

2상8극 HB형 LPM의 구동방식에 따른 추력의 고조파 해석

김성현^o, 이은웅^{*}, 김일중^{**}, 이동주^{*}
천안전문대^o, 충남대^{*}, 주성전문대^{**}

Harmonic Analysis of Thrust Force depended
on 2 Phase 8 Pole HB Type LPM Drive Method

Kim Sung-Heon^o, Lee Eun-Woong^{*}, Kim Il-Jung^{**}, Lee Dong-Ju^{*}
Cheon An Junior College^o, Chung Nam Univ^{*}, Ju Soungh Junior College^{**}

Abstract

In this paper, we calculate the thrust force by the permeance method. we analyze the thrust force vs. displacement and harmonic components of static thrust characteristics of LPM. Microstep reference current for cancelation of the dominant harmonic component is obtained by the analytical method.

1. 서 론

고정도화에 적합한 2상 8극형 LPM을 마이크로스텝으로 구동하고자 할 때 정추력 특성이 정현파이면 문제가 되지 않지만, 일반적으로 LPM의 정추력 특성에는 고조파 성분이 포함되어 있어 모터의 위치정도나 추력 특성에 영향을 주게 된다.^{[1][2][3][4]}

본 논문에서는 LPM의 고정도 위치제어를 위하여 일정여자전류(1상여자) 및 마이크로스텝 구동방식으로 구동하여 기본파 이외의 고조파 성분을 포함한 정추력 특성을 얻는다. 이 정추력 특성을 FFT로 해석하여 정추력에 지배적인 영향을 미치는 고조파 성분을 분석하고 고조파 성분을 제거하기 위한 방법을 연구하였다. 즉, 고조파 성분과 같은 크기이고 역상의 추력을 발생하도록 여자전류를 결정한다. 이렇게 하여 얻어진 여자전류는 마이크로스텝 구동시에 추력의 고조파 성분을 제거하기 위한 최적의 여자전류 기준치로 사용될 수 있다. 따라서, LPM의 분해능을 높일 수 있다.

2. LPM의 발생추력

LPM의 추력을 퍼어미언스법을 이용하여 구하였다. 즉, LPM의 한 치에 대한 공극의 퍼어미언스를 계산하고, 그 값을 미분을 하면 추력이 얻어진다.

그림 1은 공극에서의 퍼어미언스를 계산하기 위한 모델을 나타내고 있다. 그리고 표1은 LPM의 주요 치수를 나타내고 있다.

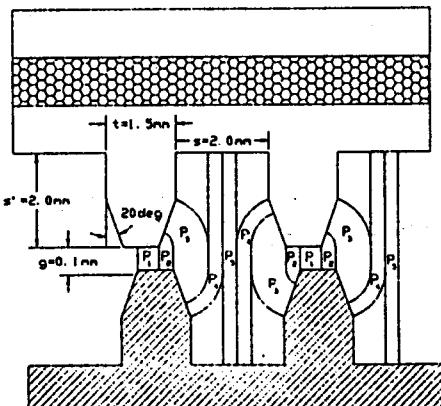


그림 1. LPM의 퍼어미언스 모델

표 1. LPM의 치수

치 폭	:	t	1.5mm
슬롯 폭	:	s	2.0mm
공극의 길이	:	g	0.1mm
치의 경사 각도	:	θ	20도
$\theta' = (90-\theta)\text{도}, t' = t-s \cdot \tan\theta$			

페어미언스에 관한 식 (1)에서,

$$P = \mu_0 \int \frac{dA}{l} [H] \quad (1)$$

dA = 자속튜브의 미소 단면적 [m^2]

l = 자속튜브의 길이 [m]

μ_0 = 공기의 투자율 ($4\pi \times 10^{-7}$ [H/m])

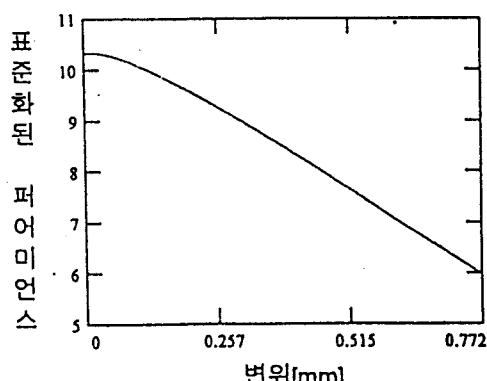
변위가 $x=0.0 \sim t'$ 일 때, $P_1 \sim P_5$ 에 대응되는 페어미언스를 구하면 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} P_1 &= \mu_0 \left(\frac{t' - x}{g} \right) \\ P_2 &= \frac{\mu_0}{\theta'} \ln \left(\frac{\theta'}{g} x + 1 \right) \\ P_3 &= \frac{\mu_0}{2\theta'} \ln \left(\frac{2\theta's + 2(g - \theta'x)\cos\theta}{4\theta'x\cos\theta + 2(g - \theta'x)\cos\theta} \right) \\ P_4 &= \frac{\mu_0}{\theta'} \ln \left(\frac{\theta's + 2(s + g)\cos\theta}{\theta's + 2(s + g)\cos\theta - 2\theta'x\cos\theta} \right) \\ P_5 &= \mu_0 \frac{\left(1 - \frac{1}{\cos\theta}\right)s + t - x}{2s + g} \end{aligned} \quad (2)$$

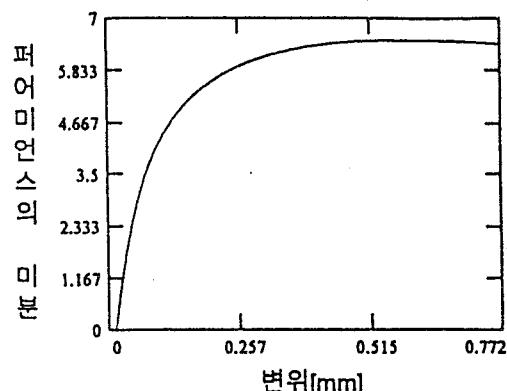
따라서, 페어미언스법에 의한 발생추력은 식 (3)과 같다.

$$F(x) = k_0 \frac{dP(x)}{dx} \quad (3)$$

그림 2는 표준화된 페어미언스와 그 미분값을 나타낸 것이다.



(a) 페어미언스



(b) 페어미언스의 미분값

그림 2. 페어미언스법에 의한 계산결과

3. 측정방법

변위-정추력 특성을 측정하기 위한 실험장치를 그림3에 나타내었다. LPM을 정격전류로 여자하고 마이크로 미터에서 일정변위만큼 LPM의 가동자를 이동시킨다. 그 때의 정추력값을 load cell의 indicator로부터 알아내는 방법으로 측정하였다.

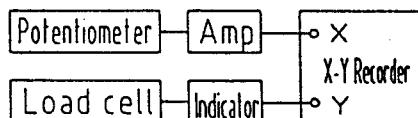
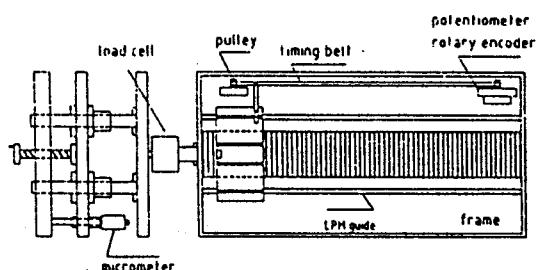
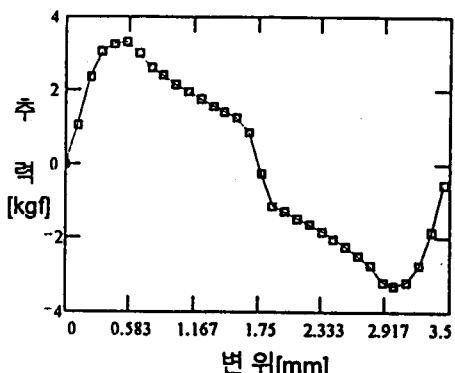


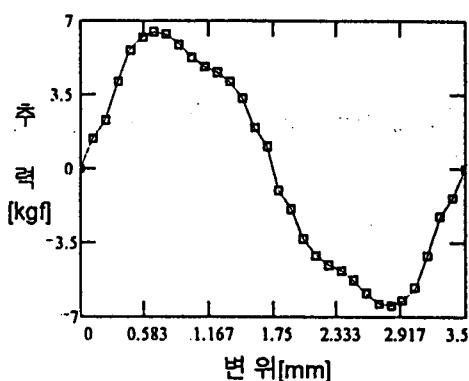
그림 3. LPM의 정추력 측정장치

4. 측정결과

일정전류로 여자시켰을 때, 1상 여자($I_0=0.5A$)와 마이크로스텝 여자시($I_0=1.5A$)에 측정한 정추력 특성을 그림 4에 나타내었다.



(a) 1상 여자시



(b) 마이크로스텝 여자시

그림 4. 정추력 특성

그림 4는 정추력 특성에서 기본파 이외에 제2고조파, 제 3고조파, 제 4고조파가 포함되어 있는 것을 보여주고 있다.

정추력에 고조파가 함유되어 있는 것은 위치 정밀도를 떨어뜨리고, 탈조 등의 원인이 될 수 있다.

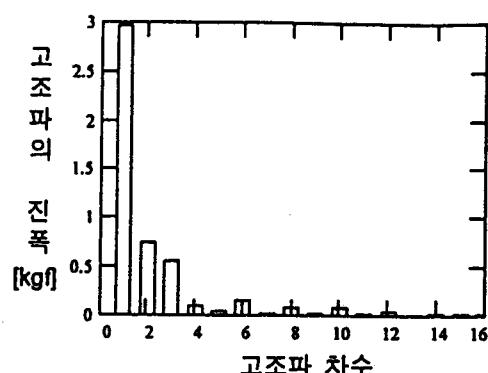
5. 정추력 특성의 고조파 해석

정추력 특성에 포함된 고조파 추력의 크기를 구하기 위해서 FFT해석을 한다.

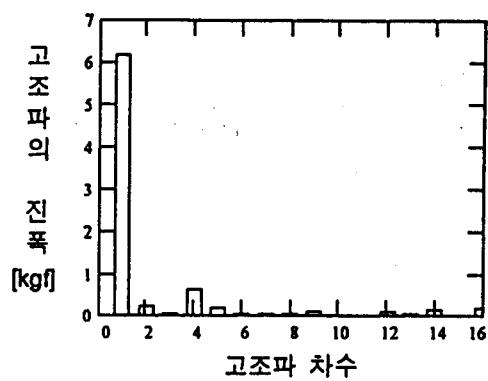
그림 5와 그림 6은 1상 여자, 그리고 마이크로스텝 여자시에 정추력의 FFT해석결과와 추력특성을 나타낸다.

그림 5의 FFT해석결과에서 기본파와 각 고조파의 크기를 얻을 수 있다. 따라서, 정추력 곡선을 다음과 같은 식으로 근사화할 수 있다.

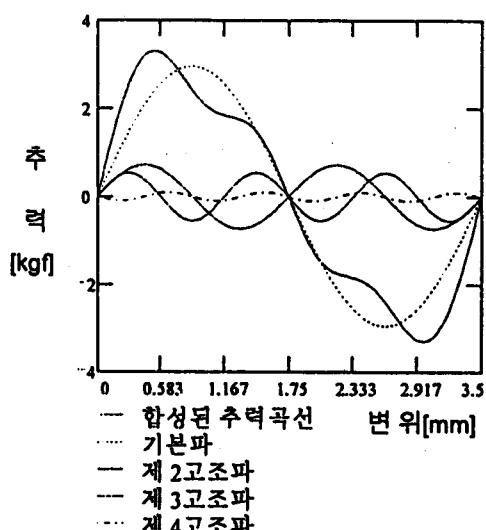
$$F(x) = k'_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\tau}x\right) + k'_2 \sin\left(\frac{4\pi}{\tau}x\right) \\ + k'_3 \sin\left(\frac{6\pi}{\tau}x\right) + k'_4 \sin\left(\frac{8\pi}{\tau}x\right) \quad (4)$$



(a) 1상 여자시



(b) 마이크로스텝 여자시,
그림 5. 정추력의 FFT해석 결과

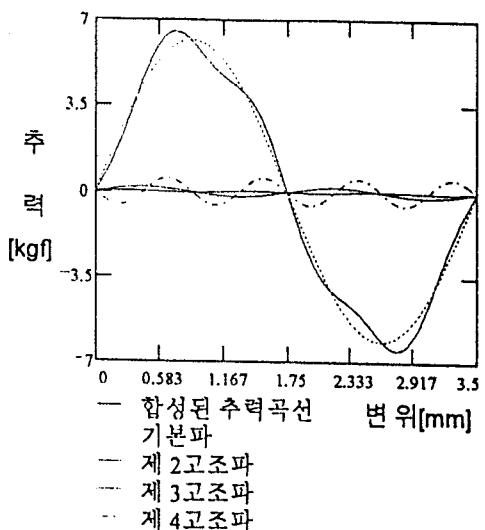


(a) 1상 여자시

여기서,

$$k'_1 = k_1 I_0, \quad k'_2 = k_2 I_0$$

$$k'_3 = k_3 I_0, \quad k'_4 = k_4 I_0$$



(b) 마이크로스텝 여자시
그림 6. 기본파 및 고조파의 추력곡선

따라서, 마이크로스텝 구동시 발생한 고조파를 제거하기 위한 기준전류값은 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned} i'(x) &= I(x) \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) \\ &= \left[I_0 + \frac{k_2 I_0 \sin\left(\frac{4\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \right. \\ &\quad + \frac{k_3 I_0 \sin\left(\frac{6\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \\ &\quad \left. + \frac{k_4 I_0 \sin\left(\frac{8\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \right] \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) \quad (5) \end{aligned}$$

여기서,

$$D(x) = \left\{ k_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) + k_2 \sin\left(\frac{4\pi}{\tau} x\right) \right. \\ \left. + k_3 \sin\left(\frac{6\pi}{\tau} x\right) + k_4 \sin\left(\frac{8\pi}{\tau} x\right) \right\}$$

이다.

6. 결론

본 연구에서는 퍼어미언스법에 의해 정추력 특성을 구했다. 정추력을 실측해서 FFT에 의해 고조파 해석을 하여 고조파 성분을 얻어낸 다음 고조파를 여자전류에 중첩시키는 방법으로 고조파를 제거함으로써 LPM의 위치정밀도를 향상시킬 수 있는 방법을 검토하였다.

따라서 LPM 정추력 특성에서 정추력 고조파 성분이 포함되어 있어도, 그 정추력 특성을 구할 수만 있다면 여자전류에 의해 고조파 성분이 제거될 수 있다. 그 결과, 얻어진 정추력 특성은 고조파가 제거된 정현파만으로 된다.

참고문헌

- [1] Daiki Ebihara Syuji Moriya, Morimasa Kajioka Kazusi Yamaguchi., "The Drive of the Linear Pulse Motor by the Microstep Driver", LD-90-24.
- [2] Daiki Ebihara Syuji Moriya, Morimasa Kajioka Kazusi Yamaguchi., "Study of High Positioning Accuracy for Cylindrical Linear Pulse Motor", Trans. on JIEE, Vol.111-D, No.10, pp.887-892, 1991.
- [3] Daiki Ebihara Syuji Moriya, Hideo Dohmeki., "The Characteristics of Two-Phase Eight-Pole Linear Pulse Motor by using Micro-Step Drive", Trans. on IEEE, Vol. MAG-23, No.5, 1987. 9.
- [4] Daiki Ebihara Syuji Moriya, Fumihiko Satoh, "Analysis for the Characteristic of Two-Phase Eight-Pole Type Linear Pulse Motor", Trans. on JEE, Vol.108-D, No.1, pp. 77-82, 1988.
- [5] I.J Kim and E.W. Lee., "The Performance Characteristics of HB type Linear Pulse Motor(LPM)", Trans. on KIEE, Vol.42, No.6, pp.1-6, June 1993.
- [6] I.J Kim and E.W. Lee., "The Characteristics of Single-Side LPM using FEM and Measurement System", ISEM-SEOUL, 1994. 6.
- [7] S.H Kim and E.W Lee., "A Study on the Microstep Control of HB Type Linear Pulse Motor", ICEE95-TAEJON, pp.568-571, 1995.