

# FCEV 구동을 위한 DC-link 최적 제어가 가능한 양방향 DC-DC 컨버터 설계

고안열\*, 김도윤\*, 황정필\*, 원일권\*, 원충연\*  
성균관대학교\*

## Design of Bidirectional DC-DC Converter using Optimal Control DC-link for FCEV Drive

An Yeol Ko\*, Do Yun Kim\*, Jung Pill Ha\*, Il Kuen Won\*, Chung Yuen Won\*  
Sungkyunkwan University\*

### ABSTRACT

화석 연료의 고갈과 유가 급등으로 인해 자동차 업체에서는 친환경 차량 개발에 힘쓰고 있다. FCEV는 차량 구동용 전동기에 필요한 에너지를 연료전지를 통해 공급받게 된다. 하지만 연료전지의 특성상 연료전지와 배터리를 같이 사용하게 된다. 본 논문에서는 일반적인 Half bridge 타입의 양방향 컨버터에 스위치를 추가하여 양방향 buck, boost가 가능한 컨버터를 설계하였다. 전동기 구동용 인버터는 전압형 인버터가 사용되는데 전압형 인버터에서 발생하는 출력은 데드타임과 스위칭 소자의 전압 강하에 의해 왜곡된 전압과 전류를 출력하게 되고 이러한 출력은 토크와 속도에 나쁜 영향을 끼치게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전동기의 속도에 따라 DC link 전압을 가변하여 공급한다.

### 1. 서론

FCEV에서 가장 많이 사용하는 연료전지는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)로써 70~100°C의 비교적 낮은 온도의 작동 범위를 가지며 짧은 반응시간과 작동시간을 가지고 있는 특징이 있다. FCEV는 연료전지의 특성상 시스템에서 DC DC 컨버터를 사용한다. 연료전지는 일반 배터리의 비해 단위체적 당 낮은 전압을 출력하고 반응속도가 느리기 때문에 연료전지만으로 시스템을 구성하기 힘들다. 일반적인 시스템에서는 연료전지 뒷단에 양방향 컨버터를 사용하여 보조전원인 배터리를 충전하는 형태로 시스템이 구성된다. 전체 FCEV 시스템에서 양방향 DC DC 컨버터의 배치에 따라 연료전지로 보조전원인 배터리를 충전하는 시스템과 연료전지와 배터리를 모두 전원으로 사용하는 하이브리드 연료전지 시스템이 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 연료전지의 출력 보조 제어가 가능한 컨버터와 인버터의 입력단인 DC link 전압의 가변 제어가 가능한 DC DC 컨버터 시스템을 제안하였다. 인버터에서 요구하는 전력제어를 위해서는 배터리와 연료전지 출력단에 스위치를 추가하여 출력 전력을 제어하는 방식을 사용하였고, DC link 전압 가변 제어를 위한 컨버터는 Half bridge 타입에 스위치를 추가하여 구성된 형식의 양방향 DC DC 컨버터를 사용하였다. 제안하는 컨버터를 사용하게 되면 입력보다 작은 전압 출력 제어가 가능하고 기존 풀 브리지 컨버터 대비 스위칭 소자의 수를 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

### 2. FCEV 구동용 양방향 DC-DC 컨버터

#### 2.1 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터

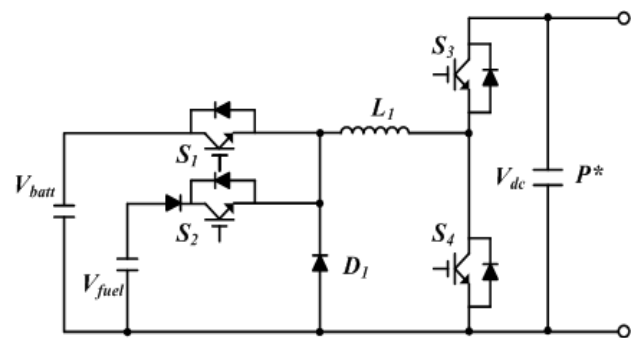


그림 1 연료전지 차량용 DC-DC 컨버터 토폴로지

제안하는 컨버터의 스위치  $S_1$ 과 스위치  $S_2$ 는 전력제어 용으로 사용 되고, 스위치  $S_3$ 과 스위치  $S_4$ 는 인버터의 입력이 되는 DC link 전압제어 용으로 사용 된다.

스위치  $S_1$ 과 스위치  $S_2$ 의 듀티비를 제어하면 DC link로 출력되는 전력을 제어할 수 있다. 연료전지의 전압이 충분히 클 때에는 스위치  $S_2$ 의 듀티를 크게 제어하여 연료전지의 전력을 출력으로 전달하게 된다. 연료전지의 전압이 낮을 때에는 연료전지의 특성으로 인해 연료전지의 전압이 회복되는 시간이 발생하게 된다. 그러한 이유로 항상 일정한 출력을 내보내기가 어려운데, 이러한 상황에서는 스위치  $S_1$ 의 듀티를 작게 제어하여 배터리와 연료전지가 같이 출력을 제어하게 된다.

스위치  $S_3$ 과 스위치  $S_4$ 는 DC link의 전압제어용으로 사용하게 된다. 전압형 인버터에서 출력은 인버터에서 사용되는 전력 반도체 스위칭 소자의 데드타임과 전압 강하 성분에 의하여 출력 전압과 출력 전류가 왜곡된 형태로 출력되게 된다. 인버터의 왜곡된 출력 전압, 전류로 인해 전동기 구동 시 손실이 발생하게 되고 전동기의 속도와 토크에 좋지 않은 영향을 끼치게 된다. 스위치의 암단락을 막아주는 데드타임이 인가되게 되면 스위치가 Turn on, Turn off 동작을 할 때 인가된 데드타임 만큼의 스위칭 시간이 지연이 되게 되며, 극전압이 왜곡된 형태로 출력되게 된다.

왜곡된 극전압은 상전압에 영향을 주고 왜곡된 각각의 상전압은 식 (1), (2), (3)과 같다.

$$V_{as\_err} = \frac{T_d + T_{on} - T_{off}}{2T_s} V_{dc} \left\{ \frac{2\sin n(i_{as}) - 2\sin n(i_{bs}) - 2\sin n(i_{cs})}{3} \right\} \quad (1)$$

$$V_{bs\_err} = \frac{T_d + T_{on} - T_{off}}{2T_s} V_{dc} \left\{ \frac{2\sin n(i_{bs}) - 2\sin n(i_{as}) - 2\sin n(i_{cs})}{3} \right\} \quad (2)$$

$$V_{cs\_err} = \frac{T_d + T_{on} - T_{off}}{2T_s} V_{dc} \left\{ \frac{2\sin n(i_{cs}) - 2\sin n(i_{as}) - 2\sin n(i_{bs})}{3} \right\} \quad (3)$$

위 식으로 인해 전류에 대한 왜곡도 생기게 되고 왜곡된 전류에 의해 발생하는 왜곡된 토크는 식 (4)와 같다.

$$T_{e\_err} = \frac{P}{2} \frac{3}{2} \left\{ \phi_f I_{qs\_err}^e + (L_{ds} - L_{qs}) i I_{ds\_err}^e I_{qs\_err}^e \right\} \quad (4)$$

이러한 왜곡된 출력은 인버터의 입력단인 DC link의 크기에 비례하게 된다. 왜곡된 출력을 보완하는 기존의 방법으로는 보상기법을 적용하였지만 제한하는 기법은 컨버터로 DC link의 전압을 제어하여 왜곡되는 출력으로 인한 전류 리플을 줄일 수 있어 전동기 구동에 최적제어가 가능하다.

## 2.2 동작모드

그림 3과 4는 각각 컨버터가 buck 모드와 boost 모드로 동작할 때의 전류 루프가 형성되는 그림이다. buck 모드로 동작 시에는 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 가 Turn on, Turn off를 반복하며 제어되고, boost 모드로 동작 시에는 스위치  $S_4$ 가 Turn on, Turn off를 반복하며 제어하게 된다. 초기 구동 시에는 컨버터가 buck 모드로 동작하여 전동기 초기 구동에 필요한 전압을 만들어주고 속도가 증가함에 따라 DC link 필요전압이 증가함으로 boost 모드로 동작한다.

전체 시스템에서는 스위치  $S_1, S_2$ 는 DC link에서 요구하는 전력을 배터리와 연료전지의 용량에 따라 제어를 담당하는 스위치로 제어되게 되고, 스위치  $S_3, S_4$ 는 DC link 전압 가변제어를 담당하는 스위치로 제어된다.

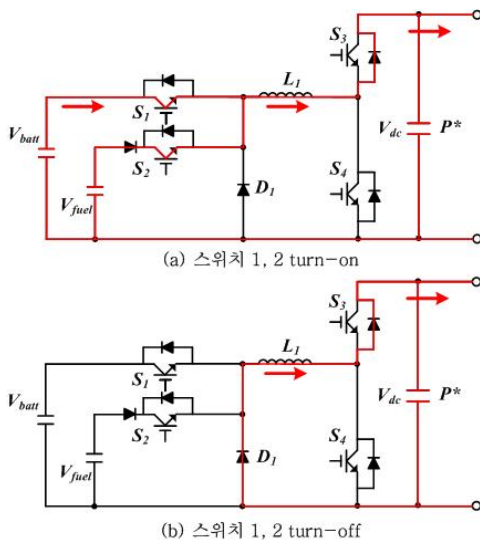


그림 2 컨버터 buck 모드 동작

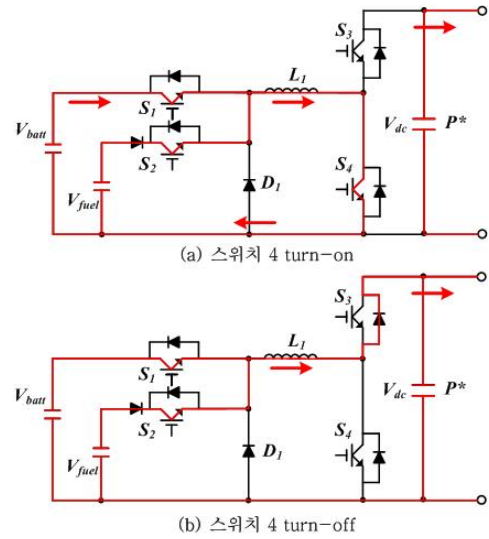


그림 3 컨버터 boost 모드 동작

## 2.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 DC link 전압제어를 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 전동기의 속도가 변함에 따라 DC link의 전압이 변하는 것을 확인 하였다.

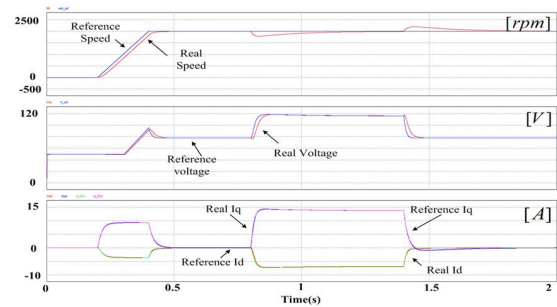


그림 4 연료전지 차량용 DC-DC 컨버터 토폴로지

## 3. 결론

본 논문에서는 FCEV 구동용 양방향 DC DC 컨버터를 제안 하였다. 제안된 컨버터로 전동기의 속도에 따라 발생하는 역기 전력에 비례하여 DC link 최적제어가 가능하여 인버터의 왜곡된 출력을 줄일 수 있다. 이 시스템으로 인해 DC link가 가변될 때 전류의 리플을 줄일 수 있어 그만큼의 손실을 줄일 수 있다.

본 연구는 2012년도 상업통상자원부의 지원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No. 20124010203300)입니다.

## 참고 문헌

- [1] K. Jin, X. Fuan, M. Yang, and M. Xu, "A Hybrid Fuel Cell Power System," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 4, pp. 1212-1222, Apr. 2009