

## PLS-II 전자총 진공이원화와 빔 전류 인출시험

**손운규\***  
포항 가속기연구소\*

### PLS-II separator the vacuum electron gun beam current emission test

Yoon-Kyoo Son\*  
Pohang Accelerator Laboratory\*

**Abstract** - The linear accelerator of Pohang Accelerator Laboratory(PAL) will drive a top-up mode operation in PLS-II(Pohang Light Source-II). Due to this kind of the operation mode, the electron gun is expected to have shorter life time of the cathode. Further in the PLS-II, two gate valves will be installed in front of the electron gun. The distance between the pre-bunching section and the electron gun will increase by 400 mm compared to the existing system due to the insertion of these gate valves. As a result the incident electron beam. One of the goals to improve the beam pulse width is by incorporating suitable biased voltage. In this paper, we will present test results of beam pulse width as a function of different biased voltage and focusing solenoid coil.

#### 1. 서 론

포항가속기연구소는 성능향상사업 완료이후 top-up mode로 운전된다. Top-up mode 운전은 선형가속기에서 생성된 전자를 연속적으로 저장링에 입사하는 모드를 말한다. 지금까지는 하루에 두 번 저장링으로 입사 하는 decay mode운전을 하였지만 top-up운전이 되면 2~5분마다 입사를 하게 된다. 기존의 입사에 비해 많은 시간동안 입사를 하게 됨으로 인해 평균 입사율이 높아 캐소드 전극의 교환시기가 빨라질 것으로 예상된다. 양질의 빔 전류 생성과 진공사고 시 전자총의 빠른 회복과 시스템의 정상화를 최소로 하기위해 진공을 분리할 수 있는 구조로 진공을 이원화하였다. 시스템의 분석과 진공이원화로 인해 전자총에서 가속관까지의 이격거리가 증가함에 따라 빔 손실이 증가됨으로 인해 이를 최소화 목적으로 진공밸브 앞에 빔 집속용 솔레노이드 코일을 설계하여 설치하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 진공이중화

진공이중화는 현재의 장치에 밸브 두개를 추가로 설치하여 기존에 사용하던 진공과 전자총부분의 진공을 독립적으로 이원화가 가능한 구조이다. 따라서 전자총은 진공이 된 상태로 테스트 지그에 설치되어 전자총의 활성화 작업을 거쳐 전자빔의 인출이 가능한 상태로 보관을 하게 된다. 가속장치의 진공과 전자총 진공은 밸브로 이원화 되어 전자총을 교환 시에 두 개의 게이트 밸브 중간의 진공만 개방하게 된다. 예비품으로 보관하고 있던 전자총을 가속장치에 연결하고 밸브 중간의 진공만 회복되면 빠른 시간 안에 시스템을 정상화 할 수 있는 장점이 있어 진공을 이중화 하게 되었다.

##### 2.1.1 시스템 구조

포항 방사광 가속기연구소는 전자를 발생시키는 방법으로 음극을 가열하는 열음극 전자총을 사용하고 있다. 애노드 전극(+)을 접지로 하고 캐소드 전극(-) 사이에 가속전압으로 -80 kV의 직류전원을 공급한다. 히터전원과 바이어스전원, 그리드 펄서는 고 전압 랙 위에 설치되며 고 전압으로부터 절연이 되는 절연변압기로부터 전원을 공급받는다.[1] 그리드 펄서는 펄스 폭 250ps이며 운전주파수는 10Hz이다. 제어와 모니터링은 터널과 갤러리로 구분된 제어기간에 광케이블을 설치하여 통신에 의해 조작이 되도록 하였다. 제어신호와 모니터링신호는 구분하여 사용하며 갤러리에 설치된 터치스크린에서 입력과 제어가 가능하게 되어있다. 또한 이들 신호 중 일부는 상위의 메인제어실에서 조작이 가능하도록 되어있다. 표 1은 전자총 시스템의 파라메타이다. 갤러리에 설치된 메인제어기는 임베디드 컴퓨터에 의해 모든 신호의 연산과 조작이 이루어진다.

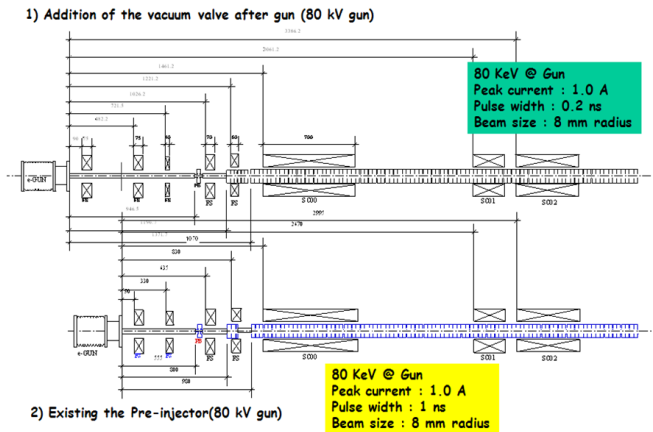
##### 2.2 시스템전산모사

Top-up 운전모드로 전환되면 진공이중화로 독립된 게이트 밸브가 필요하며 기존의 시스템에 비해 약 396mm가 증가하게 된다. 기존의 시스템과 진공이중화로 개선된 시스템에 대해 빔 전달효율의 평가가 필요하다. 이를 위해 파멜라코드를 사용하여 시스템을 전산모사를 하였다. 전산모사에서는 기존의 시스템의 데이터를 입력하여 그 결과 값을 평가하고 진공이중화 후의 데이터를 입력하여 결과를 평가하였다. 전산모사 결과 기존의 시스템에서 전자빔의 전송은 선형가속기 프리번처와 번처를 지나 첫 번째 가속관을 통과하는 빔입자의 수는 처음에 설정한 값에 비해 28%의 손실이 생기고 73%가 가속되는 결과를 얻었다. 전산모사에서는 늘어난 길이만큼을 더한 값을 입력데이터로 사용한 경우 추가로 설치된 두 개의 게이트 밸브를 지나면서 48%의 빔 손실이 발생하는 52

〈표 1〉 시스템 파라메타

Parameter	Value
Peak Beam Current [A]	> 2
Beam Voltage [kV]	- 80
Pulse Width [FHWM,	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

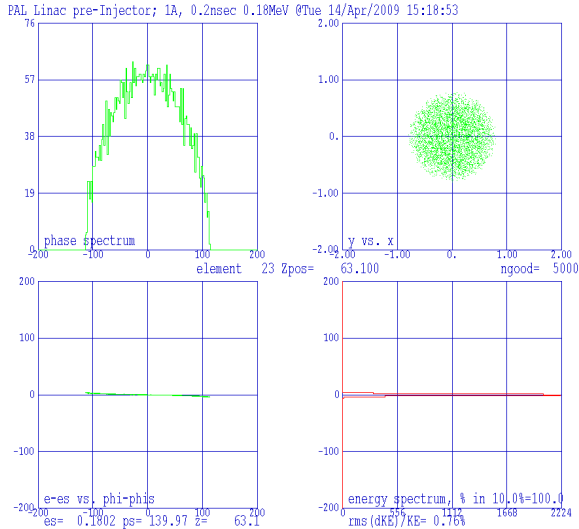
%만 가속되는 결과를 얻었다. 그림1은 기존의 시스템과 진공이중화에 대한 기계적인 배치도이다. 빔 손실을 최소화 할 목적으로 추가로 집속용 전자석을 설치하였다. 집속용 전자석은 350 gauss에서 운전했을 때 최대로 집중이 되는 것을 실험을 통해 확인하였다. 집속용 솔레노이드코일에 인가하는 전압은 직류15V로 운전전류는 1.2A이다[2]. 그림 2와 3은 파멜라 코드로 전산 모사한 결과를 보여주고 있다. 파멜라 코드 전산모사결과로 전자총에서 출발하는 전자빔의 크기와 위상과 펄스폭의 정보를 보여주고 있다.



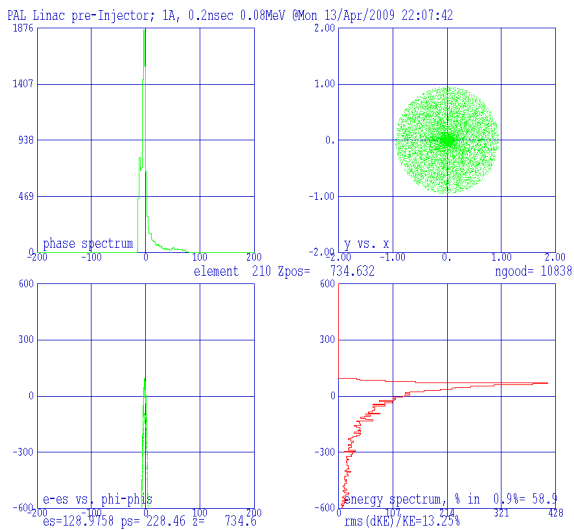
〈그림 1〉 Layout around gun

### 2.2.1 바이어스 전압과 전자 빔 인출시험

바이어스 전압에 따른 전자 빔 인출시험은 시험용 지그에서 실시하였다. 캐소드와 애노드 간 가속전압 -80 kV를 인가하고 그리드 신호를 인가하여 빔 인출시험을 하였다. 빔 전류의 측정은 페레데이컵을 이용하여 측정하였고, 각각의 독립된 게이트 밸브 앞에 빔 집속용 솔레노이드를 설치하여 자속을 가변으로 하고 집속정도를 확인하였다. 솔레노이드에 인가하는 전류의 값은 0.1A씩 증가하여 이때 페레데이컵에 전압신호로부터 인출전류 값을 확인하였다.



〈그림 2〉 프리번칭과 번칭 시 전자 빔의 모양



〈그림 3〉 가속관 입력 시 전자빔의 모양

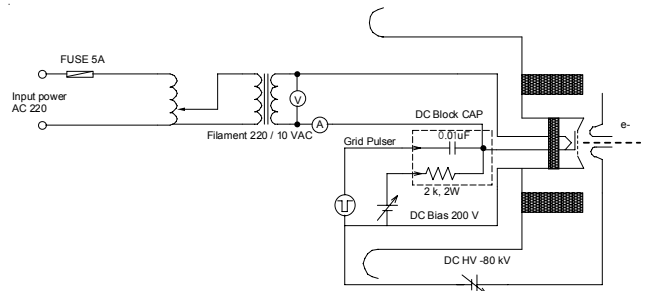
빔 전류의 인출시험에서는 바이어스전압을 가변으로 하여 펄스폭을 측정하였다. 단계적으로 바이어스전압을 10V단위로 시험하였고 각각의 전압에 대해 펄스폭을 측정하였다. 운전에서는 20V로 하였으나 시험에서는 30V의 바이어스전압에서 운전이 가장 적절할 것으로 확인되었다. 표 2는 바이어스전압을 가변으로 하여 측정된 그리드 펄서의 펄스폭을 나타내었다. 사용하는 전극으로는 Y-825(Emac사)를 사용하고 있다.[3] 이 전극의 최대 빔 전류 인출은 15A이다. Y-824 전극의 양극과 음극 간에 퍼비언스를 계산해 보면

$$G = K \frac{S}{d_{ca}^2}$$

여기서 G는 캐소드전극의 퍼비언스  
 $K=2.33 \times 10^{-6}$ ,  $d_{ca}=3.2$  cathode - anode distance(cm),  $S=1.56$  cathode area( $cm^2$ )이다. 퍼비언스를 계산해 보면 0.355  $\mu perv$ 이다.  
 인출 빔 전류를 계산해보면

$$J_{sc} = GV_a^{1.5}$$

여기서  $V_a=80$  kV  
 인출 빔 전류는 8 A로 된다.  
 선형가속기에서 전자빔의 크기와 펄스폭에 따라 전자링에 입사되는 빔에 영향을 주고 입사효율에 영향을 미친다. 따라서 그리드에 인가되는



〈그림 4〉 전자총전기회로도

펄스폭이 짧을수록 유리하게 된다. 선형가속기에서 입사된 빔은 저장링에 입사되는데 싱크변청이 되려면 펄스폭이 짧을 경우가 유리하다. 보통의 경우는 300 ps 이내로 되는 것이 유리하다. 펄스폭을 짧게 하면 상대적으로 펄스 전압이 낮아져서 전자총에서 출발하는 빔 전류가 작아져서 선형가속기에서 필요한 에너지가 작게 되어 가속을 하더라도 저장링에는 입사할 수가 없게 된다. 그림 3은 전자총과 주변회로를 보여주고 있다.

〈표 2〉 바이어스 전압에 따른 펄스 폭

Bias 전압(V)	펄스폭 (ps,FHWM)	펄스폭 (Ps, FHAB)	피크전류 상대치
10	900	1200	1.5
20	600	1200	1
30	500	800	0.83
40	250	400	0.42
50	25	51	0.04

### 3. 결 론

PLS-II는 성능향상사업이 완료 되고나면 top-up mode운전으로 전환된다. 캐소드 전극의 교환주기가 빨라질 것으로 예측되며 진공이증화를 수행하였다. 그리드에 인가하는 트리거 신호인 그리드 펄서와 바이어스 전압을 가변하도록 제어에 반영하였고, 실험을 통해 운전에 적합한 펄스폭 측정과 최적화된 전자 빔 크기를 확인하였다. 실험에서 얻어진 결과를 빔 운전에 반영해 나갈 것이다.

### [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 Korea Physical Society, Vol. 13, No. P-176, p217, Korea Foreign Language University, YongIn, Korea, April 21-22, 1995