

# 다중빔 방식의 이온 가공장비의 개발 Development of a Multi Ion Beam Machining System

\*김태곤, 김연태, 윤태기, 김승태, #민병권, 박노철, 김영주, 이상주

\*T.-G. Kim, Y. T. Kim, T. G. Yoon, S. Kim, # B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), N.-C. Park, Y.-J. Kim, S. J. Lee  
연세대학교 기계공학부

Key words: micromanufacturing, energy beam, ion beam

## 1. 서론

초미세 부품은 수십 nm에서 수십  $\mu\text{m}$ 의 크기를 가지는 부품으로 디스플레이, 정보저장기기, 센서, 의료기기 등 IT 기술과 초정밀 가공기술이 발전함에 따라 그 필요성이 점차 증가하고 있는 분야이다. 이러한 초미세 부품을 필요로 하는 산업은 점차 증가하고 있지만, 초미세 부품 제조분야 중 하나인 초미세 금형의 가공기술과 같은 가공기술은 초기 발전 단계에 머무르고 있다. 따라서 향후 실용화 가능성이 큰 기술분야에서 관련 기술 개발을 뒷받침 할 수 있는 나노 가공 기술에 대한 연구개발이 필요하다.

에너지빔 응용 가공기술은 이러한 나노 가공 기술 중 하나로 이온빔, 전자빔 등 전하를 가진 입자를 작은 면적에 큰 에너지를 가지는 빔으로 집속시켜 가공하는 기술을 말한다. 특히 이온을 집속시켜 가공할 경우 전자보다 가지는 질량이 크기 때문에 전자빔에 비해 금속 등 여러가지 재료를 직접 조사하여 가공할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이온빔을 이용한 가공장비로는 집속이온빔(FIB, Focused Ion Beam), 이온 밀러 등이 있는데, 집속이온빔 가공장비의 경우 에너지빔을 정밀하게 제어하여 나노-마이크로 영역의 가공을 마스크 없이 할 수 있다는 점에서 초미세 금형 가공에 적합한 가공방법으로 제안되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 현재의 집속이온빔 가공 장비의 경우 단일빔을 이용하여 가공을 함으로써 낮은 생산성으로 인한 경제성을 만족시키지 못하고 있어 효율을 높이는 이온빔 가공장비의 개발이 필요하다.

본 연구에서 개발하고자 하는 장비는 기존의 단일 이온빔 가공 기술의 초미세 부품 제조 공정 적용 시 발생하는 효율성 문제를 극복하기 위해 다중빔 방식의 고효율 이온빔 가공 장비이다. 다중빔 방식의 가공 장비는 기존의 단일빔 방식의 집속 이온빔 장비와 비교하여 다수의 집속 이온빔을 이용하여 가공의 속도를 높이고, 다면적 가공을 하면서, 전체 이온빔 조사 에너지를 증가시킬 수 있다.

## 2. 다중빔 방식의 고효율 이온빔 가공장비 개발

다중빔 방식의 이온빔 가공장비를 개발하기 위해서는 고효율 이온소스 제작과 다중빔 광학계 제작 기술, 다중빔 가공 공정 기술이 필요하다. 현재 집속이온빔 장비의 경우 이온소스로 액체금속이온소스(LMIS, Liquid Metal Ion Source)를 사용하며 액체금속으로는 용융점이 낮은 갈륨(Ga)을 사용한다. 액체금속이온소스의 경우 가공 전류를 높일 수 있는 장점을 가지고 있지만 빔 직경을 키우는 데 한계가 있어 고효율 다중빔 방식의 이온빔 가공장비의 이온소스로는 적절치 않은 문제가 있다. 따라서 대면적의 이온방출 영역을 가지고 있는 고효율 이온소스의 개발이 필요하다. 현재 아르곤(Ar, Argon) 가스를 이용한 페닝(Penning) 타입과 RF 방식의 가스 이온 소스를 개발 중이다.

집속이온빔 가공 장비는 이온 소스에서 발생된 이온을 전자기적으로 작은 면적에 국부적으로 집속하여 에너지 밀도를 높여 가공하는 방법이다. 따라서 전자기장을 이용한 광학계를 이용하여 전하를 가진 이온을 집속시켜야 한다. 기존의 단일빔 방식의 집속이온빔의 경우 Condensing Lens (CL)와 Object Lens (OL) 두 개의 전자기장 렌즈를 이용

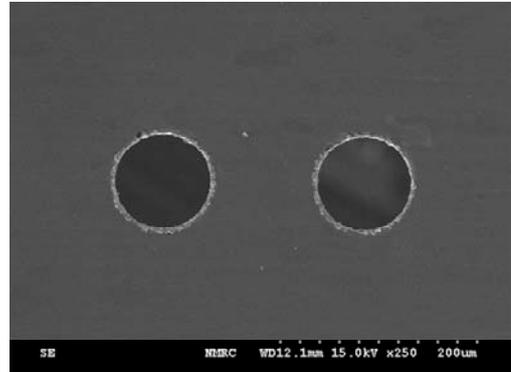


Fig. 1 Multi-aperture for irradiating multi ion beam

하여 이온빔을 집속시킨다. 다중빔 방식의 이온빔의 경우에도 전자기장 렌즈를 이용하여 이온빔을 집속시키는 기본 원리는 같지만 이온빔의 직경이 커지고, 집속도가 높아지고, 다수의 이온빔을 집속시켜야하기 때문에 줌렌즈 방식의 분리 집속을 고려한 광학계 설계 기술이 필요하다.<sup>2,3)</sup>

다중빔 방식의 이온빔 가공 장비를 개발하는 목적은 기존 단일빔 방식의 이온빔 가공 장비보다 생산성을 향상시키기 위함이다. 이를 위해서는 다수의 빔을 이용하여 효율적으로 가공하는 생산공정에 대한 기술이 필요하다. 다중빔의 경우 공작물의 형상에 따라 이온 빔의 세기를 조절하거나 다수의 이온빔 조사와 스테이지의 연동을 통해 원하는 형상을 빠르게 가공할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 빔의 세기에 따른 가공 형상을 예측하여 빔의 세기를 조절하고, 스테이지를 제어하는 다중빔 가공 공정 기술이 필요하다.

본 연구는 이러한 기술들을 확보하기 위하여 기존의 단일빔 응용 가공기술을 바탕으로 기존 단일빔 방식의 이온빔 가공 장비에 2 X 1의 다중개구를 이용하여 복수의 다중 이온빔을 인출 시킨다. Fig. 1은 다중 이온빔을 인출시키기 위해 가공된 다중개구의 사진이다. 개구의 재료로는 이온빔에 의한 손상을 최소화 하기 위해 스퍼터링(sputtering yield)이 낮은 몰리브덴(molybdenum)을 사용하였다. 가공된 다중 개구의 직경은 약 100 $\mu\text{m}$ 로 마이크로 방전가공을 이용하여 가공하였다.

기존의 상용화된 단일 이온빔 장비의 경우 조사된 이온빔이 재료에 맞아 발생하는 이차 전자의 이미지를 보고 초점을 맞추어 가공을 한다. 그러나 다중 개구를 이용하여 복수의 다중 빔을 인출할 경우 다중빔의 특성 상 이차전자를 받아 이미지를 얻어 초점을 맞추는 것이 불가능 하므로 이온빔 광학계의 값을 알아내기 위해서는 이온빔 광학계를 해석해서 다중 이온빔이 조사되었을 때의 CL 과 OL 의 전압값을 알아야 한다. 다음 장에서는 이러한 다중 개구를 이용한 이온 광학계 해석에 대해 설명한다.

## 3. 다중 개구를 이용한 이온빔 가공 시뮬레이션

가공된 다중 개구를 이용하여 다중 빔을 인출시킬 경우 이온 광학계의 특성에 따라 이온 빔의 궤적이 달라지게 된다. 따라서 다중 이온빔을 가공 표면에 집속시키기 위해서는 CL 과 OL 의 전압 값에 따른 가공 표면에서 빔의 세기

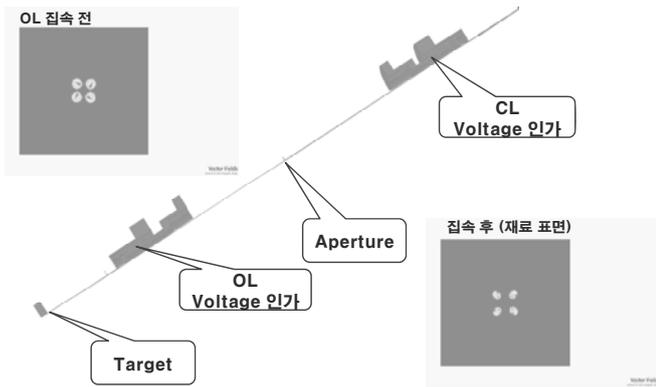
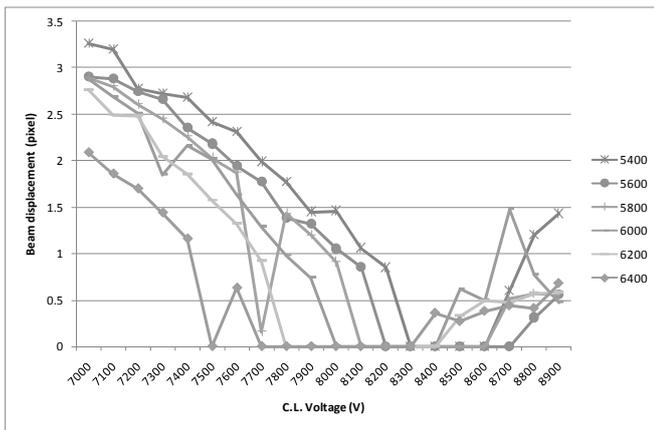
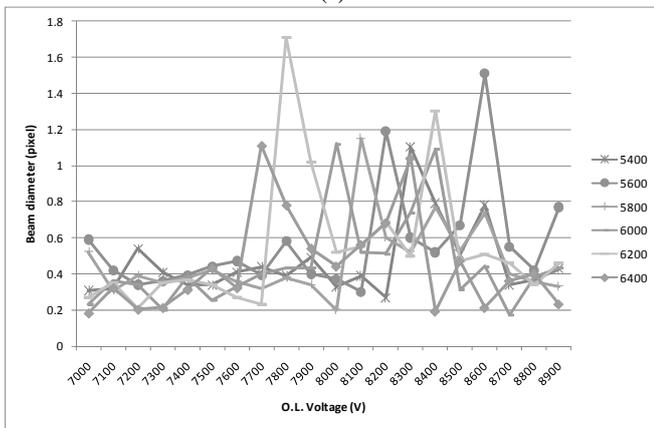


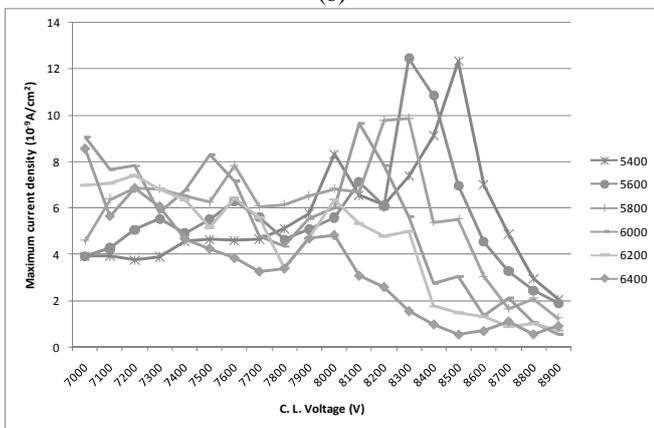
Fig. 2 Finite element model for electrostatic analysis in column



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Analysis results for various voltages on CL and OL: (a) Analysis result of beam displacement; (b) Analysis result of beam diameter; (c) Analysis result of maximum current density

가 어떻게 나타나는 지를 알아야 한다. 본 연구에서는 단일 이온빔 장비의 경통에 다중 개구를 삽입한 후 경통 내의 전자기장에 의해 가공 표면에서의 전류밀도, 빔의 크기, 두 빔사이의 거리를 해석하였다. Fig. 2 는 단일 이온빔 경통의 유한요소해석 모델이다. 유한요소해석은 상용전자기장 해석 프로그램(OPERA-3D)을 이용하였으며 이온 소스부에서 인출된 빔이 중간에 다중 개구를 지나서 가공 표면에 집속될 때의 전류밀도를 해석하였다. 해석 결과 CL 과 OL 의 전압 값이 각각 약 7.5-8.7kV, 5.4-6.4kV 의 영역에서 집속된 이온빔을 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 이용하여 집속된 전압 조건 내에서 이온 빔의 전류, 빔의 크기, 두 빔 사이의 거리를 해석하였으며 결과는 Fig. 3 과 같다. Fig. 3(a) 는 이온 빔이 가공 표면에서 집속될 때의 조건에서 빔 사이의 간격을 보여준다. 빔 사이의 간격이 0 이면 두 빔이 떨어지지 않고 모인 것이며, 다중 이온빔을 집속하기 위해서는 두 빔 사이의 간격이 떨어져 있는 조건에서 조사해야 함을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 집속된 빔의 직경을 해석한 결과로 빔 사이의 거리가 증가하는 구간에서는 빔의 직경이 점차 감소하면서 이온빔이 집속되는 것을 알 수 있다. Fig. 3(c)는 각각의 조건에서의 빔의 전류를 나타낸 것이다. 빔의 세기는 전류 밀도로 나타낼 수 있으며 빔 전류가 클수록 가공성이 크기 때문에 빔 전류가 클 때의 전압 값으로 집속시켜야 한다. 이러한 해석 결과를 바탕으로 빔 사이의 간격이 멀면서 전류밀도가 큰 조건으로 CL 과 OL 의 전압을 설정하여 다중 빔을 인출시킬 수 있다.

#### 4. 결론

고효율 에너지빔을 이용한 초미세 부품가공기술은 그 필요성이 점차 증가하고 있는 분야이다. 하지만 차세대 초미세 부품가공기술로 제안되고 있는 집속이온빔 가공은 마스크 없이 초미세 가공을 할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 생산성이 낮은 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 초미세 가공영역에서의 장점을 이용하면서 생산성이 낮은 단점을 보완하기 위해 복수의 다중 이온빔을 이용하여 가공을 하는 장비를 개발하고자 한다. 현재 다중 이온빔 인출을 위한 다중 개구 제작과 다중 이온빔 집속을 위한 유한요소해석을 하였다. 다중 개구는 이온빔 손상을 최소화 하기 위해 폴리브렌 재료를 이용하여 미세 방전가공으로 가공하였으며 상용유한요소해석프로그램(OPERA-3D)을 이용하여 경통 내부의 전자기장에 의한 이온빔의 궤적을 해석함으로써 다중이온빔 집속을 위한 전자기장 렌즈의 전압 조건을 설정하였다. 현재 이상의 결과를 바탕으로 해석을 통해 예측된 정전 렌즈의 전압 값을 이용하여 다중 이온빔을 인출시키고, 개구의 크기와 간격 등 여러가지 조건에서의 다중 이온빔 인출의 시뮬레이션과 실험이 진행 중이다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부 산업기술개발사업인 “고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발” 연구비 지원으로 이루어 졌습니다.

#### 참고문헌

1. Jon Orloff, Lynwood Swanson, Mark Utlaut, "High Resolution Focused Ion Beams: FIB and Applications, Springer, 2002
2. D.W.O Heddle, "Electrostatic lens systems 2nd edition, " Institute of Physics Publishing, 2000
3. Jon Orloff, "Handbook of charged particle optics, " CRC press , 1997