

Cylindrical Linear Pulse Motor 의 3 차원 자계 분포 해석에 의한 추력계산

서울대학교 전기공학부 임준채*, 임창환, 강노원, 정현교

(The Force Calculation of Cylindrical Linear Pulse Motor Using 3D Magnetic Field Analysis)

Seoul National University J. C. Lim*, C. H. IM, N. W. Kang, H. K. Jung

1. 서론

LPM은 다른 선형 전기기기에 비해 추력이 양호하고 제어가 용이하며 입력 펄스에 동기해서 구동되는 특성을 가지고 있어 정확히 해석, 설계 및 제어한다면 전기기기의 소형, 경량화 및 고정밀도가 요구되는 추세에 따라 그 응용분야를 넓힐 수 있을 것이다. 추력·변위 특성의 해석은 전류와 영구자석에 의한 기자력(magnetomotive force)과 공극의 퍼미언스(permeance)를 이용하여 구할 수 있다. 지금까지 LPM에 관한 해석은 주로 이차원 해석이 대부분이었는데, 이것으로는 정확도에 한계있고 누설을 고려할 수 없는 등 실제 모델에 적용하기에는 부족함이 있다. 그래서 본 논문에서는 평판형(flat type)에 비해 응용분야가 넓으며, 수직력(normal force)이 상쇄되는 특성이 있는 CLPM(Cylindrical Linear Pulse Motor)을 대상으로 하여 공극에서의 자계분포를 3차원 유한요소법을 이용하여 해석하고, 이를 통해 추력을 계산하였다.



Fig 1. Structure of Cylindrical Linear Pulse Motor

2. 해석방법

Fig 1-(a)는 CLPM의 구조를 모델링한 것이며, CLPM은 축 대칭을 이루는 구조이므로 (b)와 같이 1/4 영역만 해석하여도 결과를 얻을 수 있어 계산 시간의 단축을 위해 위와 같은 형상에 대해 해석을 하였다. 지금까지 CLPM의 추력 계산방법으로 다양한 해석방법이 제안되었다. [1, 2] 주로 해석시간을 줄이기 위해 퍼미언스법(permeance method)으로 근사화한 등가회로법을 이용하였으나 정확도면에서 문제가 있어 배제하고, 각 영역별로 정확한 초기설계와 각 영역에서의 미소 요소분할을 하여 3차원 유한요소 해석을 수행하여 결과의 정확도를 기했다. 추력을 구하기 위해 식 (1) 가상변위법(virtual work method)에 적용하였으며, CLPM의 특성인 수직력(normal force)은 상쇄되므로 고려하지 않았다.

$$F_z = \frac{\partial W_m}{\partial Z} \quad (1)$$

$$F_r = \frac{\partial W_m}{\partial r} \quad (2)$$

직접법에 의한 반복 계산을 통해 수렴도를 판정, 각 영역에서의 자계분포를 해석하여 해석된 결과로부터 에너지 (W_m)을 구한 다음 그 변위 Z 에 대한 편미분을 취하여 추력을 계산한다.

3. 해석결과 및 고찰

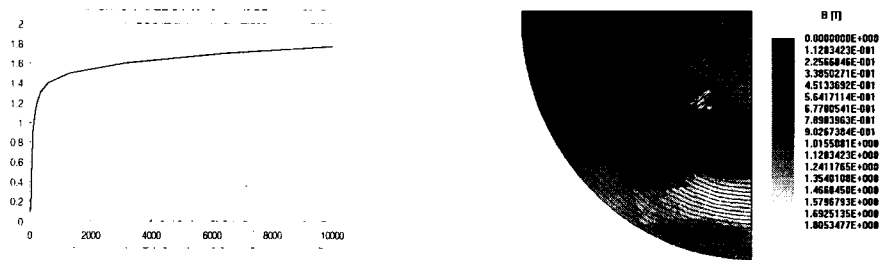


Fig 2. B - H curve and Magnetic flux distribution by 3D FEM

CLPM의 기계적 특성상 공극이 0.2mm가 넘을 경우 추력의 손실이 크게 된다. 따라서 본 논문에서는 공극을 0.1mm로 하여 비선형을 고려한 해석을 하였다. Fig-2은 3차원 FEM 해석 결과에서 얻어진 B-H 곡선과 단면의 자속의 분포를 나타낸 것으로 치(tooth) 부분에 포화가 되는 것을 분명히 보여주고 있다. 위의 결과로부터 향후 치 형상 및 공극 변화를 통한 추력의 최대점을 찾아내 CLPM 최적설계 시 적용이 가능할 것이다.

4. 결 론

지금까지 LPM에 관한 다양한 해석 논문들이 제안되었다. 그러나 자기포화(magnetic saturation)를 고려한 비선형 해석을 필요로 하는 점과 계산 시간의 과다 등으로 인해 3차원 해석에 많은 어려움이 있어 주로 2차원에 대한 해석이 대부분이었다. 본 논문에서는 3차원 해석으로 설계변수를 알아내어 시험기 제작에 결과를 적용할 수 있었다. 그러나 CLPM의 기계 특성상 수직으로 배치할 경우 탈조현상을 일으키고 지지기구인 베어링으로 인한 기계적 마찰을 해결해야 하며, 자석의 효율적 배치를 통한 공간의 효율적 확보 등 기계적인 문제 해결을 위해 보다 정확한 특성 해석을 해야 할 것이다.

5. 참고문헌

[1] T. Yokozuka and E. Bada, Proc. IEE-B. 139(1), 272(1992)
 [2] Rongjie and J.F. Gieras, ICEM 98. 833 (1998)
 [3] K.Hirata and T. Todaka, IEEE Trans. Magn. 28 (2). 1394(1992)
 [4] I.Boldea and Syed A. Nasar, "LINEA ELECTRIC ACUTUATORS AND GENERATORS"