

# 디지털 제어 기반의 HID 안정기용 브릿지리스 CRM PFC 컨버터

김태훈, 이우철  
한경대학교

## Digital Control Based Bridgeless CRM PFC Converter For HID Ballast

Tae-Hun Kim, WooCheol Lee  
Hankyong National Univ

### ABSTRACT

일반적으로 HID 램프용 안정기에는 디지털 제어기를 사용하지 않지만 디지털 제어로 구현하는 경우 여러 가지 이점이 있다. 따라서 본 논문에서는 DSP를 기반으로 Bridgeless CRM PFC Converter 제어를 디지털로 구현 할 것을 제안하였다. 이때 인덕터 전류 검출을 하지 않기 위하여 DSP 연산에 의해 계산된 온, 오프 시간으로 동작하도록 하였으며, 과도상태 시 출력 전압에 따른 주파수 제한 방법을 통해 안정적인 구동이 가능하도록 하였다. 제안한 방식은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

### 1. 서론

HID(High Intensity Discharge) 램프는 좋은 연색성, 긴 수명, 높은 효율 등의 장점으로 인해 가로등 및 옥외 조명등, 전사용 조명등 등으로 사용되어지고 있다. HID 램프를 구동하기 위해서는 안정기가 필수적이다<sup>[1]</sup>.

HID 램프의 안정기의 안정성과 효율 향상을 위한 많은 연구들이 진행 되었는데, 그 중 브릿지리스 부스트 PFC 컨버터에 대한 연구에서는 기존의 부스트 PFC 컨버터에 비해 반도체 소자의 수를 줄이고 효율을 향상시킬 수 있었다. 또한 CCM(연속전류모드), DCM(불연속전류모드), CRM(경계점동작모드) 등 부스트 PFC (Power Factor Collection) 컨버터의 동작모드에 관한 연구에서는 각 모드의 동작 특성들이 확인되었으며, 그 중 DCM 과 CRM 은 다이오드의 영 전류 스위칭으로 인해 저 용량에서 효율을 증가시킬 수 있다는 것이 입증되었다<sup>[2]</sup>.

최근 반도체 기술의 발달로 저가이면서 성능이 우수한 DSP 들이 많이 출시되고 있기 때문에 이를 활용하면 가격 대비 우수한 제품을 개발 할 수 있고, 디지털 제어 적용에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있다<sup>[3]</sup>.

따라서 본 논문에서는 DSP TMS320F28335를 사용하여 안정기의 브릿지리스 PFC 컨버터의 기능을 CRM 방식으로 구현 할 것을 제안하였다. 일반적으로 CRM 방식을 구현하는 경우 부스트 컨버터용 인덕터의 영 전류를 검출하여 스위칭 소자를 도통하게 된다. 하지만 본 논문에서는 부스트 컨버터용 인덕터의 영 전류 검출 없이 CRM 방식을 디지털로 구현하기 위하여 DSP 연산을 통해 입력전압과 출력전압, 출력전류로 유도되는 온, 오프 시간을 계산하고, 이를 출력 전압 제어에 사용하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 브릿지리스 부스트 CRM PFC 컨버터

고 효율의 250W 급 PFC 컨버터 제작을 위해 브릿지리스 부스트 CRM PFC 컨버터를 선택하였다.

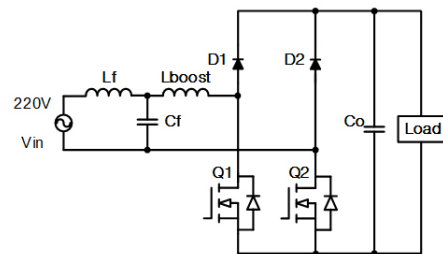


그림 1 브릿지리스 부스트 PFC 컨버터  
Fig. 1 Bridgeless boost PFC converter

그림 1은 브릿지리스 부스트 PFC 컨버터 회로를 나타낸다. 기존 부스트 PFC 컨버터에 비해 전류 도통 경로 상에 존재하는 다이오드가 하나 줄어들기 때문에 고효율을 얻을 수 있다.

역률 보상과 THD 를 개선을 위한 브릿지리스 PFC 의 동작으로는 입력전압 Vin 이 양의 전압인 경우 반도체 스위치 Q1 이 스위칭 하고, 음의 전압인 경우 Q2 가 스위칭 한다.

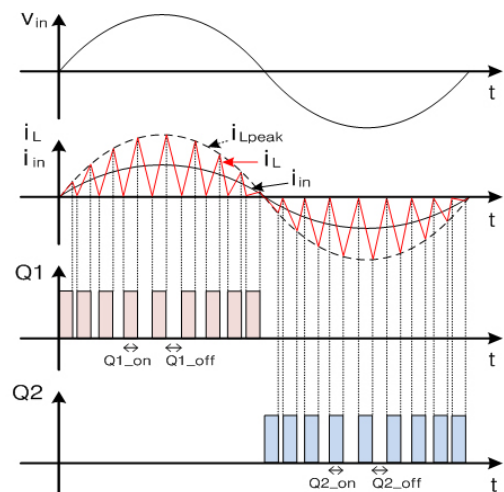


그림 2 CRM 동작시 주요 파형  
Fig. 2 CRM Major waveform

그림 2에 CRM의 동작파형을 나타내었다. 입력전류  $I_{in}$ 은 입력전압과 동상이 되며, 인덕터에 흐르는 전류  $I_L$ 이  $I_{in}$ 의 두 배인  $I_{Lpeak}$ 까지 상승 시 스위치가 오프 되고 0으로 떨어지면 스위치가 온 되어 다이오드의 역 전류 스위칭을 가능하게 한다. CRM의 연구에 따르면<sup>[3]</sup>, 온, 오프 시간과 주기는 다음과 같이 얻어진다.

$$t_{on} = \frac{4P_o L}{\eta V_{in.pk}^2} \quad (1)$$

$$t_{off} = \frac{4P_o L \sin(\omega t)}{[V_o - V_{in.pk} \sin(\omega t)] \eta V_{in.pk}} \quad (2)$$

$$t_{per} = t_{on} + t_{off} \quad (3)$$

## 2.2 디지털 제어 구현

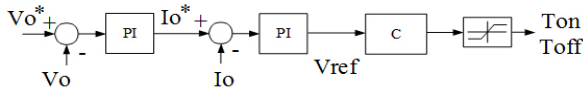


그림 3 제어기 구성  
Fig. 3 Controller Configuration

그림 3과 같이 제어기를 구성하였다. 일반적으로 사용하는 PI 제어기를 사용하여 출력전압을 제어하였다. 부스트용 인덕터의 전류 검출을 하지 않기 때문에 CRM 제어는 정상상태의 회로 해석에 의한 계산식 식(1)~식(3)에 의존하게 되어 과도상태 시 문제가 발생할 수 있다.

정상상태 시 스위칭 주파수 범위를 15kHz 이상에서 사용하도록 인덕턴스 값을 결정하였는데, 과도상태에서는 CRM으로 사용할 경우 0에 가까운 낮은 주파수와 매우 높은 주파수로 동작하는 영역이 존재한다. 높은 주파수에서의 동작은 스위칭 소자의 손상을 일으킬 수 있기 때문에 주파수 범위를 제한해 주어야 한다. 하지만 일정한 주파수 범위로 제한하는 경우 CRM으로 동작하지 않으며 매우 큰 과도전류가 발생하게 된다. 따라서 소프트 스타트 하는 전압 지령치  $V_o^*$ 에 따라 온, 오프 시간의 제한 범위를 가변 하여 과도전류를 제한하였고, 이는 식(4)와 식(5)에 나타내었다. 따라서 과도상태의 스위칭 주파수는 정상상태의 동작 주파수 영역에서 동작하게 되며, 이때에는 CCM, 혹은 DCM으로 동작하게 된다.

$$t_{on(max)} = \frac{V_o^* - V_{in.pk}}{V_{o(max)} f_{s(min)}} \quad (4)$$

$$t_{off(min)} = \frac{(V_{o(max)} - V_o^*)}{V_{o(max)} f_{s(min)}} \quad (5)$$

## 3. 시뮬레이션

표 1에 시스템 파라미터를 나타내었다. 시스템의 용량과 최소 스위칭 주파수에 따라  $L_{boost}$  값을 결정하였고, 필터 인덕턴스와 커패시턴스 값은 역률이 최대, THD가 최소가 되도록 설계하였다.

표 1 시스템 파라미터  
Table 1 System parameter

Parameter	Values
input voltage, $V_{in}$	220 [Vrms]
output voltage, $V_o$	400 [Vrms]
output power, $P_o$	250 [W]
Switching frequency, $f_s$	15~70 [kHz]
Filter inductor, $L_f$	1.32 [mH]
Filter capacitor, $C_f$	1.8 [uF]
Boost inductor, $L_{boost}$	1.36 [mH]

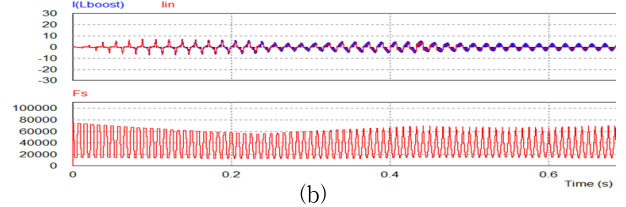
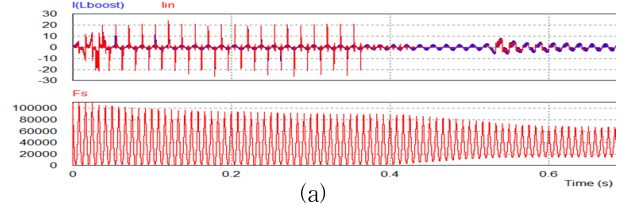


그림 4 시뮬레이션 결과 ((a) 주파수 제한을 적용 하지 않은 경우, (b) 주파수 제한을 적용 한 경우)  
Fig. 4 Simulation results

그림 4의 (a)에서 과도상태 시 문제점과, (b)에서 제안된 방법으로 개선된 시뮬레이션 결과 파형을 확인하였다. 전류의 리플과 주파수 범위, 정상상태 도달 시간 등이 개선된 것을 확인 할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 브릿지리스 부스트 CRM PFC 컨버터를 디지털 제어 할 것을 제안하였고, 과도상태 문제점을 소프트 스타트에 의한 주파수 제한을 통하여 해결하였고 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임  
[No.2013R1A1A2064271].

## 참고 문헌

- [1] Cheng, Chun-An, and Chen-Wei Ku. "A novel single-stage cost-effective electronic ballast for HID lamps with high power factor. Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International Conference on. IEEE, 2011.
- [2] 유병규, et al. "역률개선을 위해 경계전류모드로 동작하는 브리지리스 부스트 컨버터." 전력전자학회추계학술대회 논문집 (2003): 90-94.
- [3] Huang, Xudong, et al. "A DSP based controller for high-power interleaved boost converters." Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC'03. Eighteenth Annual IEEE. Vol. 1. IEEE, 2003.