

# 전자빔 가공기의 지능형 원격 빔 조절 기능의 개발

임선종\*, 유 준<sup>+</sup>

(논문접수일 2005. 9. 20, 심사완료일 2006. 1. 4)

## Development of Intelligent Remote Beam Control Function in E-Beam Manufacturing System

Sun-Jong Lim\*, Joon Lyou<sup>+</sup>

### Abstract

The use electron-beam(E-beam) manufacturing system provides a means to alleviate optic exposure equipment's problems. We are developing an E-beam manufacturing system with scanning electron microscope(SEM) function. The E-beam manufacturing system consist of high voltage generator, beam blaker, condenser lenses, object lenses, stigmator and stage. The development of E-beam manufacturing system is used on the method of remaking SEM's structure. The functions of SEM are developed. It is important for the test of E-beam performance. In E-beam manufacturing system and SEM, beam focus is important function. In this paper, we propose intelligent remote control function for beam focus in E-beam manufacturing system. The function extends the user's function and gives convenience.

**Key Words** : 전자빔 가공기(Electron beam manufacturing system), 전자 현미경(Scanning electron microscope), 고전압 발생기, 전자총(Electron gun), 집속 렌즈(Condenser lens), 대물 렌즈(Object lens)

## 1. 서론

반도체 산업 분야에서 IC 소자의 회로 패턴 성형에 있어서 상대적으로 가격이 저렴하고 사용이 간편했던 광학식 노광 장비는 해상도의 한계가 0.2 $\mu$ m 정도로 현재 전세계적으

로 상용화되어 사용되는 0.13 $\mu$ m의 회로 패턴에 대한 기술적 대응이 한계에 도달하게 되었다<sup>(1)</sup>. 이러한 한계를 극복하기 위해 보다 미세한 회로 선폭의 성형을 위해 X-ray 혹은 전자빔을 이용하고 있다. 이러한 비광학식 광원을 이용하는 노광 장치는 광학식에 비해 해상도는 높으나 양산 측면에서

\* 한국기계연구원, 지능기계연구센터  
+ 교신저자, 충남대학교 전자공학과 (jlyou@cnu.ac.kr)  
주소: 305-764 대전시 유성구 궁동 220

불리하다는 문제점을 가지고 있다. 그러나 광학식 노광 장비의 한계성을 극복하기 위한 후속 기술로 지속적인 연구 개발이 진행되고 있다.

전자빔 가공기는 전자빔을 에너지 전달 매개로 하여 기판 위의 원하는 위치에 전자빔을 주사하여 주사된 부분의 레지스트를 제거하여 패턴을 형성한다<sup>(2)</sup>. 이것은 전자 현미경과 같은 원리를 가지며 본 연구에서 사용되는 전자빔 가공기(이하, 가공기)는 전자 현미경(이하, 현미경)을 기본으로 하여 전자빔(이하, 빔) 직접 묘화 장비로 보완, 개조하는 방식으로 개발되었다. 따라서 SEM의 기능도 가지고 있다<sup>(3)</sup>.

가공 라인의 경우 가공 상태 및 가공 효율은 운영자의 숙련도와 밀접한 관계가 있다. 그러나 운영자의 확보, 교육 및 숙련에 필요한 기간 등에서 어려운 점을 가지고 있다. 따라서 원격 조종을 통해 한 운영자가 관리하는 가공기의 수를 늘림으로써 해서 가동율을 증가시킬 필요가 있다. 가공기에 대한 원격 제어의 경우, 이미지의 원활한 표시를 위해 송수신되는 제어 변수와 이미지의 동기화가 필요하다. 또한 운영자와 가공기 사이에는 단순하며 안정적인 제어권을 보장하는 구조가 필요하게 된다.

본 연구는 가공기에 대한 원격 운영 구조의 하나로 네트워크를 이용해 빔 초점 조절을 수행할 수 있는 지능형 원격 초점 조절 기능을 개발하였다. 제안된 파일 전송 방식은 제어 변수와 감시 변수에 따라 TCP와 UDP를 선택해서 사용하여 이미지의 표현을 원활하게 하였다. 또한 제안된 구조는 원격 시스템(원격 관리용 시스템)과 운영 시스템(가공기)은 서버와 클라이언트의 구조로 되어 있어 추후 원격 시스템이 여러 대의 가공기에 대해 안정적인 제어 권한을 가질 수 있다.

## 2. 전자빔 가공기의 개발

전자총에 고전압을 인가하면 열전자가 방출되며 방출된 전자는 전자 렌즈를 통과하면서 더 집속되고 원형을 이루어 레지스트에 주사된다. 가공은 주사된 부분만이 감광되면서 이루어진다. 패턴을 형성하기 위해서는 일시적으로 전자빔을 차단하고 빔의 주사 위치를 바꾸는 빔 차단기와 빔 이동 기능이 필요하다<sup>(4-8)</sup>. 다음절은 가공기 개발 과정을 보이고 있다.

### 2.1 전자빔 가공기의 구성 요소와 기능

현미경을 개조 및 보완하는 방식으로 개발되는 본 연구의 가공기는 Fig. 1과 같은 차이를 보이고 있으며 각 요소들의 기능은 다음과 같다.

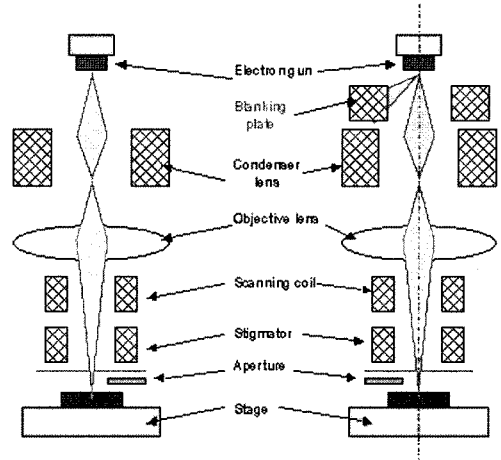


Fig. 1 The structure of SEM and E-Beam manufacturing system

#### (1) 전자총

광원으로 쓰이는 전자를 만들고 가속시키는 기능을 수행한다. 필라멘트를 가열시켜 열전자를 이탈시키고 아노드의 전압으로 전자빔을 형성한다.

#### (2) 전자빔 차단기(Beam blaker)

순간적으로 전자빔을 끌여 당겨 전자빔을 차단하는 기능을 수행한다.

#### (3) 집속 렌즈(Condenser lens)

전자빔을 집속시키며 보통 2단 구성을 적용하고 있다. 전류에 따라 가공물에 도달하는 전자의 양이 달라지게 된다.

#### (4) 대물 렌즈(Object lens)

경통의 마지막 부분에 위치하여 최종적으로 초점을 조정하는 기능을 한다.

#### (5) 스캔 코일(Scan coil)

피가공재에 빔을 주사하며 현미경의 경우 영상과 밀접한 관계를 가진다.

#### (6) 스티그메이터(Stigmator)

전류를 이용해 영상의 왜곡을 보정한다.

#### (7) 어퍼처(Aperture)

필요이상의 전자빔이 통과하지 못하도록 하고 전자빔의 직진성을 향상 시킨다.

#### (8) 스테이지(Stage)

패턴 형성을 위해 피가공재의 위치를 조종하는 기능을 수행한다.

가공기의 개발 진행은 경통과 제거기로 나누어지며 경통

은 전자 렌즈 및 코일 등을 포함한다. 다음 절은 경통과 제어기의 개발을 보이고 있다.

### 2.2 전자빔 가공기의 경통 개발

경통은 실린더 모양으로 집속 렌즈, 대물 렌즈, 스캔 코일, 스티그메이터 및 어퍼처 등을 포함하고 있다. 전자 렌즈는 전자빔의 스팟(spot) 크기를 1nm~1 $\mu$ m의 크기로 축소하여 시료에 주사하는 기능을 수행한다. 제작된 전자 렌즈는 자기장 방법으로 전자빔을 축소시킨다. 전자 렌즈는 자기장 해석을 통해 자속 밀도를 분석하였으며 집속 렌즈는 1.2mm의 권선을 920회 감아 최대 3A의 전류가 흐를 수 있도록 하였다. 대물 렌즈는 같은 권선으로 600회 감아 제작하였다. 전자 렌즈를 제작하기 위한 소재는 마그네틱 와이어를 사용하였으며 이것은 알코올에 함침 후 권선하였다. 스캔 코일은 0.2mm의 가는선으로 사각형 모양으로 제작하여 스캔 제너레이터에 고정되게 하였다. 경통의 외통은 내,외경 선삭 가공을 한 후에 다듬질 가공, 구멍 성형 가공, 탭핑 가공을 순차적으로 수행하고 Ni 코팅을 한 후 탈자 처리를 하였다. Fig. 2는 경통 구조물, 대물 렌즈, 집속 렌즈 및 스캔 코일을 보이고 있다.

### 2.3 전자빔 가공기의 제어기 개발

빔을 발생하고 각 렌즈와 코일에 전류를 조종하여 전자빔의 크기, 위치, 스캔 타이밍 등을 제어하는 제어기는 기능에 따라 고전압 발생기, 빔 제어기, 전자 렌즈 제어기, 스캔 제어기, 주 제어기로 설계하였다. 각 제어기의 기능은 다음과 같다.

#### (1) 고전압 발생기

열전자 방출을 위한 고전압을 발생하며 필라멘트 전압, 바이어스 전압 및 가속 전압으로 구분된다. 가속 전압은 0~30kV까

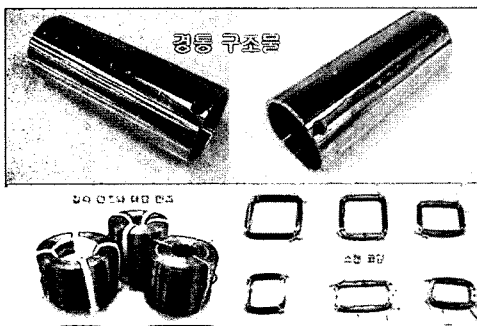


Fig. 2 The structure of column, condenser lens, object lens and scan coil

지 조종할 수 있다. 발생된 고전압은 전자총에 인가된다.

#### (2) 빔 제어기

고전압 제어를 목적으로 하며 고압 발생기의 출력을 감시할 수 있다. 운영 프로그램으로부터 가속 전압, 바이어스 전압 및 필라멘트 전압을 수신하며 에미션 전류 값을 전송한다.

#### (3) 전자 렌즈 제어기

전자 렌즈와 코일에 흐르는 전류를 제어하여 전자빔의 스팟 사이즈, 영상의 왜곡, 초점 조정, 이미지 시프트 등을 조종한다.

#### (4) 스캔 제어기

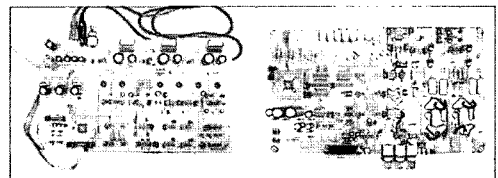
피가공물에 전자빔을 주사하며 현미경이 영상을 획득할 수 있도록 포토 멀티플라이어를 제어한다. 스캔 제어는 패턴 영상 뿐 만 아니라 영상의 질을 결정한다.

#### (5) 주 제어기

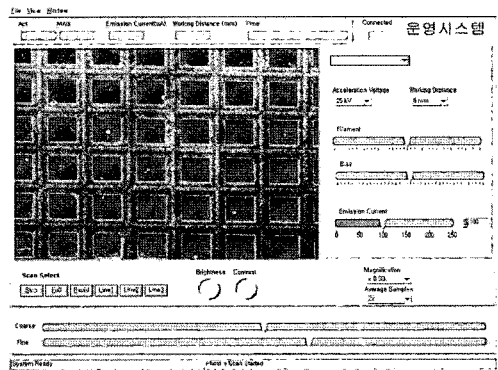
진공 작업, 상태 표시등, 포토 멀티플라이어용 고전압 제어, 사용자 인터페이스, 밸브 동작 등을 관리한다. 가공기의 상태를 감시하여 사용자에게 알리는 기능도 가지고 있다.

#### (6) 프레임 그레버(Frame grabber)

전자빔이 피가공물에 닿아 발생하는 2차 전자 신호를 고속으로 처리하여 비트맵 데이터로 바꾸어주는 기능을 수행한다. 본 연구에서 화상 스캔은 프레임 스캔, 라인(line) 스캔



(a) Controller for developed E-beam manufacture system



(b) Operation system

Fig. 3 Developed E-beam manufacturing system and operation system

및 매니퓰레이션 모드가 있다. 프레임 스캔은 빠른 화상 출력을 하며 320×240의 이미지 사이즈를 보인다. 라인 스캔은 선명한 영상을 위해 시간 평균 연산을 수행하며 1280×960의 이미지 사이즈를 보인다. 매니퓰레이션 모드는 전자빔이 원하는 위치에서 가공할 수 있도록 한다. Fig. 3은 제작된 제어기와 운영 프로그램을 보이고 있다.

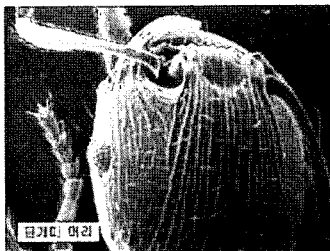
### 2.4 전자빔 가공기의 제작 결과

개발중인 가공기의 현미경 기능에서 영상을 획득하여 성능을 확인할 수 있었다. 영상 획득을 위해서는 적합한 시료를 만들어야 한다. 우선 시료는 생물과 비생물로 나누어진다. 생물은 고진공 환경과 전자빔 주사에 변형 및 파손이 일어나지 않아야 하고 도전성을 가져야 한다. 비생물 시료는 시료면의 크기, 대전이나 진공 변형 등에 대한 대책을 세워야 한다. Fig. 4는 현미경 기능을 이용해 본 생물 시료와 표준 시편을 보이고 있다. 생물 시료는 200배에서 얻어진 이미지이며 표준 시편은 500배에서 얻어진 이미지이다.

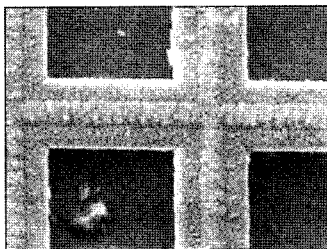
## 3. 전자빔 가공기의 빔 초점 조종

### 3.1 지능형 원격 빔 조종의 제안

가공기와 현미경의 최적 운영 조건중의 하나는 안정된 전



(a) Ant's head



(b) Standard grid

Fig. 4 The images of developed system

자빔의 생성과 주사이다. 이를 위해서는 하드웨어의 안정, 피가공체에 적합한 고전압의 선정 그리고 초점 조절 능력이 갖추어 져야 한다. 본 절에서는 초점 조절 기능을 확장하여 Transmission Control Protocol(TCP)와 User Datagram Protocol(UDP)를 기반으로 하는 지능형 원격 빔 초점 조종을 제안한다.

원격 제어는 Fig. 5와 같이 원격 시스템과 운영 시스템으로 구성된다. 운영 시스템은 직접 가공기를 제어하며 원격 시스템은 네트워크로 운영 시스템을 제어하고 이를 통해 가공기를 제어하게 된다. 원격 시스템은 서버의 역할을 수행하며 운영 시스템은 클라이언트의 역할을 수행하게 된다<sup>(9-12)</sup>. 운영 시스템은 가공기의 제어 변수, 감시 변수 및 이미지를 전송한다. 제어 변수와 감시 변수는 UDP를 사용한다. UDP는 수신측의 확인이 없이 데이터를 보내지만 많은 실험의 결과 데이터의 손실이 없이 전송되는 것을 확인하였으며 보다 빠르게 전송이 이루어진다. 제어 변수의 전송을 위해서는 정해진 프로토콜을 사용하며 이것은 다음절에서 기술한다. 이미지 파일의 전송은 운영 시스템에서 실시간으로 생성되는 것으로 초점을 조종하는데 중요하므로 보다 신뢰성을 가진 TCP를 사용하였다.

원격 시스템은 원격 제어를 위해 단지 제어 변수들을 전송하므로 UDP를 사용하고 있다. 원격 시스템의 사용자 화면은 운영 시스템과 똑같이 구성하며 두 시스템의 변화가 서로 반영될 수 있도록 하였다. 이것은 원격 제어가 진행 중에도 운영 시스템이 가공기를 제어할 수 있도록 하기 위한 것이

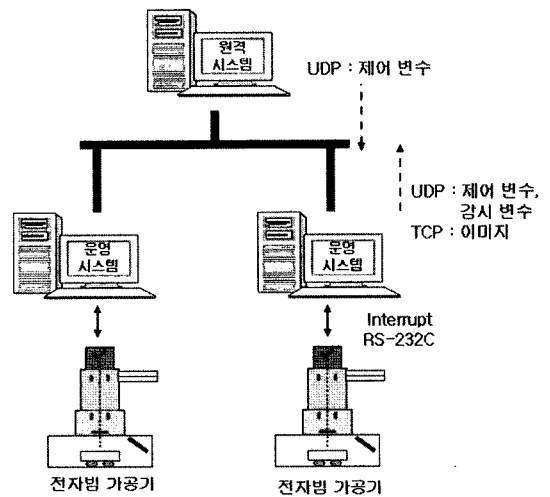


Fig. 5 Configuration of remote beam control

다. 이러한 구성은 가공기 제어에 대한 유연성을 가지며, 원격 시스템에 의해 설정된 제어 변수의 값을 운영 시스템이 저장하여 가공 조건 검색 시스템 구성에 활용될 예정이다.

현재 구성된 원격 시스템은 서버(원격 시스템)와 클라이언트(운영 시스템)가 각각 하나로 구성되었지만 향후 서버가 여러 대의 클라이언트를 제어할 수 있는 구조로 확장될 수 있다. 이것을 위해 서버는 각 클라이언트에 ID를 부여하고 관리한다.

### 3.2 원격 빔 조종의 구현

모든 운영 시스템은 동작이 시작되면 초기의 제어 변수와 감시 변수를 원격 시스템에 전송을 시작한다. 이후 제어 변수에 변화가 있는 경우 해당 변수와 감시 변수를 전송하게 된다. 가공기의 제어 변수는 가속 전압, 필라멘트 전압, 바이어스 전압, 폴 스캔, 라인 스캔, 건 얼라인먼트(Gun alignment), 브라이트니스(Brightness), 콘트라스트(Contrast), 에버리지 샘플(Average sample), 이미지 쉬프트(Image shift), 이미지 회전 등이다. 감시 변수는 에미션 전류와 이미지이다. 원격 시스템은 원격 제어의 요청이 있는 경우 요청한 운영 시스템의 사용자 화면과 동기된 사용자 화면을 보이게 된다. 원격 제어를 위한 구성은 Fig. 6과 같으며 자세한 사항은 다음과 같다.

(1) 운영 시스템은 동작이 시작되면 초기 상태 값(제어 변수와 감시 변수의 값)을 원격 시스템에 전송한 후 가공기를 제어할 수 있는 제어 모드로 이동한다.

(2) 가공기의 빔 초점 조절 등의 어려움이 있는 경우 원격 시스템에 원격 제어를 요청한다.

(3) 원격 시스템이 요청을 받아들이는 경우 운영 시스템은 원격 모드로 이동하게 된다. 원격 모드로 이동 후 운영 시스템은 변수들과 이미지를 약 5초 간격으로 전송하게 된다. 전송 시간은 이미지 파일의 생성을 감안하여 설정하였으며 프레임 그레버(Frame grabber)와 라이브러리의 사용으로 단축할 수 있다. 이미지 파일의 크기는 약 290kB이다. 원격 모드에서 운영 시스템은 가공기를 제어할 수 없게 된다.

(4) 원격 시스템은 프로토콜을 통해 원격 제어를 요청한 운영 시스템을 인식한 후 원격 제어 모드로 이동한다.

(5) 가공기에 대한 원격 시스템의 제어 동작은 운영 시스템과 같이 구성된 사용자 화면을 통해 이루어진다. 즉 원격 시스템의 제어 변수를 운영 시스템에 전달하여 간접적으로 가공기를 제어하게 된다. 원격 시스템과 운영 시스템의 사용자 화면은 동기화되어 있다.

(6) 원격 제어는 운영 시스템의 제어권 요청을 수락하는 경우에 완료된다. 이때 운영 시스템은 제어 모드로 돌아간다.

변수들의 전송을 위해 Fig. 7과 같이 프로토콜을 정하였다. 스타트(Start) 비트는 프로토콜의 시작을 알리며 “S”를 사용하였다. 방향 비트는 데이터의 전송 방향을 알리며 0은 운영 시스템에서 원격 시스템으로 데이터가 전송되는 것을 가리킨다. 1은 원격 시스템에서 운영 시스템으로 데이터가 전송되는 것을 가리킨다. 스테이션(Station) 비트는 원격 시스템의 ID를 가리킨다. 8비트로 구성되어 0~255의 값을 갖는다. 커멘드(Command) 비트는 전송되는 변수의 종류를 가리킨다. 데이터 비트는 전송되는 데이터의 값을 나타낸다. 엔드(End) 비트는 프로토콜의 끝을 나타낸다.

원격 시스템은 운영 시스템과의 통신을 위해 클라이언트 접속, 클라이언트 요청, 요청 분석, 요청 처리, 요청 응답을 수행하는 모듈로 구성하였다. 클라이언트 접속은 운영 시스템에서 원격 제어를 요청한 경우 접속을 수행한다. 클라이언트 요청은 어떤 운영 시스템에서 접속을 요청하였는지를 확인한다. 요청 분석, 요청 처리 및 요청 응답은 전송된 프로토콜에 따라 분석, 처리 및 응답의 기능을 수행한다. Fig. 8은 운영 시스템과 동기화된 원격 시스템의 사용자 화면을 보이고 있다.

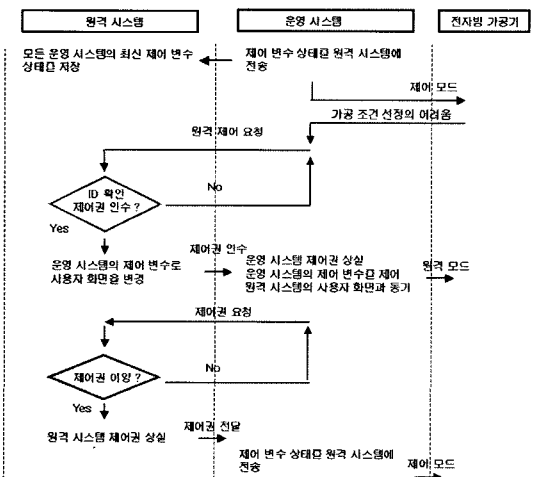


Fig. 6 Scenario for intelligent remote control

Start	Direction	Station	Command	Data	End
-------	-----------	---------	---------	------	-----

Fig. 7 Protocol for variable translation

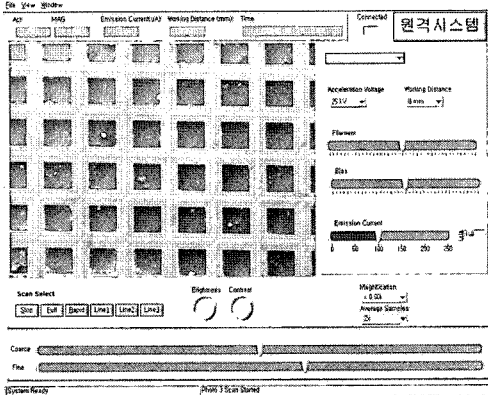


Fig. 8 User's display of remote system

### 3.3 원격 빔 조종의 결과

구성된 시스템을 이용하여 원격 제어 실험에서 다음의 실험 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 본 연구에서 사용된 가공기는 선명한 영상을 제공하여 원격 제어 시스템을 적용하기에 적합한 가공기임을 확인하였다.

둘째, 원격 시스템에서 사용자 화면의 제어 변수들의 변화가 운영 시스템에 똑같이 적용되어 가공기의 초점이 조정되었다.

셋째, 운영 시스템의 변수 변화도 역시 원격 시스템에 잘 반영되어 양 방향 제어가 이루어짐을 확인하였다.

넷째, 약 5초 마다 전송되는 이미지 파일은 실시간으로 표시되는 운영 시스템의 영상과는 차이가 있었다. 이것은 프레임 그레버와 관련된 라이브러리의 적절한 사용을 통해 개선될 것으로 예상된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 개발된 가공기의 초점 조종 기능을 확장하여 원격지에서 초점을 조정할 수 있는 지능형 원격 초점 조종 시스템을 개발 및 적용을 통해 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 가공기에 대한 원격 운영 구조의 하나로 개발된 지능형 원격 빔 조절 기능은 전자빔 가공 라인의 원격 제어를 수행할 수 있다.

둘째, 전송 변수에 따라 UDP와 TCP를 선택해서 사용함에 따라 원격 빔 조절의 유연성을 확보하였다. 원격 시스템이 운영 시스템의 빔 조절 변수 값들에 대한 최근 값을 저장하는 기능은 원격 시스템의 응답성을 개선시킨다.

셋째, 가공기의 독립적인 운영과 서버와 클라이언트 구조의 원격 운영 구조를 가지는 본 시스템은 가공 라인에서 독립적인 운영만을 사용하는 경우에 비해 빔 초점 조절 기능을 개선하여 가공 시스템의 수율 향상에 기여할 것으로 예상된다.

넷째, 원격 시스템에 의해 설정된 운영 시스템의 빔 주사 조건은 운영 시스템의 데이터 베이스에 저장되며 이후 개발이 예정된 빔 주사 조건 검색 시스템에 응용될 예정이다.

## 참고 문헌

- (1) Ministry of Commerce Industry & Energy, 2005, *Development of an Electron Beam Ultra-precision Manufacturing System*, pp. 4~7, 2005.
- (2) Moreau, W. M., 1988, *Semiconductor lithography*, Plenum publishing corporation, pp. 29~52.
- (3) Goldstein, J. I. and Newbury, D. E., 1992, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Plenum press, pp. 21~270.
- (4) Brewer, G. R., 1980, *Electron-Beam Technology in Microelectronic Fabrication*, Academic press, pp. 60~213.
- (5) Lim, S. J. and Kang, C. H., 2005, "Controller Design for Electron Beam Manufacturing System," *2005's KSPE Spring Annual Meeting*, pp. 1862~1865.
- (6) *JEOL instructions manual*.
- (7) *Operation manual Scanning Electron Microscope*, Topcon.
- (8) *Photomultiplier tubes manual*, Hamanatsu Ltd.
- (9) Lim, S. J. and Lyou, J., 2003, "Improvement in Operation Efficiency for Chip Mounter Using Web Server," *International Journal of KSPE*, Vol. 4, pp. 5~12.
- (10) Kenneth, T. and Barney, D., 2000, "Internet Robots: A New Robotics Niche," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 27~34.
- (11) Steven, H. L., Fernando, P. and John, C. D., 2002, "Internet Congestion Control," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 28~42.
- (12) Ren, C. and Tse, M. C., 2000, "Development of a Multibehavior-Based Mobile Robot for Remote Supervisory Control Through the Internet," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, Vol. 5, No. 4.