

진공용 나노스테이지의 이중 서보 제어에 관한 연구

Control of Dual-Servo with Nano resolution for UHV

*남경태¹, 김근우², 강은구³, 홍원표⁴, #이상무⁵

*K. T. Nam¹, K.W.Kim², E.G.Kang³, W.P.Hong⁴, #S. M. Lee(lsm@kitech.re.kr)⁵

¹²³ 한국생산기술연구원 로봇기술본부, ⁴⁵ 한국생산기술연구원 생산공정기술본부

Key words : Dual-Servo, Nano Resolution, UHV

1. 서론

최근 IT생산 수요의 급증과 더불어 제품의 대용량 고집적화의 흐름에 맞추어 관련 반도체 웨이퍼나 LCD, PDP, OLED 등의 평판 디스플레이의 생산 공정 장비들 또한 수백mm 이상의 이송거리와 서브um이하의 정밀도를 동시에 갖춘 초정밀 스테이지가 요구된다.

이러한 넓은 영역에서 고정밀도의 성능을 실현하기 위한 방안으로 조동스테이지와 미동스테이지를 직렬로 연결한 이중서보 메커니즘 구조를 채용한 연구가 활발히 진행되어 왔다[1].

또한 이를 활용한 이중서보 구조의 위치제어 기술은 기구적인 간섭을 최소화하고, 각각 스테이지의 주파수 특성을 고려한 방법으로 기술개발이 이루어졌다[2].

본 논문에서는 진공용 초정밀 열라이너 장비를 위한 200mm의 이송범위와 50nm이하 정밀도를 갖는 진공용 나노 이중스테이지의 구성과 특징을 소개하고, 본 시스템의 주파수 응답 특성에 적절한 최적의 서보 제어를 설계 및 실험을 통해 그 결과를 단일 스테이지와 비교하여 개선된 성능을 확인하였다.

2. 진공용 이중 서보 시스템의 구성과 모델링

Fig.1은 진공용 이중 서보 시스템의 전체 구성도를 나타낸다.

3축으로 구성된 나노스테이지의 각 축은 스텝모터에 의해 구동되는 조동부의 볼스크류 위에 미동부의 PA(Piezo Actuator)가 기계적으로 결합된 형태로 구성되고, 각 축의 피드백은 나노분해능을 갖는 한 개의 Grid Encoder나 Linear Scaler에 의해 이루어진다.

또한, 델타타우社의 UMAC제어기가 전체 시스템을 제어 및 운영하며, 특히 모션관련 제어는 내부 PID 제어기나 사용자 정의의 Open Servo알고리즘을 활용 한다.

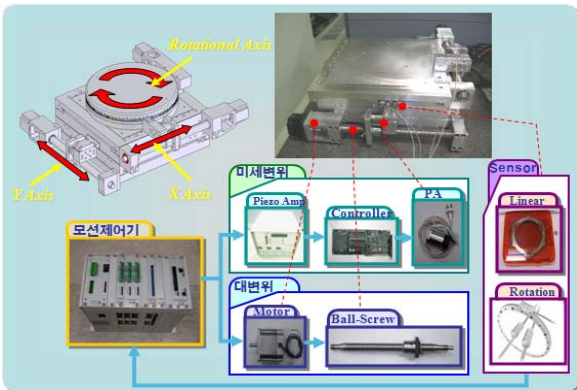
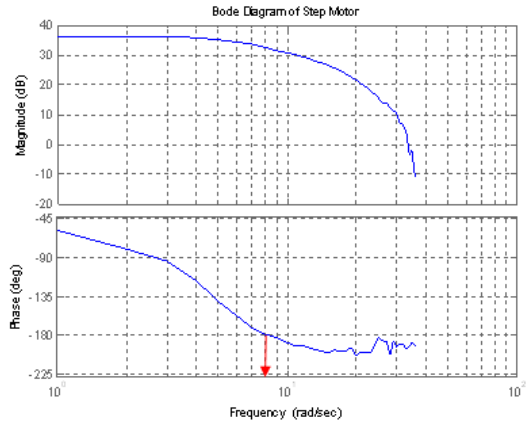


Fig. 1 Block diagram of dual-stage system for UHV

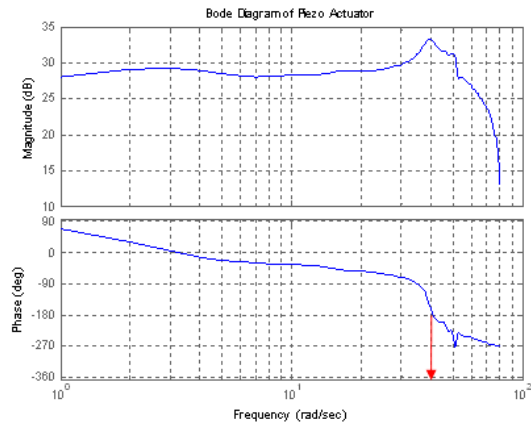
이중서보시스템은 각 구동부의 장단점을 보완 및 확장하는 개념으로 전체 시스템의 성능을 개선시키고자 한다. 미동스테이지의 PA는 고주파수 영역에서 응답성능이 뛰어나고 0.1nm의 고분해능의 장점이 있지만 최대 30um의 이송영역으로 한정되어있다. 이는 볼스크류와 같은 조동 스테이지를 결합하므로써 이송영역을 200mm까지 확장할 수 있다.

이렇게 결합된 각각의 구동기(Actuator)는 Fig. 3와 같이 개루프에서 서로 다른 주파수 특성을 나타낸다. 시스템의 안정성

(stability)를 확보하기 위해선 조동스테이지의 경우 저주파영역에서의 작동하고 반면 미동스테이지는 고주파영역에서 작동하도록 한다[2]. Fig.2를 보면 위상여유(Phase Margin)가 SM(Step Motor)는 8rad/sec이고, PA는 40rad/sec 인걸로 봐서 안정성에 대한 각 구동부의 특징을 알 수 있다.



(a) Coarse Stage



(b) Fine Stage

Fig. 2 Frequency Response of (a) G_{coarse} and (b) G_{fine}

일반적으로 이중구조를 갖는 시스템은 한 축을 이루는 2개의 구동기가 서로 기계적으로 결합되어 있어 제어 시 상호 간섭현상이 발생하게 되는데, 특히 이득여유(gain margin)가 동일한 주파수대역에서 두드러지게 나타난다. 본 시스템과 같이 미동스테이지가 조동스테이지에 비해 훨씬 빠른 동특성을 나타낼 경우는 이러한 간섭현상이 크게 문제가 되지 않을 것으로 예측된다.

3. 이중 서보 제어기

이중 서보 제어기는 제어기의 특성과 출력 대상에 따라 2단계의 서보 단으로 나뉘인다. 첫 번째는 Fig. 3에서 C_{PA} 와 C_{SM} 과 같은 SISO 제어기의 원리와 동일하게 설계되어 구동 앰프의 지령치를 내려 보내는 1차 서보 단이다. 여기서 C_{SM} 의 전통적인 PID제어기를 활용하였고, C_{PA} 는 히스테리시스와 같은 비선형 특성이 고려되어 이중루프 구조의 선형화된 알고리즘으로 설계되었다. 둘째는 Fig.

3에서 C_H 와 같은 단일피드백 센서에 의한 추정오차를 입력 받아 1차 서보단의 지령 치로 출력하는 2차 서보 단이다. 2차 서보 단은 추정오차영역과 1차 서보단의 특성과 사양을 고려해 이중 서보 제어 신호를 생성하게 되어 전체 시스템 성능을 향상 시킨다.

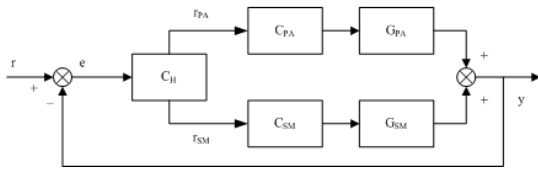


Fig. 3 Block Diagram of Dual Servo System

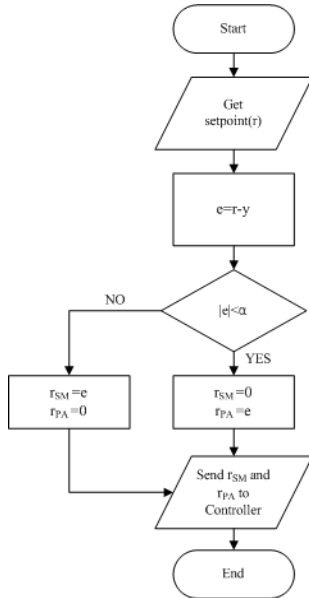


Fig. 4 Flow chart for Dual servo loop algorithm

Fig. 4는 2차 서보단인 C_H 의 구체적인 흐름도를 나타내며, 추정오차 $|e|$ 가 임의의 α 값에 따라 1차 제어 단에 전달되는 제어입력 r_{SM}, r_{PA} 를 결정한다. 여기에서 임의의 α 값은 PA의 사양 중 최대이송영역이 대략 $\pm 15\mu m$ 이므로 실험적인 여유를 두어 $10\mu m$ 로 설정한다.

4. 실험 결과

Fig. 5는 실험에 사용된 고진공 초정밀 얼라인 시스템의 사진을 나타낸 것이다.



Fig. 5 Picture of experimental system

실험은 UMAC 모션제어기를 이용하여 $36\mu m$ 변위의 스텝응답 특성을 SM의 단일 스테이지와 이중서보제어기에 대해서 각각 진행하였다. 이때 1차 서보단의 제어기는 3절에서 언급했듯이 UMAC의 내부 PID 제어기를 활용하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 그 실험 결과이며 단일 서보제어의 경우 이중서보제어에 비해 응답

속도가 낮고 정상상태오차 시간도 길어짐을 확인할 수 있다.

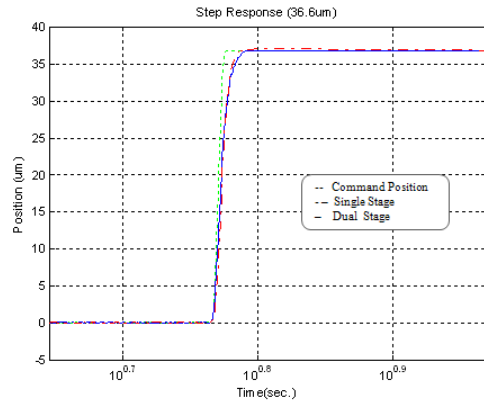


Fig. 6 Step response (36.6um)

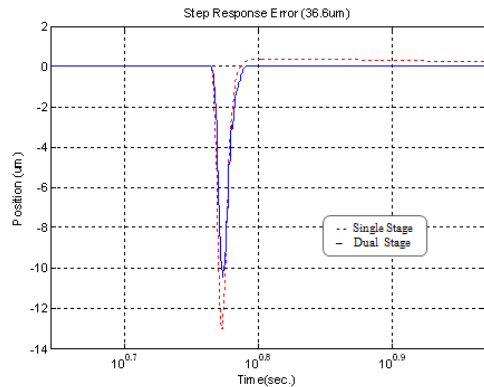


Fig. 7 Step response error(36.6um)

5. 결론

본 논문에서는 진공용 나노 이중 스테이지에 대한 주파수 특성을 분석하여 1차단 및 2차단의 서보 제어기를 설계하였으며, 이를 실험을 통해 이중서보 제어시스템의 스텝응답특성에 있어 단일 스테이지에 비해 최대 추정오차는 10%, 정상상태오차는 최소 85%이상의 성능 향상을 확인하였다. 향후, 이중서보시스템의 안정성의 확보와 기계적인 결합에 의한 간섭현상을 최소화하여 시스템 성능개선을 위한 2차 서보단의 개발이 진행될 것이다. 또한, 조동스테이지의 제어 용이성과 낮은 속도 리플을 달성하기 위한 스텝모터를 리니어모터로 교체해 전체 시스템의 응답속도를 개선시키는 연구도 병행할 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부 성장동력 중기거점/차세대신기술개발 사업 지원, 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Elfizy, A. T., G. M., Elbestawi, M. A., "Design and control of a dual-stage feed drive," Inter. Jour. of Machine Tools & Manufacture Vol. 45, pp. 153-165, 2005.
2. S. Schreck and W.C Messner, "On Compensator Design for Linear Time-Invariant Dual-Input Single-Output Systems," IEEE Trans on Mechatronics, Vol.6, No.1, 517-521, 2001.
3. 강은구, 홍원표, 이석우, 정문성, 최현중, "초진공용 2축 대변위 나노 스테이지 개발" 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 99, 1871-1874, 2005.