

# 최대 변위를 위한 자기변형 액추에이터의 최적 예압에 관한 연구

## The optimal pre-load of a magnetostrictive actuator for maximum displacement

\*, #이효렬<sup>1</sup>, 황젠<sup>1</sup>, 곽용길<sup>2</sup>, 안중환<sup>3</sup>

\*, # H. R. Lee(hong30140@naver.com)<sup>1</sup>, J. Huang<sup>1</sup>, Y. K. Kwak<sup>2</sup>, J. H. Ahn<sup>3</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 기계공학부 제어자동화전공, <sup>2</sup>국방과학기술연구소, <sup>3</sup>부산대학교 기계공학부

Key words : Magnetostrictive actuator, Pre-load, Terfenol-D

### 1. 서론

최근 광범위한 분야에서 마이크로 액추에이터의 필요성이 증가하고 있어, 액추에이터의 다양화와 고성능화에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 특히 소자 자체의 선형적 움직임을 이용한 마이크로 액추에이터로는 압전, 형상기억 합금, 자기 변형 액추에이터 등이 있다. 압전 액추에이터는 응답성은 좋으나 비선형성에 대한 제어가 어렵고 출력이 약해서 큰 힘이 필요한 절삭 가공이나 마이크로 프레스 가공에는 적합하지 않다. 형상 기억 합금은 응답 속도가 느려서 정밀 구동에는 사용할 수 없다. 자기 변형 소자는 압전 소자보다 응답성은 약간 떨어지지만 큰 힘을 발생시키기 때문에 소형이면서 큰 힘을 요구하는 시스템에 적용할 수 있다.<sup>(1-2)</sup>

자기변형은 외부 자기장의 영향으로 소자의 형상이 바뀌는 현상이며 이러한 현상을 이용한 자기 변형 액추에이터를 설계 시 고려해야할 파라미터로는 자기 편향, 소자 형상, 자기유도, 예압, 코일 감은수, 코일에서 발생되는 열 문제를 해결하기 위한 냉각구조 등이 있다.

본 논문에서는 자기 변형 액추에이터의 최대 변위를 위한 최적 예압을 선정하기 위한 예압 - 변위 실험 장치를 구성하고 검증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 자기변형 액추에이터의 구조

Fig. 1은 자기변형 액추에이터의 기본 구조를 나타낸 것이다. 예압 볼트(Prestress screw), 디스크 스프링(Belleville disk spring)으로 액추에이터의 느슨한 조립 오차를 없애고 변형율 특성이 최적이 되는 예압을 인가할 수 있도록 한다. 코일에서 발생

된 자기장의 손실을 최대한 줄이기 위해 고투자율 소재인 강(S45C)을 사용한 스틸 프레임(Steel Frame), 외각 지지부(Outer Sleeve)는 자기장이 지지부를 통해 흐르는 것을 막기 위해 저투자율이면서 예압을 견딜 수 있는 고강성 재료를 사용한다. 자기 변형 액추에이터의 작동 원리는 코일에서 발생된 자기장이 자기 유도부로(Magnetic induction path)를 통해 자기변형소자로 인가되고, 이때 자기변형 소자는 자벽의 이동과 자기모멘트의 회전에 의해 자기장의 방향으로 미소 변형을 하게 된다.<sup>(3)</sup>

자기변형 액추에이터에 이용된 자기변형소자는 ETREMA사의 직경 8mm, 길이 30mm의 Terfenol-D를 사용하였으며, 자기 변형 소자의 양 끝에 직경 8mm, 길이 3mm의 NdFeB 영구자석을 부착하여 변형율이 선형 구간에 위치하도록 자기 편향을 시켜주었다.

코일은 내열성이 우수한 직경 0.5mm의 폴리에스테르 동선을 사용했다. 코일 턴 수에 비례하여 코일의 저항이 증가하여 Terfenol-D에 과도한 열전달이 되므로, 최대 전류(8A)를 인가할 시, 자계강도가 Terfenol-D의 선형 구간의 최대 자계강도인 60kA/m 이내 범위가 될 수 있도록 코일을 300회 감았다.

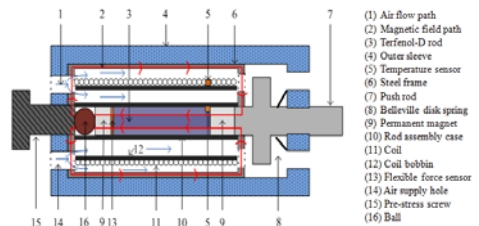


Fig. 1 Structure of Magnetostrictive actuator

2.2 자기변형 액추에이터의 최적 예압 실험 장치  
자기변형 액추에이터의 최적 예압은 자기 모멘트가 대부분 자기변형소자의 길이 축에 대해 수직으로 정렬되어 있는 상태의 예압이다. 예압의 크기에 따라 자기 모멘트의 회전 여유각이 변하므로 적정 예압을 조사하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 예압 볼트로 자기변형소자에 예압을 인가하고 압전 저항형 플렉시블 힘센서(Flexible force sensor)를 사용하여 예압의 크기를 측정하는 실험 장치를 구성하였으며 이를 Fig.2에 나타내었다.

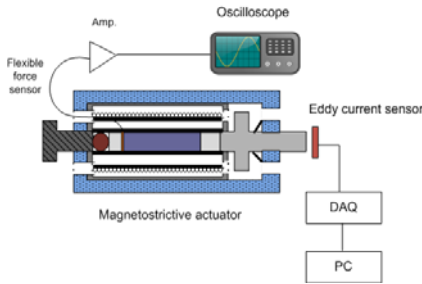


Fig. 2 Experimental setup for optimal prestress

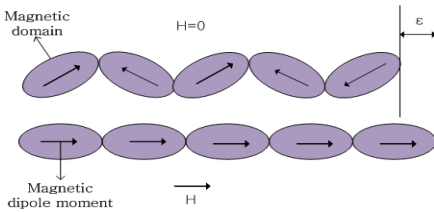


Fig. 3 Magnetic domain and dipole moment

2.3 자기변형 액추에이터의 최적 예압 실험 결과  
최적의 예압을 알아보기 위해 동일한 예압에 입력 전류를 변화시켜가면서 자기변형 액추에이터의 변위를 구하였으며, 전류는 1~8A 까지 1A씩 DC 전류를 인가하였고, 예압은 4.0, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0MPa를 예압 스크류를 통하여 인가하였다. 예압과 인가 전류에 따른 자기변형 액추에이터의 변위를 분해능 500nm의 와전류 센서(AEC S-06, AEC 5706PS)를 이용하여 측정하였다.

Fig. 4은 예압에 따른 자기변형 액추에이터의 예압 - 변위 실험 결과를 나타낸것이다. 동일 예압에서 입력 전류가 크게 인가될수록 변위는 증가하며, 그 증가율은 자기장과 예압의 크기에 따라 달라짐을 알 수 있다. 최대 변위는 예압이 6.5MPa일때

발생하며, 예압이 최적 예압보다 크거나 작을 경우 변위가 약 2배에서 4.5배 정도 작아짐을 알 수 있다.

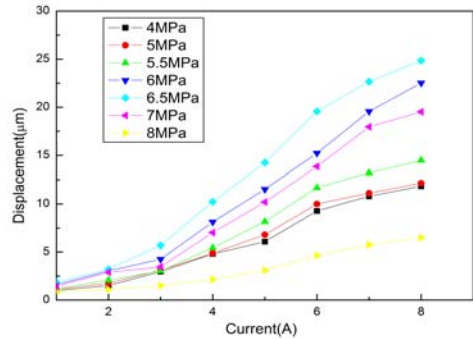


Fig. 4 Displacement variations according to pre-load

### 3. 결론

본 논문에서는 자기장에 따라 형상이 변하는 현상을 이용하는 자기변형 액추에이터에서 최대 변위를 발생시키기 위해 소자에 가해지는 최적 예압을 선정하고자 예압 - 변위 실험을 장치 구성하고 실험을 통하여 6.5MPa일때 최대 변위가 발생하는 것을 확인하였다.

### 후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역대학 우수 과학자 지원사업 연구임(No. 2011 - 0014455)

### 참고문헌

- Jenner, A. G., Smith, R. J. E. and Wilkinson, A. J., "Actuation and transduction by giant magnetostrictive alloys," *Mechatronics*, **10**, 457~466, 2000.
- Claeyssen, F., Lhermet, N., Le Letty, R. and Bouchilloux, P., "Actuators, transducers and motors based on giant magnetostrictive materials," *Journal of Alloys and Compounds*, **258**, 61~73, 1997.
- 곽용길, 황진동, 김철민, 김선호, 안중환, "압축 공기 냉각을 이용한 자기변형 액추에이터의 위치 추종 성능 향상," 한국공작기계학회논문집, **16**, 51-57, 2007.