

고전압 Nano-second 펄스 전자총에 관한 연구

손윤규*, 박성주, 장성덕, 오종석, 조무현, 남궁 원
포항가속기연구소, 포항공과대학교

Study on HV Nano-second Pulse Electron Gun System

Y. K. SON*, S. J. PARK, S. D. JANG, J. S. OH, M. H. CHO, W. NAMKUNG
Pohang Accelerator Laboratory Pohang University of Science and Technology

Abstract

An electron gun system for the Pohang Light Source has been installed and operated successfully. The basic design parameters are acceleration voltage of 80 kV, maximum peak emission current of 5 A, minimum pulse width of 1 ns, and maximum repetition rate of 100 Hz. The gun has a triode structure and is composed of a cathode, a focusing electrode(Wehnelt), and an anode. To sustain a 5×10^{-9} Torr vacuum, a 230 l/s ion pump has been adopted. We adopted a control and monitoring system based on the fiber-optic technology. In this article, we present the structure and operation principle of the system with special interest on the nanosecond pulser, remote control and monitoring system.

(표 1.參照) 設計로서 광섬유技術에 基礎한 원격制御 시스템을 가지고 있고, 5×10^{-9} Torr의 高眞空을 維持할 수 있도록 230 l/sec의 排氣速度를 갖는 이온펌프가 附着되어 있다. 또한, 運轉에 必要한 電子銃의 特性試驗과 電子빔 引出을 위하여 Pulser回路를 改造 하였다.

Main Parameter of E-Gun	PLS Spec.
1. Beam Voltage(kV)	80
2. Max Peak Beam Current(A)	5
3. Pulse Width(FWHM)(ns)	<1, 2, 40 or 1us
4. Pulser Peak Output Voltage(V)	1000
5. Filament Voltage(VAC)	0 - 10
6. Bias Voltage (VDC)	0 - 1000

<표 1.> 전자총의 설계변수

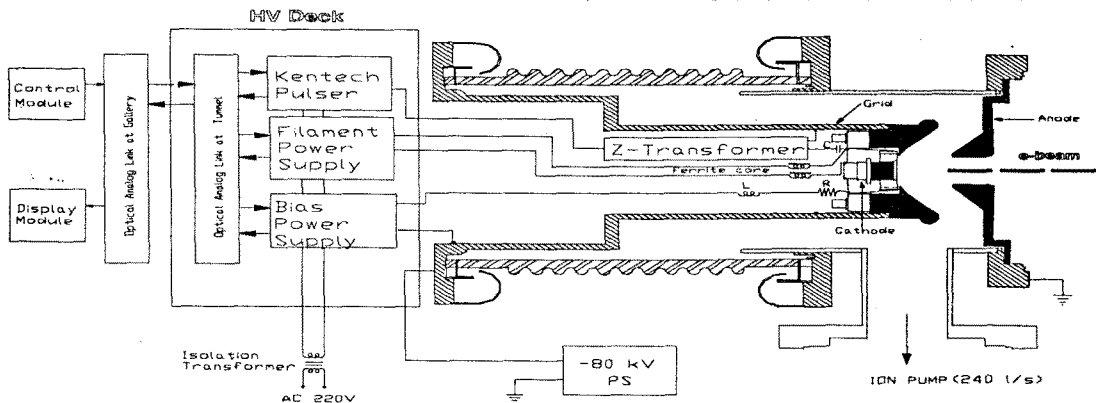
I. 序論

浦項 放射光加速器의 入射器 前段에 設置되어 있는 電子銃은 Triode Type으로 Anode, Grid, Cathode로 構成되어 있다. 加速電壓 80 kV, 最大첨두방출전류 5 A, 最小펄스 폭 1 ns, 最大반복율 100Hz의 基本 파라미터

II 電子銃의 構成

2.1 電子銃의 電氣的인 構造

電子銃은 熱陰極에서 發生된 電子를 集束電極을 거쳐 Anode로 加速이 이루어지는 構造로 되어 있다.



<그림 1.> 선형가속기부 전자총 전체도

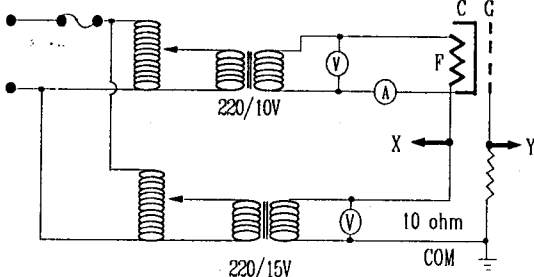
Cathode는 Dispenser type으로서 Heater에 의해서 直接加熱되며, Grid는 Cathode에서 發生된 電子를 제어한다. 직류고전압을 Cathode電極과 Anode電極 사이에 -80 kV를 認可하여 Anode를 +接地로하여 다른 電源과는 絶緣이 되도록 사용하고 있다. 그리고 Cathode와 Grid사이에 Bias직류전압을 인가하여 초기 Beam을 Cutoff시키고 있다. Cathode(陰極)를 直接加熱하는 Filament 電源裝置는 AC(交流)로 0-10V 可變으로 사용하고 있으며 電子銃에 제어에 必要한 各種 電源裝置는 High Voltage Deck위에 올려져 있다. Nono-second의 Pulse를 Drive하는 Grid에는 Kentech Pulsar(SPSV94004, 1kV)가 연결되어 있다. Grid와 Cathode의 入力임피던스는 약10Ω으로, Kentech Pulsar 出力임피던스 (50Ω)와의 匹配을 위해 임피던스 整合變壓器 (50Ω→12Ω)를 挿入하였다. 2 ns펄스로 운전하므로 Noise발생으로 인한 전원Line과 신호선의 EMI대책을 위해 Ferrite core및 Shield Cable을 사용하였으며, 전압,전류를 감시할 목적으로 CCTV를 설치하여 상황을 관찰 할 수 있도록 하였다.

2.2 電子銃의 外部의인 條件

電子銃을 包含한 各種 電源裝置들은 地下 6m의 Tunnel에 設置되어있고, 조작에 必要한 Control스위치는 Gallery에서 Optical-fiber로 HV Deck와의 信號교환을 한다. 새로 電子銃을 設置하거나, 長時間 運轉하지 않는 境遇에는 電子銃의 特性을 點檢하여야 한다. 電子銃 內部는 高眞空으로 維持되어야 하며, 眞空이 低下된 상태에서 운전하면 Cathode전극을 열화시키는 原因이 된다. 열 陰極 Cathode가 열화되면 電子빔을 引出할수가 없게 되며 Heater에 供給하는 電壓을 높게 되어 壽命을 다하는수가 있다. 이를 방지하기 위해 항상 眞空을 監視하여야 하고 眞空도가 設定된 값보다 낮은 영역에서는 運轉이 停止되도록 인터록회로가 설치 되어있다. 정상적인 운전 조건하에서 Heater전극에 과다하게 전류를 흘리면 Filament를 소손 할 수 있으므로 정격전류로 운전이 되도록 하였다. 또한, HV Power supply는 방전이나 누설전류로부터 전자총을 보호하도록 하였다.

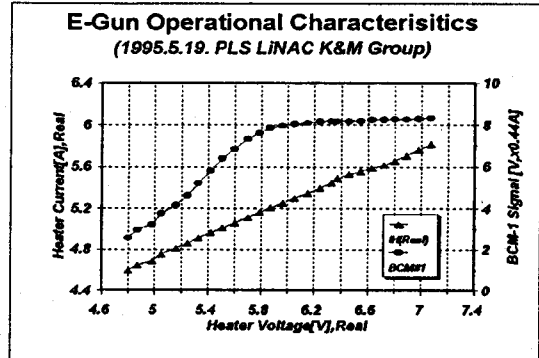
III. 電子銃의 特性 試驗

電子銃을 새로 설치하거나 長時間 運轉을 하지않다가 운전을 재개하는 境遇는 Cathode를 Activation해 주어야 한다. <그림 2. 參照>는 Activation전기결선도를 보이고 있다. Activation順序로는 2개의 Transformer



<그림 2.> Activation 전원장치 회로도

(220V/10V, 220V/15V)을 사용하여, eater電極에 連結하여 0V에서 서서히 定格 電壓까지 가할 수 있도록 꾸미고 Heater兩端의 電壓과 電流를 記錄 한다. 나머지 다른 Transformer는 Cathode電極과 Grid 電極 사이에 直列로 10Ω의 底抗을 挿入하고 定格電壓을 인가한다. 이때 Cathode의 1端子是 Scope X축으로 하고 Grid의 한 端子是 Y축으로 하여 電壓과 電流의 變化 그래프를 보면서 Heater電壓을 서서히 가하여 眞空 중에 남아 있는 Cathode電極주위의 異物質을 除去한다.



<그림 3. > Heater 전압, 전류와 전자 빔전류 측정곡선

Activation이 끝나면 전자총의 특성들을 검사한다. 檢査하여야 할 項目은 Ia-Vkg 特性試驗, Ia-Vf 特性試驗, Ia-Va 特性試驗<그림 3. 參照>, t-Vkg 特性試驗을 하여야 한다. (注; Ia=anode current, Vd=Cathode Driver Voltage, Vb=Bias Voltage, Vkg=Vd-Vb, t=FWHM Pulse Width, Va=Beam Voltage, Vf=Filament Voltage) 電子빔을 引出하기 위해서 電子銃에 걸여 주는 Filament전류는 Cathode의 온도와 密接한 關係를 가지고 있다.

$$J = A_0 T^2 \exp\left(-\frac{\Phi_m}{KT}\right) \text{ [A/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

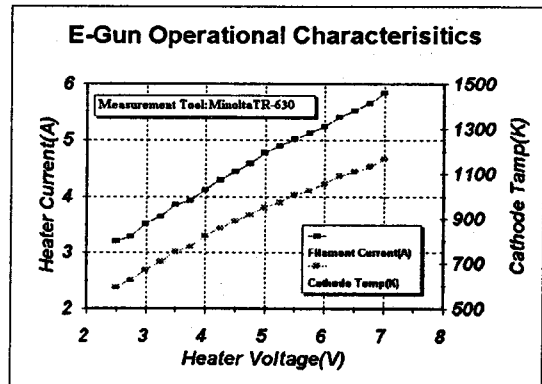
$$A_0 = 120 \text{ A/cm}^2 \text{K}^2$$

$$T^2 = (2 \times 10^3)^2 = 4 \times 10^6$$

$$\phi_m = 4.5 \text{ eV for tungsten work function of cathode material}$$

$$KT = 8.63 \times 10^{-5} \times 200 = 1.726 \times 10^{-2} \text{ eV}$$

위의 (1)식에서 같이 Emission Current의 크기는 電子銃을 構成하는 전극의 크기와 溫度에 따라 左右되는 것을 알수있다. 電子銃 內部의 溫度는 外部에서 인가한

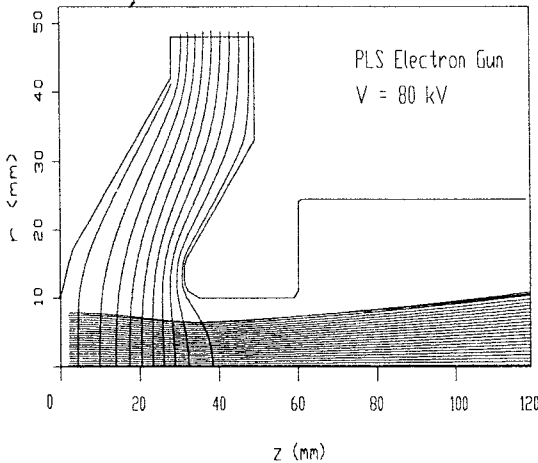


<그림 4.> Heater전류에 따른 온도특성

Heater 電流에 영향을 받는다. <그림. 4>는 電子銃의 外部에서 인가된 heater 電流와 Cathode 電極의 溫度 特性을 보이고 있다. Cathode 電極이 充分히 加熱된 狀態에서 Gride에 Trigger 펄스신호를 가하여 인출된 電子빔의 모양과 크기를 觀察하기 위해 BCT(Beam Current Transformer)를 設置하여 펄스形態의 빔 電流를 高速 Scope(Textronix 7104)로 觀察한다. <그림. 3>은 Heater 電流에 따른 BCT 觀測된 전자빔 電流와의 關係를 보여 주고 있다.

$$K = \frac{I}{V^{3/2}} \quad (2)$$

K=Tube Perveance
I=Emission Current
V=DCHV



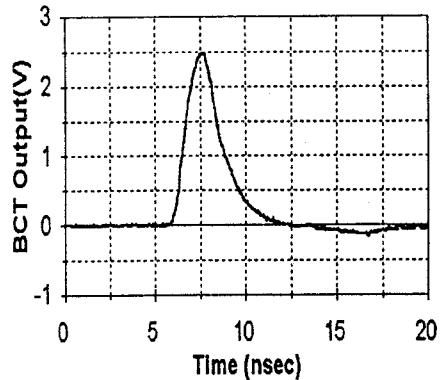
<그림 5> 컴퓨터시뮬레이션에 의한 인출 전자빔

전자총에서 인출된 빔 電流의 크기는 電子銃을 構成하고 있는 전극의 크기에 따라 다르게 나타난다. 위의 (2)식은 加速電壓(Cathode-Anode사이의 전압)과 材料의 構成에 따른 放出 빔 電流量을 나타내고 있다.

IV. 電子銃의 運轉

電子銃 몸체의 재료는 세라믹으로 실린더형태로 되어있고 電源을 供給하는 電極은 内部에 挿入하는 密閉形構造로 장시간 운전시 接觸 部位가 熱로 完되어 接觸 不良이 생기는 境遇가 있다. 이를 防止하기 위해 Fan에 의한 外部 強制공냉과 内部에 空氣호스를 設置하여 Heater전극 接觸部位의 溫度上昇을 防止하도록 하였다. <그림. 5>는 Anode電極에서 引出되는 電子빔의 形態를 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 結果를 보이고 있다.

Avalanche Circuit을 이용한 2 ns의 Trigger Pulse를 만들어 Gride에 인가하였다. 電子빔 引出시 電子빔의 模樣과 펄스폭을 制御하기 위해 Heater電流와 Bias 電源을 調整하게 되는데 <그림.6>은 電子銃에서 인출된 펄스형태의 빔을 BCT로 實測한것을 보이고 있다. 고속Scope에서 관측된 펄스형태의 전자빔은 실제보다 길게 늘어진형태로 보여진다. 이것은 전자총과 전자빔을 측정하는 곳까지의 케이블 임피던스와 BCT 임피던스에 의해서 결정되어 진다.



<그림 6> BCT 측정 Nano-second Pulse Waveforms

V. 結 論

電子銃을 構成하고 있는 電源裝置의 構成 및 特性에 대해 改善하였고 密閉된 構造의 전원접속부위에 대해서 Air line을 설치하여 冷却이 되도록 하였다. Optical fiber를 이용한 Control방식으로 개선하고 2ns Pulse의 Avalanche circuit에 의한 Trigger에서 Kentech pulser를 이용한 <1,2,40 ns 可變으로 하여 使用할수가 있게 하였다. 앞으로 研究수행 課題로는 各種 電源裝置制御를 컴퓨터 Control에 의한 方式으로 改善코자 한다.

VI. 參考文獻

- (1) Samuel Y. Liao, Microwave Electron-Tube Devices, Prentice-Hall, 1988