

평판 철심 가동형 왕복운동 액츄에이터의 특성분석

장석명, 박노희, 정상섭
충남대학교

Characteristics Analysis of Moving flat core LOA

S.M. Jang, N.H. Park*, S.S. Jeong
Chung-Nam National Univ.

Abstract - Moving flat core LOA consists of iron flat core as a mover and electric magnet as a stator and operated by electromagnetic force between mover and stator. In a moving flat core type, it takes advantage of doing not have to be equipped with power supply device, having a lower manufacturing cost. But it has a lower linearity and precision.

In this paper, a static characteristics of LOA were studied and analyzed using FEA. Experiments, electromagnetic force and inductance according to air gap and input currents, were carried by exciting coil. And we compared these results one another.

1. 서 론

직선 왕복운동 액츄에이터(Linear Oscillating Actuator, LOA)는 정현파 또는 구형파의 교번 전압을 인가하여 가동체가 직접 직선 왕복운동을 할 수 있는 힘을 발생시켜 왕복운동이 가능하도록 하는 장치를 말한다. LOA는 그 구조 및 제작 방법에 따라 종류가 다양한데, 가동체의 구성 방법 및 재질에 따라 가동체가 철심으로 이루어진 철심 가동형 LOA, 코일로 이루어진 코일 가동형 LOA, 영구자석으로 이루어진 영구자석 가동형 LOA로 나눌 수 있다.

이러한 LOA들은 현재 마이크로폰, 픽업, 스피커와 같은 Vibrator, 인공위성용 냉동기의 스타링 사이클 냉동기, 에어컨프레서 등에 널리 이용되고 있는데, LOA의 종류별 특성이 각각 다르므로 응용분야에 따라 적합한 것을 선택, 적용하여야 한다.

본 논문에서는 평판 철심 가동형 LOA의 이론적 해석 및 FEM 해석을 가상 변위 원리 등을 이용하여 해석하였다. 또한 특성 실험으로 한쪽 코일에만 전류를 인가하여 가동자의 위치에 따른 자기력과 전류의 크기에 따른 자기력을 측정하여 평판 철심 가동형 LOA의 정특성에 관한 시험적 자료를 얻었다. 한편 제어 시스템에의 구동장치로의 응용을 위해서 시정수 등을 통한 인덕턴스, 전달함수 등의 제어 정수를 구하여 시스템 구동제어를 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 평판 철심 가동형 LOA와 특성식

2.1 평판 철심 가동형 LOA 모델 및 구동 원리

그림 1에서와 같이 고정자는 원통형으로 내·외 자극으로 구성되어 있고, 가동자를 중심으로 양측에 위치해 있으며 고정자의 내·외 자극 사이의 슬롯에는 자극을 여자시키기 위한 코일 권선이 감겨져 있다. 고정자 사이에는 일정 공극 간격을 두고 가동자가 위치해 있고, 그 중심의 좌우에는 스프링이 놓여져 있다. 그림 2는 고정자극을 여자시키기 위한 A, B 코일의 입력 전류 파형을 나타낸 것이다.

그림 2에서 권선 A에만 전류 i 를 인가하고 권선 B

에는 전류를 인가하지 않을 때, A측 고정자에만 전자기력이 작용하여 가동자가 A측 방향으로 이동하게 된다. 가동자가 A측으로 직선 운동을 시작하여 끝마칠 때 권선 A의 전류를 차단하고 권선 B에 전류를 인가하면, B측 고정자에만 자기력이 작용하여 가동자는 B측으로 이동하게 된다. 이와 같이 A측과 B측 권선의 여자 전류를 일정 시간 간격에 따라 반복적으로 On/Off 시키면 고정자는 좌우 왕복 운동을 하게 된다.

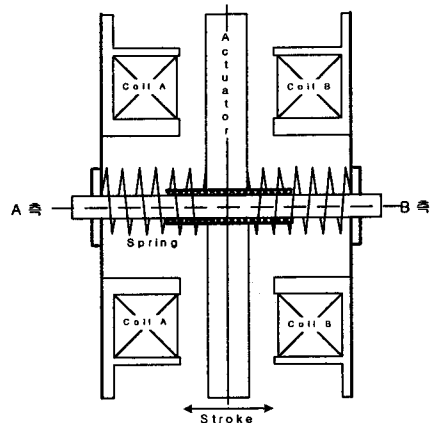


그림 1 평판 철심 가동형 LOA 모델

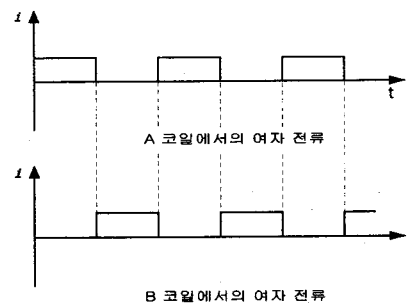


그림 2 A, B 각 코일에서의 여자 전류 파형

2.2 인덕턴스와 자기력

권선에 여자 전류를 인가했을 때 고정자와 가동자 사이에 작용하는 전자기력을 구하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 고정자와 가동자의 투자율은 진공 투자율에 비하여 충분히 크다. 즉, 고정자와 가동자에서의 자기저항을 무시한다.

• 고정자 슬롯 및 주변에서의 누설자속을 무시한다.

전류 i 를 증가했을 때 공극 x 의 변화에 따른 인덕턴스를 $L(x)$ 라 하면, 고정자와 가동자 사이에 작용하는 자기력 F_{em} 는 식 (1)과 같고,

$$F_{em}(i, x) = -\frac{\partial W_m}{\partial x} = -\frac{1}{2} i^2 \frac{dL(x)}{dx} \quad [N] \quad (1)$$

누설자속을 고려한 인덕턴스 $L(x)$ 는 식 (2)과 같다.

$$L(x) = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2}{x} S + \frac{N^2 \mu_0}{l_s} A_s \quad [H] \quad (2)$$

S : 자극의면적 [m^2] A_s : 슬롯의 평균 표면적 [m^2]
 l_s : 슬롯의길이 [m]

식 (1)을 식(2)로부터 고정자와 가동자 사이에 작용하는 자기력 F_{em} 는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} F_{em}(i, x) &= -\frac{1}{2} i^2 \left(-\frac{1}{2} \frac{\mu_0 N^2}{x^2} S \right) \\ &= \mu_0 \left(\frac{Ni}{2x} \right)^2 S \quad [N] \end{aligned} \quad (3)$$

3 제어정수 측정

3.1 인덕턴스 및 저항

가동자의 위치를 제어하고자 하는 경우 시정수, 응답 속도 등이 인덕턴스에 의해 결정되므로 인덕턴스는 매우 중요한 변수가 된다. 따라서 인덕턴스를 측정하기 위하여 그림 3과 같은 시험장치를 구성하였다. 시험에서는 코일에 흐르는 전류를 On/Off 시킬 때, 전류 값이 정상상태에 도달하기까지 약간의 시간 지연이 생기는 과도상태의 파형을 분석하여 시정수 τ 를 구하고 식 (4)로부터 L 값을 구하였다.

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (4)$$

시정수 τ 는 WaveStar S/W에서 입력받은 데이터를 분석하여 구하는데, 인덕턴스 L 은 공극길이 x 의 함수이므로, 공극길이에 따른 인덕턴스의 변화를 살펴보기 위하여 공극길이를 1[mm]단위씩 조정하면서 입력전류의 과도상태응답 파형을 구하였다. 그리고 이것으로부터 시정수 τ 를 구한 후 최종적으로 식 (4)에 따라 인덕턴스를 구하였다.

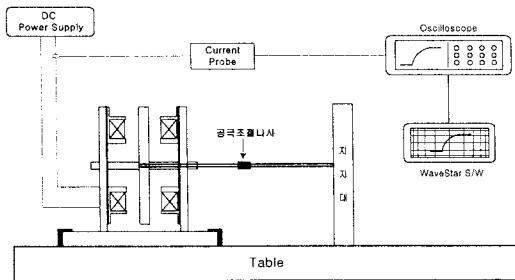


그림 3 인덕턴스 측정을 위한 시험 구성도

DC저항 R 은 코일에 입력한 전류, 전압을 측정하여 구할 수 있는데, 실험에서는 입력전압, 입력전류를 측정

하기 위하여 PM3300 전력 분석기를 사용하였으며, 측정에 의한 DC저항은 다음과 같다.

$$R = \frac{\text{입력DC전압}}{\text{입력DC전류}} \approx 23.1[\Omega] \quad (5)$$

3.2 FEM 해석에 의한 가동자의 공극 자속밀도 분포

유한 요소 해석법을 통하여 특성해석을 하기 위하여 1/4 모델을 적용하여 축 방향 해석을 하였다. 그림 4는 공극이 4mm이고, 여자전류를 1[A] 증가하였을 때의 자속분포를 나타낸 것이고, 그림 5는 자속 밀도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 요크에서 포화가 일어나지 않는다.

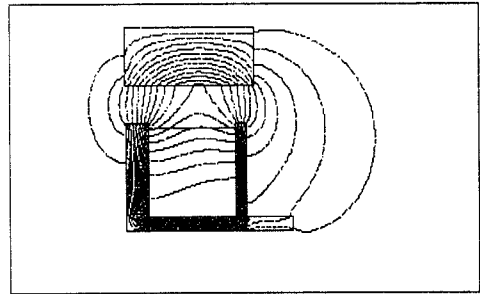


그림 4 평판 철심 가동형 LOA의 자속분포

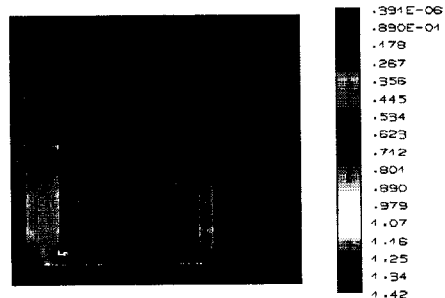


그림 5 LOA의 공극 자속 밀도

4. 전자기력

그림 6은 공극 길이에 따른 인덕턴스를 FEA, 턴온-오프 시험 그리고 수식에 의하여 구한 각각의 값들을 상호 비교하였다. 그림 7은 평판 철심 가동형 LOA의 공극 길이 및 인가전류에 따른 고정자와 가동자 사이에 작용하는 전자기력을 측정하기 위한 실험장치 구성도이다. 공극 길이의 변화에 따른 자기력을 측정하기 위하여 전류를 각각 0.25[A], 0.5[A], 0.75[A], 1[A]씩 증가하고, 각 인가전류에서 공극 길이를 최초 9[mm]에서 시작하여 1[mm]씩 감소시키면서 최종 공극 길이 1[mm]까지 측정하였다. 그림 8은 인가 전류에 따른 전자기력을 나타내고 있다. 그림 8에서 알 수 있듯이 인가전류에 증가에 따라 공극에서의 전자기력이 비선형 적으로 증가함을 알 수 있다. 그림 9은 인가전류가 1[A]일 때의 공극길이에 따른 전자기력으로 시험에 의한 추력과 FEA에 의한 것과 특성식에 의한 값을 상호 비교하였다. 그림 9에서 알 수 있듯이 시험치, FEA 해석치 그리고 특성식에 추력값

이 거의 일치함을 알 수 있다.

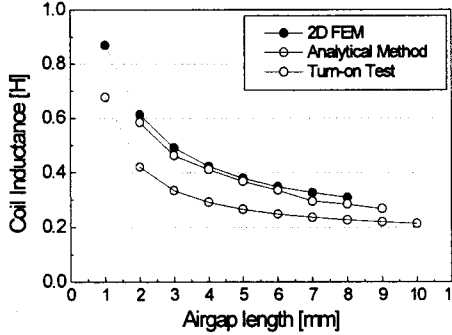


그림 6 공극길이에 따른 인덕턴스

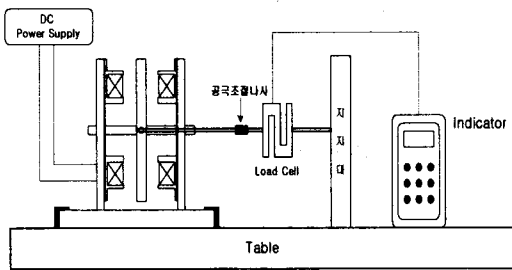


그림 7 자기력 측정을 위한 시험 구성도

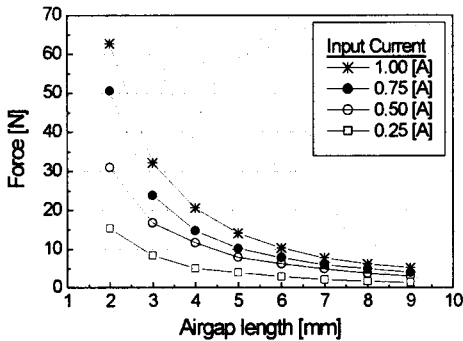


그림 8 인가전류를 고려한 전자기력

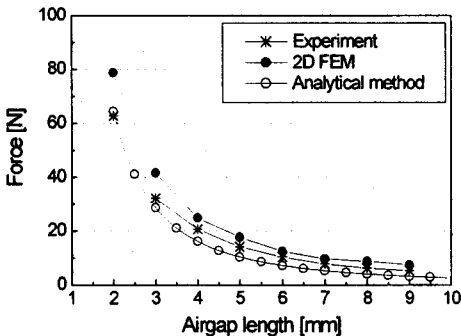


그림 9 공극길이에 따른 전자기력 비교

표 1은 시험을 통하여 얻은 제어 정수 값들을 나타내고 있다.

표 1 시험에 의한 제어정수

항 목	값
코일 DC저항 R	23.1[Ω]
가동자의 질량 m	1.06[Kg]
스프링 상수 k	2505
K_x	961.7
K_i	8.4
L_0	0.296 [H]

5. 결 론

본 논문에서는 평판 철심 가동형 직선 왕복 액츄에이터에 대하여 이론적 해석 및 FEM 해석을 통하여 특성을 비교 분석하였다. 특성시험을 위하여 액츄에이터의 한쪽 코일에만 전류를 인가하여 가동자의 위치, 즉 고정자와 가동자의 공극길이 변화에 따른 인덕턴스와 자기력의 변화를 측정하여 액츄에이터의 정특성에 관한 시험적 자료를 도출하였다. 또한 구동장치로서 제어 시스템에 응용하기 위하여 시정수 등을 통한 저항, 인덕턴스, 전달함수 등의 제어 정수 값들을 구하고 동특성 해석을 위한 기초 자료를 얻었다.

향후 운동방정식을 통하여 액츄에이터의 동특성 상태방정식을 유도하여 제어 블록선도를 구성하고 시험에서 구한 제어 정수 값들을 대입하여 입력전류, 주파수에 대한 액츄에이터의 제어 응답성을 동특성 시뮬레이션을 할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김종민, "평판 철심 가동형 리니어 왕복운동 액츄에이터의 특성해석", 석사학위논문, 1999
- [2] Syed A. Nasar and I.Boldea, "LINEAR ELECTRIC MOTORS: Linear Electric Theory, Design, and Practical Applications", Prentice-Hall, Inc. p.242-p.248, 1987
- [3] P.k.Sinha "Electromagnetic Suspension Dynamics & Control", Peter Peregrinus Ltd. p.52-p.65, 1987
- [4] Cheng-Huan Yang and Syed A. Nasar, "A Permanent Magnet Linear Oscillatory Motor For The Total Artificial Heart", Electric Machines and Power Systems Hemisphere Pub. Corp. p.381-p.395, 1988