

혼합 축차2점법에서 센서게인의 영향에 관한 연구 Study on the Effect of Sensor Gain in Mixed Sequential Two-Point Method

*정지훈¹, 박천홍², 김경호², 오정석²

*J.H.Jeong¹, C.H.Park², G.Khim², #J.S.Oh²(ojs6114@kimm.re.kr)

¹과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스과, ²한국기계연구원 첨단생산장비연구본부

Key words : Motion Error, Capacitive Sensor, Mixed Sequential Two-Point Method, Gain Compensation

1. 서론

직선이송 테이블의 운동오차는 첨단 생산시스템에서 피가공물의 기하학적 오차 및 피이송체의 위치결정오차에 영향을 미치는 주요한 요인이다. 이로 인해 고정밀도의 이송 테이블 제작기술을 비롯하여 운동오차의 측정 및 평가기술도 중요하다.

혼합 축차2점법은 두 개의 변위 센서로부터 얻은 데이터에 이송 테이블의 각운동오차 성분을 보정하여 기존 축차2점법보다 정밀한 운동오차를 얻을 수 있다. 이 때 이송 테이블의 각운동오차는 레이저 간섭계를 이용하여 측정 가능하다.¹

본 연구에서는, 혼합 축차2점법을 직선 운동오차 측정에 적용하는 경우 참조면(스트레이트 에지)의 정렬오차 및 센서게인이 측정정밀도에 미치는 영향에 대해 실험적으로 분석하였다. 참조면과 정전용량형 변위센서의 정렬오차별로 직선 운동오차 결과를 비교하였으며 센서게인 보정을 통해 정확한 운동오차를 획득하려고 하였다.

2. 측정시스템의 구성 및 실험

Fig.1에 혼합 축차2점법의 수평방향 오차 측정 변수 및 오차방향을 나타내었다. 이송테이블에 설치된 센서 A, B를 센서간격 l_x 씩 이송시킬 때, 각 센서의 측정값(R_A, R_B) 및 테이블 각운동오차(θ)로 부터 얻을 수 있는 스트레이트 에지 형상오차($r(x)$)와 수평방향 진직도($e(x)$)를 수식 (1)과 (2)에 각각 나타내었다.¹

한편, Fig.2는 정렬오차(δ)로 인한 두 센서의 측정값 차이(s)를 보여준다. 또한 두 센서간격 l_x 만큼 i 회수만큼 측정할 때, 참조면이 이상적인 평면이면 정렬오차(δ)로 인한 두 센서 측정값(R_A, R_B)의 이론적 차이(s)는 측정횟수에 상관없이 항상 일정하다. 실험조건으로부터 총 이송거리

460mm에 대해 센서간격(l_x)을 15mm로, 정렬오차(δ)를 5 μ m, 10 μ m로 놓고 계산하면 그 이론적 수치는 센서 A의 측정값(R_A)의 약 3%정도가 된다.

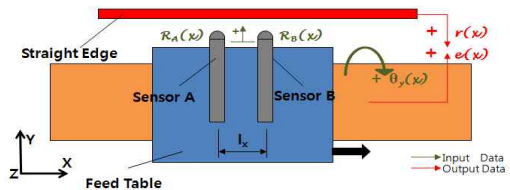


Fig. 1 Notations in mixed sequential two point method (Horizontal Direction)

$$r_{i+1}(x) = r_i(x) + R_{B,i}(x) - R_{A,i}(x) + l_x \theta_{y,i}(x) \quad (1)$$

$$e_{i+1}(x) = e_i(x) + R_{A,i+1}(x) - R_{B,i}(x) + l_x \theta_{y,i}(x) \quad (2)$$

$$r_0(x) = e_0(x) = 0$$

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$$

운동오차 측정을 위해 Fig.3와 같이 실험장치를 구축하였다. 레이저간섭계(HP5529A)로 테이블의 각운동오차(요오차)를 측정하였고 정전용량형 변위 센서(ADE 6810 ±50 μ m/±10V)와 스트레이트 에지(평균도 0.1 μ m이하)로 수평방향 변위를 측정하였다. 외부 온도변화에 의한 영향을 최소화하기 위해 20±1.0 $^{\circ}$ C로 유지되는 환경에서 실험을 진행하였다. 또한 Fig2의 정렬오차(δ)를 0, 5, 및 10 μ m로 조절하여 실험을 진행하였다.

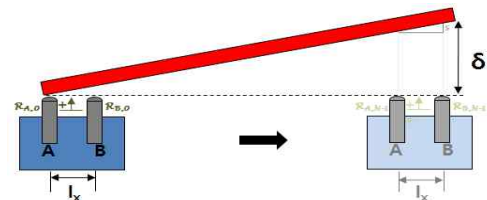


Fig.2 Alignment Error Between Capacitive Sensors and Straight Edge

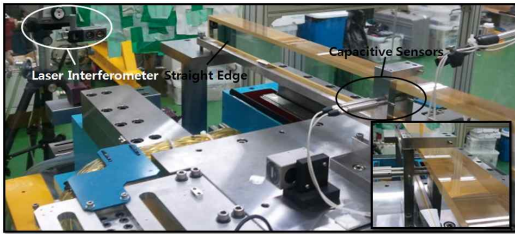


Fig.3 Experimental setup(Horizontal Motion)

3. 측정 결과 분석 및 보정

각각의 정렬별로 측정된 두 센서 변위 측정값은 Fig.4에 나타내었다. 각 정렬별 두 센서 측정값의 차이($R_B - R_A$)는 정렬오차(δ)가 커질수록 커지는 것도 확인할 수 있다. 따라서 정렬오차(δ)가 센서 계인에 영향을 미친다는 것을 가시적으로 확인할 수 있다.

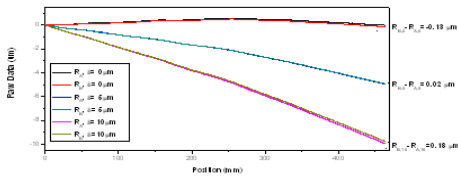


Fig.4 Comparison Raw Data from Each Alignment Error

측정된 정전용량형 변위 센서 결과를 혼합 측차2점법에 적용하여 얻은 운동오차는 Fig.5와 같다. 센서계인의 차이로 인하여 운동오차 결과가 정렬별로 상이함을 알 수 있다. 우선적으로 두 센서계인의 차이로 인한 영향을 확인하기위해 센서 A의 계인을 1로 고정하고 센서 B의 계인을 변경하는 방법으로 보정을 진행하였다.

최소자승법을 이용하여 각 정렬별 센서 측정값의 기울기(ϵ_{ij})를 구하였다. $0\mu\text{m}$ 정렬을 기준으로 각 정렬별 센서 B의 편향($\Delta\epsilon_{i,0}$)과 각 정렬별 두 센서의 측정량의 차이($\Delta\epsilon_i$)를 구할 수 있다. 수식(3)은 이를 이용한 센서계인 보정식이다. 이때 기울기의 하첨자 i 는 각 정렬오차($0, 5, 10\mu\text{m}$)를 나타내며 j 는 각 센서의 명칭(A, B)을 나타낸다.

수식(3)을 바탕으로 구한 센서 B의 계인은 약 1.03이다. 이 계인을 적용하여 혼합 측차2점법을 제적용한 운동오차는 Fig.6과 같다. 이 결과로부터 정렬오차와 센서계인 차이에 상관없이 정확한 운동오차 측정이 가능함을 확인할 수 있었다.

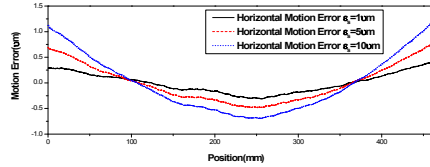


Fig.5 Comparison Horizontal Motion Error

$$\begin{aligned} \epsilon_{i,A} - \epsilon_{i,B} &= \Delta\epsilon_i \\ \epsilon_{i,B} - \epsilon_{0,B} &= \Delta\epsilon_{i,0} \quad (i = 5, 10) \\ G_i &= \frac{\Delta\epsilon_{i,0}}{\Delta\epsilon_{i,0} - (\Delta\epsilon_i - \Delta\epsilon_0)} \quad (i = 5, 10) \quad (3) \end{aligned}$$

4. 결론

본 연구에서는 스트레이트 에지 정렬오차와 센서계인의 차이가 이송테이블의 운동정밀도 측정에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 측정된 변위 데이터의 기울기를 이용한 센서계인 보정식을 제안하여 참조면 정렬오차와 센서계인 차이가 측정정밀도에 미치는 영향을 최소화하려고 하였다.

후기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 “직선운동유닛 정밀도 예측 및 통합 시뮬레이터 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. C.H. Park, Y.J. OH, E. Shamoto, D.W. Lee. Compensation for five DOF Motion errors of hydrostatic feed table by utilizing actively controlled capillaried. *Precis Eng* 2006;30:299-305

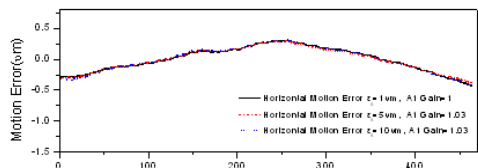


Fig.6 Comparison Horizontal Motion Error After Sensor Gain Compensation