

전기자동차용 80kW급 매입형 영구자석 동기전동기의 고효율 범위 확대 연구

Expansion of High Efficiency Area of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor of 80kW for EV

임 홍 식, 송 천 호, 김 기 찬
한밭대학교

Lim hong-sik, Song cheon-ho, Kim ki-chan
Hanbat Univ

요약

내연기관 차량의 경우 이상적인 자동차의 운전기관을 만들기 위해 기계적 변속기를 사용하지만, 전기자동차의 전동기는 이상적인 자동차 운전곡선과 일치한다. 그러나 전동기의 효율은 운전 영역에 따라 큰 차이 보인다. 일 충전 주행거리는 전동기의 최대 효율점이 아닌 평균효율 범위에 따라 결정된다. 따라서 넓은 고효율 범위를 가지는 것이 중요하다. 본 논문에서는 병렬 회로 수 변경방식의 고정자 권선 전환방식을 적용하였다. 분석결과를 통해 유한요소법(FEM)을 사용하여 매입형 영구 자석 동기 전동기(IPMSM)의 고효율 범위를 확대하는 연구를 하였다.

I. 서론

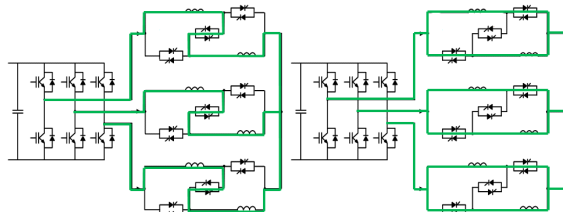
일반적으로 자동차는 도심과 고속도로 운전할 때 각각 다른 운전점을 가진다. 따라서 주행 조건을 고려하여 연비를 고려해야 한다. 엔진으로 구동하는 자동차들은 기계적인 변속기를 사용하는데 이는 무게, 내구성 및 공간 등의 문제점을 가지고 있다[1]. 전동기는 각각의 운전점마다 다른 효율 가진다. 저속, 고토크 구간과 고속, 저토크 영역에서의 효율이 낮다. 따라서 전기자동차의 연비 향상은 전체 운전 범위에서의 평균 고효율 범위를 넓게 만드는 것이 중요하다[2].

본 논문에서는 병렬 회로수 변경 방식의 고정자 권선 전환 방식을 적용하였다. 유한요소법(FEM)을 사용하여 매입형 영구자석 동기 전동기(IPMSM)의 고효율 범위 확대를 연구하였다.

II. 본론

1. 병렬 회로 수 변경 방식 원리

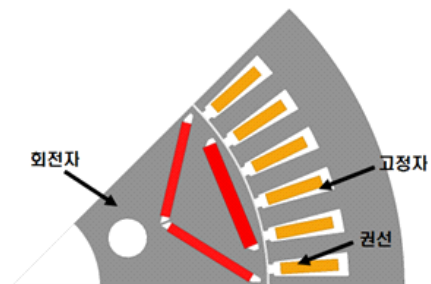
병렬 회로 수 변경방식은 고정자의 병렬 회로수를 변경하여 구동하는 방식이며, 이 때 사이리스터는 전류 흐름을 제어하는 데 사용한다. 그림 1은 고정자 권선의 병렬 회로 수 변경방식의 회로도를 나타낸다. 저속 운전 구간에서는 병렬 회로 수는 2개로 사용하고 고속 운전에서는 병렬 회로수를 4개로 전환하여 사용한다.



▶▶ 그림 1. 병렬 회로 수 전환 방식 회로도

2. 기본 모델

그림 1과 표 1은 기본 모델의 2D FEM 해석 모델의 사양을 나타낸다. IPMSM의 최대 출력은 80 kW이며, 8극 48슬롯으로 선정하였다.



▶▶ 그림 2. 2D FEM 기본 모델

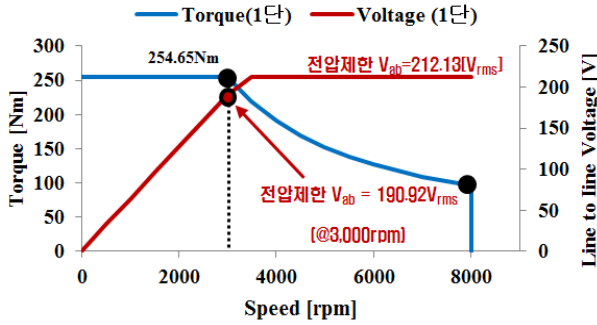
표 1. 전동기 기본모델 사양

설계 변수	사양
공극	0.75 [mm]
적층	140 [mm]
병렬회로 수	2/4
릴 수	17
턴 수	5
전압	270/300 [V _{dc}]
전류 제한치	400 [A _{rms}]
전류밀도	16.9 [A/m ²]
코일 직경	0.8 [∅]

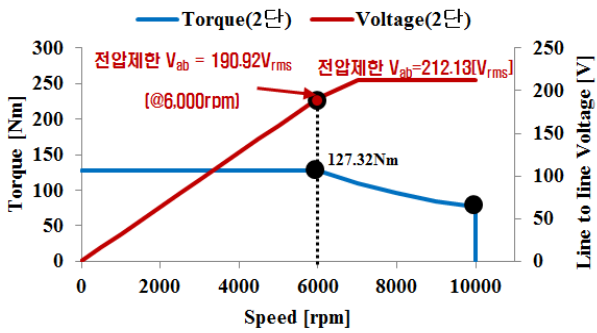
3. 전동기 운전 특성 도출

그림 3은 병렬 회로 수 변경 방식의 속도-토크 곡선을

나타낸다. 운전구간은 그림 3과 같이 병렬 회로 수가 2 일 때(1단)와 병렬 회로 수가 4일 때(2단)로 나눈다. 전동기의 최대 효율 점은 역기전력이 전압의 한계에 도달 하는 점 근처에서 발생한다. 그림 3(a)는 3,000rpm에서, 그림 3(b)는 6,000rpm에서 전압에 포화되는 것을 확인할 수 있다.



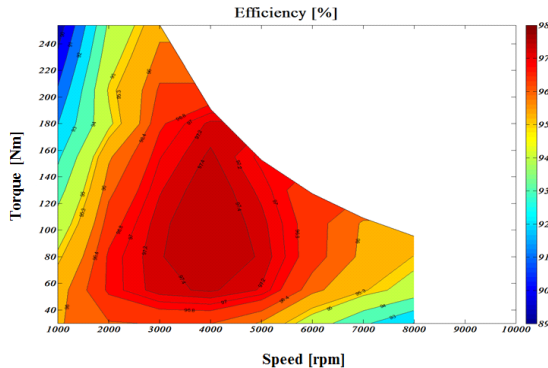
(a) 병렬 회로수 : 2



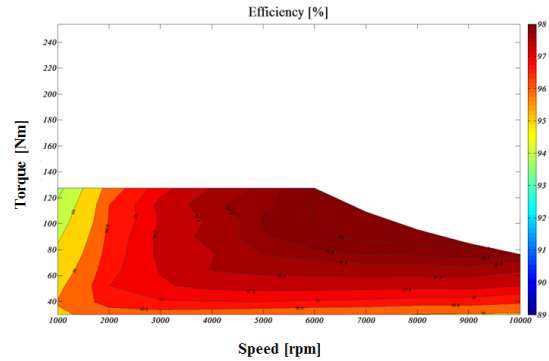
(a) 병렬 회로수 : 4

▶▶ 그림 3. 병렬 회로 수 전환 방식 속도-토크 곡선

그림 4는 병렬 회로수가 1단과 2단 일 때의 효율맵을 나타낸다. 1단에서 3,000rpm과 2단에서 6,000rpm에서 고효율 범위가 나타난다. 따라서 권선 변경 점은 3,000rpm으로 선정하였다. 병렬 회로수가 4로 바뀌는 2 단으로 변경하게 되면 약 계자 구간에서 상당 직렬 턴 수가 반으로 줄게 되고 전압의 여유가 생겨 운전구간을 확대할 수 있으며 전압의 포화지 점도 6,000rpm까지 변화하여 고효율 범위가 변화한다.



(a) 병렬 회로 수 2 일 때 효율맵



(b) 병렬 회로 수 4 일 때 효율맵

▶▶ 그림 4. 병렬 회로 수 전환 방식 전 운전구간 효율 맵

III. 결론

본 논문은 고정자 권선 병렬 회로 수 변경 방식을 사용하여 자동차 평균 효율 구간을 확대시키는 것을 목표로 두었다. 병렬 회로 수 변경 방식에서 효율 범위가 크게 확대 되는 것을 확인 하였다. 하지만 병렬 회로수 변경 방식의 경우 사이리스터를 전류 제어를 위해 많이 사용하여 가격과 무게 측면에서의 단점을 가지고 있다.

결과적으로 병렬 회로 수 변경 방식에 대해 유한요소 해석을 통해 고효율 범위 확대에 대한 전동기의 운전 특성을 토출하여 확인하였다.

Acknowledgment

This material is based upon work supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea) under Industrial Technology Innovation Program, No.10063006, 'Development of 2kW/kg, 100kW, IPMSM Electric Vehicle Drive System Based on High Efficiency Cooling System'.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Min-Fu Hsieh, Feng-Sheng Hsu, David G. Dorrell, "Winding Changeover Permanent-Magnet Generators for Renewable Energy Applications", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 48, NO. 11, pp. 4168~4171, 2012
- [2] Ho-Chang Jung, Gyeong-Jae Park, Deok-Jin Kim, Sang-Yong Jung, "Optimal Design and Validation of IPMSM for Maximum Efficiency Distribution Compatible to Energy Consumption Areas of HD-EV", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 53, NO. 6, 8201904, 2017