

저에너지 대면적 전자빔 발생장치의 이론적 해석 및 설계에 관한 연구

(Theoretical Analysis and Design of the Low-Energy Large-Aperture Electron Beam Generator)

우성훈* · 이광식**

(Sung-Hun Woo, Kwang-Sik Lee)

요 약

본 연구에서 개발하고자 하는 저에너지 대면적 전자빔 발생장치는 원리로서 발생원인 글로우 방전에 의한 플라즈마로부터 이온을 음극으로 가속, 충돌하게 하여 그때 발생하는 2차전자를 전자빔원으로 하여 전자를 가속·제어하는데 바탕을 두고 있으며, 본 연구에서는 이러한 원리를 기본으로 이론적 해석을 통한 고효율의 저에너지 대면적 전자빔 발생장치개발의 설계 및 제작에 대해서 연구하였으며, 또한 빔 에너지의 안전성과 방전조건을 고려한 최적의 방전 파라메타를 설정하여 대면적의 균일한 빔 인출을 가능케 하였다.

Abstract

We have established a pulsed low-energy large-aperture electron beam(LELAEB) generation system with an energy of 200[keV], current of 1[A], pulse repetition rate of 200[Hz], and several tens of μ s pulse width. The system is characterized by a cold cathode that is simpler than the hot cathode. Electron beam does not need to be scanned over target objects because of large beam aperture of 300[cm]. Electron source is secondary electrons that are generated when the ions from the glow discharge collide on the cathode surface. In this paper, We report about the design and manufacture of LELAEB generation system based on the theoretical analysis in order to study possibility of increasing the efficiency of LELAEB accelerator. We also report on the possibility of large aperture beam current generation and the current density uniformity based on the experimental results.

* 정회원 : 영남대학교 전기전자공학부 박사과정

** 정회원 : 영남대학교 전기전자공학부 교수

접수일자 : 1999년 4월 6일

1. 서 론

최근, 전자빔의 산업용용 분야에서는 전자빔 발생을 위한 기술이 상품화 되고 있으며 빔의 에너지와 전류의 크기에 따라 금속 표면처리, 기계가공 등 산업분야 뿐만 아니라 살균, 방사선 치료, 휘발성 유기화합물의 처리(VOCs) 등 의료 및 환경분야에 이르기까지 다양하게 이용되고 있다[1~4]. 그 중에서 저에너지 대면적 전자빔 발생장치(Low Energy Large Aperture Electron Beam)는 가속전압 150~250[kV], 빔 단면적 수백~수천[cm²]까지로 특성지워져 지금 거의 200종에 달하고 있고, 주로 상압 또는 고압력에서 균일 글로우 방전을 얻기 위한 보조수단으로 기체 레이저 장치에서 이미 그 가치를 인정받아 왔으며, 고전압 방전 전극 사이에 예비전리용으로 전자빔을 조사하여 낮은 전압에서도 공간적으로 균일한 방전을 얻을 수 있다. 따라서 이러한 방전은 비자속 방전(non-selfsustained discharge)으로 분류 되며 넓은 면적에 걸쳐서 균일한 방전을 요하는 기체 레이저 여기, 오존 발생, 플라즈마 탈황·탈질과 같은 플라즈마 기상화학 공정 등에의 응용이 크게 기대된다. 최근에는 미국의 RPC사에서 산업용으로 상용화 하였고[5], 러시아의 NIEFA 연구소에서 100[kW]급 대출력 CO₂ 레이저 및 오존발생용으로 개발함으로써 산업용용 분야에서도 많은 관심을 가지게 되었다. [6~8] 이처럼 전자빔 가속 및 발생기술은 국내 산업 개발을 주도할 기술로서 선진국에서는 이미 상용화된 기술이지만 국내에서는 연구기관을 중심으로 수입되어 가동중에 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서 개발하고자 하는 전자빔 발생장치는 에너지 200[kV], 전류 1[A], 펄스폭 수십[μs], 펄스 반복율 200[Hz]의 펄스형 전자빔 발생장치로서 특징은 '냉음극' 으로서 종래의 '열음극' 가속기에 비해 기계·전기적으로 복잡하지 않고 투자비용 및 유지비용이 적으며 전자빔의 면적이 300[cm²] 정도의 '대면적' 이므로 3차원 처리가 가능하여 피처리 대상물에서의 스캐닝이 필요없다는 것이다. 그 원리는 발생원인 글로우 방전에 의한 플라즈마로부터 이온을 음극으로 가속, 충돌하게 하여 그때 발생하는 2차전자를 전자빔원으로 하여 고압이 인가된 전자원에서 전자를 가속·제어하는데 바탕을 두고 있으며, 본 연구에서는 이러한 원리를 기본으로 이론적 해석

을 통한 고효율의 저에너지 대면적 전자빔 발생장치 개발의 설계 및 제작에 대해서 연구하였으며, 또한 빔 에너지의 안전성과 방전조건을 고려한 최적의 파라메타를 설정하여 대면적의 균일한 빔 인출을 가능케 하였다.

2. 전자빔 발생장치 및 가속원리

전자빔 발생장치의 개략도 및 주요부분의 치수를 그림 1에 나타내었다. 전자빔 최대 에너지 200[keV], 인출전자빔 피크전류 1[A], 펄스폭 수십[μs], 반복주파수 200[Hz], 평균 출력에너지 400[W]의 전자빔 설계기준을 바탕으로 했으며, 전자빔 발생장치의 구조는 펄스 고전압이 인가되어 2차전자를 방출하는 케소드, 2차전자 방출의 이온소스인 글로우 방전부의 아노드(mesh 또는 ring 형태), 음극 표면에 입사하는 이온빔과 음극에서 방출되는 전자빔의 직진성을 높이기 위하여 설치된 내부 그리드(hole 또는 mesh 형태), 전자빔을 대기중으로 인출하기 위한 foil window(인출창) 부분, 진공 및 가스공급장치 등으로 구성되어 있다.

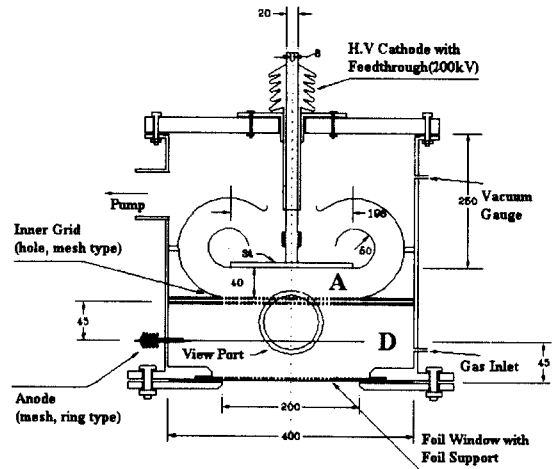


그림 1. 전자빔 발생장치의 개략도
Fig. 1. Schematic of electron beam accelerator

글로우 방전은 수~수십[mtorr]의 헬륨가스로 채워진 챔버 내부에 아노드 양극과 챔버 외벽 또는 내부 그리드 사이에 전압을 인가함으로써 발생되며, 이때 방전개시 및 플라즈마 여기를 위해 공급되는 전

압은 챔버에 대해서 정극성을 가진다. 즉, 그라운드 포텐셜을 하고 있는 내부 그리드는 가속기 체적을 가속 갭(gap) A와 드리프트(drift) 갭 D로 나누고 있으며, 드리프트 갭에서 플라즈마가 발생하며 플라즈마 표면으로부터 방출되는 이온들은 케소드의負의 전계에 의해 내부 그리드의 구멍을 통하여 음극쪽으로 향하게 되며, 음극에 충돌하는 이온은 2차전자의 방출을 일으킨다. 이때 이렇게 발생한 전자들은 가스 압력이 어느정도 낮아 전자의 평균자유행정이 전극 사이의 거리보다 크게되면 전자는 가속되어지는 동안 다른 중성 및 하전입자와 충돌없이 대부분 충분한 에너지를 가지고 내부 그리드와 드리프트 갭을 가로질러 foil 지지구조 및 인출창을 통하여 대기중으로 인출되어진다.

3. 최대 빔 인출을 위한 이론적 해석 및 Foil 설계

실제 인출되는 전자빔 전류의 손실은 가스의 종류와 압력, 가속전압의 크기, 가속 갭, 전극간 거리 등에 의존하여 발생하며, 기하학적 손실은 그림 2에 보듯이 내부 그리드(δ_a)와 foil 지지구조(δ_{sw})의 hole 직경, 내부 그리드(h_a)와 foil 지지구조(h_{sw})의 두께, 가속 갭(A)와 드리프트 갭(D)의 폭, 내부 그리드로부터 플라즈마 경계까지의 거리 d, 압력 P와 같은 파라메타에 의존한다. 전자빔 인출 효율(K)은 인출되는 전자빔 전류(I_b)와 음극에서 가속된 전류(I_c)와의 비로서 결정된다.

$$K = I_b / I_c \tag{1}$$

플라즈마 표면으로부터 가속전계에 의해 추출된 이온들의 일부는 이온중식을 통하여 총 이온전류(I_{ic})는 다음과 같이된다.

$$I_{ic} = \alpha_i I_{ia} \tag{2}$$

여기서, I_{ia} 는 플라즈마 표면으로부터 방출되는 이온전류, α_i 는 이온화 충돌과 빠른 중성자의 이온화로 인한 이온 중식을 나타내는 계수이다. 계수 γ_i 를 가지는 이온에 의한 충돌의 결과로서 음극표면으로부터 방출되는 전자전류(I_{ec})는 다음과 같

이 쓰여질 수 있다.

$$I_{ec} = \gamma_i I_{ic} = \gamma I_{ia} \alpha_i \tag{3}$$

따라서, 전자빔 발생장치의 총부하전류(I_c)는

$$I_c = I_{ic} + I_{ec} = I_{ia} (\alpha_i + \gamma \alpha_i) \tag{4}$$

이다.

그러나 음극으로부터 방출된 전자들은 내부 그리드의 부분적 흡수로 인한 손실(ΔI_{ea}), foil 지지구조에 의해 소비되는 손실(ΔI_{esw}), 인출창에서 감쇠되는 손실(ΔI_{ef})로 인하여 감쇠된다. 결과로서 인출창을 통하여 대기중으로 인출되는 전자빔 전류(I_b)는

$$I_b = I_{ec} - \Delta I_{ea} - \Delta I_{esw} - \Delta I_{ef} \tag{5}$$

으로 되며, 결국 식 (1)의 전자빔 인출 효율은 최종 (6)식으로 된다.

$$K = (I_{ec} - \Delta I_{ea} - \Delta I_{esw} - \Delta I_{ef}) / I_c \tag{6}$$

따라서, 내부 그리드(ΔI_{ea}), foil 지지구조(ΔI_{esw}) 및 인출창(ΔI_{ef})에 의한 손실을 최소화하여 설계하는 것이 중요하다.

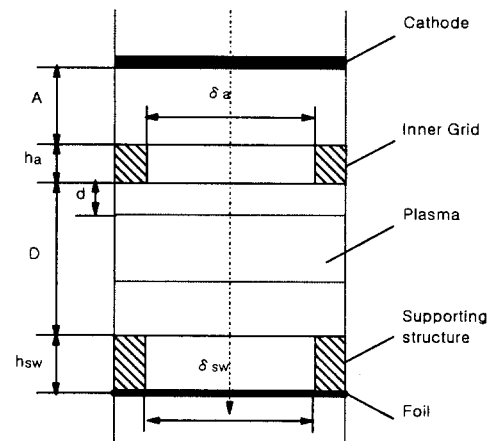


그림 2. 전자빔 발생장치를 기본으로한 cell의 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of a cell of LELAEB accelerator

한편, 내부 그리드에 의한 손실(ΔI_{ea})을 최소화 하기 위하여, 하전입자 분포해석의 시뮬레이션을 통해 계산 수행된 이온-전자광학 시스템의 전극들 사이의 전류분포를 바탕으로[9~11], 그림 3과 같이 음극에서 내부 그리드로 입사하는 이온의 공간분포를 얻었다.

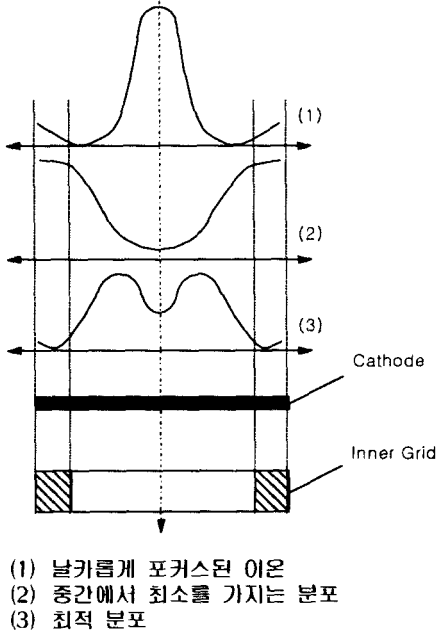


그림 3. 전자빔 발생장치 cell의 음극에서 이온분포
Fig. 3. Ion distribution at the cathode on a cell

그림 3의 (1)은 h_a / δ_a 의 비가 큰 값에서 얻어질 수 있는 급격하게 focus된 시스템으로 전자전류의 손실없이 거의 플라즈마의 경계에 도달하며, 내부 그리드 전송효율이 크다. 그러나 이온전류(전자전류)의 밀도가 중심에서 높아서 글로우 방전이 불안정 해지며, breakdown 발생, 고온으로 인한 foil의 국부적인 가열로 손상의 위험을 일으킨다. (2)는 낮은 h_a / δ_a 의 비에서 얻어지며 이온빔은 초점이 흐려져, 중심에서 최소를 가진다, 내부 그리드 손실이 커서 빔 방출 효율이 떨어진다. (3)은 적절한 압력의 영역과 최적의 h_a / δ_a 의 비에서 발생하며, 글로우 방전의 안정성과 내부 그리드의 손실을 줄이는 최적 조건이다.

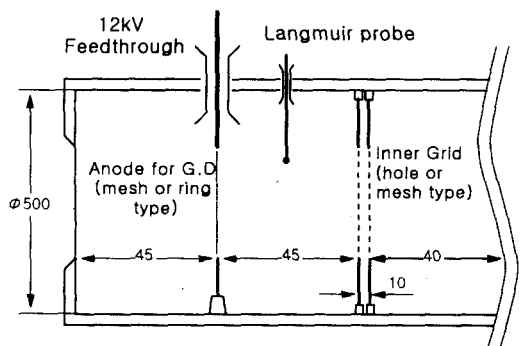
foil 지지구조에서의 손실(ΔI_{esw})은 내부 그리드 뒤의 전자빔의 발산과 관련되므로, foil 지지구조의

두께(h_{sw})를 감소하거나, 내부 그리드와 foil 지지구조의 거리(D)를 감소함으로써 줄일수 있다. 그러나 전자는 foil 지지구조와 foil에 대한 기계적·열적 강도 요구에 제한되며, 후자는 글로우 방전의 안정한 개시와 유지조건에 의해 제한 되므로 적절한 조건을 찾아야 한다.

본 연구에서 개발하는 전자빔 발생장치의 가장 큰 특징은 전자빔 인출 면적이 300[cm²]에 이르는 대면적이라는 점이다. 인출창의 설계에 있어서 고려해야할 사항은 저진공과 대기압 사이의 힘에 견디는 기계적 강도와 전자빔 에너지의 손실(ΔI_{ef})이 최소로 되는 두께를 가지며, 손실에 의하여 발생하는 열을 효율적으로 냉각시켜야 한다는 것이다. 일반적으로 사용하는 인출창은 얇은 금속 막으로 보통 Ti foil을 주로 사용하지만, 본 연구에서 인출하고자 하는 전자빔의 에너지는 200[keV] 정도로서 비교적 저에너지이다. 이 경우 Al과 Ti의 밀도는 각각 2.69[g/cm³], 4.53[g/cm³] 이므로, 전자빔의 투과깊이를 바탕으로 200[keV]의 전자빔이 50[μ m]의 Al 및 Ti foil을 통과할 때 에너지의 손실은 18% 및 50% 정도이다[12, 13]. 본 연구에서는 강도와 손실에 있어서 효율적인 50[μ m]의 Al foil을 사용하였다.

4. 전자빔 소스용 글로우 방전부 및 냉음극 설계

글로우 방전부의 설계는 그림 4와 같이 전자빔 발생장치의 챔버 및 내부 그리드를 글로우 방전의 음극으로 하고, 양극으로 mesh 또는 ring 형태의 전극을 사용하였다.



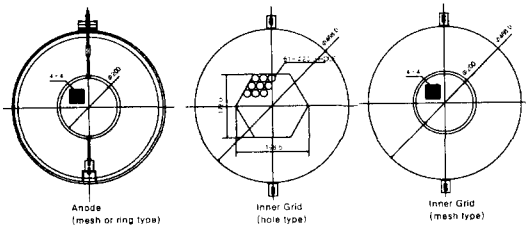
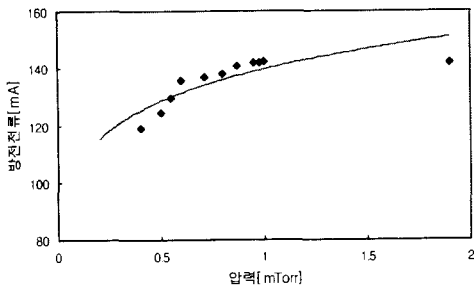
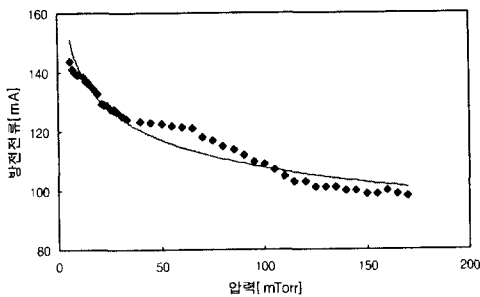


그림 4. 글로우 방전의 개략도
Fig. 4. Schematic of glow discharge part

그리고, 플라즈마 내의 이온이 고전압 케소드에 의해 가속되어 2차전자를 발생시킬 수 있도록 내부 그리드를 이중으로 하여 글로우 방전영역을 제한하는 효과와 발생전자빔의 직진도가 향상되도록 하였다.



(1) 낮은압력영역



(2) 높은압력영역

그림 5. 헬륨가스중의 글로우 방전의 압력에 따른 방전전류 특성
Fig. 5. Glow discharge current as a function of pressure

높은 전자빔 발생을 위해서는 플라즈마 밀도가 높아야 하고, 플라즈마 밀도가 높기 위해서는 방전전류가 크야만 한다는 것을 실험을 통해 이미 확인하였

고[14, 15], 결국 글로우 방전전류를 높이는 것이 빔 전류 증가에 직접적인 관련이 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 글로우 방전의 최적 압력은 그림 5에서 보듯이 글로우 방전 특성 실험을 통해 최적의 압력이 수~30[mTorr]이하임을 확인하였다.

또한, 고전압 음극 설계에 있어서 음극은 이온의 충돌에 의해서 2차전자를 방출하는 역할을 하므로 2차전자 방출계수가 높은 금속이 유리하다. 그러나 한편으로는 이온의 충돌에 의해 열이 발생하므로 열에 강한 금속이 필요하다. 본 연구에서는 SUS 계열의 금속을 사용하였고, 200[kV], He+와의 충돌에 의해서 발생하는 2차전자방출계수는 대략적으로 $\gamma_i \approx 3 \sim 6$ 정도로 추정할 수 있었다[16~18].

고전압 음극설계에서 고려해야할 중요한 사항중 하나는 절연문제이다. 본 연구에서 동작영역의 가스 압력은 30[mTorr]이하의 영역이므로 그림 6에 보이듯이 Paschen 곡선의 왼쪽부분, 즉 전극간격이 좁을수록 절연파괴전압이 높아지는 영역과, 진공절연파괴이론에 바탕을 둔 부분, 즉 전극간격이 좁을수록 절연파괴전압이 낮아지는 영역의 두가지 절연 메카니즘[19]을 모두 고려하여야 한다. 반복실험을 통하여, 전극간격이 좁을수록 음극과 챔버 사이에 breakdown 발생이 감소, 빔 인출이 유리하였지만 오히려 진공절연파괴 영역에서는 쉽게 breakdown이 발생하여 심각한 절연문제가 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 고전압 음극과 내부 그리드 전극사이의 최적의 거리를 40[mm]로 예측하여 설정하였다.

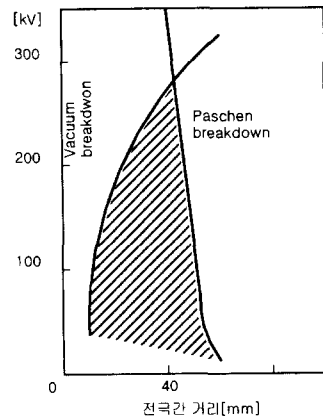


그림 6. 저 진공중의 절연파괴 (He ~30 (mTorr))
Fig. 6. Breakdown curves in a low vacuum

5. X-RAY 차폐설계

전자빔이 챔버 내부 및 외부에서 금속 또는 기체와 충돌할 때 발생하는 X선은 인체에 유해하므로 안전성을 위해 차폐하여야 한다. 이때 차폐설비의 기준은 전자빔의 에너지와 전류량, 동작시간, 피폭 제한치(Dose) 등이다. 설계 기준에 따라서 적절한 납 또는 콘크리트의 두께를 정할 수 있다. 본 연구에서는 설계기준 값(K)에 따른 납 및 콘크리트의 두께를 다음의 식으로 계산하여 차폐두께를 환산하였다.

$$K = \frac{I \cdot t \cdot 100}{R^2 \cdot 36 \cdot D_{max}} \quad (7)$$

여기서 I는 전자빔 전류 (DC 또는 평균치) [mA], t는 주당 동작시간 [hour/week], R은 X선 발생원으로부터 차폐실까지의 거리[m], D_{max}는 최대 허용 피폭량[mR/week, 주당 40시간의 작업을 기준을 각각 나타낸다. 본 연구에서 설정한 K값은 0.05로서 정기적으로 검사를 받지 않는 일반인의 경우의 최대 허용 피폭치를 0.25[mR/h]로 계산하였다[13, 20]. 이에 따라 안전성과 경제성을 고려한 최적의 납의 두께는 본 연구의 Shield Room(2m × 3m × 2.5m)에 있어서 3[mm] 두께 정도면 충분함을 확인하였다. 사진 1은 제작된 X-Ray 차폐실을 보인다

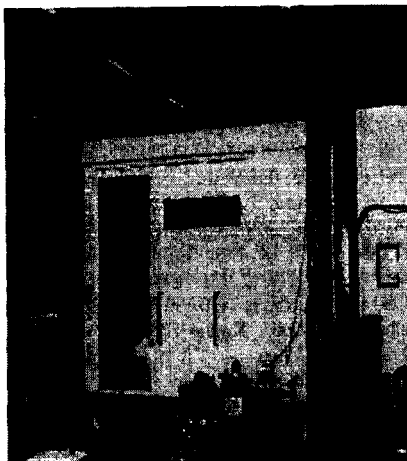


사진 1. 제작된 X-Ray 차폐실
Photo 1. X-ray shielding room

6. 전자빔 인출실험

본 연구에서 제작된 고전압 펄스전원을 이용하여 전자빔 인출을 하였다. 전류측정은 Faraday Cup을 이용하여 측정하였다. 그림 7은 인가전압에 대한 인출전자빔 전류의 파형을 나타내고 있으며 비교적 낮은 전압에서도 전자빔은 발생하지만 인출창을 통하여 대기중으로 나올 수 없으며, 전자빔은 인가전압이 최소 100[kV] 이상이 되어야 Al foil을 뚫고 나올 수 있다는 것을 파형에서 알 수 있다.

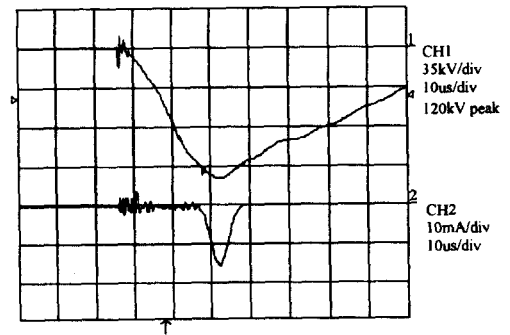
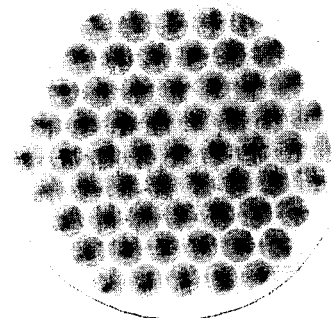


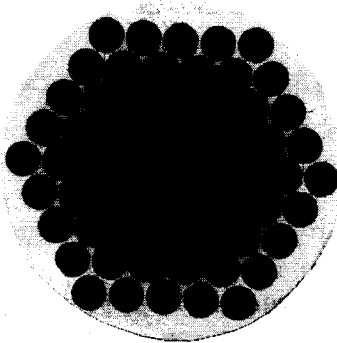
그림 7. 인가된 펄스 전압 및 외부로 인출된 전자빔 전류 파형

Fig. 7. Waveforms of pulse accelerating voltage and electron beam current

인출된 전자빔의 분포는 그림 8과 같이 압력 수 [mtorr]의 안정된 방전조건에서 150[kV] 펄스 고전압이 인가될 때 흑백인화지를 이용하여 대략적으로 확인할 수 있었다.



(1) Ring 형태 그리드



(2) mesh 형태 그리드

그림 8. 인출된 전자빔의 분포
Fig 8. Marks of electron beam extracted

전자빔의 분포는 hole형 그리드의 경우 인출 홀의 중심 부분에 약간의 집중이 생겨 전자빔이 공간적으로 불균일하게 됨을 알 수 있는데 이것은 캐소드에 고전압이 인가되면 전계의 등전위면이 내부 그리드를 지나서 플라즈마 영역의 내부까지 침투하게 되어 이때 이온들은 등전위면의 형상에 의해서 집중(focusing)이 일어나기 때문이다. 반면에 직경이 작은 mesh형 그리드를 사용한 경우에는 등전위면이 평판에 가까운 형상을 가짐에 따라 인출된 전자빔이 공간적으로 높은 밀도의 균일한 분포를 가지게 됨을 확인할 수 있었다.

7. 결 론

본 연구에서는 전자빔의 발생 및 가속원리를 기본으로 이론적 해석을 통한 고효율의 저에너지 대면적 전자빔 발생장치개발의 설계 및 제작에 대해 연구하였으며, 글로우 방전부 및 고전압 음극의 최적설계를 통하여 고효율 저에너지 대면적 전자빔의 균일한 인출 가능성을 확인하였다. 향후, 더 큰 빔전류를 이용하여 오존발생기 및 NO_x 제거 등 환경분야에 적용가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 箱田 照幸 外 三人, "電子ビームによる揮發性有機物の處理", EP-97-59, pp 13~18, 平成 9年.
- [2] P. HOLL and E. FÖLL, "New Applications of Low Voltage Electron Beam Accelerators", Radiat. Phys. Chem., Vol. 35, Nos. 4~6, pp 653~657, 1990
- [3] Denise A. Cleghorn and Dam V. Nablo, "Electron Sterilization Validation Techniques Using the Controlled Depth of Sterilization Process", Radiat. Phys. Chem., Vol. 35, Nos. 1~3, pp 382~389, 1990.
- [4] J. W. LEONHARDT, "Industrial Application Electron Accelerators in CDR", Radiat. Phys. Chem., Vol. 35, Nos. 4~6, pp 649~652, 1990.
- [5] W. J. Ramler, "Performance Characteristics of a WEP Electron Beam System", 7th International Meeting on Radiation Processing, 1989.
- [6] "SMQL- Accelerator for Researchs in the field of Radiation Processing", Technical Note of NIEFA, Russia, 1997.
- [7] Y. A. Kotov, S. Y. Sokovnin and A. L. Filatov, "Using a High-Current Electron Beam to Generate Ozone", 10th IEEE Pulsed Power Conf., V. 2, pp 1239~1242, 1995.
- [8] G. G. Isaacs, "High Power Pulsed Electron Beam from a Glow Discharge", New Technology, pp 542~543, Nov 1967.
- [9] M. Abroyan, "Large-Area High-Efficiency Electron Accelerators", Instruments and Experimental Techniques. Vol. 41, No. 2, 1998, pp. 222-227. Original Russian.
- [10] M. Abroyan, et al., Abstract of Paper, 8 Soveshchanie po primeneniyu zaryazhennykh chastits v promyshlennosti i meditsine (The 8th Conf. on Application of Charged Particles in Industry and Medicine), St. Petersburg, 1995; Moscow: TsNIAtominform, 1996, pp 22.
- [11] M. Abroyan, Sung-Hun Woo, Kwang-Sik Lee, Chu-Hyun Cho, Hong-Sik Lee, "Low Energy Large Area Electron Accelerator with Continuous and Pulse Mode Operation", 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계학술발표회 논문집, pp 87~89, 1999.
- [12] 우성훈, 이광식, 조주현, 이홍식, "저에너지 대면적 전자빔 발생장치 개발(I)", 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계 학술발표회 논문집, pp 135~137, 1998.
- [13] I. S. Grigoryev, EZ Meilichov, "Fizicheskie velichiny", Moscow, Energoatomizdat, pp 1169~1170, 1991.
- [14] 우성훈, 이광식, 조주현, 이홍식, M. Abroyan, "저에너지 대면적 전자빔 발생장치 개발(II)", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp 1767~1769, 1998.
- [15] Sung-Hun Woo, Kwang-Sik Lee, Chu-Hyun Cho, Hong-Sik Lee, "A Study on the Generation of Low Energy Large Aperture Electron Beam" The 9th Asian Conference on the Electrical Discharge(ACED '98), B2-1, November 9th~11th, 1998, Bandung, Indonesia.

[16] C. A. Ordonez and R. E. Peterkin, Jr, "Secondary Electron Emission at Anode, Cathode, and Floating Plasma-Facing Surfaces", J. Appl. Phys., Vol. 79, No. 5, pp 2270~2274, 1 March 1996.

[17] A. von Engel " Ionized Gases" Oxford 1965

[18] Slivkov I. N. et. al, "Electrical breakdown and a discharge in vacuum", Moscow, Atomizdat, 1966(in Russian), pp 28.

[19] S. P. Bugaev, yu. E. Kreindel, P. M. schanin, "Elektronnye Puchki bolshogo slshenia", Moscow Energoatomizdat, 1984, pp 42.

[20] Siegfride, Schiller, "Electron Beam Technology", Berlin, 1982, pp 32~39.

◇ 저자소개 ◇

우성훈(禹盛薰)

1970년 9월 16일생. 1993년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 영남대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 한국 전기연구소 전기물리연구팀 위촉연구원.

이광식(李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 1995~1998년 당학회 대구·경북 지회장. 현재 당학회 부회장. 대한전기학회 방전·고전압 연구회 간사장. 영남대 공대 전기전자공학부 교수. 학생처장.