한국공작기계학회 2005 춘계학술대회 논문집 pp.40~44

진공용 초소형 제품조작을 위한 매니퓰레이터 제작

윤덕원*, 최현석+, 한창수++, 최헌종+++, 홍원표+++, 강은구+++

Development of manipulator for handling micro components in vacuum

Deokwon Yun*, Hyeunseok Choi+, Changsoo Han++
Hunjong Choi+++, Wonpyo Hong+++, Eungoo Kang+++

Abstract

Recently PZT is used in ultra precision mechanism field. PZT itself has a small driving range although it has a high resolution. Many methods, such as inchworm, impact driving, inertial sliding method, etc., have been applied for moving range expansion. In this study, a new actuating mechanism for rotational motion with two driving PZT is proposed. The Fixed-Fixed beam support is applied for compensation of the difference in driving force between expansion and contraction of PZT. The behavior and design parameters of the proposed mechanism are analyzed for improving performance.

Key Words : PZT, Rotation mechanism, FIB

1. 서 론

반도체 산업이 발달함에 따라서 반도체 연구와 관련있는 장비(FIB, SEM, STM, AFM 등)들의 스테이지나 부품 조작부에서 넓은 범위의 구동범위와 높은 분해능을 갖는 메니퓰레이터의 필요성이 대두되었다. 특히 고진공의 환경과 전자기장의 영향을 많이 받는 장비의 구동부나 구동기에는 환경적 영향 때문에 PZT가 많이 사용되고 있다. PZT는 전자기장의 발생이 매우 적고 진공의 환경에도 사용이 가능하며 분해능은 매우 높은 장점이 있다. 하지만 PZT는 구동범위가 수 μm밖에 되지 않은 단점도 있다.

* 윤덕원, 한양대학교 대학원 메카트로닉스공학과 (enoch@ihanyang.ac.kr)
주소: 425-791 경기도 안산시 상록구 사1동 한양대학교 기계공학과 첨단로봇연구실
+ 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
++ 한양대학교 기계공학과
+++ 한국생산기술연구원

이러한 단점을 극복하고 넓은 구동범위와 높은 분해능을 얻기 위하여 H. J. Pahk등은 모터와 PZT를 조합하고 이중 서보를 이용하여 구동하였다.[1] T.Higuchi등은 한 개의 PZT를 사용하여 Impact drive mechanism을 제안하고 Impact drive mechanism을 이용하여 마이크로 로봇을 구동하였다.[2] S. Kleindiek등도 역시 한 개의 PZT를 이용한 Inertial sliding mechanism을 제안하였고 Inertial sliding mechanism을 이용하여 3축의 선형 스테이지에 적용하였다.[3] N. Shimizu 등은 3개 이상의 PZT를 사용한 Inchworm mechanism을 이용하여 STM Tip에 적용 하였다.[4]

이 논문에서는 두 개의 PZT를 이용한 새로운 매커니즘을 제안하며 매커니즘을 적용한 대변위와 미소변위를 동시에 구현하는 회전형 구동기를 제작하여 성능을 알아보았다.

2. Mechanism Design

Fig 1.은 새로운 mechanism의 개념도이다. 새로운 mechanism은 두 개의 PZT로 구동하여 왕복운동이 가능한 Tip(a,c)과 한 개의 고정된 Tip(b) 그리고 움직임이 가능한 Plate를 이용한다. 각각의 Tip과 Plate와의 마찰력이 일정하다고 가정하면 Plate는 마찰력의 합력이 큰 방향으로 움직이려고 할 것이다. 즉 Tip이 3개 이므로 Plate가 움직이려면 2개의 Tip이 동시에 같은 방향으로 움직여야 한다.

Fig. 1 의 각각의 상태는

1. 초기 상태

2. Tip c 진행 방향의 반대로 후퇴.
A and b stick, c slip
$\mu_k N_c < \mu_s N_a + \mu_s N_b$ (Plate 정지)

3. Tip a,c 진행방향으로 전진
A and c stick, b slip
$\mu_k N_b < \mu_s N_a + \mu_s N_c$ (Plate 전진)

4. Tip a 진행방향의 반대로 후퇴
B and c stick, a slip
$\mu_k N_a < \mu_s N_b + \mu_s N_c$ (Plate 정지, 초기상태)

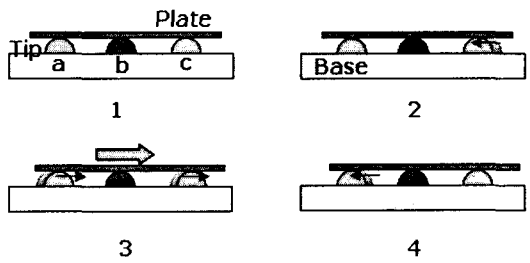


Fig. 1. Schematic diagram of new mechanism

Plate의 위치를 PZT의 구동범위 안에서 이동하고자 할 때에는 Fig. 1의 3과 같이 두 개의 움직임이 가능한 Tip을 움직여서 이동 시킬 수 있다. 하지만 Plate의 위치를 PZT의 구동범위를 넘어선 곳에 위치하고자 할 때에는 Fig. 1의 움직임을 반복하면 된다.

3. Mechanism의 구현

3.1 PZT 예압구조

PZT는 팽창할 때에는 큰 힘을 만들어 내지만 수축할 때에는 팽창시보다 약 1/500의 힘밖에 만들어 내지 못한다. 이러한 PZT의 동적성능의 향상을 위해 예압 구조를 사용한다. 일반적으로 PZT와 외부의 스프링구조를 이용하면 PZT가 수축할 때에 스프링의 복원력을 이용하여 더 큰 힘을 발생시킬 수 있다.[5]

PZT는 고강성의 재료이다. PZT의 크기마다 각각 차이가 있지만 15μm의 구동범위와 이 때 3000N의 힘을 발생시키는 PZT가 있다면 이 PZT의 강성은 200N/μm가 된다. 만일 PZT의 팽창시와 수축시의 힘을 같게 하려면 PZT의 강성과 비슷한 스프링 구조가 필요하다. Fig.2 의 ①은 이러한 고강성의 스프링 구조로서는 양단고정보가 적합하다고 생각하여 적용한 모습이다. 이러한 구조의 양단고정보의 탄성계수는 하중이 보의 중심에 가해진다고 할 때

$$k = \frac{P}{y} = \frac{192EI}{l^3} \qquad (1)$$

와 같다.[6] 이 식에서 E는 재료의 탄성계수이고 I는 구조의 면적관성 모멘트이고 l은 보의 길이이다.

3.2 구동기 설계

새로운 Mechanism과 3.1에서 기술한 양단고정보를 이용하여 Fig. 3과 같은 회전형 구동기를 설계하였다. PZT는 PI

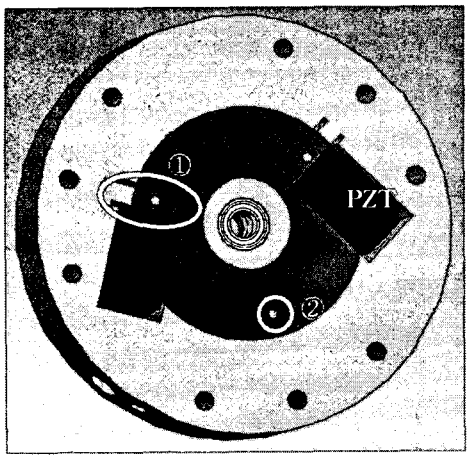


Fig. 2. PZT Preload and Tip

사의 P-804.10을 사용하였다. Fig. 2에서 ①이 양단 고정보이다. 이 양단고정보의 강성은 PZT의 예압구조를 고려하여 160N/μm로 설계하였다. 시스템에 적용할 PZT는 d_{33}형이어서 PZT의 이동방향과 수직인 방향으로 Tip을 배치하여야 한다. ②은 Tip이다. Tip은 마멸에 강한 알루미나를 Polishing하여 사용하였고 Beam의 중간에 끼워맞춤으로 고정하였다.

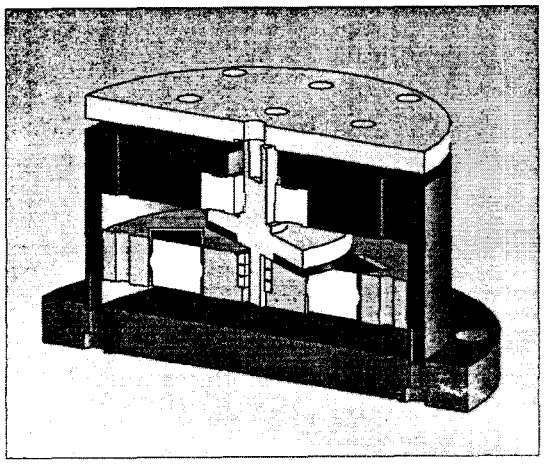
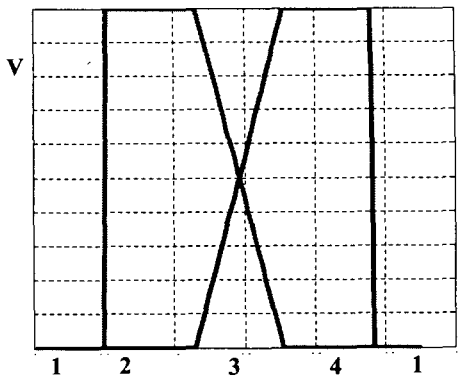


Fig. 3. 새로운 mechanism을 적용한 구동기

3.3 구동 신호

설계된 구동기는 PZT가 서로 마주보는 구조로 되어 있다. 이러한 구조에 큰 변위를 위한 Fig. 1 의 mechanism을 적용하기 위해서는 Fig. 4의 구동신호를 가해 주어야 한다. 그림에서 가로축은 구동 mechanism의 각 단계이고 세로축



은

Fig. 4. Driving signal (Coarse)

PZT에 인가할 전압이다. 1은 초기상태, 2는 구동방향과 반대의 방향으로 하나의 PZT가 늘어나는 것이고 3은 두 개의 PZT가 동시에 움직여서 Plate를 이동시킨 후 초기상태로 복귀를 위해 다른 하나의 PZT가 수축하는 것이 4이다. 이러한 방법으로 대 변위를 이동한 후 PZT의 구동범위 내의 미소 변위의 구동을 할 때에는 적분제어를 이용하였다.

4. Experiment

설계된 구동기를 제작하여(Fig. 5) 실험하였다. 측정에는 분해능 25nm인 레이저 인터페러메터를 이용하였다. 회전변위의 직접적인 측정이 아닌 구동축에서 50mm떨어진 부분의 reflector를 부착하여 법선방향의 변위를 레이저 인터페러메터를 이용하여 측정한 후 역산하여 회전 변위를 측정하였다. 이

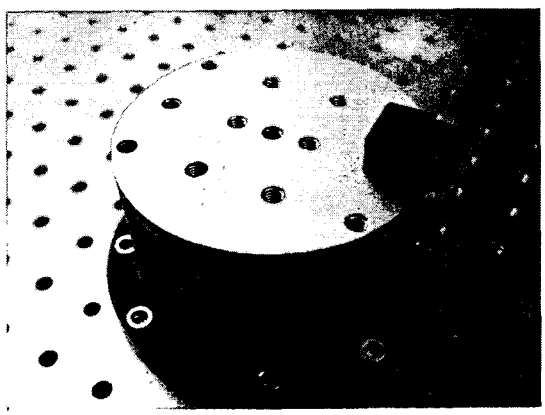


Fig. 5. 제작된 구동기와 Reflector

러한 방법을 이용하면 회전각의 분해능은 2.85×10^{-5}Degree가 된다.

먼저 mechanism을 적용한 대 변위 구동실험을 해 보았다. (Fig. 6) 실험에서 최대 구동 속도는 약 0.42 degree/s 로 확인 되었다. Fig.7.에서 구동기의 분해능은 한 Step당 5.7×10^{-5} degree이다. 입력신호의 한 스텝을 회전 분해능의 2배로 설정하였다. PZT의 구동의 분해능 보다 측정의 분해능이 떨어지므로 측정의 분해능을 향상시킨다면 구동기의 분해능을 향상 시킬 수 있다. Fig. 8.은 대 변위와 미소변위의 구동모습이다. 입력신호는 0.57 degree의 스텝입력이고 미소변위에는 적분제어를 적용하였다. .

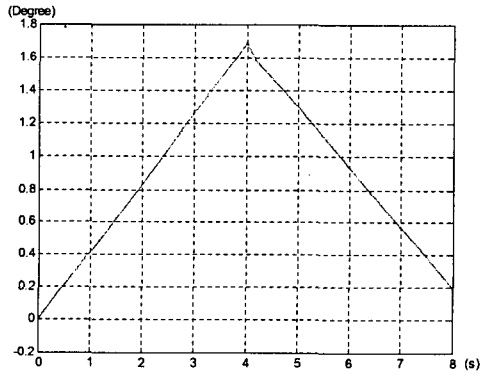


Fig. 6. Coarse motion

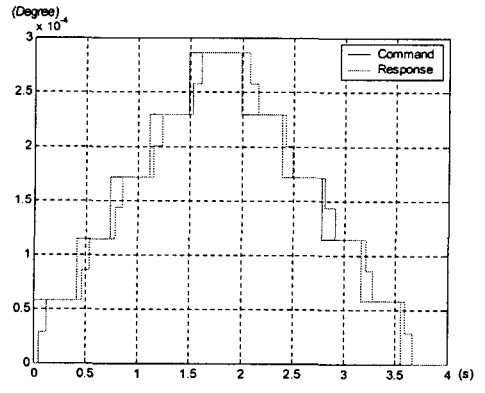


Fig. 7. Fine motion resolution

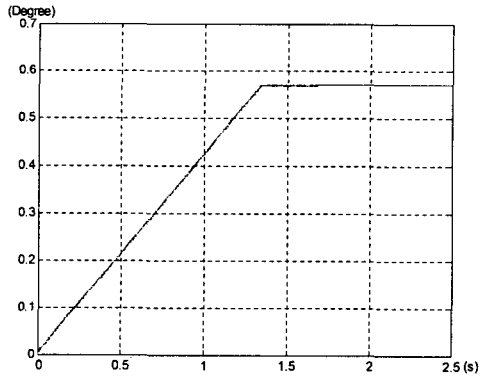


Fig. 8. Coarse and fine motion

5. 결 론

새로운 mechanism을 제안하였다. 두 개의 PZT를 이용하여 새로운 mechanism을 적용한 대 변위와 미소변위를 동시에 구현하는 회전형 구동기를 제작하였다. PZT의 동적특성 향상을 위하여 고강성의 스프링 구조를 적용하였다. 또한 마멸에 강한 알루미나 Tip를 사용하였다. 새롭게 제작된 구동기의 분해능은 5.7×10^{-5} degree이고 최대 구동속도는 약 0.42 degree/s이다. 대 변위의 이동과 미소변위의 적분제어를 통해 정확한 위치제어를 하였다. 현재 레이저 인터페로메터의 분해능보다 PZT의 분해능이 높으므로 센서의 분해능을 향상시키면 구동기의 분해능을 더욱 더 향상 시킬 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 중 이온빔 이용 나노가공용 장비 개발의 지원에 의해 수행 되었습니다

참 고 문 헌

(1) Heui Jae Phak, Dong Sung Lee, Jong Ho Park, 2001, "Ultra precision positioning system for servo motor-piezo actuator using the dual

servo loop and digital filter implementation.", International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol.41, p.51-63

(2) T. Higuchi, Y. Yamagata, K. Furutani and K. Kudoh, ,1990, "Precise positioning mechanism utilizing rapid deformations of piezoelectric elements", Proceedings An Investigation of Micro Structure, Sensors, Actuators, Machines and Robots., p.222-226

(3) S. Kleindiek, H. S. Kim, E. Kratschmer and T. H. P. Chang, ,1995, "Miniature three-axis micropositioner for scanning proximal probe and other applications., Journal of Vacuum Science Technology., Vol.13(6), p.2653-2656

(4) N. Shimizu, T. Kimura, T. Nakamura and I. Umebu ,1990, "An Ultrahigh vacuum scaning tunneling microscope with a new inchworm mechanism.", Journal of Vacuum Science Technology., A8(1), p.333-335

(5) PI co. Micropositioning, nanopositioning, nanoautomation solution for cutting-edge technologies. pp. 4-26

(6) M. L. James, G. M. Smith, J. C. Wolford, P. W. Whaley " Vibration of Mechanical and Structural Systems with microcomputer applications" HarperCollins Collage Publish