

# 자기변형소자를 이용한 선형 액츄에이터에 대한 기초연구

김병호<sup>1</sup>, 김용권  
서울대학교 전기공학과

A basic study on the linear actuator using magnetostrictive device

ByungHo Kim, YongKweon Kim  
Department of Electrical Engineering, Seoul National Univ.

### Abstract

In fabricating linear actuator using the GMA(Giant Magnetostrictive Alloy : Terfenol-D), the clamping unit is needed to accumulate each displacement from the GMA rod. Two types of the clamping unit (one is using piezoelectric device and the other electromagnetic force) were made and tested. From the result of the experiment, we conclude that the electromagnetic clamping unit has advantages over the piezoelectric clamping unit.

### 1. 서론

고체변위소자는 어떠한 외부의 요인에 의해 고체로 된 소자가 탄성변형을 하여 증폭으로 미소한 변위를 발생시키는 소자이며, 변형을 일으키는 외부요인으로는 열, 자계, 전기 등이 있다. 열적변형을 이용한 소자인 바이메탈과 형상기억합금은 큰 구동에너지를 필요로 하고 응답속도가 느리다는 단점이 있다. 기존에 많이 쓰여왔던 압전소자는 전계로 구동되므로 응답속도가 빠르고 구동이 용이하다는 장점이 있으나, 낼 수 있는 최대변위와 발생력이 작다는 점 때문에 응용범위에 제한이 있다. 자계로 구동되는 자기변형소자의 경우는 최대변위와 발생력이 크다는 특징이 있으므로 변위와 발생력이 중요한 경우의 응용에 적합하다. 초자기변형소자인 Terfenol-D는 최대 2000 [ppm] 정도의 변위와 70 [MN/mm<sup>2</sup>] 정도의 응력을 발생할 수 있다. [1, 2]

고체변위소자를 이용한 선형 액츄에이터는 변위축적의 가능여부에 따라서 연속동작 선형 액츄에이터와 불연속동작 선형 액츄에이터로 나뉜다. [3] 연속동작 선형 액츄에이터는 고체변위소자의 한쪽면이 완전히 고정되어 있는 구조로 안정성이 높은 장점이 있는 반면, 액츄에이터의 최대변위가 소자의 최대변위로 제한된다. 불연속동작 선형 액츄에이터는 소자의 양쪽을 고정시키거나 놓아줄 수 있는 구조이므로 소자가 낼 수 있는 변위를 축적해서 긴 거리에 걸쳐 움직임을 낼 수 있다. 그림 1에 불연속동작 선형액츄에이터의 동작원리를 나타내었다. 한쪽방향으로 변위를 내기위해서는 (a) 반대쪽의 잡아주는 구조를 작동시키고, (b) 고체변위소자를 이용해 변위를 발생시키고, (c)

변위가 발생한 쪽의 잡아주는 구조를 작동시키고, (d) 반대쪽의 잡아주는 구조의 작동을 중지시킨 후, (e) 고체변위소자를 원래대로 줄인다. (a)부터 (e)의 과정을 반복하면 특정방향으로의 변위를 축적하는 것이 가능하다.

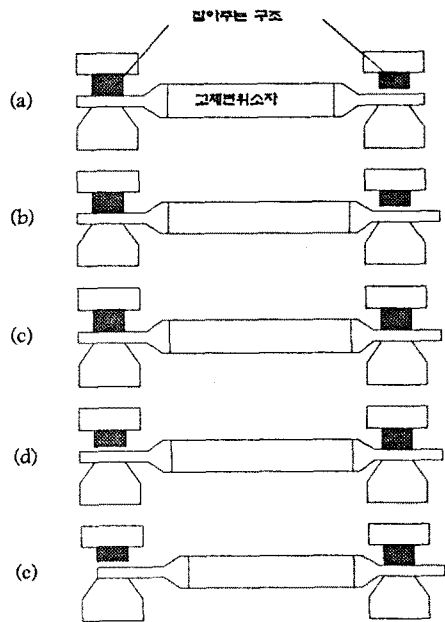


그림 1. 불연속동작 선형 액츄에이터의 동작과정

불연속동작 선형 액츄에이터에 있어서 가장 핵심적인 요소는 고체변위소자를 고정시키거나 놓아주는 역할을 하는 잡아주는 구조(clamping unit)이다. 잡아주는 구조는 여러가지 방법으로 구현할 수 있는데 기계적 접촉구조[3], 정전력을 이용한 구조 [4], 전자력을 이용한 구조[5] 등이 있을 수 있다.

본 논문에서는 자기변형소자를 이용한 불연속동작 선형 액츄에이터의 제작을 위한 기초연구로써 압전소자를 이용한 기계적 접촉식 잡아주는 구조와 전자력을 이용한 잡아주는 구조의 원리를 고찰하고, 두 잡아주는 구조에 대한 실험을 토대로 액츄에이터 제작시 적합성 여부를 검토해 보았다.

## 2. 압전소자를 이용한 잡아주는 구조의 실험

압전소자를 이용한 잡아주는 구조를 가지는, 자기변형소자를 변위발생에 채용한 선형 액츄에이터의 대략적인 구조를 그림 2에 나타내었다.

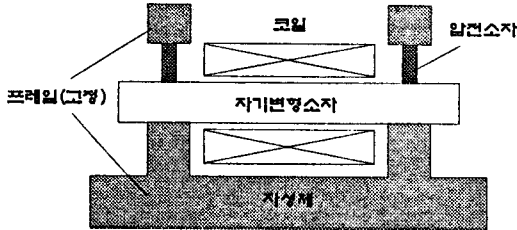


그림 2. 압전소자를 이용한 잡아주는 구조를 가지는 선형 액츄에이터

압전소자는 구동하지 않은 상태에서 이미 자기변형소자와 접촉하고 있으나 양쪽 압전소자가 자기변형소자를 누르고 있는 힘이 비슷하므로 자기변형소자에 자계를 가해도 한쪽 방향으로만 변위를 발생시킬 수는 없다. 하지만 한쪽의 압전소자에 전압을 가하면 압전소자가 발생하는 힘에 의해 붐을 눌러주는 수직항력이 증가해 자기변형소자에 의해 발생한 변위를 반대쪽으로만 작용시킬 수 있다. 따라서 그림 1에서 설명한 과정을 반복하면 변위를 한쪽방향으로 축적할 수 있다.

그림 3은 압전소자를 이용한 잡아주는 구조의 특성조사를 위한 실험의 장치도이다. 끝에 압전소자가 부착되어 있는 마이크로미터를 조작해 압전소자를 구동하지 않은 상태에서 붐을 누르고 있는 힘을 변화시키면서, 압전소자에 가해진 전압에 따라 붐을 당겼을 경우 끌리지 않고 잡을 수 있는 최대한도의 힘 (clamping force)을 실험했다. 붐을 누르는 힘은 로드셀을 이용해 측정했으며 붐을 잡아당기는 힘은 질량을 이용해서 가했다. 실험에 사용한 압전소자는 2mm×3mm×9mm 크기이고, 붐은 지름 12mm, 길이 75mm이며 재질은 두랄루민이다.

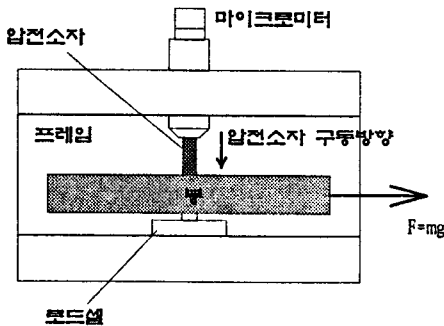


그림 3. 압전소자를 이용한 클램핑 실험장치의 평면도

그림 4는 압전소자에 가해진 전압을 0[V]부터 140[V]까지 변화시키면서 잡아줄 수 있는 최대한도의 힘을 나타낸 것이다. 압전소자를 구동하지 않았을 때의 잡아주는 힘은 약 0.7[N]이 있으며, 압전소자에 140[V]를 가했을 경우와 구동하지 않았을

경우의 잡아주는 힘의 차이는 1.2[N]이었다. 압전소자를 구동하지 않았을 경우 잡아주는 힘은 0.7[N] 정도로 작으므로 이상적이지만 압전소자에 의해 발생하는 잡아주는 힘의 차이는 매우 작다. 압전소자에 가해진 전압과 잡아줄 수 있는 최대전압은 대체로 선형적인 관계를 보인다.

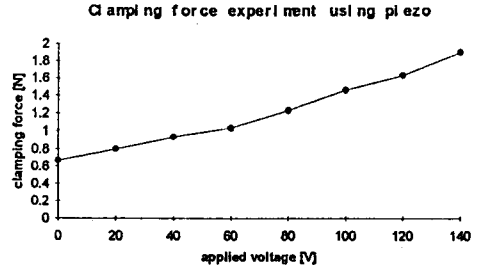


그림 4. 압전소자에 가해진 전압에 따른 잡아주는 힘

그림 5는 압전소자를 140[V]로 구동시켰을 경우와 구동시키지 않았을 경우의 잡아줄 수 있는 힘의 차이를 압전소자를 구동시키지 않은 상태에서 붐을 누르는 힘을 변화시키면서 실험한 결과이다. 대부분의 경우 압전소자에 의한 잡아줄 수 있는 최대한도의 힘의 차이는 5[N] 정도이지만, 압전소자에 의한 초기수직항력이 44[N]인 경우에는 2배정도 큰 10[N]이다. 이 사실로부터 압전소자를 이용한 구조의 경우 압전소자가 낼 수 있는 수직항력을 크게하기 위해서는 압전소자의 초기위치를 조절할 수 있는 설계가 필요함을 알 수 있다.

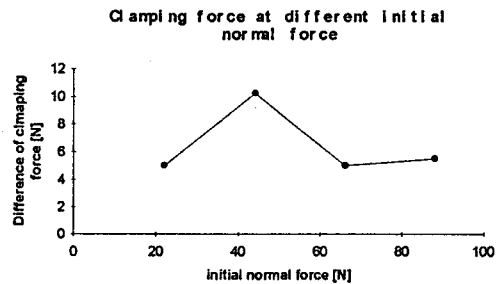


그림 5. 초기수직항력에 따른 잡아주는 힘의 차이

## 3. 전자력을 이용한 잡아주는 구조의 실험

전자력을 이용한 잡아주는 구조를 채용한, 자기변형소자로 구동되는 선형 액츄에이터의 구조를 그림 6에 나타내었다.

잡아주는 구조에 있는 코일에 전류를 흘리면 레일과의 사이에 작용하는 인력이 커지므로 압전소자를 사용한 경우와 마찬가지로 수직항력을 증가시켜 자기변형소자에 의한 발생변위의 방향을 제어할 수 있다. 특정방향의 변위를 축적하는 과정은 서론에서 설명한 것과 같다.

그림 7은 전자력을 이용한 잡아주는 구조의 실험의 장치도이다. 단면적이 1mm<sup>2</sup>이고 높이가 22mm인 C자형 페라이트 코어를

코일을 500번 감았고, 레일은 두께 17mm의 철판이다.

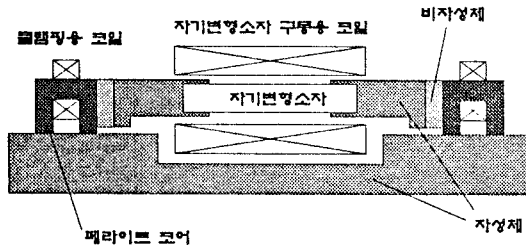


그림 6. 전자력을 이용한 잡아주는 구조를 가지는 선형 액츄에이터

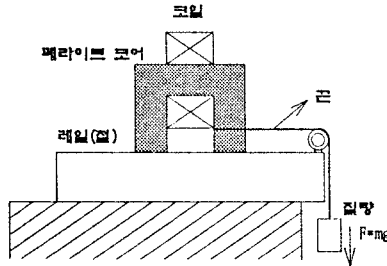


그림 7. 전자력을 이용한 클램핑 실험의 장치도

그림 8은 코일에 흘리는 전류를 0 [mA] 부터 60 [mA] 까지 변화시키면서 미끄러지지 않고 견딜 수 있는 최대질량을 실험한 결과이다. 전류를 증가시키에 따라 잡아줄 수 있는 최대한도의 힘이 늘어났다가 50 [mA] 이상의 구간에서는 포화되는 경향을 보인다. 코일에 흐르는 전류가 0 [mA] 일 경우 구조자체의 질량에 의한 수직항력에 의해서 발생하는 잡아줄 수 있는 최대한도의 힘은 약 0.4 [N] 이고 50 [mA] 이상에서는 8.5 [N] 정도이다. 따라서 전자력에 의해서 발생한 잡아주는 힘의 차이는 8.1 [N] 정도이다.

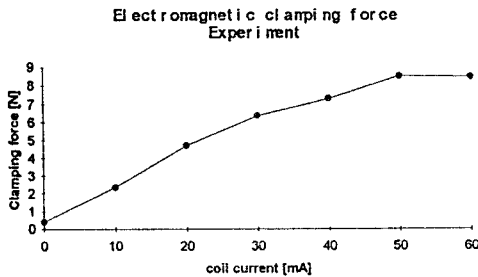


그림 8. 전류의 변화에 따른 잡아주는 힘의 추이

전자력을 이용한 잡아주는 구조는 코어의 단면적과 길이를 바꿈에 따라 레일과의 사이에서 발생하는 인력이 달라지므로 응용에 따라 적절한 크기를 선택해야 한다.

#### 4. 논의

앞에서 기술한 실험으로부터 얻은 결과를 토대로 압전소자를 이용한 기계적인 접촉으로 잡아주는 구조와 전자력을 이용한

구조를 비교검토하였다.

잡아주는 구조에 의해서 발생하는 잡아주는 힘의 차이는 최대값만을 비교해 볼 경우는 압전소자를 이용한 구조가 1.9 [N] 정도 컸다. 하지만 그것은 압전소자를 구동하지 않았을 때의 초기수직항력이 44 [N] 인 경우로, 다른 모든 경우에는 전자력을 이용한 구조가 3.1 [N] 정도 높은 값을 나타내었다. 결국 압전소자를 이용한 구조를 써서 선형 액츄에이터를 제작할 경우, 압전소자에 의한 잡아주는 힘의 차이를 높이기 위해서는 압전소자의 위치를 조절할 수 있는 구조가 필수적이어서 구조적으로 복잡하게 되고, 각각의 압전소자에 의한 양쪽의 초기수직항력을 비슷한 값으로 조정해야 하는 어려움도 있다. 또한 구동하지 않았을 경우의 초기상태에서의 누르는 힘이 너무 커져서 자기변형소자를 구동할 때 손실이 커질 수 있다는 문제점도 있다.

반면에 전자력을 이용한 잡아주는 구조의 경우는 구조가 간단하고, 초기위치조정 등의 어려움이 없으며 구동하지 않았을 경우는 구조의 질량에 의한 잡아주는 힘 밖에 없다는 상대적 장점이 있다. 또한 코일을 감은 횟수가 충분할 경우 수십 mA 정도의 지전류로도 최대의 성능을 발휘할 수 있어 구동에도 큰 어려움은 없다. 하지만 잡아주는 구조 자체가 자기변형소자의 변위발생시 부하로 작용한다는 단점도 있다.

#### 5. 결론

자기변형소자를 이용한 선형 액츄에이터 제작서 변위축적에 필요한 잡아주는 구조에 대해서 살펴보고 실험을 수행하였다. 실험결과를 비교검토한 결과 전자력을 이용한 잡아주는 구조가 상대적으로 장점이 많다는 사실이 확인되었다.

위의 결과를 토대로 전자력을 이용한 잡아주는 구조를 가지는, 자기변형소자를 이용한 선형 액츄에이터의 제작을 준비하고 있다.

#### 참고문헌

- [1] Mel J. Goodfriend, "Material breakthrough spurs actuator design", Machine design, 1991.
- [2] 배창욱, 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] Jack W. Judy, Dennis L. Polla, William P. Robbins, "A linear piezoelectric stepper motor with submicrometer step size and centimeter travel range", IEEE Transactions on ultrasonics ferroelectrics and frequency control, Vol. 37, No. 5, 1990.
- [5] 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.