

# DMFC를 사용한 전기자전거 배터리 충전장치

(Battery charging device using DMFC for an electric bicycle.)

김영호\* · 지용혁 · 김재형 · 원충연 · 김영렬

(Young-Ho Kim · Young-Hyok Ji · Jae-Hyung Kim · Chung-Yuen Won · Young-Real Kim)

## Abstract

In this paper, the battery charging device using DMFC(Direct Methanol Fuel Cell) for electric bicycle is proposed. In the proposed system, phase-shift full-bridge converter is used as a battery charger by boosting the 12V DMFC output voltage up to 36V. By using the phase-shift technique, the ringing of the transformer is reduced and the efficiency of the converter can be improved. The operation modes of proposed phase-shift full-bridge converter is analyzed and verified by the simulation and the experimental results.

## 1. 서론

최근 들어 환경문제에 대한 관심이 증가하면서 선진국을 중심으로 환경오염에 대한 규제가 강화되고 있다. 화석연료의 사용으로 인한 환경오염문제에 대한 우려가 높아짐에 따라 화석연료를 대체할 태양광, 풍력, 연료전지 등의 대체에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 이중 연료전지는 주변 환경에 영향을 받지 않고 소형 시스템으로도 큰 전력을 얻을 수 있어 전기를 사용한 수송수단(electric vehicle)의 동력원으로 적합하다. 본 논문에서 사용한 DMFC(Direct Methanol Fuel Cell)는 연료전극(anode)에 메탄올을 직접 공급하여 산화시킴으로써 전기를 발생시키는 시스템이다. DMFC는 낮은 온도에서 작동이 가능하고, 순수에너지밀도가 일반적인 수소저장 방법보다 높은 액체 메탄올을 직접 사용하기 때문에 부피를 작게 할 수 있다는 장점이 있어 작은 에너지원을 이용하는 휴대용 기기에 적용이 가능하다.

DMFC에서 공급하는 에너지는 위상전이 풀브리지 컨버터를 거쳐서 배터리로 충전된다. 배터리는 크게 1차전지와 2차전지로 나눌 수 있다. 1차전지는 한번만 사용하는 배터리로 수은, 망간, 알카라인 전지가 있다. 2차전지는 재충전하여 사용하는 배터리로 니켈 카드뮴, 니켈 수소, 리튬이온, 리튬폴리머, 납축전지 등이 있다.

본 논문에서는 DMFC를 이용하여 12V 납축전지 3개가 직렬로 연결되어 있는 전기자전거용 배터리 충전장치를 구현하였다. 휴대용 연료전지를 이용하여 전원공급이 어려운 장소에서도 배터리에 전원을 연속적으로 공급할 수 있도록 하였다. [1][2]

## 2. 배터리 충전장치

### 2.1 시스템 구성

그림 1은 제안된 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 본 시스템은 DMFC 스택, 배터리를 충전하기 위한 DC-DC 컨버터, 배터리, 모터 구동용 인버터로 구성되어 있다. 연료전지는 DC출력 특성을 가지고 있으며, 본 논문에서 사용한 DMFC는 12V의 정전압출력 특성을 갖는다. 위상전이 풀브리지 컨버터(Phase-shift Full-Bridge Converter)는 배터리 충전장치로 동작하여 연료전지 출력 전력을 배터리에 공급한다. DC-AC 인버터는 전기자전거의 BLDC 전동기(Brushless DC Motor)를 구동하는 전동기 구동 시스템으로 배터리와 DMFC로부터 공급되는 DC 전력을 전기 자전거에서 필요로 하는 AC전력으로 변환하는 역할을 한다. [3][6][7]

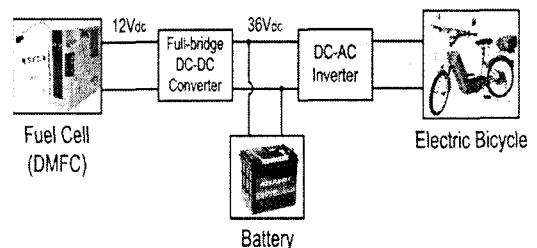


그림 1. 전체 시스템 구성도  
Fig. 1. Overall system block diagram.

### 2.2. 제안된 배터리 충전장치

그림 2는 본 논문에서 제안한 배터리 충전장치를 나타낸다. 제안된 배터리 충전장치는 위상전이 풀 브리지

의 형태로 구성되어 있으며, 12V의 입력 전압을 36V로 승압하여 배터리에 공급하는 역할을 한다. [4][5]

제안된 충전장치는 4개의 반도체 스위칭 소자로 구성된 초퍼부와 고주파 변압기, 4개의 다이오드로 구성된 다이오드 정류부, 그리고 LC필터부로 구성되어 있다.

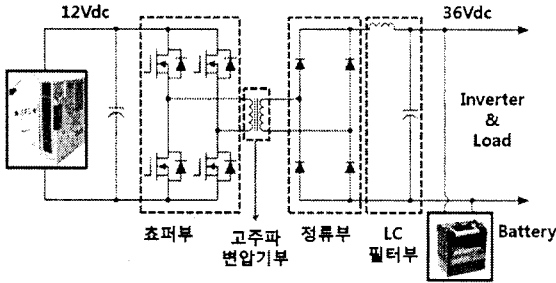


그림 2. 위상 전이 풀-브릿지 컨버터  
Fig. 2. Phase-shift Full-Bridge Converter

초퍼부에서는 높은 주파수로 스위칭 DMFC로부터 공급된 직류입력을 교류성분으로 변환한다. 고주파 변압기에서는 Chopper부로부터 출력된 전압을 승압시킨다. 정류부에서는 변압기부에서 변환된 교류전압을 정류하여 직류전압으로 변환한다. 이 정류된 직류전압을 출력 필터를 통과시켜 전압과 전류의 리플을 최소화하여 컨버터가 평활된 직류전력을 출력할 수 있도록 한다.

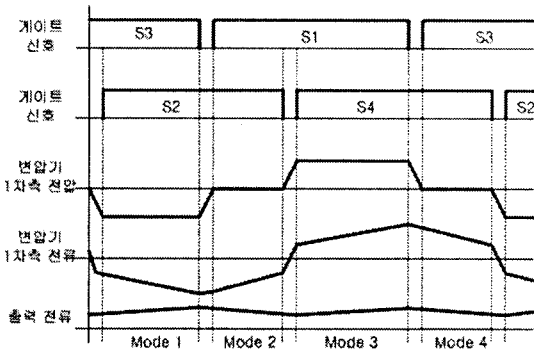


그림 3. 위상 전이 풀-브리지 컨버터 파형  
Fig. 3. Phase-shift Full-Bridge Converter

### 2.3. 동작 모드 분석

#### Mode 1

$S_2$ 와  $S_3$ 를 단락시키면, 변압기 1차 측에 음의 입력전압이 인가되어, 전류는 음의 방향으로 증가하게 된다. 변압기 2차 측에서의 음의 전류는  $D_2$ , LC필터,  $D_3$ 를 거쳐 흐른다.

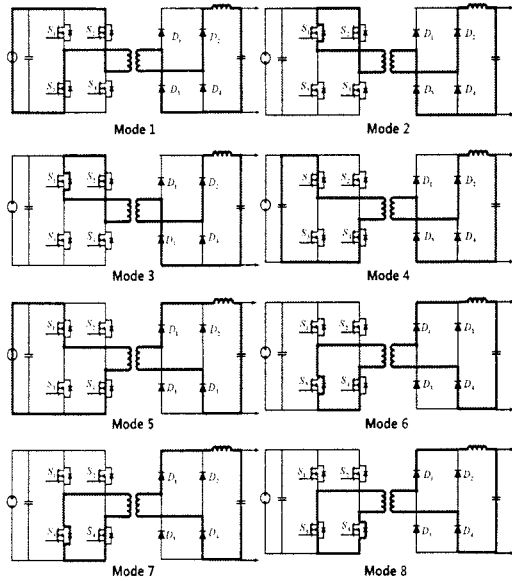


그림 4. 컨버터, 다이오드 전류 흐름도  
Fig. 4. Current flow of the converter and diode

#### Mode 2

$S_3$ 와  $S_1$  사이의 dead time 구간으로 1차 측에 누설 인덕턴스에 축적되었던 에너지가 2차 측으로 방출하게 되며, 1차 측 양단에 인가되는 전압은 0으로 된다.

#### Mode 3

$S_3$ 를 개방,  $S_1$ ,  $S_2$ 를 단락시키면, 변압기 1차 측 인덕터는 source가 되어 축적했던 에너지를 방출한다. 이때 전류는  $S_1$ 의 다이오드,  $S_2$ 를 거쳐 감소한다. 변압기 2차 측의 출력단 인덕터는 source로 작용하고 전류는  $D_3$ ,  $D_1$ 을 통하여 흐르며 감소한다.

#### Mode 4

$S_2$ 와  $S_4$  사이의 dead time 구간으로 1차 측에 누설 인덕턴스에 축적되었던 에너지가 2차 측으로 방출하게 되며, 1차 측 양단에 인가되는 전압은 0이 된다.

#### Mode 5

$S_1$ 과  $S_4$ 를 단락시키면, 변압기 1차 측에 양의 입력전압이 인가되어, 변압기 1차 측 전류는 양의 방향으로 증가하게 된다. 변압기 2차 측에서의 양의 전류는  $D_1$ , LC필터,  $D_4$ 를 거쳐 흐른다.

#### Mode 6

$S_3$ 와  $S_1$  사이의 dead time 구간으로 1차 측에 누설 인덕턴스에 축적되었던 에너지가 2차 측으로 방출하게 되며, 1차 측 양단에 인가되는 전압은 0이 된다.

#### Mode 7

$S_1$ 를 개방하고  $S_3$ ,  $S_4$ 를 단락시키면, 변압기 1차 측 인덕터는 source가 되어 축적했던 에너지를 방출한다. 이때 전류는  $S_1$ 의 다이오드,  $S_2$ 를 거쳐 감

소한다. 변압기 2차 측의 출력단 인덕터는 source 로 작용하고 전류는  $D_1$ ,  $D_1$ 을 통하여 흐르며 감소한다.

### Mode 8

$S_1$ 와  $S_2$  사이의 dead time 구간으로 1차 측에 누설인덕턴스에 축적되었던 에너지가 2차 측으로 방출하게 되며, 1차 측 양단에 인가되는 전압은 0이 된다. [4][5][6][7]

### 3. 시뮬레이션 결과

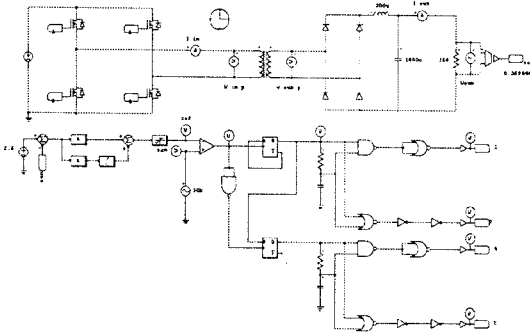


그림 5. 시뮬레이션 회로도  
Fig. 5. Simulation schematic

본 논문에서는 제안된 배터리 충전장치를 확인하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다

그림 5는 PSIM 시뮬레이션 회로도를 나타내고 있다.

전압제어는 일반적인 PI제어기로 구현하였으며, 플립플롭과 논리게이트를 이용하여 위상을 천이시켜 최종 게이트 신호를 발생한다.

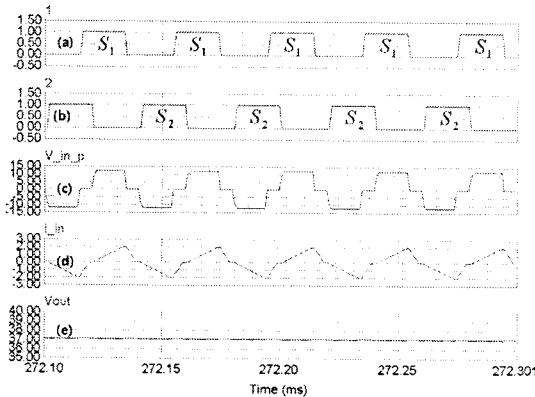


그림 6. 시뮬레이션 결과파형  
Fig. 6. Simulation result

그림 6에 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그림 6의 (a)와 (b)는 각각 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 의 게이트 신호를 나타내고 위상천이에 따라서  $S_1$ 과  $S_2$ 가 겹치는 부분이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 6의 (c)는 변압기 1차측의 전압파형으로 위상천이에 의해  $S_1$ 과  $S_2$ 의 신호가 겹치는 구간과  $S_3$ 와  $S_4$ 의 신호가 겹치는 구간에서 0의 전압 레벨을 가지게 되어 한 주기에 총 3개의 전압레벨을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 6의 (d)는 변압기 1차측 전류의 파형으로 전류구간에서 급격한 전류의 변화가 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그림 6의 (e)는 컨버터 출력전압으로, 컨버터 출력이 정전압으로 제어되고 있음을 보여준다.

### 4. 실험결과

표 1에 배터리충전장치의 각부 파라미터를 나타내었다.

표 1. 시스템 파라미터  
Table 1. System parameters

연료전지 출력전압( $V_i$ )	12 [V]	컨버터출력전압( $V_o$ )	36 [V]
출력전류( $I_o$ )	0.2~1.3[A]	변압기 권선비( $m$ )	2 : 8
인덕턴스( $L$ )	180 [ $\mu$ H]	출력커패시터( $C$ )	470 [ $\mu$ F]
스위칭주파수( $f_c$ )	50 [kHz]	출력전압리플	360 [mV]

그림 7은 본 논문에서 제안한 배터리 충전장치의 실험 세트를 나타낸다. 제안된 배터리 충전장치는 메탄올과, 12V를 발생시키는 50W DMFC, 배터리 충전용 위상천이 DC-DC 컨버터, 그리고 3개의 납축전지를 직렬로 연결한 배터리 박스로 구성되어 있다.

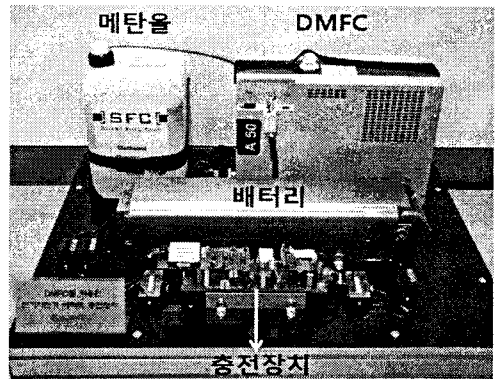
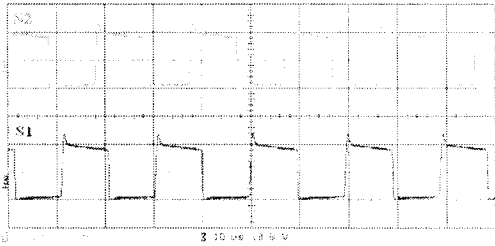


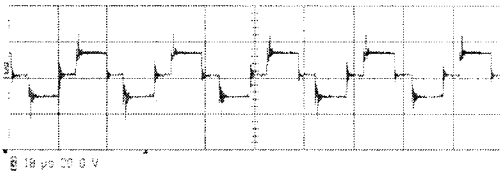
그림 7. 배터리 충전장치 구현  
Fig. 7. Implementation of Battery charging device

그림 8(a)는 위상천이 풀브리지 컨버터의 스위치 S1과 S2의 게이트 신호파형을 나타낸다. S3와 S4의 게이트 신호는 각각 S1과 S2의 게이트 신호가 반전되어 나타나게 되며 약 40도 정도 위상 천이되어 동작함을 확인할 수 있다. 그림 8(b)는 변압기 1차측 전압을 나타낸다. 위상 천이된 동작모드에 따라서 변압기 1차측 전압은 한 주기에 3개의 전압레벨이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 무부하시 배터리 충전장치의 동작에 따른 배터리 전압, 컨버터 출력전류(b), 배터리 전류(c)를 나타낸다. 충전장치 동작시 배터리 전압은 컨버터 출력전압(a)으로 나타나게 되며, 전류는 컨버터 출력으로부터 배터리로 흐르게 되므로 컨버터 출력 전류(b)는 양으로 나타나게 되며 배터리 전류(c)는 같은양의 음의 전류를 갖게 된다.



(a) S1, S3의 게이트 신호파형



(b) 변압기 1차측 전압파형

그림 8. 위상천이 풀 브리지 컨버터 각부 파형  
Fig 8. Waveforms of phase-shift full-bridge converter

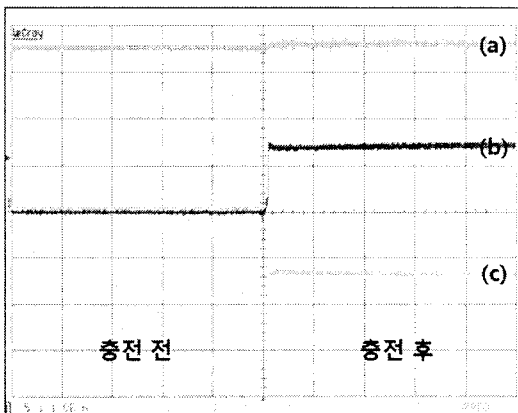


그림 9. 무부하시 배터리 충전 동작  
Fig9. Charging operation without load

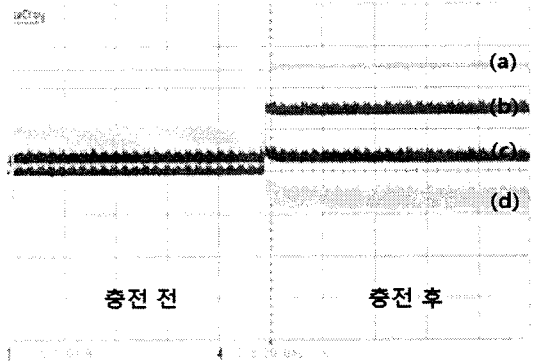


그림 10. 자전거운전시 배터리 충전 동작  
Fig. 10. Charging operation with bicycle load

그림 10은 일정 부하시에 배터리 충전장치의 동작에 따른 각부 파형을 나타낸다. 충전 시 컨버터 출력 전압(a)이 배터리 양단의 전압이 되고, 컨버터 출력이 부하에 전력을 공급하고, 잉여 전력을 배터리에 충전하게 된다. 그리고 컨버터 출력전류(b)에서 부하전류(c)를 뺀 잉여 전류가 배터리전류(d)로 나타나게 된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 DMFC를 사용한 전기자전거용 배터리 충전장치를 제안하였다. 제안한 전기자전거용 배터리 충전장치는 위상천이 풀브리지 컨버터로 구성되어 연료전지의 낮은 전압을 승압하여 배터리를 충전한다.

위상천이를 사용하여 소프트 스위칭 함으로써 일반적인 풀브리지 컨버터에서 발생하는 전류의 링잉성분을 줄이고 효율을 개선하였다.

본 논문에서는 충전장치를 제안하고, 그에 따른 동작 모드 분석을 수행하였으며, PSIM 시뮬레이션 및 실험을 통하여 동작 특성을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] 김희탁, "휴대용 연료전지의 기술동향", 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비 제19권 제2호, 2005, 4.
- [2] 정두환, 이창형, 김창수, 신동열, "직접메탄올 연료전지 발전원리 및 개발 현황", 한국태양에너지학회 98 창립20주년기념 학술대회는문집, 1998, 8.
- [3] 정규범, "배터리 충전기용 영전압 PWM 컨버터", 전력전자학회, 전력전자학회논문지 제3권 제4호, 1998, 12.
- [4] 김하식, 김수석, "FB ZVS PWM 컨버터의 운전특성에 관한 연구", 서울산업대학교논문집 제39호, 1994, 7.
- [5] 김하식, 김수석, "영전압 스위칭 PWM 컨버터의 최적설계에 관한 연구", 서울산업대학교논문집 제39호, 1995, 7.
- [6] M.M. Morcos, Curtis R. Mersman, G.D. Sugavanam, Norman C. Dillman, "Battery Chargers for Electric Vehicles", IEEE Power Engineering Review, November 2000.
- [7] J.A. Sabate, V. Vlatkovic, R. B. Ridley, F.C. Lee and B.H. Cho, "Design Considerations for High-Voltage High-Power Full-Bridge Zero-Voltage-Switched PWM Converter", IEEE, 1990.