

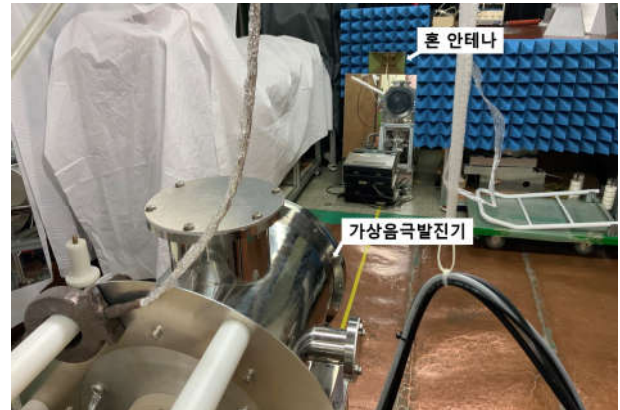
## 양극 메쉬 패턴 변화에 따른 가상음극발전기의 전기적 특성 분석

김세훈, 이창진, 고광철\*  
한양대학교\*

### Analysis of Electrical Characteristics of Virtual Cathode Oscillator Depending on the Anode Mesh Pattern

Se-Hoon Kim, Chang-Jin Lee, Kwang-Cheol Ko\*  
Hanyang University\*

**Abstract** - 가상음극발전기는 드리프트관에 생성된 가상음극의 진동을 통해 대출력 마이크로파를 발생시키는 장치이다. 가상음극 생성을 위해서는 전자 빔을 발생시키는 음극과 메쉬 양극이 사용된다. 가상음극발전기는 높은 출력의 마이크로파를 쉽게 발생할 수 있으나, 효율이 매우 낮다는 단점이 존재한다. 음극에서 방사된 전자 빔은 메쉬 양극을 통과한 후 드리프트관에서 가상음극을 형성한다. 음극에서 발생된 전자가 양극을 지나면서 양극으로의 흡수는 가상음극발전기의 낮은 효율의 원인 중 하나이다. 본 논문에서는 양극이 효율에 미치는 영향을 분석하기 위하여 두 가지의 메쉬 양극을 이용하여 가상음극발전기의 전기적 특성을 분석하였다. 가상음극발전기의 마이크로파 발생 다이오드에 인가된 고전압 펄스의 크기는  $-124\text{kV}$ 이고, 다이오드에는  $6\text{kA}$ 의 전류가 흘렀다. RF 다이오드로 검출된 변환 전압은 일반 메쉬망이  $6.7\text{mV}$ 이고, 부식가공 메쉬망이  $36.8\text{mV}$ 이다. 실험을 통해 투과율이  $76\%$ 인 부식가공 메쉬망이 더 높은 전력의 마이크로파를 발생함을 확인하였다. 또한, RF 다이오드 출력 전압의 펄스폭을 통해 투과율이 낮은 일반 메쉬망의 경우 전자빔에서 쉽게 아크방전으로 전이되는 것으로 분석된다.



<그림 1> 대출마이크로파 발생 및 측정 시스템

## 1. 서 론

대출력 마이크로파 발생장치는 전자기 펄스의 발생, 장거리 무선 전력 전송 등과 같은 응용에 사용되기 위하여 연구되고 있다. 대출력 마이크로파를 발생하기 위하여 마그네트론, 클라이스트론, 자이로트론, 가상음극발전기 등이 연구되어 왔다 [1]. 가상음극발전기는 다른 대출력 마이크로파 발생장치에 비해서 간단한 구조, 고전압 인가의 용이성, 주파수 변조의 간단함 등의 장점을 갖고 있다. 반면, 가상음극발전기는 에너지 및 전력 효율이 수 %로 다른 대출력 마이크로파 발생장치에 비해 상대적으로 낮다는 단점이 있다. 가상음극발전기의 낮은 효율은 음극 재질에 따른 전자 방출 특성, 구조적 특성에 따른 전자의 흡수 등에 기인한다. 가상음극발전기의 낮은 효율을 개선하기 위해 음극 재질 변화, 음극 구조의 변화 등의 연구가 진행되었다. 음극 재질 변화를 통한 효율 개선을 위해 탄소섬유 음극, 탄소섬유 음극, 요오드 코팅 알루미늄 음극 등이 연구되었다 [2], [3]. 구조 변화를 통한 효율 개선 연구로는 동축 형태의 가상음극발전기, Reflex triode 형태의 가상음극발전기 등이 연구되었다 [4], [5].

가상음극 발생을 위해서는 메쉬 양극이 사용되며, 양극으로의 전자 흡수는 가상음극발전기의 낮은 효율의 원인 중 하나이다. 본 논문에서는 가상음극발전기의 구동 최적화를 위하여 양극의 메쉬 패턴에 따른 전기적 특성을 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 대출력 마이크로파 발생 시스템의 구성

대출력 마이크로파 발생 및 측정을 위한 실험 시스템은 크게 펄스 전원부, 마이크로파 발생부, 그리고 마이크로파 측정부로 구성되어 있다. 펄스전원으로 Marx generator, 마이크로파 발생부로 가상음극발전기, 마이크로파 측정부에는 혼 안테나가 사용되었다. 대출력 마이크로파 발생 시스템을 운용 및 측정하기 위한 시스템은 <그림 1>에 나와 있다.



(a) 일반 메쉬망 양극 (b) 부식 가공망 양극

<그림 2> 스테인리스 스틸 메쉬 양극

<표 1> Marx generator 설계 스펙

구분	설계 스펙	구분	설계 스펙
스테이지 수	10	충전 전압	-17 [kV]
스테이지 커패시턴스	100 [nF]	출력 전압	-170 [kV]
충전 저항	1 [MΩ]		

### 2.1.2 가상음극발전기

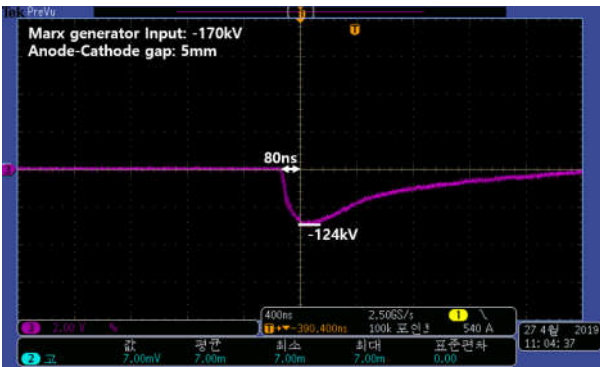
본 논문에서는 대출력 마이크로파 발생을 위하여 축방향 가상음극발전기를 사용하였다. 가상음극발전기는 공간전하제한 전류 이상의 다이오드 전류가 인가되었을 때, 드리프트관에 생성된 가상음극의 진동을 통해 대출력 마이크로파를 발생한다. 가상음극발전기의 크기는 길이가  $400\text{mm}$ , 지름이  $300\text{mm}$ 인 원통 진공 챔버이다. 가상음극발전기의 음극과 양극은 각각 지름은  $70\text{mm}$ ,  $200\text{mm}$ 이고, 스테인리스 스틸로 구성되었다. 음극과 양극의 간격은  $5\text{mm}$ 로 설정하였다. <그림 2>에는 양극 메쉬 패턴에 따른 실험에 사용된 양극이 나와 있다.

### 2.1.3 측정 시스템

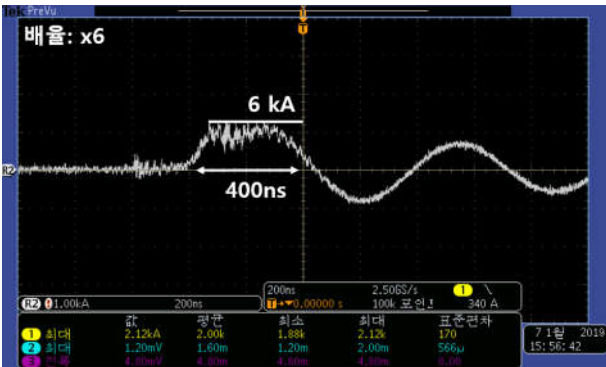
가상음극발전기의 전기적 특성을 분석하기 위하여 다이오드 전압, 다이오드 전류, 그리고 발생된 마이크로파의 전력을 분석하였다. 다이오드 전압과 다이오드 전류는 전압 분압기와 Pearson coil을 이용하여 측정하였다. 발생된 마이크로파는 가상음극발전기로부터 2.6m 떨어진 위치에 설치된 혼 안테나를 이용하여 측정하였다. 측정된 마이크로파의 전력은 RF 다이오드 검출기를 이용하여 전압의 형태로 측정하였다.

### 2.2 실험 결과

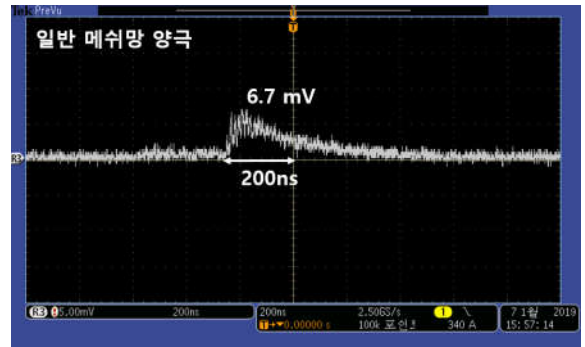
대출력 마이크로파를 발생하기 위한 가상음극발전기는 펄스전원인 Marx generator를 구동하였다. 가상음극발전기를 구동하기 위해 다이오드에 인가된 전압의 크기는 전압 분압기를 이용해 측정하였다. <그림 3>에는 Marx generator에서 발생된 고전압 펄스가 가상음극발전기로 인가되었을 때 가상음극발전기의 다이오드에 걸린 일반적인 전압 파형이 나와 있다. 다이오드에 인가된 펄스의 피크 전압은 -124kV 이고, 상승시간은 약 80ns이다. 가상음극발전기의 다이오드에 고전압 펄스가 인가될 때 흐르는 전류는 Pearson coil을 이용해 측정하였다. <그림 4>는 다이오드에 인가된 전류 펄스를 나타낸다. Marx generator로부터 고전압 펄스가 인가되었을 때, 다이오드에 흐르는 최대 전류는 6kA이다. 가상음극발전기로부터 발생된 마이크로파는 RF 다이오드를 이용해 측정하였으며, <그림 5>에는 메쉬망 양극과 부식 가공을 통해 가공된 양극의 RF 다이오드 출력이 나와 있다. 일반 메쉬망 양극 사용 시 검출된 RF 다이오드의 전압은 6.7mV이고, 부식가공 메쉬망 양극 사용 시 검출된 전압은 36.8mV이다. 부식가공 메쉬망 양극 사용 시 RF 다이오드의 전압은 약 5배 높다. 이는 실험에 사용된 일반 메쉬망은 투과율이 40%, 두께가 5mm인 반면 부식가공 메쉬망은 투과율 76%, 두께가 1.2mm이므로 양극의 투과율에 영향으로 분석된다. RF 다이오드 출력 전압의 펄스폭은 일반 메쉬망이 약 200ns, 부식가공 메쉬망이 80ns이다. 이는 일반 메쉬망의 투과율이 낮아 전자빔이 아크방전으로 빠르게 전이된 것으로 분석된다.



<그림 3> 다이오드 전압 파형



<그림 4> 다이오드 전류 파형



(a) 일반 메쉬망 사용시 RF 다이오드 출력 전압



(b) 부식가공 메쉬망 사용시 RF 다이오드 출력 전압

<그림 5> 양극 메쉬 변화에 따른 마이크로파 전력

### 3. 결 론

본 논문에서는 대출력 마이크로파 발생 장치인 가상음극발전기의 양극 메쉬의 변화에 따른 전기적 특성을 분석하였다. 양극의 전기적 특성 분석을 위해 투과율이 40%, 두께가 5mm인 일반 메쉬망과 투과율이 76%, 두께가 1.2mm인 부식가공망이 사용되었다. 음극 직경이 70mm, 음극-양극 간격이 5mm인 상태로 실험을 진행하였다. 가상음극발전기의 다이오드에는 약 -124kV의 전압과 6kA의 전류가 인가되었다. 실험을 통해 일반 메쉬망의 RF 다이오드 출력은 6.7mV이고 부식가공망의 RF 다이오드 출력은 36.8mV으로 부식가공망의 출력이 높음을 알 수 있다. 또한, RF 다이오드 전압의 펄스폭을 통해 일반 메쉬망의 경우 아크 방전으로 빠르게 전이됨을 볼 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] James Benford, John A. Swegle, and Edl Schamiloglu, "High Power Microwave", Taylor & Francis, 2007
- [2] Rakhee Menon, et al., "High power microwave generation from coaxial virtual cathode oscillator using graphite and velvet cathodes", Journal of Applied Physics, 107, 093301, 2010
- [3] Lie Liu, Limin Li, Jianchun Wen, and Hong Wan, "Robust, easily shaped, and epoxy-free carbon-fiber-aluminium cathodes for generating high-current electron beams", Review of Scientific Instruments, 80, 023303, 2009
- [4] Amitava Roy, et al., "Frequency Variation of a Reflex-Triode Virtual Cathode Oscillator", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.41, No.1, Jan, 2013
- [5] Amitava Roy, et al., "Influence of Electron-Beam Diode Voltage and Current on Coaxial Virator", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.40, No.6, June, 2012