

# 주사 전자현미경에서 집속 렌즈를 이용한 프루브 전류의 제어

## Probe Current Control Using Condenser Lens in SEM

\*, #임선종<sup>1</sup>, 이찬홍<sup>2</sup>\*, #S. J. Lim(sjlim@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, C. H. Lee<sup>2</sup><sup>1,2</sup> 한국기계연구 지능형 생산시스템 연구본부

Key words : Probe current, Condenser lens, Focal length, Probe current control, Faraday cup, Pico meter

### 1. 서론

전자빔을 이용한 가공의 경우 가공 재질에 따라 전자빔 전류량을 변화시킬 필요가 있다. 전자 현미경을 기본 구조로 하여 가공에 필요한 프루브 전류를 확보하기 위해는 프루브 전류를 조종할 수 있는 기능이 필요하게 된다. 이 구조에서 프루브 전류는 스팟 사이즈에 의해 결정되며 스팟 사이즈는 집속 렌즈의 입력 전압에 의존하게 된다.

필라멘트에서 발생된 전자빔의 대부분은 에노드에 흡수되고 일부 만이 에노드 홀을 통해 슬리브로 들어가게 된다. 슬리브로 들어간 전자빔은 집속 렌즈, 대물 렌즈의 초점 거리 조종을 통해 전류량과 초점이 조종된다<sup>1</sup>. 초점 거리는 프린징 자장에 입력된 전자가 방향을 바꾸는 위치부터 전자빔이 렌즈 축을 가로지르는 점까지의 거리이다. 초점을 지난 후의 전자빔은 다시 퍼지게 된다<sup>2</sup>. 초점 거리의 위치에 따라 슬리브를 통과하는 전자빔의 양이 달라지게 된다. 슬리브는 접지와 연결되어 있다.

본 연구는 집속 렌즈의 초점 거리를 이용해 프루브 전류를 제어하는 것을 목적으로 한다. 집속 렌즈의 입력 전압을 변경하여 각 가속 전압에서 프루브 전류의 변화를 관찰하였다. 본 연구의 결과 데이터는 가공 재질에 필요한 전류를 설정하기 위한 방법으로 활용될 수 있다.

### 2. 초점 거리를 이용한 프루브 전류 제어 원리

프린징 자장 내에서 자속 밀도  $B$  와 이것을 통과하는 전자의 속도  $V$  그리고 전자에 미치는 힘  $F$ 의 관계에서 전자의 방향을 바꿔게 하여 초점 거리를 형성시키는 힘은 식(1)에 보이는 것과 같이 두 가지로 나눌 수 있다<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} F_\theta &= -V_z \times B_r \\ F_r &= -V_\theta \times B_z \end{aligned} \quad (1)$$

또한 초점 거리, 가속 전압, 렌즈의 권선수 그리고 전류의 관계는 식 (2)와 같은 관계가 있다.

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

초점 거리가 짧아지면 초점 거리 위치를 통과 한 후 슬리브에 닿는 전자빔이 많아지게 되고 심한 경우 전자빔을 차단하는 것과 같은 동작을 하게 된다. 프루브 전류의 제어는 렌즈의 입력 전압을 조종하여 초점 거리의 위치를 조종하여 어퍼처를 통과하는 전자빔의 양을 조종하는 것이다. 어퍼처는 슬리브에 설치되면 슬리브는 접지에 연결되어 있다. 운영 프로그램에서 프루브 전류의 조종은 스팟 사이즈로 조종이 된다. 스팟 사이즈는 가속 전압에 따라 다른 조종 범위를 가지게 된다. 본 연구에서 사용되는 집속 렌즈는 전자총에 가까운 위치에서 집속 렌즈 1과 집속 렌즈 2로 구성된다. 프루브 전류의 조종은 집속 렌즈 1로 수행하였다. 집속 렌즈 2의 전압은 가속 전압에 따라 정해진 값을 사용하고 있다. 집속 렌즈를 거친 전자빔은 대물 렌즈를 거치면서 초점이 조종된다. Fig. 1은 프린징 자장에서 전자에 미치는 힘과 이로 인해 생기는 초점 거리를 보이고 있다.

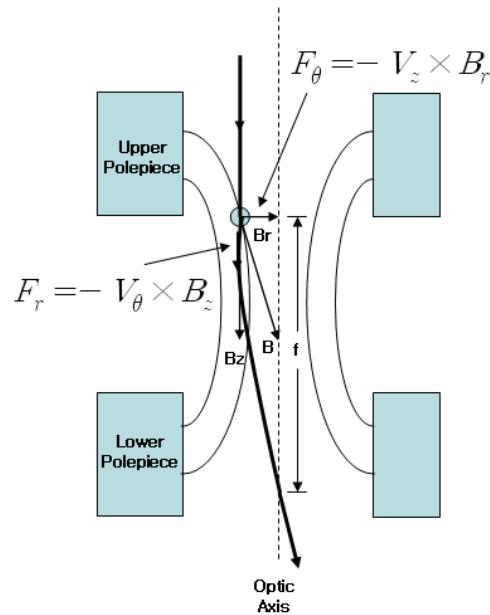


Fig. 1 Focal length and force on an electron in fringing field

### 3. 프루브 전류 제어 실험

집속 렌즈 1의 입력 전압을 조종하여 프루브 전류의 변화를 관찰하였다. Fig. 2는 주사 전자현미경의 기능에서 프루브 전류를 측정한 것으로 프루브 전류의 경향을 보이고 있다.

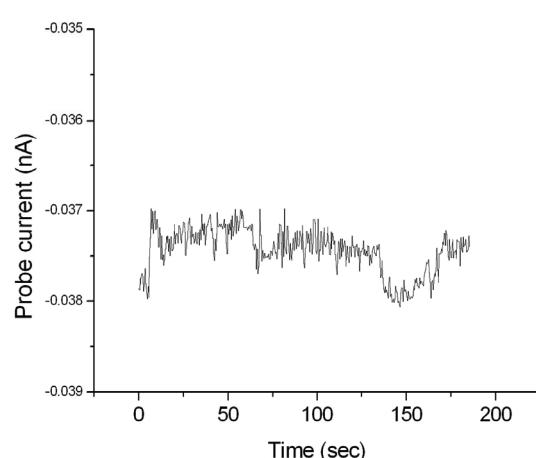


Fig. 2 Focal length and force on an electron in fringing field

프루브 전류의 peak-to-peak 값은 1 pA로 관찰되고 있다. Fig. 3은 5 Kv의 가속 전압에서 집속 렌즈 1의 입력 전압을 변화시켜 얻어진 프루브 전류의 변화를 보이고 있다. 프루브 전류의 변화 기울기가 커서 프루브 전류를 조종할 수 있는 입력 전압의 범위가 작은 것으로 나타나고 있다.

#### 4. 결론

본 논문은 집속 렌즈의 초점 거리의 위치를 조종하여 프르브 전류를 제어하는 기능을 수행한 것으로 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 프르브 전류를 제어할 수 있는 집속 렌즈 1의 제어 범위는 어페치의 위치가 고려된 초점 거리에서 프르브 전류가 차단되는 초점 거리까지이다. 가속 전압의 크기에 따라 제어 전압의 범위가 커지게 된다. 본 실험의 결과는 전자빔 가공에 필요한 가공 전류값을 설정하는 데 활용된다.

(2) 프르브 전류를 차단할 수 있는 제어 전압은 빔 블랭커 기능을 수행할 수 있으며 이것은 간단하며 패턴간의 이동이 적은 가공에 적용이 가능하다.

#### 참고문헌

- John, T. L., "ELECTRON BEAM TESTING TECHNOLOGY," Prenum press, pp. 35-125, 1993.
- Josept, I. G., Dale, E. N., Patrick, E., David. C. J., Roming, A. D., Charles. E. L., Charles, F. and Eric, L., "Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis," Plenum press, pp. 21-60, 1992.
- 임선종, 이찬홍, "Focal length 에 의한 전자 렌즈의 제어 신호 생성을 위한 하드웨어 설계," 한국공작기계학회지, 16, 96-100, 2007.
- Sunjong, L. and Chanhong, L., "Design of Control Signal Systemization for SEM," KSMTE, pp. 97-100, 2006.

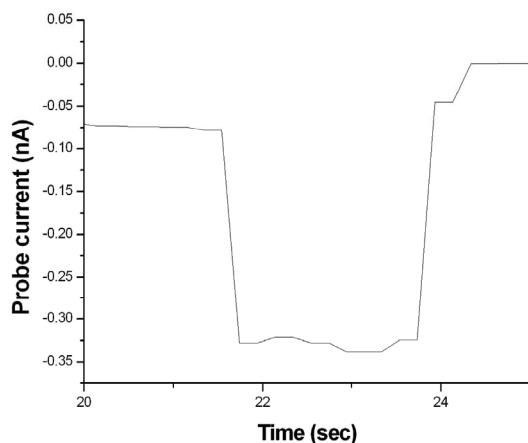


Fig. 3 Probe current in 5 kV acceleration voltage

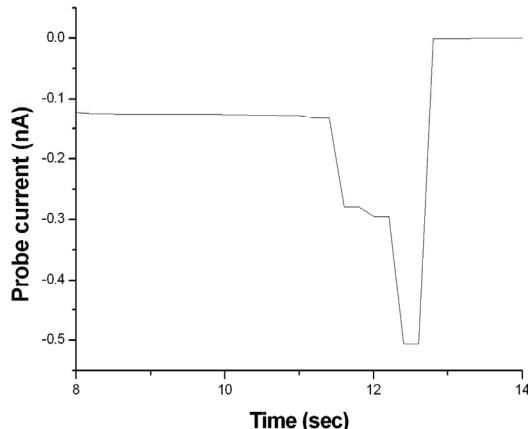


Fig. 4 Probe current in 10 kV acceleration voltage

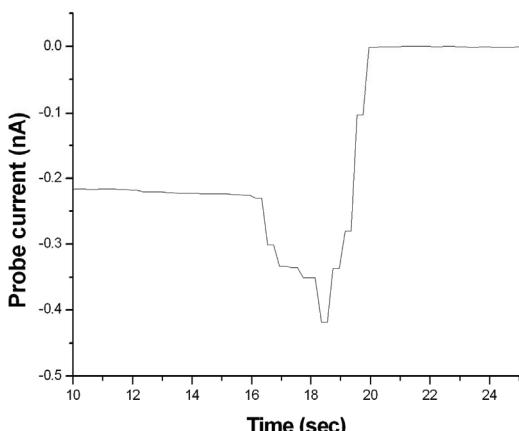


Fig. 5 Probe current in 20 kV acceleration voltage

Fig. 4 과 Fig. 5는 10 Kv 및 20 kV의 가속 전압에서 조종된 프르브 전류의 경향을 보이고 있다. 입력 전압의 변화에 프르브 전류의 변화 기울기가 Fig. 3 보다 작아 조종 범위가 큰 것으로 나타나고 있다. 초기 프르브 전류 값은 집속 렌즈 1에 제어 전압에 인가되지 않은 상태의 값이다. 각 가속 전압에 대해 약 32 nA, 120 nA 및 220 nA로 나타나고 있다. 가속 전압이 증가함에 따라 프르브 전류 값이 증가하는 것을 볼 수 있다.