

# XFEL용 인버터 고전압 전원공급장치를 이용한 펄스전원공급장치 연구

박성수, 김상희, 김성철, 한영진, 황정연, 김홍근\*  
 포항공대 가속기연구소, 경북대학교\*\*

## Study On the Pulse Power Supply using Inverter Power Supply for XFEL

S.S. Park, S.H. Kim, S.C. Kim, Y.J. Han, J.Y. Hwang, H.G. Kim\*\*  
 POSTECH Pohang Accelerator Laboratory, Kyungbook National University\*

### ABSTRACT

The 2.5 GeV linac of the Pohang Light Source(PLS) is planned to be converted to a XFEL. The PAL XFEL requires a new 1.2-GeV linac that will be combined to the existing linac to increase a beam energy upto 3.7 GeV. The RF stability of 0.02 % is required for both RF phase and amplitude to get the XFEL output. This stability is mainly determined by a low level RF drive system and klystron-modulators. The stability level of the modulator has to be improved 10 times better to meet the pulse stability of 0.02 %. The regulation methods such as traditional de-Qing and precision inverter charging technology are reviewed to find out suitable upgrade scheme of the modulators.

### 1. 서론

포항가속기연구소에서 XFEL을 건설하는 계획을 갖고 있다. XFEL을 위하여 기존의 전자 가속기를 성능개선하고 1.2 GeV의 선형가속기를 추가로 건설해야 한다. [5],[6] XFEL에 적용되는 에너지는 3.7 GeV로 계획하고 있으며 전자빔의 안정도가 현재 값보다 더 높은 안정도를 요구 하고 있으며 RF 시스템의 안정도는 현재 시스템보다 약 10배 정도인 0.02 %가 요구 된다. 이 RF 시스템의 안정도를 얻기 위해서는 현재 운용중인 방식을 개선해야 한다. 따라서 현재 운용되는 방식과 앞으로 적용해야 하는 방식을 비교 검토할 것이다.

### 2. 본론

#### 2.1 XFEL에서 RF 요구 조건

XFEL에서 RF의 안정도는 빔의 안정도를 결정하는 중요한 요소로 작용을 한다. 따라서 현재 건설 계획중인 XFEL에서 요구되는 사항을 알아보고

자 한다. 그림 1은 현재 건설예정인 XFEL의 구성도이다.

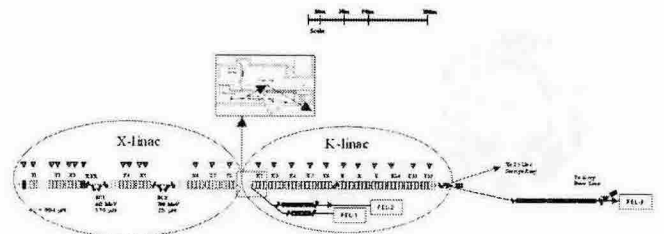


그림 1 현재 건설 예정인 XFEL 구성도.  
 Fig. 1 XFEL linac layout

그림에서 K-linac의 에너지는 2.5 GeV로 현재 운전중인 linac이며 X-linac의 에너지는 1.2 GeV로 앞으로 건설 예정인 linac이다. 요구되는 RF의 안정도는 X-linac이 0.02 %이며, K-linac이 0.2 %이다.[7]

#### 2.1.1 K-linac 용 200MW 모듈레이터

표 1은 포항가속기 연구소에서 운전중인 모듈레이터의 사양을 나타내었다.[1], [3], [4]

표 1 모듈레이터의 사양  
 Table 1 Specifications of modulator

Description	Unit	Value
Peak Power	MW max	200
Average Power	kW max	289
	kW normal	48
Repetition Rate	Hz max	180
	Hz normal	30
Peak Output Voltage	kV	400
Peak Output Current	A	500
ESW	μs	7.5
Flat-top Width	μs	4.4
Charging Time	ms	5.76

표 1에 주어진 모듈레이터의 사양처럼 모듈레이터의 최대 펄스 전력은 200 MW이며 최대 평균 전력은 반복횟수가 180 Hz에서 약 290 kW이다. 현재 운전중인 30 Hz에서의 평균 전력은 48 kW이며 클라이스트론 부하에 전달되는 최대 펄스 출력의 전압은 400 kVpeak이고 전류는 500 Apeak 이다.

그림 2에서 보인 것과 같이 모듈레이터는 4부분으로 나눌 수 있으며 충전부, 방전부, 펄스 트랜스퍼머 탱크, 클라이스트론 부하로 구분된다. K-linac의 모듈레이터는 현재 SCR 제어기를 사용하여 PFN에 충전되는 전압을 제어하고 있으며 펄스의 RMS 변동율이  $\pm 0.5\%$  이내로 유지되고 있다. 이러한 RF시스템을 XFEL용으로 성능개선하기 위해서는 De-Q'ing 또는 정밀 인버터 전원공급장치를 이용하여 성능 개선하는 방법이 있다.

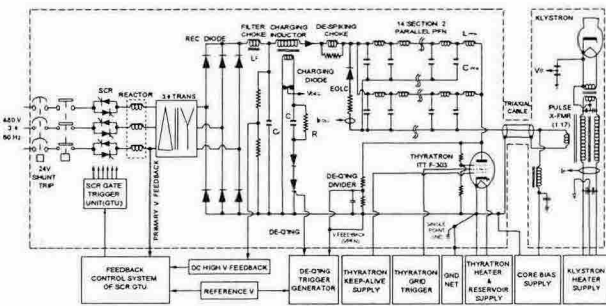


그림 2 200 MW 모듈레이터 회로  
Fig. 2 Circuit of the 200 MW modulator

### 2.1.2 K-linac용 고전압 인버터용 모듈레이터

그림 3은 PFN 커패시터에 기존의 공진 충전 방식과 새로운 방식의 고전압 인버터 충전 방식으로 충전하는 회로와 파형을 보여 주고 있다.

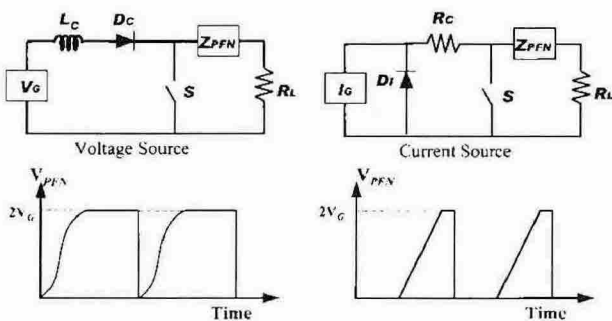


그림 3 공진 충전 방식과 고전압 인버터 충전방식.  
Fig. 3 Resonant charging method and high voltage inverter charging method.

현재 사용중인 모듈레이터의 충전부분을 안정화되고 전압 변동율이 적은 고전압 인버터 전원공급장치로 구성하여 그림 4와 같이 구성할 수 있다.

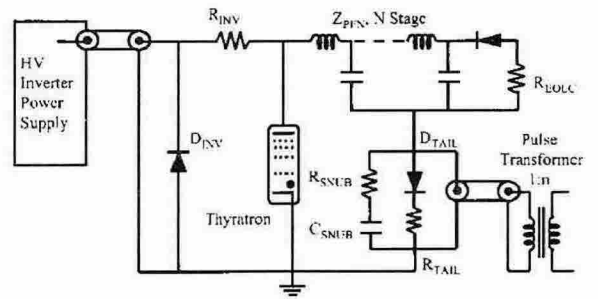


그림 4 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 펄스 모듈레이터 회로  
Fig. 4 Pulse modulator circuit used high voltage inverter power supply

그림 4는 K-linac 모듈레이터의 PFN에 고전압 인버터 전원공급장치로부터 에너지를 PFN 커패시터에 직접 충전시켜서 싸이라트론 스위치를 통하여 부하에 에너지를 전달하는 방식을 취하고 있다. 인버터 전원공급장치를 보호하기 위한 보호회로가 첨부되어 있으며 스위칭시 부하에 발생하는 역전압과 노이즈를 저감하기 위하여 테일 크리퍼(Tail Clipper)와 RC 스너버를 사용하고 있다.

### 2.1.3 De-Q'ing를 사용한 모듈레이터

그림 2에서 충전인덕터의 2차에 구성되어 있는 회로가 De-Q'ing 이다.[4] De-Q'ing은 충전 인덕터의 2차에 회로를 구성하여 PFN 커패시터에 충전되는 전압을 일정하게 한다. PFN에 충전되는 전압이 주어진 기준전압 이상이 인가될 경우 충전 전압을 충전 인덕터의 2차로 에너지를 소진해서 PFN에 더 이상 전압이 충전하지 못하게 하는 방식이다.

## 2.2 X-linac

### 2.2.1 X-linac용 RF 시스템

X-linac용 RF 시스템의 안정도는 0.02% 이다. 따라서 RF 시스템의 안정도를 만족하기 위해서는 정밀 인버터 충전방식을 사용하여야 한다. 이러한 충전방식에는 여러 가지 상용품으로 판매되는 인버터 전원공급장치는 현재 0.2%까지 보장을 하고 있으며 앞으로 연구개발 되어야 할 부분이다. 표2는 현재 공급되고 있는 전원공급장치의 현황표이다. 표 2에서 보는 바와 같이 용량은 약 7 ~ 9 kJ/sec 또는 37.5 kJ/sec가 있으며 전압 regulation은 약 0.2 ~ 4% 까지 가 있다. 특별히 도시바에서는 0.035%의 전원공급장치를 개발하고 있으며 전력에 따라서 병렬운전이 가능해야 한다.

표 2 충전 인버터 전원공급장치의 regulation

Method	Power	Maker	Regulation
SRI	8 kJ/sec	GA	0.5 %
PWM	8 kJ/sec	GA	< 0.25 %
PSRI	7 kJ/sec	Lamda-EMI	0.2 %
SRI	9 kJ/sec	Lamda-EMI	4 % @1kHz
SRI	37.5 kJ/sec	Lamda-EMI	1 % @100 Hz
SRI	37.5 kJ/sec	Toshiba	0.035 %

GA:General Automotics

인버터 전원공급장치의 기존에 측정하는 방식들이 열 및 소자의 정밀도에 따라서 크게 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 고전압을 측정하는 기술 개발이 병행되어야 할 것이다.

### 2.2.2 충전 인버터의 병렬운전

Regulation이 떨어지는 것을 보완하는 방법으로 여러개의 전원공급장치를 병렬로 연결해서 ripple을 서로 상쇄하는 방식을 사용해서

## 3. 결 론

포항가속기연구소 계획하고 있는 XFEL은 X-linac이 1.2 GeV의 에너지를 갖고 K-linac이 2.5 GeV의 에너지를 갖고 있으며 각각의 RF 시스템의 안정도는 0.02 %와 0.2 %이다. 이러한 RF 시스템 안정도를 확보하기 위한 방안으로 K-linac은 De-Q'ing 또는 정밀 인버터 전원공급장치를 사용하면 된다. 그러나 XFEL은 현재 생산된 전운공급장치 기술로는 어려운 가운데 있다. X-linac에 사용될 정밀 인버터 전원장치는 개발해야 한다. 그리고 X-linac에서 사용될 전원공급장치는 측정도 정확해야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] W. Namkung et al., " PLS 2 GeV Linac," Proc. of 17th Int'l Linac Conf., Tsukuba, Japan, Aug. 21-26, 1994, pp. 14-16.
- [2] G. N. Glasoe and J. V. Lebacqz, *Pulse Generators*, McGraw-Hill, 1948, Chapter 6.
- [3] S. H. Nam, J. S. Oh, M. H. Cho, and W. Namkung, "Prototype Pulse Modulator for High Power Klystron in PLS Linac," IEEE Conf. Records of the 20th Power Modulator Symp., Myrtle Beach, SC, 1992, pp. 96-99.
- [4] R. B. Neal, ed., *The Stanford Two-Mile Accelerator*, Q. A. Benjamin, New York, 1968.
- [5] J. S. Oh, et al., "0.3-nm SASE-FEL at PAL," NIM A528, pp582-585, 2004
- [6] J. S. Oh, et al., "Design Study on 0.3-nm PAL XFEL,"

Proc. FEL2004, Trieste, Italy, 2004

[7] Y. Kim, et al., "Start-To-End Simulation of the PAL XFEL Project," Proc. FEL2004, Trieste, Italy, 20