

가동자석형 LDM의 제작 및 정특성 해석

장석명 윤인기 정상섭 박찬일*
충남대학교, 한국 기계연구원*

Design and Static Characteristic Experiment of a Moving Magnet Type LDM

S.M. Jang, S.S. Jeong, I.K. Yoon, Chan.il. Park
Chungnam Nat'Univ. KIMM

Abstract - In the industrial field the necessity of the linear motion is increasing. We selected a moving magnet coreless type LDM, which have the advantages, such as long stroke, brushless, no cogging force. Actually, the design is accomplished using FEM analysis for the basic configuration of a magnetic circuit, and characteristic equations for coil design. In the course of design, we have estimated airgap flux density and thrust. We fabricated coreless type LDM and experimented static test. We compared measurement values with FEM analysis values.

흐르는 길이 l 인 도체가 있다면 이 도체에 작용하는 힘은 플레밍의 왼손법칙에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$F = I l \times B \quad (1)$$

만일 가동자가 일정한 방향으로 운동을 한다면 공극에서 영구자석의 자속과 쇄교하는 권선의 길이 l_e , 공극자속 밀도 B_g , 권선수 N , 그리고 코일에 흐르는 전류 i 등의 설계사양을 고려하면 발생추력은 식 (2)와 같다.

$$F_e = 2 l_e N B_g i = k_E i \quad (2)$$

여기서 k_E 는 유기전압상수로 $k_E = 2 l_e N B_g$ 이다.

1. 서 론

전기에너지를 동력원으로 하는 전동기의 출력은 회전운동이 대부분이나, 선형운동을 필요로 하는 경우가 점차 증가하고 있다. 리니어모터는 회전형 모터에 사용되는 선형운동 변환장치 없이 직선운동을 필요로 하는 곳에 직접 적용 가능하다는 관점에서 필요성이 점차 증가하고 있다. 리니어모터 중에서도 LDM은 구조가 비교적 간단하고 추력/질량비가 크므로, 고속동작이 가능하며, 또한 서보성이 좋다. LDM에는 가동코일형과 가동자석형이 있는데, 가동코일형의 경우 가동부에 권선을 갖는데 이러한 형태는 가동부 권선에 전력을 공급하기 위한 전기적 연결을 필요로 하는 단점을 지닌다. 한편 가동자석형의 경우 중량당 추력비가 가동코일형보다 나쁘므로 별로 실용화되지 않았지만, 가동부에 급전기구를 필요하지 않고 고정자를 포함한 장치 전체의 경량화가 용이하다는 등의 장점을 갖고 있다. 그리고 고정자에 다수의 코일을 가동자의 이동 방향으로 배치하고, 위치 및 속도의 검출기구를 이용하면 원리적으로는 무한히 긴 스트로크가 가능하다.

LDM의 효용가치는 고속 전자부품 자동삽입장치나 고속조립용 로봇 등의 작업중량이 가볍고 추력은 작아도 되며, 2[m/sec] 이상의 이동속도를 요구하는 용도로 개발되어 있다. 본 연구에서는 제품의 반송장치나 운반 등 제조공정에서 필요한 부품 및 각종 대상물의 운송을 위한 장스트로크가 가능한 LDM을 설계 및 제작하였고, 이를 위하여 유한요소해석을 이용하였다. 특히 설계단계에서 공극과 코일중심의 자속밀도와 추력을 계산하였다. 그리고 정지시험시의 정추력을 예측하기 위해서 가동자의 위치에 따른 추력을 FEM을 통하여 해석하였다. 제작한 LDM의 특성파악을 위하여 정특성 시험을 하였으며, 이 시험치를 FEM을 통하여 해석한 값과 비교하였다.

2. LDM의 설계 및 제작

2.1 구동원리

공철심형의 경우, 자속밀도가 B 인 자계중에 전류 I 가

2.2 구조 및 사양

가동자석형 LDM은 그림 1과 같이 영구자석과 요크로 구성된 가동자와 비자성체 지지대에 권선을 부착시킨 고정자로 구성된다.

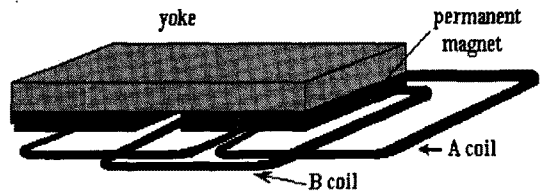


그림 1 Moving magnet coreless LDM

로봇, 반송용 등으로 사용되는 LDM은 고정밀 위치제어를 필요로 하며 철심형을 채택할 경우 가동자의 위치에 따른 퍼미언스 변화로 입력전류와 무관한 코깅력이 발생하여 모터의 추력특성 및 정밀 위치제어에 악영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 코깅력을 무시할 수 있는 공철심형 편축식 LDM을 모델로 산정하였으며, 그 사양은 표 1과 같다.

표 1 LDM 설계사양

정격 전압	20[V]	자석 높이	10[mm]	
정격 전류	4[A]	권선 직경	1.0[mm]	
추력	6.8[N]	턴 수	34[turn]	
속도	1.4[m/s]	공극자속밀도	0.23[T]	
주파수	10[Hz]	회로류 자석	계열	MQ30
전류 밀도	5[A/mm ²]		B_r	1.1
자석폭	640[mm]		보자력	-78[kOe]
자석 두께	66[mm]	총자석수	2[개]	

2.3 자계 특성

설계 제작된 LDM의 해석은 모터 측면방향의 누설자속이나 프런징 효과를 고려할 수 없다. 따라서 3D FEM 해석과 정밀한 자속계를 통해 보다 정밀하게 공극에서의 자속밀도를 측정하고자 하였다. 그림 2는 3D FEM 해석을 위한 모델의 요소망을 나타낸 것이다.

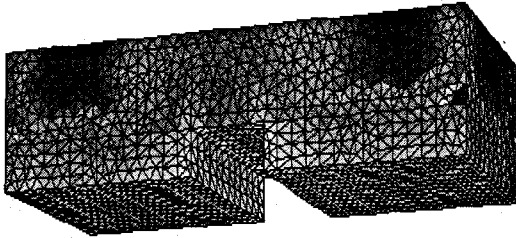


그림 2 3D FEM 모델의 요소망

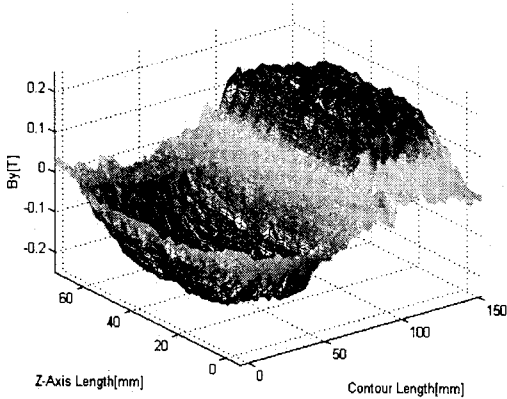


그림 3 3D FEM에 의한 공극자속밀도

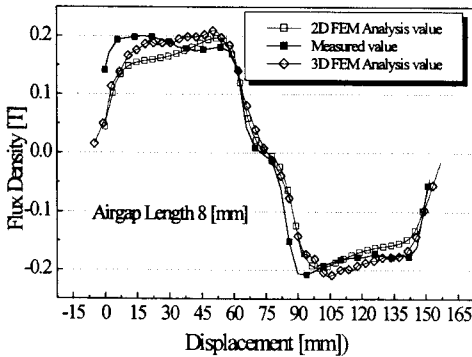


그림 4 공극에서의 자속밀도분포 비교

그림 3은 3D FEM 해석을 통한 LDM의 공극자속밀도를 나타낸 것이다. 그림 4는 2D, 3D-FEM 해석과 자속밀도계에 의한 자속밀도의 측정치를 비교한 것이다. 해석치와 측정치는 모두 공극이 8mm에서의 값으로 측정치는 LDM의 FEM 해석치와 거의 같음을 알 수 있다.

2.4 LDM의 정특성 시험

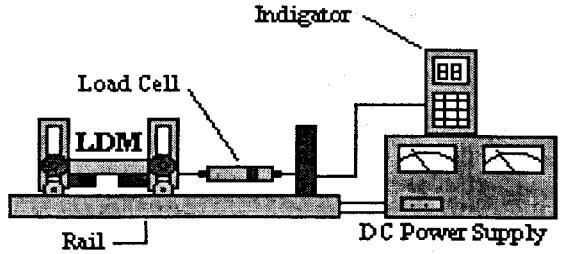


그림 5 LDM계측 시스템 구성도

그림 5는 정특성 시험시 입력전류와 전압 그리고 추력을 측정하기 위한 시험구성도를 보여준다. LDM의 공급전원을 DC Supply로 공급해주며, Load Cell과 Indicator를 이용하여 정추력을 측정하였다. 그림 6은 LDM의 한쪽 극 중심에서 공극의 변화에 따른 자속밀도의 FEM 해석치와 측정치의 비교를 나타낸 것이다. 해석과 측정치 사이에 약간의 값의 차이는 있지만, 공극이 커짐에 따라 공극자속밀도가 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 그림 7은 고정자인 1개의 코일에 정격 DC 전류를 인가할 때 발생하는 추력을 나타낸 것이다. 그림 8은 그림 7과 같은 추력 특성을 갖는 코일을 변위에 따라 스위칭 했을 때의 추력특성을 나타낸 것이다. 2상 여자시 1상여자보다 추력이 1/2정도 더 커짐을 알 수 있다. 그림 1에서 LDM을 구동시키기 위해 가동자의 위치에 따라 코일A와 코일B를 각각 스위칭 시킬 때 코일A에서 공극자속밀도가 코일B에서의 공극자속밀도보다 크다. 따라서 일정한 추력을 발생시키기 위해서는 코일B에 코일A보다 작은 자속밀도 만큼의 전류를 더 인가해 주어야 한다. 그림 9는 인가전류에 따른 LDM 추력의 변화를 나타낸 것이다. 그림 6에서 공극에 따른 자속밀도의 변화가 선형적이므로 이에 비례하는 추력 또한 선형적이다. 그림 10은 1상여자시 공극길이 변화에 따른 추력의 변화를 나타낸 것이다.

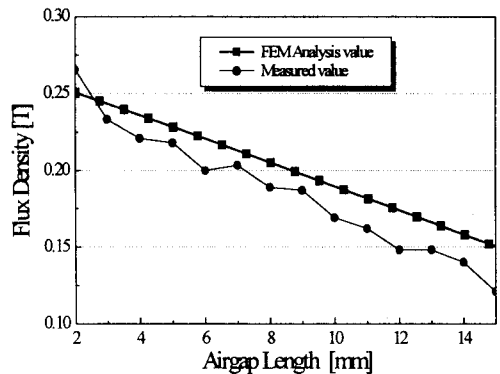


그림 6 공극길이에 따른 자속밀도분포비교

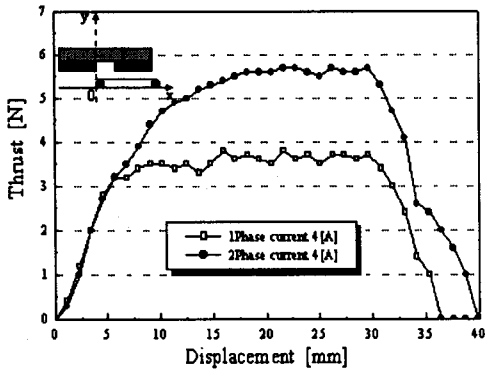


그림 7 1. 2상여자시의 추력비교

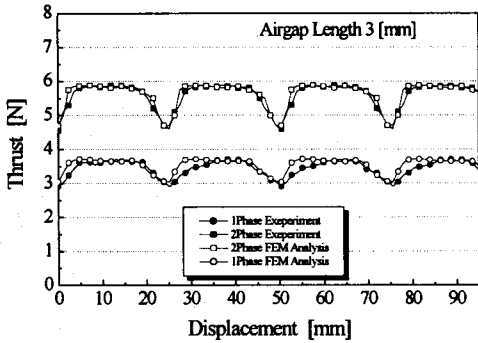


그림 8 가동자 변위에 따른 추력비교

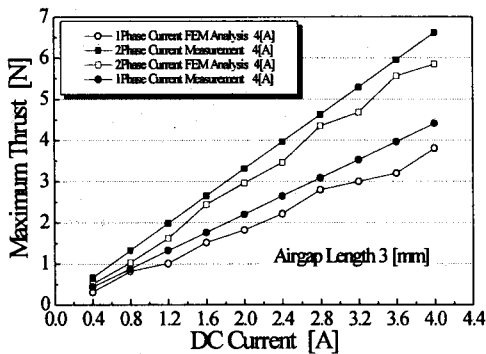


그림 9 인가전류에 따른 추력의 변화

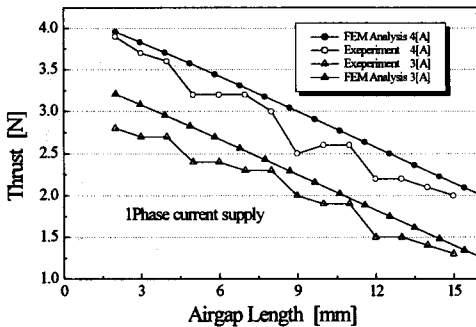


그림 10 공극길이 변화에 따른 추력의 변화

일정한 인가전류 조건에서 공극의 길이를 증가시키면, 이에 따른 자속밀도가 선형적으로 감소하므로 추력 또한 선형적으로 감소하게 된다. 이 그래프에서 시험치는 FEM해석에 의한 계산치와 상당히 일치하였다.

3. 결 론

LDM은 구조가 비교적 간단하고 추력/질량비가 비교적 크므로 고속동작이 가능하다. 특히 가동자석형은 가동부에 급전 기구를 필요로 하지 않고 고정자를 포함한 장치 전체의 경량화가 용이하며, 위치 및 속도의 검출기구를 이용하면 장스트로크가 가능하다. 본 연구에서는 편축식 가동자석형 LDM을 설계 및 제작하였다. 설계에 있어서 코강력에 따른 추력리플을 저감시키기 위하여 공심형 코일을 선정하였다. 2D, 3D FEM을 통하여 LDM의 자체특성을 해석하여 측정치와 비교하였다. 정특성시험으로는 공극길이에 따른 자속밀도의 변화, 가동자 변위에 따른 추력비교, 전류변화에 따른 최대추력을 측정하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.Hur, S.B. Yoon, D. Y. Hwang and D. S. Hyun, Analysis of PMLSM Using 3 Dimensional Equivalent Magnetic Circuit Network Method. IEEE. Trans. on Magn., Vol. 33, No. 5, pp. 4143-4145, 1997.
- [2] Domenico Casadei, Giovanni Serra, Angelo Tani, Finite-element Analysis of a Brushless PM DC Linear Motor Taking the Saturation Effects into Account. Vol. 33 NO. 5, pp 4197-4199
- [3] Mizuno, T.Anzai, T. Kitamura, A.Nakamura, T. Miyasheta, H. Yamada, "Static Thrust Characteristics of a Moving-Magnet-Type Linear DC Motor", Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 21, No.4-2, pp. 37-840,1997.
- [4] T.Mizuno, M.Nahara, K.Koyama, T.Anzai, H.Yamada, "Magnetic Circuit Analysis of a Moving Maget type Linear DC Motor", 3rd International Scientific and Technical Conference of Conventional Electromechanical and Electricalsyst ems Vol.1, pp.99-104,1997.