

영구자석형 선형 동기 전동기의 가변부하에 따른 동특성 해석

論 文
57-4-9

The Study of Dynamic Characteristic of PMLSM According to Variable Load

李承勳* · 張基鳳** · 金奎卓†
(Seung-Hoon Lee · Ki-Bong Jang · Gyu-Tak Kim)

Abstract - This paper presents the dynamic characteristic analysis of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor(PMLSM) according to variable load. In order to analyze dynamic characteristics, finite element method(FEM) was used for calculation of the parameter and the Matlab simulink was used for dynamic characteristic simulation. The measuring system of the dynamic characteristics was manufactured and the experiment results were compared with the simulation results.

Key Words : Dynamic characteristic, PMLSM, Matlab Simulink, 3D FEM, Measuring system

1. 서 론

이송용 주축 시스템에 이용되는 X - Y Gantry 로봇 등의 직선 운동 메카니즘은 산업사회의 고도화에 따라 고속, 고정밀 속도 및 위치제어 기능을 요구하고 있다[1,2]. 그러나 이들 시스템에 대한 연구는 리니어 모터의 구조적인 변화에 따른 디텐트력 감소, 효율 증가와 같은 정적 특성에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으나 이동 및 기동시의 부하가변에 따른 동적 특성에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다. 공작 기계와 같은 시스템에 리니어 모터를 이용하여 구동할 때에는 이송 및 기동 시에 부하 가변이 급격하게 이루어지는 경우가 매우 많으므로 이러한 부하 외란에 따른 동특성 규명은 매우 시급하다. 이를 위해서는 기동 모터인 리니어 모터의 저항, 인덕턴스, 추력상수, 역기전력 상수 등과 같은 파라미터의 정밀 계산은 물론 이들 파라미터를 이용한 동특성 해석은 절실하다.

따라서, 본 논문에서는 전기기기의 정밀한 특성해석 기법으로 정립된 유한요소해석을 통하여 저항, 인덕턴스, 추력상수와 역기전력 상수를 도출하였으며, 각각의 도출 파라미터를 실험치와 비교하여 파라미터 산출의 타당성을 입증하였다. 또한, 도출한 파라미터를 이용하여 리니어 모터의 동특성 시뮬레이션은 물론, 동특성 실험 장비를 제작하여 동특성 실험을 통해 가, 감속 운전시의 동특성을 비교, 분석하였다.

2. 해석 모델 및 파라미터 선정

1차축의 길이가 2차축에 비하여 짧은 가동코일형 PMLSM은 전원을 공급받는 부분이 운동을 하게 되므로 이에 따른 추가적인 급전장치가 필요하다. 또한 철심의 유한 길이로 인하여 나타나는 단부효과가 크게 발생하여 제어 성능이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 가동자를 1차축 권선으로 구성하고, 영구자석을 고정자로 구성하므로 전기자 권선이 짧아 권선에 의한 누설자속이 적으며 효율이 높은 장점이 있다[3,4,5].

따라서, 본 논문에서는 가동자를 1차축 권선으로 구성하여 권선 누설자속이 적으며 효율이 높은 가동코일형 PMLSM을 연구 모델로 선정하였다. 해석모델의 주요치수 및 설계사양은 표 1과 같다.

선형 전동기는 구조적 특성상 운전구간이 짧기 때문에 정

표 1 해석모델의 주요치수 및 설계사양

Table 1 Specification of analysis model

항 목	값	단 위	항 목	값	단 위
자석두께	9	[mm]	추력상수	99.1	[N/A]
자석길이	95	[mm]	정격추력	647.1	[N]
극 간격	30	[mm]	인덕턴스	17.7	[mH]
mover 길이	240	[mm]	공극길이	1.4	[mm]
코일높이	16.95	[mm]	잔류자속 밀도	1.32	[T]
코일간격	26	[mm]	정격전압	106	[V]
치폭	14	[mm]	정격전류	6.53	[A]
턴수	304	[Turn]	연속추력	647.6	[N]
상저항	1.4	[Ω]	최대전류	19.6	[A]
역기전력상수	34.4	[V/m]	최대추력	1942.7	[N]

* 學生會員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 教授 · 工博

† 교신저자, 正會員 : 昌原大學校 工大 電氣工學科 教授 · 工博

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

接受日字 : 2008年 1月 11日

最終完了 : 2008年 2月 12日

상상태로 운전되기보다는 가, 감속을 반복하는 과도상태에서 운전되므로 정특성 해석보다 기동특성과 같은 동특성 해석이 더욱 중요하다. 정확한 동특성 해석을 위해서는 저항, 인덕턴스, 역기전력, 추력상수의 정확한 계산이 요구된다.

2.1 저항

PMLSM의 저항을 산정하는 방법은 일반적으로 등가적인 기법을 적용하여 값을 산정한다. 이것은 권선저항의 경우 제조사에서 제공하는 값에 의해서 거의 규격화 되어 있으므로 정확한 길이와 단면적만 산출한다면 등가적인 계산에 의한 저항 산출치와 측정치가 거의 일치하기 때문이다.

$$R = \frac{l_c}{\sigma S} = \frac{2N \left(l_z + \pi \frac{(d_c + w_c)}{2} \right)}{\sigma \pi a^2} \quad (1)$$

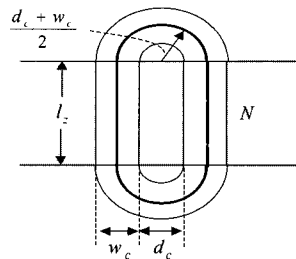


그림 1 저항 계산
Fig. 1 Resistance calculation

그림 1로부터 저항의 평균 길이에 의한 저항을 식 (1)과 같이 계산할 수 있다. 여기서, l_c 는 코일의 총 길이, S 는 도체 단면적, σ 는 구리의 도전율, a 는 도체반경을 나타낸다. 식 (1)로 계산한 저항 값은 $1.389[\Omega]$ 이고, 실제로 측정 한 저항 값은 $1.4[\Omega]$ 이다.

2.2 인덕턴스

인덕턴스는 등가회로에 의한 전동기 특성 해석, 과도 상태에서의 동특성 해석 그리고 제어기의 파라미터 등에 이용되기 때문에 이들의 정확한 산출은 전동기의 특성해석 결과 및 제어기의 신뢰성에 큰 영향을 준다.

전동기의 인덕턴스는 전동기의 구조에 따라 어느 정도 결정 될 수 있으나 철심 재질의 포화현상이 발생하는 경우 이에 대한 인덕턴스의 변화를 정확히 해석 할 수 있는 기법이 요구된다[6].

인덕턴스는 미분 인덕턴스(differential inductance L_d), 겹보기 인덕턴스(apparent inductance L_a), 유효 인덕턴스(effective inductance L_e)로 나눌 수 있다. 포화현상을 무시한 선형적인 경우 $L_d=L_e=L_a$ 가 된다. 그러나 실제 철심의 포화현상 등을 고려하면 인덕턴스는 비선형이므로 이 경우는 $L_d \leq L_e \leq L_a$ 가 되어 미분 인덕턴스가 가장 작고 겹보기 인덕턴스가 가장 크게 나타난다.

미분 인덕턴스의 경우 전기기기의 과도 특성 해석 시 철심의 포화 특성을 고려한 비선형 특성을 해석하는데 많이 쓰이고 있으며, 겹보기 인덕턴스는 교류정상상태의 해석과 응용에 가장 중요하며, 유효 인덕턴스는 전자계의 저장 에너

지의 계산이나 비선형 인덕턴스가 포함된 전자계의 정상상태 페이저(phasor) 해석에 유용하다. 본 연구에서는 에너지 섭동법에 의하여 PMLSM의 인덕턴스를 계산하였다.

에너지 섭동법은 각 상에 전류 위상에 따른 전류 값을 모두 입력한 후 자기 저장에너지에 의한 인덕턴스를 구하는 방법으로 겹보기 및 미분 인덕턴스의 계산이 가능하다. 이 방법은 각 상의 전류의 미소변화(섭동)에 따른 각각의 유한요소 해석이 요구되기 때문에 많은 계산 시간이 요구된다. 그러나 포화현상에 따른 각 상의 상호 영향을 쉽게 판단할 수 있는 장점이 있으며 그 과정은 그림 2에 간단히 나타내었다.

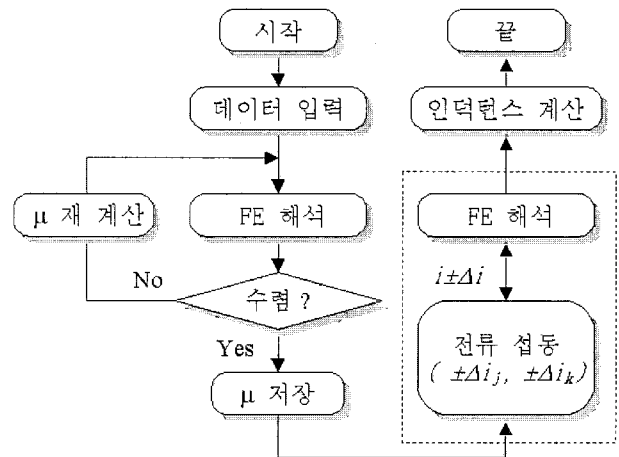


그림 2 에너지 섭동법에 의한 인덕턴스 계산
Fig. 2 Inductance calculation using energy perturbation method

이와 같은 과정을 통해 상당 인덕턴스는 $17.7[\text{mH}]$ 로 계산되었다. 기동 시에도 철심의 자기적 포화가 일어나지 않아 정격전류를 인가하였을 경우와 동일한 인덕턴스 값이 계산되었다. 따라서 해석 모델의 인덕턴스는 $17.7[\text{mH}]$ 로 동일하게 계산되었다. 인덕턴스 계산을 위한 유한요소 해석 시의 자속분포 및 에너지 밀도 분포를 그림 3에 나타내었다.



그림 3 단 1차형 PMLSM의 자속분포
Fig. 3 Flux distribution of short primary type PMLSM

2.3 역기전력 상수

PMLSM의 역기전력 상수는 유한요소 해석을 통하여 그 값을 계산할 수 있었다. 역기전력 상수는 $33.4[\text{V/m}]$ 로 계산되었다. 또한, 역기전력 상수의 검증에 위하여 시작기의 역기전력을 직접 측정하였다. 이 때 가동자가 $1[\text{m/s}]$ 로 이동할 때 전기자 코일의 역기전력 파형을 측정하였다.

그림 4에 유한 요소 해석 및 시험을 통하여 구한 역기전력 파형을 도시하였다. 그림에서 이론치는 $33.4[\text{V/m}]$ 이고,

실험치는 32.9[V/m]로 거의 일치하는 만족스러운 결과를 얻었다.

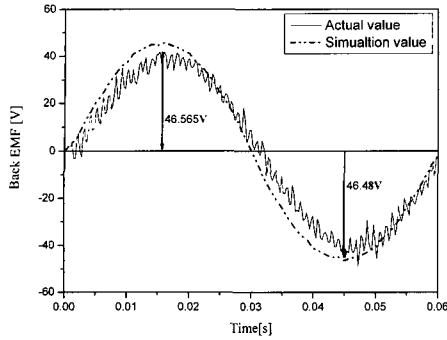


그림 4 역기전력
Fig. 4 Back-EMF

2.4 추력 상수

추력 상수는 PMLSM의 3상에 전류를 인가하고 가동자를 로드셀로 고정시킨 후 로드셀에 나타난 전압을 실시간 증폭기를 이용하여 측정하였다. PMLSM에서는 영구자석에 의하여 자속이 발생되므로 전기자에 흐르는 전류는 모두 q축분 성분, 즉 토크분 전류로 작용시키는 것이 가능하므로 부하각 90°에서의 발생추력을 인가전류로 나누어 토크 상수를 구할 수 있다. 따라서 그림 5에서 발생 추력의 최대치를 인가된 전류로 나누게 되면 추력 상수가 된다. 본 연구에서 적용한 모델에서는 정추력 계산시의 입력전류는 6.53[A]이고, 이때의 발생 추력의 최대치는 669.56[N]으로 계산되어 추력 상수는 102.51[N/A]로 계산되었다. 한편, 실험치의 최대치는 647.1[N]이므로 추력 상수는 99.1[N/A]로 측정되었다. 이론치와 실험치의 차이는 리니어 모터 시스템의 기계손에 기인한 것으로 추력 상수는 99.1[N/A]로 설정하였다.

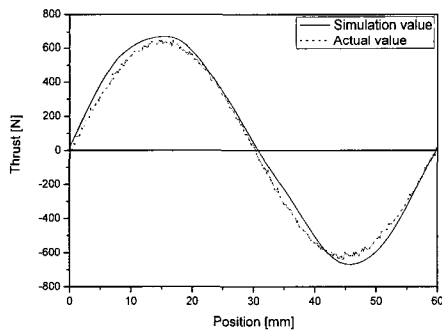


그림 5 추력
Fig. 5 Thrust

3. PMLSM의 수학적 모델링

PMLSM의 동특성 해석을 위해서는 PMLSM의 수학적 모델링이 선행되어야 하고, 이러한 수학적 모델링을 바탕으로 Matlab simulink를 이용한 모델링 및 시뮬레이션을 행하였다. 본 논문에서는 과도 및 정상상태 모두를 고려하기 위하여 주로 사용되는 d-q 변환이론을 적용하여 PMLSM을 모델링 하였다.

3.1 전압 및 운동방정식

PMLSM의 전압방정식은 다음 식 (2)와 같다.

$$\dot{v}_s = R_s \dot{i}_s + L_s \frac{d}{dt} \dot{i}_s + \omega_m \lambda_{fd} \quad (2)$$

여기서,

ω_m 은 동기속도 이며 직선기에서는 v_s 로 표현해야 하나 전압 \dot{v}_s 와의 구분을 위하여 ω_m 으로 표현하였다.

PMLSM의 동기속도는 입력주파수 f 와 극간격 τ 에 의하여 $v_s = 2\pi f$ 이다.

회전기에서는 $\omega_m = \frac{p}{2} \omega_{mech}$ 의 관계가 성립하는 반면 직선기에서는 $v_s = v_{mech}$ 의 관계가 성립된다. λ_{fd} 는 자석에 의하여 전기자에 쇄교하는 자속을 나타낸다.

식 (2)를 d축과 q축에 의한 식으로 나타내면 식 (3),(4)와 같다.

$$v_{sd} = R_s \dot{i}_{sd} + \frac{d}{dt} \lambda_{sd} - \omega_m \lambda_{sq} \quad (3)$$

$$v_{sq} = R_s \dot{i}_{sq} + \frac{d}{dt} \lambda_{sq} + \omega_m \lambda_{sd} \quad (4)$$

여기서, $\lambda_{sd} = L_s \dot{i}_{sd} + \lambda_{fd}, \lambda_{sq} = L_s \dot{i}_{sq}$

PMLSM의 전자기력은 다음과 같다.

$$F_{em} = \frac{\pi}{\tau} [\lambda_{fd} \dot{i}_{sq} + (L_d - L_q) \dot{i}_{sq} \dot{i}_{sd}] = \frac{\pi}{\tau} \lambda_{fd} \dot{i}_{sq} \quad (5)$$

한편, PMLSM의 운동방정식은 식 (6)와 같다.

$$F = F_{em} - F_l - Dv \quad (6)$$

식 (6)은 다음 식 (7)과 같이 가속도와 무게에 관한 식으로 나타낼 수 있다.

$$M \frac{dv}{dt} = F_{em} - F_l - Dv \quad (7)$$

식 (7)을 가속도의 향으로 정리하면 식 (8)과 같다.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_{em} - F_l - Dv}{M} \quad (8)$$

여기서, F 는 발생추력, F_l 은 마찰력, M 은 가동자의 질량, D 는 점성 감쇠계수(viscous damping coeff.)이다. 점성 감쇠계수는 매우 작고, 해석모델의 정격속도가 2[m/s]로 낮은 수치이므로 Dv 항은 무시할 수 있다. 식 (8)을 통해서 가속도를 구할 수 있으며 이를 적분하여 속도 v 를 구할 수 있다. PMLSM은 영구자석을 계자로 이용하기 때문에 계자 전류 i_{sd} 는 0의 값을 가지게 되며, 식 (5)에서 알 수 있듯이 추력을 발생하는 q축 전류인 i_{sq} 에 의하여 전자기력을 구할

수 있다. 한편, 마찰력은 수직력과 가동자의 무게로부터 계산할 수 있으며 LM(linear motion) 가이드의 마찰계수는 일반적인 값 0.002 ~ 0.003 을 적용하였다.

4. PMLSM의 부하 급변에 따른 동특성 고찰

PMLSM의 부하 급변에 따른 동특성 고찰을 위해서 PMLSM의 전압 방정식과 운동 방정식을 토대로 Matlab simulink를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 동특성을 실시간으로 측정할 수 있는 실험 장비를 구축하여 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교 검토 하였다.

4.1 Matlab simulink를 이용한 시뮬레이션

본 논문에서는 연속적인 운전 제어 시스템 설계에 있어서 가장 널리 쓰이고 있는 PI제어방식을 사용하였으며, 속도를 피드백 받는 속도 PI제어와 전류를 피드백 받는 전류 PI제어로 구성하였다.

그림 6은 Matlab simulink를 이용하여 PMLSM을 모델링한 것으로 식 (3),(4),(5)와 d-q변환 및 역변환으로 이루어져 있다.

그림 7은 오차신호에 의해 동작하는 연속치계 PI제어의 블록도이다. 기준 속도 입력과 실제 속도의 오차신호가 속도 PI 제어기의 입력이 되어 기준전류가 출력으로 나오며, 기준 전류와 실제 전류의 오차신호가 전류 PI 제어기의 입력이 되어 기준전압이 출력으로 나오게 된다. 이때의 전압은 각각 d축과 q축 전압이며, d-q역변환을 통하여 3상 전압으로 변환되고, 변환된 전압은 공간벡터 PWM을 통하여 PMLSM의 입력이 된다. 본 논문에서는 이상적인 공간벡터 PWM을 가정하여 시뮬레이션에 도입하였다. 시뮬레이션에서 PMLSM의 운전은 2[G]의 가속도로 2[m/s]의 속도를 가지는 운동을 하도록 설계하였다. 그리고 정속 운전시의 부하 가변은 이동 중인 공작 기구와 가공물이 접촉할 때 발생하는 순간적인 부하를 가정하여 임펄스 신호와 같이 짧은 시간동안 일정 크기의 부하가 작용하도록 하였다. PMLSM이 운전을 시작하고 정속 운전 구간인 0.25[sec]에서 부하가 0.01[sec]동안 작용하도록 설정하였다. 그 크기는 100[N], 200[N], 300[N]의 크기로 다양한 부하가 인가되도록 하였으며, 정밀 계산을 위하여 이동거리를 피드백하여 위치에 따른 디텐트력 또한 부하로 작용하게 하였다.

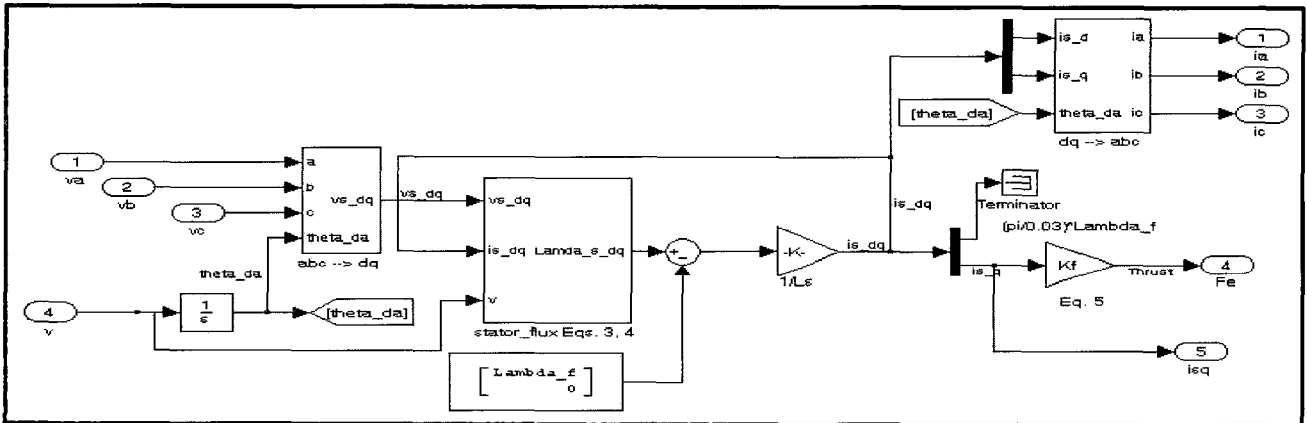


그림 6 PMLSM의 구성도
Fig. 6 Block diagram of PMLSM

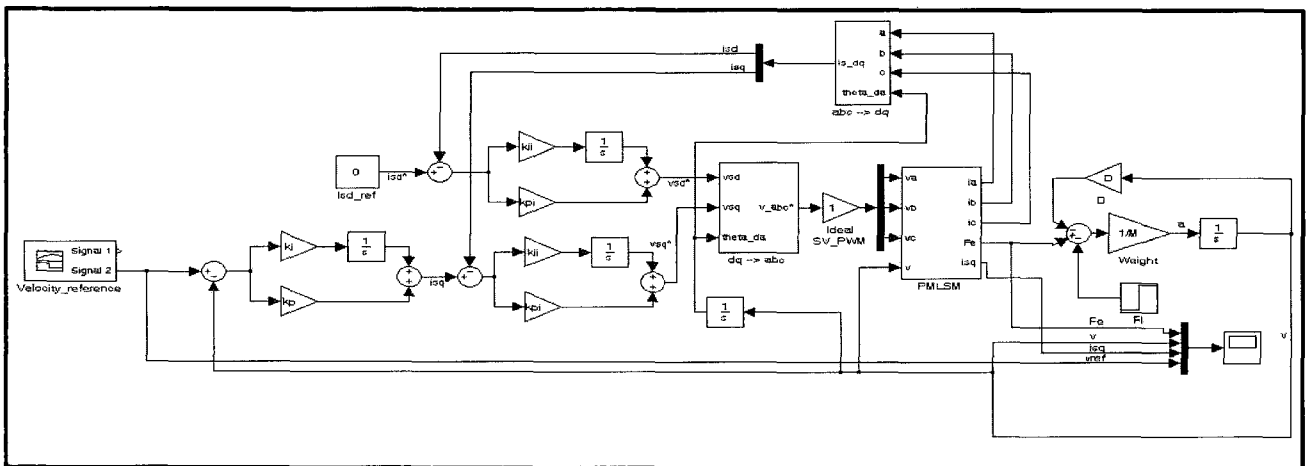


그림 7 PI 제어시스템 구성도
Fig. 7 Block diagram of PI control system

4.2 PMLSM의 동특성 실험 장비

그림 8은 PMLSM의 동특성 실험 시스템을 나타내고 있다. PMLSM의 동특성 실험 장비와 제어기, 그리고 전류파형을 측정하기 위한 오실로스코프 등이 있다.

표 2 PMLSM의 동특성 해석 파라미터

Table 2 Parameters of PMLSM

항 목	값	단 위	항 목	값	단 위
가 속도	2	[G]	속 도	2	[m/s]
추력상수	99.1	[N/A]	역기전력 상수	33.4	[V/m]
저 항	1.4	[Ω]	인덕턴스	17.7	[mH]
가동자무게	40	[kg]	마찰계수	0.002	
병렬회로수	2		정격전류	6.53	[A]

그림 9는 PMLSM의 동특성 실험 장비의 각 부분을 나타내고 있다. 영구자석은 슬라이딩 베드에 고정되어 있고, 가동자에 전기자를 장착시켰다. 또한, 양측식 리니어 모터가 가변부하로 이용하기 위하여 LM가이드와 연결되어 있다.

일반적으로 회전기의 경우 토크 특성, 부하 가변 등에 의한 동특성을 실험하는 시스템을 쉽게 구현시킬 수 있지만 리니어 모터의 경우, 이러한 실험 시스템의 구축은 매우 어렵다. 본 연구에서는 리니어 모터의 동추력 및 부하 가변 특성등을 실험하기 위하여 다음과 같은 시스템을 구성하였으며,

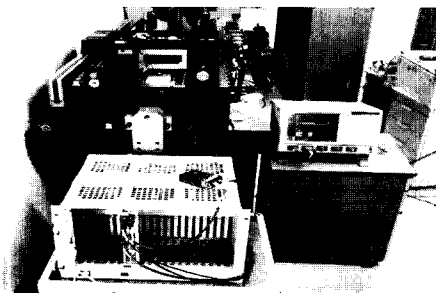


그림 8 PMLSM의 동특성 실험 시스템
Fig. 8 Experiment system for Dynamic characteristics of PMLSM

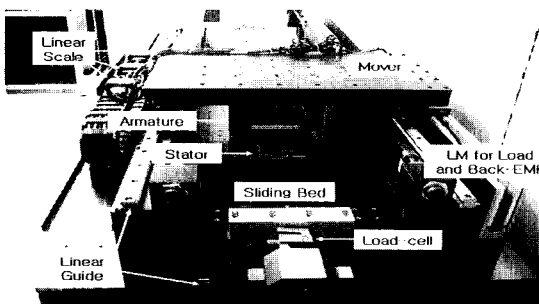


그림 9 동특성 실험 장비
Fig. 9 Experimental equipment for Dynamic characteristics of PMLSM

이 때, 추력 측정을 위한 로드셀을 그림 10과 같이 장착하였다. 리니어 모터의 발생 추력은 로드셀을 이용하여 측정한다. 이때 가동자를 로드셀로 고정시킨 후 발생하는 힘을 측정하므로 정지시의 추력만 측정하게 된다. 따라서 로드셀의 위치를 조금씩 이동시키면서 발생 추력을 측정하여 정추력(pull-out thrust)을 실측하게 되므로 엄밀한 의미에서의 실제 운전시의 추력이라고는 말할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 PMLSM의 고정자, 즉 영구자석을 슬라이딩베드 위에 고정시켰다. 이때 슬라이딩 베드는 LM 가이드 위에 장착되어 있어 마찰력을 최소화시키는 물론 이동이 가능하도록 하였다. 그림 10과 같이 로드셀(model : SBA -200L CAS)로 슬라이딩 베드를 고정시킴으로써 PMLSM의 가동자가 이동할 때 작용-반작용에 의하여 PMLSM의 고정자에 가해지는 추력을 로드셀을 이용하여 측정할 수 있도록 하였다. 또한, 로드셀에 실시간 증폭기를 연결하여 로드셀에서 측정된 추력을 실시간으로 실측할 수 있도록 하였다. 그리고 가동자의 속도를 실측하기 위하여 리니어 스케일 1.0[μm]를 장착하였다

한편, 부하가 변화에 따른 추력(pull out thrust)을 측정할 때에는 로드셀로 슬라이딩 베드를 고정시키는 물론 가동자인 전기자도 stage에 고정시켰다. 전기자에 3상 전원을 인가하면 3상전류에 의해 이동자계가 발생한다. 영구자석은 고정되어 있으므로 부하각이 변하게 되며, 부하가 변화에 따른 발생 추력이 슬라이딩 베드와 연결된 로드셀에 전달되게 되므로 이를 오실로스코프를 이용 측정함으로써 부하가 변화에 따른 추력 변화를 실측할 수 있도록 하였다. 그림 5에 부하가 변화에 따른 추력 실험 결과를 이론치와 비교하여 나타내었으며 이론치와 실험치가 일치하는 양호한 결과를 얻었다. 또한, 동특성 측정 시스템에 별도의 양측식 리니어 모터를 설치하여 부하로써 사용함은 물론, 이를 이용 역기전력 상수도 측정하여 이론치와 비교한 결과를 그림 4에 나타내었다.

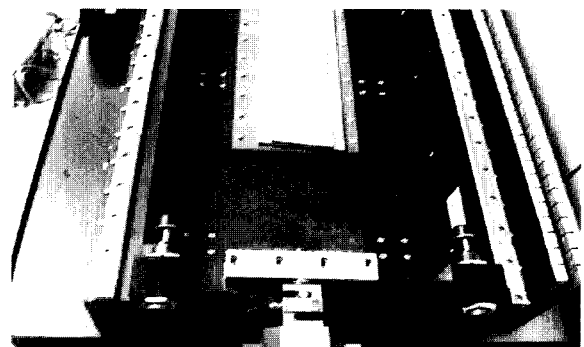


그림 10 로드셀 장착
Fig. 10 Fitted Load-cell

4.3 동특성 실험 결과와 시뮬레이션 결과 비교

PMLSM의 동특성 실험 시스템을 이용하여 PMLSM의 속도, 전류, 추력 특성을 측정 할 수 있었으며 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교·검토하였다.

그림 11은 PMLSM이 정격속도 2[m/s]로 운전 시 300[N]의 순간적인 부하가 인가되었을 때의 속도특성을 이

론치와 실험치를 비교하여 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과와 시험 결과가 일치하는 양호한 결과를 얻었다.

그림 12는 이때의 추력 특성 변화를 비교하여 나타낸 것이다. 추력 특성 곡선은 전류특성 곡선과 동일한 파형을 갖게 된다. 이는 PMLSM에서는 영구자석을 계자로 사용하므로 입력전류는 모두 토크분 전류로 작용하기 때문이다.

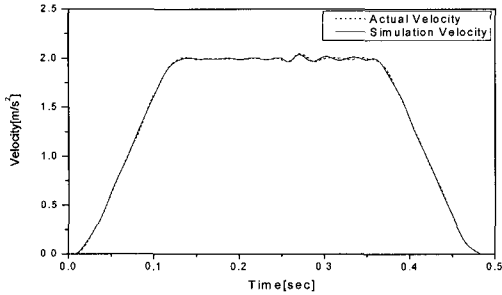


그림 11 300[N] 부하 인가 시 속도특성
Fig. 11 Velocity characteristics of PMLSM (at Load 300N)

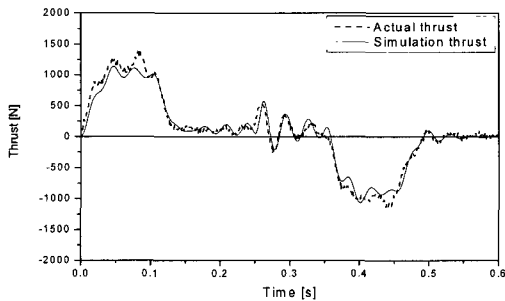
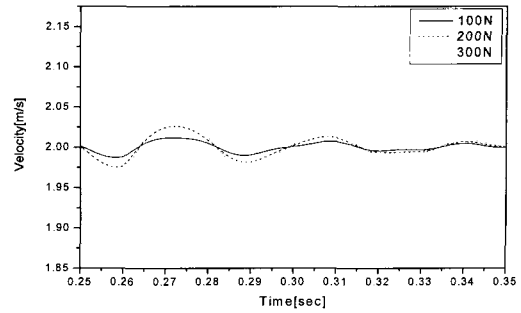


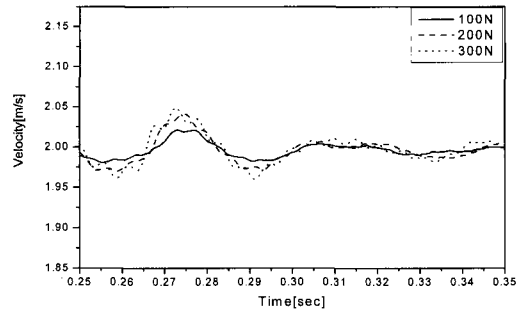
그림 12 300[N] 부하 인가 시 추력특성
Fig. 12 Thrust characteristics of PMLSM(Load 300N)

그림 13은 부하가 인가되는 부분에서 부하 크기에 따른 속도변화를 비교한 것이다. 부하의 크기가 클수록 속도의 감소량이 커지는 것을 알 수 있었다. 또한, 실험치에서는 계산치에서 나타나지 않는 부하인가에 따른 속도 감소 이외에 속도가 진동하는 현상이 발생하였으며 이는 부하가 증가할수록 크게 나타났다. 이는 부하인가 시 발생하는 부하에 의한 측정시스템의 진동에 의한 영향이라 사료된다. 또한, 실제 동특성을 측정하는 과정에서 PMLSM에 부하를 인가하는 양측식 리니어 모터가 시험기의 가동자의 한쪽에 설치된 구조적인 문제로 인해 부하의 크기가 커질수록 뒤틀리는 문제가 발생하였다. 그 결과 400[N] 이상의 부하 인가 시 측정 시스템 자체가 뒤틀어지는 현상이 두드러지게 발생하였다.

그림 14는 정상속도로 운전 시 부하가 인가되는 부분에서의 부하 크기에 따른 추력변화를 비교한 것이다. 부하에 의해 속도가 감소되는 시점에서 PMLSM은 지령속도로 운전하기 위해 전류는 증가하고, 전류증가에 따라 발생하는 추력 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 부하의 크기가 클수록 속도가 많이 감소하기 때문에 입력전류 또한 증가하게 되고, 추력 역시 커짐을 알 수 있다.

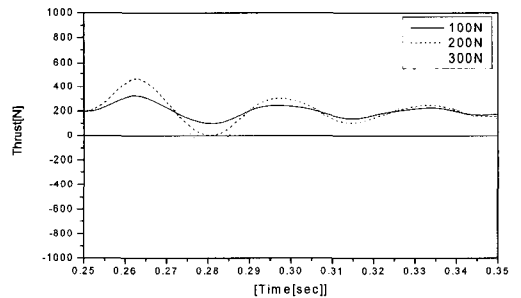


(a) 계산치

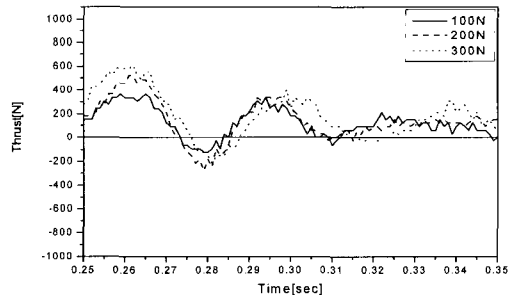


(b) 실험치

그림 13 부하크기에 따른 속도특성 비교
Fig. 13 Comparison of velocity characteristics by variable load



(a) 계산치



(b) 실험치

그림 14 부하크기에 따른 추력특성 비교
Fig. 14 Comparison of thrust characteristics by variable load

5. 결 론

본 논문에서는 직선 시스템에 직선 추력을 직접 발생시키는 PMLSM의 부하 급변에 따른 동특성에 관한 연구를 수행하였다. 먼저, PMLSM의 동특성 해석을 위해서 PMLSM의 동특성 해석에 필요한 파라미터를 유한요소해석을 이용하여 도출하였고, PMLSM의 수학적 모델링을 통해서 전압 방정식과 운동 방정식을 도출하였다. 도출한 방정식을 바탕으로 Matlab simulink를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 부하 급변에 따른 PMLSM의 속도, 추력 그리고 전류 특성을 얻을 수 있었다. 이렇게 얻어진 시뮬레이션 결과와 동특성 실험 장비를 사용하여 얻어진 측정 결과를 비교·검토해 본 결과 부하 급변시의 속도, 추력 그리고 전류 특성이 대동소이하여 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

한편, 본 연구에서 수행하지 못한 진동에 의한 영향과 부하의 크기가 클수록 뒤틀림 현상이 발생하는 문제를 해결함으로써 더욱 정확하고, 더욱 다양한 부하에 의한 동특성 연구가 이루어 질 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] I. Boldea, S. A. Nasar, "Linear Motion Electromagnetic Systems", John Wiley and Sons, 1985.
- [2] Jacek F. Gieras, Zbigniew J. Piech, "Linear Synchronous Motors Transportation and Automation Systems", CRC Press, 2000
- [3] 천장성, "급가속용 선형동기전동기의 특성해석 및 최적 설계", 서울대학교 박사학위 논문, 1999.
- [4] 정인성, "개선된 수치해석 기법을 이용한 영구자석형 선형 동기전동기의 특성해석", 한양대학교 박사학위논문, 1999
- [5] I. S. Jung, S. B. Shim, D. S. Hyun, "Analysis of Force in a Short Primary Type and a Short Secondary Type Permanent Magnet Linear Synchronous Motor", Conference of IEMDC '97, pp. MC1-8.1-MC1-8.3, 1997.
- [6] 임기채, "수치해석법을 이용한 영구자석 선형동기전동기의 특성해석 및 제어기 구현", 창원대학교 박사학위 논문, 2000

저 자 소 개



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 : myboy791@nate.com



장 기 봉 (張 基 鳳)

1970년 5월 25일생. 1994년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 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(공학박). 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@sarim.changwon.ac.kr