

전자총 캐소드전극(Y-824)의 특성실험

손 윤규, 권 세진
포항가속기연구소

Experimental for Performance of electron gun cathode electrode (Y-824) characteristics

Y. G. Son, S. J. Kwon
Pohang Accelerator Laboratory

Abstract - A thermionic gun of injector linac for pohang accelerator laboratory is required to generate beam pulse width less than 1 nsec. The gun uses cathode-grid assembly(EIMAC Y824) and operates up to 80 kV anode voltage. In order research characteristics of the electron gun, emission current from gun wear measured by the wall current monitor. In this paper the pulser system and characteristics of the emission current in region from 30 mA to 15 A are described.

그림 1은 전자총과 전원장치의 시스템 구성도이다. HV DECK는 고전압의 절연을 건디는 절연변압기를 통하여 제어와 운전이 필요한 저전압을 공급하고 있다. 히터전압의 상승과 하강제어는 광 신호 케이블을 통하여 제어기신호로 사용하고 있다. 그리드에 인가하는 그리드의 펄스신호는 2 μ 이하의 신호를 인가하고 있다. 표 1은 포항가속기연구소의 선형가속기 선단에 설치된 전자총의 사양이다.

1. 서 론

선형전자가속기 선단에 설치되어 전자를 생성하는 전자총은 썬열 건이라고 부르며, 캐소드와 그리드 애노드로 3개의 전극으로 구성된다. 애노드를 접지(정극성 접지)로 하고 캐소드 전극에 직류고전압(80 kV)을 인가하고 그리드에 수 나노초의 트리거신호를 인가하면 캐소드에서 생성된 열전자가 애노드와 캐소드 간에 인가된 빔 전압의 전계에 의해 가속이 되어 전자의 인출이 이루어진다. 전자총에 사용되는 음극으로 Y-824전극(EIMAC사, 미국)을 사용하고 있다. 이 전극의 음극재료는 텅스텐 금속표면에 산화바륨으로 코팅되어 있어서 간접방식에 의한 히터전극을 가열하는 방식을 사용하고 있다. 열전자의 생성은 금속표면에서 일어나게 되고 이 열전자는 애노드와 캐소드 간에 인가된 빔 전압의 전기장에 의해 가속이 일어난다. 가속된 전자는 번처와 프리번처를 통해 가속관에서 가속이 되어 저장링으로 입사가 된다. 전자총에 사용하는 음극은 전자의 인출을 원활하게 하기위한 활성화 작업과 고전압 절연시험의 단계를 거쳐 사용하게 된다.

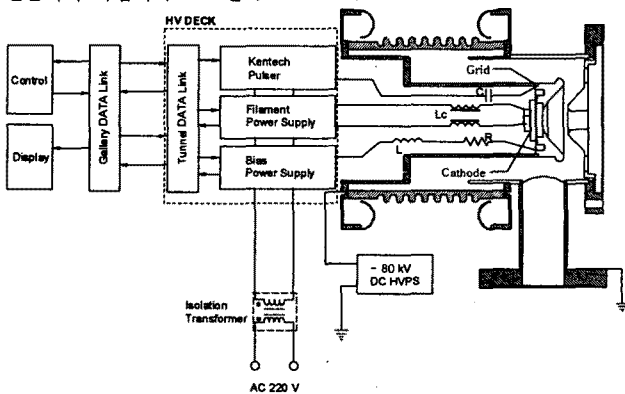
2. 본 론

2.1 전자총과 펄스회로

2.1.1 시스템 구성

열 음극형 전자총의 구성은 전자총, 전원장치 및 주변회로로 구성된다. 캐소드 음극에 공급하는 히터전압과 그리드의 트리거펄스 신호는 고전압 상태의 절연된 교류저 전압을 공급받는다. 전자총과 그 주변회로구성은 그림 1과 같다. 고전압에 절연되어 저전압의 제어공급전원을 구성하고 있는 것을 HV DECK라 한다.[1]

선형가속기의 선단에 설치된 전자총의 음극으로는 Y-824전극을 사용하고 있다. 이 전극을 전자총의 전극으로 사용하기 위해서는 3 단계의 과정을 거쳐서 사용하게 된다. 전자총을 새롭게 제작하는 경우는 전자총의 본체가 고전압 절연과 고진공을 견딜 수 있도록 하여야 한다. 이러한 작업을 활성화작업이라 하고 빔 전류인출을 위한 길들이기 작업이라고도 한다.



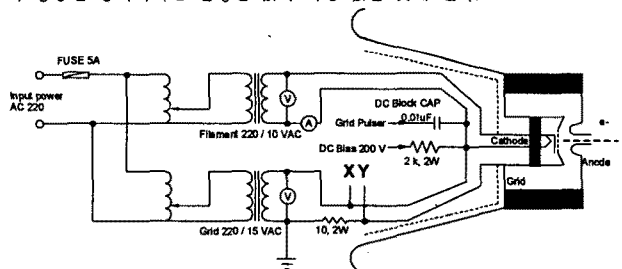
〈그림 1〉 전자총 시스템 구성도

〈표 1〉 전자총 파라메타

Parameter	Value
Peak Beam Current [A]	> 2
Beam Voltage [kV]	- 80
Pulse Width [FWHM]	2
Repetition Rate [Hz]	10
Time Jitter [ps]	< 40
Cathode Diameter [mm]	16
Grid Bias Voltage [V]	50-500
HV Insulation	Air
Grid Driver	Line type pulser with avalanche Tr.
Cathode Material	Dispenser

2.1.2 음극 활성화

전자총을 새로 설계하여 빔전류 인출을 위해 사용하고자 하는 경우는 진공도를 유지하면서 음극의 캐소드 전극에 0.1 V단위로 진공도가 5×10^{-8} Torr를 유지하는 범위에서 전압을 상승시킨다. 캐소드 전극의 저항 값은 초기에는 온도가 낮아서 음극의 저항 값이 낮은 값으로 되어 전압을 인가하면 초기에는 큰 전류가 흐르게 되고 점차 시간이 지나 전자총 내부의 온도가 상승한 상태에서는 일정한 값의 저항 값을 갖게 된다.



〈그림 2〉 E-Gun Activation Power Supply

전자총의 히터전압과 전류는 운전 중에는 5 V, 5.5 A값으로 되고 내부 진공도는 5×10^{-8} Torr를 유지하는 범위에서 최적의 조건을 유지한다. 이러한 영향은 인출되는 빔 전류 값으로 나타내게 되고 음극에 인가되는 전압의 상승은 작은 단위로 되며 빔 전류의 상승과 하강은 진공도에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 그림 2는 전자총의 활성화와 빔 인출시험 전원장치의 전기회로도이다.

2.2 인출전류 측정

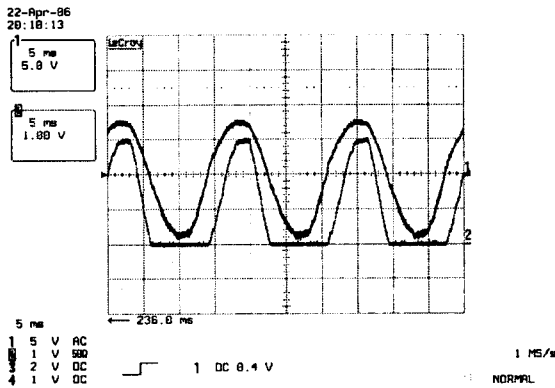
전자총 음극의 활성화와 작업이 완료되고 진공도가 고진공(5×10^{-8})상태의 근처의 값으로 유지하게 된다. 인출전류를 측정을 위해서는 히터전압을 사용전압으로 인가한 다음 캐소드전극과 그리드전극 사이에 교류 60 Hz의 전압을 점차적으로 상승하면서 인출전류를 확인하게 된다. 측정방법으로는 그리드에 1-8 V_{PK}전압을 단계적으로 상승시켜 emission 되는 전류 값을 scope(model : Lecroy LT344L)상에 X-Y 모드로 측정하였다. 그리드에 직렬로 연결된 10 Ω저항양단의 전압을 Y(CH2)로 하고 그리드에 인가되는 전압을 X(CH1)에 표시되도록 하였다. 관측 시 스코프의 입력임피던스는 X는 DC 1 MΩ 모드로 Y측은 50 Ω으로 하여 관측하였다. 인출전류 값은 저항양단의 전압 값으로 다음과 같은 이론식을 사용하였다.[2][3]

$$I_{(grid)} = k' V_{KG}^{\frac{3}{2}} [A] \quad \text{식(1)}$$

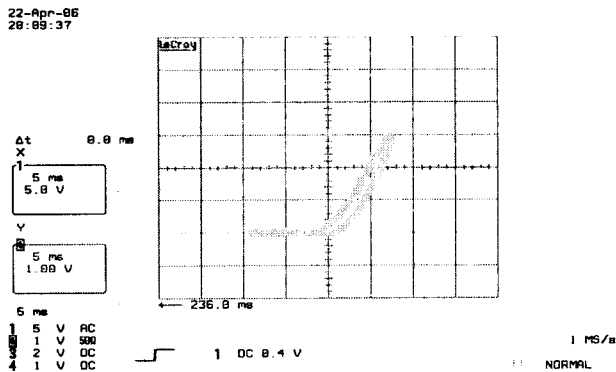
k' : perveance ($\sim 15 \times 10^{-3}$)
 V_{KG} : 그리드에 인가되는 전압[V]

$$V_{Emission} = I_{(grid)} \times R_g' \quad \text{식(2)}$$

R_g' 는 activation 전원장치의 그리드와 직렬로 연결된 10 Ω의 저항과 스크프의 입력 임피던스 (50 Ω)와 합성병렬저항 값이다. 계산된 저항 값은 8.33 Ω이다. 그리드에 6 V(8.48 V_{PK})의 전압을 인가하여 측정값으로 3.08 V를 얻었다. $I_{(grid)}$ 전류를 계산해 보면 370 mA 이다. 이 값을 전압으로 환산하면 3.08 V이다. 실측 시는 2.95 V로 관측이 되었다. 이론식에 근거한 계산 값과 실측 시에 나온 결과사이에 약간의 차이가 생기는 것을 알 수 있다. 그러나 이 값은 캐소드 전극의 온도와 진공도에 따라 다르게 나타난다. 그림 6은 그리드와 캐소드 간의 전압과 히터전압으로 하여 얻은 결과로서 그리드와 캐소드 간 인가전압이 높을수록 빔 인출이 커지는 것을 보여주고 있다.



<그림 3> 그리드 전압과 인출전류
 CH1 : Grid - Cathode voltage
 CH2 : Emission voltage

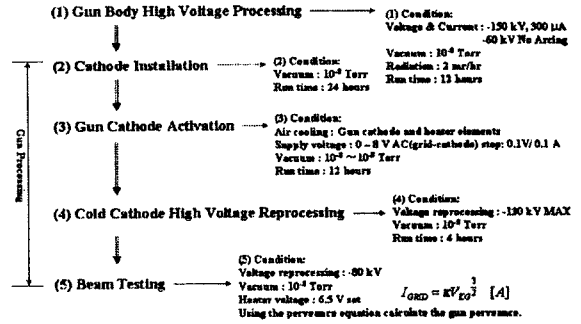


<그림 4> XY Mode

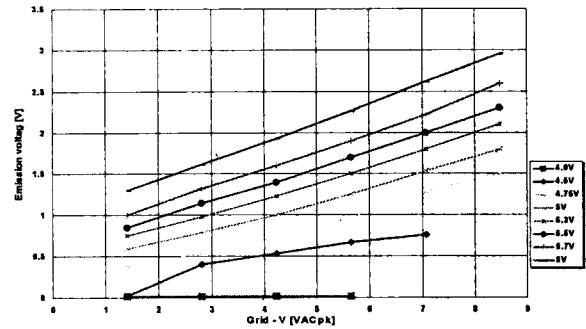
그림 3은 전자총을 emission 시험 시에 그리드와 캐소드에 인가된 전압과 그때 합성저항 8.33 Ω양단의 전압을 측정된 것이다. 그림 3의 파형을 오실로스코프의 XY모드로 하여 측정된 것이 그림4이다. X축은 그리드 캐소드 간 전압이며 Y축은 8.33 Ω저항 양단의 전압파형이다.

2.3 빔 전류 측정

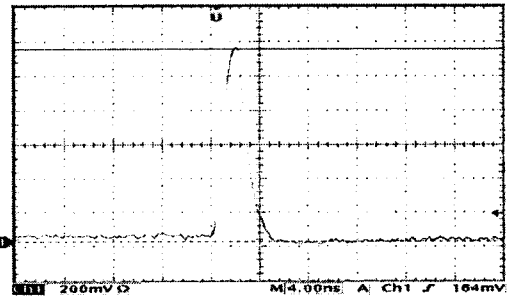
정상상태의 진공을 유지하면서 빔 인출전류를 측정하기 위해서는 여러 단계를 순서별로 그림 5에 나타내었다. 그림 6은 전자총을 처음으로 제작하는 경우와 사용하는 전자총 음극의 수명이 다했을 때 인출전류의 측정을 하여 초기에 측정했던 값과 비교할 수 있는 자료를 보여주고 있다. 그림 7은 최종적으로 운전 할 때 BCT(Beam Current Transformer)에서 측정된 파형이다. 그리드와 캐소드에 인가하는 트리거 전압은 1 kV, < 1ns, (출력 임피던스 50 Ω)의 신호로 인가되어 인출되는 전류의 크기를 대략 15 A 그 이상이 되기도 한다. 전자 빔의 인출과 활성화를 통해서 음극을 특성 을 파악하고 장시간 사용하는 장치의 수명을 예측할 수 있다.



<그림 5> 전자총 활성화 과정



<그림 6> 전자총 빔 인출전류측정



<그림 7> BCM #1 빔 인출 전류파형

3. 결 론

캐소드 전극은 대략 2만에서 3만시간 정도로 사용하면 그 수명을 다하는 것으로 보고되고 있다. 이는 사용방법에 따라 다소 차이는 있으나 2만 5천 시간 정도로 추정할 수 있다. 고 진공상태에서 열전자를 방출하기 위한 음극 표면의 온도는 1200 K(926 °C)로 캐소드전극표면의 산화가 일어나지 않아야 한다. 수명을 좌우하는 것은 진공도가 크게 영향을 미치는 것을 알 수가 있다. 전자총의 수명을 조기에 관측하는 것이 중요한 변수로 그리드에 인가되는 전압에 따라 빔 인출정도의 차이가 실제 인출전류에 영향이 있다. 그 외의 애노드와 캐소드간의 고전압 절연이 충분하지 않아 절연파괴에 의한 트러블은 활성화 작업 시에 정격전압의 120 %까지 전압을 인가하면 고전압 트러블은 어느 정도 해소가 된다. 지속적인 음극의 특성파악을 통해 장치의 수명을 예측하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] Y. G. Son, S. J. Park, S. D. Jang, J. S. Oh, M. H. Cho, and W. Namkung, "Study on HV Nano-second Pulse Electron Gun System," Proc. of the KIEE 1992 Annual Summer Conference, Vol. C, pp1391-1393, DaeJeon, Korea, July 20-22, 1995
 [2] Y. G. Son, S. D. Jang, J. S. Oh, "A Study on the Characteristics of Sub-nanosecond Pulser Characteristic of Electron Gun," Proc. of the KIEE Summer Annual Conference 2003, Vol. C, pp1662-1664, YongPyung Resort, Korea, July 21-23, 2003
 [3] S. J. Park, Y. G. Son, S. D. Jang, J. S. Oh, M. H. Cho, and W. Namkung, "Upgrade of PLS Electron Gun," Bulletin of the Korean Physical Society, Vol. 13, No. 1, P-176, p216, Korean Foreign Language University, YongIn, Korea, April 21-22, 1995