

LVDT형 액츄에이터의 특성시험

박영태*, 장석명, 이성호, 윤인기
한국표준과학연구원*, 충남대학교 전기공학과

Characteristic Experiment of LVDT Type Actuator

Young-Tae Park,* Seok-Myeong Jang, Sung-Ho Lee, In-ki Yoon,
KRISS* Chungnam Nat'l Univ.

Abstract - This paper reports analysis and test results on the new type Linear Oscillatory Actuator(LVDT actuator) which has been expected to be applied not only to measure position but also to drive as an actuator at the same time.

1. 서 론

Linear Variable Differential Transformer(LVDT)는 기계적 운동에 의한 가동자의 위치를 정밀하게 측정하기 위한 트랜스듀서이다. LVDT는 구조적으로 간단한 원통형 구조로 1,2차측 코일과 코어, 보빈으로 구성된다. 이러한 전형적인 LVDT를 변형하여 액츄에이터로 사용함과 동시에 가동자의 위치를 센싱할 수 있는 LVDT 액츄에이터를 설계하였으며, 이에 따른 특성 해석 및 시험결과를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 제안된 LVDT 액츄에이터

그림 1(b)는 제안된 LVDT 액츄에이터의 구조이다. 그림 1(a)의 가동자 변위 측정을 위해 사용되는 전형적인 LVDT를 변형하여, 액츄에이터로 동작함은 물론, 동시에 가동자의 위치를 센싱하도록 하였다. 기존의 LVDT는 1차측 코일을 교류 여자하여 발생된 자속으로 인해 2차측에 유기되는 전압을 센싱함으로써 가동자의 위치 또는 변위를 측정한다. 보빈의 양 끝단에 대칭으로 감긴 2차측 코일은 서로 차동으로 접속된다. 그러므로 2차측 코일에 유기된 전압은 코어가 정중앙에 위치하였을 경우는 극성이 다른 동일한 전압이 유기되므로 측정되는 전압은 0이다. 그런데 코어가 좌우측 어느 방향으로도 변위하였을 경우는 1차측 코일 여자에 따른 발생 자속의 분포가 좌우 비대칭이 되고, 이에 따라 유기되는 전압은 코어 변위에 따라 일정구간에서 선형적 증가를 보인다. 이러한 LVDT를 그림1(b)에서 보는 바와 같이 1차측 코일을 직류 여자하고, 차동으로 접속된 보빈의 양끝단 2차측 코일을 교류여자하여, 좌우측 자기에너지 밀도를 달리함으로써 액츄에이터로 동작하게 하였다. 액츄에이터로 동작할 때, 코어의 변위는 기존의 LVDT의 변위 센싱과 동일한 방법으로 2차측 코일부분에 센싱 코일을 감아 2차측 교류 여자에 따라 유기되는 변압기 기전력과 코어가 1차측 직류 여자에 의해 발생하는 정자계를 2차측 교류 인가전원의 주파수로 운동함으로써 발생하는 속도기전력의 합성기전력을 센싱하여 가동자의 변위를 측정하도록 하였다.

표1은 제안된 LVDT 액츄에이터의 전기적, 기계적 사양이다. 1. 2차측 전류 최대치와 턴수는 온도상승에 따른 코일 과열과 무부하 상태에서 단지 코어를 왕복운 동시키기 위하여 필요한 에너지 등을 고려하여 산정하였다.

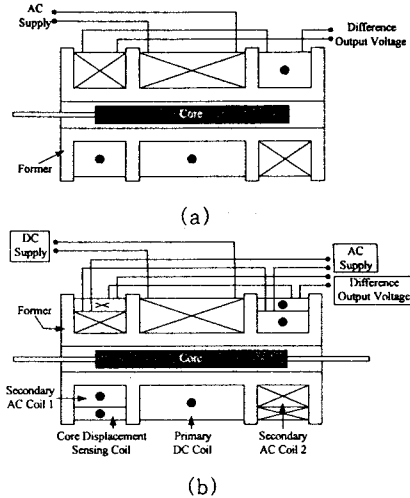


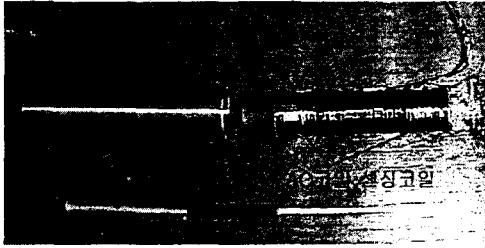
그림 1 (a) 전형적인 LVDT
(b) LVDT 액츄에이터의 구조

표 1 전기적, 기계적 사양

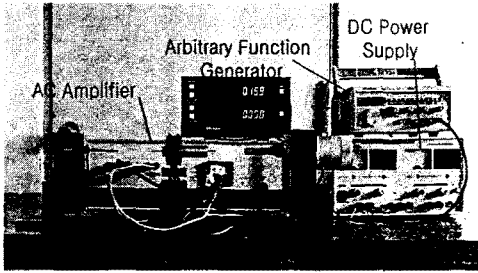
Mechanical		Electrical	
항 목	Value (unit)	항 목	Value (unit)
외 함	ϕ 1.5×80 (mm)	1차측 코일 최대 인가전류	400 (turn) 1.3 (A)
외 함 재 질	AISI 400 series stainless steel		
내 부 체	glass-filled	2차측 코일	900 (turn)
재 질	polymer	최대 인가전류 최대 주파수	0.2 (A), 20 (Hz)
코 어	ϕ 4.7×30 (mm)	센 싱 코 일	200 (turn)
코 어 재 질	nikel-iron	변 위 범 위	±7 (mm)

2.2 특성 해석 및 실험 결과

그림2(a)는 LVDT액츄에이터를 나타낸 것이며, 그림 2(b)는 동특성 시험시 입력전류, 주파수 그리고 가동자의 변위를 계측하기 위한 시험 구성도를 보여준다. 그림 3(a)는 1차측 직류 여자에 코어의 변위에 따른 추력이다. 이는 솔레노이드형 액츄에이터로 동작하는 경우와 동일하며, 코어의 초기위치가 정중앙에 위치하지 않을지라도 1차측 여자에 의해 정중앙에 위치시킬 수 있다.

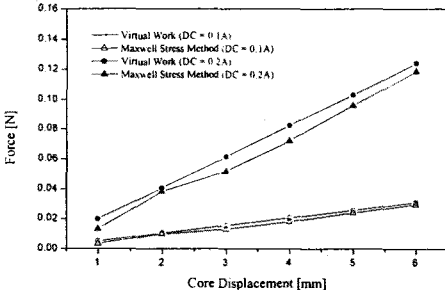


(a)

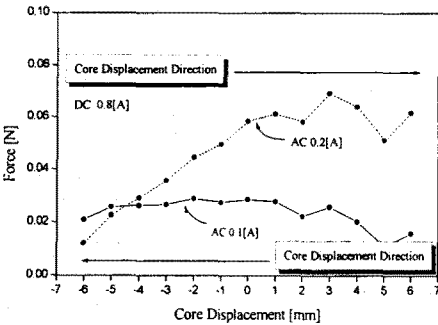


(b)

그림 2 (a) LVDT액츄에이터의 분해도
(b) 계측 시스템 구성도
그림 3(b)는 1,2차축을 각각 직류와 교류 실효치로 동시에 여자한 경우에, 코어의 변위에 따른 추력이다.



(a) 1차축만 여자한 경우



(b) 1,2차축 모두 여자한 경우

그림 3 가동자 위치에 따른 추력

차동으로 접속된 2차축 여자에 의해 발생하는 자속은 1차축 여자전류의 방향에 의해 정중앙에 위치한 코어의 좌우측 자기에너지 밀도가 한 쪽은 밀하고, 다른 한 쪽은 소하게 되어, 자기에너지 밀도차 만큼의 힘으로 코어는 이동한다. 그림3은 FEA에 의한 해석결과이며,

힘은 맥스웰 응력법과 가상변위에 의해 식(1)로부터 산정되었다.

$$F = \frac{z}{2\mu_0} \oint (B_x B_n - B_y B_t) dl, \quad F = \frac{\partial W_{co}}{\partial x} \quad (1)$$

액츄에이터 양단의 에너지밀도 차이에 의하여 이동하는 코어의 속도는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$v = 2df \quad (2)$$

식(2)에서 d 는 코어의 변위이며, f 는 인가되어지는 AC 전압의 주파수이다. 또한 LVDT 액츄에이터의 가동자인 코어에서 발생하는 힘은 식(3)에 의하여 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{W_k}{d} = mdf^2 \quad (3)$$

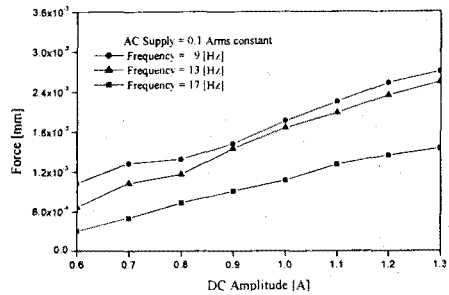


그림 4 1차축 여자 직류전원 크기에 따른 추력

식(3)에서 W_k 는 코어의 운동에너지이며, m 은 코어의 질량이다. 그림4는 인가되는 DC전류에 따른 힘을 나타낸 것이다. LVDT 액츄에이터는 인가되어지는 일정한 AC전류 조건에서 DC전류를 증가시켜주면 DC전류의 증가분에 비례하여 가동자인 코어의 힘이 증가한다. 만약, 계속하여 DC전류를 증가시켜주면 더 이상 DC전류를 증가시켜도 액츄에이터 양단의 에너지밀도 차이가 더 이상 증가하지 않는 포화상태에 도달하게 된다. 따라서 최소한의 입력 에너지로 요구되어지는 힘을 발생시키기 위해서는 액츄에이터 양단의 에너지밀도차가 포화되는 DC전류값 이하에서 구동시켜야 한다.

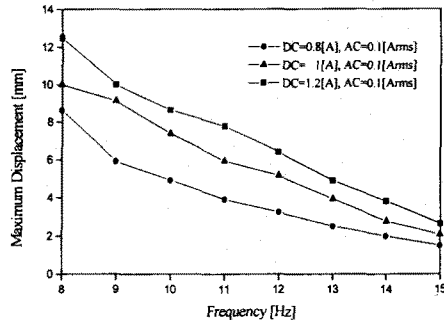


그림 5 주파수에 따른 코어의 최대 이동범위

그림5는 인가되는 주파수에 따른 가동자인 코어의 최대 이동범위를 나타낸 그래프이다. 주파수가 증가함에 따라 코어의 최대변위는 감소하게 된다. 같은 주파수 조건에서 DC전류를 증가시켜주면 양단의 에너지밀도 차이가 증가하여 최대 변위는 증가하게 된다.

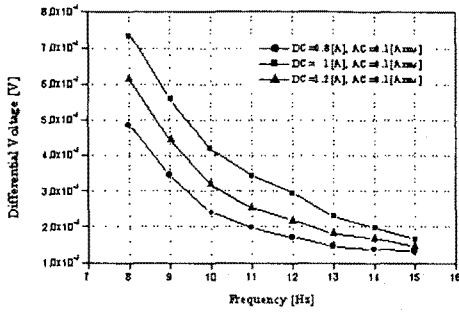


그림 6 주파수에 따른 2차측 센싱코일 유기전압

그림6은 주파수 증가에 따른 센싱코일에서의 유기전압의 실효치를 나타낸 것이다. 액튜에이터의 인가주파수를 증가시키면 가동자의 최대변위가 감소하게 된다. 여기서 주파수의 증가분은 이에 따른 가동자 최대변위의 감소분보다 작기 때문에 속도는 감소하게 된다.

$$|df| \ll |df|^2 < |-dd| \quad (4)$$

이것은 식(4)로 나타낼 수 있다. 즉, 주파수가 증가함에 따라 속도 및 최대변위가 감소하게 되어서 센싱코일에 유기되는 속도기전력이 감소하게 되어 유기전압의 전체값은 감소하게 된다. 이 때 같은 인가주파수 조건에서 DC전류를 증가시켜주면 1차측 직류여자에 의해 발생하는 액튜에이터 중심에서의 자기에너지 증가와 이에 따른 힘에 의한 속도의 증가로 변압기기전력 및 속도기전력이 증가하여 전체적으로 센싱되는 유기전압은 증가하게 된다. 그림7은 인가주파수에 따른 코어의 속도를 나타낸 것이다. 액튜에이터의 인가주파수를 증가시키면 식(4)의 관계에 의하여 속도가 감소하게 된다.

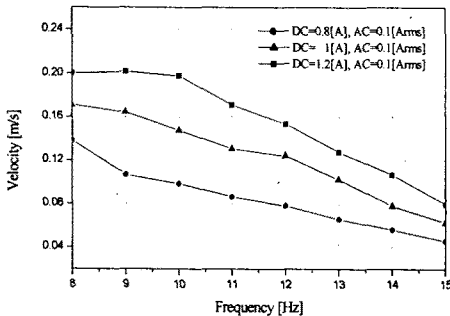


그림 7 주파수에 따른 속도

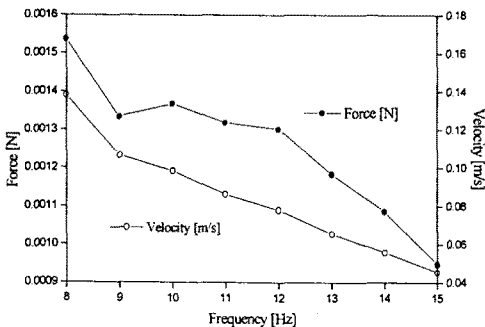


그림 8 주파수에 따른 속도 및 추력

그림8은 AC, DC전류를 일정한 값으로 인가해준 상태

에서 인가주파수에 따른 속도와 힘의 변화특성을 나타낸 것이다. 인가주파수가 증가함에 따라서 속도와 힘이 감소함을 알 수 있다.

그림 9은 주파수에 대한 민감도를 나타낸다. 민감도는 그림5의 센싱코일 출력전압/DC입력전압/그림4의 주파수에 대한 최대변위로부터 산출한다.

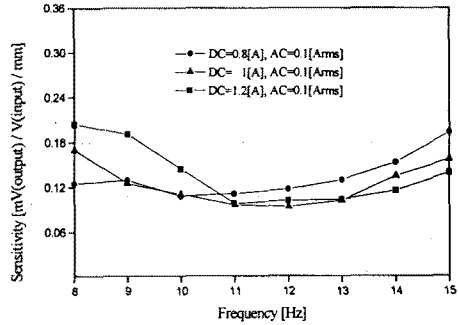


그림 9 주파수에 대한 민감도

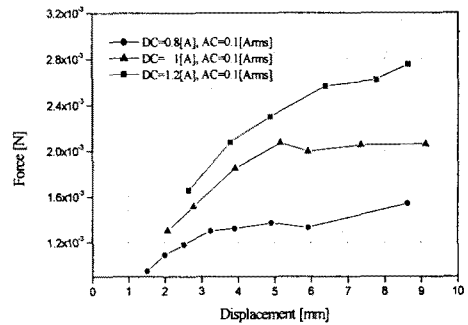


그림 10 코어변위에 따른 힘

그림10은 가동자 변위에 따른 힘을 나타낸 것이다. 액튜에이터의 인가주파수를 감소시키면 변위는 증가한다. 이는 식(4)에 의하여 주파수 감소분의 제곱보다 변위의 증가분이 커지므로 힘은 증가하게 된다.

3. 결론

본 논문에서는 LVDT액튜에이터를 설계 및 제작하였다. LVDT액튜에이터는 기존의 LVDT를 변형하여 액튜에이터로 사용함과 동시에 센싱코일을 액튜에이터 양단에 전기적으로 차동으로 접속시켜 가동자의 위치를 센싱할 수 있는 기기이다. 맥스웰 용력법과 가상 변위에 의해 1,2차측을 각각 직류와 교류 실효치로 동시에 여자한 경우에 가동자의 힘을 해석하였으며, 동특성시험을 통하여 인가주파수 및 DC전류에 따른 최대변위, 속도 그리고 센싱코일에서 유기되는 전압을 측정하였다.

(참고 문헌)

- [1] S.C.Saxena and B.L.Seksena "A self-compensated smart LVDT transducer", IEEE IM, Vol 38, No.3, pp. 748-753, 1989
- [2] T.Meyan and G.W.Healey, "Linear variable differential transformer(LVDT) : linear displacement transducer utilizing ferromagnetic amorphous metallic glass robbons", Sens or and Actuators A.32, pp.582-587, 1992