

공작기계 이송시스템의 제어특성 모델링 및 시뮬레이션 Modeling and Simulation of Servo Drive Systems for Machine Tools

*노승국¹, 김병섭¹, 이성철¹, 송창규¹

*#S. K. Ro(cniz@kimm.re.kr)¹, B. S. Kim¹, S. C. Lee¹, C. K. Song¹

¹한국기계연구원 초정밀시스템연구소

¹Department of Ultra-precision Machines and Systems, KIMM

Key words : Positioning stage simulation, Simulink, friction model, ball screw

1. 서론

공작기계, 반도체장비 등 기계장비의 핵심 구동 유닛인 이송시스템의 이송제어시의 응답을 수치해석을 통해 시뮬레이션을 수행하는 것은 설계단계에서 제어특성 확인을 통하여 동특성의 확인을 가능하게 되면, 실제 시스템이 제작되어 실험이 되는 단계에서는 제어특성에 영향을 주는 인자들에 대한 간접적인 분석을 통해, 오류 제거나 향후 재 설계에 적용할 수 있어, 가능한 정밀한 시뮬레이션 모델을 개발하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 제어특성을 해석할 수 있도록 Simulink로 구현된 모델을 소개하고 있으며, 실제 제작된 볼스크류 기반, 리니어모터 기반 스테이지에 대하여 시뮬레이션 및 실험 결과를 통한 모델 구축 예를 나타내고 있다. 개발된 모델은 해당 시스템의 향후 시스템의 분석 및 설계 최적화에 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 이송시스템 해석 모델링

직선 운동제어 유닛은 크게 Fig. 1와 같이 이송계의 기계적 스테이지 부분(Mechanical system), 모터 및 드라이브 등 전기 부분(Electrical system), 제어기 부분(Control system)으로 분류할 수 있으며 기능적으로는 운동이 일어나는 테이블의 기계시스템 블록(Mechanical dynamics block)과 엔코더 등과 같은 측정 블록(Measurement block), 이송 제어시 명령에 해당하는 명령 생성 블록(Reference generator block), 순수 서보 제어 알고리즘을 포함한 블록(Servo controller block)과 드라이브의 전기적 특성을 갖는 블록(Drive and electronics block)으로 나누어 구성된다. 각각의 요소들은 사용된 제품에 따라 선형 및 비선형의 특성을 가지고 있게 되며, 수학적으로는 전달함수를 이용하여 모델이 가능하며, 이

를 Fig. 2와 같이 MATLAB/SIMULINK를 이용하여 모델링할 수 있다. 각각의 모델 블록은 기본적으로 전달함수를 바탕으로 하고 있으며, 마찰력의 경우에는 정지마찰, Coulumb, 점성마찰 및 Stribech 효과를 고려한 모델을 적용하고, 볼스크류 등 동력전달계의 다자유도 동특성 및 테이블 부분의 6자유도 강체 운동 모델을 포함하고 있다.

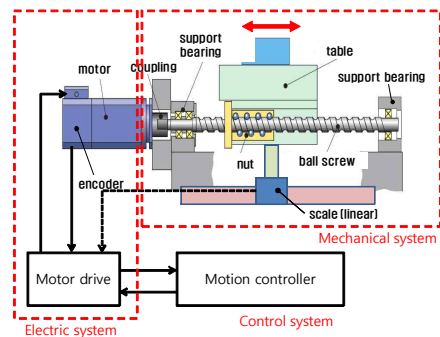


Fig. 1 Structure of a motion control system (a typical ball screw stage)

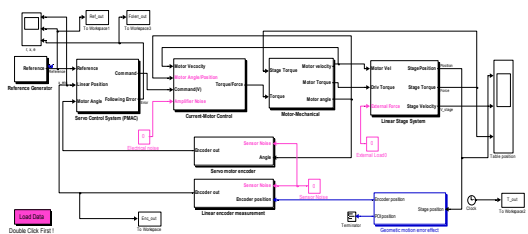


Fig. 2 Simulink model of a motion control system

3. 해석 및 실험 결과

Fig. 2에 나타난 모델을 기반으로 볼스크류 및 리니어모터 등을 이용한 스테이지의 해석이 가능

하며, 실제 실험 스테이지를 제작하여 Step, Ramp, FRF 응답의 비교를 통하여 해석모델을 검증하고, 결과를 분석하였다.

다음의 Fig. 3-5는 세가지 실험 스테이지를 나타낸 것으로 볼스크류 및 LM가이드 기반 스테이지, 리니어모터 및 LM 가이드 스테이지, 리니어 모터 및 공기베어링 응용 스테이지 등이다.

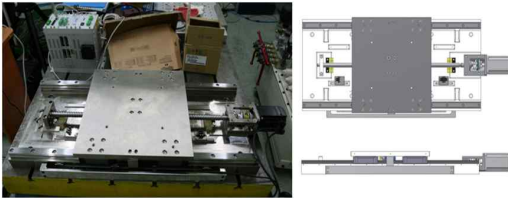


Fig. 3 Test stage 1: 1-axis stage with ball screw



Fig. 4 Stage 2: Linear motor driven stage

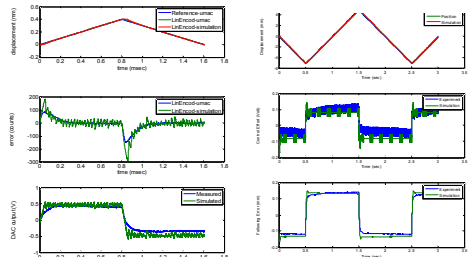


Fig. 5 Stage 3: Linear motor and air bearing stage

구성된 모델에 있어서 제어기는 Stage 1 및 3은 UMAC 제어기를 사용하며, Stage 2의 경우는 DSP 기반 제어기를 사용한다. 모터/드라이버의 전류 제어 모델은 대역폭을 고려한 전달함수로 모델링 하였으며, 해당 가이드의 마찰력 등을 모델링하였다.

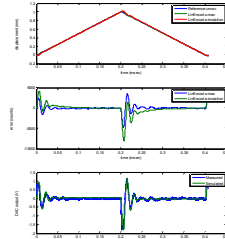
다음의 Fig. 6는 해석모델을 이용하여 각 스테이지 모델에 대한 Ramp 응답의 예를 나타내고 있다. 각각의 응답에서 Following Error 및 DAC output은 실제 제어기에서의 출력을 비교한 것으로, 제어기 모델의 정밀성과 기계부문의 모델의 정확도를 확인할 수 있다. 실제 응답과 시뮬레이션과의 차이는

실제로 30% 이내로 나타나고 있었으며, 마찰력과 같은 파라미터는 실험을 통해 유추하게 되면 정밀도는 더 높아진다고 할 수 있다. 상대적으로 동력전달 부분이 간단한 리니어 모터 응용 스테이지에서 정확도가 높게 나타났다.



a. Stage 1

b. Stage 2



c. Stage 3

Fig. 6 Ramp response for the experimental stages

4. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 이송계 및 제어계를 구성하는 해석 모델을 구축하고, 실제 적용되는 제어기와 드라이버 및 구동부 마찰력 모델을 적용하여 실제 이송계에 대한 실험과의 비교를 통하여 개발된 모델의 유효성을 확인하였다. 향후, 다자유도 모델 및 다양한 모델에 대한 검증을 통해 정밀도를 향상할 예정이다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발 사업 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Ljung, L. and Glad, T., "Modeling of Dynamic Systems," Prentice Hall, 1994.
2. 정영훈, 배진현, 이승열, 태현철, 조동우. "마찰력 모델을 이용한 안내면 상태 감시," 한국정밀공학회 춘계학술대회 135-135, 2010