

평판 가동철심형 LOA의 특성해석

장석명^{*}, 서진호^{*}, 김형규^{**}, 박희창^{***}, 박찬일^{***}, 정태영^{***}
충남대학교 전기공학과^{*} 한국원자력연구소^{**} 한국기계연구원^{***}

Analysis on the Characteristics of a flat moving core type LOA

S.M. Jang^{*}, J.H. Seo^{*}, H.G. Kim^{**}, H.C. Park^{***}, C.I. Park^{***}, T.Y. Jeong^{***}
Chungnam Nat'l Univ.^{*} KAERI^{**} KIMM^{***}

ABSTRACT

The existing apparatus for rectilinear reciprocating motion has low efficiency because of various mechanical converting equipments from rotary motion. The LOA(Linear Oscillation Actuator) is the rectilinear reciprocating actuator. This paper shows the operating principle of bifilar winding LOA and the comparison the characteristics of thrust force of no tapered moving core type LOA with the tapered one. Through FEM analysis tapered LOA has the lower peak force and longer stroke than no tapered LOA.

1. 서론

직선운동을 필요로 하는 경우에 일반적으로는 회전형 모터에 캠, 클러치, 너트, 벨트 등의 기계적 변환 장치를 이용하여 직선운동으로 변환시키게 되므로 마찰손실, 소음발생, 마모등이 필수적으로 수반되어 시스템의 효율이 저하된다. 따라서 최근 효율적인 시스템을 구성하기 위하여 직접 직선운동을 하는 리니어 모터가 널리 응용되고 있다. 리니어 모터는 정현파 또는 구형파의 교변전압을 공급하여 가동체에 힘을 직접 발생시키는 모터이며, 직선 스트로크를 반복운동시키는 액츄에이터를 리니어 진동 액츄에이터(Linear Oscillation Actuator, 이하 LOA)라한다. LOA는 스텔링 엔진, 가진기, 콤프레서의 모터등 산업용으로부터 우주 및 인공심장용 유체펌프, 비행기와 우주선 부품을 실제의 사용환경에서와 동일한 시험을 하기 위한 shaking table과 같은 전동 시험장비 등에 폭넓게 사용되며, 이의 사용은 더욱 확산될 전망이다. LOA는 가동체의 종류에 따라 철심 가동형, 코일 가동형, 영구자석 가동형 그리고 철심과 영구자석을 병용한 하이브리드형으로 분류되고, 여자코일의 수에 따라 단일여자 시스템, 다중여자 시스템

등으로 나뉜다. 본 논문에서는 bifilar 권선을 사용한 LOA의 동작원리와 가동체가 평판형의 철심으로 만들어진 철심가동형의 추력·변위 특성을 해석하였다.

2. LOA의 구조 및 동작원리

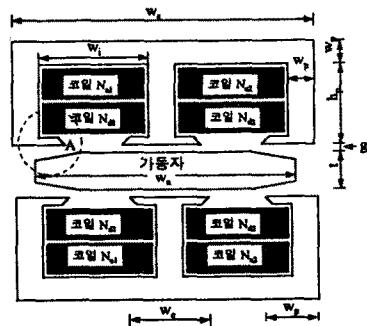


그림 1. LOA의 구조

LOA의 구조는 그림 1에 나타나 있다. LOA는 코일을 내장한 고정 철심과 내부를 왕복운동하는 가동자로 구성되어 있다. 코일 N₁과 N₂에 번갈아 극성이 다른 전류를 인가함으로써 가동자가 왕복운동한다. 그림 2는 bifilar 권선 감기에 의한 이중여자 LOA의 여자방식을 나타낸 그림이다. 각 슬롯에는 직류 코일과 교류코일이 같이 감겨있으며, 직류 코일은 같은 방향의 전류를, 교류코일에는 180°의 위상차를 갖는 교류전류를 인가한다. 그림처럼 직류전류와 교류전류를 인가하면 가동자는 직류전류에 의한 자속과 교류에 의한 자속의 상호 작용으로 좌측으로 이동하며, 교류전류의 극성이 변화하면 가동자는 동일한 원리에 의해서 우측으로 이동한다. Bifilar 권선에서의 직류권선은 영구자석과 같은 역할을 한다.

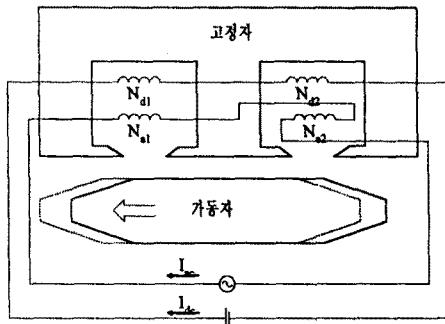


그림 2. Bi-filar 권선 LOA 의 역사방식

3. 자기등가회로와 힘 특성식

3.1 자기등가회로 및 회로정수

그림 3.a는 이중여자 시스템에서의 자기등가회로이다. 가동자, 고정자 및 공극에서의 자기저항을 각각 R_a , R_f , R_g 라 하면, 고정자 및 가동자 철심의 투자율이 충분히 크므로 고정자 풀에서의 자기저항은 식(1)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} R_1 &= R_{a1} + R_{g1} + R_{f1} + R_f \equiv R_{g1} \\ R_2 &= R_{a2} + R_{g2} + R_{f2} + R_f \equiv R_{g2} \\ R_3 &= R_{g3} + R_f \equiv R_{g3} \end{aligned} \quad (1)$$

자기저항은 가동자와 고정자의 중첩된 거리의 함수로 표현되며, 그림 3.b는 간이 등가회로이다. 등가 자기저항 및 인덕턴스는 식(2), (3)과 같이 표현된다.

$$R_{eq1} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad (2)$$

$$R_{eq2} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}$$

$$L_1 = \frac{N^2}{R_{eq1}} \quad (3)$$

$$L_2 = \frac{N^2}{R_{eq2}}$$

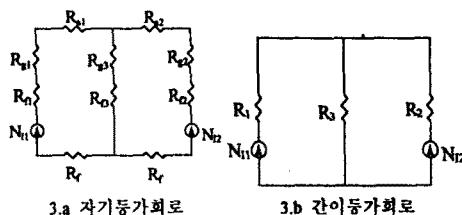


그림 3. LOA 의 자기회로

3.2 힘 특성식

직류 및 교류의 코일에 식(4)와 같이 각각 I (A) 및 $k\cos\omega t$ (A)의 전류를 인가하면, 추력 F의 일반식은 식 (5)와 같다.

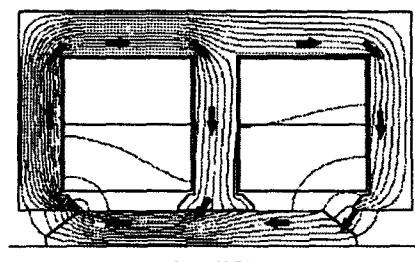
$$\begin{aligned} i_1(t) &= I(1 + k \cos \omega t) \\ i_2(t) &= I(1 - k \cos \omega t) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} F(x, t) &= I^2 \left\{ \frac{2+k^2}{4} \left(\frac{dL_1}{dx} + \frac{dL_2}{dx} \right) + \frac{2-k^2}{2} \frac{dL_{12}}{dx} \right\} \\ &\quad + I^2 k \left(\frac{dL_1}{dx} - \frac{dL_2}{dx} \right) \cos \omega t \\ &\quad + I^2 k^2 \left\{ \frac{1}{4} \left(\frac{dL_1}{dx} + \frac{dL_2}{dx} \right) - \frac{1}{2} \frac{dL_{12}}{dx} \right\} \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (5)$$

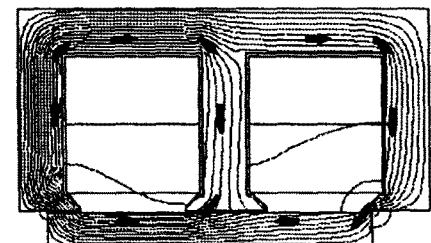
식(5)의 우변의 첫째 항은 시간에 관계없이 자동자의 이동 거리 x의 함수이다. 둘째 항은 가동자를 왕복운동시키는 추력을 발생시키며, 주파수는 전원 주파수와 일치한다.

4. 변위-추력 특성

그림 4.는 LOA의 등가자속선도를 나타낸 그림이다.



a. Tapered LOA



b. no Tapered LOA

그림 4. LOA 의 등가자속선도

가동철심의 구조에 따른 추력-변위 특성은 그림 5와 같다. 추력의 최대 피크만 고려하면 테이퍼 각이 없는 가동자가 큰 추력을 얻을 수 있다. 그러나 일정 추력의 범위에서 장 스트로크 운동을 얻기 위해서는 테이퍼 각이 있는 가동자가 유리함을 알 수 있다. 이와같이 가동철심의 테이퍼 각과 추력은 밀접한 관계가 있다.

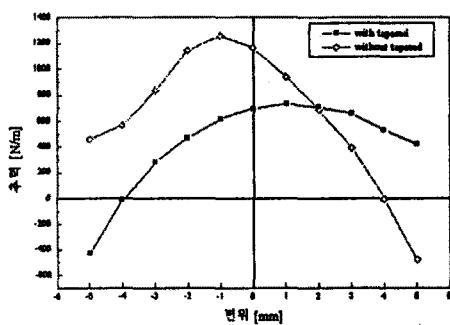


그림 5. 가동자 구조에 따른 변위-추력 특성

5. 결론

FEM을 이용하여 가동자의 구조에 따른 변위-추력특성을 해석함으로써 철심 가동형 LOA의 추력은 가동자의 구조에 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 가동자의 양단에 테이퍼 각이 있는 경우 같은 크기의 전류에서 각이 없는 경우와 비교하여 피크 추력의 크기는 작으나, 일정 추력에서 넓은 범위의 스트로크 특성을 확인하였다.

참고문헌

1. 山口昌樹, 山田一 外, “圓筒狀鐵心可動形リニア振動アクチュエータの静推力特性解析”, 日本電氣學會論文誌 D, 112 卷 7 , p.657-p.662, 1992
2. S.A.Nasar, I.Boldea. “Linear Electric Motors : Theory, Design, and Practical Application, Prentice-Hall, 1987.
3. N.L.Schmitz, D.W.Novotny. “Introductory Electromechanics”, John Wiley & Sons, 1965.