

원통형 선형 직류 전동기의 설계 및 특성 해석

윤선기, 김경호, 이광호, 조유희, 박진수, 안준호*
 동아대학교 전기공학과, LG전자(주)*

Design and Characteristic Analysis of a Cylindrical Linear DC Motor

Sun-Ky Youn, Kyung-Ho Kim, Kwang-Ho Lee, Yun-Hyun Cho, Jin-Su Park, Jun-Ho Ahn*
 Dept. of Electrical Engineering, Dong-A Univ., LG Electronics Inc.*

Abstract - Many linear motion devices in industry require a limited movement in which the moving member oscillates. Such motion is often governed by a prescribed distance-time relationship.

1. 서 론

직선형 전동기는 기존의 회전형 전동기에서 중심축을 중심으로 펼쳐 놓은 형태로서 전동기의 종류는 회전형 전동기와 같이 분류할 수 있다.

여러 선형전동기가 있지만, 선형직류전동기는 구조가 비교적 간단하고 추력/질량비가 크므로, 고속운전이 가능하며 또한 서보성이 좋다. 선형직류전동기에는 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 급전기구류 필요하지 않고 고정자를 포함한 장치 전체의 경량화가 용이하다는 등의 장점을 갖고 있다.

본 논문에서는 짧은 거리에서 자유 왕복운동을 하는 구조로서 여러 가지 모델을 통해 특성을 해석하여 적합한 용도에 맞는 전동기 모델을 찾고자 한다. 본 논문에서 다룬 4가지 형태의 전동기는 제어성이 용이하며, 구조가 간단한 직선형 액츄에이터로서 기계적 사양조건을 만족하는 설계 및 해석기술이 요구된다.

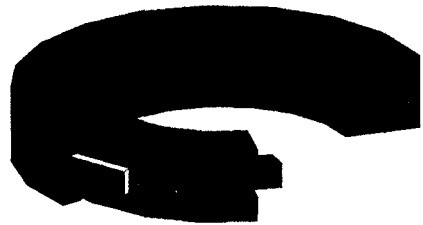
2. 본 론

2.1 선형 직류 전동기의 설계

본 논문에서 다룬 4가지 형태의 직류전동기를 그림 1에 나타내었다. 조건을 최대한 동일하게 하기 위해 각각의 전동기 치수의 magnet 두께, mover 두께, 고정자 두께, 고정자 치폭, 전동기 높이는 동일한 치수로 하여 비슷한 체적에서 발생하는 추력과 전동기의 특성을 고찰, 비교하였다.



(a) 각각 하나의 magnet과 coil을 가지는 형태



(b) Reluctance force를 가지는 형태



(c) 두 개의 magnet를 가지는 형태



(d) 각각 두 개의 magnet와 coil을 가지는 형태
 그림 1. 4가지 형태의 원통형 LDCM

그림 1의 (a), (b)에서 magnet의 자화방향은 전동기의 안쪽방향이고, (c), (d)의 위쪽과 아래쪽 magnet 자화방향이 서로 반대이다. 코일의 턴 수는 400 turn 이고, (d)는 각각 200 turn씩 감겨 있다.

그림 1의 모델들에 작용하는 힘은 모두 플레밍의 왼손 법칙에 의해 다음의 식(1)과 같이 표현된다.

$$F = I \times B \tag{1}$$

그림 1의 (b)는 식(1)에 Reluctance force가 함께 작용한다.

선형직류전동기를 설계하기 위해 그림 2의 감자곡선상의 영구자석 동작점을 식(2)로부터 구할 수 있다.

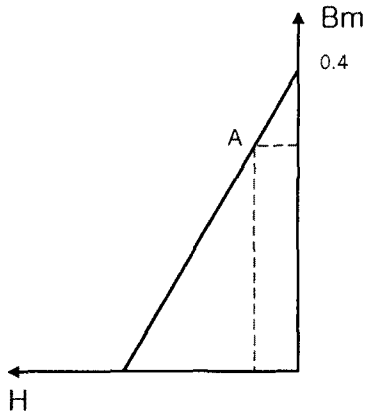


그림 2. 영구자석의 감자특성

$$H_m = -\frac{g_0 B_m}{\mu_0 k_o h_m} \quad (2)$$

여기서, k_o = 영구자석의 누설계수

h_m = 자석의 두께

g_0 = 자기공극

B_m = 동작 자속밀도

전동기의 전기방정식인 식(3)과 전압방정식인 식(4)와 기계 방정식 식(5)로부터 직류전동기를 설계한다.

$$F = \pi D_{av} W B_m i = k_f i \quad (3)$$

여기서, $k_f = \pi D_{av} W B_m$

D_{av} = 코일 직경

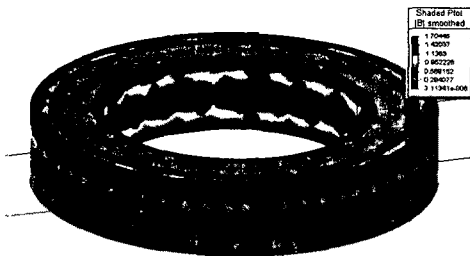
W = 턴수

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} + k_f \dot{x} \quad (4)$$

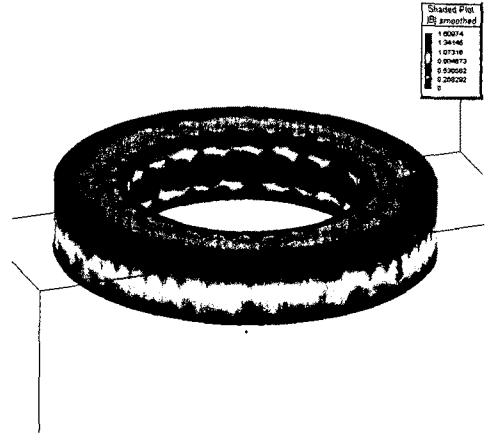
$$M\ddot{x} = k_f i - F_d - C_d \dot{x} \pm mg \quad (5)$$

여기서, C_d = 마찰계수

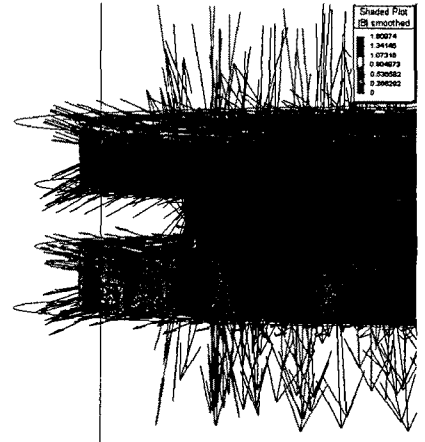
2.2 특성 해석



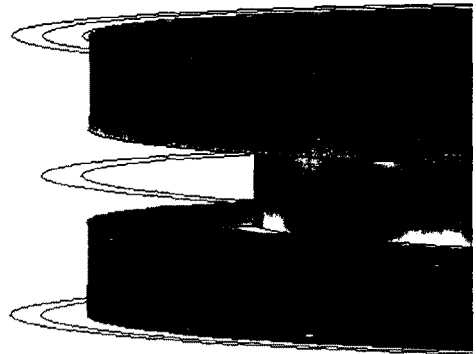
(a) 각각 하나의 magnet와 coil을 가지는 전동기의 자속밀도 분포



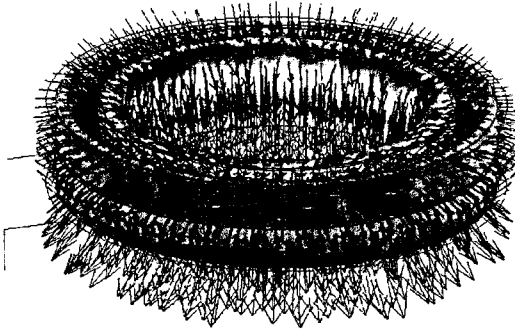
(b) Reluctance force를 가지는 전동기의 자속밀도 분포



(c) Reluctance force를 가지는 전동기의 고정자부의 자속밀도 및 벡터도



(d) 두 개의 magnet를 가지는 전동기의 자속밀도 분포 (고정자부)

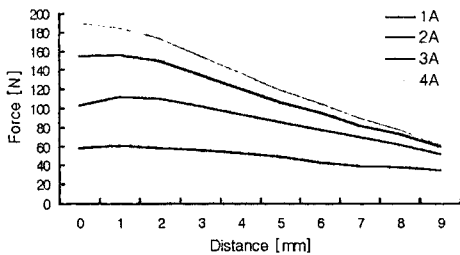


(e) 각각 두 개의 magnet과 coil을 가지는 전동기의 자 소밀도 분포 및 벡터도(고정자부와 magnet부)

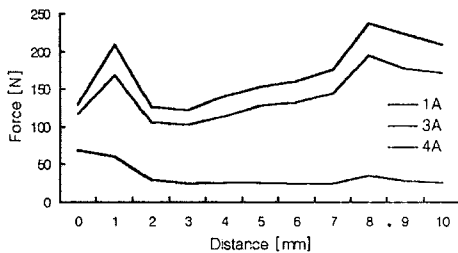
그림 3. 4가지 형태의 전동기의 3D 해석

그림 4는 위치에 따른 전동기의 추력을 전류별로 나타낸 것이다. 그림 4의 (a)는 mover가 이동함에 따라 추력이 작아지고 있는데, magnet가 같이 이동함으로 실제 작용하는 magnet의 면적이 감소함으로 힘이 감소됨을 알 수 있다.

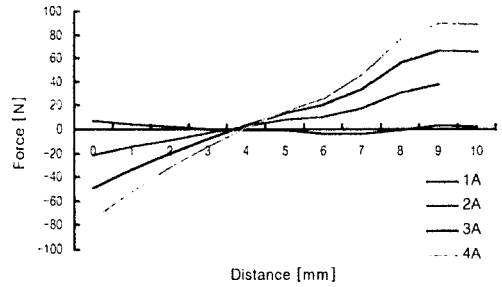
(b)는 Reluctance force가 작용함으로 이동자가 이동을 하더라도 추력이 감소되지는 않음을 알 수 있다.



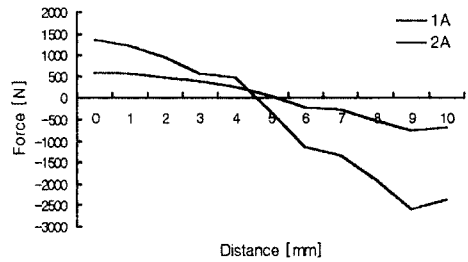
(a) 각각 하나의 magnet과 coil을 가지는 형태



(b) Reluctance force를 가지는 형태



(c) 두 개의 magnet를 가지는 형태



(d) 각각 두 개의 magnet과 coil을 가지는 형태
그림 4. 위치변화에 따른 추력곡선

(c)와 (d)는 이동자가 이동할수록 추력이 감소하다가 영이되고 반대의 힘이 작용함을 알 수 있는데, 이는 각각의 magnet와 coil의 전류방향에 따라 힘이 반대로 작용하게 된다. 그리고 그래프에서 알 수 있듯이 이 두 개의 모델은 영이 되는 지점에서 coil의 전류 방향을 반대로 스위칭을 해야 함을 알 수 있다.

따라서, (c),(d)는 스위칭을 위한 부가적인 회로가 필요하고, (a)는 이동자가 이동을 할수록 추력이 감소하므로 안정한 상태의 운전상태를 요하는 장치에서는 (b)와 같은 형태가 적절하게 된다. 하지만, 시스템의 크기와 복잡성을 무시한다면 (d)와 같은 형태도 적절한 응용이 가능하다.

3. 결 론

이상의 간단한 몇 가지 예로써 다양한 분야에서 응용되고 있는 선형 직류전동기의 특성을 고찰하였다. 실제로는 응용되는 특성의 모델에 대해 최적의 설계와 보다 정확한 특성해석이 필요로 하지만 다양한 모델을 설계하고 동일한 제작에서의 특성을 비교, 고찰함으로써 실제로 응용하고자 하는 분야에 적절한 모델을 선정하여 최상의 효율을 얻는데 필요한 자료를 제시하였다. 보다 심도있는 연구를 위해서 최적화된 알고리즘의 적용과 전동기의 동특성을 해석하고 전동기의 기계적 특성을 해석하는 연구가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] Syed A. Nasar, "LINEAR ELECTRIC MOTORS : Theory, Design, and Practical Applications", Prentice-Hall, Inc. pp135-157, 1987
- [2] Carlson, Nelson Sadowski, Alberto M. Beckert, Nelson J. Batistela, "MODELING AND ANALYSIS OF A NEW LINEAR ACTUATOR", IEEE Trans. pp464-468, 1995