

하이브리드형 선형 펄스모터의 정추력 및 동추력 분석

김동희, 안재영, 김광현
전남대학교 전기공학과

Analysis the static thrust force and dynamic thrust force in HB-type Linear Pulse Motor

Dong-Hee Kim, Jae-Young Ahn, Kwang-Heon Kim
Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

ABSTRACT

The linear motor is available for linear transition motion, because of its advantages, the motor design and its application have gradually increased, but the quantitative measurement system of thrust force has not been generalized. Need analysis of correct thrust for control performance improvement of HB-LPM(HB-type Linear Pulse Motor). It is difficult to analyze HB-LPM's thrust. In this paper, HB-LPM's thrust is expressed to mathematical expression. And it is proved validity of this numerical formula by thrust measurement system. Two phase driver is composed. It is verified validity of numerical formula that measure waveform of electric current and voltage that is supplied in each phase.

1. 서론

HB-LPM(HB-type Linear Pulse Motor)의 제어 성능향상을 위해 정확한 추력의 해석이 필요하다. 본고에서는 해석대상인 HB-LPM에 가장 적합한 방법으로 정추력식을 전개하였고, 이 수식의 타당성을 검증하고자, 새로이 보완된 정추력 측정시스템을 개발하여, 정추력을 측정하였다. 또한, LabVolt社의 전력전자실습장비인 IGBT 인버터로 2상 구동드라이버를 구성하여, HB-LPM을 구동하며, A상 및 B상의 전압과 전류를 실측하였다. 이에 정추력의 계산값과 실측값, 그리고 2상 제어구동 시 계측된 전류 및 전압의 파형으로, 추력에 대해 분석코자 한다.

2. HB-LPM의 정추력 계산값

2.1 2상 여자 시 정추력 (Static Thrust)

$$F_T = -\frac{\sqrt{2}}{2} \frac{2\pi N_r}{\tau} \left(\frac{F F_m P_m P_{(1)}}{P_{(0)}} \right) \times [\sin(\theta - 45^\circ) - \frac{F P_{(1)}}{F_m P_m} \sqrt{2} \sin 2(\theta - 45^\circ)] + \Delta F_T \quad (1)$$

2.2 2상 여자 시 추력

추력식은 다음과 같다.

$$F_T = K_t [-(I_1 - I_3) \sin \theta + (I_2 - I_4) \cos \theta] \quad (2)$$

$$\left(\text{단, } K_t = \frac{2\pi N_r}{\tau} N B_0 A_m \frac{P_{(1)}}{P_{(0)}} \right)$$

K_t : 추력 상수(Thrust Constant)

2.3 합성 발생 추력

구형 치의 구조를 갖는 HB-LPM에 대해 치 간격의 1[pu] 변위에 따라 퍼미언스 분포가 정현파에 가까움을 알게 되었다. 그러나, 자석과 코일에 따라 발생한 추력을 합성하면 전체 합성발생추력은 그림 1과 같이 왜형이 발생하여 고조파가 존재하게 된다. 그림 2에서 영구자석의 멈춤 추력(Detent Force)은 높은 추력특성을 나타내며, 기본주파수와 비교하여 4차 고조파로 작용함을 알 수 있다.

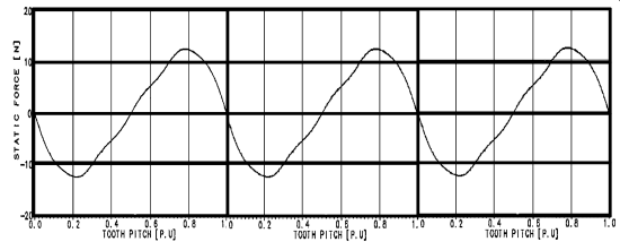


그림 1. 합성 여자 3주기 추력
Fig. 1. Total excited thrust of 3 cycle

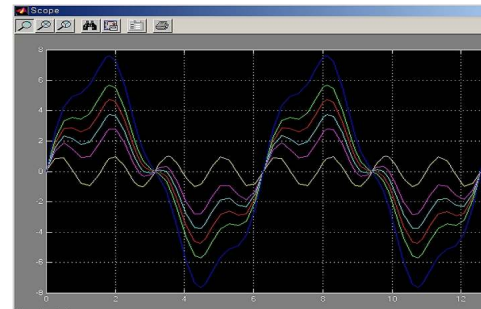


그림 2. 여자전류에 따른 추력특성
Fig. 2. Thrust feature be followed by exciting current

3. 정추력 실측값

앞에서 제시한 HB-LPM의 추력식 수식(1), (2)가 타당한지 증명하기 위하여, 정추력 측정 시스템이 필요하다. 이에 본 연구에서 새로이 개선된 정추력 측정 시스템을 개발하였다. 저렴한 가격으로 정밀하게 정추력을 측정할 수 있도록 그림 3과 같이 고안하여 시스템을 제작하였다. 표 1은 해석대상인 HB-LPM의 사양을 나타낸다.

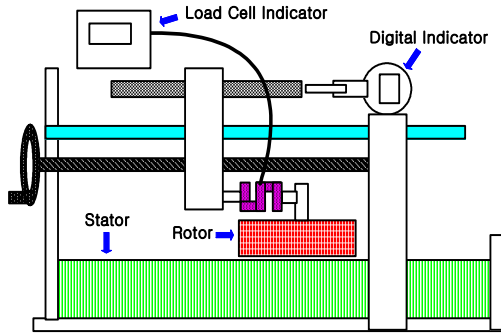


그림 3. 정추력 측정시스템
Fig. 3. Measurement system for the static thrust of HB-LPM

표 1. HB-LPM의 사양
Table 1. Spec. of HB-LPM

항 목	단 위	LPM
이동거리	mm	1,000
저항/코일	ohm	1.13
인덕턴스/코일	mH	4.7
전류/상	A	6
연속추력	kgf	25
정추력	kgf	28
공기압	기압	5
코일상수	상	2
가반중량	kg	10

새로운 정추력 측정 시스템을 가지고 HB-LPM의 정추력을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째는 가동자가 12개의 모듈로 존재함으로 각 모듈이 극값의 원인으로 영향을 미치고, 기계적으로 편차가 존재함을 알 수 있었다. 또한, 고정자의 1치 간격은 1.28mm임을 알 수 있었다. (그림 4 참조)

둘째는 수학적으로 전개한 정추력식들과 실제 측정한 정추력 값의 그래프가 일치함을 알 수 있었다. 또한, 1상과 2상 여자 추력식의 수학적 전개식과 실측값이 일치함을 알 수 있었다.

셋째는 Kt 값이 20임을 알 수 있고, 영구자석은 15~20N의 멈춤 추력을 갖는다. 또한, 권선 여자 시 A상과 B상은 90°의 위상차를 갖는다. (그림 5 참조)

이상과 같이 해석대상 HB-LPM에 대하여, 제시된 추력식(1), (2)는 추력을 실측함으로 타당성이 증명되었다. [3]

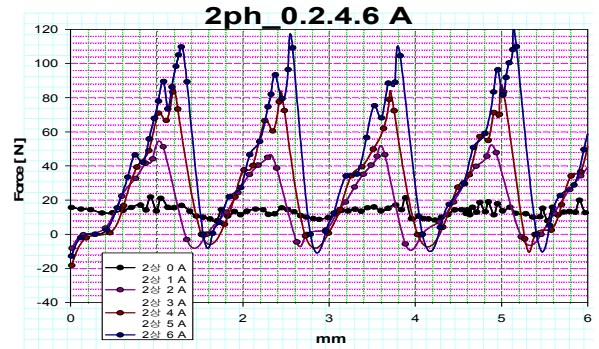


그림 4. 2상 여자시 4주기 정추력
Fig. 4. Four cycle static thrust of two phase exciting

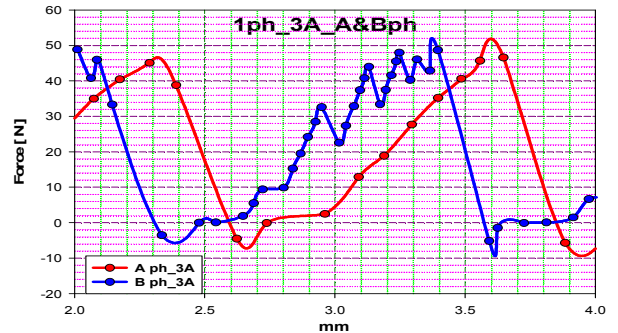
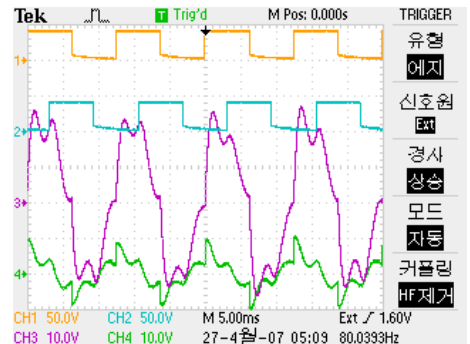
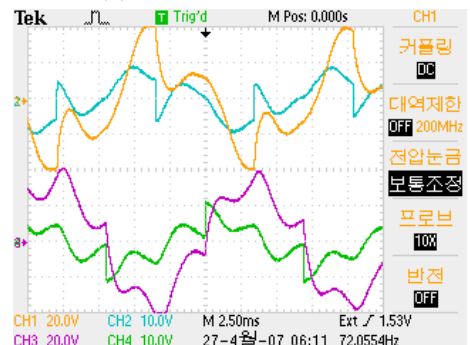


그림 5. A상과 B상의 정추력 비교
Fig. 5. Static thrust comparison of A phase and B phase

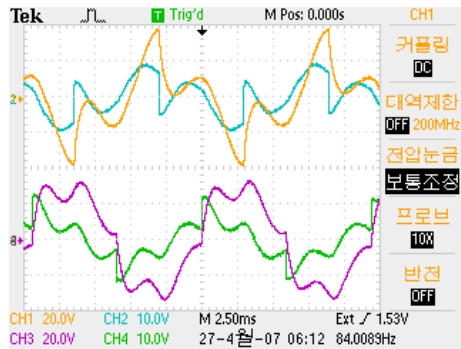
4. 구동 시 계측된 전류 및 전압



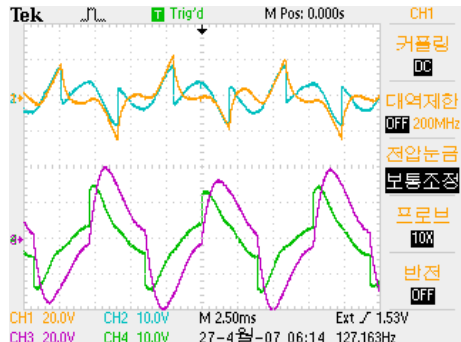
(a) 2상 구동드라이버 제어신호



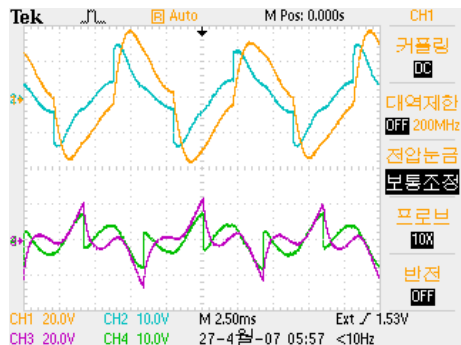
(b) 정방향, 제어주파수가 72Hz 일 때 파형



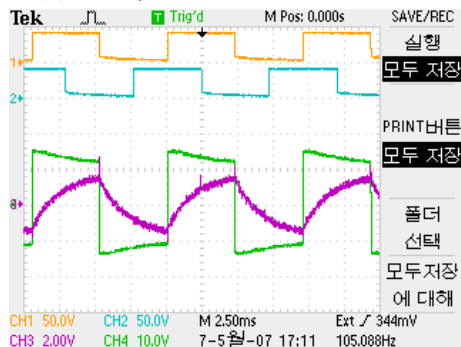
(c) 정방향, 제어주파수가 84Hz 일 때 파형



(d) 정방향, 제어주파수가 127Hz 일 때 파형



(e) 역방향, 제어주파수가 127Hz 일 때 파형



(f) 부하 R, L값 100배 증가 시 파형

그림 6. 구동 시 계측된 전류 및 전압의 파형
Fig. 6. Wave of current and voltage at moving

LabVolt社의 전력전자실습장비인 IGBT 인버터로 2상 구동드라이버를 구성하여, HB-LPM을 구동하며, A상 및 B상의 전압과 전류를 계측하였다.

그림 6 (a)에서 1, 2번 파형은 구동드라이버의 2상 180° 제어신호이다. 이 때 A상의 전류는 3번, 전압은 4

번 파형이다. 3번 전류는 80Hz 구동 시 파형으로, 그림 1, 2, 4와 비교하면, 파형이 유사함을 알 수 있다.

그림 6 (b), (c), (d)는 제어주파수가 72Hz, 84Hz, 127Hz일 때 A상 및 B상의 전류와 전압의 파형이다. 위 세 파형에서 알 수 있듯이 제어주파수가 증가할수록 전류의 왜형(고조파 성분)이 작아짐을 알 수 있다.

그림 6 (d)와 (e)를 비교해 보면, 제어주파수가 127Hz 일 때, 정방향 구동 시 파형은 (d)이고, 역방향구동 시 파형은 (e)이다. (d), (e)에서 1, 2번 파형은 B상의 전류와 전압파형이고, 3, 4번은 A상의 전류와 전압의 파형이다. 이에서 알 수 있듯이 정방향구동 시 B상의 전류와 전압 실효치(전류, 전압계로 계측된 값)는 A상의 값보다 작음을 알 수 있었고, 역방향구동 시에는 B상의 값이 A상의 값보다 크음을 알 수 있었다. 즉, HB-LPM의 가동자(Mover)의 이동방향에 따라서 각상에 인가되는 전류와 전압의 값이 상이함을 알 수 있었다.

그림 6 (f)는 2상 드라이버 구동 시 부하에 인가되는 전류와 전압의 이상적인 파형이다. 표 1의 저항(R)과 인덕턴스(L)값에서 알 수 있듯이 그 값이 매우 작으므로, R과 L값을 100배로 증가 시, A상에 인가되는 전류와 전압은 왜형이 없는 삼각파형 및 구형파형이다.

5. 결론

HB-LPM의 추력을 해석하는 것은 쉽지 않다. 본고에서는 HB-LPM의 정추력 및 추력을 수학적 수식으로 표현하였고, 또한 이 수식의 타당성을 정추력 측정시스템으로 증명하였으며, 실제 2상 구동드라이버를 구성하여 각 상 A상, B상에 인가되는 전류와 전압의 파형을 계측함으로써 위 수식의 타당성을 한번 더 검증하였다.

수학적 모델링의 파형인 그림 1과 그림 2, 정추력 측정시스템으로 실측한 그림 4와 그림 5, 2상 구동 시 계측된 그림 6 (b), (c), (d)의 전류파형들을 통해서, 각 파형들이 서로 매우 유사함을 알 수 있다. 이것은 수학적 수식의 정확성을 증명하는 것이다. 또한, 위 실험으로 얻어진 파형의 왜형정도가 심하므로, HB-LPM 제어의 어려움을 예측할 수 있고, HB-LPM 구동 시 진동 및 소음의 원인도 됨을 알 수 있다.

이 논문은 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 조운현, “선형펄스전동기의 특성해석”, 전기학회논문지 48B 권 5호, 1999년 5월.
- [2] 배동관, “HB형 선형펄스모터의 추력계산법의 비교 및 측정 장치 설계”, 전력전자학술대회 논문집, p141-145, 2003년 7월.
- [3] 김동희, “LPM의 정추력 정량화 및 측정 분석”, 전력전자학술대회 논문집, p304-307, 2003년 7월.
- [4] 허두석, “입력전류파형에 따른 LPM의 정특성 고찰”, 전기학회논문지 53B권 7호, 2004년 7월.