

Consideration for Image Distortion in the Electron Tomography

김진규, 이상희, 김윤중

한국기초과학지원연구원 전자현미경연구부 HVEM 운영팀

최근에 TEM을 이용한 2차원적인 구조분석의 단점을 보완하고자 고경사각 기울기를 이용한 3차원적 구조분석법이 의생물 분야 뿐만 아니라 재료분야에서도 폭넓게 이용되고 있다. 하지만, 정량적인 3차원적 구조복원을 위해서는 시료지지대의 정밀도 및 경사각의 범위, 빔의 정렬, detector의 성능과 같은 여러 가지의 요소가 분해능에 영향을 미치고 있기 때문에 연구자의 실험조건 및 관찰이 필요하다.

이중에서도 다른 요소에 비해 연구자에 의해 영향을 미칠 수 있는 부분은 빔의 정렬수준이다. 기본적으로 빔은 정확하게 정렬이 되어 있어야 하며, 렌즈 수차의 보정을 통하여 이미지의 왜곡을 최소화하여야 한다. TEM 내부에서 시료를 통과한 전자빔은 대물렌즈에 의해 영상면에 확대된 시료의 이미지를 형성하며, 이러한 과정을 통하여 이미지의 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡은 일반적으로 pincushion, barrel, spiral 형태로 존재하지만, 최근의 개발된 대개의 TEM 장비에서는 거의 영향이 미치지 않는다고 보고되었다[1,2,3]. 또한, 투영렌즈에 의해 발생하는 ellipse 형태의 왜곡은 조절이 힘들기 때문에 연구자에 의해 장비특성을 파악하여 실험 후 각각의 이미지에 대하여 보정이 가능하다[4].

이와 달리 본 연구에서는 3차원적 구조 복원을 위해 고경사각 기울기에 연속적인 이미지의 획득의 경우에 발생하는 이미지의 왜곡에 대해서 논의하고자 한다. 현재 사용되는 구조복원용 프로그램에는 이러한 이미지의 왜곡에 대한 보정기능이 삽입되어 있다. 그러한 경우에는 시료에 특별한 표식을 나타낼 수 있는 나노 입자가 필요하다. 의생물 분야와 달리 재료 분야에서의 3차원적 구조분석에서는 이러한 나노입자의 사용이 힘든 경우가 대부분이기 때문에, 시료의 기울기에 의한 왜곡이 보정되지 않으면 차후 복원된 3차원적 구조체도 역시 왜곡현상을 보일 수 있다.

본 연구를 위해 배울 및 회절도형의 보정에 사용되는 표준시료인 우Replica (2160 lines/mm)를 사용하여 고경사각 기울기가 가능한 초고전압투과전자현미경 (JEM-ARM 1300 s, 1250 kV)을 이용하여 평가를 시도하였다. 우선 시료에 대하여 0°에서 55°까지 5°간격으로 이미지를 획득하였고, 연속적인 이미지에 대하여 Tietz 프로그램을 이용하여 시료의 기울기 축을 정확히 설정하였다. 고경사각에 따른 상대적인 평가를 위해 0°에서 획득한 이미지의 수평축을 기준으로 각각의 경사각에 따른 이미지의 공통된 수직 축의 line을 각도를 측정하여 이미지의 왜곡을 평가하였다(Fig. 1).

분석 결과, 55°에서 획득한 이미지는 초기의 이미지에 비해 약 2.3°의 뒤틀림이 인해서 대략 4% 정도의 왜곡이 발생함을 알 수 있었다. 또한 이러한 왜곡현상은 기울기 축으로부터 벗어나 있는 시료의 끝부분일수록 심하게 나타나기 때문에 배율과 분석 시료의 크기에 의존을 할 것으로 사료된다. 이러한 현상은 대물렌즈의 비점수차의 틀어짐의 영향보다는 고정사각에서는 시료를 통과한 전자빔의 진행거리가 상이하게 되고 이러한 전자빔들이 자기렌즈의 영향을 받아 나선형 운동을 하면서 영상면에 이미지를 형성하는 과정에서 발생하는 것으로 사료된다.

References

- [1] P. Hirsch, A. Howie, R. Nicholson, D.W. Pashley, M.J. Whelan, Electron Microscopy of Thin Crystals, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1977.
- [2] K, Tsuno, Y. Harada, J. Phys. Eng : Sci. Instrum. 15 : 313, 1981.
- [3] K. Tsuda, M. Tanaka, Acta Cryst. A(55) : 939, 1999.
- [4] G.C. Capitani, P. Oleynikov, S. Hovmoller, M. Mellini, Ultramicroscopy 106 : 66-74, 2006.

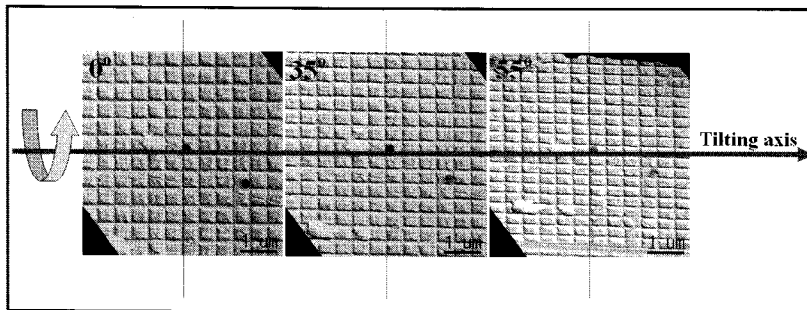


Fig. 1. Evaluation of image distortion from the tilting series of the Replica specimen. The images were collected at tilt angles ranging from 0° to 55° in a 5° step. The horizontal arrow shows the tilting axis determined from aligned tilt-series images by using Tietz program. The vertical solid lines (red) shows distortion angles.