

초정밀 리니어 스테이지용 인치웜 타입 구동장치 개발

문찬우, 이성호, 정중기, 이종배

전자부품연구원

전화 : 032-621-2846 / 핸드폰 : 017-725-8772

Development of an Inchworm type Actuator for an Ultra Precise Linear Stage

Chanwoo Moon, Sung-Ho Lee, Jung-Kee Chung, Jong-bae Lee
Korea Electronics Technology Institute
E-mail : mcwnt@keti.re.kr

Abstract

Precision stage is essential device for semiconductor equipments, fiber optic assembly systems and micro machines. In this paper, we develop a piezo-electric inchworm type actuator for long stroke ultra precision linear stages, and implement a controller to interface with commercial motion controllers. It provides fast implementation of precise position control system substituting for rotary motor. In the future, using a laser interferometer as a position sensor, we plan to implement a nano meter precision stage.

I. 서론

최근 NT, BT, IT 등 신기술의 등장과 함께 저변 기술로서 초정밀 위치결정 기구의 필요성이 증대되고 있으며 MEMS 및 BT산업의 성장으로 초정밀 리니어 스테이지의 수요가 크게 증가하고 있는 추세이다. 반도체 집적화 기술 향상에 따른 위치결정 정밀도의 나노(nano)급화, 생명공학에서 Patch Clamping System의 시장 확대, 초소형 로봇의 개발, 기존 선형 모터의 경량화, 소형화로 기술이 진전되고 있으며 이

에 따라서 초정밀 위치 결정 기술의 핵심이 되는 구동 액츄에이터와 위치센싱 모듈 등의 개발이 추진되고 있다.

현재 우리나라는 반도체 생산 강국이지만, 반도체 생산장비 및 검사장비, 광학기기 조립 등에 사용되는 정밀 스테이지는 거의 수입되고 있는 실정이어서 향후 NT산업의 확대에 따른 가공 기반 기술의 중요성에 비추어 볼 때 초정밀 위치결정 장치의 개발이 시급하다.

정밀기기에 사용되는 구동장치로는 리니어 모터, 마이크로 스텝모터나 압전 모터가 주로 사용되는데 압전 모터는 소형화가 가능하고 선형성, 응답성 등의 특성이 뛰어나 나노급 정밀도를 갖는 초정밀 위치 결정장치에 폭 넓게 사용되고 있다. 압전 소자를 이용한 압전 모터에는 트랜스레이터(translator), 선형/회전형 초음파 모터, 인치웜 모터, 충격식 모터 등이 있다[1]. 이 중에서 인치웜 모터는 효율이 높고 긴 행정거리를 얻을 수 있어 작업 영역이 큰 리니어 스테이지에 적합한 장점이 있다[2].

본 논문에서는 압전 소자를 사용하여 인치웜 타입의 구동기를 개발하고 상용의 위치 제어장치와 쉽게 인터페이스할 수 있도록 전용 제어기를 구현한다. 위치 센서로 사용할 예정인 레이저 인터페로미터가 현재 개발 중인 상태이므로 구동장치의 특성은 개회로(open loop) 상태에서 레이저 변위측정기(laser displacement

sensor)를 사용하여 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 개발된 인치웜 타입 모터의 구조와 작동원리가 소개되고 제어기의 구조 및 제어방법에 관해서 서술한다. III장은 실험장치 구성과 실험 결과이고 IV장은 결론 및 향후 계획이다.

II. 제안된 인치웜 타입 구동장치

2.1 제안된 인치웜 타입 구동기의 구조 및 작동 원리

본 연구에서는 높은 분해능을 가지며 긴 스트로크를 갖는 액츄에이터의 구현을 위해서 인치웜 형태의 구동 방식을 채택했다.

구동원으로 압전세라믹을 이용하면 나노미터급의 매우 정밀한 구동이 가능하지만 압전세라믹의 최대 변위가 수십미크론 정도로 작기 때문에 단일 압전세라믹을 이용할 경우에는 분해능은 높지만 매우 작은 스트로크 범위에서 밖에 사용할 수 없다. 그래서 높은 분해능을 가지면서 동시에 긴 스트로크가 필요한 경우에는 인치웜 형태의 액츄에이터가 적합하다.

인치웜모터는 이송축이나 도관을 고정시키는 다수의 클램핑 부분과 이송축을 운동 방향으로 밀어주는 이동부로 구성되며 클램핑 부분을 순서대로 고정시키면서 자벌레가 이동하는 것과 같이 운동한다[2].

그림 1은 인치웜형태로 제작되어진 액츄에이터를 나타낸다. 좌우에 각각 샤프트를 클램핑하는 부분이 있으며 그 중앙에 샤프트를 이동시켜주는 부분이 있다. 샤프트를 이동시켜주는 부분에는 두 개의 압전세라믹을 이용해서 샤프트를 이동시키는 부분이 기울어지는 것을 방지했다. 인치웜모터의 추력을 증가시키기 위해서는 좌우의 클램핑 부분의 힘이 커야한다. 이를 위해서 클램핑 부분에 적응된 압전세라믹을 이용해서, 세라믹의 팽창시에 샤프트를 클램핑하는 방법을 적용했다. 사용한 압전세라믹의 길이방향의 최대 팽창력은 1000N으로 샤프트를 클램핑하기에 충분한 힘이 발생한다.

그림 1에서 샤프트를 오른쪽으로 이동시키는 방법은 다음과 같다. 먼저 오른쪽 클램핑부분의 압전세라믹에 전압을 가하면 샤프트가 오른쪽 클램핑 부분에 고정된다. 그리고 난 후 가운데 두 개의 압전세라믹에 전압을 가하면 압전세라믹이 팽창하면서 샤프트를 오른쪽으로 밀어주게 된다. 압전세라믹이 최대로 팽창되면 더 이상 샤프트를 이동시킬 수 없으므로 샤프트의 위치를 유지하면서 클램핑부분을 처음의 상태로 만들어 준다. 그래서 왼쪽의 클램핑부분에 전압을 가한 후 오

른쪽 클램핑부분에 전압을 제거해서 오른쪽 클램핑 부분을 풀어준 후 가운데 압전세라믹에 전압을 제거하면 오른쪽 클램핑부분이 처음의 자리로 되돌아 온다. 여기서 다시 위의 방법을 되풀이 하면 샤프트를 연속적으로 오른쪽으로 이동시킬 수 있게 되어서 긴 스트로크의 구현이 가능하다. 그리고 압전세라믹의 구동에 의해 샤프트가 이동하므로 높은 분해능을 얻을 수 있다.

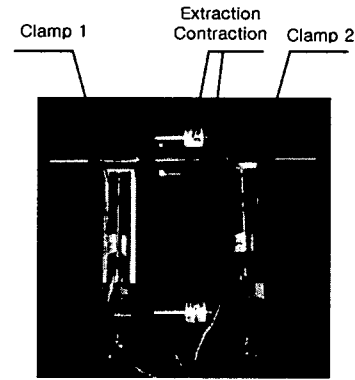


그림 1. 제작된 액츄에이터

2.2 제안된 인치웜 타입 구동기의 제어장치

앞 절에서 기술한 방법으로 구동되는 구동기를 위한 제어기의 블록도는 그림 2와 같다.

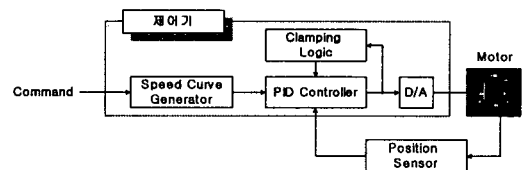


그림 2. 제어기 블록도

동작 지령에는 펄스 형태의 위치 명령에 의한 방법과 설정 포인트까지의 이송 명령 방법이 있는데, 그림 2에서 첫 번째 블록 Speed Curve Generator는 위치 명령을 받아 설정된 이송 속도에 따라 속도 커브를 발생시키는 역할을 한다. Clamping Logic 블록에서는 출력 전압에 따라 클램프 상태를 바꾸고 PID 제어기는 검출된 위치와 위치지령의 차에 의해 제어 출력전압을 발생시킨다. PID 제어기는 식 (1)과 같이 통상 I 제어 형태를 취하며 이 형태는 드리프트나 히스테리시스에

도 강인한 것으로 알려져 있다[3].

$$V = \sum C \cdot (P_{com} - P) \quad (1)$$

- V : 출력 전압
- C : 계인
- Pcom : 위치 지령
- P : 위치

정속 이동시 출력되는 구동 전압의 형태는 그림 3과 같다.

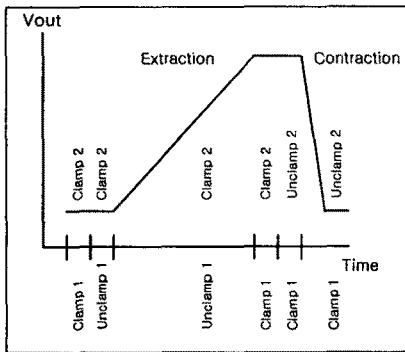


그림 3. 정속 운전시 출력 전압 파형

III. 실험 결과

3.1 실험 장치 구성

개발된 인치웸 구동기의 성능을 측정하기 위해 그림 4와 같이 실험 장치를 구성하였다. 상용의 모션 제어기와 인터페이스가 가능하도록 전용 제어기를 개발하였는데 사양은 표 1과 같다. 상위 제어 장치로는 스텝 모터 제어장치와 같이 펄스 형태의 출력을 갖는 모션 제어기를 사용하면 되고 제어기는 모션 제어기로부터 위치 명령을 받아 인치웸 구동기를 동작 시킨다. 위치검출기로는 100nm 분해능을 갖는 레이저 위치편차 측정기를 사용하였으며 현재는 되먹임 없이 개회로 특성만 측정한다.

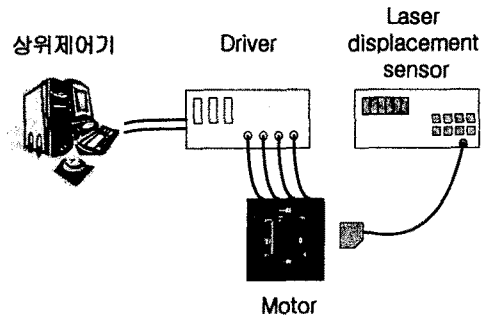


그림 4. 실험 장치 구성

표 1. 제어기 사양

H/W	DSP 320C32, 50MHz 3Ch monitor 출력
제어 입력	Differential A/B pulse 또는 Pulse, Direction에 의한 위치명령, 설정 Point 이송
제어기 출력	3Ch, 0 ~ 100V 전압 출력
출력 분해능	Clamping motion, 8 bit Contraction/Expansion, 16 bit
제어 형태	Open loop Closed loop

3.2 구동장치의 성능 실험

구동 장치의 위치 추종 특성을 측정하기 위해 제어 입력으로 1 μm 스텝을 갖는 계단파 위치 입력을 가하고 레이저 변위 측정기를 사용하여 위치를 측정하였다. 그림 5는 클램프를 변경하지 않는 범위내에서 위치의 변위를 나타낸 것으로 한 눈금의 크기는 1 μm이며 개회로 상태이므로 파라미터의 편차에 의해 정확히 1 μm의 결과는 나타나지 않는다.

참고문헌

- [1] 권대갑, 김승우, 김수현, "나노 구동 및 측정 시스템 설계", KAIST 2002산학 협동단기 강좌 교재.
- [2] "TW-800 Series Inchworm Motor, Stages, And Accessories Operating Manual", Burleigh Instruments, Inc, 2000.
- [3] Motoya Taniguchi, Minoru Ikeda, Akira Inagaki and Ryuichi Funatsu, "Ultra Precision Wafer Positioning by Six-axis Micro-motion Mechanism", Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol.26, No. 1, 1992 Mar.

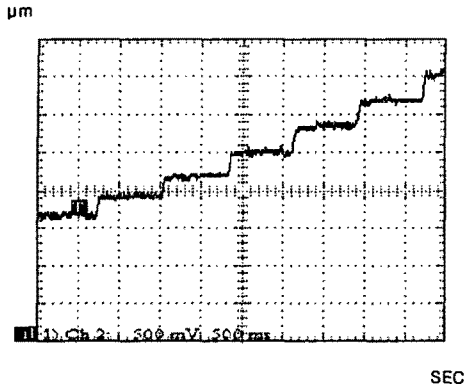


그림 5. 계단형 명령에 대한 위치 출력 (open loop)

그림 6은 이동 속도를 달리하여 클램프를 변경하는 범위 내에서의 위치변위를 나타낸 것이다. 이동 속도는 각각 (a)3 μ m/sec, (b)5 μ m/sec이고 위치 지령은 20 μ m이다.

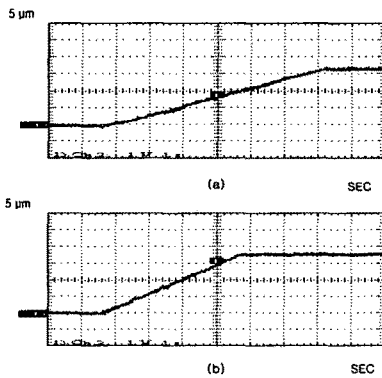


그림 6. 이동 속도에 대한 응답

IV. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 압전 소자를 사용하여 인치웜 타입 구동기를 개발하고 상용의 위치 제어장치와 접속하여 시스템을 구성하도록 전용 제어기를 구현하였다. 개회로 특성으로 100 nm의 분해능을 구현했는데 이는 구동기의 분해능이라기보다는 위치 센서의 분해능에 의한 한계이다. 본 논문에서는 개회로 특성만 측정하였으나 향후 현재 개발중인 수 nm분해능의 레이저 간섭계 (laser interferometer)를 위치센서로 사용하여 폐회로(closed loop) 시스템을 구성할 계획이다.