

선형가속기 Upgrade 전자총 시스템설계에 관한 연구

손윤규*, 박성주, 김경렬, 남상훈
포항가속기연구소*

A Study of the linear accelerator electron gun upgrade for system design

Yoon-Gyu Son*, Sung-Ju Park, Kyung-Ryul Kim, Sang-Hoon Nam
PAL/POSTECH

Abstract - The PLS-II, the major upgrade program of the PLS (Pohang Light Source, a 2.5-GeV 3rd generation light source), is planned at the Pohang Accelerator Laboratory. Given the glaring lack of normative data regarding the PLS-II the major upgrade, this study can be seen as the first in a needed stream of research investigating selection by dual gun and dc electron gun. Usable electron gun can think method to use dual electron gun and method to prove energy by existing electron gun in energy increase. This article is concerned with the formal classification of used of pre-injector electron gun type of the DC and pulse. Design concept wishes to show contents that design for pulse type of power supply and DC type of electron gun.

1. 서 론

전자의 인출은 선형가속기의 전자총에서부터 시작된다. 현재 2.5 GeV에서 3 GeV로 에너지를 높여 저장 링에 입사하고 연속운전(Top-up)으로 지속적으로 전자빔을 공급할 수 있도록 성능향상사업이 진행 중이다. 연속운전모드에서 안정된 전자빔을 제공하기 위해 전자총의 그리드 펄스 폭 250 ps를 사용하게 된다. 전자빔의 전송과 빔 크기, 입사효율 등을 파멜라 코드를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 또한 전원장치로 펄스 모듈레이터와 기존에 사용하는 직류전원에 대해 비교하였다. 연속모드 운전으로 전환 시에는 캐소드전극의 실제 사용수명이 기존의 운전방법에 비해 주기가 짧아지므로 자주 교환해야한다. 캐소드 전극을 교환하기 위해서는 진공을 밴트하여야 하며 새로운 전극을 활성화하여 사용가능한 진공환경을 만드는데 필요한 시간이 대략 3일정도가 소요된다. 캐소드전극교환시간을 최소화하는 것이 목적이다. 2개의 전자총을 직각방향으로 설치하여 문제가 발생 시에 교환 할 수 있는 예비전자총 시스템으로 하면 회복시간을 최소로 할 수 있다. 또한 독립된 진공시스템으로 이원화된 예비전자총을 준비하여 교환 시에 최소로 진공만 밴트하여 회복 시간을 줄이는 한 가지 방법이 될 수 있다. 각각의 시스템에 대해 비교 연구하였다.

2. 본 론

2.1 전자 빔 가속에 필요한 전원장치

전자를 발생시키는 방법으로 전극을 가열하는 것과 전극의 표면에 레이저 빛과 같은 에너지가 높은 빛을 쬐이는 방법이 있다. 포항방사광가속기의 전자총은 음극을 가열하는 방식의 열음극 전자총을 사용하고 있다. 음극에서 인출된 전자를 가속시키기 위해 애노드와 캐소드 전극 사이에 고전압이 필요하다. 음극에서 생성된 전자는 에너지가 낮아서 소멸되기 쉽다. 특히 빔 전송라인이 길어지면 전자의 소멸이 빠르게 진행된다. 전자총과 빔 전송라인은 되도록 짧게 설계하고 기능을 단순화 시킬 필요가 있다. 그러나 다양한 실험과 다른 종류의 빔이 필요한 경우는 빔 전송라인에 마그넷을 설치하여 듀얼타입으로 운용되기도 한다. 이와 같은 경우는 부득이하게 전송라인 길어지게 되어 전자가속에 필요한 가속 전압이 높아지게 된다. 전기적으로 전자총은 수백 kV의 임피던스 값을 가지고 있어 대개의 경우는 직류전원을 사용한다. 직류전원도 전압 높아지면 절연이 큰문제로 되어 펄스전원으로 설계하여야한다. 펄스전원으론 하드타입과 라인타입이 사용가능하다. 본 시스템에서는 라인타입의 펄스전원에 대해 설계하고 검토를 하였다.

2.1.1 빔 전송을 위한 빔 라인 설계 및 기초연구

전자총에서 생성된 전자는 프리번처와 번처를 지나 가속관으로 인입 되고 직선가속기인 선형가속기를 지나 원형가속기에 저장이 된다. 전자

총으로부터 출발한 전자 에너지는 80 keV이다. 프리번처와 번처를 통과 해서 가속관에 도달하면 그 효율은 대략 80 %정도로 20 %정도를 잃어 버린다. 표 1은 선형가속기 선단의 프리번처 파라메타이다. 그림 1은 파멜라 코드를 사용하여 프리번처의 에너지 퍼짐 도를 보여주고 있다. 그림 2는 전자총의 구성도를 보여주고 있다.

표 1 프리번처 파라메타

Table 1. Prebuncher parameters of PLS-II

| | |
|---------------------------------|---------|
| Frequency(MHz) | 2,856 |
| Operating mode | 2 pi/3 |
| No load Q | 10,000 |
| Shunt impedance (M ohm/m) | 36.1 |
| Attenuation (NP/m) | 0.228 |
| Phase velocity | 0.75C |
| Group velocity | 0.0117C |
| Band width(MHz) at VSWR 1.2 | 4 |
| Disk aperture diameter, 2a (mm) | 22.614 |
| Cavity diameter, 2b (mm) | 83.292 |
| Period length (mm) | 26.249 |
| Disk thickness (mm) | 5.844 |
| Operating temperature (deg) | 45±0.2 |

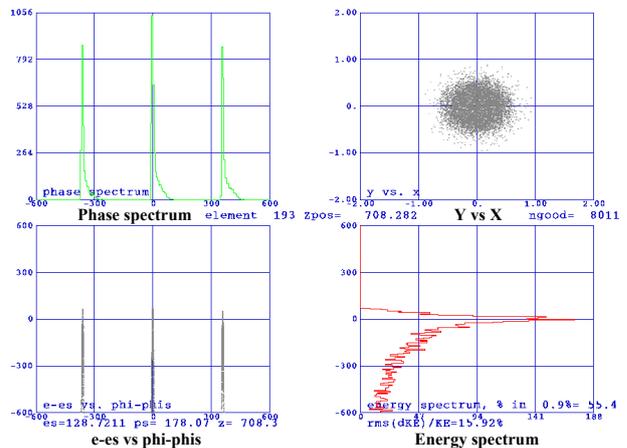


그림 1 전자총 시스템 파멜라코드 시뮬레이션 결과
Fig. 1. PARMELA simulation results for the e-gun systems.

2.2 전자총 파라메타

열음극형 전자총은 가속전압으로 직류 80 kV를 사용하고 있다[1][2]. 듀얼타입의 전자총을 채택하는 경우 빔 전송라인의 길이가 길어짐에 따라 캐소드와 애노드 간에 인가하는 펄스전압의 크기는 200 kV로 하여야 한다. 전자총 시스템에 적용되는 파라메타의 선정은 두 가지 경우에 대해서 설계를 하였고 여기서는 펄스타입의 전원에 대한 설계파라메타를 선정하였다.

전자에너지: 200 keV
인출전류: 1 A
펄스 폭: 1-1.5 ns

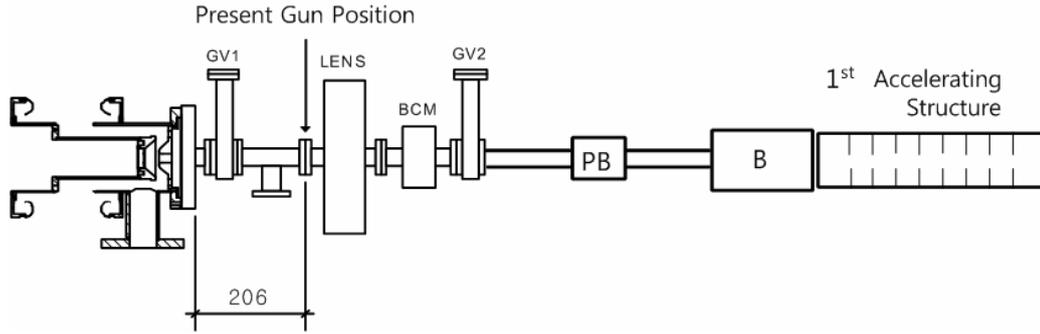


그림 2 전자총 시스템 구성도
Fig. 2 Layout of the PLS-II electron gun

Calculate beam emittance : $10 \pi \text{ mm mrad}$
The cathode life-time : more than 10^4 hours

전자총 캐소드 전극은 기존에 사용하고 있는 Y-824(Eimac, USA)를 적용하였다. 이 전극은 크기는 200 mm^2 이며 인출전류의 최대 값은 15 A이다.

2.2.1 펄스전원 설계

열음극 전자총의 캐소드와 그리드 간에 인가하는 고전압전원으로 라인타입의 펄스 모듈레이터를 선정하였다. 펄스성형회로의 커패시터는 12개를 병렬로 사용하였다. 회로를 구성하는 중요소자로는 싸이랏론 CX 1599(E2V,UK)튜브와 펄스 성형회로인 커패시터와 펄스 트랜스포머의 설계가 중요하다. 펄스커패시터에 에너지를 충전하는 직류전원을 공급하는 전원장치로 인버터전원을 적용하였다.

그림 3은 설계된 라인타입의 펄스 모듈레이터의 전기회로도이다.

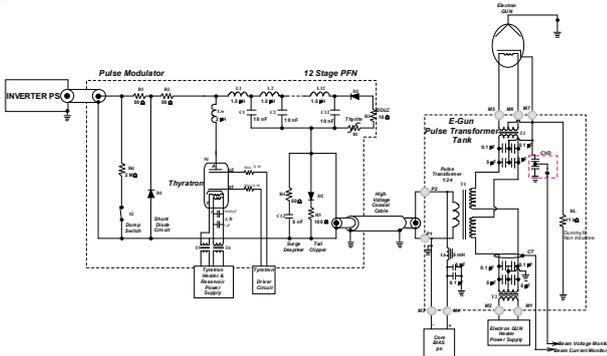


그림 3 펄스 모듈레이터 전기회로도
Fig. 3. Line type pulse modulator schematic diagram.

펄스전원의 요구조건으로 출력펄스최대전압은 250 kV이고 운전전압은 200 kV로 설정하였다. 라인타입의 전원장치는 부하 임피던스가 대략 1 kΩ 근처에서 사용하기가 적당하다. 전자총과 같이 수백 kΩ인 경우는 부하와 병렬로 더미저항을 추가로 삽입하여야 한다. 펄스변압기의 권수비는 24로 설계하였다. 전자총에 필요한 운전전압과 전류는 각각 200 kV와 2 A이다[3]. 전자총과 병렬로 접속된 더미저항 값은 11 kΩ으로 설계하였고 부하에 흐르는 전류는 20 A가 되도록 설계하였다. 운전 중에는 더미저항을 통해서 18 A가 흐르고 전자총에는 2 A의 전류가 분배되도록 하였다.

3. 전자총 모듈레이터 시뮬레이션

라인타입의 펄스 모듈레이터를 설계할 완료하고 설계 파라메타 값을 확인하기 위한 컴퓨터 전산모사 과정은 그림 4에 나타내었다. 열음극 캐소드는 고전압이 인가되었을 때 그리드 트리거 신호를 인가하여 빔 인출을 하게 된다. 전자의 인출이 일어나는 시점에서 캐소드와 애노드 간에 가속전압이 펄스형태로 공급되면 된다. 그리드에 인가하는 트리거 펄스폭이 200 ps로 짧고 펄스의 flop-top부분이 그다지 클 필요는 없다. 펄스를 만들기 위해 펄스성형회로인 커패시터에 전압을 충전한

다음 방전스위치에 의해 방전을 유도하였을 경우 회로에 흐르는 전압과 전류의 파형을 관측하고 펄스트랜스포머도 등가한 값으로 표현하고 시뮬레이션 하였다. 출력전압의 펄스폭은 3.4 μs를 얻었고 flop-top부분의 펄스폭은 1.5 μs를 얻었다. 컴퓨터 시뮬레이션코드는 PSim을 사용하였다. 부하 측의 임피던스가 큰 경우는 원하는 펄스폭을 얻기 위해 다수의 펄스커패시터를 병렬로 사용하는 경우가 있으나 펄스상승시간이 느려지게 되고 flop-top 시간이 길어지거나 상대적으로 펄스하강시간이 느려지게 된다. 적절한 값을 갖는 펄스성형회로의 선정이 중요하다.

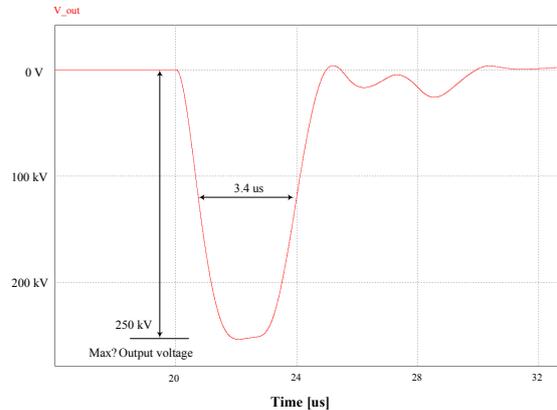


그림 4 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Output voltage waveform.

4. 결 론

포항가속기연구소 성능향상프로젝트인 PLS-II의 선형가속기 선단의 전자총에 필요한 설계는 현재 진행 중에 있다. PLS-II에 적합한 사양과 자료를 조사하였고 연속 빔 운전에 적합한 펄스타입과 기존의 직류식에 대한 연구와 설계를 진행하였다. 두 가지 타입의 전자총에 대해 설계를 진행하였고, 처음에는 듀얼타입의 전자총을 제안하였다. 이것은 200 kV 보다 더 많은 빔 전압을 올리기 위해 전자총부터 긴 beam-line을 요구하게 된다. 제한된 공간에서 빔 전송선 까지 거리가 짧기 때문에 지금 사용하고 있는 전자총은 전압이 80 kV로 성능향상이 되더라도 사용하는 데는 제약사항이 없는 것으로 확인되었다. 우리는 pre-injector 선형 가속 장치에 적합한 설계를 완성할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y.G. Son, S.J. Kwon, "Experimental for performance of electron gun cathode electrode(Y-824) characteristics," Proc. of the KIEE Summer Annual Conference 2006, Vol. C, pp1552-1553, YongPyung Resort, Pyung Chang, Korea, July 12-14, 2006
- [2] 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
- [3] James P. O'Loughlin, et al., "A 220 kV Pulsed cathode electron beam gun system," 3rd IEEE International Pulsed Power Conference, June, pp59-62, 1981.