

공진구동 선형액추에이터의 공진주파수와 Power factor특성

우병철 홍도관 김종무 장정환 정연호 구대현
한국전기연구원 산업전기연구단

Relation between Resonance Frequency and Power factor on Linear Actuator with Resonance State

B.C. Woo D.K. Hong J.M. Kim J.H.Chang Y.H. Jeong D.H. Koo
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 리니어 모터는 일반적으로 회전하는 모터와 같이 여러 형상의 극간에서 발생하는 힘의 균형에 의해서 구동되는 것이 일반적이다. 특히 하나의 극간에서 미소 구동하는 리니어 모터는 구동력과 실제 이동하는 위치 사이에서 댄핑이나 무게와 함 사이에서 발생하는 가속력의 차이에 의해서 주어진 힘의 파형과 움직이는 위치의 궤적이 만들어가는 이동자의 위치 사이에는 다소 시간 처짐이 발생하게 된다. 본 논문에서는 구동력과 실제 이동하는 위치 사이의 시간 처짐의 원인으로 알려져 있는 여러 요소중 주파수와 입력전류를 변화시키고 이에 따른 선형전동기의 power factor의 변화와 공진주파수의 관계 등 선형전동기의 구동력 변화를 알아보았다. IT 기기 냉각용으로 제작한 횡자속 선형전동기에서 공진구동용 스프링을 장착하고 공진주파수 부근과 power factor가 가장 큰 값을 가지는 부근의 주파수를 선정하고 입력전류에 따른 전류, 전압, 위치, 역율을 알아보았다.

TFLM)으로 크게 나눌 수 있다.

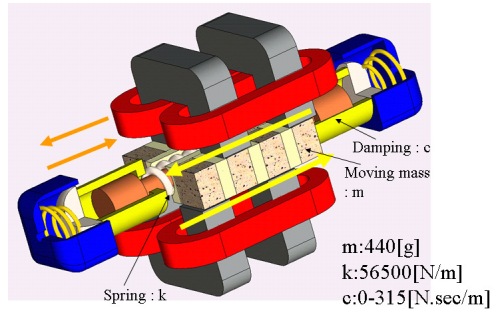


그림 1 선형액추에이터의 구성

1. 서 론

선형전동기는 회전하는 일반적인 모터에서 원형을 직선으로 편 상태로 직선으로 이동자와 고정자를 나열하면 선형전동기의 형상이 된다. 선형전동기는 일반 회전형 전동기에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 장점이 있으므로 직선 구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우수하다. 직선형의 구동시스템에서 회전형 전동기에 의해서 직선 구동력을 얻으려고 하는 경우에는 스크류, 체인, 기어 시스템 등의 기계적인 변환장치가 반드시 필요하게 되는데 이때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음이 필연적으로 발생하므로 매우 불리하다. 선형전동기를 응용하는 경우는 직선형의 구동력을 직접 얻으므로 기계적인 변환장치가 전혀 필요치 않기 때문에 구조가 복잡하지 않고 에너지 손실이나 소음이 발생하지 않고 정상적인 운전 속도에도 제한을 받지 않는 등의 특유의 장점이 있다. 일반적으로 널리 사용하고 있는 유압이나 공압 방식의 선형구동에 비해서 선형전동기를 사용하면 출력면에서는 다소 떨어지지만 빠른 응답성, 반복성, 저속구동, 간단한 구조적 특성과 관리가 간편하다는 등의 장점을 가지고 있는 그 수요가 점차 증대되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 선형전동기를 구성하고 있는 시스템을 기준으로 단순 질량과 스프링으로 구성된 경우를 대상으로 구동특성을 알아보고 고유진동수 부근에서 구동할 경우에 발생하는 변위변화를 결정한 다음 댄핑과 부하변화에 따른 구동특성을 알아보았다. 특히 구동특성 중 주어진 입력 구동력에 따른 이동자의 위치변화를 시간에 따른 변화의 식으로 계산하면 입력 구동력의 주기성과 구동부의 구동의 주기성 사이에서 발생하는 위상변화를 관찰할 수 있다. 즉 힘의 최대점과 이동자의 위치의 최대점에 도달하는 시간을 계산한 다음 시간차를 주기로 계산하여 위상각으로 표시하면 주어진 특성을 정확히 표현할 수 있게 된다.

2. 본 론

2.1 선형전동기의 구성

선형전동기는 선형 액추에이터에서 가장 핵심적인 부품으로서 선형액추에이터의 free piston을 구동하는 동력 발생의 핵심부품이다. 이러한 선형전동기는 크게 영구자석 구동형(moving magnet type), 코일 구동형(moving coil type), 철심구동형(moving iron type)으로 크게 3가지로 구분되지만 여러 가지 형상의 혼합형들이 많이 사용되고 있는 실정이고 최근들어 영구자석 구동형에 대한 연구가 가장 활발한 실정이다. 이와같이 영구자석 구동형의 선형전동기에 많은 연구가 집중되고 있는 것은 코일 구동형에 비해서 복잡하지 않아 쉽게 제품화가 가능하기 때문이며 다소 효율은 낮지만 코일 구동형에 비해서 생산성과 작업의 효율성이 좋기 때문이다. 선형전동기는 자속 이동방향과 구동방향이 일치하는 종자속형(Longitudinal Flux Linear Motor, LFLM)과 자속이 만들어 내는 평면과 이동방향이 횡방향인 횡자속형(Transverse FLux Linear Motor,

2.2 공진형 선형액추에이터의 구성

그림 1은 선형액추에이터의 전체적인 형상을 도시하였으며 전체 무게, 스프링 강성 및 댄핑계수는 다양한 조합으로 실제 구성할 수 있는 가능성을 타진해 보려고 실험장치를 구성하였다. 즉 그림 2와 같이 공진 스프링을 장착하고 구동법위의 일정길이를 가압한 상태에서 공진주파수를 기준으로 선형전동기의 구동주파수를 조절하면서 스크로 전류와 전압, 리니어 엔코더와 레이저 바이브로메타를 이용하여 위치, 속도를 측정하고 가속도센서를 이용하여 가속도를 측정하였다. 또한 고속카메라를 이용하여 구동중 주어진 시간에 이동자의 움직임을 동기화하여 측정하였다. 그리고 압축과정에서 발생하는 압력변화는 피스톤의 위치변화에 따라 압력이 달라지므로 정확한 위치에 따른 경로함수로 정의하여야 하며 초기 구동되는 동적특성을 알아보기 위해서 외부에서 가해지는 선형전동기의 구동력을 적용하여 그 특성을 알아보았으며 구동방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_o \sin \omega t - f(t) \quad (1)$$

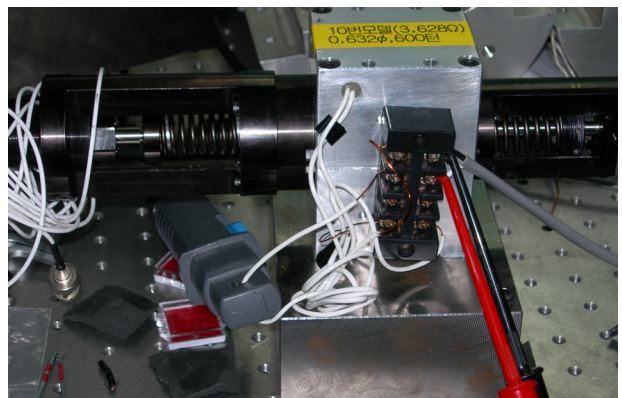


그림 2 공진형 선형액추에이터 실험장치

2.3 위상변화 측정용 실험장치의 구성

그림 2와 같이 선형액추에이터의 전체적인 실험장치는 AC 파워스스에서 정현파의 주파수와 전압을 제어하고 주어진 전류에 의해 이동자가 움직이게 되며 이로 인해서 전류와 전압사이의 위상, 전류와 위치의 위상변화 그리고 전류와 가속도의 위상을 알아보기 위해서 동기화 장치를 사용하여 측정하였다.

그림 3은 본 실험에서 사용한 선형전동기의 추력특성으로 주어진 입력 전류에 의해 위치별 얻어지는 추력을 측정된 결과이다.

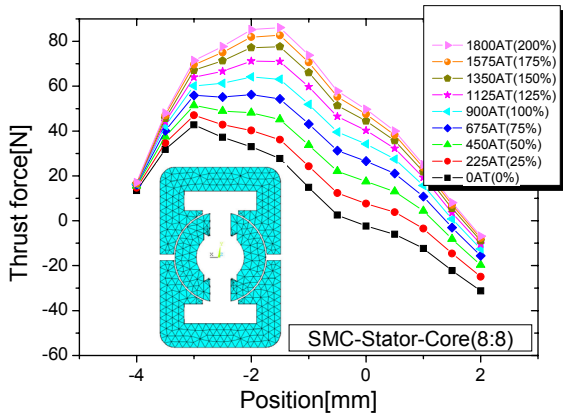


그림 3 횡자속 선형전동기의 추력특성

2.4 주파수와 입력전압에 따른 위상변화

위상변화 측정은 AC 파워소스에서 정현파의 주파수와 전압을 제어 하고 주어진 전류에 의해 이동자가 움직이게 되며 이로 인해서 전류와 전압사이의 위상, 전류와 위치의 위상변화 그리고 전류와 가속도의 위상을 알아보기 위해서 동기화 장치를 사용하여 측정하였다. 그림 4는 스프링과 볼부쉬에서 발생할 수 있는 댐핑의 크기를 측정하기 위해서 시스템의 공진주파수인 66.75Hz에서 입력전원의 파워를 정지한 뒤 얻어지는 이동자의 위치거동을 알아보았다.

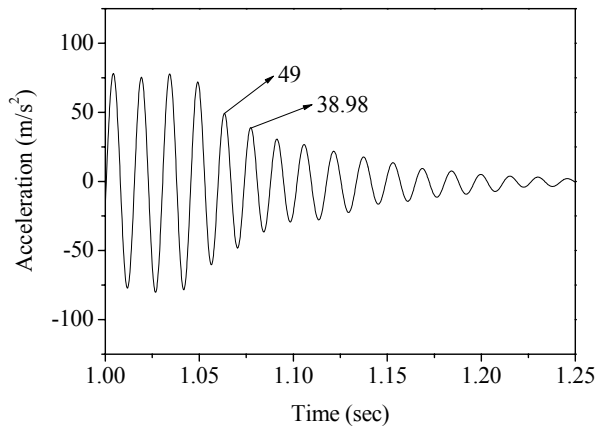


그림 4 횡자속 선형액추에이터의 댐핑특성

그림 사에서 측정된 대수감쇄율(logarithmic decrement) δ 과 damping ratio, ζ 및 damping coefficient, c 는 다음과 같다.

$$\delta = \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} = 0.2288$$

$$\zeta = 0.0364$$

$$\omega_d = \sqrt{1-\zeta^2} \omega_n$$

$$c = 2m\zeta\omega_n = 4.10$$

여기서 m 은 이동자의 무게, ω_n 은 고유진동수 ω_d 는 댐핑시스템진동수이고 x_1 과 x_2 는 n 번째와 $n+1$ 번째 최대변위 값이다.

그림 5는 0.1[A]의 정전류의 입력에 따른 전압, 전류, 가속도 지지부에 가해지는 힘을 측정된 결과로서 각각의 위상차를 가지고 있음을 알 수 있다. 특히 전류와 가속도의 위상은 거의 같은 위상을 가지고 있음을 알 수 있지만 power factor에 영향을 미치는 전압과 전류의 위상은 다소 차이를 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 지지부에 가해지는 힘과 가속도 및 전류의 위상은 방향만 반대이고 서로간의 위상은 크지 않음을 알 수 있었다.

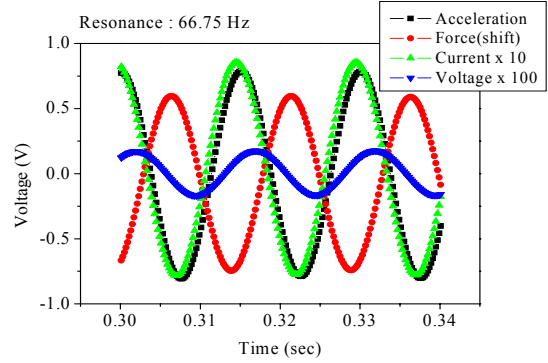


그림 5 선형액추에이터의 전류,전압,가속도,반력의 위상

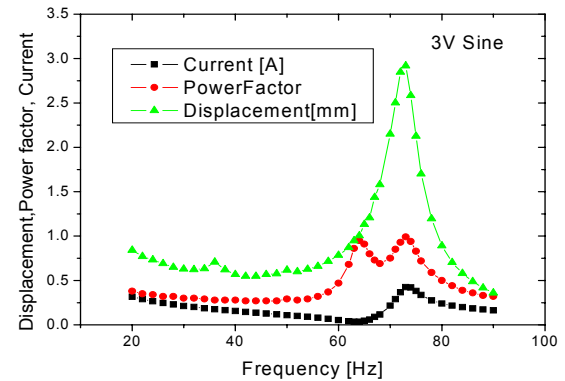


그림 6 선형액추에이터의 교류전압에 따른 위상변화

그림 5는 정현파의 0.1[A]의 전류에 따른 위상변화를 알아보았고 그림 6은 정현파인 4[V] 전압을 18[Hz]부터 90[Hz]까지 인가한 경우 전류의 크기와 변위의 크기 및 power factor의 크기를 주파수에 따라 표시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 최소 전류가 인가되는 공진주파수에서 power factor가 0.95를 얻을 수 있었으며 최대값은 73[Hz]에서 0.99를 얻을 수 있었다. 또한 최대 변위와 최대 전류는 최대변위에 의해서 발생하는 back emf에 의해서 높은 전류가 인가되는 것을 알 수 있었다. 그러나 power factor의 특성변화에서 공진점과 74[Hz]에서 얻어지는 두개의 변곡점에 대한 내용은 정확한 특성분석이 필요한 것으로 사료된다.

3. 결 론

횡자속 선형전동기를 적용한 공진형 선형액추에이터에서 전류에 따른 전압과 가속도 및 반력사이의 위상변화와 20-90[Hz]의 전압을 인가할 때 얻어지는 전류와 power factor 및 최대변위의 특성에서 전류와 힘과 가속도는 거의 같은 위상에서 최대값을 가지고 또한 주파수 변화에 따른 power factor의 변화는 2개의 곡점을 가짐을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강도현, Herbert Weh, "철도 차량용 고풍력 횡축형 전동기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지 제 48(B)권, 제 6호, pp.301-308, 1999.
- [2] D.K. Hong, B.C. Woo, Optimum design of TFLM with constraints for weight reduction using characteristic function, IEEE Transactions on Magnetics Vol.43, No.4, pp.1613-1616, 2007
- [3] 우병철, 강도현, 홍도관, "횡자속 선형전동기의 추력특성에 따른 선형액추에이터의 동특성", 대한전기학회논문집, 제 54(B)권, pp.16-20, 2006.
- [4] 우병철, 강도현, "공진형 선형 액추에이터의 감쇄지수 변화에 따른 과도 응답특성", 대한전기학회회계, pp.1037-1039, 2004