

리니어 모터의 직각도 측정과 대각선 오차 보정에 관한 연구

김준현*, 이창우, 송준엽(한국기계연구원)

A study on the diagonal error compensation and squareness measurement of linear motor

J. H. Kim, C. W. Lee, J. Y. Song(KIMM)

ABSTRACT

This paper introduces an approach of method to compensate accuracy error of diagonal direction. The measurement of squareness error is an important parameter in performance test of two axis Linear Motor and this exerts influence on accuracy error of diagonal test. However, previous knowledge management approaches are limited in deviation measurement of optical axis or restrictive elements of diagonal measurements using laser interferometer. But this proposed method calculated diagonal accuracy error which was occurred by squareness error and compensated squareness error using orthogonal correction method of PMAC. From this result, diagonal accuracy error is significantly reduced. This experimental results show that geometric error of squareness error is easily corrected by dynamic coordinate correction.

Key Words : Squareness error(직각도 오차), Diagonal direction accuracy error(대각선 위치 정밀도 오차)

1. 서론

현재 리니어 모터의 정밀도를 향상시키기 위해 다양한 위치 제어 방법과 시스템 구성 모델링이 이루어지고 있으며, 이에 수반되어 정밀 측정의 중요성도 부각되고 있다. 그러나 리니어 모터가 고정밀을 추구함에 따라 여러 가지 오차가 수반되며 그 중 기하학적 오차와 같은 부분은 임의 오차와는 달리 보정하는 관점에서 측정을 통한 원인규명이 쉽고 오차가 명확히 파악되므로 보정을 통해 쉽게 정밀도를 향상 시킬 수 있다. 본 연구에서는 크로스형 리니어 모터의 대각선 테스트에서 발생한 정확도 오차가 직각도 오차에 의해 발생됨을 보이고, 직각도를 기구학적 교정이 아닌 PMAC를 이용한 직교축 교정을 통하여 대각선 테스트에서 발생하는 위치 정밀도 오차를 보정하였다.

2. 직각도 측정

직각도는 서로 직각이어야 하는 기계 부분의 두 축이 90° 를 기준으로 한 완전한 직각으로부터 벗어난 크기를 말한다. 본 실험에서는 측정을 위해 레이저 간섭계용 광학 직각 장비를 이용하였으며 설치에 의해 발생할 수 있는 오차(Angular misalignment error)를 줄이고 보다 정밀한 측정을 위해 레이저 헤드와 반사경을 움직이지 않는 방법(Horizontal-to-horizontal squareness measurement align method)을 이용하였다. 실험은 각 축 방향으로 광학 직각 장비가 설치되어 있는 위치를 제외하고 진직도를 측정하였으며 Fig.1에 리니어 모터의 직각도 실험 결과를 보였다.

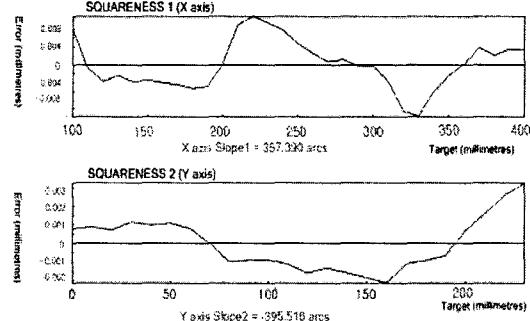


Fig. 1 The squareness analysis plot of Linear Motor

측정 결과 X축은 이상적인 직교좌표계(Cartesian Coordinate)로부터 0.099° , Y축은 0.109° 벗어나 있었으며 광학 직각 장비가 가지고 있는 프리즘 오차(Prism error)를 고려한 직각도 오차는 0.2097° 임을 알 수 있었다.

레이저 간섭계를 이용한 직각도 실험 결과의 검증을 위해 그리드 플레이트(Heidenhain KGM181)를 이용한 원테스트 실험을 하였으며, Fig.2에 윤곽오차 실험 시 직각도 오차에 의해 발생하는 특성 결과를 보였다. 원테스트 분석 결과 스틱션 오차(stiction error)가 발생하는 부분을 제외한 직각도 오차는 측정 반경에 관계없이 평균 0.2119° 의 결과 값이 나왔으며 이는 레이저 간섭계의 측정값(0.2097°)과 거의 동일한 값임을 알 수 있었다.

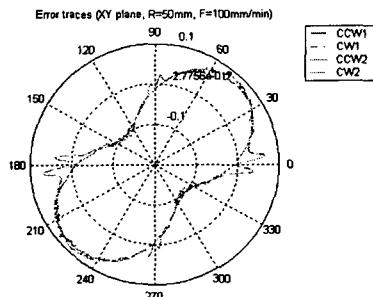


Fig.2 Trace pattern caused by a squareness error

3. 대각선 방향 위치 결정 반복 정밀도

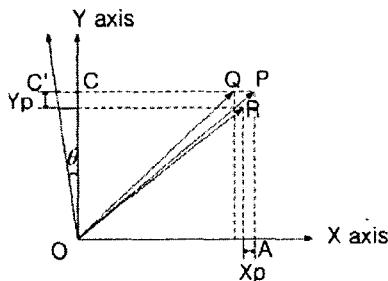


Fig.3 Diagonal accuracy error by a squareness error

Fig. 3은 직각도 오차(θ)에 의해 발생되는 대각선 방향에서의 위치 정밀도 오차(Δ)의 관계를 나타낸 것이다.

먼저 대각선 방향의 위치 정밀도 오차 실험에 앞서 X축과 Y축의 위치 결정·반복 정밀도 실험을 하였다. 측정 결과 X축은 $-62\mu m$ (X_p), Y축은 $-65\mu m$ (Y_p)가 측정되었으며, 이 값이 대각선 방향의 위치 정밀도 오차에 주는 영향은 $88.6\mu m$ ($\overline{OP} - \overline{OR}$)로 실제 대각선 방향의 위치 결정 오차 실험값인 $894\mu m$ (\overline{OP})에 비해 상당히 작은 값임을 알 수 있었다.

$$\Delta = \overline{OP} - \overline{OQ}$$

$$= \sqrt{\overline{OA}^2 + \overline{OC}^2} - \sqrt{(\overline{OA})^2 + \left(\frac{\overline{OC}}{\cos\theta}\right)^2} - 2(\overline{OA})\left(\frac{\overline{OC}}{\cos\theta}\right)\cos(90-\theta) \quad (1)$$

식 (1)은 직각도 오차에 의해 발생한 대각선 방향에서의 위치 결정 오차 계산식을 보인 것이다.

식(1)을 이용하여 X축 행정(\overline{OA})이 $400mm$ 이고 Y축 행정(\overline{OC})이 $300mm$ 인 경우 직각도 오차($\theta = 0.2097'$)가 발생함에 의해 대각선 위치 정밀도 오차(Δ)는 $878\mu m$ 가 발생됨을 알 수 있었다.

이를 보정하기 위해 앞서 설명한 PMAC을 이용하여 직교축 교정을 하였으며, 레이저 간섭계를 이용하여 대각선 방향에서의 위치 정밀도 오차를 교정 전·후 측정하여 Fig.3에 나타내었다.

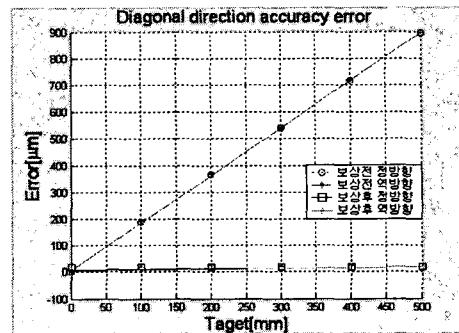


Fig.4 Diagonal direction accuracy and repeatability

좌표축 교정 방법은 PMAC에서 X축과 Y축 모터의 5000cts가 $1mm$ 라고 했을 때 각 축은 #1->5000X-18, #2Y, #2->5000Y로 좌표계를 재정의 할 수 있으며, 교정 후 대각선 방향에서의 위치 정밀도가 $18\mu m$ 까지 줄었다. 이는 보상전 오차값인 $894\mu m$ 에서 직각도에 의한 오차(Δ) $878\mu m$ 을 뺀 $16\mu m$ 과 거의 동일한 값임을 측정 결과 분석 후 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 직선 이송 기구의 성능을 평가하기 위한 직각도 실험에서 레이저 간섭계와 그리드 플레이트를 이용하여 실험을 하였으며, 이 직각도 오차에 의한 대각선 방향에서의 위치 결정 오차의 성능 예측 및 비교 평가를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 직각도 실험으로부터 크로스 타입의 2축 리니어 모터가 이상적인 직교 좌표계로부터 벗어난 크기를 알 수 있었으며 이는 레이저 간섭계와 그리드 플레이트를 통한 윤곽오차 실험에서 동일한 값임을 알 수 있었다.

둘째, 리니어 모터의 성능 평가 실험에서 발생한 대각선 방향에서의 위치 결정 정밀도 오차가 직각도에 의해 발생한다는 것을 계산과 실험을 통해 이를 확인하였으며 기구학적 교정이 아닌 간단한 좌표축 교정을 통하여 대각선 방향에서의 위치 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

1. Kakino, Y.Ihara, A.Shinohara, "Accuracy Inspection of NC Machine Tools by Double Ball Bar Method", Edited by DR.Johannes HEIDENHAIN GmbH, 1984.
2. Mark A.V.Chapman "Limitation of laser diagonal measurements" Precision Engineering 27(2003)
3. O. PRAKASH, R.S.RAM "Measurement of deviation of the microscope stage from squareness to the optical axis" J.Optics(Paris).1996.vol.27 n°1 p31-33
4. H.Takabayashi, "Squareness measurement", Research and Development Division, Anritsu Electric Company Limited, 1975