

새로운 구조를 갖는 마이크로 PM형 스텝핑 모터 개발

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

Development of the Micro PM type Stepping Motor with Newly Structure

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

Abstract - The micro permanent magnet(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 PM type stepping motor that greater mechanical output, smaller size. But, the design of the it, having high performance and small size is very difficult because of its complex mechanical structure. This paper deals with a development of the newly structured micro 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

최근 들어, 디지털 카메라 및 휴대용 이동통신기기를 포함한 각종 정보기에 클로-폴(Claw-pole)을 갖는 PM(Permanent Magnet)형 마이크로 스텝핑 모터(Micro Stepping Motor)의 활용이 높아지고 있다. 클로-폴을 갖는 마이크로 스텝핑 모터는 입력 펄스에 동기하여 구동함으로써 오픈루프 제어가 가능하고, 고 에너지적용을 갖는 영구자석을 회전자로 사용할 수 있어 정지시 높은 유지력을 가짐으로, 위치결정용 구동원으로서의 장점이 매우 높다. 그러나, 일반적으로 종래의 클로-폴을 갖는 PM형 스텝핑 모터는 타발, 절곡 등의 프레스 가공으로 제작되어지고, 권선부가 영구자석과 클로-폴을 감싸는 구조로 이루어져 외경방향의 크기를 줄여 소형화 하기는 매우 어려운 형상을 갖는다. 또한, 3차원의 자기적 경로를 가짐으로 소형화 제작을 위해서는 정확한 자기회로 해석에 기반한 구조설계가 이루어져야 한다[1].

본 논문에서는 클로-폴을 갖는 PM형 마이크로 스텝핑 모터의 구조개발에 관한 연구로써, 종래 모델과 동일한 사이즈를 갖는 마이크로 PM형 스텝핑모터의 구조를 제안하였으며, 이를 대상으로 3-D 유한요소해석(Finite Element Analysis)을 이용한 종래모델과의 자속밀도 및 홀딩토크(Holding torque) 등의 특성을 비교하였다. 이를 통하여 제안된 모델이 종래의 모델에 비하여 우수한 홀딩토크 특성을 가짐을 보였으며, 또한 실제로 제작되어진 모델을 대상으로 실험을 통하여 해석결과 및 고도 크화를 위한 구조개발의 타당성을 보였다.

2. 새로운 구조를 갖는 PM형 스텝핑 모터 개발

2.1 PM형 스텝핑 모터

일반적으로, 종래의 클로-폴을 갖는 PM형 스텝핑 모터는 회전자로 영구자석을 가지며, 외경 방향으로 고정자 치(claw-pole)와 원통형의 코일부(coil), 그리고 하우징(housing)이 위치하는 구조로 이루어진다. 따라서, 영구자석, 코일 및 하우징의 연계적 구조 관계에 의하여 모터의 전체적인 외경을 축소시키는 것은 영구자석의 외경감소에 따른 토크의 저감 및 제작상의 많은 제한을 받는다. 다음의 그림 1은 외경 6[mm]급의 클로-폴을 갖는 마이크로 PM형 스텝핑 모터의 구조도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 모터의 외경방향으로 영구자석, 코일 그리고, 하우징이 일련의 연계적 구조를 가짐으로 모터의 전체적인 외경을 축소시키는 것은 토크저감 및 제작상의 많은 어려움과 제한을 갖는다.

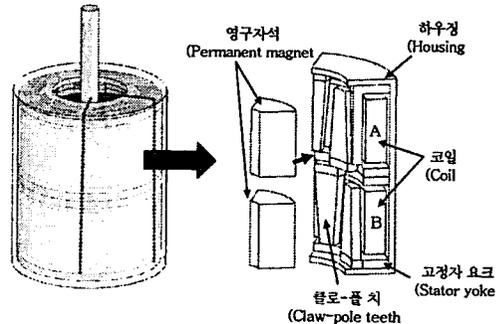


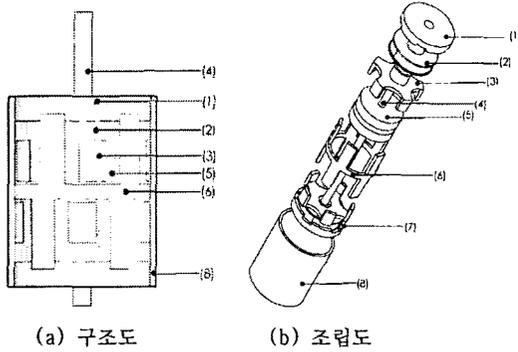
그림 1 클로-폴을 갖는 마이크로 PM형 스텝핑모터
Fig. 1 Micro PM type stepping motor with claw-poles

그림에서 보듯이 고정자 요크는 연자성 강판으로 되어 있으며, 자기회로적으로 3차원적인 구조를 갖는다. 각상의 고정자 요크는 클로-폴의 위치가 회전자 영구자석 착자 간격의 1/2만큼 원주방향으로 어긋나게 설치된다. 이러한 자기적 구성에 의하여 구동하는 코일을 선택하거나 흐르는 전류의 방향을 전환함으로써, 회전자는 착자 자극간격의 1/2도씩 회전한다.

2.2 새로운 구조를 갖는 PM형 스텝핑 모터

다음의 그림 2는 본 논문에서 제안한 종래 PM형 스

테핑 모터에 비하여 외경방향으로 소형화를 이루기에 용이한 구조를 가질 수 있는 모델을 나타낸다[2]. 종래 모델의 구조와 비교하여 볼 때, 영구자석과 고정자 요크부, 그리고 코일부가 축 방향으로 정렬되어 있음을 보이고 있다. 즉, 코일부가 영구자석을 감싸고 있는 구조가 아닌 영구자석의 축방향과 일련으로 위치하는 구조로 되어 있어 영구자석의 외경 치수를 극대화 시킬 수 있는 구조임을 알 수 있다. 또한, 하우징은 자기적 회로에 무관함으로 비자성의 재질로 이루어진다.



(a) 구조도 (b) 조립도
 그림 2 새로운 구조의 마이크로 PM형 스텝핑 모터
 Fig. 2 Newly structured micro PM type stepping motor with claw-poles

그림에서 (1)은 커버(Cover), (2)는 코일(Coil), (3)은 1차축 클로-폴, (4)는 샤프트(Shaft), (5)는 영구자석(PM), (6)은 1,2차축 클로-폴, (7)은 2차축 고정자부와 그리고, (8)은 하우징(Housing)을 각각 나타낸다. 자기회로 적으로 한 상의 클로를 살펴보면, 영구자석을 나온 자속은 공극을 지나 클로-폴(3)로 흐르게 되며, 또한 자성체인 커버(3)를 통하여 이웃한 또 다른 클로-폴 치(6)의 자로를 지나 공극을 통하여 이웃한 영구자석의 다른 극으로 들어가는 자기적 경로를 가지게 된다. 여기서, 하우징은 자로와 무관함으로 비자성체로 제작할 수 있음을 알 수 있다.

다음의 표 1은 종래의 모델과 비교하여 나타난 개발된 모델의 전기적, 기계적 제원을 나타낸다.

표 1. 마이크로 PM형 스텝핑 모터의 제원
 Table 1 Specification of the micro PM type stepping motors with claw-poles

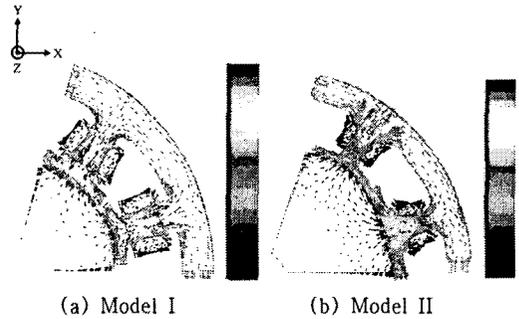
구 분	제 원		단 위
	종래모델 (Model I)	개발모델 (Model II)	
모터 외경	6.0	6.0	mm
모터 길이	7.0	7.0	mm
스텝 각	18.0	18.0	deg./step
스테이터	권선수	350	turns
	치 수	10	ea/phase
	치두께	0.3	mm
영구자석	극 수	10	poles
	외 경	3.0	mm
	체 적	30.8	mm ³

본 논문의 연구대상 모델은 10극으로 착자 된 영구자석을 회전자로 가지며, 2상 바이폴라(Bipolar) 구동방식으로 1회 펄스당 기계각으로 18°의 스텝 각을 갖는다.

3. 3차원 유한요소 해석 및 실험

3.1 영구자석 착자과정의 자속밀도 분포 해석

본 논문에서는 클로-폴을 갖는 마이크로 PM형 스텝핑 모터의 3차원적 자기회로를 고려하여, 3차원 유한요소 해석 프로그램(JMAG)을 이용한 특성해석을 하였다. 특히, 다극의 소형 영구자석의 경우 착자(magnetizing) 정도의 정확한 결과를 예측하기 어려움으로 본 논문에서는 제작에 사용된 착자요크의 동일한 모델링을 통하여 3차원 유한요소 해석을 행하였으며, 이를 통하여 얻어낸 영구자석 영역의 자속밀도 분포를 해석대상 모델인 스텝핑 모터의 회전자 영구자석의 자화분포로 사용하였다. 다음은 종래모델(Model I) 과 개발된(Model II)의 3차원 착자 요크 해석을 통한 영구자석의 축 방향 중간위치에서의 자속밀도 벡터 분포도를 나타낸다.



(a) Model I (b) Model II
 그림 3 착자요크 및 영구자석 영역의 자속밀도 분포도
 Fig. 3 Distribution of magnetic flux density in region of magnetizing yoke and PM

3.2 홀딩 토크 해석 및 실험

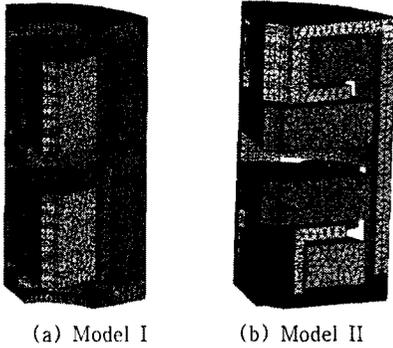
다음의 그림 4는 3차원 유한요소 해석을 위한 종래모델(Model I)과 개발모델(Model II)의 요소 분할도를 나타낸다. 종래모델과 제안모델의 구조적 대칭성을 고려하여 전체 모델 중 2/5 모델을 해석대상 영역으로 하였으며, 요소수는 각각 40,000개와 37,000개 이다. 3차원 유한요소 해석을 위한 해석대상 영역의 지배방정식은 다음의 식 (1)과 같다.

$$\text{rot}(\nu \text{rot } \mathbf{A}) = \mathbf{J}_0 + \nu_0 \text{rot } \mathbf{M} \quad (1)$$

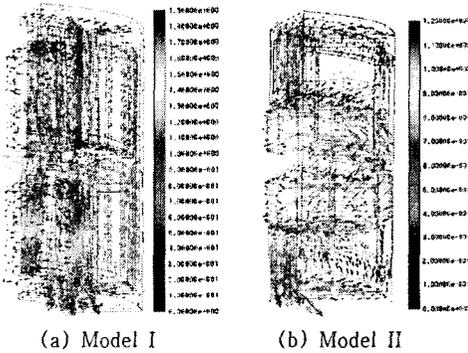
여기서, \mathbf{A} 는 자기벡터포텐셜(magnetic vector potential)을 나타내며, ν 는 저항률(reluctivity), \mathbf{J}_0 는 권선전류 밀도를 나타내며, \mathbf{M} 은 영구자석 영역의 자화(magnetization)을 나타낸다.

또한, 다음의 그림 5는 해석을 통하여 얻어낸 전류 70[mA]에서의 3차원 자속밀도 벡터도를 나타낸다. 그림에서 보이듯이 Model I이 Model II에 비하여 클로-

풀 치 영역에서 국부적으로 포화 현상이 심함을 알 수 있다.



(a) Model I (b) Model II
그림 4 요소분할도
Fig. 4 3-D Mesh shape



(a) Model I (b) Model II
그림 5 자속 벡터도
Fig. 5 Distribution of magnetic flux vector

다음의 그림 6은 각 상의 코일에 정격 전류를 인가한 상태로 영구자석을 회전시켜 각각의 위치에 따른 정적 토크를 해석한 홀딩 토크(holding torque) 해석결과를 나타낸다. 그림 6에서 보듯이 Model I의 경우 홀딩 토크의 크기가 2.5[gcm], Model II는 3.4[gcm]으로 제안한 모델이 일반적 모델에 비하여 약 36[%]정도 더 큰 것을 보이고 있다.

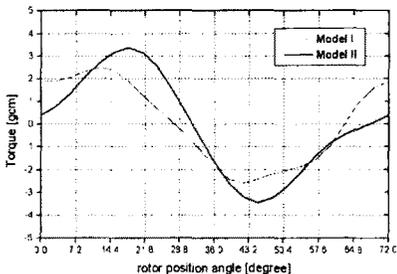


그림 6 홀딩 토크 특성해석 결과(I=70mA)
Fig. 6 Simulation results of holding torque

그림 7은 실제로 제작되어진 외경 6[mm]급의 개발된 마이크로 PM형 스텝핑 모터의 외관 사진을 보인다.

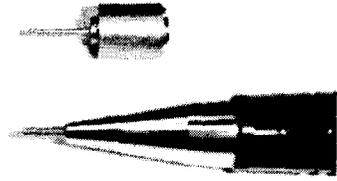


그림 7 개발된 마이크로 PM형 스텝핑모터(Model II)
Fig. 7 Micro PM type stepping motor

다음의 그림 8은 각각의 모델에 대한 홀딩토크 실험치를 나타낸다. 그림을 보아 알 수 있듯이 종래의 모델(Model I)에 비하여 개발된 모델(Model II)의 홀딩 토크가 약 3.2[gcm]로 더 크게 나옴을 확인할 수 있었다. 또한, 실험치는 3차원 유한요소 해석결과와 유사한 크기의 최대치를 가짐을 확인할 수 있다. 그러나, 파형의 양상이 해석치와 다소 다르게 나타남을 보이고 있으며, 이것은 실험과정에서 미소 토크 량의 제추용으로 토크 디텍터와 모터 샤프트 간의 체결을 위하여 사용한 고무(rubber) 커풀링 등의 영향으로 사료된다.

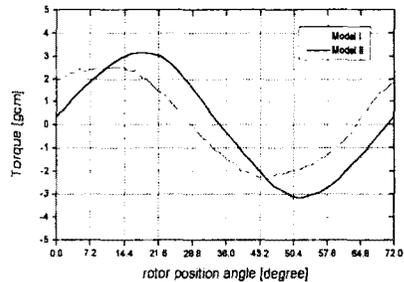


그림 8 홀딩 토크 특성실험 결과(I=70mA)
Fig. 8 Experimental results of holding torque

3. 결 론

본 논문에서는 클로-풀을 갖는 마이크로 PM형 스텝핑 모터의 소형화를 위한 새로운 구조개발에 관한 연구로, 종래의 모델과는 다르게 영구자석, 코일 및 고정자 요크가 축 방향으로 일련의 구조를 갖는 모델을 제안하였으며, 3차원 FE 해석을 통하여 종래의 모델과 홀딩 토크 특성을 비교하였다. 실제로 제작된 각각의 모델을 대상으로 홀딩 토크를 실험한 결과, 새로운 구조를 갖는 모델이 종래의 모델에 비하여 동일한 체적에서 홀딩 토크가 약 28% 더 크게 나옴을 확인할 수 있었다. 이로부터 새로운 구조를 갖는 개발된 모터가 종래의 모델에 비하여 소형, 고 토크화에 유용함을 확인할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Chikara Aoshima, "Micro Stepping Motor", 精密工學會誌, Vol. 68, No. 5, pp.637-640, 2002
- [2] 유세현 외, 클로-풀을 갖는 PM형 스텝핑 모터, 특허 제2 005-16170호, 2005.2.25