

유한요소법을 이용한 2상 HB형 Linear Stepping Motor의 추력 특성 개선에 관한 연구

이상호 정도영 이봉섭 신미영 최경호* 정원석**
 삼척대학교 (주)Emacs H. T.* (주)우창엔지니어링**

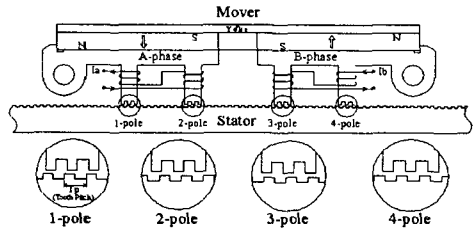
A Study on Thrust Characteristics of Two-phase HB Type LSM using FEM.

S.H. Lee D.Y. Chung B.S. Lee M.Y. Shin K.H. Choi* W.S.Chung**
 Samchok National Univ. Emacs H. T. Co., Ltd.* Woo Chang Engineering Co.,Ltd.**

Abstract - In this paper, we have designed the advanced DVT HLSM inserted a permanent magnet into the slot in order to improve the thrust force without increasing the normal force.

And it was analyzed the characteristics of thrust force and normal force of the new HLSM by using Finite Element Method and Virtual Work Method.

As a result of this paper, it was confirmed that the thrust force characteristics of the new HLSM improved about 23% in comparison with DVT HLSM without increasing the normal force.



(a) HLSM의 단면도

1. 서 론

최근 미국, 일본을 비롯한 선진 각 국에서 개발된 2상 하이브리드형 선형 스텝핑 전동기 (2-phase Hybrid Type Linear Stepping Motor: 이하 HLSM이라 한다.)는 리드 스크류 (Lead Screw), 볼 스크류 (Ball Screw), 랙과 피니언 (Rack & Pinion), 기어, 벨트, 체인 등과 같은 운동 변환기구 없이 입력 신호에 따라 직선적인 변위를 발생시키는 직접구동 (Direct Drive) 방식의 전동기 이기 때문에, 시스템의 소형 경량화와 효율 및 경제적인 측면에서 매우 유리하며, 또한 회전형 스텝핑 전동기와 같이 개루프 제어가 가능하고, 홀딩력이 커서 변위오차가 누적되지 않기 때문에 고정도의 선형 운동이 요구되는 다양한 산업 분야 즉 컴퓨터 주변기기, 복사기, 공작기계, 로봇, 자동반송장치, 인공심장구동기기등에 응용될 것으로 기대된다.[1]~[5]

그러나, 기존의 HLSM은 방형치 이므로 인해, 추력에 비해 매우 큰 수직력이 작용함으로써, 미소 갭 지지와 소형 경량화의 장애 요소가 되고 있는 실정이다.

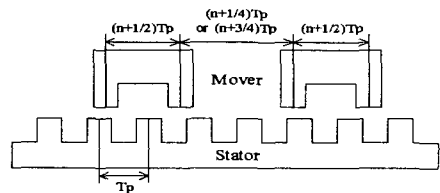
여기에 대응하기 위해 삼척대학교 산업전자기기 실험실과 (주)Emacs H.T.는 산학협동 연구에서 새로운 DVT HLSM을 개발하여 연구한 결과 수직력 특성은 크게 개선 되었으나, 추력 특성은 여전히 매우 미흡한 실정이다.[5]

따라서, 본 연구에서는 HLSM의 추력 특성을 개선시키기 위해 새로운 모델의 HLSM을 개발하여, 참고문헌 [5]에 기초해서, 유한요소법과 가상 변위법을 통하여 시뮬레이션 한 후, 우수한 새로운 모델을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 2상 HLSM의 구조

그림 1은 HLSM의 구조를 나타내고, 그림 1(a)는 HLSM의 단면도이며, 그림 1(b)는 가동자와 고정자의 치 배열을 보여주고 있다.



b)가동자와 고정자의 치 배열
 그림 1. HLSM의 구조.

2.2 HLSM의 유한요소 해석

HLSM의 2차원 유한요소해석을 위하여 다음과 같이 가정한다.

- ① 영구자석에서의 $\mu = \mu_0$ 이며, 또한 B_r 은 일정한 크기를 갖는 벡터량이다.
- ② 영구자석 이외의 자성체에서 μ 는 일정하고, B_r 은 쏘 벡터이다.
- ③ 철심부의 자기적 특성은 등방성이고, 자기포화는 무시한다.
- ④ 가동자의 전류밀도와 자기벡터 포텐셜은 z방향 성분만을 갖는다.

그림2는 HLSM의 2차원 유한요소해석을 위한 모델을 나타내고 있다. 모든 경계에서의 포텐셜을 Zero(0)로 하였다.

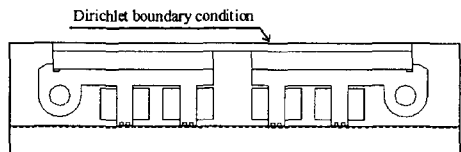


그림 2. HLSM의 2차원 유한요소해석 모델.

2.3 HLSM의 추력과 수직력 특성 해석

본 연구에서는 추력과 수직력 특성을 해석하기 위하여 유한요소법과 가상변위법을 이용하였다.

그림 3은 자기 포화 곡선을 나타내며, 전체자기수반 에너지는 식 (1)과 같다.

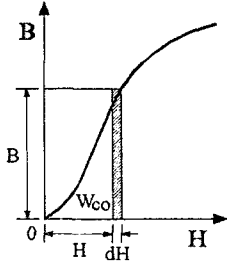


그림 3. 자기 포화 곡선.

$$W_{\infty} = \int_v \left(\int_0^H B dH \right) dv$$

$$= \int_v \frac{1}{2} B \cdot H dv \quad (1)$$

식(1)에서 해석 영역을 2차원으로 제한하면 식(2)가 된다.

$$W_{\infty} = \int_s \frac{1}{2\mu} B^2 ds \quad (2)$$

따라서, 힘 F 는 자기 수반 에너지 W_{∞} 의 변화량으로 주어지므로 식(3)으로 주어진다.

$$F = \frac{\partial W_{\infty}}{\partial x} \quad (3)$$

2.4 HLSM의 추력 측정 및 컴퓨터 시뮬레이션

그림4는 추력 측정 블록다이어그램을 나타내고 있으며, HLSM의 이동변위는 레이저 측정시스템 (OFV-3001)을 이용하여 측정하였고, 추력은 Force Gauge를 사용하였다.

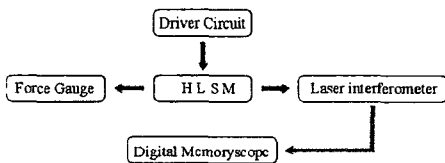


그림 4. 추력 측정 블록 다이어그램.

그리고 HLSM의 추력과 수직력 계산을 위한 컴퓨터 시뮬레이션은 2차원 유한요소해석 Program인 FLUX2D를 사용하였다.

그림5는 기존 HLSM의 추력과 수직력 계산을 위한 자속분포를 나타내고 있다.

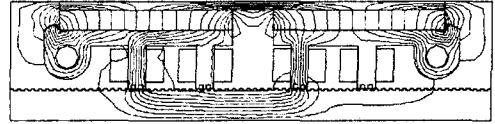


그림 5. 기존 HLSM의 자속분포.

그림6은 기존 HLSM의 가동자 변위에 대한 추력 특성을 나타내며, 컴퓨터 시뮬레이션에서 얻은 계산값과 상기에서 제시한 측정방법을 이용한 측정값이 거의 일치함으로서 HLSM의 추력해석 이론의 타당성을 입증하였다.

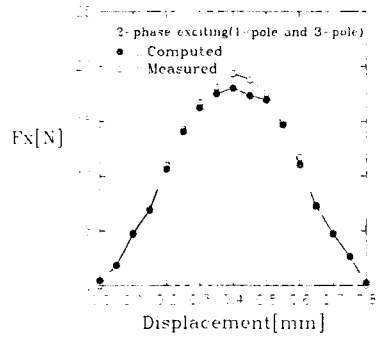


그림 6. 이동변위에 따른 추력 특성.

그림 7은 DVT HLSM의 추력 특성 개선을 위하여 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HLSM의 2차원 유한요소 모델을 나타내고 있다.

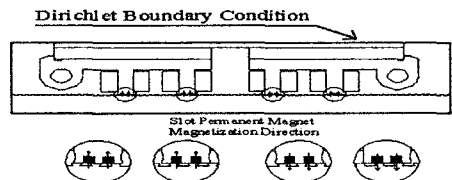


그림 7. 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HL SM.

그림 8은 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HLSM의 추력과 수직력 계산을 위한 자속분포를 나타내고 있다.

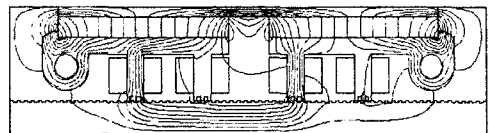


그림 8. 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HL SM의 자속분포.

그림 9는 가동자 슬롯에 영구자석 값을 변화시키면서 계산한 최대추력을 나타내고 있다.

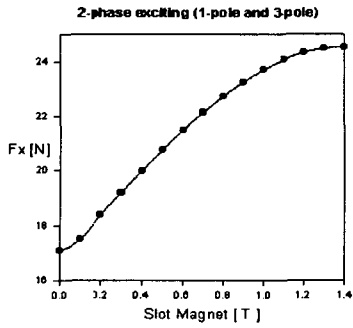


그림 9. 영구자석 값 변화에 따른 최대추력.

그림 10은 영구자석 값을 변화시키면서 계산한 수직력을 나타내고 있다.

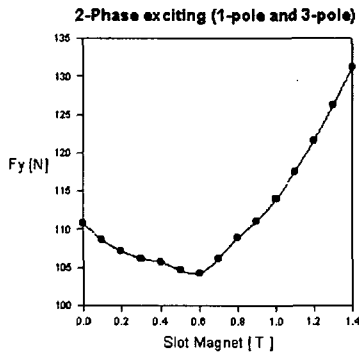


그림 10. 영구자석 값 변화에 따른 수직력.

그림 9와 그림 10의 결과로서, 가동자 슬롯에 영구자석 값을 $sBr = 0.9(T)$ 로 설정하였다.

그림 11은 DVT HLSM과 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HLSM의 추력 특성을 나타내고 있다.

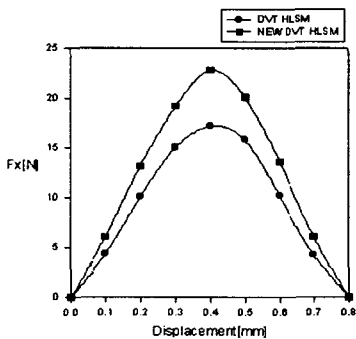


그림 11. DVT HLSM과 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HLSM의 추력 특성.

그림 12는 DVT HLSM과 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HLSM의 수직력 특성을 나타내고 있다.

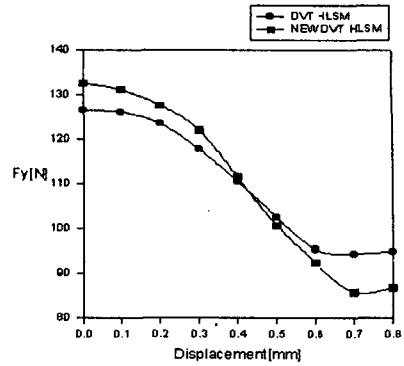


그림 12. DVT HLSM과 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HLSM의 수직력 특성.

3. 결 론

본 논문에서는 DVT HLSM의 추력 특성을 개선시키기 위하여 새로운 모델의 HLSM을 개발하여, 유한요소법과 가상변위법을 통하여 시뮬레이션 한 후, 기존의 DVT HLSM과 비교 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 HLSM의 2차원 유한요소 모델을 설정한 후, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 얻은 계산값과 본 연구에서 제시한 정추력 측정 방법을 이용한 측정값이 잘 일치함으로써 HLSM의 정추력 해석이론의 타당성을 입증하였다.
2. 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HLSM의 추력특성은 DVT HLSM의 수직력 특성을 떨어뜨리지 않고, 영구자석 값 $sBr = 0.9(T)$ 에서 약 23% 증가하였다

상기의 결과가 보여주는 것처럼, 향후 본 연구에서 제시한 추력과 수직력 계산을 위한 컴퓨터 시뮬레이션과 추력 측정 시스템은 HLSM의 설계에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 소형모우터 기술전문 위원회, "소형모우터 기술조사보고", 대한전기학회, pp.204-209, 1992.
- [2] 김동희, 이상호, 정도영, 김춘삼, 오홍석, "2相 Linear Stepping Motor의 진동특성에 관한 연구", 전력전자학회논문지, 제4권, 제6호, pp. 554-560, 1999.
- [3] S.H. Lee, J.H. Bae, D.H. Kim, D.Y. Chung, J.K. Kim, H.S. Oh, "NEW MICROSTEPPING DRIVE OF 2-PHASE LINEAR STEPPING MOTOR", PEMC' 98, 3-189, 1998.
- [4] 오홍석, 김동희, 이상호, "2상 하이브리드형 리니어 스텝핑 전동기의 미세스텝에 관한 연구", 대한전기학회, 제49권, 제5호, pp.358-363, 2000.
- [5] 오홍석, 이상호, 이진, 신미영, 최 경호, "2상 HB형 DVT 직선형 STEPPING 전동기의 수직력 특성에 관한 연구 (I)", 대한전기학회 전력전자 연구회 춘계학술 발표회 논문집, pp. II-18-II-20, 2000.
- [6] J.P. Pawletko and H. D. Chai, "LINEAR STEP MOTORS", IMCSD, Incremental Motion Control Systems and Devices, pp.V-1~V-11, 1973.
- [7] S. A. Nasar, "LINEAR ELECTRIC MOTORS IMCSD, Incremental Motion Control System and Devices, pp.1-6, 1987.