

영구자석 배열에 따른 PMLSM의 진동 및 효율 특성에 관한 연구

論 文

58-2-9

A Study on the Vibration and Efficiency Characteristics of PMLSM According to Permanent Magnet Arrangement

李東燁* · 李承勳** · 張基鳳*** · 金奎卓†

(Dong-Yeup Lee · Seung-Hoon Lee · Ki-Bong Jang · Gyu-Tak Kim)

Abstract - This paper deals with a vibration and efficiency characteristics of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor according to the PM arrangement. The generated force such as the thrust, detent force, normal force and lateral force are compared with analysis values and experimental ones. Furthermore characteristics of vibration and efficiency are estimated by experiments.

Key Words : Vibration, Efficiency, Lateral force, 3D FEM, Measuring system

1. 서 론

산업화의 발달에 따른 자동화 설비의 증대로 인하여 직선 운동시스템의 구동원으로 직선 추력을 직접 발생시키는 선형전동기의 적용이 증가하고 있다. 선형전동기를 직선운동시스템에 직접 이용함으로써 회전기를 이용하는 직선운동시스템과 비교하여 높은 신뢰성을 가지는 급가속 및 급감속 상태의 운전 및 고속 운전의 실현이 가능하게 되었다. 특히, 선형 전동기 중, 영구자석 선형 동기전동기(Permanent Magnet Linear Synchronous Motor)는 영구자석을 계자로 사용하기 때문에 다른 선형전동기에 비해 상대적으로 효율이 높고 추력/중량비가 높아 고추력화 및 고속화가 가능하다는 이점에 의해 이에 대한 관심이 고조되고 있다.

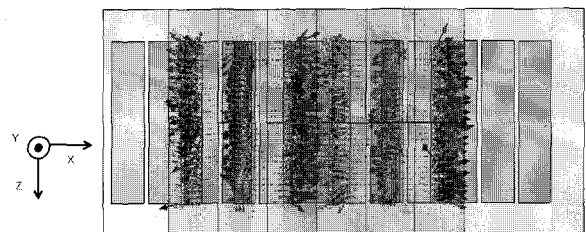
PMLSM은 치-슬롯과 영구자석의 상대적인 위치변화에 따라 디텐트력이 발생하며, 이 힘은 PMLSM의 운전시 추력의 리플 성분으로 나타나게 된다[1,2]. 일반적으로 디텐트력에 의한 추력리플의 저감을 위하여 PMLSM의 영구자석이 나 전기자 철심에 skew를 시행한다. 하지만, skew를 시행하면 디텐트력은 저감시킬 수 있으나, PMLSM의 운전방향(x 방향)과 직각방향(z 방향)으로 작용하는 힘, 즉 측력(lateral force)이 발생하여 PMLSM의 운전시 마찰력을 증가시키는 현상이 발생한다. 그러므로, skew에 의해 발생하는 측력을 제거하기 위한 V-skew형태의 영구자석 배열이 제안되었고, 본 논문에서도 적용하였다.

PMLSM에 관한 연구는 대부분이 디텐트력과 부하가 변화에 따른 추력특성 등에 국한되어 있는 것이 현실이다. 그

러나, 이러한 연구의 대부분은 PMLSM의 가, 감속 운전 시의 실 특성을 나타내기에는 미흡하다. 그러므로, 본 논문에서는 PMLSM의 운전 시 특성을 분석하기 위해서 skew를 적용하지 않은 기본모델과 영구자석에 skew와 오버행을 시행한 skew모델, skew시행의 문제점인 측력을 제거하기 위한 V-skew형태의 영구자석을 배열한 V-skew모델을 제작하여 영구자석의 배열에 따른 진동 및 효율시험을 행하여 진동 및 효율 특성을 비교하였다.

2. 해석 모델

그림 1은 기본모델과 skew모델 V-skew모델의 자속 벡터도이다. 유한요소 해석시 요소수를 약 140000개로 분할하였으며, 해석시 조건은 표 1의 해석 모델의 사양과 같다. 그림 1에서 알 수 있듯이, 기본모델의 경우 자속의 분포가 Z-축 방향에 대해서 대칭적인 자속 분포를 보이는 반면, skew 모델의 경우 Z-축 방향에 대해서 A 부분과 B 부분의 자속 밀도가 비대칭임을 알 수 있다. 이러한 비대칭적인 자속 분포가 Z-축 방향으로 뒤틀리는 힘을 발생시켜 측력이 발생하게 된다. 그림 1(c)의 V-skew모델의 경우 기본모델과 같이 Z-축 방향에 대하여 대칭적인 자속분포를 가짐을 확인할 수 있다.



(a) 기본모델

* 正 會 員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 · 工博
 ** 準 會 員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 碩士
 *** 正 會 員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 † 교신저자, 正會員 : gtkim@changwon.ac.kr
 接受日字 : 2008年 9月 18日
 最終完了 : 2008年 12月 24日

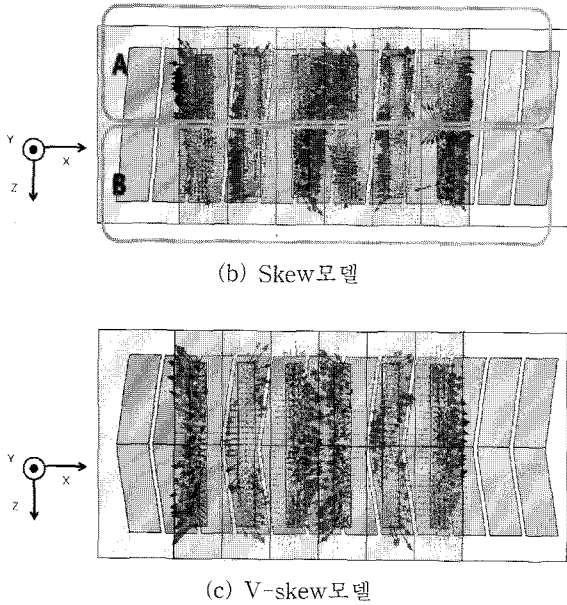


그림 1 자속 벡터도
Fig. 1 Flux Vector.

표 1은 각 모델의 사양을 나타낸 것이다. 기본모델은 skew와 오버행이 시행되지 않은 모델이며, skew모델은 기본 모델에서 발생하는 디텐트력을 최소화시키기 위하여 기본 모델의 디텐트력의 주기인 극간격의 1/3만큼 영구자석에 스쿠를 시행하였으며, 추력의 감소분을 보상하기 위하여 유한요소 해석을 통하여 기본모델과 동일 추력을 발생하도록 영구자석의 오버행 길이를 계산하였으며, 그 결과 영구자석에 4[mm]의 오버행을 시행하였다. V-skew모델은 skew모델의 비대칭적인 자속의 분포를 대칭적으로 분포시키기 위하여 V자 형태로 영구자석을 배열한 모델이며, skew모델과 동일하게 극간격의 1/3만큼 스쿠 및 영구자석에 4[mm]의 오버행을 시행하였다. 그림 2는 영구자석 배열에 따른 3가지 모델의 시작기의 고정자인 영구자석의 일부분을 나타낸 것이다.

표 1 해석 모델의 사양

Table 1 Specification of analysis models

	Item	Symbol	Value
고정자 (영구자석)	Width of PM	w_{PM}	26.5mm
	Length of PM	Basic	93mm
		skew, V-skew	101mm
	Pole pitch	τ_p	30mm
	Skew length	No-skew	0mm
		Skew, V-skew	10mm
Residual magnetic flux density	B_r	1.37T	
가동자 (전기자)	Width of teeth	w_t	14mm
	Height of teeth	h_t	17mm
	Length of teeth	l_t	95mm
	Slot pitch	τ_s	40mm
	Width of slot	w_s	13mm
Turns			304
Mechanical air-gap			1.4mm
Rated current			6.53A

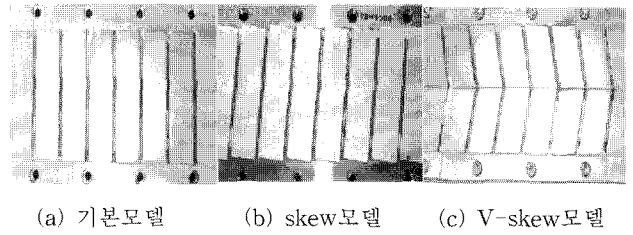
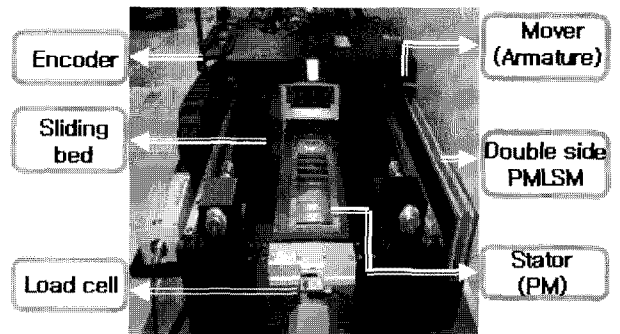


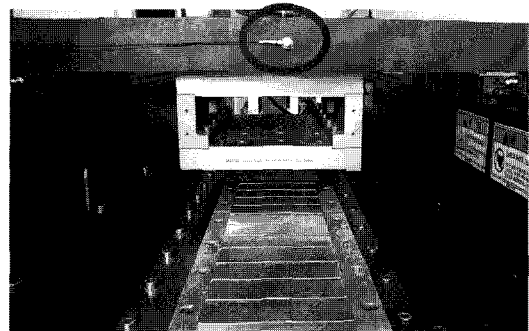
그림 2 해석 모델
Fig. 2 Analysis model.

3. 실험 방법 및 특성비교

3.1 실험 방법



(a) 디텐트력 및 추력 측정을 위한 장치도



(b) 진동 측정을 위한 가속도센서

그림 3 PMLSM의 실험 장치도

Fig. 3 The measuring equipment of PMLSM.

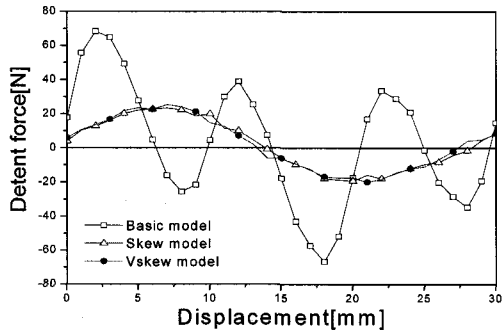
그림 3은 본 논문의 특성실험을 위한 실험 장치도를 나타낸다. 디텐트력의 측정은 로드셀(제조사: CAS, 모델명: SB-20L)의 한 쪽은 고정자에 고정시키고, 다른 한 쪽은 측정 장비에 고정 시켰으며, 고정자가 설치되어 있는 슬라이딩 베드는 양 쪽에 리니어 가이드가 설치되어 있어 자유롭게 움직일 수 있다. 따라서 가동자의 변위를 이동시키면 작용-반작용 법칙에 의해 고정자에 가해지는 디텐트력이 로드셀에 의하여 측정된다. 이때 가동자의 변위는 리니어 스케일을 이용하여 측정하였으며, 리니어 스케일의 오차 범위는 1 마이크로미터이다.

정추력의 측정은 디텐트력의 측정방법과 동일하며, 단 가동자인 전기자의 3상 권선에 직류 전압을 인가하는 것이 다

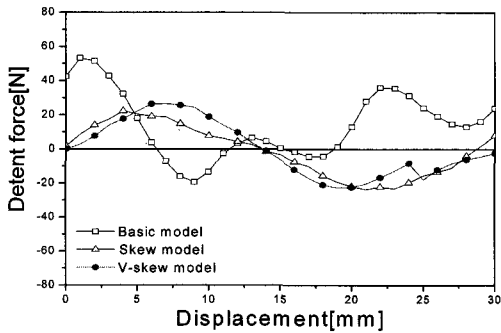
른 점이다. 이 때 로드셀에서 출력되는 전압은 매우 작아서 측정이 어려움으로 실시간 증폭기를 사용하여 증폭시킨 후 오실로스코프를 사용하여 측정하였다. 이때 증폭기의 전압 출력범위는 0 ~ 10[V]이며, 10[V]일 경우 200[Kg · m]의 추력을 나타낸다. 또한 추력의 크기는 전압과 비례한다.

진동 측정을 위하여 그림 3(b)와 같이 가속도 센서를 부착하였다.

3.2 디텐트력 특성



(a) 해석치



(b) 실험치

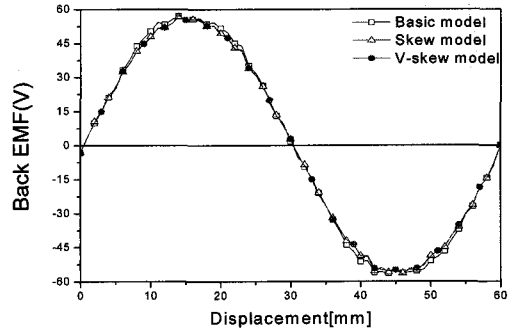
그림 4 디텐트력
Fig. 4 Detent force.

그림 4은 모델별 디텐트력의 해석치와 실험치를 나타낸다. 기본모델의 경우 디텐트력의 최대치는 68.3[N]으로 실험치와는 다소 큰 오차가 발생하였다. 그 이유로서는 FEM 해석 시 1[mm]씩 가동자를 이동시키면서 디텐트력을 계산하였으나, 실험 시에는 가동자를 1[mm]씩 이동시키면서 디텐트력을 측정하면 그 변화가 매우 커 실측이 어려웠기 때문이다. skew모델과 V-skew모델의 경우 디텐트력의 최대치는 각각 23.3[N]과 25.3[N]으로 기본모델에 비하여 34.1%, 37.0[%]로 크게 감소하였다. 또한, skew모델과 V-skew 모델의 디텐트력 실험치는 19.2[N], 26.4[N]으로 해석치와 대등 소이한 값을 얻었다.

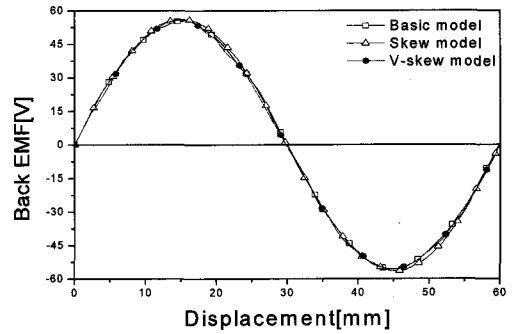
3.3 역기전력 특성

그림 5는 역기전력 특성을 나타낸다. 그림 5(a)는 3차원 FEM을 통한 해석치이며, (b)는 실험치를 나타낸다. 실험치에서 역기전력의 RMS값이 기본모델은 39.22[V]이고, skew

모델은 39.88[V]이며, V-skew모델은 39.43[V]이었다. 마찰력을 무시하였을 경우, 역기전력에 의해 추력은 발생함으로 skew모델과 V-skew모델의 경우, 영구자석의 오버행 효과로 인하여 역기전력이 보상되었음을 확인할 수 있다. 또한, 역기전력의 해석치와 실험치가 거의 일치하였다.



(a) 해석치

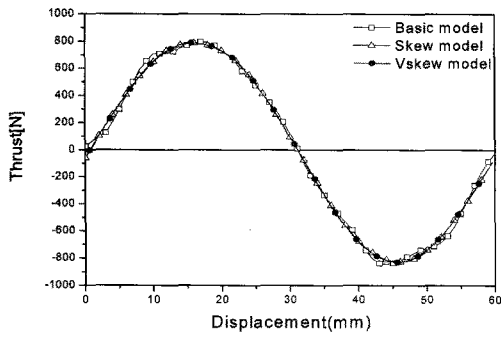


(b) 실험치

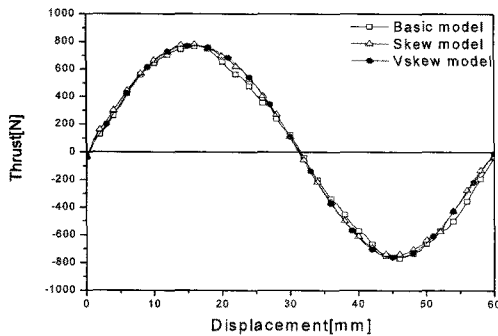
그림 5 역기전력
Fig. 5 Back-EMF.

3.4 추력 특성

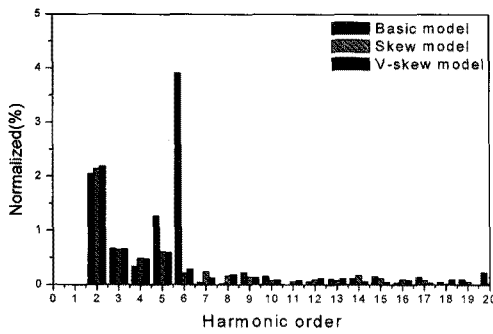
그림 6은 추력 및 추력의 고조파분석을 나타낸다. 그림 6(a)와 (b)의 추력의 실험치 및 해석치는 전기자 코일에 직류 전류를 인가하여 가동자를 0[mm]에서 60[mm]까지 이동시키며 측정된 부하각에 따른 추력특성이다. 해석치의 값이 기본모델의 경우 797.53[N], skew모델의 경우 787.62[N], V-skew모델의 경우 789.68[N]이었으며, 실험치의 경우, 768.40[N], 780.09[N], 772.43[N]로 각각 나타났다. 해석치와 실험치의 차이는 기계손으로 작용하는 마찰력과 디텐트력에 따른 실험오차로 사료된다. 그림 6(c)에서 기본모델의 2고조파와 6고조파 성분이 각각 2.04[%], 3.91[%]로 크게 나타났다. 2고조파 성분은 30[mm]의 주기를 가지는 단부효과에 의한 디텐트력 성분이며, 6고조파 성분은 슬롯-치와 영구자석 사이의 인력에서 발생하는 디텐트력 성분이다. Skew 모델과 V-skew모델의 경우 슬롯-치구조에 의한 디텐트력 성분이 크게 저감되었음을 그림 6(c)에서 확인할 수 있다. 각각의 모델에 대한 왜형률은 기본모델이 4.61[%], skew모델이 2.42[%], V-skew모델이 2.45[%]로 나타났다.



(a) 해석치



(b) 실험치



(c) 고조파분석

그림 6 추력
Fig. 6 Thrust.

3.5 추력 특성

그림 7은 3차원 유한요소법에 의한 추력의 해석치를 나타낸다. 추력은 영구자석의 스큐에 따른 자속분포의 비대칭에 의해 발생하는 힘이며, 이는 마찰력으로 작용하여 손실이 나타난다. 그림 7에서 skew 모델에서 영구자석의 스큐에 의하여 32.4[N]의 추력이 발생하였으며, 기본모델에서는 추력이 발생하지 않음을 확인할 수 있다. V-skew 모델의 경우, 영구자석에 스큐가 시행되나, V자 형태의 배치에 따라, 자속의 분포가 대칭이 되어 추력은 발생하지 않는다. 마찰력으로 작용하는 추력의 영향을 줄이기 위해서는 본 논문에서 제시한 V자 형태의 영구자석 스큐를 시행하거나, 리니어 가이드의 마찰계수를 줄여야 할 것이다. 본 시작기에 적용된 리니어 가이드의 마찰계수 0.12로써 실제 영향을 미치는 마찰력은 3[N] 정도로 아주 작은 값이 작용하였다. 하지만, 추력은 리니

어 가이드에 지속적인 힘으로 작용하므로 스큐모델의 경우 추력이 크게 발생하면 소음과 진동의 원인이 될 수 있으므로, PMLSM의 설계시 추력을 반드시 고려하여 한다.

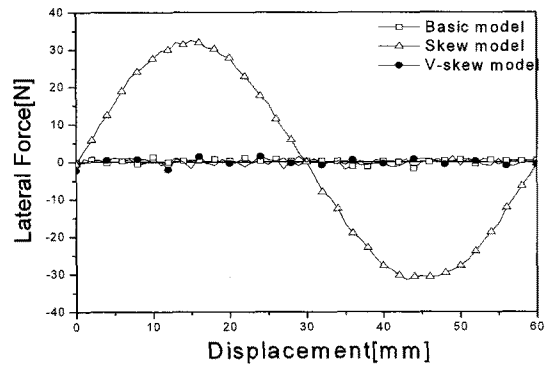


그림 7 추력
Fig. 7 Lateral force.

4. 진동 및 효율 특성

4.1 진동 특성

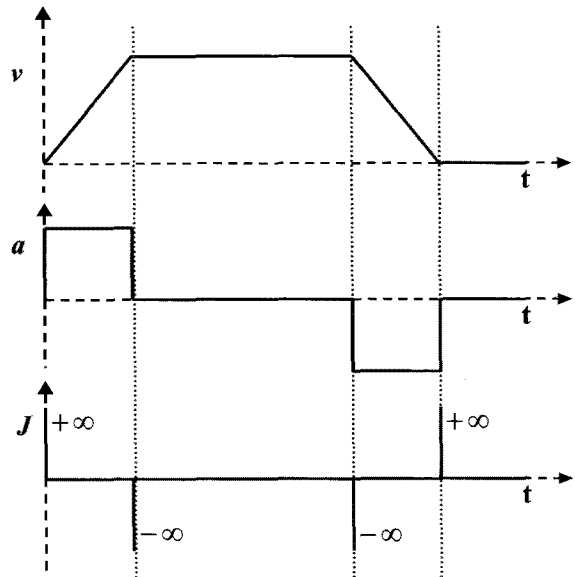


그림 8 속도, 가속도, 저크선도
Fig. 8 Velocity, acceleration & jerk curve.

그림 8은 PMLSM의 구동을 위한 사다리꼴 형태의 속도 선도를 나타낸 것이다. 속도선도를 미분하면 가속도선도를 얻을 수 있으며, 가속도선도를 미분하여 jerk선도를 획득할 수 있다. 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 가속도선도는 4지점에서 불연속점들을 갖는다. 이들 불연속점에서 미분이 불가능하게 되므로, 이때의 jerk 값은 무한대의 값을 가지게 된다. 이러한 무한대의 jerk 값에 의해 발생하는 관성 충격에 의해 PMLSM의 진동이 크게 유발된다[3,4]. 따라서, PMLSM의 구동을 위한 속도선도는 관성 충격에 의한 진동

저감을 위하여 가속도의 불연속점을 제거한 형태, 즉 jerk의 값이 유한한 값을 가지는 S자 형태의 속도선도를 인가한다. 그림 9는 2.0[m/s]로 구동하기 위한 S자 형태의 속도 선도를 나타낸 것이다.

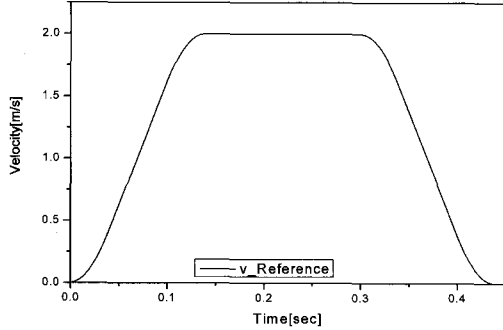


그림 9 S형태 속도곡선
Fig. 9 S-pattern velocity curve.

PMLSM에서 진동을 발생시키는 원인은 크게 구조적인 고유진동과 PMLSM에서 발생하는 여러 가지 힘에 의한 진동으로 나눌 수 있다. 고유진동은 PMLSM 시스템이 가지는 고유의 기계적인 진동으로서 외부에서 작용한 힘들에 의하여 진동주파수는 변하지 않으나, 크기는 다른 외부의 영향에 의한 공진현상으로 인하여 크게 변화할 수 있다. 외부에서 작용하는 외력에 의한 진동은 PMLSM에서 발생하는 디텐트력, 축력, 수직력 등에 따른 진동이다. 이 항은 외력의 주파수에 따라 PMLSM의 진동 주파수도 변화하게 되므로 외력의 주파수를 반드시 고려하여야 한다. 본 논문에서 실험에 적용한 기본모델, 스큐모델 및 V스큐모델의 디텐트력의 주기는 기본모델은 10[mm], 스큐모델 및 V스큐모델은 30[mm]이다.

고유진동을 분석하기 위하여 임팩터 해머로 PMLSM을 가격하였으며, 고유진동주파수를 분석하여 그림 10에 나타내었다. 본 논문의 모델의 고유진동주파수는 207.5[Hz]와 252.9[Hz]이다.

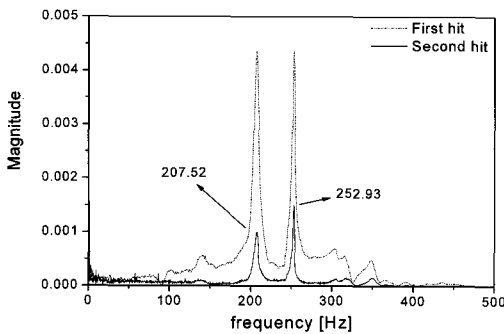
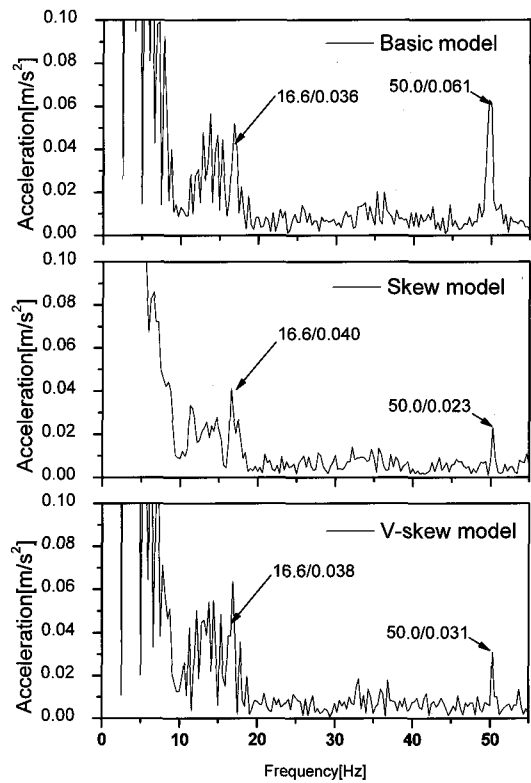


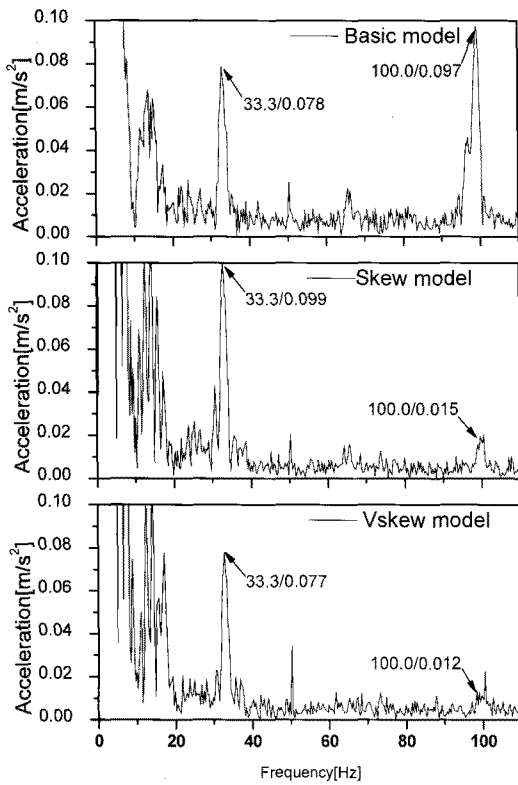
그림 10 고유진동주파수
Fig. 10 Natural vibration frequency.

PMLSM의 운전시 발생하는 진동시험을 위하여 가속도 센서를 가동자에 장착하였으며, 속도변화에 따라 발생하는 진동의 주파수와 크기를 그림 11에 나타내었다.

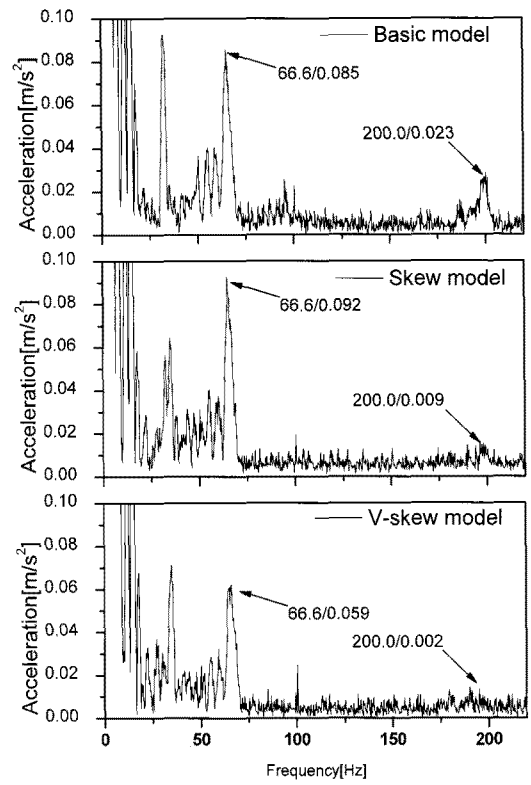
그림 11(a)는 PMLSM의 속도가 0.5[m/s]로 운전할 때 진동특성을 나타낸다. PMLSM의 극간격이 30[mm]이므로 인가되는 전류의 주파수는 8.3[Hz]이다. 이때, 단부효과에 의한 디텐트력은 전류 주파수의 두배로 작용하므로, 16.6[Hz]에서 발생하며, 슬롯-치 구조에 의한 디텐트력은 인가 전압 주파수의 6배로 작용하여, 49.9[Hz]에서 나타난다. 그림 11(a)에서 알 수 있듯이 50[Hz]에서 발생하는 진동이 기본모델이 가장 크게 발생하였다. 이는 영구자석의 스큐의 시행으로 인하여 skew모델과 V-skew모델의 슬롯-치 구조에 의한 디텐트력이 크게 저감되었기 때문이다. 그림 11(b)에서 PMLSM의 속도가 1[m/s]이므로 이때의 단부효과에 의한 디텐트력은 33.3[Hz], 슬롯-치 구조에 의한 디텐트력은 100[Hz]에서 나타난다. 100[Hz]에서 기본모델의 경우, 다른 모델에 비하여 아주 큰 진동이 발생하였으며, 이는 슬롯-치 구조에 의한 디텐트력의 진동이 기계적인 고유진동주파수의 1/2이므로, 공진현상이 발생하였기 때문이며 이는 그림 11(c)와 비교하면 확인 할 수 있다. PMLSM의 속도의 증가에 따라, 슬롯-치 구조에 의한 디텐트력의 영향으로 발생하는 진동은 저감됨을 그림에서 확인할 수 있다. 그림 11에서 25[Hz]미만의 주파수들은 PMLSM의 기동시 발생하는 기계적인 요소들에 의한 진동으로서 이는 무시할 수 있다.



(a) 속도 0.5[m/s]



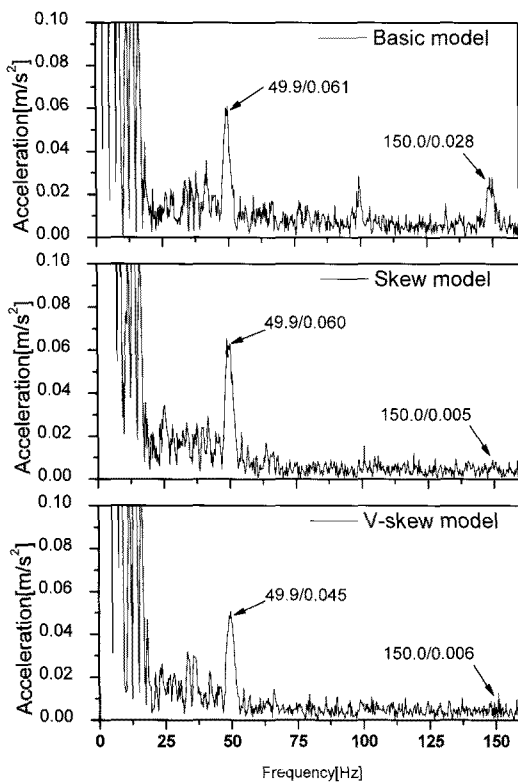
(b) 속도 1[m/s]



(d) 속도 2[m/s]

그림 11 진동

Fig. 11 Vibration.



(c) 속도 1.5[m/s]

4.2 효율 특성

일반적으로 PMLSM의 운전은 가속구간에서는 큰 기동전류가 흐르므로, 이때의 효율이 중요하다. 본 논문의 대상인 PMLSM은 이동행정이 60[cm]이고, 정상상태의 속도가 2[m/s]이므로 가속구간의 이동거리는 10[cm]이고 가, 감속 시간은 0.1[s]이다. 평균전력을 계산하기 위해서는 전력의 한 주기분의 평균값을 실측하여야 하나, 본 논문에서 적용한 모델은 가, 감속시간이 0.1[s]로 너무 짧음은 물론 가속구간의 주파수가 급격한 변화를 하게 되므로 전압과 전류의 한 주기분을 실측할 수 없다. 그러므로, 본 논문에서는 가속구간의 평균전력 측정이 불가능하여 다음과 같이 순시치를 이용하여 효율을 측정하였다. 먼저 입력 전력의 측정은 차동 전압 프로브 2개와 전류 프로브 2개를 이용하여 선간전압인 V_{uw} , V_{vw} 와 상전류인 I_u 와 I_v 를 동시에 측정하여 계산하였으며, 출력은 발생추력과 속도를 측정하여 계산하였다. 입력 전력은 식 (1)과 같은 2전력계법을 이용하여 실측하였다. 이때, 입력을 순시입력이라 한다. 실측한 순시 입력은 고조파 성분이 많이 함유되어 있어 필터링을 통하여 기본과 성분만 실측하였다. 한편, 출력은 추력과 속도를 실측하여 식 (2)를 통하여 계산하였다.

$$P_{input} = (V_{uw} \times I_u) + (V_{vw} \times I_v) \quad (1)$$

$$P_{output} = F \times v \quad (2)$$

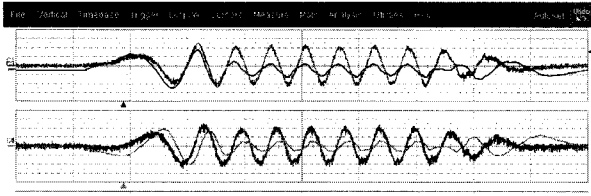
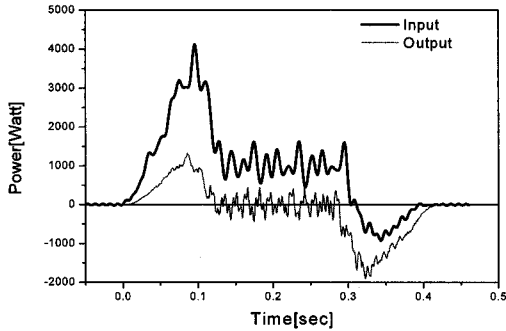
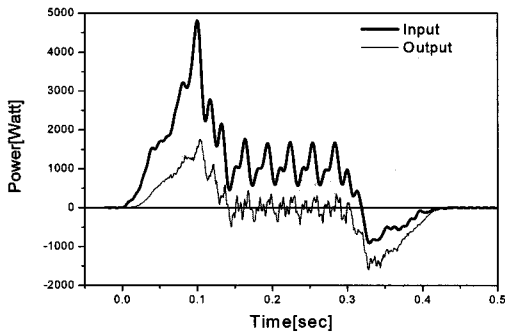


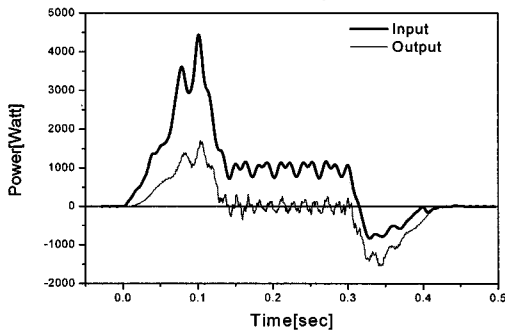
그림 12 입력 전압 및 전류
Fig. 12 Wave form of input voltage and current.



(a) 기본모델



(b) Skew모델



(c) V-skew모델

그림 13 입력 및 출력(속도 : 2.0[m/s])
Fig. 13 Input and output(velocity : 2.0[m/s]).

그림 14는 그림 13의 순시 입력 전력과 출력을 이용하여 효율을 계산한 것이다. 이때의 효율은 순시치로 부터 계산한 것이므로 가동자의 초기위치에 따라 변화한다. 따라서, 그림 14에 나타낸 효율은 시간의 변화에 따른 효율의 변화

만 확인할 수 있으며, 물리적 의미를 부여하기는 어렵다. 그러므로, 효율을 물리적 의미를 갖는 평균 효율로 재계산하여 그림 15에 나타내었다.

그림 15에서 가속구간의 평균효율은 기본모델이 가장 낮았고, V-skew 모델이 가장 높았다. PMLSM의 경우 가감속 운전이 빈번하게 일어나기 때문에 skew모델과 V-skew모델의 효율이 기본모델에 비하여 월등히 높을 것으로 예상되진다.

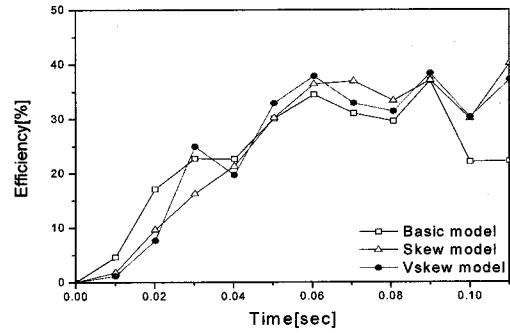


그림 14 순시 효율 패턴 (속도 : 2[m/s])
Fig. 14 Instantaneous efficiency pattern (velocity : 2[m/s]).

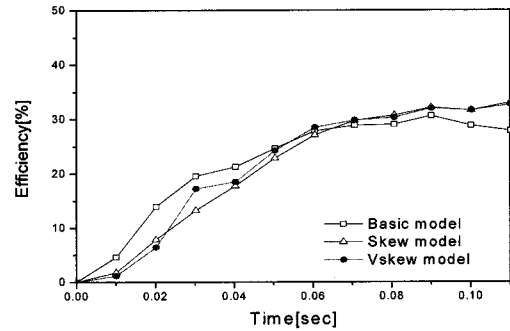


그림 15 평균 효율 곡선 (속도 : 2[m/s])
Fig. 15 Average efficiency curve (velocity : 2[m/s]).

5. 결론

본 논문에서는 영구자석 배열에 따른 PMLSM의 특성을 해석 및 실험을 통하여 분석하였다. PMLSM에서 발생하는 디텐트력을 저감하기 위하여 영구자석에 스큐를 시행하였으며, 스큐의 시행으로 인한 추력의 저감을 보완하기 위하여 영구자석에 오버행을 시행하였다. 영구자석의 스큐시행으로 인해 발생하는 추력저거를 위하여 V형태의 영구자석배열법을 제시하였으며, 시작기를 통한 실험을 통하여 본 모델과 비교하여 skew모델과 V-skew모델의 우수성을 입증하였다. 진동 특성의 경우, 기본모델의 진동이 skew 모델과 V-skew모델의 진동과 비교하여 매우 크게 발생하였으며, 효율 특성의 경우, 가속구간의 평균효율은 기본모델이 가장 낮았고, V-skew 모델이 가장 높았다. PMLSM의 경우 가감

속 운전이 빈번하게 일어나기 때문에 skew모델과 V-skew 모델의 효율이 기본모델에 비하여 월등히 높을 것으로 예상되어진다. 하지만, skew모델에서 발생하는 측력은 리니어 가이드에 마찰력으로 작용하여 리니어 가이드의 마모 및 변형을 초래할 수 있으므로, 본 논문에서 제시한 V-skew배열법을 이용한다면, 측력문제를 해결함과 동시에 skew모델과 비교하여 우수한 성능을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 정수권, 주진배, 이동엽, 김규탁, "보조치를 이용한 가동 코일형 PMLSM단부효과에 의한 detent force 저감에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 55B, No.9, 459~464. 2006.
- [3] 이동엽, 김규탁, 정원지, 김성현, "고속 유연한 로봇 운동 구현을 위한 BLDC Motor의 진동 최소화 설계", Vol. 54B, No.7, 329~334, 2005.
- [4] 이동엽, 김규탁, 최영휴, "PMLSM의 진동저감을 위한 최적의 속도 궤적 생성에 관한 연구", Vol. 54B, No.8, 351~357, 2005.



장 기 봉 (張 基 鳳)

1970년 5월 25일생. 1994년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2005년~2006년 한국건설교통기술평가원 선임 연구원. 현재 창원대학교 공대 전기공학과 교수.
Tel : 055-213-3639
Fax : 055-263-9956
E-mail : kbjang@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~2000년 일본 早稻田大 客員研究員. 현재 창원대학교 공대 전기공학과 교수.
Tel : 055-213-3635
Fax : 055-263-9956
E-mail : gtkim@changwon.ac.kr

저 자 소 개



이 동 엽 (李 東 燁)

1976년 3월 29일생. 2001년 창원대학교 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 창원대학교 BK21 사업단 Post-Doc. Tel : 055-213-3886
Fax : 055-263-9956
E-mail : dongyeuplee@changwon.ac.kr



이 승 훈 (李 承 勳)

1981년 9월 19일생. 2007년 창원대학교 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : 055-213-3640
Fax : 055-263-9956
E-mail : hoonylee@changwon.ac.kr