

3차원 유한요소법을 이용한 영구자석형(PM) Claw pole 스텝 모터의 특성 해석

임승빈\*, 김태형\*, 정대성\*, 이주\*, 권호\*\*, 손영규\*\* 김윤현\*\*\*  
 \*한양대학교 전기공학과 \*\*LG Innotek \*\*\*한밭대학교 전기공학과

Characteristic Analysis of Permanent Magnet Type Step Motor with claw poles  
 by using 3 dimensional Finite Element Method

Seung-Bin Lim\*, Tae-Heoung KIM\*, Dae-Sung Jung\*, Ju Lee\*, Ho Kwon\*\*, Yeoung-Gyu Son\*\*  
 \*Dept. of Electrical Eng. at Hanyang Univ. \*\*LG Innotek Co. \*\*\*Dept. of Electrical Eng. at Hanbat National Univ.

**Abstract** - This paper analyzed the characteristics of the claw pole PM step motor by using 3D FEM. In case of analysing this type of motor, 3 dimensional analysis is necessary for an accurate analysis due to the magnetizing component of the z-axis direction. As a main design variable, the magnetization, width and the effects of skewing was selected. The variation of the detent torque and the back EMF depending on the shape of the pole is also shown.

1. 서 론

최근 산업사회의 발달과 디지털 제어의 발달에 따라 사무자동화(OA), 공장자동화 및 광학 디스크 드라이브나 프린터와 같은 컴퓨터 주변기기의 수요가 증가하고 있다. 영구자석형 스텝 모터는 이러한 기기들의 주요 구동원으로 사용되고 있다. 특히, PM형 Claw pole 스텝 모터는 다른 스텝 모터에 비해 스텝각(step angle)은 작게 할 수 없지만 비교적 구조가 간단하고 견고하다. 또한, 고정자 부분이 프레스 공정에 의하여 가공할 수 있으므로 제조비용이 낮아 많은 여러 분야에서 이용되고 있다[1][3].

PM형 Claw pole 스텝 모터는 입력펄스 신호에 의해서 권선의 여자전류를 절환하여 입력 펄스 신호에 비례하여 일정하게 회전하는 기기로서 구조상 Housing을 통한 Z축 방향의 자화 성분에 자화가 발생하기 때문에 해석 단면의 수직 방향으로 기하학적 물리적 성질이 변화하지 않는다는 가정 하에 수행하는 일반적인 2차원 해석은 올바른 해석이 어렵기 때문에 3차원 해석이 필요하다[2][4]. 특히 본 논문에서 적용된 해석 모델은 현재 노트북용 광학 디스크 드라이브(ODD)의 구동에 사용되는 제품으로 적용대상의 특성상 일반적인 PM형 Claw pole 스텝 모터에 비해 모터 사이즈, 극수, 출력이 매우 작다. 이렇게 작은 사이즈의 모터들은 해석 방법에 따른 해석치의 변동율이 크고 PM형 Claw pole 스텝 모터의 복잡한 구조상 설계 변수의 작은 변화에 대해서도 특성 변화도가 매우 높을 것으로 예상되기 때문에 정확한 해석을 위해서는 3차원 해석이 필수적이다. 앞에서의 언급과 같이 PM형 Claw pole 스텝 모터는 대량생산시의 제조비용은 낮지만 본 논문에서 적용된 모델은 매우 소형이기 때문에 초기 시작기(Prototype)의 제작비용이 매우 높아 제품 개발시 큰 제약조건으로 작용하고 있다. 따라서, PM형 Claw pole 스텝 모터에 대한 정확한 모델링 방법과 해석법 그리고 해석결과에 대한 신뢰성 확보가 필수적이라 하겠다.

본 논문에서는 3차원 모델링 프로그램과 3차원 유한요소법을 이용하여 실제 PM형 Claw pole 스텝 모터에 대한 해석을 수행하였고 그 결과로서 역기전력의 해석치와 실험치의 비교를 통해 해석결과에 대한 신뢰성을 높였다. 또한, PM형 Claw pole 스텝 모터의 해석 및 설계시 중요 변수인 영구자석에 대한 변화로 3가지 형태를 고려하였다. 첫 번째로 최대자속밀도와 면적을 고정 시킨 후

차자 형태를 바꾸어 보았고 두 번째로 영구자석에 skew를 주었으며 마지막으로 유효자속을 발생시키는 영구자석의 면적에 변화를 주어 그에 따른 디텐트 토크와 역기전력의 변화를 살펴보았다. 추가적인 변화 요소로 pole 형상을 고려하였으며 그에 따른 특성변화도 살펴보았다.

2. 해석 모델

그림 1 (a)는 본 논문의 해석 대상인 PM형 Claw pole 스텝 모터의 구조를 나타내고 있다. 회전자는 다극의 영구자석을 포함하고 있다. PM형 Claw pole 스텝 모터는 일반적으로 2상(stack) 구조를 가지며, 각 상의 고정자는 그림1 (b)에서와 같이 톱니모양의 치극(Claw pole)이 서로 마주보는 구조로 각 상의 극이 서로 1/2 피치 간격으로 어긋나 있다. 회전자의 극수 P는 각 상의 치수와 같으며, 따라서 2개의 상이 만드는 극의 수는 2P이므로 최소구동각도인 스텝각(step angle)은 위와 같은 구조에서  $360/2p$ 로 정해지며 본 논문에서 사용된 모델의 스텝각은  $22.5^\circ$  이다[3].

고정자에는 링 모양의 코일이 감겨져 있어 여자시 고정자에도 회전자와 같은 헤테로폴라자계(Heteropolar field)를 형성하여 동작한다. 통상 권선은 바이파일러권(Bifilar winding)을 채택하고 2상 여자방식을 적용하며 여자순서에 따라 회전방향을 변화시킬 수 있다. 본 논문의 해석 대상도 같은 권선 방식을 사용하고 있다[1].

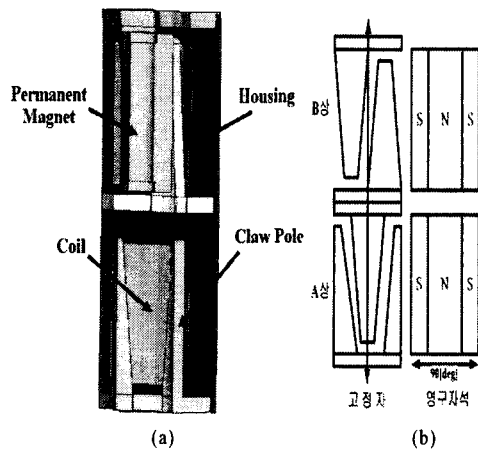


그림 1. PM형 Claw pole 스텝 모터의 구조

표 1.은 본 논문에서 연구된 PM형 Claw pole 스텝 모터의 주요 제원을 나타내고 있다. 그림 1에서 살펴보면 적용 모델의 영구자석은 상(Stack) 마다 분리 되어 있지만 각 상(Stack) 고정자의 단면이 결합되어 있어 서로에 대한 누설 자속의 영향이 존재한다. 그로 인해 자기적으

로 독립적이지 못하기 때문에 2개의 상(Stack)을 동시에 고려하여 해석을 수행하였다. 해석모델의 요소개수는 대략 30만개이고 절점수는 7만개 정도이다. 3차원 해석시 해석결과와 정확도가 요소개수에 의해서도 적지 않은 영향을 받으므로 적절한 요소개수 선정도 중요하다. 3차원 해석 프로그램으로는 상용 틀인 전자기 해석 전용 프로그램인 JMAG-Studio 8.0을 사용하였다.

표 1. 해석 모델의 제원

구분	제원	
고정자	상 수	2
	상당 극 수	8
	내 경 [mm]	3.55
회전자	외 경 [mm]	7.45
	길이 [mm]	12.2
영구자석	극 수	8
	외 경 [mm]	3.16
(NdFeB)	잔류자속밀도 [T]	0.6
공극	길이 [mm]	0.195

### 3. 해석 결과

#### 3.1 영구자석의 착자 형태 변화

본 논문에서 고려한 영구자석 변화의 첫 번째 방법으로 한국이 차지하는 영구자석의 면적과 최대 자속밀도는 일정하게 유지하며 착자 형태를 Parallel, Radial, Sin순으로 변화 시켰다. 그림 2과 3는 착자 변화에 따른 디텐트 토크와 역기전력의 변화를 보여주고 있다. 파형의 주기는 각각 45도와 90도로 일정하지만 디텐트 토크는 자속양에 따라 위상 변화가 발생한다. Radial의 착자 형태가 0.51[gfcm]로 가장 큰 디텐트 토크를 발생시키며 역기전력은 Parallel 착자가 1.5[V]로 가장 높다. 이는 누설 자속으로 인해 디텐트 토크와 역기전력의 경향이 일치하지 않음을 보여주고 있다. 그림 4는 해석모델에 대한 역기전력 실험치와 계산치가 잘 일치함을 보여주고 있으며 실험 조건으로 모터 회전속도는 4050[RPM]이다.

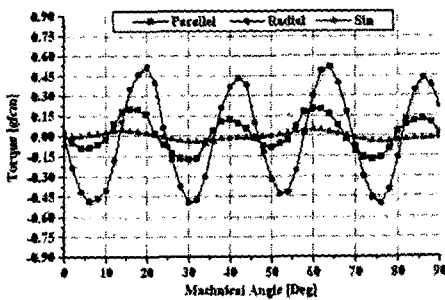


그림 2. 착자변화에 따른 디텐트 토크

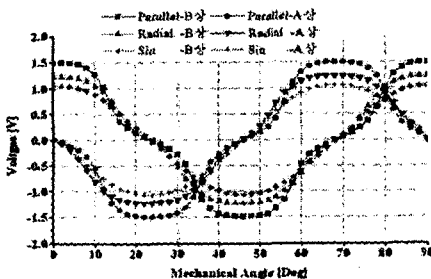
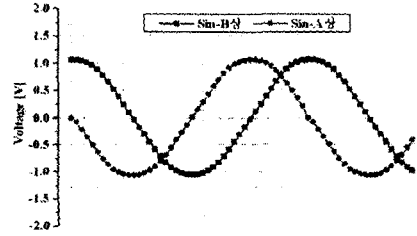
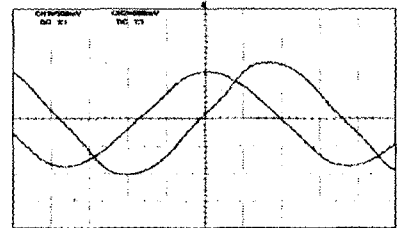


그림 3. 착자변화에 따른 역기전력



(a) sin착자시 해석결과



(b) 실험 측정 결과

그림 4. 해석결과 및 실험측정 결과 비교

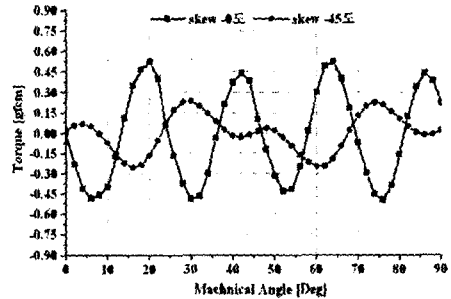


그림 5. Radial 착자시 skew에 따른 디텐트 토크

#### 3.2 영구자석의 skew 따른 특성

영구자석에 대한 또 다른 변화로 영구자석에 skew를 주어 claw pole 모터의 특성을 살펴보았다. skew각은 해석 모델의 한피치에 해당하는 45도를 주었으며 코깅 토크가 가장 큰 Radial착자 시에만 적용하였다.

그림 5는 코깅 토크로 skew를 주었을 때와 비skew시의 최대치가 각각 0.51[gfcm]과 0.26[gfcm]으로 약50%정도의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 6은 각 상에 대한 역기전력으로 정량적인 변화뿐만 아니라 주기도 skew각만큼의 변화가 생긴 것을 볼 수 있다.

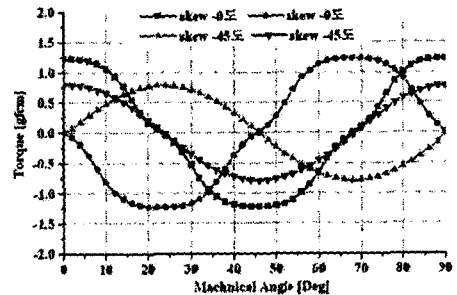


그림 6. Radial 착자시 skew에 따른 역기전력

### 3.3 영구자석의 면적 변화

영구자석에 대한 변화의 마지막으로 착자 형태를 skew 시와 같은 Radial로 고정 시킨 후 유효자속을 발생 시키는 영구자석의 면적을 증감시켜보았다. 극당 풀(full) 착자시를 100%로 보고 각각의 면적을 25%, 50%, 75% 순으로 변화시켜 보았다[2]. 그림 7과 8은 이에 따른 디텐트 토크와 역기전력을 보여주고 있다. 역기전력은 전체 자속량의 증감과 같은 추이로 변하지만 디텐트 토크의 크기는 표 2에서 보는 것과 같이 유효 자속 발생 면적이 75%인 경우에 최대치가 0.15[gfcm]로 자속면적이 25%인 경우의 0.27[gfcm] 50%인 0.48[gfcm] 보다 감소한 것을 확인할 수 있다. 따라서, PM형 Claw pole 스텝 모터에서의 디텐트 토크는 자속의 절대 크기 보다는 영구자석과 pole의 위치에 더 많은 영향을 받는 것을 확인할 수 있으며 디텐트 토크를 줄이기 위한 적절한 유효 자속 면적의 계산이 요구된다.

표 2. 면적 변화에 따른 디텐트 토크

유효자속 발생면적	디텐트 토크 (peak 치) [gfcm]	감소 비율 (Full 착자기준)
25%	0.27	47%
50%	0.48	6%
75%	0.15	70%
100%	0.51	0%

### 3.2 Pole 형상 변화에 따른 특성

Claw pole type의 모터는 그림 1. (b)에서와 같이 pole 형상과 위치에 따른 자기저항의 변화가 심하다. 따라서, Pole 형상에 따른 특성 변화가 많을 것으로 여겨진다. 본 논문에서는 triangular type의 pole형상을 rectangular type으로 바꾸었으며 그림 8과 9는 디텐트 토크와 역기전력의 파형을 보여주고 있다[2].

### 3. 결 론

본 논문에서는 3차원 유한 요소법을 이용하여 PM형 Claw pole 스텝 모터의 실제 모델을 해석하여 실험치와 비교해 보았다. 또한, PM형 Claw pole 스텝 모터의 해석 및 설계시 핵심 변수로 영구자석과 pole 형상 변화에 따른 디텐트 토크와 역기전력 특성을 자세히 살펴보았다. 본 연구는 차후 PM형 Claw pole 스텝 모터의 디텐트 토크 저감과 출력 향상을 위한 설계시 매우 유용할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 중점추진 과제인 신·재생에너지 발전의 계통연계 기초기술개발 연구 (과제번호 : R 2004 B 125)의 지원으로 수행되었음

#### [참 고 문 헌]

- [1] Takashi Kenjo, Stepping motors and Their Microprocessor Controls, Clarendon press·Oxford 2 Edition pp44, 1994
- [2] Takeo Ishikawa, and Ryuichi Takakusagi "Static Torque Characteristics of Permanent Magnet Type Stepping Motor with Claw Poles", IEEE Transaction on Magnetics, Vol 36 (2000) 1854 1857.
- [3] 공정식, 김종철 " Claw Pole 영구자석형 스텝 모터의 동특성 해석" 대한전기학회 논문집, vol 488 no 11, pp 597 603, 1999

- [4] 진창성, 전연도 의 " 3차원 등가자회로망법을 사용한 하이브리드 스텝 모터 특성 해석" 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp650, 2001

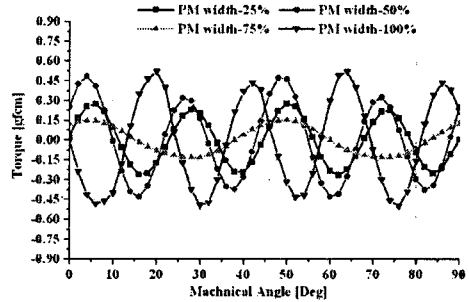


그림 7. 면적변화에 따른 디텐트 토크

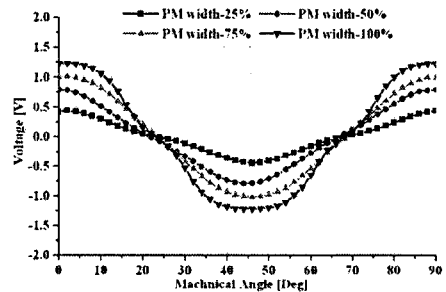


그림 8. 면적변화에 따른 역기전력

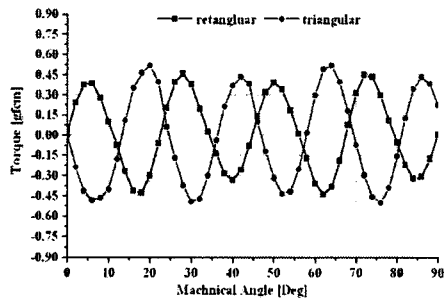


그림 9. Pole형상 변화에 따른 디텐트 토크

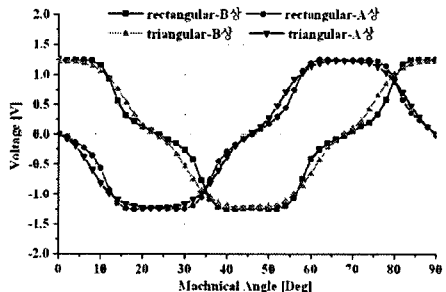


그림 10. Pole형상 변화에 따른 역기전력