

PZT를 이용한 초정밀 구동의 문헌적 고찰

최현석*, 이준+, 정명철+, 윤덕원+, 한창수**, 흥원표***, 강응구***, 최현종***

Review of A High Precision Actuator Mechanism Using PZT

H-S Choi*, J Lee+, M C Jung**, D W Yun**, C-S Han***,
W P Hong****, E G Kang****, H J Choi****

Abstract

Recently High precision positioning device is used in many kinds of manufacturing and scientific instruments. Piezoelectric transducer is applied to the positioning device as actuator. PZT has a high resolution, however, moving range is short. Many researcher have developed the mechanism for increasing a motion range. The types of increasing motion range mechanism with PZT are inertial slider, friction driver, ultrasonic motor, etc. In this paper we discuss the review of the high precision actuator mechanism with PZT. Many kinds of mechanism for high precision are shown and compared.

Key Words :

1. 서론

반도체 관련 기술의 발전과 나노공학에 대한 관심이 고조되면서 초정밀 기기에 대한 요구가 늘어 나고 있다. 초정밀 시스템은 초정밀 구동기, 센서, 제어기로 크게 나누어 볼 수 있다. 이러한 구성부에 대한 정밀도와 신뢰성을 확보하기 위해 여러 가지 연구가 많이 이루어 지고 있다.

특히 초정밀 구동기는 반도체 장비들이나 정밀 시험장비 그리고 Micro factory 등의 첨단 가공기술등에서 많은 관심을 받고 있다. 이러한 메카니즘은 수십센티미터의 넓은 운동 범위와 마이크로/나노 수준의 정밀도 구현이 필요하다. 일반적으로 넓은 작업영역에서는 높은 정밀도를 얻기 힘든 것으로 알려져 있어 많은 연구가 필요하다.

또한 작업영역이 협소할 경우 정밀도를 얻기 쉬우나 실제 적용에 있어서 효율성을 얻기 힘들다. 여러 연구 그룹에서 넓은 운동영역을 가진 시스템의 구현을 위한 메카니즘이 진행되고 있다.

초정밀도 제어에 이용되는 다양한 종류의 구동기에서 PZT를 사용하고 있다. PZT는 이론적으로 나노단위 이하의 정밀도를 구현할 수 있는 초정밀 구동기이다. 그러나 PZT는 구동 범위가 좁아 사용의 제약이 따른다. PZT를 이용하여 높은 정밀도와 넓은 구동영역을 얻기 위해 기계적인 메카니즘이나 PZT를 특수제작하는 방법등이 이용되고 있다. 본 논문에서는 PZT를 이용하여 높은 정밀도와 넓은 운동 범위를 구현하고 있는 연구성과들을 고찰하였으며 연구 결과의 성과를 비교하였다.

* 발표자, 한양대학교 기계공학과 (brownchoi@hanmail.net)
주소: 425-791 경기도 안산시 사1동 한양대학교

+ 한양대 대학원 정밀기계공학과

++ 한양대 기계정보경영학부

+++ 한국생산기술연구원

2. PZT를 이용한 구동 방식

PZT를 이용하는 구동기에서 넓은 구동 범위를 구현하기 위한 방법으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 많은 연구중에서 대표적인 네가지 방식이 있다. 첫 번째 방법으로 인치웜(Inchworm type) 방법과, 두 번째 관성력을 이용하는 방법(Inertia type), 세 번째 마찰력(friction)을 이용하는 방법, 그리고 마지막으로 진동(wave)을 이용하는 초음파모터(ultrasonic motor)방법이 있다.⁽⁵⁾

PZT의 구동범위를 확대시키는 메커니즘은 이밖에 여러 종류가 있으나 본 연구고찰에서는 4가지의 대표적인 구동 메커니즘에 대해서 검토하였다.

2.1 Inchworm motor

인치웜 모터의 메커니즘은 구동가이드 레일과 PZT, 그리고 클러치로 구성된다. 고정자의 역할을 하는 구동가이드 레일을 따라 몇 개의 PZT를 이용하여 구동되는 메커니즘이다. 다음 그림1은 대표적인 예이다.

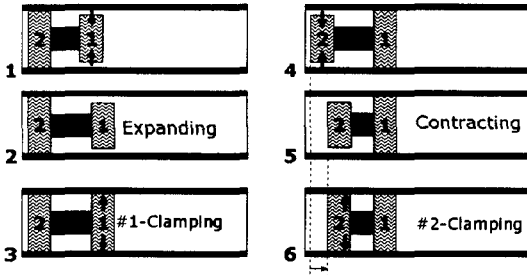


Fig. 1 Inchworm motor principle

그림1에서 보는 바와 같이 인치웜 메커니즘은 2개의 clamping과 1개의 압축/신장하는 PZT로 구성된다. 1-6까지의 운동을 반복하여 이동한다. 일반적으로 3개이상의 PZT를 사용하여 운동을 구현하므로 운동 구현을 위해서 PZT 구동앰프의 적절한 제어가 요구되는 형태이다. 직선운동과 회전 운동 모두 구현이 가능하지만 회전운동 메커니즘은 직선운동 메커니즘 보다 더 복잡하다.

R. Ben Mrad등은 4개의 PZT를 이용하여 인치웜 모터를 개발하고 보다 연속적인 동작을 위한 제어 알고리즘을 제안하였다.⁽¹⁾ N.Shimizu등은 STM(Scannign Tunneling Microscope)에 적용하기 위한 고진공용 인치웜 메커니즘

을 연구하였다.⁽²⁾ MEMS기술을 이용한 초소형의 인치웜 모터는 나노단위의 높은 정밀도를 제공하지만 낮은 토크와 좁은 구동 범위를 구현하고 있다.⁽³⁾ Sumio Hosaka는 고진공 AFM을 위한 스캐닝 메커니즘을 인치웜 구동메커니즘을 이용하여 구현하였으며 높은 크래핑 압력을 얻기위한 판토히그라프 형태의 클래핑 기구 구조를 제안하였다.⁽⁴⁾ 높은 클래핑 압력은 높은 토크를 얻기 위해 필수적인 사항으로 다양한 클래핑 방법이 제안되고 있다.⁽⁵⁾

인치웜 방식의 제어 정밀도는 이동을 위한 PZT의 정밀도에 의해 결정된다. 신장과 압축에 의한 변위가 구동기의 위치 정밀도가 되며 크래핑 조건에 따라 기계적 오차로 f수 반할 수 있다.

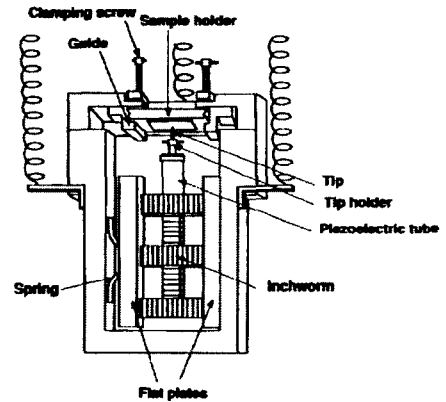


Fig. 2 Schematic diagram of the tunneling unit with inchworm ⁽²⁾

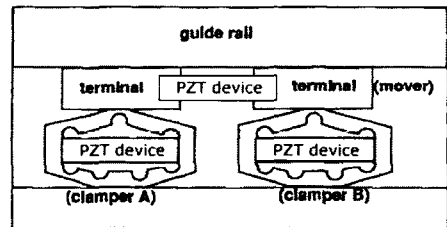


Fig. 3 Schematic diagram of new inchworm mechanism using pantograph-type clasper ⁽³⁾

2.2 Inertial driver type actuator

관성력을 이용한 구동메커니즘으로 구동기의 이동자(moving part)의 중량에 의한 관성력과 고정자(stator)와 이동자사이의 마찰력 차가 이동자의 추력으로 사용되는 메카

니즘이다. 관성력과 마찰력은 이동자와 고정자 사이에 부착-미끄러짐(stick-slip)을 만들어 내어 이동자가 이동된다. 연구자들에 따라 inertial sliding, sliding/sticking, Inertial slip stick motion, inertial translation 등의 이름으로 불리고 있다.

이론적으로 이동가이드의 길이가 운동 범위가 되지만 응용사례가 대부분 초정밀의 마이크로 위치 결정장치로 수 mm나 마이크로 단위의 운동영역을 가지고 있다.

응용분야에는 STM, SPM, AFM 등과 같은 원자단위의 측정 장치에서 샘플이나 탐침의 이동 장치가 있으며 SEM, FIB 과 같은 진공환경을 가진 장비등에서 샘플의 이동을 위한 구동기로 개발되고 있다. 그림4는 관성력구동기의 원리이다.

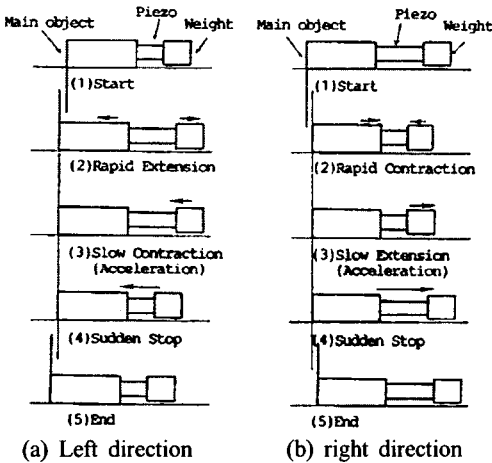


Fig. 4 Principle of movement of the inertial driver⁽⁶⁾

관성력구동기는 이동자가 바닥면과 미끄러짐에 의해 이동하므로 마찰력이 중요한 변수가 된다. 그러므로 바닥면의 재질과 거칠기 정도의 적절한 선택이 필요하다. 미끄러짐을 위한 고정자의 재질은 내마모성과 균일한 마찰력을 위해 공업용 사파이어나 유리등을 사용하기도 하였다.⁽⁷⁾

관성력은 운동방향과 동일한 방향으로 작용되어 힘의 방향을 회전으로 전환하기 어렵다. 그러므로 대부분 직선운동에 대한 구동기로서 응용되고 있다. 회전운동에 있어서는 3개 이상의 복수의 PZT를 이용하여 다자유도의 회전운동을 구현한 연구가 있다.⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾

Shim과 Gweon은 평면에서 이동과 회전이 가능한 3자유도의 구동메카니즘을 개발하였다. 나노 단위의 위치 제어가

가능하며 SPM등에 샘플 이송기구로 응용가능하다. 메카니즘은 3개의 PZT와 3개의 고정축으로 이루어져 있다. 그림5는 제안된 구동기의 개념도 이다.⁽⁸⁾

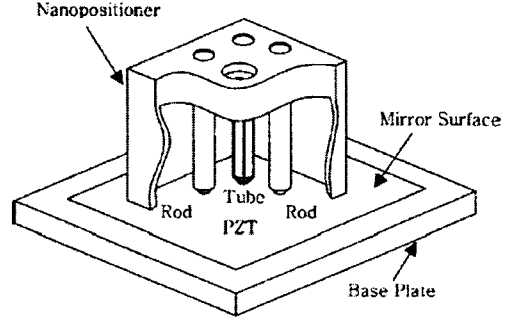


Fig. 5 The Cut view of the multiaxis nanopositioner⁽⁸⁾

S. Kleindiek 등은 STM을 위한 팁 이송용 메카니즘을 개발하였다. 조동(coarse)과 미동(fine)의 제어가 가능한 구조로 초정밀 위치제어를 구현하였다. STM을 위한 팁이송부의 구조는 그림6과 같다.⁽⁹⁾

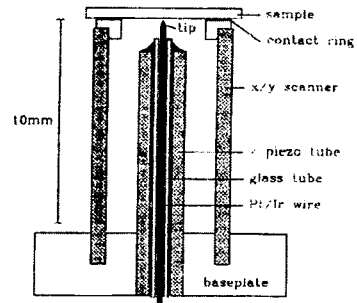


Fig. 6 The Mechanical system for moving the tip of STM⁽⁹⁾

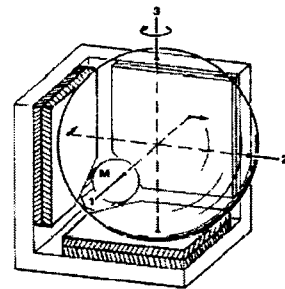


Fig. 7 Spherical motor three rotational axes⁽¹⁰⁾

L.Howald, H. Rudin은 구형의 회전자를 갖는 구동메카니즘을 연구하였다. 제안된 구동기메카니즘은 xyz 각축의 회전 자유도를 가진 메카니즘으로 레이저의 반사경의 각도를 정밀하게 조절하는 장치로 제안하였다. 3개의 PZT가 구의 면과 점접촉을 하며 굽힘과 Shear 운동을 하는 PZT들의 합력에 의해 원하는 방향으로의 회전을 구현하고 있다.⁽¹⁰⁾

2.3 Friction drive actuator

PZT와 이동자 사이의 마찰력을 이용하여 구동하는 메카니즘이다. 관성력 방식과 유사하지만 PZT의 구동에서 차이가 있다. 관성력 구동방식에서는 PZT의 구동 속도를 다르게 하면서 관성력을 유도한다. 마찰력 구동방식(friction driver)에서는 PZT가 이동자와 접촉하는 점의 운동형태를 제어하여 운동에너지를 만들어 낸다.

마찰 구동메카니즘은 마찰면의 마찰계수가 중요한 성능 변수가 되므로 마찰면에 대한 재료학적인 연구도 수행되고 있다.⁽¹¹⁾ 마찰구동메카니즘의 원리는 다음 그림8에서 보는 바와 같다.

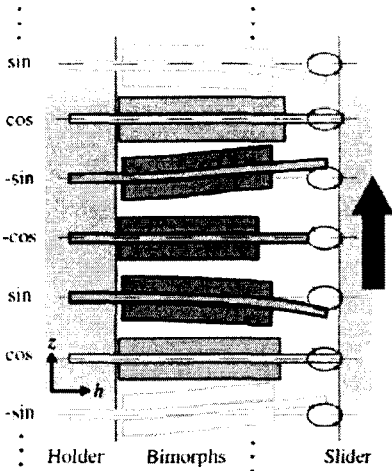


Fig. 8 Friction drive motion with PZT bimorphs⁽¹⁵⁾

동판의 양면에 부착된 PZT에 의해 동판의 종단부는 그림과 같이 원형을 그리게 되며 원형을 slider와 접촉하는 시점에서 추력이 전달된다. 원형을 그리는 방향에 따라 slider의 운동 방향이 결정된다.⁽¹⁵⁾

마찰 방식의 구동기는 그 구조가 간단하고 제작이 용이하며 모듈화가 가능하여 다양한 형태로 국내외에서 상업적인 제품화가 되어 있다. 동일한 구동용 PZT를 이용해도 Slider

의 형상에 따라 직선운동이나 회전운동의 구현이 가능하다. 일반적으로 많은 제품에서 slider의 재료로 마모에 강한 세라믹을 사용하고 있다.

김수현교수팀은 2개의 PZT를 이용하여 slider와의 압력을 조절하면서 이동변위를 제어하는 메카니즘을 제안하고 마찰에 대한 모델링을 통해 구동 메카니즘의 거동을 예측하였다. 그림9는 실험장치에 대한 설명이다.⁽¹²⁾

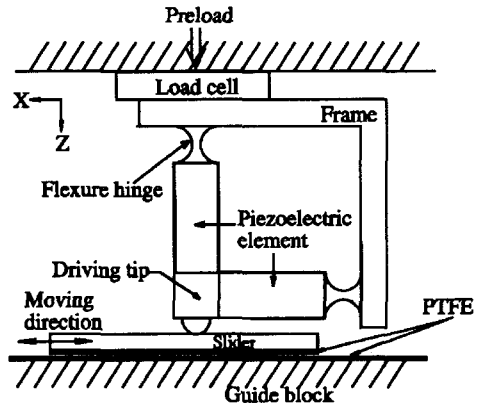


Fig. 9 A precision linear actuator⁽¹²⁾

마찰 구동방식에 대한 많은 연구의 연구결과에서 마찰력을 유도하는 수직압력에 따라 구동기의 특성이 변화하는 것을 보여주고 있다. Slider와 구동PZT사이의 예압설정과 조정이 제어 정밀도를 결정하므로 구동기의 설치 및 마찰면의 마모에 의한 특성변화에 많은 주의를 기울여야 한다.

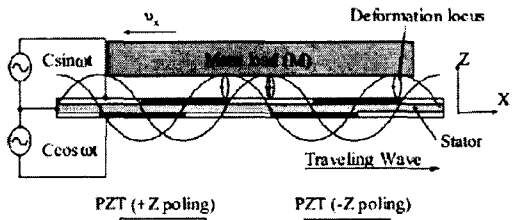


Fig. 10 Structure of traveling wave-type ultrasonic linear motor⁽¹³⁾

2.4 Wave drive actuator(Ultrasonic motor)

초음파 모터라고도 불리며 마찰구동방식과 유사하게 PZT와 이동자간의 마찰에 의해 구동 된다. 본 논문에서는

PZT의 진동을 이용한 구동 메커니즘을 초음파 모터로 구분하였다. 즉, 마찰구동방식은 특정 지점이 슬라이더와 접촉하지만 초음파 모터의 경우 진동하는 면에서 진동의 전달에 의해 접촉점이 이동한다. 그림10은 구동 원리를 나타낸다.

Hiroshi등은 초음파 모터의 특성산출을 위한 연구를 통하여 초음파 모터의 모델을 제안하여 설계에서 특성을 예측할 수 있도록 하였으며, Nicolai lamberti등은 박판 PZT을 이용하여 얇은 회전형 모터를 개발하였다. 박판의 진동 모드 형태를 제어하기 위해 PZT 양면을 4등분한 전극을 구성하였다.⁽¹⁴⁾

Kentaro Nakamura등은 그림11과 같이 두개의 운동 방향이 다른 PZT를 이용하여 회전 운동을 구현하였다. 마찰력의 조절이 가능함으로써 성능의 향상을 얻도록 하였다.

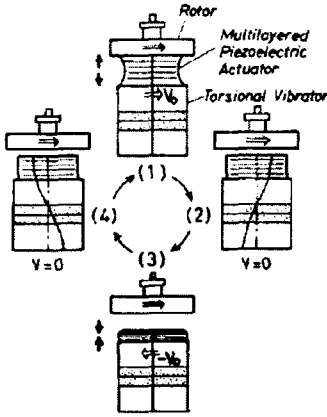


Fig.11 Hybrid Transducer type Ultrasonic motor⁽¹⁴⁾

3. 결론

PZT를 이용한 초정밀 구동 메커니즘에 대해 논문을 중심으로 문헌적 고찰을 하였다. 다양한 방식이 제안되고 있으며 제안된 메커니즘의 설계 목표는 구동 정밀도와 특히 PZT의 취약점인 작은 운동 범위를 확장시키는 것이 많았다. 이러한 구동기는 STM이나 AFM, SEM 과 같은 초정밀 측정 및 관측기에서 초정밀 스테이지에 응용되고 있다. 특히 자기장을 발생이 거의 없으므로 SEM이나 FIB와 같은 E-beam을 사용하는 장비에 적합하며 고진공환경에 대해서도 적용가능한 구조이다.

향후 보다 높은 토크의 구현과 강인한 시스템의 개발과

작고 간단한 메커니즘에 대한 연구와 재료의 마모에 대한 연구를 통해 시스템의 내구성의 획득이 필요한 것으로 예측된다. 앞으로 초정밀 제어시스템의 수요가 늘어남에 따라 초정밀 구동기에 대한 관심과 연구가 보다 활발히 진행될 것이다.

후기

본 논문은 산업자원부 차세대신기술개발 과제 '이온빔 이용 나노가공용 장비 개발' 사업의 연구비를 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1)R.Ben Mrad, A.Abhari and J.Zu, 2003, "A Control Methodology for an inchworm pizomotor," *Mechanical Systems and Signal processing*, Vol. 17, No. 2, pp. 457~471.
- (2)N.Shimizu et al., 1990, "An Ultrahigh Vacuum Scanning Tunneling Microscope With A New Inchworm Mechanism", *Vac. Sci. Technology. A*, Vol. 8, No. 1, pp. 333~335.
- (3)Ho Nam Kwon et al., 2002, "Characterization of A Micromachined inchworm Motor With Themalmoelastic Linkage Actuators", *Micro electro Mechanical systems, 2002 the fifteenth IEEE Int. Conf. on*, pp. 586~589.
- (4)Sumio Hosaka, et al., 1993, "Ultra Vacuum Atomic Force Microscope Using A Pantograph Incheorm Mechanism", *Rev. Sci. instrum.*, Vol. 64, No.12, pp. 3524~3529.
- (5)Sang-Chae Kim, et al., 1999, "Precision Rotor By Inchworm Motion Using Dual Wrap Belts", *Rev. Sci. instrum.*, Vol. 70, No. 5, pp. 2546~2550.
- (6)T.Higuchi, et al., 1990, "Precise Positioning Mechanism Utilizing Rapid Deformations Of Piezoelectric Elements", *IEEE.*, Vol. 70, No. 5, pp. 222~226
- (7)Ch. Renner, et al., 1990, "A versatile Low Temperature Scanning Tunneling Microscope", *J.*

- Vac. Sci. Technol.*, Vol.8, No.1, pp.330~332
- (8) Jong-Youp Shim, Dae Gab Gweon, 2001, "Piezo-driven Metrological Multiaxis Nanopositioner", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 72, No. 11, pp. 4183~4187
- (9) S. kleindik, K.H. Herrmann, 1992, "A Miniaturized Scanning Tunneling Microscope With Large operation Range", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 64, No. 3, pp. 692~693
- (10) L. Howaid, H. Rudin, H.J. Guntherodt, 1992, "Piezoelectric inertial stepping motor with spherical rotor", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 63, No. 8, pp. 3909~3912
- (11) Rong-Tsong Lee, Chii-rong Yang, Yuang-Cherng Chiou, 1996, "A Procedure For Evaluating The Positioning Accuracy Of Reciprocating Friction Drive systems", *Tribology International*, vol.29, No. 5, pp. 395~404
- (12) Sang-Chae Kim, Soo Hyun Kim, 2001, "A Precision Linear Actuator using Piezoelectrically Driven Friction Force", *Mechatronics*, 11, pp. 969~985
- (13) Yongrae Roh, Susung Lee, Woosok Han, 2001, "Design and Fabrication of a new traveling wave-type ultrasonic linear motor", *Sensor and Actuator. A*, Vol.94, pp. 205-210
- (14) Nicolò Lamberti, Antonio Iula, Massimo Pappalardo, 1998, "A Piezoelectric Motor Using Flexural Vibration of A Thin Piezoelectric Membrane", *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferr., and Freq. Control*, Vol.45, No.1, pp. 23~29
- (15) James Friend, Akira Umeshima et al., 2004, "A Piezoelectric Linear Actuator Formed From a Multitude of Bimorphs", *Sensor and Actuator A*, Vol.109, pp. 242~251