

# 전기자동차용 충전기의 가변출력 및 병렬운전 제어

이상혁<sup>1</sup>, 강성구<sup>2</sup>, 아와스티 프라카시<sup>1</sup>, 황정구<sup>1</sup>, 이승열<sup>1</sup>, 위한별<sup>1</sup>, 박성준<sup>†</sup>

## Variable Output and Parallel Operation Control of EV Charger

Sang-Hyeok Lee<sup>1</sup>, Seong-Gu Kang<sup>2</sup>, Prakash Awasthi<sup>1</sup>, Jung-Goo Hwang<sup>1</sup>, Seung-Yul Lee<sup>1</sup>, Han-Byul Wi, and Sung-Jun Park<sup>†</sup>

**Abstract** - This research paper describes the development of battery charger with a variable output voltage capacity for charging the batteries used in electrical vehicles. The voltage and current accordingly is control via the buck converter that receives three phase current at primary side and fed to bridge rectifier which is comprised of full bridge converter and HFTR(High Frequency Transformer) for isolation and a square wave AC output. The transformer primary side is in series to divide certain charging current and the secondary side is comprised of six fix transformers so that they can generate certain amount of power and various output voltage through relay connection using 6 DC outputs. Moreover, all parallel connected full bridge serial resonant converter communicate together with upper(main) controller. The constructed structure is verified by conducting the test on PSIM as well as experimentally.

**Keywords:** parallel control, battery charger, resonance, electric vehicle

### 1. 서 론

전 세계적으로 화석 에너지의 고갈과 환경문제를 극복하기 위해 신재생 에너지와 더불어 전기 자동차(EV: Electric Vehicle)에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 EV의 상용화에 문제가 되는 비싼 가격, 짧은 주행 거리, 낮은 출력을 해결하기 위해 소형이면서 고효율의 배터리와 고속의 충전 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>[1]-[3]</sup>. 배터리의 경우 EV 외에도 다양한 분야에서 사용됨으로서 니켈카드뮴 전지(Ni-cd), 니켈수소 전지(Ni-MH), 리튬이온 전지(Li-Ion)를 이용한 대용량 배터리 연구가 예전부터 진행되어 왔으며 배터리 충전 방법으로는 정전류(CC:Constant Current), 정전압(CV:Constant Voltage), 정전류-정전압(CC-CV), 펄스(Pulse) 방식으로 구분할 수 있다<sup>[4]</sup>.

이러한 충전 방식에 따라 충전설비는 충전 속도에 따라 급속 충전과 완속 충전으로 구분할 수 있다. 급속 충

전은 10~20분으로 비교적 짧은 시간 내 충전 가능한 방식으로, 주행 중 손쉽게 충전할 수 있도록 주유소 등에 설치되며, 충전기에 부착된 고압용 충전 케이블을 자동차에 연결하여 충전하게 된다. 반면 완속 충전은 4~5시간 이상으로 긴 시간이 소요되며, 쇼핑센터나 아파트 또는 사무실의 주차장, 일반 가정 등 장시간 주차가 가능한 공간에 주로 설치되고, 차량에 부착된 케이블을 이용하여 충전하게 된다. 일반적으로 EV 충전 시스템은 고효율, 소형화, 경량화를 만족하기 위해 고주파 스위칭 방식을 사용하며 입력 전원과 출력 전원(배터리 전압)이 전기적으로 절연되어 시스템의 안정성을 확보하여야 한다. 또한 배터리 용량에 부합하는 높은 출력과 높은 입출력 전압에도 동작 가능하고 입출력 전압 변동 범위가 비교적 커야 한다. 하지만 제조사 별로 다양한 용량과 전압 사양을 갖는 배터리가 출시됨에 따라 기존의 배터리 충전기들이 가지는 배터리 전압이 상이한 시스템에서 우수한 기능을 발휘 하지 못하는 단점이 있다<sup>[5][6]</sup>. 이는 배터리의 완전 충전 전압에서 최대 전류를 형성할 수 있게 설계함으로써 생기는 문제점으로 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 다양한 배터리 전압 시스템에서 고성능 충전기능을 갖도록 충전기 전압에 대한 전력을 기준으로 하여 충전 시스템을 설계할 수 있는 새로운 토폴로지를 제안하였다. 제안된 시스템은 릴레이를 이용함으로써 확장성이 용이하며 구성과 동작이 간단하고

Paper number: TKPE-2013-18-2-6 ISSN: 1229-2214

<sup>†</sup> Corresponding author: sjpark1@chonnam.ac.kr, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam Nat'l Univ.  
Tel: +82-62-530-0629 Fax: +82-62-530-0629

<sup>1</sup> Dept. of Electrical Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

<sup>2</sup> ESS Development, Samsung SDI

Manuscript received Oct. 15, 2012; accepted Jan. 4, 2013

— 본 논문은 편집위원회에서 우수기술논문으로 추천됨

직렬 공진형 컨버터를 이용함으로써 최대 전력전달을 이뤄 고효율화를 실현하였고, 1차측과 2차측의 절연을 통해 안전성을 확보하였다. 그리고 기존 충전기들과 달리 일정 전력의 전체 출력 전압 영역에서 일정한 효율을 확보할 수 있다. 제안된 시스템은 시뮬레이션과 실험을 통해 타당성을 확인하였다.

## 2. 제안된 시스템

### 2.1 Power Stack

충전 시스템의 전력밀도 향상과 고효율화를 이루기 위해서는 직관적으로 스위칭 소자 및 수동소자의 수가 적고 Cascade 구성이 가장 적은 구조의 토폴로지를 생각할 수 있다. 하지만 입출력 전압 사양에 따른 승·강압비의 선택폭이 넓고 고승압비의 만족을 위해서는 HFTR를 통한 입출력 이득 조정과 변압비를 통한 승압이 용이한 구조를 생각할 수 있다. 이러한 접근을 바탕으로 본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 1과 같이 정전압, 정전류 제어를 위한 Buck Converter, 절연 및 고주파 전압을 발생하기 위한 Full-Bridge, 공진 및 일정전류 부하분담을 위한 절연형 변압기, 다수의 전압을 형성하기 위한 정류기, 일정 출력을 갖으며 다양한 전압레벨을 형성하기 위한 릴레이부로 구성하였다. 제안된 시스템은 2단 구성으로 1단 구성에 비해 부품수가 많지만 충전조건과 관계없이 안정적인 PFC(Power Factor Correction) 제어가 가능하며 풀-브릿지 구조의 DC/DC 컨버터를 적용하여 다양한 소프트 스위칭이 가능하다. 즉, 스위칭 주파수를 증가시킬 수 있고 이에 따라 고전력밀도 구현이 가능하다. 또한 넓은 충전전압 제어 범위 측면에서도 HFTR의 6개의 일정전류 분담과 릴레이의 조합을 통해 승·강압 범위가 넓고 변압기의 누설 인덕터와 공진 커패시터를 이용하여 소프트 스위칭이 가능하다.

#### 2.1.1 풀-브릿지 직렬공진 컨버터

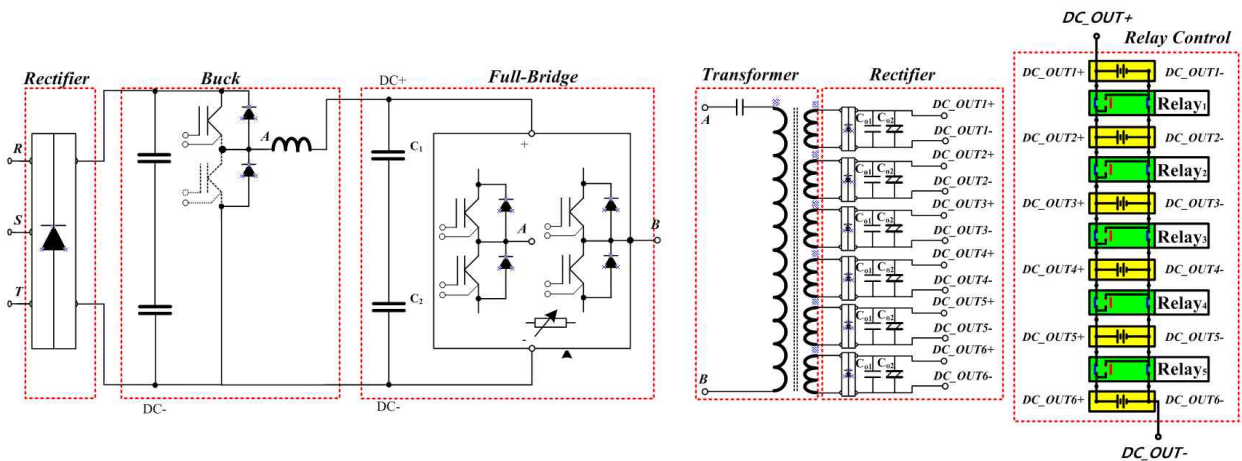


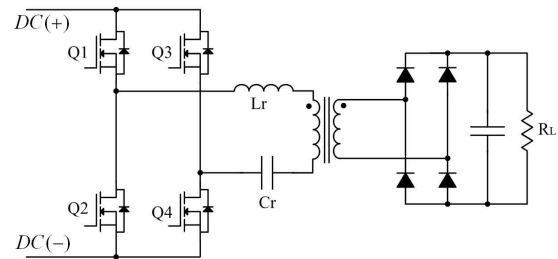
Fig. 1 The proposed Power Stack configuration

직렬 공진 컨버터는 그림 2(a)와 같이 풀-브릿지 구조로 부하 감소에 따라 스위치의 도통전류도 감소하는 특성이 있어 경부하 및 중간 부하에서 효율이 좋고, 공진 인덕터( $L_r$ )이 커지면 스위칭 주파수 범위가 좁아지는 장점을 갖는다. 직렬 공진 탱크는 변압기의 누설 인덕터( $L_r$ )와 공진 커패시터( $C_r$ )로 구성되며, AC 저항 성분( $R_{ac}$ )을 추가함으로써 그림 2(b)와 같은 등가회로로 표현할 수 있다.

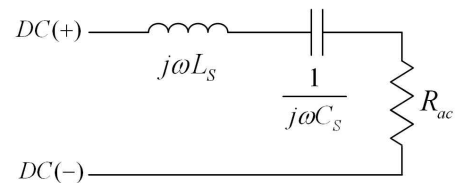
풀-브릿지 직렬공진 컨버터의 스위칭 주파수 응답 특성과 공진 주파수에 따른 전압 이득 특성은 식 (1)과 같다<sup>[7][8]</sup>.

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{1}{1 + j \frac{\pi^2}{8} Q \left[ \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right]} \quad (1)$$

여기서,  $Q = \frac{\omega_0 L}{R_L}$ ,  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}$



(a) Full bridge resonant converter



(b) AC equivalent circuits

Fig. 2 AC equivalent circuits for series resonant converters

2.1.2 Relay를 이용한 가변 출력

일반적인 충전기는 HFTR를 이용하여 변압기 2차측에 다이오드 정류기를 통해 DC 전압을 출력한다. 하지만 배터리 제조사별로 다양한 용량과 전압 사양을 갖기 때문에 배터리의 전용 충전기가 필요하게 된다. 즉, 종류가 다른 다수의 배터리를 충전하기 위해서는 다수의 충전기가 필요하게 되며 이러한 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 변압기 2차측 출력을 6개로 나누어 출력하고, 릴레이의 직/병렬 연결에 의해 다양한 전압·전류 출력이 가능한 시스템을 제안하였다.

그림 3은 릴레이를 이용한 전압 직병렬 구성도로 크기가 같은 N개의 전압원과 (N-1)개의 릴레이로 직병렬 변환을 통해 다양한 출력이 가능한 구조를 나타내고 있다. 릴레이 조합에 의한 최대전압은 모든 전압이 직렬로 구성된 경우 그 크기는 식 (2)와 같다.

$$V_{max} = N \times V_{in} \quad (2)$$

여기서,  $V_{in}$ : 입력전압의 크기,  $N$ : 전원의 개수

제안된 릴레이 구조에서 N개의 전압을 형성 할 수 있으나 N의 공약수가 아닌 경우 병렬로 연결된 전원 수가 동일하지 않을 경우 발생하며 이를 사용하여 전원을 공급할 경우 일정 전력을 공급할 수가 없게 된다. 따라서 일정전력을 공급하기 위해서는 출력 레벨이 N의 약수의 경우만 가능하며, 출력 전압형성은 N의 공약수의 집합이 된다. 이때 각 레벨을 출력하기 위한 각 릴레이의 Logic 함수는 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

if(T1) then

$$T_1 = \prod_{i=1}^{n-1} R_i = R_1 \cdot R_2 \sim R_{n-1}$$

else if(Tn) then

$$T_n = \prod_{i=1}^{n-1} \overline{R}_i \quad (3)$$

else

$$T_k = \prod_{j=1}^{k-1} \left\{ \prod_{i=\frac{n}{k}(j-1)+1}^{\frac{n}{k}j-1} R_i \right\} \overline{R}_{\frac{n}{k}j} \prod_{i=\frac{n}{k}(k-1)+1}^{n-1} R_i$$

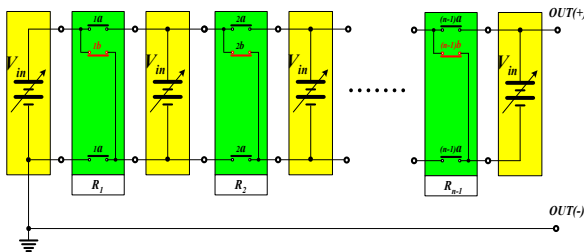


Fig 3 Relay structure for voltage serial · parallel

여기서,  $\overline{R}_n$ : B접점,  $N$ : DC링크개수,

$T_n$ : 조합의 결과,  $k$ : N의 공약수

본 논문에서 제안된 시스템은 변압기 2차측에서 6개의 DC 출력이 생성되며 릴레이를 통해 출력 전압이 가변된다. 즉, 6개의 전압원과 5개의 릴레이가 조합 가능한 경우는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} T_1 &= R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \quad (6\text{병렬}) \\ T_2 &= R_1 \cdot R_2 \cdot \overline{R}_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \quad (3\text{병렬}) \\ T_3 &= R_1 \cdot \overline{R}_2 \cdot R_3 \cdot \overline{R}_4 \cdot R_5 \quad (2\text{병렬}) \\ T_6 &= \overline{R}_1 \cdot \overline{R}_2 \cdot \overline{R}_3 \cdot \overline{R}_4 \cdot \overline{R}_5 \quad (\text{직렬}) \end{aligned} \quad (4)$$

전압원이 6개인 경우 공약수는 1, 2, 3, 6으로 식 (4)와 같이 4가지의 경우가 나오며 각 전압원의 크기가 100[V]인 경우  $T_1$ 는 릴레이가 모두 병렬 구성으로 100[V]의 전압 레벨을 출력하며,  $T_2$ 는  $R_1, R_2, R_4, R_5$ 이 병렬로 구성되고  $R_3$ 가 직렬로 구성되어  $T_1$ 보다 전압은 2배인 200[V]가 되며 전류는 1/2배 작게 된다.  $T_3$ 는 300[V]에 전류는 1/3배 작은 값이 되며,  $T_6$ 는 600[V], 전류는 1/6배 작은 값이 된다. 위에서 언급한 내용을 그림으로 표현하면 그림 4와 같다.

이와 같이 릴레이의 조합을 통해서 일정 파워를 내면서 다양한 전압을 갖는 특성은 기존의 충전기가 전압에 대한 전류를 기준으로 충전하는 설계방식과 달리 충전기

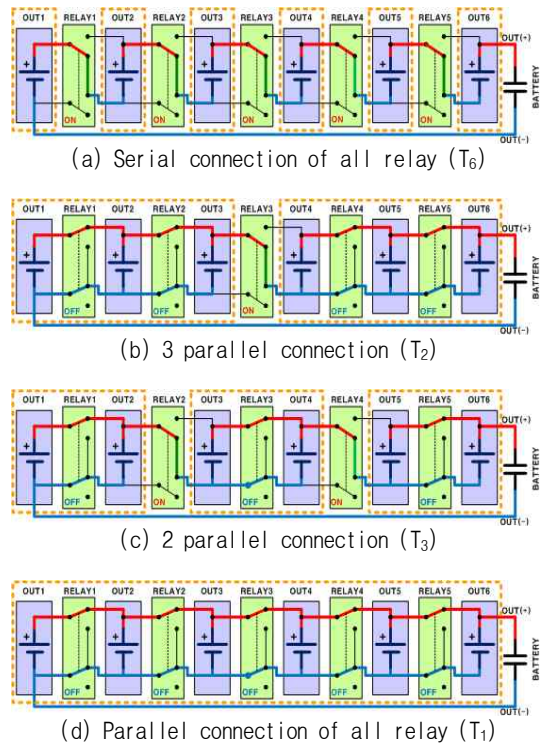


Fig. 4 Relay Connection

전압에 대한 일정 전력을 기준으로 하여 충전 시스템을 설계 할 수 있는 새로운 충전 토폴로지를 구현하였다.

2.2 상위 제어기

사용자 제어기로부터 작동과 관련된 명령을 통신으로 수신 받아 충전기 선정 및 각 충전기에게 출력 지령을 전송하고, 해당 충전기 출력을 입력받아 연결된 사용자 제어기로 연결한다. 병렬운전 중 정전압 작동 모드에서는 필요한 출력 용량에 따라 각 충전기를 선정하고, 사용자 제어기로 향하는 출력 채널의 최종 전압을 측정하여 비례-적분 제어를 통해 전류 지령값을 계산하여 각 충전기에 전송한다. 기타 각종 위험상황에 대비하기 위한 안전성을 위해 수시로 전압, 전류 및 누설 등을 측정하여 이상상황 발생 시 작동을 중지 및 해당 연결을 모두 차단하는 기능을 한다.

상위제어기 내부 구조는 그림 5와 같이 5대의 충전기 출력이 입력되고 2개의 출력 포트가 나와 있다. 제어기에 의해 선정된 충전기 출력을 사용자 제어기가 연결된 채널로 연결하기 위해 릴레이들로 구성되어 있다. 상위 제어기는 DSP로 구현되었으며 충전기들과는 CAN 통신, 사용자 제어기와는 RS485 통신으로 연결되어 있다.

상위 제어기와 각 충전기의 제어 흐름은 그림 6과 같다. 사용자 제어기(User Interface)로부터 작동 명령이 하달되면(①) 폴링방식으로 데이터를 수신하여(②) 분석 과정을 수행한다. 통신에 이상이 없고, 정상적인 명령이 전달되면 각 충전기와 사용자 제어기를 연결한다.(③) 사용자 제어기에서 요청한 출력 용량에 따라 각 충전기에게 출력 지령을 전송하고(④) 충전기는 폴링방식으로 데이터 수신 후 정상적인 지령이 전달되었는지 판단한다.(⑤) 지령에 따라 출력할 용량에 따른 6개 릴레이 직/병렬 조합을 구성하고 벡 컨버터 작동을 시작하여 출력을 시작한다.(⑥) 출력 지령에 따라 정전류 또는 정전압 출력을 위한 비례-적분 제어를 시작한다.(⑦)

2.3 병렬 운전

상위제어기는 그림 7과 같이 명령에 의해 충전 시스템은 단독운전 또는 최대 5대의 병렬운전이 가능하며, CAN 통신을 이용하여 전압, 전류 기준신호를 공유한다.

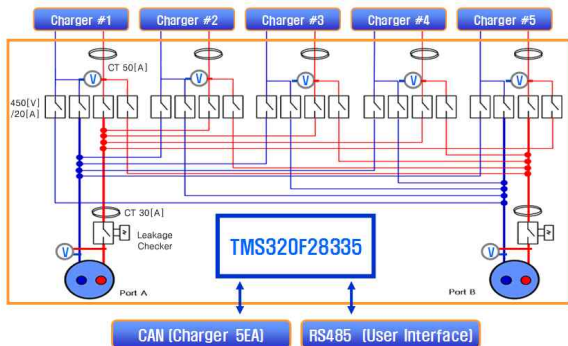


Fig. 5 Input/output connection structure of upper controller

병렬운전은 마스터-슬레이브 방법으로 상위제어기는 정전압, 정전류의 작동 모드에 따라 각 충전기에게 지령값을 전송하며 충전 시스템은 작동시작 신호 및 지령값에 따라 작동을 하여 비례-적분 제어를 통해 해당 지령에 따른 출력 작동을 수행한다.

차량용 배터리 충전을 위한 작동 모드로는 정전류, 정전압 그리고 배터리 전압 매칭 모드로 구분할 수 있다. 여기서 배터리 전압 매칭 모드는 처음 배터리 연결시 자동차 배터리의 전류가 충전기 출력단의 커패시터를 충전하면서 돌입전류가 발생하는 것을 막기 위해 추가되었다. 각 모드에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) 정전류 모드

정전류 모드는 그림 8과 같이 상위 제어기가 배터리로 출력을 위한 용량에 따라 각 충전기들이 출력할 정전류 지령값을 전송하고, 충전기는 지령값 및 출력시작 정보를 확인하여 배터리 충전작동을 한다.

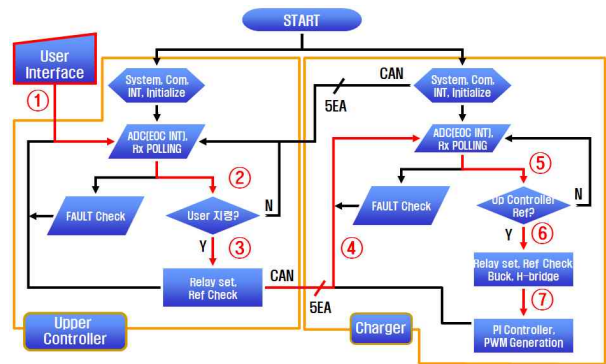


Fig. 6 Control flow according to command of user-controller

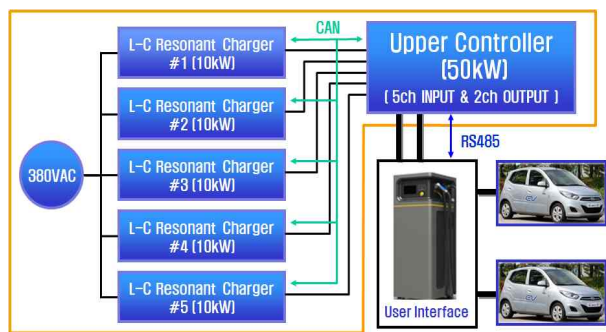


Fig. 7 Structure of user-controller, upper-controller and charger system

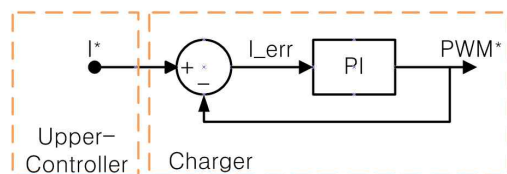


Fig. 8 PI control on constant-current mode

(2) 정전압 모드

정전압 모드는 그림 9과 같이 상위 제어기가 출력할 전압에 따라 해당 전압을 피드백 받아 비례-적분 제어기를 통해 전류 지령값을 계산하고 각 충전기에게 전류 지령값을 전송한다. 이때, 상위제어기의 비례-적분 제어기에 의한 전류 지령값은 각 충전기에게 전송되며 빠른 속응성을 위해 DSP에서 작동에 필요한 부분을 제외한 남은 자원을 CAN 통신을 이용한 전류지령값 전송에 모두 활용하였다.

(3) 배터리 전압 매칭 모드

배터리가 상위제어기를 거쳐 충전기로 바로 연결 될 경우 충전기 출력단의 커패시터에 순간적인 돌입전류가 발생한다. 이를 방지하기 위해 상위제어기에서 전기자동차의 배터리 전압을 측정 후 할당된 각 충전기에 측정된 배터리 전압과 같은 크기의 정전압 출력을 지령하여 다음과 같이 작동을 제어한다.

- 1) 상위 제어기는 연결된 배터리의 전압을 측정하여 충전기에게 전송하고, 충전기와 연결은 하지 않은 상태로 시작.
- 2) 충전기는 배터리 전압 정보를 수신 받아, 비례-적분 제어기를 이용한 자체 정전압 출력을 시작.
- 3) 충전기는 출력단의 전압을 수시로 상위 제어기로 전송하고, 상위 제어기는 선정된 충전기들의 전압이 배터리의 전압과 일치하는지 체크.
- 4) 선정된 모든 충전기의 출력 전압이 배터리의 전압과 일치하면 충전기 출력-상위 제어기-배터리를 통한 모든 릴레이를 제어하여 연결.
- 5) 이후 사용자 제어기 명령에 의한 정전류 또는 정전압 작동을 시작.

3. 시뮬레이션

3.1 Power Stack

제안된 시스템은 시뮬레이션 PSIM을 이용하여 구현하였으며, Buck converter, Full-bridge inverter, Rectifier, Relay로 구분하여 시뮬레이션을 구성하였다.

본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 출력 파형은 2.1.2 절에서 언급한 릴레이 조합은 식 (4)와 같이 T<sub>1</sub>~T<sub>4</sub>와 같이 구할 수 있으며 시뮬레이션 출력 파형은 그림 10(e)~10(h)와 같다. 참고로 시뮬레이션의 전류 파형은 전압 파형과 같이 보기위해 10배 증폭한 크기이다. 이 전압들은 릴레이 조합에 의해 일정 파워에서 다양한 전

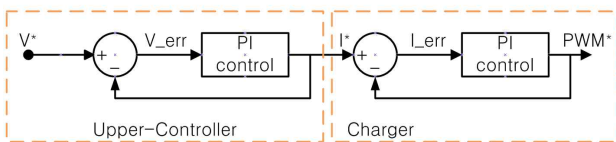
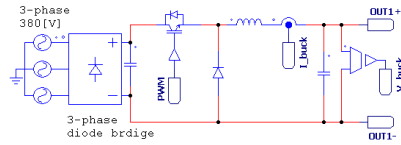
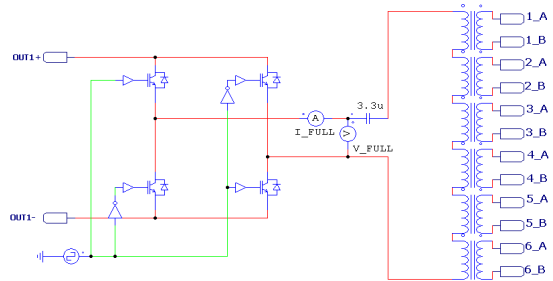


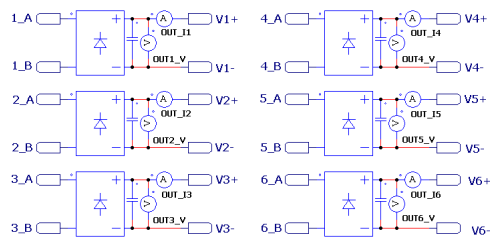
Fig. 9 PI control on constant-current mode



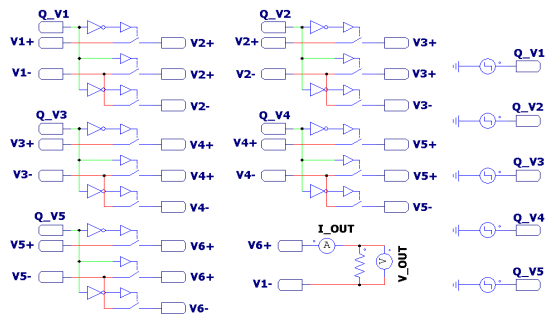
(a) Buck converter



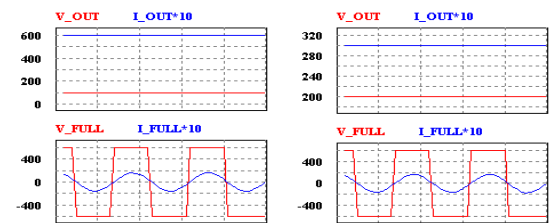
(b) Full-bridge inverter



(c) Rectifier

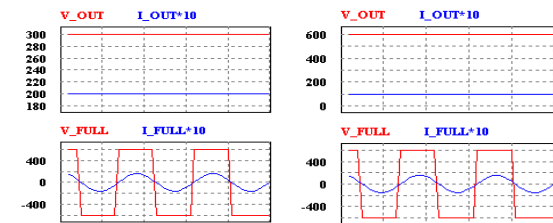


(d) Relay



(e) T<sub>1</sub> waveform

(f) T<sub>2</sub> waveform



(g) T<sub>3</sub> waveform

(h) T<sub>4</sub> waveform

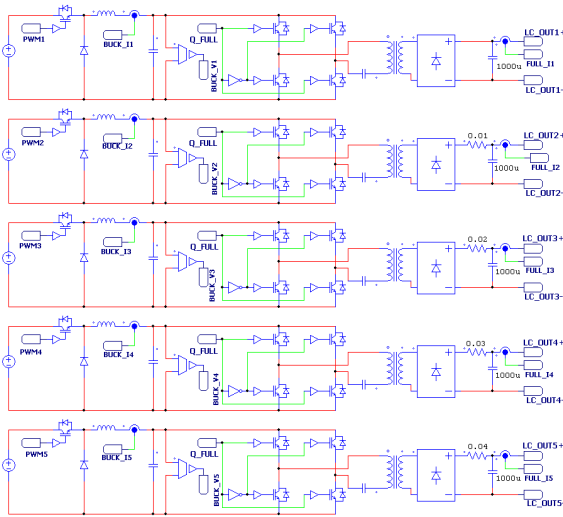
Fig. 10 Proposed simulation and result

압·전류 값을 출력할 수 있으며 언제나 풀-브릿지 컨버터는 소프트 스위칭(soft switching)하는 것을 확인할 수 있다.

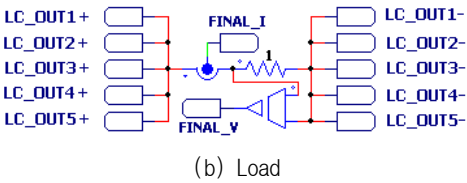
3.2 병렬 운전

5대의 충전 시스템의 병렬 운전을 검증하기 위해 그림 11과 같이 시뮬레이션을 구성하였고 최종 출력단은 5개의 충전 시스템 출력을 하나의 부하에 연결하였다.

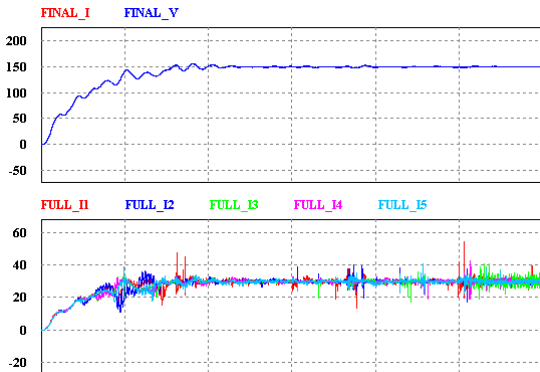
각 충전 시스템은 정해진 전류 지령값에 따라 백 컨버터 출력단의 전류를 피드백 받아 비례-적분 제어를 수행한다. 시뮬레이션 결과 과형과 같이 각각의 충전 시스템은 전류제어기에 의한 정전류가 출력되고, 최종 출력단의 전류는 출력하고자 하는 전류값에 수렴하는 것을 확인할 수 있다.



(a) Parallel operation



(b) Load



(c) Waveform

Fig. 11 Simulation of parallel operation

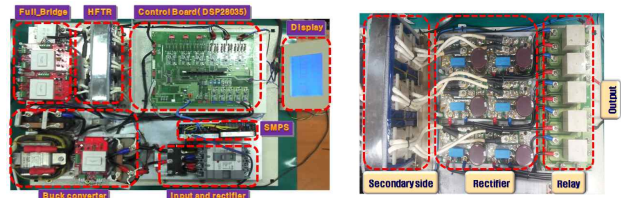
4. 실험

제작된 시작품은 그림 12와 같이 Full Bridge부에서 고주파 교류 전압을 형성하고 6개의 HFTR에서 일정 전류 분담을 한 뒤 Case 밑 부분의 정류부와 릴레이 조합부를 거쳐 최종 출력이 인출되게 된다. Case는 HFTR부와 정류부로부터 올라오는 노이즈를 차폐하기 위하여 설계되었으며 HFTR은 적층 방식으로 설계하여 공간을 활용하였다.

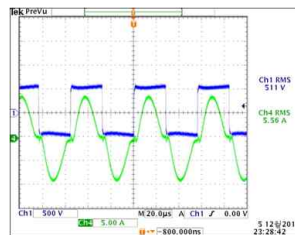
그림 12(c)는 변압기 1차측의 LC 공진 과형과 스위칭 양단 전압 과형으로 ZCS가 이루어짐을 확인할 수 있으며, 그림 12(d)는 CC 모드에서 부하를 가변하여도 일정한 전류가 출력됨을 확인할 수 있다. 그림 12(e)와 그림 12(f)는 릴레이를 가변하여 출력 전압·전류 크기가 가변되지만 3.2k[W]의 일정한 출력을 확인할 수 있다. 실험에 사용된 소자들의 모델과 회로 정수는 Table 1과 같다.

시작품으로 제작된 3k[W] 충전 시스템의 효율은 그림 13과 같이 전체 전압영역에서 92%의 일정 효율을 확인하였다.

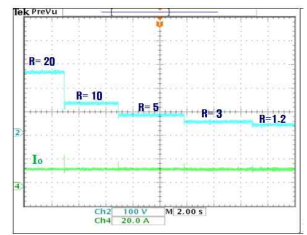
제안된 충전 시스템의 병렬운전을 실험하기 위해 그림 14과 같이 10[kW] 충전 시스템 5대와 50[kW] 상위 제어기 1대를 제작하여 병렬운전을 구현하였다.



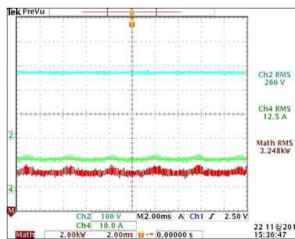
(a) Buck & Full bridge converter (b) TR's secondary side



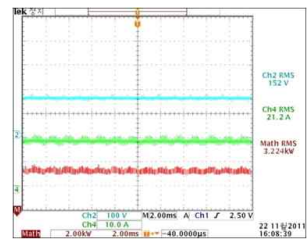
(c) Resonant of TR's primary side



(d) CC Mode



(e) 260[V], 12.5[A], 3.25[kW]



(f) 150[V], 21.2[A], 3.22[kW]

Fig. 12 Proposed charger system

Table 1 Simulation parameter of charger system

Component		Value
3PHASE DIODE+THYRISTOR (DFA100BA160)		$V_{RRM}=1600[V]$
SWITCH (SKM300GB128D)		$V_{CES}=1200[V]$ , $I_C=370[A]$
INDUCTOR		2[mH], 15[A]
CAPACITOR (C <sub>i</sub> )		4[μF] (
HFTR	Leakage Inductance	12.5[μH]
	No. of turns of the winding	9:9
POWER RELAY (JQX-30F)		250[V], 30[A]
SWITCHING FREQUENCY		24.78[kHz]

그림 14(c)는 저항에 연결된 상태에서 5개의 충전기 모두 일정한 출력 상태에서 측정된 파형이다. 배터리와 연결되는 상위제어기의 출력단 전압이 안정적으로 출력되고 있는 것을 확인할 수 있으며 저항이 가변할 경우는 그림 14(d)와 같이 부하가 높아짐에 따라 전압이 낮아지면서 일정한 전류 출력을 유지하는 정전류 모드로 동작한다.

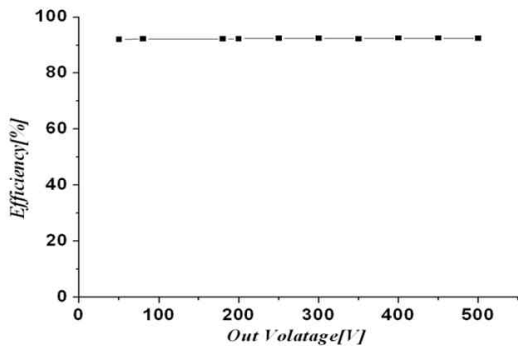
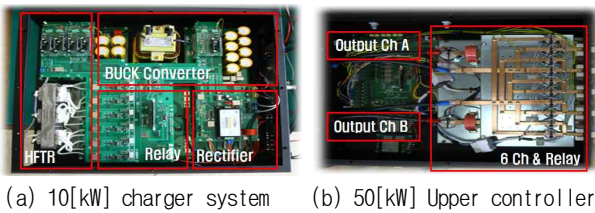
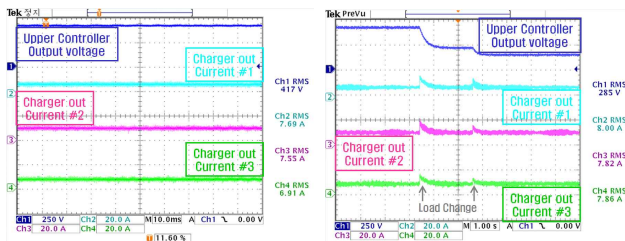


Fig. 13 Constant efficiency in the area of the 3[kW]



(a) 10[kW] charger system (b) 50[kW] Upper controller



(c) Parallel operation (d) Load change

Fig. 14 Output wave on parallel work when load changed

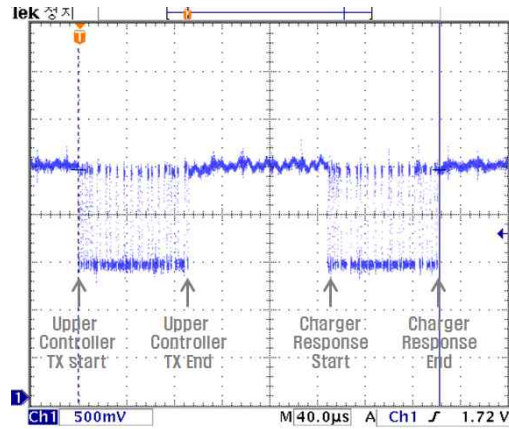


Fig. 15 Verification wave of CAN communication TX/RX

그림 15는 상위 제어기에서 충전 시스템에게 통신 지령값 전송 및 반송 패키지를 수신하는 파형이다. 상위 제어기가 송신 시작 후 반송 패키지 수신 완료시까지 약 303[μs]가 소요된다.

### 6. 결론

본 논문에서는 충전 시스템의 최종단에 릴레이 추가 함으로서 구성과 동작이 간단하고 확장성이 용이하며 직렬 공진형 컨버터를 이용하여 고효율화를 실현하였다. 제안된 시스템은 기존 충전 시스템과 달리 일정 전력 영역의 다양한 전압 영역에서 높은 효율을 얻을 수 있으며 상위 제어기와 충전 시스템 5대를 제작하여 병렬 운전을 구현하였다. 본 논문에서 제안된 토폴로지와 시스템 구조는 시뮬레이션과 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

본 연구는 지식경제부에서 시행한 광역경제권 선도산업 육성사업(기술개발)으로 수행된 연구결과임

### 참고 문헌

- [1] J. S. Kim, G. Y. Choe, H. M. Jung, B. K. Lee and Y. J. Cho, "Design and Implementation of 3.3 kW On-Board Battery Charger for Electric Vehicles," *Journal of Power Electronics*, Vol. 15, No. 5, pp. 369-375, Oct. 2010.
- [2] S. Y. Yun, H. J. Chae, W. Y. Kim, H. T. Moon, Y. S. Jeong and J. Y. Lee, "Battery Charger for EV," *Journal of Power Electronics*, Vol. 15, No. 6, pp. 460-465, Dec. 2010.
- [3] FA Wyczlek, "Hybrid Electric Vehicles year 2000 status," *IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine*, Vol. 16, No. 3, pp. 15-19, Mar. 2001.
- [4] David Linden, "Handbook of Batteries and Fuel Cells," McGraw Hill, 1984.
- [5] Butterworth-Heinemann, "Rechargeable Batteries

Applications Handbook," *Technical Marketing Staff of Gates Energy Products*, pp. 215-223, 1992.

- [6] 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, Aug. 2008.
- [7] R.L. Steigerwald, "A Comparison of half-bridge resonant converter topologies," *IEEE Trans. Power Electron*, Vol. 3, No. 2, pp. 174-182, April 1988.
- [8] C. Y. Oh, J. S. Kim, and B. K Lee, "Design of Optimal Resonant Frequency for Series-Loaded Resonant DC-DC Converter in EVs On-Board Battery Charger Application," *Journal of Power Electronics*, Vol. 17, No. 1, pp. 77-84, Feb. 2012.



### 이승열(李昇烈)

1983년 7월 10일생. 2010년 8월 명지대 전기공학과 졸업. 20012년 3월 전남대 대학원 전기공학과 석사과정.



### 위한별(魏한별)

1989년 10월 10일생. 2012년 2월 광주대 광통신공학과 졸업. 2012년 3월 전남대 대학원 전기공학과



### 이상혁(李相赫)

1981년 7월 19일생. 2007년 2월 한밭대 제어계측공학과 졸업. 2009년 2월 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사) 2009년 3월~2012 8월 졸업(공박).



### 박성준(朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2002년 동 대학원 지능 기계공학과 졸업(공박). 1996년 3월~2000년 2월 거제대학 전기과 조교수. 2000년 3월~2003년 8월 동명대학 전기공학과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대 전기공학과 교수.



### 강성구(姜成求)

1978년 10월 27일생. 2004년 동신대 컴퓨터학과 졸업. 2012년 전남대 전기공학과 졸업(석사). 2003년~2009년 광주과학기술원 디지털 가전부품개발지원센터 연구원. 2009년~2010년 (주)포에프 연구소 선임연구원. 2010년~2011년 (주)준성전자 개발팀장.

2012년~현재 삼성SDI ESS 사업부 선임연구원.



### Awasthi Prakash

Born on 1977 March 30, received the B.E. degree in Electrical and electronics engineering from Kathmandu University, Dhulikhel, Kavre, Nepal, in Aug, 2001, and the M.S. degree in Electrical engineering from Chonnam National University, Kwangju, South Korea, in Feb, 2013.



### 황정구(黃貞九)

1985년 9월 5일생. 2011년 2월 전남대 전기공학과 졸업. 20011년 2월 동 대학원 전기공학과 석사과정.