

## 수백MW급 150kJ 집적화 펄스전원 개발

김진성<sup>o</sup>, 이병하, 김성호, 양경승  
국방과학연구소  
김영배, 김종수, 진윤식, 류홍재  
한국전기연구원

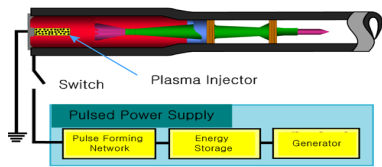
### Development of 100MW's 150kJ Compact Pulsed Power Supply

Jin Sung Kim<sup>o</sup>, Byung Ha Lee, Sung Ho Kim, Kyung Seoung Yang  
Agency for Defense Development  
Young Bae Kim, Jong Soo Kim, Yun Sik Jin, Hong Jae Ryou  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - In this study, CPPS(Compact Pulsed Power Supply) has been developed. The goals of CPPS are charging energy 150kJ, trapezoidal pulsed power shaping of 150~250MW with about 1msec pulse width, consecutive charging rate of several times/min, and total system volume below 0.5m<sup>3</sup>. The CPPS is composed of 4 modules of 37.5kJ which can be operated independently. This paper describes the design, setup and performance of CPPS in experiment and simulation.

#### 1. 서 론

전열추진기술은 펄스전력에 의해 발생하는 수 만°K 플라즈마(Plasma)를 이용하여 추진체의 점화 및 연소를 제어함으로써 추진성을 향상시키는 기술이다. 전열추진가속 체계는 <그림 1>과 같이 구성되어 있으며, 펄스전원장치(Pulsed Power Supply)와 저항열로써 플라즈마를 발생시키는 플라즈마 발생기(Plasma Injector), 그리고 추진체, 가속기 및 발사체로 구성되어 있다. [1][2]



<그림 1> 전열추진체계 구성도

전열추진용 펄스전원장치는 가속기의 규모, 기술구현 개념 및 방법에 따라 요구성과 규모가 달라진다. 현재는 다양한 전열추진기술 연구를 위하여 구조 변경이 가능하고 유연하게 펄스파형을 제어할 수 있는 실험연구용 펄스전원장치를 운용하고 있다. 이 펄스전원장치는 구체적인 목표성능에 맞추어 최적화 되어있지 않기 때문에 부피와 중량이 커서 차량에 탑재, 운용하기에는 적합하지 않다.[3]

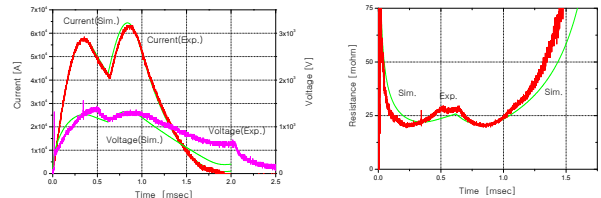
본 연구에서는 차량 탑재 가능성을 제시하기 위한 고밀도 소형 펄스전원장치를 개발하고자 한다. 이를 위하여 전열추진에서 필요한 펄스전원의 요구조건을 결정하고, 차량 탑재가 가능하도록 펄스전원장치를 최적화 고집적화 하였다. 고집적화를 위해서는 펄스전원장치 세부규격을 최적화하고 에너지 전달효율을 극대화함으로써 필요한 펄스전원장치 규모를 최소화하면서 구성품은 최소공간에 배치되어야 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 집적화 펄스전원장치 설계

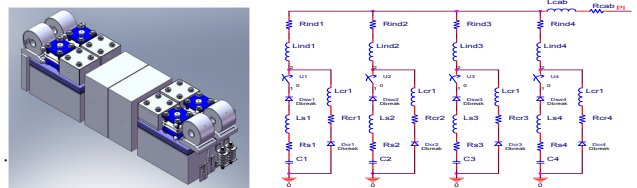
본 연구에서 개발하는 펄스전원장치는 침두치 150~250MW, 펄스폭 1msec의 구형과 펄스전력, 전기에너지 100kJ 이상을 플라즈마발생기에 공급할 수 있어야 하며, 차량 탑재 운용성을 고려하여 체적 0.5m<sup>3</sup> 이하, 수회/분 이상의 연속충방전이 가능하여야 한다. 펄스전원장치의 고효율, 최적 설계를 위해서는 반드시 <그림 2>와 같은 플라즈마발생기의 시변비선형 저항특성을 고려하여야 한다. 체적 최소화를 위하여 충전전압을 7kV로 최대한 낮추어 절연대책을 용이하게 하였으며, 구성품의 기생저항 및 기생인덕턴스를 최소화함으로써 에너지 전달효율이 80% 이상 되

도록 회로를 설계하였다. 그리고, 공간손실을 최소화하면서 구성품을 최대한 집적화하도록 부품을 배치하였다.

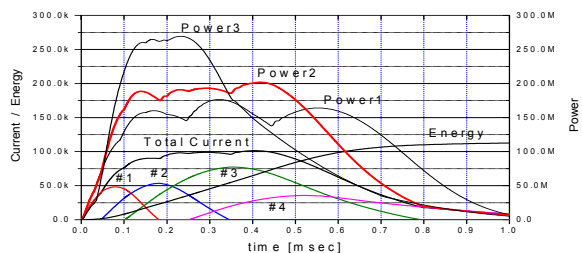


<그림 2> 플라즈마발생기의 전기적 부하특성(전압, 전류, 저항)

우선 고집적 펄스전원장치의 구형과 펄스전력 성형과 에너지 전달효율 극대화를 위하여 펄스전원장치의 구성을 분석, 결정하였다. 스위치 1개를 사용하는 다단 L-C 사다리형 회로, 단독모듈, 그리고 다수 개 모듈의 병렬구성 등을 비교하였다. 최종적으로 펄스전력 성형의 유연성, 에너지 전달효율, 공간배치 등을 고려하여 <그림 3>과 같이 펄스전원장치를 동일한 4모듈로 구성하였다. 각각의 모듈 스위치는 시간차 점화가 가능하며, 구성품의 기생인덕턴스는 제작성을 고려하여 목표값을 결정하였다. 결정한 회로의 분석을 통하여 구성품의 요구규격을 결정하였다. 구성품의 기생인덕턴스를 최소화하기 위하여 구성품은 도체 표면적 최대화, 이격거리 최소화, 동축구조가 되도록 설계하였다. 운용 시 발생 가능한 부하단락, 부하개방 등의 사고유형을 구성품의 규격결정과 설계에 고려하였다. <그림 4>는 플라즈마발생기에 공급되는 펄스전력과 전류 및 모듈 각각의 출력전류 모사실험 결과를 보여주고 있다. 펄스전력은 펄스폭 1msec, 150~200MW 구형과 펄스전력, 부하전달 에너지는 100kJ 이상이다.[4]



<그림 3> 집적화 펄스전원장치 구성도 및 회로도

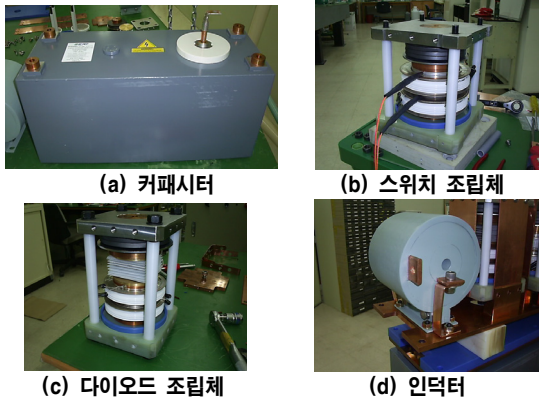


<그림 4> 4모듈 펄스전원장치의 펄스전력 및 모듈 출력전류

## 2.2 집적화 펄스전원장치 제작

펄스전원장치 모듈의 주요 구성품은 커패시터, 스위치 조립체, 다이오드 조립체, 인덕터, 충전기 및 제어기로 구성되어 있다.

커패시터는 <그림 5(a)>와 같으며 ICAR사 제품으로 에너지밀도는 1.12J/cc이고, 상단에 위치한 각종 구성품의 형상을 고려하여 W225×D560×H265mm 형상으로 제작함으로써 펄스전원장치의 체적을 효율적으로 배치할 수 있도록 하였다. 주요 규격으로는 운용충전전압 7kV, 커패시턴스 1640μF, 내부저항 1.2mΩ, 내부인덕턴스 41nH, 첨두전류 100kA이다. 한 개의 전극봉은 (+)전극으로 사용하며 몸체가 (-)전극으로 사용된다. 스위치는 Infineon사 광검출 싸이리스터(LTT : Light Triggered Thyristor)이다. LTT 턴온 접호를 위해서는 파장 904nm, 펄스폭 10us, 최소 40mW의 레이저 에너지 공급이 필요하다. 접호가 레이저에 의해 이루어지기 때문에 전자과 간섭을 회피할 수 있는 장점이 있다. 그리고, LTT 경우 구조적으로 순방향 과전압 및 과도한 dv/dt에서 자발 턴온되기 때문에 부가적인 과전압 보호회로가 필요 없어 구조가 간단해지는 장점이 있다. 사용한 LTT는 웨이퍼 직경 100mm, 순방향 V<sub>DC</sub> 6kV 이상, V<sub>RRM</sub> 7.5kV, 첨두전류 100kA 이상, Action Int. 8MA<sup>2</sup>s이다. 스위치 조립체는 운영전압 7kV와 펄스장치 운용시 발생하는 10kV 이상의 Spike 전압을 고려하여 <그림 5(b)>와 같이 싸이리스터 2개를 직렬 적층하고 동축구조로 제작하였다. 다이오드는 Infineon사 제품으로 웨이퍼 직경 85mm이며, 전기규격은 스위치와 유사하다. 2개의 직렬 적층된 다이오드는 커패시터-다이오드간 발생하는 공진전류 제한용 저항과 함께 동축구조로 <그림 5(c)>와 같이 구성되어 있다. 모듈 출력전류와 변화율을 제어하기 위한 인덕터는 전류용량과 저항 최소화에 유리한 Pancake형 인덕터를 <그림 5(d)>와 같이 설계, 제작하였다. 주요 규격은 절연내압 20kVdc, 첨두전류 100kA, 내부저항 1mΩ 이다.



<그림 5> 집적화 펄스전원장치 모듈의 주요 구성품

펄스전원장치를 구성하는 단위 모듈은 <그림 6>과 같이 제작하였다. 커패시터 상부에는 조립체간 전류 통로가 되는 평행 도체판이 설치되어 있다. 평행도체판 위로 스위치조립체, 다이오드조립체 및 인덕터가 위치하고 있다. 절연내압과 상호간섭을 고려하면서 공간손실을 최소화하도록 구성품을 배치하였다.

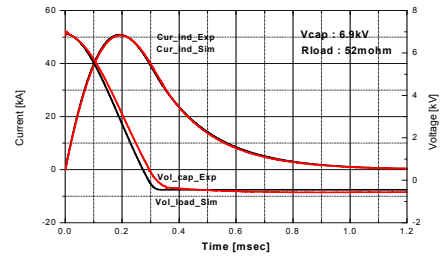


<그림 6> 집적화 펄스전원장치의 단위 모듈

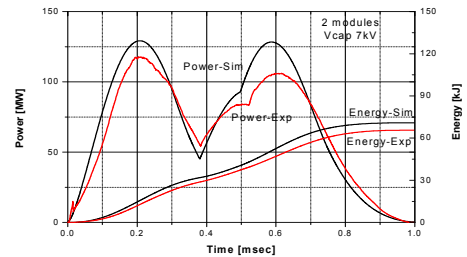
## 2.3 실험결과 및 분석

<그림 3>의 펄스전원장치 회로정수는 단위모듈 시제품의 실험을 통하여 실제 값으로 수정되었다. <그림 7>은 충전전압 6.9kV, 저항부하 52mΩ 실험에서 얻어진 단위모듈의 커패시터 전압 및 출력전류 결과이며 모사실험 결과와 비교하여 보여주고 있다. <그림 7>에서 결정된 모듈의 회로정수는 성능을 달성할 수 있는 설계 목표치에 근접하는 것으로 판단되며 향후 개선시킬 예정이다. <그림 8>은 2모듈 펄스전원장치를 이용하여 비선형 저항특성을 갖는 플라즈마발생기(아세탈 용발제)에 공급한 펄스전력 및 전달에너지 실험 및 모사실험 결과를 보여주고 있다. 실험과 모사실험 오차는 약7%로써 플라즈마발생기의 모델과 전류칩

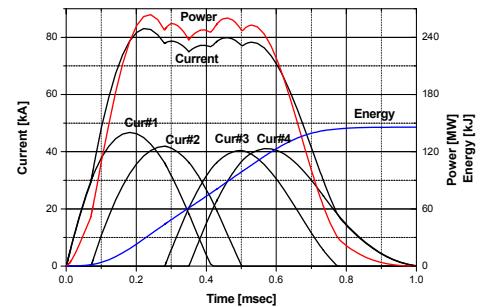
두께가 변화에 따른 시변저항 모델의 오차가 원인으로 판단된다. 2모듈 병렬운용 시험에서는 4모듈 운용시 발생할 수 있는 현상과 문제점을 도출하고 대책을 마련하였다. <그림 9>는 7kV로 충전된 4모듈 펄스전원장치가 플라즈마발생기에 공급하는 출력전류, 펄스전력 및 전달에너지 모사실험 결과이다. 펄스폭 약1msec, 200MW급 이상의 구형과 펄스전력 성형, 에너지 전달효율 80% 이상이 가능할 것으로 판단된다.



<그림 7> 단위모듈의 커패시터 전압, 출력전류(6.9kV, 부하 52mΩ)



<그림 8> 2 모듈의 출력전력과 전달에너지(부하 PI)



<그림 9> 4 모듈의 출력전류, 전력 및 전달에너지(부하 PI)

## 3. 결 론

차량 탑재 가능성을 제시하기 위한 고집적 펄스전원장치를 구성하는 모듈을 제작하고 시험평가를 수행하였다. 모듈 시험평가를 통하여 플라즈마발생기에서 필요한 구형과 펄스전력 성형, 연속충방전 등 주요 연구 목표 달성이 가능할 것으로 분석되었다. 향후 4모듈로 구성되는 펄스전원장치를 제작하여 시험평가 및 보안을 진행할 예정이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] J. W. Jung, Y. H. Lee, K.S. Yang, J. S. Kim, J. H. Chu, "Overview of ETC Technology in Korea", IEEE Trans. on Magnetics, Jan. 2001, pp.39-41
- [2] 김진성, 김성호, 이영현, 양경승, "추진제 집화용 플라즈마 인젝터의 특성 분석", 국방과학연구소 연구보고서, GSDC-419-041446, 2005. 1.
- [3] G. Y. Sung, J. S. Kim, J. H. Chu, J. W. Jung, "Development of 2.4-MJ Capacitor Bank for Electrothermal Propulsion Technology", IEEE Trans. on PLASMA SCIENCE, Vol. 30, No. 5, Oct. 2002, pp.1789-1792
- [4] 김진성, 김성호, 양경승, 이영현, 김종수, 김영배, "수백 MW급 고집적 커패시터형 펄스전원 개발, 2007년 대한전기학회 하계학술대회