

중대형 리튬폴리머 2차전지용 충방전기 개발

오동섭, 오성업, 이종윤, 박민호, 성세진
충남대학교

Design of a cycler system for large capacity lithium-polymer battery

Dong-Seob Oh, Sung-Up Oh, Jong-Yun Lee, Min-Ho Park, Se-Jin Seong
Chungnam National University

ABSTRACT

In this paper, a cycler system for the Lithium-Polymer battery with the large capacity of 120Ah is presented. This system is constituted as the two units for the charging and discharging.

The Lithium-Polymer battery should be charged in CC and CV mode, and it is required a very high precision control of the voltage and current for the charging unit. To decrease the switching noises and harmonics, parallel operation method is adopted and utilized in the power conversion module.

The discharging unit has a link AC system function to return the discharging energy of battery to AC line and has comparatively less thermal loss. These units are designed to be controlled and monitored by personal computer. The total system for the battery charging and discharging is described and presented.

1. 서 론

1990년대 초 전기자동차가 미래형 자동차로 각광 받았으나 현재는 기술적인 문제에 놓여있어 새로운 대안으로 하이브리드 자동차 및 연료전지 자동차가 새로운 대안기술로 부상하게 되었다. 현재 연구자들은 하이브리드 전기자동차(HEV; Hybrid Electric Vehicle)의 경우 2004년, 연료전지 자동차는 2010년에 상용화할 수 있을 것으로 예상하고 있다. 특히 HEV는 기존의 가솔린 엔진과 중대형 2차전지를 이용한 전기모터가 결합된 자동차로 저연비, 저공해를 동시에 달성할 수 있는 장점이 있어 양산을 서두르고 있다. 이러한 HEV용 중대형 전지시장 규모가 2005년 약 1조원, 2010년엔 약 3조원을 상회하는 대형 시장이 형성될 것이며, 이는 2005년께

시장 정체를 직면하게 될 소형 2차전지 시장의 새로운 활로가 될 것으로 분석되고 있다.

본 연구에서는 HEV를 양산하기 위해 필수적인 중대형 2차전지 충/방전 Cycler 시험장치가 개발되었다. 충/방전 시험을 위해 120Ah를 갖는 대용량 리튬-폴리머 전지가 사용되었으며^[1], 충전과 방전의 최적제어를 위해 전지의 충/방전 특성이 소개되었다^[2]. 또한 배터리 충전과 방전을 위한 제어변수 및 제어알고리즘이 제시되었다. 전체시스템 구성과 실험결과를 통해 본 연구에서 개발하고자 하는 중대형 2차전지 충/방전 Cycler의 특성을 확인하였다.

2. 리튬폴리머 전지

2.1 리튬 폴리머 전지의 특성

리튬 폴리머 2차 전지는 음극과 양극사이 분리막이 전극의 분리 및 이온전도의 매개체로서 전해질의 역할을 하도록 한 전지이다. 이때 양극재료로 고분자, 음극 재료로 리튬 혹은 탄소가 사용 된다. 전지의 작동은 그림 1처럼 충/방전시 리튬이온이 양극과 음극 사이를 이동하며 동작하게 된다.

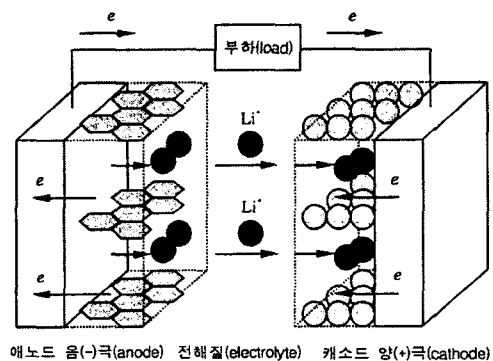
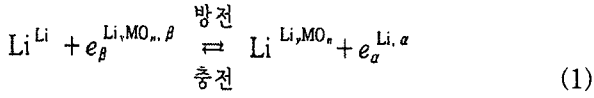


그림 1 리튬 2차전지의 방전시 이온의 이동 개략도
Fig. 1. A conceptual diagram of ion moving path for the lithium secondary battery at discharging mode

산화 반응과 환원 반응을 나타내는 전체 전지 반응은 리튬인 경우 다음 식(1) 과 같다.



충방전기 설계에 고려되는 리튬이온 폴리머 전지의 주요 특성은 다음과 같다.

- (1) 고전압 : 평균전압이 3.7V(만충시 4.2V)로 니카드전지나 니켈수소 전지와 같은 다른 전지에 비해 3배 정도 높다.
- (2) 급속 충전 : 정전류-정전압(CC-CV) 방법으로 충전하는 경우 1~2시간 이내에 완전 충전이 가능하다.
- (3) 고 수명 : 정상적인 조건에서 300회이상의 충방전 특성을 가진다.
- (4) 메모리효과가 없다 : 니카드 전지에서 나타나는 것과 같이 완전 충전되지 않았을때 용량 감소가 생기는 현상이 없다.
- (5) 저 내부 저항 : 전극과 분리막이 일체형으로 되어 있기 때문에 비교적 작은 내부저항을 가진다.

2.2 사용된 리튬 폴리머 전지 충방전 특성

충방전기 개발에 사용된 리튬 폴리머 전지의 충방전 특성은 그림 2 및 그림 3과 같다.

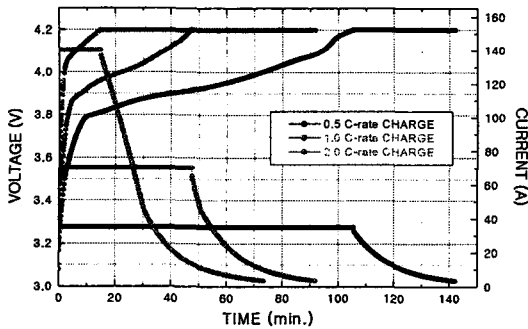


그림 2 전지 충전 특성
Fig. 2. Charging rate characteristics

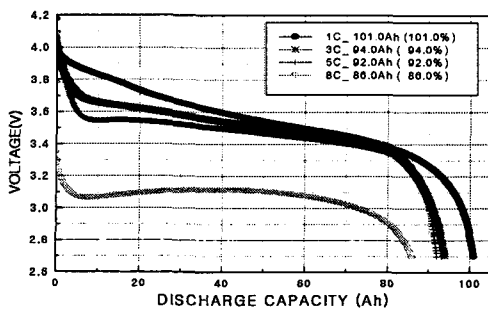


그림 3 전지 방전 특성
Fig. 3. Discharging rate characteristics

그림 2에서 알 수 있는 것처럼 충전 초기에는 정전류로 충전을 하다가 SOC가 약 90%되는 시점에서 정전압 충전으로 모드를 변경해 주어야 한다. 이때의 차단 전압은 $4.2 \pm 0.03V$ 이며 SOC가 98%가 되면 세류충전을 수행한다. 또한 방전시의 차단 전압은 2.7V 이다.

표 1 리튬폴리머 배터리의 주요사항

Table 1 Specifications of Lithium-Polymer battery

항목	세부항목	사양값
정격 용량		100A
공칭 전압		3.7V
충전조건	최대전류	1.0CmA(100A)
	전압	$4.20 \pm 0.03 V$
방전조건	연속전류	5.0CmA
	차단전압	2.7V
동작온도	충전시	$0 \sim 45^{\circ}C$

3. 충방전 제어 알고리즘

중대형 리튬 폴리머 2차 전지를 위한 충방전 제어 알고리즘은 앞 장에서 기술한 바와 같이 충전시에는 CC-CV를 제어해야 하고 방전시에는 차단전압을 기준으로 제어한다. 그림 4는 이러한 충방전 전체 제어계의 구성도를 보여준다.

그림에서와 같이 충방전을 위한 주요한 시스템 변수들로는 전압(V), 전류(I), 온도(T) 등이 있으며, 기준 값(Ref)에 의해 각 모드가 선택되게 구성되어 있다. 이때 제어계의 출력은 기준치에 대해 전력변환장치를 직접 구동할 수 있는 각각 CC 혹은 CV를 유지키 위한 최대 0.4의 가변비를 가진다.

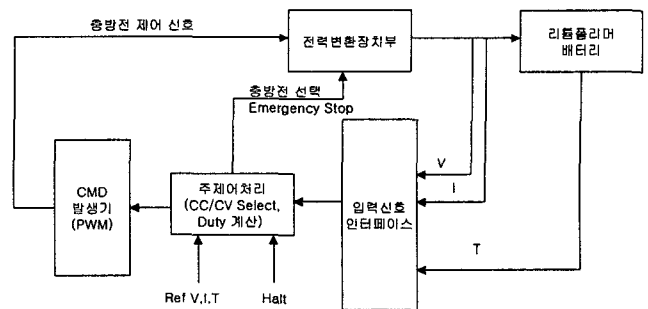


그림 4 간략화된 충방전 제어 구성도
Fig. 4. Simplified Charging/discharging Control diagram

3.1 충전 제어 흐름

배터리 충전을 위한 제어흐름도는 그림 5와 같다. 충전시 배터리 전압이 정격 전압이 되면 CC에서 CV모드로 전환된다. 즉, 충전이 시작되면 배터리의 전압이 정격 전압, $4.2 \pm 0.03V$ 에 도달되기 전까지

CC값이 유지될 수 있도록 PWM 구동 출력을 조절한다. 이후 정격 전압에 도달하면 전류값을 무시하고 전압이 일정하게 유지될 수 있도록 PWM 구동 출력을 제어한다. 또한 300usec주기를 갖는 전압, 전류 및 온도의 제한치를 항상 검사하고 제한치를 넘을 경우 충전을 중단한다.

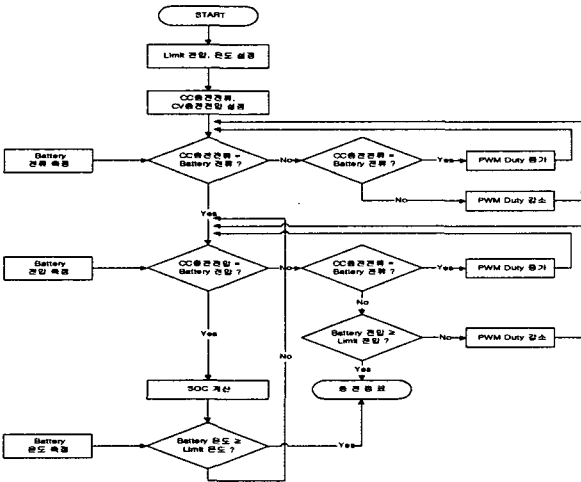


그림 5 충전제어 흐름도
Fig. 5. Charging Control Flow chart

3.2 방전 제어 흐름

방전 제어 흐름은 충전시와 비교할 때 전반적으로 고려되는 입력값은 전압, 전류 및 온도로 유사하나, 내부적으로 CC나 CV를 자동절환 해야 할 필요가 없다.

방전 기준값은 방전시 나타나는 배터리 차단전압으로 2.7V에 도달하면 방전이 완료된 것으로 판정한다. 배터리 방전제어 흐름도는 그림 6과 같다. 이밖에도 충전 제어부에는 전력변환 장치부의 병렬운전을 위한 PWM 펄스 발생을 위한 병렬 운전용 동기신호 및 각 상간의 지연등을 계산/출력하게 된다.

4. 시스템 구성 및 실험 결과

전체 충방전 시스템은 크게 스위칭 방식을 채용한 전력변환부, HEV용 중대형 충방전 제어 모드를 제어하는 디지털 제어부, PC 모니터링 S/W부 그리고 전지 지그부로 구성된다. 그림 7은 전체 충방전 시스템의 간략화한 구성도이다. 전력변환부는 그림 8과같이 포워드 방식의 SMPS로 설계되었으며^[3,4,5], 충전시에는 단위모듈 200W, 3개로 구성된 병렬운전방식을 채용하므로써 정밀한 출력제어가

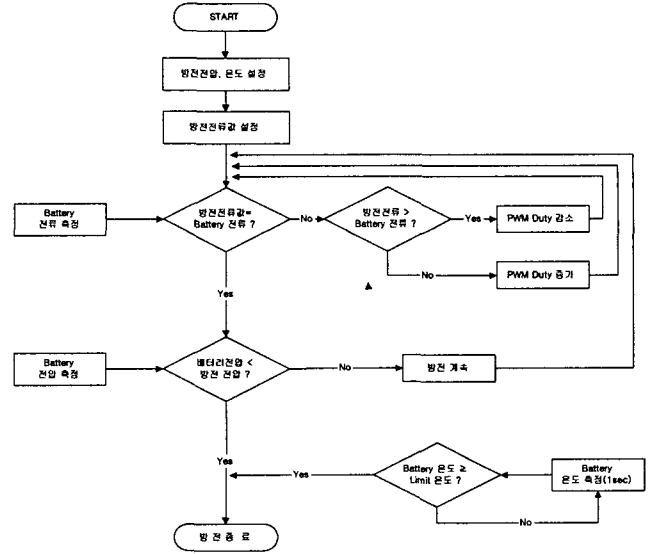


그림 6 방전제어 흐름도
Fig. 6. Discharging Control Flow chart

가능한 구조를 가지며 중대형 2차전지의 정전압/정전류 제어를 담당한다.

방전시험시에는 방전 포워드컨버터의 출력측 방전 에너지를 1차측 교류전원으로 회생함으로 전체 시스템을 소형화하고, 발열을 저감시켰다. 디지털 제어부는 운용 S/W부와 전력변환부와 인터페이스를 담당하고, 아날로그 전력변환부의 출력제어를 담당한다. 충방전 제어모드로는 정전류 충방전, 정전압 충전, 그리고 데이터 충방전 등이 있으며 전체 시스템의 제어를 담당한다.

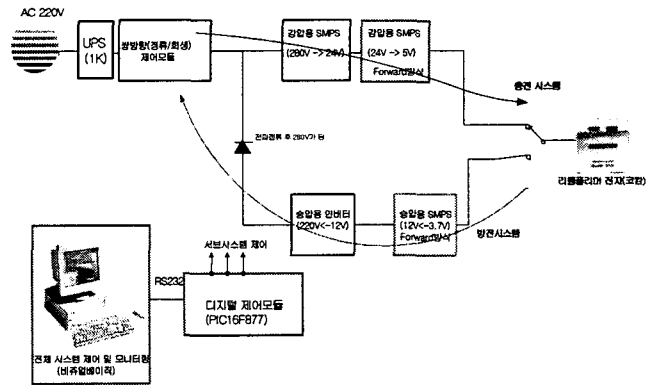


그림 7 전체 충방전 시스템 구성도
Fig. 7. Configuration of Charging/Discharging System

주제어를 위해 사용된 CPU는 PIC16F877을 사용하였으며 병렬 운전용으로 각 3개의 PIC16F877이 사용되었다.

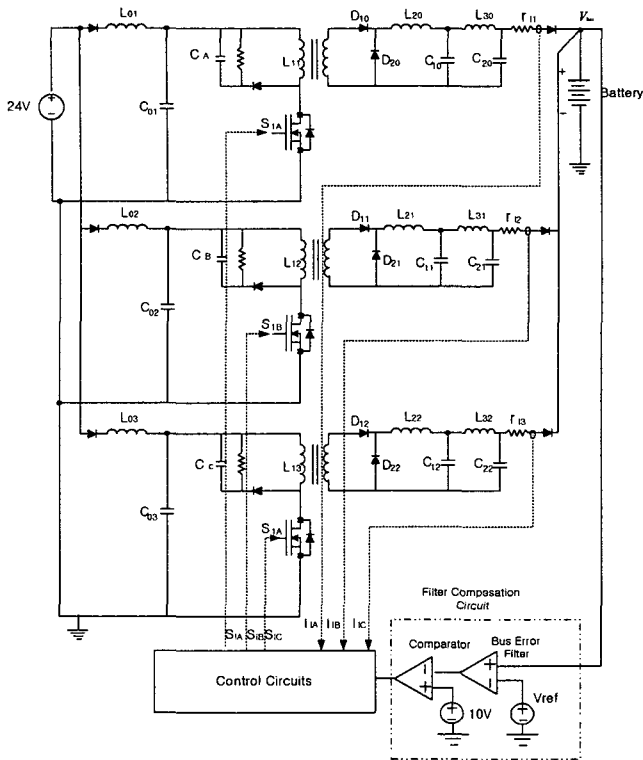


그림 8 병렬운전형 배터리 충전기 구성도
 Fig. 8. Parallel operating System Configuration of Battery Charger

운영 모니터링 S/W부는 전체 시스템을 감시하고 제어하는 기능과 데이터를 저장하는 기능을 수행한다.

충방전장치와 전지의 상태를 모니터를 통하여 집중관리가 가능하고 다양한 형태의 충방전 시험을 수행할 수 있도록 프로그램 되었다.

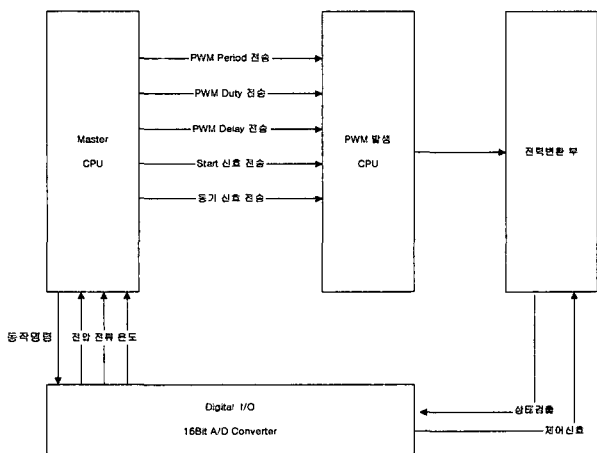


그림 9 제어모듈의 동작 구성도
 Fig. 9. Operational Configuration of control module.

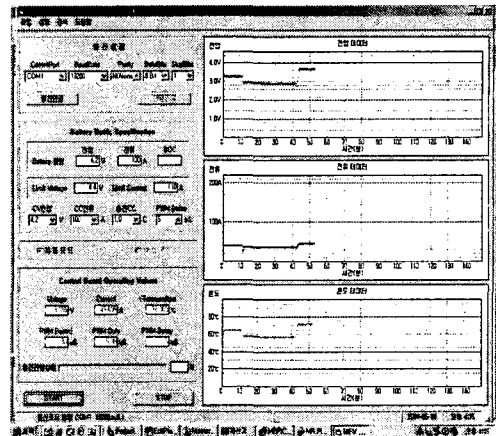


그림 10 배터리 충방전 시스템 운용 결과
 Fig. 10. A result of battery cyclers system

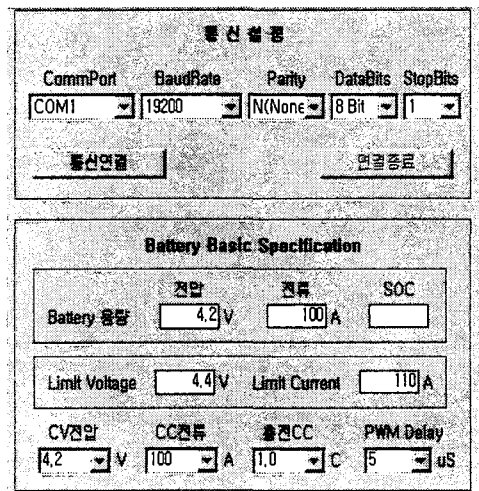


그림 11 배터리 충방전 시스템 운용 결과(설정 화면)
 Fig. 11. A result of battery cyclers system(config.)

그림 10은 제작된 시스템의 운용 화면결과이다. 전압과 전류 그리고 온도를 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 그리고 그림 11은 시스템 작동 설정 화면을 보여준다. CC/CV모드의 설정값, 병렬운전 시의 delta값 등을 초기에 설정하여 다양한 시험을 진행 할 수 있도록 구성되어 있다.

설계된 충전용 포워드 컨버터의 전력 프랜스포머에 사용된 코어의 형상은 EI 형태이며 코어의 재질은 페라이트(Ferrite) 코어로, PC40(TDK)을 사용하였다. 1차측과 2차측 권선은 각각 7[Turn]과 4[turn]으로 제작하였다.

DC24V의 입력으로부터 배터리 완전 충전전압인 4.2V의 가변출력을 갖도록 설계하였으며 이 때 하나의 컨버터에서 충전 가능한 전류는 50A가 되도

록 설정하였고 스위칭 주파수, f_s 는 30kHz로 설정하였다. 제작된 파워드 컨버터는 모두 독립적인 동작이 가능하며 출력전압, 출력전류 및 기준 출력전압 신호를 입력받는다.

방전용 파워드 컨버터의 권선비는 1차측과 2차측 권선이 각각 1[Turn]과 10[Turn]으로 제작되었다. 4.2V/120A 의 전지 입력을 받아 12V/35A의 출력을 내야하므로 약 600W급으로 설계되었다.

5. 결 론

HEV용 2차전지의 강력한 후보로 지정되고 있는 리튬 폴리머 전지(120Ah)의 충전시 저전압 대전류 전력의 정밀제어 문제점을 해결하기 위하여 50A 단위모듈 3개로 구성된 병렬운전 방식을 사용하였다. 충방전 장치와 전지의 상태를 모니터 프로그램 개발을 통해 집중관리가 가능하도록 하였으며, 실시간 모니터링을 통해 시스템의 안정된 동작을 확인할 수 있었다.

방전시에는 시스템내의 발열 문제를 해결하기 위해 방전 전류를 계통과 연계하여 귀환시킴으로써 시스템 발열문제가 최소화되도록 하였다.

이 논문은 산업자원부 신기술실용화기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 변수일, "배터리의 이론과 실제", 청문각, 2003
- [2] Shinuo Luo, Zhihong Ye, Ray Lee Lin, and Fred C. Lee, "A Classification and Evaluation of Paralleling Methods for Power Supply Modules", IEEE PESC, 1999, pp901~908.
- [3] 김희준, "스위칭전원의 기본설계", 성안당, 2002
- [4] "Hee-jun Kim, "Soft switching switch mode power supply", Proceeding of KIEE. Vol. 46. No 2, 1997, pp36~41
- [5] Suh ,Ki-Young, Koo Heun-Hoi, Lee Hyun-Woo, "Two transistor forward converter type low voltage high current DC power supply", kungnam Univ. RIET vol. 15, No1, 1997, pp103~114