

치형상에 따른 2상 HB형 Linear Stepping Motor의 추력 및 수직력 특성에 관한 연구 A Study on the Thrust and Normal Force Characteristics according to Tooth Shape of 2-Phase HB Type Linear Stepping Motor.

이상호*, 신미영**, 하장호***
Sang-Ho Lee*, Mi-Young Shin**, Jang-Ho Ha***

<Abstract>

In this paper, We have designed the new tooth shape in order to improve 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.

Key Words : HLSM, thrust force, normal force

1. 서론

오늘날 디지털 제어의 급속한 발전에 영향을 받아 자동제어 계통의 전 분야에 선형위치제어용 전동기의 필요성이 증대되고 있다.

최근까지 위치제어용 전동기는 회전기이므로, 선형위치제어를 위해서는 회전운동을 선형운동으로 변환시키는 리드스크류, 볼 스크류, 랙과 피니언, 기어, 벨트, 체인등 별도의 운동 변환 기구가 필요하기 때문에 시스템이 복잡해지고, 효율과 경제적인 측면에서 매우 불리하며, 또한 산업사회에서 중요시 되고 있는 환경문제 즉 소음, 진동 등이 크게 발생하고 있는 실정이다.¹⁾

이에 비해 최근 선진 각 국에서 개발된 2상 HB형 선형 스텝핑 전동기 (2-phase HB Type Linear Stepping Motor : 이하 HLSM이라 한다.) 는 다이렉트 드라이브 (Direct Drive) 방식의 전동기이기 때문에 시스템의 소형 경량화와 효율 및 경제적인 측면에서 매우 유리하며, 또한 산업사회에서 중요시 되고 있는 환경문제 즉 소음, 진동 등이 크게 발생하고 있는 실정이다.

이에 비해 최근 선진 각 국에서 개발된 2상 HB형 직선형 스텝핑 전동기 (2-phase HB Type Linear Stepping Motor : 이하 HLSM이라 한다.) 는 다이렉트 드라이브 (Direct Drive) 방식의 전동기이기 때문에 시스템의 소형 경량화와 효율 및 경제적인 측면에서 매우 유리하며, 또한

* 정회원 : 삼척대학교 제어계측공학과 부교수

** 정회원 : 영동전문대학 전자정보공학 강사

*** 정회원 : 삼척대학교 제어계측공학과 강사

* Associate Professor, Dept. of Control & Instrumentation Engineering Samchok National University

** Part-time Lecturer, Dept. of Electronic & Information Engineering Yeongdong college

***Part-time Lecturer, Dept. of Control & Instrumentation Engineering Samchok National University

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 산업분야에서 응용이 가능하다.

따라서 HLSM은 컴퓨터 주변기기, 복사기, 로봇, 자동반송장치, 공작기계 그리고 인공심장 구동기기를 비롯한 각종 의료기기 산업 등에 다양하게 응용될 것으로 기대된다.²⁻⁴⁾

그러나, 기존의 HLSM은 다양한 산업응용에 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.⁴⁻⁶⁾

여기에 대응하기 위하여 본 연구에서는 HLSM의 새로운 치형상, 즉 슬롯깊이를 기준해서 10° (모델 1), 12.5° (모델 2), 15° (모델 3)을 탭핑(Tapping)한 DVT (Dove tail tooth)형상을 제시하고 유한요소법과 가상변위법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 추력과 수직력 특성을 비교 검토함으로써 추력과 수직력 특성이 우수한 최적의 DVT 형상을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 HLSM의 구조

Fig. 1은 HLSM의 구조를 나타내고 있다.

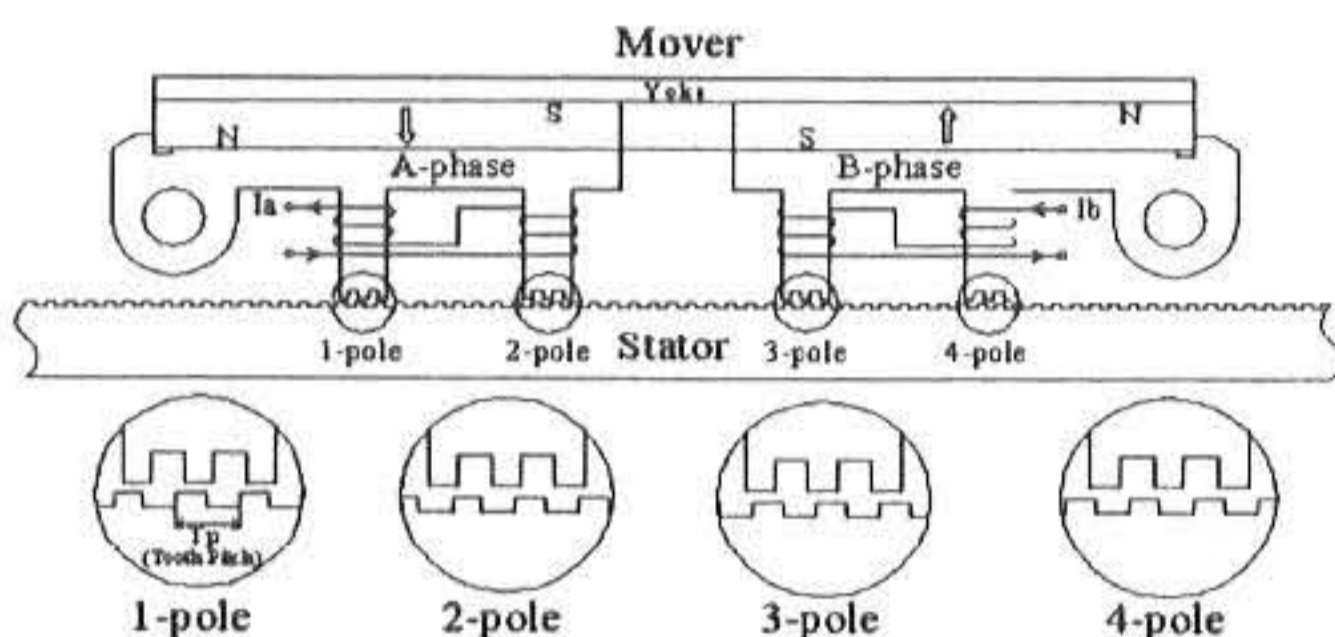


Fig.1 Construction of HLSM

Fig.1에서 가동자는 A상과 B상의 전자석이 이동방향의 전후로 배치되어 있고, A상의 코일은 자극1과 자극2의 극성이 서로 반대가 되도록 감겨져 있으며, 또한 B상의 코일은 자극3과 자극4의 극성이 서로 반대가 되도록 감겨져 있다.

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 0 벡터이다.
- ③ 철심부의 자기적 특성은 등방성이고, 자기포화는 무시한다.
- ④ 가동자의 전류밀도와 자기벡터 포텐셜은 z방향 성분만을 갖는다.

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

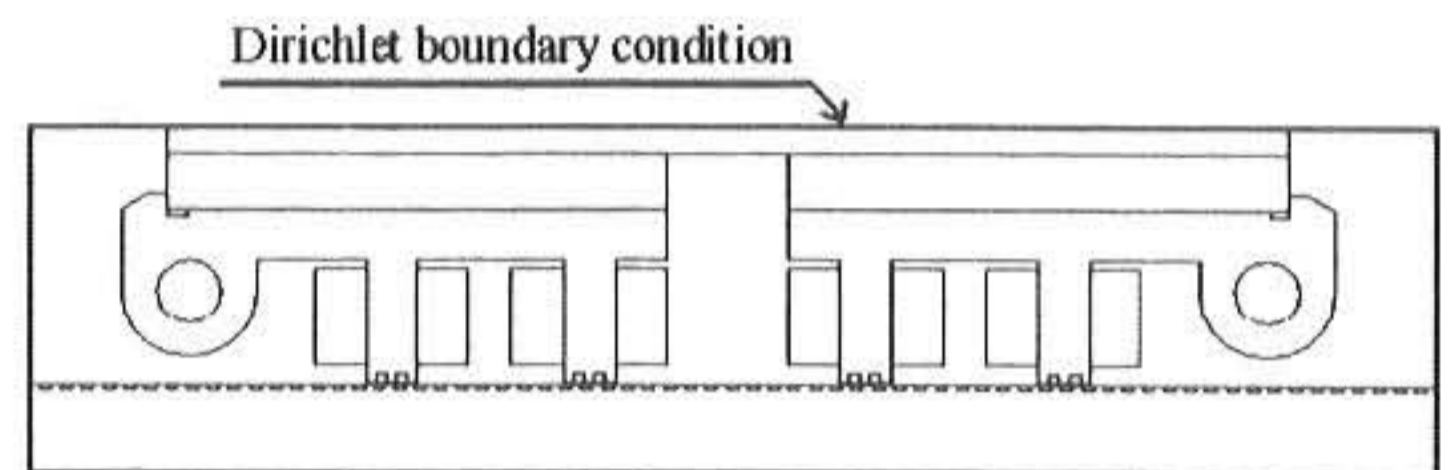


Fig.2 The two-dimension FE model of HLSM

2.3 HLSM의 추력과 수직력 특성 해석

본 연구에서는 추력과 수직력 특성을 해석하기 위하여 유한요소법과 가상변위법을 이용하였다. Fig. 3은 자기 포화곡선을 나타내며, 전체 자기수반 에너지는 식 (1)과 같다.

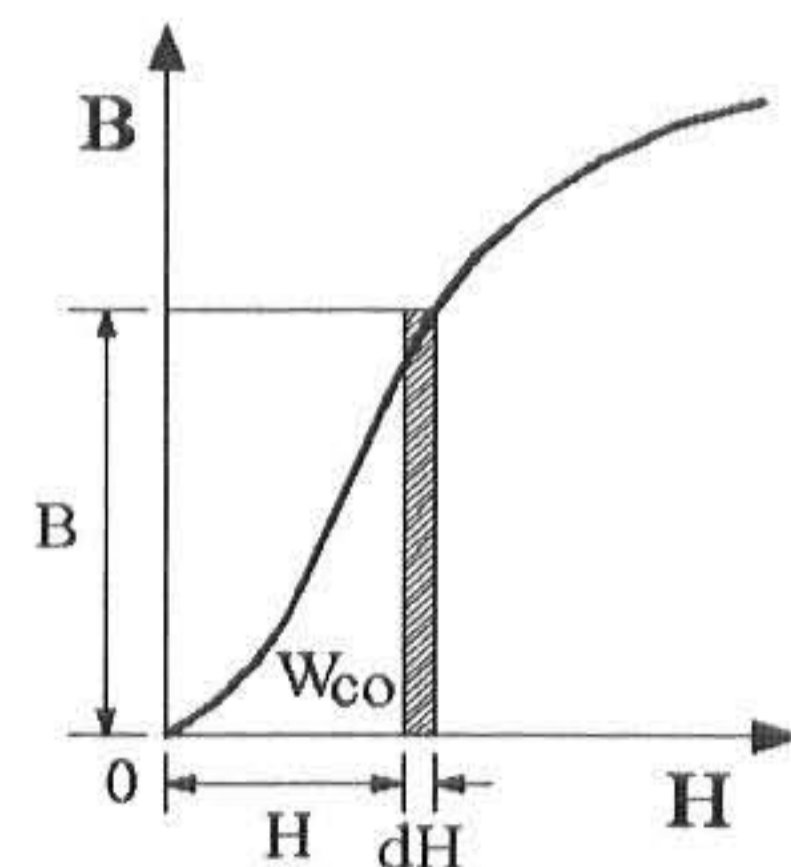


Fig.3 Magnetic saturation curve

$$W_{co} = \int_v \left(\int_0^H B dH \right) dv = \int_v \frac{1}{2} B \cdot H dv \quad (1)$$

식(1)에서 해석영역을 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 HLSM의 추력측정 및 컴퓨터 시뮬레이션

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

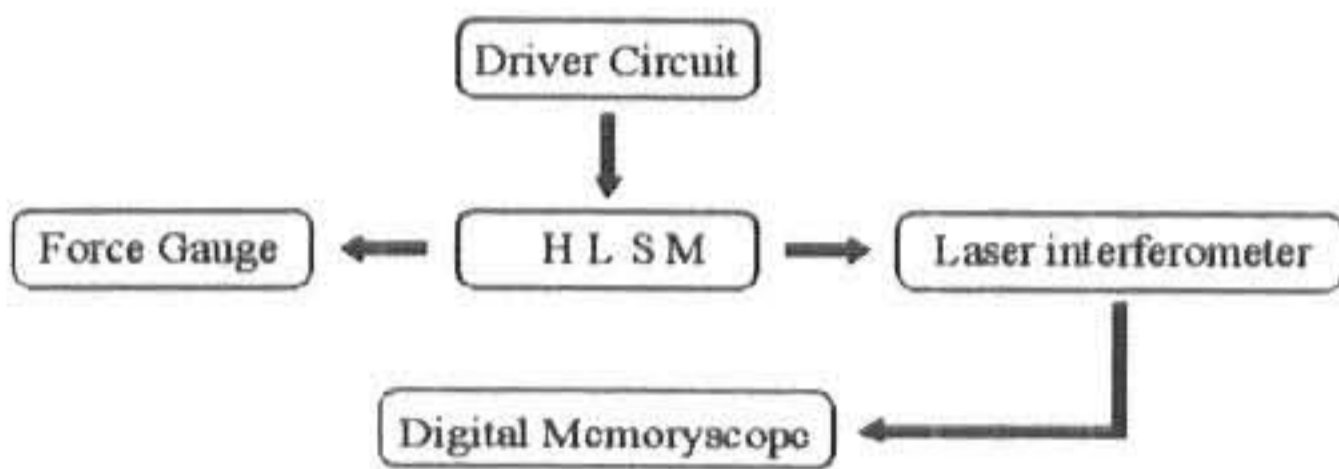


Fig.4 Block diagram for thrust force measurement

Fig. 5는 2상 여자 방식으로 추력을 측정하기 위한 정전류 초퍼회로이다. 여기서 V_r 은 기준전압이고, V_s 는 상전류 검출전압이며, R_s 는 전류 검출용 저항이다.

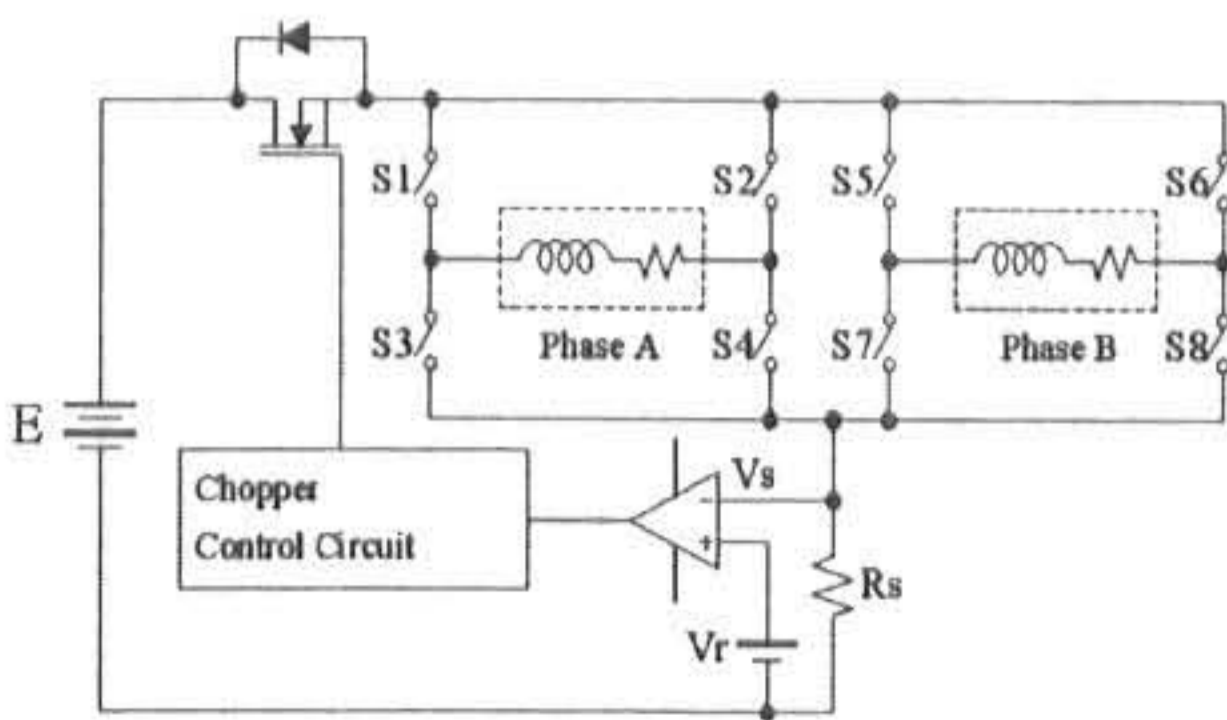


Fig.5 Circuit for thrust force measurement

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

Fig. 6은 FLUX2D의 기본적인 프로그램 구성도를 나타내고 있다.

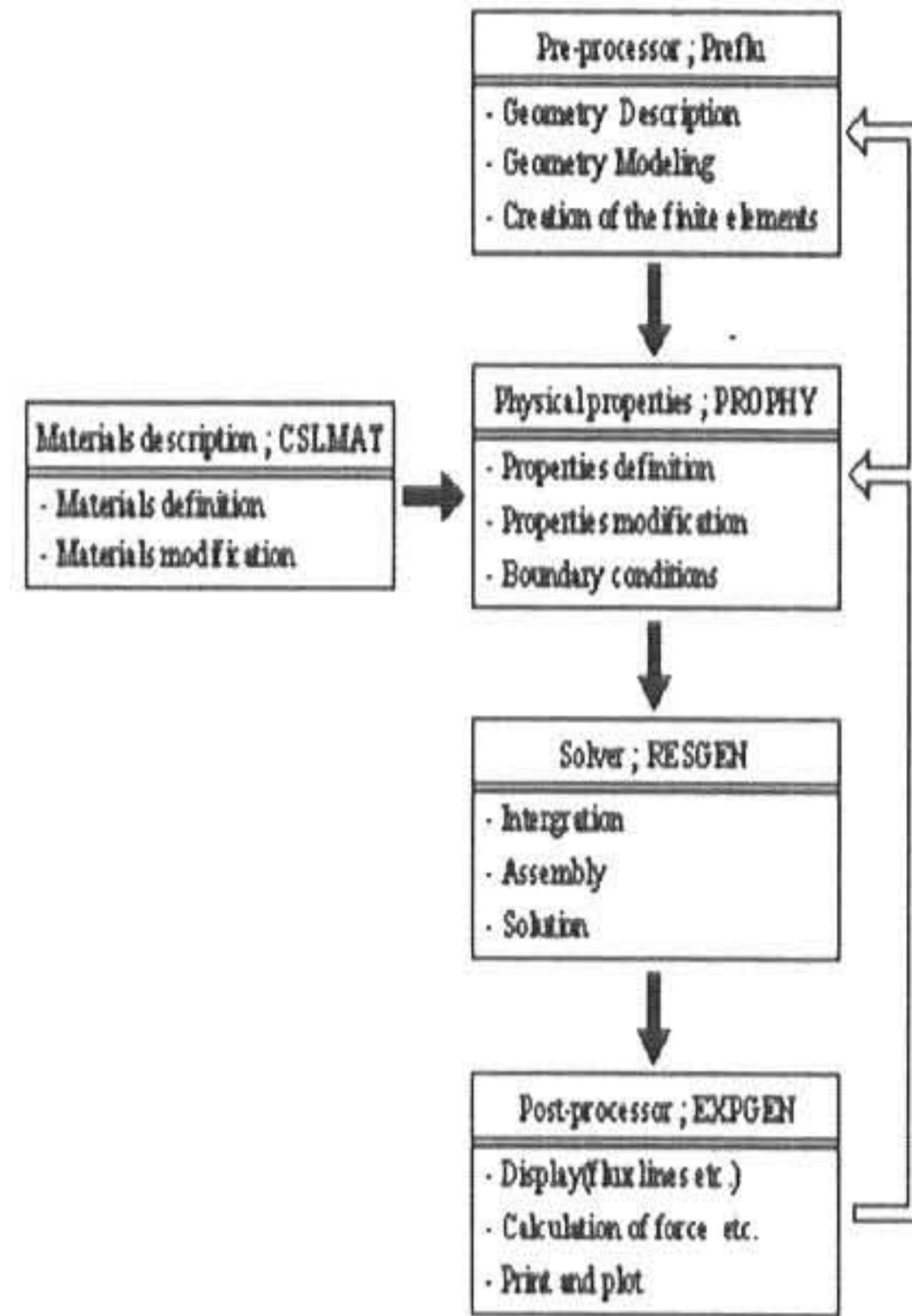


Fig. 6 The program configuration of FLUX2D

Fig. 7은 기존 HLSM의 추력과 수직력 계산을 위한 자속분포를 나타내고 있다.

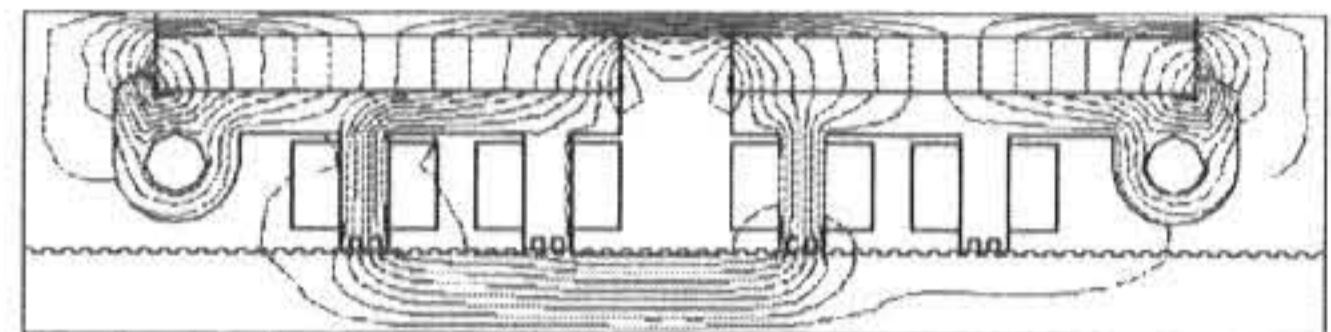


Fig. 7 Magnetic flux distribution of typical rectangular type tooth HLSM

Fig. 8은 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.

Fig. 9는 본 연구에서 설계한 DVT HLSM의 2차원 유한요소 해석을 위한 모델 1을 제시하고 있다.

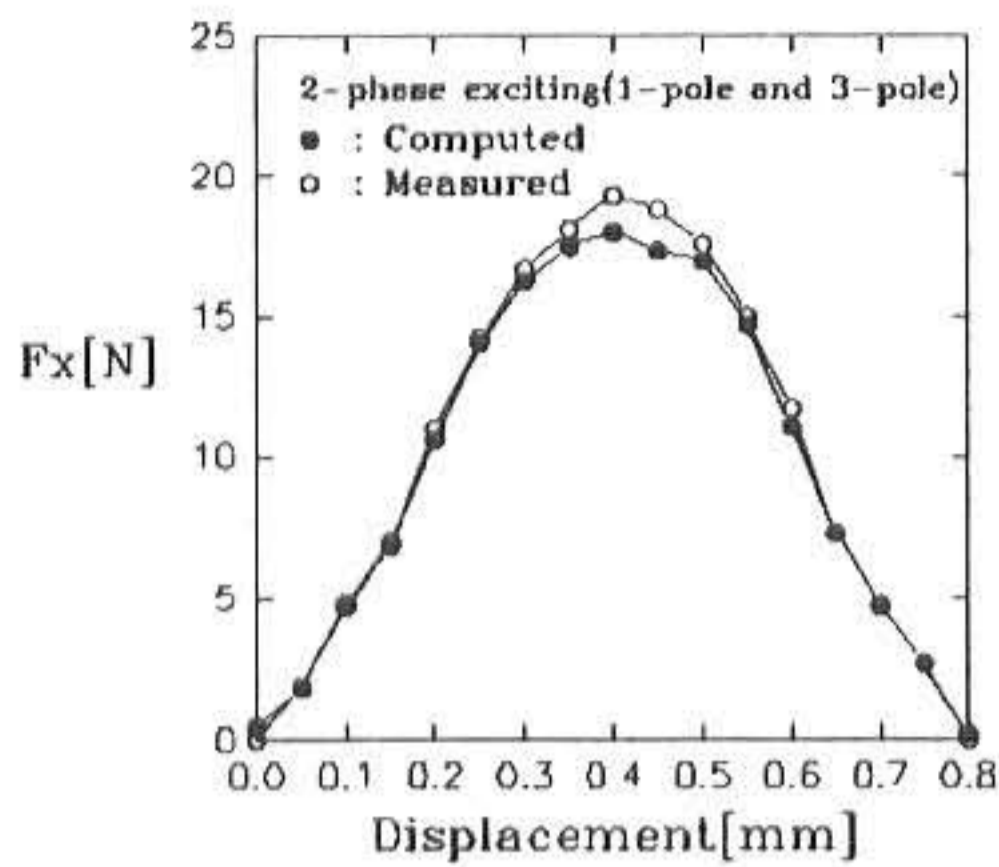


Fig.8 Characteristics of displacement vs. thrust force

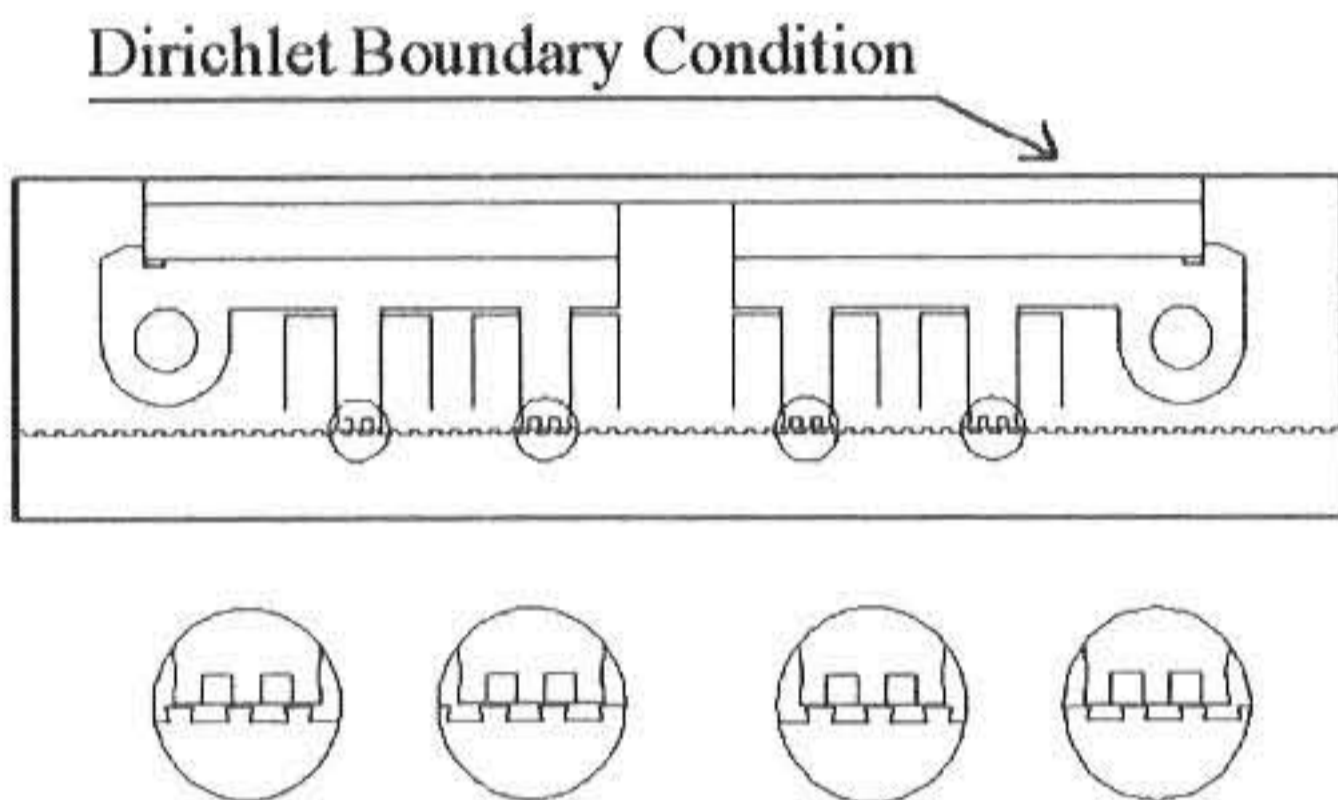


Fig.9 Two-dimensional FE model 1

Fig. 10은 모델 1에 대한 DVT HLSM의 추력과 수직력 계산을 위한 자속분포를 나타내고 있다.

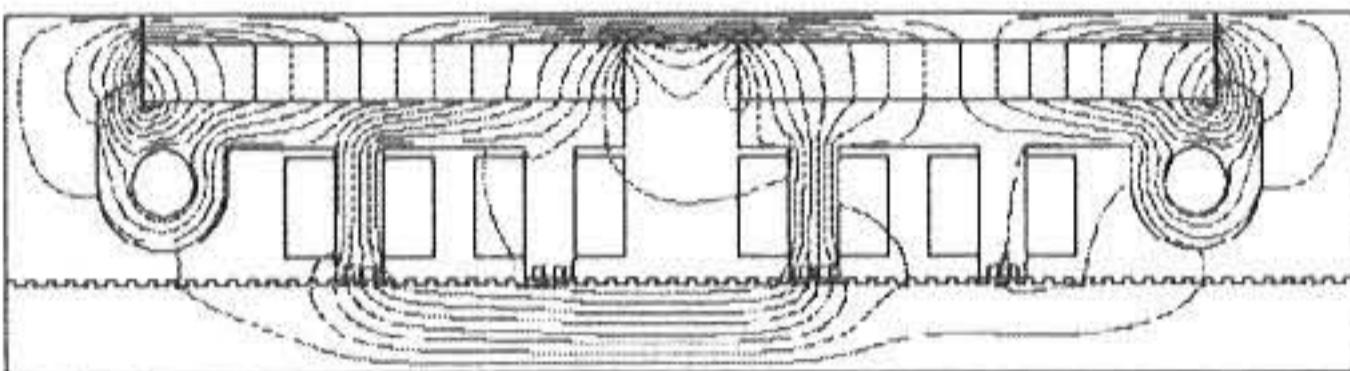


Fig.10 Magnetic flux distribution of model 1

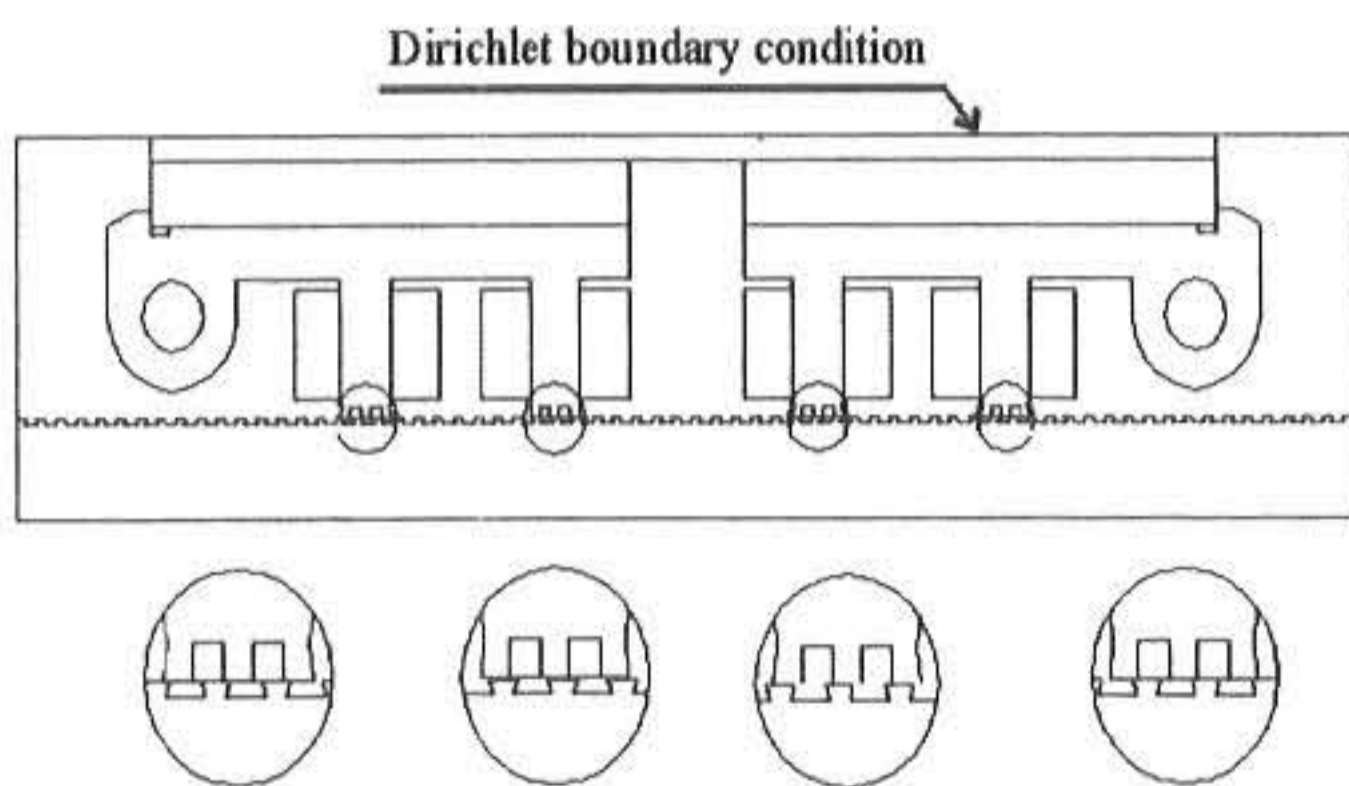


Fig. 11 Two-dimensional FE model 2

Fig. 11은 본 연구에서 설계한 DVT HLSM의 2차원 유한요소해석을 위한 모델 2를 나타

내고 있다.

Fig. 12는 모델 2에 대한 추력과 수직력 계산을 위한 자속분포를 나타내고 있다.

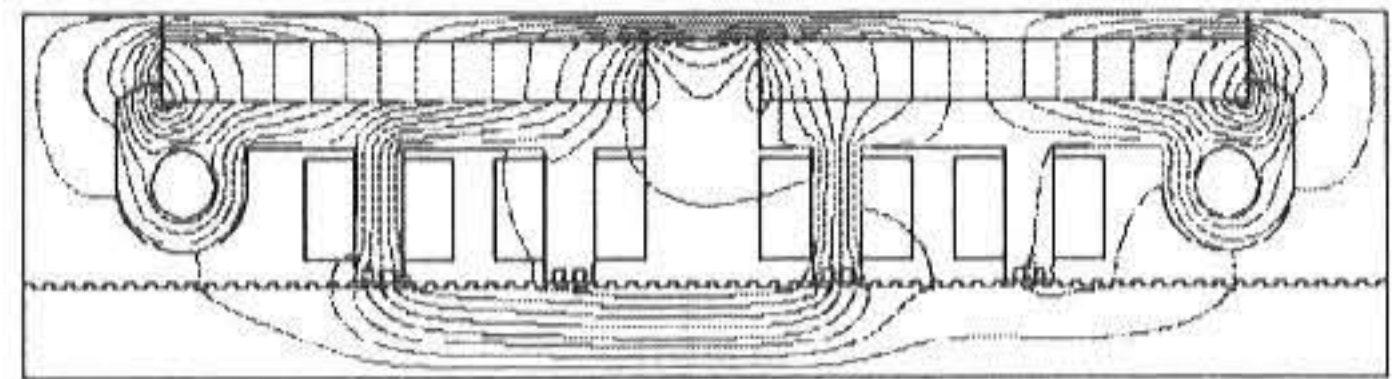


Fig.12 Magnetic flux distribution of model 2

Fig. 13은 본 연구에서 개발한 DVT HLSM의 2차원 유한요소해석을 위한 모델 3을 나타내고 있다.

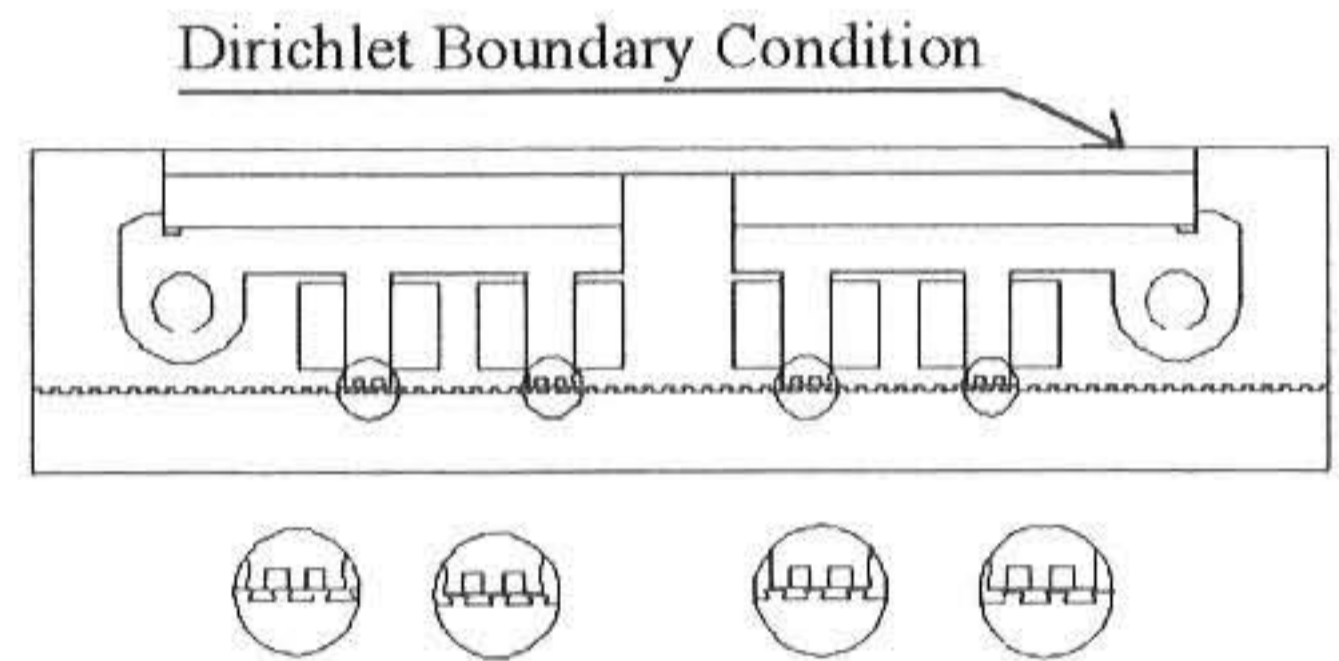


Fig. 13 Two-dimensional FE model 3

Fig. 14는 모델 3에 대한 추력과 수직력 계산을 위한 자속분포를 나타내고 있다.

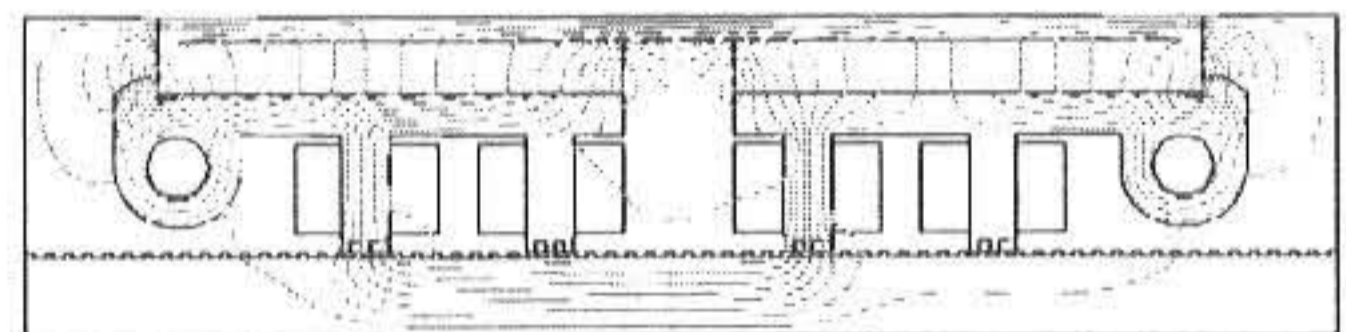


Fig. 14 Magnetic flux distribution of model 3

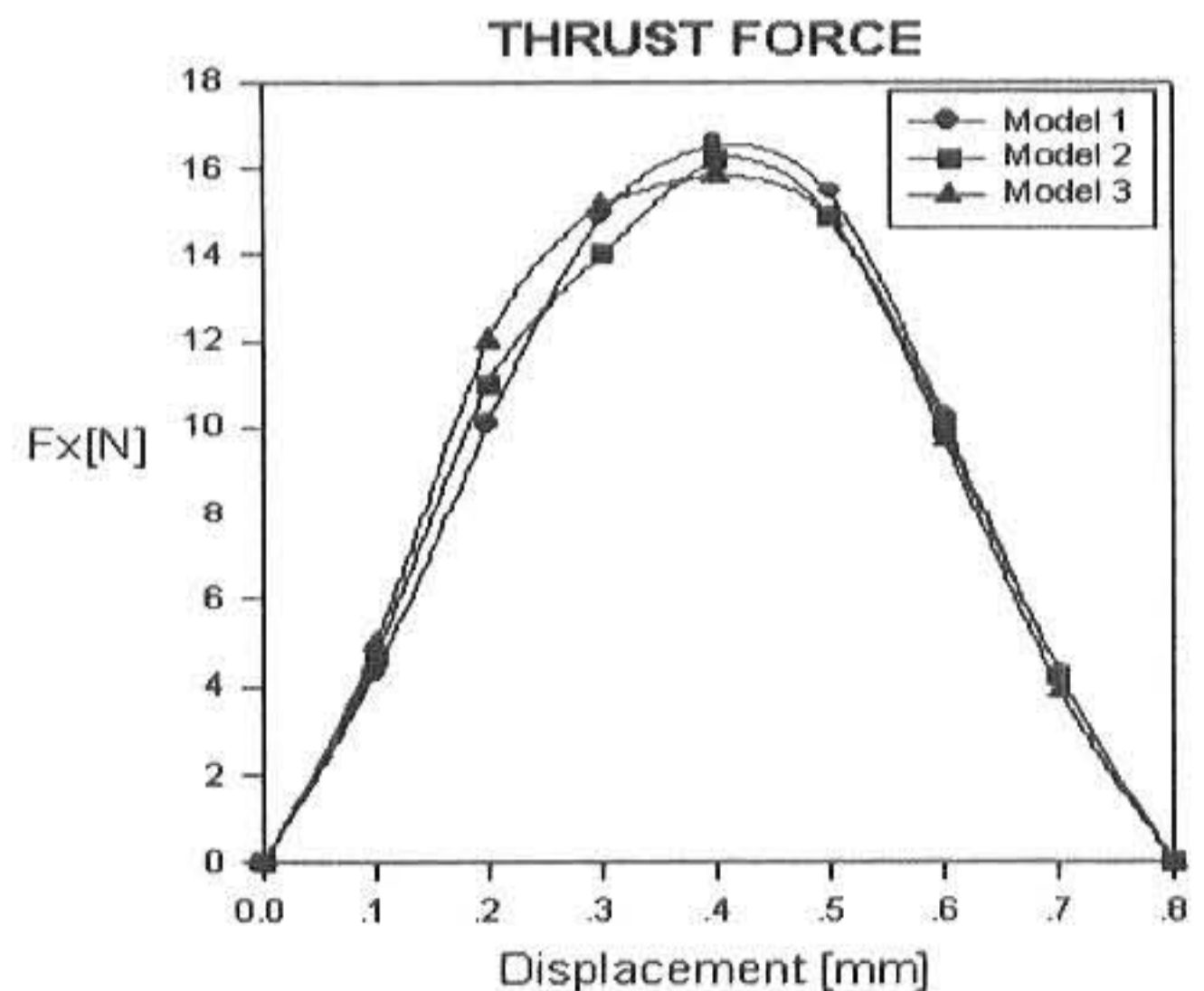


Fig. 15 Characteristics of displacement vs. thrust force

Fig. 15는 모델 1, 모델 2, 모델 3의 DVT HLSM의 추력특성을 나타내고 있다.

Fig. 16은 모델 1, 모델 2, 모델 3의 수직력 특성을 나타내고 있다.

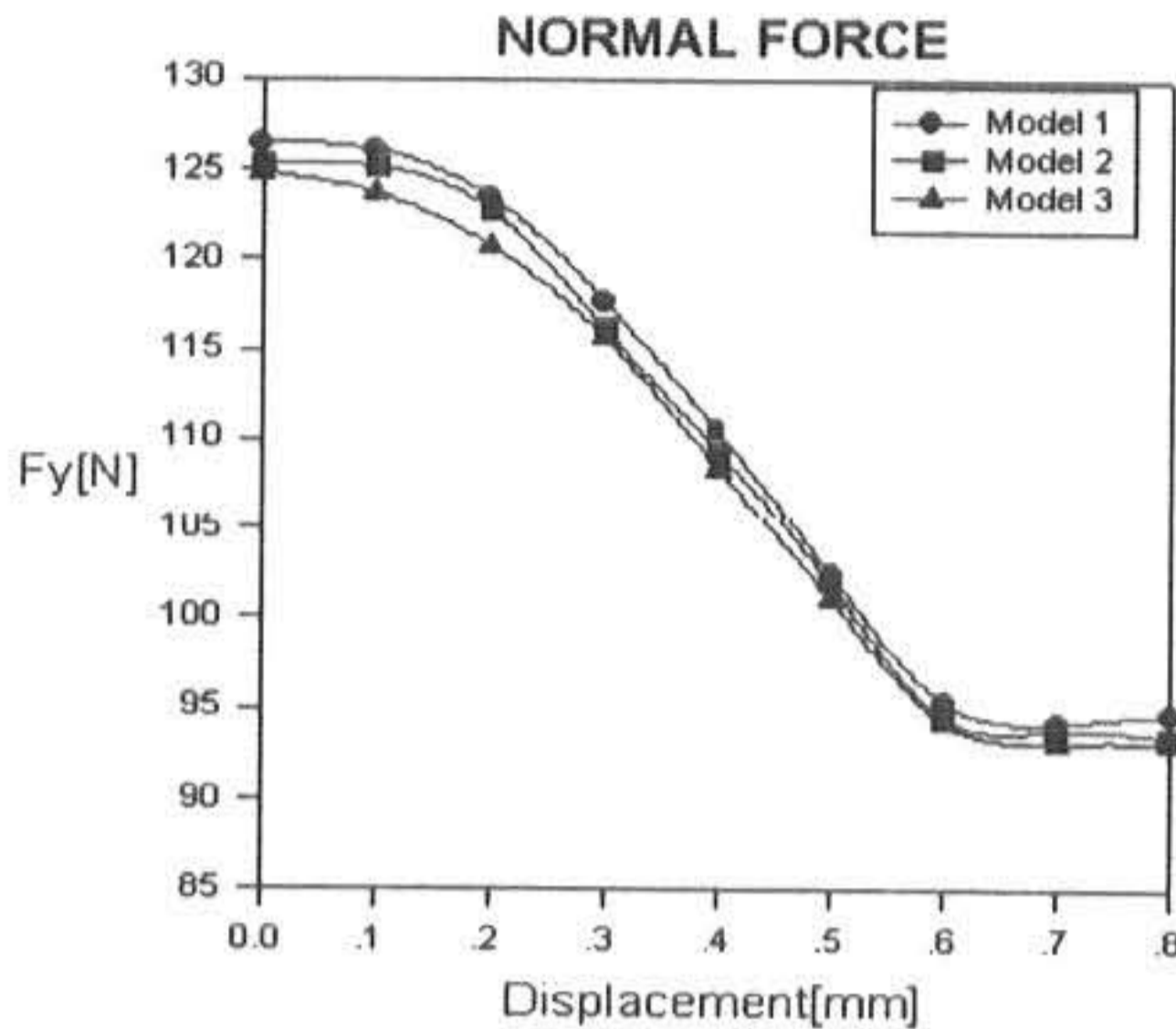


Fig. 16 Characteristics of displacement vs. normal force

3. 결론

본 연구에서는 HLSM의 추력과 수직력을 개선시키기 위해 HLSM의 새로운 치 형상, 즉 슬롯 깊이를 기준해서 10°(모델 1), 12.5°(모델 2), 15°(모델 3)를 탭핑(Tapping)한 DVT형상을 유한요소법과 가상변위법을 통하여, 시뮬레이션 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 HLSM의 2차원 유한요소 모델을 설정한 후, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 얻은 계산값과 본 연구에서 제시한 정추력 측정방법을 이용한 측정값이 잘 일치함으로서 HLSM의 추력 해석이론의 정당성을 입증하였다.
2. 추력특성은 전동기 기동측면에서 모델 3의 DVT HLSM이 모델 1과 모델 2의 DVT HLSM보다 우수하였고, 추력의 피크치는 모델 1과 모델 2의 DVT HLSM보다 감소하였지만 평균 추력이 거의 변화하지 않았기 때문에 추력 리플 개선이 기대된다.
3. 수직력 특성은 모델 3의 DVT HLSM이 모델 1과 모델 2의 DVT HLSM에 비해 각각 2%와 1% 감소함으로서 전동기 공극지지 기구의 경감과 소형경량화에 효과가 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) Ding Zhi-Gang : A Novel Electromagnetic Spiral Linear Step Motor. IEEE Trans. on Industry Appl., Vol.1, pp.329-336, (1994)
- 2) J. P. Pawletko and H. D. Chai : LINEAR STEP MOTORS. IMCSD, Incremental Motion Control Systems and Devices, pp.V-1 ~ V-11, (1973)
- 3) S. A. Nasar : LINEAR ELECTRIC MOTORS. IMCSD, Incremental Motion Control Systems and Devices, pp.1-6, (1987)
- 4) Yokozuka, Baba : Force - displacement characteristics of linear stepping motors. IEE proceeding-B, Vol.139, No.1, pp.37-43, (1992)
- 5) Sang-Ho Lee, Hong-Seok Oh, etc., : TWO-DOUBLE 1-2-PHASE DRIVE OF 4-PHASE STEPPING MOTOR. Power Electronics & Motion Control Conference (PEMC'96), Vol.2, pp.637-639, (1996)
- 6) Sang-Ho Lee, Hong-Seok Oh, etc., : NEW MICROSTEPPING DRIVE OF 2-PHASE LINEAR STEPPING MOTOR. Power Electronics & Motion Control Conference (PEMC'98), Vol.3, pp.3-189~3-192, (1998)

(2001년 4월 6일 접수, 2001년 8월 22일 채택)