

# IPMSM을 이용한 FCEV 구동 시스템

이규상\* 임희성\*, 신수철\*, 박종민\*\*, 이택기\*\*\*, 원중연\*  
성균관대학교\*, 에이알텍\*\*, 한경대학교\*\*\*

## FCEV Drive System using IPMSM

Kyu Sang Lee\*, Hui Seong Lim\*, Soo Cheol Shin\*, Jong Min Park\*\*, Taek Kie Lee\*\*\*,  
Chung Yuen Won\*  
Sungkyunkwan Univ\*, ARTECH CO.,Ltd\*\*, Hankyong National Univ\*\*\*

### ABSTRACT

최근 연료전지 기술의 발전으로 스택의 소형화 및 안전성이 확보됨에 따라 연료전지 자동차(FCEV)의 관심이 증가하고 있다. 본 논문에서는 변압기를 사용하는 풀-브리지 컨버터와 IPMSM 구동용 3상 인버터 구동 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 FCEV 적용 타당성을 검증 하였다.

### 1. 서론

최근에 화석연료의 부족 현상을 대체할 수 있을 것으로 예상되는 연료전지 기술은 그 사용범위가 광범위 하다. 특히, 자동차 분야에서는 차세대 자동차로써 각광받고 있으며, 효율이 높고, 환경오염이 거의 없는 등 많은 장점을 가지고 있기 때문에 국내·외에서 활발히 연구가 진행되고 있다. FCEV 구동 시스템에서는 연료전지의 특성을 고려한 절연형 컨버터를 이용하여 IPMSM 구동에 필요한 전압을 확보한다. 낮은 연료전지 전압(20~50V)을 모터 구동에 필요한 3상 인버터 입력 전압(350V)까지 승압하고 안정적인 동작과 승압을 위하여 ZVS 동작이 가능한 위상천이 방식의 풀-브리지 컨버터를 사용하였다

IPMSM 벡터 제어는 회전자의 위치가 바로 벡터 제어에 기준이 되는 자속의 위치가 되기 때문에 타 전동기에 비해 제어가 간단하다. IPMSM의 회전자 손실이 없어 효율이 좋으며, 고밀도 자속을 가지고 있어 전동기 중량에 대한 토크비가 크기 때문에 순시 토크 제어가 요구되는 고성능 전동기 제어 분야에서 사용되고 있다.

본 논문은 충방전 특성을 이용한 배터리를 추가 하여 부하의 변동과 회생에너지에 능동적인 동작이 가능함을 시뮬레이션으로 검증하였다.

### 2. 시스템 구성

#### 2.1 제안하는 연료전지 구동 시스템

그림 1은 제안하는 연료전지 구동 시스템 이다. 연료전지 자동차에서 주 동력원으로 사용되는 연료전지는 응답특성이 느리기 때문에 이를 보완하기 위하여 배터리를 이용한 충방전 시스템이 필요하다. 이를 이용한 하이브리드 시스템은 급

격한 부하 변동을 추종하며 회생에너지에 대한 저장능력을 가지고 있다.

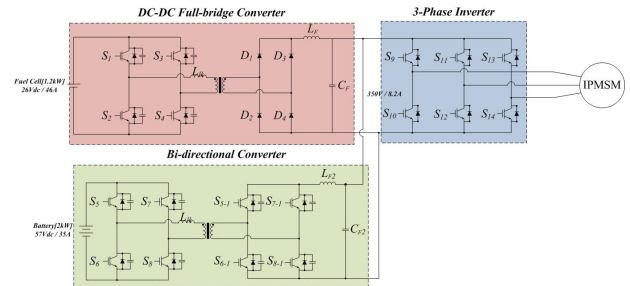


그림 1 제안한 FCEV 구동 시스템

#### 2.2 풀-브리지 컨버터

풀-브리지 컨버터는 연료전지의 특성에 따라 고승압 및 절연형으로 구성되어 있다.

본 논문에서 제안하는 풀-브리지는 하프-브리지, 푸쉬 풀 방식에 비하여 변압기의 권선수가 적고 스위치 스트레스가 적다는 장점을 갖는다.<sup>[1]</sup>

표1은 본 논문에서 설계한 풀-브리지 컨버터 파라미터이다.

표 1 DC/DC 컨버터 설계 사양

| 구분      |     | 설계 사양            |
|---------|-----|------------------|
| 스위칭 주파수 |     | 10[kHz]          |
| 변압기 사양  | 턴수비 | 2 : 35           |
|         | 필터  | 0.7[mH], 450[uF] |

#### 2.3 IPMSM 벡터제어

IPMSM은 다른 AC전동기와 달리 d축과 q축이 서로 다른 인덕턴스 성분을 지니고 있다. 이러한 IPMSM의 돌극성으로 인해 마그네틱 토크만을 이용하는 타전동기에 비해 많은 토크를 얻을 수 있다.<sup>[2]</sup> IPMSM의 벡터제어를 통해 토크와 마그네틱 토크를 이용한 최대 토크 제어를 수행하였다.

식(1)은 매입자속 동기 전동기의 토크 식이다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_s i_{qs}^r + (L_d - L_q) i_{ds}^r i_{qs}^r) \quad (1)$$

## 2.4 양방향 컨버터

배터리를 이용한 하이브리드 운전을 하기 위하여 양방향 풀-브리지 컨버터를 사용하였다. 배터리는 2[kW]급으로 선정 하였고 IPMSM의 회생에너지를 이용하여 배터리를 충전하고 배터리에 충전된 에너지를 연료전지와 함께 하이브리드 운전을 한다.

표 2 양방향 컨버터 및 배터리 사양

| 구분          | 설계 사양            |
|-------------|------------------|
| 용량          | 2[kW]            |
| 턴수비         | 5 : 50           |
| 필터          | 0.2[mH], 450[uF] |
| 배터리 전압 / 정격 | 55.5V / 35Ah     |

## 3. 시뮬레이션

본 논문에서는 PowerSim사의 PSIM6.0을 사용하여 FCEV 용 IPMSM 구동 시스템을 그림2와 같이 구현하였으며 각종 파형을 얻기 위해 그림3~5와 같이 시뮬레이션을 하였다.

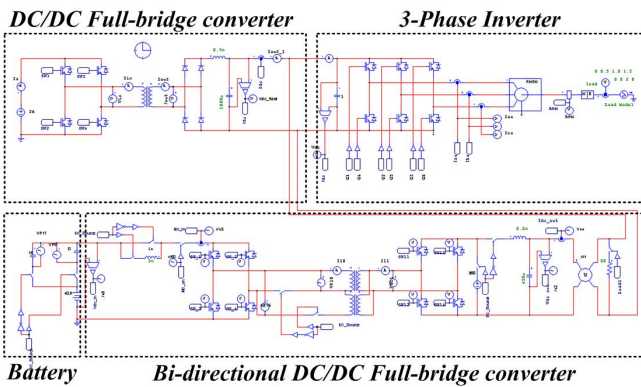


그림 2 시뮬레이션 회로도

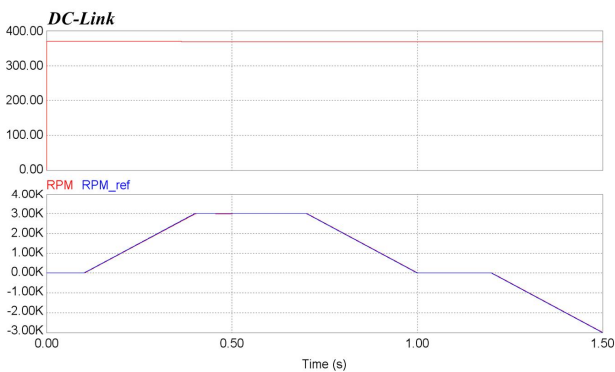


그림 3 하이브리드 운전 모드

그림 3의 파형은 IPMSM의 부하를 증가 시켰을 경우 IPMSM의 속도 제어와 풀-브리지, 양방향 풀-브리지 컨버터의 출력 파형을 나타낸 것이다. IPMSM 제어에 필요한 전압(350V)을 추종하는 것을 확인하였다.

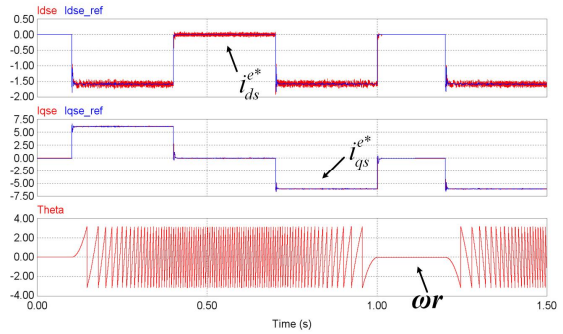


그림 4 d, q축 전류 및 위상각

그림 4는 IPMSM의 d, q축 전류, 위상각의 파형이다. 기준속도 변화에 따른 d, q 전류가 안정적으로 추종하는 것을 확인하였다.

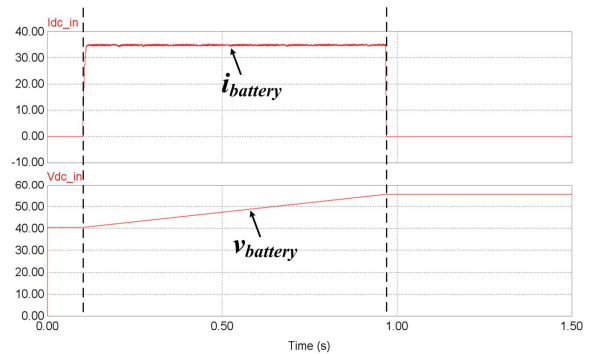


그림 5 배터리 충전 모드

그림 5는 정전류 / 정전압 충전하는 모드로써, 1[C-rate]인 35[A]로 정전류 제어와 정전압[55.5V] 제어를 확인 하였다.

## 4. 결론

본 논문에서는 제안한 시스템은 IPMSM의 회생에너지에 따른 배터리 충전 모드와 부하의 증가로 하이브리드 동작모드를 시뮬레이션으로 통하여 타당성을 검증하였다.

이 논문은 에이알텍의 연구비 지원으로 수행한 연구결과입니다.

## 참고 문헌

- [1] Guan-Chyun Hsieh, Jung-Chien Li, Ming-Huei Liaw, Jia-Peng Wang and Tsai-Fu Hung, "A study on full-bridge zero-voltage-switched PWM converter: design and experimentation,"Industrial Electronics, Control and Instrumentation, Vol. 2, pp. 1281~1285,1993.
- [2] 김장목, 설승기, 원중수 "매입형 영구자석 동기 전동기의 정 출력 영역에서의 최대토크 운전", 대한 전기 학회 논문지 Vol44, No.10, 1995