

적층형 압전소자 구동기 기반의 2축 마이크로 스테이지 설계 Design of Two-Axis Micro Stage Based on Stack-type Piezo Actuator

*최기봉¹, 김기홍¹, 이재종¹

*K.-B. Choi¹(kbchoi@kimm.re.kr), G. H. Kim¹, J. J. Lee¹

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부 나노패터닝장비팀

Key words : Stack-type piezo actuator, micro stage, flexure, compliant mechanism, 2-PP mechanism

1. 서론

압전소자에 의해 작동되는 스테이지는 빠른 응답속도, 나노급 위치결정 및 큰 구동력을 갖는 장점이 있으나 구동 변위가 작기 때문에, 미소변위의 초정밀 위치결정을 위한 시스템에 응용되고 있다.^[1-3] 압전소자에 의해 작동되는 스테이지는 기존의 베어링에 의한 관절보다는 탄성힌지의 조합에 의한 관절을 사용하여 이동물체의 지지, 안내 및 힘을 전달한다. 따라서 압전소자에 의해 작동되는 스테이지는 대부분 탄성힌지에 의한 컴플라이언트 메커니즘으로 구성되어 있기 때문에, 컴플라이언트 메커니즘의 구조는 스테이지의 성능에 큰 영향을 준다.

압전소자 구동형 스테이지는 주로 마이크로 영역을 나노 미터의 분해능으로 스캐닝하는 스캐너로 이용되거나, 초정밀 위치결정 성능을 이용하여 리소그래피의 정렬스테이지로 이용된다.

평면운동을 위한 컴플라이언트 메커니즘은 한 축의 구동 메커니즘 위에 또 다른 한 축의 메커니즘을 쌓아가는 직렬형과 한 평면 상에 두 축을 동시에 구성하는 병렬형 메커니즘이 있다. 이 중 병렬형 메커니즘은 직렬형에 비해 고강성이 가능하고, 두 축의 동특성이 동일하기 때문에 직렬형에 비해 선호되고 있다. 그러나 메커니즘은 직렬형에 비해 복잡한 단점을 가지고 있다.

적층형 압전소자 및 전자기력 힘을 이용한 병렬형 2축 스테이지가 기존에 연구되었다.^[4-7] 압전소자를 구동원으로 사용하는 경우에는 압전소자의 변위가 매우 작기 때문에 변위를 확대시킬 필요가 있으며, 주로 지렛대 원리에 의한 변위확대 메커니즘을 이용하고 있다.

본 연구에서는 SEM 또는 TEM 내에서 샘플의 위치를 미세 조정할 수 있는 마이크로 스테이지를 설계하고 제작하여 실험을 통해 성능을 확인하고자 한다. SEM 또는 TEM에서 샘플이 고정될 공간이 매우 협소하기 때문에 마이크로 스테이지의 전체 크기가 제한이 되며, 전자기력에 의한 영향을 제거하기 위해 구동기로서는 압전소자가 선정된다. 기존의 상품화된 압전소자의 크기와 압전소자의 변위를 확대시키기 위한 변위확대기구 및 운동안내기구의 크기 또한 제한되기 때문에 3개의 층으로 구성된 메커니즘을 제안하여 공간제약을 극복하고자 한다. 또한 스테이지의 운동을 측정할 초정밀 센서를 장착할 공간이 부족하기 때문에, 본 연구에서는 적층형 피에조 소자에 스트레인게이지를 부착하여 스트레인게이지의 출력을 변위로 변환하여 제어에 이용한다.

2. 마이크로 스테이지의 구조

제한된 마이크로 스테이지는 스테이지의 볼륨을 40 mm × 40 mm × 30 mm 이내로 제한하기 위해 3층으로 구성한다. 상부층은 이동평면의 2축 운동을 안내하고 지지하기 위한 2축 운동안내기구이며, 중간층은 적층형 압전소자의 운동을 전달하고, 변위를 증폭하기 위한 변위증폭 메커니즘이다. 기저층은 위의 두 층을 고정하기 위한 프레임이다.

두 축의 선형운동을 안내하기 위한 상부층은 2-PP (Prismatic-Prismatic joints) 메커니즘으로 구성되어 있다. 병진관절(Prismatic joint)는 단순병렬 선형 탄성힌지 메커니즘

과 이중복합 선형 탄성힌지 메커니즘을 이용하여 구현했으며, 탄성힌지는 폭이 매우 좁은 사각보 형태인 Leaf 스프링으로 구성된다. 중간층의 변위증폭 메커니즘은 지렛대 구조로 되어있으며, 피에조에 의해 발생된 변위를 증폭하여 상부층의 이동평면에 전달하는 역할을 한다.

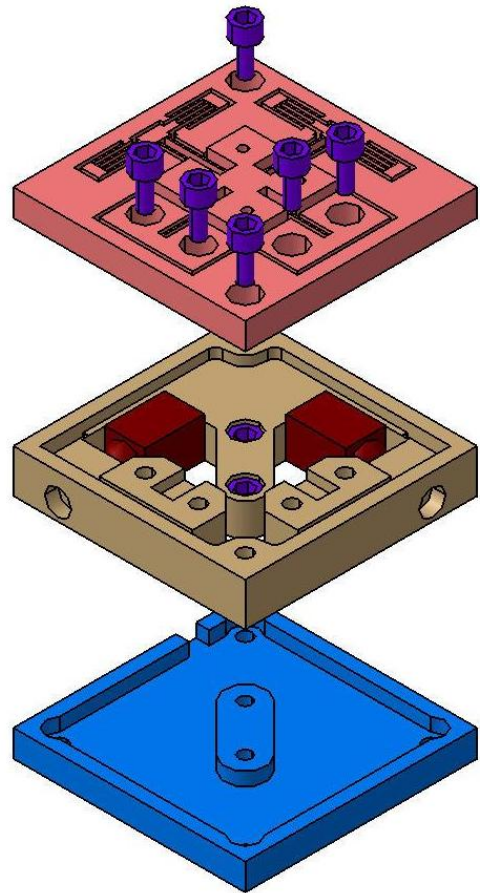


Fig. 1 The structure of micro stage driven by stack-type piezo actuator

3. 설계 및 제작

2축 선형안내 메커니즘과 변위확대기구를 설계하기 위해 다음과 같은 구속조건을 고려하였다. 이동평면의 최대변위는 다음과 같다.

$$\Delta d_T \geq \Delta d_0, \tag{1}$$

여기서 Δd_T 는 이동평면의 변위이고, Δd_0 는 기준변위이다. 또한 메커니즘의 가장 취약점에서 발생하는 최대응력 σ_{max} 은 재료의 항복응력 σ_Y 보다 작아야 한다.

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_Y}{S_f}, \tag{2}$$

여기서 S_f 는 안전계수이다.

최대응력은 탄성힌지의 양단에서 발생한다. 이동평면이 최대변위에 도달했을 때 최대응력은 다음과 같다.

$$\sigma_{max} = 3K, E \frac{w}{l^2} \delta_{max}, \quad (3)$$

여기서 K , 는 응력집중계수이고, w 는 탄성힌지의 폭, l 은 탄성힌지의 길이이며 δ_{max} 는 탄성힌지의 최대처짐이다.

스테이지의 구동을 위해 사용된 압전소자는 Piezomechanik 사의 제품으로 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 9\text{ mm}$ 의 사각보 형태의 적층형 압전소자이며, 이를 이용하여 제작된 스테이지는 $35\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 17\text{ mm}$ 의 스테이지를 설계 제작하였다. 스테이지의 상부층과 중간층의 탄성힌지 부분은 와이어 EDM 으로 가공하였다. 중간층의 압전소자는 조립후 볼트에 의해 예압을 인가했다. 또한 중간층은 기저층에 볼트에 의해 조립했으며, 상부층은 중간층에 볼트에 의해 조립하여 일체화했다. 제작 조립된 2 축 마이크로 스테이지는 Fig. 2 와 같다.

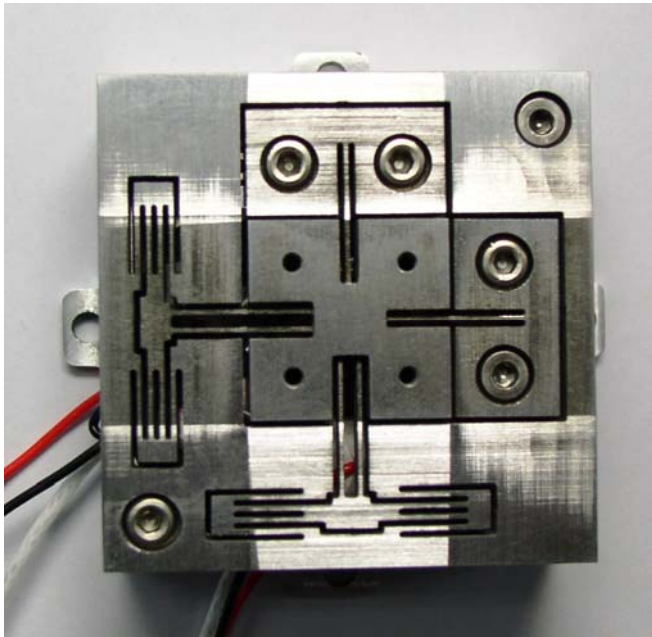


Fig. 2 The manufactured micro stage

설계 제작된 마이크로 스테이지의 압전소자에 전압을 인가하여 이동평면의 변위를 측정하였고, 측정결과는 Fig. 3 과 같다. 실험결과로부터 설계 제작된 마이크로 스테이지는 $30\ \mu\text{m}$ 이상의 변위가 가능함을 보여주고 있다. 압전소자에 부착된 스트레인게이지의 출력을 피드백하여 제어를 하고 있으나 스트레인게이지의 분해능 및 실험환경의 미세한 변화에 따른 영향 등으로 인하여 미소하게나마 히스테리시스가 발생하고 있음을 보여주고 있다. 여기에서 발생된 히스테리시스를 제거하기 위해서는 고 분해능의 스트레인게이지 앰프를 사용하는 것이 바람직하다.

4. 결론

본 연구에서는 적층형 압전소자를 구동원으로 하는 탄성힌지 기반의 2 축 마이크로 스테이지의 구조를 제안하고 설계하였으며, 제작된 스테이지에 대한 구동영역 실험을 통해 제안된 스테이지의 성능을 보였다. 제작된 스테이지는 초소형으로 $35\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 17\text{ mm}$ 의 부피를 가지고 있다. 설계 제작된 스테이지의 실험결과로부터 $30\ \mu\text{m}$ 이상의 변위가 가능함을 보여주었으나 미세하게 히스테리시스가 발생되는 것도 관찰되었다. 향후 보강실험으로부터 스테이지의 구체적인 성능을 제시할 예정이다.

후기

본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 특정연구개발사업

및 지식경제부에서 지원하는 성장동력 중기거점/차세대인 기술개발사업에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

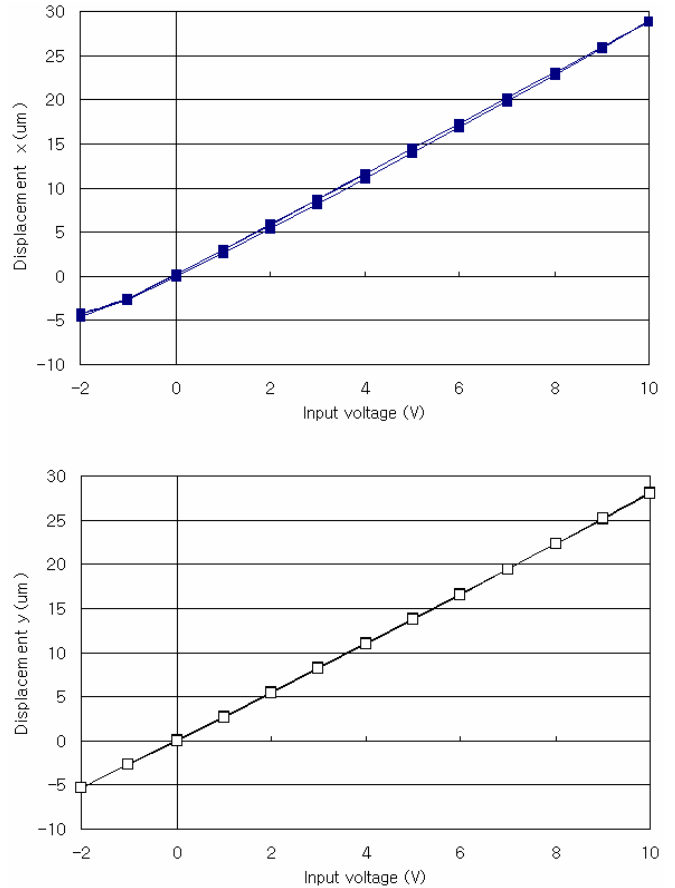


Fig. 3 Operational range of micro stage

참고문헌

1. Choi, K.-B. and Kim, D. H., "A Monolithic Parallel Linear Compliant Mechanism for Two Axes Ultraprecision Linear Motion," Review of Scientific Instruments, Vol. 77, No. 6, pp. 065106.1~7, 2006.
2. Zhang, D., Chang, C., Ono, T. and Esashi, M., "A Piezo-driven XY-microstage for Multiprobe Nanorecording," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 108, No. 1, pp. 230-233, 2003.
3. 최기봉, 이재중, 김민영, 고국원, "십자형 플렉서 힌지를 갖는 압전소자 구동형 회전 스테이지의 해석," J. KSPE, Vol. 24, No. 12, pp.88-94, 2007.
4. Chen, K.-S., Trumper, D. L. and Smith, S. T., "Design and control for an electromagnetically driven X-Y-θ stage," Precision Engineering, Vol. 26, No. 4, 2002, pp. 355~369.
5. Schlosser, S. W., Griffin, J. L., Nagle, D. F. and Ganger, G. R., Filling the Memory Access Gap: A Case for On-Chip Magnetic Storage, Carnegie Mellon University Technical Report, CMU-CS-99-174, 1999.
6. Alfaro, J. F. and Fedder, G. K., "Actuation for probe-based mass data storage," Technical Proceedings of the 2002 International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems, 2002, pp.202-205.
7. Choi, J.-J., Park, H., Kim, K. Y. and Jeon, J. U., "Electromagnetic micro x-y stage for probe-based data storage," Journal of Semiconductor Technology and Science, Vol. 1, No. 1, 2001, pp. 84~93.