

전자정보기기 구동용 영구자석형 스텝핑 모터의 3차원 해석

안지현*, 박승찬*, 류세현**, 정인성**
*동양대학교, **전자부품연구원

3-Dimensional Analysis of Permanent Magnet Stepping Motor With Claw Poles

Ji-Hyun An*, Seung-Chan Park*, Se-Hyun Rhyu**, In-Sung Jung**
*Dongyang University, **Korea Electronics Technology

Abstract - Stepping motors are widely used for various electric instruments. In case of analysing claw pole PM stepping motor 3-dimensional analysis is necessary for accurate field calculation. This paper presents static torque characteristics of a permanent magnet type stepping motor with claw poles using three-dimensional finite element analysis.

1. 서 론

최근 산업사회의 발달로 인해 휴대용 이동통신기나 프린터, FDD등과 같은 컴퓨터 주변장치 뿐만 아니라 소형화된 전자부품의 수요가 증가함에 따라 비교적 구조가 간단하고 제어가 용이한 영구 자석형 스텝핑 모터의 중요함이 대두되어지고 있다. Claw-Pole을 갖는 진동기의 자기 회로는 3차원적으로 형성되기 때문에, 2차원 해석에 의한 특성계산은 불가능하다. 따라서 3차원 유한요소법에 의한 자체해석을 통하여 발생토크, 인덕턴스 등을 계산한다.

본 논문에서는 직경 60로 설계된 소형 PM 스텝핑 모터의 자체분포를 3차원 유한요소법으로 해석하여, 정토크 특성과 홀딩토크 그리고 인덕턴스를 특성을 살펴보았다.

2. 3차원 유한요소 해석

2.1 Claw-pole을 갖는 스텝 모터의 해석 모델

일반적인 PM형 스텝핑 모터의 구조는 원주방향으로 자화된 영구자석 회전자와 권선을 감는 고정자로 구성되어진다. 스텝 모터에서 한 스텝 각은 회전자의 자극수와 고정자의 치의 수에 따라 결정되어진다. 그림 1은 본 논문의 해석 모델인 PM형 스텝핑 모터의 전체적인 도면을 나타낸 것이다. 일반적인 PM형 claw-pole 스텝 모터는 A상, B상의 2개의 stack을 가지며, 각 상의 극은 서로 1/2 피치 어긋나있다. 본 논문에서는 3차원 유한요소법을 적용하여 효율적인 해석을 위해 각각 구동되는 2개의 영역 중에서 A상의 영역만을 해석영역으로 고려함으로써 3차원 사면체 요소의 분할 개수를 최소화하였다. 그림 2는 1/2 해석 모델을 나타낸 것이다. 표 1은 해석 모델의 사양을 나타내고 있다.

또한, 1극 해석이 아닌 전체 자극에 대하여 해석함으로써, 해석 결과의 정확성을 도모하였다. Claw-pole은 직각으로 drawing해주고, 외부 yoke 원통은 claw-pole 철심과 공극 없이 이상적으로 결합되어 있는 것으로 가정하였다. 해석 모델의 영구자석의 재질은 NdFeB로서 10극으로 착자되어 있으며, 영구 자석 내부의 shaft는 비자성체이다. 영구자석 재료인 bonded NdFeB 계열은 이론상으로 0.65[T]이상의 잔류자속밀도를 가지지 못하며,

표 1. 해석 모델의 사양
Table 1. Specification of analysis model.

설계 변수명	설계 치수
외경	5.8 mm
공극	0.18 mm
영구자석 자극수	10
영구자석 잔류자화	0.45 T
코일 턴수	350
최대 전류	70 mA
step angle	18 degree

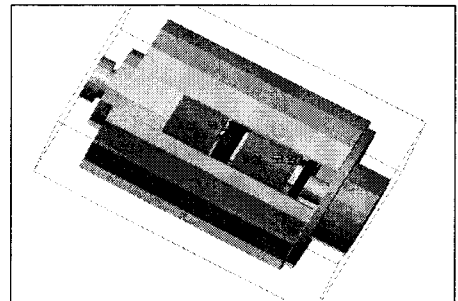


그림 1. 전체적인 해석 모델
Fig. 1. Permanent magnet type stepping motor

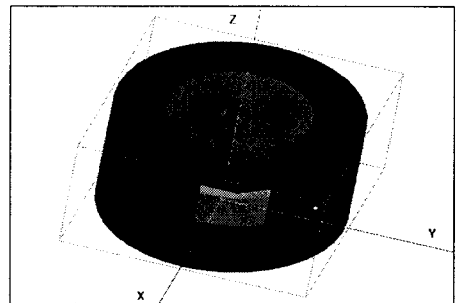


그림 2. 1/2 해석 모델(A상 여자시의 해석 모델)
Fig. 2. 1/2 analysis model

실제로 착자 된 후의 잔류자속밀도는 0.45[T] 이상이 되지 않을 것으로 예상된다. 그러므로 본 논문에서는 3차원 유한요소 해석시 잔류자화를 358,000[A/m]로 가정하여 해석하였다. 자화벡터의 크기 분포는 정현파로서 반경 방향 성분을 갖는 것으로 가정하였다.

식 (1)은 본 논문에서 실제로 입력한 자화분포에 대한 수식을 나타낸다.

$$M=358000\sin(5\theta) \quad [A/m] \quad (1)$$

그림 3은 영구자석의 3차원 해석결과 영구자석 표면에서의 자속밀도 분포를 본 것이다. 영구자석의 표면 자속밀도의 최대값이 약 0.2 [T]로서 가우스 미터를 이용하여 측정한 자속밀도의 최대값 0.19 [T]와 거의 일치함을 알 수 있다. 실제의 영구자석의 착자시에 자화벡터의 분포를 파악하기 매우 어려우므로 본 논문에서는 이와 같이 표면 자속밀도의 해석치를 실험치와 비교하여 영구자석 내부의 자화의 세기를 결정하였다.

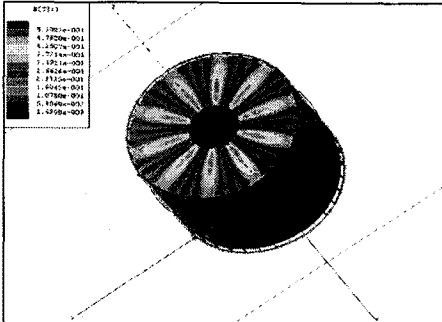


그림 3. 식(1)의 자화분포에 대한 3차원 자기해석결과(공기중)
Fig.3. Magnetic flux density of permanent magnet

2.2 유한요소 해석 결과

본 논문에서는 3차원 유한요소해석을 위하여 상용 프로그램인 Maxwell 3D를 사용하여 해석하였다.

사면체 요소의 각 변의 길이가 가능한 유사하도록 초기 mesh를 나누었으며, 실제 초기 mesh의 결과 약 75,000개의 요소가 형성되었다. 해석의 정확성과 계산시간의 단축을 위해 적응 요소 분할법(adaptive mesh)을 사용하였다. 적응 요소분할시의 오차는 0.5% 이내로 설정하였다. 회전자의 각 위치 별로 해석한 결과 적응요소 분할 횟수는 약 5회에 걸쳐 진행되었으며, 최종 mesh의 개수는 약 540,000개로 증가되었다. 철심의 자기적 비선형 특성을 고려하기 위해, B-H 곡선을 고려하여 해석하였으며 비선형 해석시의 수렴오차는 계산 시간의 단축을 위해 5%로 설정하였다. 그림 3은 정토크 해석 결과를 보여준다. A상 여자코일 전류가 70mA인 상태에서 회전자의 회전각도에 따른 정토크를 계산한 것이다. 계산 시간상 문제로 인해 6도씩 회전한 경우에 대하여 해석하였다. 그림 4로부터 설계한 스텝 모터의 홀딩 토크는 약 4[gfcm]로 예상되어진다.

인덕턴스 계산을 위해 영구자석 영역을 공기로 처리하고 전류는 100[mA]로 하여 해석하였으며, 자체에너지 계산 결과로부터 설계한 전동기의 인덕턴스는 0.94[mH]로 계산되었다.

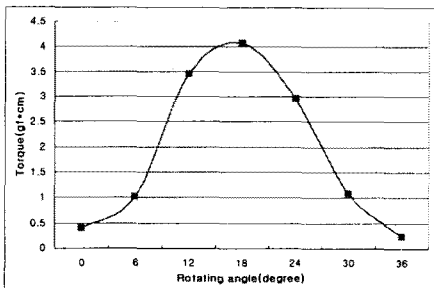


그림 3. 정토크 해석 결과(여자 전류=70mA)
Fig. 3. Static torque characteristics

그림 4와 그림 5은 최대 4[gfcm]의 홀딩 토크 발생시의 claw-pole 및 yoke에서의 자속밀도 벡터도이다. 전면 부 쪽에 있는 claw-pole의 굴곡 지점 근방과 claw-pole end의 바깥쪽에서 자기적 포화가 일어나고 있으나, 실제 claw-pole 철심 및 yoke는 미소한 gap이 존재하기 때문에 실제의 자속밀도는 다소 감소할 것으로 예상되어진다.

그림 6은 claw-pole을 둘러싸고 있는 A상 코일영역의 표면 자속밀도분포를 나타낸 것이다. claw-pole에 가까운 부분에서 자속밀도가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 7~그림 10은 x-y 평면에서의 자속밀도 분포를 관찰하기 위한 평면의 위치와 각 평면에서의 자속밀도 분포를 보여준다. 코일의 결선을 위해 yoke 홈 위치를 통과하는 평면에서의 자속밀도는 상대적으로 매우 낮아지고 있으므로 고토크 발생을 위해서는 홈의 크기를 감소시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

그림 11은 x-z 평면에서의 자속밀도분포이며, claw pole의 절곡된 부분에서 국부적으로 포화가 발생함을 알 수 있다.

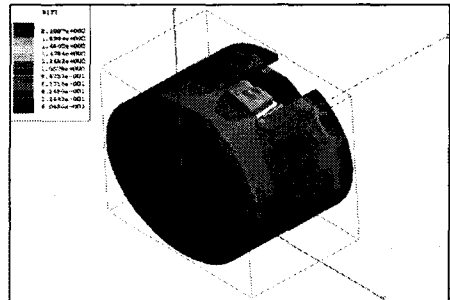


그림 4. Claw pole 및 yoke에서 자속밀도 분포도(후면쪽)
Fig.4. Magnetic flux density of claw pole and yoke

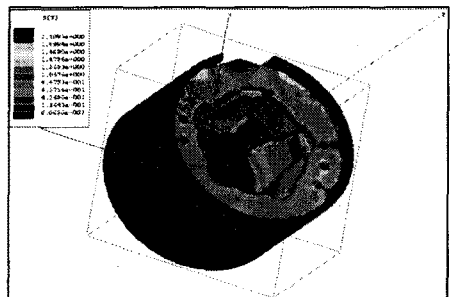


그림 5. Claw pole 및 yoke에서 자속밀도 분포도(전면쪽)
Fig.5. Magnetic flux density of claw pole and yoke

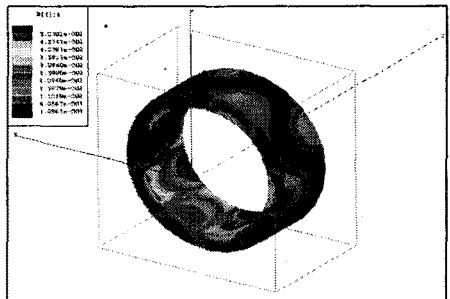


그림 6. A상 코일의 표면 자속밀도 분포도
Fig.6. surface magnetic flux density of A phase coil

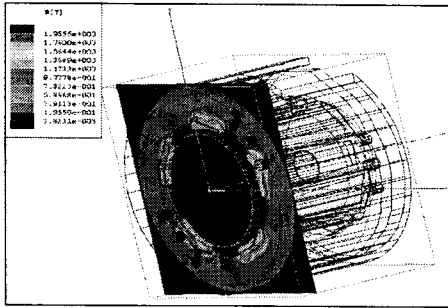


그림 7. x-y평면에서의 자속밀도 분포도
(전면부 claw pole 굴곡단면)($I_a=70mA$)
Fig.7. Magnetic flux density of x-y plane

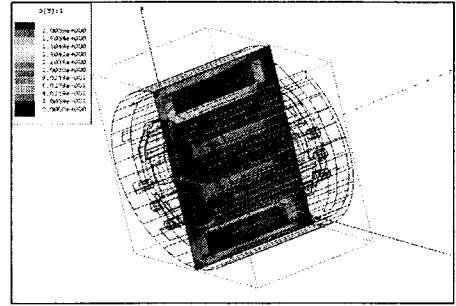


그림 11. x-z평면상에서의 자속밀도 분포도($I_a=70mA$)
Fig.11. Magnetic flux density of x-z plane

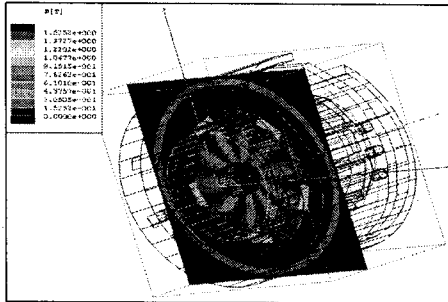


그림 8. x-y평면에서의 자속밀도 분포도($I_a=70mA$)
Fig.8. Magnetic flux density of x-y plane

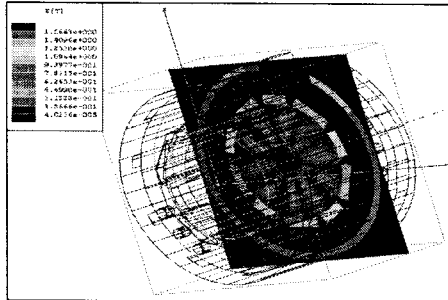


그림 9. x-y평면에서의 자속밀도 분포도
(코일 홈 가운데 단면)($I_a=70mA$)
Fig.9. Magnetic flux density of x-y plane

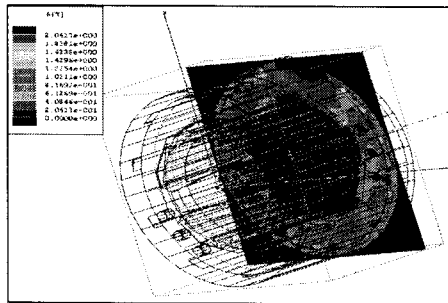


그림 10. x-y평면에서의 자속밀도 분포도
(후면부 claw pole 굴곡 단면)($I_a=70mA$)
Fig.10. Magnetic flux density of x-y plane

3. 결 론

본 논문에서는 직경 6mm급으로 설계되어진 소형의 영구자석형 스텝 모터의 자계분포를 3차원 유한요소법을 이용하여 해석하였다. 회전자 각도 변화에 따른 정토크 특성과 인덕턴스 값을 계산하였다. 해석을 간단하게 하기 위해서 A상 여자회로만은 고려하였으며, 전동기 형상의 비대칭성을 고려하였다.

영구자석의 착자 후 자화벡터는 반경반향으로 분포하고 회전각에 대하여 정현파 형태로 가정하였다. 직용요소 분할법을 이용하여 해석하였으며, 철심의 비선형성을 고려하여 해석하였다. 정토크 특성 해석결과(A상 여자전류= $70mA$)홀딩 토크는 약 $4[gfcm]$ 발생될 것으로 예상되어진다. 자계에너지로부터 인덕턴스를 계산한 결과 $0.94[mH]$ 를 얻었다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 산업기술개발사업의 기술개발결과임.(과제번호:ETI-RD-2004018)

[참 고 문 헌]

- [1]Takeo Ishikawa, Ryuichi Takakusagi,"Static Torque Characteristics of Permanent Magnet Type Stepping Motor with Claw poles",IEEE Transaction on Magnetics ,vol 36, pp. 1854-185, 2000.
- [2]류세현,정인성,성하경,권병일,"Claw-Pole을 갖는 스텝 모터의 소형화에 관한 연구",대한전기학회논문집, pp.929-931, 2004
- [3]Takeo Ishikawa,Masahiro Matsuda,Michio Matsunami, "Finite Element Analysis of Permanent Magnet Type Stepping Motors",IEEE Transaction on Magnetics,vol. 34, pp.3503-3506,1998.
- [4]Yukihiro Okada,Yoshihiro Kawase,"Analysis of Claw-poled Permanent Magnet Magnet-Stepping Motor Considering Deterioration of Material Characteristics by Remains Stress", IEEE Transaction on Magnetics, vol.39, pp. 1721-1724. 2003.