

Claw pole PM stepping motor의 조립 오차를 개선시키기 위한 연구

함상환*, 이성구*, 고성철*, 김원호*, 이형우**, 이주*
 *한양대학교, **한국철도기술원

A study on the improvement of construction error in PM stepping motor with claw pole

Sang Hwan Ham*, Sung Gu Lee*, Sung Chul Go*, Won Ho Kim*, Hyung Woo Lee**, Ju Lee*
 *Hanyang University, **Korea Railroad Research Institute

Abstract - This paper analyzed the characteristics of the claw pole permanent magnet(PM) stepping motor by using 3D Finite element method(FEM). In this motor, magnetization is occurred along the z-axis, therefore it is necessary to apply 3D FEM for analysis of the claw pole motor.

A phase difference of the two stacks's detent torque is 180 degrees. When the center of a permanent magnet is identical with the middle of a pole, small detent torque is produced in order to cancel each of detent torques. However, there are construction errors which are a discrepancy between one and the other phase section in the manufacturing process, thus the detent torque is increased. Moreover, it is confirmed that the proportion of the detent torque is considerably arisen according to the error. Analysis of the construction error is studied by changing the error 0° to 3°.

1. 서 론

Claw pole PM stepping 모터는 간단한 구조와 높은 내구성, 그리고 낮은 제조 단가 등의 이유로 광범위한 영역에서 주도적으로 사용되고 있다. 하지만 이 모터는 매우 작은 각 스텝으로는 동작할 수 없는 단점을 가지고 있다.

기기의 여러 특성 중에서 detent 토크와 holding 토크는 기기의 특성을 결정하는 중요한 요소이다. 이에 detent 토크와 holding 토크의 영향을 고려한 많은 설계들이 존재한다. 영구 자석의 기하학적 설계 및 자기적 설계와 pole의 형상이 claw pole PM stepping 모터의 주요 설계 인자이다. 그러므로 일반적으로 설계 단계에서 이러한 파라미터들의 최적화를 수행한다. Claw pole 모터를 분석하기 위해서는 3차원 분석이 필수적이다. 왜냐하면 구조적으로 3차원의 복잡한 형상을 가지고 있으며, z-축 방향으로 자속이 발생하고 그에 따른 현상들을 해석해야 하기 때문이다.

Claw pole PM stepping 모터의 경우에 있어서, 위쪽과 아래쪽 부품의 조립 시에 일반적으로 오차가 발생하게 된다. 그리고 이 오차는 모터의 detent 토크를 증가시키는 원인이 된다. 하지만 이 모터는 매우 작기 때문에 두 부품을 정확히 조립하는 것이 매우 어렵다. 따라서 이 논문은 조립 오차를 줄일 수 있는 구조에 대해서 분석해보고자 한다. 또한 조립 오차에 의한 영향을 해석하여, 조립 오차가 holding 토크와 detent 토크에 미치는 영향에 대하여 알아보도록 하겠다.

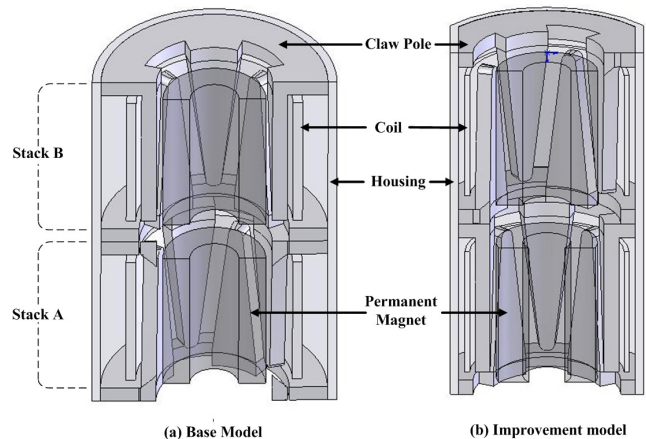
2. 본 론

2.1 해석 모델

2.1.1 Claw pole 모터의 구조와 드라이브

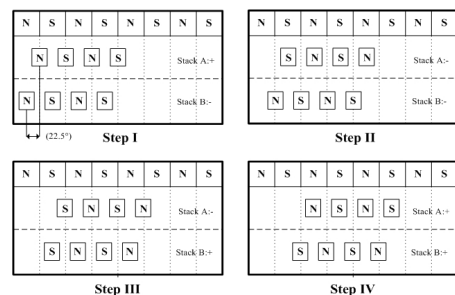
Claw pole PM stepping 모터는 다양한 디자인과 구성을 갖는다. 본 논문에서는 "can-stack" 모터로 알려진 PM stepping 모터에 대해서 연구하도록 하겠다. 이 모터는 원통형구조의 방사상으로 착자된 다극 영구 자석 회전자와 회전자의 축방향 부분을 둘러싸고 있는 형태로 구동 코일이 감겨진 두 개의 분리된 보빈으로 구성되어 있다.

Claw pole 모터는 다극으로 착자된 영구 자석으로 이루어진 회전자와 서로 맞대고 있는 claw pole을 가진 2-stack 구조로 된 고정자로 이루어져 있다. Stack의 각 pole은 서로에 대해 half-pitch만큼 이동되어 있다. 회전자의 pole-pair P는 각 상에 같은 수의 치를 가진다. 2 상(A, B)의 경우는 pole-pair당 8개의 치를 가지며, 이번 논문의 분석 모델은 22.5도의 step-angle을 갖는다. 영구 자석형 claw pole stepping 모터의 분석 모델은 그림 1의 (a)에 나타내었다. 그림 2는 각 step에서의 여자 상태에 따른 전류의 흐름과 회전자의 위치를 보여준다.



〈그림 1〉 Claw pole stepping motor의 기존 모델과 개선 모델의 해석 모델

분석 모델의 주요 사양은 표 1에 나타내었다. 각 stack의 영구 자석이 각각에 대해 분리되어 있지만, 누설 자속의 영향이 존재한다. 이는 각 stack의 고정자의 단면이 연결되어 있기 때문이다. Stack이 자기적으로 서로 영향을 미치기 때문에, 3차원 모델의 해석은 두 stack을 모두 고려하여 행해져야 한다.



〈그림 2〉 각 step에서의 여자 상태에 따른 전류의 흐름과 회전자의 위치

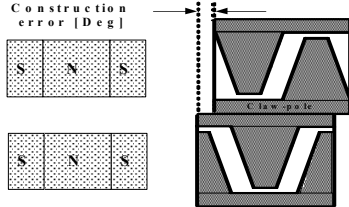
〈표 1〉 Claw pole PM stepping 모터의 사양

구분	사 양	
	상 수	2
고정자	상당 극수	8
	외경[mm]	7.45
	길이[mm]	12.2
	Step 각	22.5
회전자	극 수	8
영구자석(NdFeB)	잔류자속밀도[T]	0.43
공극	길이[mm]	0.195

2.1.2 Claw pole PM stepping 모터의 조립 오차

그림 3에서 claw pole PM stepping 모터의 조립 오차를 보였다. Claw pole PM stepping 모터는 기계각 22.5도, 전기각 90도로 정렬되어 있는 두 개의 pole로 구성된다. 만약 영구자석의 중심이 pole의 중심과 같다면, 이 때 윗 부분의 detent 토크와 아랫 부분의 detent 토크가 180도의 위상차를 가지게 되어 가장 작은 detent 토크가 발생한다.

본 연구에서 분석한 claw pole PM stepping 모터는 매우 작은 크기의 모터이다. Stack A와 stack B는 서로 분리되어 있으며, housing에 의해 감싸져있다. 이 구조는 조립 오차를 증가시키는 원인이 된다. 조립 오차는 detent 토크를 더욱 증가시킨다.

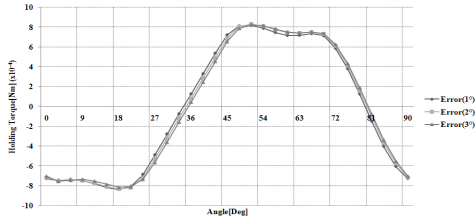


〈그림 3〉 PM stepping 모터의 조립 오차

2.2 조립 오차에 의해 발생하는 결과 해석

2.2.1 조립 오차에 의해 발생하는 holding 토크

이 논문에서는, 전류가 0.27A일 때, 2상의 bipolar 여자 방식으로 모터를 구동시켰을 때의 holding 토크를 계산하였다.



〈그림 4〉 조립 오차에 의한 holding 토크

그림 4에서 조립 오차를 0도에서 3도까지 변화시키면서 제어한 모델의 holding 토크를 나타내었다. Holding 토크의 크기는 바뀌지 않으나 상이 조금씩 이동하였다. 그림 4로부터, 조립 오차가 holding 토크에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

2.2.2 조립 오차에 의해 발생하는 detent 토크

영구자석 모터의 고정자의 치에서는 밀턴턴스의 변화가 있다. 영구자석에 의한 co-energy는 모터가 회전하도록 한다. 이 값은 다음 식과 같은 각의 변위에 의한 자기 co-energy의 편미분으로 계산할 수 있다.

$$T_{detent} = \frac{\partial W_f}{\partial \theta} \quad (1)$$

여기서의 co-energy는 회전자 위치에서의 계의 전체 co-energy이다. 수학적으로, 이 편미분은 근사적인 회전자의 각 변위에 대한 co-energy의 변화로 계산할 수 있다.

$$T_{detent} \approx \frac{\partial W_f}{\partial \theta} = \frac{W_{f2} - W_{f1}}{\theta_2 - \theta_1} \quad (2)$$

해석 모델은 90도 만큼의 변위 동안의 holding 토크를 계산하였으며 detent 토크의 주기는 식 (3)에 의해 계산될 수 있다.

$$\text{The cycle of cogging torque} = \frac{360^\circ}{\text{the LCM between number of PM pole and claw pole}} \quad (3)$$

그 결과, detent 토크의 주기는 45도가 된다.

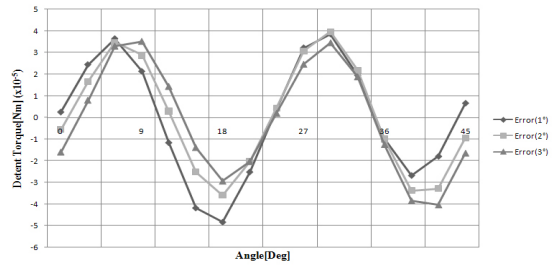
그림 5는 조립 오차를 0에서 3도까지 적용하였을 때의 모델별 detent 토크를 보여준다. 그림 5의 결과를 통해 알 수 있는 것은, 조립 오차가 증가할수록 detent 토크가 증가하며 동 시간에서 위상이 각각 달라졌음을 보여준다.

Detent 토크는 PM 모터에서 진동과 가청 소음의 원인이 되므로 제어 특성 중에 낮추어야 하는 특성이다. 그러므로 조립오차는 설계 시 최소가 되도록 해야 한다.

2.3 조립 오차를 개선한 모델

그림 1의 (b)는 조립 오차를 줄이기 위한 claw pole PM stepping 모터의 해석 모델이다. 그림 1의 (b)에서 housing과 pole의 양 측면이 잘려져 있는 것을 볼 수 있다. 이 구조에 의해 조립 오차는 실제로 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 housing과 pole의 크기가 기존 모델에 비해

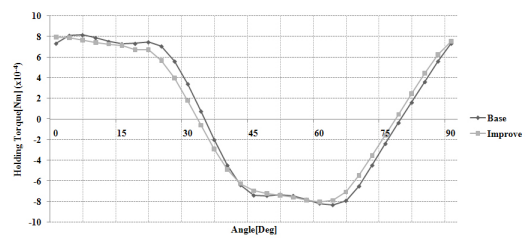
줄어들어, 이는 소형 가전 제품과 통신 기기 등에 사용될 수 있다. 이 모델은 3차원 유한요소법으로 해석하였다.



〈그림 5〉 조립 오차에 따른 detent 토크

2.3.1 조립 오차 개선 모델의 holding 토크

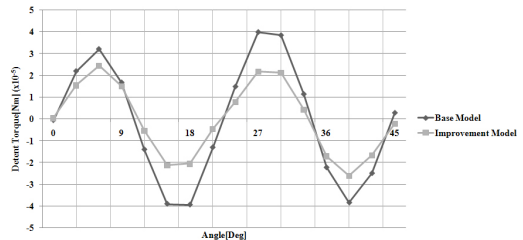
그림 6은 기존 모델과 오차 개선 모델의 holding 토크이다. 그림 6에의 결과를 통해 개선 모델은 housing과 pole의 양 측면이 잘렸지만, holding 토크는 기존 모델과 비교하여 4.3%가 증가되었다.



〈그림 6〉 기존 모델과 개선 모델의 holding 토크

2.3.2 조립 오차 개선 모델의 detent 토크 및 역기전력

그림 7은 기존 모델과 조립 오차 개선 모델의 detent 토크를 보이고 있다. 그림 7에서의 결과를 통해 개선 모델의 detent 토크가 기존 모델에 비해 38.8% 감소한 것을 볼 수 있다.



〈그림 7〉 기존 모델과 개선 모델의 detent 토크

3. 결 론

이 논문은 조립 오차를 0도에서 3도까지 변화시키면서 holding 토크와 detent 토크 그리고 역기전력의 영향을 3차원 유한요소법을 이용하여 알아보았다. 그리고 조립 오차를 완전히 감소시킬 수 있는 효과적인 개선 모델을 보였다. 그리고 개선 모델이 기존 모델과 비교하여 holding 토크가 증가하고 detent 토크가 감소하는 것을 확인하였다. 또한 모터의 크기가 이전 모델에 비해 줄어들어 개선 모델은 기존 모델에 비해 공간이 작은 경우에도 사용할 수 있으며 소형 가전 기기나 통신 기기 등에 사용될 수 있다.

감사의 글

본 논문은 전력기반조성사업센터에서 시행한 Compressor 과전류 제어 스위치 개발 사업으로 수행되었음. 과제번호(R-2006-1-170)

[참 고 문 헌]

- [1] D. Ebigara., Y. Bakata and M. Watada, "Flux distribution to Inductor in Claw pole Linear Pulse Motor", IEEE Transaction on Magnetics, vol.29, no.6, November 1993.
- [2] YouGuang Guo and Jian Guo Zhu, "Comparative Study of 3-D Flux Electrical Machines With Soft Magnetic Composite Cores", IEEE Transaction on Industry Applications, vol.39, no.6, November/December 2003.