

Wollaston prism 과 PSD 기반의 회전 테이블 기하학적 오차 측정 시스템 개발

Development of a Measurement System for Geometric Errors of a Rotary Table based on Wollaston Prism and PSD

*이광일¹, 자야크리시난 수바라야루¹, #양승한¹

*K. I. LEE¹, S. JAYAKRISHNAN¹, #S. H. YANG(syang@knu.ac.kr)¹

¹ 경북대학교 기계공학부

Key words : Rotary table, Geometric errors, Wollaston prism, Position sensitive device

1. 서론

회전 테이블은 end-effector 의 유연한 자세 결정을 위하여, 5 축 공작기계와 여러 이송 시스템에서 널리 사용되고 있다. 그러나 회전 테이블 자체의 오차인 기하학적 오차는 end-effector 의 자세 결정에 악영향을 나타낸다. 회전 테이블의 기하학적 오차 측정을 위하여 레이저 간섭계와 정밀 인덱스, 오토콜리메이터와 폴리곤 미러 및 LVDT 기반의 연구가 있다.^{1,2} 그러나 고가의 측정장비, 복잡한 셋업 과정 및 오랜 측정시간을 필요로 한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 볼바를 사용한 회전 테이블의 기하학적 오차 측정이 진행되고 있으나, 측정시 직선 이송축을 필요로 한다.³

본 논문에서는 회전 테이블의 6 개 기하학적 오차를 측정하기 위하여 wollaston prism, PSD 그리고 레이저 다이오드(laser diode)로 구성된 측정 시스템을 제안하고 타당성을 검증한다. 저가의 측정구성 요소로 이루어진 측정 시스템은 6 개의 기하학적 오차를 측정하기 위하여 2 회의 셋업만을 필요로 하는 장점을 나타낸다.

2. 기하학적 오차 측정 시스템

회전 테이블 C 는 절대 좌표계 {F}의 z 축에 대한 회전을 추종하도록 설계, 제작되고 있다. 그러나 여러 오차 요인에 의하여 예상하지 못한 거동을 하며, 이는 회전각 c 에 종속적인 6 개의 기하학적 오차(δ_{xc} , δ_{yc} , δ_{zc} , ϵ_{xc} , ϵ_{yc} , ϵ_{zc})를 사용하여 나타낸다.^{4,5}

회전 테이블의 6 개 기하학적 오차를 위한 측정시스템은 Fig. 1 에 나타낸 바와 같다. 레이저 다이오드에서 방출된 광선 l_d 은 빔-스플리터인 wollaston prism 에 의하여 특정 끼인각을 나타내는 2 개의 광선 l_1, l_2 으로 분리되어 PSD 에 투영점 P_1, P_2 이 된다. 여기서 광선은 xz-평면에 위치한다. 또한 wollaston prism 을 90° 회전하여 yz-평면에 위치하는 광선 l_3, l_4 및 투영점 P_3, P_4 을 측정한다. 4 개의 투영점과 기하학적 오차의 관계를 나타내기 위해 직선-평면 방정식과 동차변환행렬(homogenous transformation matrix)을 사용한다.

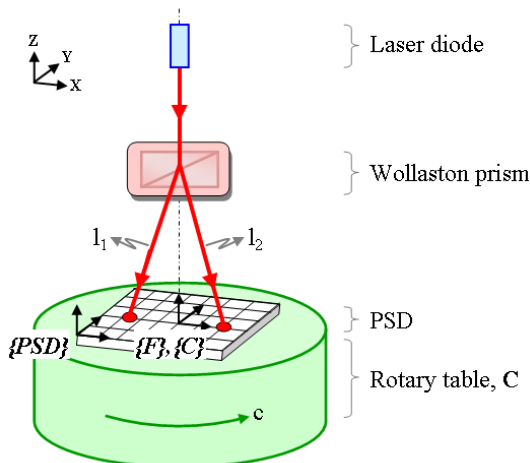


Fig. 1 Configuration of measurement system

2.1 xz-평면에서의 측정

Wollaston prism 을 사용하여 광선 l_1, l_2 을 Fig. 2 와 같이 xz-평면에 위치시키는 경우 레이저 다이오드와 회전축 간의 초기 셋업 오차 α 는 식 (1)과 같다. 또한 광선 l_1, l_2 는 식 (2)와 같이 주어진다. 여기서 2ϕ 는 광선 l_1, l_2 사이의 끼인각을 나타내며, m_1, m_2 는 투영점 $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2)$ 와 레이저 다이오드에서 방출된 광선 l_d 사이의 거리이다.

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{-(m_{11} + m_{12})}{(m_{11} - m_{12}) \tan \phi} \right\} \quad (1)$$

$$l_1 : (t_1, 0, (t_1 + m_{11}) \tan \beta) \quad (2)$$

$$l_2 : (t_2, 0, (t_2 - m_{12}) \tan \beta)$$

2.2 yz-평면에서의 측정

Wollaston prism 을 90° 회전하는 경우 Fig. 3 에 나타낸 바와 같이 광선 l_3, l_4 와 투영점 $P_3(x_3, y_3), P_4(x_4, y_4)$ 는 yz-평면에 위치하며 식 (3)과 같이 정의된다.

$$l_3 : (0, t_3, (t_3 + m_{21}) \tan \beta) \quad (3)$$

$$l_4 : (0, t_4, (t_4 - m_{22}) \tan \beta)$$

기하학적 오차에 의하여 왜곡된 회전 테이블의 자세 T_C^F 는 식 (4)와 같이 정의되며, PSD 상단면의 평면 방정식은 식 (5)가 된다.

$$T_C^F = \begin{bmatrix} 1 & -\epsilon_{zc} & \epsilon_{yc} & \delta_{xc} \\ \epsilon_{zc} & 1 & -\epsilon_{xc} & \delta_{yc} \\ -\epsilon_{yc} & \epsilon_{xc} & 1 & \delta_{zc} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos c & -\sin c & 0 & 0 \\ \sin c & \cos c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\epsilon_y x - \epsilon_x y + z - \delta_z = 0 \quad (5)$$

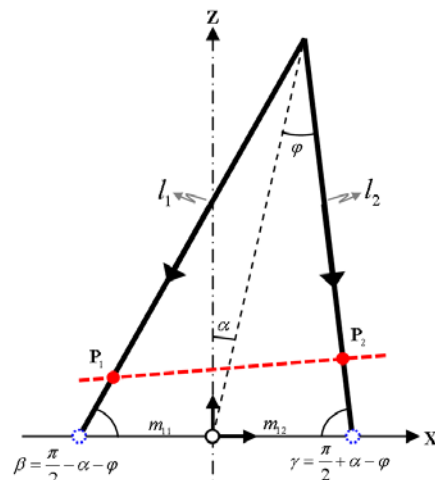


Fig. 2 Mathematical model for measurement at xz-plane

