

## 수백ns, 수백 kV 펄스전원공급장치 제작 및 시험

박성수, 허훈, 김성철, 김상희, 김승환, 박용정, 최오룡, 남상훈, 신진우<sup>^</sup>, 소준호<sup>^</sup>, 장원<sup>^</sup>  
 포항가속기연구소/포스텍, 국방과학연구소<sup>^</sup>

### Fabrication and Test of Hundred ns, Hundred kV Pulse Power Supply

Park Sung Soo, Heo Hoon, Kim Sung Chul, Kim Sang Hee, Kim Sung Hwan, Park Young Jung, Choi O Rong, Nam Sang Hoon  
 J. W. Shin<sup>^</sup>, J. H. So<sup>^</sup> and W. Jang<sup>^</sup>  
 Pohang Accelerator Laboratory/POSTECH, ADD<sup>^</sup>

**Abstract** - 고출력 펄스 전원으로 PFN Marx 펄스 전원공급장치를 설계 및 제작하였다. PFN Marx는 커패시터와 인덕터 그리고 스파크 갭과 전원을 공급하는 전원공급장치와 전류 인덕터로 구성되어 제작을 하였다. 여기에 사용하는 스파크 갭 스위치는 개스를 채우는 방식으로 개스의 압력을 조정하여 스위치의 스위칭 전압을 조정하여 준다. PFN Marx는 커패시터와 인덕터가 직렬로 구성되어 펄스폭과 PFN의 임피던스를 결정하는 중요한 요소이다. PFN marx는 33단으로 구성을 하였으며 부하를 100Ω으로 설계 및 시뮬레이션을 통하여 제작하였다. PFN Marx 펄스 전원공급장치를 약 500 kV, 수백 ns까지 시험을 하였다. 본 논문에서는 PFN Marx 펄스전원장치의 설계 제작 및 시험에 대하여 고찰하고자 한다.

#### 1. 서 론

Marx 발생기는 일반적인 펄스 발생장치이며 신뢰성을 확보하기 위하여 대부분 고에너지, 고전압에서 단발성 트리거로 사용하여 펄스 전력을 사용하고 있다. 고출력 펄스 발생장치에 수백 ns의 펄스 폭을 갖는 펄스 에너지가 필요하다. 전통적인 marx 발생기는 이중 지수합수의 형태로 펄스를 발생시킨다.[3] 이러한 것을 이용하여 marx 시스템에 저장용 커패시터 대신 PFN(pulse forming network)를 적용하여 구형 펄스를 얻고자 한다. PFN은 1차 에너지를 저장하는 장치로서 펄스의 모양을 결정해주고 있으며 여러 가지 PFN 형태에서 E type을 사용하고 있다.[1,2] 33단의 PFN marx를 설계, 시뮬레이션, 제작을 하여 시험을 하였다. 본 논문에서는 PFN marx의 설계, 시뮬레이션과 실험을 통하여 얻은 결과를 보이고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 펄스 발생기 설계 및 제작

고출력 펄스 발생기는 marx 발생기에 PFN를 적용한 시스템을 이용하였으며 PFN marx는 스위치와 에너지 저장용 PFN과 고전압 전원공급장치 그리고 트리거 발생기로 구성이 된다. 요구되는 기본 사양은 표1과 같다.

<표 1> 주어진 펄스 발생기 사양

Parameter	값
Peak output voltage	수백 kV
Pulse repetition rate	10 Hz 이상
Pulse width	200 - 300 ns
Load impedance	100 Ω - 200 Ω

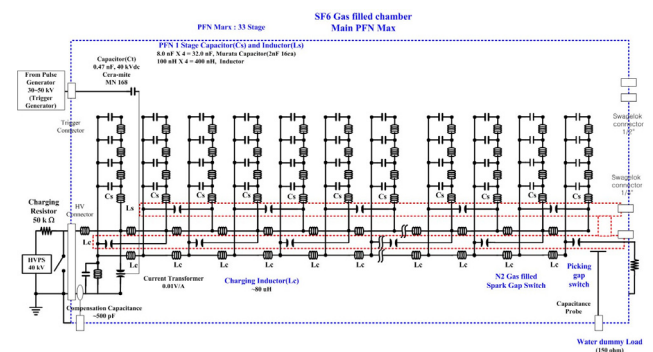
##### 2.1.1 PFN Marx Generator

표 2는 주어진 사양을 기준으로 설계한 값이다. PFN marx 발생기는 스위치와 저장용 커패시터로 구성되어 되며 구성 회로는 그림 1과 같다. 스위치는 내부의 개스 압력을 조정하여 절연과파전압 및 운전전압을 결정한다. PFN marx는 33단으로 이루어져 있으며 각 단은 4개의 PFN으로 구성되어 있으며 2nF 커패시터 4개로 8nF이며 각 단의 총 커패시턴스는 32 nF이다. 그리고 인덕턴스는 약 100nH이며 각 단의 총 인덕턴스는 400 nH이다. PFN에 사용한 커패시터는 40 kV, 2nF이며 인덕터는 약 130 mm의 전선으로 제작하였다. 각 단의 저장용 PFN 커패시터에 고전압을 충전하기 위하여 약 100 uH의 인덕터로 연결하였으며 충전회로를 구성하였다. Marx에 사용하는 스위치는 spark gap 스위치로서 1회에 소비되는 에너지가 약 400 J로서 전극 손상에 크게 영향을 주지

않기 때문에 첫째 운전전압과 둘째 스위치함의 크기를 고려하여 설계하였다. 첫 번째 단 spark gap 스위치에 트리거용 핀이 설치되어 있으며 첫 번째 spark gap 스위치에 트리거 전원을 공급함으로써 PFN marx 펄스 전원공급기가 동작하도록 설계되어 있다. Spark gap 스위치는 내경이 80 mm 외경이 100 mm 길이가 1000 mm인 아크릴 파이프를 사용하여 설계하였으며 전극은 황동으로 지름이 30 mm이고 스위치 간격은 7.5 mm로 공기중에서의 절연과파전압은 약 23 kV이다. Spark gap 스위치는 개스 압력에 의하여 절연과파 전압이 결정되므로 스위치 챔버 내부가 압력을 보존하는 형상으로 설계되어야 한다. 따라서 아크릴 파이프를 사용하였고 스위치가 설치되는 부분은 아크릴 면을 가공해서 고무 오링을 넣어 볼트로 고정을 해서 개스 압력이 보존될 수 있게 설계를 하였다. 고전압 전원공급장치는 50 kV를 사용하여 설계를 하였으며 스위치의 운전 가능한 전압은 10 - 50 kV이다. 트리거는 외부에서 약 10 - 20 kV의 트리거 펄스 전압을 인가하여 트리거를 한다. 표 2는 PFN marx의 설계한 값이다. 표 2에서 보는 바와 같이 PFN 한단의 임피던스는 약 3.54 Ω이고 전체는 117 Ω이다.

<표 2> PFN marx의 설계 값

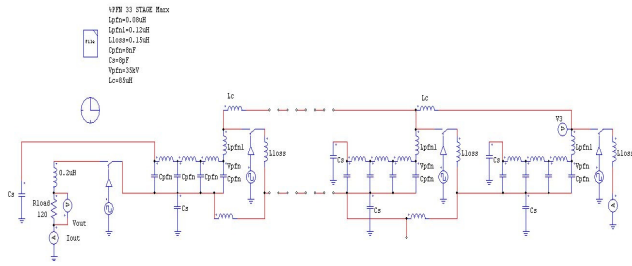
Parameter	Value
Total number of PFN marx stage	33
Total number of PFN section per each stage	4
Total PFN capacitance per each stage	32 nF
Total PFN inductance per each stage	400 nH
Pulse width	226 ns
PFN impedance per each stage	3.54 Ω
Total PFN marx impedance	117 Ω



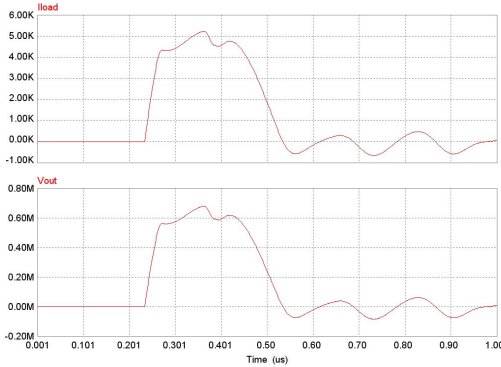
<그림 2> PFN marx 회로

##### 2.1.2 PFN marx 발생기 전산모사

전산모사회로는 그림 2와 같이 33단의 PFN marx 회로로 구성하였으며 커패시터는 8 nF, 인덕터는 80 nH로 설정하였다. 전산모사 조건은 PFN 커패시터에 약 35 kV의 전압을 인가하였으며 부하는 120 Ω의 저항부하를 사용했다. 그림 3에서 보여준 것 같이 펄스 전압이 약 650 kV, 펄스 전류가 5.2 kA, 펄스 폭은 250 ns의 결과를 얻었다.



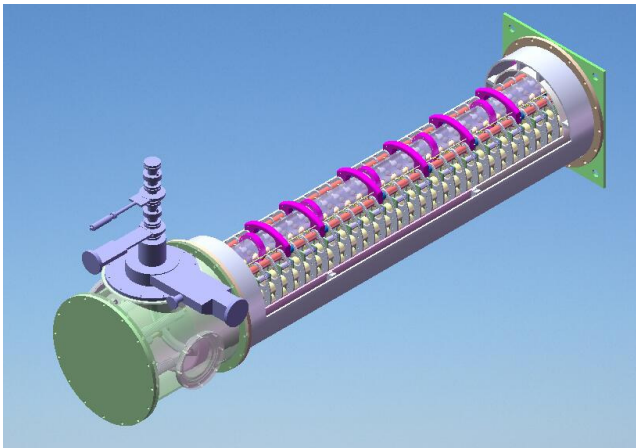
<그림 2> PFN marx 펄스 발생기 전산모사 회로(33단 35 kV)



<그림 3> 전산모사 펄스 전류(위쪽) 및 전압 파형(아래쪽)

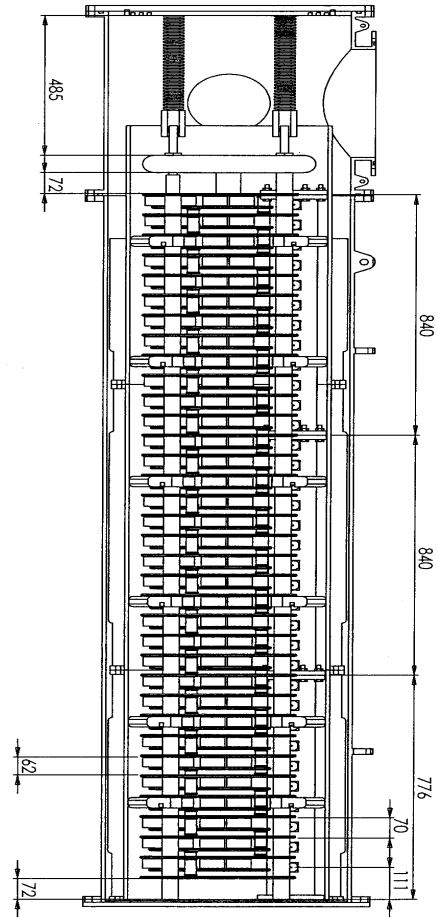
### 2.1.3 PFN marx 발생기 설계 및 제작

그림 4와 같이 3D 프로그램으로 제작하기 전에 각각의 부품 간섭을 확인하기 위하여 도면을 그렸다.

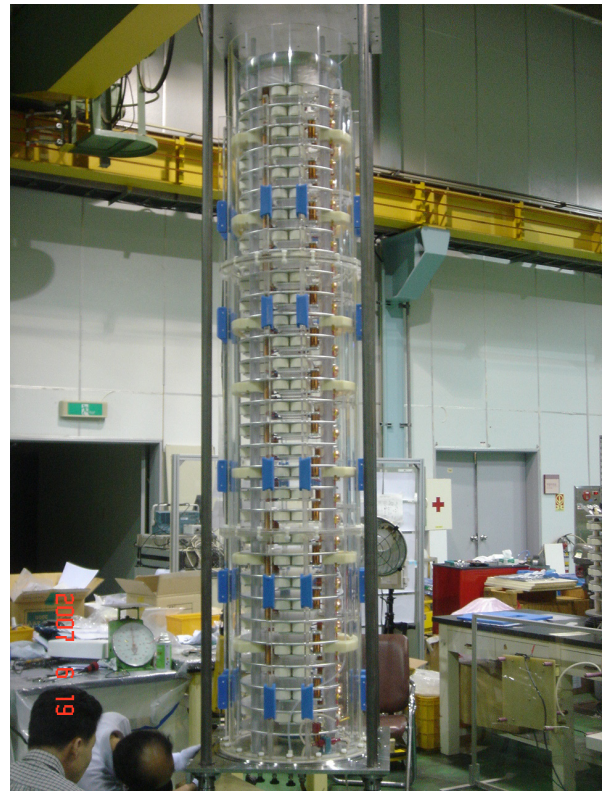


<그림 4> 33단 PFN marx 펄스 발생기 조립 3차원 도면

그림 5와 같이 PFN marx 펄스 발생기를 설계하였다. PFN marx 펄스 발생기의 전체 길이는 약 2500 mm이며 펄스 발생기의 외함 지름은 약 600 mm이다. PFN marx 펄스 발생기와 외함과의 절연을 위하여 약 500 mm 지름의 아크릴를 삽입하였으며 아크릴과 외함과 MC 나일론으로 지지대를 내부에 설치 하였으며 내부에는 SF6 개스를 3atm 사용하여 절연하였다. PFN marx 펄스 발생기의 부하를 설치하기 위하여 보조 탱크 600 mm 500 mm의 서스 챔버를 사용하여 PFN marx 펄스 발생기의 본체와 연결하였다. 내부와 외함은 세워서 조립하는 구조로 설계되었으며 1차 조립후 옆으로 누여서 부하를 조립하는 구조로 설계하였다. 조립후 전기적인 배선은 보조 탱크의 윈도우를 이용하여 연결을 하였다. PFN marx 펄스 발생기의 각 단의 사이는 약 62 mm이고 제작한 충전 인덕터를 삽입하였다. 부하는 물저항 부하로 제작하여 내부에 황산구리의 양을 조정하여 수십 옴으로부터 수백 옴까지 설정 가능하도록 하였다. 그림 6과 같이 PFN marx 펄스 발생기를 제작하였다.



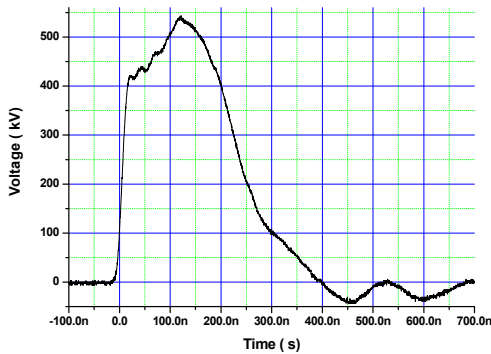
<그림 5> PFN marx 펄스 발생기 2D 도면



<그림 6> 제작한 PFN marx 펄스 발생기

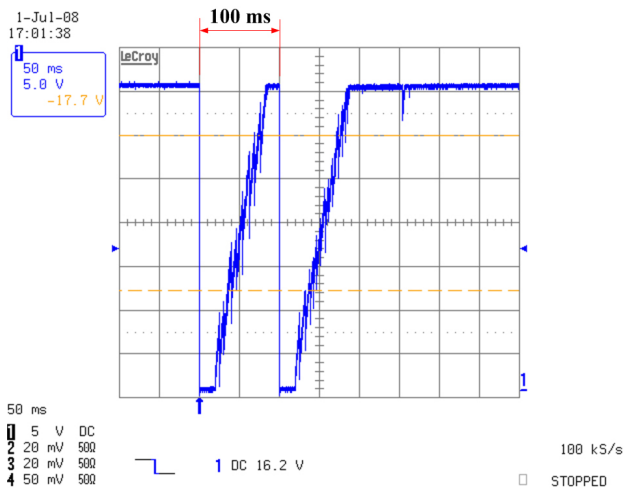
### 2.2 PFN marx 펄스 발생기 시험

그림 7은 물 부하를 150Ω로 했을 경우의 PFN 커패시터에 35 kV를 충전하여 트리거를 인가 했을 경우 부하에서 측정된 최대 전압은 530 kV, 펄스폭 250 ns를 얻었다.



<그림 7> PFN marx의 출력 전압 파형(530 kV)

그림 8은 PFN marx 펄스 발생기의 운전조건을 10 Hz Burst mode로 운전될 경우의 PFN 커패시터의 충전 파형을 보여주고 있다.



<그림 8> 고전압 펄스 반복을 시험

그림 9의 경우 PFN marx 펄스 발생기의 지터를 측정하였으며 5 shot 했을 경우 약 80 ns이었다.



<그림 9> PFN marx 펄스 발생기의 지터 측정파형

### 3. 결 론

고출력 펄스 전원을 공급하기 위하여 33단의 PFN marx 펄스 발생기를 설계, 시뮬레이션, 제작 및 시험을 하였다. 150 Ω의 부하저항을 사용하여 시험에서 얻은 결과는 530 kV, 250 ns의 펄스를 얻었다. 또한 반복횟수도 Burst mode로 10 Hz까지 가능한 것을 확인하였으며 연속 운전시 펄스 지터는 약 80 ns 인것으로 측정되었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Clark R S, Rinehart L R et al., "A One Microsecond, Thirty-Five Kilojoule, One Hertz Pulse Generator", 7th IEEE Pulsed Power Conf., pp301-303, 1989.
- [2] Ranon P M, Pelletier P R et al., "Constant Voltage Pulse Power Driver for Variable Impedance Loads", 7th IEEE Pulsed Power Conf., pp778-781, 1989.
- [3] M. M. Kekez, "A 480 Joule, 650 kV, 3 ns Risetime, 500 ns Pulse Width, Compact Pulse Generator", IEEE, pp1524-1529, 1997.