

LPM의 추력리플 저감 기법 개발

○김문환*, 김국현*, 하인중**, 고요***

*:한국전기연구소, **:서울대학교

***:에너지자원기술개발지원센터

A study of rippleless thrust force control for LPM

Moonhwan Kim*, Kookhun Kim*, Injoong Ha**, Yo Ko***

*:KERI, **:Seoul National University, **RACER

ABSTRACT

LPM(Linear pulse motor) has made linear motions by itself. And the LPM has higher thrust force ratio to mass and more wide driving speed ranges comparing with the conventional rotating type motors. However, there are the thrust force ripples in the LPM, which are produced by the mechanical structures and nonlinear back emf. It makes to hesitate the practical applications of LPM. Especially, it becomes needed to reduce the thrust force ripples for practical, which needs relative low driving speeds. For reducing the thrust force ripples, in the first place, it was built a new nonlinear linkage flux equations of the LPM. In these equations, the influence of permanent magnetic and variable reluctance thrust force components were considered. In this paper, some experimental results in the modeling of LPM are shown and detent force and holding force characteristics of LPM are measured.

1. 개요:

LPM은 모터 자신만으로 직접 선형운동을 할 수 있는 모터이다. 또한 추력대 질량비가 매우 크며, 종래의 회전형 모터에 비하여 one unit로 구현할 수 있는 구동 속도 범위가 넓다고 할 수 있다. 그러나 실제 생산 현장에의 LPM 적용에 문제가 되는 것으로 추력 리플 문제를 들 수 있겠다. 이는 모터의 추력에 심한 비선형성을 내포하는 것으로, 특히 저속 구동시 현저히 문제가 된다. 이러한 추력리플의 저감을 목적으로, 우선, 영구자석 및 비선형 역기전력의 변화등을 고려한 LPM의 쇄교 자속함수 및 상인덕턴스 방정식을 유도했다. 본 논문에는 이 방정식과 모델링을 위한 파라미터의 측정에 관하여 설명한다. 그외, 특성 측정장치를 이용한 LPM 정추력 측정 결과에 대하여 간략히 소개한다.

2.LPM의 모델링과 파라미터 값의 측정:

본 연구에서는 2상 hybrid LPM의 추력리플 감소를 연구대상으로 하고 있다. 먼저 2상 hybrid LPM의 추력체어에 사용되는 일반적인 추력방정식을 식(1)에 나타낸다.

$$Te(i_1, i_2, \theta) = Nr K_T (-\sin(\theta) i_1 + \cos(\theta) i_2) \quad (1)$$

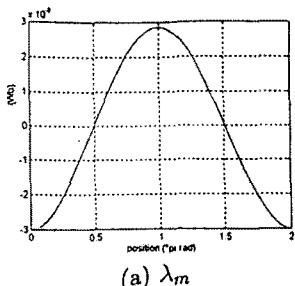
여기서, Te 는 추력, i_1, i_2 는 1, 2상의 상전류, θ 는 가동자의 변위, Nr 은 가동자의 치수(tooth numbers), K_T 는 영구자석에 의하여 결정되는 상수이다. 식(1)에 의한 추력의 정의는 통상, 인덕턴스에 의한 variable reluctance(VR)에 의한 힘성분을 무시하며, 영구자석에 의한 자속 분포가 정현파라고 가정함에 의하여 성립된다. 그러나 실제로는 식(1)에서 나타낸 바와 같이 추력이 전류 및 위치에 선형적인 관계가 아닌 상당한 리플을 포함하고 있다. 이 원인의 하나로 영구자석에 의한 자속분포의 형태가 정현파가 아님을 들 수 있다. 이 해결책으로, 영구자석의 자속 분포 함수에 포함된 고조파를 푸리에 급수를 이용하여 고조파성분을 보상, 추력리플을 제거하고자 하는 연구결과도 왕성하게 발표되고 있다. 그러나 이 또한 상기(1)식의 경우와 마찬가지로 VR에 의한 추력 리플을 무시하고 있으나, 실제로는 이 VR에 의한 값이 무시할 수 있을 정도로 적지 않다는 점, 그리고, 제작상의 문제로 LPM의 전 행정 구간에 있어서 치구조가 기하학적으로 완전히 동일하지는 않다는 점 등이 푸리에 급수 이용의 문제점으로 들 수 있다. 이에 LPM의 추력 리플제거에 의한 LPM의 고성능 운전을 구현하기 위해서 영구자석 뿐만 아니라, 전류치와 가동자 위치변화에 의

해 발생하는 VR성분의 보상이 필요하다. 즉, 영구자석, 가동자전류, 위치의 변화에 따른 상인덕턴스의 변화를 고려한 엄밀한 의미의 비선형 동적모델의 유도가 필요하다고 할 수 있다. 본연구에서는 이러한 비선형적인 요소를 고려한 일반적인 상인덕턴스의 모델을 구했다. 식(2),(3)에 나타낸다.

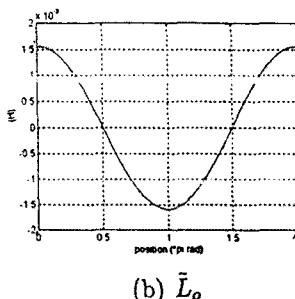
$$\lambda(i, x) = \lambda_m(x) + \lambda_r(i, x) \quad (2)$$

$$\lambda_r(i, x) = L(i, x)i = [L_0 + \bar{L}_e(x) + \bar{L}_o(x)\operatorname{sgn}(i)]i \quad (3)$$

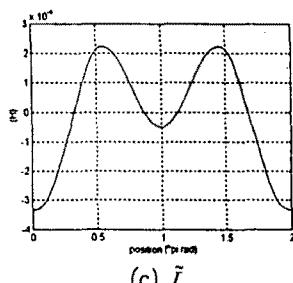
여기서, i 는 상전류, x 는 가동자의 위치를, $\lambda(i, x)$ 는 총 쇄교자속수, λ_m 은 영구 자석에 의한 쇄교자속수, λ_r 은 가동자 전류에 의한 쇄교자속수, L_0 는 상인덕턴스 중 위치에 무관한 부분, \bar{L}_e 는 상인덕턴스 중 위치에 따라 변하는 부분, \bar{L}_o 는 상인덕턴스 중 위치와 가동자 전류의 부호에 따라 변하는 부분을 나타낸다. 다음 그림 1에 λ_m , \bar{L}_e , \bar{L}_o 의 측정치를 나타낸다.



(a) λ_m



(b) \bar{L}_e



(c) \bar{L}_o

Fig. 1 experimental results

낸다. 실험에는 pitch 1mm, 정격전류1A의 LPM을 사용하였다. λ_m 은 무여자시, 외부에서 강제 이동시켰을 때의 발생 유기 전압차와 이동속도에서 산출하였다. \bar{L}_e 과 \bar{L}_o 은 역기전력 E 를 나타내는 식 (4)에서 구한다.

$$E(i, \theta, \dot{\theta}) = \theta(g(\theta) + \bar{L}_e(\theta)i + \bar{L}_o(\theta)|\dot{\theta}|) \quad (4)$$

먼저, 자석 분포 함수 $g(\theta)$ 를 구한 후, 일정전류 i 를 흘린 경우의 E 의 값을 구한다. 다음으로 같은 일정전류 $-i$ 의 경우의 값을 구한다. 이 두 값에서 얻어지는 $\bar{L}_e(\theta) + \bar{L}_o(\theta)$ 과 $\bar{L}_e(\theta) - \bar{L}_o(\theta)$ 에서 \bar{L}_e , \bar{L}_o 의 값을 구한다. L_0 의 설명⁽⁴⁾은 생략한다.

3. 추력특성 측정:

LPM 기본 특성 평가 시스템으로 양방향성 靜추력 측정 시스템을 설계, 靜추력(detent force 및 holding force)을 측정하였다. 제작한 측정장치를 그림2에, 사양을 표1에 나타낸다. 그림에서 'A'에 LPM의 가동자에 고정할 수 있는 나사를 가공함으로써 인장과 압박의 양방향성 추력을 측정할 수 있게 하였다. 그림 3에 정추력 측정결과를 나타낸다. (a)는 시작품의 무여자시 detent force 측정결과, (b)는 같은 시작품에 직류전류 1A를 흘렸을 때의 holding force, (c)는 기존상품화되어 있는 T사의 LPM에 1A를 흘렸을 때의 holding

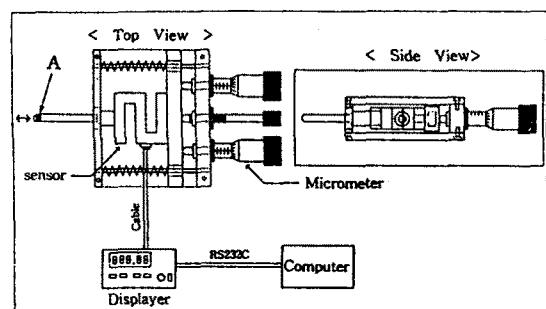


Fig. 2 holding force measurement system

<표1>

측정 범위	0~75 Kg · f
정밀도	non linearity 0.03% of rated output repeatability 0.02% of rated output
측정거리	10mm
위치분해능	$\pm 10\mu\text{m}$

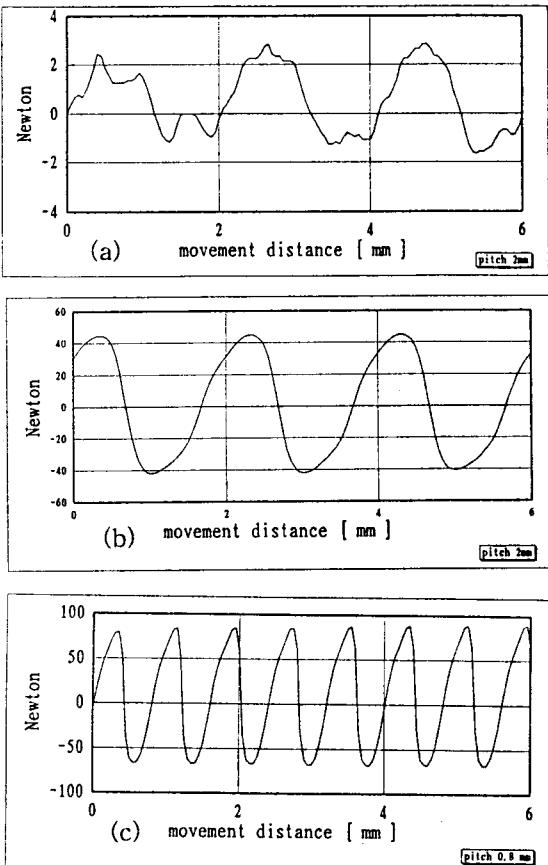


Fig. 3 detent and holding force

force를 나타낸다. 실험결과에서 +성분과 -성분의 추력의 변화가 측정되어 있음을 알 수 있다.

4. 결론:

- 1) 영구자석 및 비선형 역기전력의 변화등을 고려한 LPM의 쇄교자속함수 및 상인덕턴스 방정식을 유도하였으며 실험을 통하여 그 값을 구했다.
- 2) 양방향성 정추력 측정기법을 개발, 시제품과 기존상품화된 LPM의 정추력 측정을 행하였다. 측정결과 인장과 압박, 양방향의 측정이 가능함을 확인하였다.

5. 참고문헌

- 1) 김문환외, "LPM을 이용한 x-y table과 사용자 interface의 개발", 1995.7, 대한전기학회, 하계학술논문집(A), pp.291-293
- 2) 김문환외, "FA용 Linear Pulse Motor 설계 및 Microstep 구동", 1994.7. 대한전기학회, 하계학술논문집(A), pp.322-324
- 3) S. H. Chu and I. J. Ha, "Control of hybrid step motor via a simplified linearization technique", International Journal of Control, vol 61, No. 5, pp. 1143-1167, 1995
- 4) D. G. Manzer, et al., "Variable reluctance motor characterization" IEEE Trans. Ind. Elec., Vol.36, No.1, pp.56-63, 1989
- 5) 안종보외, "microstep방식을 이용한 linear pulse motor제어에 관한 연구", 1993.7, 대한전기학회, 하계학술논문집(B), pp.840-843