

# Ni-Cd전지용 충전 알고리즘을 이용한 고속전철용 ZVZCS형 충전장치개발

최옥돈, 김연준, 박영우, 이종필  
현대중공업(주) 기술개발본부 기전연구소

## The Development of ZVZCS type Battery Charger for High Speed Trail Car with Ni-Cd Battery Charging Algorithm

U.D.Choi, Y.J.Kim, Y.W.Park, J.P.Lee

Industrial Electronics Division, Mechatronics Research Institute  
HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD

### ABSTRACT

The battery charger for high speed trail car is very important power source for the purpose of safty and system stability. it provides control power of VVVF, CVCF, DC/DC converter and inverter for traction motor.

This paper included power circuit of the ZVZCS type battery charger for high speed trail car and battery charging algorithm. Also the optimum parallel operation of 50Kw battery charger for high speed trail car, and charging control method of Ni-Cd battery illustrates validity and effectiveness through the experiments.

### 1. 서 론

고속전철용 보조전원은 VVVF 인버터, CVCF 인버터, 보조 컨버터 그리고 battery charger로 이루어져 있다. 이중 battery charger는 직류보조전원을 동력차 및 객차에서 사용하기 위해 안정된 저압 직류전원으로 변환시키는 장치로 동력차 및 객차에 연결되어 있다. 또한 열차의 안전과 신뢰성 있는 운전을 위해 전지는 항상 잘 충전되어 있어야 하며 만약 충전기에 이상이 발생하게 되면 전지들은 충전기의 기능이 정상이 될 때까지 가장 중요하고 안전에 직결되는 부하에 전원을 공급하도록 설계되어야 한다.

이러한 전력변환장치에서는 반도체 소자의 스위칭을 통해 전력을 변환하여 공급하는 방식을 주로 사용하고 있는데 본 논문에서는 최근에 많이 연구되고 있는 고효율의 ZVZCS방법을 채택하여 전력 회로를 구성하였다. 또한 전지의 안정적이고 효율적인 사용을 위해 최적의 알고리즘을 적용하여 구현하였으며 10kW급 충전기 모듈의 병렬운전을 통

해 시스템의 효율적인 운전과 유지보수의 편의성을 고려한 50Kw급 고속전철용 충전장치를 소개하고자 한다.

### 2. 본 론

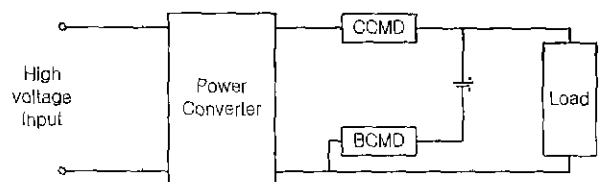
#### 2.1 보조 전원장치 시스템

보조 전원장치는 동력차와 객차에서 사용되며 그 역할은

- 동력차와 객차에 직류 부하 전원 공급
- 동력차와 객차의 battery를 최적의 상태로 충전
- 저항 제동 시에 견인/제동 시스템의 여자 초퍼 전원공급 등이며

또한 안전하고 신뢰성 있는 시스템의 동작을 위해서는 전지를 최적의 상태로 충전하는 것이 중요하다. 만약 전원이 공급되지 않는다면 보조 전원장치의 전원이 인가될 때까지 전지는 중요한 부하에 우선적으로 전원을 공급해야 한다. 즉 고속전철에서 사용되는 보조전원의 가장 중요한 역할은 전지를 충전하는 것만이 아니라 동력차와 객차에 전원을 공급하는 것이다.

그림 1은 보조 전원장치 시스템의 구성도 이다.



battery charger

그림 1 보조 전원장치 시스템

Fig. 1 An Auxiliary Power Supply System

앞에서와 같이 보조전원장치는 전지의 충전과 부하 전류를 공급하는 역할을 동시에 수행한다. 그러므

로 제어기에서는 컨버터의 전류와 전지의 충전전류를 모니터 하여 부하전류도 공급하고 전지의 충전 전류 제한치를 넘지 않으면서 전지를 최적의 상태로 충전하도록 제어한다.

본 연구에서 적용된 보조 전원장치는 그림 2와 같이 2개의 5Kw 모듈의 병렬로 10Kw 모듈이 구성되며 이러한 10Kw 모듈의 병렬로 50Kw급 보조 전원장치를 구성하였다. 또한 병렬운전제어기법을 적용하여 각 모듈의 전류를 균등하게 배분하도록 제어한다.

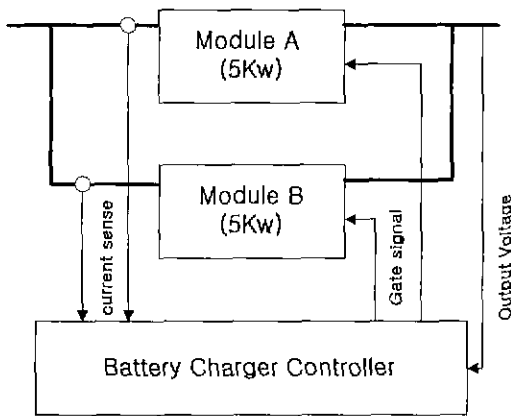


그림 2 10Kw 모듈 구성도  
Fig. 2 Block diagram of 10Kw Module

## 2.2 ZVZCS형 DC/DC Converter

고속전철 보조전원 장치 중에서 동력차와 객차의 전지 충전기 시스템의 고효율, 고 신뢰성, EMI 저감, 부피와 무게의 저감을 위해서 ZVZCS형 컨버터를 채택하였다.

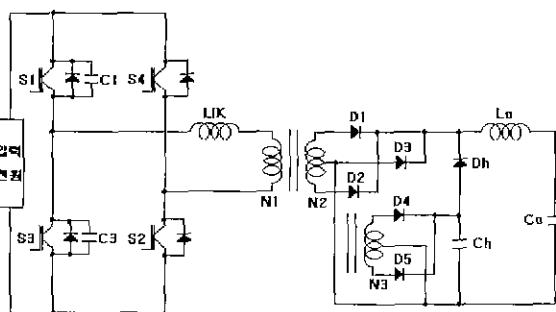


그림 3 Full Bridge ZVZCS 회로도  
Fig. 3 Full Bridge ZVZCS circuits

그림 3은 본 연구에서 채택한 5Kw급 풀 브리지 ZVZCS 회로도이다.

기존의 위상이동 방식을 이용한 풀 브리지 방식에 2차측 정류 다이오드 뒷 단에 병렬로 캐패시터를 연결하는 방법이다[2]. 이 방법은 변압기 및 소자의 기생 커패시터에 의해  $L_{lk}$  전류가 급격히 감소하는

현상을 이용하여 변압기 2차측에 의도적으로 커패시터를 연결하여 전류 감소량을 크게 만들어서 ZVZCS 현상이 생기도록 한다.[5] 변압기 2차측에 병렬로 커패시터를 연결하게 되면 변압기 누설 인덕턴스와 커패시터의 공진에 의한 불필요한 공진 현상이 생길 수 있는데 이를 방지하기 위하여 변압기에 권선을 추가하게 된다.

표 1 Power stage 설계 규격  
Table 1 design specification of power stage

항 목	설계 규격
$P_{out}$	$50Kw/10 = 5Kw$
$V_{in}$	$670Vdc \pm 25Vdc$
$V_{out}$	82Vdc
$F_{sw}$	33kHz

그림 4는 ZVZCS Full Bridge Converter의 기본적인 동작 파형을 보여준다. CH1은  $I_p$ 로서 1차측 변압기 전류 파형이고 CH2는 2차측 정류 다이오드의 전압 파형으로 약간의 링잉현상이 있는 것을 볼 수 있고 CH3은  $V_{ch}$ 의 파형으로 ZCS를 이루기 위해 충전전압이 적절히 이루어지는 것을 볼 수 있다.

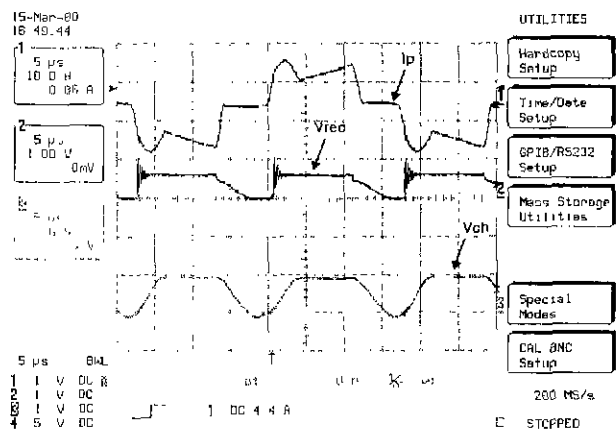


그림 4 ZVZCS Full Bridge(FB) Converter의 동작 파형  
Fig. 4 The waveform of ZVZCS FB Converter  
(CH1 : 20A/div., CH2, 3 : 100V/div.)

## 2.3 병렬운전 및 충전방식

기존의 여러 가지 병렬운전 방식 중에서 부하전류분담제어를 위해서 전류제어 방식을 채택하였으며, 전류제어방식에는 최대치 전류 제어(peak current control), 평균 전류 제어(average current control), 충전 전류 제어(charge current control) 방식이 있는데 여기서는 제어기의 안정성과 구현의 용이성 때문에 충전 전류 제어방식(charge current control)방식과 interleaving방식을 이용하여 컨버터

의 위상을 이동시킴으로써 입출력 전류를 위상 각에 따라 상쇄시켜 리플전류를 감소시켰고 필터의 크기도 줄였다[6]. 그림 5에서 보듯이 모듈간에 위상이 180도 차이가 있으므로 출력단 전류리플이 감소되는 효과를 얻을 수 있다.

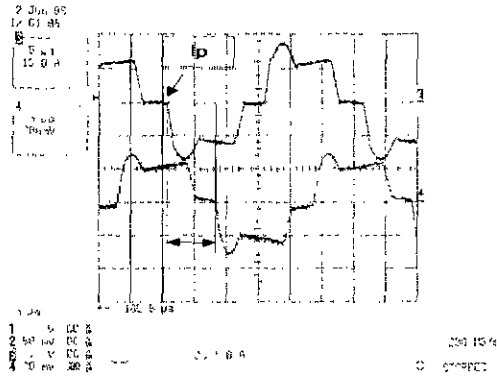


그림 5 1차측 변압기 전류(10A/div.)  
Fig. 5 Primary transformer current

그림 6은 개발된 50Kw 시스템의 부하변동에 따른 전류분담을 시험결과를 나타낸 것으로 각 10Kw 모듈의 전류 제어신호를 공유함으로써 10%(5Kw), 50%(25Kw), 100%(50Kw) 부하에 대해서 1/5씩 거의 균등하게 전류를 분담하는 것을 알 수 있다.

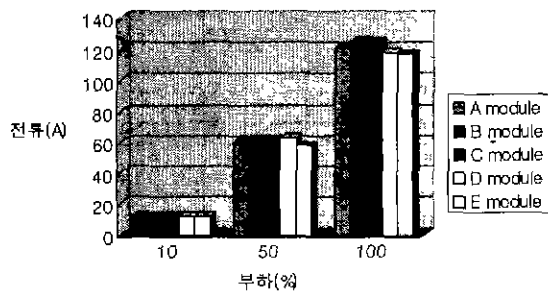


그림 6 병렬운전 시 부하 분담  
Fig. 6 Load sharing when parallel operation

본 연구에서는 축전지의 충전 동안에 고려해야 되는 중요한 요소 중 지나친 축전지의 온도상승과 내부 압력의 증가에 대한 안전성과 최적의 충전상태를 유지하기 위해 축전지의 열 발생, 가스 발생, 충전 수용력 등 축전지의 전기화학 특성 및 축전지의 온도와 사용횟수 등을 고려하여 분석한 알고리즘 중 CC-CV (2단계 일정전류-일정전압) 충전 방법을 적용하였다. 이 방법은 일정 전류 충전으로 충전 속도 및 열 발생을 줄일 수 있으며 종단의 전압 제어로 가스발생 단계에서 발생하는 급격한 온도 상승을 줄임으로써 축전지의 안정적인 사용 및

수명 연장의 효과를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그림 7은 실제 충전기에 전지를 결합하여 충전시험 결과로서 충전전류와 전압을 보여주고 있다.

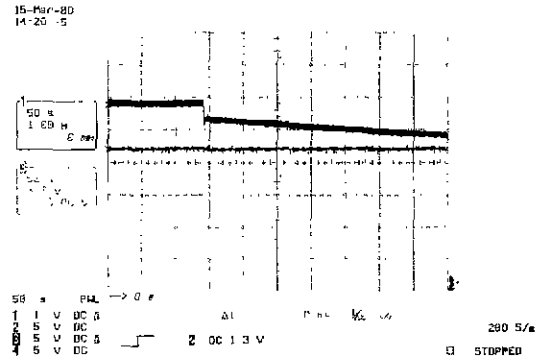


그림 7 battery 충전 전류와 전압  
Fig. 7 Battery charging current and voltage

CC모드에서 CV모드로 전환될 때 전류가 CV모드에서 줄어드는 것을 볼 수 있다. 즉, 초기에는 일정 전류로 충전하는 CC모드로 동작하다가 기준전압까지 전지가 충전하면 일정전압으로 충전(CV모드)하는 것을 보여준다.

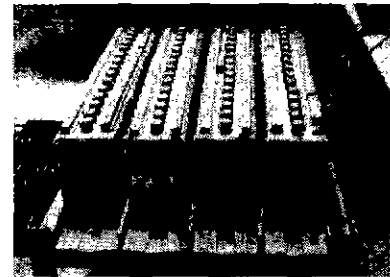


그림 8 Ni-Cd 축전지  
Fig. 8 Ni-Cd battery

그림 8은 본 연구에서 사용된 Ni-Cd 전지 사진이고 그림 9는 10Kw 모듈이다. 또한 그림10은 그림9의 10Kw 모듈 5개가 병렬로 연결된 50Kw급 고속전철용 충전장치의 실물사진이다.

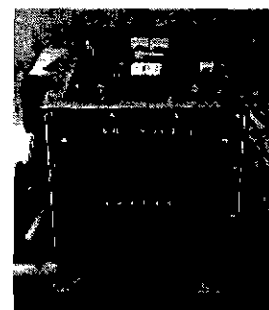


그림 9 10Kw 모듈  
Fig. 9 10Kw module

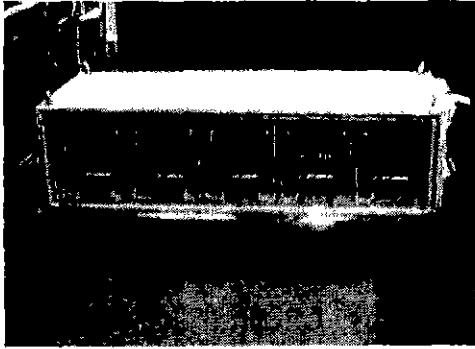


그림 10 50Kw 모듈  
Fig. 10 50Kw module

### 3. 결 론

본 연구에서는 기존의 직류전원 변환장치에 흔히 적용되는 풀 브리지 DC/DC 컨버터에 ZVZCS 방식을 적용하여 시스템의 부피와 무게를 저감하고 효율을 향상시켰다. 또한 시스템의 유지보수를 개선하기 위해 모듈화 하여 부하 전류를 균등하게 부담하도록 충전전류 제어기법을 이용한 병렬운전기법과 interleaving 방식의 적용으로 출력단 리플 전류 성분을 반으로 줄여 필터 사이즈를 줄일 수 있었다. 그리고 본 연구에서 적용한 전지의 충전 알고리즘은 2단계로 초기에는 일정전류로 충전, 즉 CC모드로 충전하다가 기준전압까지 전지가 충전하면 일정전압으로 충전(CV모드)하는 CC-CV충전 모드운전을 이용하여 Ni-Cd 전지를 효율적으로 충전할 수 있었다. 성능 면에서는 국내에서 도입된 TGV Battery Charger의 효율과 동일한 수준을 유지하면서 크기와 무게가 실질적으로 상당히 감소하였으며 유지보수의 편의성을 대폭 개선한 시제품으로 동력차용 10Kw 모듈과 객차용 50Kw 모듈을 제작하였다. 앞으로 부하시험과 상위제어기와와의 인터페이스 및 제어기를 추가하여 실제로 고속전철에 탑재하여 시험을 실시할 예정이다.

본 연구는 서울대학교 전력전자시스템 연구실과 공동으로 연구되었음

### 참 고 문 헌

- [1] J.A.Sabate, V.Vlatkovic, R.B.Ridley, F.C.Lee and B.H.Cho, "Design Consideration for High-Voltage, High-Power, Full-Bridge, Zero-Voltage-Switched PWM Converter", APEC'90, pp.275-284, 1990.
- [2] J.G.Cho, J.W.Baek, D.W.Yoo, H.S.Lee and G.H.Rim, "Novel Zero-Voltage and

Zero-Current-Switching(ZVZCS) Full Bridge PWM Converter Using Transformer Auxiliary Winding", PESC'97, pp.227-232,1997.

[3] A. Ghahary, and B. H. Cho, "Design of a Transcutaneous Energy Transmission System Using a Series Resonant Converter," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 7, No.2, April, 1992.

[4] Unitrode Product & Applications Handbook 1995-96, pp. 10-86~10-96, 1995.

[5] 고속전철 보조전원장치 개발 (2차년도) 1998.

[6] 고속전철 보조전원장치 개발 (3차년도) 1999.