

## PZT 를 이용한 초정밀 회전형 스테이지 개발

윤덕원\* , 탁태열\* , 김진호\* , 한창수\*\* , 강은구\*\*\* , 홍원표\*\*\*, 최현중\*\*\*

\*한양대학교대학원 기계공학과, \*\*한양대학교 기계공학과, \*\*\*한국생산기술연구원

### 초록

PZT는 높은 분해능을 구현할 수 있는 구동기이지만 그 구동 범위가 협소하다는 단점이 있다. 최근에는 이러한 단점을 극복하기 위한 여러가지 메커니즘들이 제안되고 있다. 본 논문에서는 PZT를 이용하여 넓은 범위의 높은 분해능을 갖는 회전형 스테이지를 개발하였다. 개발되어진 회전형 스테이지는 빔 형태의 예압구조를 이용하였으며 일정한 마찰력을 구현하기 위하여 알루미늄과 오닉스를 사용하였다. 대 변위와 미소변위를 동시에 구동하기 위하여 Dual mode control을 적용하였다. 또한 레이저 간섭계를 이용하여 구동기의 최대속도와 분해능을 측정하였으며 Sinsweep를 이용하여 구동기의 주파수 응답을 구하였다.

### 1. 서론

PZT 는 큰 힘과 높은 분해능의 구동을 할 수 있어서 반도체 관련 장비나 나노 과학 기술의 연구 장비에 많이 사용된다. 하지만 높은 분해능의 구동을 할 수 있음에도 불구하고 구동범위가 수  $\mu\text{m}$  에서 수십  $\mu\text{m}$  밖에 되지 않는다는 단점이 있다. 최근에 반도체 공정이 대형화 됨에 따라서 넓은 범위에서 높은 분해능이 필요한 스테이지가 요구되고 있다.

H. J. Pahk 등은 모터와 PZT 를 조합하여 넓은 범위에서 높은 분해능을 구현하였다.<sup>[1]</sup> 또한 T.Higuchi 등은 한 개의 PZT 를 이용하여 Impact drive mechanism 을 제안하였다.<sup>[2]</sup> Impact drive mechanism 은 관성력과 마찰력의 차이를 이용한 것이다. 구동의 원리는 PZT 의 가속도를 높게 하여 구동할 때 발생하는 관성력으로 마찰력을 극복하여 움직이고 가속도를 낮게 하여 구동할 때 마찰력보다 낮은 관성력으로 원상 복귀 하는 방법을 반복하는 것이다. 반복적인 방법을 이용하면 PZT 의 구동범위보다 넓은 범위의 구동을 할 수 있다. 하지만 가반 중량이 적고 마찰력을 일정하게 유지해 줘야 한다는 어려움이 있다.

N. Shimizu 등은 3 개 이상의 PZT 를 이용하여 Inchworm mechanism 을 고안하여 STM Tip 을 구동하였다.<sup>[3]</sup> Inchworm mechanism 은 구동방향으로 변위를 갖는 PZT 한 개와 구동 가이드에 구동기를 고정할 수 있는 2 개의 클램프 PZT 로 구성된다. 1 스텝의 이동에 6 단계의 PZT 구동이 필요하다. 구동시의 큰 힘을 낼 수 있는 장점이 있지만 3 개의 PZT 를 6 단계의 제어를 수행해야 하므로 제어의 어려움과 구동속도가 느리다는 단점이 있다.

본 논문에서는 두 개의 PZT 를 이용하여 새로운 구동 메커니즘을 제안하고 대 변위와 미소 변위를 동시에 구현하는 회전형 스테이지를 제작하였다.

## 2. 구동 메커니즘의 제안

새롭게 제안하는 구동 메커니즘은 그림 Fig. 1 과 같다. 메커니즘은 두 개의 왕복운동이 가능한 PZT 로 구동되는 Tip 과 한 개의 고정된 Tip, 그리고 움직임이 가능하도록 가이드가 되어 있는 Driving target 으로 구성되어 있다. 각각의 Tip 과 Driving target 과의 마찰력이 일정하다고 가정하고 그때 존재하는 마찰력은 정지 마찰력과 운동 마찰력으로 단순화 한다면 Driving target 은 마찰력의 합력 방향으로 움직이려는 경향을 갖게 된다. 만약 구동하는 2 개의 Tip 중 한 개만 움직인다면 Driving target 는 정지해 있고 (Fig. 1 - 2,3) 2 개의 Tip 이 같은 방향으로 동시에 움직인다면 Driving target 는 Tip 의 방향으로 움직이게 된다(Fig. 1 - 4). Driving target 을 높은 분해능으로 구동하고자 한다면 2 개의 Tip 을 같은 방향으로 이동시키면 된다. 만일 PZT 의 구동범위 밖의 영역에 Plate 를 위치하고자 한다면 Fig. 1 의 구동방법을 반복한다.

구동에 필요한 신호는 Fig. 2 와 같다. 구간 1 은 유희상태이며 구간 2 와 3 은 2 개의 구동 가능한 Tip 이 Driving target 과 slip 현상을 유도하기 위하여 구동시의 가속도가 마찰력을 극복할 정도로 빠르게 이동하는 것이다. 구간 4 는 Tip 과 Driving target 간의 stick 현상을 유도하기 위하여 가속도를 마찰력보다 적게 하여 이동시켜서 Driving target 을 움직이게 된다.

이러한 구동을 하기 위한 조건은 D' Alembert 의 원리에 의해 다음과 같게 된다.

$a_b > \frac{1}{M} \mu_b N_b, \quad a_c > \frac{1}{M} \mu_c N_c$	(1)
$a_{b,c} < \frac{1}{M} (\mu_b N_b + \mu_c N_c - \mu_a N_a)$	(2)

여기에서  $a_b, a_c$  는 Tip b 와 c 의 가속도이며  $M$  은 Driving target 의 무게 혹은 그에 상응하는 관성 모멘트이다. 또한  $\mu_a, \mu_b, \mu_c$  은 각각의 Tip 과 Driving target 간에 작용하는 마찰계수이다. 구간 2,3 에서는 (1)과 같은 조건으로 Tip 을 구동하여야 하고 구간 4 에서는 (2)와 같은 조건으로 Tip 을 구동해야 한다. 구동 시스템의 3 개의 Tip 과 Driving target 의 마찰계수가 같다고 가정하면 구동원리는 더욱더 간단하게 된다.

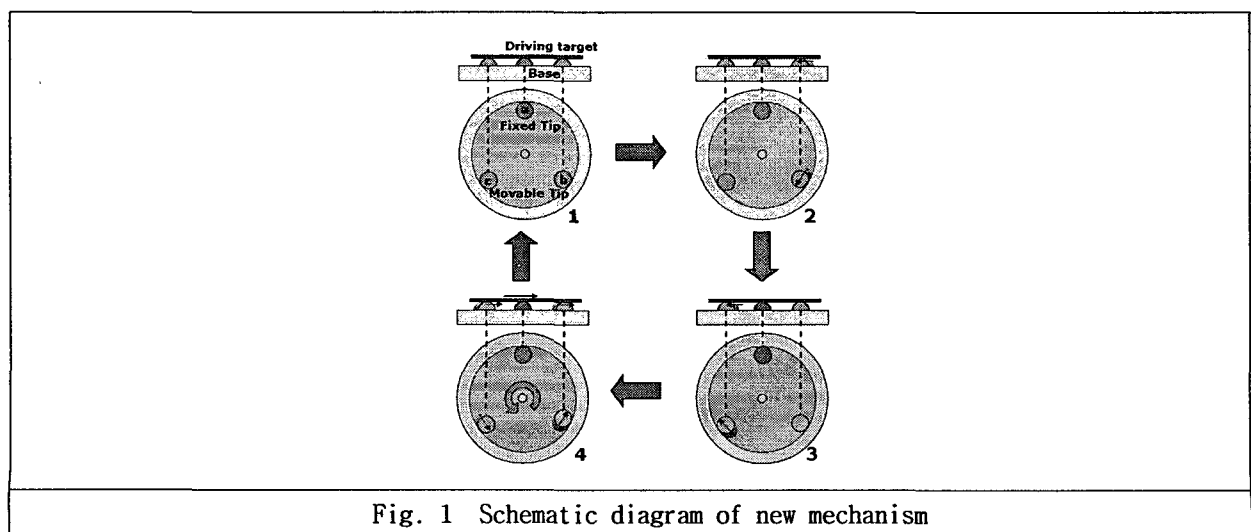
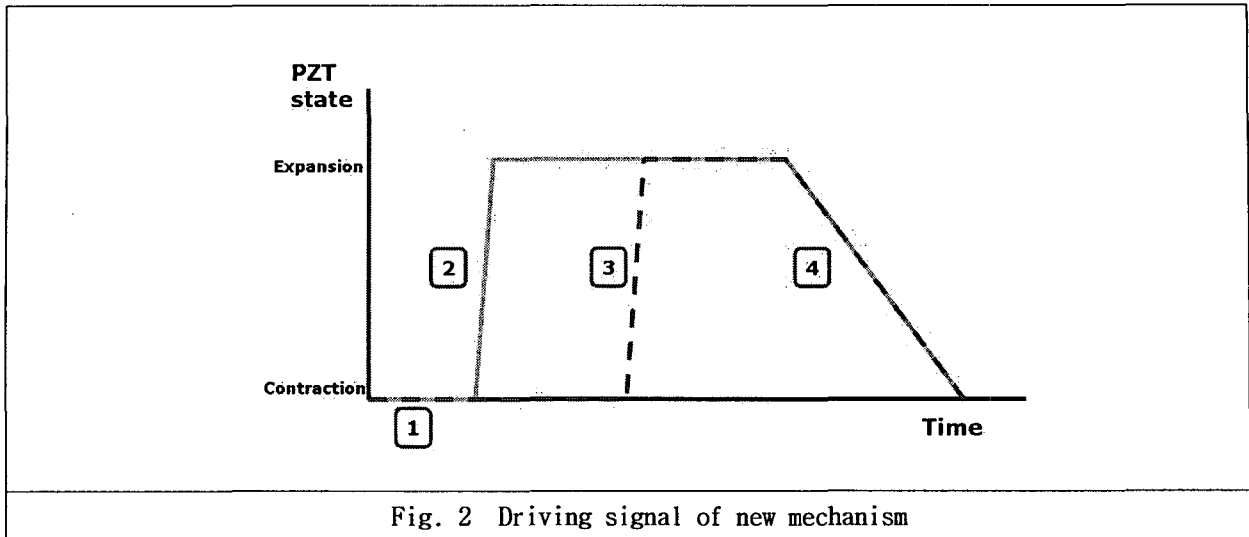


Fig. 1 Schematic diagram of new mechanism



### 3. 메커니즘을 적용한 회전형 스테이지의 구현

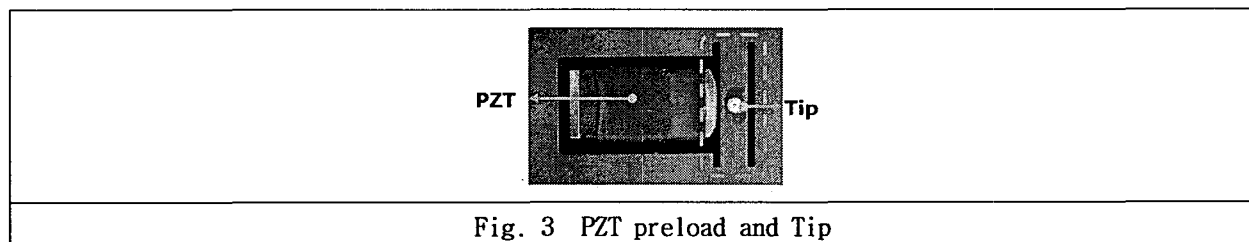
PZT는 팽창할 때 큰 힘을 낼 수 있지만 수축 할 때에는 팽창 할 때에 비해 약 1/500의 힘밖에 내지 못한다. 이러한 PZT의 동적 성능 향상을 위하여 PZT 사용시 예압 구조를 적용해야 한다. 본 연구에서는 PZT의 강성과 거의 동일하게 Beam 구조 스프링을 고안하여 예압 구조에 적용하였다.(Fig. 3) Beam 구조의 강성은 하중이 Beam의 정 중앙에 가해진다고 가정하였을 때 식 (3)과 같다.

$$k = \frac{192EI}{l^3} \quad (3)$$

제안된 mechanism은 마찰력과 관성력을 이용한 구동방법이다. 그래서 mechanism을 구현하기 위하여 일정한 마찰력을 제공할 수 있고 마멸에 강한 재료가 사용되어야 한다. Table 1은 여러가지 마찰 재료의 물성치이다. Onix는 광물계열의 재료로서 귀금속 공예에 주로 사용되어지며 Alumina는 경도가 높고 가격이 저렴하다. Tip의 재료로는 Alumina를 사용하였고 Driving target의 재료로는 Onix를 사용하였다.

Table 1 The comparison of friction material

	구성원소	모스경도계
Diamond	C	10
Zirconia	ZrO <sub>2</sub>	7.5-8.5
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9
Onix	Mineral	7



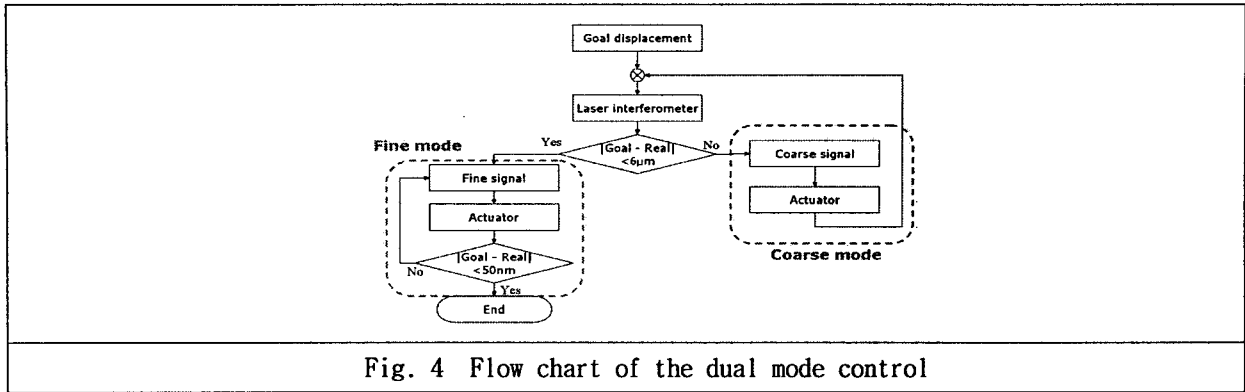


Fig. 4 Flow chart of the dual mode control

구동 스테이지에 센서를 적용하여 제어를 할 경우에는 목표로 하는 위치까지 제안된 메커니즘을 이용하여 빠른 속도로 구동하며 목표점 근처에서는 궤환 루프 제어를 이용하여 오차를 최소화 한다.(Fig. 4) 이 때 대 변위와 미소변위의 구동을 결정하는 요소는 목표지점이 PZT 의 최대 변위보다 크면 제안된 메커니즘으로 PZT 의 최대변위 보다 작게 되면 미소 변위의 구동을 하게 된다. Fig.5 는 제안된 구동 메커니즘을 적용한 구동기와 그의 부품이다.

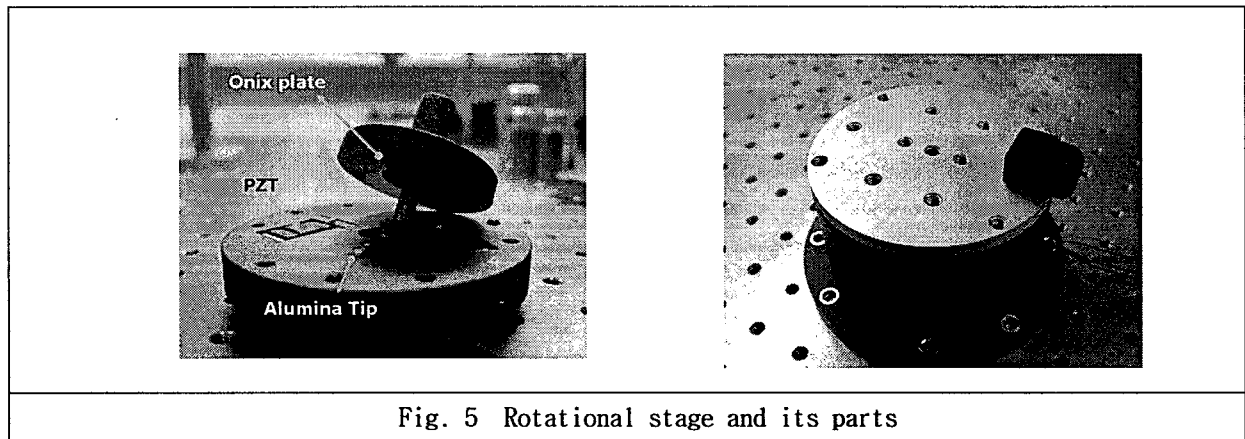


Fig. 5 Rotational stage and its parts

#### 4. 구동기의 성능 측정

현재 회전변위를 측정하기 위한 각도센서의 분해능이 높지 않기 때문에 회전형 구동기의 성능 측정을 하기 어렵다. 대안으로 레이저 간섭계를 이용하여 접선방향의 변위를 측정한 후 법선방향의 거리를 이용하여 각도 변위를 측정하였다.

회전 스테이지가 제안된 메커니즘으로 구동시 최고 속도는 0.42 Degree/s 이고 미세구동시 최대 분해능은  $5.7 \times 10^{-5}$  Degree/step 이다.(Fig. 6) 하지만 구동 분해능이 측정 분해능 보다 높을 것으로 예상된다. PZT 의 성능상 레이저 간섭계보다 높은 분해능의 구동이 가능하며 미세구동시 적용한 적분제어가 그림을 통해 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. Fig. 7 은 미세 구동시의 주파수 응답이다. 회전 스테이지의 bandwidth 는 약 600Hz 이다. 구동기의 bandwidth 가 PZT 보다 낮은 이유는 PZT 의 구동에서 PZT 의 bandwidth 는 구동 앰프의 bandwidth 에 큰 영향을 받기 때문이다.

Fig. 8 은 dual mode control 을 적용한 모습이다. 스테이지에 큰 변위의 step input 을 가하였을 경우 목표지점에 접근할 때 까지 제안된 메커니즘으로 구동하고 목표점 접근 시 미세구동으로 오차를 최소화 하는 것을 볼 수 있다.

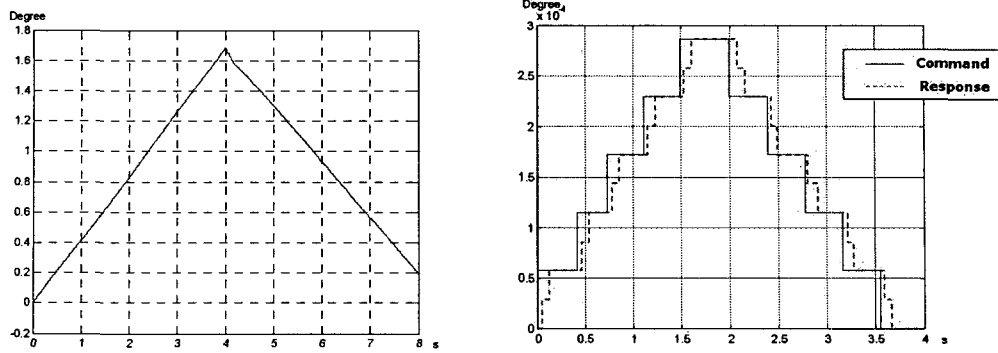


Fig. 6 Maximum speed and resolution of rotational stage

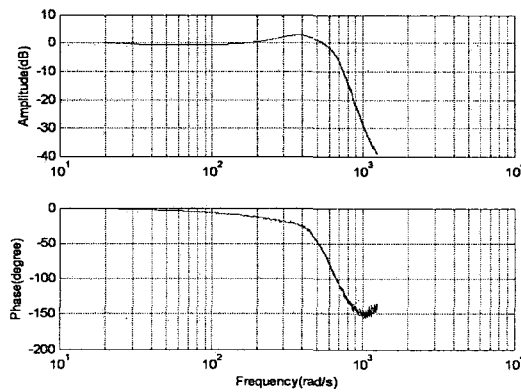


Fig. 7 Frequency response of rotational stage

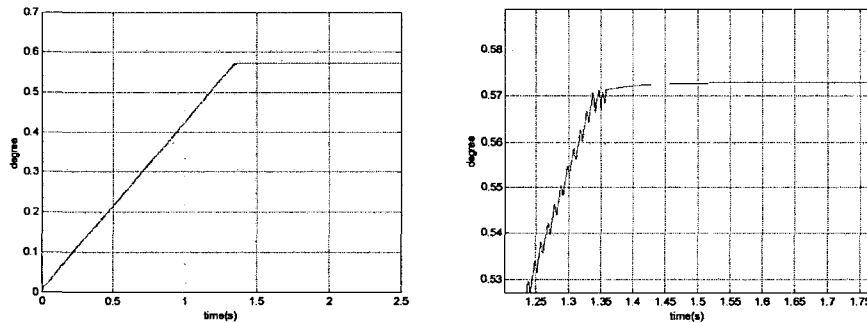


Fig. 8 Response of dual mode control (magnification)

## 5. 결론

본 연구에서는 두 개의 PZT 를 이용한 새로운 구동 메커니즘을 제안하였다. 또한 새로운 메커니즘을 적용하여 대 변위와 미소변위를 동시에 구동하는 초정밀 회전형 스테이지를 제작하였다. PZT 의 동적 성능 향상을 위해 고강성의 스프링 예압 구조를 적용하였고 일정한 마찰력을 구현하기 위하여 Onix 와 알루미나를 사용하였다. 구동기의 성능을 측정하기 위하여 레이저 간섭 변위 측정을 하였으며 측정에는 접선방향의 변위를 측정하여 역산하는 방법을 사용하였다. 스테이지의 최대 구동속도는 0.42 Degree/s 이고 분해능은  $5.7 \times 10^{-5}$  Degree/step 이다. 하지만 분해능이 더 높을 것으로 예상된다.

## 한국반도체및디스플레이장비학회 2006년도 춘계학술대회용 논문집

현미경이나 각종 육안으로 모니터링 할 수 있는 곳에 이 스테이지를 적용한다면 개루프 제어를 통하여 구동하는 것이 더 높은 분해능을 이용하는데 도움이 되리라고 생각된다. 혹은 센서의 분해능을 높일 수 있는 방안이 연구되어 지면 PZT 의 분해능에 근접한 구동이 가능하리라 예상된다.

## 후기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 중 이온빔 이용 나노 가공용 장비 개발의 지원에 의해 수행 되었으며 도움 주신 분들께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- [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] N. Shimizu, T. Kimura, T. Nakamura and I. Umebu, 1990, "An Ultrahigh vacuum scanning tunneling microscope with a new inchworm mechanism.", Journal of Vacuum Science Technology., A8(1), p.333-335
- [4] M. L. James, G. M. Smith, J. C. Wolford, P. W. Whaley " Vibration of Mechanical and Structural Systems with microcomputer applications" HarperCollins Collage Publish
- [5] Deokwon Yun, Hyeunseok Choi, Changsoo Han, Hunjong Choi, Wonpyo Hong, Eungoo Kang " Development of manipulator for handling micro components in vacuum", Korean Society of Machine Tool Engineering 2005 spring conference. pp.40-43