

미세 부품 조작을 위한 압전소자 구동형 대변위 탄성힌지 메커니즘 A Compliant Mechanism with Large Displacement for Manipulation of Micro Parts Driven by Stack-type Piezoelectric Element

*최기봉¹, 신은주¹, 정대성¹

**Kee-Bong Choi¹(kbchoi@kimm.re.kr), Eun Joo Shin¹, Aleksey-Deson Ten¹
¹한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : Piezoelectric element; Flexure hinge; Compliant mechanism; Large displacement.

1. 서론

최근의 LCD TV의 후광용 광원은 수 백 개의 마이크로 LED를 어레이 형태로 배치하여 사용하고 있다. 이 때 LED 광원의 조립 공정에서 개별 LED와 렌즈 유닛의 조립 각도는 성능에 중요한 영향을 미치므로 생산성과 품질향상을 위한 초정밀 조립이 요구된다. 또한 조립 후 자동 검사 기술 및 검사 후 LED 자세의 보정기술의 필요성이 대두되고 있다. LED 유닛의 자세의 보정을 위해서는 LED 유닛의 상부에서 3 점을 점접촉으로 지지한 후, 각 지지점에서 상하 운동이 가능한 3 축 면외구동용 초정밀 미세 매니플레이터에 의해 LED 유닛의 틸트 조정이 요구된다. 여기서 초정밀 미세 매니플레이터는 적층형 압전소자를 구동원으로 하는 탄성힌지 메커니즘이 적합하다.

압전소자는 초정밀 센서 뿐만아니라 초정밀 액추에이터로서 측정과 구동 분야에 널리 활용되고 있다. 압전소자 중 적층형은 바이모프형에 비해 구동변위는 작으나 큰 힘을 발생시킬 수 있기 때문에 초정밀 위치결정용 스테이지 및 고속 스캐너에 응용된다.^{1,2} 적층형 압전소자를 구동원으로 채택한 스테이지 및 스캐너는 압전소자에서 발생된 운동을 원하는 방향으로 운동을 안내하기 위해 운동안내기구의 관절 부위에 기존의 베어링을 이용하기 보다는 탄성힌지의 조합에 의한 운동안내기구를 이용한다.

탄성힌지는 하나의 물체를 가공하여 일체형으로 만든 스프링으로, 탄성범위 내에서 선형성이 우수하며, 비접촉·무마찰 구동이 가능하기 때문에, 청정환경 하에서 초정밀 운동을 요구하는 시스템에 응용이 가능하다. 초정밀 운동 안내 메커니즘에 이용되는 탄성힌지는 노치형 힌지와 복합형 힌지로 구분할 수 있다. 노치형 힌지는 원형노치 힌지, 타원노치 힌지 및 판스프링형 힌지 등이 있다.^{3,4} 노치 힌지의 경우 힌지의 회전변형을 크게 하기 위해서는 노치의 폭을 길고, 가늘게 해야한다. 그러나 노치의 폭이 너무 가늘 경우 큰 회전변위에서 응력집중현상이 일어나 재료의 항복을 초래할 가능성이 내재하고 있다. 복합형 힌지는 노치형 힌지들의 조합으로 구성된 힌지 메커니즘으로 회전운동을 발생시킨다. 대표적인 복합형 힌지로는 십자형 힌지를 들 수 있다. 이 힌지는 단일체로 가공이 가능하며, 노치형 힌지에 비해 더 큰 회전 변위를 구현가능한 장점이 있다.

적층형 압전소자를 구동원으로 사용할 때 구동변위가 압전소자 길이의 1/1000 이하이기 때문에, 응용처에 따라서 변위를 확대해야 할 필요성이 대두된다. 변위확대에는 탄성힌지에 의한 지렛대 메커니즘 및 브릿지 메커니즘이 사용된다. 전자의 경우 구조는 간단하지만 증폭비가 커질수록 지렛대의 길이가 길어지는 단점이 있다. 반면 후자는 동일한 체적 하에서 브릿지의 각도를 조절함에 따라 증폭비를 변화시킬 수 있지만 증폭비가 직관적이지 않기 때문에 해석을 통해서 확인해야 하며, 그 구조는 지렛대 방식에 비해 복잡한 것이 단점이다.

본 논문에서는 대변위 탄성힌지 메커니즘을 제안하고 구현하여 3 점 지지형 면외 매니플레이터에 응용하고자 한다. 대변위 선형구동을 위해서는 2 단 지렛대 증폭기구 및 4-링크 구조를 채택하고, 변위확대에 의한 회전관절에서 응

력집중현상을 방지하기 위해 십자형 힌지에 의한 탄성힌지 메커니즘을 구현한다.

2. 미세부품 조작용 매니플레이션 시스템

미세부품 조작을 위해서 Fig. 1 과 같은 매니플레이션 시스템을 제안한다. 이 시스템은 부품의 초정밀 위치결정을 위해 하부에 조미동 2 축 스테이지가 장착되며, 상부에는 3 점 지지형 미세부품 조작용 면외 매니플레이터가 장착된다. 여기서 3 점지지용 면외 매니플레이터는 3 개의 선형 스테이지로 구성된다. 각 선형 스테이지는 120° 간격으로 원형으로 배치되어 있어 LED 유닛의 상부를 탐침으로 누를 수 있는 구조로 되어 있다. 이 때 각 선형 스테이지는 LED 유닛의 사이즈와 미세 조정을 위한 틸트 각 변위량을 고려하여 최대 300 μm의 변위와 100 nm의 분해능이 가능해야 한다.

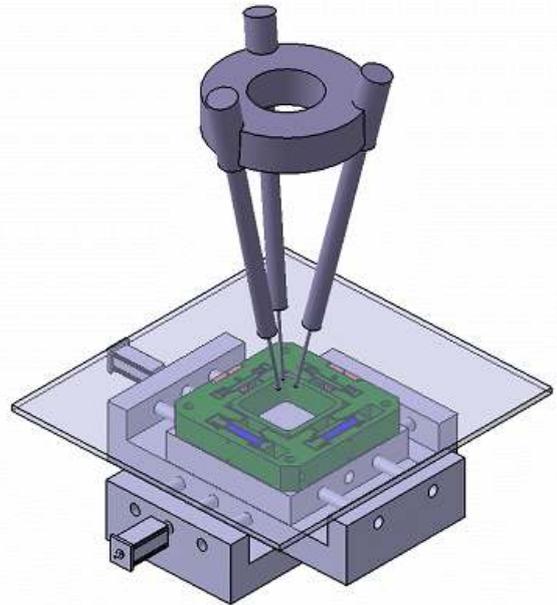


Fig. 1 Conceptual design of a manipulation system for micro parts

3. 압전소자 구동형 대변위 힌지 메커니즘

선형 스테이지 최대변위와 분해능을 고려할 때 압전소자를 구동원으로 하는 선형 스테이지로 구성하는 것이 적합하다. 그러나 압전소자의 변위는 수십 μm 정도에 불과하기 때문에 300 μm 이상의 선형변위를 얻기 위해서는 변위 확대 기구를 사용한 탄성힌지 메커니즘을 설계해야 한다. 압전소자의 미세 변위를 확대하기 위해 2 단 지렛대 메커니즘 사용한다. Fig 2는 본 논문에서 제안하는 압전소자 구동형 대변위 힌지 메커니즘의 구조이다. 이 메커니즘은 7 개의 링크와 7 개의 십자형 힌지, 2 개의 원형노치 및 1 개의 적층형 압전소자로 구성된다. 여기서 압전소자는 구동원으로 작용한다. 회전관절의 십자형 힌지는 이동 플랫폼의 변위가 클 때 각 관절에서 발생하는 큰 회전변형으로 인한 과도한 응력집중을 노치형 힌지에 비해 경감시키는

효과를 가지고 있다.

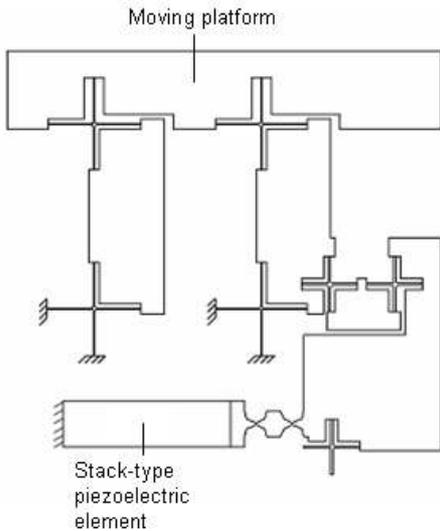


Fig. 2 Structure of a proposed compliant mechanism for large displacement

설계된 메커니즘의 사이즈는 93.5 mm × 97 mm × 10 mm 이며, 사용된 압전소자의 사이즈는 10 mm × 10 mm × 36 mm 이다. 설계된 메커니즘을 FEM 을 이용하여 해석하였으며, 그 결과는 Fig. 3 과 같다. FEM 해석결과 이 메커니즘은 최대 310 μm 의 변위와 십자형 힌지의 중심부에 최대 150 MPa 의 응력이 발생하였다.

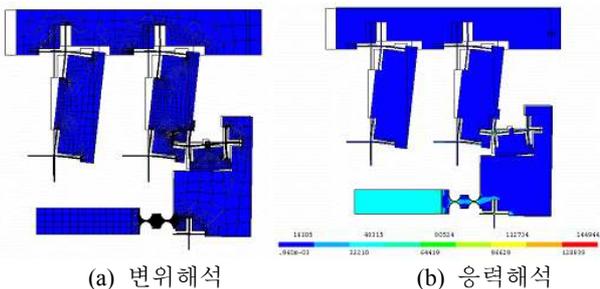


Fig. 3 FEM analyses

설계를 기반으로 압전소자 구동형 탄성힌지 메커니즘을 Fig. 4 와 같이 제작하였다. 실험을 통해 개발된 탄성힌지 메커니즘은 최대 300 μm 의 구동영역을 갖는 것이 확인 되었다. 또한 압전소자에 스트레인게이지 센서를 부착하여 준폐회로(semi-closed loop) 제어를 수행한 결과 0.12 s 의 정착시간을 얻었다. 그러나 팁 부분의 변위를 피드백하지 않았기 때문에 팁에서 잔여진동이 확인되었다. 또한 분해능 실험을 통해서 200 nm 이하의 분해능을 얻었다.

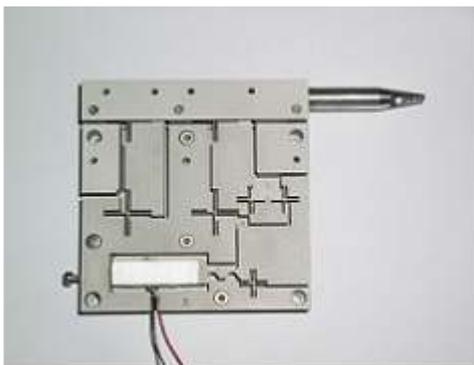


Fig. 4 Piezo-driven compliant mechanism

개발된 탄성힌지 메커니즘 3 개를 Fig. 5 와 같이 120° 간격으로 원형배치한 3 점지지 면외구동 매니플레이터를 개발하였다. 각 탄성힌지 메커니즘의 팁에는 바늘이 설치되어 있어 미세 공간에서 점 접촉에 의한 선형구동이 가능하도록 하였다. 탄성힌지 메커니즘의 분해능을 기반으로 분해능을 계산한 결과 0.6×10⁻³ °의 틸트 운동용 회전 분해능을 얻었다.

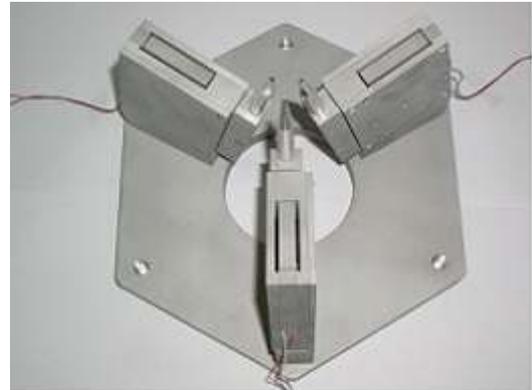


Fig. 5 Out-of-plane motion manipulator for micro parts

4. 결론

본 연구에서는 미세조작용 매니플레이션 시스템을 제안하고 3 점 지지용 미세조작 매니플레이터를 개발하였다. 미세조작 매니플레이터는 3 개의 압전소자 구동형 탄성힌지 메커니즘으로 구성되었다. 탄성힌지 메커니즘은 대변위 구동을 위해 2 단 증폭기구의 구조를 제안했으며, 이에 따른 설계, 해석 및 실험을 수행하였다. 실험결과 개발된 탄성힌지 메커니즘은 300 μm 의 변위와 200 nm 의 분해능을 가지고 있었으며, 0.12 s 내에 응답이 도달되었다. 면외구동 매니플레이터는 0.6×10⁻³ °의 틸트운동용 회전 분해능이 도달되었다. 개발된 3 점지지 면외 매니플레이터는 LCD 후광용 LED 유닛의 자세보정 시스템으로 응용 가능하다.

후기

본 연구는 지식경제부의 성장동력 중기거점/차세대기술 개발사업에 의해 지원, 수행되었습니다.

참고문헌

1. Choi K.-B. and Kim D. H., "A Monolithic Parallel Linear Compliant mechanism for Two Axes Ultraprecision Linear Motion," Rev. of Sci. Instr., 77(6), 065106(1~7), 2006.
2. Zhang D., Chang C., Ono T. and Esashi M. "A Piezodriven XY-microstage for Multiprobe Nanorecording," Sensors and Actuators A: Physical, 108 (1-3), 230-133, 2003.
3. Smith s. T. Flexures: Elements of Elastic Mechanisms, Gordon and Breach Science Pub., 2000.
4. Lobontiu N., Compliant Mechanisms: Design of Flexure Hinges, CRC Press LLC, 2003..