고진공 듀얼스테이지의 제어기 최적설계

Optimal Design of Controller for UHV Dual-Stage

*남경태[1], 심준홍[1], 강은구[2], 홍원표[2], #이상무[1]
*K. T. Nam[1], J.H.Shim[1] , E.G.Kang[2] , W.P.Hong[2], #S. M. Lee(lsm@kitech.re.kr)[1]
[1] 한국생산기술연구원 로봇기술본부, [2]한국생산기술연구원 생산공정기술본부

Key words : Dual-Stage, Optimal Design, UHV

1. 서론

하드디스크, 반도체, 차세대 평판 디스플레이 등의 IT제품 및 부품의 급격한 수요증가에 시장 요구가 제품의 고집적화, 대용량화, 대면적화, 고화질화 등 추세가 이어지면서, 이를 생산관련 공정 및 장비들의 광대역 초고정밀 제어성능이 절실히 요구된다.

이러한 추세에 수백mm이상의 대변위 이송과 수십nm이하의 미세변위 분해능을 갖기 위한 대표적인방법은 조동스테이지(coarse stage)와 미동스테이지(fine stage)가 유기적으로 결합하여 동일 축을 이루어 원하는 제어성능을 만족하는 듀얼스테이지 구조의 방식이 있다. 한편, 듀얼스테이지 구조의 방식은 다양한 방면에 지속적인 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고 한 축을 이루는 서로 다른 2개의 구동부 간의 기계적 간섭과 제어의 난이성 때문에 실제 현장에 적용된 사례가 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 고진공용 듀얼스테이지 기구부에 제어시스템을 완성하기에 앞서 미리 실제 적용 가능한 구동부, 센서, 제어기 등의 사양 특성 매개변수를 설정하고, 설정된 모의 시스템 환경에서 최적의 듀얼서보제어기를 설계하므로써 전체 시스템의 제어성능을 통합 검증하였다.

2. 고진공 듀얼스테이지의 모델링

Fig.1은 고진공 듀얼스테이지 시스템의 전체 개략도를 나타낸다. 듀얼 나노 스테이지의 선형 축은 고진공용 스텝모터가 볼스크류를 회전 구동하는 조동부와 PA(Piezo Actuator)가 볼스크류를 미세 직선 구동하는 미동부로 2포트 입력 구성되어 있으며, 피드백은 서브 나노분해능을 갖는 한 개의 리니어스케일(Linear Scale)에 의해 센싱되어 진다.

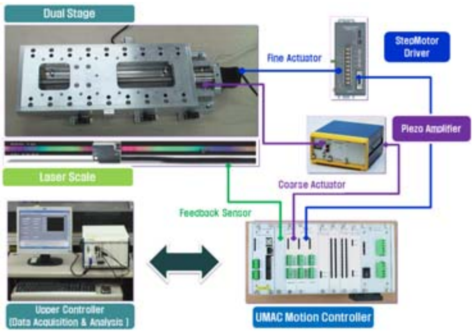

Fig. 1 Block diagram of dual-stage system for UHV

시뮬레이터에서 모델링을 하기위해선 모델의 기계적, 전기적 특성을 표현하는 환경 변수 정보들을 설정한다. 그리고, 이 정보들로부터 plant를 modeling할 수 있게 된다. 즉, ADC, DAC, plant driver들, electrical mechanical정보들이 변경된다고 하여도, 단순히 이 설정 매개변수만을 수정하면 모든 정보들이 전부 변경되는 설계의 유연성이 있다.

모델의 기계적, 전기적 특성을 표현하는 모든 정보들이 loading 된다. 그리고, 이 정보들로부터 plant를 modeling할 수 있게 된다. 즉, ADC, DAC, plant driver들, electrical mechanical정보들이 변경된다고 하여도, 단순히 이 파일만을 수정하면 모든 정보들이 전부 변경되는 설계의 유연성이 있다.

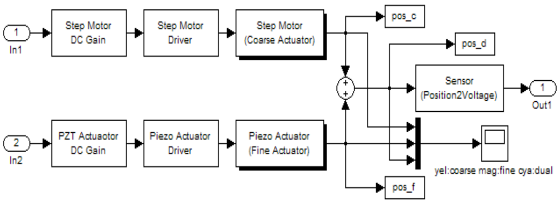

Fig. 2 Block diagram of Dual Actuator

듀얼스테이지 플랜트는 DISO (dual input single output) 시스템으로 구성하였다. 그 이유는 piezo actuator 단독의 위치정보를 얻을 수 없고, 다만 두 구동부의 위치정보들의 합만을 알 수 있기 때문이다. 또한 이 블록에는 각 해당 드라이브들도 함께 포함이 되어 있다

Table 1 System Parameter

Parameter	Specifications
Sample Rate	1ms
ADC/DAC	Bit Depth: 16bits, Voltage range(±10V)
Step Motor	Crossover Frequency : 8Hz Max Position Length : 200mm
Piezo Actuator	Crossover Frequency : 40Hz Max Position Length : ±15μm

Table. 1과 같이 시스템 매개변수를 실제 적용할 부품들의 특성을 감안하여 설정하고 이를 바탕으로 플랜트의 모델링은 스텝모터와 피에조구동부를 아래 수식(1)과 같이 2차 전달함수로 결정되어진다.

$$G(s) = Kw_n^2/(S^2+2\zeta w_n s+w_n^2) \qquad (1)$$

여기서 parameter는 다음과 같다

$K : Driver\,Gain,\quad \zeta : Dampling$
$w_n : Resonance\,Frequency$

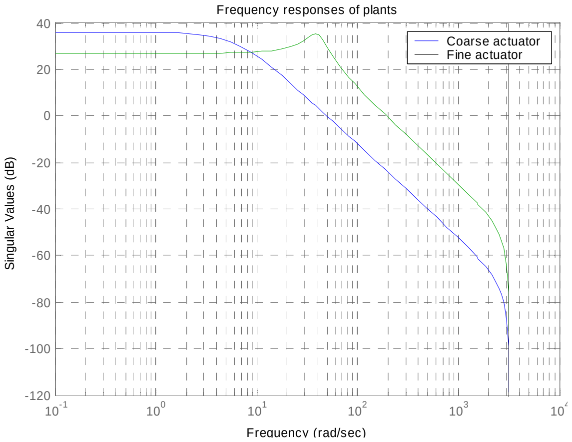

Fig. 3 Dual-Stage Model

3. 제어기 최적 설계

제어기는 current estimator를 기반으로 한 상태귀환제어기를 사용한다. 이 방법은 각 모델의 내부 상태들을 알 수 있고, 이것을 이용하여 좀 더 유연한 제어기 구조를 설계할 수 있다. 또한 Fig. 4와 같이 조동구동부는 기준 신호(ref)를 추종하게 하였고, 추종하고 남는 위치오차신호(vpes)를 미동구동부가 추종하도록 하였다.

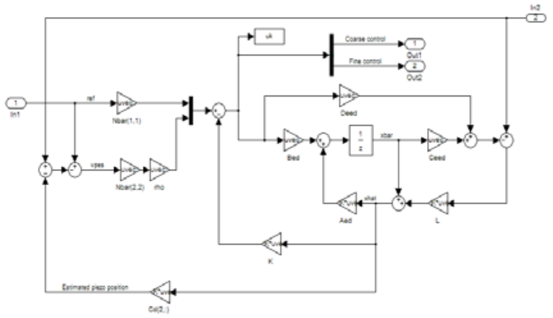

Fig. 4 Block Diagram of Dual Servo Controller

4. 모의 실험

듀얼스테이지 시스템의 시뮬레이터는 Fig. 5와 같이 중앙에 제어시스템 블록과 하단에 6개의 기능버튼 블록으로 구성되어있다.

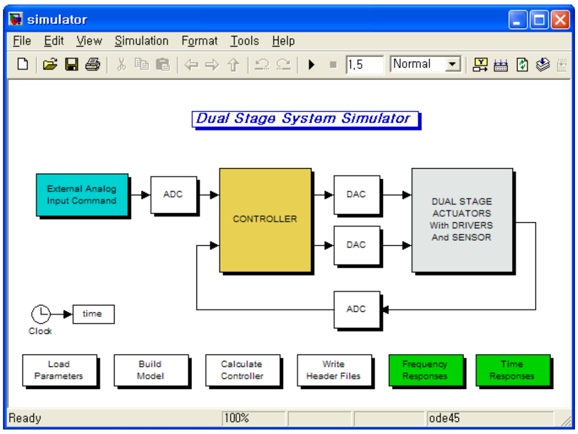

Fig. 5 Dual Stage System Simulator

여기서 'External Analog Input Command'는 듀얼스테이지의 기존 command를 표현하고, 'controller' 블록은 simulink기반으로 구성된 제어기를 나타낸다. Plant 블록으로는 'dual stage actuators with drivers and sensor'로 나타내어 지는데, 여기에선, plant dynamics뿐만 아니라 plant에 사용되는 electrical drive와 feedback을 위한 sensor까지도 표현 할 수 있도록 구성하였다.

Fig.6 과 Fig.7 은 시뮬레이션 결과 스텝응답특성이 추정시간, 정착시간 등에 대해 우수한 성능을 보여준다. Fig. 8은 각 구동부의 감도함수를 나타냈다.

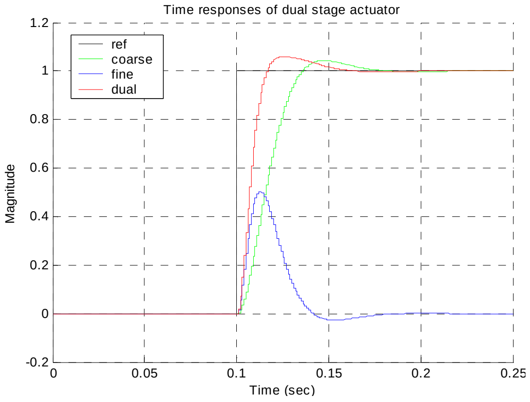

Fig. 6 Time responses of dual stage

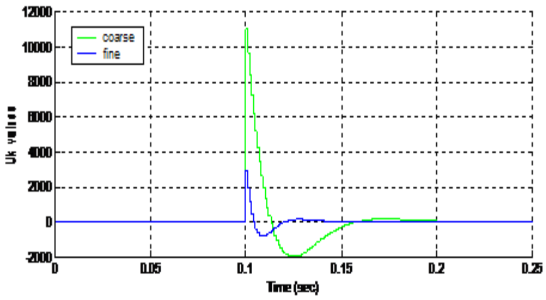

Fig. 7 Control effort of each stage actuator

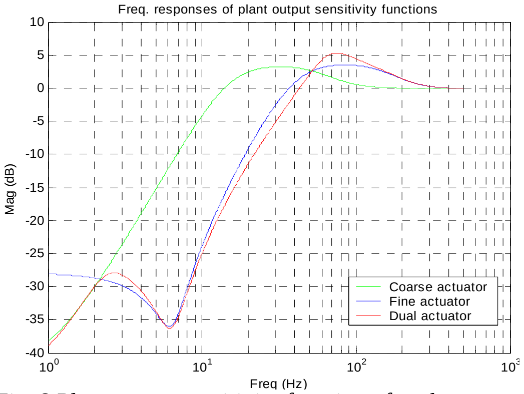

Fig. 8 Plant output sensitivity function of each actuator

5. 결론

본 논문에서는 고진공 나노 듀얼 스테이지에 대해 Matlab simulink를 기반으로, 듀얼스테이 제어기를 위한 기본 플랜트 모델링부터 제어기 구성 및 주파수응답과 시간응답까지 분석할 수 있는 시뮬레이터를 완성하였다. 이것은 모델이 바뀐 상태에서도, 단순히 매개변수만 변경하면 되는 유연한 구조로, 그 적용범위가 듀얼스테이지 뿐만 아니라 단일 스테이지시스템, 더 나아가 멀티-DOF 시스템 제어기 설계에도 응용될 수 있다.

후기

본 연구는 지식경제부 성장동력 중기거점/차세대신기술개발사업 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. Sang-Min Suh, Chung Choo Chung, and Seung-Hi Lee, "Discret-Time LQG/LTR Dual-Stage Controller Design in Magnetic Disk Drivers", IEEE Trans on Magnetics, Vol.37, No.4, 1891-1895, 2001.
2. 강은구, 홍원표, 이석우, 정문성, 최헌종, "초진공용 2축 대변위 나노 스테이지 개발" 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 99, 1871-1874, 2005.