

횡변위가 제어-영구자석형 선형동기전동기의 특성에 미치는 영향

李 柱*

한양대학교 전기공학과
서울특별시 성동구 행당동 17, 133-791

(1998년 4월 8일 받음, 1998년 9월 21일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 부상에 필요한 소비전력을 최소화 할 수 있고 부상력과 추진력을 동시에 얻을 수 있는 제어-영구자석형 선형동기전동기에 대하여 횡변위가 기기의 추진력, 부상력, 안내력에 미치는 영향을 3차원 유한요소해석을 통하여 검토하였다. 횡변위에 대한 공극자속밀도의 분포특성과 힘 특성의 변화에 대하여 검토하고 횡변위 및 공극길이의 변화가 기기의 특성에 미치는 영향에 대하여 해석과 실험을 통하여 분석하였다. 본 연구결과 횡변위 및 공극의 변화가 제어-영구자석형 선형동기 전동기의 특성에 미치는 영향을 정량적으로 알 수 있었다.

I. 서 론

선형전동기는 기계적인 장치를 거치지 않고 직접 선형적인 힘을 얻을 수 있다는 장점과 부상방식을 채택할 경우 무접촉의 운전이 가능하므로 고정정, 저소음화 되는 장점을 가지고 있어 앞으로 그 응용범위가 더욱 확대될 것으로 판단된다. 현재까지 여러 형태의 자기부상방식이 제안되어 왔으나 그 중 상전도 부상방식(electromagnetic suspension)과 초전도를 이용한 동적 자기부상(electro-dynamic suspension)이 실용화에 가장 근접한 기술로 알려져 있다[1]. 또한, 최근에는 종래의 상전도 부상방식을 변형시킨 제어-영구자석형(controlled-PM) 부상방식이 제안되어 연구되고 있다. 제어-영구자석형의 부상방식이란 영구자석(permanent magnet: PM)이 본래 불안정한 특성을 가지고 있으므로 제어코일의 전류를 제어함으로써 부상을 제어하는 개념이다[2]. 이 기기에 무전력 제어기법을 이용할 경우 영구자석의 흡인력과 부하의 자중이 일치되는 점에서 안정한 부상을 할 수 있어 부상에 필요한 전력을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 제어-영구자석형 부상방식을 사용하고 추진시스템으로 선형동기전동기(LSM)를 사용한 기기를 제어-영구자석형 선형동기전동기라고 한다. 추진시스템으로 선형동기전동기를 사용할 경우 부상과 추진에 필요한 자계를 동시에 얻을 수 있는 장점을 가지고 있어 기기의 구조가 단순화되어 자기부상식 자동반송장치, 자기부상열차 등에 널리 응용될 수 있다.

제어-영구자석형 선형동기전동기는 추진, 부상, 안

내의 3개의 직선자유도를 가지고 있으며, 롤링, 피칭, 요잉의 3개의 회전자유도를 가지고 있어 총 6개의 자유도를 가지게 된다[3]. 이러한 6개의 자유도중 횡변위에 의해 일어나는 안내운동과 요잉 운동을 정량적으로 분석하기 위해서는 3차원적인 해석법에 의한 특성분석이 필요하다. 3차원 해석법에 의한 특성분석의 목적은 크게 2차원 해석법으로 해석이 곤란한 경우와 선형전동기와 같이 공극이 클 경우, 해석영역의 직각방향으로 발생하는 누설자속에 의한 해석오차를 줄이는 경우로 나누어진다[4]. 본 기기에서 횡방향 변위에 의한 특성을 분석하기 위해서는 위에서 언급한 두가지 측면에서 3차원해석이 필요하다[5].

본 논문에서는 3차원 유한요소법을 사용하여 횡방향 변위가 제어-영구자석형 선형동기전동기의 특성에 미치는 영향을 해석하고 분석하였다. 특히 횡방향 변위에 따른 자속밀도의 공간적인 분포의 변화와 그에 따른 추진력, 부상력, 안내력의 변화를 상세하게 검토하였다. 또한 본 기기는 안정된 공극이 부하의 크기에 따라 결정되므로 실용 기기의 설계 및 제어에 필요한 데이터를 확보하기 위하여 공극의 변화에 의한 모터의 특성변화에 대하여 검토하였다. 또한 본 연구에서 사용한 유한요소해석법의 정확성을 검토하기 위하여 실험을 통하여 해석의 정확성을 비교 분석하였다.

II. 제어-영구자석형 선형동기전동기 모델과 유한요소해석

2.1 해석 모델 및 실험 개요

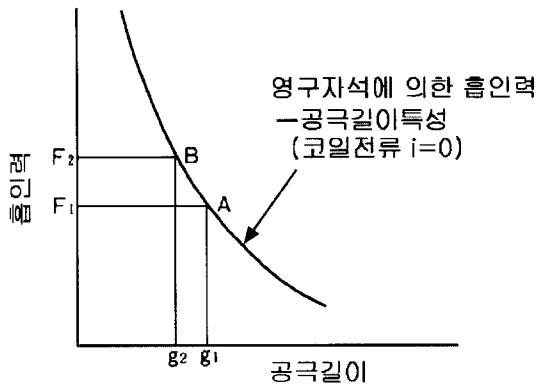


Fig. 1. Performance airgap of the controlled-PM LSM.

제어-영구자석형 부상방식은 Fig. 1과 같이 반송체의 자중과 영구자석의 흡인력이 일치하는 점에서 안정된 부상이 이루어 질 수 있으므로 이상적으로는 무전력의 자기부상이 가능한 시스템이다. 그림에서와 같이 반송물체의 자중이 흡인력 F_1 과 같은 경우에는 구동공극길이는 g_1 이 되고 반송물체의 자중이 흡인력 F_2 와 같을 경우에는 구동공극길이는 g_2 가 된다. 따라서 이 부상방식을 이용한 선형전동기는 소형의 액츄에이터에서 대형의 자기부상열차까지 응용범위가 넓다.

Fig. 2는 본 논문의 연구모델인 제어-영구자석형 선형 동기전동기로서 전동기 사양은 Table I과 같다. 본 장치는 4개의 모서리에 제어-영구자석(Cocontrolled-PM : CPM)이 장착되어 있으며, 추진, 부상, 안내, 롤링, 피칭, 요잉의 6개의 운동자유도를 갖는다. 횡변위는 횡운동과 요잉운동 뿐 만 아니라 쇄교자속의 변화를 일으켜 기기의 특성이 변하게 된다. 횡변위를 고려한 해석을 위해서는 해석모델의 기하학적 특성상 2차원 해석이 불가능하며 또한 선형 전동기는 기계적 공극이

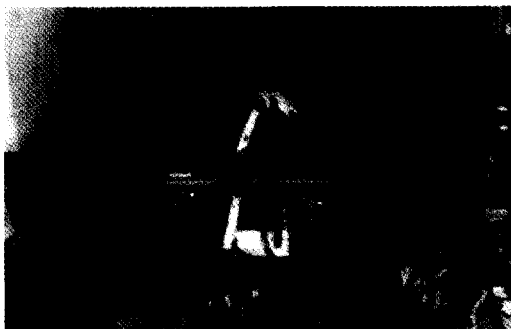


Fig. 2. Experimental controlled-PM Maglev carrier.

Table I. Specification of analysis model

Primary	
Pole pitch	30 [mm]
Heigh of Stator Yoke	15 [mm]
Width of Stator Yoke	30 [mm]
Number of Winding	8 [turn/slot]
Number of Slot per pole	2
Teeth Width	2.5 [mm]
Slot Width	2.5 [mm]
Slot Depth	8.0 [mm]
Controlled-PM	
Coercive Magnetic force	736091 [A/m]
Risidual flux Density	0.96 [Wb/m ²]
Height of PM	5 [mm]
Length of PM	15 [mm]
Width of PM	30 [mm]
Height of PM Yoke	15 [mm]
Width of PM Yoke	30 [mm]
Width of Controlled Coil	7 [mm]
Coil winding turn/Pole	54 [turn/pole]
Coil Resistance/Pole	0.17 [Ohm/pole]

수 mm이고 영구자석을 포함한 기기의 경우 등가적인 유효공극이 증가되므로 해석의 정밀도 면에서도 3차원 해석이 요구된다. 해석적인 방법으로 3차원 해석을 하기 위해서는 특성식을 유도하여야 하나 3차원적인 해석식의 유도는 극히 곤란하다.

Fig. 3은 연구모델의 단면으로 횡변위가 있을 경우 선형 동기전동기의 1차축과 영구자석 사이의 접촉면적이 줄어들어 부상력과 추진력을 발생시키는 유효면적이 줄어들고 또한 자속의 왜곡에 의해 안내력이 발생 된다.

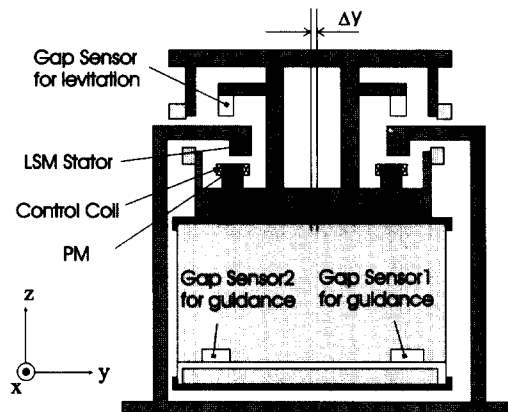


Fig. 3. Cross-section of controlled-PM Maglev carrier (z-y plane).

2.2 유한요소해석

유한요소해석에서 계변수로 자기벡터 포텐셜과 전류스칼라 포텐셜(A-Φ)을 이용한 방법과 자기스칼라포텐셜과 전류벡터 포텐셜(T-Ω)을 사용한 방법이 있으나 정자계 문제에서 자기스칼라 포텐셜을 사용할 경우 벡터포텐셜을 이용하는 경우보다 미지수가 줄어들어 계산용량과 계산시간상에 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 자기스칼라 포텐셜(Ω)을 계변수로 사용하여 유한요소해석을 수행하였다.

전자계의 지배방정식은 맥스웰 방정식과 상관 관계 식으로부터 유도할 수 있다. 자속밀도(B)는 자계의 세기(H)와 영구자석의 보자력(H_c)과 식 (1)의 관계가 있다.

$$B = \mu H + \mu_0 H_c \tag{1}$$

이때 구동전류를 포함하는 영역에서 자계의 세기는 다음과 같이 표현된다.

$$H = H_m + H_s \tag{2}$$

여기서 H_m은 유도 전계의 세기를 나타내고 H_s는 구동 전계의 세기를 나타낸다. 식 (2)에 암페어의 법칙을 적용하면 식 (3)이 된다.

$$\nabla \times (H_m + H_s) = J \tag{3}$$

구동전류가 없는 영역에서 식 (3)은 식 (4)와 같이 된다.

$$\nabla \times H_m = 0 \tag{4}$$

따라서 벡터공식으로부터 자기스칼라 포텐셜은 다음과 같이 정의된다.

$$H_m = -\nabla \Omega \tag{5}$$

구동전류가 있는 영역에서는 식 (3)은 식 (6)과 같이 된다.

$$\nabla \times H_s = J \tag{6}$$

여기서 구동전류에 대한 전류의 연속방정식은 식 (7)이 된다.

$$\nabla \cdot J = 0 \tag{7}$$

식 (7)으로부터 전류벡터 포텐셜(T)은 식 (8)과 같이 정의된다.

$$J = \nabla \times T \tag{8}$$

따라서 식 (6)과 식 (8)로부터 식 (9)가 성립한다.

$$\nabla \times (H_s - T) = 0 \tag{9}$$

식 (9)에서 자기스칼라포텐셜은 다음과 같이 정의된다.

$$H_s - T = -\nabla \Omega^* \tag{10}$$

식 (10)으로 정의된 자기스칼라 포텐셜에 임의의 정수 C를 더하면 식 (11)의 관계가 성립한다.

$$\nabla (\Omega^* + C) = \nabla \Omega^* \tag{11}$$

따라서 전류가 있는 영역과 전류가 없는 영역에서 같은 스칼라포텐셜로 정의할 수 있으며 자기스칼라포텐셜을 이용한 전자계의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot [\mu(T - \nabla \Omega) + \mu_0 H_c] = 0 \tag{12}$$

여기서 전류벡터포텐셜은 구동전류와 유도전류에 의해 다음과 같이 분류된다.

$$T = T_o + T_e \tag{13}$$

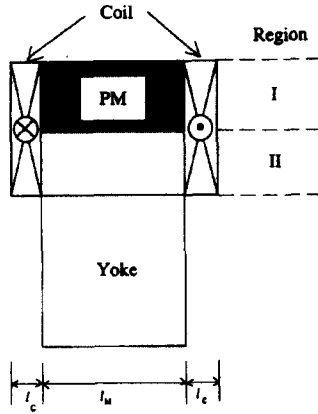
여기서 T_o는 구동 전류벡터 포텐셜이고 T_e는 유도 전류벡터 포텐셜을 나타낸다. 따라서 정상자계의 문제에서 전류벡터포텐셜은 구동 전류벡터포텐셜만으로 나타나게 된다. 이때 전류가 x-y평면에 분포되어 있다고 가정하면 전류벡터포텐셜을 식 (14)에 나타낸 것처럼 z방향 성분(T_z)만으로 나타낼 수 있다.

$$J_x = \frac{\partial T_z}{\partial y}, \quad J_y = -\frac{\partial T_z}{\partial x} \tag{14}$$

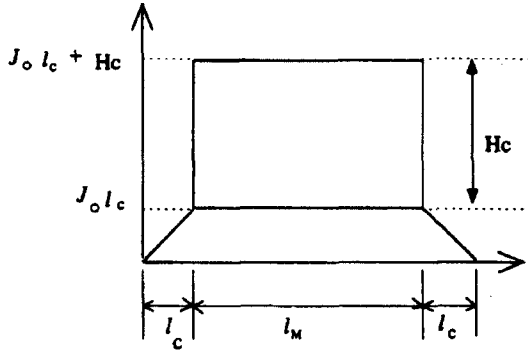
영구자석이 z축방향으로만 자화되어 있다고 가정하면, 영구자석과 제어코일에서의 전체 기자력(MMF)은 식 (15)와 같다.

$$MMF = (T_z + H_{cz}) \tag{15}$$

Fig. 4는 제어영구자석의 모델과 영역 I에서의 구동 함수의 분포를 나타낸다. 그림에서와 같이 영역 I에서의 총기자력은 영구자석에 의한 기자력과 제어전류에 의한 기자력의 합으로 나타난다. 또한 영역 II에서의 기자력은 전류벡터포텐셜에 의한 값만으로 나타내게 된다. 이와 같은 구동함수에 대하여 지배방정식 (12)를 유한요소법으로 풀기 위하여 Galerkin's Method를 적용하면 다음의 잔차방정식이 얻어진다.



(a) Controlled-PM model



(b) MMF in the region I

Fig. 4. MMF in the controlled-PM.

$$G_{ei} = \mu \int_v \left[\frac{\partial \Omega}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \frac{\partial \Omega}{\partial y} \frac{\partial N_i}{\partial y} + \frac{\partial \Omega}{\partial z} \frac{\partial N_i}{\partial z} \right] dV - \int_v \left[\mu T_{ox} + \mu_0 H_{cx} \right] \frac{\partial N_i}{\partial x} + (\mu T_{oy} + \mu_0 H_{cy}) \frac{\partial N_i}{\partial y} + (\mu T_{oz} + \mu_0 H_{cz}) \frac{\partial N_i}{\partial z} \right] dV \quad (16)$$

여기서 N_i 는 보간함수를 나타낸다. 식 (16)의 방정식을 정리하면 식 (17)과 같은 행렬방정식이 얻어진다.

$$\mu[S][\Omega] - [F] = 0 \quad (17)$$

여기서 행렬 $[S]$ 는 절점의 좌표치로부터 구해지는 행렬이고 $[\Omega]$ 는 절점에서의 자기스칼라포텐셜 행렬을 나타내며 $[F]$ 는 구동행렬을 나타낸다.

이와 같이 유한요소법에 의해 절점에서의 자기스칼

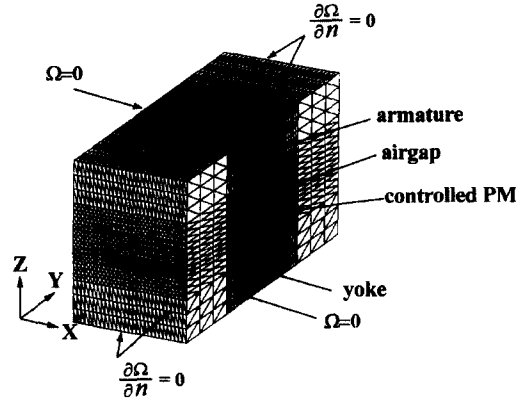


Fig. 5. Finite element mesh of one pole model.

라포텐셜 값을 구할 수 있고 구해진 자기스칼라포텐셜로부터 식 (18)을 사용하면 자속밀도(B_x, B_y, B_z)를 얻을 수 있다.

$$B = \mu(T + H_c - \nabla\Omega) \quad (18)$$

본 기기에서 발생하는 추진력, 부상력, 안내력은 식 (19)의 맥스웰 응력법으로 계산하였다.

$$F = \int_s \frac{1}{2} \mu_0 (H_n^2 - H_t^2) U_n dS + \int_s \mu_0 H_n H_t U_t dS \quad (19)$$

여기서 H_n, H_t, U_n, U_t 는 각각 법선방향의 자계의 세기, 접선방향의 자계의 세기, 법선방향 단위벡터, 접선방향 단위벡터를 나타낸다.

Fig. 5는 연구모델의 유한요소분할도이다. 본 모델의 경우 x축에 대하여 대칭성을 가지고 있고 동기전동기는 이동자계의 속도와 가동자의 기계적인 이동속도가 같으므로 단부의 자속에 의한 유도기전력의 불균형에 의해 일어나는 입구단과 출구단의 단부효과가 같으므로 1극만을 해석모델로 하여 해석하였다. 유한요소로는 사면체요소를 사용하였고 총요소수는 119,016개, 절점수는 22,200개이다. 경계조건으로는 그림에서와 같이 x-y 경계면과 x-z경계면에는 자연경계조건($\partial\Omega/\partial n = 0$)을, y-z단면에는 고정경계조건 ($\Omega=0$)을 주었다.

2.3 실험의 개요

Fig. 6은 부상계 컨트롤러를 포함하는 무전력 자기부상제어 실험시스템을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 부상 공극길이에 대한 정보는 와전류형 갭센서로부터 얻어내고 제어전류의 값은 저항에 의한 전류검출법을

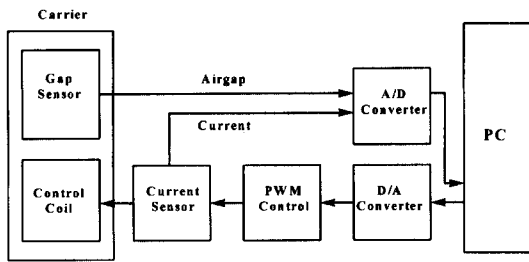


Fig. 6. zero-power magnetic levitation system.

이용하여 전압치로 얻어낸다. 이 정보는 A/D컨버터를 통하여 디지털 정보로 컴퓨터에 입력되고 컴퓨터에서는 이 정보를 기초로 계산을 수행하여 제어전압을 D/A컨버터를 통하여 아날로그신호로 PWM컨트롤러에 공급한다. 이와 같이 무전력 자기부상에 의해 공극을 제어하면 4개의 영구자석의 흡인력과 반송체의 자중이 일치되는 점에서 부상을 하기 때문에 이로부터 흡인력을 구해낼 수 있다. 또한 반송체에 질량을 가하여 그때 공극의 길이를 구해내어 공극길이에 대한 흡인력의 관계를 실험적으로 구하였다. 이와 같이 무전력 부상을 시킨 상태에서 폴스게이지(force gauge)를 이용하여 횡방향으로 일정한 힘을 가하고 이때의 횡변위를 레이저형 횡변위 갠센서로 계측하여 안내력과 횡변위의 관계 특성을 실험적으로 구하였다.

3. 해석결과 및 검토

Fig. 7은 공극의 길이가 3 mm일 경우, 전기자 전류(I_1)가 없고 제어코일 전류(I_2)가 제로일 때 1차측과 2차측에서의 자속분포를 나타낸다. 주자속은 반대극성의 영구자속을 향하여 흐르고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 횡변위($\Delta y=0$ mm, 3 mm)에 대한 자속분포의 변화를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 횡변위에 의해 좌우대칭인 자속이 비대칭적인 자속분포를 하게 된다. 또한 1차측과 2차측이 교차되는 부분에서의 자속의 흐름은 횡변위가 없을 경우와 같은 양상이지만 횡변위 부분에서의 자속은 누설이 증가하고 1차측과 쇄교하는 자속도 자기회로의 길이가 길어짐을 알 수 있다. 이러한 누설자속의 증가에 의한 자속의 왜곡은 유효공극의 증대로 나타날 수 있다.

3.1 공극자속밀도의 변화

Fig. 9는 공극의 길이(δ)가 3 mm이고 횡변위(Δy)가

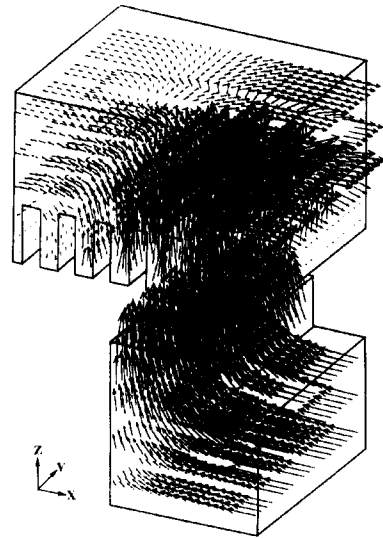
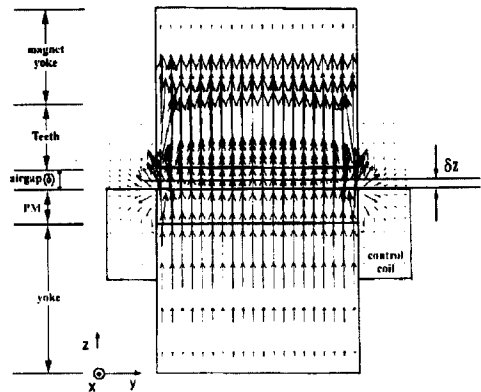
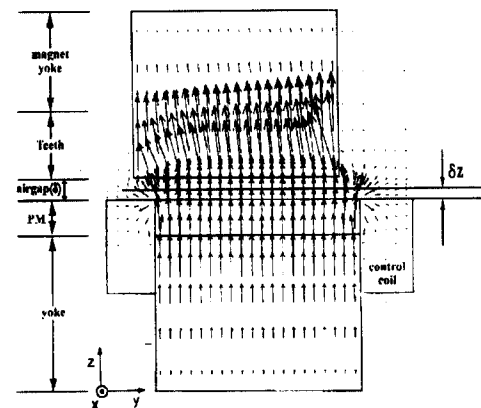


Fig. 7. 3-D flux distribution of analysis model.



(a) $\Delta y = 0$ mm



(b) $\Delta y = 3$ mm

Fig. 8. 2-D flux distribution of analysis model (z-y plane).

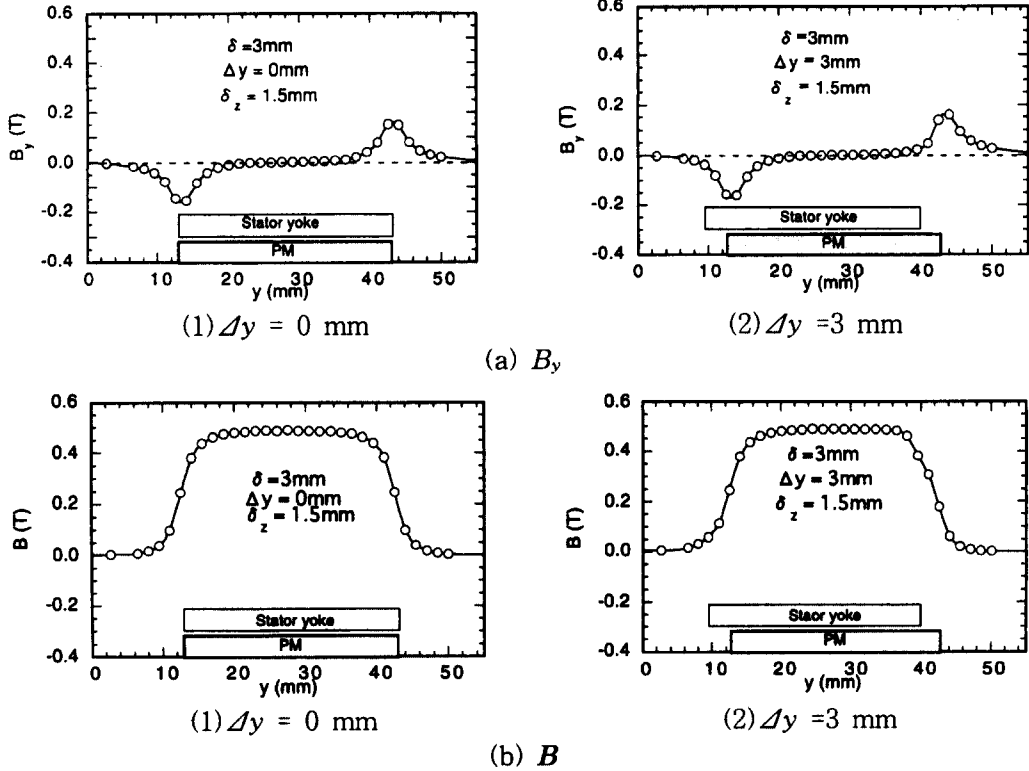


Fig. 9. Airgap flux density distribution.

0 mm일 경우 영구자석에서 공극방향으로의 높이(δ_z)가 1.5 mm인 위치에서 유한요소법의 해석 결과 얻어진 자속밀도의 y 성분(B_y)와 공극자속밀도(B)의 공간분포이다. 그림에서와 같이 횡변위가 있을 경우 변위된 양단부의 자속밀도가 비대칭적인 현상을 나타내며 횡변위가 3 mm일 경우 유효쇄교자속이 약간 감소된다. 양 자속성분의 공간적인 분포는 횡변위에 의해 왜곡되며 이러한 왜곡현상은 안내력을 발생시키고 유효자속의 감소에 의해 부상력과 추진력의 감소로 나타나게 된다.

3.2 횡변위에 의한 힘의 변화

Fig. 10은 제어전류(I_2)가 0일 경우 횡변위에 따른 부상력의 계산결과이다. 그림에서와 같이 횡변위에 따라 부상력이 줄어든다. 그러나 횡변위부분 이외의 부분에서의 자속의 분포가 일정하므로 작은 횡변위에 대한 부상력의 변화는 미미함을 알 수 있다. 따라서 횡변위에 대한 안정된 부상 공극의 길이는 거의 변하지 않게 된다.

Fig. 11은 제어전류(I_2)가 0일 경우 횡방향 변위에 따른 안내력의 3차원유한요소법에 의한 계산결과 및 실험결과이다. 안내력은 횡변위에 따라 크게 변하여 횡변위에 대한 의존성이 강함을 알 수 있다. 이러한 안내

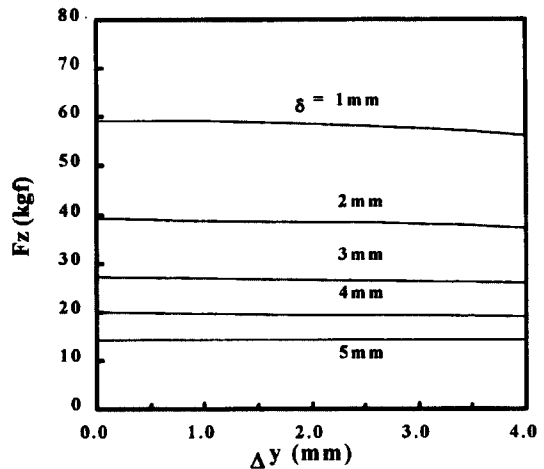


Fig. 10. Lift force (F_z) vs. Lateral displacement (Δy).

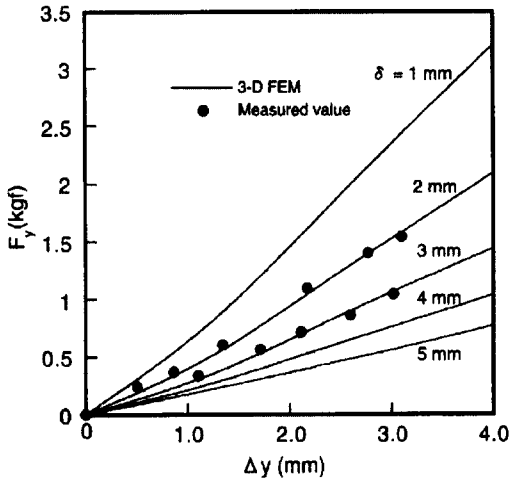


Fig. 11. Lateral force (F_y) vs. Lateral displacement (Δy).

력은 양단에서 나타나는 자속의 불균형에 기인하며 거의 선형적으로 안내력이 증가한다. 안내력의 실험치에 대한 3차원 유한요소법의 계산오차는 최대 3.2%로 3차원유한요소법에 의해 비교적 정확하게 안내력의 특성을 계산해 낼 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 12는 제어전류(I_2)가 0이고 고정자 전류(I_1)이 4 [A]일 경우 횡방향 변위에 따른 3차원 유한요소해석 결과이다. 그림에서와 추진력은 횡변위에 따라 감소하지만 추진력을 발생시키는 1차축의 유효단면적의 변화가 작음으로 그 감소량이 그리 크지 않다.

3.3 공극길이에 대한 힘의 변화

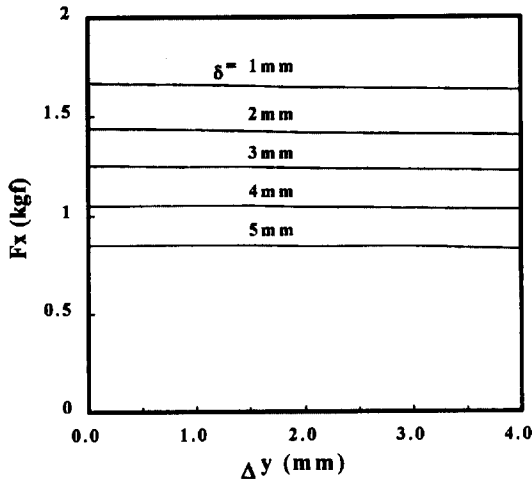


Fig. 12. Thrust force (F_x) vs. Lateral displacement (Δy).

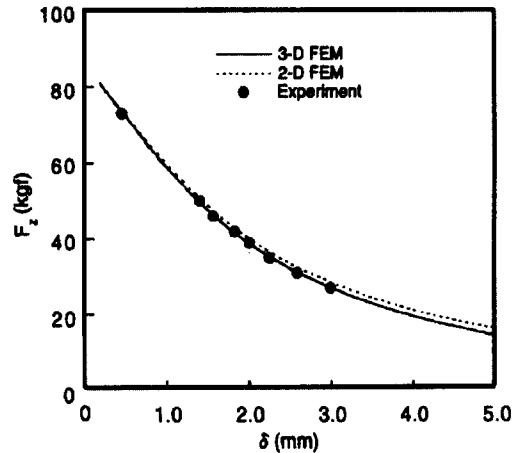


Fig. 13 Lift force (F_z) vs. airgap (δ).

본 기기를 무전력 공극제어에 의해 부상시킬 경우 반송차의 무게에 따라 구동 공극이 결정된다. 따라서 부하의 크기에 따라서 공극의 길이가 변하게 되므로 공극에 대한 기기의 특성을 기기의 설계시 반드시 고려하여야 한다.

Fig. 13은 제어전류(I_2)가 0인 경우 공극의 길이에 대한 부상력을 3차원 유한요소법, 2차원유한요소법 및 실험결과로 얻어진 값이다. 실험치에 대한 2차원유한요소법의 최대해석오차는 8.5%이고 3차원유한요소법의 최대해석오차는 2.5%이다. 또한 공극길이에 대한 부상력의 크기는 무전력 자기부상제어를 할 경우 구동 공극길이를 결정하는 중요한 변수로써 예를 들면 반송차의 자체의 무게가 26 kg인 경우 무전력제어시 공극은 약 3.0 mm가 되고 반송물체의 중량이 14 kg인 경우 공극길이는 약 1.9 mm로 변하게 된다.

Fig. 14는 제어전류가 0인 경우 공극에 대한 안내력을 보여주고 있다. 공극이 작을수록 안내력의 크기가 증가되고 이러한 안내력의 증가는 횡방향 진동주기를 크게 만들게 된다.

Fig. 15는 제어전류(I_2)가 0이고 고정자 전류(I_1)이 4 [A]일 경우 공극에 대한 추진력의 변화를 횡변위 0 mm와 4 mm에서 구한 그림이다. 그림과 같이 횡변위시에 추진력의 변화가 미미함을 알 수 있으며 구동 공극길이가 변화하는 본 기기의 경우 정속운전에 필요한 1차축의 전류의 크기를 구해낼 수 있다.

3.4 2차원 해석과 3차원 해석의 차이

Fig. 16은 횡변위가 없을 경우 식 (20)으로 계산한

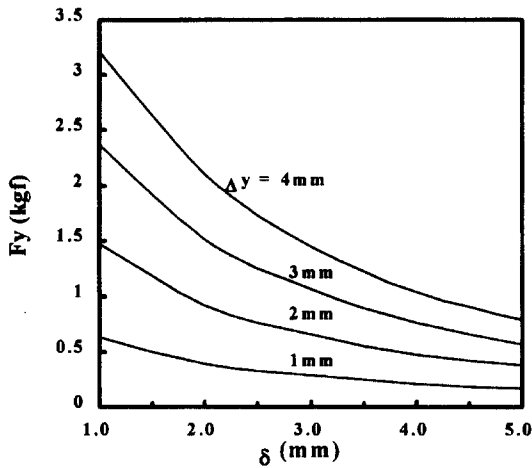


Fig. 14. Lateral force (F_y) vs. airgap (δ).

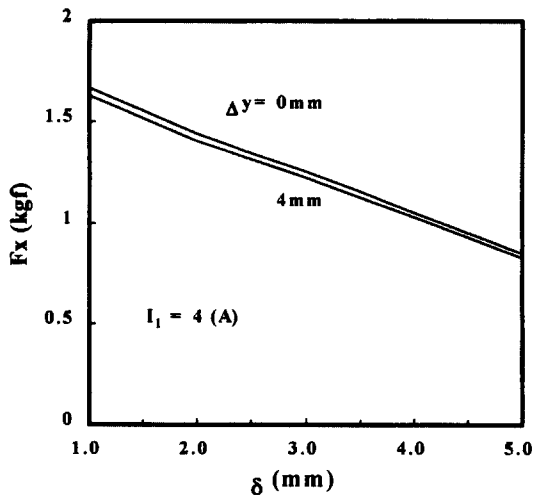


Fig. 15. Thrust force (F_x) vs. airgap (δ).

2차원해석과 3차원해석의 추진력과 부상력의 해석차이 (ϵ_x, ϵ_z)를 보여 주고 있다.

$$\epsilon_x, \epsilon_z = \frac{3-D - 2-D}{3-D} \quad (20)$$

여기서 3-D는 3차원으로 계산한 추진력 및 부상력의 크기를 나타내고 2-D는 2차원해석으로 계산한 부상력 및 추진력의 크기를 나타낸다. 또한 ϵ_x 는 3차원 해석을 기준으로 한 2차원과 3차원 추진력 해석의 차이를 나타내고, ϵ_z 는 3차원 해석을 기준으로 한 2차원과 3차원의 부상력 해석의 차이를 나타낸다.

Fig. 16에서와 같이 주자속인 B_z 성분은 공극이 커질

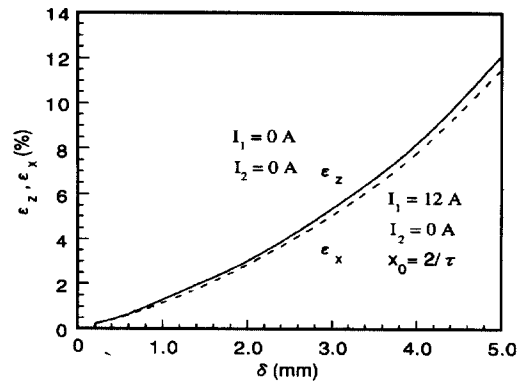


Fig. 16. Difference ratio between 2-D FEA and 3-D FEA.

수록 자기저항의 증가로 인하여 그 절대값이 작아지나 누설자속은 반대로 커지므로 2차원과 3차원 해석의 차이가 공극이 커짐에 따라 증가됨을 알 수 있다. 따라서 2차원적인 해석이 가능한 모델에서도 선형전동기와 같이 공극이 큰 기기는 해석에서 해석의 정확도를 확보하기 위하여 3차원적인 해석이 필수적임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 제어-영구자석형 선형동기전동기에서 횡방향변위가 기기의 특성에 미치는 영향을 검토하였다. 횡변위를 고려할 경우 기기의 기하학적인 특성상 2차원 해석이 불가능하므로 자기스칼라포텐셜을 계변수로 하여 3차원유한요소해석을 수행하였다. 연구결과 횡변위가 제어-영구자석형 선형동기전동기의 부상력, 추진력, 안내력에 미치는 정량적 특성을 알 수 있었으며 공극의 변화에 대한 모터의 특성을 분석하여 반송물체의 질량에 대한 구동 공극의 크기를 예측할 수 있었다. 또한 본 연구에서 얻어진 해석결과를 실험치와 비교한 결과 3차원 유한요소법에 의한 해석의 정밀도를 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 97년도 한양대학교 교내 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 임달호, 전자에너지변환기기의 해석과 응용(고 임달호박사 추모회 편저). 한양대학교 출판원 (1997).

- [2] K. Yoshida, H. Hasuike, T. Hirakawa, J. Lee, T. Omura and A. Sonoda, Proc. ICEM '94, 21(1994).
[3] K. Yoshida, T. Omura and J. Lee, JIEE LD 94(103), 33(1994).
[4] K. Yosida, J. Lee and Y. J. Kim, IEEE Transaction on Magnetics 33(2), 2207(1997).
[5] K. Yoshida, J. Lee, T. Omura, National Convection Record, IEE Japan, 947(1994).

The Effect of Lateral Displacement on the Performance in the Controlled-PM LSM

Ju Lee

Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received 8 April 1998, in final form September 1998)

In this paper, the effects of lateral displacement on the thrust, lift force and (guide force) are investigated by 3-D Finite Element Analysis (FEA) in controlled-PM LSM which has some strong points that electrical power can be minimized and the thrust and lift force can be simultaneously obtained. The variations of airgap flux density and the forces concerning lateral displacement have been analyzed and the effect of lateral displacement and airgap length on the motor performance have been investigated in detail by analysis and experiment results. As the result of this study, the characteristics of PM-LSM concerning with the change of lateral placement and airgap have been made clear quantitatively.