

### 48V용 납축전지 급속 충전기

안석호\*, 장성록\*, 류홍제\*\*, 모석천\*\*\*, 오세원\*\*\*, 박찬중\*\*\*  
 과학기술연합대학원대학교\*, 한국전기연구원\*\*, (주)코디에스\*\*\*

### Rapid Charger for 48V Lead-acid Battery

S.H Ahn\*, S.R. Jang\*, H.J. Ryoo\*\*, S.C Mo\*\*\*, S.W. Oh\*\*\*, C.J. Park\*\*\*

University of Science and Technology\*, Korea Electrotechnology Research Institute\*\*, KODI-S Co., LTD.\*\*\*

**Abstract** - This paper describes the development of the rapid battery charger for lead-acid battery. Due to heat which is caused by increased internal resistance during charging, it is difficult to increase charging current for the lead-acid battery. In this paper, the rapid charging algorithm which apply short discharging pulse current during charging procedure is developed and it makes the ion layer, which is generated during charging time, disappeared into electrolyte. The prototype battery charger based on resonant converter is developed for 48V battery charger and test procedure is introduced.

#### 1. 서 론

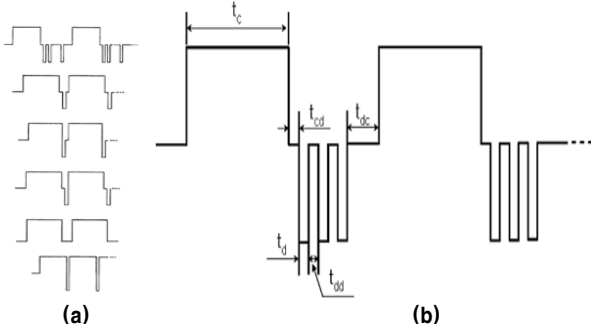
산업체에 널리 사용되는 배터리중 하나인 납축전지는 가격이 저렴한 장점으로 현재에도 전동지게차, 자동차, AGV 등 다양한 분야에서 경쟁력을 가지고 있다. 이러한 납축전지의 포맷 또는 급속 충전을 위해서는 충전 전류를 증가시켜야 하는데, 리튬-이온 배터리와는 달리 연축전지의 경우 충전시의 이온층의 형성 등으로 내부저항이 증가되게 되고 배터리의 발열로 인해 충전전류를 높이기 어렵고 또한 배터리의 발열은 수명과도 밀접한 관계가 있다. 본 논문에서는 이러한 이온층의 형성으로 인한 내부저항 증가 및 발열 문제를 해결하고 결과적으로 높은 충전 전류로 급속 충전이 가능한 급속 충전기의 설계 및 제작에 대하여 다룬다. 배터리 충전전류를 펄스 형태로 인가하고, 충전 펄스 전류 중간에 짧은 방전 펄스 전류를 발생시켜 충전 중에 형성된 배터리 단자 사이의 이온층을 방전펄스로 분해시켜 궁극적으로 배터리의 발열을 억제하고 충전 전류를 높여 급속충전이 가능한 방식이다. 이러한 급속 충전 방식은 납축전지에 가장 효과적으로 적용할 수 있다.

본 논문에서는 지게차와 무인 이송 설비에 탑재 되는 배터리의 급속 충전을 위한 48V, 400A 급 배터리 급속 충전장치를 설계 하고 이를 이용한 실험결과를 소개한다. 실험 결과 일반적으로 0.1C(1시간 사용전류의 10%율)로 충전하는 배터리의 충전전류를 0.6C까지 올릴 수 있었으며, 결과적으로 약 1/2.5-1/3배 정도로 충전시간이 짧아짐을 확인하였다.

#### 2. 급속 충전기 설계

##### 2.1 급속 충전 알고리즘

그림 1(a)는 다양한 형태의 충전 펄스를 보여준다. 앞서 서술한 바와 같이 충전전류 펄스 사이에 짧은 방전 펄스를 인가함으로써, 이온층의 형성을 억제하고 내부저항의 증가를 막아 높은 충전 전류를 발생시킬 수 있으며, 각 배터리의 특성에 맞는 충방전 펄스 프로파일은 그림 1에 나타난 것처럼 다양한 형태로 나타날 수 있으며, 반복적인 실험과 분석으로 찾아 최적화 하는 과정이 필요하다.



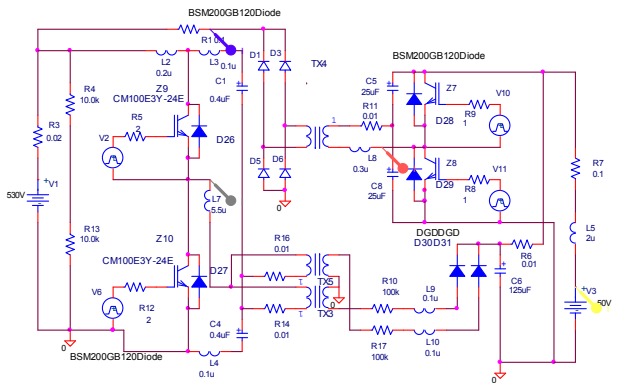
〈그림 1〉 급속 충전을 위한 충방전 펄스(a) 다양한 형태의 충전 전류(b) universal programming이 가능한 펄스 전류의 형성

본 논문에서는 그림 1의 (b)와 같이 각 충전 전류와 방전전류 폭, 각 충방전 펄스 전류 사이의 시간 및 휴지시간을 자유롭게 프로그래밍 할 수 있는 기능을 프로세서 내에 구현하여 원하는 형태의 프로파일을 쉽게 찾아 낼 수 있도록 구현하였다. 이때 방전 전류의 폭을 너무 키우게 되면 오히려 충전 효율을 저하시킬 수 있으므로 주의하여야 한다.

##### 2.2 Resonant Converter 설계

그림 2는 48V(100A)급 배터리 충전을 위한 시뮬레이션 모델로 충전 펄스 전류와 방전 펄스 전류의 발생을 위해 부하공진형 ZCS converter를 채택하였다. 방전시의 방전 전류는 DC단으로 귀환 되어 커패시터에 충전된 후 다음 충전전류로 그 에너지가 전달되도록 구성함으로써 방전시의 손실을 최소화하고 전체 효율이 높아질 수 있도록 구현되었다. 또한 이러한 방전부의 구성은 가격 절감을 위해 짧은 방전 펄스 전류를 DC단 쪽으로 회생하지 않고 저항으로 소비하는 형태의 토폴로지 구성도 가능하며, 이 경우 어느 정도의 충전기 효율저하를 가져온다.

그림 3은 제작된 30kW급 급속 충전기로 4개의 모듈이 병렬 운전되는 형태로 구성되며, 최상위 랙에 마스터 제어가 탑재되어 전체를 관장하는 구조로 구현되어 있다.



〈그림 2〉 급속충전기의 하드웨어 구조



〈그림 3〉 제작된 4병렬 운전 급속 충전기(72V, 400A급)

### 3. 실험 결과

그림 4는 충전을 위한 공진형 컨버터의 1차측 공진 전류와 이의 발생을 위한 게이트 신호를 보여 준다. 부하공진형 방식에 의해 영전류 스위칭이 가능하며, 효과적인 단락전류 보호가 별도의 부가 회로 없이 구현되는 장점을 부수적으로 지니게 된다.

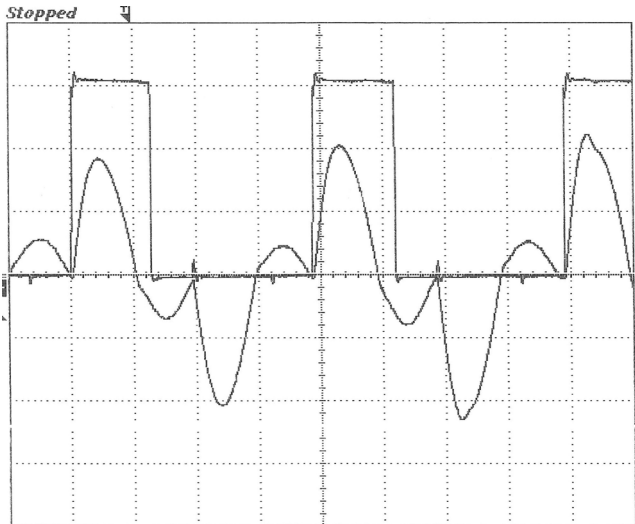
그림 5는 충방전 펄스에 의한 배터리 충전 전류이다. 본 실험에서는 하드웨어의 최악의 조건을 가정하여 실험하였으며, 모두 9개의 방전 펄스를 인가하였으나, 실제 충전시의 방전 펄스 수는 2-3개 정도면 충분하다고 판단된다. 짧은 2-3msec의 펄스 전류에도 오버슈트 없이 빠르게 전류 제어가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

그림 6은 방전 전류의 생성을 위하여 공진형 컨버터를 사용하지 않고 IGBT 소자 하나와 방전 저항으로 구성하는 저가형 방전 회로를 구성하여 방전 저항과 IGBT의 선형 영역을 이용하여 방전전류를 제어하는 방식을 사용한 경우의 실험 파형이다.

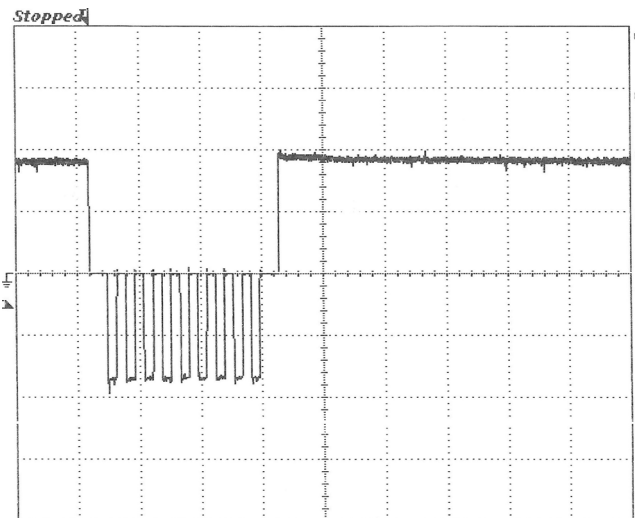
방전 전류 펄스를 다양하게 변화시키면서 측정한 파형이며, 20A~100A까지 다양한 형태의 방전 전류 지령에 대하여 제어가 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다.

이 경우 전체적인 시스템 가격을 절감할 수 있으나 방전시의 방전 전류는 방전 저항과 IGBT의 내부에서 열로 발생하므로 손실이 증가하며 회생 방식에 비하여 효율이 저하 되는 단점이 있다.

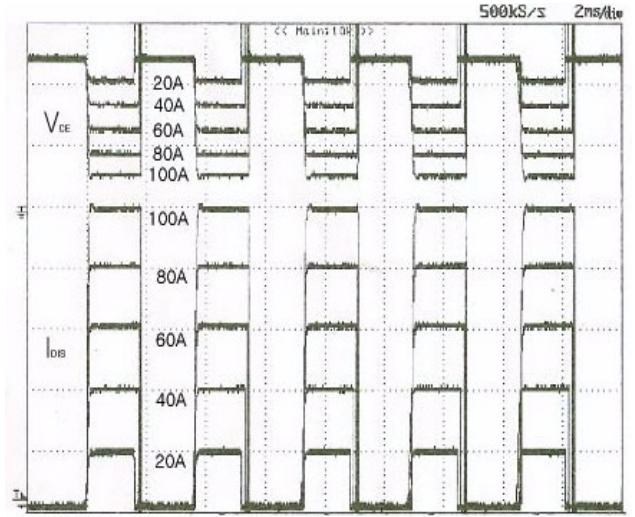
그림 7은 실제 현장에서 사용되고 있는 48V, 268Ah의 배터리를 DOD 100% 방전상태에서 충전한 실험 결과로 0.6C(165A)의 충전전류로 충전한 실험 결과이다. 현재 실제 현장에서는 0.1C의 충전전류로 충전이 이루어지고 있으나 제작된 급속 충전기에 의해 실험 한 결과 충전 전류를 배터리에 아무런 악영향이 발생되지 않는 상태에서 0.6C까지 올릴 수 있었다.



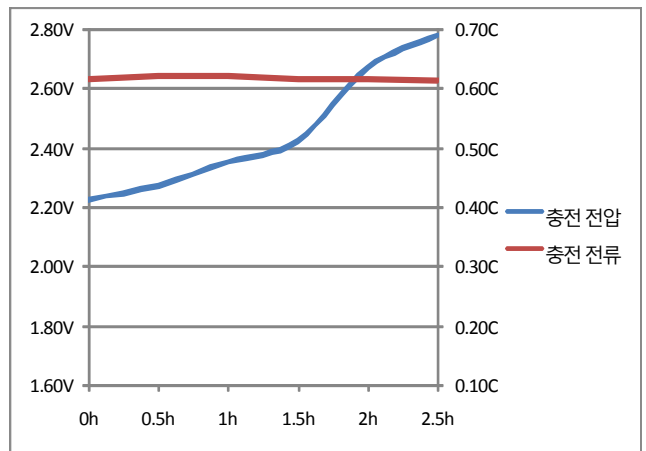
〈그림 4〉 충전시의 공진 전류 파형 및 게이트 신호  
(공진전류:50A/div., 게이트전압: 5V/div, 10us/div.)



〈그림 5〉 충방전 전류(50A/div.,10ms/div.)



〈그림 6〉 다양한 방전전류 제어 실험 결과(20A/div., 2ms/div.)



〈그림 7〉 48V, 268Ah 배터리 충전 실험 결과

기존 충전기의 충전 전류에 비하여 높은 전류로 충전이 가능함에 따라 만 충전까지 2시간 30분밖에 소요되지 않았으며, 이는 기존 충전시간을 1/2.5~1/3정도로 단축시킬 수 있었다. 여기서의 충전 전압은 셀당 전압으로 표시하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 납축전지의 급속 충전을 위한 펄스 충전 방식에 의한 배터리 급속 충전 장치의 설계 및 제작 그리고 실험 결과에 대하여 소개하였다. 제한한 급속 충전 방식은 충전 펄스 전류 사이에 짧은 방전 펄스 전류를 인가하여 충전 중에 형성된 이온층을 전해질로 확산 분해 되도록 작용하여 기존의 충전전류보다 높은 전류로 충전이 가능한 급속 충전 방식이다. 48V급 지게차배터리에 적용하기 위하여 72V, 100A 4 모듈로 구성되는 72V, 400A급 배터리 충전기를 설계 제작하였으며, 실험을 통해 성능을 검증하였다. 실험 결과 기존의 일반적인 충전 전류보다 약 6배의 충전 전류로 급속 충전이 가능하며, 충전시간은 1/2.5~1/3배 정도로 단축됨을 확인하였다. 제작된 배터리 충전기는 다양한 납축전지의 포맷 및 급속 충전 용도로 사용가능할 것으로 예상된다.

### 【참 고 문 헌】

- [1] Pordrazhansky et al, "Rapid Battery Charger, Discharger and Conditioner", US Patent 4829225, 1989.6
- [2] Aspinwell et al, "Battery Charger", US Patent 4385269, 1983.5
- [3] H.J. Ryoo et al, "급속 배터리 충전장치 개발", 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, 2006.10