

연 X-선 결상현미경 시스템의 조명광학소자 나노위치 제어에 관한 연구

A Study on Nano-Positioning Control of Condenser Mirror for Soft X-ray Microscopy System

김규겸*, 민중환, 김경우, 권영만, 윤권하, 김재희**, 민진영***

원광대학교 익산방사선 영상과학연구소*, 전북대학교 정밀기계공학과**, (주)리시스템***

kgkim@wonkwang.ac.kr

연 X-선 결상 현미경 시스템은 생명현상을 나노단위의 구조와 기능적 본질을 탐구할 수 있는 첨단 현미경 장치로 100nm 해상도를 목표로 개발중에 있다. 이러한 연 X-선 결상 현미경 시스템의 생체시료 조명을 위한 광학소자의 정렬을 위해서는 5축 자유도를 갖는 구동장치의 개발과 나노위치 제어가 요구된다. 본 연구에서는 50nm 분해능을 갖는 개별 구동장치를 적층 구성하여 5축자유도를 갖는 구동장치를 개발하였으며, 역기구학을 이용한 제어 알고리즘을 통하여 나노 위치제어가 가능하였다. 제안된 5축 구동장치의 성능평가와 실험결과를 보이며, 조명 광학소자의 정렬에러를 고찰하였다.

100nm 해상도의 연 X-선 결상 현미경 시스템의 개발은 살아 있는 생체시료의 내부구조와 외부구조를 동시에 모두 관찰이 가능하다는 점과 높은 해상도를 가지는 장점 때문에 생물학적인 기능과 구조적인 연구에 커다란 공헌을 가져올 것으로 생각된다. 장치구성은 Laser 플라즈마를 이용한 X-선 광원 발생장치, 진공환경을 위한 챔버 시스템, X-선 광학소자, 생체시료의 유지 및 교체를 위한 시스템, CCD 검출기 시스템, 나노위치 제어시스템 등으로 구성된다. 연 X-선을 대상 시료 내에 조명하기 위한 광학계는 두개의 타원형 거울의 조합을 가지는 Double Ellipsoid 광학소자를 사용한다. X-선을 대상 시료 내에 정확한 condensing을 위해서는 5자유도가 필요하며 이를 위해서 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 회전운동 A, B축 위에 직선운동 X, Y, Z축이 놓이는 구조로 5축 스테이지를 설계 제작하였다. Condenser 미러의 정확한 위치와 각 축들의 이동량을 파악하기 위해서 Fig. 1과 같이 스테이지의 좌표계를 구성하고, 동차변환행렬(Homogeneous transformation matrix)을 이용하여 기구학적 해석을 수행하였다.

좌표계의 설정은 스테이지가 미러 챔버 내에 고정되는 고정부를 {B}, 회전축은 각각 {Rx},{Ry}, 직선운동을 하는 {X},{Y},{Z}는 한 점에 위치하도록 구성하였고, {O'}는 최종목표 위치의 좌표계이다.

d_1, d_2, d_3 는 각 좌표계간의 옵셋 거리이고, d_4 는 X-선 중심축과 스테이지 중심축간의 거리로 설정하였다.

Condenser 미러의 위치 x, y, z 와 방위 a_x, a_y, a_z 라 하고, 스테이지의 각 축 값을 X, Y, Z, A, B라고 할 때 (X, Y, Z, A, B)로부터 (x, y, z, a_x, a_y, a_z) 를 구하는 것을 정기구학(direct kinematic)이라하고 그 역을 역기구학(Inverse kinematic)이라한다. 동차변환행렬을 이용한 Condenser 미러 스테이지의 정기구학 해는 다음 식과 같다.

$$x = XcB + (Z + d_3)sB$$

$$y = XsAsB + YcA - (Z + d_3)sAcB - d_2sA + d_4cA \quad (1)$$

$$z = -XcAsB + YsA + (Z + d_3)cAcB + d_2cA + d_4sA$$

$$a_x = sB, \quad a_y = -sA cB, \quad a_z = cA cB$$

여기서, $sA = \sin A$, $cA = \cos A$, $sB = \sin B$, $cB = \cos B$ 이다.
 식 (1)로부터 구한 역기구학 해는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A = \text{Atan2}(-a_y, a_z), \quad B = \text{Atan2}(a_x, a_z/cA)$$

$$X = xcB + ysAsB - zcAsB + d_2sB \tag{2}$$

$$Y = \{y - XsAsB + (Z + d_3)sAcB + d_2sA\}/cA - d_4$$

$$Z = xsB - ysA cB + zcAcB - d_2cB - d_3$$

제안된 5축 자유도를 갖는 Condense 미러의 구동시스템의 성능평가와 실험결과는 본 논문에서 자세히 보이고자 하며, 그림 2는 역기구학을 이용한 통합된 제어프로그램을 나타내고 있다. 각 구동장치의 위치 변화량은 엔코더 센서를 통해 피드백되어 PID 제어가 이루어지며, 이동 좌표 설정에 따른 각축의 이동량은 역기구학에 의해 계산되어 Condenser 미러의 조명 제어가 이루어진다. 설계된 Condenser 미러의 정렬 오차범위를 고려하여 조명 손실에 대하여 고찰 하였다.

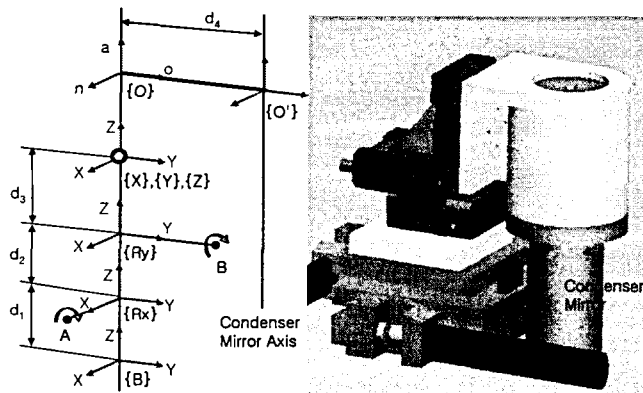


Fig. 1 Condenser mirror modeling and frame assignments for condenser mirror stage

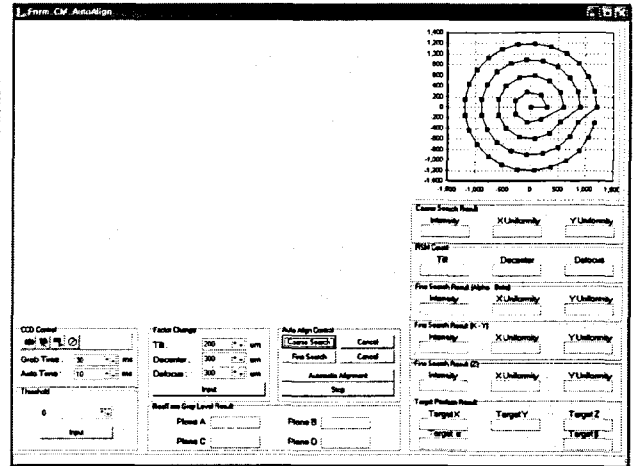


Fig. 2 Integrated program for control of condenser mirror

Reference

1. Berglund M, Rymell L, Peuker M, Wilhein T and Hertz H M (2000) J. Microscopy 197: 268
2. Johansson G, Holmberg A, Hertz H M and Berglund M (2002) Rev. Sci.Instrum. 73: 1193
3. Yoon K H, Kim K W, Shin Y D and Namba Y (2000) 7th International Conf. on X-ray Microscopy

