

리튬폴리머 배터리의 급속충전 제어방식에 관한 연구

이영진, 한동화, 반충환, 은종목*, 최규하
 건국대학교, (주)과워웰*

A Study about the Fast Charging Method of Li-Polymer Battery

Young Jin Lee, DH Han, CH Ban, BJ Byeon, JM Eun*, GH Choe,
 Konkuk University, POWWEL*

ABSTRACT

현재 화석연료의 고갈과 이산화탄소의 배출로 인한 지구 온난화 문제로 인하여 전기 자동차의 연구가 활발히 진행 중에 있다. 본 논문에서는 전기 자동차용 배터리 충전 시스템의 급속 충전 방식을 연구한다. 본 연구에서 사용하는 급속충전 방식은 기존의 CV/CC(정전압/정전류)제어 방식에서 CC모드를 충분히 확보하여 충전시간을 단축하는 방식으로 실험을 통해 그 동작을 검증한다.

1. 서론

전기 자동차의 개발과 더불어, 내부 전력밀도가 크며, 급속 충전이 가능한 리튬계열의 배터리의 사용이 증가되고 있다. 리튬폴리머 배터리의 충전방법으로 많이 사용되고 있는 CC/CV(정전류/정전압)제어 방식은 내부 전압강하에 의한 CC(정전류 제어)구간의 감소로 긴 충전시간의 문제점을 갖는다. 배터리팩의 내부저항으로 인해 배터리팩의 외부 단자전압은 셀 내부전압과 차이가 발생한다.[1] 배터리가 CC모드에서 CV(정전압 제어)모드로 모드 변환시 배터리팩의 외부 단자전압이 4.2[V]이상일 경우 모드가 변환된다. 하지만 내부저항에 의한 전압강하에 의해 실제 셀 내부전압은 4.2[V]미만이 되므로 충전이 덜 이루어진 상태에서 모드변환이 이루어진다. 이러한 전압강하는 배터리 충전시 CC구간을 단축하여 충전시간을 길게 한다.

본 연구에서는 배터리의 전압강하를 고려한 모드변환과 충분한 CC구간을 확보를 통해 배터리의 급속충전을 가능케 한다.

2. 충전시스템의 구성 및 제어방식

2.1 시스템의 구성

급속충전 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 입력부터 3상 PWM 컨버터, 풀-브리지 컨버터, 배터리로 구성되어진다. 배터리 충전에 필요한 전력은 계통으로부터 공급받으며, 전류 THD를 5[%]미만으로 제어된다. 풀-브리지 컨버터는 CC/CV 제어를 통해 배터리를 빠르게 충전한다. 마지막으로 배터리는 14개의 셀이 직렬로 구성되어 있는 58[V], 40[AH]의 용량을 갖는 리튬폴리머 배터리를 사용하였다.

2.2 시스템의 제어방식

급속충전용 풀-브리지 컨버터는 배터리를 충전하기 위해 단일루프로 CC제어와 CV제어를 병행하여 사용할 수 있도록 제어기가 구성되었다. 본 연구에서는 정상상태 오차를 없애기 위해 그림 1과 같이 적분기를 채용한 상

태케한 제어기를 이용하여 안정적인 제어기를 구성하였으며, 적분제어요소를 포함하여 시스템의 상태방정식을 세우면 식(1)과 같고, 특성방정식을 구하면 식(2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} di_L/dt \\ dV_{batt}/dt \\ dP/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/L & 0 \\ 1/C & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_{batt} \\ p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1/L \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V_{sw}^* + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1/C & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_{batt} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{여기서, } V_{sw}^* = \begin{bmatrix} i_L \\ V_{batt} \\ p \end{bmatrix}$$

$$s^3 + \frac{g_1}{L}s^2 + \frac{1-g_2}{LC}s - \frac{g_3}{LC} = 0 \quad (2)$$

위식의 궤환 이득 g_1, g_2, g_3 가 식(3)과 같은 상태방정식과 동일한 형태가 되도록 설정하면 된다.

$$(s + p_1 + jp_2)(s + p_1 - jp_2)(s + p_3) = s^3 + (2p_1 + 2p_3)s^2 + (p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_3)s + (p_1^2 + p_2^2)p_3 = 0 \quad (3)$$

그러므로 상태궤환 제어기의 이득은 다음과 같이 선정할 수 있으며, CC 모드와 CV 모드 충전모드에 따라 자연주파수를 변경하여 제어기의 게인 값을 선정한다.

$$g_1^{v,c} = 2(p_1 + p_3)L \quad (4)$$

$$g_2^{v,c} = -[(p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_3)LC - 1] \quad (5)$$

$$g_3^{v,c} = -(p_1^2p_3 + p_2^2p_3)LC \quad (6)$$

위식을 통해 상태 궤환 제어기의 이용시 이득을 해석적으로 선정하기가 용이함을 알 수 있다.

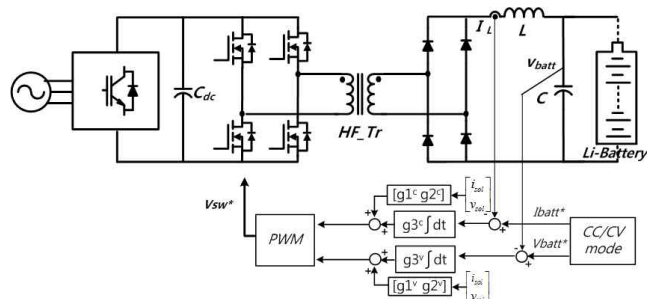


Fig. 1 Configuration of the charge system.

3. 급속충전 제어 방식

본 연구에서는 CV/CC/CV 충전 시퀀스와 CC에서 CV로 모드 변환시 내부저항을 보상해주는 방식을 혼용하여 사용하였다. 제안하는 방식은 기존의 CC/CV급속충전 방식을 기반으로 초기에 CV모드를 통해 대전류로 충전을 한 후 일정온도 이상에서 CC모드로 제한한다. 이때 CV 모드에서 정격충전 전류의 3배의 전류로 충전이 가능하다. 또한 SOC 90[%] 부근에서 CC에서 CV로 모드가 변경이 될 때 내부 ESR추정에 의해 보상된 모드전환 전압에서 모드 변경을 함으로써 CC모드가 기존의 CC/CV방식보다 길어져 충전시간이 단축되는 특징을 갖는다.

본 연구에서 사용된 보상된 모드전환 전압 다음과 같이 구할 수 있다. 그림 2와 같이 CC충전 구간에서 배터리의 충전 전류 레퍼런스를 짧은 시간동안 I_{batt1} 에서 I_{batt2} 로 변화를 주면 내부 저항에 의한 전압강하에 의해 출력되는 배터리 단자전압 이 식 (7)과 (8)과 같이 각각 V_{batt_ex1} 에서 V_{batt_ex2} 로 변하게 된다.

$$V_{batt_ex1} = I_{batt1} \times R_{in} + V_{batt_in1} \quad (7)$$

$$V_{batt_ex2} = I_{batt2} \times R_{in} + V_{batt_in2} \quad (8)$$

위식은 짧은 충전 시간동안 변하는 양 이므로 V_{batt_in1} 과 V_{batt_in2} 은 변함이 없다고 볼 수 있으며, 식 (9)와 같이 내부저항을 추정할 수 있다.

$$R_{in} \approx \frac{V_{batt_ex1} - V_{batt_ex2}}{I_{batt1} - I_{batt2}} \quad (9)$$

식(9)를 통해 얻어진 내부저항으로 최종 CC/CV 모드전환 전압 지령치는 다음 식(10)과 같이 구할 수 있다.

$$V_{set_ex_new} = V_{set_ex_old} + (I_{batt1} \times R_{in}) \quad (10)$$

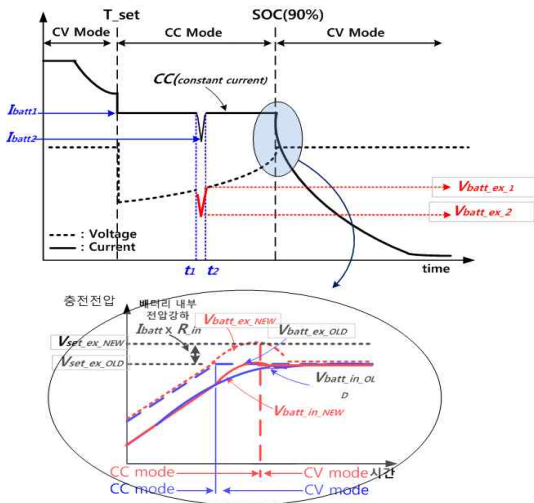


Fig. 2 Proposed charging method.

4. 실험 결과

본 연구에서는 7[kW] 충전 시스템을 바탕으로 충전실험을 하였다. 그림 3은 BMS의 충전데이터를 기반으로 얻은 실험결과로써 80[A](2C)의 전류로 배터리를 충전할 때 기존의 CC/CV

방식과 내부저항 추정에 의한 보상된 방식의 실험 데이터이다. 완전충전까지 소요된 시간은 보상된 방식의 경우 33분으로 기존의 방식 39분 보다 약 6분 충전시간을 앞당겼으며, SOC 80[%]까지 20분 이내에 충전이 가능함을 확인 할 수 있다. 그림 4는 CV/CC/CV 컨트롤에 ESR추정을 통해 보상된 방식의 실험 데이터이다. 초기 CV 충전을 통해 급속충전을 한 후 보상된 CC/CV 제어를 통해 충전을 완료한다. 총 충전 소요시간은 25분이며, SOC 80[%]까지 15분에 급속충전이 가능하다.

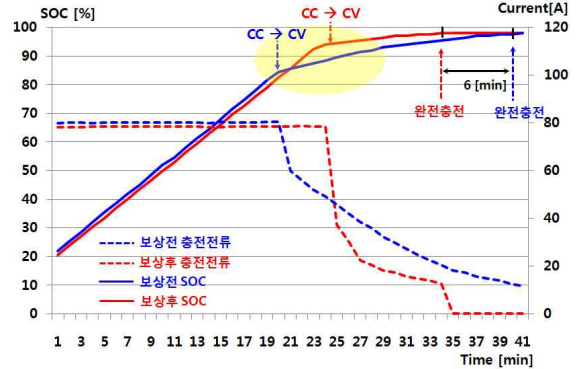


Fig. 3 Charging experiment of battery by compensated method.

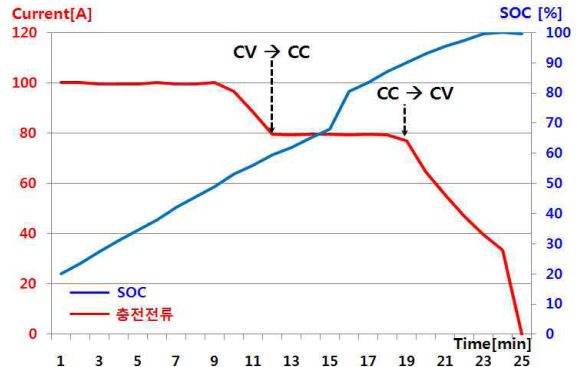


Fig. 4 Charging experiment of battery by CV/CC/CV control.

5. 결론

본 연구에서는 배터리의 급속 충전을 위해 기존의 CC/CV 제어 방식에서 CC모드를 충분히 확보하여 충전시간을 단축하는 방식에 대해 연구 하였다. 배터리의 내부저항을 추정하여 CC/CV모드 변환시 변화 오차를 줄여 충분한 CC구간을 확보 하였으며, 또한 초기 충전시 CV 모드로 대전류로 충전을 하는 CV/CC/CV제어를 통해 충전시간을 단축하였다.

○ 본 연구는 중소기업청의 중소기업 기술혁신개발사업 “미래선도과제”의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Yuh-Shyan Hwang "New Compact CMOS Li-Ion Battery Charger Using Charge-Pump Technique for Portable Applications" IEEE TRANSACTIONS. APRIL.2007
- [2] Young jin Lee, DH Han, GH Choe "A study on Li-Battery Charge Control based on DC-Grid". 8th International Conference on Power Electronics - ECCE