

평판 철심가동형 LOA의 특성해석 및 정특성 시험

장석명 정상섭 정종민 김형규* 우종섭*
 충남대학교 *한국원자력연구소

Characteristic Analysis and Static Tests of a Flat Moving Core Type LOA

S.M.Jang, S.S.Jeong, J.M.Jeong H.K.Kim*, J.S.Wu*
 Chungnam Nat'l Univ. *KAERI

Abstract - LOA is the linear electromechanical device that mover is similar to secondary conductor of LLM. The mover reciprocates along stroke by supplying the alternating current to primary coil. LOA is the simpler and more efficient than other linear apparatus using the rotary motor because LOA produce the thrust force without any mechanical converter such as cam, clutch, belt, rack and pinion, etc. This paper deals with the static characteristics of moving coil type LOA by virtual work method, FEM analysis and experiment. Results show that thrust force increases when mover travels form center to both ends.

1. 서 론

일반적으로 직선운동을 필요로 하는 경우에 회전형 모터에 캠, 클러치, 랙, 피니언, 벨트 등의 기계적 변환장치를 이용하여 회전운동을 직선운동으로 변환시키게 된다. 따라서 마찰손실, 부품의 마모, 소음발생등이 필수적으로 수반되어 전체 시스템의 효율이 저하된다. 그런데 왕복 직선운동의 경우는, 지금까지 국내외에서 개발된 액츄에이터는 대부분 유압식으로 시스템의 구성이 복잡하고, 비효율성, 유지보수등에서 매우 불리하다. 따라서 직선구동력을 직접 발생하기 때문에 시스템이 간결하고 효율적이 되도록 구성 할 수 있는 특징을 갖는 리니어 진동 액츄에이터(Linear Oscillating Actuator, 이하 LOA)로 대체하고자 하는 연구의 필요성이 크게 대두되고 있다. 따라서 최근 국내외적으로 설계 및 해석, 응용에 관한 연구가 이루어지고 있다.[1][2][3]

LOA는 리니어 모터에 정전파 또는 구형파의 교번전압을 공급하여 가동체 자체가 직접 직선적인 스트로크를 반복하여 왕복운동이 가능하도록 하는 장치라 할 수 있다. LOA는 가동체의 재질 및 여자 코일의 수에 따라 분류될 수 있는데, 가동체의 재질에 따라서 가동체가 철심으로 이루어진 철심 가동형, 코일로 이루어진 반발형의 코일 가동형, 영구자석으로 이루어진 영구자석 가동형, 그리고 철심과 영구자석을 병용한 하이브리드형으로 분류된다. 또한 여자코일의 수에 따라 단일여자 LOA, 다중여자 LOA로 분류하기도 한다.[2]

본 논문에서는 이론적 해석 및 FEM 해석을 가상변위의 원리 및 맥스웰 스트레스 텐서를 이용하여 평판형 가동철심으로 구성된 이중여자 LOA에 대한 정추력을 계산하였으며 시작품을 이용하여 실험시스템을 구축하여 LOA의 정특성 실험을 하였다.

2. 제작된 LOA의 구조 및 사양

2.1 제작된 LOA의 구조

그림 1과 2는 LOA의 모델과 구동원리를 나타내는 그림이다.

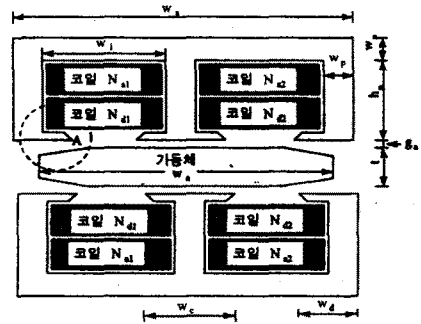


그림 1. 특성해석 및 시험에 사용된 LOA의 구조

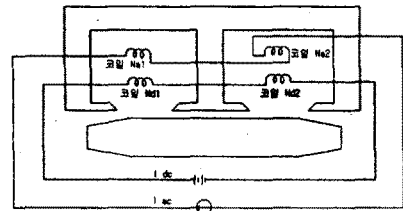


그림 2. LOA의 구동원리

그림 1에서 여자코일은 한 개의 슬롯에 직류권선과 교류권선을 같이 감는 바이파일터 권선감기를 한 LOA의 구조이며, 그림 2는 여자코일과 가동체와의 관계를 표시한 그림이다. 그림 2에서 직류여자코일 Nd1과 Nd2는 같은방향의 전류를 공급하도록 화동 접속되어 있으며, 영구자석과 같은 역할을 한다. Na1과 Na2는 서로 180°의 위상차를 갖도록 차동접속을 하였다. 그림 2처럼 직류전류와 교류전류를 인가하면 가동자는 직류전류에 의한 자속과 교류전류에 의한 자속의 상호작용으로 왕복운동을 하게된다.

2.2 기계적, 전기적사양

제작된 LOA는 자로의 유효면적을 증가시키기 위하여 고정자의 자극에 보극을 설치하였으며, 또한 가동체의 양 끝에서의 자속의 분포특성을 향상시키기 위하여 양 끝에 34°의 경사를 주었다.[2] 고정자 및 가동체의 재질은 순철이며, 고정자 사이에 가동체를 지지하기 위하여 리니어

배어링을 사용하였으며 공극은 0.5mm로 제작하였다. 가동체가 요구 최대 스트로크인 $\pm 5\text{mm}$ 를 이탈하지 않도록 양측면에 스톱퍼를 설치하였다. 여자코일은 1mm의 동선을 1개의 슬롯에 직류코일 N_d 와 교류코일 N_a 의 2개의 권선을 각각 770회씩 감아 직류와 교류를 동시에 공급할 수 있도록 바이파일라 권선을 하였다. 표 1은 제작된 LOA의 기계적 사양을, 표 2는 전기적 사양을 각각 나타낸다.

표 1. LOA의 기계적 사양

고정자	철심	순철
	폭 (w_s)	139 mm
	길이 (z)	200 mm
	pole의 폭 (w_p)	15 mm
	side pole shoe의 폭 (w_d)	21 mm
	center pole shoe의 폭 (w_c)	27 mm
	pole의 높이 (h_p)	52 mm
	도체창의 폭 (w_i)	45 mm
가동체	철심	순철
	폭 (w_a)	110 mm
	길이 (z)	200 mm
	두께 (t)	24 mm
	공극 (g_a)	0.5 mm

표 2. LOA의 전기적 사양

최대 입력전류 (I)	3.12 A
최대 입력전력 (P)	194 W
도체 굵기	1mm
직류 권선수 (N_d)	770 turns
교류 권선수 (N_a)	770 turns

3. 특성해석 및 실험

3.1 가동자의 변위에 따른 자속의 분포

그림 3은 가동자의 변위에 따른 LOA내의 자속의 분포를 나타낸 것이다. 가동자가 중심으로부터 좌측방향으로 1mm, 5mm 변위되었을 때 그림 1의 코일 Na1과 Nd1에 DC 0.5[A]의 같은 방향의 전류를 인가하였을 경우, 자속 분포와 가동자가 중심으로부터 좌측방향으로 5mm 변위되었을 시, 코일 Na1과 Nd1에 서로 다른 방향의 전류를 인가하였을 경우의 자속분포이다. 그림 3은 FEM에 의한 자속의 분포를 계산한 그림이다. 그림 3의 (a)와 (b)로부터 좌측코어에 자속이 밀해짐을 볼 수 있다. 즉, 가동자가 5mm 변위하였을 경우가 1mm 변위하였을 경우보다 자속 밀도가 더 커짐을 알 수 있다. (c)와 (d)의 경우는 가동자의 우측 코어에 자속이 밀함을 볼 수 있다. 그러므로 가동자는 우측으로 이동하게 된다. 이로부터 전류의 극성이 변함에 따라 가동자가 이에 따라 가동자가 우측으로 이동함을 알 수 있다.

3.2 해석 및 실험결과

LOA의 정특성을 해석하기 위하여 여자전류가 DC 0.5[A]일때의 추력을 이론적인 해석 및 FEM에 의하여 추력을 구하였으며, LOA의 정특성 실험을 하여 이들의 값을 비교하였다. 이론적인 해석은 아래의 식 (1)의 가상 변위 원리를 이용하여 추력을 계산하였다. 시스템을 선형

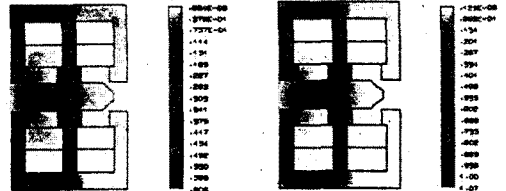
적으로 해석하기 위하여 철심 및 가동자의 투자율은 충분히 크며, 고정자 슬롯에서의 누설 및 공극 주위의 주변 자속은 무시하였다.

$$\begin{aligned}
 F &= -\frac{dW_f}{dx} \Big|_i \\
 &= -\frac{d}{dx} \left[\frac{1}{2} I_1^2 L_2(x) + \frac{1}{2} I_2^2 L_1(x) \right] \\
 &= \frac{1}{2} I_1^2 \frac{dL_1(x)}{dx} + \frac{1}{2} I_2^2 \frac{dL_2(x)}{dx} + I_1 I_2 \frac{dL_{12}(x)}{dx}
 \end{aligned} \quad (1)$$

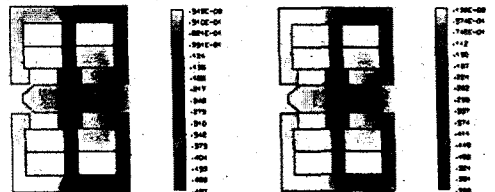
FEM해석에 의한 추력은 식 (2)와 같이 맥스웰 스트레스 텐서에 의해 구하였다.

$$F_{\tan} = \frac{z}{\mu} \int B_n B_t dl \quad (2)$$

여기서 z 는 가동체의 길이이고, B_n 은 관측선에서 법선 방향의 자속밀도, B_t 는 접선방향의 자속밀도, l 은 관측선의 길이이다.



(a) 같은 극성의 전류인가시 1mm 변위하였을 경우 (b) 같은 극성의 전류인가시 5mm 변위하였을 경우



(c) 반대 극성의 전류인가시 1mm 변위시켰을 경우 (d) 반대 극성의 전류인가시 5mm 변위하였을 경우

그림 3. 가동자의 변위에 따른 자속의 분포

그림 4는 정특성 실험을 위한 장치의 구성사진이다. LOA의 정특성 실험은 가동자의 위치를 1[mm] 간격으로 이동시켜가며 직류코일과 교류코일을 각각 DC 0.5[A]로 여자하여 기동시 추력을 측정하였다. 추력의 측정은 50kgf의 로드셀을 이용하여 각각의 변위에 따라 4회 측정하고 평균치를 그림 5에 도시하였다. 그림 5로부터 가동자가 고정자의 양단으로 이동할수록 추력이 증가함을 볼 수 있다. 이는 그림 3의 (a) 및 (b)에서 도시된 바와 같이 가동자가 고정자 양단에 가까워질수록 자속이 증가함에 따라 추력이 증가되기 때문으로 사료된다.

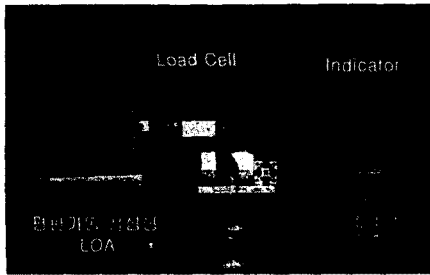
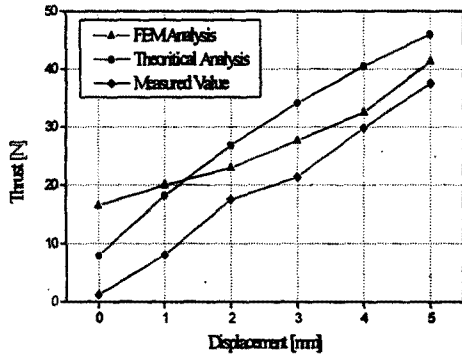


그림 4. 정속성 시험을 위한 구성 장치



4. 결 론

본 논문에서는 실제작된 평판 가동철심형 LOA에 대하여 가동자의 이동거리에 따른 추력값을 가상변위 원리를 이용한 특성식 및 FEM해석에 의해 구하고, 실험치와 비교하였다. 가동자가 고정자 중앙에서 양단으로 이동할수록 가동자 이동방향의 고정자 코어에서의 자속이 증가하고 이에 따라 추력의 증가를 확인할 수 있었다. 이론적 특성식 및 FEM에 의해 구해진 추력이 실험치와 차이를 보이는 이유는 이론적해석시, 누설자속 및 기타 파라미터 등을 정확히 고려하지 못했기 때문으로 사료된다. 본 연구에 사용된 LOA를 실제 환경에서 응용하기 위하여 좀 더 면밀한 이론적 해석과 정속성 시험을 수행하여야 하고, 향후 동특성에 대한 해석과 시험이 이루어져야 하겠다.

참고문헌

- [1] S.A. Nasar, I. Boldea, "Linear Electric Motors : Theory, Design and Practical Applications", Prentice-Hall, 1987.
- [2] H. Yamada, et al. "Linear Motor Application Handbook", Kogyo Chosakai, 1986.
- [3] Magnetic Actuator Technical Committee. "Linear Motor and there Application", IEE of Japan, 1984.
- [4] H. Yamada, et al. "Performance Analysis of Cylindrical Moving Core Type Linear Oscillatory Actuator with a Long Stroke", T.IEE Japan, Vol. 108-D, No. 5, p.503-p.508, 1992.