

효율을 고려한 새로운 AC/DC 컨버터

윤경국¹ · 김성환² · 김덕기[†]

(Received November 27, 2015 ; Revised December 29, 2015 ; Accepted March 17, 2016)

A novel energy-efficient bridgeless boost AC to DC converter

Kyoung-Kuk Yoon¹, Seong-Hwan Kim², Deok-Ki Kim[†]

요약: 다이오드를 이용한 정류기는 산업현장에서 널리 응용되고 있다. 그러나 입력전류에 많은 저차고조파가 포함되어 공급전압을 왜곡시켜 전력의 품질을 저하시키므로 이를 완화시킬 수 있는 적절한 설비가 필요하다. 또한 고조파 전류는 전력계통의 전압 왜곡, 가열 및 소음 등을 유발하여 효율을 떨어뜨린다. 고조파를 감소시키고 역률을 상승시키기 위하여 입력전류가 연속적이 되도록 하는 부스트 컨버터가 등장하였다. 본 논문에서는 입력전류에 포함된 고조파 전류를 감소시키고, 역률을 증가시킬 수 있을 뿐 아니라 전체 정류기 효율을 상승시키는 부스트 컨버터를 제안하였다. 이는 기존의 부스트 컨버터에 비해 전류가 통과하는 반도체의 개수가 감소하여 효율의 상승을 기대할 수 있다. 또한, 소프트웨어 PSIM을 활용하여 제안된 변환기의 유효성을 입증하였다.

주제어: 고조파, 역률, 정류기 효율, 부스트 컨버터

Abstract: Power supplies make the load compatible with its power source. DC power supplies are extensively used with most electrical and electronic appliances such as computers, television, and audio sets. The presence of non-linear loads results in a low power factor and higher harmonics in the power system. Several techniques for power-factor correction and harmonic reduction have been reported in the literature. This paper proposes a bridgeless boost converter that improves the power factor and reduces the harmonic content in input line currents as compared to full-bridge rectifiers. This bridgeless boost converter eliminates the need of a line-voltage bridge rectifier in conventional boost converter and thereby reduces conduction losses. The effectiveness of the proposed scheme is verified by computer simulations by using the PSIM software.

Keywords: Total harmonic distortion, Power factor, Rectifier efficiency, Boost converter

1. 서 론

최근 직류전원(DC power supplies)이 전기 및 전자장비에 폭넓게 응용됨에 따라 입력전류의 고조파를 감소시키고 역률을 개선시키는 방안에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 전력의 품질을 평가하는 데 있어서 가장 중요한 점은 입력전원의 왜곡현상이다. 이는 주로 정현파가 아닌 비선형전류를 유발하는 전자장비의 사용에 기인한다. 비선형전류의 원인이 되는 비선형장치들도 고조파전류 및 이로 인해 발생하는 왜곡된 전압의 영향을 받는다.

다이오드를 이용한 정류기는 산업현장에서 널리 응용되고 있다. 그러나 입력전류에 많은 저차고조파가 포함되어 공급전압을 왜곡시켜 전력의 품질을 저하시키므로 이를 완화시킬 수 있는 적절한 설비가 필요하다.

직류전원은 컴퓨터, 음향기기, 텔레비전 등 다양한 전기 전자장치 내부에 사용되고 있다. 비선형부하가 존재하면 전원시스템의 역률이 감소하고 입력전류의 고조파 함유량이 증가한다. 이는 전원전압의 왜곡을 초래하여 전력품질을 저하시킨다. 대부분의 전력변환장치에 사용되는 AC/DC 변환기는 출력전압의 크기가 임의로 제어되지 않는 다이오드 브리지 정류기이며, 근본적으로 비선형특성을 가지므로 비정현파 전류가 유입되어 결과적으로 고조파 발생의 원인이 된다. 즉, 브리지 정류기는 전력시스템의 총 고조파 왜형률(THD; Total Harmonics Distortion)을 증가시키고 역률을 감소시킬 뿐 아니라 효율도 저하시킨다. 고조파 전류는 전력계통의 전압 왜곡, 가열 및 소음 등을 유발하여 효율을 떨어뜨린다. 이러한 사실로 말미암아 입력전류에 포함된 고조파

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0799-2746>): FLNG Engineering Department, Hyundai Heavy Industries, 1000, Bangeojinsunhwan-doro, Dong-gu, Ulsan 44032, Korea, E-mail: sense315@hhi.co.kr, Tel: 052-203-6230

1 R&D Center, Seonet Co., LTD, E-mail: navy2@daum.net, Tel: 051-417-5802

2 Division of Marine System Engineering, College of Maritime Sciences, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: kksh@kmu.ac.kr, Tel: 051-410-4265

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

를 감소시키고 역률을 향상시킬 필요성이 대두되고 있다.

이상적인 입력 교류전원은 돌발전압과 고조파 전류가 전혀 없다. 정류과정의 비선형성으로 인해 AC 전원 측에 나타나는 불연속적인 입력전류는 입력전압과 같은 형상으로 정형되어야한다. 역률개선 및 고조파 저감 방식은 크게 두 가지- 수동과 능동-로 대별된다. 수동적인 방식은 저출력 및 저비용의 응용부분에 사용되고 능동적인 방식은 뛰어난 성능으로 인해 폭 넓게 적용되고 있다.

고조파를 감소시키고 역률을 상승시키기 위하여, 입력전류를 연속도통모드(CCM; Continuous-conduction Mode)화시키는 부스트 컨버터가 등장하였다.

최근에는 스위칭 손실(Switching loss)과 컨덕션 손실(Conduction loss)을 감소시켜 전체 정류기의 효율을 개선시키기 위한 방식들이 연구되고 있다.

본 논문에서는 입력전류에 포함된 고조파 전류를 감소시키고, 역률을 증가시킬 수 있을 뿐 아니라 전체 정류기 효율을 상승시킬 수 있도록 통전 다이오드의 개수를 한 개 감소시킨 부스트 컨버터를 제안하였다. 이는 기존의 부스트 컨버터에 비해 전류가 통과하는 반도체의 개수가 줄어 스위칭 손실과 통전 손실이 감소되므로 전체 효율이 상승하는 결과를 가져온다. 소프트웨어 PSIM을 활용하여 제안된 변환기의 성능을 확인해본다[1][2].

2. AC/DC 부스트 컨버터

2.1 기존의 브리지 부스트 컨버터

일반 브리지 정류기를 AC/DC 컨버터로 활용할 경우, 평활한 전압을 얻기 위해 불가피하게 용량이 큰 커패시터를 사용하므로 결과적으로 입력전류는 펄스형의 고조파가 많이 포함된 왜곡된 전류가 되고 역률은 0.4정도까지 나빠지게 된다. 따라서 입력전류의 고조파 함유량을 감소시키고 역률을 개선시키는 것이 양질의 전력공급을 위해 중요한 항목이 되었다. 이러한 문제에 대한 대책의 일환으로 부스트 컨버터가 등장하였다. 이것은 전단에는 전파 브리지 정류기가 배치되고 후단에는 부스트 컨버터가 위치하고 있다. 브리지 정류기는 전단에서 교류전압을 직류로 변환하는 역할을 하고, 후단은 전압을 상승시키는 부스트 영역이다. 부스트 컨버터의 채용으로 입력전류의 불연속 구간이 거의 사라지므로, 고조파 함유량의 감소와 역률의 상승이 실현되었다. **Figure 1**은 고조파 감소와 역률개선을 위한 기존의 부스트 컨버터를 나타내고 있다.

전원전압이 양인 경우, MOSFET S_B 가 턴-온되면 $D_1 - L_B - S_B - D_4$ 를 통해 인덕터 L_B 에 전기에너지가 자계에너지 형태로 저장되고, MOSFET S_B 가 턴-오프되면 $D_1 - L_B - D_B - C_B - D_4$ 의 경로로 전원전압과 인덕터 전압의 합성전압이 커패시터에 인가되어 정전에너지 형태로 커패시터를 충전한다[3][4].

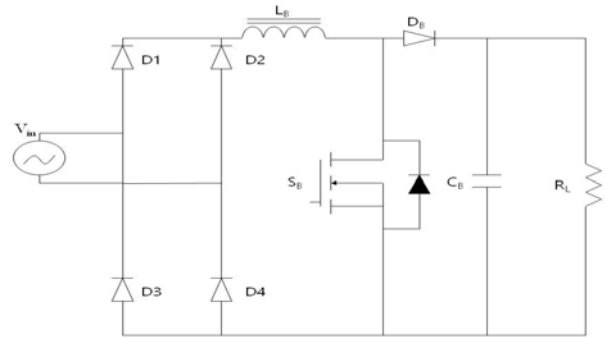


Figure 1: Conventional boost converter

반면에, 전원전압이 음인 경우, MOSFET S_B 가 턴-온 되면 $D_2 - L_B - S_B - D_3$ 를 통해 인덕터 L_B 에 자계에너지 형태로 저장되고, MOSFET S_B 가 턴-오프되면 $D_2 - L_B - D_B - C_B - D_3$ 의 경로로 전원전압과 인덕터 전압의 합성전압이 커패시터를 충전한다. 즉 입력전류는 연속도통모드(CCM ; Continuous-conduction Mode)화 되어 역률상승과 고조파 저감효과를 기대할 수 있게 되었다.

2.2 본 논문에서 제안하는 브리지리스 부스트 컨버터

Figure 2는 본 논문에서 제안하는 브리지리스 부스트 컨버터이다[5].

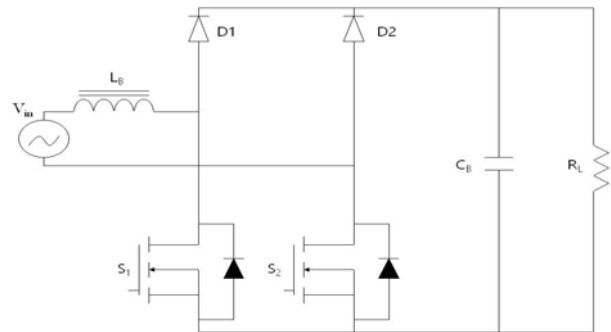


Figure 2: Proposed bridgeless boost converter

기존의 부스트 컨버터의 경우, 충전 시 인덕터 충전 전류가 두 개의 다이오드와 MOSFET 및 인덕터를 지나지만, 제안된 컨버터는 한 개의 다이오드와 MOSFET 및 인덕터를 통해 흐른다. 또한 방전 시 부하 및 커패시터에 흐르는 전류는 기존의 부스트 컨버터의 경우 세 개의 다이오드와 인덕터를 지나지만, 제안된 컨버터는 두 개의 다이오드와 인덕터를 통과한다. 즉 인덕터에 에너지를 충전할 때나 충전된 에너지를 방출할 때 모두 통과하는 다이오드의 개수가 한 개 줄어 스위칭 손실과 컨덕션 손실을 감소시킬 수 있으므로 컨버터 전체 효율이 상승하게 된다. 제안된 부스트 컨버터의 작동은 네 개의 모드로 나눌 수 있다. 모드 I 과 II는 전원전압이 정의 반주기동안 작동되고 모드 III과 IV는

부의 반주기동안 작동된다.

1) 정의 반주기 (positive half cycle)

전원전압이 정인 반주기동안 L_B , D_1 , S_1 및 S_2 diode가 구동된다. 정의 반주기동안은 아래 두 모드로 구성된다. 모드 I 동안은 S_1 이 턴-온 상태인 경우로 **Figure 3**과 같다.

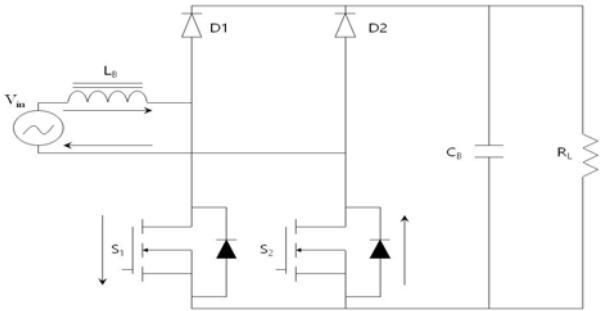


Figure 3: Mode I operation

S_1 이 턴-온 되면 $V_{in} - L_B - S_1 - S_2$ diode 경로를 통해 인덕터 L_B 에 에너지가 자계에너지 형태로 저장된다. 모드 II 동안은 S_1 이 턴-오프 상태인 시간으로 **Figure 4**와 같다.

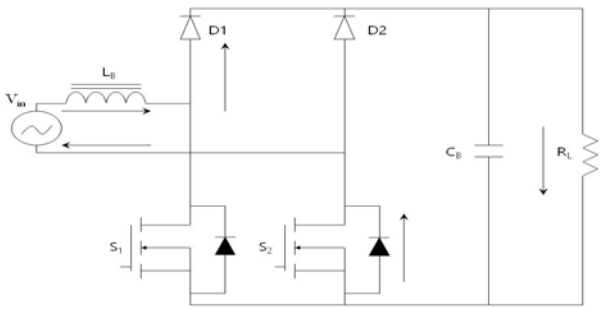


Figure 4: Mode II operation

S_1 이 턴-오프 되면 인덕터 L_B 에 저장된 에너지가 방출되고 전류는 다이오드 D_1 과 커패시터 및 부하 R_L 를 통과하여 S_2 diode를 통해 전원으로 되돌아온다.

2) 부의 반주기 (negative half cycle)

전원전압이 부인 반주기동안 L_B , D_2 , S_2 및 S_1 diode가 구동된다. 부의 반주기동안은 아래 두 모드로 구성된다. 모드 III 동안은 S_2 가 턴-온 상태인 경우로 **Figure 5**와 같다.

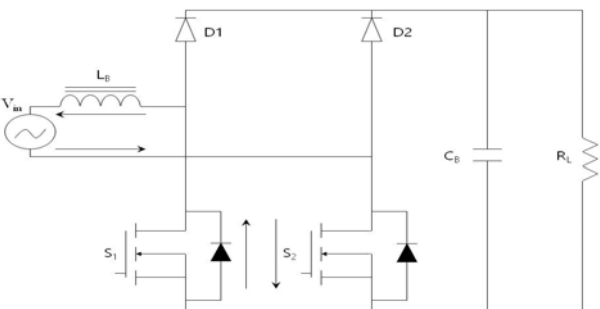


Figure 5: Mode III operation

S_2 가 턴-온 되어 $V_{in} - S_2 - S_1$ diode - L_B 경로를 통해 인덕터 L_B 에 에너지가 자계에너지 형태로 저장된다. 모드 IV 동안은 S_2 가 턴-오프 상태인 시간으로 **Figure 6**과 같다.

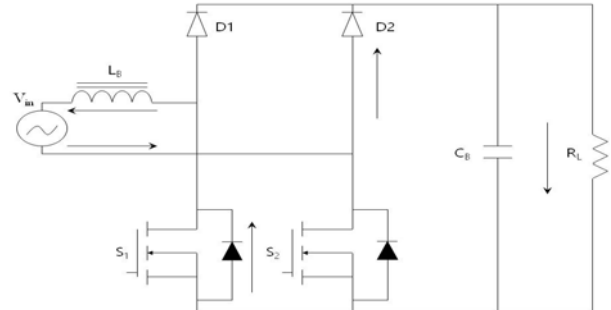


Figure 6: Mode IV operation

S_2 이 턴-오프 되어 인덕터 L_B 에 저장된 에너지가 방출되는 과정으로서 전류는 $V_{in} - D_2 - C_B \& R_L - S_1$ diode - L_B 을 통해 귀환한다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 브리지리스 부스트 컨버터의 성능을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 소프트웨어는 최근 전기전자분야에서 탁월한 기능을 나타내는 PSIM을 활용하였다.

Figure 7은 부스트 컨버터 토폴로지를 사용하지 않은 일반 전파 정류회로의 PSIM 다이어그램이고, **Figure 8**은 시뮬레이션 결과이다.

입력전류의 역률은 39[%]로 아주 낮았고, 총고조파 왜형률(THD)은 228[%]에 달했다. 이는 전원의 용량에 따라서 전력의 품질을 심히 저하시킬 수도 있다.

Figure 9는 기존의 부스트 컨버터 토폴로지를 사용한 파 정류회로의 PSIM 다이어그램이고, **Figure 10**은 시뮬레이션 결과이다.

입력전류의 역률은 80[%]로 향상되었고, 총고조파 왜형률(THD)은 38[%]까지 감소하여 부스트 컨버터의 효과를 실감할 수 있다.

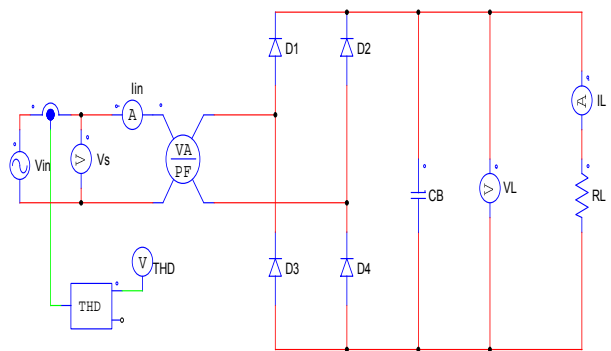
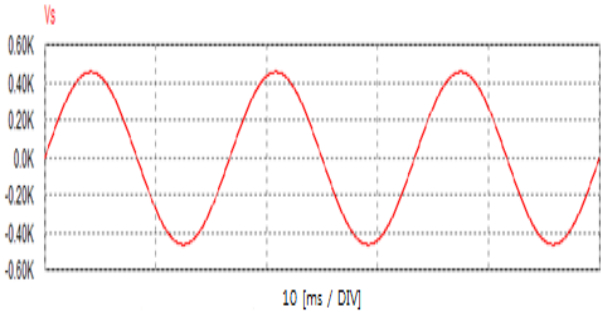
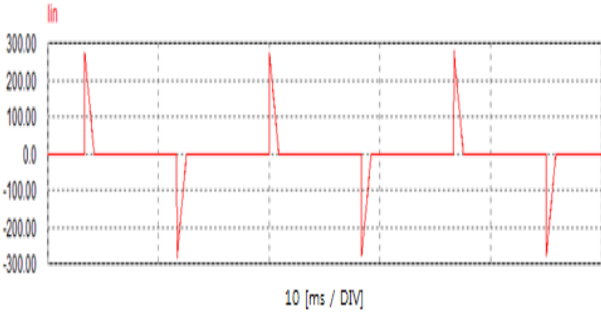


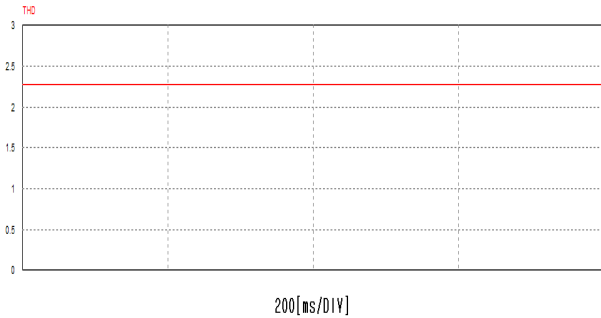
Figure 7: PSIM diagram for single phase bridge rectifier



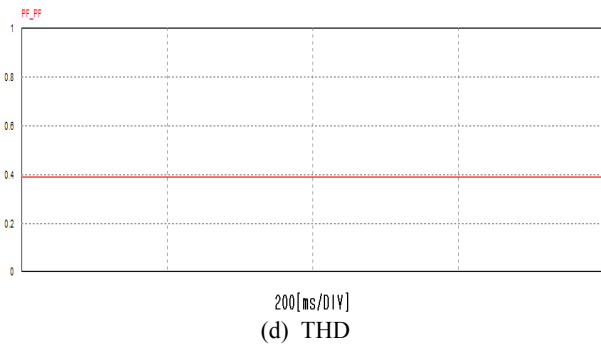
(a) Source voltage



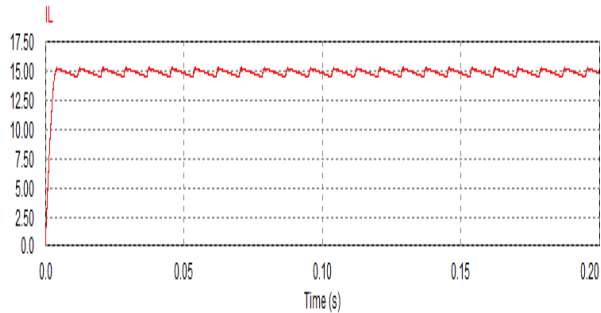
(b) Phase current



(c) Power factor



(d) THD



(e) Load Current

Figure 8: Voltage, Current, Power factor, THD and Load Current of single phase bridge rectifier

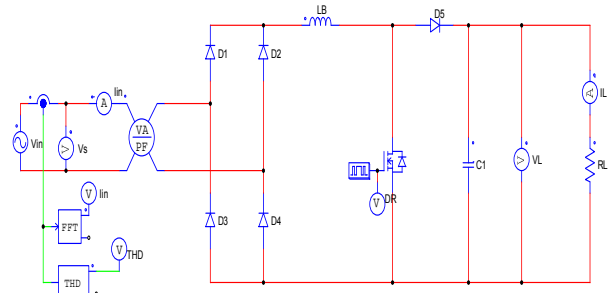
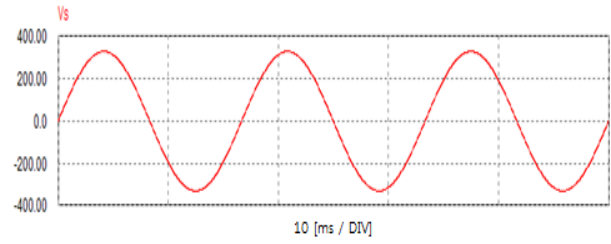
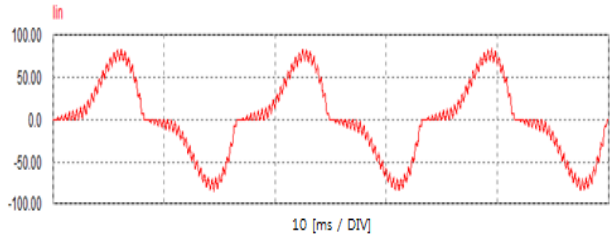


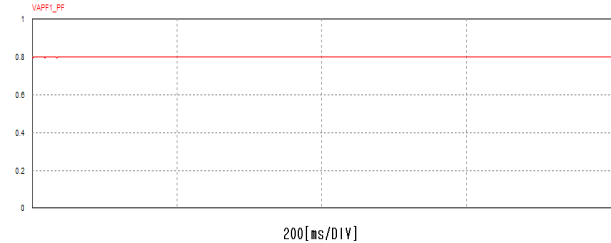
Figure 9: PSIM diagram for conventional booster converter



(a) Source Voltage



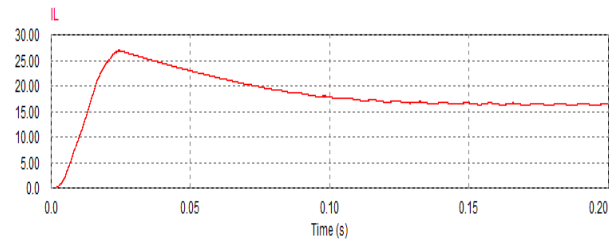
(b) Phase Current



(c) Power factor



(d) THD



(e) Load Current

Figure 10: Voltage, Current, Power factor, THD and Load Current of conventional booster converter

Figure 11은 본 논문에서 제안한 브리지리스 부스트 컨버터 토폴로지를 사용한 정류회로의 PSIM 다이어그램이고, Figure 12는 시뮬레이션 결과이다.

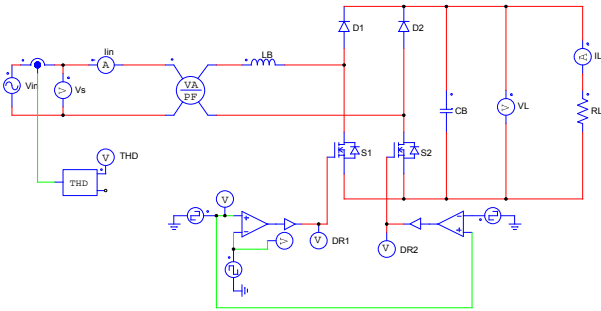


Figure 11: PSIM diagram for proposed bridgeless booster converter

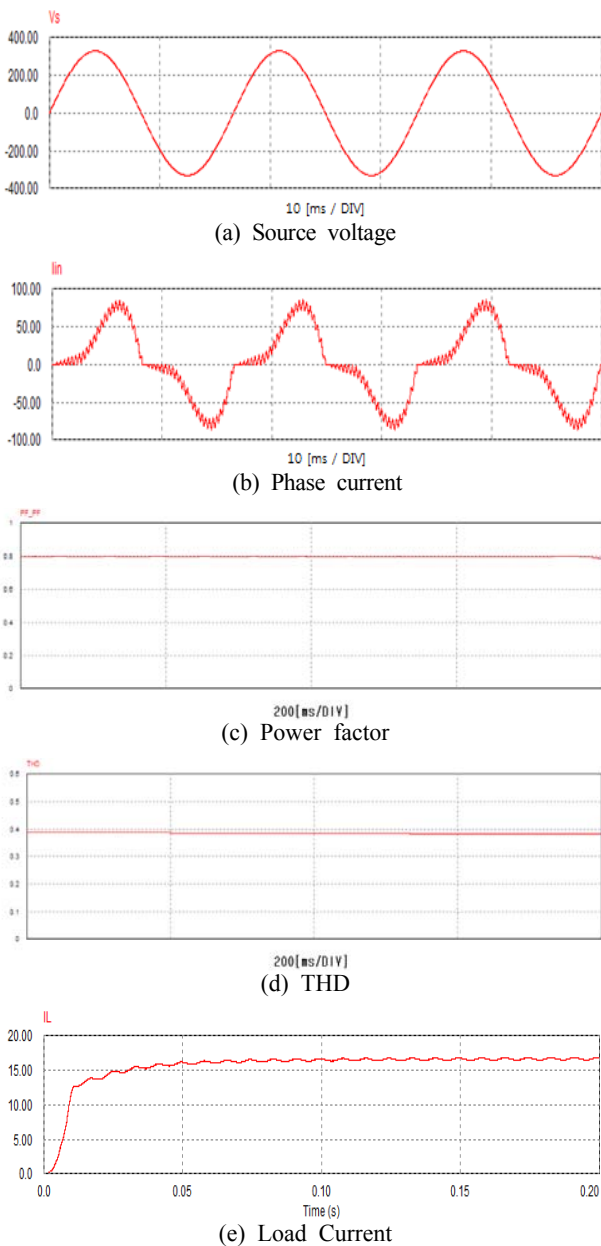


Figure 12: Voltage, Current, Power factor, THD and Load Current of proposed bridgeless booster converter

입력전류의 역률은 80[%], 총고조파 왜형률(THD)은 38[%]로 기존의 부스트 컨버터와 동일한 효과를 나타내었다.

앞서 기술한 바와 같이, 기존의 부스트 컨버터에 비해 제안된 컨버터는 인덕터 통전 다이오드의 개수를 충전 시 2개에서 1개로, 방전 시 3개에서 2개로 줄임으로써 다이오드 스위칭 및 통전 손실을 40[%]정도까지 감소시킬 수 있다.

4. 결 론

최근 직류전원이 전기 및 전자장비에 폭 넓게 응용됨에 따라 입력전류의 고조파를 감소시키고 역률을 개선시키는 방안에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 다이오드를 이용한 정류기는 산업현장에서 널리 응용되고 있다. 그러나 입력전류에 많은 고조파가 포함될 뿐 아니라 역률의 악화를 초래함으로써 공급전압을 왜곡시켜 전력의 품질을 저하시키므로 이를 완화시킬 수 있는 적절한 설비가 필요하다.

본 논문에서는 통전 다이오드의 개수를 한 개 감소시킨 브리지리스 부스트 컨버터를 제안하였다. 앞장의 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 확인된 바와 같이 제안된 방식은 입력전류의 역률과 총 고조파 왜형률의 측면에서 기존의 컨버터와 동일한 효과를 나타내었다. 그러나 다이오드의 스위칭 손실과 통전손실을 40[%]이상 감소시키는 결과를 기대할 수 있어 보다 효율적인 AC/DC 컨버터임을 확인하였다.

References

- [1] S. T. Erno and M. Frisch, "Second generation of PFC solutions," Power Electronics Europe, pp. 33-35, 2004.
- [2] A. I. Maswood and F. Liu, "A unity power factor front end rectifier with hysteresis current control," IEEE transaction on Energy Conversion, vol. 21, no. 1, pp. 153-160, 2011.
- [3] R. Crbone, A. Scappatura: "A high efficiency passive power factor corrector for single phase bridge diode rectifier," 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 1627-1630, 2004.
- [4] R. Martinez and P. N. Enjeti, "A high performance single phase AC to DC rectifier with input power factor correction," IEEE Transactins on Power Electronics, vol. 11, no. 2, pp. 311-317, 1996.
- [5] M. Gopinath, "Bridgeless PFC converter for power factor correction," International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies vol. 9, no.1, pp. 049-054, 2011.