

복지형 NEV용 외전형 인-휠 SRM 설계

정광일, 이동희, 안진우
경성대학교 메카트로닉스공학과

Design of Outer Rotor Type In-Wheel SRM for Welfare Neighborhood Electric Vehicle

Kwang-il Jeong, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
,Department of Mechatronics Engineering, Kyung Sung University

ABSTRACT

In this paper, outer rotor type of in-wheel switched reluctance motor(SRM) has been design and analyzed for Welfare Neighborhood Electric Vehicle(WNEV). Designed outer rotor type of in-wheel SRM is set to 4-wheel of WNEV. the motor is 6/8 and outer rotor type. and the driving load and motor characteristics are determined and designed.

1. 서 론

고령자 및 장애자인은 개별 이동수단으로 전동 또는 수동 휠체어를 사용한다. 하지만 전동 또는 수동휠체어의 이동거리 제약에 따른 수요자들의 불만사항이 날로 증가하며, 전동 휠체어의 외부환경 요인에 대한 안전성 및 불편함을 해소하는 이동수단이 필요하다. 복지형 NEV는 고령자와 장애자들의 안정성과 불편함을 덜어주며, 최종적으로 독립적인 생활을 가능하게 할 것이다. NEV의 차체내부에 휠체어를 장착하기 위해 전동기 부피 감소 및 견인용 전동기의 특성에 따라 NEV 또한, 저속에서 높은 토크를 요구한다. 이러한 요구를 만족하기 위해 휠 내부에 전동기를 장착하는 외전형 인-휠 SRM(Switched Reluctance Motor)을 적용하므로, 전동기의 부피를 줄이고, 직접구동으로 효율적인 토크를 얻게 한다. SRM은 저속-고토크 및 내환경성이 유리하고, 타 전동기보다 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 복지형 NEV에 인-휠 SRM을 적용하여 전동기의 부피를 줄이고, 주행조건 및 직접구동방식으로 효율적인 토크를 얻을 수 있으며, 최적의 효율상태에서 SRM을 설계하였으며, 그 성능과 특성해석은 유한요소해석(Finite Element Analysis)으로 그 타당성을 검증하였다. [1]

2. 복지형 NEV용 전동기 설계

2. 1. 물리적 구조의 제한

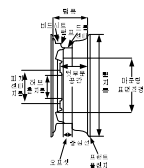


그림. 1 휠의 제원

Fig. 1 Wheel of Specification

2. 1. 운전 성능에 따른 용량선정

자동차의 용량을 모델링하기 위해 견인력에 대한 식을 도출한다. 복지용 NEV의 최대 속도는 60[km/h]이고, 전체 무게는 900[kg]이고, 두 개의 휠에 외전형 SRM을 적용하여, 직접구동이 가능하도록 설계하였으며, 전륜 휠의 견인력은 0으로 본다.

휠은 자동차의 무게에 비해 작으므로 휠의 무게, 바퀴의 요잉, 핏칭 그리고 롤링은 고려하지 않는다.

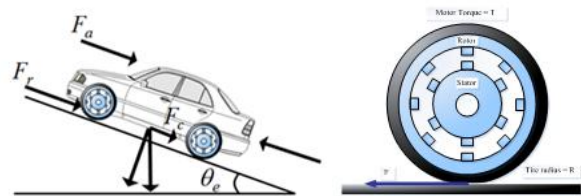


그림. 2 NEV의 주행 부하

Fig. 2 Driving Load of NEV

그림. 2에서 경사면에 따라 주행하는 자동차의 차량 가속력은 다음과 같다.

$$M_v \cdot a = (F_a + F_b) - F_{load} \quad (1)$$

여기서,

$$F_{load} = \mu_{rr} \cdot g \cdot \cos\psi + 0.5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2 + M \cdot g \cdot \sin\psi \quad (2)$$

F_a 와 F_b 는 후륜 휠의 견인력이고, F_{load} 는 전체 부하 항력이며, μ_{rr} 은 구름저항계수, M 은 질량[km], ρ 는 공기밀도[kg/m³], A 는 공기면적[m²], v 는 속도[m/s], C_d 는 항력계수이다. 그림. 3은 전동기 특성곡선으로 식(1)과 식(2)에 의해서 결정되어지는 전동기의 최대 토크와 최대 속도를 보여준다. 속도와 토크에 사용되어지는 대부분의 주기 해석은 FUDS(Fedal Urban Driving Schedule)를 적용하여 계산 할 수 있으며, 그림 4에서 보여준다. 그림 5는 FUDS의 구동 사이클 동안에 복지형 NEV의 전동기에 대한 토크 속도 운전점을 나타내고 있다. 그림. 5와 같이 효율적인 전동기의 토크와 속도는 7.9[Nm]에서 321[rpm]이다. 복지형 NEV 인-휠 SRM의 최대효율을 사용빈도가 높은 구간에 맞추어 설계하였다.

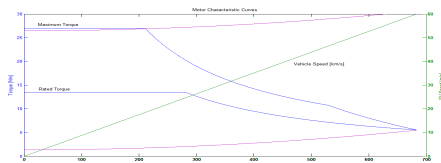


그림 3 전동기 특성 곡선

Fig. 3 Motor Characteristic Curves

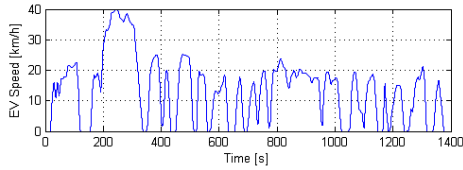


그림. 4 FUDS의 구동사이클
Fig. 4 driving cycle of FUDS

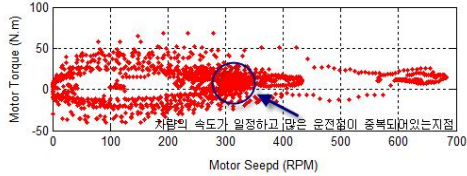


그림. 5 FUDS 모드에서 토크-속도 사용 빈도
Fig. 5 Frequency in Use of Torque-Speed in FUDS Mode

2.2 NEV 구동용 SRM의 기본설계

전동기의 길이와 내경을 고정하면, L 전동기의 길이 L은 다음과 같다.

$$L = \frac{T}{k_d k_e k_3 k_2 (BA_s) D^2} \quad (3)$$

여기서, k_d 는 듀티 사이클이고, k_e 는 효율, k_2 와 k_3 는 상수이며, B 와 A , 그리고 D 는 각각 자속밀도, 전기적인 부하와 내경이다. 고정자와 회전자 극호각은 전동기의 자기 기동을 위한 오버랩구간을 제한하기 위해서 최소한의 극호각은 다음과 같은 식을 만족해야한다.

$$0.4 < \frac{\beta_s}{\theta_{sp}} < 0.5 \quad (4)$$

$$0.3 < \frac{\beta_s}{\theta_{rp}} < 0.45 \quad (5)$$

$$\theta_{sp} = \frac{360}{N_s} \quad (6)$$

$$\theta_{rp} = \frac{360}{N_r} \quad (7)$$

θ_{sp} 는 고정자 극 피치 이고, θ_{rp} 는 회전자 극 피치, 그리고 N_s 와 N_r 는 각각 회전자와 고정자 수이다.

$$\min[\beta_s] = \frac{720}{N_s N_r} \quad (8)$$

$$B_s > B_r \quad (9)$$

위의 계산식에 의해 고정자 극호각 B_s 는 19° 회전자 극호각 B_r 은 21° 로 산정 하였다. 6/8 SRM의 성능과 사양에서 제안된 전동기의 정격 출력은 400W이다. 표. 1에서 제안된 SRM의 사양과 치수를 보여준다.

표. 1 제안된 SRM의 설계

Table. 1 Design of Proposed SRM

Parameter	Value	Parameter	Value
Dia.Shaft	30[mm]	Air-Gap	0.3[mm]
Dia. of Stator	95[mm]	Dia. of Rotor	165[mm]
Stack Lengt	90[mm]	Rated Current	55 [A]
Turn No/Pase	13[Turn]	Max. Current	90 [A]
Rotor pole Arc	21[Deg]	Max. Torque	27[N.m]
Stator pole Arc	19[Deg]	Resistance/Phase	0.016[ohm]

2. 3. 제안된 전동기의 성능

제안된 SRM의 토크 프로파일은 유한요소해석(FEA)을 사용하여 특성을 해석하였으며, 그림 6보여주며, 속도 - 토크효율은 그림 7에서 보여준다. 제안된 전동기의220[RPM]에서 최대 토크는 27[Nm]이고, 최대 출력은 282[rpm]에서 800[W]이다. 속도-토크사용빈도가 많은 구간은 321[rpm]이며, 여기서 토크는 7.9[Nm]이고, 효율은 90%이다.

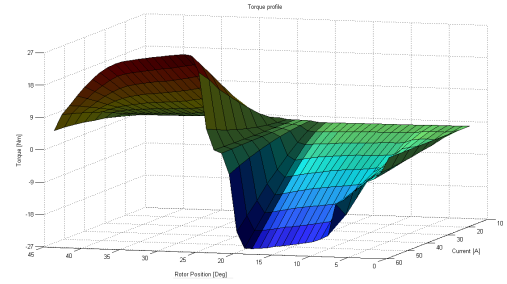


그림. 6 제안된 SRM의 토크 프로파일

Fig. Torque Profile of Proposed SRM

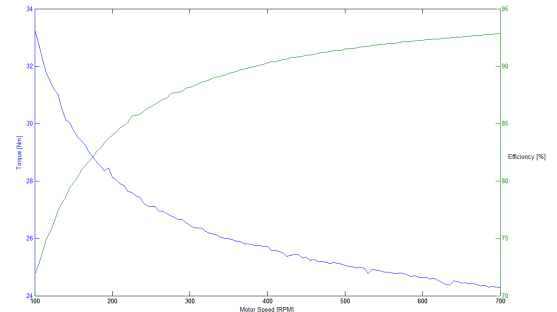


그림. 6 속도-토크및 효율 곡선

Fig. 6 Speed-Torque and efficiency

3.결 론

본 논문에서는 복지형 NEV에 외전형 인-휠 SRM을 설계하였고, 설계된 SRM은 고정자가 6극이고, 회전자가 8극이다. 유한요소해석(Finite Element Analysis)과 CAD를 이용 하여, 전동기 성능 및 특성해석을 통해, 그 적용 가능성을 검증하였다. 6/8 SRM의 오버랩 구간을 제한하기위해서 고정자및 회전자 극호각 β_s , β_r 를 산정하였다. 그리고 주행조건을 고려하여, 견인 전동기의 최대효율을 사용 빈도가 높은구간에 맞추어 설계하였다.

이 사업은 지식경제부의 지원으로 작성된 QoLT(Quality of Life Technology) 기술개발사업의 결과물임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- [1] R. Krishnan, Switched Reluctance Motor Drives--Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.
- [2] X. D. Xue, Member, K.W. E. Cheng, T.W. Ng, and N. C. Cheung "Multi-Objective Optimization Design of In-Wheel Switched Reluctance Motors in Electric Vehicles" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 57, NO. 9, SEPTEMBER 2010 pp. 2980~2987