

2상 HB형 DVT 직선추진형 STEPPING 전동기의 추력특성에 관한 연구

장 혁 신 미영 이 상호 박 종국 정 도영 박 하용 이 봉섭 하 장호  
삼척대학교

A Study on thrust characteristics of 2-Phase Hybrid type  
DVT Linear Stepping Motor

H.J M.Y. Shin S.H. Lee J.K. Park D.Y. Jung H.Y Park B.S. Lee J.H. Ha  
Samchok National university

**Abstract** - In this paper, We have designed the new model in order to the thrust and normal force of HLSM. Also it was analyzed by Finite Element Method and Virtual Work Method. As a result this paper, it was confirmed that the thrust and normal force was improved considerably.

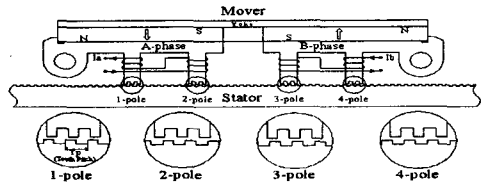


그림 1. HLSM의 구조

1. 서 론

최근 선진 각 국에서 개발된 2상 HB형 직선추진형 스텝핑 전동기 (2-phase Hybrid Linear Stepping Motor: 이하 HLSM이라 한다.)는 다이렉트 드라이브 (Direct Drive) 방식의 전동기이기 때문에 시스템의 소형 경량화와 효율 및 경제적인 측면에서 매우 유리하며, 또한 회전형 스텝핑 전동기 (Rotary Stepping Motor)와 같이 개루프 (Open-Loop) 제어가 가능하고, 홀딩력 (Holding Force)이 커서 변위오차가 누적되지 않기 때문에 高精度의 선형운동이 요구되는 모든 산업분야에 응용이 가능하다.

따라서 HLSM은 컴퓨터 주변기기, 복사기, 로봇, 자동반송장치, 공작기계 그리고 인공심장 구동기기를 비롯한 각종 의료기기 산업등에 다양하게 응용될 것으로 기대된다. [1][2]

그러나, 기존의 HLSM은 다양한 산업 응용에 있어서 필요한 추력이 매우 부족하고, 추력에 비해 매우 큰 수직력이 작용함으로써 미소 갭 지지와 소형 경량화의 장애요소가 되고 있으며, 특히 높은 수직력의 작용으로 인해 전력손실이 매우 큰 단점이 있다. [1]

여기에 대응하기 위해, 본 연구에서는 HLSM의 새로운 모델 즉 각도에 따른 DVT (Dove tail tooth)형상과 영구자석을 삽입한 DVT형상을 제시하고, 유한요소법과 가상변위법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여, 추력과 수직력 특성을 비교 검토함으로써 추력과 수직력 특성이 우수한 최적의 DVT 형상을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 HLSM의 구조

그림 1은 HLSM의 구조를 나타내고 있다. 그림 1에서 가동자는 A상과 B상의 전자석이 이동방향의 전후로 배치되어 있으며 A상의 코일은 자극1과 자극2의 극성이 서로 반대가 되도록 감겨져 있고, B상의 코일은 자극3과 자극4의 극성이 서로 반대가 되도록 감겨져 있다.

2.2 HHLSM의 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  $\mu$ 는 일정하고,  $B_r$ 은 0 벡터이다.
- ③ 철심부의 자기적 특성은 등방성이고, 자기포화는 무시한다.
- ④ 가동자의 전류밀도와 자기벡터 포텐셜은 z방향 성분만을 갖는다.

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

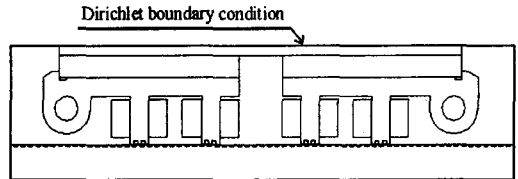


그림 2. HLSM의 2차원 유한요소해석 모델

2.3 HLSM의 추력과 수직력특성 해석

본 연구에서는 추력과 수직력 특성을 해석하기 위하여 유한요소법과 가상변위법을 이용하였다.

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

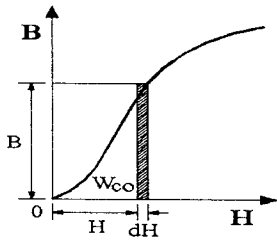


그림 3. 자기포화곡선

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

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

식(1)에서 해석 영역을 2차원으로 제한하면 식(2)가 된다.

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

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

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

#### 2.4 HHLMS의 추력측정 및 컴퓨터 시뮬레이션

그림 4는 추력측정 블록다이어그램을 나타내고 있으며, HLSM의 변위는 레이저 측정기를 이용하여 정밀한 이동거리를 측정하였고, 추력은 Force Gauge를 사용하였다.

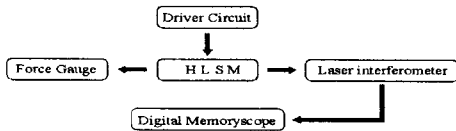


그림 4. 추력측정 블록다이어그램

그림 5는 2상 여자 방식으로 추력을 측정하기 위한 정전류 효퍼회로이다. 여기서  $V_r$ 는 기준전압이고,  $V_s$ 는 상전류 검출전압이며,  $R_s$ 는 전류검출용 저항이다.

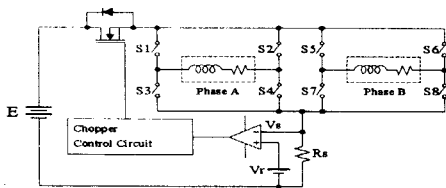


그림 5. 추력측정회로

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

그림 6은 FLUX2D의 기본적인 프로그램 구성도를 나타내고 있다.

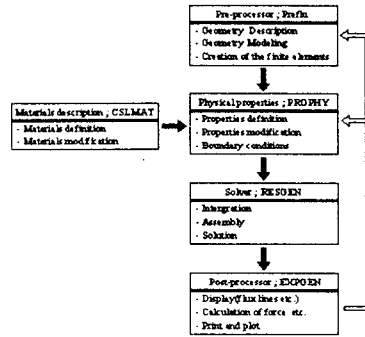


그림 6. FLUX2D의 프로그램 구성도

그림 7은 기존 HLSM의 가동자 변위에 대한 추력 특성을 나타내고 있으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 얻은 계산값과 상기에서 제시한 측정방법을 이용한 측정값이 거의 일치함으로써 HLSM의 추력해석 이론을 정당화 하였다.

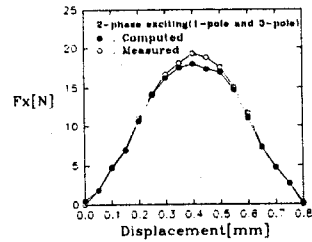


그림 7. 이동변위에 따른 추력특성

그림 8은 본 연구에서 설계한 DVT HLSM의 2차원 유한요소 해석을 위한 모델을 제시하고 있다.

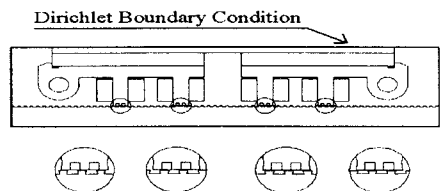


그림 8. DVT HLSM의 2차원 유한요소해석 모델

그림 9는 각도에 따른 DVT HLSM의 추력특성을 나타내고 있다.

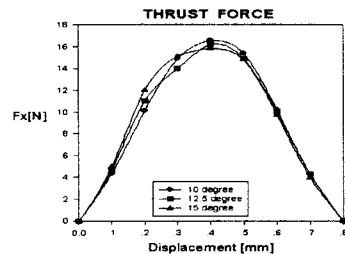


그림 9. DVT HLSM의 각도에 따른 추력특성

그림 10은 DVT HHLSTM의 추력 특성 개선을 위하여 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HHLSTM의 2차원 유한요소 모델을 나타내고 있다.

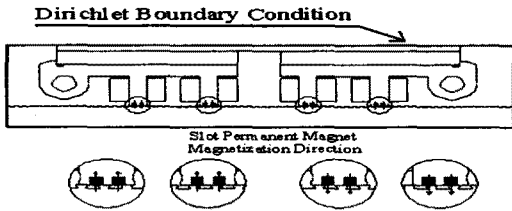


그림 10. 가동자 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HHLSTM의 2차원 유한요소해석을 위한 모델

그림 11은 가동자 슬롯의 영구자석 값 (sBr)을 변화 시키면서 계산한 최대 추력을 나타내고 있다.

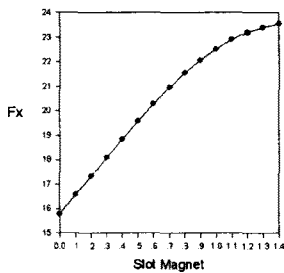


그림 11. 영구자석 값(sBr)변화에 따른 최대추력

그림 12는 영구자석 값을 변화시키면서 계산한 수직력을 나타내고 있다.

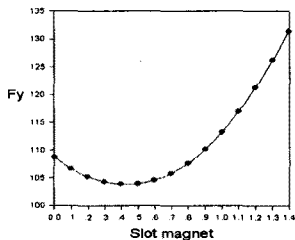


그림 12. 영구자석 값(sBr)변화에 따른 수직력

그림 11과 그림 12의 결과로서, 가동자 슬롯에 영구자석 값을 sBr = 0.85(T)로 설정하였다.

그림 13은 가동자 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HHLSTM의 각도에 따른 추력을 나타내고 있다.

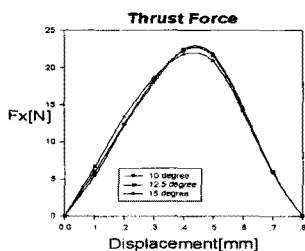


그림 13. 변위에 따른 추력특성

그림 14는 가동자 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HHLSTM의 각도에 따른 수직력을 나타내고 있다.

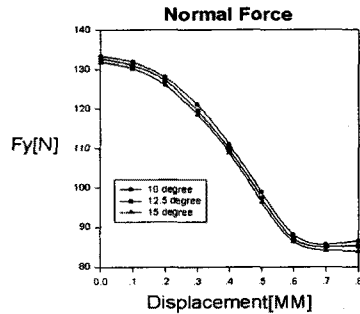


그림 14. 변위에 따른 수직력

### 3. 결 론

본 논문에서는 HHLSTM의 새로운 모델 즉 각도에 따른 DVT (Dove tail tooth)형상과 영구자석을 삽입한 DVT형상을 제시하고, 유한요소법과 가상변위법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여, 추력과 수직력 특성을 비교 검토함으로써 추력과 수직력 특성이 우수한 최적의 DVT 형상을 제시하고자 한다.

1. 기존의 HHLSTM의 2차원 유한요소 모델을 설정한 후, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 얻은 계산값과 본 연구에서 제시한 추력 측정 방법을 이용한 측정값이 잘 일치함으로써 HHLSTM의 추력 해석이론의 타당성을 입증하였다.
2. 추력특성은 전동기 기동과 추력리플 개선 측면에서 15° DVT HHLSTM이 가장 우수하였고, 슬롯에 영구자석을 삽입한 DVT HHLSTM의 추력특성은 DVT HHLSTM의 수직력 특성을 떨어뜨리지 않고, 영구자석 값 sBr = 0.85(T)에서 약 13% 증가하였다.
3. 수직력 특성 역시 15° DVT HHLSTM이 가장 우수함으로써 전동기 공극지지 기구의 경감과 소형경량화에 효과가 있을 것으로 기대된다.

### (참 고 문 헌)

- (1) Mi-Young Shin, etc., "A STUDY ON THRUST CHARACTERISTICS IN TOOTH TYPE OF LINEAR STEPPING MOTOR", Power Electronics & Motion Control Conference (PEMC'2000), Vol.5 of 7, pp.5-51~5-54, 2000.
- (2) Yokozuka, Baba, "Force-displacement characteristics of linear stepping motors." IEE proceeding-B, Vol.139, No.1, pp. 37-43, 1992.
- (3) Ding Zhi-Gang, "A Novel Electromagnetic Spiral Linear Step Motor", IEEE Trans. on Industry Appl., Vol.1, pp. 329-336, 1994.
- (4) S. A. Nasar, "LINEAR ELECTRIC MOTORS." IMCSD, pp.1-6, 1987.
- (5) J. P. Pawletko and H. D. Chai, "LINEAR STEP MOTORS", IMCSD, Incremental Motion Control Systems and Devices, pp.V-1 ~ V-11, 1973.