

승압 강압 콤비네이션 모드가 가능한 고효율 태양광 충전용 DC-DC 컨버터

High efficiency photovoltaic DC-DC charger possible to use the buck and boost combination mode

이상훈^{1*}

Sang-Hun Lee¹

〈Abstract〉

In the present industrial field, the demand for the development of the solar power source device and the charging device for the solar cell is gradually increasing. The solar charger is largely divided into a DC-DC converter that converts the voltage generated from the sunlight to a charging voltage, and a battery and a charger that are charged with an actual battery. The conventional charger topology is used either as a Buck converter or a Boost converter alone, which has the disadvantage that the battery can not always be charged to the desired maximum power as input and output conditions change. Although studies using a topology capable of boosting and stepping have been carried out, Buck-Boost converters or Sepic converters with relatively low efficiency have been used. In this paper, we propose a new Buck Boost combination power converter topology structure that can use Buck converter and Boost converter at the same time to improve inductor current ripple and power converter efficiency caused by wide voltage control range like solar charger.

Keywords : Charger, DC-DC converter, Buck Boost combination power convert

^{1*} 주저자, 동의과학대학교 전기과 조교수,
(E-mail: purme417@empas.com)

^{1*} Post Author, Dept. of Electrical Engineering, Dong-Eui
Institute of Technology
Tel:+82-51-860-3191 Fax:+82-51-860-3327

1. 서론

2개의 태양광 (Photovoltaic, PV) 발전은 에너지 사용에 대한 규제와 Grid Parity 도달에 따라 점점 더 매력적인 청정 에너지원으로 각광 받고 있다. 하지만 태양에너지를 이용하는 특성상 주변 환경의 변화에 수동적인 단점을 극복하여 발전량을 극대화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1] 현재 산업현장에서는 태양전지를 이용한 다양한 형태의 전원장치들을 개발하고 있으며 태양전지를 이용한 충전장치의 수요도 점차 증가하고 있다. 태양광 충전기는 크게 태양광에서 발전된 전압을 충전 전압으로 변환 하는 DC-DC 컨버터와 실제 배터리로 충전하는 배터리, 충전기로 나눌 수 있다.[2] 태양광 발전 특성상 입력 조건이 변할 수 있으며, 태양전지에 좀 더 많은 발생전력을 얻기 위해 변화하는 입력에 대한 최대전력추종 (MPPT)을 하게 된다. 배터리 또한 충전 상태 (State of Charge, SOC)에 따라 출력 조건이 변화하게 된다. 기존의 충전기의 토폴로지는 Buck 컨버터 또는 Boost 컨버터 단독으로 사용하였던 이는 입출력 조건이 변함에 따라 항상 배터리가 원하는 최대 전력으로 충전할 수 없는 단점을 가진다. 승·강압이 가능한 토폴로지를 이용한 연구도 진행이 되었지만 상대적으로 효율이 낮은 Buck-Boost 컨버터 또는 Sepic 컨버터를 사용하였으며, MPPT 동작 및 CC-CV 동작을 병행하여 충전하는 알고리즘은 구현이 되지 않았다.

본 논문에서는 태양광 충전기와 같이 넓은 전압 제어 범위로 인해 발생하는 인덕터 전류 리플과 전력 변환기의 효율을 개선하기 위해, Buck 컨버터와 Boost 컨버터를 동시에 사용할 수 있는 새로운 형태의 Buck Boost 콤비네이션 전력변환기 토폴로지 구조를 제안하였다. 제안된 콤비네이션 전력변환기는 각 자의 Buck컨버터와 Boost 컨

버터의 독립적 동작을 통해 Buck-Boost 컨버터의 단점을 보완할 수 있다. 또한 Buck컨버터와 Boost 컨버터를 조합한 새로운 콤비네이션 전력변환기의 제어방법을 제안하였다.

2. 시스템 구성

PV Module은 일사량과 음영과 같은 태양광의 조건에 의해 출력 V-I 곡선이 크게 변하게 된다. 이는 배터리 상태에 따라, 승압 및 강압 운전이 필요하게 된다. 이러한 이유로 대다수의 태양광 모듈을 이용한 배터리 충전장치의 경우 승압과 강압 기능을 모두 사용할 수 있는 형태의 토폴로지를 이용하고 있다.

그림 1은 Buck 컨버터와 Boost 컨버터를 각각 독립적으로 사용할 수 있는 콤비네이션 모드 DC-DC 컨버터를 나타내고 있다.

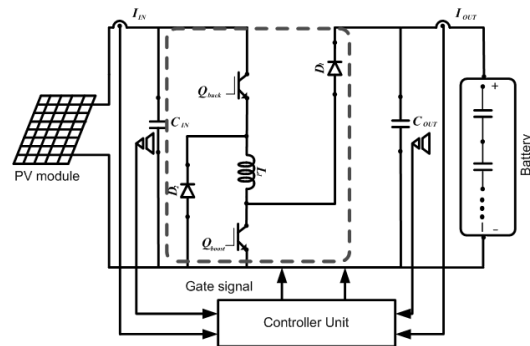


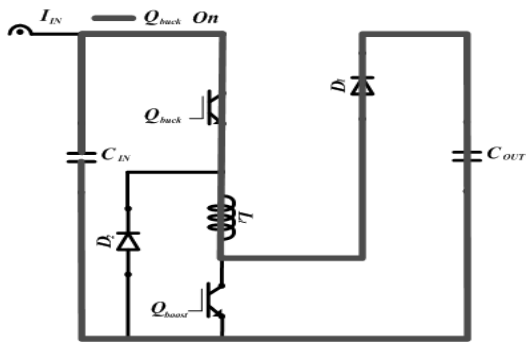
Fig. 1 PV charger system using Buck, Boost combination DC-DC converter.

3. 시스템 동작

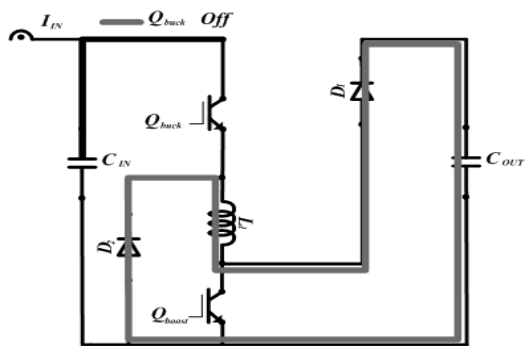
본 논문에서 제안한 Buck, Boost 콤비네이션

모드를 이용한 태양광 충전 시스템은 크게 2가지 모드로 동작하게 된다. 그림 2는 제안된 컨버터의 Buck Mode를 나타내고 있다.

Mode 1 동작은 Buck DC-DC 컨버터 동작모드이다. Mode 1 동작은 PV Module에서 발생하는 전압이 배터리 충전전압 보다 높을 때 동작한다. Mode 1은 Q_{buck} 스위치가 턴 온 되었을 때를 나타낸다. Q_{buck} 스위치가 턴 온 되면 인덕터 L , 그리고 다이오드 D_1 을 통해 PV Module에서 발생된 전력이 전달되게 된다. 그림 2(a)는 Mode 1 동작을 나타내고 있다.



(a) Mode 1



(b) Mode 2

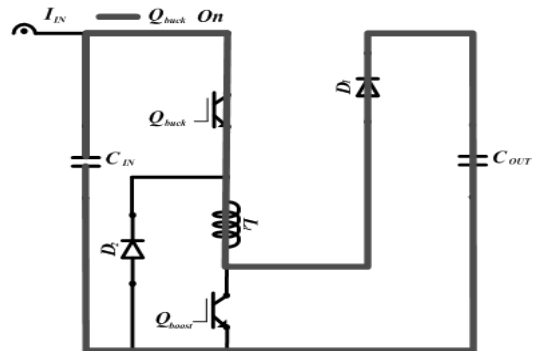
Fig. 2 Buck mode of proposed PV DC-DC charger

Mode 2 동작은 Buck DC-DC 컨버터의 환류

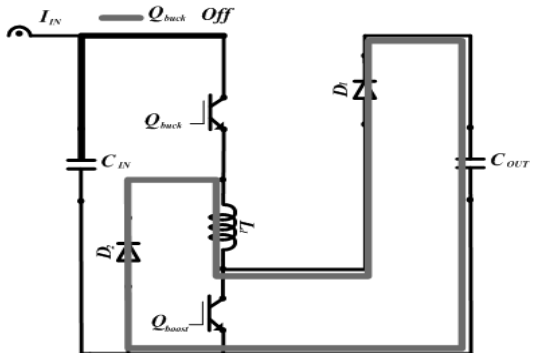
모드를 나타낸다. Mode 2 동작은 Q_{buck} 스위치가 턴 오프 되었을 때를 나타낸다. Q_{buck} 스위치가 턴 오프 되면 인덕터 L 에 축적된 에너지를 다이오드 D_1 을 통해 전력이 전달되게 된다.

그림 3은 제안된 컨버터의 Boost Mode를 나타내고 있다.

Mode 1 동작은 PV Module에서 발생하는 전압이 배터리 충전전압 보다 낮을 때 동작한다. Mode 1은 Q_{buck}, Q_{boost} 스위치가 턴 온 되었을 때를 나타낸다. Q_{buck}, Q_{boost} 스위치가 턴 온 되면 스위치와 인덕터 L 에 PV Module에서 발생된 전력을 축적하게 된다.



(a) Mode 1



(b) Mode 2

Fig. 3 Boost mode of proposed PV DC-DC charger

Mode 2는 Q_{buck} 스위치 턴 온, Q_{boost} 스위치가 턴 오프 되었을 때를 나타낸다. Q_{buck} 스위치 턴 온, Q_{boost} 스위치가 턴 오프 되면 인덕터 L 에 축적된 전력과 PV Module에서 발생된 전력이 다이오드 D_2 를 통해 전달되게 된다.

4. 제안된 시스템의 동작분석

제안한 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템의 성능을 개선효과를 기존의 Buck-Boost 컨버터를 이용한 태양광 충전 시스템과 비교하였다. 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드는 기존의 Buck컨버터와 Boost컨버터를 독립적으로 사용하고 태양광 PV모듈의 발생전압에 따라 각 각의 컨버터를 선택적으로 운용함으로 기존의 Buck-boost 컨버터를 이용한 태양광 충전 모듈에 비해 인덕터 전류의 리플 및 스위치와 다이오드의 도통 손실을 줄여 고효율 운전이 가능하다. 기존 buck 컨버터에서 입력전압에 따른 인덕터의 전류 리플 및 전압 리플은 식(1)과 (2)와 같다.

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} = \frac{T}{L}(-V_o^2 \frac{1}{V_i} + V_o) \quad (1)$$

$$\Delta V = \frac{T^2}{LC} \frac{V_o(1 - V_o/V_i)}{8} \quad (2)$$

기존 Boost 컨버터에서의 입력전압에 따른 인덕터의 전류 리플 및 전압 리플은 식(3)과 (4)와 같다.

$$\Delta I = \frac{T}{L}(-\frac{1}{V_o} V_i^2 - V_i) \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{T}{RC}(V_o - V_i) \quad (4)$$

기존 Buck-Boost 컨버터에서의 입력전압에 따른 인덕터의 전류 리플 및 전압 리플은 식(5)와(6)과 같다.

$$\Delta I = \frac{T}{L}(V_o \frac{V_i}{V_i + V_o}) \quad (5)$$

$$\Delta V = \frac{T}{RC} \frac{V_o^2}{V_i + V_o} \quad (6)$$

위의 식들을 기본으로 하여 제안한 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템과 기존의 Buck-Boost 컨버터를 이용한 태양광 충전 시스템을 시뮬레이션 하였다.

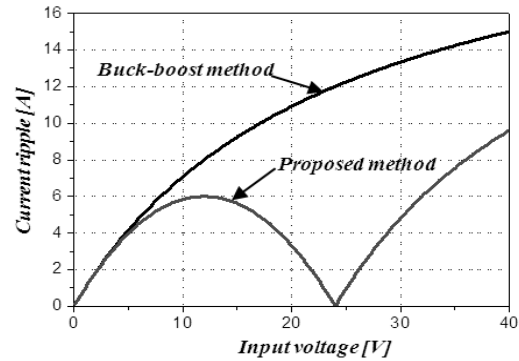


Fig. 4 Inductor current ripple of conventional and proposed DC-DC charger

우선 기존의 방식과 제안된 방식의 효율의 영향을 미치는 인덕터 전류의 리플과 피크 전류 및 다이오드 도통손실을 각 각 시뮬레이션 하여 도표로 나타 내었다. 그림 4는 기존 Buck-boost 방식과 제안된 방식에서 출력전압을 24[V]로 설정한 상태에서 입력전압에 따른 인덕터의 전류리플을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 인덕터의 리플은 24[V] 부근에서는 제안된 방식이 기존 방식에 비하여 인덕터 리플이 상당히 적음을 알 수 있다. 그림 5는 기존 Buck-boost 방식과 제안된

방식에서 출력전압을 24[V]로 설정한 상태에서 입력전압에 따른 인덕터의 피크전류를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 인덕터의 피크전류는 낮은 전압에서는 기존의 DC-DC 컨버터와 크게 차이를 보이지 않으나, 태양광 충전 시스템의 입력 전압 범위인 15V에서 40V 사이에서는 기존의 DC-DC 컨버터에 비해 전류 리플이 30% 정도 낮아짐을 알 수 있다. 특히 24[V] 부근에서는 제안된 방식이 기존 방식에 비하여 인덕터 리플이 상당히 적음을 알 수 있다. 그림 6은 기존 Buck-boost 방식과 제안된 방식에서 스위치 및 다이오드의 도통손실을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 14V보다 낮은 전압에서는 기존의 Buck-Boost 컨버터를 이용한 태양광 충전 시스템에 비해 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템이 전력손실이 높으나 4V보다 높은 전압에서는 손실이 급격히 낮아짐을 보였다. 이는 태양광 PV모듈의 효과적인 동작 전압을 고려할 때 태양광 충전 시스템을 운영하는 동작전압에서는 기존의 방식에 비해 제안된 방식이 효율적임을 알 수 있다. 그림 7은 기존의 방식과 제안된 방식의 시비율 변화를 나타내고 있다.

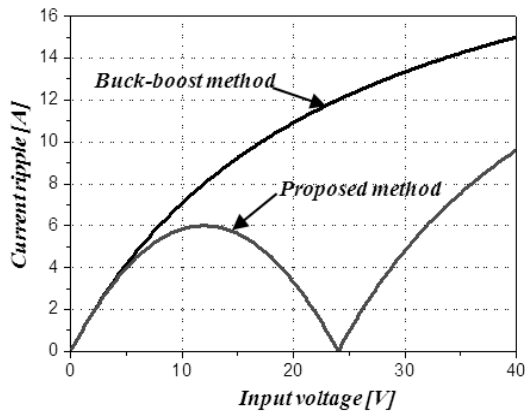


Fig. 5 Inductor peak current of conventional and proposed DC-DC charger

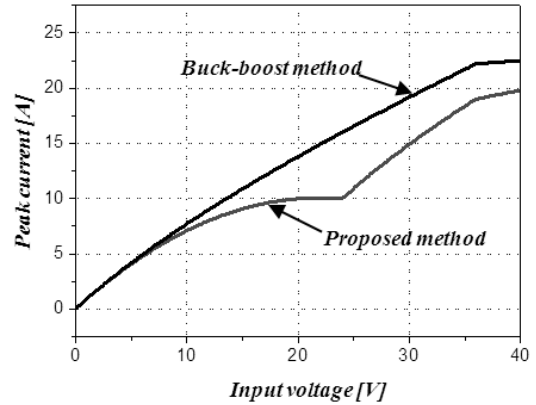


Fig. 6 Diode conduction loss of conventional and proposed DC-DC charger

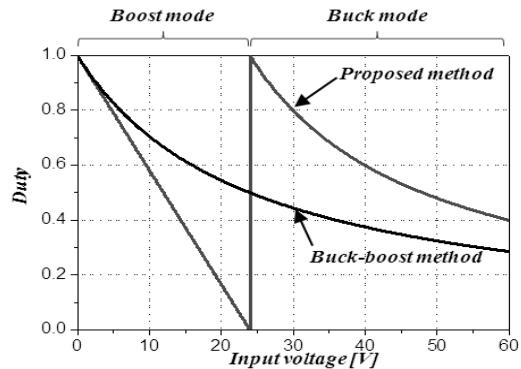
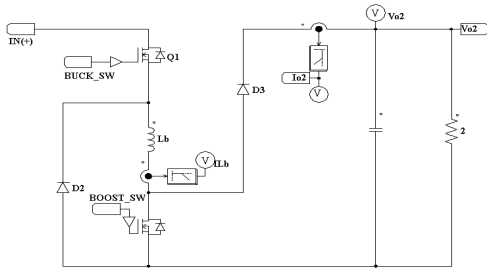


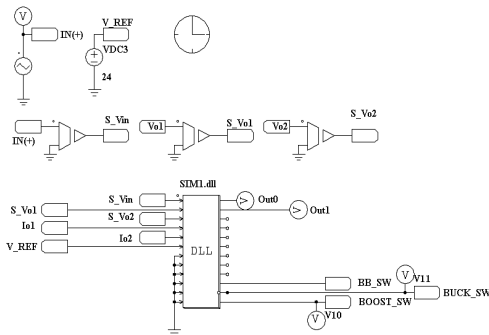
Fig. 7 Duty ratio of conventional and proposed DC-DC charger

5. 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서 제안하는 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템을 검증하기 위해서 PSIM을 이용하여 그림 8과 같이 제안된 Buck Boost 콤비네이션 모드 동작이 가능한 토폴로지를 구성하여 시뮬레이션을 하였다.



(a) Proposed Buck and Boost combination converter



(b) Proposed converter controller

Fig. 8 A proposed Buck and Boost combination converter

그림 9는 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템의 입력전압에 따른 모드 전환 기능을 확인하기 위하여 삼각파 전압에 따른 Buck 컨버터와 Boost 컨버터의 게이트 신호를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 삼각파 전압 24V를 기점으로 전압이 낮을 때는 Boost 컨버터가 동작하고 있고 전압이 24V 높을 때는 Buck 컨버터가 동작하고 있음을 알 수 있다.

그림 10은 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템과 기존의 Buck-boost 컨버터의 입력전압에 따른 모드 전환 기능을 확인하기 위하여 삼각파 전압의 특성을 나타낸다. 그림 10에서 알 수 있듯이

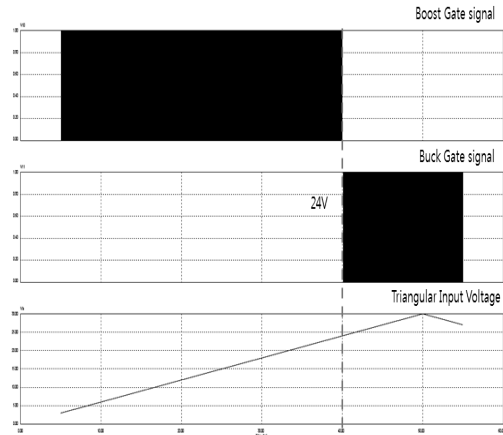


Fig. 9 A proposed Buck and Boost combination converter gate signal.

초기 전압에서 10V까지는 출력전압의 리플 특성이 기존의 Buck-boost 컨버터와 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템과 동일 하지만 10V부터 설정 전압 24V를 기점으로는 기존의 Buck-boost 컨버터를 이용한 태양광 충전 시스템에 비해 출력전압의 리플이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 24V 이후의 전압의 영역에서는 제안된 컨버터의 경우 기존의 Buck-boost 컨버터에 비해 출력전압 리플 및 동적 특성 또한 우수함을 알 수 있다.

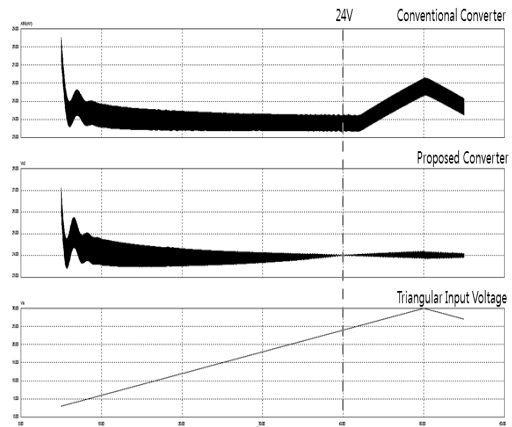


Fig. 10 Output voltage of conventional Converter and proposed converter.

제안한 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템을 검증하기 위해서 그림 11 과 같이 시스템을 구성하였다. 제어부는 입력전압에 따라 Buck 모드와 Boost모드의 변경 가능하도록 TI사에서 제공하는 DSP 28207을 사용하여 입력전압을 센싱하여 Q_{buck}, Q_{boost} 스위치 게이트 신호를 처리할 수 있도록 하였다. 또한 태양광 PV 모듈에서 발생된 전력을 이용하여 배터리에 충전이 용이하도록 전류제어를 하였다. 실제 충전을 위해 충방전용 배터리는 인셀사의 SP24-26F-52를 사용하였으며, Buck Boost 콤비네이션 모드 동작이 가능한 토폴로지로 구성을 위해 페어차일드사의 정격전압100V, 정격전류 80A의 FDH3632 MOSFET 소자를 사용하였다. 구성 시스템의 주요 실험 파라미터는 표 1과 같다.

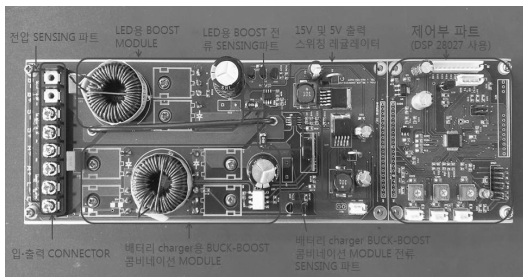


Fig. 10 Proposed Buck and Boost combination converter

Table 1. Experimental Parameter

Parameter	Values
Input Voltage	0~30Vdc
Bat. Rating	25.9V, 52Ah
Bat. Voltage Range	21~28V
Bat. Type	Li-ion(Incell)
Output Voltage	24Vdc
Switching Frequency	40KHz
Inductance	200uH

그림 11은 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템 동작 시 낮은 입력 전압에 따른 Boost 모드 동작시의 게이트파형과 인덕터 전류를 나타낸다. 그림 12는 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템 동작 시 높은 입력 전압에 따른 Buck 모드 동작시의 게이트파형과 인덕터 전류를 나타낸다.

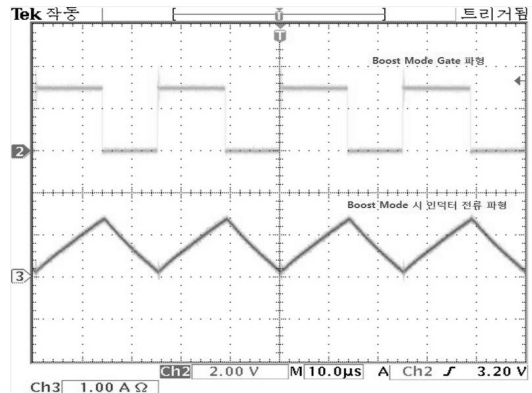


Fig. 11 Gant signal and Inductor current of Buck and Boost combination converter (Boost mode)

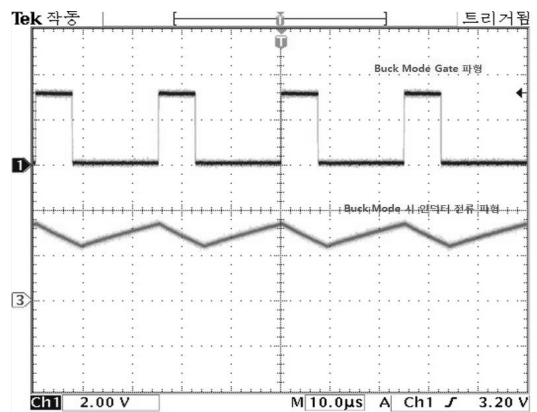


Fig. 12 Gant signal and Inductor current of Buck and Boost combination converter (Buck mode)

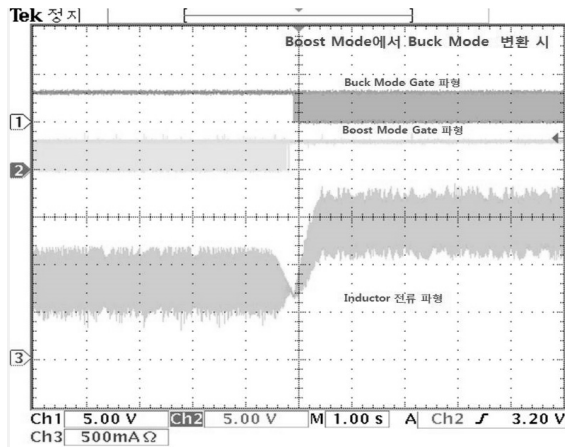


Fig. 13 Gant signal and Inductor current according to Buck and Boost combination converter mode change

그림 13은 제안된 Buck, Boost 콤비네이션 모드를 이용한 태양광 충전 시스템 동작 시 낮은 입력 전압에서 높은 입력전압 인가 시 Boost 모드에서 Buck 모드로의 변환에 따른 각 스위치의 게이트 파형과 인덕터 전류를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 입력 전압에 따른 모드변경이 원활히 이루어지고 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 Buck, Boost 컨버터를 독립적으로 제어할 수 있는 콤비네이션 모드 DC-DC 컨버터를 제안함으로써 기존의 Buck-Boost 컨버터를 이용한 태양광 배터리 충전 시스템에 비해 인덕터 전류 리플 및 피크 전류를 줄이고 전력용 반도체의 도통 손실을 줄여 효율을 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] K.Liu, J. Makaran “Design of a solar powered battery charger,” IEEE Power&Energy conf.,pp. 1-5, 2009
- [2] W.J. Lee, J. K. Eom, B. M. Han, H. J. Cha, “Design and Experiment of Three-phase Interleaved DC-DC Converter for 5kW Lead-Acid Battery Charger”, The Transactions of Korean Institute of Electrical Engineers. Vol. 16. No. 3. pp. 227-233. Jun. 2011.

(접수:2017.03.16. 수정: 2017.05.10. 게재확정: 2017.05.13.)