

마이크로스텝구동 LPM의 입력 파형에 따른 LPM특성 고찰

김명수, 이병삼, 허두석, 조운현
 동아대학교

Characteristics Investigation of LPM according to Input Waveform of Microstep Drive

Myoung-Su Kim, Byoung-Sam Lee, Du-Suk Heo, Yun-Hyun Cho
 Donga University

ABSTRACT

Microstep driving method is adopted to reduce the thrust ripple of LPM(Linear Pulse Motor). It controls each phase current to improve the resolution of position. Therefore, the phase current waveform affects the characteristics of LPM in microstep drive. In this paper, the characteristics of LPM was investigated in accordance with phase current waveform.

1. 서 론

마이크로스텝 구동 방식은 모터의 각상에 흐르는 전류의 비를 변화시켜 가동자의 정지점이 변화되는 것을 이용하여 기본 스텝크기를 미소크기로 분할하는 구동방식이다. 그러므로 위치 정밀도를 향상시키고, 속도 리플을 감소시킬 수 있다. 또한 공진 현상을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 운전속도 및 토크의 증가 등의 성능 향상을 이룰 수 있다.[1],[2] 마이크로스텝 구동 방식에서 가장 중요한 것은 기준 상 전류 파형인데 이 파형의 형태에 따라서 모터의 구동특성이 달라지게 된다. 본 논문에서는 2상 구동방식과 마이크로스텝 구동방식에 따른 LPM의 특성을 고찰하였다.

2. LPM의 구조와 기본 방정식

2.1 LPM의 구조

그림 1은 LPM의 구조를 나타내고 있다. LPM은 가동자와 고정자, 두 부분으로 나눌 수 있다. 가동자는 두 개의 전자석과 두 개의 영구자석, Back York로 구성되어 있다. 각 전자석은 두 개의 극을 가지고 있고 각 극은 같은 수의 치를 가지고 있다.[3],[4],[5]

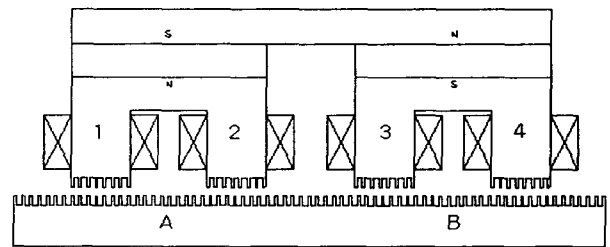


그림 1 LPM의 구조

Fig. 1 Construction of LPM

2.2 기본 방정식

LPM의 기본 전압방정식, 추력 방정식, 운동 방정식은 다음과 같다.[6]

1) A 상

$$F_A = -K_f i_A \sin \frac{2\pi}{T_P} x \quad (1)$$

$$e_A = K_1 \frac{dx}{dt} \sin \frac{2\pi}{T_P} x \quad (2)$$

$$v_A = r_A i_A + L_{1A} \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_{cA}}{dt} + e_A \quad (3)$$

$$0 = r_{cA} i_{cA} + L_{2A} \frac{di_{cA}}{dt} + M \frac{di_A}{dt} - e_A \quad (4)$$

2) B 상

$$F_B = -K_f i_B \cos \frac{2\pi}{T_P} x \quad (5)$$

$$e_B = K_1 \frac{dx}{dt} \cos \frac{2\pi}{T_p} x \quad (6)$$

$$v_B = r_B i_B + L_{1B} \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_{cB}}{dt} + e_B \quad (7)$$

$$0 = r_{cB} i_{cB} + L_{2B} \frac{di_{cB}}{dt} + M \frac{di_B}{dt} - e_B \quad (8)$$

3) 운동 방정식

$$F_A + F_B = (M' + m) \frac{d^2x}{dt^2} + 2(M' + m) \zeta_n \omega_n \frac{dx}{dt} \quad (9)$$

여기서, F_A, F_B : 추력, e_A, e_B : 유기전압,
 v_A, v_B : 공급전압, K_f : 추력상수, K_1 : 역기전력
상수, r_A, r_B : 코일저항, r_{cA}, r_{cB} : 철손등가저항,
 i_A, i_B, i_{cA}, i_{cB} : 전류, T_p : 치 피치,
 $L_{1A}, L_{2A}, L_{1B}, L_{2B}, M$: 코일의 자기인덕턴스와
상호인덕턴스, x : 변위, M' : 부하중량, m : 가
동자의 중량, ζ_n : 감쇄비, ω_n : 고유진동수

3. 마이크로스텝 구현

그림 2는 마이크로스텝 블록도를 나타낸 것이다. 기준 전류 파형을 만들기 용이하도록 하기 위해 범용으로 많이 사용하는 인텔사의 80C196KC 16BIT 마이크로프로세서를 사용하였다. 기준 전류 파형은 Lookup Table로 구성하여 ROM에 저장하였다. 80C196KC는 LPM의 상 전류를 측정하여 AD 컨버터를 통해 디지털 값으로 변환한다. 그 값을 기준 전류 파형과 비교하여 Chopper 회로 프로그램을 통하여 PWM 파형을 출력하게 된다.

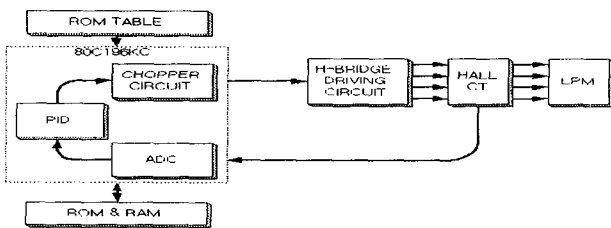


그림 2 마이크로스텝 드라이브 블록도
Fig. 2 Block Diagram for Microstep Drive

4. 실험 및 고찰

4.1 측정 장치

그림 3은 LPM의 특성을 측정하기 위한 실험 장치가

다. 이 장치에는 Static Force, Lateral Force, Normal Force 측정을 위한 Load Cell이 3개, 공극 조절을 위한 마이크로 미터 1개가 있으며 측정값은 대부분 National Instrument사의 Labview를 사용했다.

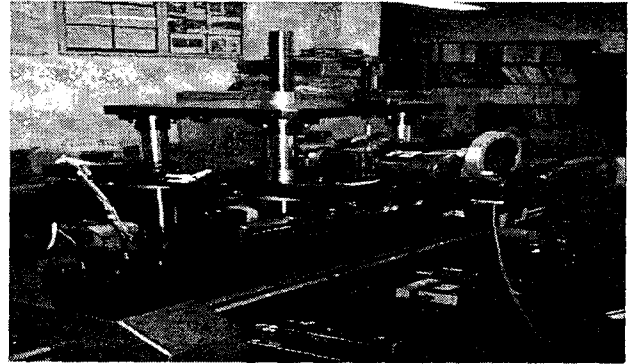


그림 3 LPM 정추력 측정 장치
Fig. 3 Measurement System for Static Thrust Force of LPM

4.2 LPM의 추력 측정

LPM의 추력은 A상 추력 방정식인 식 (1)과 B상의 추력 방정식 식 (5)의 합성 값이다. 그림 4는 LPM을 1(A)의 전류로 여자하고 일정 변위 만큼 가동자를 이동시킬 때 정추력을 시뮬레이션한 파형이다.

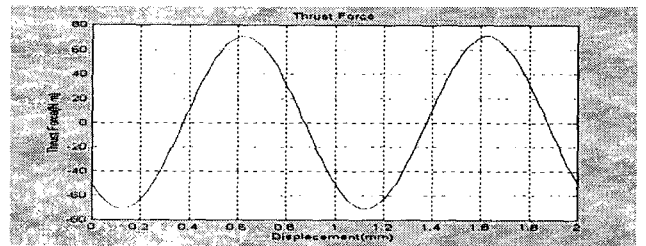


그림 4 2상 여자시 정추력 시뮬레이션 파형
Fig. 4 Thrust Force Simulation Waveform in Two Phases Exciting Drive

그림 5는 실제로 측정한 파형이다. 최대값만을 가지고 비교를 하면 오차 15% 이내로 양호하지만 파형의 형태가 완전한 사인파가 아니다. 이 그림에서 정추력에 기본파 이외에 고조파 성분이 포함되어 있음이 판단된다. 정추력에 고조파 성분이 들어 있으면 위치 결정 오차를 증대시킬 뿐만 아니라 탈조의 원인이 되기도 한다. 그렇기 때문에 차후에는 FFT 해석을 통한 고조파 분석이 필수적이다.

정추력 측정 파형에서 부(-)값은 본 논문에 사용된 LOAD Cell과 Indicator의 특성에 의해 정(+)값으로 변환되어 표시되어 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 일반적인 2상 구동방식과 마이크로스텝방식으로 LPM을 동작시킨 후 정추력을 측정하여 비교 검토하였다.

LPM은 별도의 장치가 필요없이 개루프제어로 정확한 위치제어가 가능하다. 그러나 구동시 구조적으로 진동이 발생하여 추력이 급격히 떨어져 역전이나 탈조 현상이 발생할 수 있다. 따라서 진동을 최소화 할 수 있는 방법으로 마이크로스텝방식을 선택했다.

2상 구동시의 정추력에 비해 마이크로스텝 구동시의 정추력은 훨씬 안정적일 뿐만 아니라 Thrust Ripple도 확연하게 줄어들었음을 알 수 있었다.

결과적으로 진동을 줄여 LPM의 위치 정밀도를 높일 수가 있다.

앞으로 실측된 정추력파형을 가지고 FFT분석을 통해 정확한 고조파 해석이 필요하며, 이를 제거함으로써 더욱 더 위치정밀도를 높일 수가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 안호균, 박승규, 남장락, 지대영, 송치훈, 김형문, "PLD를 이용한 5상 스텝모터의 마이크로스텝 구동회로의 집적화와 성능 향상에 관한 연구", 전기학회학술대회, pp. 1143-1145, 2000
- [2] Takashi kenjo, "Stepping Motors and Their Micro process or Control", Oxford University Press, 1984.
- [3] 편집부, "리니어 모터 핵심 핸드북", 도서출판세화, 1988.
- [4] M.P. Rahman and C. Grantham, "Design Approaches For Microstepping Step Motor Controllers", IEEE, 1990.
- [5] 조운현, 이광호, "선형 펄스 전동기의 특성 해석", 대한 전기학회, 48B권 5호, pp. 249-256, 1999.
- [6] Kwang-Woon Lee, Won-Sik Jang, Jung-Bae Park, etc, "Development of High Performance Microstepping Driver", KIPE, Vol. 2, No. 3, pp. 37-43, 1997.

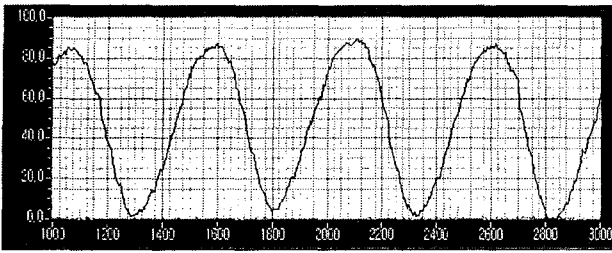


그림 5 2상 여자시 정추력 측정 파형

Fig. 5 Static Thrust Force Measure Waveform in Two Phases Exciting Drive

그림 7은 마이크로스텝 구동 방식으로 LPM을 동작시킬 때 입력되는 상 전류 파형이다. 한 피치에 대한 분해능은 그림에서 보다시피 32분주이다. 그러므로 한 스텝 당 위치 분해능은 약 0.06mm가 된다.

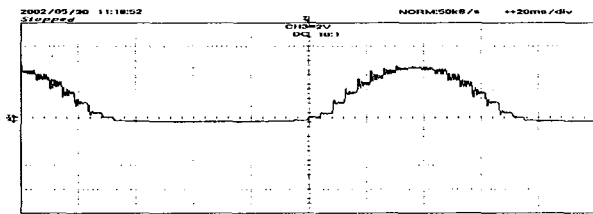


그림 7 사인파 입력 상 전류 측정 파형(2V/div)

Fig. 7 Phase Current for Sin Waveform Input(2V/div)

그림 8은 마이크로스텝 구동시 정추력 측정값과 시뮬레이션 값을 동시에 나타내었다. 측정값은 변위에 대하여 각각의 상 전류를 공급하여 측정하여 그래프화 한 것이다. 시뮬레이션 값에서 보면 1/4 피치 지점에서 정추력이 증가함을 볼 수 있고 실제 값과는 오차가 20%이내에 존재한다.

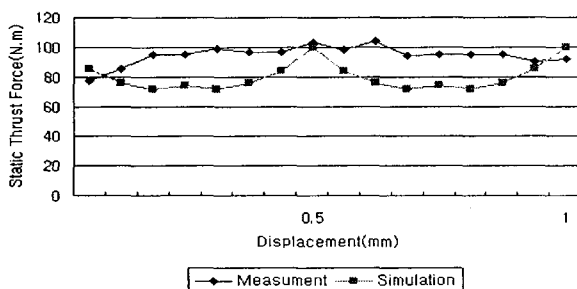


그림 8 마이크로스텝 구동시 정추력 파형

Fig. 8 Static Thrust Force Waveform of Microstep Drive