

# 유연 조인트를 이용한 6 자유도 초정밀 병렬 로봇의 설계 Design of 6-DOF precision parallel robot using compliant joints

\*#강동우<sup>1</sup>, 이승현<sup>1</sup>, 최영만<sup>1</sup>, 윤덕균<sup>1</sup>, 권대갑<sup>2</sup>

\*#D. W. Kang(dwkwang@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>1</sup>, Y. M. Choi<sup>1</sup>, D. K. Yoon<sup>1</sup>, D. G. Gweon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 인체전자연구실, <sup>2</sup> 한국과학기술원 기계공학과

Key words : Parallel robot, Compliant joint, Precision machine

## 1. 서론

최근 들어 반도체 가공 및 측정, 정밀 광학 장치 정렬, 바이오 셀의 미세 조작 등의 많은 분야에서 초정밀 이송 장치들은 중요한 비중을 차지하고 있다. 그리고 이러한 장치들은 나노미터 단위의 고분해능, 수 밀리미터 이상의 큰 구동 영역, 높은 출력력, 빠른 속력 및 응답 속도, 높은 강성, 넓은 대역폭, 작은 크기 및 낮은 입력 전력 등의 특성들을 가지고 있어야 한다. 본 논문에서는 위와 같은 특성을 만족할 수 있는 새로운 개념의 6 자유도 초정밀 이송 장치의 설계에 초점을 두고 있다. 특히 정밀 광학 부품들의 정렬을 위한 장치를 개발하고자 하며, 이를 위해 입력 전원 차단 시 위치 유지 (Power-off hold) 특성 및 온도 변화에 따른 위치 안정성 등이 추가로 고려되어야 한다.

6 자유도 위치 제어를 위한 많은 기존 연구 결과들이 조사되었다.<sup>(1-4)</sup> 액추에이터 및 가이드 방식에 따라 다양한 구조가 제안되었는데, 피에조 액추에이터를 사용하는 경우 수십 마이크로 미터 수준의 제한된 구동 범위가 단점이며, 전자기 (Electro-magnetic) 액추에이터는 Power-off hold 특성을 갖도록 구현하기 어렵게 된다.

## 2. 6 자유도 초정밀 병렬 로봇

제안된 6 자유도 병렬 나노 위치결정 로봇의 개념도가 그림 1, 2 에 제시된다. 3-PPRRR 병렬 Tripod 구조이며, 구동을 위해서 2 축 피에조 스텝핑 모터<sup>(5)</sup>가 사용되었고, 정밀도를 높이기 위해 모든 수동 조인트들에서의 마찰과 유극의 발생을 막을 수 있는 유연 기구 조인트

들이 제안되었다. 이 때 유연 기구 조인트들의 경우, 탄성 변형을 이용하기 때문에 필연적으로 회전 변위가 제한되고, 이는 병렬 로봇의 이송 변위에 영향을 미친다. 본 논문에서는 이를 극복하기 위한 유연 기구들의 설계를 다룬다.

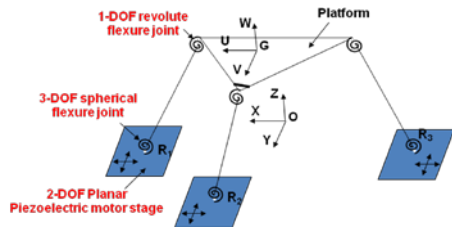


Fig. 1 Conceptual diagram of the proposed 6-DOF parallel robot

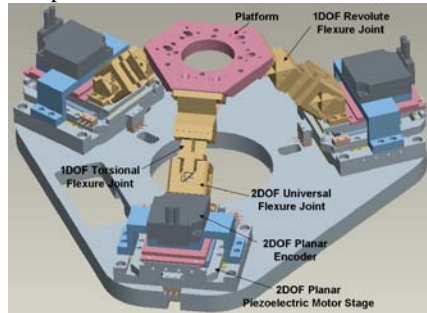


Fig. 2 Embodiment of the developed a novel 6-DOF nano-positioning system

## 3. 병렬 로봇의 유연 조인트 설계

현재 가장 널리 사용되는 회전 유연 조인트는 Notch-hinge 타입이지만, 노치 형상에 기인한 피복점에서의 응력 집중으로 인해 작은 변위의 구동만이 가능하다.<sup>(6)</sup> 이를 개선하여 응력 집중을 완화하기 위해 타원형이나 판

스프링 등으로의 형상을 변화하는 노력이 시도되었다.<sup>(7-9)</sup> 이를 통해 변위의 개선이 가능한 반면에, 회전 피봇점의 변화가 수반될 뿐 아니라 타원의 장축이나 판스프링의 길이가 길어질수록 비틀림에 취약해 기생운동 발생의 원인이 될 수 있다. 그러므로 유연 조인트의 변위를 증가하면서 동시에 기생운동의 발생을 최소화하기 위해서는 메커니즘 디자인 측면에서의 접근이 필요하다. 메커니즘의 요소를 판스프링을 사용함으로써 변위를 높이면서 적절한 구조를 통해 기생 자유도의 발생을 막는 설계가 필요하다. 이들의 예가 Cross-strip flexure, cartwheel flexure, axial strip flexure 등이다.<sup>(10,11)</sup> 본 논문에서는 6 자유도 병렬 기구의 유연 조인트로써, cartwheel flexure 와 axial strip flexure 를 사용하여 유연 Limb 구조를 구성하였으며, 제안된 구조는 그림 3 에 제시된다.

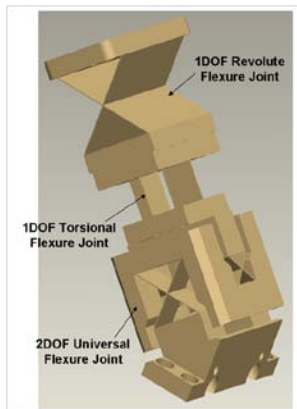


Fig. 3 3-PPRRRR Limb structure composed of compliant joints

#### 4. 결론

3-PPRRRR Tripod 구조에 기반한 6 자유도 병렬 나노 위치결정 로봇이 제안되었다. 병렬 기구의 정밀도를 높이기 위해 유인 조인트들을 채용하였고, 탄성한계로 인한 유연 조인트들의 변위를 개선하기 위한 병렬 기구의 Limb 구조 설계에 초점을 두었다. Cartwheel flexure와 Axial-strip flexure에 기반한 Limb 구조가 제안되었다.

#### 후기

본 논문은 산업기술연구회 주요사업으로 지원된 연구결과입니다.

#### 참고문헌

1. Jae W. Ryu, Dae-Gab Gweon and Kee S. Moon , "Optimal design of a flexure hinge based XYθ wafer stage," *Prec. Eng.*, 21, 18~28, 1997.
2. Peng Gao and Shan-Min Swei, "A six-degree-of-freedom micro-manipulator based on piezoelectric translators," 10, 447~452, 1999
3. Won-jong Kim, David L. Trumper, "High-precision magnetic levitation stage for photolithography", *Prec. Eng.*, 22, 2, 66~77, 1998.
4. Martin L. Culpepper, Gordon Anderson, "Design of a low-cost nano-manipulator which utilizes a monolithic, spatial compliant mechanism," *Prec. Eng.*, 28, 469~482, 2004.
5. Dongwoo Kang, Jungjae Kim, Moon G. Lee and Daegab Gweon, "Development of compact high precision two degree of freedom XY piezoelectric stepping positioned," 79, 026110, 2008
6. Paros J. M., Weisbord L., "How to Design Flexure Hinges," *Mach. Des.*, 37, 151-156, 1965.
7. Wei Xu, Tim King, "Flexure hinges for piezoactuator displacement amplifiers: flexibility, accuracy, and stress concentrations," *Precis. Eng.*, 19, 4-10, 1996
8. Stuart T. Smith, Vivek G. Badami, Jami S. Dale, Ying Xu, "Elliptical flexure hinges," *Rev. Sci. Instrum.* 68, 1474-1483, 1997
9. S. T. Smith, *Flexures: Elements of elastic mechanisms*, Gordon and Breach Science Publishers, 2000
10. Brian P. Trease, Yong-Mo Moon, Sridhar Kota, "Design of Large-Displacement Compliant Joints," *ASME J. Mech. Design*, 127, 788-798, 2005
11. Dongwoo Kang, Daegab Gweon, "Analysis and Design of a Cartwheel-Type Flexure Hinge," *Precis. Eng.*, Published online, 2012