

선형액추에이터의 초기구동에 미치는 탄성계수의 영향

우병철, 강도현, 홍도관
한국전기연구원

The Influence of elastic stiffness for a Starting State of Linear Actuator

Byung Chul Woo, Do-Hyun Kang, Do-Kwan Hong
KERI

Abstract - A typical conventional systems of a linear motion use rack and pinions or ball screws to convert rotary motions from DC servo motors. A linear motor has been used a several field for a MEMS technology and a aircraft carrier. We was studied a transient response of a linear actuator with a damping ratio, spring constant and a pressed power.

구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우수하다. 즉 직선형의 구동시스템에서 회전형 모터에 의해 직선 구동력을 발생시키고자 하는 경우에는 스크류, 체인, 기어시스템 등의 기계적인 변환장치가 반드시 필요하게 되는데, 이때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음 발생이 필연적이므로 매우 불리하게 된다.

1. 서 론

리니어 모터는 일반 회전형 모터에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 장점이 있으므로 직선 구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우수하다. 즉 직선형의 구동시스템에서 회전형 모터에 의해 직선 구동력을 발생시키고자 하는 경우에는 스크류, 체인, 기어시스템 등의 기계적인 변환장치가 반드시 필요하게 되는데 이때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음 발생이 필연적으로 발생하므로 매우 불리하게 된다.

리니어 모터를 응용하는 경우는 직선형의 구동력을 직접 발생시키므로 기계적인 변환장치가 전혀 필요치 않기 때문에 구조가 복잡하지 않으며 에너지 손실이나 소음을 발생하지 않는 것은 물론이고 운전속도에도 제한을 받지 않는 등의 특유의 이점이 있게 된다.

본 논문에서는 선형전동기를 이용한 직선운동과 기구적인 공진특성을 이용한 액추에이터의 특성을 알아보았으며 free piston type의 선형운동을 구축하기 위해서 구동 질량과 스프링, 댐퍼로서 구성하고 외부에서 작용하는 압력에 따라 발생하는 여러 요소를 이용하고 또한 이를 이용한 액추에이터의 구동특성을 알아보았다. 이러한 실험 결과 스프링의 탄성계수로 인해서 얻어지는 특성이 시스템을 이루고 있는 전체의 고유진동수에 어떠한 영향을 미치고 또한 변위특성과 전체 구동 특성에 얼마나 영향을 미치는지 알아보았다.

2. 본 론

2.1 선형전동기의 구성

리니어모터는 일반 회전형 모터를 축방향으로 잘라서 펼쳐놓은 형태이고 기존의 일반모터가 회전형의 운동력을 발생시키는 것에 비해 직선방향으로 미는 힘인 추력을 발생시키는 점이 다르며 그 구동원리는 근본적으로 같다고 볼 수 있다.

회전형 모터는 회전방향으로 무한 연속운동을 하지만 리니어 모터는 구조적으로 길이가 유한하여 단부가 존재하므로 end effect가 있게 되며 또한 공극이 커서 공극의 자속분포, 추력 특성 등에 있어서 영향을 크게 받아 단일 기기로 구성할 경우 회전기에 비해서 효율이 좋지 못한 것이 일반적이다.

그러나 리니어 모터는 일반 회전형 모터에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 장점이 있으므로 직선

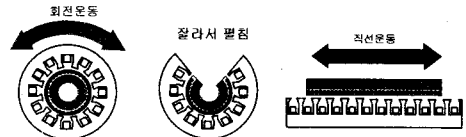


그림 1. 선형전동기의 구성

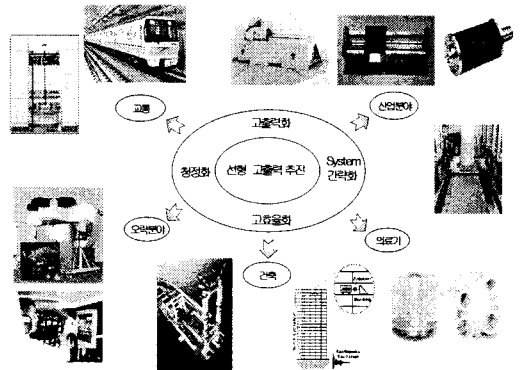


그림 2. 선형전동기의 응용분야

2.2 선형액추에이터의 설계

선형 액추에이터의 주요 구성부품은 리니어 모터부, 구동제어부, 오일 공급부, 스프링 및 댐핑부 등으로 크게 나눌 수 있으며 이러한 구성부품들이 결합되어 선형 액추에이터가 작동하게 된다. 이와 같이 구성부품들은 선형 액추에이터에서 매우 중요한 부품이기 때문에 기본이 되는 리니어 모터가 전체 기술에서 핵심 메카니즘에 해당되며 구동을 위한 기구부와 제어하는 구동부로 크게 기술을 나눌 수 있다.

2.2.1 스프링 상수 결정

일반적으로 액추에이터로 사용중인 선형전동기는 이동 거리 기준으로 크게 미소 이동용과 장거리 이동용으로 크게 나눌 수 있으며 미소 이동용은 다시 공진형과 단순 이동형으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 공진형 모델을 적용하여 미소 진동형 액추에이터로 적용하고자 하였으

며 미소 진동형으로 제작시 발생하는 이동자의 관성력의 손실을 막고 이를 이용하여 구동용으로 이용하고자 공진 시스템으로 설계하였으며 이동자의 무게와 코일스프링 및 구조적, 열유체적인 탄성으로 발생하는 스프링 계수가 필요하게 된다. 즉 선형 액추에이터의 구동 방정식은 다음과 같이 된다.

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

여기서 m 은 질량, c 는 댐핑계수, k 는 스프링계수, F 는 외력, $f(t)$ 는 구동일이며 x 는 구동방향을 나타낸다. 또한 해를 구하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_h(t) + x_p(t) \\ &= Ae^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_d t - \psi) + X \cos(\omega_d t - \phi) \\ \omega_n &= \sqrt{k/m}, \quad \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 ω_n 은 고유진동수, ω_d 는 감쇄진동수를 나타내며 ζ 는 감쇄계수를 나타낸다.

그림 3은 스프링 계수를 측정한 결과의 일례로서 길이 증분에 따른 힘의 값으로 표현된다.

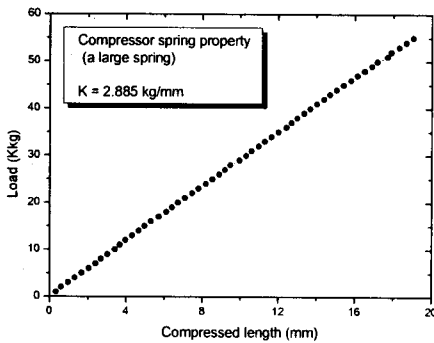


그림 3. 공진형 액추에이터에 적용한 스프링 계수

2.2 탄성계수변화에 따른 초기 구동특성

공진점에서 일어나는 현상으로 작은 진동에도 쉽게 파손될 수 있다. 미소진동현상을 이용한 액추에이터로 선형전동기를 이용하려면 이러한 공진점에서 발생하는 진동현상을 이용하게 되면 작은 힘으로도 큰 변위를 얻을 수 있으나 이에 반해 구조물에 가해지는 힘과 변위와의 상관관계를 파악할 필요가 있게 된다.

그림 4는 무게가 440g, 구동력이 200N인 선형 액추에이터에서 초기 구동시 발생하는 변위특성을 알아보았으며 구동력이 60Hz로 구동될 경우 주어진 무게에서 얻어지는 공진점의 스프링 상수는 62534[N/m]이다.

또한 그림 4 (a)에서 알 수 있듯이 고유진동수에 해당하는 스프링 상수의 1%에 해당되는 스프링 상수를 적용할 경우 약 0.3초정도에 안정화되는 경향을 보이고 있으며 그후 거의 변위의 변화가 없는 특성을 나타내고 있다. 이 경우 압축기에 소모되는 에너지로 인해서 압축되는 쪽으로 큰 변위가 발생하고 안정화되는 경향을 나타내고 있다. 그림 4(b)는 고유진동수에 해당되는 스프링 상수의 10%에 해당되는 스프링 상수를 적용한 경우로서 주파수는 조금 높아졌지만 60Hz의 구동 주파수와는 다른 성분의 주파수로 구동되며 마찬가지로 약 0.2초 후 안정화되는 경향을 나타내고 있다. 그림 4(c)는 고유진동수에 해당되는 스프링 상수의 96%에 해당되는 스프링을 적용한 결과로서 60Hz로 구동되는 결과를 얻을 수

있었으며 초기 overshooting이 일부 발생하였으며 약 10%이내의 값을 가지고 있음을 확인할 수 있었고 상하 방향으로 10mm의 변위특성을 얻을 수 있다. 그림 4(d)는 공진점에 해당되는 스프링 상수의 10배를 적용한 결과로서 고조파 성분이 포함된 안정화된 변위특성을 보이고 있다.

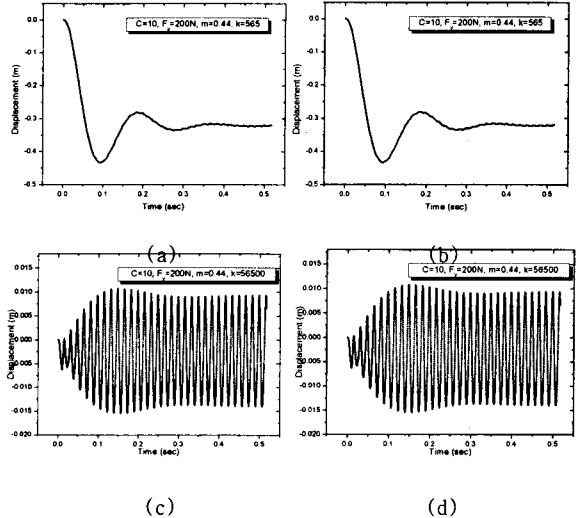


그림 4. 스프링 상수에 따른 선형 액추에이터 초기 구동
(a) $k=565$ [N/m] (b) $k=5650$ [N/m]
(c) $k=56500$ [N/m] (d) $k=565000$ [N/m]

또한 이러한 스프링 상수의 변화에 따른 선형 액추에이터에서 이동자의 초기 구동에 의해서 고정자에 전해지는 반력의 특성을 그림 5에 나타내었으며 변위특성과 유사한 곡선이지만 작은 스프링 상수에서는 작은 반력이 큰 상수에서는 큰 반력이 발생됨을 알 수 있다. 그림 4의 결과에 의해서 얻어지는 압축기의 반력은 공진점보다 낮은 주파수에서는 압력만 가해지지만 공진점부근부터는 압축과 인장력이 교번되면서 작용하고 있음을 알 수 있다.

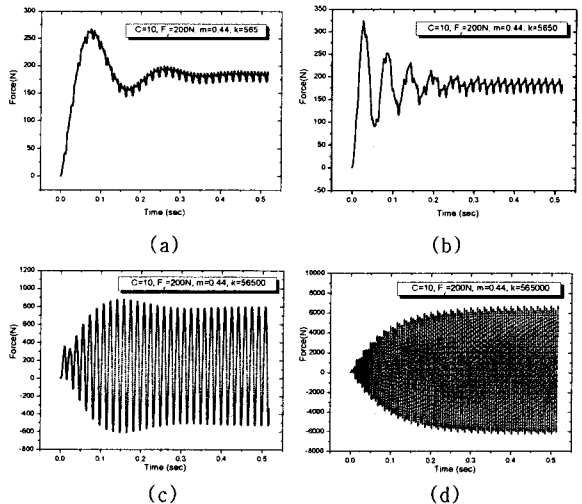


그림 5. 스프링 상수에 따른 선형 액추에이터 반력특성
(a) $k=565$ [N/m] (b) $k=5650$ [N/m]
(c) $k=56500$ [N/m] (d) $k=565000$ [N/m]

2.3 고유진동수 부근의 탄성계수를 적용한 경우

그림 4와 5에서 알 수 있듯이 고유진동수 부근에서 가장 큰 변위가 발생하고 반력은 스프링 상수가 커짐에 따라 커지는 경향을 가지게 된다. 실제 액추에이터로 적용 시 반력은 작으면서 구동 변위가 크게 발생하는 영역으로 설계되어야 하며 이러한 특성에 맞게 고유진동수 부근에서는 특성을 알아보았다. 그림 6과 7은 초기 변위특성과 반력특성을 나타내고 있으며 스프링 상수가 커지면서 초기 overshooting 부는 작아지만 전체적인 변위가 줄어드는 경향을 나타낸다.

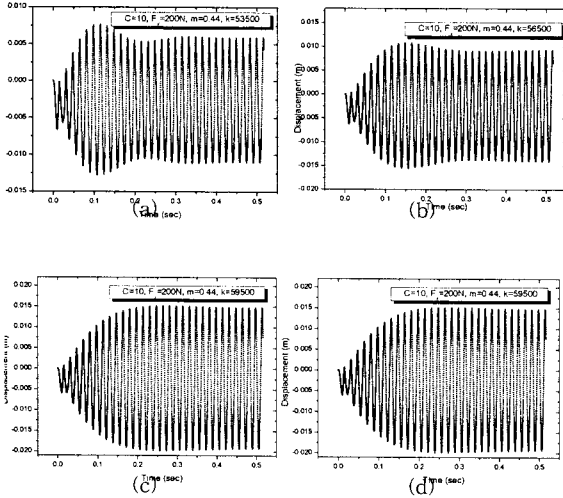


그림 6. 스프링 상수에 따른 선형 액추에이터의 초기구동
(a) $k=53500$ [N/m] (b) $k=56500$ [N/m]
(c) $k=59500$ [N/m] (d) $k=65000$ [N/m]

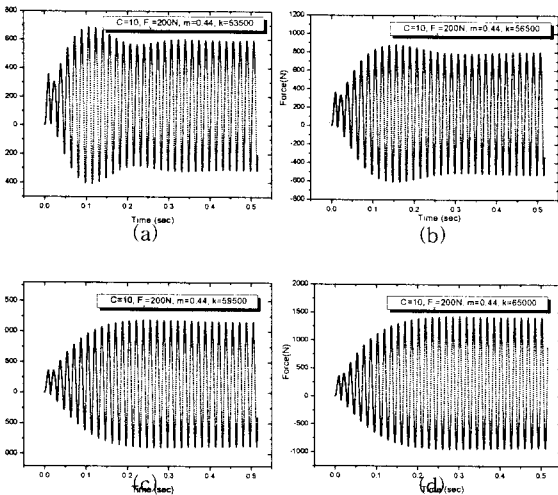


그림 7. 스프링 상수에 따른 선형 액추에이터 반력특성
(a) $k=53500$ [N/m] (b) $k=56500$ [N/m]
(c) $k=59500$ [N/m] (d) $k=65000$ [N/m]

그림 8은 그림 4와 그림 6을 종합한 결과로서 고유진동수 부근에 해당되는 스프링 상수의 영향에 따른 초기 구동특성을 알아보았으며 고유진동수 부근에서 최대 변위가 발생하며 최대 일을 수 있는 변위를 충분히 조절할 수 있음을 알 수 있었다.

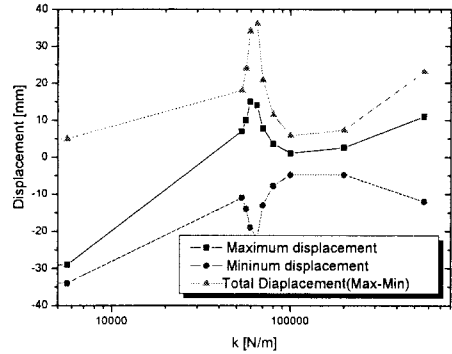


그림 8. 스프링 강성 변화에 따른 초기 구동특성

3. 결 론

공진을 이용한 선형 액추에이터의 설계를 위한 스프링의 탄성계수에 따른 액추에이터의 초기 변위와 반력특성을 시뮬레이션 수행 결과 공진점 부근에서의 변위가 수 배 이상 변화할 수 있음을 확인할 수 있었다.

이에 반해 공진점 부근에서 발생하는 큰 변위로 인해서 지지하고 있는 부분에서 수반되는 반력은 크게 증가되는 경향을 확인할 수 있었으며 이러한 특성을 이용하여 선형 액추에이터에서의 설계에 이용할 수 있음을 알 수 있었다.

[후기]

본 연구는 국무총리산하 산업기술연구회가 지원하는 협동연구사업인 “차세대 냉각시스템 기술개발”의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Waus M, Arshad, Peter Thelin, Thomas Backstrom, Candur Sadarangani, "Use of Transverse-Flux Machines in a Free-Piston Generator", Electric Machines and Drives Conference, IEMDC '03. IEEE International, Vol. 3, pp.1428-1434, 2003
- [2] Arshad, W.M., Backstrom, T., Sadarangani, C., "Analytical design and analysis procedure for a transverse flux machine", Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2001. IEEE International, pp. 115-121, 2001
- [3] Kang, D.H., Chun, Y.H., Weh, H., Analysis and optimal design of transverse flux linear motor with PM excitation for railway traction, Electric Power Applications, IEE Proceedings, Vol. 150, No. 4, pp. 493-499, 2003
- [4] 박종찬, 왕세명, 정충민, Linear compressor에서 발생하는 마찰에 의한 진동연구, 한국소음진동공학회 춘계학술대회는논문집, pp.695-700, 2003
- [5] 우병철, 강도현, 공진형 선형 액추에이터의 감쇄지수 변화에 따른 과도 응답특성, 전기학회계학술대회논문집, pp.1037-1039, 2004