

BLDC 모터에서의 편심에 따른 자계특성 해석

장석명, 윤인기, 이성호, 최상규\*, 이종호\*\*  
 충남대학교, 한국기계연구원\*, 한밭대학교\*\*

Analysis of a Magnetic Field According to Eccentricity in Brushless DC Motor

S.M. Jang, I.K. Yoon, S.H. Lee, S.K. Choi\* J.H. Lee\*\*

Chungnam Nat'l Univ., KIMM\*, Hanbat Nat'l Univ.\*\*

**Abstract** - Vibration, giving rise to acoustical noise, is an important index of motor performance. The unbalance force due to rotor eccentricity caused by manufacturing imprecision or bearing defects is one possible source of excitation to vibration. With the advent of new high-energy magnetic material together with high precision motor applications, magnetic sources of vibration are becoming more serious. This paper introduces two types of high-speed slotless permanent magnet (PM) machine for electro-mechanical battery and investigates unbalance force due to static eccentricity with finite element method.

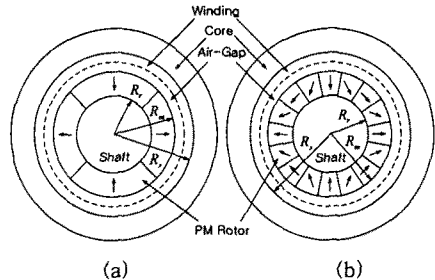


그림. 1 3상, 4극 자화를 갖는 영구자석 회전자  
 (a) 반경방향 자화를 갖는 영구자석 회전자  
 (b) Halbach 배열을 갖는 영구자석 회전자

1. 서 론

회전형 전동기에는 일반적으로 회전자의 편심이 존재한다. 이는 베어링의 결함과 조립에 있어서의 오차에 의한 것이다. 편심에 의하여 발생하는 불평형력은 전동기의 진동 및 소음을 발생시켜 성능을 저하시키는 원인이 된다. 영구자석형 전동기에서의 진동은 영구자석에 의한 자계에 의하여 주로 발생한다. 특히, 희토류자석과 같은 높은 보자력과 에너지 밀도를 갖는 영구자석형 초고속 전동기에서는 회전자가 편심 되었을 때, 보다 심각한 진동 및 소음을 유발시킬 수 있다. 전동기에서 발생하는 불평형력은 공극 자속밀도의 제곱에 비례한다.

슬롯형 영구자석 브러시리스 기기는 초고속 운전시 슬롯 리플에 의해 영구자석과 도전성 슬리브에서의 와전류 손실, 코깅 토크에 의한 소음 및 진동에 크게 문제된다. 또한 영구자석 Halbach 배열형 코어리스 기기는 철심이 없기 때문에 손실 및 코깅 토크 문제가 발생하지 않아 고속 운전에 유리하지만 영구자석의 이용률, 즉 영구자석 증량당 발생자속이 매우작다. 따라서 본 논문에서는 슬롯형 기기와 Halbach형 기기의 단점을 각각 보완한 새로운 형태의 슬롯리스(slotless) 영구자석 기기에 있어서 발생할 수 있는 편심에 의한 공극에서의 자계분포와 불평형력을 해석하였다. 제안된 모델의 회전자는 4극의 외부자계를 형성하기 위한 영구자석 Halbach 배열을 가지며 링형의 슬롯이 없는 고정자를 갖는다. 한편, 편심에 의한 불평형력의 비교를 위해 기존의 반경방향으로 자화된 영구자석 회전자를 갖는 슬롯리스 모델을 제시하였다.

2. 해석모델 및 자계특성

2.1 해석 및 비교 모델

슬롯리스 기기의 고정자는 그림 1과 같이 링형의 요크에 환상형 권선을 감거나 요크의 안쪽에 권선을 시행한다.

구조적으로 고정자에 슬롯이 존재하지 않으므로 공극자속밀도 분포는 정현적이다. 따라서 이에 따른 고조파 손실이 거의 없으므로 초고속 구동에 적합하다. 영구자석 배열에 따라 회전자는 그림 1(a)의 반경방향으로 착자된 형태와 그림 1(b)의 Halbach 배열에 의한 형태로 구성할 수 있다. 반경방향 착자 모델의 경우 자속경로를 만들어 주기 위해 비자성체 축의 바깥쪽에 철심을 삽입하거나 축 자체를 자성체로 구성할 수 있다. 그러나, Halbach 배열의 경우에는 자기 차폐 특성에 의해 배열 안쪽에 철심을 삽입하지 않을 수도 있다.

2.2 자계특성

그림. 2는 회전자의 영구자석 배열에 따른 슬롯리스 기기의 자속 분포를 보여준다. 그림. 2(a)는 일반배열 전동기의 자속분포를 나타내며, 그림. 2(b),(c)는 각각 할박 배열 전동기에서 자성체축과 비자성체축을 갖는 전동기의 자속분포를 나타내고 있다.

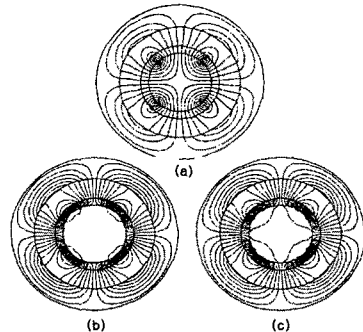


그림. 2 회전자의 영구자석 배열에 따른 슬롯리스 전동기의 자속분포  
 (a)반경방향자화 (b)Halbach 배열(비자성체축)  
 (c) Halbach 배열(자성체축)

### 3. 편심력 해석

그림. 3(a)는 정적 편심이 발생한 전동기의 기하학적 구조를 나타내고 있으며, 그림. 3(b)는 이 때 발생하는 불평형력의 맥동을 나타내고 있다. 영구자석인 회전자가 축  $O_r$ 을 중심으로 각속도  $\omega_r$ 로 회전하고있을 때 반경방향 불평형력은 맥동을 일으키게된다. 영구자석 자극의 중심 방향으로 편심 되었을 때(이하 d축편심)는 불평형력이 최대가 되지만, 영구자석의 자극과 자극 사이 방향으로 편심 되었을 때(이하 q축 편심)는 불평형력이 최소가 된다. 이로 인하여 회전자가 정적 편심 상태에서 회전을 하게되면 불평형력의 차이로 인하여 진동과 소음이 발생하게된다. 그림. 4는 두가지 형태의 전동기에 있어서 편심에 따른 자속분포를 나타내고 있다.

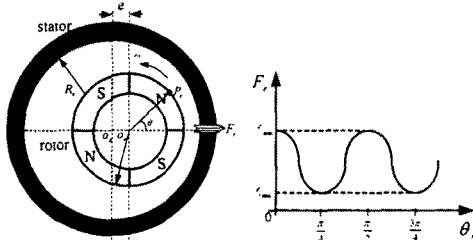


그림. 3 회전자의 정적 편심에 따른 반경방향 불평형력  
(a) 회전자 편심 (b) 반경방향 불평형력의 맥동

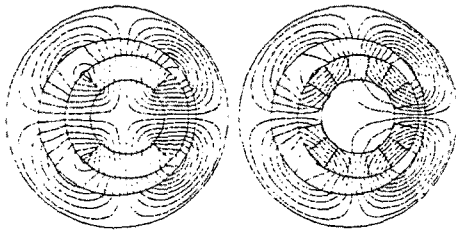


그림. 4 영구자석형 전동기의 편심에 따른 자속분포  
(a) 일반배열 전동기 (b) 할박배열 전동기

그림. 5는 할박배열(HAPM) 전동기의 편심율에 따른 자속밀도를 나타내고 있다. 여기서 편심율( $\epsilon$ )이라 함은 회전자 중심축의 편심길이( $e$ )/공극을 의미한다. 그림. 5에서 나타나듯이 회전자의 편심율이 증가할수록 각 극에서 최대 자속밀도의 편차가 증가함을 알 수 있다. 그림. 6은 일반배열(COPM) 전동기의 편심에 따른 자속밀도를 나타내고 있다. 회전자가 편심되면 공극에서의 자속밀도가 공극에 따라서 달라지게 된다. 이로 인하여 편심방향 양쪽에서의 흡인력에 차이가 발생하여 전동기가 회전을 하게되면 불평형력을 발생시켜 진동 및 소음을 유발하게 된다.

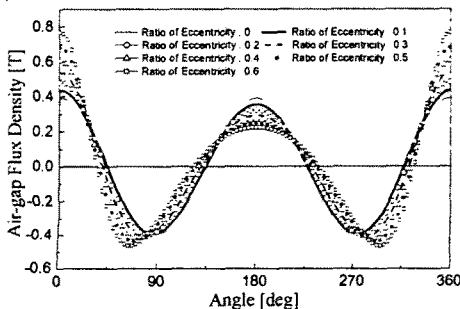


그림. 5 할박배열 전동기의 편심에 따른 자속분포

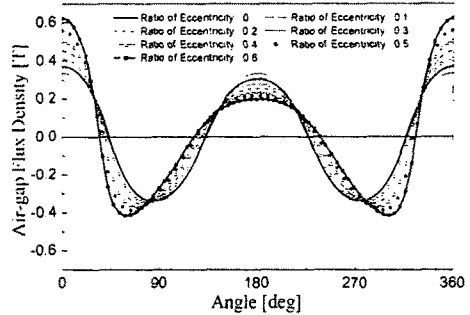


그림. 6 일반배열 전동기의 편심에 따른 자속분포

그림. 7은 회전자가 d축 편심이 발생하였을 때의 할박배열 및 일반배열 전동기의 편심율에 따른 불평형력을 나타내고 있다. 여기서 불평형력이라 함은 공극 자속밀도당 불평형력을 나누어 준 값으로서 단위 공극자속밀도당 어느 정도의 불평형력 갖는가를 나타내는 기준이 된다. 그림. 8은 회전자의 q축 편심이 발생하였을 때의 할박배열 및 일반배열 전동기의 편심율에 따른 불평형력을 나타내고 있다. 그림. 7과 그림. 8의 결과를 통하여 단위 공극자속밀도당 발생하는 불평형력 맥동의 크기를 계산한 결과가 그림. 9에 나타나있다. 할박배열을 갖는 전동기에서 편심에 의하여 발생하는 불평형력의 맥동은 일반배열에서 나타나는 불평형력의 맥동보다 작음을 알 수 있다. 즉, 할박배열을 갖는 전동기가 공극 자속밀도에 있어서도 일반배열을 갖는 전동기 보다 커 같은 체적에서 토크 및 출력 등에서 우수한 특성을 보임과 동시에 불평형력의 의한 맥동 또한 일반배열 전동기 보다 작아 불평형력의 의한 진동 및 소음에 있어서도 우수한 특성을 보임이 예상할 수 있다.

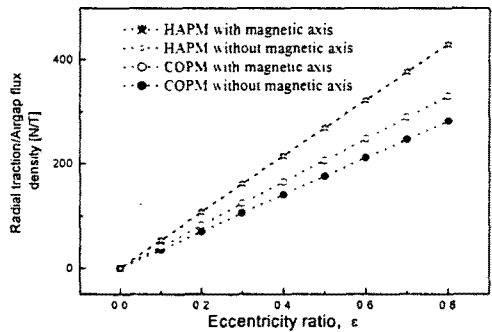


그림. 7 영구자석의 q축 편심에 따른 불평형력

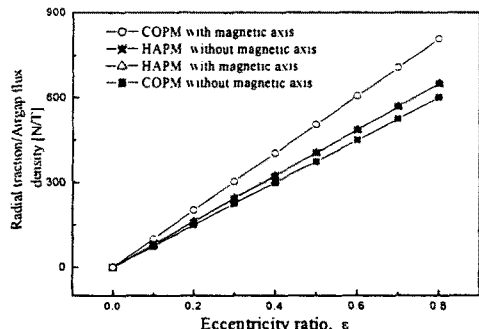


그림. 8 영구자석의 d축 편심에 따른 불평형력

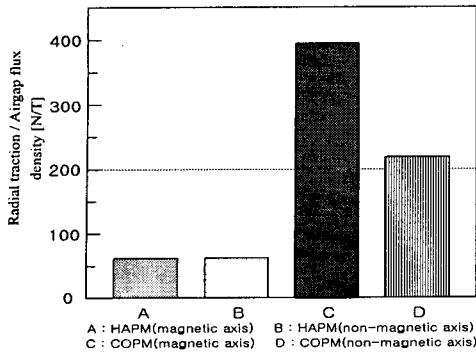


그림. 9 일반배열 전동기의 편심에 따른 자속분포

#### 4. 결 론

본 논문에서는 슬롯형 기기와 Halbach형 기기의 단점을 각각 보완한 새로운 형태의 슬롯리스(slotless) 영구자석 기기에 있어서 편심에 의한 공극에서의 자계분포와 불평형력을 해석하였다. 회전자의 불평형력에 의한 맥동은 영구자석의 중심이 편심되었을 때의 불평형력과 자극과 자극 사이가 편심되었을 때의 불평형력의 차이로 인하여 발생한다. 할박형 전동기에서 발생하는 불평형력의 맥동이 일반형 전동기에서 발생하는 불평형력의 맥동보다 적음을 알 수 있었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Jim-Po Wang and Dennis K. Lieu "Mag Lumped Parameter Modeling of Rotor Eccentric Brushless Permanent-Magnet rotor," in IEEE on magnetics, vol.35, no.5, pp. 4226-4230, Septem
- [2] Ungtae Kim and Dennis K. Lieu "Magnetic Calculation in Permanent Magnet Motors with Eccentricity: Without Slotting Effect" in IEEE tra magnetics, vol. 34, no. 4, pp. 2243-2252, July 199
- [3] Ungtae Kim and Dennis K. Lieu "Magnetic Calculation in Permanent Magnet Motors with Eccentricity: With Slotting Effect" in IEEE tra magnetics, vol. 34, no. 4, pp. 2253-2266, July 199
- [4] 장석명, 이성래, 서진호, 정상섭 "유도형 모터 회전자의 기계적 불평형 특성해석" 1998년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 296-298