

# 가동 영구자석형 PMLSM 추력리플 최소화를 위한 영구자석 형상 최적화

論 文

54B-2-1

## Permanent Magnet Shape Optimization of Moving Magnet type PMLSM for Thrust Ripple Minimization

尹康準\* · 李東燁† · 金奎卓\*\*

(Kang-Jun Yoon · Dong-Yeup Lee · Gyu-Tak Kim)

**Abstract-** In this paper, optimum shape design of permanent magnet in slotted type Permanent Magnet Linear Synchronous Motor(PMLSM) is progressed for minimization of detent force owing to structure of slot-teeth and thrust ripple by harmonic magnetic flux of permanent magnet. In order to reduce remodeling time as changing design parameter for Permanent Magnet shape optimization, the moving model node technique was applied. The characteristics of thrust and detent force computed by finite element analysis are acquired equal effect both skewed basic model and optimum model which is optimization of permanent magnet shape. In addition to, thrust per unit volume is improved 4.12[%] in optimum model.

**Key Words :** Moving Magnet Type Permanent Magnet Linear Synchronous Motor(PMLSM), Moving Model Node Technique, Shape Optimization of Permanent Magnet

### 1. 서 론

최근 여러 산업 분야에서 전기 기기를 이용한 직선 운동 구동 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 예전에는 회전기 (Rotary Motor) 를 구동시켜 이를 직선 운동으로 변환하는 기계 장치를 사용하여 직선 운동을 구현해 왔으나, 점점 기계적 변환 장치 없이 선형 전동기로 직접 구동하는 방식이 증가 일로에 있다. 기계적 변환 장치는 구조의 복잡성은 물론 기계적인 소음, 마찰, 진동, 손실 등으로 인해 시스템 효율의 저하는 물론 반동 (Backlash), 미끄러짐 등의 비선형성에 의해 정밀 위치제어 및 고속화에 한계가 있다[1,2].

반면, 선형전동기는 회전형 전동기에 비해 전동기 자체의 효율이 낮은 단점을 가지지만, 직선 추력을 발생시키므로 동력 변환 시스템에서 발생하는 문제점을 근본적으로 제거할 수 있어 리니어 시스템의 전체적인 효율 및 성능향상을 기대할 수 있다. 최근에는 전기철도 등의 운송 수단, 공장 자동화의 반송 시스템, 빌딩의 엘리베이터와 에스컬레이터, 그리고 반도체 제조 장비 및 CNC 등의 직선 추력을 요구하는 분야는 물론 OA기기 등에 이르기까지 그 응용분야가 확대되고 있다[1,2]. 그 중 영구자석형 선형 동기전동기(Permanent Magnet Linear Synchronous Motor: PMLSM)는 효율이 높고 추력/중량비가 높아 고추력화 및 고속화가 가능하다는 장점이 있어 각종 FA기기, OA기기 등의 구동원으로 널리 이용되고 있다.

PMLSM은 영구자석형 회전기에서의 코깅 토크와 같이 영구자석과 치-슬롯의 상대적인 위치 변화 때문에 디텐트력이 발생하게 되는데, 공심형의 PMLSM에서는 디텐트력이 발생하지 않아 추력 리플이 매우 적으나, 추력이 절심형 PMLSM의 1/3정도 밖에 되지 않는다. 반면, 철심형 PMLSM은 슬롯 - 치 구조로 인하여 디텐트력이 발생하여 추력 리플이 발생하는 단점이 있으나 추력밀도가 높은 장점이 있다. 디텐트력은 구동 시 기기의 추력 맥동으로 작용하여 소음 진동을 유발할 뿐 아니라 제어 성능을 저하시킨다. 따라서, 고속 정밀 제어가 요구되는 분야에서는 전동기 설계 시 운전 특성에 악영향을 미치는 디텐트력의 영향을 최소화시키는 설계가 반드시 필요하다.

PMLSM의 추력 리플은 크게 슬롯 - 치 구조 및 단부효과에 의한 디텐트력 및 영구자석의 고조파 자속에 의하여 발생한다. 그 중, 가동 영구자석형 PMLSM에서는 단부효과에 의한 디텐트력은 무시할 수 있다[3]. 따라서, 슬롯 - 치 구조에 의한 detent force 및 영구자석의 고조파 자속을 최소화 시키는 방법을 강구하게 되어 여러 가지 방법이 제안되었다[3,4]. 영구자석의 폭을 조정하는 방법은 특정한 자석 폭에서는 디텐트력을 제거할 수 있으나 영구자석의 단방향 착자로 인한 고조파 자속은 제거시킬 수 없는 단점이 있다. 또한 영구자석의 Edge부를 컷팅하는 방법은 영구자석의 폭 조절법과는 반대로 디텐트력을 제거시킬 수 없는 단점이 있어 PMLSM에서는 기존 제안한 방법들이 효율적이라고 하기에 다소 무리가 있는 것 또한 사실이다.

따라서, 본 논문에서는 PMLSM의 치 - 슬롯 구조에 의한 디텐트력 저감 및 영구자석의 고조파 자속에 의한 추력 리플을 최소화 시키기 위하여 영구자석 폭 변화 및 영구자석의 Edge부를 컷팅하는 방법을 사용하여 최적화 설계를 진행하였다. 최적화 기법으로는 신경회로망법을 이용하였으

† 교신저자, 正會員 : 昌原大學校 電氣工學科 博士課程

E-mail : dongyeuplee@changwon.ac.kr

\* 學生會員 : 昌原大學校 電氣工學科 碩士課程

\*\* 正會員 : 昌原大學校 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2004年 3月 22日

最終完了 : 2004年 12月 16日

며 최적화를 위한 학습 데이터는 유한요소 해석을 이용하여 취득하였다. 학습데이터를 얻기 위한 유한요소 해석시의 단점인 설계 파라미터의 변화에 따른 pre, post processor의 반복 작업에 능동적으로 대처하기 위하여 모델절점이동 기법(moving model node technique)을 이용하여 재 모델링 시간을 단축하였다. 본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 본 연구에서 제시한 결과와 현재 널리 이용되고 영구자석에 스쿠를 시행한 결과와 비교, 검토하였다.

2. 가동 영구자석형 PMLSM

표 1은 본 연구에서 적용한 PMLSM의 기본적인 설계 파라미터 및 전기적 사양을 나타낸 것이다.

표 1. 시작기의 제원

Table 1. Specifications of PMLSM

	Item	Symbol	value [unit]
stator	Pole pitch	$\tau$	69.0 [mm]
	Slot pitch	$\tau_s$	11.5 [mm]
	Slot width	$w_s$	6.5 [mm]
	Rated Current	I	2.7 [A]
	Slot/pole/phase	Q	2
Mover (PM)	Height	H	10 [mm]
	Width	$W_{pm}$	60 [mm]
	Material		Nd-Fe-B
	Residual induction	$B_r$	1.2 [T]
	Mechanical airgap	$g_m$	5.0 [mm]
	Rated thrust	F	250 [N]

그림 1에 PMLSM의 자속 분포도를, 그림 2에 정추력 및 디텐트력 특성을 나타내었다. 그림 1, 2에서 알 수 있듯이 영구자석이 이동하는 단 2차형 구조에서는 가동자의 단부에서의 누설자속이 거의 발생하지 않아 단부효과에 의한 추력 리플은 나타나지 않는다. 이것은 영구자석이 이동하는 단 2차형 구조에서만 나타나는 현상으로 가동자의 단부쪽으로 영구자석의 자속 경로가 형성되지 않기 때문이다. 따라서, 치 - 슬롯 구조 및 영구자석의 고조파 성분 자속에 의한 디텐트력만 추력 리플로 존재하게 되므로 이에 대한 저감 대책이 요구된다.

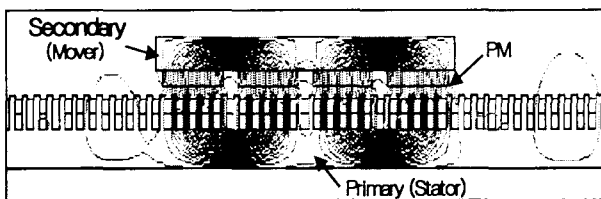


그림 1 PMLSM의 등포텐셜도  
Fig. 1 Equi - potential line

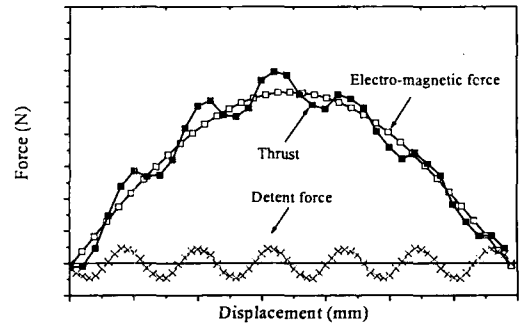


그림 2 PMLSM의 추력  
Fig. 2 Thrust of PMLSM

PMLSM의 디텐트력은 영구자석의 폭과 고정자 슬롯피치에 의존하여 크게 변화한다. 따라서, 일정한 슬롯피치에 대하여 영구자석 폭을 적절히 조절함으로써 디텐트력을 효과적으로 제거시킬 수 있다. 그림 3은 영구자석 폭 변화에 따른 디텐트력 및 전자기력(electromagnetic force)의 최대치의 변화 특성을 나타낸 것이다.

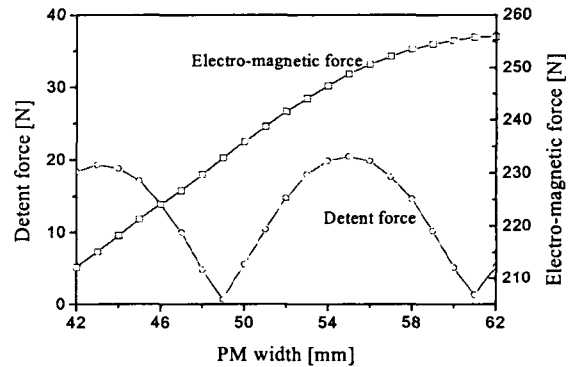


그림 3 영구자석 폭에 따른 전자기력 및 디텐트력 변화  
Fig. 3 Detent force, EM force according to PM width

본 연구에서 적용한 모델의 슬롯피치는 11.5[mm]이다. 영구자석 폭은 42[mm]에서 62 [mm]까지 변화 시키면서 디텐트력과 전자기력의 변화를 관찰하였다. 전자기력의 경우 영구자석 폭이 증가함에 따라 지속적으로 증가하다가 어느정도 영구자석 폭이 커지면 증가폭이 감소하면서 포화 현상을 보이고 있음을 알 수 있으며 디텐트력을 최소화 하기 위한 영구자석 폭은 아래 식에 의해서 결정된다[3,4].

$$W_{pm} = (n + 0.25) \cdot \tau_s$$

여기서,  $\tau_s$ (slot pitch):11.5[mm], n: integer(n=1,2,3,...)이다.

위 식에 의해서 디텐트력이 제로가 되는 영구자석 폭을 계산하면 48.875[mm], 60.375[mm]가 된다.

영구자석의 폭이 48.875[mm]인 경우, 추력이 60.375[mm]보다 크게 떨어지므로 본 논문에서는 영구자석 폭을 60.375[mm]로 선택하였으며 제작상의 어려움으로 인하여 그 폭은 60[mm]을 기본모델로 하였다.

기본모델의 디텐트력 해석 결과 디텐트력이 완전히 제거 되지 않으므로 이를 제거시키기 위하여 영구자석형 기기에서 널리 이용되고 있는 방법인 영구자석에 스큐를 시행하는 방법을 채택하였다. 그림 3은 기본모델에 1슬롯피치(11.5mm)만큼 스큐를 시행한 모델과 스큐를 시행하지 않은 기본 모델의 디텐트력을 비교한 것이다.

그림4에서 기본모델의 디텐트력은 피크치가 3.84[N]이었으나, 1슬롯 피치만큼 스큐를 시행하면 디텐트력의 피크치가 0.2[N]으로 크게 감소하여 디텐트력에 의한 추력 리플은 거의 없어지게 됨을 알 수 있다.

그림 5는 기본모델, 스큐 모델의 실험치와 이론치를 비교하여 나타낸 것이다. 이론치와 실험치가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 발생추력은 Maxwell stress tensor법을 이용하여 계산하였으며 영구자석의 스큐는 성층방향으로 4개의 슬라이스로 적용하였다[5]. 그림 5에서 스큐를 시행한 경우 최대 추력은 254.11[N]에서 249.92[N]으로 기본모델에 비해 4.19[N]만큼 감소하였다.

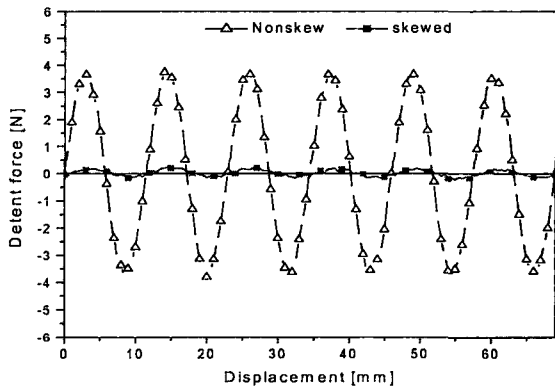


그림 4 기본 모델의 디텐트력  
Fig. 4 Detent force of Basic model

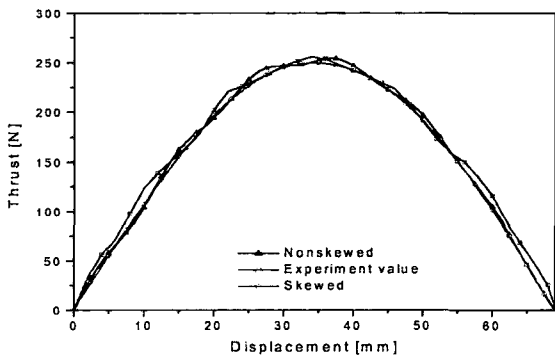
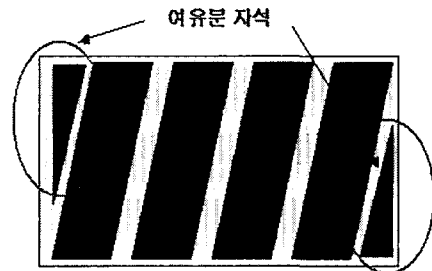


그림 5 기본모델의 추력 및 실험치  
Fig. 5 Thrust and Experimental value of Basic model

### 3. 추력 리플 최소화를 위한 영구자석 형상 최적화

가동 영구자석형 PMLSM에서는 영구자석에 스큐를 시행

하면 디텐트력이 제로가 되어 일정한 추력을 발생하나 다음과 같은 문제점이 발생하게 된다. 그림 6은 영구자석을 스큐 시킨 경우와 스큐를 시행하지 않은 모델의 가동자를 나타낸 것이다. 스큐를 시행하게 되면 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 회전기에서는 나타나지 않으나 선형기에서는 가동자의 단부부분에 모양이 전혀 다른 별도의 자석이 필요하게 됨은 물론 기기의 부피도 스큐를 시행하지 않은 모델에 비해 커지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 영구자석의 형상을 변화시켜서 스큐를 줄 때와 같은 효과를 낼 수 있는 방법을 모색하였다. 즉, 영구자석의 Edge부분의 폭과 높이를 적당히 컷팅하여 디텐트력이 최소화 되도록 영구자석의 형상을 최적화시켰다.



(a) 스큐모델



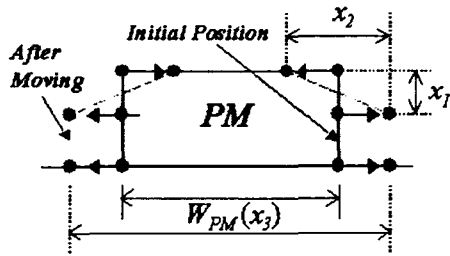
(b) 일반형

그림 6 가동자 비교  
Fig. 6 Comparison of the movers

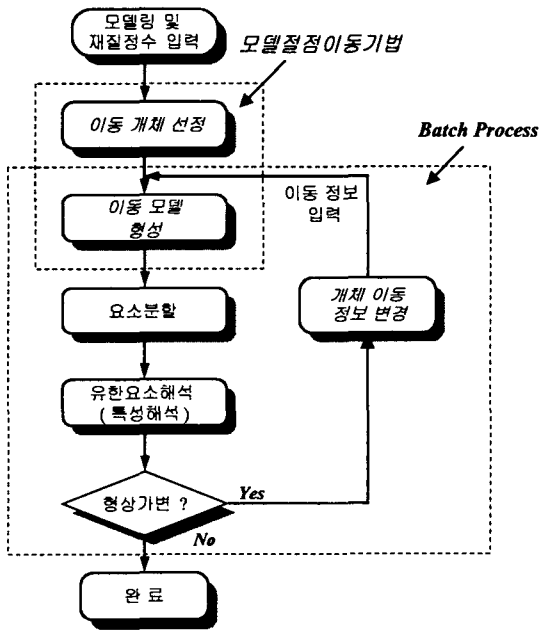
유한요소법의 장점은 해석대상이 복잡한 모델이라도 해석이 쉽고 그 결과도 신뢰성이 높다는 점에 있다. 그러나, 기기의 성능개선을 위한 형상 및 치수 변화에 관련된 설계변수의 변화에 따른 특성해석을 행하는 경우 각각의 설계변수 변화에 따른 해석모델의 모델링, 재질정수 입력 및 요소분할 등의 전처리 작업이 요구되기 때문에 특성해석에 많은 시간과 노력이 요구된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 초기 모델링 데이터(절점, 선, 영역 등)를 이동시킨 후 요소분할을 통하여 각각의 설계변수 변화에 따른 전처리 데이터를 자동으로 생성하도록 하면 치수의 변화가 빈번한 최적화 과정에서 매우 효과적이다.

그림 7은 모델절점이동기법(moving model node technique)의 적용과정을 나타낸 것이다[3,4]. 먼저 치수를 가변하고자 하는 해석모델의 모델링 및 재질정수 입력이 선행되어야 한다. 그리고, 해석모델에서 이동하고자 하는 개체(선, 라인, 이동라인 등)에 대한 정보를 스크립트 형태로 작성한다. 이동개체의 선정시 개체 이동 후 초기 요소분할에

쓰이는 절점간격의 변화를 방지하기 위하여 고정 절점 간격을 유지하도록 한다. 이동모델은 개체의 이동 정보를 사용하여 초기 모델링 데이터를 변형하여 새로운 이동모델 데이터를 형성한 후 미리 입력된 재질정보를 이용하여 자동으로 생성된다. 모델절점이동기법에 의한 생성모델은 요소분할 후 특성해석에 이용될 수 있으며 개체이동 정보를 변경함으로써 새로운 치수나 형상을 가진 해석모델의 반복적인 생성이 가능하다. 따라서, 개체이동 정보의 입력, 요소분할과 특성해석을 일괄처리(Batch process)하도록 하여 모델링과 전처리의 번거로움을 줄이고 해석시간을 단축시킬 수 있다. 본 논문에서는 모델절점이동기법을 이용하여 영구자석의 형상 변화에 대한 특성해석을 행하였다.



(a) 영구 자석 형상의 모델절점이동기법



(b) 모델절점이동기법의 적용

그림 7 영구자석 형상 최적화를 위한 batch Process  
Fig. 7 Batch process for optimization of PM shape

영구자석의 형상 최적화는 모델절점이동기법을 통해서 유한요소 해석을 통한 결과를 샘플데이터로 신경회로망법을 이용하였다. 이때의 설계 파라미터로는 그림 7(a)에 나타낸 바와 같이 영구자석 edge부분의 자석 절삭 깊이( $X_1$ ), 절삭 폭( $X_2$ ), 영구자석 폭( $X_3$ )를 설정하였다. 목적 함수로는 추력 리플의 주 원인인 디텐트력 및 발생 추력으로 설정하였으며,

은닉층을 2층, 각 은닉층의 뉴런 수는 40개로 한 multi-layer perceptron형 feed forward error back propagation algorithm을 사용하였다[6,7].

표 2 설계변수 및 제약 조건

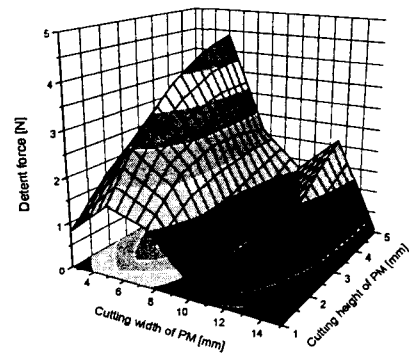
Table 2 Design parameter and restricted conditions

설계 변수	설계 변수 변화 범위
$X_1$	$0[\text{mm}] \leq X_1 \leq 5[\text{mm}]$
$X_2$	$0\text{mm} \leq X_2 \leq 15[\text{mm}]$
$X_3$	$59[\text{mm}] \leq X_3 \leq 63[\text{mm}]$
제약 조건	추력변동 $\leq$ 정격추력의 $\pm 3\%$ 미만

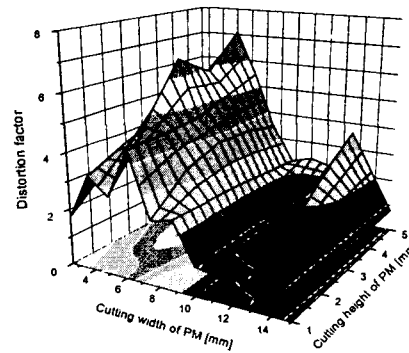
표 2에 각 설계변수의 변화범위 및 제약조건을 나타내었다. 즉, 평균 학습오차가 1[%] 이내로 수렴할 때까지 오차역전과 학습법에 의하여 반복 학습을 하였다. 그리고 제약조건으로 추력의 변화범위를 기본모델의 추력의  $\pm 3\%$  이내로 설정하였으며 이를 표 2에 나타내었다.

3.1 신경회로망에 의한 최적 설계 및 특성 고찰

그림 8은 영구자석의 절삭 폭 및 깊이 변화에 따른 디텐트력 및 발생 추력의 왜형율에 대한 신경회로망 해석 결과이다.



(a) 디텐트력

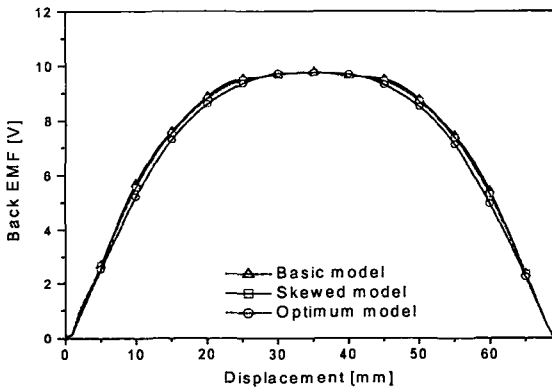


(b) 추력의 왜형율

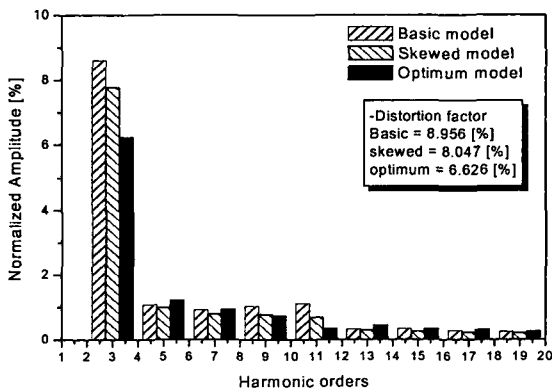
그림 8 신경회로망에 의한 계산 결과  
Fig. 8 Calculation results using neural network

영구자석의 절삭 폭 및 깊이가 증가할수록 추력은 감소한다. 그러나 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 영구자석의 절삭 폭 및 깊이에 따라 추력 리플에 크게 영향을 미치는 디텐트력은 감소하지 않았으며 절삭폭이 15[mm]부근에서는 디텐트력은 크게 감소하나 추력도 동시에 크게 감소하여 제약조건을 만족하지 못함을 알 수 있다. 따라서, 제약조건을 만족하는 최적 모델은 영구자석 폭 61[mm], 영구자석의 절삭 폭 10[mm], 절삭 깊이가 3[mm]만큼 영구자석의 단부를 절삭한 모델이다.

그림 9는 역기전력 특성을 나타낸 것이다. 그림 9에서 알 수 있는바와 스큐를 시행한 모델의 역기전력 왜형율은 8.05[%]에서 본 연구에서 제안한 영구자석의 형상 최적화 모델에서는 6.63[%]로 감소하였다. 이는 영구자석의 단방향 착자에 의한 고조파 성분 자속에 의한 영향이 영구자석의 형상을 최적화시키므로써 감소하였기 때문이다. 그러나, 영구자석의 형상 변화에 따라 인덕턴스는 아무런 영향을 받지 않으므로 동일한 값을 얻었다.



(a) 역기전력



(b) 역기전력의 고조파 성분 분석

그림 9 역기전력  
Fig. 9 Back EMF

그림 10은 최적모델과 기본모델, 스큐를 시행한 모델의 디텐트력 해석 결과를 나타낸 것이다. 디텐트력 해석결과

스큐를 시행한 모델과 최적모델의 디텐트력 값은 0.21[N]로 스큐 시행시의 0.2[N]와 대동소이하였다. 즉, 스큐를 시행한 경우와 동일하게 영구자석의 형상을 변화시킴으로써 디텐트력을 저감시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

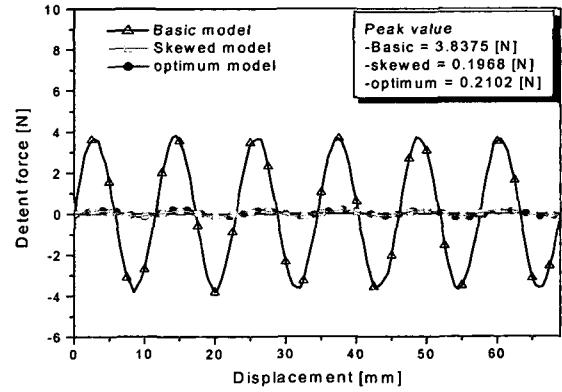


그림 10 디텐트력  
Fig. 10 Detent force

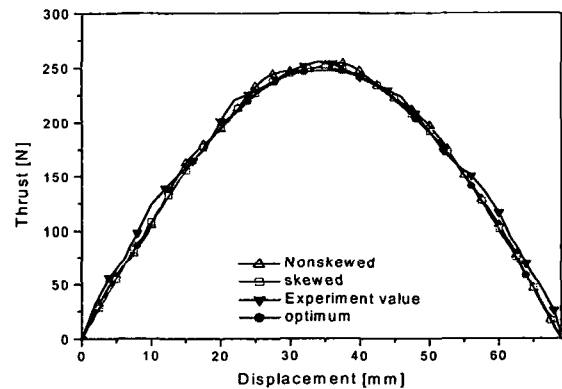


그림 11 추력  
Fig. 11 Thrust

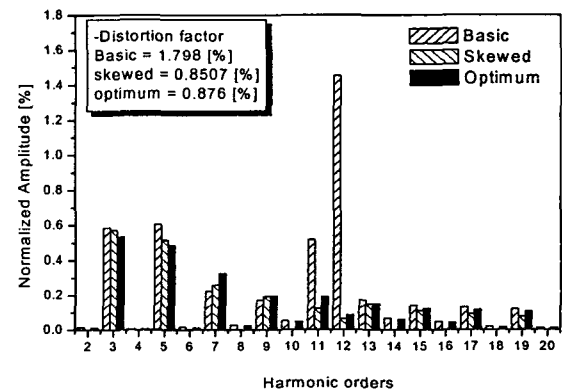


그림 12 추력의 고조파 분석  
Fig. 12 Analysis of harmonic component of thrust

그림 11은 최적모델과 기본모델, 스큐를 시행한 모델의 추력의 유한요소해석 결과 및 실험치를 비교한 것이다. 그림 11에서 추력특성 해석결과 최적모델의 추력 피크치는 247.4[N]으로 기본모델에 비해서는 2.6[%] 감소하였으나 스큐 시행모델의 249.92[N]과 비교하면 대동소이하다. 그림 12는 각 모델에서의 추력에 대한 고조파 성분 분석결과이다.

그림 12의 스큐를 시행한 모델과 최적모델의 발생 추력의 왜형률 분석결과에서도 알 수 있는바와 같이 영구자석의 형상을 변화시킴으로서 스큐를 시행한 모델과 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 영구자석의 형상을 최적화한 경우에는 슬롯고조파에 해당되는 12고조파 부분에서는 스큐를 준 모델에 비해 고조파 함유율이 크게 나타났다. 그러나 그 왜형률은 0.876[%]로 스큐모델의 0.8507[%]와 대동소이하였다. 스큐를 시행한 모델은 저주파 대역에서의 고조파 함유율이 최적모델에 비해 크게 나타났다. 그림 12에서 알 수 있는 바와 같이 추력 특성을 고조파 분석하면 스큐 시행 및 최적화 모델에서, 발생 추력의 왜형률(Distortion factor)은 기본모델의 1.798[%]에서 0.8507, 0.87[%]로 크게 감소하였다 이는 슬롯고조파 성분인 12고조파 성분이 크게 감소하였기 때문이다.

그러나, Matlab을 이용하여 고조파 분석을 행하는 경우 완전한 정현파(Sine wave)를 분석해도 데이터 개수가 유한개이면 왜형률이 제로가 나오지 않게 되는 계산상의 오차가 존재하게 된다. 따라서, 추력 특성 분석에서도 유한개의 데이터로 고조파를 분석하였기 때문에 계산상의 오차를 제하면 기본모델에 스큐를 시행하였을 때와 영구자석의 형상을 최적화한 경우 모두 발생 추력 왜형률은 거의 제로가 되는 정현파에 가까운 결과를 얻을 수 있었다.

그림 13은 최적모델과 기본모델, 스큐를 고려한 기본모델의 정상상태 운전특성(부하각 90°)을 유한요소해석 결과를 비교한 것이다.

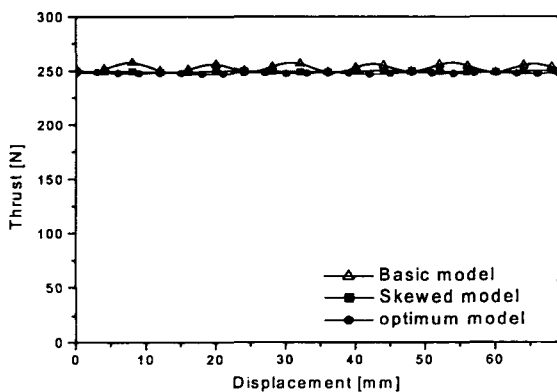


그림 13 정상상태 운전특성 (부하각 90°)  
Fig. 13 Thrust of PMLSM in steady state operation

정상상태 운전특성결과 기본모델에서는 추력 리플이 크게 나타났지만 스큐를 시행한 모델과 최적모델에서는 일정한 추력이 발생하는 것을 확인할 수 있어 양호한 설계가 이루어졌음을 알 수 있다.

영구자석을 취부한 요크의 두께는 10[mm]이다. 따라서,

가동자 부피는 스큐를 시행한 경우 1.15(슬롯 피치) × 2(영구자석 및 요크 두께) × 7.8(Z방향 길이) = 17.94[cm<sup>3</sup>]만큼 증가하게 된다. 그러므로 단위 부피당 추력비를 계산하면 최적모델의 경우 0.59 [N/cm<sup>3</sup>]으로 스큐 모델의 경우 0.5665 [N/cm<sup>3</sup>]에 비해 4.12[%]향상되었다. 즉, 보다 콤팩트한 설계가 이루어졌음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 PMLSM의 운전 특성을 향상시키기 위하여 영구자석의 형상 최적화 설계를 수행하였다. 최적화 기법으로는 신경회로망을 적용하였으며, 설계 파라미터로는 영구자석 폭, 영구자석 단부의 컷팅 폭 및 깊이를 설정하였다. 즉, 철심형 PMLSM에서 나타나는 치 - 슬롯 구조에 의한 디텐트력 및 영구자석의 고조파 성분 자속에 의한 추력 리플을 최소화 시키기 위하여 영구자석의 형상 최적화 설계를 수행하였다. 영구자석의 형상 최적화를 위한 설계 파라미터의 변화에 따른 재 모델링 시간을 단축하기 위하여 모델절점이동기법을 적용하였다.

추력 및 디텐트력 특성은 유한요소해석을 통해 기본모델에 스큐를 주었을 때와 영구자석 형상을 최적화 설계를 진행한 결과 동일한 효과를 얻음은 물론 단위 체적당 발생추력이 4.12[%]향상되는 양호한 결과를 얻었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원 사업 및 지식기반기계 부품·소재 연구개발 클러스터사업단의 지원에 의한 것입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] I. Boldea, S. Nasar, "Linear Motion Electromagnetic Systems", John Wiley and Sons, 1985.
- [2] J. F. Gieras, Z. Piech, "Linear Synchronous Motors", Transportation and Automation Systems, CRC Press, 1999.
- [3] Ki-Chae Lim, Joon-keun Woo, Gyu-Hong Kang, Jung-Pyo Hong, Gyu-Tak Kim, "Detent force Minimization Techniques in Permanent Magnet Linear Synchronous Motor", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 38, No. 2, pp. 1157-160, 2002.
- [4] 임기채, "수치해석법을 이용한 영구자석 선형동기전동기의 특성해석 및 제어기 구현", 창원대학교 박사논문, 2000년.
- [5] 김병택, 권병일, 박승찬, 우경일, "사구슬롯이 있는 3상 농형 유도 전동기의 인버터 구동시 토오크 특성 및 회전자 바 동손분포 해석", 대한전기학회 논문지, Vol. 49, No. 12, pp. 797-806, 2000.
- [6] 박승찬, "유한요소법과 신경회로망을 이용한 직선형 유도전동기의 설계 및 동특성 해석에 관한 연구", 한양대

학교 박사논문, 1995.

[7] Simon Hayakin, "Neural Networks a comprehensive Foundation", Prentice Hall, 1999.

## 저 자 소 개



### 윤 강 준(尹 康 準)

1977년 12월 09일생. 2003년 창원대 공대 전기공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 055-279-7642

Fax : 055-263-9956

E-mail : kjyoon@changwon.ac.kr



### 김 규 탁(金 奎 卓)

1961년 11월 12일생. 1982년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1996년~1997년 일본 早稻田大 客員研究員. 현재 창원대학교 공대 전기공학과 교수.

Tel : 055-279-7515

Fax : 055-263-9956

E-mail : gtkim@sarim.changwon.ac.kr



### 이 동 엽(李 東 燁)

1976년 3월 29일생. 2001년 창원대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 055-279-7642

Fax : 055-263-9956

E-mail : dongyeuplee@changwon.ac.kr