

## 인터리브 방식을 이용한 전기자동차용 고효율 승압형 양방향 DC/DC 컨버터 개발

(Development of Boost Type Bidirectional DC/DC Converter with High Efficiency For EV  
using an Interleave Method)

최정식\* · 오승열 · 정동화 · 송성근\*\*

(Jung-Sik Choi · Seung-Yeol Oh · Dong-Hwa Chung · Sung-Gun Song)

### Abstract

This paper proposes the boost type bidirectional DC/DC converter with high efficiency for electric vehicle using an interleave method. This interleave method can reduce the system size because it reduces the ripple of output voltage and input current with no add to extra filter. Proposed system is consist of two converters and applies to interleaved method through phase shift to each converter. And it implements the high boost through voltage double and series construction of output port. Also, it reduces the price and increases the efficiency as operating the ZCS by leakage inductance of transformer and capacitor of voltage double with not add special reactor. Proposed DC/DC converter using interleave method is proved the validity through the result of PSIM simulation and experiment of 5kW DC/DC converter.

Key Words : Phase Shift, Interleave, Zero Current Switch, Output Voltage Ripple, Resonant Converter, Efficiency

### 1. 서 론

- 
- \* 주저자 : 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터  
선임연구원
  - \*\* 교신저자 : 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터  
센터장
  - \* Main author : Senior Researcher, Digital  
Convergence Research Center, KETI
  - \*\* Corresponding author : Center Manager, Digital  
Convergence Research Center, KETI  
Tel : 062-975-7040, Fax : 062-975-7039  
E-mail : cjs1108@keti.re.kr
- 접수일자 : 2013년 7월 5일  
1차심사 : 2013년 7월 10일  
심사완료 : 2013년 9월 4일

최근 화석연료의 고갈 및 유가상승, 대기오염을 유발하는 유해물질 배출감소를 위한 환경규제의 강화, 그리고 기후변화 협약에 따른 온실가스 감축 압력 등에 효과적으로 대응하기 위하여 전 세계적으로 친환경 자동차의 필요성이 크게 증가하고 있다[1]. 친환경 자동차는 종래의 내연기관과 더불어 전동기의 동력으로 구동하는 하이브리드 전기자동차와 순수 전동기의 동력으로 구동하는 전기자동차 등이 있다. 이러한 전기자동차는 내연기관을 사용하지 않아 배기가스가 없

는 무공해, 저소음 등 여러 장점이 있어 많은 관심을 받고 있다.

이와 같이 전기를 이용한 전동기의 구동비율이 증가함에 따라 손실 및 모터설계의 이점을 고려하여 트랙션모터에 사용되는 전압은 300V 이상의 고압위주로 사용되고 있다. 그러나 최근 상용차에서 고압 전원 시스템은 인체 감전 등의 문제가 있으므로 72V의 저전압 배터리가 주로 사용된다.

이와 같이 낮은 전압을 이용하는 시스템에서 고압의 트랙션 모터를 구동 및 전기차의 구동부 효율을 향상하기 위해서는 고효율의 DC/DC 컨버터의 개발이 절실히 요구된다[2]. 특히 고전력 밀도를 통한 전력변환기 소형화를 실현하기 위해서는 리액터, 커패시터와 같은 수동소자의 최소화가 요구되며 이를 위해서는 고속 스위칭을 이용하는 것이 일반적이며 이 경우 스위칭 소자의 과도손은 매우 중요한 요소가 된다. 고속 스위칭이 가능한 고효율의 전력변환기를 개발 하기 위해서는 공진형 전력변환기의 개발이 필수적이며 최근에는 변압기의 누설 리액턴스를 이용한 공진형 컨버터의 개발이 많이 수행되고 있다 [3-5].

승압형 DC/DC 컨버터의 입·출력리플성분을 감소시키기 위해서는 커패시터의 용량을 크게 하거나 주파수를 증가시켜 주기를 작게 하는 방법이 있지만 커패시터의 용량을 너무 크게 할 경우 시정수 증가로 인한 속응성이 현저하게 줄어 들 우려가 있고 컨버터의 크기가 커지는 단점이 있다. 또한 주파수를 높이면 높일수록 스위칭 손실과 스트레스가 커지는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 시스템의 효율, 가격, 부피, 무게 등 제약조건을 고려하여 전력회로 2개를 병렬 운전하는 인터리브 방식에 대한 연구가 진행되고 있다[6-7]. 인터리브 방식의 컨버터는 인덕터에 흐르는 전류가 단일 인덕터 컨버터에 비해 컨버터 보다 적어 컨버터 시스템의 크기와 부피를 줄일 수 있는 장점이 있다[8-11].

이에 본 논문에서는 고승압이 가능하며 양방향 전력수수가 가능한 인터리브 방식의 전기자동차용 고효율 DC/DC 컨버터를 제시한다. 또한 본 논문에서 제시한 DC/DC 컨버터의 경우 고승압 및 공진형 컨버터를 위

해 컨버터의 2차측을 배압회로(Voltage Doubler)를 이용하였으며, 고전력 밀도화를 구현하기 위해 공진용 리액터를 추가하지 않고 변압기의 누설분 및 배압회로의 커패시터를 이용한 공진형 컨버터를 개발하였다. 또한 입력전류 및 출력전압의 리플을 줄이기 위해 인터리브 방식을 제시하였다. 제시한 고효율 DC/DC 컨버터의 타당성을 입증하기 위하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

## 2. 전기자동차용 DC/DC 컨버터시스템

### 2.1 시스템 구성

그림 1은 제시한 전기자동차용 양방향 DC/DC 컨버터의 블록다이어그램을 나타내고 있다. 일반적으로 전기자동차에 사용되는 배터리 시스템의 경우 안전상 수십V 이하의 저압이 사용되고 있어 컨버터가 부하에 전원을 공급하기 위해서는 고승압의 회로가 필요하며, 반대로 회생제동을 위해서는 감압에 의한 배터리 충전회로가 필요하다.

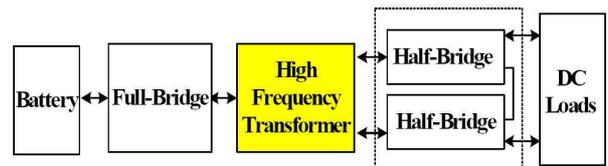


그림 1. 제시한 EV용 양방향 DC/DC 컨버터의 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram of proposed bidirectional DC/DC converter for EV

그림 2는 제시한 인터리브 방식을 이용한 전기자동차용 양방향 DC/DC 컨버터 구조를 나타낸 것으로서 1차측은 병렬, 2차측은 직렬구조로 구성하였다.

전체 회로의 전력밀도를 높이기 위해서는 변압기 및 커패시터의 사이즈 감소가 가장 중요한 요소이며 특히 커패시터의 사이즈 감소를 위해서는 입력 리플 전류의 감소가 불가피하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 공진 컨버터를 병렬로 연결한 Multi-Phase 방식의 컨버터를 적용하여 입력 리플

전류 저감에 따른 캐패시터의 발생손실 저감과 캐패시터의 사이즈를 저감시킬 수 있는 컨버터가 개발되었다. 그러나 2차측 병렬 연결에 따른 출력 전압제어 시 각각의 공진회로를 구성하는 적용소자의 파라미터 값 차이에 따른 전압 이득 특성차이에 따라 각 컨버터에는 전류 불평형이 발생하게 되고 이득이 큰 쪽 컨버터에만 전력이 전달되는 문제점을 갖는다. 또한 제어회로가 복잡하고 별도의 제어회로를 추가해야하는 단점이 있으며 제어회로 구성 시 손실이 발생하는 문제점이 있다[11]. 따라서 제시한 DC/DC 컨버터는 1차측을 병렬로 연결하고 2차측은 직렬로 연결함으로써 전류 불평형을 최소화할 수 있는 Two-Phase 인터리브 방식을 제시하였다. 이러한 인터리브 방식은 출력단의 LC필터 설계가 필요하지 않아 시스템의 크기와 부피를 줄일 수 있는 장점이 있다.

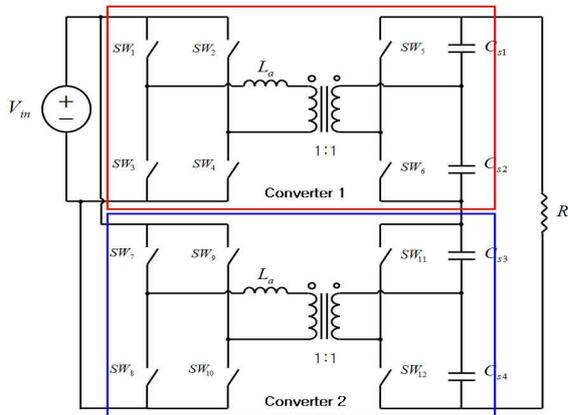


그림 2. 인터리브 방식을 이용한 EV용 양방향 DC/DC 컨버터 회로도

Fig. 2. Circuit diagram of bidirectional DC/DC converter using interleaved method

또한 파워 스택의 전력밀도를 향상시키기 위해서는 공진형 컨버터 설계를 통한 효율을 최대화시켜야 하며, 이를 위해 변압기의 누설 리액턴스와 Half-Bridge의 커패시터를 이용하여 공진을 시킴으로써 ZCS (Zero Current Switching) 방식을 구현하였다. 이러한 방법은 별도의 수동소자의 추가 없이 컨버터의 전력 밀도를 최대화할 수 있는 장점이 있다.

## 2.2 동작모드 분석

제시한 방식의 컨버터의 구동은 전기자동차의 모터 구동을 위한 배터리 방전 모드와 회생제동에 의한 배터리 충전 모드로 나눌 수 있으며, 각 모드별 동작 특성 및 등가 회로는 다음과 같다. 그림 3은 Converter 1에 대한 배터리 방전 시 동작모드로 두 가지의 동작 모드로 나눌 수 있다. Converter 2는 Converter 1과 PWM 주파수는 같고 인터리브 방식을 위해 90° phase shift 방법을 적용 하였으며 동작모드에 따른 전류 흐름도는 Converter 1과 동일하다.

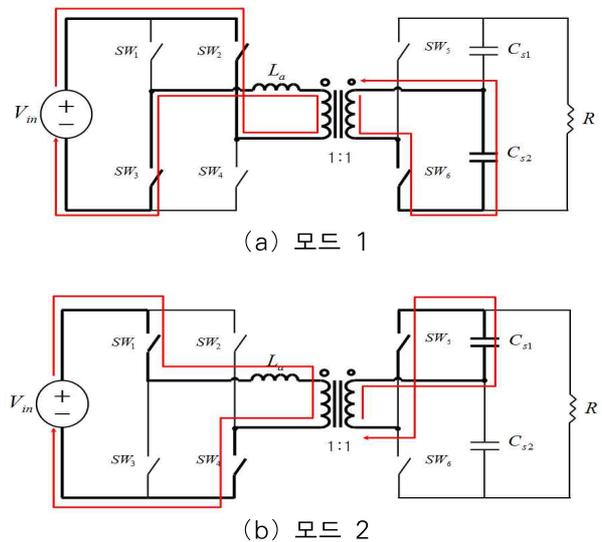


그림 3. 배터리 방전 시 동작모드  
Fig. 3. Battery discharging operation mode

모드 1로는  $SW_2$ 와  $SW_3$ 이 ON 되고  $SW_1$ 과  $SW_4$ 가 OFF가 됨으로서 입력전류는  $SW_2$ 와  $SW_3$ 를 통해 2차측에 전달된다.  $SW_6$ 을 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s2}$ 를 통해 직렬 공진 형태를 이룸으로서 입력측의 전력을 부하측으로 공급한다. 모드 2로는  $SW_1$ 과  $SW_4$ 가 ON 되고  $SW_2$ 와  $SW_3$ 가 OFF 됨으로서 입력 전류는  $SW_1$ 과  $SW_4$ 를 통해 2차측으로 전달된다.  $SW_5$ 를 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s1}$ 를 통해 직렬 공진 형태를 나타냄으로서 입력측의 전력을 부하측으로 공급한다. 이 경우 입·출력 전압간의 전달함수 및 공진주파수는 다음 식에 의해 계

산된다[12-14].

$$G(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{SC_s R_{ac}}{S^3 L_l C_s^2 R_{ac} + 2S^2 L_l C_s + SC_s R_{ac} + 1} \quad (1)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_l(C_{s1} // C_{s2})}} \quad (2)$$

$$R_{ac} = \frac{2n^2 R_0}{\pi^2} \quad (3)$$

$$n = \frac{N_p}{N_s} \quad (4)$$

그림 4는 배터리 충전 시 동작모드로 마찬가지로 두 가지의 동작모드로 나눌 수 있다.

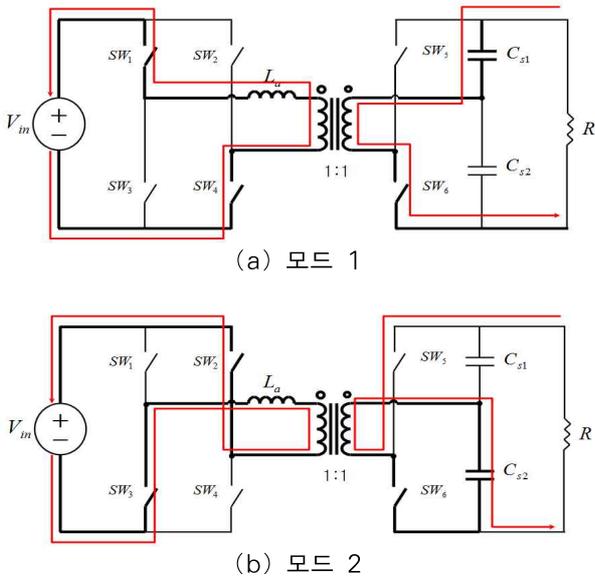


그림 4. 배터리 충전 시 동작모드  
Fig. 4. Battery charging operation mode

모드 1은  $SW_6$ 을 ON하고  $SW_5$ 가 OFF됨으로서 출력측 전류는  $SW_6$ 을 통해 1차측으로 전달된다.  $SW_1$ 과  $SW_4$ 를 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s1}$ 를 통해 직렬 공진 형태를 이룸으로서 출력측의 전력을 배터리측으로 공급한다. 모드 2로는  $SW_5$ 을 ON하고  $SW_6$ 가 OFF함으로서 출력측 전류는  $SW_5$ 를 통해 1차측으로 전달된다.  $SW_2$ 와

$SW_3$ 를 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s2}$ 를 통해 직렬 공진 형태를 이룸으로써 출력측 전력을 배터리측으로 공급한다. 배터리 충전모드에서 입·출력 전압간의 전달함수 및 공진주파수는 다음 식과 같다.

$$G(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{s C_s R_{ac}}{2s^2 L_a C_s + 2s C_s R_{ac} + 1} \quad (5)$$

$$R_{ac} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{n^2} \cdot R \quad (6)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_l(C_{s1} // C_{s2})}} \quad (7)$$

$$n = \frac{N_p}{N_s} \quad (8)$$

### 3. 시뮬레이션

그림 5는 본 논문에서 제시한 인터리브 방식의 양방향 DC/DC 컨버터의 성능결과를 분석하기 위한 시뮬레이션 회로도도를 나타낸 것이다. 입력전압인 배터리 전압이 72V가 되도록 구성하였으며, 각 변압기의 변압비는 1:1로 하여 누설 인덕턴스 성분을 따로 지정해

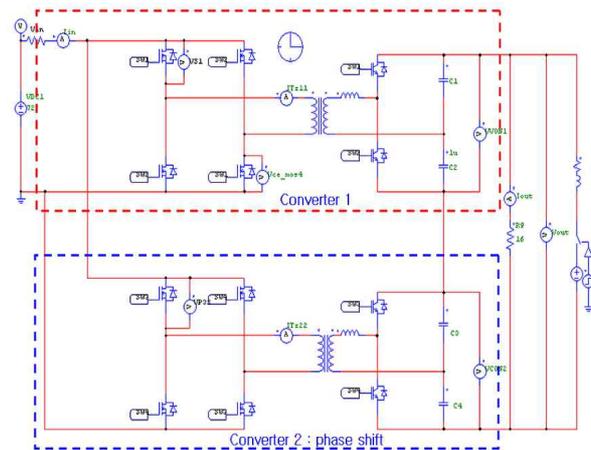


그림 5. 인터리브 방식의 양방향 DC/DC 컨버터 시뮬레이션 회로도  
Fig. 5. Simulation circuit diagram of bidirectional DC/DC converter using interleaved method

주었다. 2차측 배압회로를 직렬로 연결하여 출력전압이 입력전압의 4배 증압되도록 구성하였다. 또한 컨버터의 입력전류와 출력전압의 리플을 감소시키기 위해 Converter 2의 phase shift를 통한 인터리브 방식을 적용하였다. 인터리브 방식을 적용한 DC/DC 컨버터는 출력 단 LC 필터를 제거할 수 있어 시스템의 크기를 축소시킬 수 있다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타낸 것이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameter

입력전압	72V
출력전압	288V
공진캐패시터	1.8uF
누설인덕턴스	0.8uH
스위칭 주파수	93kHz
공진 주파수	93.808kHz
변압기 권선비	1:1
부하저항	16Ω
회생전압	290V
Phase shift	90°

그림 6은 배터리 방전모드에서 컨버터1과 컨버터2의 스위치에 걸리는 전압과 변압기 2차측 전류를 나타내고 있다. 스위치에 걸리는 전압과 변압기 2차측 전류를 비교해 보면 변압기 2차측 전류는 스위칭 전압의 rising edge와 falling edge에서 전류가 0이 되고 사인파의 형태를 나타냄으로써 ZCS(Zero Current Switching)이 됨을 알 수 있다. 또한 phase shift 방식의 인터리브 기법으로 컨버터 1과 컨버터 2의 위상이 90° 차이가 남을 알 수 있다.

그림 7은 그림 6과 같은 조건에서 배터리의 충전 모드일 경우의 응답파형을 나타낸다. 배터리 충전 모드에서도 방전모드에서와 마찬가지로 인터리브 수행 및 양호한 ZCS 형태가 나타남을 확인할 수 있었다.

그림 8은 인터리브 방식에 대한 배터리 방전 시의 출력전압 리플을 비교한 것으로 그림 8 (a)는 비 인터리브 방식과 그림 8 (b)는 인터리브 방식에 대한 출력전압 리플을 나타낸다. 인터리브 방식을 적용한 컨버

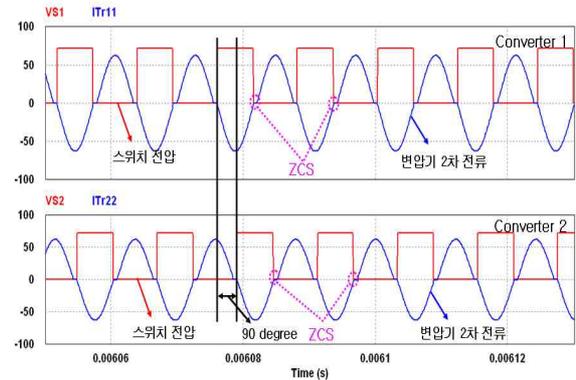


그림 6. 배터리 방전 시 컨버터의 응답 파형  
Fig. 6. Response waveform of converter in battery discharging mode

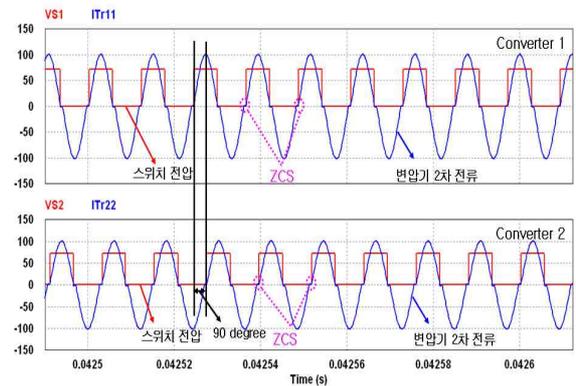
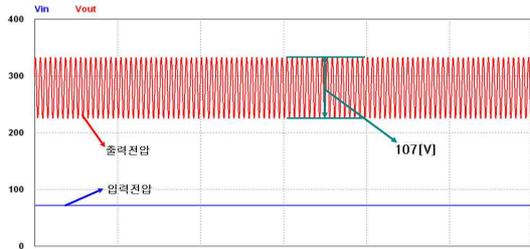


그림 7. 배터리 충전 시 컨버터의 응답 파형  
Fig. 7. Response waveform of converter in battery charging mode

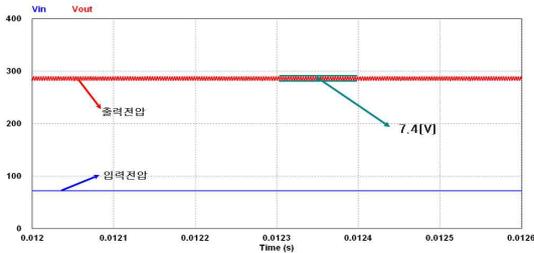
터의 출력 리플은 적용하지 않은 컨버터에 비해 출력전압의 Peak to Peak 값이 7.4V로 매우 작게 나타남을 알 수 있다. 그림 9는 그림 8과 같은 조건에서 배터리 충전 시에 대한 출력전압 리플의 응답특성을 비교하여 나타낸 것이다. 충전 시에도 인터리브 방식이 비 인터리브 방식에 비해 양호한 출력리플을 나타낸다.

그림 10은 인터리브 방식에 대한 배터리 방전 시의 입력전류 리플을 비교한 것으로 그림 10 (a)는 비 인터리브 방식과 그림 10 (b)는 인터리브 방식에 대한 입력전류 리플을 나타낸다. 그림 11은 그림 10과 같은 조건에서 배터리 충전 시의 응답특성을 비교하여 나타낸 것이다. 입력전류 리플에 대한 응답특성에서도

인터리브 방식을 이용한 전기자동차용 고효율 승압형 양방향 DC/DC 컨버터 개발



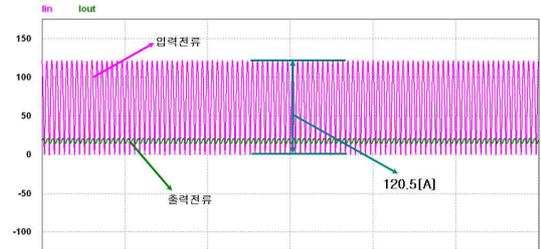
(a) 비 인터리브 방식



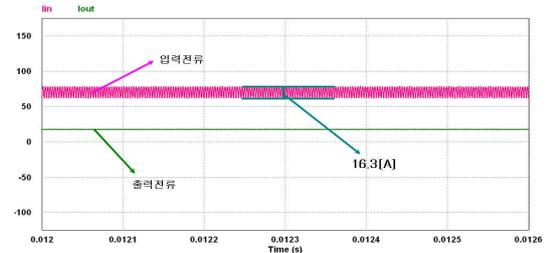
(b) 인터리브 방식

그림 8. 배터리 방전 시 인터리브 방식에 대한 출력 전압 리플비교 파형

Fig. 8. Comparison of output voltage ripple waveform with interleave method in battery discharging mode



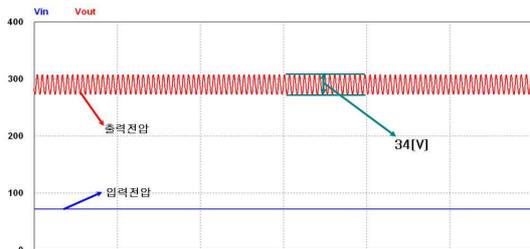
(a) 비 인터리브 방식



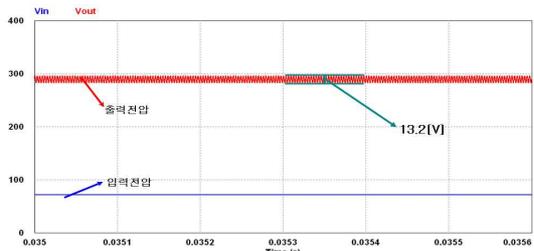
(b) 인터리브 방식

그림 10. 배터리 방전 시 인터리브 방식에 대한 입력전류 리플비교 파형

Fig. 10. Comparison of input current ripple waveform with interleave method in battery discharging mode



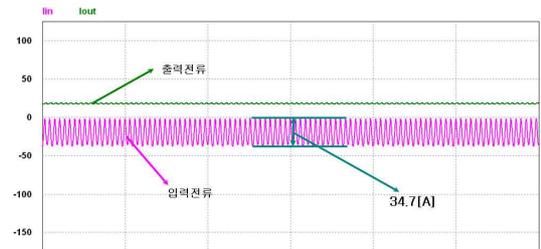
(a) 비 인터리브 방식



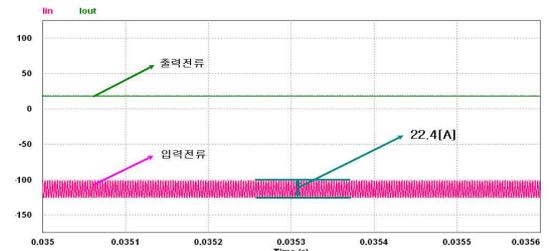
(b) 인터리브 방식

그림 9. 배터리 충전 시 인터리브 방식에 대한 출력 전압 리플비교 파형

Fig. 9. Comparison of output voltage ripple waveform with interleave method in battery charging mode



(a) 비 인터리브 방식



(b) 인터리브 방식

그림 11. 배터리 충전 시 인터리브 방식에 대한 입력전류 리플비교 파형

Fig. 11. Comparison of input current ripple waveform with interleave method in battery charging mode

배터리의 충·방전 모드에서 인터리브 방식을 적용한 컨버터의 입력 전류 리플이 매우 적게 나타남을 알 수 있다. 이를 통하여 인터리브 방식의 DC/DC 컨버터의 양호한 응답성능을 확인할 수 있었다.

#### 4. 실험 및 결과

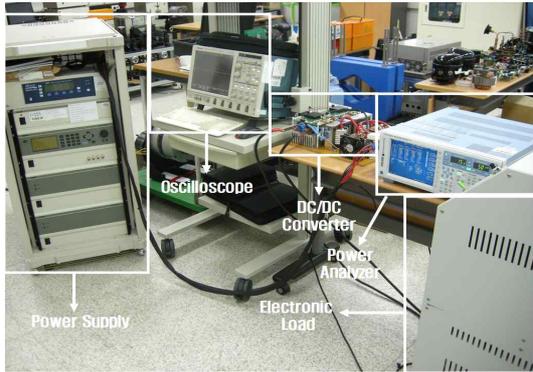


그림 12. 제시한 DC/DC 컨버터의 실험 사진  
Fig. 12. Experimental photograph of proposed DC/DC converter

표 2. 실험 파라미터  
Table 2. Experiment parameter

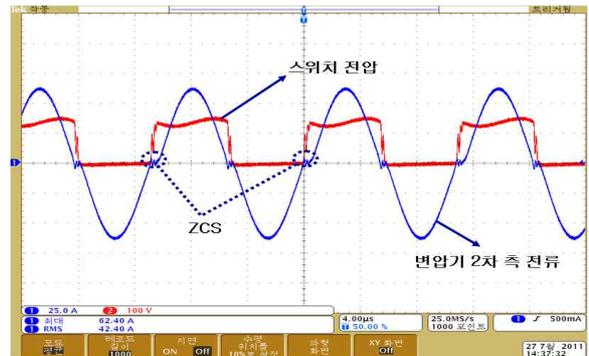
파라미터(Parameter)	값(Value)
입력전압	72V
출력전압	288V
입력캐패시터	100uF
공진캐패시터	1.8uF
누설인덕턴스	0.8uH
스위칭 주파수	92kHz
공진 주파수	93.808kHz
변압기 권선비	1:1
Phase Shift	90°

그림 12는 본 논문에서 제시한 인터리브 방식을 적용한 고효율 승압형 DC/DC 컨버터의 실험 사진을 나타내고 있다. 제시한 DC/DC 컨버터는 1차측은 MOSFET을 이용한 H-Bridge를 사용하였고 2차측은 IGBT에 의한 Half-Bridge의 배압회로를 사용하였다. 또한 전력용 반도체의 스위칭을 위한 제어보드는 TI

사의 TMS320F28335로 구성하였으며, 인터리브 방식을 적용하여 출력단 LC 필터는 적용하지 않아 컨버터의 크기를 최소화 하였다. 인터리브 방식의 DC/DC 컨버터 성능실험은 10kW급 파워스플라이와 전자부하를 통해 진행하였으며, 전력분석기를 통해 부하 용량별 효율을 측정하였다. 제시한 인터리브 방식의 DC/DC 컨버터 실험을 위한 파라미터는 표 2에 나타난다.



(a) 500W 부하



(b) 5kW 부하

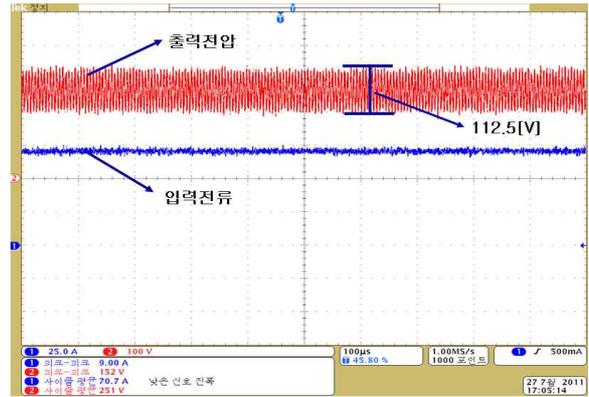
그림 13. DC/DC 컨버터의 부하 용량에 따른 ZCS 동작 파형  
Fig. 13. ZCS operation waveform of DC/DC converter with load capacity

그림 13은 부하 용량에 따른 DC/DC 컨버터의 ZCS 동작파형을 나타낸 것으로 그림 13 (a)는 500W 부하, 그림 13 (b)는 5kW 부하일 경우의 응답특성을 나타낸다. 교번적인 스위칭 신호로 인해 변압기 2차측 전류 파형은 Sine 형태의 그래프가 출력된다. 실제 5kW급

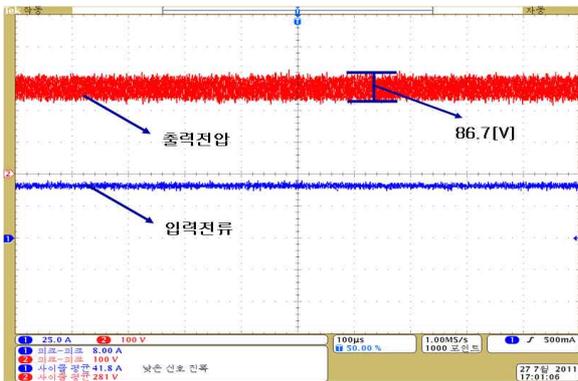
DC/DC 컨버터를 이용한 실험결과는 시뮬레이션 결과와 같이 모든 부하영역에서 ZCS 기법에 의한 소프트 스위칭이 되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 14는 3kW 부하 시 인터리브 방식 유무에 따른 입출력 전압, 전류의 응답특성을 나타낸다. 인터리브 방식을 적용한 경우 출력전압의 리플 peak to peak 값은 25.8V로 비 인터리브 방식에 비해 약 1/3로 감소되었다. 배터리에서 공급되는 전원은 컨버터와 제어보드에 동시에 입력되므로 안정된 전원을 위해 입력단에 캐패시터를 적용하였다. 이 때문에 입력전류는 인터리브 방식에 관계없이 리플이 크지 않음을 알 수 있다. 그림 15는 그림 14와 같은 조건에서 5kW 부하 시의 응답특성을 나타낸다. 부하 용량이 높아질수록 비

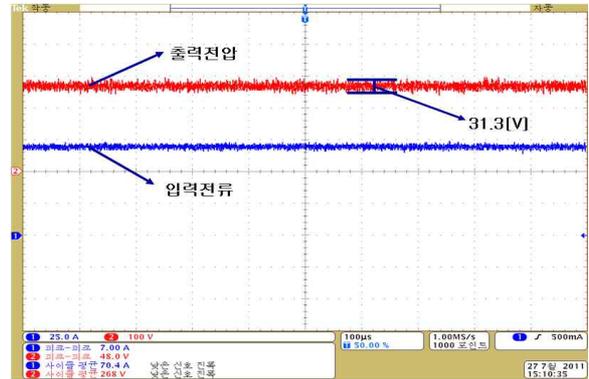
인터리브 방식의 출력전압 리플은 더욱 커지며, 마찬가지로 인터리브 방식의 양호한 응답특성을 나타내고 있다.



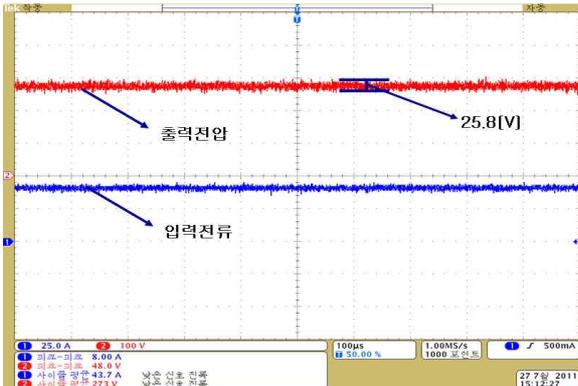
(a) 비 인터리브 방식



(a) 비 인터리브 방식



(b) 인터리브 방식

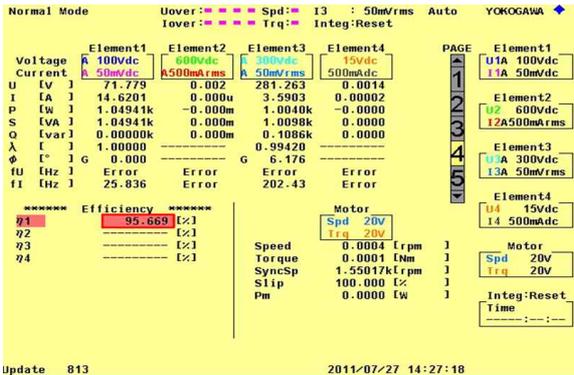


(b) 인터리브 방식

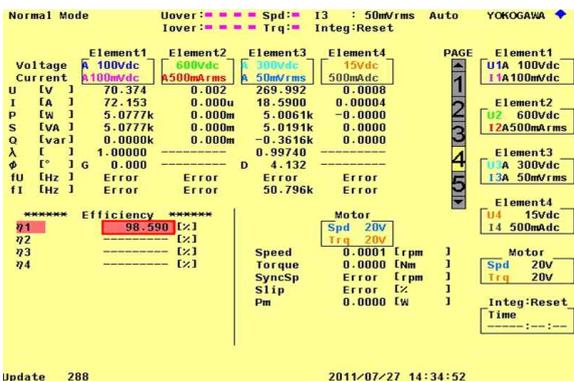
그림 14. 3kW 부하 시 인터리브 방식에 따른 입출력 응답특성  
Fig. 14. Input-output response characteristic in 3kW load with interleave method

그림 15. 5kW 부하 시 인터리브 방식에 따른 입출력 응답특성  
Fig. 15. Input-output response characteristic in 5kW load with interleave method

그림 16은 부하 용량에 따른 DC/DC 컨버터의 효율을 나타낸 것으로 그림 16 (a)는 1kW의 부하일 경우, 그림 16 (b)는 5kW의 부하일 경우에 대한 효율을 나타낸 것이다. 제시한 DC/DC 컨버터는 1kW의 부하일 경우 95.6%, 5kW의 부하에서는 98.5%로 우수한 응답특성을 나타내고 있다. 또한 입·출력 전압을 비교해보면 1kW 부하에서 입력전압이 71.7V이고 출력전압이 281.2V이며 5kW 부하에서도 입력전압은 70.3V, 출력전압이 269.9V로 4배 승압의 결과를 나타내고 있다.



(a) 1kW 부하



(b) 5kW 부하

그림 16. 부하용량에 따른 DC/DC 컨버터의 효율  
Fig. 16. Efficiency of DC/Dc converter with load capacity

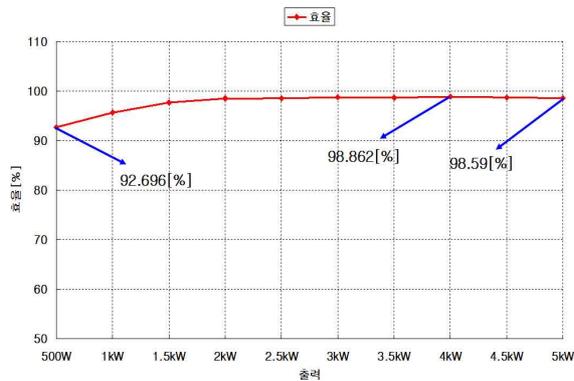


그림 17. 출력변화에 따른 DC/DC 컨버터 효율 분석  
Fig. 17. Efficiency analysis of DC/DC converter with output variation

그림 17은 500W~5kW 출력영역에서의 효율을 분석하여 나타낸 것이다. DC/DC 컨버터의 출력이 4kW

일 때 효율이 98.86%로 가장 높게 나타났으며 평균 97.6%로 매우 우수한 성능을 나타내고 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 인터리브 방식의 전기자동차용 고효율 승압형 양방향 DC/DC 컨버터를 제시하였다. 제시한 DC/DC 컨버터는 입력측은 병렬, 출력측은 직렬로 구성하여 converter1과 converter2의 phase shift를 통한 인터리브 방식을 적용하였다. 인터리브 방식은 출력전압과 입력전류의 리플을 줄일 수 있어 입력단 캐패시터와 출력측에 별도의 필터를 구성하지 않아도 되므로 시스템의 사이즈 및 가격을 줄일 수 있다. 또한 제시한 DC/DC 컨버터는 ZCS 방식을 이용한 소프트 스위칭으로 스위치 과도손실을 최소화 하였으며, L-C 공진을 위한 리액터와 캐패시터를 절연형 변압기의 누설리액터와 배압회로의 캐피시터로 대체함으로써 별도의 수동소자가 필요하지 않아 컨버터의 시스템 최적화를 실현할 수 있었다.

제시한 인터리브 방식의 고효율 승압형 DC/DC 컨버터에 대한 성능분석을 위하여 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과에서 배터리의 충·방전 모드에서 양호한 ZCS 동작상태를 확인할 수 있었으며 인터리브 방식에 따른 출력 전압 및 입력 전류 리플을 분석하였다. 인터리브 방식을 적용한 시스템의 입·출력 리플은 비 인터리브 방식에 비해 매우 적게 나타남을 확인하였다.

또한 5kW급 승압형 DC/DC 컨버터를 제작하여 실험을 수행하였다. DC/DC 컨버터의 실험결과, 5kW 부하까지 다양한 부하영역에서 양호한 ZCS 동작을 확인하였다. 출력 전압의 리플 응답에서도 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 인터리브 방식을 적용한 시스템의 응답특성이 우수하게 나타났다. 인터리브 방식의 승압형 DC/DC 컨버터의 측정효율은 4kW 출력에서 98.86%으로 가장 높게 나타났으며, 평균 97.6%으로 우수한 시스템 효율을 확인하였다. 이로서 본 논문에서 제시한 인터리브 방식의 전기자동차용 고효율 승압형 양방향 DC/DC 컨버터의 타당성을 입증하였다.

본 연구는 전자정보디바이스 산업융합원기술개발사업의 일환(10041942)으로 수행되었음.

## References

[1] F. A Wyczałda, "Hybrid Electric Vehicles years 2000 status", IEEE Aerospace and Electronics systems Magazine, vol 16, no 3, pp 15~19, Mar 2001.

[2] M. S. Choi, S. G. Song, S. J. Park, D. K. Kim, Y. G. Kim, "Development Of High Efficiency Boost DC/DC Converter For EV", THE TRANSACTIONS OF KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, Vol.15 No.2 2010.4, page(s): 127-133.

[3] K. J. Son, S. G. Song, J. H. Choi, C. J. Moon, K. H. Kim, Y. H. Lim, "A zero-voltage zero-current switching power conversion system for fuel cell ", THE TRANSACTIONS OF KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, Vol.11 No.4 2006.8, page(s): 385-394.

[4] G. Hua, X. Yang, Y. Jiang, and F.C. Lee, "Novel zero-current-transition PWM converters", IEEE Trans. on Power electronics. Vol. 09, No. 06, pp. 601-606, 1994, Nov.

[5] Kim, P. Choi, S. Kim, J., "An inductor-less asymmetrical ZVS full bridge converter for step-up applications with wide input voltage range", IEEE ECCE, pp.1945-1951, Sept. 2010.

[6] Po-Wa Lee, Yim-Shu Lee, David K. W. Cheng, Xiu-Cheng Liu, "Steady-State Analysis of an Interleaved Boost Converter with Coupled Inductors," IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 47, No. 4, August 2000.

[7] S. Y. Tseng, J. Z. Shiang, H. H. Chang, W. S. Jwo and C. T. Hsieh, "A Novel Turn-On/Off Snubber for Interleaved Boost Converter," IEEE 38th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC '07), pp.2718-2724, 2007.

[8] A. Averberg, A.Mertens, "Analysis of a Voltage-fed Full Bridge DC-DC Converter in FuelCell Systems", PESC2007, pp. 286-292, June,2007.

[9] H. B.Shin, J.G.Park, S.K.Chung, H.W.Lee, T.A.Lipo, "Generalised steady-state analysis of multiphase interleaved boost converter with coupled inductors", IEE Electric Power Applications, Vol. 152, Issue.3, pp. 584-594, May 2005.

[10] Tjin and K Smedly, "Multi-phase LLC Series Resonant Converter for Micro processor Voltage Regulation", IEEE IAS'06, pp. 2136-2143, 2006.

[11] Kang-Hyun Yi and Gun-Woo Moon, "A Novel two phase interleaved LLC series resonant converter using a phase of the resonant capacitor", Journal of Power Electronics, Vol.8 No. 3, pp. 275-279, 2008.

[12] Marian K. Kazimireczuk, Dariusz Carkowski, "Resonant Power Converters", John Wiley & Sons, INC.

[13] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, "Fundamentals of Power Electrics", University of Colorado Boulder, Colorado.

[14] Yilei Gu, Lijun Hang, Chen, Zhengyu Lu, Zhaoming Qian, Jun Li, "A Simple Structure of LLC Resonant DC-DC Converter for Multi-output Applications" APEC 2005. Twentieth Annual IEEE, Vol. 3, pp. 1485-1490, 2005.

## ◇ 저자소개 ◇



### 최정식 (崔正植)

1980년 2월 9일생. 2005년 순천대 전기 제어공학과 졸업. 2007년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2011년 1월~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 선임연구원.



### 오승열 (吳承烈)

1975년 5월 16일생. 2004년 전남대 대학원 전공학과 졸업(석사). 2013년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2005~2006년 네오엔비 PM. 2007년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 책임연구원.



### 정동화 (鄭東和)

1979년 영남대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주)기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대 전기 제어공학과 교수.



### 송성근 (宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 전기 공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2008년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 센터장.