

# 변압기 직렬구조의 EV용 승압형 양방향 ZCS DC/DC 컨버터 개발

(Development of Boost Type Bidirectional ZCS DC/DC Converter For EV of Transformer Series Construction)

최정식\* · 박병철 · 정동화 · 송성근\*\*

(Jung-Sik Choi · Byung-Chul Park · Dong-Hwa Chung · Sung-Gun Song)

## Abstract

This paper proposes the boost type bidirectional zero current switching(ZCS) DC/DC converter of transformer series construction for electric vehicle operation using low voltage battery. This converter can high boost through the double voltage circuit and series construction of output part using two converters. This converter system has the advantages that bidirectional power transfer is excellent, size and making of transformer because of this converter keeps the transformation ratio to 1:1. Proposed DC/DC converter uses the ZCS method to decrease the switching loss. By replacing reactance ingredients of L-C resonance circuit for ZCS with leakage inductance ingredients of high frequency transformer and half-bridge capacitor it reduces system size and expense because of not add special reactor. It can confirm to output of high voltage to operate the electric vehicle with low voltage of input and operation of ZCS in all load region through the result of PSIM simulation and experiment.

Key Words : Resonant Converter, Transformer Series Construction, Zero Current Switching, Transformation Ratio, Electric Vehicle

## 1. 서 론

최근 탄소배출 규제 등의 이유로 자동차의 효율 향상에 많은 관심이 집중되고 있으며, 근래에 들어서는 내연기관 없이 전기만을 이용한 형태의 차량이 등장하고 있다. 이와 같은 차량은 내연기관의 사용 유무에 따라 하이브리드 자동차와 순수 전기차로 나뉘고 있으며, 순수 전기차의 경우도 근래에는 상용 전기차 이외에 특수용도의 NEV(Neighborhood Electric Vehicle), AEV(Agricultural Electric Vehicle)등의 다양한 형태의 전기차 개발이 진행되고 있다[1].

---

\* 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

전기차 개발의 주요 관심사항은 고효율화에 있으며, 전기차에서 고효율화를 위해서는 구동을 위한 트랙션 모터 및 이를 구동하기 위한 전력변환기의 고효율화가 진행되어야 한다. 특히 저항손 및 무게를 줄이기 위해서는 고압 시스템이 유리하여 최근 개발되고 있는 대부분의 전기차는 동력부분에서는 300[V] 이상의 고압을 사용하고 있다. 최근 상용차에서는 고압 및 저압을 동시에 사용하는 방식을 채택하고 있으나 NEV와 AEV와 같은 특수용 차량에서는 72[V]의 전압사용이 보편화되어 있다. 이와 같이 낮은 전압을 이용하는 시스템에서 고압의 트랙션 모터를 구동하기 위해서는 승압형 DC/DC 컨버터의 적용이 필수적이다[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 개발하기 위해서는 공진형 전력변환기의 개발이 필수적이며 최근에는 변압기의 누설 리액턴스를 이용한 공진형 컨버터의 개발이 많이 수행되고 있다[3-7]. 또한 전기차는 한정된 에너지인 배터리로 최대한 장시간 운전을 위해서는 회생제동에 의한 에너지 회수가 요구되므로 DC/DC 컨버터의 절연형 변압기 변압비를 1:1로 유지하여 입출력간의 임피던스가 동일하여 양방향 전력의 수수가 우수한 전력변환기 개발이 요구된다[8].

이에 본 논문에서는 변압기 직렬구조의 EV용 승압형 양방향 ZCS DC/DC 컨버터를 제시하였다. 전기차 동차 시스템의 경우 인버터에 의한 모터 구동 및 회생제동 알고리즘이 적용되므로 DC/DC 컨버터에서는 최대한 고효율화를 통한 소형화를 목표로 개발을 진행하였다. 이를 위해 1차 측 입력은 병렬, 2차 측 출력은 직렬로 연결하는 변압기 직렬구조를 제시하였으며 이를 통하여 고주파 변압기의 변압비를 1:1로 유지할 수 있도록 구성하였다. 이로써 2대의 변압기로 전력이 분산되어 코어 선정 및 열 분산이 용이하였다. 또한 본 논문에서 제안한 DC/DC 컨버터의 경우 고 전력 밀도화를 구현하기 위해 공진용 리액터를 추가하지 않고 변압기의 누설분 및 배압회로의 커패시터를 이

용한 공진형 컨버터를 개발하였다. 제안된 컨버터의 타당성을 입증하기 위하여 시뮬레이션 및 실험적 검증을 수행하였다.

## 2. EV용 공진형 DC/DC 컨버터

### 2.1 시스템 구성

그림 1은 EV용 변압기 직렬구조의 절연형 컨버터 시스템을 나타낸 것으로서 고주파 변압기를 이용하여 1차 측을 고속 MOSFET를 이용한 H-Bridge를 2차 측은 고속 IGBT 및 커패시터를 이용한 Half-Bridge 구조로 구성하였다.

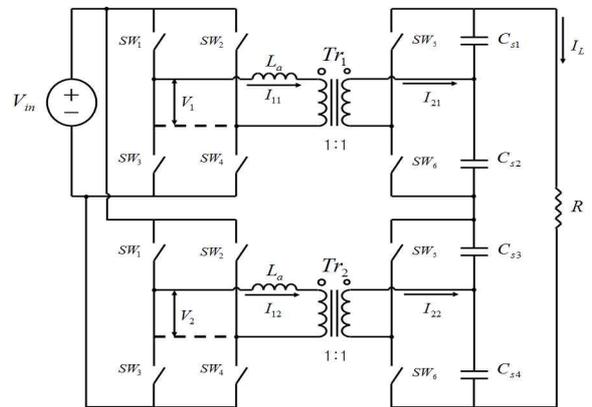


그림 1. 제안된 EV용 변압기 직렬구조의 절연형 컨버터 시스템

Fig. 1. Isolation converter system of proposed transformer series construction for isolation converter for EV

이와 같이 컨버터를 구현하면 1차 측에서 2차 측으로 에너지가 넘어가는 정방향 전력변환 시에는 배압회로와 2차 측 직렬연결을 통하여 총 4배의 승압이 가능하므로 고주파 변압기의 변압비는 1:1로 유지가 가능하며 변압비를 1:1할 경우 DC/DC 컨버터를 위한 고주파 변압기의 제작이 용이하다.

1차 측의 병렬구조는 변압기에 인가되는 전압이 입력전압과 일치하고 2차 측의 직렬구조는 각 변압기의 출력전류와 부하전류와 같으며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{IN} = V_1 = V_2 \quad (1)$$

$$I_L = I_{21} = I_{22} \quad (2)$$

또한 고주파 변압기의 변압비가 1:1로 유지할 수 있으므로 변압기의 1차 측 전류와 2차 측 전류는 다음 식 (3), 식 (4)와 같으며 각 변압기의 전력은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{11} = I_{21} \quad (3)$$

$$I_{12} = I_{22} \quad (4)$$

$$P_{Tr1} = V_1 \times I_{11} = V_2 \times I_{12} = P_{Tr2} \quad (5)$$

위의 식을 통해 변압기 직렬구조의 컨버터는 1차 측 및 2차 측에서 바라보는 특성 임피던스가 같기 때문에 병렬 구조의 컨버터에 비해 양방향 전력 수수의 동특성이 우수하다. 또한 파워 스택의 전력밀도를 향상시키기 위해서는 공진형 컨버터 설계를 통한 효율을 최대화 시켜야 하며 이를 위해서는 공진탱크인 리액터와 커패시터가 필요하나 제안한 구조의 경우 변압기의 누설 리액턴스 및 Half-Bridge의 커패시터를 이용하여 공진을 시킴으로서 별도의 수동소자가 필요치 않다는 장점이 있으며, 이로 인해 전력손실 최소화 및 부품최소화를 통해 컨버터의 전력밀도를 최대화할 수 있는 장점이 있다.

### 2.2 동작모드 분석

제시한 방식의 컨버터의 구동은 크게 모터 구동을 위한 배터리 방전 모드와 회생제동에 의한 배터리 충전 모드로 나눌 수 있으며, 각 모드별 동작 특성 및 등가 회로는 다음과 같다. 그림 2는 배터리 방전 시 동작모드로 두 가지의 동작모드로 나눌 수 있다.

모드 1로는  $SW_2$ 와  $SW_3$ 이 ON되고  $SW_1$ 과  $SW_4$ 가 OFF가 됨으로서 입력전류는  $SW_2$ 와  $SW_3$ 를 통해 2차 측에 전달된다.  $SW_6$ 을 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s2}$ 를 통해 직렬 공진 형태를 이룸으로서 입력 측의 전력을 부하 측으로 공급한다. 모드 2로는  $SW_1$ 과  $SW_4$ 가 ON되고

$SW_2$ 와  $SW_3$ 가 OFF 됨으로서 입력 전류는  $SW_1$ 과  $SW_4$ 를 통해 2차 측으로 전달된다.  $SW_5$ 를 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s1}$ 을 통해 직렬 공진 형태를 나타냄으로서 입력 측의 전력을 부하 측으로 공급한다. 그림 3은 그림 2의 배터리 방전 시 모드 1에 대한 등가 모델을 나타낸 것이다.

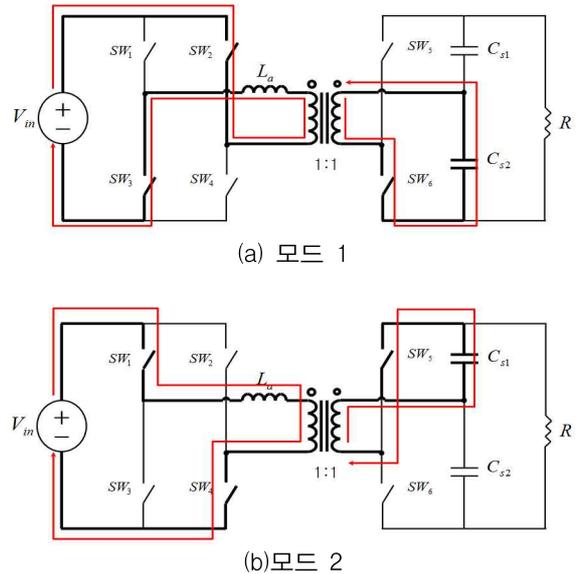


그림 2. 배터리 방전 시 동작모드  
Fig. 2. Battery discharging operation mode

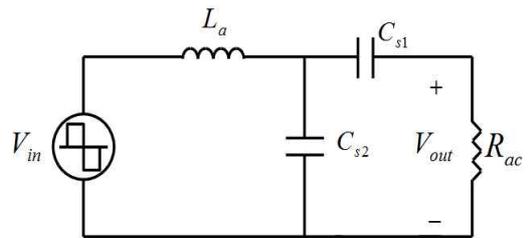


그림 3. 배터리 방전 시 컨버터의 등가 모델(모드 1)  
Fig. 3. Equivalent model of converter in battery discharge(mode 1)

위의 그림 3에서 입·출력 간 전압 이득을 구하기 위해  $Z_1 = sL_a$ ,  $Z_2 = 1/sC_{s2}$ ,  $Z_3 = 1/sC_{s1} + R_{ac}$ 로 간략화할 수 있다. 여기서 입·출력 간 전압 이득을 구하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \left( \frac{Z_2 // Z_3}{Z_1 + (Z_2 // Z_3)} \right) \cdot \left( \frac{s C_{s1} \cdot R_{ac}}{s C_{s1} \cdot R_{ac} + 1} \right) \quad (6)$$

여기서  $C_s = C_{s1} = C_{s2}$  라고 하면 전압 이득은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (7)$$

$$= \frac{s C_s R_{ac}}{s^3 L_l C_s^2 R_{ac} + 2s^2 L_l C_s + s C_s R_{ac} + 1}$$

식 (7)에 이용된 등가저항  $R_{ac}$ 는 그림 4의 등가저항 모델을 통한 다음 식에 의해 구할 수 있다[9-11].

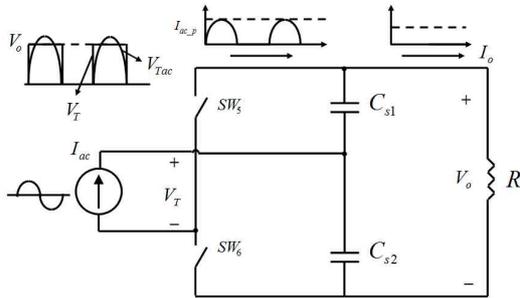


그림 4. 배터리 방전 시 등가 저항의 모델  
Fig. 4. Equivalent resistance model in battery discharge

$$I_o = \frac{I_{ac,p}}{\pi} \quad (8)$$

$$I_{ac} = \pi \cdot I_o \sin(\omega t) \quad (9)$$

$$V_{Tac} = \frac{2}{\pi} V_o \sin(\omega t) \quad (10)$$

$$R_{ac} = \frac{V_{Ta}}{I_{ac}} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_o}{I_o} = \frac{2}{\pi^2} R \quad (11)$$

여기서 변압기의 변압비( $n = \frac{N_p}{N_s}$ )를 고려하면 식 (11)은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ac} = \frac{2}{\pi^2} \cdot n^2 \cdot R \quad (12)$$

또한 배터리의 방전 시에는 부하저항을 단락시킨 경우와 개방시킨 경우에 대해 다음과 같이 두 가지의 공진 주파수를 구할 수 있다.

$$f_{r1} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_l (C_{s1} // C_{s2})}} \quad (13)$$

$$f_{r2} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_a C_{s2}}} \quad (14)$$

그림 5는 배터리 충전 시 동작모드로 배터리 방전 시와 같이 두 가지 동작모드로 나눌 수 있다.

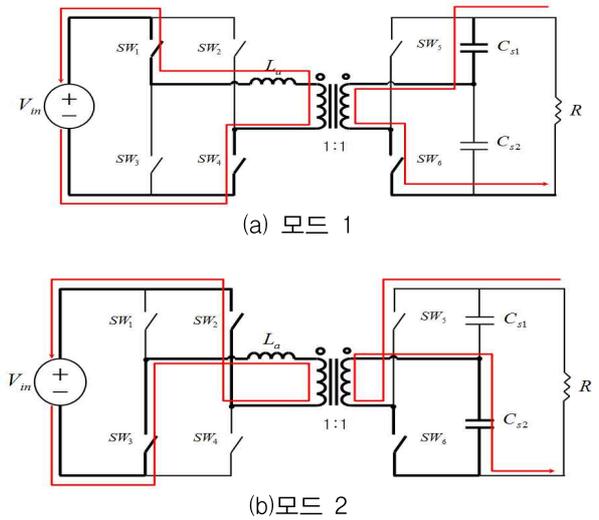


그림 5. 배터리 충전 시 동작모드  
Fig. 5. Battery charging operation mode

모드 1로는  $SW_6$ 을 ON하고  $SW_5$ 가 OFF됨으로서 출력 측 전류는  $SW_6$ 을 통해 1차 측으로 전달된다.  $SW_1$ 과  $SW_4$ 를 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s1}$ 를 통해 직렬 공진 형태를 나타냄으로서 출력 측의 전력을 배터리 측으로 공급한다. 모드 2로는  $SW_5$ 을 ON하고  $SW_6$ 가 OFF함으로서 출력 측 전류는  $SW_5$ 를 통해 1차 측으로 전달된다.  $SW_2$ 와  $SW_3$ 를 도통시켜  $L_a$ 와  $C_{s2}$ 를 통해 직렬 공진 형태를 나타냄으로서 출력 측 전력을 배터리 측으로 공급한다.

그림 6은 그림 5의 배터리 충전 시 모드 1에 대한 등가 모델을 나타낸다.

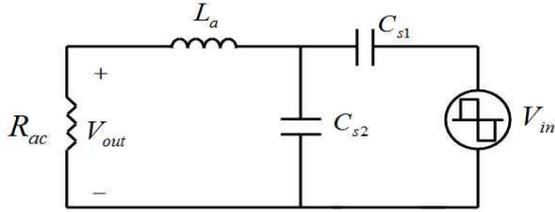


그림 6. 배터리 충전 시 컨버터의 등가 모델(모드 1)  
Fig. 6. Equivalent model of converter in battery charge(mode 1)

위의 그림 6에서 입·출력 간 전압 이득을 구하기 위해  $Z_1 = 1/sC_1$ ,  $Z_2 = 1/sC_{s2}$ ,  $Z_3 = sL_a + R_{ac}$ 로 간략화할 수 있다. 여기서 입·출력 간 전압 이득을 구하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \left( \frac{Z_2 // Z_3}{Z_1 + (Z_2 // Z_3)} \right) \cdot \left( \frac{R_{ac}}{sL_a + R_{ac}} \right) \quad (15)$$

여기서  $C_s = C_{s1} = C_{s2}$  라고 하면 전압 이득은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{s C_s R_{ac}}{2s^2 L_a C_s + 2s C_s R_{ac} + 1} \quad (16)$$

마찬가지로 충전 모드에서도 식 (16)에 이용된 등가 저항  $R_{ac}$ 는 그림 7의 등가저항 모델을 통한 다음 식에 의해 구할 수 있다.

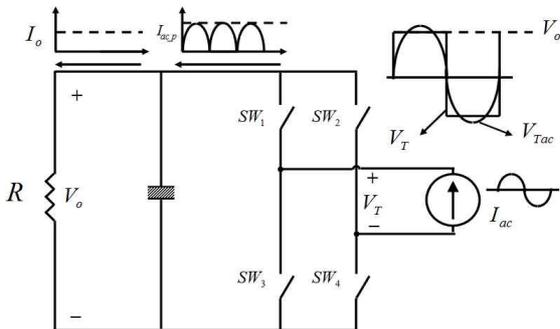


그림 7. 배터리 충전 시 등가 저항의 모델  
Fig. 7. Equivalent resistance model in battery charge

$$I_o = \frac{2I_{acp}}{\pi} \quad (17)$$

$$I_{ac} = \frac{\pi \cdot I_o \sin(wt)}{2} \quad (18)$$

$$V_{Tac} = \frac{4}{\pi} V_o \sin(wt) \quad (19)$$

$$R_{ac} = \frac{V_{Ta}}{I_{ac}} = \frac{8}{\pi^2} \frac{V_o}{I_o} = \frac{8}{\pi^2} R \quad (20)$$

여기서 변압기의 변압비( $n = \frac{N_p}{N_s}$ )를 고려하면 식 (20)은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ac} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{n^2} \cdot R \quad (21)$$

배터리의 충전 모드에는 부하저항을 개방했을 경우에는 캐패시터만 존재하므로 공진주파수가 존재하지 않으며 단락했을 경우에만 다음과 같이 공진 주파수를 구할 수 있다.

$$f_{r3} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_l(C_{s1} // C_{s2})}} \quad (22)$$

### 3. 시뮬레이션

그림 8은 본 논문에서 제시한 변압기 직렬구조의 양방향 DC/DC 컨버터의 성능결과를 분석하기 위한 시뮬레이션 회로도를 나타낸 것이다. 입력전압인 배터리 전압이 72[V]가 되도록 구성하였으며 각 변압기의 변압비는 1:1로 하여 누설 인덕턴스 성분을 따로 지정 해주었다. 2차 측 배압회로를 직렬로 연결하여 출력전압이 입력전압의 4배 승압되도록 구성하였으며 출력단에 L-C 필터를 이용하여 전압리플을 감소시켰다. 그림 8은 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1에 나타내었다.

그림 9와 그림 10은 배터리의 방전과 충전 모드에서 ZCS 동작과형을 나타내고 있다. 배터리가 방전할 때와 충전할 때 모두 스위칭 전압의 rising edge와 falling edge에서 전류가 0이 되고 사인파의 형태를 나

변압기 직렬구조의 EV용 승압형 양방향 ZCS DC/DC 컨버터 개발

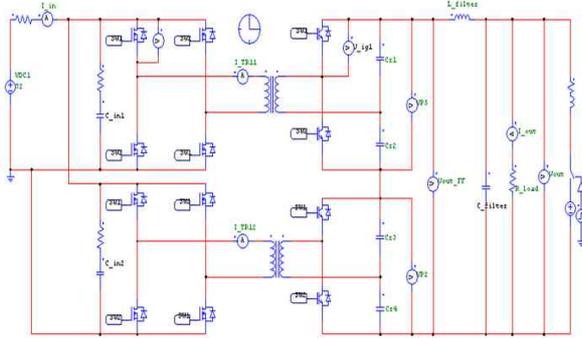


그림 8. 제시한 양방향 DC/DC 컨버터 시뮬레이션 회로도  
Fig. 8. Proposed bidirectional DC/DC converter simulation circuit

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameter

파라미터(Parameter)	값(Value)
입력전압	72V
출력전압	288V
입력캐패시터	136uF
공진캐패시터	1.8uF
누설인덕턴스	0.8uH
스위칭 주파수	93kHz
공진 주파수	93.789kHz
변압기 권선비	1:1
부하저항	16Ω
출력 인덕턴스	14uH
출력 캐패시터	540uF
회생전압	290V

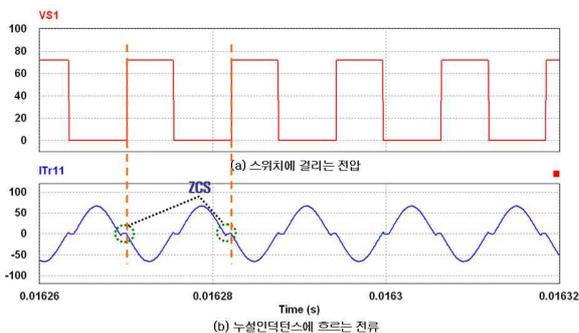


그림 9. 배터리 방전 시 ZCS 동작 파형  
Fig. 9. ZCS operation waveform (discharge mode)

타입으로서 ZCS (Zero Current Switching)이 됨을 알 수 있다.

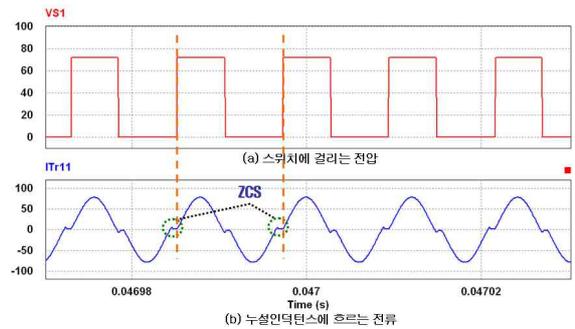


그림 10. 배터리 충전 시 ZCS 동작 파형  
Fig. 10. ZCS operation waveform(charge mode)

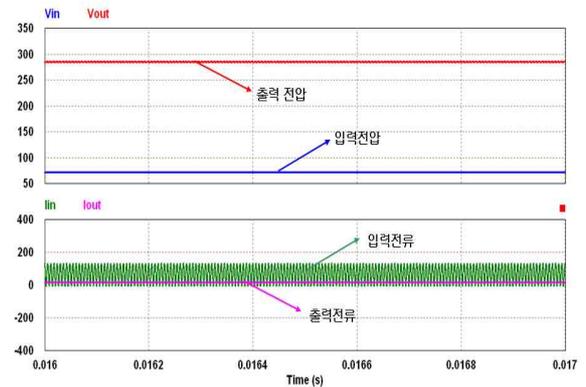


그림 11. 배터리 방전 시 입력출력 전류 및 전압파형  
Fig. 11. Input-output current and voltage waveform in battery discharging mode

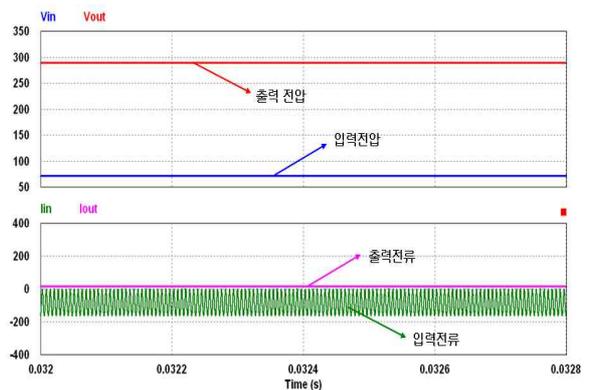


그림 12. 배터리 충전 시 입력출력 전류 및 전압파형  
Fig. 12. Input-output current and voltage waveform in battery charging mode

그림 11과 그림 12는 배터리 충·방전 시의 입출력 전압 및 전류를 나타내고 있다. 출력전압은 L-C필터를 적용하여 리플을 제거하였으며 입력전압의 4배로 나타남을 알 수 있다. 또한 입력전류는 배터리 방전모드에서 양의 방향으로 배터리 충전모드에서는 음의 방향으로 흐름으로서 양방향으로 제어됨을 알 수 있고 컨버터의 스위칭 동작에 따른 리플전류가 나타나고 있다.

#### 4. 실험 및 결과

그림 13은 본 논문에서 변압기 직렬구조의 양방향 ZCS DC/DC 컨버터의 실험 사진을 나타내고 있다. 제시한 DC/DC 컨버터의 스위칭을 위한 제어보드의 CPU는 Texas Instrument사의 TMS320F28335를 사용하였으며, 1차측 MOSFET으로는 IXYS사의 IXFN360N10T, 2차측 IGBT는 IXYS사의 IXGN60N60C2D1을 사용하였으며 컨버터의 소형화를 위해 출력 단 필터는 적용하지 않았다. 제시한 DC/DC 컨버터의 동작실험은 10kW급 파워서플라이와 10kW급 전자부하를 통해 진행하였으며, 컨버터의 ZCS 동작상태와 부하에 따른 출력전압의 응답특성을 분석하였다.

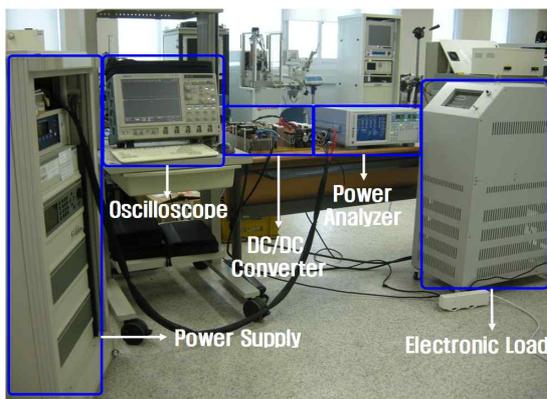
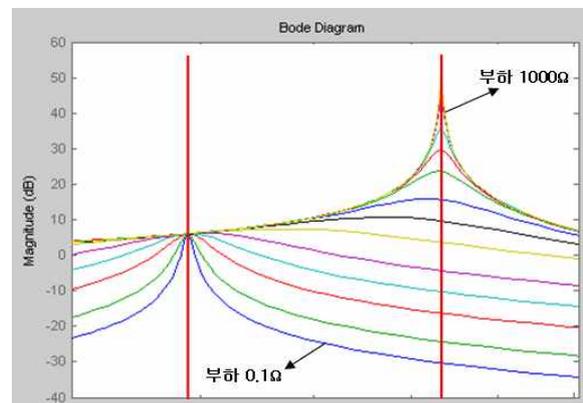


그림 13. 제시한 DC/DC 컨버터의 실험 사진  
Fig. 13. Experimental photograph of proposed DC/DC converter

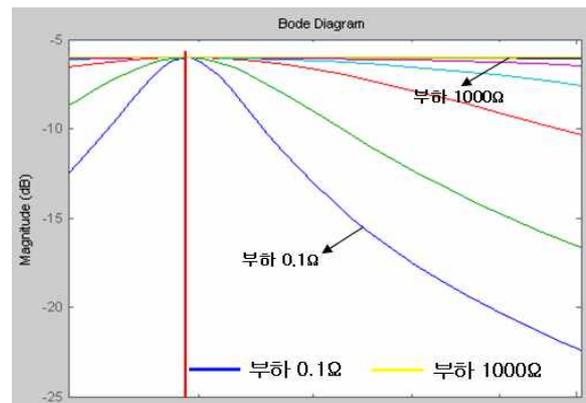
표 2는 DC/DC 컨버터의 실험을 위한 파라미터를 나타내며 그림 14는 표 2에 나타난 측정된 파라미터에 대한 전압이득 특성의 응답 결과를 나타낸 것이다.

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	93.789kHz
변압기 권선비	1:1



93.789kHz 132.64kHz  
(a) 배터리 방전모드



93.789kHz  
(b) 배터리 충전모드

그림 14. 측정된 파라미터에 대한 전압이득 특성응답  
Fig. 14. Characteristic response of voltage gain with measured parameter

변압기 직렬구조의 EV용 승압형 양방향 ZCS DC/DC 컨버터 개발

그림 14 (a)는 배터리 방전모드에서의 전압이득 특성으로 부하저항의 개방과 단락에 대한 2개의 공진주파수가 나타나며, 그림 14 (b)와 같이 충전모드에서는 하나의 공진 주파수가 나타난다. 따라서 양방향 컨버터에서는 방전과 충전모드에서 같은 공진 주파수를 실제 적용해야 한다.

그림 15~17은 부하가 1kW, 3kW 및 5kW일 경우의 ZCS 동작 파형으로서 DC/DC 컨버터의 부하별 스위치에 걸리는 전압파형과 누설 인덕턴스를 가지고 있

는 변압기 2차 측 전류 파형을 나타내고 있다. 교번적인 스위칭 신호로 인해 변압기 2차 측 전류파형은 Sine 형태의 그래프가 출력된다. 또한 5kW급 DC/DC 컨버터를 이용한 실험결과는 시뮬레이션 결과와 같이 모든 부하영역에서 ZCS 기법에 의한 소프트 스위칭이 되고 있음을 확인할 수 있다.

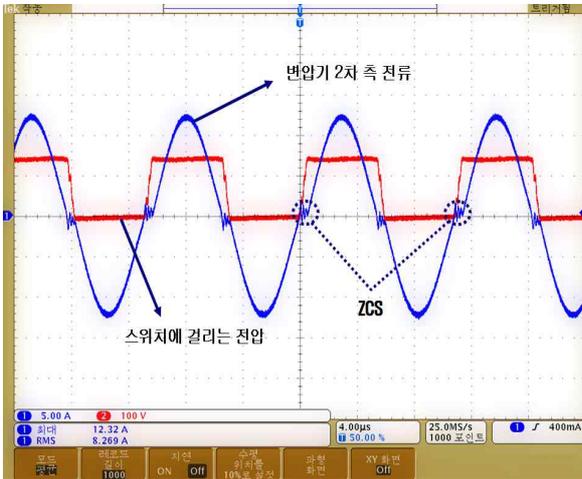


그림 15. 1kW 부하시 ZCS 동작 파형  
Fig. 15. ZCS operation waveform in 1kW load

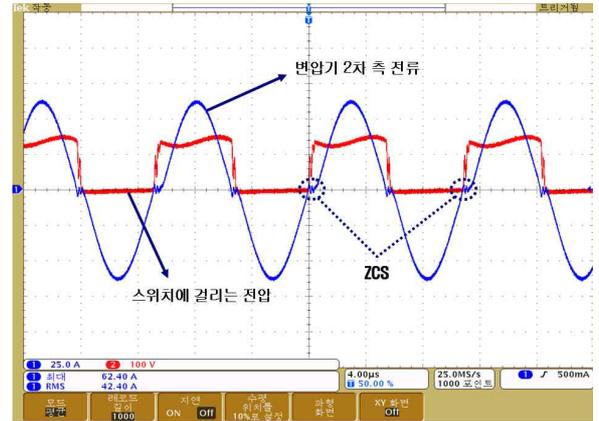


그림 17. 5kW 부하시 ZCS 동작 파형  
Fig. 17. ZCS operation waveform in 5kW load

그림 18~20은 마찬가지로 부하가 1kW, 3kW 및 5kW일 경우의 입력전류와 출력전압을 나타내고 있다. 출력전압은 평균적으로 입력전압의 4배 승압된 값으로 출력되고 있으나 실제 DC/DC 컨버터의 저가화

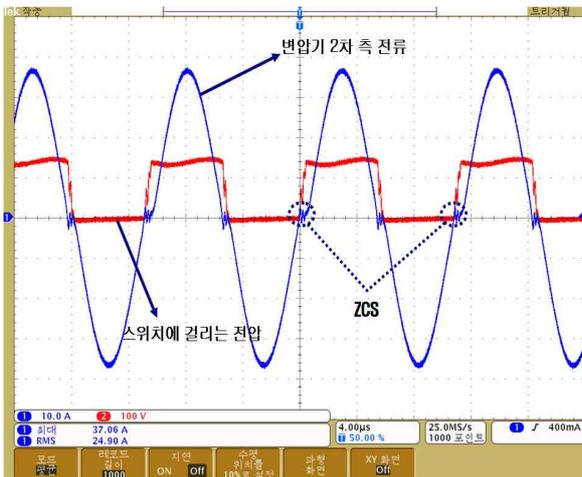


그림 16. 3kW 부하시 ZCS 동작 파형  
Fig. 16. ZCS operation waveform in 3kW load

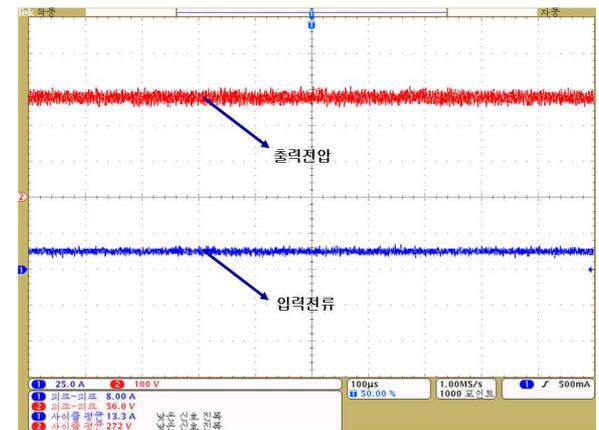


그림 18. 1kW 부하시 출력전압 및 입력전류 파형  
Fig. 18. Waveform of output voltage and input current in 1kW load

및 소형화를 위해 출력 단 필터를 설계하지 않아 부하가 높을수록 출력전압의 리플이 커짐을 알 수 있다. 배터리에서 공급되는 전원은 컨버터와 제어보드에 동시에 입력되므로 안정된 전원을 위해 입력단에 캐패시터를 적용하였다. 이러한 이유로 입력전류는 컨버터 부하 용량에 관계없이 리플이 크지 않음을 알 수 있다.

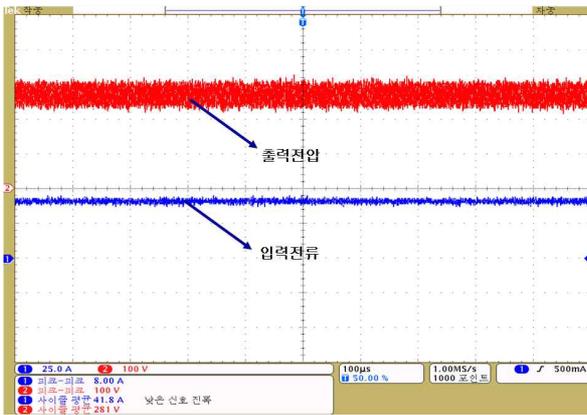


그림 19. 3kW 부하시 출력전압 및 입력전류 파형  
Fig. 19. Waveform of output voltage and input current in 3kW load

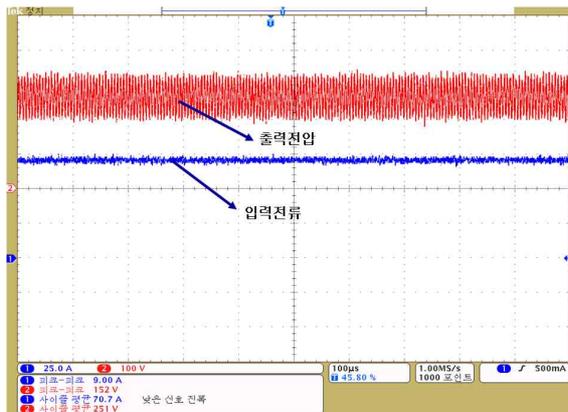


그림 20. 5kW 부하시 출력전압 및 입력전류 파형  
Fig. 20. Waveform of output voltage and input current in 5kW load

그림 21은 부하를 500W~5kW까지 가변할 경우 부하 용량에 따른 입출력 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 500W의 부하일 경우 입력전압 71.94[V]에서 출력전압 282.9[V], 5kW의 부하일 경우 입력전압

70.37[V]에서 출력전압 269.9[V]로 4배 승압이 되어 모든 부하영역에서 4배 승압된 출력 값이 나타남을 확인할 수 있었다.

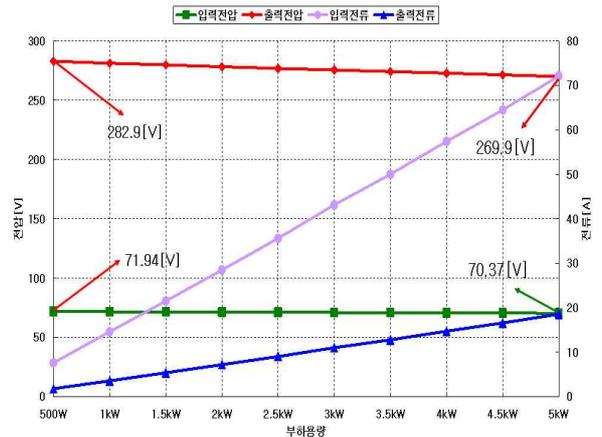


그림 21. 부하용량에 따른 입출력 전압과 전류파형  
Fig. 21. Waveform of input-output voltage and input current with load capacity

## 5. 결 론

본 논문에서는 저압의 배터리를 사용하는 전기자동차 구동을 위한 변압기 직렬구조의 양방향 승압형 ZCS DC/DC 컨버터를 제시하였다. 제시한 시스템은 컨버터 구조 2개를 이용함으로써 입력 측은 병렬, 출력 측은 직렬로 연결한 형태로서 입력 배터리 전압 72[V], 컨버터 출력 전압 288[V]로 전체 총 4배 승압을 할 수 있어 고주파 변압기의 변압비는 1:1로 유지가 가능하였다. 이는 절연형 고주파 변압기의 제작이 용이하고 1차 측 및 2차 측에서 바라보는 특성 임피던스가 같기 때문에 전력 수수의 동특성이 우수하다. 제시한 DC/DC 컨버터는 ZCS 방식을 이용한 소프트 스위칭으로 스위치 과도손실을 최소화하였으며 L-C 공진을 위한 리액터와 캐패시터를 절연형 변압기의 누설 리액터와 배압회로의 캐피시터로 대체함으로써 전체 시스템의 사이즈 및 가격을 줄일 수 있었다.

제시한 DC/DC 컨버터에 대해 이론적 설계를 위하여 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 배터리의 방전모드 및 충전모드에 대한

양호한 ZCS 동작을 확인할 수 있었다. 또한 회생전압을 통한 변압기 직렬구조의 DC/DC 컨버터의 양방향 전력수수의 특성을 확인할 수 있었다. 또한 PSIM 시뮬레이션을 기반으로 실제 5[kW]급 DC/DC 컨버터를 제작하여 실험을 수행하였다. 실제 실험에서 출력전압의 리플이 부하가 높을수록 커지는 문제점이 있으나 전 부하영역에서 양호한 ZCS 동작과 입력전압인 배터리의 저전압은 컨버터를 통해 4배 승압된 고전압의 출력전압을 확인할 수 있었다. 이로써 본 논문에서 제시한 변압기 직렬구조의 DC/DC 컨버터의 전기자동차에 적용이 가능함을 보였으며 향후 실제 배터리와 전동기 부하를 갖는 전기자동차에 적용하여 충방전 테스트를 진행할 예정이다.

본 연구는 전자정보디바이스 산업융합원기술개발사업의 일환(10041942)으로 수행되었음.

### References

- [1] Toyota Environmental Technology Report "Toyota Hybrid System THS II".
- [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] Y. C. Chiang, Y. L. Ke, H. S. Chuang, and H. K.Chen, "Implementation and analysis of an improved series-loaded resonant dcdc converter operating above resonance for battery chargers", IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (ICPS) 2008, pp. 1-8, 2008, May.
- [4] Y. C. Chuang and Y. L. Ke, "High-efficiency and low-stress ZVT-PWM DC-to-DC converter for battery charger", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 55, No. 8, pp. 3030-3037, 2008, August.
- [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] S. Oliveira, I. Barbi, "A three-phase step-up DC-DC converter with a three-phase high frequency transformer", IEEE ISIE, pp. 571-576, 2005, June.
- [7] 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.
- [8] J. K. Kim, C. S. Park, S. W. Choi, G. W. Park, "Three-Phase ZVS DC-DC Converter with Low Transformer Turn Ratio for High Step-up and High Power Applications " THE TRANSACTIONS OF KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, Vol.16 No.3 2011.6, page(s): 242-249.
- [9] Marian K. Kazimirczuk, Dariusz Carkowski, "Resonant Power Converters", John Wiley & Sons, INC.
- [10] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics", University of Colorado Boulder, Colorado.
- [11] 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.
- [12] Bo Yang, and Fred. C. Lee, "LLC Resonant converter for Front End DC/DC conversion", IEEE APEC, pp. 1108-1112, 2002.

### ◆ 저자소개 ◆



#### 최정식(崔正植)

1981년 1월 1일생. 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.



#### 박병철(朴丙哲)

1973년 6월 15일생. 1996년 건국대 전기 공학과 졸업. 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003~2012년 LS산전 전력 연구소 책임연구원. 2012년~현재 전자 부품연구원 디지털컨버전스연구센터 책임 연구원.



#### 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 전기 공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2008년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 센터장.