

선형 동기전동기의 Detent Force 저감을 위한 영구자석 최적 배치방법

論 文
49B - 3 - 2

Optimal Arrangement Method of Permanent Magnets for Reduction of Detent Force of a Linear Synchronous Motor

鄭 因 城* · 許 眞** · 玄 東 石***
(In-Soung Jung · Jin Hur · Dong-Seok Hyun)

Abstract - The detent force caused by the interaction of magnets with the teeth of a armature core deteriorates the driving performance of a permanent magnet linear synchronous motor. In this paper, we analyze the fields and forces of a linear synchronous motor with segmented or skewed magnet arrangement according to lateral overhang length of permanent magnets. For the analysis, the 3-dimensional equivalent magnetic circuit network method is used. The detent force and the static thrust are analyzed according to the segmented or skewed angle and the overhang length of permanent magnets, and the optimal angles that the detent force is minimized are found out in each case. The analysis results are compared with the experimental ones and shown a reasonable agreement.

Key Words : Permanent magnet linear synchronous motor, detent force, 3-D equivalent magnetic circuit network method, skewed magnet, segmented magnet, overhang

1. 서 론

영구자석형 선형 동기전동기(permanent magnet linear synchronous motor; PMLSM)는 추력/전류비가 높고 제어가 용이하며 직접 직선추력을 발생하므로 최근들어 고속지상 운송 수단으로서 뿐만 아니라 고층빌딩용 고속 엘리베이터, 반송 시스템 및 서보 시스템의 구동원으로 많이 연구되고 있다.

영구자석형 선형 동기전동기는 계자원으로 영구자석을 사용하기 때문에 영구자석과 전기자극의 치, 슬롯구조에 의해 필연적으로 detent force가 발생하게 된다. 이러한 detent force는 전동기의 추력리플로 작용하여 기기의 소음 및 진동을 유발할 뿐만 아니라 기기의 제어성능을 악화시킨다. 특히 서보 시스템의 구동원으로 사용될 경우에는 높은 위치제어 성능을 위하여 detent force의 저감이 더욱 대두된다. Detent force를 저감시키기 위한 방법들로 영구자석의 자극폭을 적절히 선정하는 방법, 영구자석의 형상을 변화시키는 방법, 영구자석의 배치를 극간격 주기로 하지 않고 약간씩 변위시킴으로써 서로간의 detent force의 합이 영이 되도록 하는 방법 등 여러 방법들이 연구된 바 있다. 또한 3차원적인 방법의 하나로 전기자 또는 영구자석에 skew를 주는 방법 등이 있다[1]-[4].

본 연구에서는 선형 동기전동기에서 발생하는 detent force를 줄이기 위하여 영구자석을 횡방향으로 2분할하여 배치한 경우와 skew 배치를 한 경우에 대하여 영구자석의 횡방향 오버행 길이에 따라 자계해석을 수행하고자 한다. 영구자석의 2분할 또는 skew 배치는 이미 널리 사용되고 있는 방법이며, 전술한 바와 같이 이를 해석한 논문들도 다수 발표된 바 있다. 그러나 대부분의 연구들이 주로 회전기를 대상으로 하여 이루어졌으며, 선형기를 대상으로 한 연구의 경우에도 한가지 배치 상태에 대한 해석만이 보고된 바 있을 뿐 영구자석의 배치각도에 따른 특성 변화 등에 대한 연구는 미비한 상태이다[2]. 영구자석형 선형 동기전동기는 보통 회전기에 비해 기계적 공극이 크고 영구자석이 자기적인 공극으로 작용하기 때문에 공극에서의 누설자속 성분은 회전형 기기에 비해 커지게 된다. 이로 인하여 선형기에 skew 등을 시행할 경우에는 그 특성변화의 양상이 공극이 작은 회전기와는 어느 정도 차이를 보이게 될 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 detent force가 최소가 되는 분할각 또는 skew각이 선형기에서 어떠한 양상으로 변화하는가를 영구자석의 오버행 유무, 그리고 그 오버행의 크기 변화에 따라 분석하고자 한다.

영구자석을 횡방향으로 분할하거나 skew를 주는 경우, 그리고 영구자석의 오버행이 존재하는 경우에는 본질적으로 3차원적 모델이 되기 때문에 정밀한 해석을 위해서는 3차원적인 해석방법이 요구된다. 3차원적 형상을 가지는 기기를 해석하기 위한 수치적인 방법으로 3차원 유한요소법이 많이 사용되고 있으나 이 역시 복잡한 선처리 작업 및 방대한 행렬식을 계산하는데 많은 시간이 소요된다 [4]. 본 논문에서는 선형 동기전동기의 해석을 위하여 3차원 등가자기회로망법(equivalent magnetic circuit network method; EMCN method)을 사용하고자 한다[5],[6]. 본 해석방법을 사용하여

* 正 會 員 : 電子部品研究院 精密機器研究센터
專任研究員 · 工博
** 正 會 員 : 漢陽大 産業科學研究所 先任研究員 · 工博
*** 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
接受日字 : 1999年 4月 27日
最終完了 : 1999年 12月 1日

분할각 또는 skew각을 변화시켜가며 detent force 및 정추력 특성을 해석하고 이로부터 detent force가 최소가 되는 최적의 각을 구하고자 한다. 또한 해석결과를 실험치와 비교함으로써 본 해석의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 해석 방법

2.1 해석모델

그림 1은 영구자석형 선형 동기전동기의 개략적인 구조를 나타내고 있다. 고정자측은 치/슬롯 구조를 가지는 코어에 3상 권선이 감겨져 있으며, 이동자측은 계자자속원으로서의 영구자석과 자속의 경로를 만들어주기 위한 back iron으로 구성되어 있다.

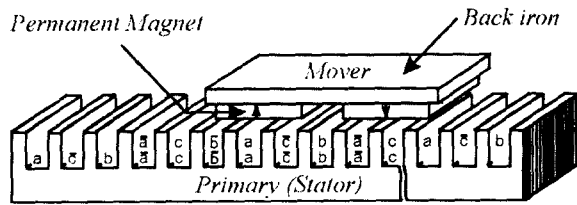


그림 1 영구자석형 선형 동기전동기의 개략도
Fig. 1 Basic structure of a PMLSM

그림 2는 본 연구에서 해석하고자 하는 영구자석의 형상을 나타내고 있다. 그림 2(a)는 초기 모델을, 2(b)는 축방향으로 2분할하여 변위시킨 모델을, 2(c)는 skew 모델을 나타내고 있다. 여기서 기호 δ 는 분할 또는 skew의 크기를 나타내고 있다.

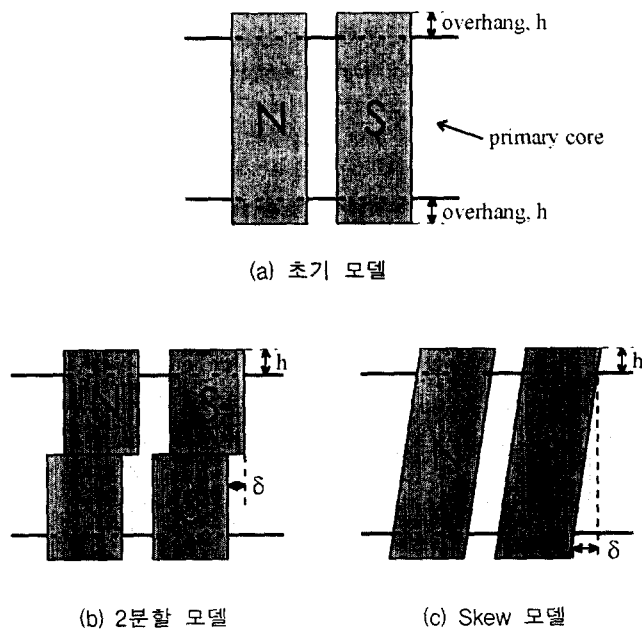


그림 2 해석모델의 영구자석의 배치
Fig. 2 PM arrangement of the analysis model

2.2 3차원 등가자기회로방법

등가자기회로방법은 수치해석 방법의 일종으로, 기존의 자기회로법에 수치적 기법을 도입하여 퍼미언스를 분포적인 회로정수로 사용함으로써 기기의 3차원적 형상을 비교적 쉽게 해석할 수 있는 방법이다 [5],[6]. 본 방법에서는 분포정수로 퍼미언스를, 계변수로서 자기스칼라 포텐셜을 사용하며 해석 모델에 대하여 전체영역을 매질의 종류에 따라 영역을 구분한 후, 영역을 세밀히 요소분할하고, 각 요소의 중점에 절점을 잡고 이를 잇는 등가 자기회로망을 구성하게 된다. 본 연구에서는 해석모델이 선형기이므로 요소는 직육면체로 구성되어진다 [5].

그림 3은 임의의 절점(i, j, k)에 대해 x, y, z 방향에 따른 3차원 등가자기회로망의 기본적인 구성을 나타내고 있다. 각 요소의 거리와 단면적과 재질정수에 의해 구해지는 요소 퍼미언스의 병렬합으로써 절점($i, j-1, k$)에서의 y 방향으로의 두 절점사이의 퍼미언스를 구하면 다음과 같다 [6].

$$Py_{i,j-1,k} = \frac{\mu_0^2 \mu_{r1} \mu_{r2} Sy_{i,j,k}}{\mu_0 \mu_{r1} y_{i,j-1,k} + \mu_0 \mu_{r2} y_{i,j-1,k}} \quad (1)$$

여기서, $Sy_{i,j,k}$ 는 두 개의 절점 (i, j, k)와 ($i, j-1, k$) 사이의 y 방향의 단면적이며, $y_{i,j,k}$, $y_{i,j-1,k}$ 는 각 요소의 y 방향의 길이, μ_0 는 공기의 투자율, μ_{r1} , μ_{r2} 는 재질의 비투자율을 나타낸다. 마찬가지로 x 방향 및 z 방향의 퍼미언스도 식(1)과 같은 방법으로 구해진다.

자기회로상에서 자속은 자기저항의 역수인 퍼미언스와 기자력의 곱과 같으며 기자력은 두 절점 사이의 자위의 차로 표현할 수 있다. 계변수로 자기스칼라 포텐셜을 사용하는 임의의 (i, j, k)와 ($i, j-1, k$) 사이에서의 y 방향으로의 자속 및 자속밀도는 다음과 같이 주어진다.

$$\Phi_{i,j-1,k} = Py_{i,j-1,k} (U_{i,j,k} - U_{i,j-1,k} + E_{i,j-1,k}) \quad (2)$$

$$By_{i,j-1,k} = \Phi_{i,j-1,k} / Sy_{i,j-1,k} \quad (3)$$

여기서, $U_{i,j,k}$ 는 절점 (i, j, k)의 자위값에 해당하는 미지의 값이며 $E_{i,j-1,k}$ 는 영구자석과 전기자권선의 기자력이다.

이와같이 임의의 절점에 대하여 각 방향의 자속식을 구성한 후 한 절점에서 자속의 유출입량의 합이 영이라는 자속의 연속조건을 적용하면 다음과 같이 된다.

$$\sum_{n=1}^6 \Phi_n = \Phi_{x_{i-1,j,k}} + \Phi_{x_{i+1,j,k}} + \Phi_{y_{i,j-1,k}} + \Phi_{y_{i,j+1,k}} + \Phi_{z_{i,j,k-1}} + \Phi_{z_{i,j,k+1}} = 0 \quad (4)$$

식(2)로부터 구한 자속을 식(4)에 대입하고 해석영역의 모든 절점에 대해 절점방정식을 구성하여 정리하면 다음과 같은 전체 계행렬식을 얻을 수 있다.

$$[P]\{U\} = \{f\} \quad (5)$$

여기서, $[P]$: 퍼미언스 계수행렬,
 $\{U\}$: 절점자위 행렬
 $\{f\}$: 구동벡터(기자력 \times 퍼미언스)

식(5)에서 각 절점의 자위를 구하면 식(2)와 (3)으로부터 기기 각 부분의 분포적인 자속밀도값을 계산해 낼 수 있으며, detent force 및 정추력 등의 발생력은 이렇게 구한 자속밀도값을 이용하여 맥스웰 응력법으로 구하였다.

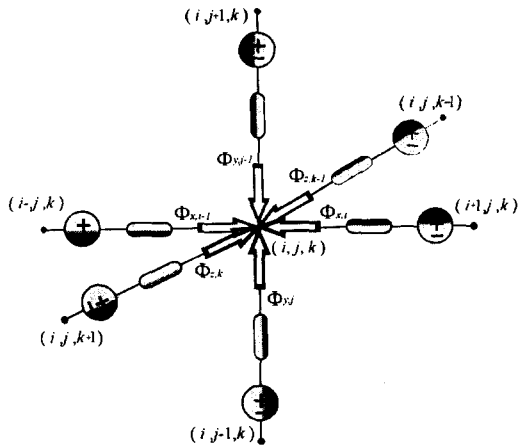


그림 3 한 절점에서의 3차원 등가 자기회로망의 구성과 자속 흐름도
 Fig. 3 Configuration of 3-D EMCN and flux flows at a node

3. 해석결과 및 검토

그림 4는 해석모델의 요소분할도를 나타낸다. 해석모델의 2차측 영구자석은 2극이며 1차측은 매극 매상당 슬롯수가 1로서 영구자석 한 개당 3개의 치/슬롯으로 구성되어 있다. 1차측은 2차측에 비해 매우 길므로 전체를 해석영역으로 채택하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 1차측 권선의 주기성을 이용하여 모델의 일부분만을 해석영역으로 하여 해석하였다. 해석시 영구자석의 단부효과를 고려하기 위하여 해석영역을 영구자석의 극수보다 1극 더 넓게, 즉 1차측의 치/슬롯수를 9개로 잡고 양 경계에 반주기 경계조건을 부여함으로써 1차측 권선의 주기성을 보장하였다. 또한 1차측 치의 웨지부

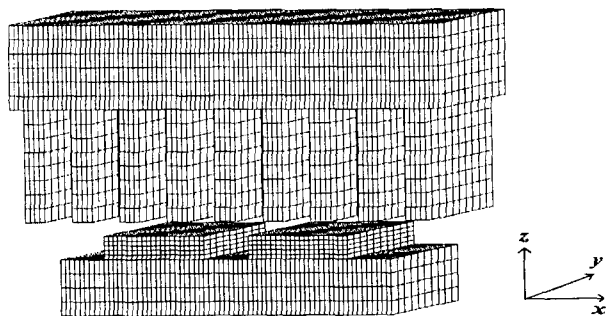


그림 4 해석모델의 요소분할도
 Fig. 4 Mesh shape of the analysis model

분은 그 크기가 작으므로 해석결과에 그다지 영향을 미치지 않는다고 보아 무시하여 그림과 같이 단순화하여 모델링하였다. 그림에는 나타나지 않았지만 공극상의 요소는 해석의 정밀성을 위하여 5층으로 분할하였다.

표 1은 해석모델의 사양을 나타낸다. 해석모델상에서 슬롯 피치는 10 [mm]이며 적층방향으로의 영구자석의 오버행은 10 [mm]까지 잡았다.

표 1 해석모델의 사양

Table 1 Specifications of the analysis model

구분	항 목	값
1차측	상 수	3 [phase]
	극간격	30 [mm]
	슬롯 피치	10 [mm]
	슬롯 폭	4.5 [mm]
	적층폭	40 [mm]
	정격 전류(최대치)	5.0 [A]
	매극 매상당 턴수	40 [turn]
2차측	영구자석의 높이	8 [mm]
	영구자석의 폭	21 [mm]
	영구자석의 길이	40~60 [mm]
	영구자석의 잔류자속밀도	1.15 [T]
공극	기계적 공극	3 [mm]

그림 5는 선형 동기전동기의 실험장치를 나타내고 있으며 실험장치의 전장길이는 약 350 [mm]이다. 실험은 오버행이 없는 모델과 오버행이 10 [mm]인 모델을 대상으로 하여 초기 배치시와 5, 10 [mm]의 skew 배치를 하였을 경우에 대하여 수행하였다. 2차측을 이동시키기 위하여 리니어 가이드와 베어링을 부착하여 세트를 구성하였으며, 이동차측에 1 [mm] 피치의 나사봉과 너트를 부착하여 너트 1회전당 이동자가 1 [mm] 이동하도록 하였다. Detent force는 너트를 180° 씩 회전시켜서 이동자를 0.5 [mm]씩 이동시켜가며 이동자의 측면에 부착된 로드셀을 이용하여 측정하였으며, 정추력은 이동자를 고정시키고 전류제어형 인버터를 사용하여 각 상의 전류를 일정하게 유지시킨 상태에서 측정하였다.

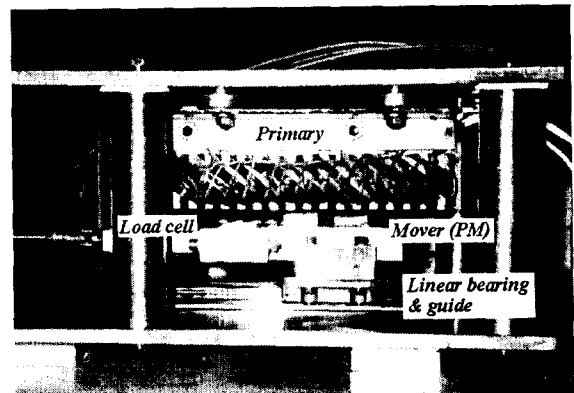
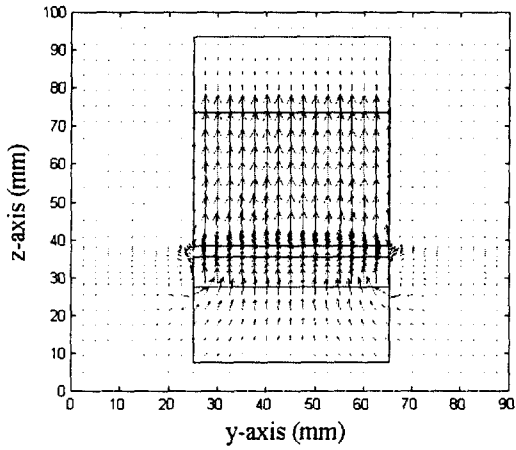


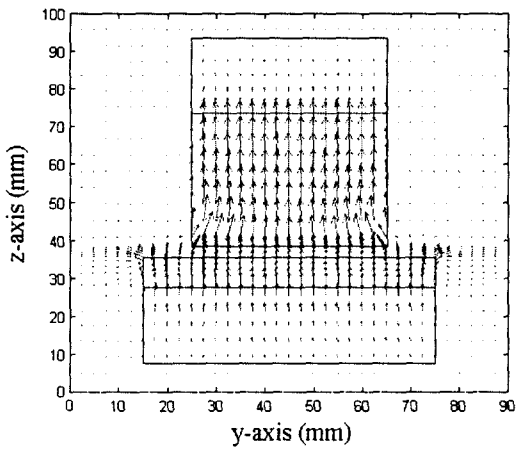
그림 5 실험 장치
 Fig. 5 Experimental set

3.1 공극자속밀도 분포

그림 6은 영구자석 오버행의 유무에 따른 초기모델에 대한 y-z 평면에서의 자속벡터도를 나타내고 있다. 그림 6(a)와 같이 오버행이 없는 경우에는 공극 양 단부에서 자속의 프린징 및 누설 현상이 나타나고 있으며, 그림 6(b)와 같이 오버행이 있는 경우에는 영구자석의 오버행 부분에서 발생한 자속의 일부가 1차측 치 부분으로 물리는 현상이 나타나고 있다.



(a) 오버행이 없는 경우

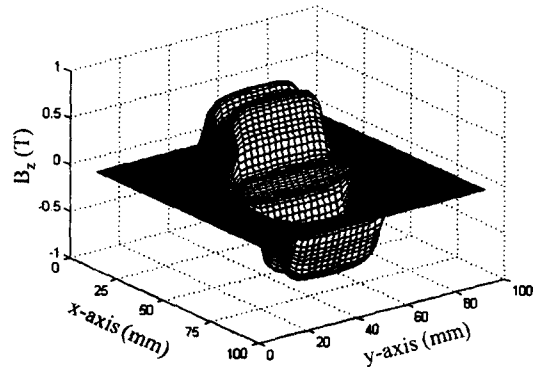


(b) 오버행=10 [mm]인 경우

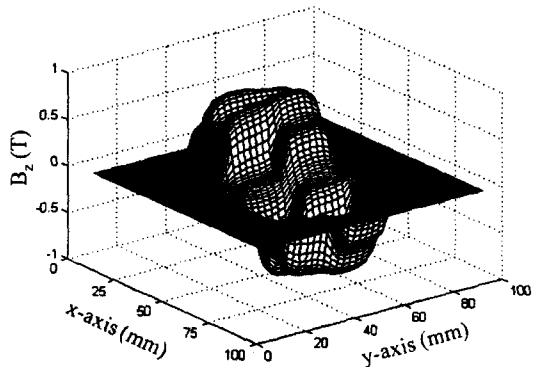
그림 6 y-z 평면에서의 자속벡터도
Fig. 6 Flux vector plot in y-z plane

그림 7과 그림 8은 영구자석의 배치방법에 따른 z 방향 공극자속밀도분포의 몇가지 예를 나타내고 있다. 자속밀도는 공극의 중앙에서의 값이며 1차측의 여자전류가 없는 경우이다. 그림 7을 보면 자속밀도가 y축(적층방향)상의 양 단부에서 많이 감소하고 있는데, 이는 그림 6(a)를 통하여 알 수 있듯이 선형 동기전동기의 큰 공극으로 인하여 y축상의 양 단부에서 프린징 자속 및 누설 자속량이 일반 회전기에 비해 많기 때문이다. 그림 8을 보면 자속밀도가 전반적으로 그림 7에서의 값보다 어느정도 증가하였으며 y축상의 양 단부에서

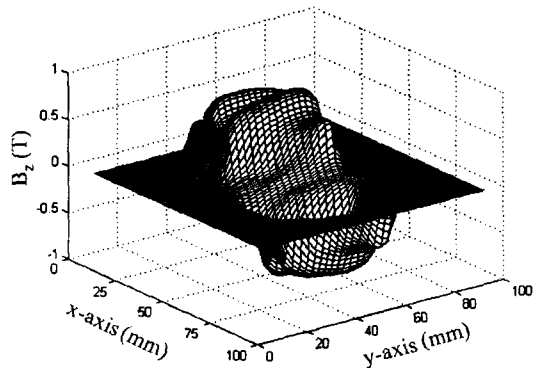
의 자속밀도값이 중앙부의 값보다 오히려 약간 큰 값을 나타내고 있는데, 이는 그림 6(b)에서 알 수 있듯이 영구자석의 오버행으로 인하여 오버행 부분에서 발생하는 자속이 1차측 코어쪽으로 집중됨으로 인하여 나타나는 현상이다. 또한 각 그림의 (b)를 보면 영구자석이 2분할된 y축 중앙부분에서의 자속밀도 분포가 영구자석의 배치형태대로 완전히 구분되지 않고 다소 경사를 보이고 있는데 이 또한 선형기의 큰 공극으로 인한 결과이다.



(a) 초기 모델 ($\delta = 0$ [mm])



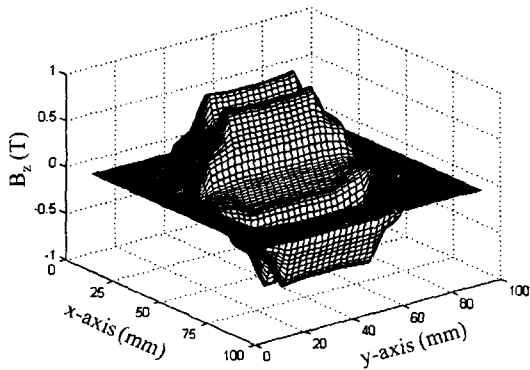
(b) 2분할 모델 ($\delta = 5$ [mm])



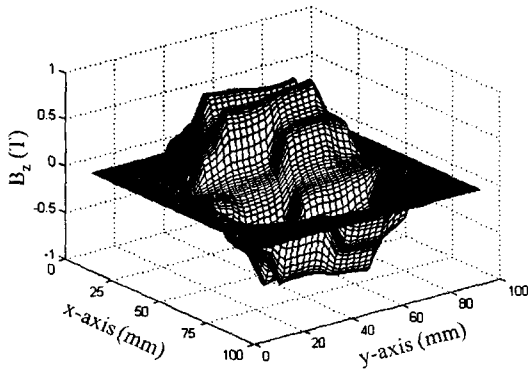
(c) Skew 모델 ($\delta = 10$ [mm])

그림 7 오버행이 없는 경우의 영구자석의 배치방법에 따른 공극자속밀도 분포

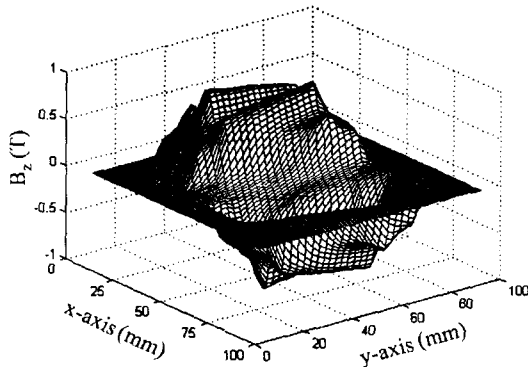
Fig. 7 Flux density distribution according to PM arrangement in case of no overhang.



(a) 초기 모델 ($\delta = 0$ [mm])



(b) 2분할 모델 ($\delta = 5$ [mm])



(c) Skew 모델 ($\delta = 10$ [mm])

그림 8 오버행이 있는 경우의 영구자석의 배치방법에 따른 공극자속밀도 분포

Fig. 8 Flux density distribution according to PM arrangement in case of no overhang

3.2 Detent force 특성

2분할 모델에 대한 detent force 특성 해석결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 10은 영구자석의 이동시 앞의 반 슬롯피치에서의 해석결과 피크치를 분할각에 따라 나타낸 것이다. Detent force의 피크치는 분할각이 증가함에 따라 감소하고 있다. Detent force가 영이 되는 분할각은 약 5.6 [mm]이며, 이 각은 슬롯피치의 반보다 약간 큰 값으로 나타났다. 이것은 분할된 영구자석간의 상호작용에 의한 것으로 사료된다.

그림 11과 그림 12는 오버행이 없는 경우와 10 [mm]인 경우의 영구자석 skew시의 detent force의 해석치와 측정치를 나타낸 것으로 해석치와 측정치가 어느정도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. skew각이 0 [mm]일 때 오버행이 10 [mm]인 모델의 detent force의 해석치는 오버행으로 인한 유효자속의 증가로 인하여 오버행이 없는 모델보다 약 22[%]정도 크게 나타났다. 오버행이 없는 모델에서 skew각이 10 [mm]인 경우, 즉 1 슬롯피치인 경우의 detent force는 해석치와 측정치 모두 많이 감소하기는 하였으나 완전히 없어지지 않고 있는데, 그 이유는 적층방향상의 양 단부에서의 자속밀도가 중심부에서의 자속밀도보다 낮기 때문이다. 그러나 오버행이 10 [mm]인 모델에서는 오버행의 영향으로 인하여 detent force의 양상이 반전되어 나타나고 있다.

그림 13은 skew각에 따른 detent force의 피크치의 해석결과를 나타내고 있다. detent force가 최소화되는 skew각은 오버행의 길이에 따라 다르게 나타나고 있으며, 그 각은 오버행이 0, 5, 10 [mm]인 경우에 각각 11.3, 9.7, 9.3 [mm]로 나타났다.

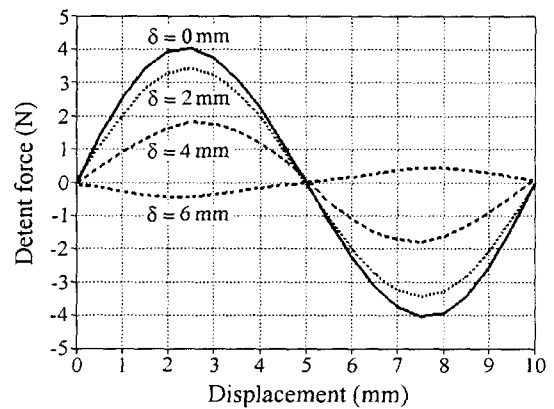


그림 9 영구자석 2분할시의 변위에 따른 detent force (오버행=0mm)

Fig. 9 Detent force according to displacement for segmented model (overhang=0mm)

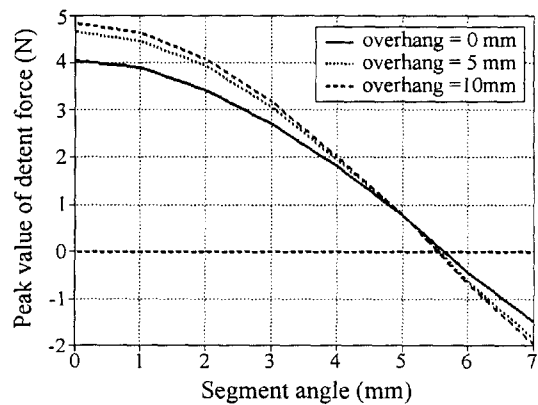


그림 10 영구자석 2분할 모델의 분할각에 따른 detent force의 피크치의 변화

Fig. 10 Peak value of detent force according to segment angle for segmented model

3.3 추력 특성

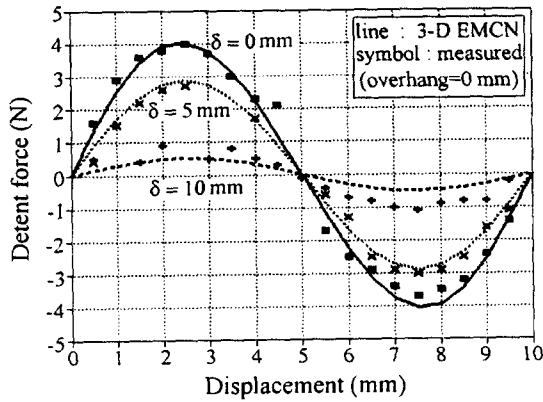


그림 11 영구자석 skew시의 변위에 따른 detent force (오버행=0mm)
 Fig. 11 Detent force according to displacement for skewed model (overhang=0mm)

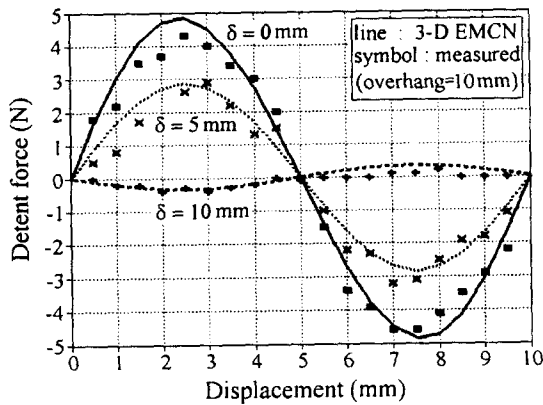


그림 12 영구자석 skew시의 변위에 따른 detent force (오버행=10mm)
 Fig. 12 Detent force according to displacement for skewed model (overhang=10mm)

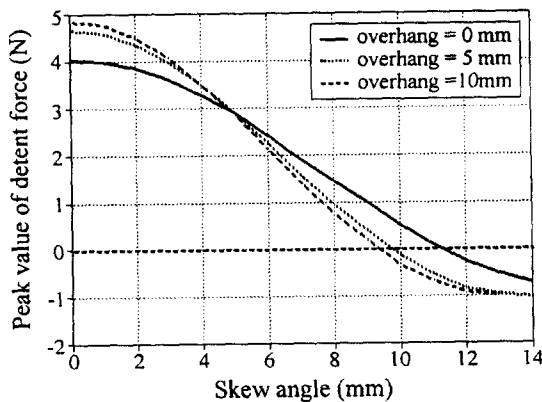


그림 13 영구자석 skew시의 skew각에 따른 detent force의 피크치의 변화
 Fig. 13 Peak value of detent force according to skew angle for skewed model.

그림 14는 1차측 권선에 부하각 90° 로 최대치 5 [A]의 전류를 인가하였을 경우 skew각과 영구자석의 오버행에 따른 정추력의 해석치와 실험치를 나타내고 있다. skew각에 따라 추력은 조금씩 감소하였으며 오버행이 있는 경우에는 감소의 추이가 조금 더 크게 나타났다. 이는 오버행이 있는 경우에는 오버행 부분의 영구자석에서 발생하는 자속의 영향으로 인하여 오버행이 없는 경우보다 skew의 효과가 더 크게 나타나게 되어 skew에 따른 계자자속의 기본과 성분의 감소율이 더 커지기 때문으로 사료된다.

그림 15는 영구자석의 오버행의 크기 변화에 따른 정추력의 해석결과를 나타내고 있으며 오버행의 크기가 커짐에 따라 추력의 증가율이 서서히 감소함을 알 수 있다.

그림 16은 초기 모델과 skew를 준 모델에 대한 부하각에 따른 정추력 특성 해석결과를 나타내고 있으며, 영구자석에 skew를 주므로써 추력의 고조파 성분이 현저히 감소하였음을 알 수 있다.

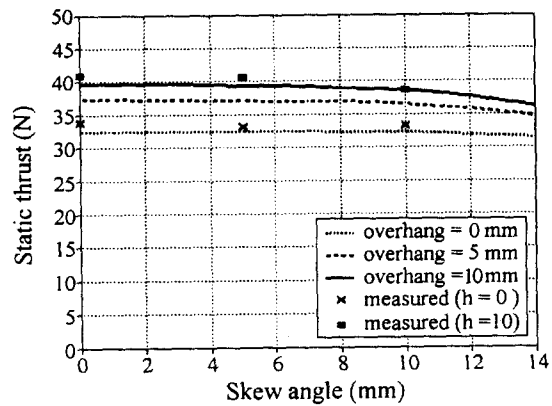


그림 14 영구자석 skew시의 skew각에 따른 정추력
 Fig. 14 Static thrust according to skew angle for skewed model

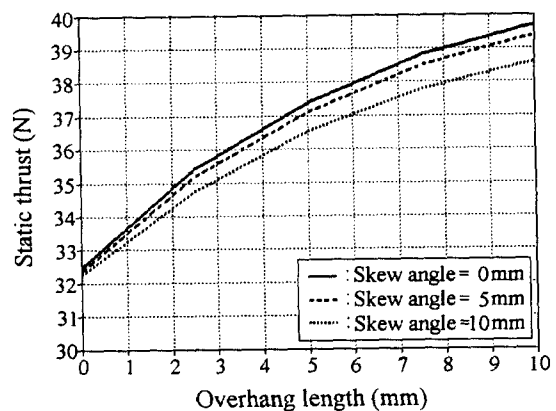


그림 15 영구자석 skew시의 오버행의 크기에 따른 정추력
 Fig. 15 Static thrust according to overhang length for skewed model

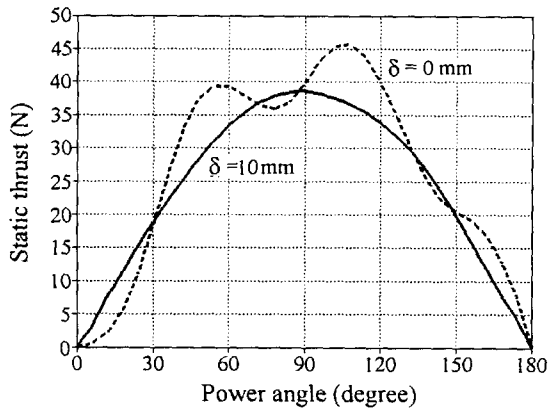


그림 16 영구자석 skew시의 부하각에 따른 정추력
Fig. 16 Static thrust according to power angle for skewed model

4. 결 론

본 논문에서는 3차원 등가자기회로방법을 사용하여 영구자석형 선형 동기전동기의 영구자석 배치방법에 따른 자계해석을 수행하였다. 해석결과를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 영구자석 2분할 모델의 경우, 분할된 자석들의 상호작용으로 인하여 최적의 분할각은 반 슬롯피치보다 조금 큰 각에서 결정되었다.
- (2) 영구자석의 오버행이 없는 skew 모델의 경우, 횡방향 단부에서의 낮은 자속밀도로 인하여 최적의 skew각은 1 슬롯피치보다 조금 큰 각에서 결정되었다.
- (3) 영구자석의 오버행이 있는 skew 모델의 경우, 오버행 부분의 영향으로 인하여 최적의 skew각은 오버행의 길이에 따라 변화하였다.

해석결과로부터 detent force가 최소가 되는 분할각 또는 skew각을 구할 수 있었으며, 해석치와 실험치를 비교함으로써 해석방법 및 해석결과의 타당성을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 영구자석형 선형 동기전동기의 설계시 영구자석의 오버행 시행 및 detent force 저감을 위한 영구자석의 배치방법 결정 등에 유용한 참고자료가 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] T. Ishikawa, G. R. Slemon, "A method of reducing ripple torque in permanent magnet motors without skewing", IEEE, Trans. on Magn., Vol. 29, No. 2, pp. 2028-2030, 1993.
 [2] R. Akmes, J. F. Eastham, "Design of permanent magnet flat linear motors for standstill applications", IEEE Trans. on Magn., Vol. 28, No. 5, pp. 3042-3044, 1992.
 [3] C. Studer, A. Keyhani, T. Sebastian and S. K. Murthy, "Study of cogging torque in permanent magnet machines", IEEE IAS Annual Meeting, pp. 42-49, 1997.

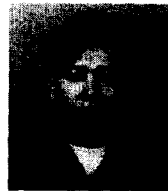
[4] M. A. Alhamadi and N. A. Demerdash, "Three dimensional magnetic field computation by a coupled vector-scalar potential method in brushless DC motors with skewed permanent magnet mounts - the formulation and FE grids", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 9, No. 1, pp. 1-14, March, 1994.
 [5] 임달호, 홍정표, "3차원 등가자기회로방법에 의한 영구자석모터의 자계해석에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 43, No. 9, pp. 1432-1439, 1994.
 [6] J. Hur, S. B. Yoon, D. Y. Hwang and D. S. Hyun, "Analysis of PMLSM using 3 dimensional equivalent magnetic circuit network method", IEEE Trans. on Magn., Vol. 33, No. 5, pp. 4143-4145, 1997.

저 자 소 개



정 인 성 (鄭 因 城)

971년 3월 10일생. 1993년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전자부품연구원 정밀기기연구센터 전임연구원
 Tel : 0333-610-4363
 E-mail : isjung@nuri.keti.re.kr



허 진 (許 眞)

1968년 11월 13일생. 1993년 인천대 전자공학과 졸업. 1995년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한양대 산업과학연구소 선임연구원
 E-mail : emcn@unitel.co.kr



현 동 석 (玄 東 石)

1950년 4월 8일생. 1973년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1984년~1985년 미국 Toledo 대학 객원교수. 1993년 독일 Berlin 공대 객원교수. 1994년 러시아 Khabarovsk 대학 객원교수. 1999년 미국 Cincinnati 대학 객원교수. 현재 한양대 공대 전자전기공학부 교수.
 Tel : 02-2290-0345
 E-mail : dshyun@email.hanyang.ac.kr