

6 MeV 산업용 가속기 전원 공급 장치의 구동특성에 관한 연구

°임중열*, 윤석암*, 최장균*, 조경재*, 차인수**, 문종대**, 최정식**

* 동신대학교 대학원 전기전자공학과

** 동신대학교 전기전자공학부

A Study on the Drive Characteristic of the Power Supply System of 6 MeV Industrial Accelerator

°Jung-Yeol Lim*, Suk-Arn Yoon*, Jang-Kyun Choi*, Kyeng-Jai Cho*,

In-Su Cha**, Jong-Dai Mun**, Jeong-Sik Choi**

* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Graduate School of DongShin Univ.

** Dept. of Electrical & Electronic Eng. DongShin Univ.

Abstract

It is expected that industrial accelerator having been distributed fast in domestic these days will be widely used for various fields. In this study we deal with the basic consideration for the drive characteristic of power supply system in the system of industrial accelerator installed at Dongshin University.

Beam energy of this system is 34KeV ~ 40KeV, 100A. The modulator emits a 11KV - 380A pulse of 4.5 μ s duration that is transformed to about 34KV ~ 40KV pulse by a pulse transformer.

1. 서론

하전입자의 속도가 변화될 때, 그 변화에 따른 에너지를 빛(X-선)으로 발산하게 된다. 특히 가속기내에 전자가 원형궤도를 따라 움직일 때 그 접선방향으로 빛이 발생되는데, 이를 방사광이라 하고, 이를 이용하기 위하여 만들어진 입자가속기를 방사광가속기라 한다. 방사광을 만들기 위해서는 우선 전자를 만들어 내는 장치인 전자총(Electron gun), 전자를 빛의 속도에 가깝게 가속시키는 가속장치(선형가속기: Linac), 이렇게 가속된 전자를 어떤 궤도에 주입(Injection)하여, 전자석을 이용하여 전자의 방향을 틀어주며 장시간 돌게하는 저장링(Storage ring), 또한 이 저장링

에서 전자의 진로를 바꾸는 곳에서 방사광을 이끌어 내어 실험장소로 유도하는 여러 개의 방사광관(Beam line)등으로 구성되어야 한다[1]-[3].

원래 고에너지 물리연구에서 이용하던 가속기에서는 이러한 X-선이 전자에너지의 감소와 방사능 차폐 문제 등으로 큰 골치덩이였으나, 그 X-선 즉 방사광의 특성이 매우 흥미로와 그 방사광의 응용을 고려하기 시작하면서 전 세계적인 각광을 받게 되었다 [4]-[5].

우리는 현재 세계 시장에서 치열한 경쟁을 벌리고 있는 첨단기술 분야인 반도체 전자부품, 증전의 재료와는 전혀 다른 신소재의 개발, 초전도체의 개발 등에 대한 이야기를 자주 듣고 있다. 원하는 특성을 갖는 신소재 및 새로운 반도체 전자제품을 만들기 위한 연구개발을 추진하기 위해서는 관련된 물질의 원자배열, 화학결합상태 등의 미세 구조를 정확히 알고 이것과 그 물질의 특성과의 관계를 파악, 이해하는 것이 필요하다. 그래야만 우리가 원하는 특성의 신소재가 어떠한 원자배열 혹은 어떠한 미세구조를 가져야 한다는 것을 근본적으로 파악할 수가 있고 이러한 미세구조를 갖는 물질을 체계적으로 개발해 낼 수 있기 때문이다.

2. 시스템 주요 구성

NELAC-1006는 6 MeV 전자빔을 생산할 수 있는

선형가속기이다. 텅스텐을 목표로 충돌할 때 이 빔은 그 목표로부터 80cm에 분당 350rad로 속도를 높여서 산출해 충분한 강도의 X-선을 발생시킨다. 이 에너지 레벨은 전자총과 전자관(발전기)의 높은 전압 펄스가 동시에 일어나는 것을 적용하여 얻어진다. 전자총으로부터 전자빔은 전자를 6 MeV의 전위의 전력 RF(Radio Frequency)에 의해 가속시켜 가속장치 구조에 독립된 파장으로 주입된다. 선형 가속기에서 전자빔 에너지는 마이크로파 입력전력의 합에 대하여 제곱근에 비례하는데, 이는 각 단위 모듈에서의 클라이트론 구동 시스템 및 위상진폭 제어시스템, 타이밍 시스템, 클라이스트론 및 모듈레이터 등의 관련 시스템의 동작 특성이 안정화를 전제로 한다. 그러나, 실제 가동에 있어서는 빔 에너지의 가변 변수는 상존해 있으며 위상진폭 제어시스템에 의하여 가속관을 진행하는 마이크로파 전계 최대점에서 $\pm 5^\circ$ 이내의 위상각(θ) 범위에서 전자빔 번치의 중심이 일치하도록 하게 하고 있다.

X-선 속도의 분량을 결정하는 펄스의 반복 속도는 콘솔을 미미하게 조절하고 초당 80에서 300 펄스로 다양하게 조절할 수 있다. NELAC-1006의 시스템은 그림 1과 그림 2와 같이 전자총, 시준기의 헤드부, 마그네트론, AFC 도파관, 펄스 변압기, 그리고 관련 설비들과 구동장치, 또한 주요 제어를 하는 콘솔로 구성되어 있다.

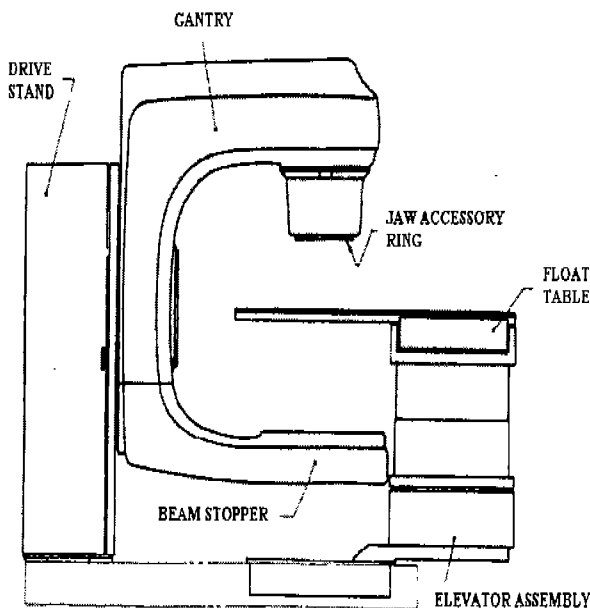


그림 1 NELAC-1006 시스템의 측면

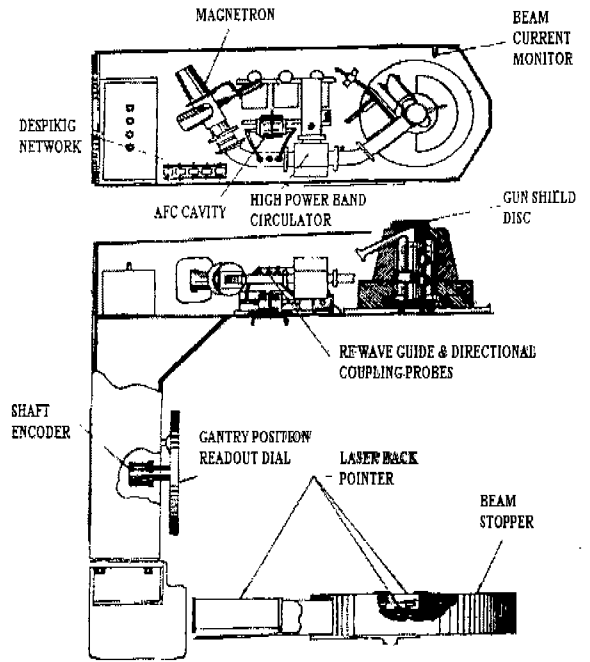


그림 2 Gantry의 윗면과 측면

3. 고전압 전력 공급장치

마그네트론에 대한 고전력 펄스와 전자총은 DeQing으로 알려진 pulse-to-pulse 전압 조절로 얻어진다. 이 변조기를 위한 고전압 전원장치는 충전되는 DeQing 회로에 따라 독립 드라이브의 아래쪽에 위치하게 된다. 펄스 형태를 가진 네트워크와 이 펄스의 주요 싸이라트론은 고전압 모니터와 보호회로에 따라 독립 장치의 위쪽에 위치하게 되고, 펄스 변압기와 despiking회로는 마그네트론과 가속기와 함께 gantry에 위치하게 된다. 현재의 싸이라트론은 스위치의 대체로써 수소 또는 중수소를 사용하는데 작동조건에 따라 적절한 개스 압력을 유지하여야 스위칭을 할 수 있다. 이때 적정 압력이 되도록 레저버(Reservoir)에 저장된 수소를 열 에너지를 이용하여 방출하는데 이 과정을 레인징(Ranging)이라고 한다. 싸이라트론은 음극에서 열전자를 방출시키기 위한 히터전원과 수소 개스의 밀도를 조정하는 레저버 전원이 독립적으로 있다. 싸이라트론은 고전압을 스위칭하기 위하여 사전에 이온화시킨다. 사전이온화 방법으로 음극에 열을 가하여 열전자를 방출시켜 일정한 전압을 가하면 이온화 상태를 유지하게 된다.

HVPS(High Voltage Power Supply)는 0.8A의 부하로 규정된 10 KV DC 전력을 공급하는 고전압 변압기와 3상 전파 브릿지 정류기로 이루어진다. 정류

기로부터 DC 전력은 충전 전압이 원하는 preset 단계에 도달 할 때까지 펄스 형식 네트워크의 커패시터를 충전한다. 이 때에 DeQing 싸이라트론은 일관된 peak-to-peak 펄스 전압을 안정시킨 PFN으로부터 입력전력을 전환해서 발사한다. 싸이라트론이 발사될 때, 계속해서 4.5 μ s의 11KV-380A 펄스가 PFN(Pulse Forming Network)으로부터 병렬로 두 triaxial 케이블을 통해 펄스 변압기에 보내진다.

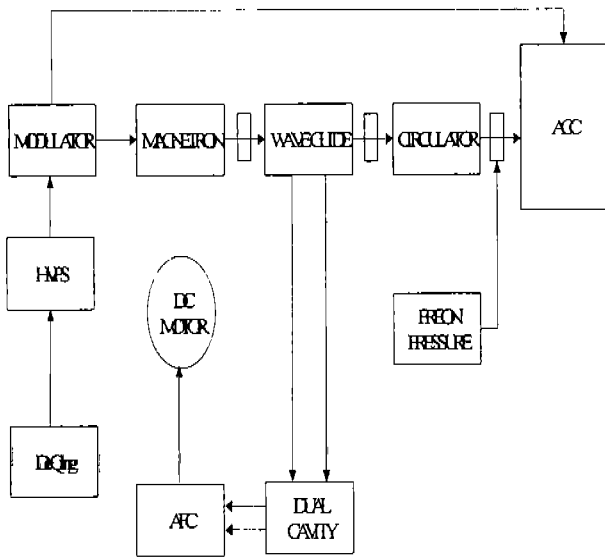


그림 3 고전력 시스템의 블록도

펄스 전압 조절은 PFN이 충전하는 전압을 제한함으로써 수행된다. 충전 전압의 샘플은 낮은 단계의 기준 DC와 비교해서, 16~24KV에 해당하는 영역 이상에서 제어 콘솔로부터 수동적으로 조정된다. PFN 전압이 preset 단계에 도달할 때 DeQing에 대한 펄스는 부하 분리를 통해서 충전하는 전류를 전환하면서 DeQing 싸이라트론을 발사하는 순간에 발생된다. 트리거 발생은 세트한 주파수에 주 싸이라트론을 발사해 세트한 주파수에 펄스를 만들어 낸다. PRF(Pulse Repetition Frequency)는 콘솔로부터 멀리서도 제어 가 되고, 초당 80~320 펄스로 변화될 수 있다.

그림 3은 고전력 시스템의 블록도를 보여주고 있다.

4. 시스템의 동작 특성

다음에 보여주는 각각의 그림들은 전원 공급 장치와 시스템의 각부의 동작 특성을 보여주고 있다. 측정은 고전압부에 디지털 범용 오실로스코프를 사용해

서 측정하였다. 그림 4는 전원 공급 장치에서 발생하는 전류의 파형을 보여주고, 그림 5는 펄스형 네트워크의 전압 파형을 보여주고 있다. 또한, 그림 6은 마그네트론 전류 파형을 보여주고 있으며, 그림 7은 전자총의 앞단자의 변압기의 전압을 측정 한 것이다. 그림 8은 FWD PWR 파형, 그림 9는 PEFL PWR과 빔 전류를 나타낸다.

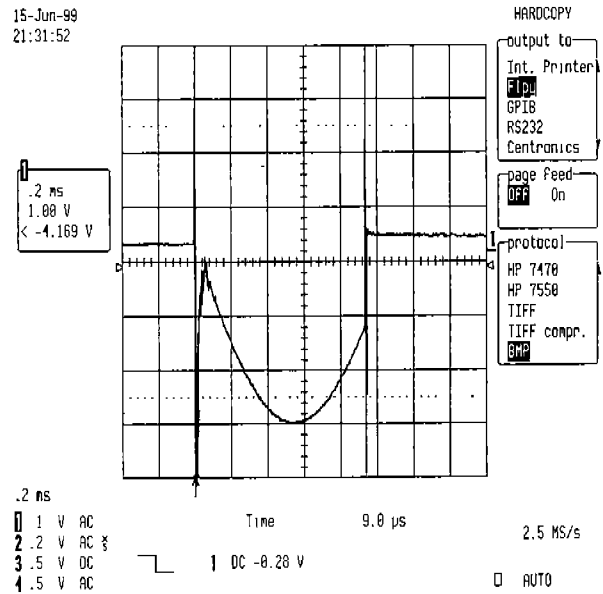


그림 4 전원 공급 장치의 발생하는 전류 파형

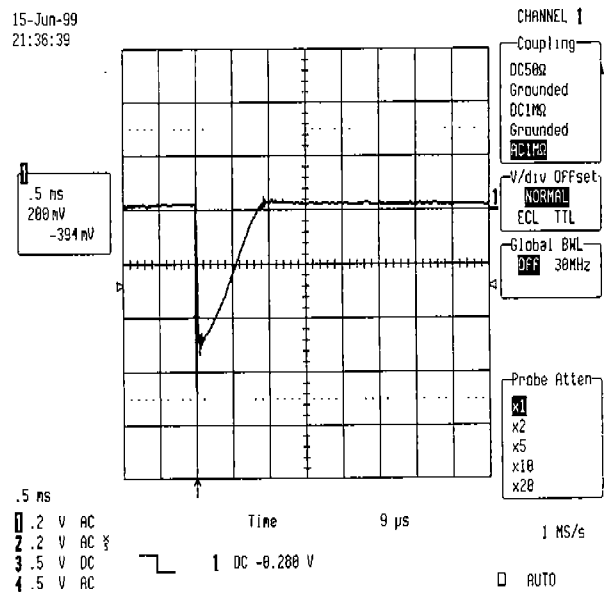


그림 5 PFN 전압 파형

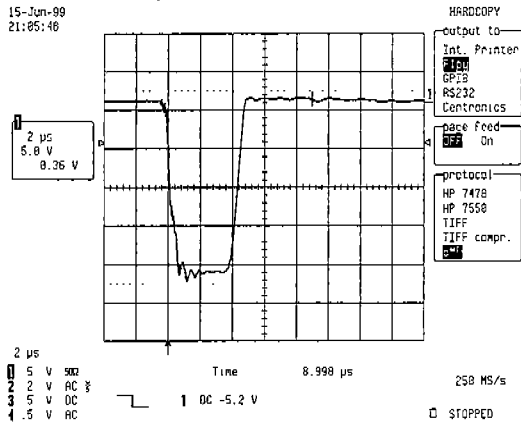


그림 6 마그네트론 전류 파형

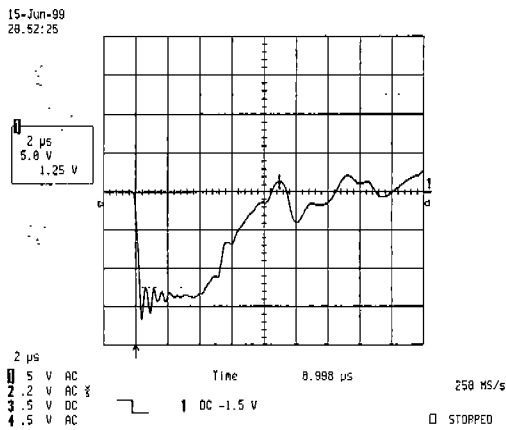


그림 7 전자총 앞 단자의 transformer의 전압측정

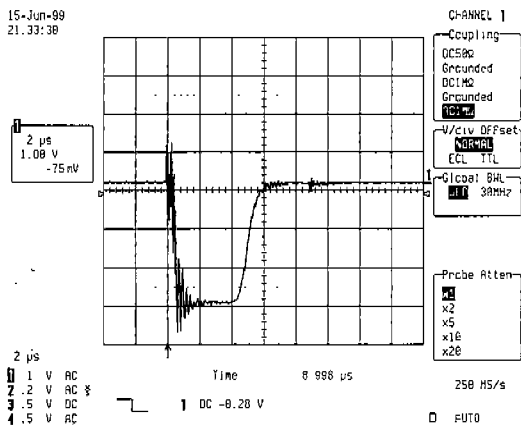


그림 8 FWD PWR 파형

시스템의 운전 성능을 확보하기 위하여 장애 발생에 따른 고장 조치 및 각종 장치의 개선을 통하여 운전 성능을 향상시키고 있으며, 시스템의 동작 특성 분석 및 운전시 발생한 각종 현상들을 주기적으로 분석하여 시스템의 성능 향상을 도모하고 있다.

위의 각각의 파형은 본 연구 시스템의 Setting up 중에서 얻은 파형이고 차후에는 Setting이 끝난 후

시스템 각 부분의 좀더 정확한 실험 파형을 구현하고자 한다.

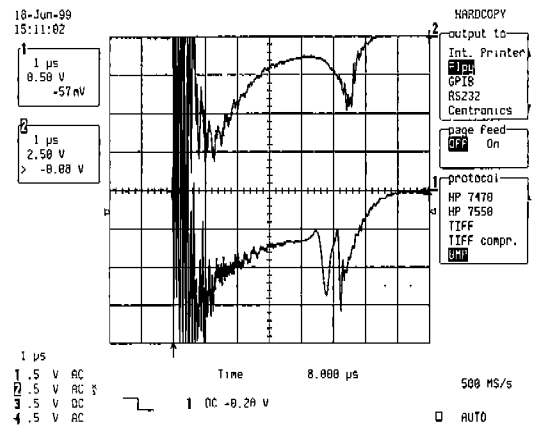


그림 9 PEFL과 Beam의 전류 파형 (CH1-PEFL, CH2-Beam)

5. 결론

본 논문에서 사용된 가속기는 산업용에 적용되는 시스템 특성을 갖는다. 빔에너지는 34 KeV~40 KeV를 가지며 변조기는 11 KV - 380 A 펄스를 가진다.

산업용 가속기는 앞으로의 유용성을 고려할 때 식품, 의료, 전기전자분야에 널리 적용되리라 사료된다.

본 연구에서 가속기의 이용 분야는 환경의 CO₂ 제거 기술 및 태양전지의 내 방사성 특성의 추출에 적용하고자 한다.

참고문헌

- [1] P. Wilson, proc.1085 U.S Summer School on High-Energy Particle Accelerators(July 1985).
- [2] J. S. CHAI, Y. S. KIM and K. H. KWON, "Beam Transport System using Fuzzy Controller in the KCCH Cyclotron", Cyclotrons and Their Applications, Proceedings of the 14th International Conference, pp.310-313, 1996.
- [3] Alexander Wu Chao, "Handbook of Accelerator Physics and Engineering", pp.392-395 1998
- [4] H. K. Pfeffer et al. "Solid state, 24 megawatt modulators for fermilab's 400 Mev linac", 20th International Power Modulator Symposium, pp.169-172, 1992
- [5] J. A. Dinkel and A. R. Donaldson "Precision current transformer for the Fermilab booster magnet power supply", IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol. NS-22, No3, pp. 1234-1237, June 1975