

주사 전자 현미경에서 빔 전류의 제어 Beam Current Control in

*,#임선종¹, 이찬홍¹

*,#S. J. Lim(sjlim@kimm.re.kr)¹, C. H. Lee¹

¹ 한국기계연구원 지능형 생산시스템 연구본부

Key words : Scanning Electron Microscopy, Condenser lens, Focal length, Crossover, Beam current control, Beam blanking

1. 서론

주사 전자 현미경을 기반으로 하는 전자빔 가공 시스템의 경우 가공 패턴에 따라 빔을 차단하는 빔 블랭킹 기능과 스테이지 위치 제어 그리고 패턴 제너레이터 기능 등이 필요하다. 빔 블랭킹은 정전기 방식의 고속 스위칭 기능을 갖는 것이 쓰이고 있다. 이것은 정전기를 이용해 빔을 편향판으로 끌어 당겨 빔을 차단하는 방법이다. 편향판에 닿은 빔은 접지를 통해 흘러가게 된다. 스테이지 위치 제어와 패턴 제너레이터 기능은 가공 패턴에 따라 스테이지와 빔 블랭킹을 동기하는 프로그램을 생성하는 기능이다.

본 연구는 집속 렌즈의 스팟 사이즈 제어 기능을 이용해 가공 표면에 도달하는 빔 전류를 줄이므로 해서 가공이 이루어지지 않도록 하는 빔 전류 제어기를 제안하고 있다. 이것은 집속 렌즈의 focal length 를 이용하는 것으로 고속 스위칭에 적합하지 않으나 저속에서 추가적인 장치를 필요로 하지 않는다.

2. 전자 렌즈의 focal length

Focal length 는 폴피스에 의한 프린징 자장으로 전자빔 휘게 되어 렌즈의 중심축을 가로지르게 되는데 이 위치를 가리킨다. 전자빔 가공기의 개발을 위해 개발된 주사 전자 현미경에서 focal length 형성은 Fig. 1 과 같다. Fig. 1 은 단지 focal length 의 형성에 대해 기하학적인 설명을 위한 것으로 폴피스와 슬리브 및 어퍼처의 영향을 제외한 것이다. 각 변수에 대한 설명은 다음과 같다.[1-4]

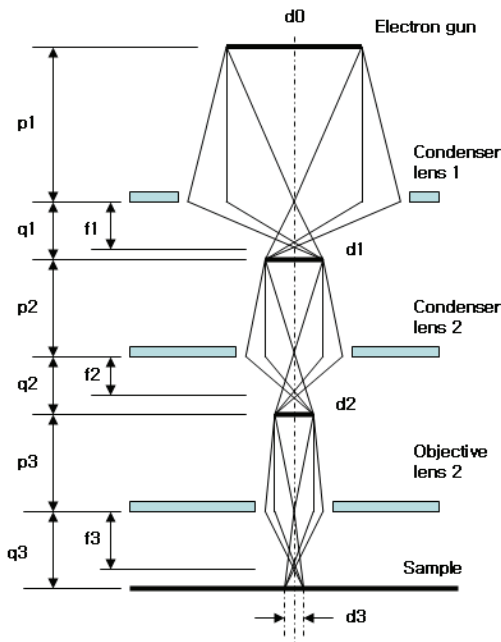


Fig. 1 Geometrical analysis of electron beam path

$p1$: 전자총의 크로스오버에서 집속 렌즈 1 까지의 거리

- $q1$: 집속 렌즈 1 에서 크로스오버 $d1$ 까지의 거리
- $f1$: 집속 렌즈에 의한 focal length
- $p2$: 크로스오버 $d1$ 에서 집속 렌즈 2 까지의 거리
- $q2$: 집속 렌즈 2 에서 크로스오버 $d2$ 까지의 거리
- $f2$: 집속 렌즈 2 에 의한 focal length
- $p3$: 크로스오버 $d2$ 에서 대물 렌즈까지의 거리
- $q3$: 대물 렌즈에서 시료까지의 거리
- $f3$: 대물 렌즈에 의한 focal length

3. Focal length 와 렌즈 전류와 관계

폴피스에 의해 발생된 프린징 자장 내에서 자속 밀도 B , 전자의 속도 v 그리고 전자에 미치는 힘 F 의 관계는 식 (1)와 같으며 이것은 회전 방향과 축의 방향으로 나누면 식 (2) 및 식 (3)과 같다. 이것은 그림으로 나타내면 Fig. 2 와 같다.

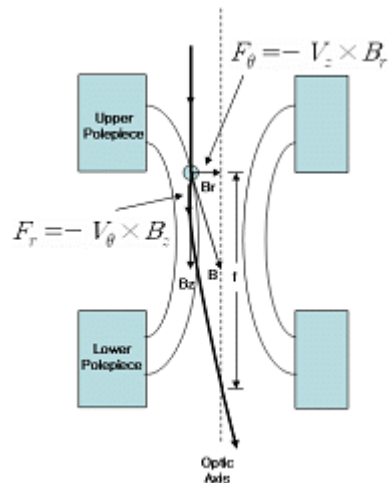


Fig. 2 The force on an electron

$$F = -e(V \times B) \quad (1)$$

$$F_\theta = -V_z \times B_r \quad (2)$$

$$F_r = -V_\theta \times B_z \quad (3)$$

렌즈, focal length, 렌즈의 권선수 및 렌즈의 전류는 식 (4)의 관계가 있다.

$$f = V_0 / (NI)^2 \quad (4)$$

위의 식에서 알 수 있는 바와 같이 렌즈에 흐르는 전류가 크면 클수록 focal length 는 짧아지며 크로스오버의 위치는 렌즈의 중심으로 이동한다. 따라서 스팟 사이즈를 결정하는 집속 렌즈에서 크로스오버를 렌즈의 중심쪽으로 이동하면 슬리브 혹은 어퍼처에 닿는 전자빔이 많아지게 된다. 결국 가공 시편에 닿는 전자빔의 양이 작아지고 전류량도 작아지게 된다. 이러한 전류량을 시편 가공에 필요한 전류량 이하로 제어하게 되면 전자빔을 차단하는 효과를

볼 수 있게 된다.

4. 집속 렌즈와 전류량 제어를 위한 스위칭 회로

주사 전자현미경에서 집속 렌즈의 focal length 를 이용해 전류량을 제어하기 위한 스위칭 회로의 다이어그램이 Fig. 3 에 있다. 주사 전자 현미경에서 사용하는 경우 집속 렌즈 는 스팟 사이즈를 결정하게 된다. 집속 렌즈 1 은 사용자 화면의 스팟 사이즈 범위에 따라 전류가 흐르게 된다. 이 범위는 사용하는 가속 전압의 크기에 달라진다. 이것은 같은 렌즈 전류값의 경우에도 가속 전압의 크기에 따라 크 로스오버 위치가 다르게 때문이다. 집속 렌즈 2 는 가속 전 압에 따라 어퍼처의 위치 등으로 결정된 상수 값을 사용한 다. 이 값은 가속 전압의 크기에 따라 다르다.

전류량을 제어하는 경우 집속 렌즈 2 의 신호는 Fig. 3 과 같이 전자빔 전류 제어 신호로 스위칭된다. 제어 신호 의 량은 전자빔 전류량이 가공을 할 수 없게 하는 정도의 렌즈 전류값이다. 이 값은 가속 전압, 가공 재질 등에 따라 다르며 실험을 통해 결정하게 된다.

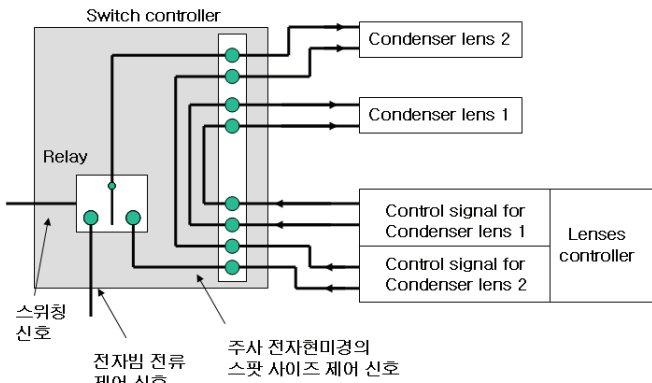


Fig. 3 The force on an electron

전자빔 전류 제어 신호는 펄스 입력이 되며 이것은 가 공 패턴에 따라 주파수가 선택된다. 전자 렌즈는 코일로 되어 있기 때문에 빠른 주파수를 입력하는 경우에는 역기 전력이 발생하므로 이에 대해 영향을 고려해야 한다. 따라서 정전기 방식의 고속 빔 블랭킹 보다는 상대적으로 낮은 주파수 범위에서 사용하는 것이 적합하다. Fig. 4 은 20 Kv 의 가속 전압에서 주사 전자현미경으로 사용하는 경우 전 자빔의 전류를 측정 한 것이다.

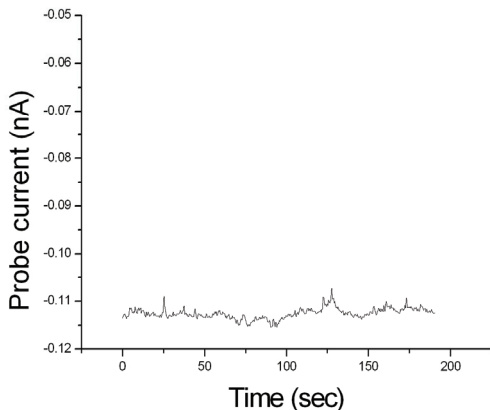


Fig. 4 Probe current in 20 kV

5. 결론

주사 전자현미경을 기반으로 하여 전자빔 가공 시스템을 개발하는 경우 전자빔을 가공 시편에 주사 혹은 차단할 수 있는 빔 블랭킹 기능이 필요하다. 많이 쓰이는 정전기 방식의 전자빔 블랭킹은 고속의 응답성을 가지고 있다. 그러나 이것은 전자현미경에 추가하는 경우 빔 경로를 재설 계해야 하며 이에 따라 전자 렌즈 제어기를 재설계해야 한 다. 이러한 추가적인 작업이 없이 대물 렌즈의 스팟 사이 즈 조종 기능을 활용하여 전자빔을 차단하는 경우 시편 가 공이 되지 않는 정도의 전자빔만 흘릴 수 있도록 하는 방 안을 제안하였다. 이것은 전자 렌즈의 크로스오버의 위치 를 조종하는 원리에 기반을 두고 있으며 결과와 향후 연구 방향은 다음과 같다.

- (1) 전자빔 경로의 재설계, 제어기의 재설계 작업이 필요없이 집속 렌즈의 크로스오버를 조종하는 것으로 전자빔을 차단할 수 있게 된다.
- (2) 코일의 역기전력으로 인해 정전기 방식의 빔 블랭킹 보다 상대적으로 낮은 주파수에서 사용이 된다. 사용 주파수의 범위는 향후 연구를 진행할 예정이다.
- (3) 가공이 되지 않는 최소 전자빔 전류는 가공 시편의 재질에 따라 다르므로 다양한 재질에 대한 실험을 진행할 예정이다.

참고문헌

1. 임선중, 이찬홍, "Focal length 에 의한 전자 렌즈의 제어 신호 생성을 위한 하드웨어 설계," 한국공작기계학회지, Vol. 16, No. 5, pp. 96-100, 2007.
2. Joseph, I., Dale, E., Patrick, E., and David, C., "Scanning Electron Microscopy," Plenum press, pp. 43-57.
3. Lim, S. J., and Lee, C. H., "Design of Control Signal Systemization for SEM," KSMTE autumn conference, pp. 97-100, 2006.
4. 임선중, 이찬홍, "주사 전자 현미경에서 전자빔 프르브 생성을 위한 소프트웨어 설계," KSPE 춘계학술대회, pp. 467-468, 2007.