 것이 실제로는 인덕터의 역할을 하고 있다 이와 유사하게 제안하는 양방향 벡-부스트 회로의 인덕터와 파워드 컨버터가 연결된 부분은 그림 3에서 트랜스포머처럼 보이지만 실제로는 인덕터의 역할을 하고 있다. 따라서 회로의 동작은 자화인덕턴스 L_m 의 전압인 v_{Lm} 을 기준으로 해석한다.

Q_1 이 ON 상태일 때(Q_2 는 OFF):

$$v_{Lm} = (V_{bat1} + V_{bat2}) \left(\frac{d}{1-d} \right) \quad (2)$$

Q_2 이 ON 상태일 때(Q_1 는 OFF):

$$v_{Lm} = -(V_{bat1} + V_{bat2}) \quad (3)$$

그림 4는 부스트 모드에서 제안하는 회로 출력부의 동작을 보여주고 있다. v_{Lx3} 와 v_{Lx4} 는 다음과 같다.

$$v_{Lx3} = \frac{N_1}{N_3} (V_{bat1} + V_{bat2}) \left(\frac{d}{1-d} \right) - v_{C_{DC1}} \quad (4)$$

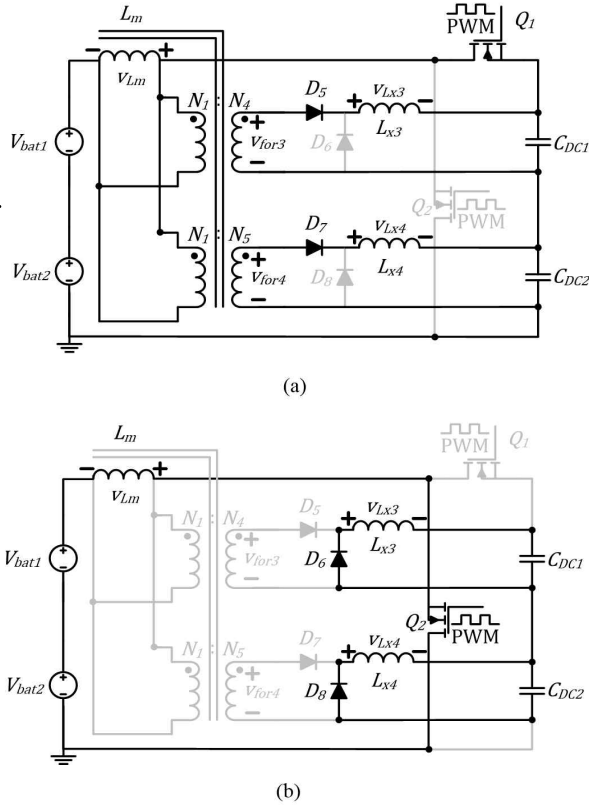


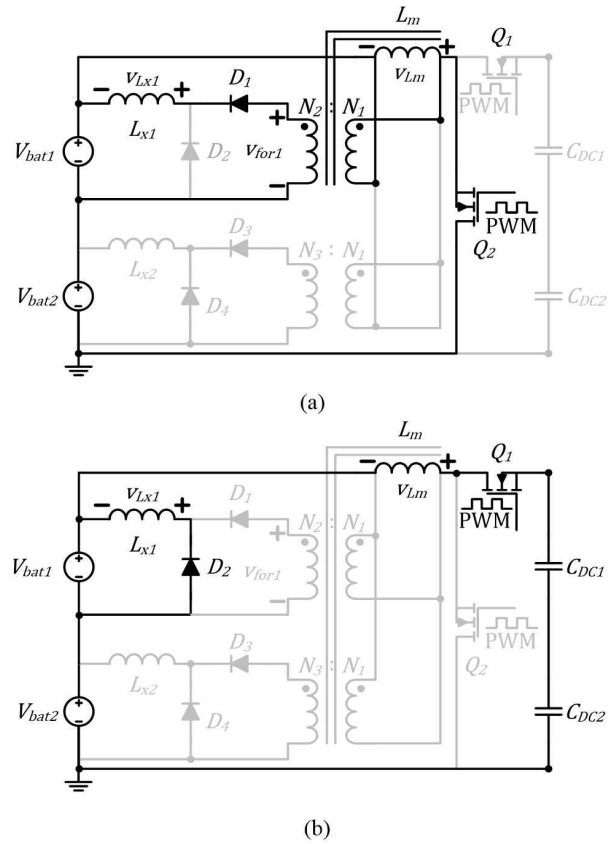
Fig. 4. Operation of output proposed converter:

(a): Q_1 is on state; (b): Q_2 is on state.

$$v_{Lx4} = \frac{N_1}{N_3} (V_{bat1} + V_{bat2}) \left(\frac{d}{1-d} \right) - v_{CDC2} \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)는 SCPVM간의 전압균등화 유도를 위해 설계해야 하는 값들을 알 수 있다. 파워드 컨버터의 특성 상 v_{for3} 가 v_{CDC1} 보다 커야하기 때문에 턴수비와 듀티의 적절한 설계가 필요하다. 수식 상으로 살펴보면 적절한 턴수비와 듀티를 선정한다면 v_{CDC1} 혹은 v_{CDC2} 둘 중 한쪽만 v_{for3} , v_{for4} 의 전압보다 크게 설계할 수 있다. 따라서 전압불균형이 발생할 시 한쪽의 파워드만 작동하여 파워드 컨버터가 전류를 공급하기 때문에 균형을 맞춰줄 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 하지만 듀티비는 SCPVM과 연결 될 계통연계 혹은 독립 운전형 인버터의 조건에 따라 제어될 변수이기 때문에 고정값이고 턴수비 역시 실제 하드웨어 제작시 수식 계산에 따른 정밀한 값으로 설계할 수 없다는 한계가 존재한다. 그러므로 항상 v_{for3} 와 v_{for4} 가 v_{CDC1} 와 v_{CDC2} 둘 모두보다 크게 설계하게 되어 모자란 부분만 보완해주는 방식으로 보상할 수 없다.

그림 5는 부스트 모드에서 제안하는 회로 입력부의 동작을 보여주고 있다. 두 개의 상용배터리를 직렬로 연결되어 있고 $V_{bat1} < V_{bat2}$ 인 배터리 간 전압불균형 상태를 가정한 상태에서 v_{Lx1} 를 보면 다음과 같다.

Fig. 5. Operation of input proposed converter. Assumed that $V_{bat1} < V_{bat2}$ (a): Q_2 is on state; (b): Q_1 is on state.

$$v_{Lx1} = \frac{N_2}{N_1} (V_{bat1} + V_{bat2}) - V_{bat1} \quad (6)$$

식 (6)을 보면 식 (4)나 식 (5)와는 달리 듀티가 식에 존재하지 않고 오로지 입력 배터리의 전압만이 관계하고 있음을 알 수 있다. 또한 턴수비를 배터리의 개수, 즉 배터리와 연결된 파워드 컨버터 2차측의 개수로 설계한다면 배터리 간 전압의 평균으로 v_{for1} 을 설계할 수 있기 때문에 그림 5가 가리키듯이 두 배터리 간 전압이 더 낮은 쪽의 파워드 컨버터만이 작동해서 전압불균형 상태를 해결하려고 한다.

식 (4)와 식 (5)를 통해 SCPVM 중 정상적으로 발전하고 있는 곳 모듈은 적은 크기의 전류를 주입하고, 부분 그늘짐이 발생하여 발전량이 적은 모듈은 큰 전류를 주입하는, 두 모듈 모두에 파워드 전류를 주입하여 불균형을 해소하려는 방식으로 동작하고 식(6)을 통해서 배터리의 불균형을 보상하려는 경우는, 두 배터리의 전압 중 작은 경우에만 전류를 주입하여 동작함을 알 수 있다. 즉 입력의 배터리의 경우 전압이 다른 쪽과 비교해서 낮은 쪽이 있다면 선택적으로 작용하여 낮은 쪽의 배터리를 평균으로 도달하게끔 동작할 것이고, 출력의

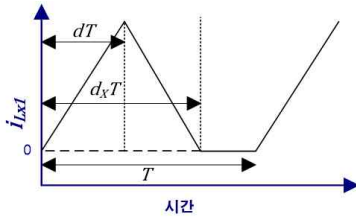


Fig. 6. DCM characteristic of $I_{L_{X1}}$, $I_{L_{X2}}$

SCPVM의 경우는 어느 한쪽의 태양광 패널이 그늘짐 현상으로 인해서 발전량이 부족해 동작하지 않는 경우에도 그 전류 보상의 크기만 다를 뿐 정상적인 SCPVM과 그늘짐 현상이 발생한 SCPVM 두 경우 모두에 작용하여 보상 대상을 선택할 수 없음을 의미한다.

3.2 제안하는 양방향 벡-부스트 파워드 컨버터의 인덕터 설계

제안하는 컨버터에서 전압불균형을 개선하는데 중요한 소자는 파워드 컨버터의 인덕터이다. 인덕터를 중심으로 전압불균형에 대한 성능을 설계해 볼 수 있다^[6].

3.2.1 배터리 전압불균형 개선 부분의 인덕터

배터리 전압불균형 쪽의 불균형을 해결하기 위해서 v_{for1} 혹은 v_{for2} 와 더 낮은 전압을 가지고 있는 배터리간의 전압차가 L_{X1} 이나 L_{X2} 에 인가되어 $I_{L_{X1}}$ 혹은 $I_{L_{X2}}$ 를 만든다. 이 전류들의 평균에 따라서 한 주기 동안 보상해 줄 수 있는지에 대한 크기가 결정되기 때문에 인덕터의 크기는 중요한 값이다. 한 가지 더 중요한 부분은 불연속모드(DCM, Discontinuous conduction mode)로만 동작이 가능하다는 점이다. 그림 6은 DCM 상황에서 인덕터 전류의 파형을 보여주고 있다. 그림 6에서 보듯이 듀티 d 만큼의 시간동안 증가된 전류는 나머지 $d_x - d$ 의 시간동안 다시 줄어야 한다. 듀티 d 만큼의 시간동안 큰 전류가 생성된 후 $d_x - d$ 의 시간동안 0으로 줄지 못한다면 전류는 무한히 커지게 되어 밸런싱의 기능을 잃게 된다. d_x 를 입출력과 배터리간의 편차, 턴수비로 나타내 보면

$$d_x = \frac{N_2(v_{CDC1} + v_{CDC2} - V_{bat1} - V_{bat2})(V_{bat1} + V_{bat2})}{N_1 V_{bat1}(v_{CDC1} + v_{CDC2})} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 이를 이용해서 얼마만큼의 배터리간의 전압차를 보상해줄 수 있는지를 유도할 수 있다.

$$\Delta V_{\leq} - \frac{4V_{bat2} + (N-1)V_O - \sqrt{\{V_O(1-N) - 4V_{bat2}\}^2 - 4V_{bat2}\{(N-2)V_O + 4V_{bat2}\}}}{2}$$

$$V_{bat1} = V_{bat2} - \Delta V, \quad V_O = v_{CDC1} + v_{CDC2}, \quad N = N_1/N_2 \quad (8)$$

식 (7) 과 식 (8)은 d_x 와 ΔV 가 입력 전압과 출력전압 턴수비에 관련이 있음을 알 수 있다. $I_{L_{X1}}$ 의 평균을

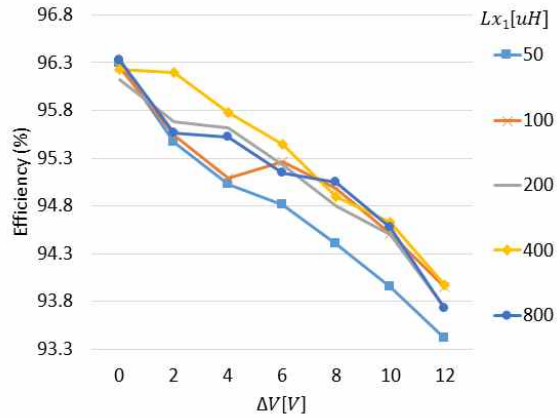


Fig. 7. Efficiency of prototype hardware with variable L_{X1} , ΔV

구하면 다음과 같다.

$$I_{L_{X1}avg} = \frac{dd_x}{2L_{X1}f} \left\{ \left(\frac{2-N}{N} \right) V_{bat2} + \left(\frac{N-1}{N} \right) \Delta V \right\} \quad (9)$$

식 (9)를 통해 L_{X1} 이 작을수록, 스위칭 주파수가 작을수록 2차측 파워드의 출력을 통해 주입되는 평균전류가 커져서 전압차를 빠르게 회복해 줄 수 있는 능력이 더 커짐을 알 수 있다. 하지만 전류가 커질수록 손실도 늘어나기 때문에 손실과 보상능력의 최적 점을 적절히 설계해야 한다. 일단 시스템에 대한 스펙이 결정되고 나면 턴수비와 시비율, 스위칭 주파수, 배터리의 입력전압은 인덕터 설계에 반영할 수 없다. 즉 인덕터의 평균전류는 인덕턴스 값에 반비례 하고 배터리 간 전압 편차에 비례하는 경향을 알 수 있다.

그림 7은 제안하는 회로의 프로토타입에서의 인덕턴스 값과 배터리 간 전압 편차의 변화에 따른 효율의 경향을 나타내고 있다. 그림 8에서 50uH의 인덕턴스를 사용했을 경우와 100uH를 사용한 경우 12V의 전압편차를 보이고 있는 상황에서 0.5%의 효율 차를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 경향을 토대로 프로토타입의 하드웨어는 100uH의 인덕터를 사용하도록 설계하였다.

3.2.2 SCPVM 전압불균형 개선 부분의 인덕터

SCPVM 전압불균형 개선부분의 인덕터는 앞선 3.2.1에서의 배터리 전압불균형 개선부분의 인덕터와 같은 평균전압이 전압불균형을 보상하는 방식이 아니기 때문에 출력의 v_{CDC1} 와 v_{CDC2} 의 편차를 고려할 필요가 없다. 식 (9)와 마찬가지로 L_{X3} 가 작을수록 전압불균형을 보상하는 전류의 양이 커진다^[7].

4. 시뮬레이션

제안하는 양방향 벡-부스트 파워드 컨버터의 성능을

TABLE I
SIMULATION AND EXPERIMENT PARAMETER
OF PROPOSED BI-DIRECTIONAL BUCK-BOOST
FORWARD CONVERTER

Symbol	Parameter	Value
V_{bat1}	Battery 1 voltage	20 [V]
V_{bat2}	Battery 2 voltage	28 [V]
V_O	Output voltage of proposed converter	156 [V]
V_{PV1}, V_{PV2}	PV1, PV2 MPPT voltage	30 [V]
P_{PV1}	Power of PV1	60 [W]
P_{PV2}	Power of PV2	10 [W]
f_s	Switching frequency	30 [kHz]
L_m	Magnetizing inductance	300 [uH]
$L_{X1}, L_{X1}, L_{X1}, L_{X1}$	Forward converter inductance	100 [uH]
L_1, L_2	Boost converter inductance	400 [uH]
$N_1 : N_2 : N_3 : N_4 : N_5$	Turn ratio	2 : 1 : 1 : 2 : 2

확인하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문의 시뮬레이션과 실험에서 사용한 조건과 값은 표 1에서 확인할 수 있다.

그림 8은 정상 동작 중인 1번 태양광 패널과 그늘짐 현상이 발생한 2번 태양광 패널이 각각 60W, 10W의 전력을 발전하고 있는 상태에서의 v_{CDC1} 와 v_{CDC2} 의 크기와 MPPT를 보여주고 있다. 두 경우 모두 30V의 MPPT 지점에 대한 P&O 알고리즘 계산을 수행하지 못하고 있으며 v_{CDC1} 와 v_{CDC2} 의 크기가 전력에 비례해서 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 제안하는 양방향 백-부스트 포워드 컨버터를 사용한 후의 v_{CDC1} 와 v_{CDC2} 의 크기와 태양광 패널 각각의 MPPT를 보여주고 있다. 134V와 22V로 나뉜 불균형을 각각 87.5V와 68.5V로 격차를 좁혀 부스트 컨버터가 승압할 수 있는 조건을 만들어 줄 수 있었고 그에 따라 양 PV모두 MPPT를 수행하고 있음을 보여주고 있다. 두 불균형 전압을 정확히 같은 크기로 균형을 맞춰 주지는 않지만 그늘짐 현상이 발생한 상황에서도 문제 없이 MPPT를 수행할 수 있다.

그림 10은 입력 배터리들과 태양광 패널 간의 전압불균형 상태에 각각의 포워드 전류를 나타내고 있다. $I_{L_{X1}}$ 과 $I_{L_{X2}}$ 를 비교해 볼 때 $I_{L_{X1}}$ 의 전류만을 확인할 수 있으므로 편차가 존재하는 쪽의 포워드 컨버터만이 동작함을 알 수 있다. $I_{L_{X3}}$ 와 $I_{L_{X4}}$ 를 비교해 보면 두 포워드

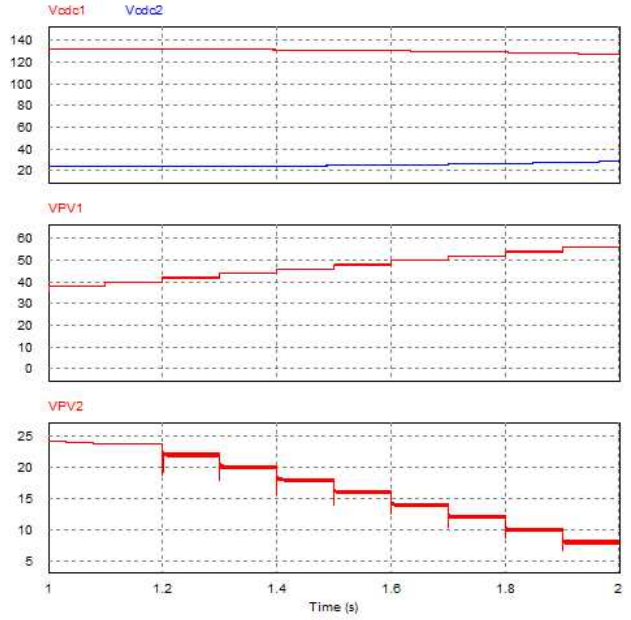


Fig. 8. Waveform of v_{CDC1} , v_{CDC2} , V_{PV1} , V_{PV2} without using proposed converter.

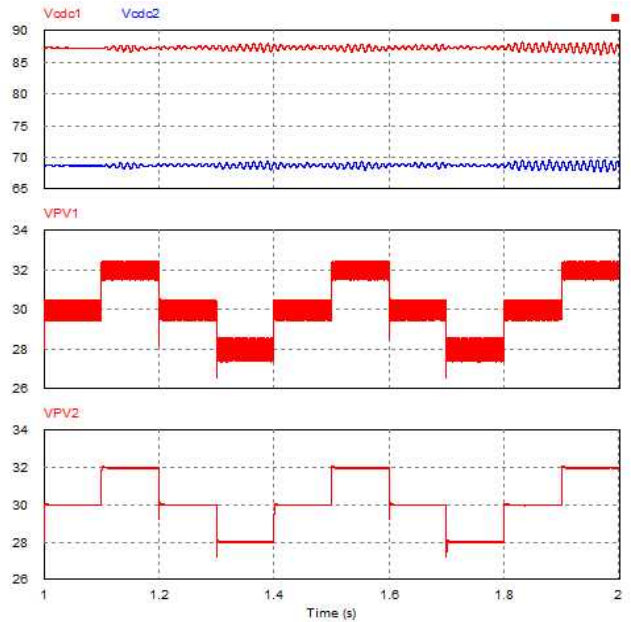


Fig. 9. Waveform of v_{CDC1} , v_{CDC2} , V_{PV1} , V_{PV2} using proposed converter.

컨버터가 모두 동작하지만 그늘짐 현상이 발생하여 낮은 전력을 발전하고 있는 쪽의 전류가 더 큰 것으로서 두 전압의 불균형을 맞추려고 동작함을 볼 수 있다.

5. 실험

제안하는 양방향 백-부스트 포워드 컨버터를 검증하기 위하여 그림 11과 같이 프로토타입의 하드웨어를 이용하여 실험을 수행하였다.

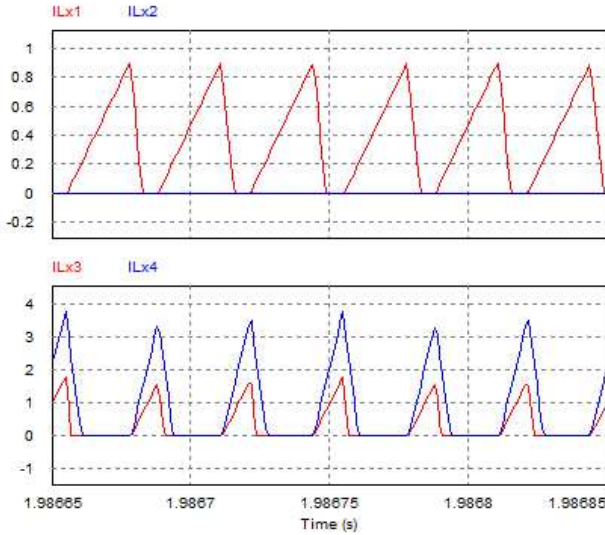


Fig. 10. Waveform of I_{Lx1} , I_{Lx2} , I_{Lx3} , I_{Lx4} using proposed converter.

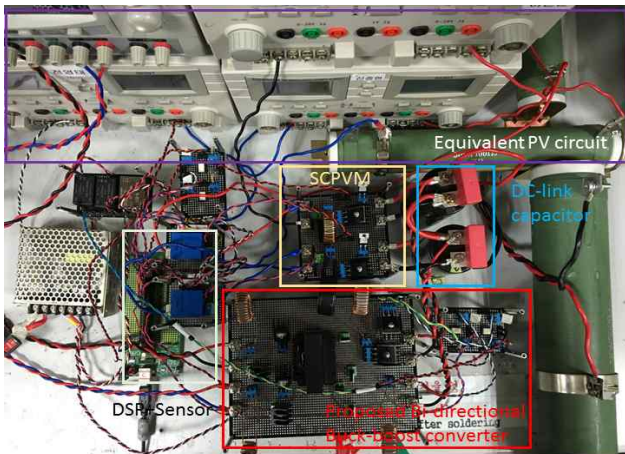


Fig. 11. Prototype hardware of proposed converter.

그림 12는 하드웨어 상에서 입력 배터리간의 불균형이 발생 시 동작하는 포워드 컨버터를 알 수 있다. 20V와 28V의 배터리 간 불균형 발생 시 20V쪽의 포워드 컨버터만이 작동함을 알 수 있다.

그림 13은 그늘짐 현상 발생 시 작동하는 제안하는 컨버터의 출력부 포워드 컨버터의 동작을 보여준다. 시뮬레이션에서와 같이 그늘짐 현상이 발생한 SCPVM 쪽에 많은 전류를 공급하여 정상적으로 MPPT를 수행할 수 있도록 해줄 수 있음을 알 수 있다.

그림 14는 두 태양광 패널 중 한곳에 그늘짐 현상이 발생하여 각각 60W, 10W를 발전할 수 있을 때 기존의 경우는 DC링크의 전압이 각각 134V, 22V로 나뉘게 되어 MPPT 지점이 30V일 경우 승압이 불가능하여 정상적으로 MPPT를 수행할 수 없지만 제안하는 컨버터를 사용하여 각각 84V와 77V로 맞춰줌으로서 승압이 가능하게 되어 MPPT를 정상적으로 수행할 수 있음을 보여준다.

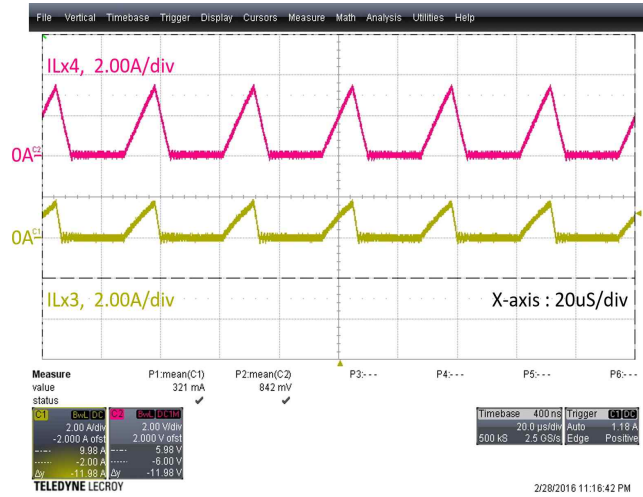


Fig. 12. Waveform of I_{Lx1} , I_{Lx2} in hardware.

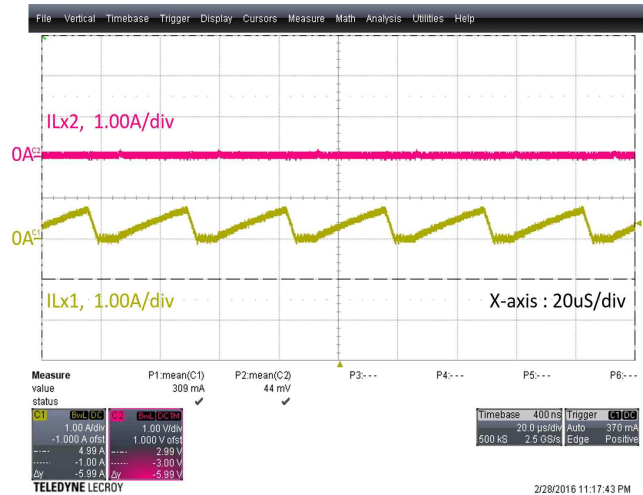


Fig. 13. Waveform of I_{Lx3} , I_{Lx4} in hardware.

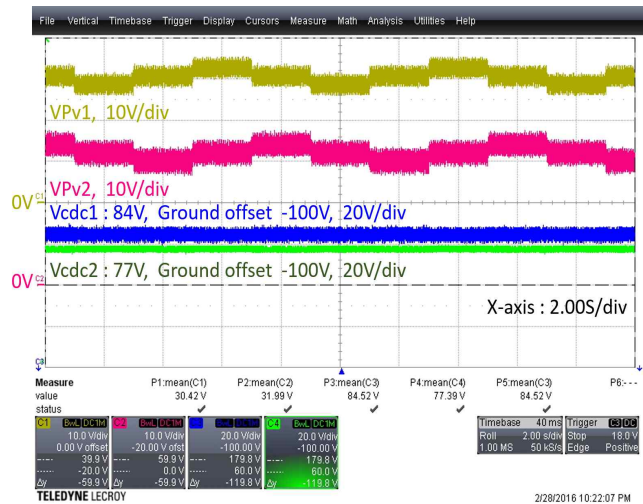


Fig. 14. Waveform of v_{CDc1} , v_{CDc2} , V_{Pv1} , V_{Pv2} in hardware.

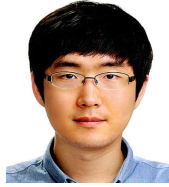
6. 결 론

본 논문에서는 양방향 백-부스트 포워드 컨버터를 이용하여 입력으로 사용하는 배터리들 간의 전압 균형을 잡아주고 부분 그늘짐 현상과 같은 조건에서 SCPVM 출력 전압의 균형을 잡아주어 소자들의 스트레스를 낮추고 MPPT가 불가능한 상황에 놓여도 정상적으로 MPPT를 수행할 수 있는 토폴로지를 제안하였다. 제안한 방법은 동시에 입력과 출력 두 부분의 전압의 균형을 잡아주는 역할을 할 수 있다. 또한 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제안하는 토폴로지의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업지(NRF-2014R1A1A1003964)을 받아 수행한 연구결과임.

References

- [1] E. Roman, R. Alonso, P. Ibanez, S. Elorduizaparietxe, and D. Goitia, "Intelligent PV module for grid-connected PV systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 53, No. 4, pp. 1066 - 1073, Aug. 2006.
- [2] W. Xiao, N. Ozog, and W. G. Dunford, "Topology study of photovoltaic interface for maximum power point tracking," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 54, No. 3, pp. 1696 - 1704, Jun. 2007.
- [3] L. Linares, R. W. Erickson, S. MacAlpine, and M. Brandemuehl, "Improved energy capture in series string photovoltaics via smart distributed power electronics," *Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 2009, Twenty-Fourth Annual IEEE*, pp. 904-910, Feb. 2009.
- [4] N. Femia, G. Lisi, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Distributed maximum power point tracking of photovoltaic arrays: Novel approach and system analysis," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 55, No 7, pp. 2610-2621, Jul. 2008.
- [5] G. R. Walker and P. C. Semia, "Cascaded DC-DC converter connection of photovoltaic modules," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, No. 4, pp. 1130-1139, July 2004.
- [6] K. T. Kim and J. H. Park, "Cell balancing using discontinuous conduction mode boost-forward converter," *Power Electronics Annual conference*, pp. 255-256, July 2015.
- [7] K. T. Kim and J. H. Park, "Bi-directional buck-boost forward converter for photovoltaic module type power conditioning system," *Power Electronics Annual conference*, pp. 50-51, Nov. 2015.



김경탁(金庚焻)

1988년 4월 22일생. 2015년 숭실대 전기공학부 졸업. 2015년~현재 동 대학원 전기공과 석사과정.



전영태(全映泰)

1988년 4월 1일생. 2014년 숭실대 전기공학부 졸업. 2014년~현재 동 대학원 전기공과 석박 통합과정.



박종후(朴種厚)

1975년 8월 26일생. 1999년 서울대 공대 전기공학부 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(공박). 2007년~2009년 서울대 정보기술사업단 박사후 연구원. 2009년~현재 숭실대 전기공학부 및 부교수. 2015년~현재 캐나다 브리티시 컬럼비아대 방문교수. 당 학회 JPE 편집위원.