

연비효율 향상을 위한 연료전지 전기자동차 구동용 견인전동기 설계특성

김민석, 이철균*, 한성진, 정상용
 동아대학교, 동의대학교*

Design Specification of Electric Powertrain for Fuel Cell Electric Vehicles Optimized for Fuel Efficiency

Min-Seok Kim, Cheol-Gyun Lee*, Sung-Chin Hahn, Sang-Young Jung
 Department of Electrical Engineering, Dong-A University, Department of Electrical Engineering, Dong-Eui* University

Abstract - 본 논문에서는 연료전지 전기자동차(Fuel Cell Electric Vehicle)의 동력성능을 만족하면서 연비효율 향상을 목적으로 하는 견인전동기 시스템의 설계특성에 대하여 살펴본다. 특히, 차량의 요구 동력성능을 만족하는 견인전동기의 동력 설계사양 정의 및 표준운전모드를 적용한 실운전 조건에서의 연비효율 향상을 목표로 하는 견인전동기의 효율 설계사양 정의를 나타낸다.

1. 서 론

배터리 또는 연료전지를 에너지원으로 하는 전기자동차(EV)의 운전성능은 구동용 전기모터, 감속기어, 인버터로 구성되는 견인전동기 시스템의 조합운전특성에 좌우된다.[1] 이는 견인전동기 시스템의 개별요소 설계사양을 자동차의 목표성능을 만족하도록 설정해야한다는 의미이며, 자동차의 목표성능은 동력성능과 연비효율로 대표된다.

자동차의 목표성능 중의 하나인 동력성능은 최대운전속도, 최대순항속도, 발전가속시간, 최대등판각도, 최대순항등판각도 등으로 나타내며 자동차 운전 환경에서의 부하특성과 견인전동기 시스템의 동력성능과 연관된다. 나머지 하나인 연비효율은 국가별로 규약된 표준 운전모드인 FUDS(FTP-72), FTP-75, ECE, EUDC 등을 적용한 자동차의 에너지 효율 성능을 의미하며, 연료전지 전기자동차의 경우 주로 일출전 주행거리로 평가한다.[2] 특히, 연료전지 전기자동차에 표준 운전모드를 적용한 경우에는 견인전동기의 효율분포 특성, 가장 빈번하게 사용되는 자동차 운전구간, 다양한 운전조건별 수소사용량을 분석하여 에너지 사용량을 계산할 수 있어 전체적인 시스템의 에너지 효율을 나타낼 수 있다.[3]

본 논문에서는 이와 같이 자동차에서 요구하는 목표성능인 동력성능과 연비효율 향상을 목표로 하는 견인전동기의 설계특성을 나타내고자 한다. 즉, 자동차에서 요구하는 동력성능을 만족하기 위한 견인전동기의 동력 설계사양 및 자동차의 연비효율 향상을 위한 견인전동기의 효율 설계사양을 제안한다. 특히, 중형 SUV급 연료전지 전기자동차를 대상으로 견인전동기의 동력사양 및 효율사양 제시를 통하여 자동차 동력성능 및 연비효율 개선을 나타낸다.

2. 본 론

2.1 연료전지 전기자동차의 목표성능

수소연료를 사용하는 연료전지에 의해 전력이 공급되는 연료전지 전기자동차는 부산물이 수증기뿐인 친환경적 시스템으로 고효율의 견인전동기 시스템 개발에 따라 성능개선이 두드러진다.

일반적인 연료전지 전기자동차의 목표성능은 기존의 내연기관(ICE, Internal Combustion Engine) 자동차의

성능조건과 유사한데, 대표적인 성능지수로는 다음과 같다.

- (a) 최대운전속도 [Km/h]
- (b) 최대순항속도 [Km/h]
- (c) 발전가속시간 (0에서 100Km/h 까지) [sec]
- (d) 최대등판각도 [%]
- (e) 최대순항등판각도[%]

한편, 연료전지 전기자동차의 연비효율은 에너지원인 수소[m/g] 사용량을 기준으로 산정하는데 한번 충전하여 구동할 수 있는 총 거리량을 나타내는 일출전거리[Km]를 대부분 사용한다.

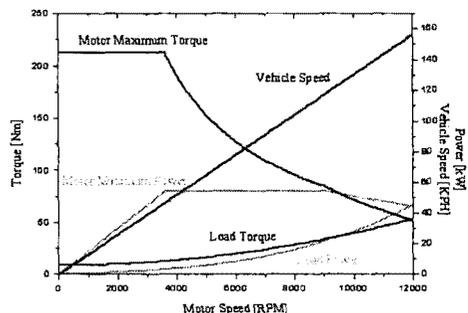
2.2 견인전동기 동력 설계사양

표 1에는 중형급 SUV 연료전지 전기자동차의 목표 동력성능을 나타내었다.

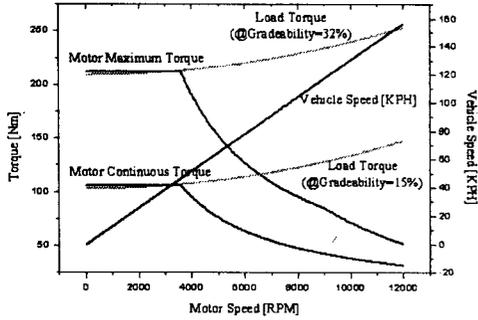
<표 1> 전기자동차의 목표 동력성능

구분	성능사양
최대운전속도	150[KPH] 이상
최대순항속도	125[KPH] 이상
발전가속시간 (0~100[KPH])	15[sec] 이하
최대등판각도	25[%] 이상
최대순항등판각도	11[%] 이상

우선, 최대운전속도와 최대순항속도는 운전부하가 각각 전동기의 최대토크 및 연속토크보다 작은 범위에서의 전동기의 최대속도로 정의한다. 발전가속시간은 전동기의 최대토크와 기저속도로 정의되며, 최대등판각도는 전동기의 최대순시토크로 기동할 수 있는 경사면의 최대 기울기를 의미한다. 마지막으로 최대순항등판각도는 운전부하와 전동기의 연속운전토크가 같을 때의 경사면 각도이다.



<그림 1> 전동기 성능 곡선(평면도로)



<그림 2> 전동기 성능 곡선(경사도로)

그림 1과 그림 2는 평면도로 및 경사도로에서의 속도에 따른 부하저항과 전동기 최대/연속토크 성능을 나타내었는데, 이에 부합하는 표 1의 자동차 목표성능을 만족하는 전동기의 동력 설계사양과 자동차의 동력성능을 표 2와 표 3에 각각 나타내었다.

<표 2> 산정된 전동기 성능사양(감속비 : 9.5)

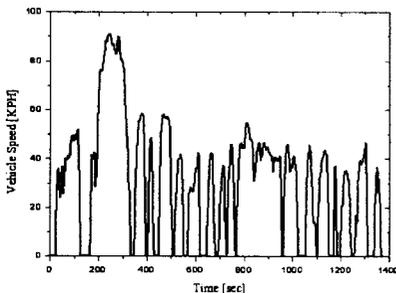
구분	성능사양
최대/연속출력	80/40[kW]
최대/연속토크	212/106[Nm]
기저속도	3600[RPM]
최대속도	12000[RPM]
정출력 속도비(CPSR)	2.5:1

<표 3> 연료전지 전기자동차의 동력성능

구분	성능사양
최대운전속도	155[KPH]
최대순항속도	128[KPH]
발전가속시간	13.6[sec] (0~100[KPH])
최대동판각도	32[%]
최대순항동판각도	15[%]

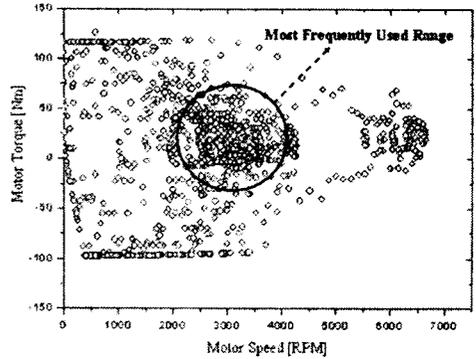
2.3 견인전동기 효율 설계사양

국내에서 자동차의 연비효율을 평가하는 대표적인 운전 모드로는 FUDS(FTP-72)가 있으며 시간별 구동되는 속도특성이 그림 3과 같다.

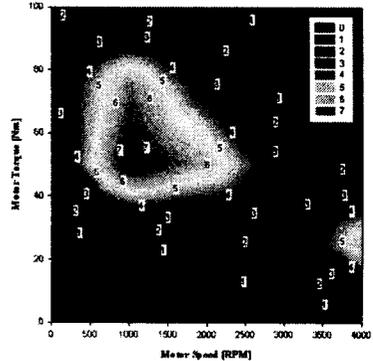


<그림 3> FUDS(FTP-72) 운전모드

그림 4는 FUDS 운전모드에서의 토크와 속도 구간별 사용빈도를 나타내는데, 20~40Nm와 2500~4000rpm에서 가장 빈번하게 운전되고 있다. 이는 전체구간의 40%를 상회하는 조건으로, 기본적으로 견인전동기의 최대효율을 사용빈도가 높은 구간에 맞추는 것이 연비효율 향상에 도움이 될 것이다.



<그림 4> FUDS모드에서 토크-속도 사용 빈도



<그림 5> FUDS모드에서 구간별 수소 사용량

전체적인 연료전지 전기자동차의 연비효율 향상을 위해서는 견인전동기, 감속기, 인버터, 연료전지(FC, Fuel-Cell) 등의 조합특성 개선이 필요한데 그림 5에서 나타낸 연료전지 시스템의 수소 사용량을 고려한다면 그림 4의 최대 빈번 운전구간 외에도 40~80Nm, 500~2500rpm에서 각 요소별로 고효율특성이 나타나야함이 자명하다.

3. 결 론

제안된 견인전동기의 설계특성을 통하여 자동차의 목표성능을 만족하는 견인전동기의 동력 설계특성과 효율 설계특성을 설정할 수 있다. 특히, 제안된 사양을 바탕으로 FUDS 운전모드로 평가하면 118.1[g]의 수소사용량으로 12km를 구동할 수 있어 연비효율이 101.6[m/g]가 된다. 이는 136L/5000psi 수소탱크 일충전으로 335Km를 구동할 수 있으므로 현재까지 250~300km에 머무르고 있는 연료전지 전기자동차의 연비효율 개선이 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mehrdad Ehsani, Khwaja M. Rahman, Hamid A. Toliyat, "Propulsion System Design of Electric and Hybrid Vehicles," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 44, NO. 1, February 1997.
- [2] C. C Chan, "The state of the Art of Electric and Hybrid Vehicles," Proc. of the IEEE, Vol.90, No.2, February, 2002.
- [3] Yukio Honda, Tomokazu Nakamura, Toshiro Higaki, Yoji Takeda, "Motor Design Consideration and Test Results of a n Interior Permanent Magnet Synchronous Motor for Electric Vehicles," Proc. of IEEE IA annual meeting, pp. 75-82, October, 1997, New Orleans, USA.