

# EV 자동차의 FTP-75 운전 검증을 위한 양방향 DC-DC 충전기 설계 및 구현

박일규 · 김대식 · 차한주  
충남대학교 전기공학과

## Design and Implementation of the Bidirectional DC-DC Charger for FTP-95 test verification of EV vehicles

Ilkyu Park · Daesik Kim · Hanju Cha  
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

### ABSTRACT

본 논문은 EV(Electric Vehicle) 자동차에 사용되는 배터리의 충/방전 전류에 따른 SOC (State of Charge) 및 전압특성을 시뮬레이션으로 구현 및 검증하기 위하여, 양방향 DC DC 컨버터를 설계 및 구현을 하였다. 실험을 통해 EV 자동차의 도심 주행 모드(FTP 75) 충/방전 전류 패턴을 재현 하였다. 제어기법으로는 PI전류 제어를 사용 하였으며, 배터리 전류 리플을 최소화하기 위하여 L C L필터를 사용 하였다.

### 1. 서 론

최근 에너지를 저장하고 공급 할 수 있는 배터리의 중요성이 부각되고 있다. EV (Electric Vehicle) 자동차 또한 에너지 저장 장치로 리튬 계열의 배터리를 사용하고 있다. EV 자동차의 연비 인증을 위한 주행 테스트로 도심 주행 모드(FTP 75)를 시행하고 있다. EV 자동차의 경우 주행 속도가 높을수록 방전 전류가 증가하며, 감속할 경우 배터리의 충전 전류가 증가한다. 이러한 EV 자동차의 충방전 특성과 배터리의 특성을 이용하여 Matlab의 Simulink로 배터리의 충방전 모델링을 구현하였으며, 배터리의 모델은 SOC 계산부와 단자 전압 계산부로 구성하였다. 개발된 배터리 모델을 실제 배터리와 비교, 검증하기 위하여 양방향 DC DC 충전기를 설계 및 구현하여 테스트하였다. 양방향 DC DC 충전기는 Small scaled prototype으로 실제 자동차 배터리 충전기보다 적은 용량인 150W급으로 설계하였다.<sup>[1]</sup> 전류 리플 저감을 위해 LCL 필터를 사용 하였으며, FTP 75의 전류 패턴을 재현하기 위해 PI 전류 제어 기법을 사용하여 제어 하였다.

### 2. 도심 주행 모드 FTP-75

FTP 75는 국내 연비 인증 Driving Cycle로 현재 미국과 대한민국에서 도심 주행 모드로 사용되고 있다.

그림 1은 FTP 75의 주행 패턴에 따른 전류와 전압, SOC를 보여준다. 주행 속도 증가 시 방전 전류 증가하고, 감속 시 배터리를 충전 하는 것을 볼 수 있다. 또한 전류의 방향과 크기에 따라 배터리의 단자 전압의 변화를 확인 할 수 있으며, SOC 또한 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 이를 재현 하기위하여 양방향 DC DC 충전기를 설계하였다.

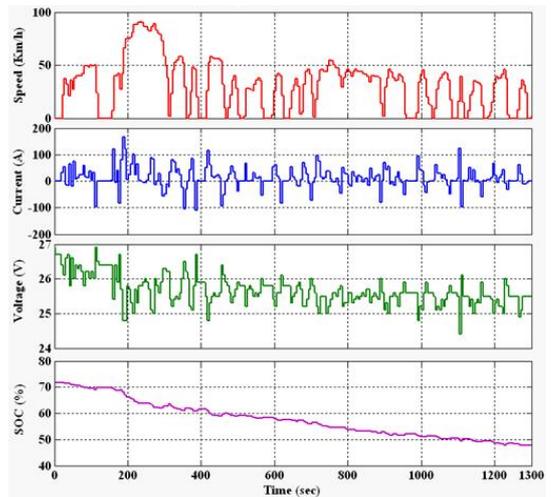


그림 1 FTP-75 주행 패턴에 대한 배터리의 전류  
Fig. 1 Current of battery for FTP-75 driving pattern

### 3. LiPB 배터리 모델링

배터리 모델은 Matlab의 Simulink에서 구현하였으며, 배터리 모델은 충방전 전류와 온도에 따라 SOC와 단자 전압이 계산되도록 설계하였다. 그림 2는 배터리 모델링의 구성으로 SOC 계산부와 단자 전압 계산부이다.

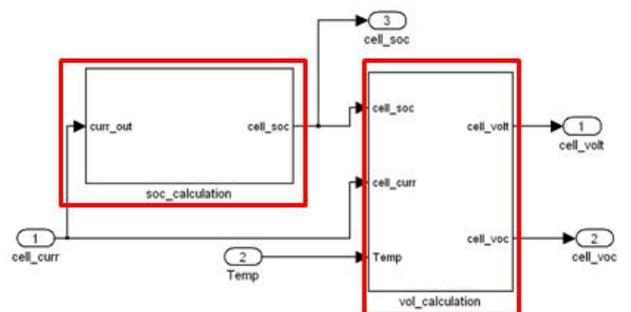


그림 2 LiPB 배터리 모델링  
Fig. 2 Battery modeling of LiPB

$$SOC = Initial\_SOC - \frac{\int i^k dt}{C_p} \quad (1)$$

그림 3은 SOC계산부 내부 구조로 식 (1)의 전류 적산 기법을 이용하였으며, 충방전 전류에 따라 용량이 변화하는 특성을 보완하기 위해 Peukert effect를 적용하였다. 그림 4는 배터리의 단자 전압 계산부로 3D look up table을 이용하여 온도와 전류, SOC에 따라 파라미터를 결정하여 단자 전압을 계산하도록 구성되었다.

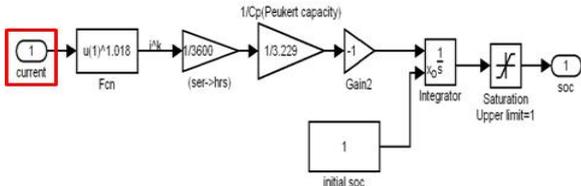


그림 3 배터리 모델링의 SOC 계산  
Fig. 3 SOC calculation of battery modeling

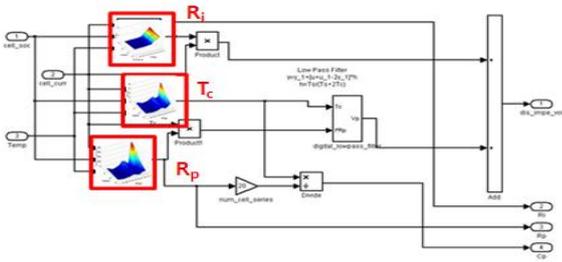


그림 4 배터리 모델링의 단자 전압 계산  
Fig. 4 Terminal voltage calculation of battery modeling

## 4. 양방향 DC-DC 충전기

### 4.1 양방향 DC-DC 충전기 구성

그림 5는 양방향 DC DC충전기 회로 구성으로 70kHz의 빠른 스위칭으로 전류리플을 감소시키며, 2상 병렬로 하여 70kHz의 스위칭에 의한 발열을 감소 시켰다. 또한 전류 리플을 저감시키기 위해 LCL 필터를 적용하였으며, 양방향 DC DC 충전기 및 LCL 필터의 사양은 아래 표 1과 같다.

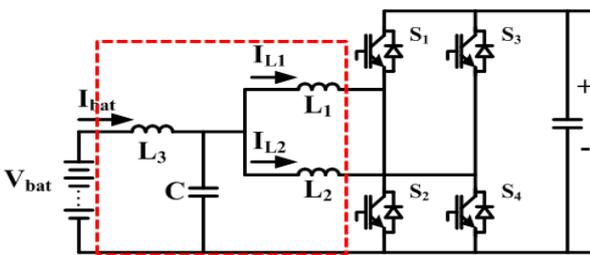


그림 5 LCL 필터를 적용한 DC-DC 컨버터 구성  
Fig. 5 Bidirectional DC-DC converter configuration with LCL filte

표 1 양방향 DC-DC 충전기 사양  
Table 1 Specifications of bidirectional DC-DC charger

용량	$I_{MAX}$	$V_{Range}$	$f_{sw}$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$C$
150W	30A	2~5V	70kHz	100uH	100uH	25uH	10uF

### 4.2 PI 전류 제어 기법

그림 6은 방전 시 CC(Constant Current) 모드 전류 제어를 위해 사용된 전류 제어기법으로 전류 레퍼런스와 전류 피드백을 비교하여 PI controller를 사용 하여 제어 하였다. 그림 7은 충전 시 CC CV(Constant Current Constant Voltage) 모드 제어를 위한 제어 기법으로 앞서 말한 전류 제어기의 전류 레퍼런스를 PI 전압 제어기를 통해 출력되는 값을 이용하는 방식으로 구현 하였다. 그림 8의 파형은 FTP 75의 전류패턴을 재현하기 위해 구현된 전류 레퍼런스로 배열을 이용하여 300msec의 단위로 4338개의 데이터를 1300sec동안 진행 하였다.

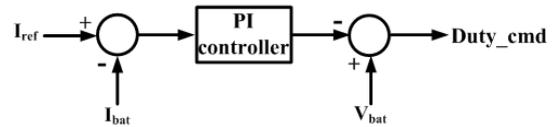


그림 6 정전류 제어기의 블록도  
Fig. 6 Structure of constant current controller

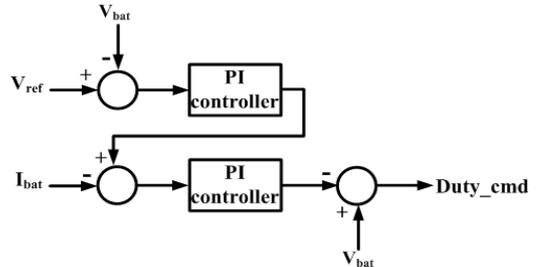


그림 7 정전류, 정전압 제어기의 블록도  
Fig. 7 Structure of constant current and constant voltage controller

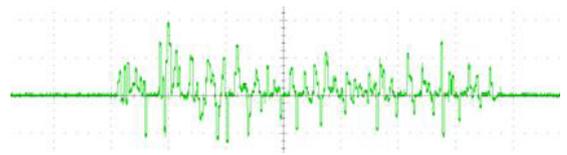


그림 8 구현된 전류 레퍼런스  
Fig. 8 The current reference implementation

## 5. 결론

본 논문에서는 EV 자동차 배터리 모델을 온도와 전류 특성을 고려하여 구현 하였으며, 이를 검증하기 위해 150W급 양방향 DC DC 충전기를 구현하였다. 검증을 위한 전류패턴은 연비 인증 시스템의 도심 주행 모드(FTP 75)를 이용하였으며, PI제어기의 전류 레퍼런스는 배열을 이용하여 FTP 75의 전류 패턴과 동일하게 구현하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Jung Hyo Lee, "Regenerative Current Control Method of Bidirectional DC/DCCConverter for EV/HEV Application", J Electr Eng Technol, Vol. 8, No. 1: 97 105, 2013, April.