

## Claw pole 영구자석형 스텝모터의 정특성 향상에 관한 연구

정대성<sup>1</sup>, 임승빈<sup>2</sup>, 김태형<sup>3</sup>, 이주<sup>4</sup>, 권호<sup>5</sup>, 손영규<sup>6</sup>, 최승길<sup>7</sup>  
 1·한양대학교 전기공학과 "LG Innotek" 2·인산공과대학 전기과

### A study on the improvement of static characteristic in claw poled permanent magnet stepping motor

Dae-Sung Jung<sup>1</sup>, Seung-Bin Lim<sup>2</sup>, Tae-Heoung KIM<sup>3</sup>, Ju Lee<sup>4</sup>, Ho Kwon<sup>5</sup>, Yeoung-Gyu Son<sup>6</sup>, Seung-Kil Choi<sup>7</sup>  
 1Dept. of Electrical Eng. at Hanyang Univ. 2LG Innotek Co. 3Dept. of Electrical Eng. at Ansan College of Technology

**Abstract** - This paper analyzed the characteristics of the claw pole PM step motor by using 3D FEM. As the magnetization occurs along the z-axis of the motor, it is necessary to apply 3D FEM for analysis of the claw pole PM step motor. Considering the computation time, however, the number of the analysis model is minimized by using the "Design of Experiments (DOE)". By using the "DOE", efficient analysis was able to be done. To see the effects of the design factors, the 3D FEM is applied only to the selected models. As the design factors, the teeth shape, the number of turns and the permanent magnet overhang was selected.

## 1. 서 론

Claw-pole 스텝모터는 광학 디스크 드라이버나 프린터와 같은 컴퓨터 주변기기, 디지털 카메라, 사무자동화(OA), 휴대용 이동통신 기기 등의 소형화 추세에 맞추어 그 수요가 증가하고 있다. 클로포울을 갖는 소형 스텝모터는 입력 펄스로 구동되며, 고 에너지를 갖는 영구자석을 회전자로 사용할 수 있어 정지시 높은 유저력을 가짐으로 위치결정용 구동원으로서 차점이 매우 높다. 특히 구조가 간단하고 견고하며 고정자 부분이 프레스 공정에 의하여 가공할 수 있으므로 제조비용이 낮아 여러 분야에 이용되고 있다[1].

본 논문에서 적용된 해석 모델은 광학 디스크 드라이버(ODD)의 구동에 사용되는 제품으로 적용대상의 특성상 일반적인 PM형 Claw pole 스텝 모터에 비해 모터 사이즈, 극수, 출력이 매우 작다. 이렇게 작은 사이즈의 PM형 Claw pole 스텝 모터는 설계 변수의 작은 변화에 대해서도 특성 변화가 매우 높을 것으로 예상되며 때문에 정확한 모델링 방법과 해석이 필요하다. 특히 PM형 Claw pole 스텝 모터는 구조상 Housing을 통한 Z축 방향으로 자화가 발생하기 때문에 3차원 해석이 필요하다[2][5]. 3차원 해석은 2차원 해석에 비해 막대한 계산 비용과 시간이 요구되어 지는 해석법으로써 각 설계변수들의 조합을 통해 나오는 많은 수의 설계모델을 해석하여 목적하는 성능을 이끌어 내기 위한 설계방법으로는 적합하지 않다. 그러나 모델의 특성상 3차원 해석이 필요하며 목적하고자 하는 성능을 갖는 모터의 설계 시 비용과 시간을 효율적으로 줄이기 위한 방법 중 하나는 해석 상의 개수를 줄이는 것이다.

이에 본 논문에서는 설계계획법(Design Of Experiments)을 이용하여 PM형 Claw pole 스텝 모터의 해석 및 설계 시 중요 변수인 영구자석, 풀형상, 권선수등의 설계 변수를 설정하여 이 설계변수의 조합으로 나오는 해석모델의 개수를 최소화하고 이렇게 줄어든 최적의 모델들을 선정하여 3차원 모델링 프로그램(Solid works)과 3차원 유한요소법을 이용하여 PM형 Claw pole 스텝 모터에 대한 해석을 수행하였으며, 기존의 단순 조합식 해석에 비해 훨씬 적은 횟수의 해석으로도 목적했던 결과

를 얻을 수 있었다. 기존 모델의 해석 결과와 개선 모델의 해석 결과 비교를 통해 실험계획법(DOE)에 대한 신뢰도를 높였다.

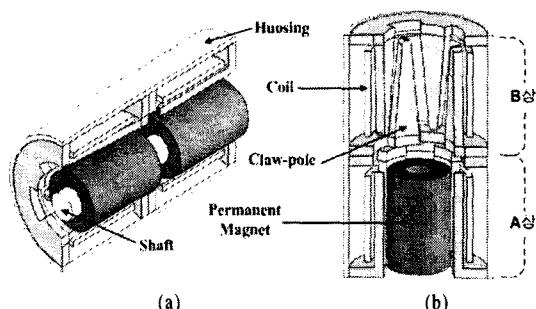


그림 1. PM형 Claw pole 스텝 모터의 구조

## 2. 본 론

### 2.1 Claw-pole 모터의 구조 및 구동

Claw-pole을 갖는 스텝모터는 회전자로 다극 치자된 영구자석과 사포트로 구성되어 있으며, 고정자는 보통 2상(stack) 구조를 가지며, 톱니모양의 치극(Claw pole)이 서로 마주보는 구조로 각 상의 극이 서로 1/2 피치 간격으로 어긋나 있다. 회전자의 극수 P는 각 상의 치수와 같다. 따라서 A, B 2개의 상이 각각 8상의 치극을 가지고 있으므로 본 논문에서 사용된 모델의 스텝각은 22.5° (360/2p)이다. 코일은 치와 하우징 사이에 링모양으로 감겨져 있어 여자 시 고정자에도 회전자와 같은 헤테로포리자계를 형성하여 동작한다. 그림 1은 본 논문의 해석 대상인 PM형 Claw pole 스텝 모터의 구조를 나타내고 있다[5].

그림 2는 2상 Bipolar 구동방식에 따른 구동원리를 나타내고 있으며 여자 순서에 따라 회전방향을 변화시킬 수 있다[5].

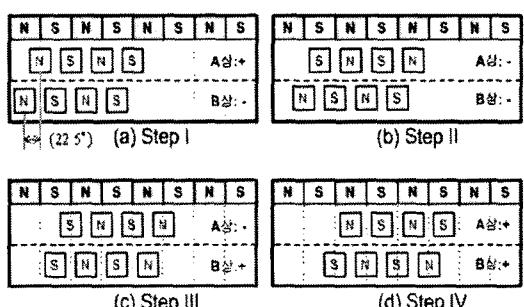


그림 2. 구동 원리도

표 1. 해석 모델의 제원

구 분	제 원	
고정자	상 수	2
	상당 극 수	8
	내 경 [mm]	3.55
	외 경 [mm]	7.45
회전자	극 수	8
영구자석 (NdFeB)	잔류자속밀도 [T]	0.43
공극	길 이 [mm]	0.195

그림 2. 구동 원리도

표 1은 본 논문에서 연구된 PM형 Claw pole 스텝 모터의 주요 제원을 나타내고 있다. 그림 1에서 보는 것과 같이 영구자석은 상(Stack)마다 분리 되어 있지만 각 상(Stack) 고정자의 단면이 결합되어 있어 서로에 대한 누설 자속의 영향이 존재한다. 그로 인해 자기적으로 독립적이지 못하기 때문에 2개의 상(Stack)을 동시에 고려하여 해석을 수행하였다. 해석모델의 요소개수는 대략 30만개이고 절점수는 9만개 정도이다. 3차원 해석시 해석결과의 정확도가 요소개수에 의해서도 적지 않은 영향을 받으므로 적정한 요소개수 선정도 중요하다. 3차원해석 프로그램으로는 상용 툴인 전자계 해석 전용 프로그램인 JMAG-Studio 8.2을 사용하였다.

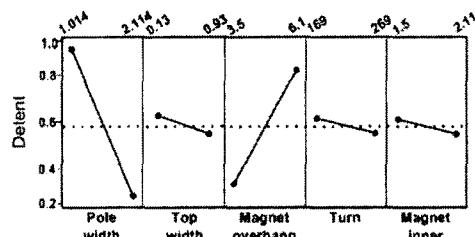
## 2.2 실험계획법(Design Of Experiments)

실험계획법(Design Of Experiments)은 실험에 대한 계획방법을 의미하는 것으로, 제품 품질특성에 영향을 미치는 요인들이 어떤 것들인지를 알아보기 위하여 실험의 배치와 실시를 어떻게 하고, 또 얻어진 데이터를 어떠한 통계적 방법으로 분석을 하는지에 관한 이론이다. 이와 같은 실험계획법을 이용하면 이상변동을 가져오는 많은 원인 중에서 중요한 원인을 효율적으로 선정, 그 효과를 수량적으로 측정할 수 있게 된다.[4] 실험 계획법의 기원이 된 것은 영국의 수학자 R.A.피셔에 의해 농산물 품질의 양부나 비료 효과의 차이등 농업 시험의 계획과 그 자료에 대한 해석에서부터이다. R.A 피셔에 의해 시작된 실험계획법은 초창기의 농사 시험에 이용되었던 것이 시간이 지나면서 생물학, 의약학, 공학, 심리학, 추측통계학이나 공장 실험등 다방면에 걸쳐 널리 응용되고 있다.

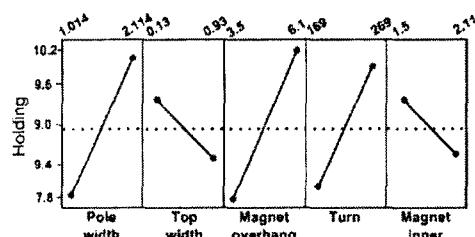
표 2는 출력에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 pole 형상과, 턴 수, 영구자석 등의 여러 설계 변수들 중 5개의 인자와 그 인자들의 수준을 나타내고 있다. 5개 설계 인자들의 수준을 모두 2수준으로 정하였는데 이는 각 설계 인자들의 물리적으로 이용 가능한 구간이 그리 크지 않다는 가정 아래 결정된 것이다. 가령 Claw pole 영구자석형 스텝모터의 구조적 전기적 특성 때문에 Pole width는 어느 한정된 크기 안에서 결정되어야 한다. 너무 큰 width는 구조적 제약과 함께 누설자속의 증가로 인해 이용 가능하지 않으며 반대로 너무 작은 width 역시 그 출력의 한계 때문에 이용 가능하지 않다. 본 논문에서는 이런 물리적 제약 조건들로 인해 이용 가능한 설계 변수들의 선택 구간이 그리 크지 않다는 가정 아래 설계 수준을 2수준으로 모두 통일하였으며 이렇게 상정한 설계 인자들을 가지고 실험계획법(DOE)을 시행하였다. 그림 4는 설계 인자로 선정한 5개의 인자들이 홀딩 토크와 디텐트 토크에 미치는 영향도와 그 경향을 나타내고 있다. 홀딩토크에 영향을 미치는 인자들을 순서대로 나열해 보면 Pole width, Magnet overhang, Top width 순이며, 디텐트 토크는 Magnet overhang에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

표 2. 설계 인자와 수준

설계 인자	설계수준
Pole width	2
Top width	2
턴수	2
영구자석 오버행	2
영구자석 내경	2



(a) Main effects plot for detent



(b) Main effects plot for holding

그림 3. 설계 인자들의 영향분석

홀딩 토크를 높이고 디텐트 토크를 저감하기 위해 MINITAB에서 지원하는 반응표면 최적화 루틴을 이용하여 그림 5와 같은 결과를 얻었으며 이 결과로 개선모델을 해석 하였다.

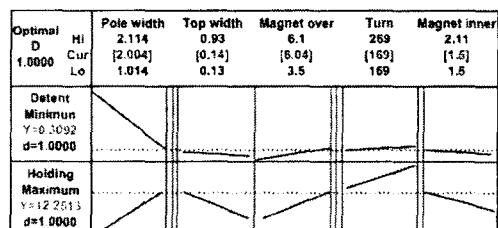


그림 4. MINITAB의 반응표면 최적화 루틴 결과

## 2.3 해석 결과

### 2.3.1 홀딩 토크 특성

규정된 여자방법(1상, 2상 여자)에서 정격전류로 여자된 모터 축에 초기 위치를 회복할 수 있는 상태를 유지하면서 외부에서 가할 수 있는 최대 토크를 홀딩토크라 한다. 홀딩토크가 크면 클수록 외란에 강인해져 위치 제어의 용이성이 커지게 되며 이런 연유로 홀딩토크를 증가시키기 위한 설계가 요구된다.

본 해석 모델의 경우 2상 Bipolar 구동방식으로 A, B스

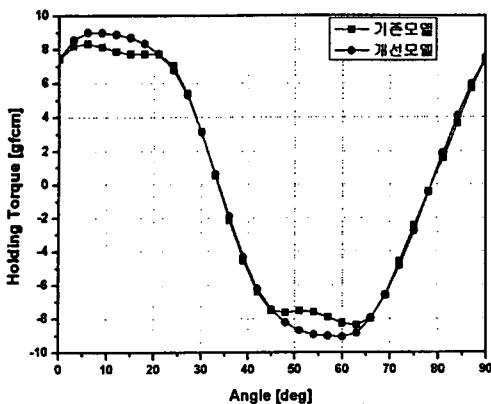


그림 5. 홀딩 토크

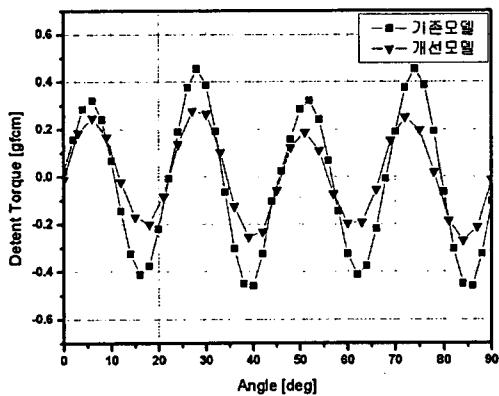


그림 6. 디텐트 토크

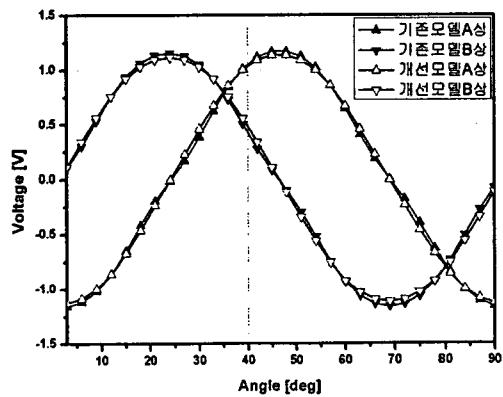


그림 7. 역기전력

택의 코일에 정격 전류 0.27A를 각각 인가한 후 해석을 수행하였다. 그림 5는 기존모델과 개선모델의 홀딩 토크를 비교하였으며 개선모델이 기존모델에 비해 Holding Torque가 약 12% 증가였다.

### 2.3.2 디텐트 토크 특성

영구자석형 모터의 경우 Stator의 Teeth가 연속적인 배열로 되어 있어서 자기 저항이 일정하지 않게 되어 영구자석에 의한 Co-Energy가 회전함에 따라 변하게 됨으

로써 토크가 발생한다. 이를 Detent Torque 또는 Cogging Torque라 부른다.

Cogging Torque는 영구자석을 사용하는 모터에 진동과 소음을 유발시키고, 모터의 제어성을 약화시키는 원인이 되기 때문에 저감을 위한 설계가 필요하다.

본 해석 모델의 주기는 90°이며 디텐트 토크의 주기는 흘딩토크의 1/2인 45°이다. 그럼 6은 기존 모델과 최적모델의 회전자 위치에 따른 디텐트 토크 변화를 비교하였다. 기존모델보다 실험계획법을 이용한 개선모델의 디텐트 값이 18%감소하였다.

그림 7은 해석모델의 역기전력을 나타내고 있으며 모터 회전속도는 4050[RPM]이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 PM형 Claw pole 스텝 모터에서 흘딩토크를 개선하고 디텐트 토크를 저감시키기 위해 실험 계획법(Design Of Experiments)과 3차원 유한요소법을 병행 사용하는 방법을 제안, 수행하였다. PM형 Claw pole 스텝 모터의 여러 가지 설계 변수들 중 5개의 설계 인자를 선정, 이를 가지고 실험계획법을 시행하여 16개의 실험 모델을 선정하였으며 16개의 실험 모델들을 유한 요소법을 이용하여 해석하였다. FEM해석을 통해 구한 결과들을 실험계획법을 이용 분석하여 본 논문에서 요구되는 흘딩토크 개선과 디텐트 토크 저감을 동시에 얻을 수 있는 설계 점을 찾을 수 있었다. 이상의 연구 결과를 통하여 제안된 실험계획법과 유한 요소 해석을 병행 사용하는 설계 방법이 적은 시간과 비용으로 요구하는 결과를 얻는데 매우 효과적이라는 사실을 알 수 있었으며 나아가 기타 여러 시스템 설계에 적용될 경우 아주 효과적인 설계 방법이 될 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] 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.
- [2] Takashi Kenjo, Stepping motors and Their Microprocessor Controls, Clarendon press Oxford 2 Edition pp44, 1994
- [3] 류세현, "Claw pole을 갖는 영구자석형 스텝모터의 소형화에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 929-931, 2004.
- [4] "최신 실험계획법," 機電研究社, 박동규
- [5] 유용민, "Claw pole PM형 스텝모터의 특성 해석 및 성능 평가", 대학전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 21-23, 2004.