

# 전자빔 가공기의 진공제어 밸브설계 및 특성평가

이찬홍\*, 이후상 (한국기계연구원)

## Design and Performance Test of Vacuum Control Valve for Electron Beam Lithography

Chan-Hong Lee\*, Husang Lee (KIMM)

### ABSTRACT

The high vacuum in a electron beam lithography is basic condition, because electron beam vanish by collision with air molecules in generally atmosphere. To make high vacuum state, the vacuum control valve is essential. Most vacuum control valve are manual units. So; user of manual vacuum valve must have understanding vacuum process to change from low vacuum to high vacuum state. The user of electron beam lithography are troubled with operation of manual vacuum valve, in case the vacuum chamber is frequently open. In this paper, the design and performance test of auto vacuum control valve for electron beam lithography are described. With the auto vacuum control valve, the high vacuum level can reach 2.8E-5 Torr.

**Key Words :** Electron Beam Lithography(전자빔 가공기), Auto Vacuum Control Valve(자동 진공제어밸브), Vacuum Gauge(진공 게이지), Vacuum Control(진공제어)

### 1. 서론

전자빔 가공기를 이용한 미세 가공공정은 빔 발생장치에서 튀어나온 전자를 전자장을 이용해 가속시켜 감광재료가 코팅된 목표물에 충돌시킴으로서 나노미터 영역의 미세가공을 할 수 있게 된다. 이러한 전자빔 가공의 중요한 전제조건은 전자가 주어진 경로를 따라서 공기분자와 충돌하지 않고 가속 에너지를 보존하면서 목표물에 도달하는 것이다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 전자빔 가공기의 내부를 가능한 한 고진공으로 유지해야 한다. 일반적으로 전자빔 가공기의 진공챔버에서 사용하는 진공도는 3E-5 Torr 정도 이하를 사용한다.

이와 같은 고진공을 위해서는 고진공 펌프만으로는 고진공을 이루기가 어렵고, 저진공의 강력한 펌프가 필요하다. 저가로 고진공을 만드는 펌프의 선정은 저진공을 위해서 Rotary Pump 를 사용하고, 고진공을 위해서는 Diffusion Pump 를 사용한다. 그런데 Fig.1 에서 보듯이 전자빔 가공기의 운영은 PC 형 제어기에서 이루어지므로 각종 전자렌즈와 고전압 발생장치 그리고 진공 챔버의 개폐가 자동

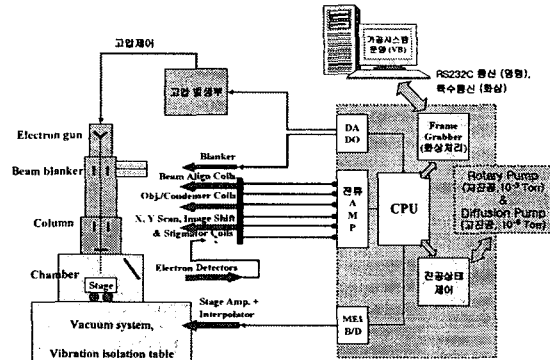


Fig. 1 Design concept and control signal flow of E-beam lithography

으로 이루어지고 이에 따른 주변장치의 운영도 사용자의 편리를 위해 자동으로 운전이 되어야 한다. 특히 진공챔버의 진공도 조절은 진공펌프의 사전지식과 저진공과 고진공의 변환밸브 개폐시기를 인지하고 있어야 하므로 일반 전자빔 가공기의 사용자는 수동으로 고진공을 위한 밸브조작이 어렵다. 그래서 고진공과 저진공을 위한 자동변환 밸브의 제작이 필요하다.

본 연구에서는 진공용 자동 제어밸브를 설계하여 초기에 로터리 펌프에 의한 진공챔버의 저진공을 실현하고 계속해서 로터리 펌프와 디퓨전 펌프의 연계에 의한 고진공을 실현하는 것을 목표로 하였다. 또한 자동밸브의 성능을 평가하기 위해서 진공챔버에 자동 제어밸브를 장착하여 진공도의 안정성을 확인하였다.

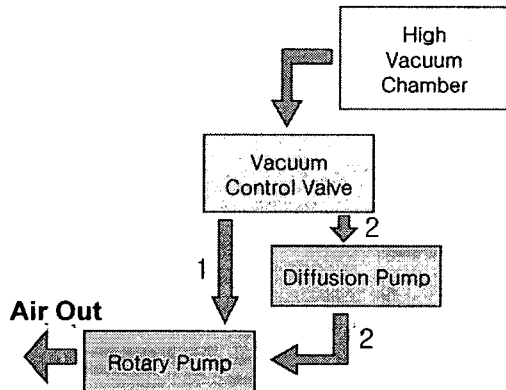


Fig. 2 Configuration of vacuum pump and flow

자동/수동 진공밸브의 저진공과 고진공의 연계관계는 Fig.2 에 나타난 바와 같이 초기에는 1 번 경로를 통해 진공챔버의 진공도를  $2E-1$  Torr 까지 높이고, 다음에는 진공밸브를 작동하여 Diffusion Pump 가 연결된 2 번 경로를 통해 Rotary Pump 까지 연결되도록 하였다. 이렇게 하면 진공도가 30 분내에  $3E-5$  정도까지 높아지게 된다.

이러한 진공과정은 자동과 수동 진공밸브에서 모두 같고, 다만 밸브의 구동을 모터를 사용했느냐와 밸브의 구조가 다를 뿐이다.

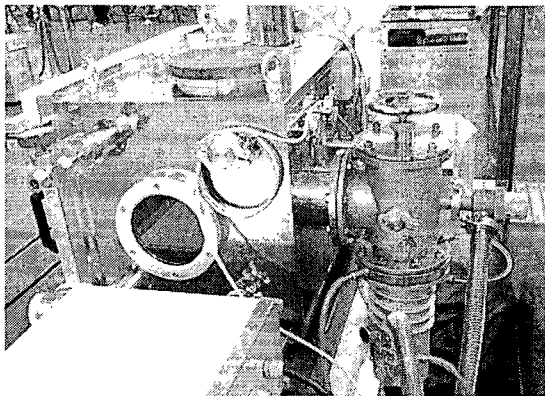


Fig. 3 Assemble of manual vacuum control valve and diffusion pump

## 2. 진공제어 밸브의 설계

진공제어 밸브는 3 개의 개폐위치 모드로 진공도를 제어하도록 설계하였다. 3 개의 모드는 저진공 실행, 챔버 폐쇄, 고진공 실행 모드로서 직선구동 모터와 광 리미트 스위치에 의해 위치제어를 하였다.

진공챔버의 폐쇄는 가공물의 입출입시 이미 존재했던 모든 진공계통의 진공도를 파괴할 필요가 없기 때문에 고진공 저장탱크의 진공도를 유지시킬 때 사용하는 모드이다. 고진공 모드는 저진공 모드가 완료된 후 바로 전환할 수 있는 모드가 아니고 약 20 분 정도의 시간이 소요된 후 고진공 모드로 전환할 수 있다. 고진공 펌프인 Diffusion Pump 는 원리적으로 비산화 오일을 끊어 사각 반사판에 튀어나오는 오일입자에 공기분자가 용착되어 진공이 되는 것으로 오일이 고속으로 증발할 때까지 시간이 필요한 것이다. 그래서 Diffusion Pump 를 사용하는 전자빔 가공기는 펌프의 냉각장치가 반드시 필요하다. 이 펌프의 냉각이 완벽하지 않은 경우 오일을 끊는 과정에서 오일 증기압이 생겨 진공도를 손상시키고 진공챔버를 오염시키게 되므로 조심해야 한다.

밸브의 형상은 입출력 위치를 폐쇄할 수 있게 원통형으로 만들고, 두 개의 입출력중 한 개를 폐쇄할 수 있도록 밸브의 길이를 조정한다. 진공의 효율을 높이기 위해서 진공경로는 가능한 한 크게 확보하기 위해 밸브의 중간부위는 지름을 작게 설계하였다.

진공챔버에서 빈번한 가공물의 입출력과 전자빔 가공기의 On/Off 는 30 분정도 소요되는 고진공 과정을 반복해서 실행해야 하므로 장비의 효율성이 낮아지게 된다. 그래서 계통상 진공을 어느 정도 확보할 수 있게 큰 용량의 진공저장 탱크를 제작하였다. 이 저장 탱크의 역할은 이외에 Diffusion Pump 로 고진공을 만드는 과정에서 오일이 끊을 때 발생하는 Back Gas 를 흡수하는 역할과 진공챔버를 폐쇄할 때 장시간 챔버의 진공을 유지시키는 역할도 겸하고 있다.

자동화된 진공 제어밸브의 저진공에서 고진공으로의 작동시기는 진공챔버에 부착된 진공센서 (Pirani 게이지)에 의해서 사전에 결정된 진공레벨에 도달했을 때 신호를 받게 된다. 피라니 게이지는 고진공용 진공센서가 아니므로 고진공까지 레벨을 디지털로 표시할 수 없고, 다만 고진공 밸브의 개폐신호를 알려 줄 수 있다. 그러나 분해능이 낮게라도 진공도를 표시해야 한다면 진공게이지의 비선형 구간을 Curve fitting 해서 사용할 수 있다. 저진

공 영역에서의 레벨표시는 단위가 Torr 인 경우 Log 함수로 표시되어 A/D Converter 의 분해능이 높아야 모든 영역을 표시할 수 있다. 이 진공센서는 저가이고 사용이 간편한 반면, 원리상 외부온도에 민감해서 외부온도의 변화가 크면 정확도가 급격히 떨어진다.

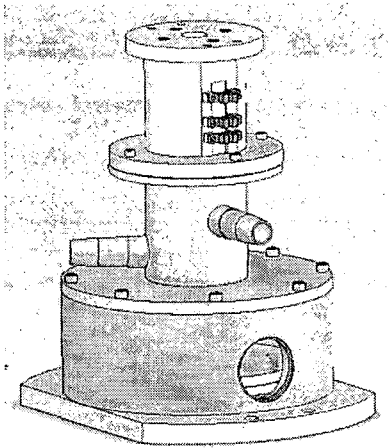


Fig. 4 Solid model of auto vacuum control valve

Fig.4 에는 자동 진공 제어밸브의 모델을 나타내었다. 상단부는 밸브의 위치제어를 3 개의 모드로 제어하기 위해 광리미트 스위치를 설치한 제어부이고, 중간부위는 진공의 입출력 경로를 개폐하는 밸브의 작동부이다. 하단부는 Diffusion Pump 와 진공 챔버를 직접연결시키는 대형 개폐판을 설치하였다. 전자빔 가공기에서 진공의 누설이 가장 쉬운 곳이 진공밸브이므로 사용되는 O-ring 이 날카로운 모서리에서 절단이 되지 않도록 코너의 모양이 부드럽게 설계되어야 한다.

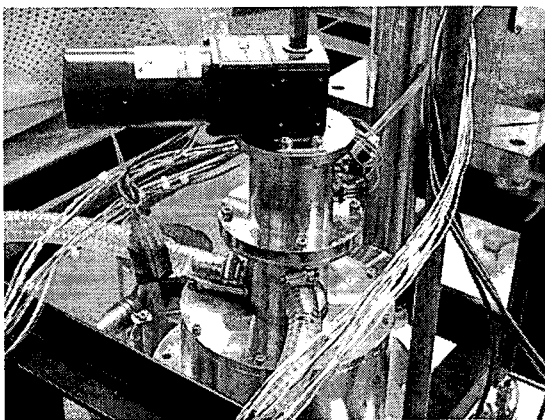


Fig. 5 Auto three way vacuum control valve in E-Beam Lithography

Fig.5 에는 E-Beam Lithography 에 장착된 자동진공밸브의 모습을 보이고 있다. 밸브를 구동하는 모터는 고진공으로 인한 밸브의 거동에도 정해진 위치를 유지할 수 있는 토크가 큰 모터를 선택하였다.

### 3. 자동 진공 제어밸브의 특성평가

진공 제어밸브의 기계적인 부분과 전자적인 부분의 성능을 확인하기 위해서 진공챔버의 진공실험을 실시하였다. 우선 진공계이지로서는 저진공과 고진공 영역을 모두 측정할 수 있는 Pfeiffer 사의 고정밀 진공계이지를 사용하였다. Fig.6 에는 진공측정을 위한 광영역 진공계이지의 진공챔버와 연결상태를 나타내었다. 이 계이지로서는 대기압으로부터  $1E-9$  Torr 까지 진공측정이 가능하다. 진공밸브의 자동 작동을 위해서는 Pirani 계이지도 진공경로상에 병렬로 연결해야 한다.

진공실험의 공정은 초기에 Rotary Pump 와 Diffusion Pump 를 On 시키고 Rotary Pump 를 17 분 동안 지속적으로 작동을 시켜 진공챔버의 상태를 저진공으로 만들고, 이때 피라니 계이지에서 저진공으로서 충분한 진공레벨을 확보하였으면 자동 밸브에 신호를 주어 Diffusion Pump 로 밸브를 변환시켜 고진공 모드로 들어간다. 이 고진공 상태를 1 시간 동안 유지시켜 챔버내의 진공도 변화를 관찰하였다. 계속해서 진공챔버의 문을 열었을 때를 가정하여 진공챔버를 5 분정도 대기압에 노출시켰다가 다시 저진공과 고진공 순으로 진공공정을 진행시켜 30 분간 고진공 상태를 유지를 하였고, 계속해서 밸브의 입출력을 완전히 봉쇄하고 2 시간 정도 지속을 시켰다.

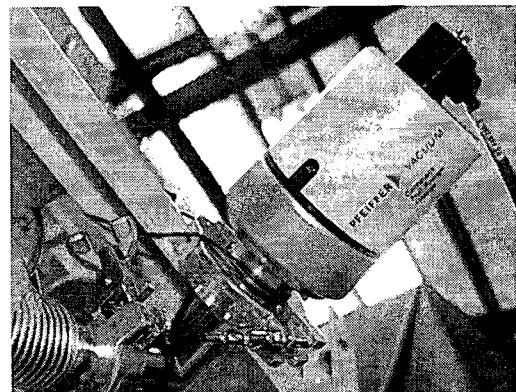


Fig. 6 Vacuum gauge with wide range

Fig. 7 에는 실험공정에 따른 진공챔버의 진공상태를 시간의 함수로 나타냈다. 그림에서 보듯이 초

기 120 초 정도는 저진공이 가속되면서 1 번 위치에서 진공도  $1.9E-1$  Torr 에 도달하였고, 다음 15 분 정도는 Diffusion Pump 의 가열로 인한 Back Steam 으로 진공도가 약간 낮아지고 있다. Diffusion Pump 가 완전히 작동을 하는 17 분 후에는 자동 진공밸브가 열리면서 고진공 모드로 들어가고 1 시간 경과 후에는 3 번 위치에서 진공도가  $2.8E-5$  Torr 에 달하였다. 진공챔버의 문을 5 분가 열면서 챔버내가 대기압 상태가 되었고(4 번 위치). 다시 진공공정을 시작하면 30 분후 5 번 위치가 되면서 진공도  $2.8E-5$  Torr 가 되었다. 계속해서 진공밸브를 완전히 봉쇄시키고 2 시간 정도 후에는  $1.9E-1$  Torr 정도를 유지하고 있다.

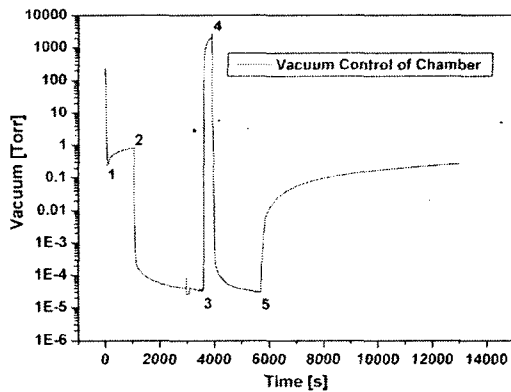


Fig. 7 Vacuum control of chamber with three way auto vacuum valve

전반적인 공정으로 볼 때 진공 경로상의 누설은 없었고, 피라니 게이지의 작동이 적시에 잘 이루어져서 저진공에서 고진공 모드로 잘 진행이 되는 것을 확인할 수 있다. 반복적인 실험에서도 진공도가 안정되게 유지되고 있어 자동 진공밸브의 역할을 충분히 하고 있음을 알 수 있다. 진공도 면에서도 전자빔 가공기를 작동시키는 데 큰 문제가 없는 진공도  $2.8E-5$  Torr 에 도달하여 전자빔 가공기의 성능을 충분히 발휘할 수 있도록 설계되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 챔버의 저진공 모드에서 고진공 모드로 변환하는 수동밸브 대신에 진공센서의 신호에 의해 자동으로 모드 변환하는 자동 진공밸브의 설계에 대해 서술하였다

(1) 수동 진공밸브를 진공센서의 Feedback 신호에 의해 자동으로 저/고진공 모드로 변환시키는 자동 진공밸브를 설계하였다.

(2) 자동 진공밸브의 진공모드는 저진공 모드, 고진공 모드, 완전폐쇄의 3 가지 모드로 구축되었다

(3) 자동 진공밸브의 고진공 성능은  $2.8E-5$  Torr 에 도달하여 전자빔 가공기의 성능을 발휘하는 데 충분하였다.

(4) 완전폐쇄 모드에서 장시간 후에도 챔버의 진공도가  $1.9E-1$  Torr 를 유지하여 밸브의 성능이 누설없이 정상임을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. Brewer, George, "Electron-Beam Technology in Microelectronic Fabrication," Academic Press, New York, 1983.
2. 이정용, "전자현미경의 원리와 응용," 민음사, 1998.
3. Roth, A., "Vacuum Technology," North-Holland Publishing Company, 1983.