

2상 PM형 리니어스텝핑모터의 靜推力 특성해석

배진호 정도영* 이상호 오홍석⁰
 영남대학교 전기공학과 삼척산업대 제어계측공학과*

THE THRUST CHARACTERISTICS ANALYSIS OF 2-PHASE PM TYPE LINEAR STEPPING MOTOR

Jin-Ho Bae Do-Yung Chung Sang-Ho Lee Hong-Suk Oh⁰

Dept. of Electrical Eng. Yeungnam Uni.

Dept. of Control & Instrumentation Eng. Samchok National Uni.*

Abstract

In this paper, We have simulated and measured the characteristics of the static thrust of 2-phase PM type Linear Stepping Motor(LSM). And, the 2-phase PM type Linear Stepping Motor is simulated using 2-Dimensional finite element method. For calculating force, Maxwell stress tensor method is applied.

따라서 본 연구에서는 가장 많이 이용되고 있는 2상 勵磁 방식으로 구동시 2상영구자석형(Permanent Magnet Type: 이하 PM형 이라 칭함.) LSM의 靜推力 특성을 FEM 과 맥스웰응력법으로 계산하여 실험치와 비교 검토하였다.

2. 2상PM형LSM의 유한요소해석 모델의 선정

그림1은 2상PM형LSM의 2차원해석 모델을 나타내고 있다.

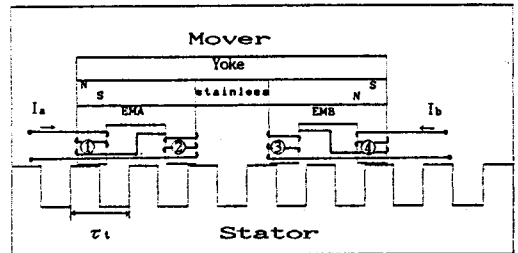
1. 서 론

최근 선형운동용 디지털 액츄에이터(Digital Actuator)인 선형스텝핑전동기(Linear Stepping Motor: 이하 LSM이라 칭함.)는 운동변환기구없이 입력 펄스신호에 따라 선형적인 변위를 발생시키는 다이렉트 드라이브(Direct Drive)방식이기 때문에 회전형스텝핑전동기에 비해 효율이 높고, 경제적이다. 따라서 LSM은 PCB조립 공정, 봉제산업, 자동검색작업, 의료용기기, 자동반송 장치, 레이저가공시스템, OA용기기의 헤드 및 렌구동용 등의 산업전반에 걸쳐 다양하게 응용될 것으로 기대된다. [1-2]

이러한 LSM의 동작특성을 해석하기 위해서는 靜特性과 動特性을 분석할 필요가 있으며, 특히 靜特性에 있어서 靜推力특성은 LSM의 다른 특성들에 크게 영향을 미치므로 정확히 분석할 필요가 있다. [1]

靜推力 계산방법에는 유한요소법(Finite Element Method: 이하 FEM이라 칭함.)을 이용한 맥스웰응력법(Maxwell Stress Tensor Method)과 가상변위법(Virtual Work Method)등이 있다.

가상변위법은 모든 요소에 대하여 에너지를 구하여야 하며 에너지를 구할때 많은 적분과정이 있어 계산시간이 많이 걸리는 단점이 있으나, 맥스웰응력법의 경우에는 힘을 구하려는 부분을 둘러싸는 공극부분에 대해서만 靜推力를 구하게 됨으로서 계산시간이 적게 걸리는 장점이 있다. [3]-[7]



τ_t : 齒pitch(Tooth Pitch)

EMA : A相, EMB : B相

①, ②, ③, ④ : 勵磁

그림1. 2차원 2상PM형LSM의 해석모델

2상PM형 LSM을 2차원 유한요소법으로 해석하기 위해 다음과 같은 가정을 두었다.

- ① 영구자석에서의 B_r 은 일정한 크기를 갖는 벡터량이다.
- ② 영구자석이외의 자성체에서 B_r 은 영벡터이다.
- ③ 철심부의 자기적특성은 등방성(Isotropic)이고, 자기포화는 무시한다.
- ④ 정상자체이다.
- ⑤ 가동자의 자기벡터포텐셜은 2방향 성분만을 갖는다.

3. 유한요소법에 의한 해석

3-1. 지배방정식

영구자석을 포함한 정자계에서 지배방정식을 도출하기 위한 맥스웰방정식 및 보조방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \times H = J \quad (1)$$

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

$$B = \nabla \times A \quad (4)$$

$$M = \chi H + M_0 \quad (5)$$

H : 자계의 세기 B : 자속밀도

M : 자성체의 자화의 세기 J : 전류밀도

A : 자기벡터포텐셜 χ : 자화율

M_0 : 잔류자화의 세기

식(5)를 식(2)에 대입하면, 식(6)과 같다.

$$B = \mu_0 (1 + \chi) H + \mu_0 M_0 \\ = \mu H + B_r \quad (6)$$

μ : 투자율

B_r : 자성체의 잔류자속밀도

식(6)의 양변에 회전(Curl)을 취하고 정리하면,

$$\nabla \times \nabla \times A = \mu J + \nabla \times B_r$$

$$\therefore \nabla \times \frac{1}{\mu} (\nabla \times A - B_r) = J \quad (7)$$

이 된다. 식(7)을 영구자석을 포함하는 정자계의 Poisson방정식이라 한다.

3-2. 靜推力 계산

전자력 밀도 f 는 전류밀도 J 와 자속밀도 B 에 의하여 다음과 같이 표시한다.

$$f = J \times B \quad [N/m^3] \quad (8)$$

따라서 체적 V 인 물체가 자기장에 의해 작용받는 힘은

$$F = \int_V f \, dv = \int_V \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times B) \times B \, dv \quad [N] \quad (9)$$

로 표현되며 식(10)과 같이 정의되는 표면응력 P 에 의해 식(9)은 물체를 포함하는 임의의 표면적분으로 바뀌게 된다.

$$P = \frac{1}{\mu_0} (n \cdot B) B - \frac{1}{2\mu_0} B^2 n \quad (10)$$

여기서 n 은 표면에 대한 수직외향 단위벡터이다.

$$F = \int_S P \, ds \quad (11)$$

2차원 문제에서 표면 S 내에 존재하는 물체에 작용하는 힘을 계산할 경우, 각 요소에서의 힘을 F^* 라 하면

$$F = \sum_{s=1}^m F^* \quad (12)$$

여기서 m 은 표면 S 와 교차하는 요소수이다.

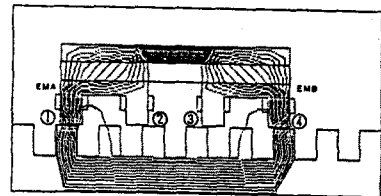
4. 2相勵磁 구동모드와 자속분포도

표1은 2相勵磁 구동을 4개의 모드로 분류 했을시 相勵磁 순서와 極안정 위치를 나타낸다.

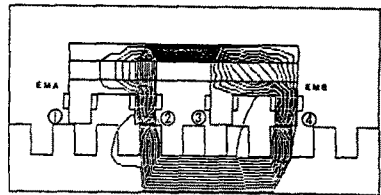
표1. 2相勵磁 구동모드

구분 MODE	相勵磁	極안정 위치
MODE 1	A相, B相	極 1, 4
MODE 2	\bar{A} 相, B相	極 2, 4
MODE 3	\bar{A} 相, \bar{B} 相	極 2, 3
MODE 4	A相, \bar{B} 相	極 1, 3

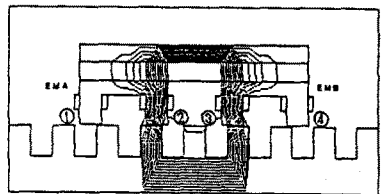
그림2는 2相PM形LSM을 2相勵磁 방식으로 구동시, 4개의 모드에 대해 유한요소법을 통하여 해석한 자속분포도이다.



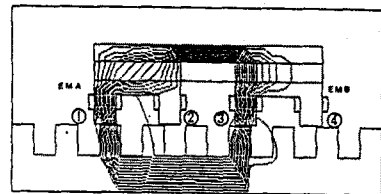
MODE 1



MODE 2



MODE 3



MODE 4

그림2. 各 모드의 자속분포도(2相勵磁時)

5. 靜推力특성

그림3은 본 연구에서 사용한 靜推力 측정 블록다이아그램이다.

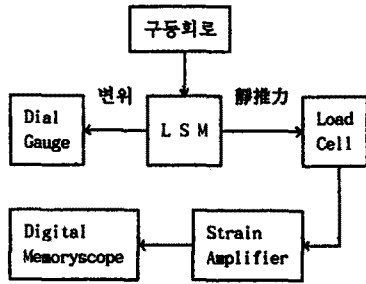


그림3. 靜推力 측정 블록다이아그램

靜推力특성은 1/1000mm Dial Gauge를 사용하여 움직인 거리를 측정하고, 각 모드에 있어서 변위에 대한 靜推力값은 Load cell(RCB-5K:KYOWA), Strain Amplifier (3126:YOKOGAWA), 그리고 Digital Memoryscope(9310:Swiss LeCroy)를 사용하여 측정하였다.

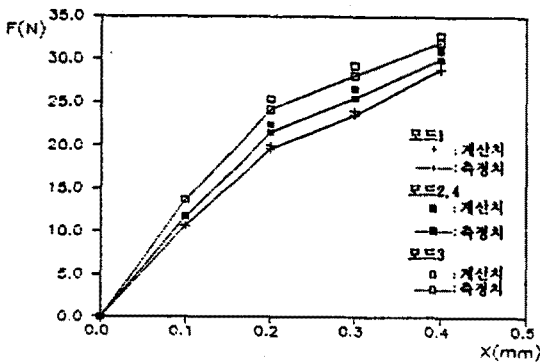


그림4. 각 모드의 변위에 대한 靜推力특성

그림4는 각 모드에 있어서, 변위에 따른 靜推力특성을 나타내며, 계산치와 측정치가 잘 일치함을 알 수 있다. 모드2와 모드4의 계산치와 측정치는 각각 그림2의 자속분포도에서 알 수 있는 바와 같이 거의 일치하였다.

그리고 2相PM形LSM의 기동특성을 살펴보면, 모드2와 모드4의 靜推力특성은 모드1보다 다소 우수하였지만, 모드3에 비해서는 현저하게 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 2相PM形LSM을 2相勵磁 방식으로 구동시, 모드3에서 부터 기동시키면 自起動周波數 및 動推力특성이 우수 할 것으로 기대된다.

6. 결론

본 연구에서는 가장 많이 이용되고 있는 2相勵磁 방식으로 2相PM形LSM을 구동시, 4개의 모드에 따른 靜推力특성을 FEM과 맥스웰응력법으로 계산하여 실험치와 비교 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 靜推力는 2相PM形LSM의 기동특성 측면에서, 모드3이 모드1과 모드2 그리고 모드4에 비해 우수하였다.

또한, 유한요소법과 맥스웰응력법으로 계산한 계산치와 실험을 통해 얻어진 실험치가 거의 일치하고 있어 이론의 정당성도 입증하였다.

2. 향후, 2相PM形LSM의 콘트롤러 제작시, 2相勵磁 방식으로 구동할 경우에는 모드3에서 부터 구동시키면 自起動周波數 및 動推力특성이 우수 할 것으로 기대된다.

6. 참고문헌

- [1] Jin-Ho Bae, Do-Young Chung, Sang-Ho Lee, "A DOUBLE 1-2 PHASE EXCITING METHOD OF LINEAR STEPPING MOTOR", SMIC'93, 1993.
- [2] 소형모우터기술전문위원회, "소형모우터기술조사보고", 대한전기학회, 1992, pp. 71-102.
- [3] M. Marinescu and N. Marinescu, "Numerical Computation of Torques in Permanent Magnet Motors by Maxwell Stress and Energy Method," IEEE Trans. on MAG, Vol. 24, No. 1, pp. 463-466, 1988.
- [4] S. R. H. Hoole, "On Finite Element Force Computation from Two and Three-Dimensional Magnetostatic Fields," J. Appl. Phys., Vol. 57, No. 1, pp. 3850-3852, 1985.
- [5] T. Tarnhuvud and K. Reichert, "Accuracy Problems of Force and Torque Calculation in FE-Systems," IEEE Trans. on MAG, Vol. 24, No. 1, pp. 443-446, 1988
- [6] J. Mizia, K. Adamiak, A. R. Eastham and G. E. Dawson, "Finite Element Force Calculation : Comparison of Methods for Electric Machines," IEEE Trans. on MAG, Vol. 24, No. 1, pp. 447-450, 1988.
- [7] K. Rechtert, et. al, "The Calculation of Forces and Torques within Numerical Magnetic Field Calculation Method," Proc. of COMPUMAG, pp. 64-73, 1976.