

압전소자 구동방식의 렌즈 일체형 나노포지셔너의 설계 및 제작 A Monolithic Piezoelectric-Driven Flexure-Hinge Nanopositioner integrated with Multiple Lens

김옥배†* · 김진수** · 신명호* · 정영훈** · 이종항** · 박철우**

Wook-Bae Kim, Jin Su Kim, Myoung-Ho Shin, Young Hun Jeong, Jong Hang Lee, and Ceol Woo Park

1. 서 론

초정밀 위치결정기술, 또는 구동기술에는 기계적 메커니즘과 더불어 복합적인 기능이 수행되는 경우가 많다. 특히 MEMS 및 마이크로시스템 기술의 발달에 힘입어 반도체, 옵토일렉트로닉스, 바이오, 고배율 현미경, 초정밀가공, 미세제조 분야 등에서 사용이 증가되고 있다. 예를들어 광전자모듈이나 광학 응용기기에서 렌즈 요소의 위치결정 및 구동은 광결합(optical coupling), 결상이미지 개선(image stabilizing), 광궤역에서의 추적(tracking) 또는 결상(focusing) 등에 반드시 필요하다^{(1),(2)}. 최근에는 상기의 기능구현에 초소형화는 필수불가결한 요소로서 정전구동기나 열구동기와 같이 MEMS 기술에 기반한 구동방식이거나, 압전소자나 전자석을 이용한 구동방식이 주로 이용되고 있다. 그러나 렌즈 구동기 등은 광학요소와 다수의 기계요소가 복합적으로 집적되어야하며 요소의 제작은 대부분 실리콘 기반의 리소그래피 공정이 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 마이크로 광학시스템에의 복잡성을 줄이고 제조방법을 단순하게 하고자 렌즈와 유연기구(flexure mechanism)가 단일 재료로서 일체화시키고자 하였다. 사출성형으로 통해 렌즈 액추에이터를 제작하여 그 성능을 평가하였다.

2. 렌즈 일체형 나노포지셔너의 설계

† 김옥배; 정희원, 한국산업기술대학교 기계설계공학과
E-mail : wkim@kpu.ac.kr

Tel : 031-8041-0430, Fax : 031-8041-0439

* 한국산업기술대학교 기계설계공학과

** 한국산업기술대학교 기계공학과

본 연구에서는 단축 나노포지셔너의 기구설계에서 플렉서 힌지(flexure hinge) 기반의 4절 링크구조 활용하였다. Fig. 1에 그 개요를 나타내었다. 한 몸체구조이지만 하부의 베이스, 양단의 2개의 레버, 그리고 상단의 커플러로 구분되며 유연한 플렉서 힌지에 의해 연결된다. 베이스부와 한쪽 레버사이에서 압전소자를 설치하여 δ_a 만큼의 구동변위를 발생할 때, 상단의 커플러는 δ_c 만큼의 종동변위가 생성된다. 이 때 변위증폭비는 $M = \delta_c / \delta_a = b/a$ 가 되며 본 연구에서는 2.46이다. Fig. 2에는 설명한 운동기구설계를 바탕으로 렌즈 포지셔너의 형상설계의 개요이다. 외부에 고정할 베이스부에 압전소자

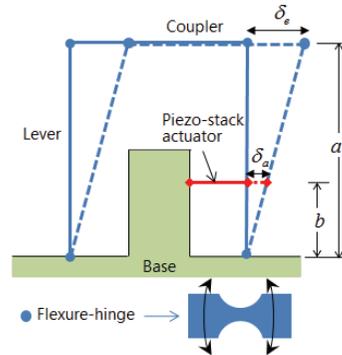


Fig. 1 Schematic of the inner actuation method for the parallelogram four-bar linkage mechanism.

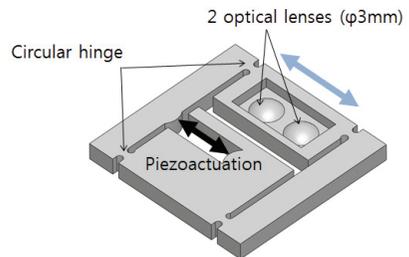


Fig. 2 Schematic of monolithic nanopositioner with lenses.

를 장착하게 되며 커플러부에 렌즈를 배치하였다. 플렉서 힌지의 사양은 양쪽 반원형으로서 폭은 1 mm, 반경은 0.5 mm로 설계하였다. 전체의 크기는 32 mm × 25 mm × 2.5 mm이며 소재는 렌즈 및 구조물에 대한 요건을 고려하여 COC (Cyclo-oelfin copolymer, Topas 5013)을 사용하였다. 렌즈는 plano-convex형으로 직경 3 mm, 구면반경 3.24 mm이다. 열가소성 폴리머로서 강도 및 탄성이 금속에 비해 낮지만 항복변형율(=강도/탄성)은 금속에 비해 5~10 배 크기 때문에 작은 힘으로 큰 변형을 유도할 수 있다.

압전소자의 하중에 따른 힌지구조의 변형과 강성을 평가하기 위해서 유한요소해석을 실시하였다. Fig. 3은 1 N의 힘이 가해졌을 때의 응력분포를 나타낸다. 그림과 같이 힌지에서 굽힘에 의한 최대응력이 발생하고 있으며 렌즈가 위치하는 커플러부는 압전소자의 변위와 거의 평행하게 움직임을 알 수 있다. 힌지의 항복에 이르기까지 최대 약 8.5 N의 힘으로 677 μm 의 변위를 구현할 수 있다.

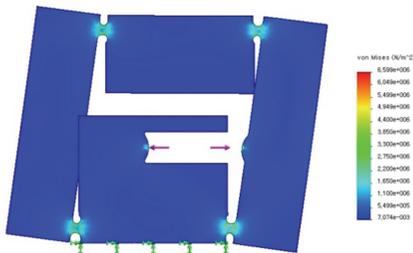


Fig. 3 Stress distribution of the nanopositioner structure for a driving force of 1 N

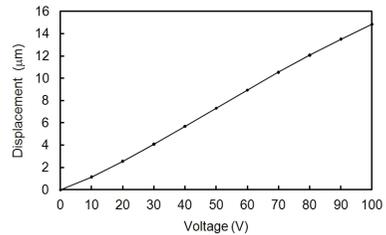
3. 렌즈 일체형 나노포지셔너의 제작 및 평가

설계한 기구는 금형설계와 렌즈면의 광유효부의 경면 코어제작 등 금형제작을 거친 후 사출성형을 통해 성형하였다. 제작된 성형품의 질량은 1.82 g으로서 투명하다. Fig. 4에 성형된 실물을 나타내었다.

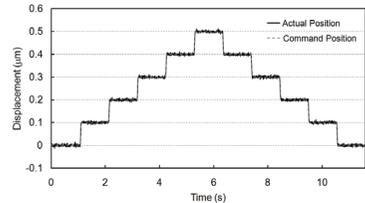


Fig. 4 Injection molded monolithic lens positioner

성형된 렌즈포지셔너의 베이스를 고정하고 압전소자(P-505, PI)를 장착한후 정진용량형 센서를 이용하여 커플러 부분의 단축 이동 변위를 측정하는 실험을 행하였으며 Fig. 5에 그 일례를 나타내었다. Fig. 5(a)는 압전소자로의 입력전압(0~100 V)과 변위(0~14.7 μm) 간의 관계를 나타내고 있으며 높은 선형성을 보이고 있다. Fig. 5(b)는 100 nm 단위의 스텝입력에 대해 출력(0~500 nm)을 함께 도시한 것으로서 매우 양호한 응답성과 정밀도를 보이고 있음을 알 수 있다.



(a) Relationship between displacement and input voltage



(b) Stepwise motion with a stepsize of 100 nm

Fig. 5 Experimental results on the motion of the lens positioner

4. 결 론

본 연구에서 나노정밀도를 갖는 유연기구 기반의 액추에이터를 설계함에 있어서 마이크로 렌즈와 일체화된 구조를 고안함으로써 미세 광학용 구동시스템을 효율적으로 제작하는 방법을 제시하였다. 시험 결과, 기구적으로 설계치와 잘 일치하였고 다양한 마이크로 광학요소를 일체화할 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 사업임 (2012-013828, 2012-00009665)