

자기변형소자를 이용한 선형 액츄에이터의 제작 및 실험

김병호^o, 김용권
서울대학교 전기공학과

Fabrication and experiment of the linear magnetostrictive actuator with electromagnetic clamp

Byung-Ho Kim, Yong-Kweon Kim
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

A linear actuator using Terfenol-D rod which can accumulate displacement of the rod was fabricated. The diameter of used rod is 12[mm] and the length of it is 75[mm]. It adopts the electromagnetic units as the clamping units. Basic characteristics of the linear actuator such as displacement vs. current, velocity vs. frequency, step size vs. frequency were experimented. When the driving current is 1[A] and 100[Hz], the velocity of the actuator is about 3.5[mm/s]. We discussed the cause of step size's decrease as increasing driving frequency and the solution to the problem.

1. 서론

고체변위소자는 어떠한 외부의 요인에 의해 고체로 된 소자가 탄성변형을 하여 출력으로 미소한 변위를 발생시키는 소자이다. 열적변형을 이용한 소자인 바이메탈과 형상기억합금은 큰 구동에너지를 필요로 하고 응답속도가 느리다는 단점이 있고, 전계로 구동되는 압전소자는 응답속도가 빠르고 구동이 용이하지만 낼 수 있는 최대변위와 발생력이 작다는 점 때문에 응용범위에 제한이 있다. 자계로 구동되는 초자기변형소자인 Terfenol-D는 응답속도도 빠르고 최대변위와 발생력이 크므로 변위와 발생력이 중요한 경우의 응용에 적합하다. [1,2]

고체변위소자를 이용한 선형 액츄에이터는 변위축적의 가능여부에 따라서 연속동작 선형 액츄에이터와 불연속동작 선형 액츄에이터로 나뉜다. [3] 연속동작 선형 액츄에이터는 액츄에이터의 최대변위가 소자의 최대변위로 제한되나, 불연속동작 선형 액츄에이터는 소자를 늘리고 줄이는 것에 따라 소자의 양쪽을 고정시키거나 놓아서 소자가 한변에 낼 수 있는 변위를 축적할 수 있다. 불연속동작 선형액츄에이터의 변위 축적과정은 다음과 같다. (a) 진행방향의 반대쪽을 잡아주고, (b) 고체변위소자를 이용해 변위를 발생시키고, (c) 진행방향 쪽을 잡아주고, (d) 진행방향 반대쪽을 놓은 뒤, (e) 고체변위소자를 원래대로 줄인다. (a)부터 (e)의 과정을 반복하면 특정방향으로의 변위를 축적하는 것이 가능하다. [3]

불연속동작 선형 액츄에이터는 변위를 축적하기 위해서 고체 변위소자를 고정시키거나 놓아주는 역할을 하는 잡아주는 구조(clamping unit)가 필수적이다. 잡아주는 구조에는 기계적 접촉구조 [4], 전자력을 이용한 구조 [5]가 있을 수 있는데, 전자력을 이용한 구조가 상대적인 장점이 많다. [5]

본 논문에서는 전자력을 이용한 잡아주는 구조를 채용하고 변위발생에 자기변형소자를 이용한 불연속동작 선형 액츄에이터를 제작했다. 그리고 선형 액츄에이터로서의 이용가능성 검토를 위한 기초실험을 수행했다.

2. 제작된 선형 액츄에이터와 구동회로

전자력을 이용한 잡아주는 구조를 채용한, 자기변형소자로 구동되는 선형 액츄에이터의 구조를 그림 1에 나타내었다.

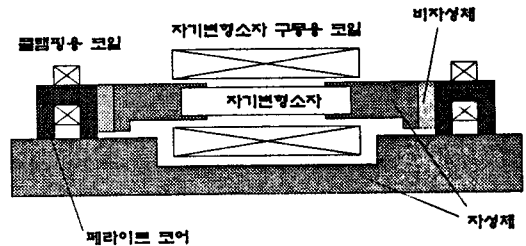


그림 1. 제작된 선형 액츄에이터의 구조

잡아주는 구조의 코일에 전류를 흘리지 않을 때는 자체중량에 의해서만 마찰력이 발생하므로 놓아주는 상태가 되고, 전류를 흘리면 레일과의 사이에 작용하는 인력이 발생해서 마찰력이 증가하므로 잡아주는 상태가 된다. 자기변형소자 구동용 코일에 교류전류를 흘리면서 양쪽의 잡아주는 구조를 적절하게 구동하면 서론에서 설명한 것과 같이 변위를 축적할 수 있다.

그림 2는 제작된 선형 액츄에이터의 실제 모습이다.

변위발생에 사용하는 초자기변형소자 Terfenol-D 봉은 지름 12[mm], 길이 75[mm]인 것을 사용했고, Terfenol-D 봉에 가해지는 자계를 내기위해서 내경 20[mm], 외경 90[mm], 길이 108[mm]인 솔레노이드를 이용했다. 잡아주는 구조는 단면적

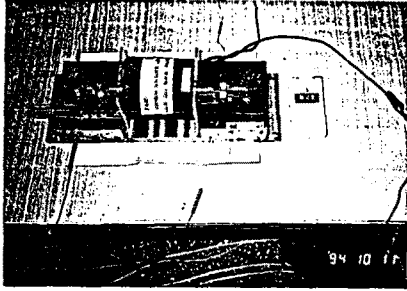


그림 2. 제작된 선형 액츄에이터의 외양

1 [cm], 높이 22 [mm]인 U자형 페라이트 코어에 코일을 500번 감은 것이며, 레일은 120 [mm] × 40.6 [mm] × 370 [mm] 크기의 철을 이용했다.

변위발생용 솔레노이드를 구동하는 단상 인버터의 회로는 그림 3과 같다. Power MOSFET을 스위칭하는 주파수와 솔레노이드에 걸어주는 전압 V_s 를 변화시켜서 원하는 크기와 주파수의 교류전류를 솔레노이드에 흘린다.

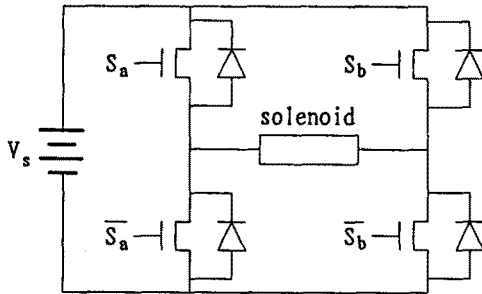


그림 3. 변위발생용 솔레노이드 구동을 위한 단상 인버터

잡아주는 구조의 구동을 위한 회로는 그림 4에 나타내었다. 잡아주려고 하는 쪽의 power MOSFET을 켜면 잡아주는 구조의 코일과 R_2 를 통해서 전류가 흘러서 작동이 되고, power MOSFET을 끄면 잡아주는 구조의 코일과 R_1 과 R_2 를 통해서 전류가 흐르면서 빨리 감소해서 작동을 멈춘다.

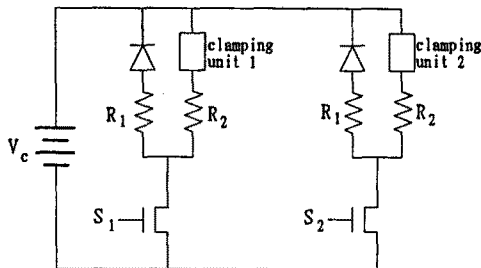


그림 4. 잡아주는 구조의 구동회로

3. 기초특성의 실험

그림 5는 변위발생용 솔레노이드에 흘리는 전류의 크기를 바

꾸가면서 액츄에이터의 발생변위를 실험한 결과이다. 직류전류를 가해서 실험했으므로 액츄에이터의 정특성을 관찰한 것이다. 한쪽의 잡아주는 구조를 작동시키고 반대쪽의 변위를 레이저 변위측정기를 사용해서 측정했다. 0 [A]부터 0.8 [A]까지는 변위가 급격하게 증가하다가 0.8 [A]에서 2.6 [A]까지의 구간에서 기울기가 감소하고 2.6 [A] 이후에는 포화되는 경향을 보인다.

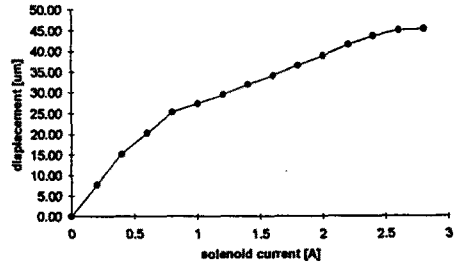


그림 5. 솔레노이드 전류에 따른 액츄에이터의 발생변위 (정특성)

그림 6은 변위발생용 솔레노이드에 흘려주는 교류전류의 주파수를 바꾸면서 액츄에이터의 속도를 측정한 결과이다. 앞에서 언급한 구동장치를 이용해서 최대값이 1 [A]인 교류전류를 솔레노이드에 흘렸고, 잡아주는 구조의 코일에는 최대 0.5 [A]의 전류를 흘렸다. 주파수가 증가함에 따라 속도가 완전히 선형적으로 증가하지 않고 약간씩 속도의 증가가 둔화되는 경향을 볼 수 있다.

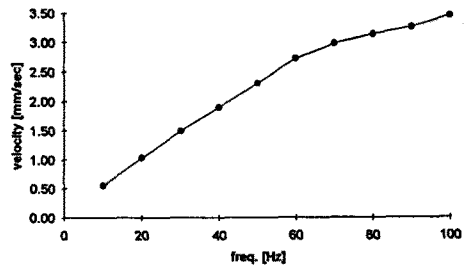


그림 6. 구동 주파수에 따른 속도의 변화

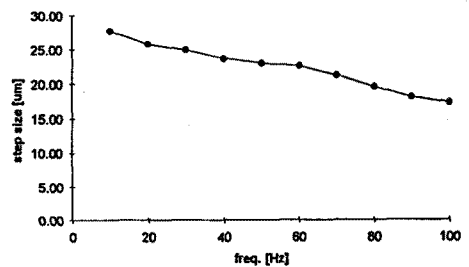


그림 7. 구동 주파수에 따른 스텝당 변위의 추이

그림 7은 위의 속도실험 결과를 바탕으로 각 주파수 별로 1 스텝당 변위를 계산한 것이다. 변위발생용 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향과 관계없이 변위가 축적되므로 모든 주파수에서의 초당 스텝의 수는 그 주파수의 2배이다. 주파수가 낮은 영역에서는 스텝당 발생변위가 앞에서 행한 정특성 실험과 비슷한 값을 보이지만 주파수가 높아질수록 스텝당 발생변위가 줄어드는 경향을 보인다.

4. 논의

앞에서 기술한 실험결과에서 변위발생용 솔레노이드의 구동 주파수에 따라 액츄에이터의 속도가 선형적으로 증가하지 않는 원인에 대해서 검토하겠다.

자기변형소자에 의해서 발생하는 변위를 손실없이 축적하기 위해서는 잡아주는 구조를 자기변형소자의 구동에 정확하게 동기화시켜서 작동시켜야 한다. 하지만 그림 4에 나와있는 잡아주는 구조의 구동회로에서는 스위칭 소자를 정확한 시점에서 켜주더라도 잡아주는 구조에 충분한 전류가 흐를 때까지는 코일의 인덕턴스와 저항의 비에 의한 지연시간이 있다. 주파수와 관계없이 거의 일정한 이 지연시간이 주파수가 아주 낮은 영역에서는 한 주기에 비해 대단히 짧기 때문에 별로 문제가 안되지만, 주파수가 높아짐에 따라 한 주기에 비해서 무시할 수 없는 크기가 된다. 따라서 솔레노이드의 구동주파수가 높아질수록 잡아주는 구조의 작동에 걸리는 지연시간에 의한 변위의 손실은 커진다.

그림 8과 그림 9는 각각 20 [Hz]와 80 [Hz]에서 잡아주는 구조의 코일에 흐르는 최대 전류의 값을 변화시키면서 속도를 실험해서 한 스텝당 변위를 계산한 결과이다. 잡아주는 구조의 코일에 흐르는 최대 전류가 클수록 잡아주는 구조가 작동되기 시작하는 전류값에 빨리 도달하기 때문에 변위의 손실이 적을 것이다. 실제로는 구동 주파수가 20 [Hz]인 경우 코일의 전류 최대값이 0.3 [A] 이상일 때는 거의 같은 크기를 갖는다. 하지만 주파수가 80 [Hz]인 경우에는 전류의 최대값을 증가시키기에 따라 계속적으로 한 스텝당 변위가 증가하는 경향을 보인다. 이는 주파수가 높을수록 지연시간의 영향을 많이 받는다는 앞의 논의와 잘 맞는 결과이다.

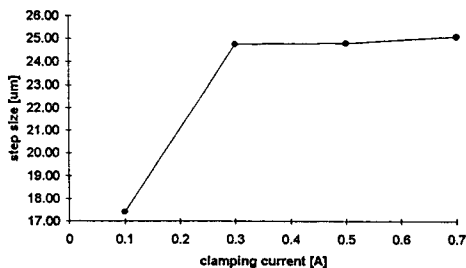


그림 8. 잡아주는 구조의 전류 변화에 따른 스텝당 변위 (20Hz)

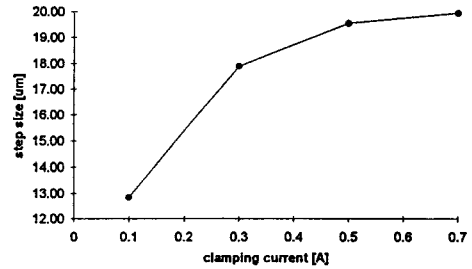


그림 9. 잡아주는 구조의 전류 변화에 따른 스텝당 변위 (80Hz)

잡아주는 구조에서의 지연시간에 의한 변위의 손실을 줄이기 위해서는 앞에서 실험한 것과 같이 잡아주는 구조의 코일에 가해지는 전압을 크게해서 빨리 전류가 증가하게 하는 방법이 있지만, 이 방법은 구동전력의 증가를 가져온다. 변위손실을 해결할 다른 방법으로는 잡아주는 구조의 인덕턴스를 줄이는 것과 지연시간을 고려해서 스위칭 소자의 게이팅 신호를 주는 것 등이 있다.

5. 결론

전자력을 이용한 잡아주는 구조를 사용하고 변위발생에 자기변형소자를 이용한 선형 액츄에이터를 제작하고 기초적인 특성 실험을 수행했다. 속도실험의 결과 최대크기 1 [A]의 100 [Hz] 교류전류로 구동했을 경우 최대 3.5 [mm/s]의 속도를 나타내었다. 구동 주파수가 높아짐에 따른 변위의 손실 문제가 있었고, 이것의 원인과 해결방법에 대해서 논의하였다.

참고문헌

- [1] Mel J. Goodfriend, "Material breakthrough spurs actuator design", *Machine design*, Vol. 63, No. 6, pp 147-150, 1991.
- [2] 백창욱, 김병호, 김용권, '자기변형소자와 그 응용', *대한전기학회지*, Vol. 42, No. 9, pp 38-45, 1993.
- [3] L. Kiesewetter, "The application of Terfenol in linear motors", *Proceedings of the 2nd international conference on Giant Magnetostrictive and Amorphous Alloys for sensors and actuators*, 1988.
- [4] Koji Ikuta, Satoshi Aritomi, Takefumi Kabashima, "Tiny silent linear cybernetic actuator driven by piezoelectric device with electromagnetic clamp", *Proc. of International Workshop on Micro Electromechanical Systems*, pp 232-237, 1992.
- [5] 김병호, 김용권, '자기변형소자를 이용한 선형 액츄에이터에 대한 기초연구', *대한전기학회 하계학술대회 논문집(A)*, pp 69-71, 1994