

# 연료전지를 이용한 리튬배터리 충전기의 디지털 제어

박용진, 최우진  
송실대학교 전기공학부

## Digital Control of the Fuel Cell Powered Lithium Battery Charger

Yongjin Park, Woojin Choi  
Department of Electrical Engineering, Soongsil University

### ABSTRACT

본 논문에서는 Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) 연료전지의 출력을 동기정류 방식의 벽컨버터로 변환하여 2개의 리튬 폴리머 배터리를 충전하기 위한 시스템의 디지털 제어에 관해 논의한다. 배터리의 충전시 중요한 요소인 출력 리플의 제한 조건을 만족시키도록 컨버터를 설계하고, DSP를 이용하여 이중제어 루프를 구성함으로써 충전기를 제어하였다. 컨버터 제작과 리튬전지를 이용한 충전 실험을 통해 제안한 회로와 제어기 설계 방식의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿 PC 등 휴대용 스마트 기기들의 사용이 증가하면서 배터리 충전을 위해 보다 가볍고 고효율 성능의 DC DC converter가 요구되고 있다. 이를 위해서 장시간 사용이 가능한 2차 전지가 주로 사용되나 에너지 밀도가 높은 연료전지 또한 차세대 전원으로서 주목 받고 있다.<sup>[1,2]</sup> 충전기에 이용되는 DC DC converter는 스위칭 동작을 통해 안정적인 충전 프로파일을 구현하여야 하므로 제어회로의 안정된 동작이 매우 중요하다.<sup>[1,3]</sup>

본 논문에서는 연료전지의 가변 전압 출력을 입력으로 하여 구동되는 DC DC Synchronous buck converter의 설계에 관해 설명하고, 리튬전지와 연료전지의 하이브리드 전력 공급이 가능한 시스템의 제어에 관해 논의한다. 또한 2개의 리튬 폴리머 배터리를 이용하여 교대로 충전함으로써 하나가 방전되는 경우에도 끊임없이 부하에 전력을 공급할 수 있는 특징의 시스템을 구현하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 디지털 제어 시스템 회로의 구성

그림 1.에는 Texas Instrument사의 TMS28335 DSP를 이용한 DC DC Synchronous buck converter의 전체적인 구성도를 나타내었다. 연료전지의 DC전압을 입력으로 받아 DSP를 이용하여 PWM(Pulse Width Modulation)파형을 스위칭 소자인 모스펫에 인가시켜주며, 제어 회로를 통해 충전 모드가 구현되도록 구성하였다. 또한 출력 단에 릴레이를 추가하여 배터리 2개를 교번하여 충전할 수 있도록 하였다.

표 1은 Synchronous buck converter의 설계 파라미터를 나타낸 것이다.

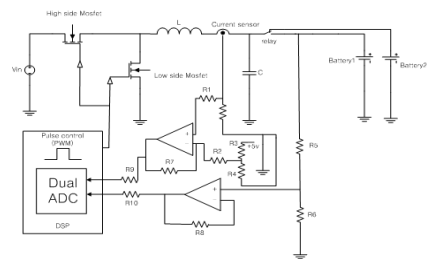


그림 1 연료전지를 이용한 충전기 시스템  
Fig. 1 Fuel Cell powered charger system.

표 1 Synchronous buck converter 파라미터  
Table 1 Synchronous buck converter parameters

Parameter	Value
Input Voltage ( $V_{in}$ )	28 40 [Vdc]
Output Voltage ( $V_{out}$ )	25.2 [Vdc]
Power ( $P_o$ )	300 [W]
Inductor (L)	105 [ $\mu$ H]
Capacitor (C)	2000 [ $\mu$ F]
Battery resistor ( $R_b$ )	0.232 [ $\Omega$ ]
Battery capacitor ( $C_b$ )	10750 [F]
Switching Frequency ( $f_s$ )	150 [kHz]

#### 2.2 하이브리드 디지털 전력제어 시스템 동작 원리

구현된 시스템은 연료전지의 가변 출력 (28 40V DC)을 입력으로 하여 부하 가변시에도 CC/CV 충전 모드를 유지하도록 피드백 및 제어회로를 통해 스위치의 통해 듀티를 조절하게 된다. 제어에 있어서는 전류 루프가 전압 루프 안에 중복된 형태로 기본적으로 전압 루프에서 전류만 충전 전류값으로 제한하는 제어 방식을 택함으로써 연료전지를 과부하로부터 보호할 수 있으며, 부하전력이 연료전지의 정격을 초과하는 경우에도 연료전지의 출력은 정격 값으로 제한되며 나머지는 배터리로부터 출력되도록 하였다.

#### 2.3 디지털 제어 시스템

전술한 바와 같이 CC/CV 충전을 위해서 그림 2와 같은 제어 루프를 구성하고 전류 루프 및 전압 루프의 제어를 각각 설계하고 루프를 중첩시켜 이중 제어 구조를 형성하였다. 각각의 제어 루프는 s 영역 전달함수를 소신호 모델링 방식으로 구하고 이를 z 변환한 후 제어기를 설계함으로써 s 함수를 이용하여 설계한 제어기를 디지털 시스템에 직접 적용 시 위상 여

유가 줄어들 수 있는 가능성에 대비하였다.

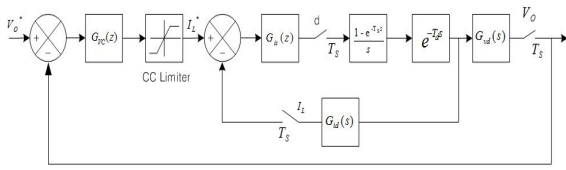


그림 2. CC/CV 충전을 위한 듀얼 제어 루프의 블록다이어그램  
Fig. 2. Block diagram of the dual control loop for CC/CV charge.

CC/CV 충전을 위한 충전기의 제어 전달 함수인  $G_{id}$ (Control to Inductor current)와  $G_{vi}$ (Inductor current to Output voltage)의 S 도메인 전달함수를 구한 후 Matlab을 이용하여 Z 도메인 형식으로 변환하면 최종적으로 식 (1)과 (2)와 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$G_{id\_z} = \frac{2.183z^2 - 4.335z + 2.152}{z^3 - 2.986z^2 + 2.971z - 0.9857} \quad (1)$$

$$G_{vi\_z} = \frac{0.00331z - 0.00331}{z^2 - 1.986z + 0.9857} \quad (2)$$

변환한 Z도메인 전달함수를 가지고 PI제어기로 설계하기 위해 SISOTOOL을 사용하였다. 내부 제어 루프에 해당하는  $G_{id}$ 의 bandwidth는 외부 제어 루프에 해당하는  $G_{vi}$ 의 bandwidth보다 더 큰 값으로 설계하였다. 또한 Phase Margin을 60도 이상으로 설계해야 충분한 여유가 확보된 안정된 제어를 동작시킬 수 있기 때문에  $G_{id}$ 의 bandwidth를 3kHz,  $G_{vi}$ 의 bandwidth를 100Hz로 설계하였고, Phase margin 경우  $G_{id}$ 는 74.1도,  $G_{vi}$ 는 93.1도의 위상 여유를 갖는 제어기를 설계하였다.

설계한 제어기를 바탕으로 DSP 프로그램을 구성하였고 제어 순차는 그림 3과 같다. 첫 번째 배터리를 CC모드 충전 후 CV모드로 충전하고 충전전류가 Cutoff 전류보다 작으면 충전이 종료된다. 이후 두 번째 배터리 충전이 시작된다. 각 과정마다 릴레이의 안정된 동작과 회로보호를 위해 1초의 Time delay를 적용하였다.

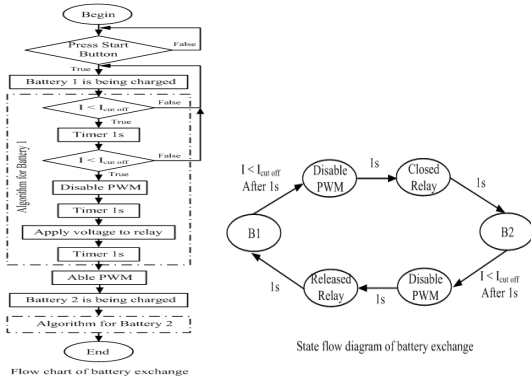


그림 3. 충전기 제어 흐름도  
Fig. 3. Flow chart of the charger control

### 3. 실험 결과

그림 4는 리튬폴리머 배터리를 이용하여 충전한 실험 파형으로 CC/CV 충전이 수행되어 배터리 전압이 25.2V에 도달 한

것을 볼 수 있다. 그림 5는 부하를 배터리와 병렬로 연결 한 후 시스템의 동작을 실험한 결과이다. 배터리 및 부하가 요구하는 전력을 연료전지가 충분히 감당할 수 있는 경우 그림 5의 (a)와 같이 동작하며, 연료전지의 출력이 부족한 경우 전류 제어 모드에 의해 연료전지의 출력은 정격으로 제한되며 나머지 전력은 배터리가 담당하게 된다. (그림 5(b)).

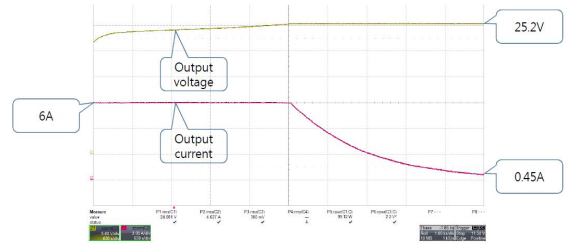
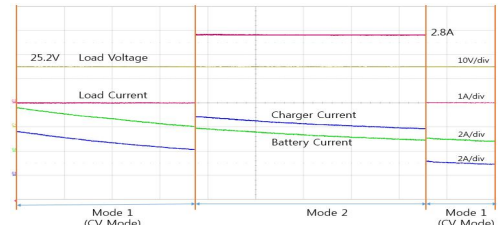
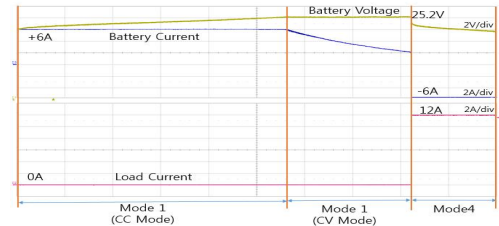


그림 4. CC-CV 충전프로파일  
Fig. 4. CC-CV Charge profile



(a) 모드2 ( $I_{load} < I_{charge}$ ) 테스트 결과



(b) 모드4 ( $I_{load} > I_{charge}$ ) 테스트 결과

그림 5. 하이브리드 모드 테스트  
Fig. 5. Hybrid mode test

### 4. 결론

본 논문에서는 연료전지를 이용한 리튬전지용 충전기의 제어를 이중루프를 이용하여 구현하였다. 내부 전류 제어 루프로 인해 연료전지는 과부하시에도 보호되며 충전 중에 과부하가 인가되는 경우에도 리튬 배터리와 하이브리드 형태로 부하에 전력 공급이 가능한 장점이 있다. 제안된 방식의 성능을 실험을 통해 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] 장인혁, 한지훈, 임홍우, "마이크로프로세서 제어를 이용한 DC DC Buck Converter 설계", Advanced Engineering and Technology, Vol. 5, No.4, pp 349-353, 2012
- [2] Maksimovic, D. and Cuk, S. "Switching Converter Wide DC DC Conversion Range", IEEE Transaction Power Electronic, Vol.6, NO.1, pp.151-157, 1991
- [3] 김재훈, "디지털 제어를 사용한 고효율 DC DC 벡 컨버터 설계", 서울시립대학교 석사학위 논문, pp.1-2, 2011