

독립 3상 구조의 이중공극 영구자석형 동기 전동기의 Y 및 Δ 결선에 따른 운전 특성 해석

성의석*, 허찬녕*, 정병국*, 황선환*, 방덕제**
 경남대학교*, 한국전기연구원**

Characteristics Analysis According to Y and Δ Connection of Double-sided Air Gap Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Independent Three-phase Structure

Ui Seok Seong*, Chan Nyeong Heo*, Byeong Guk Jeong*, Seon Hwan Hwang*,
 Deok Je Bang**

Kyungnam University*, Korea Electro Technology Research Institute**

ABSTRACT

본 논문에서는 독립 3상 구조 이중공극 영구자석형 동기 전동기 구동 시스템의 Y 및 Δ 결선에 따른 운전특성을 비교 분석하고자 한다. 본 연구에 사용된 전동기의 경우, 일반적인 3상 교류 전동기의 형태와는 달리 양측 회전자와 고정자 대칭인 이중공극형 구조를 가진다. 또한 고정자측은 링 형태의 독립 단상 권선 기반의 모듈 형태로 구성되어있기 때문에 Y결선 또는 Δ 결선이 가능한 구조를 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서는 두 가지의 결선방식에 대한 속도제어 특성을 분석하기 위해서 Y 및 Δ 결선의 수학적인 모델링을 수립하였고 실험을 통하여 각 결선에 따른 운전특성을 비교 분석하였다.

1. 서론

전기추진선박 및 대형 풍력발전 시스템 등과 같이 낮은 속도에서 큰 토크가 요구되는 회전기의 경우, 크기 및 구조적인 문제로 인하여 높은 고장률, 높은 공사비용, 수송 및 설치가 어려운 등의 단점이 있다.^[1] 본 연구에서 사용된 독립 3상 구조의 이중공극 영구자석형 동기 전동기의 경우, 기존의 시스템과는 달리 직접 구동형 시스템으로 구성되어 있으며 고정자 및 회전자가 모듈 구조로 이루어져 있다. 이로 인하여 고장 발생 요인을 감소할 수 있으며 수송 및 설치의 용이성을 가진다. 또한, 고정자측의 독립 3상 기반 모듈 형태의 구조는 Y 및 Δ 결선 등 구조적인 변환이 가능하다.^[2] 따라서 사용되는 대상에 따라서 보다 적합한 구조를 분석하여 선택적으로 적용할 수 있다.

본 논문에서는 독립 3상 구조 이중공극 영구자석형 동기 전동기 구동 시스템의 Y 및 Δ 결선에 대한 수학적인 모델을 수립하였다. 또한, 수학적 모델링을 기반으로 벡터 제어 기법을 적용하여 결선방식에 따른 속도 특성을 실험을 통하여 비교 분석하였다.

2. 독립 3상 구조 이중공극 영구자석형 동기 전동기의 구조

본 연구에서 사용된 이중공극 영구자석형 동기 전동기는 그림 1에서와 같이 모듈 구조로 인하여 고정자와 회전자의 변형

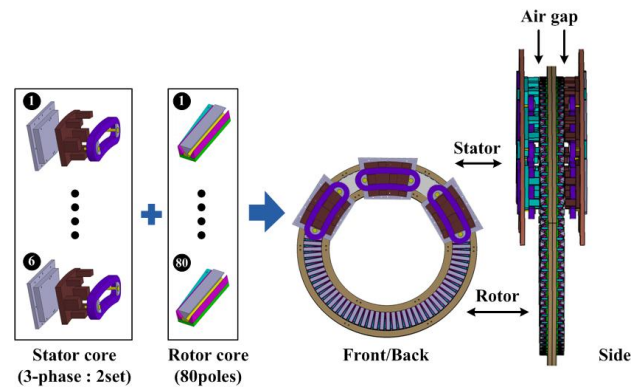


그림 1 이중공극 영구자석형 동기 전동기의 구조
 Fig. 1 Structure of permanent magnet synchronous motor with double-sided air gap

및 조합이 가능한 특징을 가진다. 고정자는 철심에 트랙 형태를 갖는 집중권 방식으로 되어 있으며 회전자는 다수의 회전자 코어와 80극의 영구자석으로 조립된 구조를 가진다. 따라서 수송 및 설치가 비교적 용이한 장점이 있으며 저속에서 큰 토크의 발생이 요구되는 기계에 적용될 수 있다.

3. 전동기의 결선 방식에 따른 운전 특성

3.1 Y결선시 DA-PMSM의 수학적 모델링

그림 2는 이중공극 영구자석형 동기 전동기의 Y 및 Δ 결선시 등가회로를 나타낸다. 3상 Y결선은 Δ 결선과는 달리, 중성점을 가지고 있으며 3상이 평형시 독립 3상 구조의 Y결선 전압 방정식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} v_{as_y1} &= R_s i_{as_y1} + L_s \frac{di_{as_y1}}{dt} + e_{a1} \\ v_{bs_y1} &= R_s i_{bs_y1} + L_s \frac{di_{bs_y1}}{dt} + e_{b1} \\ v_{cs_y1} &= R_s i_{cs_y1} + L_s \frac{di_{cs_y1}}{dt} + e_{c1} \end{aligned} \quad (1)$$

벡터 제어시 식 (1)을 이용하여 동기 좌표계 dq축 전압으로 표현하면 식 (2)와 같다.

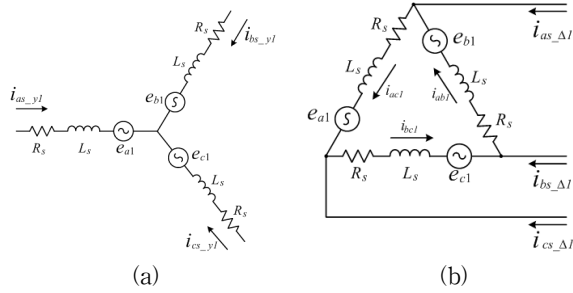


그림 2 DA-PMSM의 등가회로 (a) Y결선 (b) △결선
Fig. 2 Equivalent circuit of DA-PMSM (a) Y-connection (b) △-connection

$$v_{ds1}^e = R_s i_{ds1}^e + L_s \frac{di_{ds1}^e}{dt} - \omega_r L_s i_{qs1}^e \quad (2)$$

$$v_{qs1}^e = R_s i_{qs1}^e + L_s \frac{di_{qs1}^e}{dt} + \omega_r L_s i_{ds1}^e + \omega_r \lambda_f$$

식 (2)에서와 같이 abc 3상으로 표현되는 전동기의 변수들이 dq축으로 이루어진 직류의 물리량으로 변환되게 되면 이를 바탕으로한 벡터 제어 기법을 도입하여 용이하게 전동기를 제어할 수 있다.

3.2 △결선시 DA-PMSM의 수학적 모델링

일반적으로 △결선에서는 선전류의 정보를 기반으로 전류를 제어한다. 따라서 상전류의 정보를 연산적으로 얻을 수 있으며 이를 통해 전류제어가 가능하다. 독립 3상 구조의 △결선시 Y 및 △결선의 상전류 사이의 관계에 의한 전압 방정식은 식 (3)과 같다.

$$v_{as_{\Delta 1}} = R_s i_{ab1} + L_s \frac{di_{ab1}}{dt} + e_{a1} \quad (3)$$

$$v_{bs_{\Delta 1}} = R_s i_{bc1} + L_s \frac{di_{bc1}}{dt} + e_{b1}$$

$$v_{cs_{\Delta 1}} = R_s i_{ca1} + L_s \frac{di_{ca1}}{dt} + e_{c1}$$

4. 실험

독립 3상 구조의 이중공극 영구자석형 동기 전동기의 Y결선에 따른 시스템 동특성을 분석하기 위하여 속도 변화에 따른 시스템 특성을 나타낸 실험 결과파형을 그림 3에 나타내었다. 그림 3은 회전자의 속도를 2[rpm]에서 10[rpm]으로 증가시킨 경우의 양축 동기 좌표계 d축 및 동기 좌표계 q축 전류를 각각 나타낸다.

5. 결론

본 연구에 사용된 전동기는 회전자와 고정자 사이의 대칭 이중공극형 구조를 가진다. 또한 고정자측은 독립 3상 기반의 모듈형태로 구성되어있기 때문에 Y결선 또는 △결선 등의 구조적인 변형이 가능하다. 본 논문에서는 독립 3상 구조의 이중공극 영구자석형 동기 전동기의 Y 및 △결선시 수학적 모델링을 수립하였고 이를 기반으로 설계된 제어 알고리즘을 적용한 실험을 통해 각 결선에 따른 운전특성을 비교 분석하였다.

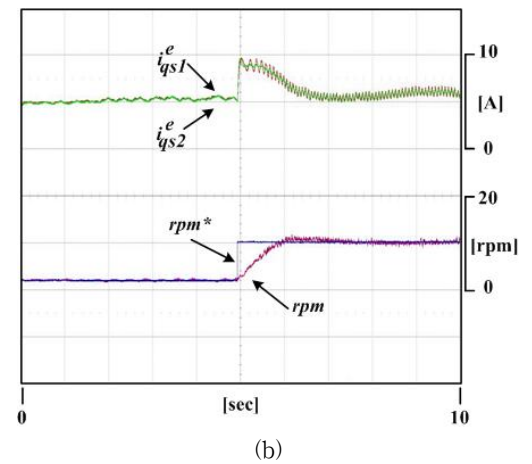
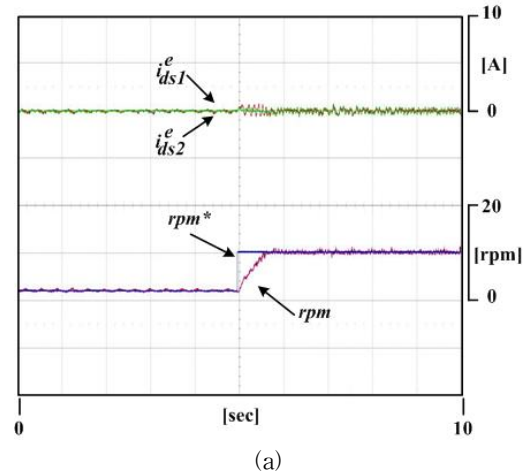


그림 3 3상 Y결선시 속도변화에 따른 전류 2[rpm]→10[rpm] (a) 동기 좌표계 d축 전류 (b) 동기 좌표계 q축 전류

Fig. 3 Current according to changing speed under 3-phase Y-connection 2[rpm]→10[rpm] (a) synchronous d-axis current (b) synchronous q-axis current

이 논문은 2014년 진행된 연구과제로 한국연구재단 (NO.NRF 2013R1A1A1013670)과 2015년 진행된 연구과제로 한국전기연구원(15 12 N0101 18)의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] S.H. Hwang and D.J. Bang, "Vector Control of Multiple module Transverse Flux PM Generator for Large scale Direct drive Wind Turbines", in Proc. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 1 8, 2011, Oct.
- [2] S.H. Hwang, J.M. Kim, D. J. Bang, and J.W. Kim, "Control of independent multi phase transverse flux linear synchronous motor based on magnetic levitation", Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2014 Twenty Ninth Annual IEEE, pp. 2488 2491, Mar.