

# 더 형 core를 사용한 비접촉식 충전장치에 관한 연구

\*이광운, 신태성, 전성준, 조규형\*\*  
부경대학교, 한국과학기술원\*\*

## Contactless Battery Charger with a 더 type Core

\*Kwnag-woon Lee, Tae-Sung Shin, Seong-Jeub Jeon, Gyu-Hyeong Cho\*\*  
Pukyong National University, Korea Advanced Institute of Science and Technology

### Abstract

Contactless battery charger with a "더" type core is proposed in this paper. The proposed take-apart transformer maintain a high coupling coefficient in spite of air gap. The ZV-ZCS method is used for the efficiency and stable operation of the system.

### 1. 서론

최근에 비접촉식 충전기는 전기장동차의 안전한 충전이나 가전제품의 충전을 위해 많이 연구되고 있다.

보통의 충전 방식은 차량에 탑재된 배터리를 충전하기 위해 충전기로부터 도체를 가져다 배터리 단자에 연결해서 충전을 한다. 이때 대전류가 흘러 접촉부가 손상을 입기 쉽고 다습한 환경에서는 사용하기가 힘이 든다.

본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위해 자기장을 이용해 에너지를 전달하는 비접촉식 충전기의 연구를 수행하였다.

비접촉식 충전기에 사용되는 변압기는 일반적인 컨버터의 변압기와는 달리 1차, 2차가 분리되어 있고, 각각 충전기와 피충전기에 존재함으로 약간의 공극을 가지게 된다.

이때 공극으로 인해 변압기의 결합계수가 낮아지는 단점을 가지게 되는데 본 논문에서는 "더" 자 형식의 변압기를 사용하여 이러한 공극이 주어진 상태에서도 높은 결합계수를 유지시켰다.

또한 1차에서 2차로 넘어가는 에너지를 효율적으로 전달하기 위해 1차측 회로에 ZVZCS (Zero-Voltage Zero-Current swithcing)을 사용하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 분리형 변압기

분리형 변압기는 서론에서 언급한 것과 같이 1차와 2차가 분리되어져 있어 그 사이에 존재하는 공극에 의해 결합계수가 떨어지고 전체회로의 에너지 전달의 비효율성을 가지게 된다.[3]-[4]

따라서 이러한 공극이 존재하는 상태에서도 높은 결합계수를 가질 수 있도록 '더' 자 형태의 변압기를 만들어 실험에 사용하였다.

기존에 많이 사용이 되고 있는 E-C core 형태의 분리형 변압기와 EC core를 개조하여 만든 '더' 자 형태의 core를 비교하여 결합계수를 측정 한 결과 그림2에서 보는 것과 같이 공극이 증가할 수록 '더' 자 형태의 변압기의 결합계수가 높은 것을 알 수 있다.

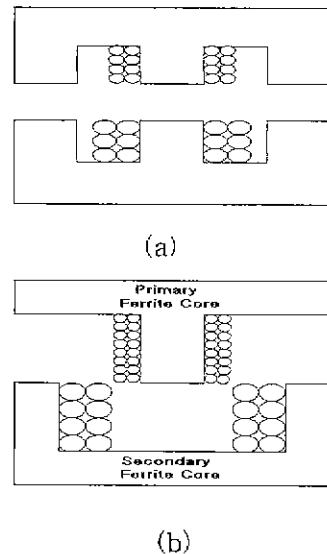


그림 1 E-C core와 "더"형 core의 비교

(a) E-C core

(b) "더"형 core

Fig. 1 The comparison of E-C core and a "더" type core  
 (a) E-C core  
 (b) "더"형 core

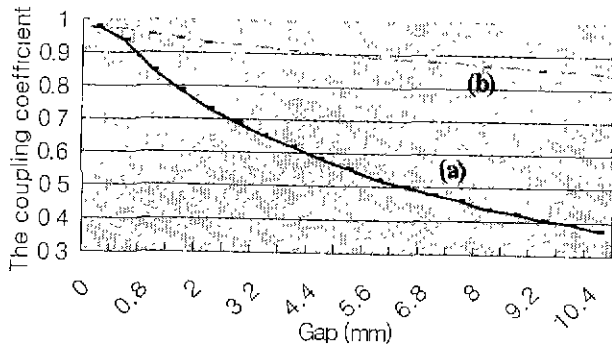


그림 2 분리형 변압기의 결합계수의 비교  
 (a) E-C core  
 (b) "더"형 core

Fig 2. The comparison of coupling coefficient of the detachable transformer  
 (a) E-C core  
 (b) "더"형 core

2.2 전력부의 동작

제안된 비접촉식 충전장치는 그림 3과 같이 full bridge inverter로 구성되어 있다.[1] 이 인버터의 우측 pole은 ZVS(Zero Voltage Switching)로 동작하고 좌측 pole은 ZCS(Zero Current Switching)로 동작을 한다. 우측 pole은  $L_k$  와  $C_2, C_4$  의 도움으로 ZVS 동작을 하고 좌측 pole은 보조회로의 도움으로 ZCS 동작을 한다.

보조회로는 그림 3의 점선으로 표시되어 있다.

ZVS나 ZCS는 스위칭 소자의 스위칭 손실을 크게 줄여주어 동작주파수를 높일 수 있게 된다.

ZV-ZCS 동작은 위상변이(Phase-shift)로 전압이 제어된다. 위상변이와 스위칭 소자의 도통순서는 Unitrode사의 UC3879가 결정한다.[2] 변압기의 2차에는 diode 정류회로와 filter inductor가 있어 평활한 직류전류를 만들어 준다.

충전기의 제어회로는 그림 4와 같이 구성되어 있다. 크게 전류지령 발생부와 전류제어부로 구분되어 있다. 전류지령 발생부는 microcontroller 87C196을 중심으로 구성되었고 87C196에 의해 주어진 디지털 전류지령은 D/A 변환기를 통해 아날로그로 만들어진다. 전류제어기는 아날로그 증폭기와 UC3879로 구성된다. 전류지령과 실제전류와의 비교 및 보상은 아날로그 제어기에서 하고 UC3879는 이에 따라 PWM을 제어한다.

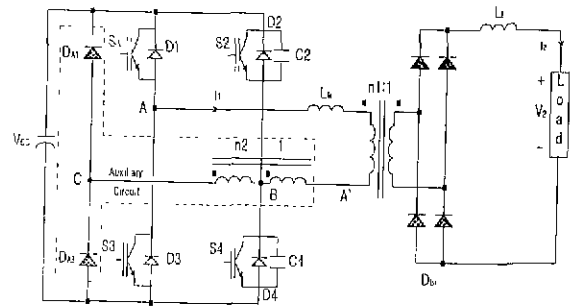


그림 3 설계된 충전기의 전력변화부  
 Fig 3. ZV-ZCS Full Bridge Converter

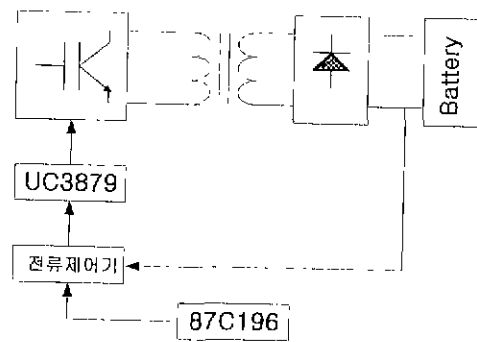


그림 4 충전장치의 제어회로 연결도  
 Fig 4 Block diagram of the battery charging control circuit

2.2.1 위상변이 PWM

변압기 1차측의 전압을 제어하기 위해 위상변이 PWM을 사용하여 평균치를 제어한다. 그림 3의 인버터가 이상적인 hard switching을 한다고 가정하면 A점의 전압은 그림 5의 (a)와 같고 B점의 전압은 (b)와 같고, A-B간의 전압은 (c)와 같다. A, B 상의 위상차  $\phi$ 에 의해 A-B간의 전압의 평균치가 변하게 되고 전압의 평균치는 식(2-1)로 주어진다. 2차측의 직류전압은 이상적인 경우 이 평균치에 주변압기의 권수비를 곱한 것과 같다.

$$avg(V_{AB}) = \frac{\phi}{\pi} V_{DC} \quad (2-1)$$

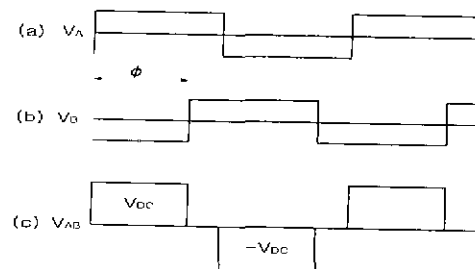


그림 5 PWM 파형  
 Fig 5. The PWM waveform

## 2.2.2 ZV-ZCS 동작

그림 3의 인버터 회로는 IGBT module을 사용하여 구성을 하였다. 인버터의 출력은 변압기를 통해서 부하측으로 전달이 되는데 변압기의 크기를 줄이기 위해 동작주파수를 높이기 되고 스위칭 손실이 커지게 된다. 이러한 스위칭 손실을 줄이기 위해 ZV-ZCS 방식을 사용하였다.

한 주기의 동작모드는 그림 6에서와 같이 다섯 개의 모드로 나누어진다. 그림 7은 이론적인 동작 파형을 보여준다.

모드 1은 S1, S4 소자가 on이 되어 전력이 1차에서 2차로 공급되는 구간의 초기상태이다. 모드 2는 S4를 끄므로 시작되는 공진구간으로 S4의 ZVS off가 이루어진다.  $L_{lk}, L_f, C_2, C_4$  가 공진회로를 구성한다. B점의 전압이  $V_{DC}$  에 도달하면 ZVS off가 이루어진다. 모드 3은 보조회로의 리셋전압으로 변압기 1차의 전류를 제거하여 전류가 "0"이 된 후 S1을 끄면 ZCS off가 된다. 이때 보조변압기 2차 측은  $D_{A3}, D_2$  를 통하여 직류측에 연결되고 직류측 전압은 보조변압기를 통해 1차측에 역으로 인가된다. D2로 전류가 흐르는 모드 3 동안에 S2를 켜면 ZVS on이 이루어진다. 모드 4는 변압기 2차만을 통하여 free-wheel하는 구간이다. 모드 5는 S3를 켜 ZCS on 하는 구간이다. 이 구간동안 1차 전류는  $L_{lk}$  에 의해 기울기를 가지고 증가하며 2차 회로에서 Df1, Df4에 흐르던 전류는 Df2, Df3으로 옮겨진다.

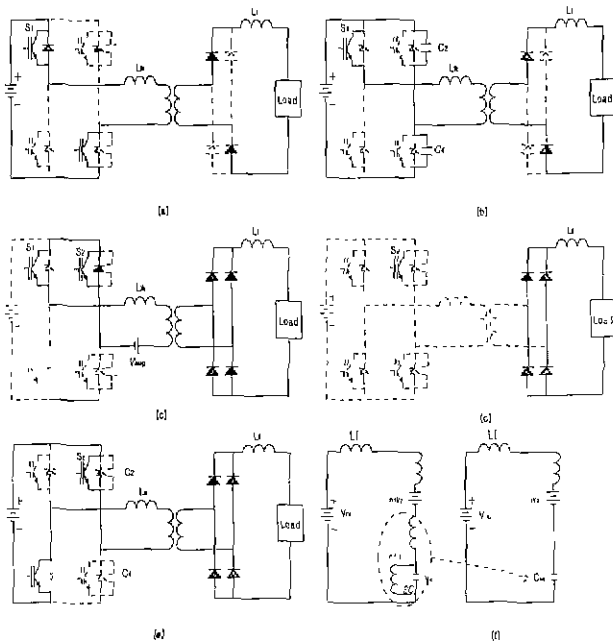


그림 6 동작 모드

Fig 6. Operation modes

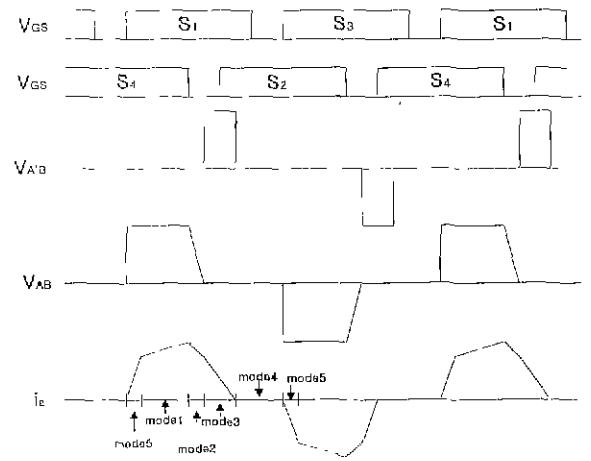


그림 7 동작 파형

Fig 7 operation waveforms

## 3. 시스템 제어

### 3.1 변압기 1차 전압의 제어

변압기 1차 전압은 위상변이 PWM에 의해 결정된다.

### 3.2 부하전류의 제어

변압기의 1차와 2차 인덕턴스가 같다고 하면 변압기와 Battery를 포함하여 1차로 환산한 등가회로는 그림 8과 같다. Battery를 일정 전압원으로 표시하고 여자인덕턴스는 매우 크고 변압기 누설인덕턴스는  $L_f$  에 비해 매우 작다고 가정하면 여자인덕턴스와 누설인덕턴스는 무시할 수 있어 전달함수는 식(3-1)과 같이 1 pole 계통으로 표시할 수 있다.

$$\frac{I_b(s)}{V_1(s)} = \frac{1}{n^2 L_f s} \quad (3-1)$$

2차 전류의 제어를 위하여 그림 9와 같이 제어루프를 구성하였다. 제어기 G1은 PI 제어기로 구성하였고 아날로그 회로로 실현하였다.

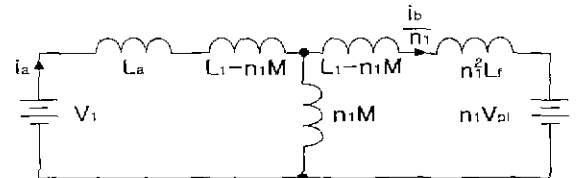


그림 8 변압기를 포함한 등가회로

Fig 8 Equivalent circuit

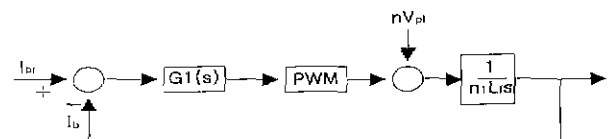


그림 9 부하전류 제어루프

Fig 9 Load current control loop

#### 4. 실험파형

그림 10은 DC-DC 변환기의 주회로 1차측 동작 파형이다. 그림 11은 보조회로 동작 파형이다. 그림 12는 2차측 정류기 동작파형으로 상단은 정류 파형이며 하단은 충전 전류파형이다.

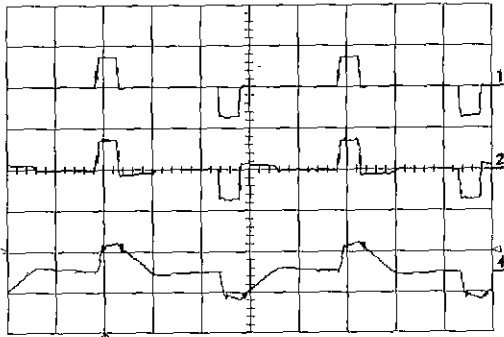


그림 10 1차측 동작파형  
브릿지 출력전압(상: 200V/div),  
변압기 1차 전압(중: 200V/div),  
변압기 1차 전류(하: 10A/div),  
시간축 5usec/div

Fig 10 The operation waveforms of the primary side.

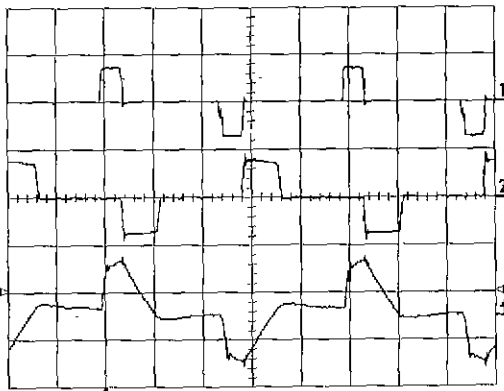


그림 11 보조회로 동작 파형  
브릿지 출력전압(상: 200V/div),  
보조변압기 2차전압(중: 200V/div),  
보조변압기 2차전류(하: 2A/div),  
시간축 5usec/div

Fig 11 The operation waveforms of auxiliary circuit

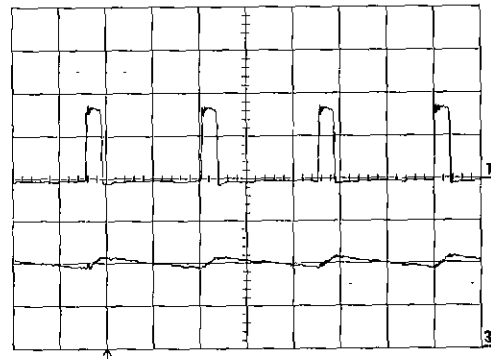


그림 12 정류단 동작파형  
정류단 출력전압(상:100V/div),  
정류단 출력전류(하: 10A/div),  
시간축 5usec/div

Fig 12 The operation waveforms of rectifier

#### 5. 결론

본 논문을 통해서 “더”형 core를 사용한 비접촉식 충전장치를 연구하였고, 실험을 통하여 동작을 확인하였다. “더”형 core를 사용하여 공극이 존재하는 상태에서도 높은 결합계수를 유지시켰고, ZV-ZCS방식을 사용하여 전력부의 손실을 감소시켰다.

#### [참고 문헌]

- [1] 전성준, 조규형, “아크용접에 적합하며 1차측 보조회로를 사용하는 영전압-영전류 직류-직류 컨버터”, 대한전기학회 전력전자연구회 춘계학술대회 논문집, pp. III-A-1 ~ III-A-5, 2000.
- [2] Unitrode, Product data book, 1997
- [3] 김창균 외 4명, “비접촉식 배터리 충전 장치용 Half-Bridge 직렬 공진 컨버터 분석 및 설계”, 대한전기학회 논문지, 제 49권, 제4호, pp. 265~271, 2000.
- [4] Hiroshi Sadamoto and Koosuke Harada, “A Novel Converter for Non-Contact Charging with Electromagnetic Coupling”, IEEE A TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL 29, NO 6, NOVEMBER 1993