

# 유정압 이송계의 6 자유도 운동오차 시뮬레이션 Simulation of 6-DOF Motion Errors for Hydrostatic Feed Table

\*#오정석<sup>1</sup>, 박천홍<sup>1,2</sup>, 김경호<sup>1</sup>, 정지훈<sup>2</sup>

\*#J. S. Oh(ojs6114@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, C. H. Park<sup>1</sup>, G. Khim<sup>1</sup>, J. H. Jeong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국기계연구원 첨단생산장비연구본부, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스과

Key words : simulation, motion error, hydrostatic stage

## 1. 서론

직선운동시스템은 측정 또는 가공대상물을 원하는 위치로 직선 이동시키는 기구로서 LM, 유정압, 공기정압 등의 베어링, 볼스크류, 랙엔 피니언 등의 이송기구, 커플링, 감속기 등의 동력전달요소, 서보모터와 같은 액츄에이터 및 리니어스케일과 같은 변위센서 등의 조합으로 구성되며 이들 요소들의 영향이 중첩되어 6 자유도 방향으로 운동오차를 갖게 된다. 저자 등은 직선운동시스템의 설계 절차를 보다 체계화 하기 위한 방법의 하나로, 설계 단계에서 시스템에 적용하는 각 요소들의 설계 정보를 입력 하면 그에 따른 시스템의 운동오차를 예측할 수 있는 정밀도 시뮬레이션 기술<sup>1</sup>을 개발하고 있다. 본 논문에서는 유정압베어링 기반 직선 운동시스템에서 가장 중요한 오차 요인 중의 하나인 안내면 형상오차를 대상으로 정밀도 시뮬레이션 기술의 실험적 검증 결과를 소개하고자 한다.

## 2. 유정압 이송계의 안내면 형상오차 측정

Fig. 1 은 검증실험을 위해 구성된 유정압 베어링 이송계의 구성을 보여 준다. 수평방향으로는 좌우 각각 3 개의 패드가 대향형으로 배열되어 있으며 수직방향의 경우 좌우 각각 6 개의 패드가 상하방향으로 대향되어 있는 구조로 설계되었다. 무부하 조건, 즉 유정압베어링 이송계에서 안내면의 형상오차에 의한 영향만을 살펴보기 위해 테이블의 이송은 무철심형 리니어모터를 이용하였으며 리니어스케일을 적용하여 4,096 체배 후 약 1 nm 의 분해능으로 제어하였다.

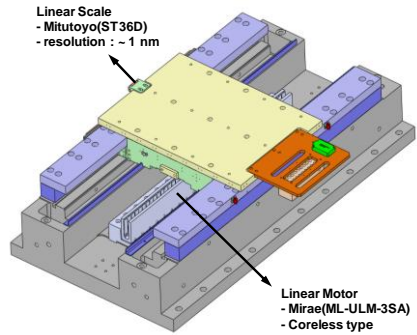


Fig. 1 Layout of hydrostatic stage for experimental verification

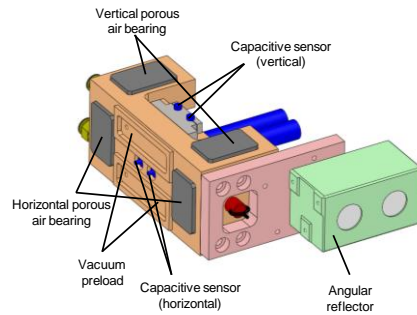


Fig. 2 Structure of the proposed measuring device

정밀도 시뮬레이션 기술의 실험적 검증을 위해서는 안내면 형상오차의 정밀한 측정이 필수적이다. 본 연구에서는 축차이점법 알고리즘을 기반으로 하여, 측정 시에 발생하는 측정장치의 회전오차 성분을 레이저간섭계로 측정하여 보정해주는 혼합축차이점법을 측정방법으로 적용하였으며 Fig. 2 와 같이 다공질 공기정압 베어링을 이용하여 측정대상 안내면을 이송용 안내면으로 사용할 수 있는 측정개념 및 측정

장치를 고안하였다. Fig. 3 은 좌측 수직방향의 안내면 형상오차 측정결과를 나타낸다.<sup>2</sup>

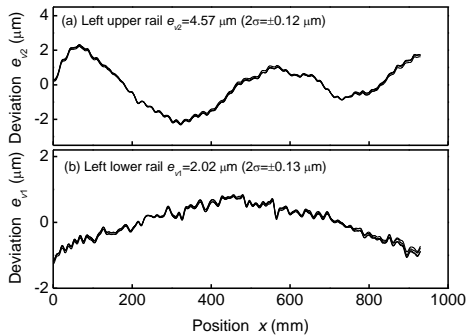


Fig. 3 Measured rail form errors of the left side rails in the vertical direction

### 3. 운동오차 시뮬레이션 검증실험

측정된 안내면의 형상오차를 이용하여 유정압 이송계의 6 자유도 운동오차를 시뮬레이션하였으며 실제 측정결과와 비교하였다. 수평/수직진직도의 경우 혼합촉차이점법, 요/피치/위 치결정오차 레이저간섭계, 롤오차는 전자레벨을 사용하여 측정하였다.

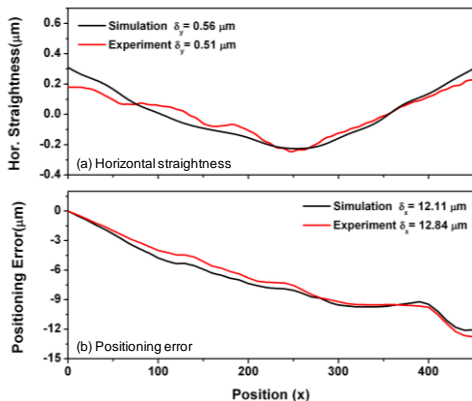


Fig. 4 Comparison of simulation results with those of experiments

Fig. 4 는 그 중 일부인 수평방향 진직도와 위치결정오차의 시뮬레이션과 측정치를 비교한 결과를 보여 준다. 수평방향 진직도의 경우 시뮬레이션은  $0.56 \mu\text{m}$ , 측정결과는  $0.51 \mu\text{m}$ , 위치

결정오차의 경우 시뮬레이션은  $12.11 \mu\text{m}$ , 측정결과는  $12.84 \mu\text{m}$  으로 전체적인 경향이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 전달함수법을 기반으로 개발된 직선운동시스템 정밀도 시뮬레이션 기술을 유정압베어링 이송계에 적용하여 실험적 검증을 수행하였다. 유정압베어링 기반 직선이송계에서 안내면 형상오차가 이송계의 6 자유도 운동오차에 미치는 영향을 실제 측정된 안내면 형상오차를 이용하여 시뮬레이션 하였으며 그 결과를 실제 측정된 이송계의 운동오차와 비교하였다. 이송계 운동오차의 시뮬레이션 결과와 측정결과는 대체로 그 경향이 일치함을 확인하였으며 개발된 정밀도 시뮬레이션 기술이 유효함을 실험적으로 검증하였다.

향후 유정압 이송계의 안내면 형상오차뿐만 아니라 철심형 리니어모터의 흡인력과 코깅 특성, 볼스크류의 정렬오차 등 외력에 의한 이송계의 정밀도 변화에 대해서도 정밀도 시뮬레이션 기술의 실험적 검증이 추가로 진행될 예정이다.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 “기계장비 정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발” 과제에 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 오정석, 김경호, 박천홍, 정성종, 이선규, 김수진, "직선운동 시스템의 정밀도 시뮬레이션 기술," 한국정밀공학회지, **28**, 275-284, 2011.
- Oh, J. S., Khim, G., Oh, J. S., and Park, C. H., "Precision Measurement of Rail Form Error in a Closed Type Hydrostatic Guideway," *IJPEM*, accepted for publication.