

고령친화형 NEV용 SRM의 설계

허재훈, 김아란, 이동희, 안진우
경성대학교 메카트로닉스공학과

Design of SRM for senior NEV

Jae-Hun Heo, A-Ran Kim, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn
Department of Mechatronics Engineering Kyungsung University

ABSTRACT

본 논문에서는 NEV 구동을 위한 스위치 릴럭턴스 전동기의 설계와 특성해석을 수행하였다. NEV의 구동을 위한 SRM의 설계를 위하여 동급의 직류전동기의 특성 및 사양을 분석하고 성능을 만족하기 위한 전동기 설계를 수행하였다. 설계한 SRM의 특성을 기존의 직류전동기와의 특성 비교를 통하여 그 가능성을 검증 하였다.

1. 서 론

고령화 사회가 진행되는 동시에 화석연료 고갈과 함께 대기 오염, 소음 등의 문제가 대두되고, 이에 따라 노약자를 위한 전기차량 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

NEV는 주로 근거리 주행과 저속에서 사용되는 특성에 따라 저속에서 높은 토크를 얻기 위해서 큰 전류가 흐르며, 고속에서는 전류량이 줄어드는 직권 직류전동기가 이용된다. 현재 차량에 적용중인 직류전동기는 정류자와 브러시의 마찰로 인하여 발생하는 손실과 기계적 마모로 인하여 교체의 필요성이 따른다는 단점이 있다. 이러한 단점을 줄이기 위해 BLDCM(Brushless DC Motor), PMSM(Permanent Magnet synchronous Motor), SRM(Switched Reluctance Motor)등이 유력하나, 유지보수 및 구동효율, 가격, 운전특성을 고려해볼 때 이 중 SRM은 이들 전동기들의 이점을 다수 지니고 있고, 직류전동기와 유사한 속도-토크 특성을 가진다.

이에 본 논문에서는 직류전동기와 출력특성이 유사하고 기계적인 구조가 단순한 SRM을 선정하였고, 현재 NEV에 적용하고 있는 직류전동기와 그 특성 비교를 통하여 가능성을 판단하였다.^[1]

2. NEV 구동용 전동기

2.1 NEV 구동용 직류전동기의 특성

NEV는 최대 속도가 60km/h 미만인 차량으로 전동기와 배터리를 가지는 소형 전기 자동차이다. NEV의 운전성능에 따라 사용되는 전동기의 출력이 결정되는데 등판각도, 가속능력 그리고 차량무게에 따라 결정된다. 표1과 표 2는 NEV의 기본 사양 및 NEV에 적용된 직류전동기의 사양을 나타내고 있다. 또한 그림 1은 직류전동기의 속도-토크 특성을 나타낸다.

표 1 NEV 차량의 기본사항

Table 1 Basic Specific of the NEV

| | | |
|-------|-----------|--------|
| 공차중량 | 750 | kg |
| 탑승 인원 | 2 | 명 |
| 기어비 | 6:1 | |
| 타이어 | 165 65R13 | mm |
| 최대속도 | 60 | km/h |
| 등판 각도 | 10 | degree |
| 배터리 | 48 | V |
| MOTOR | 4 | Kw |

표 2 직류전동기 사양

Table 2 The Specification of DC Motor

| | | | |
|-------|---------|-------|-----------|
| 정격 출력 | 4.0[kw] | 정격 토크 | 17[Nm] |
| 정격 전압 | 48[V] | 정격속도 | 2250[rpm] |
| 정격 전류 | 105[A] | 여자방식 | 직권 |
| 외경 | 186[mm] | 전장 | 247[mm] |
| 회전방향 | Both | 중량 | 35[kg] |

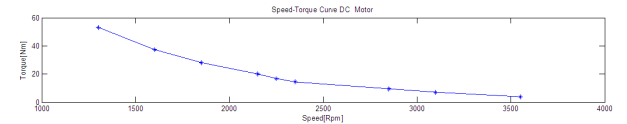


그림 1 직류전동기의 속도-토크 곡선

Fig 1 Speed-Torque curve of the DC Motor

본 논문에서는 NEV 구동을 위한 SRM의 설계에 있어서 출력특성을 만족하도록 설계를 수행하였다

2.2 NEV 구동용 SRM의 기본설계

NEV 구동용 SRM 설계시 입력전압과 각상권선에 흐르는 전류는 중요한 파라미터이다. 일반 범용 SRM에 흐르는 정격전류는 수십[A] 정도에 달하지만 차량과 같은 견인용 SRM에서는 표준 배터리를 사용하므로 정격전류가 수십에서 수백[A]에 달한다. NEV용 SRM의 설계목표 및 요구사항은 속도 2150[rpm]이며, 토크17[Nm], 출력 4[kw]급이다. 제약조건은 전동기 외경이 185[mm]이며, 입력 전압은 48[V]이다. 전동기의 설계는 출력방정식으로부터 시작한다. 회전자의 단위 체적 당 작용하는 회전력 T_{rv} [kNm/m³] 식 (1)과 같다.

$$T_{rv} = \frac{T}{\frac{\pi}{4} \cdot D_r^2 L_{str}} \quad (1)$$

SRM에 대한 출력방정식은 식(1)로부터 (2)를 얻는다. 출력방정식 (2)에서, 토오크 T, 회전자 외경 D_r 과 Core의 축방향 길이 L_{str} 중에서 제약 조건을 고려하여 두 개의 미지수를 선정한다.

$$T = K \cdot D_r^2 \cdot L_{str} \quad (2)$$

출력계수 $K = T_{rv} \cdot \frac{\pi}{4}$ 이며, T_{rv} 는 가변속 구동을 고려하여 식 (3)의 범위에서 선택한다.

$$15 \leq T_{rv} \leq 50 \quad (3)$$

고정자 외경 D_s 의 크기의 설정은 설계의 중요한 요소이다. 고정자 외경은 설계 제약 조건으로부터 주어지며, 더 큰 토크를 내기 위하여 주어진 고정자 외경 내에서 더 큰 회전자 반경을 제공하게 된다. 따라서 고정자 외경은 식 (2)로부터 구한 회전자 직경의 1.8에서 2배의 비율로 한다. 요구 사항에 맞는 SRM의 기본 설계 파라미터를 식(2)로부터 결정하였으며, 표3와 같이 나타내었다. 설계 및 해석은 PC-SRD와 Maxwell을 이용하였다. 설계된 SRM의 세부사양은 표 4에 나타내었다.

표 3 선택한 파라미터
Table 3 selected parameter

| | | | |
|-----------|------------|-----------|--------------|
| K | 33 | y_s/t_s | 0.6 |
| D_s/D_r | 1.96 | y_r/t_r | 0.57 |
| β_s | 36° | β_r | 37.5° |
| T | 55.5 | L_{str} | 189 |

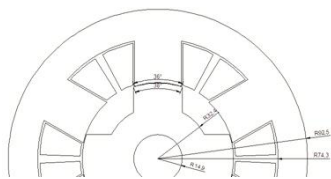


그림 2 설계된 SRM의 단면도
Fig 2 Diagram of the designed SRM

표 4 설계된 SRM의 세부사양
Table 4 The specification of SRM

| Parameter | Value | Parameter | Value |
|-----------|------------|------------|--------------|
| 고정자 직경 | 185 [mm] | 철심 깊이 | 189[mm] |
| 고정자 요크 | 18.2 [mm] | 도체 직경 | 4.825[mm] |
| 회전자 직경 | 93.6 [mm] | 공극 | 0.25[mm] |
| 회전자 요크 | 14.4 [mm] | 고정자/회전자 극수 | 6/4 |
| 샤프트 직경 | 29.8 [mm] | 상당 권선수 | 10*2 [turn] |
| 고정자 극호 | 36° | 회전자 극호 | 37.5° |

2.3 SRM의 특성 분석 및 비교

설계된 SRM은 직류전동기와 같은 직경을 가지고 있고 그림 3에서 각각 속도에 따른 전류 값을 비교하여 나타내었다. 정격 출력에서 SRM의 입력 전류가 직류전동기에 비해 15%정도 작은 것을 확인 할 수 있다. 그리고 고토크 저속으로 갈수록 입력되는 전류의 폭이 최대 46% 작은 것을 확인 할 수 있었다. 그림 4의 효율특성은 그림 3과 같이 입력 전류가 줄어들어 따라, 정격토크 일때의 SRM의 효율이 10%높은 것을 확인 할 수 있고, 속도와 토크가 높아 질수록 SRM은 직류전동기

에 비해 최대 30%의 차이가 나는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5는 각 피크전류에 대한 실제 토크를 나타내는데 53.5Nm이상의 최대 토크를 확인할 수 있었다.

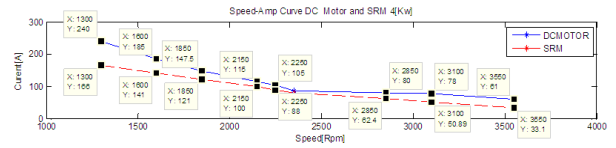


그림 3 SRM과 직류전동기의 속도에 따른 전류 비교
Fig 3 Compare 직류 current depends on speed of the SRM with DC Motor

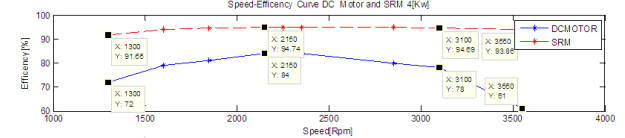


그림 4 SRM과 직류전동기의 속도에 따른 효율 비교
Fig 4 Compare efficiency depends on speed of the SRM with DC Motor

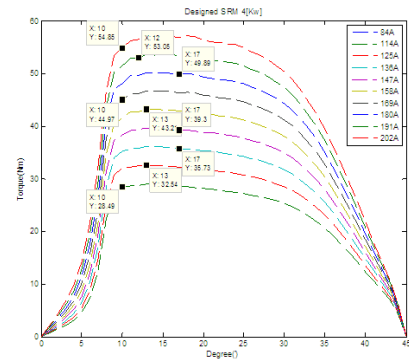


그림 5 설계된 SRM의 토크특성
Fig 5 Torque characteristic of the designed SRM

3.결론

본 논문에서는 NEV 구동용 6/4극 SRM을 설계하였고 2D-FEM와 PC-SRD를 이용 시뮬레이션으로 그 가능성을 보여 주었다. 설계된 SRM은 브러시 및 정류자가 없기 때문에 유지보수가 필요 없고 기존의 직류전동기 보다 부피가 작아 질 수 있는 가능성을 보였다. 출력방정식을 이용하여 기본 설계를 하였으며 PC-SRD를 이용하여 토크리플을 줄이고자 고정자와 회전자 극호각을 재설정하였다. 시뮬레이션으로 직류전동기에 비해서 높은 효율과, 구동 점들에서의 우수한 성능을 확인할 수 있었다. 앞으로 제작과 실험을 통해 실제 성능을 검증하고자 한다.

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

참고 문헌

[1] Ju-Hwan Oh, "전동지게차용 스위치드 릴럭턴스 전동기 설계 및 특성 해석", 대한전기학회논문지 KIEE, Vol. 54B, No. 11, pp. 511-518, 2005
[2] Jae-Won Moon, Tae-Hyoung Kim, Jin-Woo Ahn "견인구동용 SRM의 설계 및 구동특성(I)", 전력전자학회논문지 KIPE, Vol. 11, No. 4 pp. 378-384, 2006