

Claw-pole을 갖는 PM형 스텝핑 모터의 소형화에 관한 연구

류세현¹, 정인성², 성하경², 권병일²
¹전자부품연구원, ²한양대학교

A Study of the Miniaturization of the PM type Stepping Motor

Se-hyun, Rhyu¹, In-sung, Jung², Ha-kyung, Sung², Byung-il, Kwon²
¹Korea Electronics Technology Institute, ²Hanyang University

Abstract - Recently, there are growing demands for permanent magnet(PM) type stepping motor that greater mechanical output, smaller size. Especially, the PM type stepping motor with claw-poles is preferred solution for many small electronics position determination devices since it is small in size, low cost. But, the design of the PM type stepping motor with claw-poles is very difficult because it has a magnetic 3-D shape. This paper deals with a study of the miniaturization of the PM type stepping motor with claw-poles. We investigate the characteristic of the actual model using the equivalent magnetic circuit method and 3-D FE analysis.

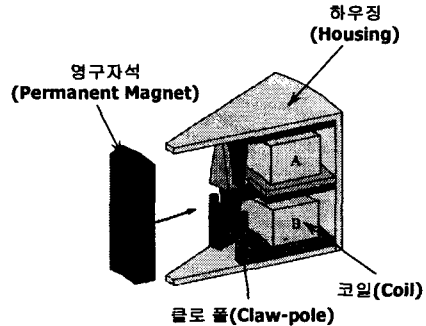


그림 1. Claw-pole을 갖는 영구자석형 스텝핑 모터
 Fig. 1 PM type stepping motor with claw-poles

1. 서 론

최근들어, 휴대용 이동통신기기를 포함함 각종 정보기에 소형의 claw-pole을 갖는 PM(Permanent Magnet)형 스텝핑 모터(Stepping Motor)의 활용이 높아지고 있다. 클로 폴을 갖는 소형 스텝핑 모터는 입력 펄스에 동기하여 구동함으로써 오픈루프 제어가 가능하고, 고 에너지 밀도를 갖는 영구자석을 회전자로 사용할 수 있어 정지시 높은 유지력을 가짐으로써 위치결정용 구동원으로써의 장점이 매우 높다. 그러나, 구조적으로 3차원의 자기적 경로를 가짐으로써 소형화 제작을 위해서는 정확한 자기회로 해석에 기반한 구조설계가 이루어 져야 한다[1],[2].

본 논문에서는 claw-pole을 갖는 스텝핑 모터의 소형화 연구에 관한 일환으로써, 동자자기회로 및 3차원 유한요소해석(3-D FE Analysis)를 기반으로 한 소형 구조에 따른 특성을 분석하였다. 또한, 실제로 외경 6mm급의 정보기기용 소형 claw-pole형 스텝핑 모터를 제작하여 특성을 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 Claw-pole을 갖는 스텝핑 모터

일반적으로, claw-pole을 갖는 스텝핑모터는 회전자로 영구자석을 가지며, 원주방향으로 스테이터 치와 원통형의 코일부가 위치하는 구조를 갖는다. 따라서, 자기회로적으로 3차원의 자로를 이루게 된다. 그림 1은 본 논문의 연구 대상모델인 소형 claw-pole을 갖는 영구자석형 스텝핑 모터를 나타낸다. 그림에서 보듯이, 스테이터 요크는 연자성 강판으로 되어있으며, 타발, 절곡 등의 프레스 가공으로 3차원적인 자극형상을 갖는다. 각 상의 요크부는 극치의 위치가 회전자 영구자석 착자간격의 1/2만큼 원주방향으로 어긋나게 설치된다. 이러한 기계적 구성에 의해 구동하는 코일을 선택하거나 흐르는 전류의 방향을 전환하므로써, 회전자는 착자 자극간격의 1/2도씩 회전한다. 표 1은 본 논문의 연구대상 모델인 claw-pole을 갖는 외경 6mm급 PM형 스텝핑 모터의 제원을 나타낸다.

표 1. Claw-pole을 갖는 PM형 스텝핑 모터의 제원
 Table. 1 Specification of the PM type stepping motor with claw-poles

구 분	제 원	단 위
모터 외경	6.0	mm
모터 길이	7.0	mm
기본 스텝각	18.0	deg./step
상 수	2	phases
스테이터 치수/상	10	ea/phase
영구자석 극수	10	poles
영구자석 종류	Nd브드(Br=0.68T)	-

2.1.1 구동원리

본 연구개발 목표인 PM형 스텝핑모터는 10극으로 착자되어진 영구자석을 회전자로 하며, 2상 Bipolar 구동방식으로 1회 펄스당 18deg./step의 스텝각을 갖는다. 상여자 Sequency에 따른 스위칭 회로도 및 구동원리도는 다음의 그림과 같다[3].

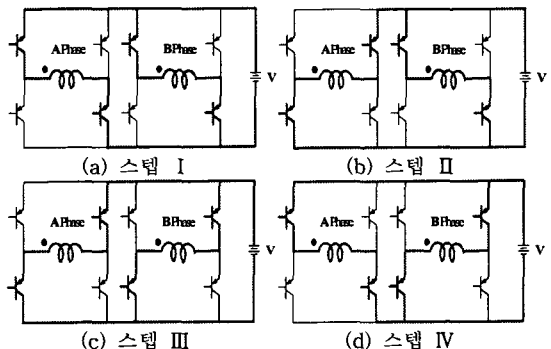


그림 2. 기본 여자 회로도

Fig. 2 A basic exciting circuit

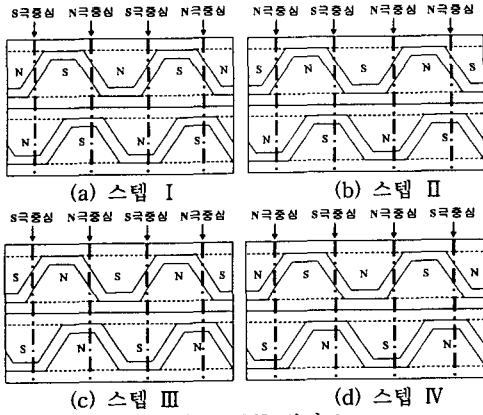


그림 3. 구동 원리도
Fig. 3 A basic operating flow

2.2 등가자기회로법을 이용한 토크 산출

Claw-pole를 갖는 PM형 스테핑모터의 특성해석을 위하여 3차원적 등가자기회로 분석을 통한 2차원적 등가모델링에 관한 연구가 이루어지고 있다. 본 절에서는 등가자기회로법에 기초하여 스테핑 모터의 회전자 위치에 따른 정토크 특성을 구하고자 한다. 토크는 공극에 저장된 coenergy W_m 의 회전자 위치, θ 의 미분으로 구할 수 있다[4].

$$T(\theta) = \frac{dW_m(\theta)}{d\theta} \quad (1)$$

식 (1)로 부터, a상과 b상의 권선 전류에 의한 토크는 각각 다음의 식 (2), (3)과 같다.

$$T_a(\theta) = I_a N_a P^2 \Phi_{gm} \sin p\theta \quad (2)$$

$$T_b(\theta) = I_b N_b P^2 \Phi_{gm} \sin p(\theta + \delta) \quad (3)$$

여기서, I_a , I_b 는 각상의 전류, N_a , N_b 는 각상의 권선수를 나타내며 또한, P 는 자극쌍수, Φ_{gm} 은 공극 자속을 나타낸다. 이로부터, 전체 발생토크는 식 (4)와 같다.

$$T = T_a(\theta) + T_b(\theta) = INP^2 \Phi_{gm} (\sin P\theta + \sin P(\theta + \delta)) \quad (4)$$

여기서, δ 는 전기각으로 90도를 나타낸다.

식 (4)로 부터, 회전자의 위치에 따른 정격전류, 70mA 인가시 각상의 여자코일에 의하여 발생하는 토크 및 합성토크는 그림 4와 같다. 그림 4에서 보듯이, 각상의 여자코일에 의한 발생토크는 전기각으로 90도의 위상차를 가지며, 각각의 최대치가 약 3.2gcm가 됨을 알 수 있다. 또한, 이로부터 해석대상 모델의 홀딩토크(Holding torque)는 약 4.5gcm가 됨을 나타낸다. 그러나, 그림 4의 결과는 등가자기회로법을 이용한 결과로 재질의 비선형성 특성을 고려하지 않았으며, 또한 공극자속의 자화분포를 정현적으로 가정한 결과로써, 실제 발생하는 토크는 다소 다를 것임을 예측할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 Maxwell 3D를 이용한 3차원 유한요소해석을 하였다.

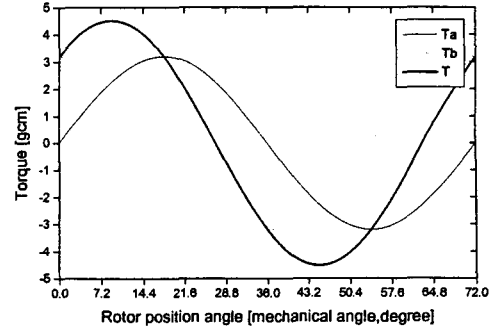


그림 4 정토크 특성 (I=70mA)
Fig. 4 Torque vs. angle curve (I=70mA)

2.3 3차원 유한요소 해석

3차원 유한요소 해석시 영구자석의 자화분포, M 를 고려하기 위하여 식 (5)와 같이 구형과의 1차 및 3차 등의 특정 고조파를 고려할 수 있도록 하였다. 해석영역은 각상간의 구조적 동일성을 고려하여 한 상의 모델에 대하여 해석을 행하였으며, 해석의 정확성과 계산시간의 단축을 위하여 적응 요소분할법(adaptive mesh)을 사용하였다. 적응 요소분할시의 오차는 0.5% 이내로 설정하였다. 또한, 철심의 자기적 비선형 특성을 고려하기 위하여, B-H 곡선을 고려한 해석을 하였으며, 비선형 해석시의 수렴오차는 계산시간의 단축을 위하여 5%로 설정하였다.

$$M = B_r/\mu_r [1.25 \sin(5\theta) + 0.4 \sin(15\theta)] \quad [A/m] \quad (5)$$

그림 5와 6은 여자코일에 전류 70mA 인가시 스테이터 및 하우징 영역에서의 자속밀도 특성 및 X-Y 평면에서의 자속밀도 분포도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 스테이터 치 부분에서 국부적으로 포화가 발생됨을 알 수 있다.

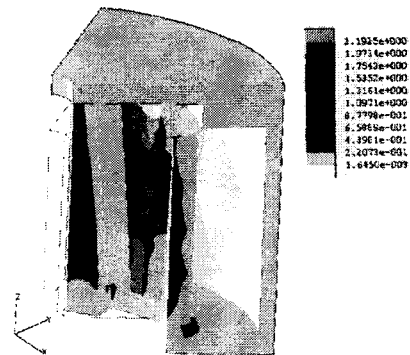


그림 5 스테이터와 하우징 영역의 자속밀도 분포도
Fig. 5 Flux density distribution at stator and housing

그림 7은 3-D 유한요소 해석으로부터 얻어낸 회전자 위치에 따른 토크특성을 나타낸다. 정격전류 70mA를 인가한 상태에서 회전자의 위치를 6도씩 이동하며, 각각의 위치에서의 해석을 행하였다. 그림에서 보듯이, 홀딩토크가 약 4gcm이며, 정현적인 파형에서 다소 왜곡이 되어

지는 형상을 나타냄을 알 수 있다. 이것은 디텐트 토크 (Detent torque)의 영향에 기인하는 것으로 사료된다.

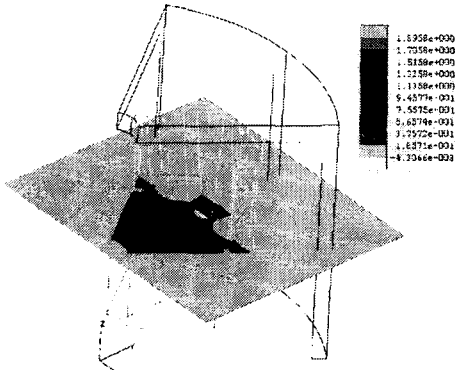


그림 6 X-Y 평면의 자속밀도 분포도
Fig. 6 Flux density distribution at X-Y plane

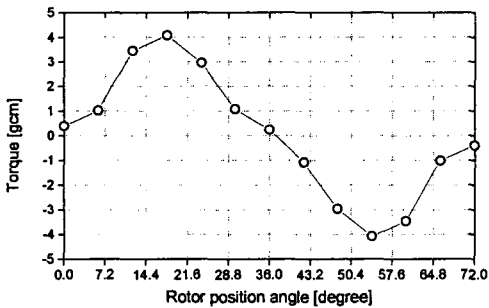


그림 7 정토크 특성 (I=70mA, 해석치)
Fig. 7 Torque vs. angle curve (I=70mA)

2.3 실험 및 고찰

그림 7은 실제로 제작되어진 외경 6mm급 소형 스텝핑 모터를 보인다. 그림 8은 회전자 위치에 따른 토크특성을 계속하기 위한 실험장치도를 나타낸다. 본 실험에서는 토크 디텍터로 일본 Sugawara사의 ATM-5MN을 사용하였다.

그림 9는 실험을 통하여 얻어낸 정토크 특성곡선을 나타낸다. 발생 토크의 최대치를 비교할 경우, 그림 4의 등가자기회로법의 해석결과와는 80%의 오차를, 그림 6의 3-D 유한요소 해석결과와는 60%의 오차를 가짐을 알 수 있다.

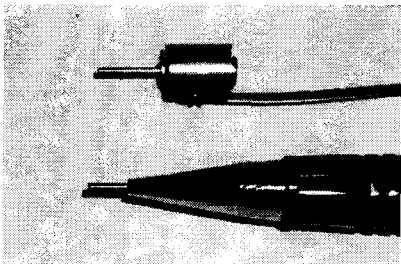


그림 7. 외경 6mm급 PM형 스텝핑 모터
Fig. PM type stepping motor with claw-poles (outer diameter 6mm)

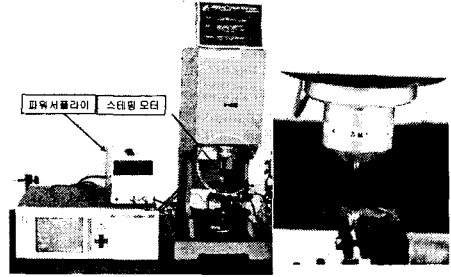


그림 8. 정토크 측정장치도
Fig. 8. Measurement system of static torque

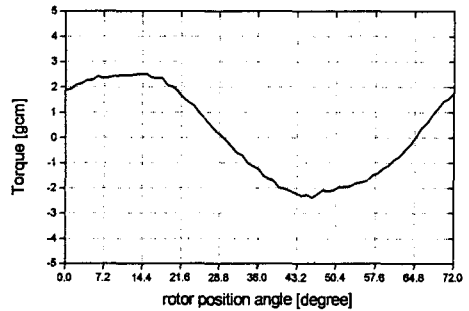


그림 9 정토크 특성 (I=70mA, 실험치)
Fig. 9 Torque vs. angle curve (I=70mA)

오차의 원인으로서는, 실제로 제작되어진 스텝핑모터는 스테이터와 하우징이 미세한 갭을 가지고 조립되어지는 구조로써 자속의 누설을 다소 가질 수 있을 것으로 사료되며, 또한 소형 영구자석의 착자과정에서 영구자석 전 영역에 걸친 완전한 착자가 이루어지기 어려운 점을 해석과정에서 고려하지 않았기 때문이라 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 claw-pole을 갖는 외경 6mm급 PM형 스텝핑 모터의 소형화 구조설계에 관한 연구의 일환으로써, 등가자기회로법 및 3차원 유한요소법을 이용한 특성 해석을 하였으며, 또한 실제로 제작한 모델을 대상으로 특성실험을 하였다. 이로부터, claw-pole을 갖는 PM형 스텝핑 모터의 소형, 고출력화를 위해서는 구조적 원인에 기인하는 누설자속을 최소화 하여 유효자속의 증가를 이룰 수 있는 종래의 구조와는 차별성을 갖는 구조적 보완이 이루어 져야 할 것으로 사료된다. 아울러, 구성 부품의 제작공정 및 정확한 모델링을 이용한 특성해석이 이루어져야 할 것이며, 이는 다음의 연구과제로 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. R. Brauer, S. M. Schaefer, N. J. Lambert, B. E. MacNeal, "Mixing 2D with 3D finite elements in magnetic models", *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 26, No. 5, pp. 2193-2195, Sept., 1990.
- [2] YouGuang Guo, Jian Guo Zhu, Peter A. Watterson, and Wei Wu, "Comparative study of 3-D flux electrical machines with soft magnetic composite cores", *IEEE Trans. Ins Applicat.*, Vol. 39, pp. 1696-1703, Nov./Decm. 2003.
- [3] B. C. Kuo, "Nonlinear magnetic circuit model and its application to static holding torque prediction of hybrid step motors", *Pro. 13th Annual Symposium on Incremental Motion Control System and Devices*, Univ. of Illinois, 1986, pp. 303
- [4] B. C. Kuo, *Theory and applications of step motors*, WEST PUBLISHING CO., 1974.