

절연 가스에 따른 초고속 Marx generator의 상승 시간 특성

두진석*, 방정주*, 김광용*, 황선목*, 서유진**, 허창수*
 인하대학교*, 서진설계기술단**

Insulation Gas to characterize the rise-time of an Ultra-fast Marx generator

Jin-Suk Doo*, Jung-Ju Bang*, Kwang-Yong Kim*, Sun-Mook Hwang*, Yu-Jin Seo**, Chang-Su Huh*
 INHA University*, Seo-Jin Engineering and Consultancy company**

Abstract - Recently, there has been considerable interest in electromagnetic pulse (EMP) source for no lethal directed energy weaponry applications. The compactness of the Marx generator, coupled with its ability to be powered by battery technology, makes it a viable handled impulse source. The marx generator has 2 stages. Each stage was constructed one charging capacitor, two electrodes and one charging resistor. A inductance structure is used in order to improve the switching performances fo the whole generator. The experiments of rise time in pure gas and mixtures of gases were described. The experimental results show that the rise time characteristics of the marx generator can be controlled through varying insulation gas.

1. 서 론

1960년대 이후로 미국을 주도로 한 EMP 관련 연구는 EMP 모의시험 시설 및 EMP 발생장치에 대해 큰 비중을 두고 있다. 특히 EMP 발생장치에 대한 연구는 EMP 모의시험시설에 있어서 필수적인 요소이기 때문에 그 비중이 크다 할 수 있다. EMP는 해이 고고도(High Altitude)에서 폭발할 경우 지상에서 관측되는 3가지 종류의 펄스 혹은 펄스 burst를 의미하며 일반적으로 EMP는 제일 먼저 관측되는 상승 시간 2.5 nsec, FWHM (Full Width Half Maximum) 23 nsec, 점두 전계강도 50 kV/m의 임펄스 파형을 의미한다[1].

또한 EMP를 인위적으로 발생시켜 비살상 무기(Non Lethal Weapon) 나 테러의 목적으로 사용될 수 있으며 보다 더 빠른 상승 시간 및 더 높은 에너지를 갖는 EMP 발생장치들이 많이 개발되었다. 상승 시간이 빠른 임펄스의 경우 주파수 스펙트럼은 더욱 광대역으로 확대되므로 고 주파 공진 주파수를 갖는 일반적인 전자장비들은 빠른 상승 시간을 갖는 임펄스형 전자기파에 대해 매우 취약하다[2].

EMP 발생장치는 임펄스 발생장치에 광대역 안테나를 접속하여 외부로 방사하거나 EMP 시뮬레이터를 연결하여 모의시험시설로써 사용하게 되는데 가장 큰 부분을 차지하는 임펄스 발생장치는 Marx Generator를 사용한다. Marx Generator는 그림 1과 같이 캐패시터 뱅크 (Bank) 및 충전 저항, 인덕터로 구성되며 대부분의 Marx Generator는 2.5/50 μsec의 뇌(雷) 임펄스 모의시험용으로 사용되고 있고 이러한 뇌 임펄스용 Marx Generator는 주파수 대역이 수십 kHz이므로 EMP로써는 적절치 않다.

인덕턴스가 클수록 Marx Generator의 상승 시간은 더욱 길어지는데 뇌 임펄스용 Marx Generator는 상승 시간을 더욱 늦춰주기 위해 인덕터를 부착하여 상승 시간을 조절한다. 그러나 EMP용 Marx Generator의 경우 상승 시간을 수 nsec에서 수백 psec까지 줄여야 하기 때문에 인덕턴스를 최소가 되도록 설계해야 하는 어려운 점이 있다.

따라서 인덕턴스를 줄이기 위한 다양한 방법이 연구되고 있는데 본 논문에서는 Marx Generator의 절연 가스의 종류 및 압력, 혼합비율에 따라 상승 시간 변화를 논하고자 한다. 본 논문에서 사용된 절연가스는 N₂ 및 SF₆, 두 가스의 혼합 가스를 사용하였고 순수한 N₂만의 상승 시간 변화 및 순수한 SF₆만의 압력에 따른 상승 시간 변화를 논한다. 또한 고도 의정서 이후로 SF₆가 오실효과를 유발하는 유해 가스로 분류되어 점차 그 사용량을 줄여야 하는 상황에서 N₂ 가스를 혼합하여 사용하는 연구가 진행되고 있는 바, 본 연구에서도 N₂ 및 SF₆ 혼합가스의 혼합 비율에 따른 Marx Generator의 상승 시간 변화를 고찰한다.

2. 본 론

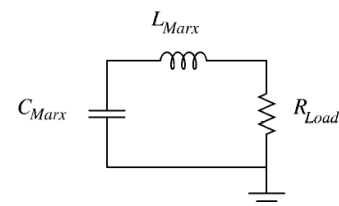
2.1 Marx generaotr의 구성



<그림 1> 2단 Fast Marx generator

<그림 1>은 설계 및 제작된 Marx generator이다. 각 단(stage)은 충전 캐패시터, 방전갭(spark gap), 충전 저항으로 구성되어 있으며 총 2단으로 구성하였다. 각 단의 캐패시터는 용량 250 pF, 내압 40 kV의 TDK 제품을 사용하였고, 충전 저항은 저항값 2 MΩ, 용량 5 W의 필름저항을 사용하였다. 방전갭은 반구형의 구리 재질로써 앞단에 방전에 의한 손상을 막기 위해 텅스텐 합금으로 처리하였고 직경 25 mm, 곡률반경 14.66 mm이다. 첫 번째 단의 갭간격은 1.2 mm, 두 번째 단의 갭 간격은 1.5 mm로 설정하였는데 그 이유는 부분방전은 최소화하기 위함이다. 절연 가스에 따른 상승 시간 변화를 측정하기 위해서 N₂, SF₆ 그리고 SF₆-N₂ 혼합가스를 절연가스로써 사용하였다.

Marx Generator의 등가회로는 기본적인 RLC 구성을 가지고 있으며 <그림 2>는 Marx Generator의 등가회로를 나타내었다. Marx Generator는 일반적으로 저항, 인덕터, 캐패시터의 조합으로써 출력 파형을 조정하지만 EMP 발생장치용 Marx Generator는 상승 시간을 최소화하기 위하여 인덕터를 설치하지 않으며 Marx Generator의 구조상 기생적인 인덕턴스 성분을 최소화해야 한다.



<그림 2> Marx Generator의 등가회로

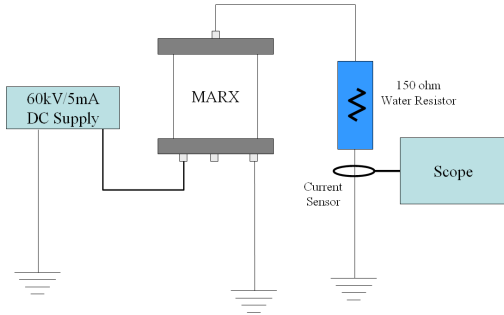
<그림 2>에서 나타낸 C_{Marx}는 Marx Generator의 총 캐패시터를 나타내며 각 단 캐패시터 용량의 합과 같다. L_{Marx}는 Marx Generator상의 기계적 구조에 의한 기생 인덕턴스 성분을 의미한다.

2.2 실험방법

실험의 구성은 <그림 3>과 같이 구성하였다. Marx Generator를 충전하기 위한 High Voltage DC Power Supply는 최고 전압 DC 60 kV, 전류 5 mA이고 Marx의 충전단에 연결된다. 트리거는 가스 압력에 따른 자연방전으로 하였으며 부하 저항으로는 황산 구리 수용액 저항을 사용하였다. 출력의 최하단부에는 current sensor를 통한 오실로스코프를 이용하여 출력되는 임펄스 파형의 상승 시간을 관찰하였다. 전압 측정법은 전

류 센서를 이용하여 전류를 측정하고 부하 저항 값을 곱하여 전압을 측정하였다.

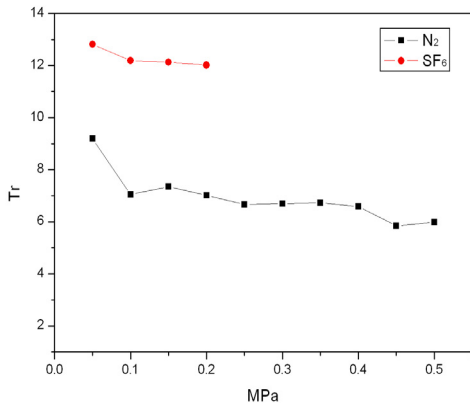
절연 가스의 최고 압력은 충전 캐패시터의 내압의 적정 사양이 가능한 범위까지 증가하였다. 절연 가스 SF_6 의 경우 0.05 MPa에서 0.2 MPa까지 0.05MPa까지 측정하였으며, N_2 의 경우 0.05 MPa에서 0.5 MPa까지 0.05 MPa 간격으로 측정하였다. 그리고 SF_6-N_2 혼합 가스의 경우 0.1 MPa에서 0.4 MPa까지 0.1 MPa 간격으로 측정하였다. 본 실험은 짧은 상승 시간을 얻기 위한 실험이므로 SF_6-N_2 의 혼합 비는 밀도가 낮은 N_2 를 중심으로 1:9로 설정하였다.



<그림 3> 실험구성도

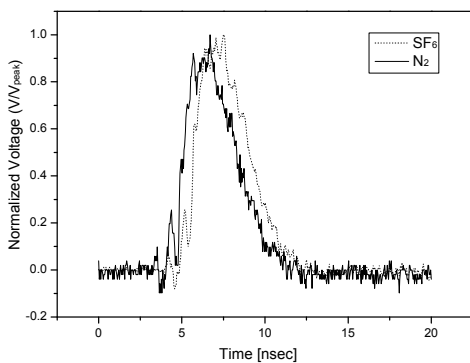
2.3 실험결과

<그림 4> 순수한 절연 가스 SF_6 및 N_2 의 상승 시간 변화이다. SF_6 의 경우 가스 트리거를 사용하였기 때문에 0.3 MPa 이상에서는 트리거가 불가능하여 실험할 수 없었다. 그림에서 나타난 것과 같이 N_2 를 절연 가스로 사용할 때가 SF_6 를 절연가스로 사용할 때보다 더 빠른 상승 시간을 보였다.



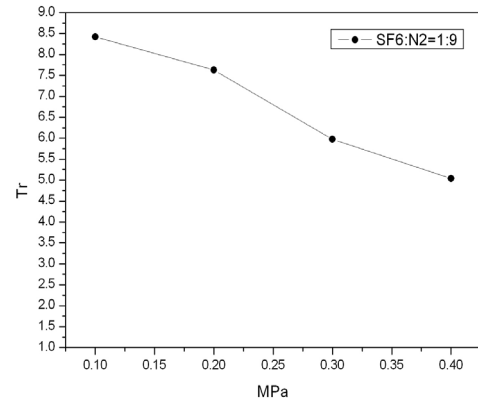
<그림 4> SF_6 및 N_2 의 상승 시간

<그림 5>는 같은 압력인 0.2 MPa에서 SF_6 와 N_2 절연가스를 사용하였을 때의 출력 전압파형을 정규화 하여 나타내었다. 그림에서 나타난 것과 같이 N_2 를 사용하였을 때가 SF_6 를 사용하였을 때보다 약 3 nsec 빠른 것으로 나타났다.



<그림 5> 0.2 MPa에서의 SF_6 와 N_2 의 상승 시간 비교

<그림 6>는 SF_6 와 N_2 를 혼합비를 1:9로 일정하게 유지하면서 압력을 달리하여 절연가스로 사용하였을 때의 상승 시간을 나타내었다. <그림 6>에서 나타난 것과 같이 혼합가스의 압력이 증가할수록 상승 시간이 더 빨라졌다.



<그림 6> SF_6-N_2 혼합가스의 상승 시간

2.4 고찰

같은 압력하에서 N_2 의 밀도는 SF_6 의 밀도보다 낮기 때문에 N_2 를 절연 가스로 사용할 때가 SF_6 를 절연가스로 사용할 때보다 더 빠르게 방전하며[3] 이에 따라 더 빠른 상승 시간이 나타난 것으로 생각된다. SF_6 의 경우 전자친화력이 높은 물질이며 같은 압력에서 밀도가 N_2 보다 크기 때문에 전자의 자유 행정길이 짧기 때문에 절연 파괴 전압도 높지만 전자의 이동 속도 역시 제한을 받기 때문에 상대적으로 N_2 에 비해 전자의 이동속도가 느려 상승 시간이 느린 것으로 생각된다.

4. 결 론

초고속 Marx generator의 상승 시간을 줄이기 위해서 밀도가 낮을수록 상승 시간이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었으며 순수한 가스보다는 혼합가스를 이용하여 보다 짧은 상승 시간을 확인할 수 있었다. SF_6-N_2 의 혼합 비를 다양하게 함으로써 더 짧은 상승 시간을 확인할 수 있을거라 생각된다. 또한 N_2 보다 낮은 밀도의 H를 사용한다면 더 좋은 상승 시간을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC 61000-2-9, Electromagnetic compatibility(EMC) - Part 2 : Environment-Section9, "Description of HEMP environment-Radiated disturbance-Basic EMC publication", 2003
- [2] W. A. Radasky, "Introduction to the Special Issue on High-Power Electromagnetics (HPEM) and Intentional Electromagnetic Interference (IEMD)", IEEE Trans. EMC, AUG 2004
- [3] B. Cadilhon L. Pe'castaing T. Reess A. Gibert, "Low-stray inductance structure to improve the rise-time of a Marx generator", IET Electr. Power Appl., Vol. 2, No. 4, pp. 248 - 255, 2007