

2상 8극 HB형 LPM의 마이크로스텝 구동에 의한 추력특성 개선

김성현^o, 이은웅^{*}, 김일중^{**}, 조현길^{***}, 이동주^{*}^o천안전문대, ^{*}충남대, ^{**}주성대학, ^{***}LG산전

Improvement of Thrust Force Characteristics by Micro-step Drive of 2 Phase 8 Pole HB type LPM

Kim, Sung-Heon^o, Lee, Eun-Woong^{*}, Kim, Il-Jung^{**}, Jo, Hyun-Gil^{***}, Lee, Dong-Ju^{*}

Abstract - After finding the harmonic components by measuring the thrust force, which affects high accuracy position control during micro-step drive of LPM, the exciting current was calculated to remove them. Also the detent force being induced by magnetic flux density of permanent magnetic was measured. It was confirmed that the tooth and slot width was designed properly through the analysis of detent force.

1. 서 론

2상 8극 HB형 LPM의 정추력 특성이 변위에 대하여 정현파라고 하면 마이크로스텝 구동은 미세스텝 위치제어를 하는데 대단히 유용한 수단이 된다. 그러나 정추력 특성 중에는 기본파이외의 고조파 성분이 포함되어 있어 위치정도나 추력특성에 영향을 미치게 된다. 또한 LPM의 특성 해석에 있어서 디텐트력 해석은 위치결정정도나 자기보지력을 명확히 하는데 대단히 중요하다. 본 연구에서는 LPM을 마이크로스텝 구동하여 고조파 성분이 포함된 정추력 특성을 얻은 다음 이를 FFT 해석하여 추력에 지배적인 영향을 미치는 고조파 성분을 분석하고 고조파 성분을 제거하기 위한 방법을 연구하였다. 즉, 정추력 고조파 성분과 정확히 역상의 추력이 발생하도록 변위에 관계해서 변화하는 여자전류를 결정한다. 그리고 퍼어미언스법에 의해 얻어진 자속분포로부터 영구자석에 의해 형성된 자기수반에너지를 적절히 이용하면 디텐트력을 포함한 정추력을 계산할 수 있다. 이것에 의해 디텐트력을 분리하는 것이 가능함을 보여주고 실측치와 비교하였다. 따라서 LPM을 마이크로스텝 구동시 추력특성을 개선하기 위해서는 고조파 성분을 제거할 수 있는 여자전류와 디텐트력을 유용하게 이용할 수 있는 설계 치수의 타당성을 검토한다.

2. LPM의 발생토오크와 디텐트력

퍼어미언스법에 의해 얻어진 자속분포에서 자기수반에너지를 이용한 경우에도 영구자석에 의해 형성된 자기

수반에너지를 적절하게 고려하면 디텐트력을 포함한 정추력을 구할 수 있다.^[1]

영구자석에 의한 자기수반에너지 W_m 은

$$W_m = \int_0^{U_m} \Phi dU = \left(\frac{1}{2} \Phi_p \right) U_m \quad (1)$$

여자전류에 의한 자기수반에너지 W_i 는

$$W_i = \int_0^{U_i} \Phi dU = \left(\Phi_p + \frac{1}{2} \Phi_i \right) U_i \quad (2)$$

따라서 전체 자기수반에너지는 다음 식이 된다.

$$W = W_m + W_i \quad (3)$$

공극에 가해진 영구자석과 여자전류에 의한 기자력을 A상에 대해서만 Fourier급수전개하고, 같은 방법으로 B상에 대하여도 구하면 된다.

$$U_{mA} = \overline{U_m} + \sum_{n=1}^{\infty} U_{m(n)} \cos \frac{8\pi}{\tau} nx \quad (4)$$

$$U_{A1} = \overline{U_i} + \sum_{n=1}^{\infty} U_{i(n)} \cos \frac{2\pi}{\tau} nx \quad (5)$$

$$U_{A2} = -\overline{U_i} - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n U_{i(n)} \cos \frac{2\pi}{\tau} nx \quad (6)$$

 U_m : 영구자석에 의해 캡에 가해진 기자력 평균치[A] $U_{m(n)}$: Fourier급수의 제n차 성분 U_i : 여자전류에 의해 캡에 가해진 기자력 평균치[A] $U_{i(n)}$: Fourier급수 제 n차 성분여기서, $U_{mA} = U_F + U_R$

$$U_{A1} = U_A + U_{A'} + U_{\bar{A}} + U_{\bar{A}'}$$

$$U_{A2} = U_B + U_{B'} + U_{\bar{B}} + U_{\bar{B}'}$$

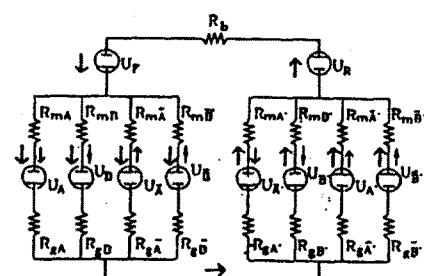


그림 1. LPM의 자기등가회로
Fig. 1 Magnetic equilibrium circuit of LPM

기자력에 관한 계산결과를 식(7)과 같이 근사화시킬 수 있다.

$$|\overline{U_m}| \gg |U_{m(n)}|, U_{mA} = -U_{mB} = \overline{U_m} \quad (7)$$

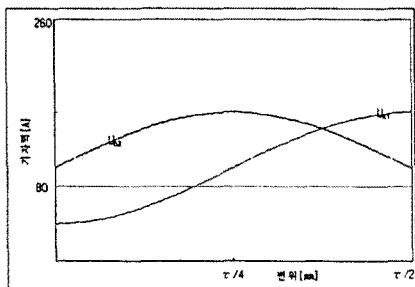


그림 2. 공극에 가해진 기자력

Fig. 2 MMF of air gap

영구자석에 의한 자기수반에너지로부터 추력을 A상에 대하여만 표시하고, 같은 방법으로 B상에 대하여 W_{m3} , W_{m4} 에 대하여 구하면 영구자석에 의한 전체 추력을 얻을 수 있다.

$$W_{m1} = U_{mA} \left[\frac{1}{2} \overline{\Phi}_p + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{p(n)} \cos \frac{2\pi}{\tau} nx \right] \quad (8)$$

$$W_{m2} = U_{mA} \left[\frac{1}{2} \overline{\Phi}_p + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \Phi_{p(n)} \cos \frac{2\pi}{\tau} nx \right] \quad (9)$$

$$F_m = \frac{dW_{m1}}{dx} + \frac{dW_{m2}}{dx} + \frac{dW_{m3}}{dx} + \frac{dW_{m4}}{dx} \\ = \frac{16\pi}{\tau} \overline{U_m} \sum_{n=1}^{\infty} n \Phi_{p(4n)} \sin \frac{8\pi}{\tau} nx \quad (10)$$

A상과 B상에 대하여 여자전류에 의한 자기 수반에너지 W_{11} , W_{12} 로부터 추력을 구한다.

$$F_i = \frac{dW_{11}}{dx} + \frac{dW_{12}}{dx} \quad (11)$$

따라서, 정추력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_s = F_m + F_i \quad (12)$$

3. 정추력 특성의 고조파 해석

정추력 특성에 포함된 고조파 성분의 크기를 구하기 위해서 FFT해석을 한다.

그림 3과 그림 4는 마이크로스텝 구동시에 정추력과 기본파 및 고조파의 추력특성을 나타낸다.

그림 4의 FFT 해석결과에서 기본파와 각 고조파 성분의 크기를 얻을 수 있다. 따라서, 정추력 특성은 다음과 같이 식 (13)으로 근사화할 수 있다.

$$F(x) = k'_1 \sin \left(\frac{2\pi}{\tau} x \right) + k'_2 \sin \left(\frac{4\pi}{\tau} x \right) \\ + k'_3 \sin \left(\frac{6\pi}{\tau} x \right) + k'_4 \sin \left(\frac{8\pi}{\tau} x \right) \quad (13)$$

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

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

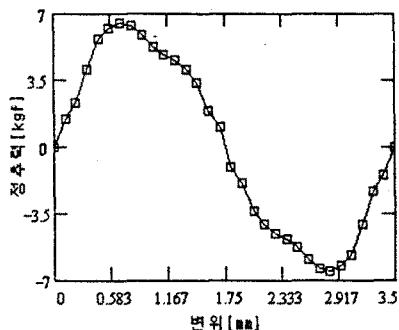
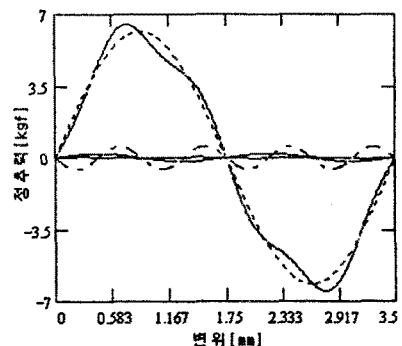


그림 3.
정추력 특성

Fig. 3 Static thrust force characteristics



— 합성된 추력곡선 resultant thrust force
--- 기본파 fundamental
— 제 2고조파 2nd harmonic
— 제 3고조파 3rd harmonic
--- 제 4고조파 4th harmonic

그림 4. 기본파 및 고조파의 추력곡선
Fig. 4 Thrust force of fundamental and harmonics

4. 치형상과 토오크 분포 검토

그림 5는 공극에서의 퍼어미언스를 계산하기 위한 모델을 나타내고 있다. 그리고 표는 LPM 시작기의 제원이다.

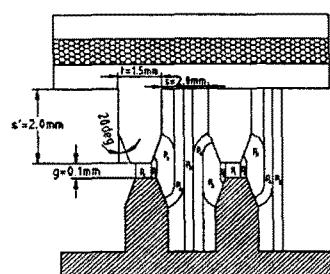


그림 5. LPM의 퍼어미언스 모델
Fig. 5 Permeance model of LPM

그림 6은 토오크의 분포를 Fourier 급수전개하여 디텐트력에 의한 고조파성분이 4차, 8차로 나타나고 있음을 알 수 있다. 스티프네스 토오크 측정결과에서 치폭비가 40% 때의 디텐트 토오크를 뺀 나머지가 여자전류에 의한 토오크가 된다.^[2]

표. LPM의 치수

Table Demension of LPM

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

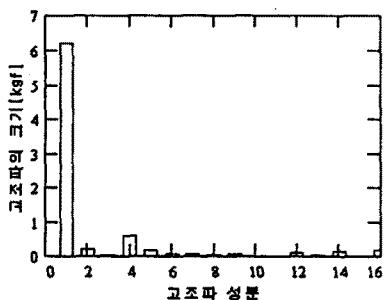


그림 6. 정추력의 FFT 해석
Fig. 6 Analysis of thrust force by FFT

영구자석에 의한 디텐트력의 실측치와 계산치를 비교하여 그 결과를 그림 7에 표시하였다.

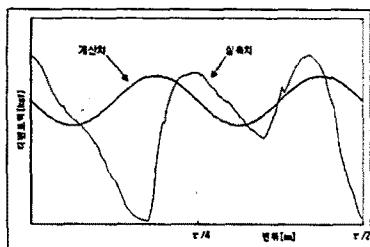


그림 7. 정지토오크 및 디텐트력
Fig. 7 stantionary torque and detent force

또한 마이크로스텝 구동시 발생한 고조파를 제거하기 위한 기준전류값을 식 (14)에서 구하여 그림 8로 나타내었다.^[3]

$$i'(x) = I(x) \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right)$$

$$= \left[I_0 + \frac{k_2 I_0 \sin\left(\frac{4\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \right. \\ \left. + \frac{k_3 I_0 \sin\left(\frac{6\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \right. \\ \left. + \frac{k_4 I_0 \sin\left(\frac{8\pi}{\tau} x\right)}{D(x)} \right] \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} x\right) \quad (14)$$

여기서,

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

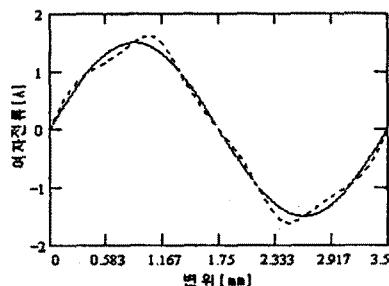


그림 8. 고조파 성분이 제거된 여자전류
Fig. 8 Exciting current removed harmonics

그림 9는 고조파 성분이 제거된 여자전류에 의해 구동했을 경우 추력특성이 정현파에 근사함을 보여주고 있다.

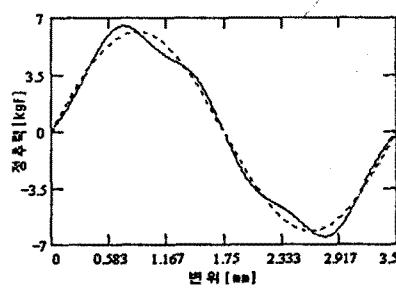


그림 9. 고조파 제거 추력곡선
Fig. 9 Thrust force curve removed harmonics

5. 결 론

LPM의 위치결정정도는 치부의 형상이나 가공정도등 기하학적 형상에 영향을 받는다. 2상8극 HB형 LPM은 무여자상태의 detent력이 작아서 여자상태 정추력은 정현파에 근사하여 고정도가 요구되는 마이크로스텝 구동에 적당하다는 것을 확인하였다.

가동자의 극피치와 치폭의 비를 약 42.8%로 하는 점이 퍼미언스 변화가 최대로 되어 추력특성을 개선하는 효과를 얻을 수 있었기 때문에 시작기의 가동자 설계는 타당하다.

(참 고 문 헌)

- [1] Yukio Yamamoto, Hajime Yamada, "Detent Force of Linear Pulse Motor", JIEE, MAG-88-107, LD-88-12, 1988
- [2] Hideo Dohmeki, "HY形 ステッピングモータの歯形状とトルク特性," RM-95-58, IIC-95-40, 1995
- [3] Daiki Ebihara, Syuji Moriya, Morimasa Kajioka, Kazusi Yamaguchi, "The Drive of the Linear Pulse Motor by the Microstep Driver", JIEE, MAG 90-24, LD-90-24, 1990