

# 이중 서보 메커니즘을 이용한 초정밀 스테이지에 대한 연구

최현석(책임저자)\*, 한창수\*\*, 김승수\*\*\*, 나경환\*\*\*

\*한양대학교 정밀기계공학과 대학원, \*\*한양대학교 기계공학과, \*\*\*한국생산기술연구원

## 초록

반도체 가공공정에서 웨이퍼의 정렬이나 각종 초정밀 가공에서 가공물의 각도를 미세 조정하기 위한 초정밀 메커니즘을 제안하였다. 일반적으로 각도를 결정하는 메커니즘은 기어를 이용한다. 기어를 이용할 경우 회전 분해능을 높일 수 있으나 기어의 백래쉬에 의한 오차가 있어 보다 높은 정밀도를 구현하기가 어렵다. 본 논문에서는 직접구동(direct drive) 방식과 이중서보(dual servo) 방식을 이용하여 기어를 사용하지 않고 회전 스테이지를 구현하였다.

## 1. 서론

초정밀 위치 제어 기술은 첨단 산업 분야에서 필수적으로 사용되고 있으며, 특히 반도체 산업, 측정 장치 개발, 나노 공학, 생명공학 등 많은 분야에서는 높은 위치 정밀도와 강인한 시스템 특성이 요구되어 지고 있다.[1]

높은 정밀도의 위치 제어를 위해 구동기로써 PZT 나 VCM 이 많이 이용되고 있다. PZT 는 정밀도가 수 nm에서 nm 이하의 정밀도를 가지고 있다.

그러나 PZT 는 동작 영역이 대부분 수백  $\mu\text{m}$ 이하로 제한적이다. VCM 도 또한 초정밀 제어에서 많이 이용되고 있으며 PZT 보다 정밀도는 낮으나 동작범위가 넓고 고속의 짧은 움직임이 가능하다.[2]-[4]

초정밀 위치 제어에서 넓은 작동 영역과 높은 정밀도를 유지하며 넓은 주파수 응답 특성을 가진 시스템을 구현하기 위한 방법으로 이중 서보 메커니즘을 이용하는 방법이 있다. 이중 서보 메커니즘은 두개의 구동 스테이지가 직렬로 연결된 구조를 가지고 있으며 넓은 운동 범위와 상대적으로 낮은 주파수 성능을 가진 조동 스테이지(coarse stage)와 좁은 운동 범위를 가지며 높은 주파수 특성을 가진 미동(fine stage) 스테이지로 구성 된다. 이러한 서로 다른 특성을 가진 스테이지를 사용하여 넓은 작업 영역과 높은 정밀도 그리고 넓은 주파수 응답 특성을 가진 위치 제어시스템을 구현 할 수 있다.

이중 서보 시스템의 제어기는 두개의 서로 다른 특성을 가진 구동기를 동시에 제어할 경우 하나의 구동기만을 제어하는 경우 보다 제어기의 설계에 어려움이 있다. 본 논문에서는 시스템의 단순화를 위해 순차적인 제어 방식을 제안하였다. 조동 메카니즘에 의해 일정수준까지 제어가 수행된 후 조동 스테이지가 고정된 상태에서 좀더 정밀한 제어는 미동 스테이지에 의해 구현된다. 미동스테이지는 flexure hinge joint 를 이용한 구조이며 PZT 에 의해 구동된다.

## 2. 제어기 설계

조동과 미동 stage의 제어를 위해 PID제어기를 사용하였다. 스테이지의 회전각도의 측정을 위해 encoder를 이용하였다.

Encoder 는 1 회전당 16834pulse 가 출력되며 4096 배 체배하여 사용되었다. 측정 가능한 회전 각도 분해능은  $0.0937\mu\text{rad}$  이다. 제어를 위한 순서도는 다음 그림 1 과 같다. 정해진 각도 오차가 나을 때 까지 조동 스테이지가 동작하며 이러한 각도오차는 미동 스테이지의 동작범위와 주파수 특성을 고려하여 실험전 입력된다.

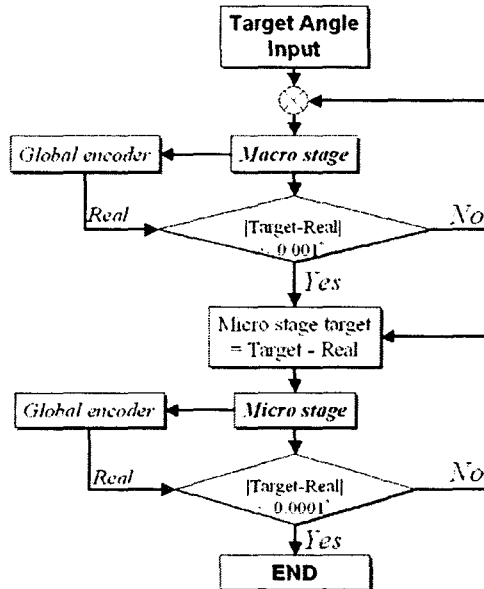


Fig.1 Diagram of control strategy for dual servo mechanism

### 3. 메커니즘의 구현 및 시스템 설계

그림 2 와 같이 실험 시스템이 구현되었다. 위치 결정 후 외부 환경에 의한 영향을 최소화 하기 위해 브레이크 장치가 부착되었다. 브레이크 장치는 제어기에 의해 스위칭되어 목표 값에 도달 후 동작한다.

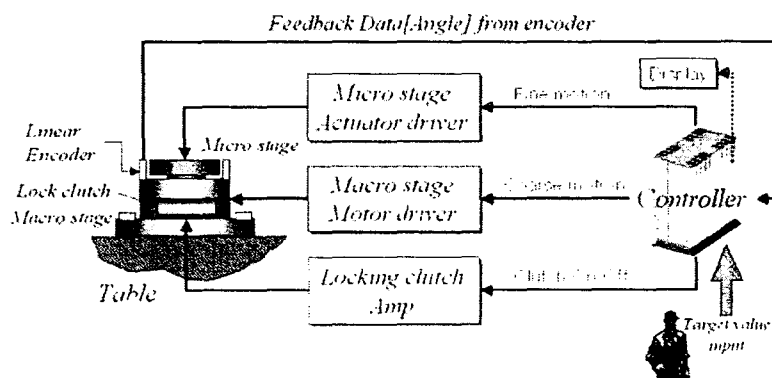


Fig.2 Schematic of control system

시스템에 대한 모델은 그림 3 과 같다. 회전에 대한 스테이지의 회전 관성모멘트와 미동 스테이지 메커니즘으로 연결된 구조로 회전 각도의 측정은 미동스테이지 최종단에서 엔코더에 의해 측정되었다. 측정된 회전각은 조동스테이지와 미동 스테이지의 합이 된다. 그리고 빠른 회전 속도를 요구하지 않으므로 시스템의 관성에 대한 영향은 매우 낮을 것으로 예측되었다.

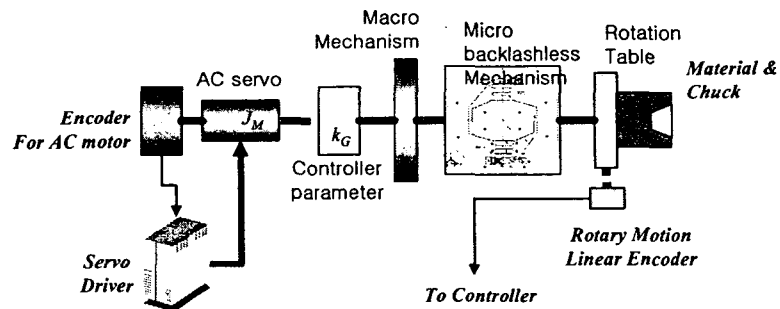


Fig.3 Schematic of experiment system model

시뮬레이션을 통해 제어기의 타당성을 검증하였다. 그림 4 에서 보는 바와 같이 시뮬레이션에서는 미동스테이지의 제어에서 부드럽지 못한 거동이 보였다. 원인은 제어기의 제어 변수 설정이 적절하지 못한 것으로 판단되었다.

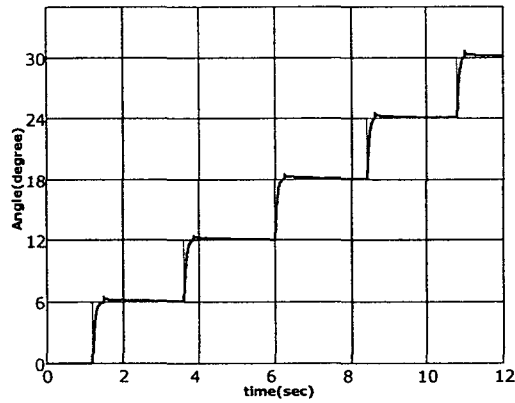


Fig.4simulation result of controller

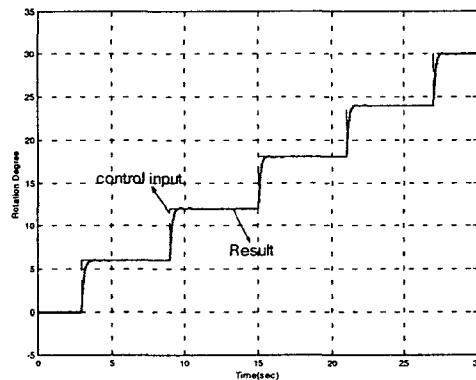


Fig.5 Experiment result

#### 4. 결론

초정밀 각도제어를 위한 이중서보 메커니즘 구조를 제안하였다. 실험을 통해 조동과 미동 스테이지 동작을 확인할 수 있었다. 서보 모터만을 이용할 경우 제어 입력 전압의 잡음에 의해 시스템의 각도오차가 발생하지만 미동스테이지의 미세 각도 조절에 의해 충분한 각도 정밀도를

얻을 수 있었다. 향후 연구에서 미동 스테이지의 재료적인 안정성과 제어기의 적절한 제어파라미터의 선정을 통해 보다 안정된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

## 후기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 중 지원하는 미세성형기술 개발의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Heui Jae Pakh et al, " Ultra precision positioning systems for servo motor-piezo actuator using the dual servo loop and digital filter implementation" , international Journal of Machine tools & Manufacture, vol.41, pp 51-63, 1999.
- [2] S.M.Jang. et.al, " Design and extraction of control parameter of a moving coil type linear actuator for driving od linear reciprocating motion control systems" , 한국전기학회,48B-5-3,pp241-248, 1999.
- [3] Norbert C. Cheung et. Al, 1997, " Modeling and control of a High Speed, Long Travel, Dual Voice Coil Actuator" , IEEE Conf. On Power Electronics and Drive Systems, Vol.1, pp270-274,1997.
- [4] Michael Goldfarb et al, 1997, " Modeling Piezoelectric Stack Actuators for control of Micromanipulation" , IEEE Control Systems Magazine, Vol.17 Issue: 3, pp 69 79, 1997.
- [5] Steven J. Schroeck, William C. Messner, Robert J.McNab, 2001, " On Compensator Design for Linear Time-Invariant Dual-Input Single-Output Systems" , IEEE Trans. On Mechatronics, Vol.6 No.1, pp50-57, 2001.