2004년도 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집 (2004.10.15-10.16)

토크 향상을 위한 마이크로 스테핑 모터의 구조에 관한 연구

류세현*,**, 권병일*, 정인성**, 성하경**
*한양대학교, **전자부품연구원

A Study of the Micro Stepping Motor Structure for Torque Improvement

Se-hyun, Rhyu*,**, Byung-il, Kwon**, In-soung, Jung*, Ha-gyeong, Sung*
**Hanyang University, *Korea Electronics Technology Institute

Abstract - Recently, the PM type stepping motor preferred solution for many small electronics position determination devices since it is small in size. Thus, there are growing demands for permanent magnet(PM) type stepping motor that greater mechanical output, smaller size. This paper deals with a study of the miniaturization of the PM type stepping motor with claw-poles. We introduced the small-sized PM type stepping motor that has new structure and analyzed the magnetic characteristic of it versus general type model using 3-D finite element analysis(FEA).

1. 서 론

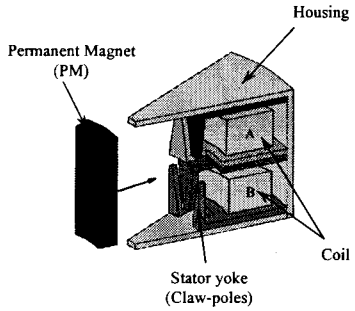
최근에, 디지털 카메라를 포함한 각종 정보기기에 클로-폴(Claw-pole)을 갖는 PM형 마이크로 스테핑모터(PM type Micro Stepping Motor)의 활용이 높아지고 있다. PM형 스테핑모터는 입력 펄스에 동기하여 구동함으로 오픈루프 제어가 가능하고, 고 에너지적을 갖는 영구자석을 회전자로 사용할 수 있어 정지시 높은 유지력을 가짐으로 위치결정용 구동원으로써의 장점이 매우 높다[1]. 그러나, 구조적으로 3차원의 자기적 경로를 가짐으로 소형, 고토크화를 위해서는 정확한 자기회로 설계 및 해석에 기반한 구조개선이 이루어 져야 한다[2],[3].

따라서, 본 논문에서는 PM형 마이크로 스테핑모터의 소형, 고토크화 구조설계에 관한 연구의 일환으로, 동일 체적 대비 고출력 밀도를 가질 수 있는 마이크로 PM형 스테핑모터를 제안하였으며, 이를 대상으로 3-D 유한요소해석(Finite Element Analysis)을 이용한 종래모델과의 특성검토를 행하였다. 이를 근거로, 제안한 모델의 고 토크화 구조로의 타당성을 보였다.

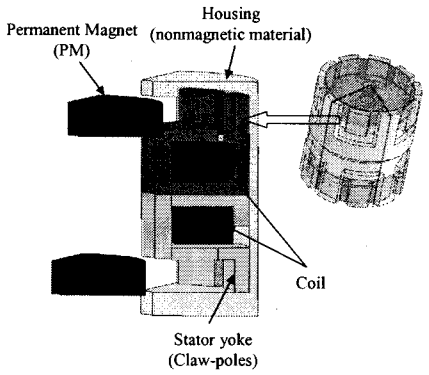
2. 본 론

2.1 토크 향상을 위한 마이크로 스테핑 모터의 구조

일반적으로, 종래의 claw-pole을 갖는 PM형 스테핑 모터는 회전자로 영구자석을 가지며, 외경 방향으로 스테이터 치(claw-pole)와 원통형의 코일부(coil), 그리고 하우징(housing)이 위치하는 구조로 이루어진다. 따라서, 영구자석, 코일 그리고, 하우징의 연계적 구조 관계에 의하여 모터의 전체적인 외경을 축소시키는 것은 출력특성 및 제작상의 많은 어려움과 제한을 갖는다. 그림 1의 (a)는 외경 6mm급의 종래의 소형 claw-pole을 갖는 PM형 스테핑 모터를 나타낸다. 그림에서 보듯이, 스테이터 요크는 연자성 강판으로 되어있으며, 타발, 절곡 등의 프레스 가공으로 자기회로적으로 3차원적인 구조를 갖는다. 각 상의 스테이터 요크부는 극치의 위치가 회전자 영구자석 착자간격의 1/2만큼 원주방향으로 어긋나게 설치된다. 이러한 기계적 구성에 의해 구동하는 코일을 선택하거나 흐르는 전류의 방향을 전환함으로써, 회전자는 착자 자극간격의 1/2도씩 회전한다. 또한, 그림 1의 (b)는 본 논문에서 제안한 소형, 고토크 특성을 위한 모델을 나타낸다. 종래 모델의 구조에 비교하여 볼 때, 각 상의 스테이터는 두 개의 스테이터 치를 갖는 요크부로 이루어져 있으며, 구조적으로는 영구자석과 스테이터 요크부, 그리고 코일부가 축 방향으로 정렬되어 짐을 보이고 있다. 또한, 하우징은 자기적 회로에 무관함으로 비자성의 재질을 갖는다. 따라서, 모터 외경 방향으로의 치수가 종래의 모델과 달리 코일부에 의하여 제한받지 않는 구조를 갖는다.



(a) general type (Model Ⅰ)



(b) proposed type (Model Ⅱ)

그림 1. Claw-pole을 갖는 PM형 스테핑 모터
Fig. 1 PM type stepping motors with claw-poles

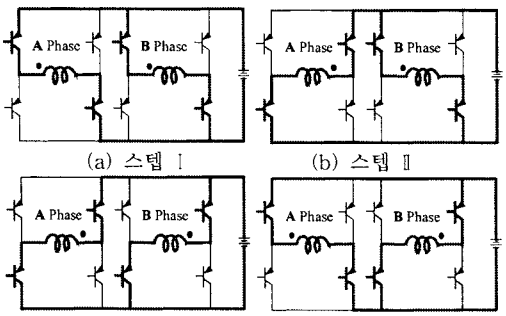
표 1은 본 논문의 연구대상 모델인 claw-pole을 갖는 외경 6mm급 PM형 스테핑 모터의 종래 모델과 제안한 모델의 제원 비교를 보인다. 표에서 보이듯이, 모터의 외경, 길이 및 영구자석의 체적 등을 동일하게 하여 특성을 비교하였다.

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

구 분		제원 Model Ⅰ	제원 Model Ⅱ	단 위
모터 외경		6.0	6.0	mm
모터 길이		7.0	7.0	mm
스 텝 각		18.0	18.0	deg./step
스테이터	권선수	350	350	turns
	치 수	10	10	ea/phase
	치두께	0.3	0.35	mm
영구자석	극 수	10	10	poles
	외 경	3.0	4.7	mm
	체 적	32.5	32.5	mm^3

2.2 구동원리

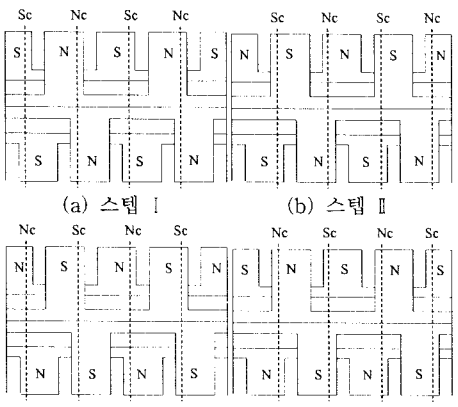
제안한 모델인 PM형 마이크로 스테핑 모터는 10극으로 착자된 영구자석을 회전자로 하며, 2상 바이폴라(Bipolar) 구동방식으로 1회 펄스당 18deg./step의 스텝각을 갖는다. 상 여자 순서에 따른 스위칭 회로도 및 구동 원리도는 다음의 그림 2와 3과 같다.



(a) 스텝 Ⅰ (b) 스텝 Ⅱ

(c) 스텝 Ⅲ (d) 스텝 Ⅳ

그림 2. 여자 순서도
Fig. 2 Current flow with exciting condition



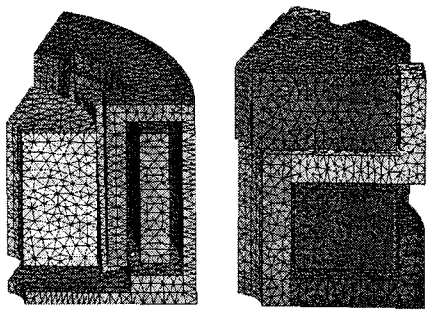
(a) 스텝 Ⅰ (b) 스텝 Ⅱ

(c) 스텝 Ⅲ (d) 스텝 Ⅳ

그림 3. 구동 원리도
Fig. 3 Rotor position with exciting condition

2.3 3차원 유한요소해석

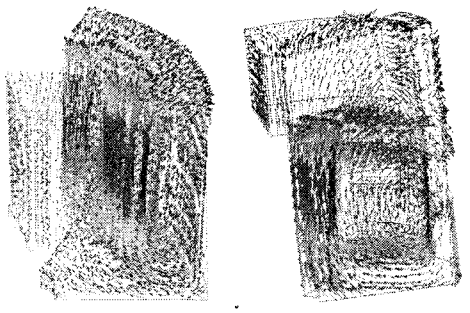
본 절에서는 제안한 모델의 특성검토를 위하여 3차원 유한요소 해석을 행하였다. 해석영역으로는 주기성을 고려하여 2/10 모델을 대상으로 하였으며, 해석의 정밀도를 위하여 각 재질의 비선형 특성을 포함한 특성해석을 하였다[4]. 다음의 그림 4는 각 모델에 대한 요소분할도를 나타낸다.



(a) Model Ⅰ (b) Model Ⅱ

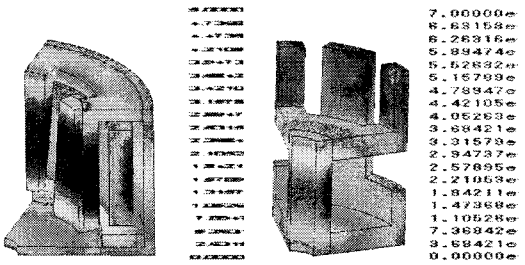
그림 4. 3차원 요소분할도
Fig. 4 3-D Mesh shape

그림 5는 영구자석이 36° 회전한 위치에서의 자속 벡터도를 보이며, 그림 6는 자속밀도 분포도를 나타낸다. 그림 6에서 보듯이 일반적 모델이 제안한 모델에 비하여 치 부분에서의 포화가 매우 심함을 알 수 있다.



(a) Model Ⅰ (b) Model Ⅱ

그림 5. 자속 벡터도(36°)
Fig. 5 Distribution of magnetic flux vector



(a) Model Ⅰ (b) Model Ⅱ

그림 6. 자속밀도 분포도(36°)
Fig. 6 Contours of magnetic flux density

다음의 그림 7은 3차원 유한요소 해석을 통하여 얻어낸 전류 70mA에서의 홀딩 토크를 각각 나타낸다. 해석결과로부터 모델 Ⅰ은 2.9gfcm, 모델 Ⅱ는 3.7gfcm의 크기를 가짐을 알 수 있으며, 이로부터 제안한 모델이 일반적인 모델에 비하여 동일한 조건에서 27% 정도의 토크 향상을 가짐을 확인 할 수 있다.

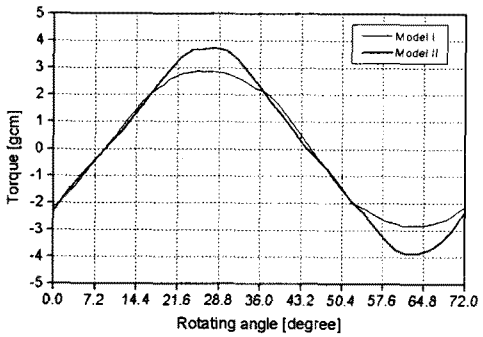


그림 7. 홀딩 토크 특성(Model Ⅰ, 70mA)
Fig. 7 Characteristic of holding torque

그림 8은 각각의 모델에 대한 영구자석의 회전위치에 따른 디텐트 토크(detent torque)의 해석결과를 나타낸다. 그림을 보아 알 수 있듯이, 비슷한 크기의 디텐트 토크를 가짐을 확인 할 수 있다.

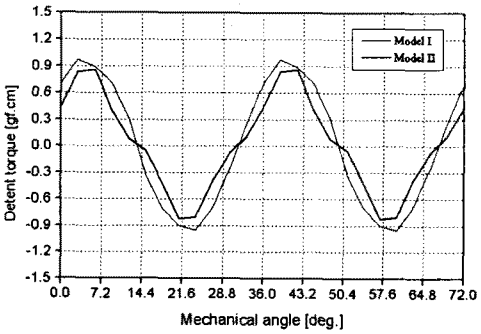


그림 8. 디텐트 토크 특성
Fig. 8 Characteristic of detent torque

2.4 실험 및 고찰

그림 9는 Model Ⅰ의 실제로 제작되어진 외경 6mm급 마이크로 스테핑 모터를 보인다. 또한, 그림 10은 회전자 위치에 따른 토크특성을 계측하기 위한 실험장치도를 나타낸다. 본 실험에서는 토크 디텍터로 일본 Sugawara사의 ATM-5MN을 사용하였다.

그림 11은 실험을 통하여 얻어낸 일반적 모델의 회전자 위치에 따른 토크 특성을 나타낸다. 결과를 통하여 알 수 있듯이, 전류 70mA에서 약 2.4gfcm의 홀딩 토크의 크기를 가지며, 그림 5의 해석 결과와 유사한 양상을 보임을 알 수 있다.

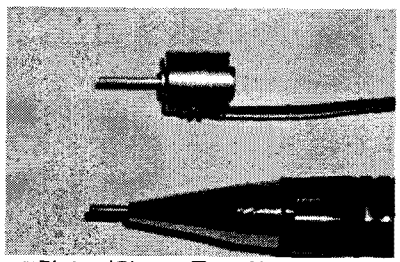


그림 9. 외경 6mm급 PM형 스테핑 모터
Fig. 9 PM type stepping motor with claw-poles (outer diameter 6mm)

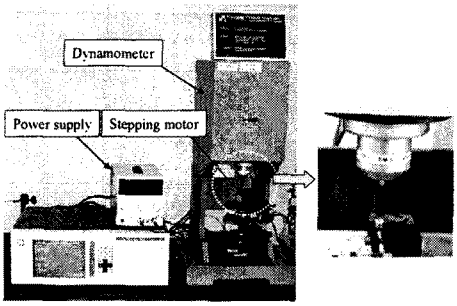


그림 10. 홀딩 토크 측정 장치도
Fig. 10 Measurement system of holding torque

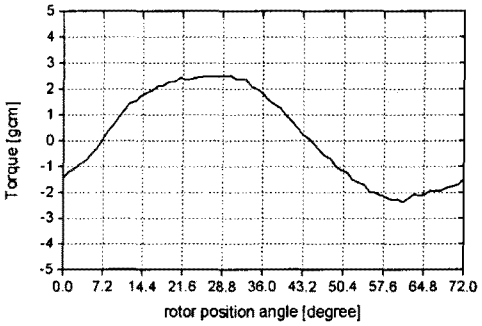


그림 11. 홀딩 토크 특성 (I=70mA, 실험치)
Fig. 11 Holding torque curve (I=70mA)

3. 결 론

본 논문에서는 claw-pole을 갖는 PM형 마이크로 스테핑 모터의 토크 향상을 위한 구조로 일반적 모델과는 다르게 영구자석, 코일 및 스테이터 요크가 축 방향으로 일련의 구조를 갖는 모델을 제안하였으며, 3차원 유한요소 해석을 통하여 일반적인 모델과의 특성비교를 검토하였다.

이로부터, 동일한 영구자석의 체적과 모터 사이즈를 갖는 조건에서 제안한 모델이 약 27% 정도의 토크 향상을 보임을 알 수 있었으며, 일반적 모델에 비하여 클로-폴 영역에서의 포화특성이 우수함을 확인 할 수 있었다. 또한, 실제로 제작되어진 외경 6mm급의 모델(Model Ⅰ)을 대상으로 실험을 통한 해석의 타당성을 보였다.

[참 고 문 헌]

[1] B. C. Kuo, *Theory and applications of step motors*, WEST PUBLISHING CO.,1974.

[2] 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.

[3] 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.

[4] B. C. Kuo, "Nonlinear magnetic circuit nodel 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