

# 친환경 자동차에서 낮은 구동 배터리 전압과 높은 DC 링크 전압을 위한 고승압 양방향 컨버터

박요한, 최세완  
서울산업대학교

## High Step-up Bidirectional Converter for use of Low Propulsion Battery Voltage and High DC link Voltage in Eco-friendly Vehicles

Yohan Park, Sewan Choi  
Seoul National University of Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 친환경자동차의 구동배터리 충방전을 위한 새로운 고승압 양방향 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 작은 듀티로 높은 승압이 가능하고 수동소자의 에너지량이 작아진다. 또한 전압 정격이 출력전압의 약 1/2이 되어 MOSFET의 사용이 가능하게 되어 스위칭주파수를 높일 수 있어 부피저감이 가능하다. 제안한 컨버터를 기존의 하프 브리지 양방향 컨버터와 비교 분석하고 2kW의 시작품을 제작하여 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

세계적으로 환경오염 및 석유 에너지 고갈에 대한 대책으로 친환경자동차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 친환경자동차의 핵심 전력변환기로서 구동용 배터리와 구동모터사이에 위치하는 양방향 DC-DC 컨버터가 있는데 이는 DC 링크 전압을 제어함과 동시에 자동차의 기동 시 배터리를 방전시켜 모터로 전력을 전달하는 부스트 동작과 모터의 회생 에너지를 배터리로 충전하는 벡 동작을 수행한다<sup>[1]</sup>.

최근 동향을 보면 구동배터리 전압은 낮아지고(도요다의 경우 288V에서 200V로) 인버터의 효율 향상과 고속 회전이 가능한 모터를 적용하여 연비를 향상시키기 위해 DC 링크 전압은 높아지고(도요다의 경우 500V에서 650V로) 있는 추세이다<sup>[2]</sup>. 따라서 고승압이 가능한 비절연 양방향 컨버터가 요구되는데 기존의 하프 브리지 양방향 컨버터로 고승압을 하려면 큰 듀티의 사용으로 다이오드 역회복에 의한 서지발생 및 제어성능이 저하되는 문제가 있다. 또한 스위치의 전압정격은 DC 링크전압과 같으므로 DC 링크 전압을 650V로 하려면 1200V IGBT를 사용해야 하는데 이는 가격 및 손실의 증가를 가져온다.

본 논문에서는 낮은 듀티로 승압(0.5 듀티로 3배)이 가능하여 앞서 언급한 고승압 시 서지발생 및 제어성능 저하의 문제가 없는 친환경 차량용 비절연 양방향 컨버터를 제안한다. 또한 제안한 컨버터의 스위치 전압정격은 DC 링크 전압의 약 1/2로 되어 650V DC 링크 전압에서도 600V IGBT 사용이 가능하다. 더욱이 500V Cool MOS 모듈의 사용<sup>[4]</sup>도 가능하므로 스위칭주파수를 높여 전력밀도 및 효율을 향상시킬 수는 가능성이 있다. 제안한 컨버터를 현재 널리 사용되고 있는 하프 브리지 양방향 컨버터와 비교하여 친환경 자동차에서 제안한 컨버터 적용의 타당성을 제시하고자 한다.

### 2. 제안하는 양방향 컨버터

제안하는 고승압 양방향 DC-DC 컨버터와 주요파형을 그림 1과 2에 각각 나타낸다.

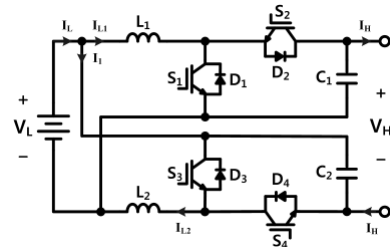


그림 1 제안하는 고승압 양방향 DC-DC 컨버터

그림 2에서 보듯이 인터리빙으로 입력전류와 출력전압 리플이 감소한다. 하프 브리지 컨버터와 제안하는 컨버터를 표 1에서 비교하였다. 제안하는 방식은 듀티가 작아 동적특성이 우수하다. 또한 하프 브리지 컨버터의 경우 1200V IGBT를 사용해야 하지만, 제안하는 컨버터는 600V IGBT 또는 500V Cool MOS의 사용이 가능한데 MOSFET를 사용하는 경우 스위칭 주파수를 더욱 높일 수 있다. 수동소자의 에너지량 또한 약10% 감소되어 부피저감이 가능하다.

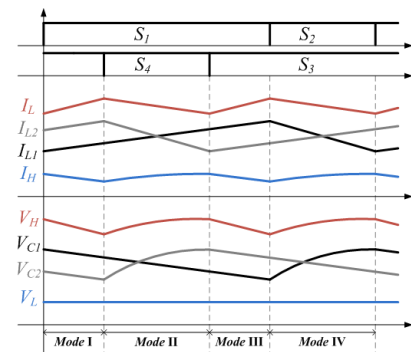


그림 2 제안하는 컨버터의 부스트 동작 시 주요파형

하프 브리지 컨버터와 제안하는 컨버터를 다음과 같은 사양으로 설계한 후 표 1에서 비교하였다.

$P_0 = 20\text{kW}$	$V_L = 120\text{V}$	$V_H = 650\text{V}$
$f_s = 15\text{kHz}$	$\Delta V_H = 3\%$	$\Delta I_L = 20\%$

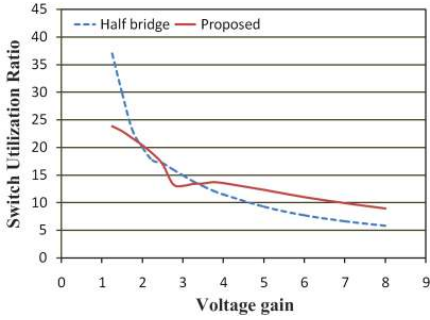


그림 3 전압전달비에 따른 스위치 이용률

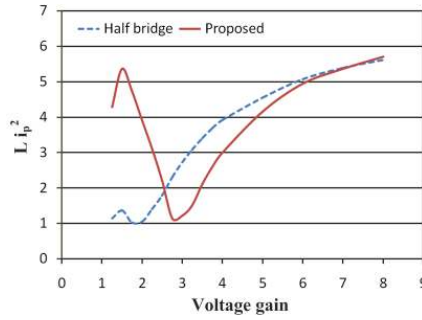


그림 4 전압전달비에 따른 인덕터 에너지량

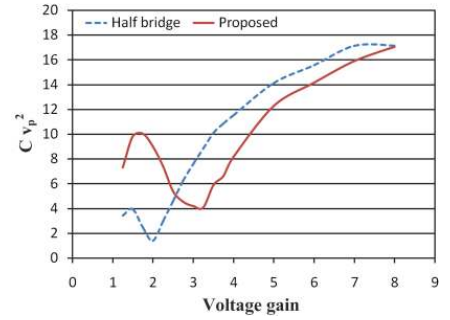


그림 5 전압전달비에 따른 커패시터 에너지량

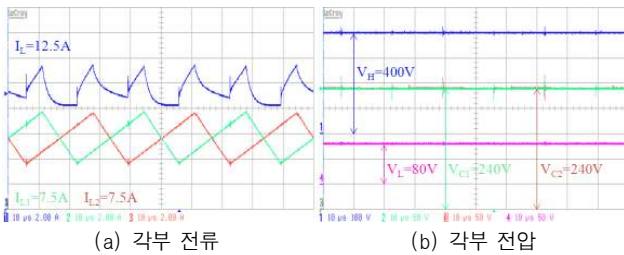
표 1 기존 하프 브리지와 제안하는 방식 비교

		하프 브리지 컨버터	제안하는 컨버터
듀티		0.82	0.69
스위치	Vpk, Ipk	659V, 105A	400V, 128A
	이용률	7.23	9.77
인덕터	인덕턴스	150uF	93uF
	LI <sup>2</sup> (pu)	1	0.92
커패시터	커패시턴스	33uF	40uF × 2EA
	CV <sup>2</sup> (pu)	1	0.89

그림 3는 전압전달비에 따른 스위치 이용률이며 제안한 방식은 승압비가 3.5배 이상부터 스위치 이용률이 높아지는 것을 볼 수 있다. 그림 4와 5는 각각 전압전달비에 따른 인덕터와 커패시터의 에너지량을 나타내는데 승압비가 약 2.5배~7배일 때 에너지량이 작은 것을 볼 수 있다. 따라서 제안하는 컨버터는 3~7배 승압 응용에서 효과적이다.

### 3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양으로 제작한 후 실험파형을 그림 6에 나타내며 (a)는 배터리 전류( $I_L$ )와 인덕터 전류( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ )이며, (b)는 DC 링크 전압( $V_H$ ), 배터리 전압( $V_L$ ), 커패시터 전압( $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ )이다.



(a) 각부 전류

(b) 각부 전압

그림 6 제안하는 컨버터의 실험파형  
( $\cdot P_0 = 2kW$   $\cdot V_L = 80V$   $\cdot V_H = 400V$   $\cdot f_s = 30kHz$ )



그림 7 2kW 시작품

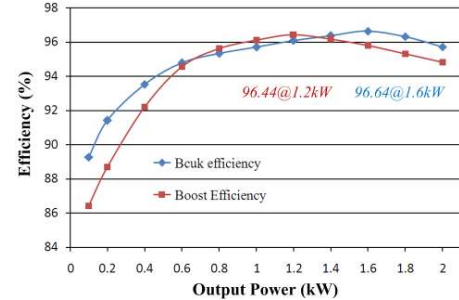


그림 8 측정효율

2kW 시작품을 제작하여 측정효율은 부스트 동작일 때 1.2kW에서 96.44%, 벡 동작일 때 1.6kW에서 96.64%의 효율을 달성하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 친환경 자동차에서 낮은 구동 배터리 전압과 높은 DC 링크 전압을 위한 고승압 양방향 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 기존의 양방향 컨버터와 제안한 컨버터의 특징을 비교 분석하였으며 실험을 통하여 타당성을 검증하였다. 제안한 컨버터는 승압비가 높으며 소자들의 전압정격과 수동소자들의 부피가 작아지는 장점들로 인해 고효율 및 소형경량화 시킬 수 있다.

본 연구는 2010년 교육과학기술부 한국연구재단의 기초연구사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No.2010-0014433)

### 참고 문헌

- [1] 양진영, 윤창우, 박성식, 최세완, 박래관, 장서건, "하이브리드 자동차 고전압 배터리 충, 방전을 위한 49kW급 고효율 양방향 DC/DC 컨버터 설계", *전력전자학회 2007년도 추계 학술대회 논문집*, 2007. 11, pp.21-23.
- [2] 권태석, 이현동, "그린카 구동용 인버터 기술 동향", *전력전자학회지 제14권 제4호*, pp. 28-32. 2009. 8
- [3] 양진영, 이상원, 최세완, 김태훈, "고승압비를 갖는 인터리빙 양방향 DC-DC 컨버터", *전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집*, 2008. 6, pp.200-202.
- [4] W. Yu, H. Qian, J. Lai, "Design of High-Efficiency Bidirectional DC-DC Converter and High-Precision Efficiency Measurement", *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 25, no. 3, pp. 650-658, March 2010.