

연료전지 전기자동차 전력 구동시스템 분석 및 전동기 구동시스템 제어기 설계

Motor Drive System Analysis and Controller Design for Fuel cell Electronics Vehicle

이명진*, 박인덕**, 김시경***
(Myungjin Lee , Induck Park , Sikyung Kim)

Abstract - In this paper, the power electronics requirement and the controls of an induction motor for fuel cell electric vehicle system are presented. The power topology is selected based on performance, cost, size, volume, manufacturability, component count and simplicity. Another highlight of the topology is the reduction of battery bank and its control strategy. The proposed approach consists a full-bridge DC/DC converter to boost the fuel cell voltage. The induction motor operated with vector control is driven by a three-phase PWM inverter supplied by the DC-link voltage. The investigation of the electric vehicle performed due to parameter variation of the induction motor has been presented.
Key words - FCEVE, DC/DC converter, VC.

1. 서론

오늘날, 자동차는 많은 사람들의 중요한 교통수단으로 사용되고 있다. 그러나 대부분 자동차는 주 연료로 가솔린과 같은 화석연료를 사용하고 있는데, 화석연료는 일산화탄소, 질소, 이산화탄소 등과 같은 공해 물질을 발생시킨다. 이러한 오염 물질로 인하여 대기의 온난화, 산성비 및 공기오염 등과 같은 문제가 유발된다.[1,2] 또한 가솔린 및 화석연료는 유한 자원이기 때문에 자원 고갈에 따른 대체연료를 고려하여야 한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 대안이 모색 되어져 왔다. 그중 하나의 대안으로 자동차의 연료 원으로써 태양전지를 이용한 전기자동차와 배터리를 이용한 전기자동차의 연구가 수행 되어왔다.[3,4,5,6,7] 태양전지를 이용한 전기자동차는 고가의 태양전지와 대형 배터리를 사용하여야하는 문제점 때문에 기존 가솔린 자동차의 대안으로 받아들여지지 않았다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 세계 여러 선진 국가에서는 연료전지 시스템을 이용한 전기자동차에 관한 연구를 수행해 왔다.[8,9] 그 결과 미래의 전기자동차의 표준안으로써 연료전지 자동차가 고려되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 연료전지 자동차의 전기변환부 제어기를 설계하고 시뮬레이션을 통하여 그 유효성을 입증한다.

2. 연료전지 전기 자동차

2.1 연료전지의 원리 및 자동차 구조

연료전지는 화학 에너지를 전기에너지로 직접 변환시켜 전

저자 소개

- * 이명진: 공주대학 전기전자정보공 석사과정
- ** 박인덕: 공주대학 전기전자정보공 박사과정
- ***김시경: 공주대학 전기전자정보공 부교수.공학박

기자동차에 에너지를 공급하는 역할을 담당한다. 연료전지의 구성을 보면 음극과 양극 및 ion-conduction 전해질로 이루어져 있다. 전극부분은 전기에너지를 전력변환부에 입력하는 역할을 하며, 연료전지에서 화학 반응을 일으키는 것은 수소와 산소이다. 그림2.1은 연료전지의 작동원리를 보여주고 있다.[3,6,7]

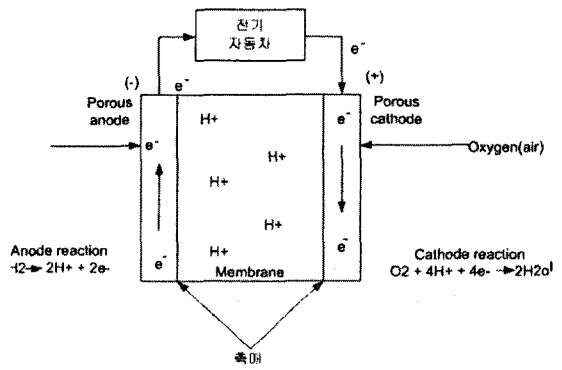


그림2.1 연료전지 작동원리

그림2.2은 연료전지 전기자동차시스템을 보여주고 있다. 전기자동차 시스템의 동작전압은 연료전지 출력전압에 의하여 결정된다. 예를 들어, 48V의 PEM연료전지를 사용했다면 배터리 전압은 48V가 된다. 이러한, 연료전지의 재충전은 연료전지의 출력이 저전류 일때 일어난다. 배터리에서 연료전지로 역으로 전류가 흐름을 방지하기 위해 다이오드가 사용되며, 배터리는 전기자동차 과도상태 때와 갑작스런 부하 변동 시에 동작된다. 이는 연료전지의 순간 동작이 매우 느리기 때문이다. 매우 짧은 시간동안 배터리가 동작을 하며, 연료전지의 출력단과 DC/DC변환 장치를 연결하는 제어스위치는 부하전류가 연료전지 출력 전류와 같을 때까지 도통 상태를 유지한다.

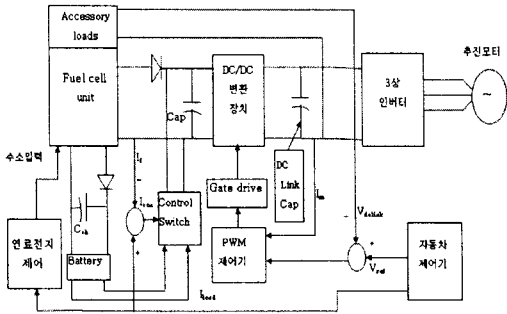


그림2.2 연료전지 자동차의 구조

2.2 전지자동차 부하

전기자동차에 있어서 부하는 자동차 중력의 무게로 인하여 나타나는 힘으로 나타내며, 이때 타이어에 가해지는 전기자동차의 힘의 관계는 그림2.3과 같이 나타난다.

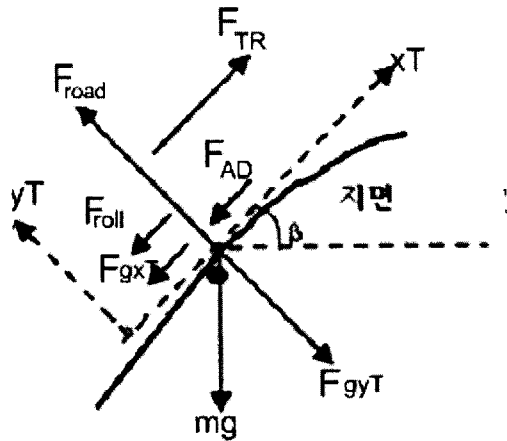


그림2.3 전기 자동차에 작용하는 힘

그림2.3에서 전기자동차가 추진하기 위해서 필요한 추진력과 자동차부하 사이의 관계를 식(1)에 나타내었다.

$$F_{RL} = F_{gxT} + F_{roll} + F_{AD} \quad (1)$$

여기서, xT 는 길의 접선 방향이고, 힘 F , F_{RL} 은 기준 속도에 맞추어 전기자동차가 출력 하여야 하는 힘, F_{gxT} 는 자동차 자체 무게로 인한 중력의 힘, F_{roll} 은 자동차의 구르는 힘이며, F_{AD} 는 자동차의 공기저항을 이겨내는 힘이다.

그림2.3은 전기자동차에 작용하는 각 힘들의 관계를 보여준다. 여기서, 중력의 힘은 도로의 경사에 의해 결정된다.

$$F_{gxT} = mg \sin \beta \quad (2)$$

m : 전기자동차 무게, g : 중력의 가속 상수,

β : 도로경사 각도

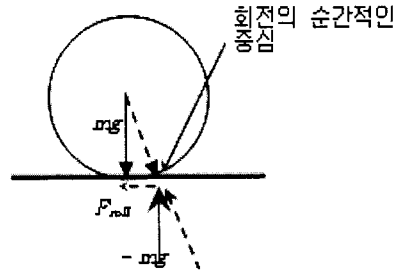


그림2.4 구르는 바퀴 저항

그림2.4에서 자동차 바퀴가 구르는 힘은 도로에 접선방향이 다. 자동차의 추진력 F_{TR} 은 자동차 중력과 기계역학 적인 힘, 도로 접선(마찰)의 힘 F_{roll} 을 극복하여야 하며, 자동차 바퀴의 구르는 힘은 다음 식과 같다.

$$F_{roll} = \begin{cases} \text{sgn}[v_{xT}]mg(C_0 + C_1 v_{xT}^2) & \text{if } v_{xT} \neq 0 \\ (F_{gxT} + F_{TR}) & \text{if } v_{xT} \neq 0 \text{ and } |F_{gxT} + F_{TR}| \leq C_0 mg \\ \text{sgn}[F_{gxT} + F_{TR}](C_0 mg) & \text{if } v_{xT} \neq 0 \text{ and } |F_{gxT} + F_{TR}| > C_0 mg \end{cases} \quad (3)$$

일반적으로,

$$0.004 < C_0 < 0.02, C_1 \ll C_0 (\text{sec}^2/\text{m}^2) \quad (4)$$

여기서, v_{xT} 의 단위는 m/sec 로써 자동차의 속도를 나타낸다. 자동차 기계역학에 힘은 자동차 구동에 따라 야기되는 공기의 저항을 이겨내야 하는 힘이다. 그 저항에 대한 힘은 아래의 식과 같다.

$$F_{AD} = \text{sgn}[v_{xT}]\{0.5\rho C_D A_F (v_{xT} + v_0)^2\} \quad (5)$$

ρ : 공기밀도 kg/m^3 , C_D : 기계 역학계수,

A_F : 전기자동차 크기, v_0 : 바람의 세기

3. 시뮬레이션 결과

연료전지 전기자동차의 전력변환 단계의 전기특성을 분석하기 위하여 Matlab-Simulink을 이용하여 17kw 연료전지 자동차에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서, 사용한 전력변환 장치는 6개의 스위치(IGBT)을 이용한 3상인버터로 히스테리시스 전류제어 기법을 이용하여 제어 하였다. 시뮬레이션에 적용된 전기자동차의 속도의 프로파일은 SEA J227a B에 기술된 도시 도로교통 주행 사이클을 따라, 최대속도, 가속 시간, 운전 시간은 각각 20mph, 19sec, 19sec 로 설정 하였다. 전기 자동차의 부하 및 유도전동기의 사양은 표1에 주어졌다.

그림3.1은 Matlab-Simulink를 이용하여 설계한 전기자동차의 블록다이어그램 이며, 그림3.2은 전기자동차 유도전동기의 시뮬레이션 결과를 보여준다.

그림3.2의(a)는 SAE B의 도시도로 자동차 속도 사이클을 표현 하였고, 그림3.2의 (b),(c),(d),(e)는, 각각 연료전지 전기자동차의 유도전동기에 흐르는 d-axis 전류(i_{da}) q-axis 전류(i_{qs}) q-axis flux(ϕ_{qr}) d-axis flux(ϕ_{dr}) 이다.

