

냉음극형 대면적 펄스 전자빔 가속기의 빔인출 특성

우성훈\*, 이광식\*, 이동인\*, 이홍식\*\*  
 \* 영남대학교, \*\* 한국전기연구소

Characteristics of Electron Beam Extraction in Cold Cathode Type Large Cross-Sectional Pulsed Electron Beam Generator

S.H. Woo, K.S. LEE, D.I. LEE, H.S. LEE  
 \* Yeungnam University, \*\* Electrophysics Group, KERI

**Abstract** - A large cross-section pulsed electron beam generator of cold cathode type has been developed for industrial applications, for example, waste water cleaning, flue gas cleaning, and pasteurization etc. The operational principle is based on the emission of secondary electrons from cold cathode when ions in the plasma hit the cathode, which are accelerated toward exit window by the gradient of an electric potential. The conventional electron beam generators need an electron scanning beam because the small cross section thermal electron emitter is used. The electron beam of large cross-section pulsed electron beam generator do not need to be scanned over target material because the beam cross section is large by 300cm<sup>2</sup>. We have fabricated the large cross-sectional pulsed electron beam generator with the peak energy of 200keV and beam diameter of 200mm and obtained the large area electron beam in the air. The electron beam current has been investigated as a function of accelerating voltage, glow discharge current, helium pressure, distance from the exit window and radial distribution in front of the exit window.

1. 서 론

전자빔 가속장치는 고압이 인가된 전자총에서 방출되는 전자빔을 가속·제어하여 대상물에 조사하는 장치로서 물리적 기본원리와 초고압 전원 발생장치를 핵심 기술로 하는 복합기술로 기존의 열처리, 화학처리 및 측정기기 등 매우 다양한 응용분야에 적용되는 기술이다. 열전자 방출을 이용한 소구경 전자빔 기술은 일본, 미국, 독일 및 러시아 등 선진 기술국에서는 상용화된 기술로서 환경기기, 살균처리, 용접, 배가스 처리, 수처리, 신소재 개발 및 금속처리 등에 폭넓게 사용되고 있다.

냉음극형 대면적 펄스형 전자빔 기술은 최근 미국 RPC사에서 산업용으로 상용화 하였고, 러시아의 NIEFA 연구소에서 100[kW]급 대출력 CO<sub>2</sub> 레이저 및 오존발생용으로 개발함으로써 많은 관심을 유발했다. 국내에서는 산업발전에 따른 신소재 개발 등의 요구에 의해 연구기관 등을 중심으로 수입되어 가동중에 있다.

특히, 대면적 펄스 전자빔 가속기는 열전자 방출을

이용하는 종래의 선형가속기 및 스캐너 타입 가속기보다 늦게, 지금으로부터 25년 전에 나타났으며, 가속전압이 150~200[kV], 빔 단면적이 수백~수천[cm<sup>2</sup>] 까지 특성지워져 지금은 거의 200여종에 달하고 있다.<sup>[1]~[5]</sup>

본 연구에서는 펄스 200[kV], 전자빔 전류 수백[μA]를 가지는 대면적의 균일한 전자빔 발생장치를 개발하여 빔 인출을 시도하였으며, 다양한 파라메타에 대한 전자빔 전류의 특성을 조사하였다.

2. 가속기 구성

전자빔 발생장치 전체 시스템의 전체 시스템의 블록도를 그림 1에 나타내었다. 냉음극형 대면적 펄스 전자빔 가속기는 다음과 같은 부분으로 구성되어 있다. 이온 소스 공급을 위한 DC 전원장치, 전자빔 발생을 위한 펄스전원장치, 진공장치, 가스공급장치, 냉각장치, 측정장치, X-ray 차폐실로 구성되어 있다.

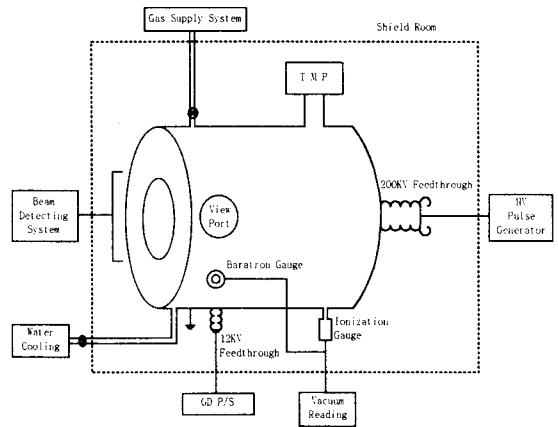


그림 1. 전자빔 가속기의 전체 시스템 블록도

진공챔버는 직경 500[mm], 길이 400[mm]의 원통형 스테인레스로 제작되었고, 글로우 방전영역은 직경 500[mm], 길이 90[mm]이다. 냉음극과 내부 그리드간의 거리는 40[mm]로 고정하였다. 고전압 펄스가 인가되는 동으로 제작된 feedthrough는 MC 나일론으로 절연되어져 있으며, 직경 200[mm]의 냉음극을 지지하고 있다.

냉음극의 모양을 챔버 외벽간의 절연파괴를 방지하기 위하여 냉음극 모양을 따라 일정한 간격을 유지하는 스크린을 제작하여 챔버 외벽과 연결하였다. 전자빔 인

출창의 직경은 200[mm]인데 인출창으로 사용하는 얇은 막을 고정하기 위한 지지대를 고려하면 유효 인출면적은 약 200[cm<sup>2</sup>] 정도이다. 또한 인출창은 호일 열손상을 방지하기 위하여 수냉식으로 되어있다.

헬륨 가스는 니이들 밸브를 통하여 챔버 속으로 작은 유속으로 흐르고 있으며 챔버속의 불순물을 최소화하기 위하여 로타리 펌프로 순환 되어진후, 챔버는 분당 처리용량 600[l]의 터보분자 펌프(ATP Series)에 의해 수[mtorr]로 펌프되어진다. 작업 가스 압력은 절대 압력 변환기(MKS Baratron Type 622A)의 Baratron gauge와 컨트롤 시스템(MKS Type 146C Cluster Gauge)을 가지고 측정하였다.

### 3. 전자빔 인출 특성

전자빔 인출 특성 시험은 헬륨가스 5[mtorr], 글로우 방전전류 0.5[A]라는 최적의 글로우 방전조건을 얻은후, 그림 2와같은 보조진공챔버, collector, 그리고 DC+45[V]의 바이어스 전원으로 구성된 전자빔 전류 측정 시스템으로서 측정을 수행하였다.

전자빔이 collector에 도달하게 되면 50[Ω]의 측정용 저항에 전류가 펄스로 흐르게 된다. 측정시 인출창과 collector 사이의 거리는 40[mm] 정도로 했으며, 하나의 진공챔버를 사용했기 때문에 보조진공챔버의 진공도는 가속기 챔버의 진공과 같게 하였다.

한편, 구조적으로 측정이 까다로운 거리에 따른 빔 전류 및 반경방향 분포에 따른 빔전류는 직경 300[mm]의 알루미늄 원판 및 15[mm]의 동판에 무유도 저항 100[Ω]을 사용하여 대기중에서 측정하였으며, 편의상 규격화한 값으로 나타내었다.

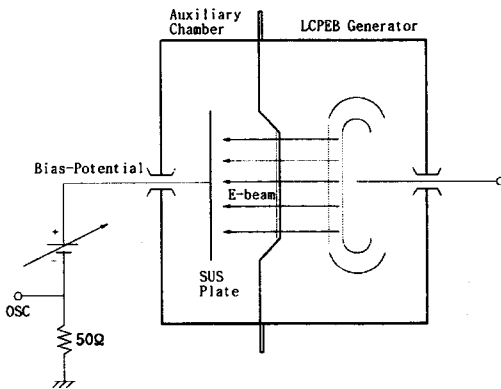


그림 2. 전자빔 전류 측정 시스템

그림 3은 고전압 펄스와 전자빔 전류의 파형이며, -200[kV], 40[μs]의 펄스 고전압을 인가하여 20[μs]의 펄스폭을 가지는 135[μA]의 전자빔 전류를 보이고 있다. 또한, 그림에서 나타낸 바와 같이 고전압 펄스의 상승 시간 및 하강시간은 손실 및 냉각시스템의 운전 비용을 감소하는데 있어서 중요하다고 할 수 있다.

그림 4는 가속전압을 증가함에 따라 변화하는 전자빔 전류를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 빔 전류는 가속전압 120, 140, 160, 180, 및 200[kV]에서 각

각 2, 16, 52, 104 및 135[μA]로 측정되었다.

전자빔 전류는 수천번 이상의 펄스 sweep 후에 평균적인 피크값으로서 측정하였다. 그림에서 50[μm]의 알루미늄 호일을 통과하여 인출되는 전자빔 전류는 가속 전압에 크게 의존한다는 것을 알 수 있다. 이것은, 알루미늄 호일에서 전자빔의 에너지 손실은 상당한 정도이며, 115[kV] 부근 및 문턱치(cut-off) 아래의 전자빔은 인출창인 알루미늄 호일의 heating 손실로 소모된다는 것을 의미한다. 따라서, 가속전압이 115[kV] 이하의 전압에서 가속되는 전자들은 알루미늄 호일에서 정지하게 된다.

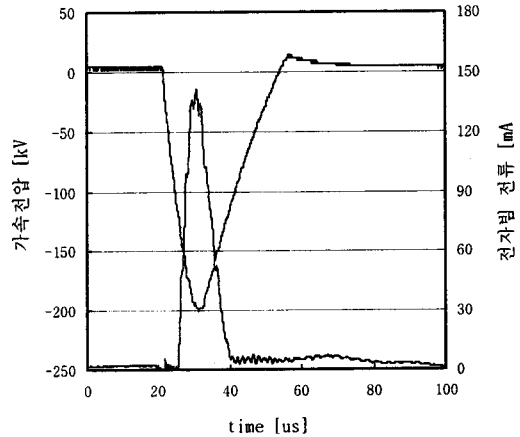


그림 3. 고전압 펄스 및 전자빔 전류

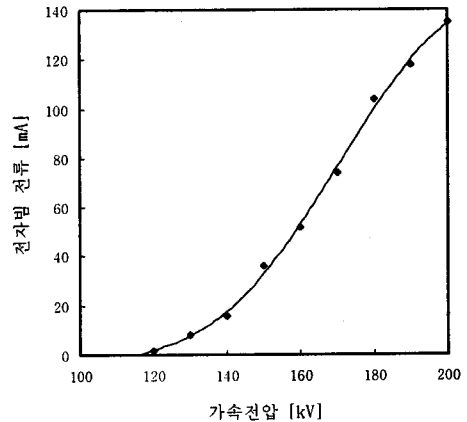


그림 4. 가속전압에 대한 전자빔 전류

그림 5는 인출창으로부터 거리에 따른 전자빔 세기의 변화를 대기중에서 측정하여 규격화한 그림이다. 인출창으로부터 나오는 전자빔을 측정하기 위하여 직경 300[mm]의 알루미늄 원판 및 무유도 저항 100[Ω]을 사용하여 전자빔 전류를 측정하였다. 그림에서 보듯이 200[kV]의 가속된 전압에 의해 발생된 전자빔은 인출창인 50[μm]의 알루미늄 호일 뚫고 나와 대기중에서 25[cm] 정도의 거리까지 전파된후 소실된다. 또한, 전자빔

의 세기는 지수적인 형태로 거리에 따라 초기에 급격히 감소하다가 10[cm] 이후에는 천천히 감소한다. 이는 낮은 에너지 쪽에 많이 분포하는 전자에너지 분포함수 때문이다. 즉 매질을 통한 전자의 진행거리는 전자의 에너지에 의존하기 때문에 낮은 에너지를 가진 전자가 많은 전자빔은 그 세기가 빨리 감소하게 되며, 전자빔의 최대 도달거리는 전자빔 내에서 높은 에너지를 가진 전자에 의해 결정되기 때문이다.

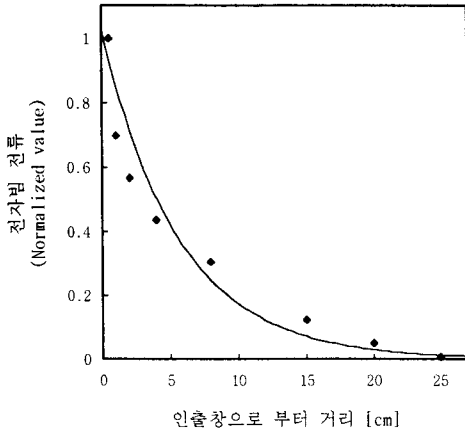


그림 5. 인출창으로부터 거리에 따른 전자빔 전류

그림 6은 대기중에서 인출한 전자빔을 반경방향으로의 분포에 따라 대기중에서 측정하여 규격화한 전자빔 전류를 나타내고 있다. 가속전압을 140, 160, 200[kV] 인가했을 때의 전자빔 전류를 측정하였다. 전자빔 전류는 인출창의 중심으로부터 전자빔이 인출되는 위치에 따라서 약 20[mm] 간격으로 9 지점을 선정 한 후 직경 약 15[mm]의 9개의 구리 전극을 각 지점에 근접하게 설치하여 무유도 저항 100[Ω]에 걸리는 전압을 측정함으로써 얻어졌다. 각 구리전극은 인출창으로부터 2[mm] 정도 떨어져서 인출창과의 접촉을 피하고 손실을 최소화 하였다. 따라서, 위치별로 15[mm] 원 내에 흐르는 전자빔 전류를 측정할 수 있었다.

전반적으로 반경방향 분포에 따른 전자빔 전류는 중심부가 높고 외곽으로 갈수록 낮으며 중심부를 기준으로 대칭적인 구조를 보이고 있다. 전자빔 전류의 최대와 최소의 차이는 가속전압이 140[kV]인 경우는 25[%]정도, 160[kV]인 경우는 36[%], 200[kV]인 경우는 40[%] 정도의 차이를 보이고 있다. 결국, 가속전압이 높을수록 최대와 최소치의 차이가 큰 것으로 나타났는데, 이것은 전압이 증가할수록 중심부 부분의 전자빔 전류는 상대적으로 증가하는 반면, 외곽부분에서는 이온과 전자가 챔버 벽면쪽으로 확산되거나 챔버 벽면에서 재결합 되는 소실기구로 인해, 전자빔 발생 소스인 이온의 밀도 분포가 낮아지기 때문인 것으로 사료된다.

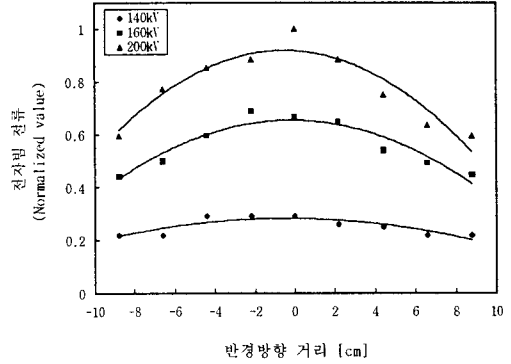


그림 6. 반경방향 분포에 따른 전자빔 전류

## 5. 결 론

본 연구에서 설계·제작한 냉음극형 대면적 펄스 전자빔 가속기의 빔인출 특성을 조사하였으며, 최대 전자빔 전류는 135[mA]로서 대기중으로 25[cm] 정도의 거리까지 전파되는 특성을 가지며, 비교적 균일한 분포를 보이고 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] W.J. Ramler, " Performance Characteristics of a WIP Electron Beam Systems " 7th International Meeting on Radiation Processing, 1989.
- [2] P. Holl and E. Foll, " New Applications of Low Voltage Electron Beam Accelerators ", Radiat. Phys. Chem. Vol. 35, No. 4~6, pp.653~657, 1990.
- [3] Denise A. Cleghorn and Sam V. Nablo, " Electron Sterilization Validation Techniques Using the Controlled Depth of Sterilization Process ", Radiat. Phys. Chem. Vol. 35, No. 1~3, pp.382~389, 1990.
- [4] J. W. LEONHARDT, " Industrial Application Electron Accelerators in GDR ", Radiat. Phys. Chem., Vol. 35, Nos. 4~6, pp.649~652, 1990.
- [5] Platzer, U. Willibald, J. Gottstein et al, " Flue gas cleaning by the electron beam process (2) " ; recent activities at the RDK 7 pilot plant Karlsruhe Radiat. Phys. Chem., Vol.35, No. 1~3, pp.427~431, 1990.
- [6] 우성훈, 이광식, 조주현, 이홍식 "냉음극형 대면적 전자빔의 공간적 분포 특성 " 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp 2170~2172, 1999. 7
- [7] A. von Engel, "Ionized Gases" American Institute of Physics Press, 1993.
- [8] Fransis F. Chen "Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion" Plenum Press, 1984.