

이미지 프로세싱 기법을 적용한 전자빔 자동형상측정 알고리즘 개발

The Development of Automatic Measurement Algorithm of Electron Beam Image using Image Processing Technique

**홍원표, 김승태, 신화량, 이석우, 최헌종

*#W. P. Hong(wonpyodr@kitech.re.kr), S. T. Kim, H. R. Shin, S. W. Lee, H. Z. Choi
한국생산기술연구원 융합생산기술연구부

Key words : SEM(Scanning Electron Microscope), Secondary electron, IPT(Image Processing Technique), Edge Detection

1. 서론

최근 나노기술의 발전에 따라 측정 기술 또한 발전하고 있는 추세로 이러한 현상은 기존 광학 기술로는 측정이 불가능한 영역까지 확대되고 있다. 마이크로, 나노와 같이 미세한 영역에서는 작은 측정오차 또한 크게 확대될 수 있기 때문에 특히 정확한 측정 및 해석기술이 요구되고 있다. 이에 따라 분석 장비의 성능을 높이기 위한 관련 기술의 연구가 활발히 진행중이다.

주사전자현미경(SEM)은 기존 광학현미경의 측정 한계를 극복하기 위하여 전자빔을 사용함으로써 분해능을 획기적으로 향상시킨 측정장비로 공학, 바이오 및 의학 분야에 이르기까지 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나 현재까지 그 측정 범위는 샘플의 단순한 이미지만을 관찰할 수 있는 것으로 형상 및 크기 정보의 취득에는 제한이 있다.

현재 전자빔 장비는 모니터에 표시된 이미지 상에서 사용자가 직접 측정 지점을 선택하여 측정하므로 사용자의 선택에 대하여 전적으로 영향을 크게 받는다. 이는 최근의 추세인 측정 샘플의 미세화가 진행될수록 작은 측정오차가 매우 큰 영향을 야기할 수 있으므로 매우 중요한 사항이다.

이에 본 연구에서는 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용하여 전자빔 장비로부터 획득된 측정 이미지를 분석하여 가공 형상 및 크기를 자동으로 측정할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였다.

2. 이미지 측정 알고리즘

2.1 전자빔 이미지 활용 기본 도형 측정 알고리즘

전자빔 이미지는 시료 표면에서 발생한 2차전자를 검출하여 모니터상에 디스플레이하는 것으로, 시료의 에지(Edge) 부분에서는 더 많은 2차전자가 발생되어 화면상에 밝게 표시된다. 이러한 기본원리에 근거하여 이미지 프로세싱 기법으로 측정이미지의 에지부분을 추출 및 분석할 수 있다. Fig. 1 은 이미지 측정을 위한 흐름도로 전자빔 이미지로부터 에지를 검출하고 이로부터 에지 라인을 생성하여 시료의 형상 정보를 취득할 수 있는 알고리즘을 보여준다.

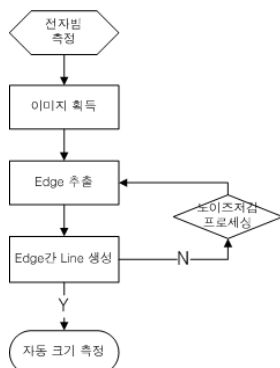


Fig. 1 Automatic measurement algorithm of electron beam image using image processing technique

2.2 에지 검출(Edge detection)

전자빔 측정 이미지를 대상으로 효율적인 에지 검출 방법의 선정을 위하여 Sobel, LoG, Canny 방법의 비교를 수행하였다. Sobel 기법은 1차 미분 G_x, G_y 을 디지털로 근사화 하기 위한 마스크를 사용하며, 이웃한 화소간의 x, y 한 방향에 기울기 검출을 수행한다. 주로 간단한 이미지의 검출에 사용되며 높은 성능을 보여주지는 못하고 있다. 또한, LoG 기법은 Sobel과 거의 비슷한 형태의 마스크를 사용하며 에지 검출전 Gaussian 노이즈 필터를 사용하는 기법으로 잡음에 너무 민감한 단점을 가지고 있다.

Canny 기법은 가장 좋은 성능을 보여주는 것으로 알려져 있으며 Sobel, LoG 기법과의 가장 큰 차이점은 두개의 문턱값(Threshold)을 사용하여 에지를 검출하는 것이다. 기본 알고리즘은 다음과 같다.

1. 가우시안 마스크로 영상을 회전
2. 각각의 결과 화소들에서 기울기 요소를 계산
3. 각 화소에서 기울기 방향을 계산
4. 각 화소 기울기 방향을 따라서 2차 미분을 계산
5. 2차미분에서 0값의 위치 선정
6. 0의 값을 가진 점들을 에지점으로 분류

Table 1에 전자빔 장비로부터의 측정이미지에 대하여 각 에지 검출 기법별 차이점을 나타내었다. Sobel 기법이 간단한 영상에서는 좋은 효과를 보이나, 전반적으로는 Canny 기법이 에지 검출에 가장 좋은 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다.

	Original	Canny	LoG	Sobel
10 μ m × 10 μ m				
1 μ m × 1 μ m				
500nm × 500nm				

Table 1. Comparison of Canny, Log, Sobel edge detection

2.3 자동측정 알고리즘

주사전자현미경의 이미지는 Fig. 2와 같이 시료와 모니터상의 화소들간에 일대일 대응 관계를 나타낸다.

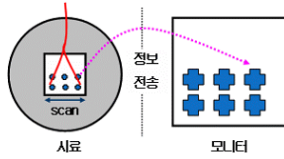


Fig. 2 Relationship between electron beam scan area and CRT display

즉, 배율은 사용자가 시료를 관찰하는 화면의 크기(고정값)에 대한 시료 표면에서의 주사 영역 크기비로 결정될 수 있다. 화면의 가로길이를 L_{CRT} , 시료 표면에서 전자빔의 가로 주사길이를 $L_{시료}$ 라고 하면 배율 M 은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{L_{CRT}}{L_{시료}}$$

관찰용 화면은 일반적으로 CRT 또는 LCD 모니터를 사용하는 데 이들의 화면은 작은 단위소자(화소, pixel)들로 이루어져 있으며, 모니터상에서 화소 1개의 크기는 화면의 크기로부터 쉽게 얻어질 수 있다. 시료면의 주사영역과 모니터는 일대일 대응 관계를 가지므로 시료면상에서의 화소의 개수는 모니터의 화소 개수와 같고 시료면상에서의 화소의 크기 (D_{PE})는 배율(M)에 의해 결정되며 다음식과 같은 관계를 가진다.

$$D_{PE} = \frac{L_{시료}}{N_{PE}} = \frac{L_{CRT}}{M \times N_{PE}}$$

N_{PE} : 한 주사선에서의 화소의 개수

이로부터 Table 2와 같이 배율별로 화소의 크기가 결정된다.(1,000×1,000 주사와 10cm×10cm 모니터를 가정한 배율별 화소의 크기)

Table 2. Pixel size by Magnification

배율	화소의 크기 (D_{PE})
10 ×	12 μ m
100 ×	12 μ m
1,000 ×	120nm
10,000 ×	12nm
100,000 ×	1.2nm

3. 전자빔 이미지 자동측정

Fig. 3은 원형 및 사각형상으로 가공된 시료의 자동측정 결과이다. 실험을 위하여 NOVA200 FIB 장비를 사용하여 각각 직경 및 폭 1 μ m 가공지령치의 원과 사각 형상을 DLC소재 위에 가공하였다. 가공된 시료에 대하여 전자빔 장비로 이미지를 획득하고 Canny 기법을 이용하여 에지를 추출하였다. 추출된 에지를 연결하여 가공형상을 표시하였으며, 각 에지 사이에 존재하는 화소(Pixel)의 개수를 이용하여 형상의 크기를 자동 측정하였다. 결과에 대한 검증용 위하여 PSIA사 XE-100 AFM 장비의 결과와 비교하였다. 자동크기측정 결과 값이 원 1.428 μ m, 사각 1.368 μ m로 측정되었으며, AFM 측정값 또한 원 1.411 μ m, 사각 1.359 μ m의 결과를 보여줌으로써 실제 가공 자체가 지령치보다 크게 가공되었음을 확인할 수 있었다.

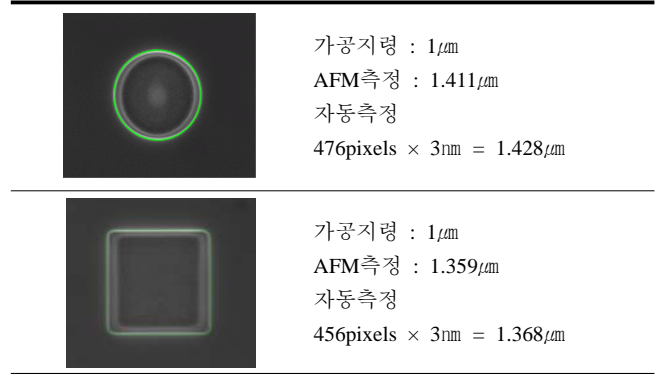


Fig. 3 Pattern creation and automatic measurement result of electron beam image

4. 결론

본 논문에서는 수 μ m 이하 미세영역의 효율적인 측정방법을 위하여 이미지프로세싱 기법을 적용한 자동측정 알고리즘을 제안하였으며 실험을 통하여 적용 가능 여부를 검토하였다. 전자빔 장비의 미세영역 측정은 사용자의 숙련도에 의존하는 형태로 현재 진행되고 있어 사용자의 개인차에 의한 측정 오차가 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 연구의 알고리즘을 적용하여 전자빔으로 획득된 이미지의 처리로 자동으로 시료형상의 생성 및 크기를 측정함으로써 개인차에 의해 발생할 수 있는 오차율을 최소화 및 측정시 발생하는 시간 손실 방지에 기여할 것으로 기대된다.

본 논문에서 제안한 자동측정 알고리즘은 현상적인 측면을 검증한 것으로 본 알고리즘의 정밀도 향상 및 실험적인 검증용 통한 측정정밀도의 신뢰성 확보가 추가적으로 요구된다.

후기

본 연구는 지식경제부의 “다중칼럼 방식의 고효율 전자빔 응용 In-line 시스템 및 공정기술 개발” 과제 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Reimer, L., Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, PTR Prentice Hall, 1998.
2. 황인옥, 김재천, 주사전자현미경의 기초, 피어슨 에듀케이션, 1994.
3. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2002
4. 허경무, 박세혁, 강수민, “떡함수 변환과 히스토그램 지정을 사용하여 정확도를 향상시킨 Vision 검사 방법 개발,” 전자공학회 논문지, 제 44 권 SC편 제 5 호, 2007.