

영구자석 계자와 전기자 자속의 상호작용 효과를 고려한 가동코일형 리니어모터의 정특성

論 文
48B - 1 - 4

Static Characteristics of a Moving-Coil-Type Linear Motor in Consideration of Interaction between PM and Armature Field

張錫明*, 鄭相燮**, 朴喜昌***, 文碩俊§, 朴贊一§§, 丁泰榮§§§
 (Seok-Myeong Jang · Sang-Sub Jeong · Hee-Chang Park · Seok-Jun Moon
 · Jong-Ahn Chung · Chan-Il Park · Tae-Young Chung)

Abstract - A moving-coil-type linear motor, designed and fabricated, is consisted of the NdFeB permanent magnets with high specific energy as the stator, a coil-wrapped nonmagnetic hollow rectangular structure and an iron core as a pathway for magnetic flux. The interaction between permanent magnet and armature field, so called "push/pull effect", is to shift the airgap flux density variation due to the magnet alone by a certain amount. Thrust therefore is shift downward or upward. The push/pull effect was presented through the FEM analysis and the static tests. We compared the thrust obtained through the FEM analysis with the static tests. Finally, we present the linearity and correction coefficients of the thrust in consideration of the push/pull effects.

Key words : Moving-coil-type linear motor, NdFeB, Push/pull effect, Linearity, Correction coefficient

1. 서 론

리니어모터는 회전형 기기와는 달리 직선 추력을 직접 발생시키는 전자에너지 변환장치이기 때문에 크랭크, 기어 등의 기계적인 변환장치 없이 직선운동이 가능하므로 직선 운동계의 효율적인 구동장치로 적합하다. 특히, 가동코일형(Moving coil type) 리니어모터는 영구자석으로 이루어지는 계자와 보빈에 코일을 감은 가동체인 전기자로 구성되어 플레밍의 왼손법칙에 의해 힘이 발생되는데, 선형성과 고정밀제어성 등에서 특별히 우수한 장점을 갖는 리니어 액츄에이터이다. 즉, 전류의 크기나 방향에 따라 자기회로 중의 가동코일이 2m/s이상의 초고속으로 구동하여 정확하게 응답할 수 있을 뿐 아니라 코일에 직결된 스피커 콘을 진동시켜 다양한 주파수의 음파 발생도 가능하므로 보이스 코일형(Voice-coil-type) 모터라고도 불리운다.

또한 적절한 주파수의 정현파 또는 펄스형 구형파의 교번전압을 모터에 공급하면 일정 스트로크로 고속 왕복구동이 가능하므로, 진동펌프, 프린터의 초소형 솔레노이드 전자석 등의 리니어 진동 액츄에이터(Linear Oscillating Actuator ; LOA)로 이용될

수 있다. 더욱이 가동코일형은 가동철심형이나 가동자석형에 비해 전원 리드선이 필요하고 스트로크 길이가 제한된다는 단점이 있으나, 가동자에 자성체를 사용하지 않아도 되므로 고정자와 가동자 사이에 작용하는 자기 흡인력이 발생하지 않는다. 따라서 자기흡인력에 대한 지지가 필요 없게 되어 리니어모터의 본래 성능을 그대로 발휘할 수 있기 때문에 스피커, 마이크로 폰 등은 물론이고 고속 전자부품 삽입기나 IC 본딩 머신, 직조기의 북, 디스크의 자기헤드, 초고속 XY 플로터위치제어 시스템 등 속도제어(速應制御)가 요구되는 초정밀 서보시스템 분야의 구동원으로 널리 사용되고 있다[1-3]

그런데, 지금까지는 영구자석재료로 페라이트, 사마륨코발트 등이 사용되었기 때문에 2~5kgf 이하의 경량물의 고속이동 등 소형 시스템으로만 응용 개발이 되어왔다. 그러나 최근 잔류자속밀도가 1.0T이상의 합금재료인 NdFeB가 개발됨에 따라 고밀도 영구자석을 이용한 고회력 대형 시스템의 제작이 가능해졌다 [1-3]. 따라서 건축구조물 또는 선박 등의 진동을 능동적으로 제어하는 시스템 등에서 고밀도 구동력 발생장치로도 널리 개발이 되고 있으며, 항공기, 인공위성, 선박, 차량 등의 탑재 부품을 실제 환경과 동일한 조건을 갖춘 모의상황에서 성능시험을 하기 위한 진동 테이블의 구동원으로도 응용되는 등 그 분야는 더욱 확대될 것으로 사료된다[1-6].

일반적으로 가동코일형 리니어모터에서 발생하는 단위길이당 힘은 플레밍의 왼손법칙에 따라 영구자석에 의한 공극자속밀도 $B[T]$ 와 가동코일인 전기자 전류 $I[A]$ 의 곱으로 표현된다. 그러나 이러한 표현은 영구자석에 의한 자속밀도가 가동코일 전류에 의해 발생하는 자속밀도에 비해 상대적으로 매우 큰 경우에 성립된다. 즉, 코일전류에 의해 발생하는 자속밀도가 비교적 큰 때에는 가동코일에 의한 자계가 영구자석에 영향을 주어 자속을 감소시키거나 증가시켜 추력의 변화를 야기시킨다. 이렇게 영구

* 正 會 員: 忠南大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 ** 正 會 員: 忠南大 大學院 電氣工學科 博士課程
 *** 正 會 員: 韓國機械研究院 責任研究員
 § 正 會 員: 韓國機械研究院 先任研究員
 §§ 正 會 員: 韓國機械研究院 裝備開發室長
 §§§ 正 會 員: 韓國機械研究院 研究部長
 接受日字: 1998年 8月 14日
 最終完了: 1998年 11月 16日

자석 계자와 전기자 자속의 상호작용으로 인한 공극자속밀도의 減磁/增磁 현상을 Push/Pull Effects라 부르며[7,10,11], 직류전동기에서 전기자반작용에 해당한다고 볼 수 있다. 다만 가동코일형 리니어모터에서는 전기자 전류의 방향과 크기 및 가동코일 위치에 따라 다르며, 영구자석보다 가동코일의 길이가 긴 長 코일형의 경우에 이러한 효과는 크다[8]. 따라서 정밀한 제어특성이 요구되는 구동력 발생 장치에 응용하는 경우, 설계 단계에서는 전기자 전류 자계에 의한 영구자석의 퍼미언스 계수 저하로 발생하는 잔류자속밀도 감소, 모터의 해석과 운전 제어에서는 Push/pull effects로 인한 추력 변화 등을 고려해야만 한다.

본 논문에서는 대형구조물 진동의 능동 제어시스템에 응용하기 위하여 설계·제작된 가동코일형 리니어모터의 영구자석 계자와 전기자 자속의 상호작용 효과인 Push/pull effects를 고려한 정특성 해석 및 시험에 대해 다루었다.

- (1) 제작된 모델을 FEM 해석을 통해 영구자석 또는 전기자 코일 여자만에 의한 자계 특성을 검토하였다.
- (2) 영구자석과 전기자 코일 여자시 공극자속밀도 분포와 추력의 변화, 즉 Push/pull effects를 확인하였으며, 입력 전류에 따른 공극자속밀도 변화분을 통해 Push/pull effects 계수를 정의하여 이를 고려한 추력식을 유도하였다.
- (3) FEM 해석과 가동자 구속시험을 통해 여자전류의 방향과 크기, 가동자 위치에 따른 추력의 변화를 통해 Push/pull effects를 확인하였다.
- (4) 추력 보정을 위해 Push/pull effects 계수를 산정하고 추력의 선형성을 검토하였다.

따라서 이러한 해석 및 시험 결과를 통해 모터의 추력 특성과 제어시스템 응용에의 영향을 검토하였다.

2. 가동코일형 리니어모터와 Push/pull Effect

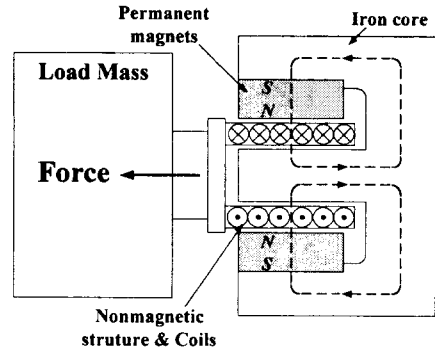
2.1 구동원리 및 제작된 모터 사양

가동코일형 리니어모터는 그림 1(a)과 같이 영구자석과 철심으로 구성된 고정자와 비자성체 보빈에 코일을 감은 가동자로 구성된다. 모터의 발생력은 플레밍의 왼손법칙에 따라 영구자석에 의한 공극자속밀도 $B[T]$ 와 가동자 코일에 흐르는 전류 $I[A]$ 의 상호작용에 의해 발생한다. 발생력의 크기와 방향은 가동코일 입력전류의 크기와 방향에 의해 결정되는데, 전류의 강약에 의해 자기회로 중의 코일이 정확하게 응답하는데 스피커의 경우에는 코일에 직결된 콘을 정확하게 진동시켜 소리를 내므로 보이스코일 모터라고도 불리운다. 그리고 코일에 정현파 또는 구형파의 교번전류를 인가하면 가동자는 그림 1(b)의 가감속 패턴을 갖고 일정 스트로크로 고속 왕복운동을 하게된다[1-4]. 이때 가동자 코일에 작용하는 단위길이당의 힘 $F [N/m]$ 은 다음 식(1)과 같다.

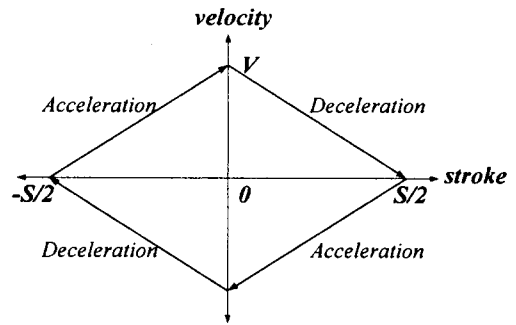
$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \quad [N/m] \quad (1)$$

만약 가동자가 x 방향으로만 운동하고 가동코일의 길이와 권선수 등의 설계사양을 고려하면 발생력은 다음 식(2)와 같다.

$$F_x = B_g li \quad (2)$$



(a)



(b)

그림 1 가동코일형 리니어모터

(a) 구동 원리 (b) 가감속 패턴

Fig. 1 Moving-coil-type Linear Motor

(a) Principle (b) Accel/Deceleration pattern

여기서 l 은 공극자속에 있는 가동코일의 총 유효길이, i 는 가동코일에 흐르는 전류, B_g 는 영구자석에 의한 공극자속밀도로 다음 식(3)과 같다.

$$B_g = k \times \frac{B_r}{1 + \frac{\mu_r}{P_d/g}} \quad (3)$$

여기서 B_r 는 잔류자속밀도, μ_r 은 자석 투자율, P_d 는 자석 두께, g 는 공극길이, k 는 자기회로 형상에 의한 보정계수이다.

제작된 가동코일형 리니어모터는 구조물 진동의 능동 제어시스템에 응용하기 위한 것이며, 그 설계사양은 표 1과 같고 그림 2와 같이 NdFeB계열의 영구자석에 의한 고정자와 플라스틱 보빈에 코일을 감은 가동자로 구성된다. 그림 3은 영구자석 계자와 가동 코일부의 설계 치수이다[9].

2.2 영구자석 또는 가동코일만의 자계 특성

그림 4는 영구자석 또는 가동코일만의 자속분포이고, 그림 5는 공극 중간, 즉 영구자석 표면으로부터 7.5[mm] 떨어진 곳에 서의 FEM 해석에 의한 자속밀도 분포곡선을 보여준다. 그림 4와 5의 관측선(Contour) \overline{AB} 는 영구자석을 중심($Z=0$)으로

$Z = -35 \sim 35$ [mm]에 설정되었다. 그림 4(a)의 영구자석만의 경우에는 자석의 자화방향이 x 방향이므로 누설자속은 적으며 대부분 공극을 지난다. 따라서 그림 5에서 보듯이 공극자속밀도

는 $Z=0$ 에서 최대값을 갖으며 좌우 대칭적이다. 그러나 그림 4(b)의 가동코일 여자만의 경우에는 영구자석 투자율이 $1.05 \mu_0$ 이고 기자력이 z 방향이므로 영구자석보다 상대적으로 큰 공극 경로를 갖는다. 따라서 자속은 자기회로의 열려진 부분에서의 누설이 크며, 그림 5(b)에서 보듯이 $Z = -25$ [mm]에서 최대값을 갖는 자속밀도 분포를 갖는다.

표 1 제작된 모터의 사양

Table 1 Specifications of the moving-coil-type linear motor

항 목		사 양
정 격 전 압		25[V]
정 격 전 류		4[A]
부하질량(가동자 포함)		23 [kg]
코일당 턴수		55 turns/layer × 9 layers
코일 직 경		1.0 [mm]
유 효 길 이		150 [mm]
영구 자석	계 열	NdFeB(MQ30)
	잔류자속밀도	1.1 [T]
	자 석 치 수	5×5×2.5 [cm]
전 류 밀 도		5×10^6 A/m ²
공 극		15 [mm]

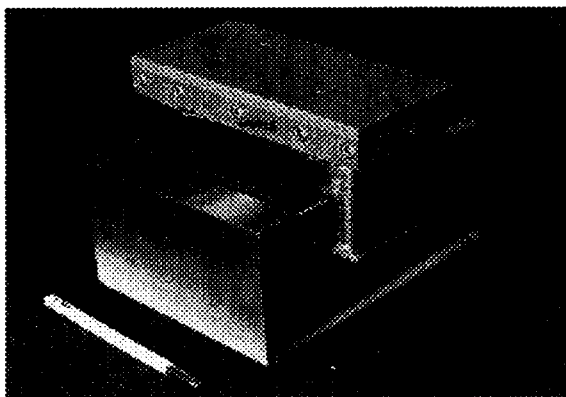


그림 2 제작된 가동코일형 리니어모터

Fig. 2 Photograph of a manufactured moving-coil-type linear motor

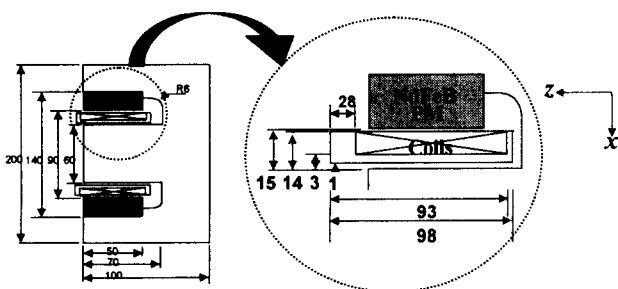


그림 3 영구자석 계자부와 가동 코일부의 주요 치수

Fig. 3 Dimension of the moving coil and permanent magnet

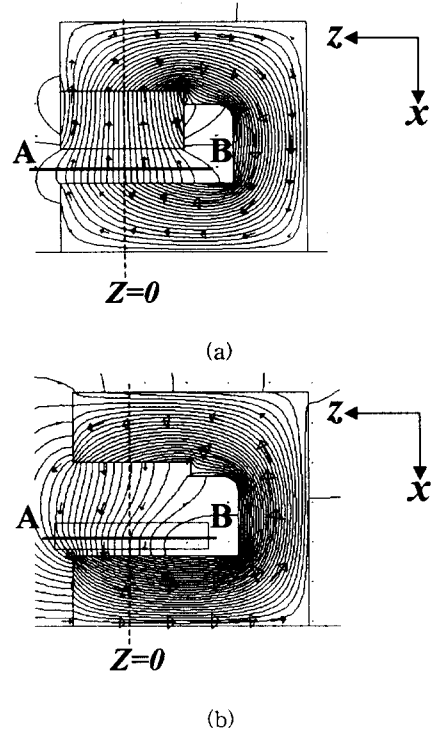


그림 4 자기회로의 자속 분포

- (a) 영구자석만의 경우
- (b) 가동코일 전류 여자만의 경우

Fig. 4 Flux distribution of the magnetic circuit

- (a) Only permanent magnets
- (b) Only exciting the moving coils

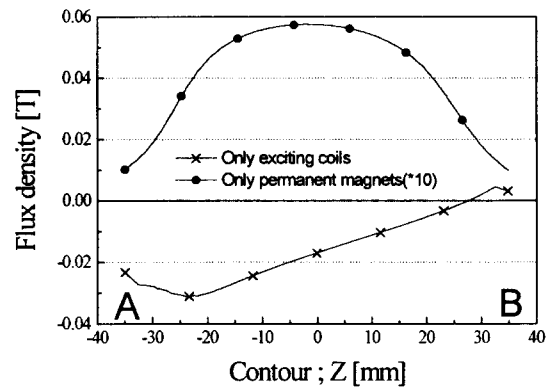


그림 5 영구자석 또는 코일여자만에 의한 공극자속밀도 분포

Fig. 5 Distribution of airgap flux density developed by permanent magnets or exciting the moving coils

2.3 영구자석 계자와 전기자 자속의 상호 작용

(1) Push/pull effects

영구자석이 있고 가동코일에 전류를 도통시켰을 때의 자속 분포를 그림 6과 같다. 그림 6(a)에서 전류는 지면으로 들어가는 방향 (⊗)으로 앙페르 법칙에 의해 코일전류에 의한 자속은 영구자석에 의한 발생 자속과 방향이 반대이므로 상쇄된다. 따라서 공극자속밀도가 감소하는 減磁현상이 발생하므로 이를 Push effect라 하며, 이를 관측선 A-B의 각 위치에서의 자속밀도 분포 특성을 그림 7에서 보여준다.

반면, 그림 6(b)에서의 전류는 지면으로부터 나오는 방향 (⊙)으로 코일전류에 의한 자속은 영구자석의 발생 자속과 방향이 같으므로 더해진다. 여기서 공극자속밀도를 증가시키는 增磁현상라 하여 Pull effect라 하며 이를 그림 7에서 보여준다.

또한 그림 7에서 보듯이 공극자속밀도의 減磁 또는 增磁현상이 영구자석을 중심으로 바깥쪽(-Z)영역에서 일어난다. 이는 2.2절에서 설명했듯이 코일 전류에 의한 자속은 대부분 자기회로의 열려진 부분으로 흐르기 때문이다. 결국, 코일에 의한 자속에 의해 공극자속밀도를 변화시키기 때문에 영구자석 단독에 의한 자속밀도보다 어떤 ΔB의 차이를 만들며, 그 차이는 전류 크기와 가동코일 위치의 함수이다. 따라서 이러한 현상을 통칭하여 "Push/pull effects"라 부른다[7].

(2) Push/pull effects를 고려한 추력식

전기자 코일에 의한 자속에 의해 공극자속밀도의 변화분 ΔB는 다음 식(4)와 같다.

$$\Delta B = |B_m - B_{mc}| \tag{4}$$

여기서 B_m은 영구자석만에 의한 자속밀도, B_{mc}는 영구자석과 전기자 자속의 상호작용에 의한 합성 자속밀도이다. 한편, ΔB는 입력 전류 i의 함수이므로 다음 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta B = k_{pp} i \tag{5}$$

여기서 k_{pp}를 push/pull effects 계수라 정의한다. 따라서 추

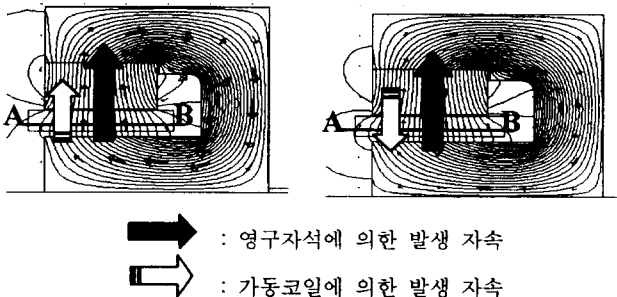


그림 6 영구자석과 가동코일 여자시 자속 분포
 (a) 전류 방향 : BIGOTIMES, (b) 전류 방향 : BIGODOT
 Fig. 6 Flux distribution of PM and armature excitation
 (a) Direction of current : BIGOTIMES
 (b) Direction of current : BIGODOT

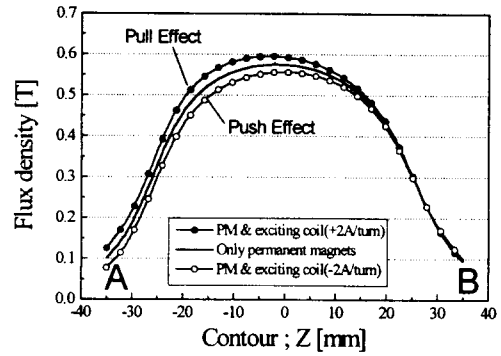


그림 7 영구자석과 가동코일 여자시 공극자속밀도 분포
 Fig. 7 Distribution of airgap flux density at PM and armature excitation

력식(2)에 push/pull effects를 고려하게 되면 식(6)과 같이 수정된다.

$$F_x = (B_g \pm \Delta B) li$$

$$= B_g li \pm lk_{pp} i^2 \begin{bmatrix} - : \text{push effect} \\ + : \text{pull effect} \end{bmatrix} \tag{6}$$

여기서 lk_{pp}i²은 추력의 증가 또는 감소분이다.

결과적으로 영구자석 계자와 전기자 자속 사이의 이러한 상호 작용은 공극자속 또는 발생 추력을 감소 또는 증가시키고 가동코일의 왕복운동에 대한 추력을 비대칭적으로 만든다. 따라서 이러한 추력의 증감과 비대칭 현상은 가동코일형 모터의 장점인 선형성을 감소시킬을 예상할 수 있다. 특히 본 연구에서 제작된 모터처럼 가동코일이 영구자석 길이보다 긴 長코일형에서는 Push/Pull effects가 커지므로 반드시 이를 고려해야 한다.

3. Push/Pull Effects를 고려한 정특성 해석 및 시험

3.1 FEM 해석에 의한 공극자속밀도와 추력 특성

FEM 해석과 구축시험시 가동코일의 위치를 그림 8과 같이 정의한다. 영구자석의 중심에 기준선을 설정하여 가동코일의 위치는 이 기준선으로부터의 변위로 나타내기로 한다. 가동코일의 최대 이동거리는 (-)방향으로 7.5mm, (+)방향으로 12.5mm로 총 20mm이다.

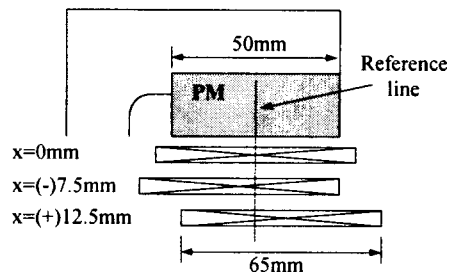


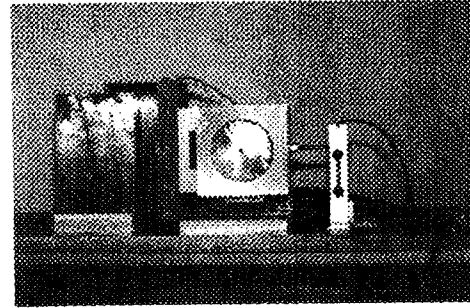
그림 8 영구자석을 기준으로 한 가동코일의 위치 설정
 Fig. 8 Definition of the mover position

그림 9와 10은 코일 입력전류의 크기와 방향을 고려한 가동코일 위치에 따른 평균 공극자속밀도 변화와 추력을 각각 보여준다. 두 그림에서 보듯이 가동코일이 기준선에 대칭으로 위치하고 있을 때, 코일은 최대 자속밀도속에서 최대 추력을 발생하며 전류의 방향에 따라 그 추력의 크기도 달라진다. 또한 영구자석만에 의한 공극자속밀도와 그에 따른 추력 분포곡선은 push와 pull effect의 중간에 놓여있다. 즉, 코일 입력전류의 방향에 따른 상호작용으로 인하여 공극자속밀도와 추력 분포곡선이 증가 또는 감소상태로 이동하며, 그 정도는 전류의 크기에 비례한다.

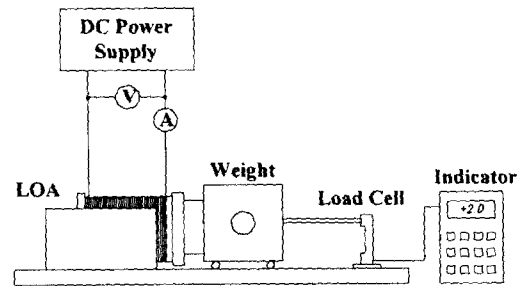
3.2 가동자 구속시험에 의한 추력 특성

(1) 구속시험 장치와 구성도

그림 11은 구속시험을 위한 장치의 사진과 구성도를 보여준다. 가동자는 로드셀에 의해 구속되었으므로 코일에 전류를 인가시키면 로드셀을 밀거나 당기게 되어 추력을 측정할 수 있다. 추력 측정시 로드셀에서 측정된 힘은 앰프를 거쳐 표시기(Indicator)를 통해 출력되며, 모터에서 발생된 힘을 정확히 측정하기 위해 발생력에 대한 기계구조적 견고성, 측정 센서의 선형성과 반복성을 확인하였고 로드셀과 표시기를 실험하를 이용하여 교정(Calibration)하였다.



(a)



(b)

그림 11 Push/pull effects를 검증하기 위한 가동자 구속시험

(a) 시험 장치 사진 (b) 시험 구성도

Fig. 11 Static test for push/pull effects

(a) Photo of facility (b) Test diagram

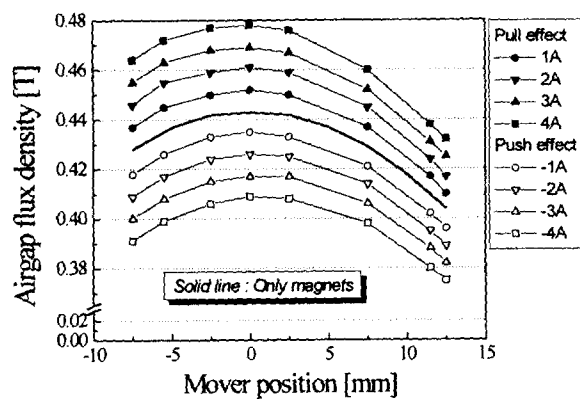


그림 9 가동코일 위치에 따른 평균 공극자속밀도

Fig. 9 Average airgap flux density vs. mover position

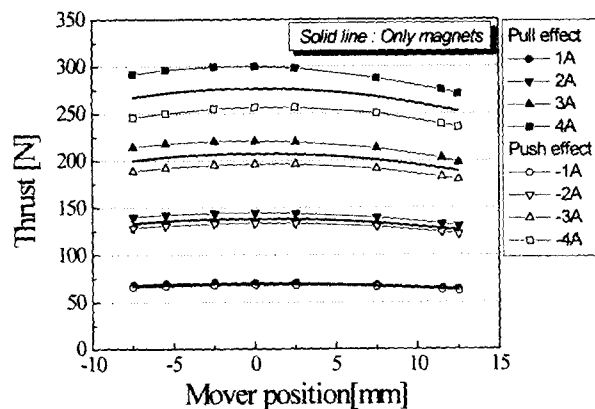


그림 10 가동자 위치에 따른 추력 특성

Fig. 10 Thrust vs. mover position

(2) 시험에 의한 추력 특성

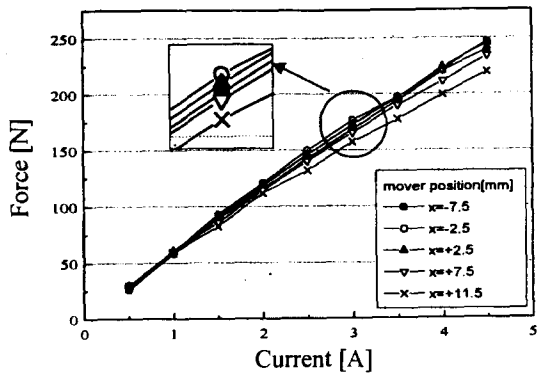
그림 12는 가동코일 각각의 위치에서 계측된 입력전류의 크기에 따른 추력 특성이다. 이 그림에서 입력전류가 같더라도 가동코일의 위치에 따라 추력이 다르게 발생함을 알 수 있다. 또한 그림 12(a)와 (b)를 비교해 보면 코일 전류에 의한 자속이 영구자석에 의한 자속과 더해지는 Pull effect일 때 더 큰 추력이 발생함을 알 수 있다.

그림 13은 가동코일 위치에 따른 발생 추력 특성을 각각 전류에 따라 그린 그래프이다. 그림에서 보듯이 추력은 가동자의 위치에 같다고 하더라도 전류의 방향에 따라 발생 추력이 달라짐을 알 수 있다.

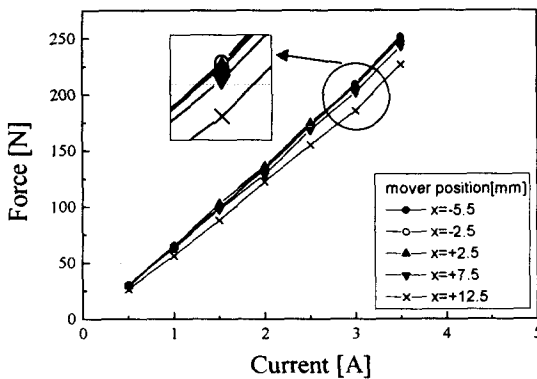
(3) FEM 해석치와 시험치 비교

그림 14는 입력 전류에 따른 FEM 해석치와 시험치의 추력 비교 그래프이다. 입력 전류가 클수록 코일 자속에 의한 영향이 크므로 발생 추력의 차이가 커지며, 그 경향은 가동자 코일의 위치에 따라 거의 비슷하다. 또한 Pull effect인 경우 시험결과치와 FEM 해석치가 잘 일치하나 Push effect인 경우에는 시험 결과치가 FEM 해석치보다 작았다.

그림 15는 가동코일 입력전류를 고려한 가동자 위치에 따른 추력 특성에 대한 FEM 해석치와 시험치이다. Pull effect인 경우 실험치와 FEM 해석치가 잘 일치하였으나 Push effect인 경우에는 실험치와 해석치가 약간의 차이가 있게된다. 이는 Push effect인 경우 영구자석과 전기자에 의한 자속이 서로 상쇄되면서 자속이 자기회로 밖으로 누설되는데, 이를 2-D FEM 해석시 길이방향 누설자속을 고려하지 않았기 때문인 것으로 추정된다.



(a)



(b)

그림 12 가동코일 각각의 위치에서 입력 전류의 크기에 따른 추력 특성

(a) Push Effect인 경우 (b) Pull Effect인 경우

Fig. 12 Thrust vs. input current at the variation of the mover position

(a) In the case of push effect
(b) In the case of pull effect

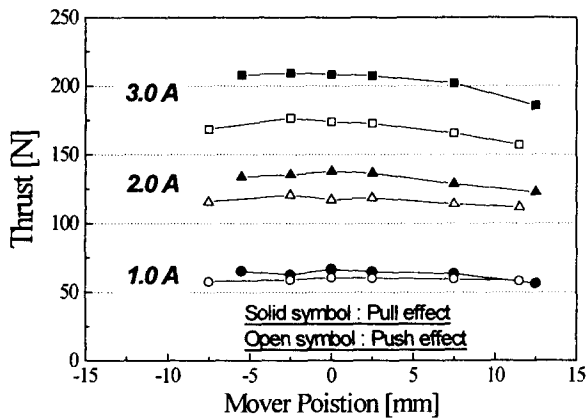


그림 13 입력 전류크기를 고려한 가동코일 위치에 따른 추력

Fig. 13 Thrust vs. mover position at the variation of the input current

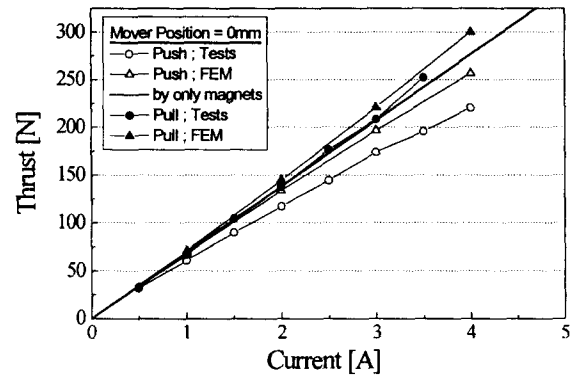
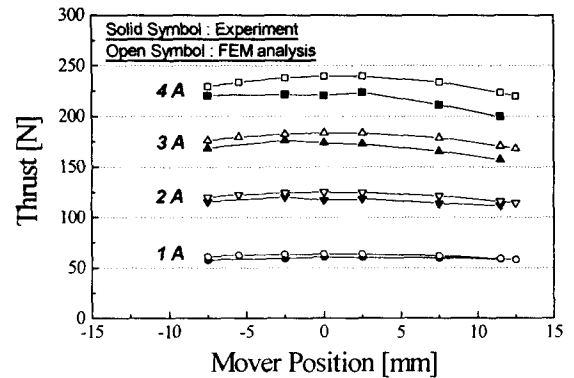
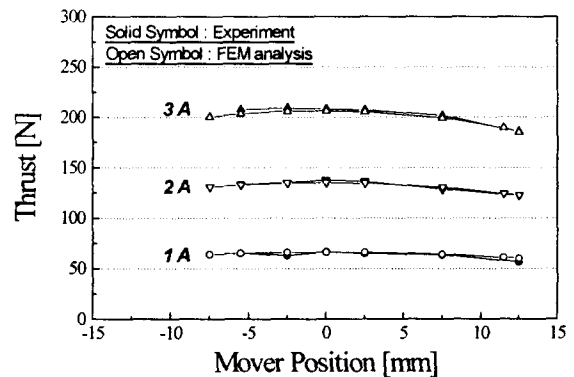


그림 14 $x=0$ [mm]에서 입력 전류에 따른 FEM 해석치와 시험치의 추력

Fig. 14 Thrust vs. input current through FEM analysis and test at $x=0$ [mm]



(a)



(b)

그림 15 입력전류를 고려한 가동코일 위치에 따른 FEM 해석치와 시험치 추력

(a) Push Effect인 경우 (b) Pull Effect인 경우

Fig. 15 Thrust vs. mover position through FEM analysis and test

(a) In the case of push effect

(b) In the case of pull effect

3.3 Push/pull effect 계수 산정 및 선형성 검토

2.3절에서 설명했듯이 전류가 전류에 의한 자속의 영향인 push/pull effects에 의해 영구자석만에 의한 자속밀도에 비해 ΔB 의 차이를 만들며, 그 특성치는 그림 16과 같으며 전류의 크기와 가동코일 위치의 함수이다. 표 2는 FEM 해석 결과에 의한 가동코일 위치에 따른 Push/pull effects 계수 k_{pp} 로 식(4)와 식(5)에 의하여 구한 값이다.

그림 17은 전류에 따른 발생추력을 1차 최소자승법으로 근사화된 함수를 구한 후, 이로부터 계산된 가동자 위치에 따른 표준편차이다. 이를 통해 발생 추력의 선형성을 확인할 수 있다. 만약 영구자석에 의한 자속만을 고려하여 해석할 때는 추력이 전류에 정비례하지만 Push/Pull effects를 고려한 해석에서는 코일 여자 자속에 의해 선형성이 떨어짐을 알 수 있다. 이는 실험 결과를 통해 확인할 수 있고 선형성이 좋은 가동자의 위치가 Push effect와 Pull effect시 서로 다름을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 가동코일형 리니어모터에서 가동코일의 전류에 의해 발생하는 자속과 영구자석에 의한 자속의 상호작용이 공극 자속밀도 분포 및 추력 등의 운전 특성에 어떤 영향을 미치는가를 FEM 해석과 가동자 구속시험에 의해 비교·검토하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 계자의 영구자석만 또는 가동코일의 전류만에 의한 자속 분포 특성을 면밀히 검토함으로써 두 자속의 상호작용에 의한

표 2 FEM 해석결과로부터 얻어진 push/pull effects 계수

Table 2 Coefficient of push/pull effects calculated through FEM

가동코일 위치[mm]	-7.5	-5.5	-2.5	0	2.5	7.5	11.5	12.5
보정계수 k_{pp}	0.009	0.009	0.009	0.0087	0.0083	0.0077	0.0073	0.007

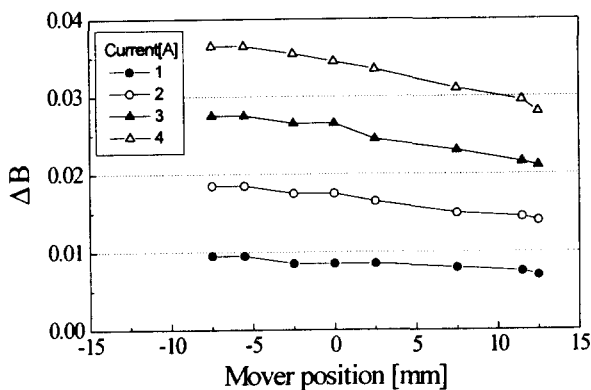


그림 16 FEM 해석치부터 계산된 전류크기와 가동코일 위치에 따른 ΔB

Fig. 16 ΔB calculated through FEM vs. mover position at the variation of the input currents

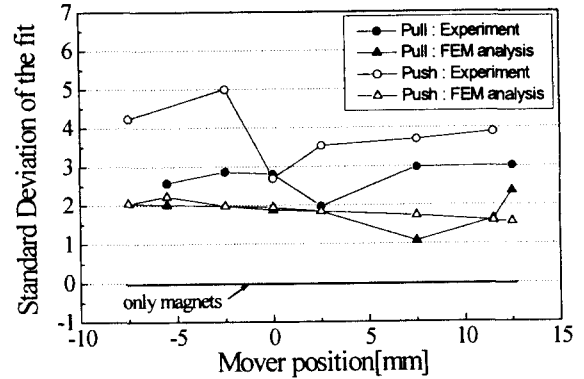


그림 17 가동자 위치에 따른 발생 추력의 표준편차

Fig. 17 Standard deviation of thrust vs. mover position

Push/pull effects 특성을 해석하였다. 그 결과 가동자 위치가 같더라도 가동코일의 전류 극성에 따라 공극자속밀도와 추력이 차이가 발생하고 비대칭성을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 입력전류가 클수록 영구자석 자계에 대한 코일 자속의 영향이 상대적으로 컸다.

- Push/pull effects를 규명하고자 가동자를 구속시키고 가동코일의 전류 크기와 방향, 그리고 가동자의 위치를 일정한 크기로 변화시켜가며 특성시험을 행하였다. 그 결과 측정값과 FEM 해석값이 비교적 잘 일치하였으나 Push effect인 경우에는 FEM 해석 결과값이 약간 크게 나타났다. 따라서 이러한 결과를 토대로 Push/pull effects는 가동코일의 전류 방향과 크기, 그리고 가동자 위치에 따른 함수이므로 이를 통해 영구자석 계자와 전류 자속의 상호작용 효과를 고려한 추력식을 유도하였다.
- FEM 해석 결과에 의한 가동코일 위치에 따른 추력 보정계수인 Push/pull effects 계수를 산정하였다. 그리고 Push/pull effects를 고려한 발생 추력의 선형성 정도를 분석하기 위하여 가동코일 위치에 따른 표준편차를 구하여 검토하였다. 이를 통해 영구자석에 의한 자속만을 고려하여 추력을 계산할 경우에는 그 표준편차가 零(zero)이지만, 실제 영구자석과 전류 자속의 상호작용에 의해 발생 추력의 선형성이 떨어짐을 알 수 있다.

따라서 정밀운전을 위해서는 가동코일의 길이나 형상은 물론 입력전류에 의한 공극자속밀도와 추력의 변화를 반드시 고려해야 한다. 또한 모터 운전은 물론 서보 제어를 용이하게 하기 위해 이러한 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 종합적으로 고려하여 설계 및 해석을 해야 한다.

본 논문은 1998년 전기학회 하계학술대회에서 우수논문으로 추천된 논문입니다.

참 고 문 헌

[1] S.A. Nasar, Iboldea, "Linear Electric Motors : Theory, Design, and Practical Application", Prentice-Hall, Inc., 1987
 [2] 山田 一, "리니어모터 응용핸드북", 일본공업조사회, 1985

- [3] A. Basak, "Permanent magnetic linear DC motors", Clarendon Press, Oxford, 1996.
- [4] Schmitz, N.L. and Novotny, D.W., "Introductory Electromechanics", John Wiley & Sons, 1965.
- [5] Ko, W.S., et al., "A Study on Vibration Control Using Active Dynamics Damper with Linear Electric Motor", Proceeding of KSNVE conference, 1996 (in Korean).
- [6] S.M. Jang et al. "The application of a voice coil type LOA for the active vibration control system", Trans., on KIEE, Vol.46, No.6, pp. 862-868, JUN. 1997.
- [7] Hi-Dong Chai, "Present status of voice coil motor, various design techniques and key performance parameters", Intelligent Motion proceedings. pp. 84-106, sept. 1991.
- [8] 백수현 역편, "소형모터 설계 편람", pp.494-495, 세화출판사, 1988.
- [9] 장석명 외, "전자장이론 적용 FEM해석에 의한 보이스코일 평판형 LOA의 설계", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Part A, pp. 216-218, 1996.
- [10] Jang Seok-Myeong, Jeong Sang-Seob, Seo Jin-Ho, Moon S.J, Park H.C, Park C.I, "Design, Fabrication and Performance Tests of a Voice-Coil Type LOA for Active Control System of Structure Vibration" The 2nd International Symposium on Linear Drives for Industry Applications(LDIA'98)", LM-24, April 8-10, Tokyo, Japan, 1998.
- [11] 장석명, 정상섭, 박희창, 문석준, 박찬일, 정태영, "Push/Pull Effect를 고려한 보이스코일형LOA의 특성해석 및 시험" 대한전기학회 하계학술대회, 경주, part A-EMP55, pp. 275-277, 1998.

저 자 소개



장 석 명(張錫明)
 1949년 7월 3일생, 1986년 한양대 대학원 박사과정 졸업(공학박사), 1989년 미국 Univ. of Kentucky (Post-doc), 1978년~현재 충남대 전기공학과 교수, 현재 당학회 평의원, 편집이사, 전기기기 연구회 간사장



문 석 준(文碩俊)
 1965년 9월 9일생, 1995년 서울대학교 조선해양공학박사, 1993년 2월~현재 한국기계연구원 구조시스템연구부 선임연구원, 관심분야 : 구조물의 진동제어, System Identification



정 상 섭(鄭相燮)
 1971년 1월 29일생, 1996년 충남대 전기공학과 졸업(공학사), 1998년 동 대학원 석사 졸업, 1998년~현재 충남대 대학원 박사과정



박 찬 일(朴贊一)
 1943년 4월 4일생, 1970년 한양대학교 졸업, 현재 한국기계연구원 장비개발실 실장



박 희 창(朴熙昌)
 1956년 6월 5일생, 1988년 2월 동국대학교 박사과정 졸업(공학박사), 현재 한국기계연구원 장비개발실 책임연구원



정 태 영(丁泰榮)
 1952년 9월 15일생, 1987년 6월 미국 M.I.T 해양공학박사, 1980년 8월~현재 한국기계연구원 구조시스템연구부장, 관심분야 : 선박 및 해양구조물 동력학, 유체유기진동