

Claw-pole PM형 스텝핑 모터의 특성 해석 및 성능 평가

유용민, 오상열, 김 직
(주)모아텍

Characteristics Analysis and Performance Test of the Claw-pole PM Stepping Motor

Yong-Min You, Sang-Yeul Oh, Jick Kim
MOATECH

Abstract - The claw-pole PM(Permanent Magnet) stepping motor has the advantage of the positioning machine because of a relatively little step angle, facility of control, and detent torque characteristics. Although the research about this motor has been progressed, it was difficult to analyze because of three-dimensional magnetic circuit. This paper performed analysis of the static and dynamic characteristics of the claw -pole PM stepping motor using 3D-FEM(Finite Element Method). We also manufactured the test products and practiced performance tests for verification of the analysis results.

의해 발생하는 자속과의 상호작용에 의해 회전하게 된다. 본 해석 모델의 경우 A·B 두개의 스택이 각각 24쌍의 치극을 가지고 있으므로, 1회전당 96개의 스텝(스텝각: 3.75°)으로 회전하게 된다.

1. 서 론

치극(claw-pole)을 갖는 영구자석형 스텝핑 모터는 OA기기, 가전기기, 정보기기 및 자동차부품용으로 활용 분야가 점점 확대되고 있다. 또한 비교적 미세한 스텝각으로 구동할 수 있고, 제어가 용이하며, 회전자에 영구자석을 배치하여 자기 유지 토크를 가짐으로써 위치결정용 장치로서의 큰 장점을 가지고 있다. 이미 치극을 갖는 영구자석형 스텝핑 모터에 대한 연구가 진행되고 있지만[1]-[3], 모터의 3차원 자기회로 구조로 인하여 해석시 큰 어려움을 겪고 있다.

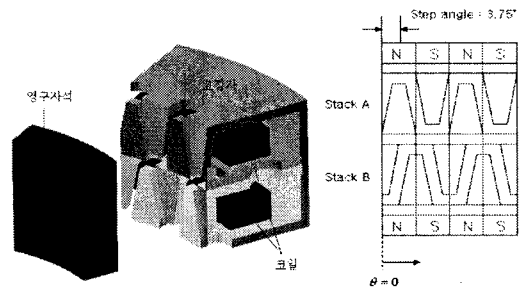


그림 1. 해석 모델
Fig. 1 Analysis model

표 1은 본 해석 모델의 사양을 나타내고 있다. 해석 모델의 구동방식은 바이폴라(Bipolar) 방식이며, 여자 방식은 2상 여자 방식, 그리고 정전류 구동방법을 선택 하였다.

표 1 해석 모델의 사양
Table 1 Specifications of the analysis model

항 목	단 위	사 양
스텝각	°/step	3.75
저 항	Ω	20
정격 전류	mA	300 (at 24V)
		200 (at 12V)
모터 외경 / 두께	mm	$\phi 35 / 8.3$
치 수	EA	96
공 극	mm	0.15
영구자석 외경 / 내경	mm	$\phi 23 / \phi 19$
영구자석 극수	poles	48
영구자석 잔류자속밀도	T	0.603

2. 본 론

2.1 해석 모델

그림 1은 치극을 가지는 영구자석형 스텝핑 모터를 나타내고 있다. 회전자는 다극 착자된 영구자석, 스페이서와 샤프트로 구성되어 있으며, 고정자는 두개의 스택으로 구성되어 있으며 각 스택은 각각 하나의 요크와 프레임 그리고 코일로 구성되어 있다. 또한 각 상의 치극은 코일에 전류가 인가됨에 따라 N극과 S극으로 순차적으로 변화하며, 극 피치의 1/2만큼 서로 어긋나 있다. 따라서 다극 착자된 영구자석을 가진 회전자는 고정자 코일에 전류가 인가됨에 따라 변화하는 고정자의 치극에

2.2 특성 해석

치극을 가지는 스텝핑 모터의 경우 자기회로구조가 3차원의 형태이기 때문에, 2차원 해석으로는 특성 해석을 수행하기 어려우며 신뢰성 있는 결과를 얻기도 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 3차원 유한요소해석을 적용하여 특성 해석을 수행하였으며, 해석 프로그램으로는 상용 프로그램인 Maxwell 3D를 사용하였다. 해석방법

으로는 직접 수렴법을 사용하였으며, 비선형 해석시 수렴 오차는 1%로 설정하였다. 또한 48극 다극차자된 영구자석의 자화분포는 1차, 3차 및 5차 고조파를 고려하여, 다음 식과 같이 표현하였다[3].

$$M_{amp} = \frac{B_r}{\mu_r} * [1.25 * \sin(24\theta) + 0.4 * \sin(72\theta) + 0.1 * \sin(120\theta)] \text{ [A/m]} \quad (1)$$

$$X_{comp} = M_{amp} * \cos(\theta) \text{ [A/m]} \quad (2)$$

$$Y_{comp} = M_{amp} * \sin(\theta) \text{ [A/m]} \quad (3)$$

여기서, 식(1)은 자화의 크기를 나타내고 있으며 식(2)와 (3)은 각각 X축과 Y축 방향의 자화성분을 나타내고 있다.

2.2.1 디텐트 토크 특성

영구자석형 스테핑 모터의 회전자 위치에 따른 토크 변화에는 두가지의 중요한 개념이 존재한다[4]. 첫 번째는 무여자 상태에서 영구자석과 치극 사이에서 발생하는 코깅 토크에 의해 고정된 위치를 유지하려고 하는 최대 정토크인 디텐트 토크이며, 다른 하나는 여자 상태에서 고정된 위치를 유지하려고 하는 최대 정토크인 홀딩 토크이다.

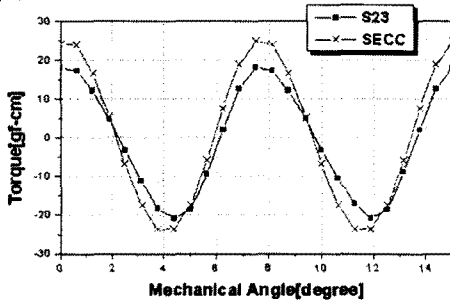


그림 2. 디텐트 토크 특성
Fig. 2 Detent torque characteristics

그림 2는 회전자 위치에 따른 디텐트 토크의 변화를 나타내고 있다. 회전자의 초기 위치는 그림 1의 $\theta = 0$ 와 같으며, 회전자의 기계각을 0° 부터 15° 까지 0.625° 간격으로 변화시켜가며 3차원 유한요소해석을 적용한 정특성 해석을 수행하였다. 해석 결과 각 치극의 중심과 영구자석 각 극의 중심이 일치하는 초기 위치와 2스텝각 변화 후에 최대값을, 1스텝각과 3스텝각 변화 후에 최소값을 가짐을 알 수 있었으며, 1주기는 2스텝인 7.5° 임을 확인하였다[2].

2.2.2 홀딩 토크 특성

해석 모델의 홀딩 토크 특성은 그림 3과 같다. 본 해석 모델의 경우 2상 여자 방식이므로, 각 스택의 코일에 정격 전류 300mA를 각각 인가한 후 특성 해석을 수행하였다. 해석 결과 회전자의 기계각이 1.875° 일때 173 [gf-cm]으로써 최대 토크를 가짐을 알 수 있었으며, 그 이유는 코일의 전류 인가방식이 2상 여자방식이므로, 전류 인가시 각 스택의 치극 사이에서 평형 상태를 형성하기 때문이다. 또한 전류 여자시 자기적인 특성이 우수한 S23인 경우, SECC의 경우보다 더 큰 홀딩 토크를 가짐을 알 수 있다.

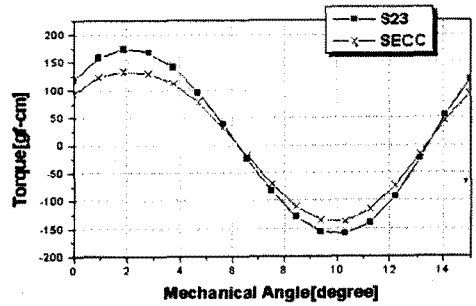
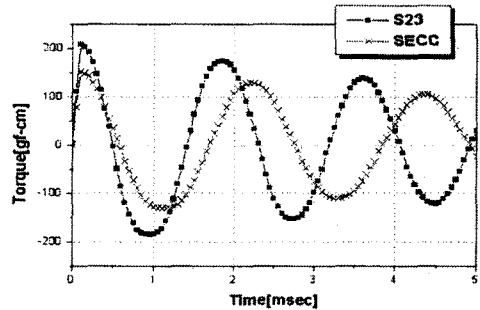


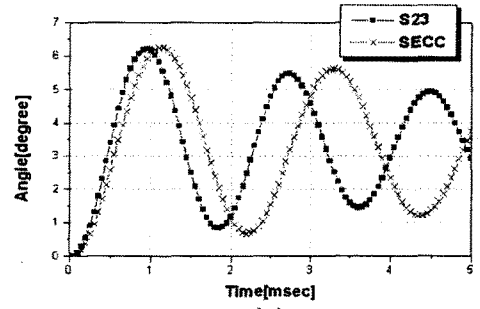
그림 3. 홀딩 토크 특성
Fig. 3 Holding torque characteristics

2.2.3 동특성(기동시)

본 연구에서는 스테핑 모터의 동특성 해석의 초기단계로써, 기동시 모터 특성에 대해 고찰하였다. 해석 방법은 정지 상태에서 정격 전류 300[mA]를 200[pps]의 한 스텝 주기인 5[msec]동안 인가하면서, 모터의 특성 변화를 살펴보았다. 관성 계수는 회전자의 형상 및 무게를 고려하여 $3.29 \times 10^{-8} \text{kgm}^2$ 으로 설정하였고 전류는 실험치를 적용하였지만, 댐핑 및 부하는 고려하지 못했다. 그림 4(a)와 같이, 요크 재질이 S23인 경우 최대기동 토크는 208[gf-cm]로써 SECC인 경우에 비해 더 큰 기동토크를 가진다. 또한 해석 결과를 통해, S23인 경우 전체적으로 더 큰 토크 분포를 보이며, 모터의 스텝각인 3.75° 에 더 빠르게 수렴해감을 알 수 있다. 비록 한 주파수대역에서 한 스텝 주기 동안의 기동특성 해석 결과이기는 하지만, 모터의 전체적인 토크 분포 및 주파수 특성의 경향을 파악하는데 도움이 될만한 해석 결과라 사료된다.



(a) 토크



(b) 위치

그림 4. 동특성(기동시)
Fig. 4 Dynamic characteristics

2.3 성능 평가

그림 5는 실제 제작된 스캐너용 슬림형(8.3mm) 스테핑 모터를 나타내고 있으며, 성능 평가를 수행하여 해석결과와 비교하였다.

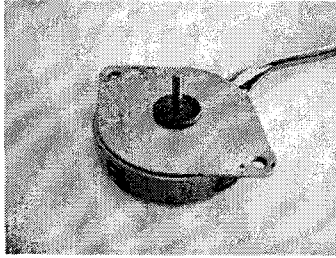


그림 5. 스캐너용 영구자석형 스테핑 모터
Fig. 5 PM stepping motor for scanner

2.3.1 정특성

디텐트와 홀딩 토크의 측정은 각각 무여자 상태와 정격 전류 300mA(정격 전압 24V) 여자 상태에서 토크 게이지(Torque Gauge)를 이용하여 측정하였으며, 표 2를 통해 실험치와 해석치가 유사함을 알 수 있다.

표 2 정특성 해석 결과와 실험결과 비교
Table 2 Comparison of Static characteristics between analysis and experiment

	요크 재질	해석	실험	오차
디텐트 토크 [gf-cm]	S23	20.8	25	16%
	SECC	24.2	27.6	12%
홀딩 토크 [gf-cm]	S23	173.6	152	14%
	SECC	133.3	114	16%

2.3.2 동특성

그림 6은 스테핑 모터의 풀-인(Pull-in)·풀-아웃(Pull-out) 토크 특성을 측정하기 위한 실험 장치이다. Pulse Motor Analyzer는 SUGAWARA사의 PMA-1S 모델을 사용하였으며, 측정결과는 그림 8과 같다. 정격 전류는 각각 300mA와 200mA를 인가하였으며, 요크의 재질이 S23인 경우 SECC에 비해 더 우수한 토크 및 주파수 특성을 나타내었다.

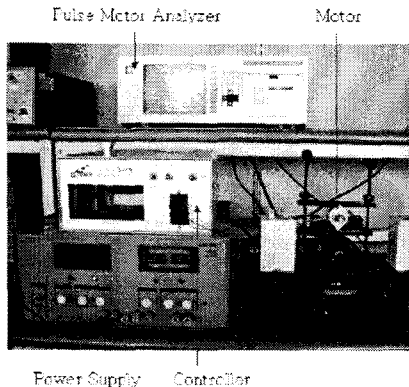
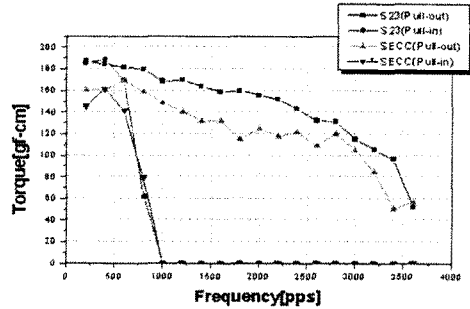
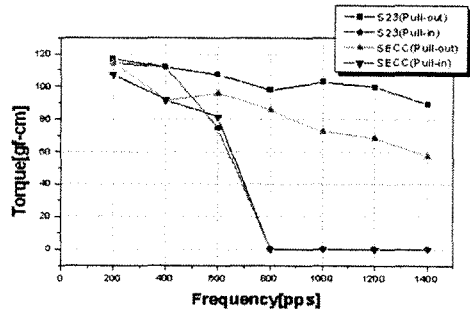


그림 6. 실험 장치
Fig. 6 Experimental setup



(a) 정격 전류 300mA(정격 전압 24V)



(b) 정격 전류 200mA(정격 전압 12V)

그림 7. 풀-인 특성과 풀-아웃 특성
Fig. 7 Pull-in and Pull-out characteristics

3. 결론

본 연구에서는 스캐너용 슬림형 claw-pole PM형 스테핑 모터의 특성 해석 및 시제품 제작 후 성능평가를 수행하였다. 3차원 유한요소해석을 통해 철심 재질에 따른 모터의 디텐트 토크와 홀딩 토크 및 기동 특성을 살펴보았다. 성능평가를 통해 해석의 결과의 타당성을 입증하였으며, 선진사 대비 우수한 성능의 모터 개발에 성공하였다.

스테핑 모터는 주파수에 따른 토크 특성이 중요하지만, 해석의 난해함으로 인하여 이에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 이번 연구를 기초로 하여, 주파수에 따른 모터의 동특성 해석을 진행해나가는 것 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원의 우수제조기술연구센터(ATC)에 관한 기술개발사업(과제번호 : 10007719)의 지원으로 수행되었음

[참고 문헌]

- [1] Takeo Ishikawa, "Static Torque Characteristics of Permanent Magnet Type Stepping Motor with Claw Poles", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36 No. 4, pp. 1854-1857, 2000.
- [2] Tatsuya Kikuchi, "Developing an Educational Simulation Program for the 영구자석형 Stepping Motor", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45 No. 1, pp. 70-78, 2002.
- [3] 류세현, "Claw-Pole를 갖는 영구자석형형 스테핑 모터의 소형화에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 929-931, 2004.
- [4] Takashi Kenjo, Akira Sugawara, "Stepping Motors and Their Microprocessor Controls, Oxford Science Publications, ch. 2.4.6., 1994.