공진형 선형 액추에이터의 스프링 강성 변화에 따른 과도응답특성

論 文
54B-3-4

Transient Response Characteristic of a Linear Actuator in a Spring Stiffness Variations

禹 炳 哲† · 姜 道 鉉* · 洪 到 琯**
(Byung-Chul Woo · Do-Hyun Kang · Do-Kwan Hong)

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 have studied a transient response of a linear actuator with a damping ratio, spring constant and a pressed power for a constant stroke control.

Key Words : Longitudinal Flux Linear Motor(LFLM), Transverse Flux Linear Motor(TFLM), Linear Motor Linear Actuator, Motor Axis, Spring Stiffness, ANSYS

1. 서 론

리니어 모터는 일반 회전형 모터에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 장점이 있으므로 직선 구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우세하다. 직선형의 구동시스템에서 회전형 모터에 의해 직선 구동력을 발생시키고자 하는 경우에는 스크류, 체인, 기어 시스템 등의 기계적인 변환장치가 반드시 필요하게 되는데 이때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음이 필연적으로 발생하므로 매우 불리하다.[1],[3]

리니어 모터를 응용하는 경우는 직선형의 구동력을 직접 발생시키므로 기계적인 변환장치가 전혀 필요치 않기 때문에 구조가 복잡하지 않으며 에너지 손실이나 소음이 발생하지 않고 운전속도에도 제한을 받지 않는 등의 특유의 이점이 있다.[2]

본 논문에서는 선형전동기를 이용한 직선운동과 기구적인 공진특성을 이용한 액추에이터의 특성에 대해서 알아보았으며 free piston type의 선형운동을 구속하기 위해서 시스템을 구동 질량과 스프링, 댐퍼로서 구성하고 외부에서 작용하는 압력에 따라 발생하는 액추에이터의 초기구동과 지지부의 반력 특성을 알아보았다. 또한 스프링 강성으로 인해서 얻어지는 액추에이터의 구동 특성이 시스템의 고유진동수와 구동특성에 미치는 영향에 대해서 알아보았다.

2. 해석방법

2.1 선형 액추에이터의 구성

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

2.1.1 선형전동기의 구성

선형전동기는 선형 액추에이터에서 가장 핵심적인 부품으로서 리니어 액추에이터의 free piston을 구동시키는 동력 발생부품이다. 이러한 선형전동기는 크게 moving magnet type, moving coil type, moving iron type으로 3가지로 구분되지만 최근 moving magnet type에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있다. 이와 같이 moving magnet type의 선형전동기에 많은 연구가 집중되고 있는 것은 moving magnet type이 moving coil type에 비해서 복잡하지 않아 쉽게 제품화가 가능하기 때문이며 다소 효율은 낮지만 moving coil type에 비해서 생산성과 작업의 효율성이 좋기 때문이다.[4]

선형전동기는 전류방향과 구동방향이 일치하는 종자속형(Longitudinal Flux Linear Motor, LFLM)과 전류방향과 구동방향이 횡방향인 횡자속형(Transverse Flux Linear Motor, TFLM)으로 크게 나눌 수 있으며, 기존에 많은 제품들이 종자속형에 해당되고 그림 1의 횡자속형은 최근에 많은 연구가 이뤄지고 있다.[5]

2.1.2 횡자속 선형전동기의 구성

그림 2는 횡자속 선형전동기의 전류와 자속에 따른 이동자의 이동 방향을 설명하고 있으며 자속이 만드는 평면과 이동방향이 횡방향인 것 확인할 수 있다. 또한 이동자는 위쪽 고정자와 서로 미는 힘이 작용하며 아래쪽 고정자와는 서로 당기는 힘이 작용하여 우측으로 이동하게 되며 전류의 극이 반대 방향으로 되면 좌측으로 이동하는 힘이 작용하게

† 교신저자 正會員 : 한국전기연구원 Mechatronics 선임연구원
E-mail : bcwoo@keri.re.kr
* 正 會 員 : 한국전기연구원 Mechatronics 그룹장
** 正 會 員 : 한국전기연구원 Mechatronics 연구원
接受日字 : 2004年 10月 2日
最終完了 : 2005年 1月 17日

된다.[6]

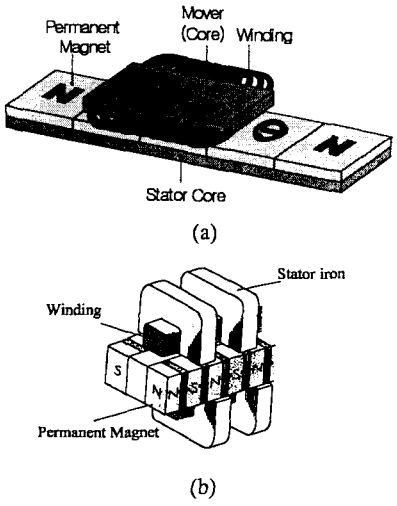

그림 1 종자속과 횡자속 선형전동기의 형상
Fig. 1 Configuration of LFLM and TFLM
(a) LFLM (b) TFLM

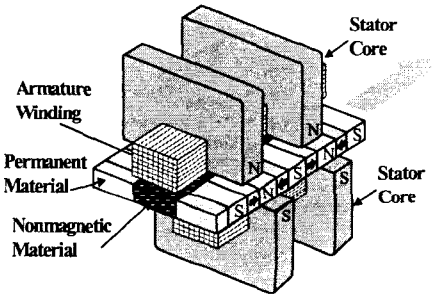

그림 2 횡자속 선형전동기의 상세 설명도
Fig. 2 Detail Drawing of TFLM

선형전동기는 고출력화와 고효율화 및 저가격 실현으로 인해서 여러 분야에서 응용되고 있는 실정이며 특히 횡자속 선형전동기는 단위 무게당 높은 추력특성과 낮은 생산단가로 인해서 더욱 새로운 분야에 접근할 수 있게 되었으며 산업기기의 이송, 의료계의 직선구동, 고청정을 목적으로 하는 전자산업분야 그리고 대추력이 필요한 항공, 선박, 철도 분야 등 다양한 분야에서 적용되고 있는 실정이다.

2.2 선형 액추에이터의 구동특성

그림 3과 같이 선형 액추에이터 모델을 구성하였으며 그림 2의 이동자가 움직이는 질량에 해당되고 고정된 구속조건에 따라 시스템의 질량 m과 스프링의 강성 k가 결정되며 C는 감쇠계수이다. 또한 압축과정에서 발생하는 압력변화 및 스프링 강성 등의 영향에 따른 구속력을 고려하였으며 초기 동적특성을 알아보기 위해서 외부에서 가해지는 선형전동기의 구동력을 적용하여 그 특성을 알아보았다.[7]

본 연구에 사용된 프로그램은 ANSYS를 이용하였으며 구성된 시스템의 고유진동수와 스프링 강성의 변화에 따른 액추에이터의 초기 동적특성을 파악하였다. 초기 동적특성은 액추에이터의 구동에서 발생할 수 있는 변위의 overshooting 문제와 적절한 구동 주파수의 조절 등에 큰 영향을 미치며 외부의 온도변화와 가해지는 압력변화에 따라 구성된 시스템의 초기 구동특성에 큰 영향을 미친다.

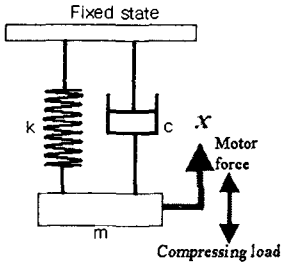

그림 3 선형액추에이터의 구성
Fig. 3 Configuration of Linear actuator

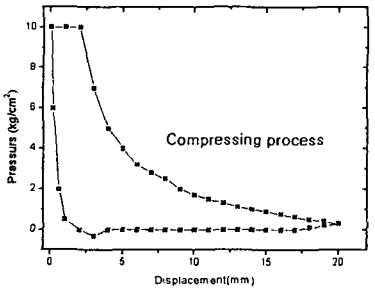

그림 4 액추에이터에 가해지는 압력변화
Fig. 4 Variation of pressure at compressing unit

그림 4는 기존 개발제품에서 압축력을 측정한 결과로서 약 10[kg/cm^2]의 압력으로 구동되고 있는 것을 해석에 사용하였다. 그림 4에서 얻은 결과는 60[Hz]로 구동되고 있는 200[N]의 힘을 가진 모터의 경우로서 압축 시와 달리 이완 시에는 대기압 이하의 압력이 가해지고 있다.

2.2.1 스프링 강성에 따른 특성변화

그림 3과 같이 구성된 시스템에서 고정자에 지지되어 있는 free piston type의 이동자와 고정자 사이에 스프링 탄성에 의한 관성 에너지를 저장할 수 있는 스프링으로 지지하였으며 초기에 마그넷에 의해서 발생되는 힘보다 충분히 크게 초기 가압력을 주어 초기화 하였다. 또한 스프링의 강성에 따른 액추에이터의 초기 구동특성을 알아보기 위해서 스프링, 질량 시스템에서 얻어지는 고유진동수의 1%에서 100% 구간에서 발생되는 초기 구동특성을 해석하여 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 약 0.3초 이내에 안정화 되는 경향을 가지고 있으며 스프링 상수가 585[N/m]인 경우 1.5회 진동 후 안정화 되는 경향을 가지며 585000[N/m]인 경우 수백회 이상의 진동 후 안정화 되는 것을 알 수 있다. 이것은 초기 구동시 발생하는 과대응답특성을 줄이고 최대 변위를 얻을 수 있는 특성을 얻는데 중요한 특성이다.[8]

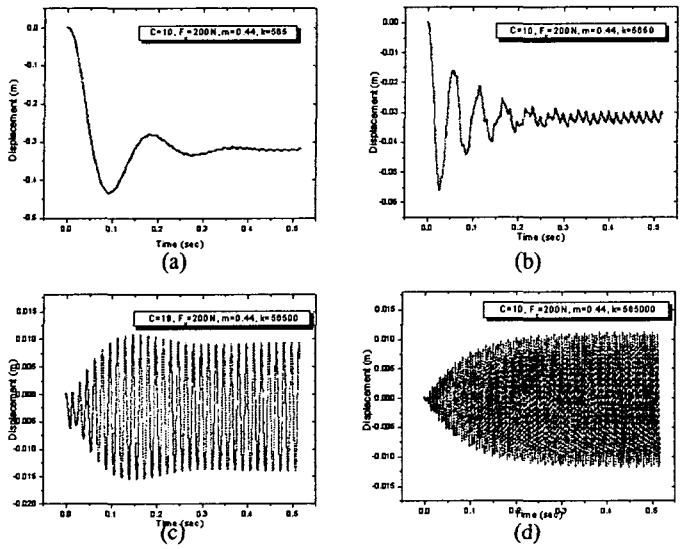

그림 5 스프링의 강성변화에 따른 초기 변위특성

Fig. 5 Variation of starting position with spring stiffness

(a) k = 565[N/m] (b) k = 5,650[N/m]

(c) k = 565,00[N/m] (d) k = 565,000[N/m]

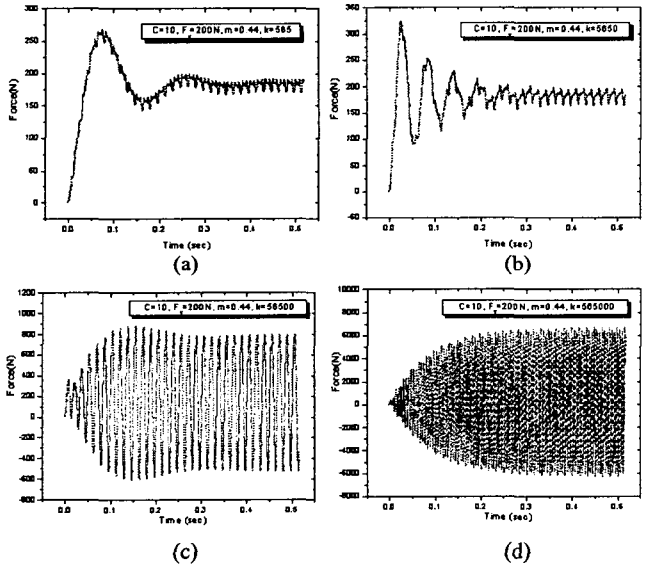

그림 6 스프링의 강성변화에 따른 지지부 반력

Fig. 6 Variation of reaction force with spring stiffness

(a) k = 565[N/m] (b) k = 5,650[N/m]

(c) k = 56,500[N/m] (d) k = 565,000[N/m]

그림 6은 그림 5에서 발생한 이동부의 변위로 인해서 발생되는 지지부의 반력특성으로서 이동부와 방향만 반대이고 그 형태는 초기 변위특성과 지지부의 반력특성이 거의 같은 결과를 나타낸다. 이것은 지지부에서 발생하는 반력이 이동부의 이동으로 인해서 발생하였기 때문이며, 같은 짝 힘이 발생되었기 때문이다.

2.2.2 고유진동수 부근의 탄성계수를 적용한 경우

그림 5와 6에서 알 수 있듯이 고유진동수 부근에서 가장 큰 변위가 발생하고 반력은 스프링 상수가 커짐에 따라 커지는 경향을 가지게 된다. 실제 액추에이터로 적용할 경우 반력은 작으면서 구동 변위가 크게 발생되는 영역으로 설계되어야 하며 이러한 특성을 알아보기 위해서 고유진동수 부근에 해당되는 스프링 상수의 변화를 알아보았다.

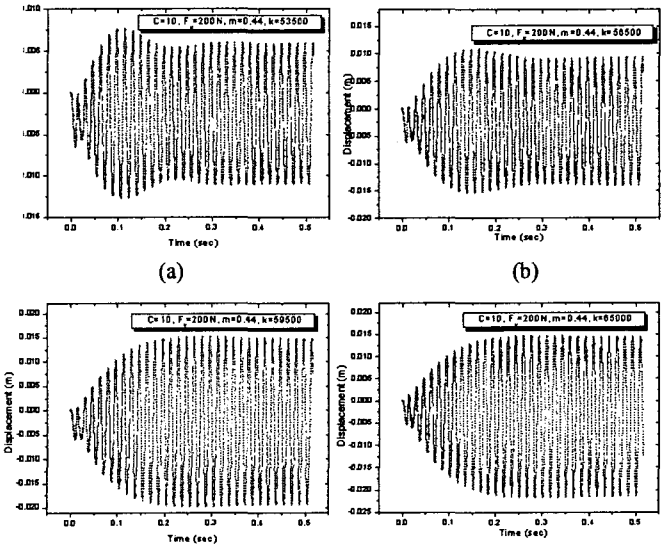

그림 7 스프링의 강성변화에 따른 초기 구동특성

Fig. 7 Variation of initial position with spring stiffness

(a) k = 53,500[N/m] (b) k = 56,500[N/m]

(c) k = 595,00[N/m] (d) k = 65,000[N/m]

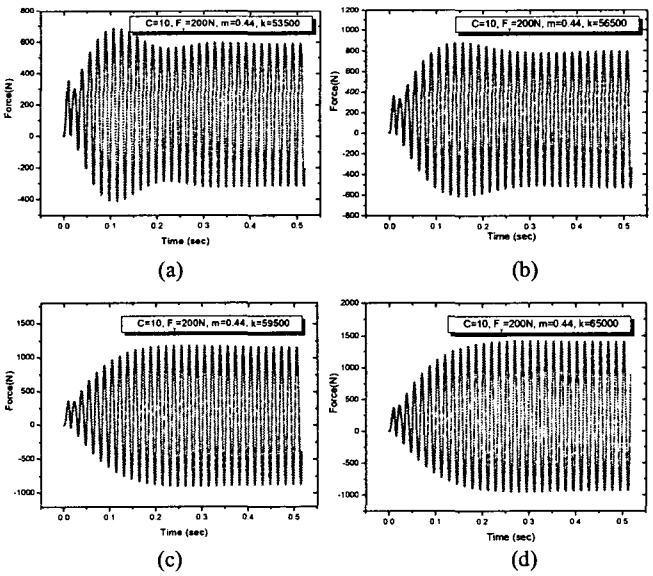

그림 8 스프링의 강성변화에 따른 초기 지지부 반력

Fig. 8 Variation of initial reaction force with spring stiffness

(a) k = 53,500[N/m] (b) k = 56,500[N/m]

(c) k = 59,500[N/m] (d) k = 65,000[N/m]

그림 7과 8은 초기 변위특성과 반력특성을 나타내고 있으며 스프링 강성이 커지면서 초기 overshooting은 작아지지만 정상상태의 최대변위는 공진영역에서 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 초기overshooting이 완전히 없어지지는 영역은 스프링 강성이 59,500[N/m]인 경우부터이며 이것은 계산상으로 고유진동수 영역보다 조금 큰 영역에 있는 값에 해당된다.

그림 9는 이러한 스프링 강성의 변화에 따른 초기 변위특성을 나타내었으며, 고유진동수 영역에 해당되는 스프링 강성의 영향에 따른 초기 구동특성이 크게 변화되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 이러한 결과를 비추어 볼 때 고유진동수 부근에서는 최대 변위가 발생하며 최대 얻을 수 있는 변위를 스프링의 강성의 변화로 충분히 조절할 수 있음을 알 수 있다.

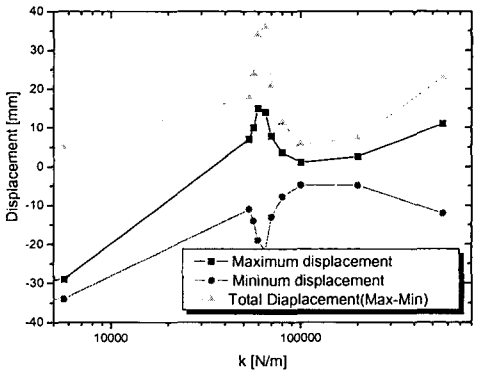

그림 9 스프링의 강성변화에 따른 초기 구동특성
Fig. 9 Variation of initial process with spring stiffness

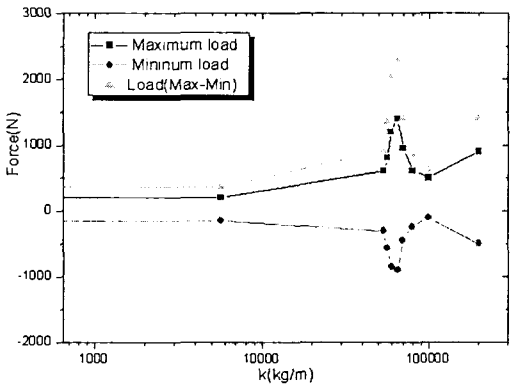

그림 10 스프링의 강성변화에 따른 초기 반력특성
Fig. 10 Variation of initial reaction force with spring stiffness

그림 10은 이러한 스프링 강성의 변화에 따른 초기 반력특성을 나타내었으며, 반력특성도 고유진동수 영역에서 급격하게 변화되고 있음을 알 수 있으며 최대하중, 최소하중, 변동하중 또한 크게 변화됨을 알 수 있다.

이러한 특성들을 종합한 결과 고유진동수 영역보다 조금 더 큰 영역의 진동수를 갖는 스프링을 적용한다면 큰 변위와 작은 반력특성을 얻을 수 있을 것으로 판단되며 강성이 큰 스프링을 적용할 경우 수배에서 수십배의 큰 반력이 작용하게 됨을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

선형전동기를 이용한 선형 액추에이터의 구동방식을 검토한 결과 스프링과 적절히 조합한다면 이동자 질량에 의한 관성에너지를 스프링 강성에 의한 탄성에너지로 변화시킬 수 있고 이러한 특성을 이용하여 미소 진동형 액추에이터를 제작할 수 있음을 확인할 수 있었다. 공진을 이용한 선형 액추에이터의 설계를 위한 스프링의 탄성계수에 따른 액추에이터의 초기 변위특성과 반력특성을 시뮬레이션 수행 결과 최대 변위가 스프링 강성이 500[N/m]인 경우 얻은 변위에 비해서 약 7배 증대될 수 있음을 알 수 있었다. 이에 반해 공진점 부근에서 발생되는 큰 변위로 인해서 지지하고 있는 부분에서 수반되는 반력은 6배 이상 증가되는 경향을 확인할 수 있었으며 이러한 특성을 이용하여 선형 액추에이터 설계에 이용할 수 있음을 확인하였다. 또한 고유진동수 영역보다 조금 더 큰 영역의 고유진동수를 갖는 스프링을 적용한다면 큰 변위와 작은 반력특성을 얻을 수 있을 것으로 판단되며 스프링 강성을 크게 적용할 경우 충격에 가까운 반력이 작용하게 됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국무총리산하 산업기술연구회가 지원하는 협동연구사업인 "차세대 냉각시스템 기술개발"의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] K.J.Binns, el1, "Permanent magnet AC generators", Proc. IEE, Vol.126, No.7, pp.690-696, July 1979.

[2] K.J.Binns, el2, "The Use of Canned Rotors in High Speed Permanent Magnet Machines", 5th Int. Conf. on Electrical Machines&Drives, pp.21-25, 1991.

[3] T.Alasuvanto, el1, "Comparison of Four Different Permanent Magnet Rotor Constructions", Int. Conf. on Electrical Machines, pp.1034-1039, 1990.

[4] J.F.Gieras, M.Wing, "Permanent Magnet Motor Technology", Marcel Dekker, Inc., 1997 Conference on Electrical Engineering 2002, Vol.3, p.1191, 2002.

[5] 강도현, Herbert Weh, "철도 차량용 고출력 횡축형 전동기 설계에 관한 연구", 대한전기학회 논문지 제 48권, 제 6호, B권, pp.301-308, 1999.

[6] 우병철, 정연호, 강도현, "전동기 회전축의 열박음 형상에 따른 변형특성", 대한전기학회 추계학술대회논문집, pp.57-59, 2003.

[7] 김성진, 강경식, 심재술, "소형 왕복동식 압축기 셸에 가해지는 가진력의 간접적 측정", 한국소음진동공학회

지, 제7권, 제6호, pp.899-907, 1997.
[8] 우병철, 강도현, "공진형 선형 액추에이터의 감쇄지수 변화에 따른 과도 응답특성", 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp.1037-1-39, 2004.

저 자 소 개

우 병 철 (禹 炳 哲)

1963년 7월 22일생. 1989년 영남대 기계공학과 졸업. 2000년 경북대학교 기계공학과 졸업(박사), 1991년-현재 한국전기연구원 Mechatronics그룹 선임연구원
Tel : 055-280-1632
Fax : 055-280-1547
E-mail : bcwoo@keri.re.kr

강 도 현 (姜 道 鉉)

1958년 9월 21일생. 1981년 한양대 전기공학과 졸업. 1996년 독일 Braunscheig대학 졸업(박사), 1986년-현재 한국전기연구원 Mechatronics그룹장
Tel : 055-280-1480
Fax : 055-280-1547
E-mail : dhkang@keri.re.kr

홍 도 관 (洪 到 琯)

1972년 2월 22일생. 1998년 동아대 기계공학과 졸업. 2004년 동아대학교 기계공학과 졸업(박사), 2004년 - 현재 한국전기연구원 Mechatronics그룹 연구원
Tel : 055-280-1429
Fax : 055-280-1547
E-mail : vibhong@empal.com