

# 선대 선 전극방식의 대기압 아크억제 대책 및 Metaloxide 제거에 관한 연구

論 文

53C-5-6

## The Study on Arc Suppression of Line-to-Line Electrodes in Air and Removal of the Metaloxide

丁鍾漢\*·金文煥\*\*

(Jong-Han Joung · Moon-Hwan Kim)

**Abstract** - Recently the pulsed power systems have been widely used in many fields such as E/P(Electrostatic Precipitator), DeNOx/DeSOx power systems, ozone generators and power sources of the laser beam. In this paper, we studied various electrical characteristics for arc suppression of line-to-line electrodes in air and removal of the metaloxide using our pulsed power system. To obtain high efficiency of the pulsed power system, we repeatedly experimented and tested their characteristics by adjusting electrode length of the load. As a result, when the value of the electrode length and pulse repetition rate were changed at the load, the value of the arc voltage changed at the electrode load. In conclusion, we controlled arc voltage of the load by changing electrode length and pulse repetition rate. Also, we studied removal area of the metaloxide using arc discharge according to pulse repetition rate.

**Key Words** : pulsed power systems, arc suppression, pulse repetition rate, metaloxide

### 1. 서 론

저장된 에너지를 시·공간적으로 압축시켜 단시간 내에 발생된 대전력의 펄스파워는 전력전자 소자 중에서 전력용 스위치소자의 기술적 발달과 함께 눈부신 발전을 거듭하고 있다. 더욱이 이 펄스파워 기술은 적은 에너지를 100 ns이내에 방출시킴으로써 침투전력이 수백 MW이상에 도달하게 되므로, 종래의 회로방식으로는 불가능했던 전기적 특성을 얻을 수 있기 때문에 그 산업적 응용가치 및 적용범위는 매우 넓다.<sup>[1-2]</sup> 대표적인 펄스파워 시스템의 응용분야로는 산업 및 화학공정에서 발생하는 폐기물처리, 화력발전소나 보일러와 같은 산업설비에서 배출되는 배연가스처리 장치, 분진제거를 위한 전기집진장치, 오존발생장치, 전자빔법 등이 있다.<sup>[3-7]</sup> 또한, 펄스파워의 순간적으로 발생하는 전력을 이용하여 강력한 파워를 발생시키는 레일건(Rail-gun)에 이용되고 있으며, 산화된 표면에 펄스에너지를 조사함으로써 재료표면의 산화물 등을 쉽게 제거해 낼 수도 있다. 특히 전세계 인류의 공통 관심사인 대기환경 정화의 일환으로서 질산 및 황산화물(NOx, SOx)을 직접 처리할 수 있으며, 펄스폭이 매우 짧으므로 대용량의 배기가스의 처리가 가능하다. 이와 같이 펄스파워 시스템은 산업의 다양한 분야에 적용되고 있지만, 방전시 동반되는 아크에 의한 대전류로 인한 펄스파워 시스템의 전원장치 및 전극표면에 치명적인 손상을 주는 주원인

이 된다. 아크방전을 없애기 위해서는 전극사이에 인가되는 전압이나 전계를 조절하면 된다. 그러나, 아크를 억제하기 위하여 펄스발생기의 입력전압을 낮추게 되면 펄스발생기와 부하사이의 임피던스 불균형 및 부하에 공급되는 펄스에너지가 줄어들게 되므로 전체적인 시스템의 효율이 저하하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 펄스발생기의 동일한 입력전압 조건에서 전극부하에서 발생하는 아크를 억제하기 위하여 여러 가지 변수를 변화시킴으로써 얻어진 아크억제 대책 및 그와 관련된 다양한 전기적 특성에 대하여 서술하고자 한다. 결과적으로 전극길이와 펄스반복율과 같은 전기적 변수를 이용함으로써 아크 발생전압 제어가 가능함을 알 수 있었다. 또한 금속의 표면에 생기는 부식생성물인 녹, 슬러지 등을 금속산화물(Metal-oxide)이라고 부르며, 이러한 생성물 중에 철의 금속산화물은 산화철(III)수화물[Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O]이 주성분을 이루게 된다. 이것은 공기 중의 이산화탄소와 수분에 의해서 먼저 탄산철 FeCO<sub>3</sub> 생기고, 이것이 수분과 산소에 의해 분해되어 적갈색의 산화철(III)수화물과 이산화탄소가 되는 반응을 반복하는데서 생긴다. 이와같이 생성된 금속산화물은 금속의 광택 및 금속의 고유한 성질을 파괴하므로 금속의 수명에 치명적인 영향을 주게된다. 따라서, 방전의 특성을 이용하여 펄스반복율에 따른 금속산화물의 산화제거면적 특성을 위하여 금속산화물 시료에 10~400Hz의 펄스반복율로 각각 60초동안 인가한 경우 금속산화물의 반응특성에 대한 연구결과를 서술하였다.

\* 正 會 員 : 昌源專門大學 電子通信科 研究教授·工博

\*\* 正 會 員 : 新羅大學校 自動車工學科 助教授·工博

接受日字 : 2004年 2月 13日

最終完了 : 2004年 3月 29日

## 2. 본 론

### 2.1 전원구성회로

펄스발생회로는 다음과 같이 분류된다.

#### (1) 펄스발생기

그림 2.1과 같이 펄스발생회로는 펄스변압기의 1차측에 에너지를 인가하기 위해 2배압 회로에 의해 충전된 C1(100 $\mu$ F/250V)과 C2(100 $\mu$ F/250V)의 충전전압은 C3(1 $\mu$ F/1000V)에 최대 630V까지 충전되며 전압조정기에 의해 충전전압을 가변시킬 수 있다. 간략한 동작은 다음과 같다. C3의 충전전압은 주파수 및 스위칭 특성이 우수한 MOSFET(Model:IRF 830)의 드레인과 소스 사이에 인가되며 게이트의 신호가 입력되면 충전전압은 정극성으로 감겨져 있는 권수비 1:32의 펄스변압기에 전달되어 2차 전압이 유기됨으로써 부하에 공급되도록 구성되어 있다. 또한, 펄스반복율은 IR (International rectifier)사의 IR2110의 9번째 입력 주파수를 제어함으로써 펄스반복율 및 부하에 전달되는 펄스에너지를 제어하였다.

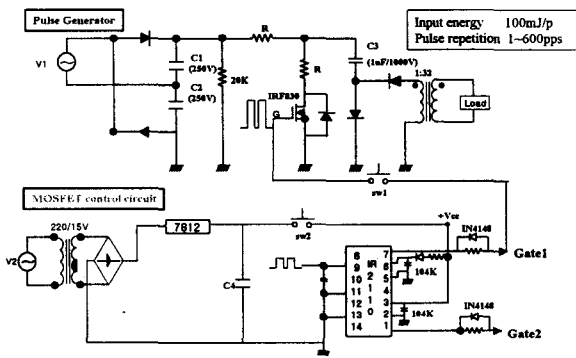


그림. 2.1 펄스발생회로(600pps=600Hz)

Fig. 2.1 Pulse generator circuit

#### (2) 실험장치 반응기 구성도

그림 2.2는 실험장치 및 전극의 구성 블록도를 나타내었다. 부하의 펄스전압 및 전류는 전압분배기(Model : IWATSU HV-P30, 1:1000) 및 전류변성기(Model : ABB EL50P1, 1:10)를 사용하여 오실로스코프(model : LeCroy LT224)를 통해 펄스전압 및 전류파형을 측정하였다.

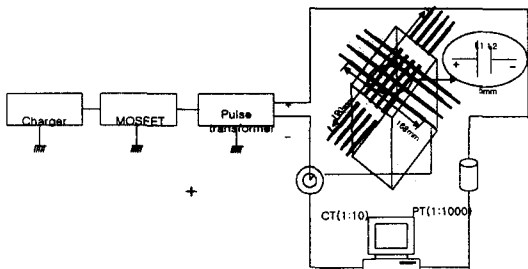


그림. 2.2 실험장치 및 전극 구성 블록도

Fig. 2.2 Experimental device and Electrode schematic diagram

그림 2.2와 같이 전극간격 5mm의 선대 선전극을 매트릭스형

으로 배치하여 용이하게 전극길이를 증가시킬 수 있는 구조로 되어 있다. 여기서, 전극길이라 함은 방전극 전체의 전극 길이를 의미한다.

### 2.2. 아크 발생전압의 변화 특성

아크방전이 발생하는 동안 전극사이에는 거의 도체상태가 되므로 그 때 전기적 저항은 수 $\Omega$ ~수십  $\Omega$ 이하가 된다. 따라서, 아크가 발생됨과 동시에 전극사이에는 상당한 대전류가 흐르게 되며, 이러한 대전류는 펄스발생장치 및 전극표면에 손상을 초래하게 된다. 따라서, 아크 발생전압을 제어하기 위하여 전극길이 및 펄스반복율을 변화시켰다.

그림 2.3은 전극사이에서 아크발생시 펄스전압(1) 및 전류(A)를 나타낸 그림이다. 부하의 펄스전압 및 전류는 전압분배기(model : IWATSU HV-P30, 1:1000) 및 전류변성기(model : ABB EL50P1, 1:10)를 사용하여 오실로스코프(model : LeCroy LT224)를 통해 펄스전압 및 전류파형을 측정하였다. 아크방전에서의 전압 및 전류파형에서 전압은 낮아지고 동시에 전류는 이상적으로 급증한다. 이 아크전류는 전극표면 및 펄스발생회로의 손상을 야기시키는 주원인이 되며, 전리 및 해리를 시키지 못한 채 방전로를 따라서 전극에 흡수되어 손실로 된다. 여기서, 정극성 전극길이는 200mm, 부극성 전극 길이는 250mm, 전극간격 5mm, 펄스 반복율 5Hz일 때 실험한 파형이다.

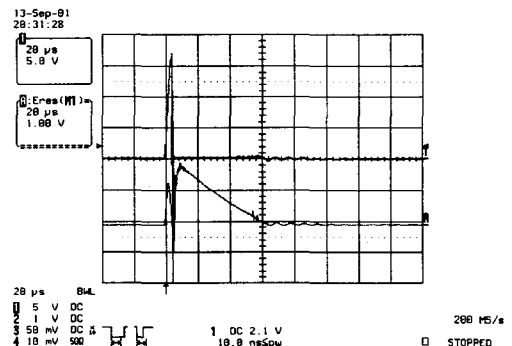


그림. 2.3 아크전압 및 전류

Fig. 2.3 Arc voltage and current in load

표 2.1에 전극길이에 따른 부하전극사이의 아크발생 측정값 ( $V_A$ )을 나타내었다.  $L_1$ ,  $L_2$ 는 각각 정극성, 부극성 전극수를 의미한다. 표에서와 같이 아크발생전압은 전극길이에 따라 감소한 반면 펄스폭은 전극길이에 비례함을 알 수 있다.

표 2.1 전극길이에 따른 아크발생 전압

Table. 2.1 Arcing voltage for various electrode length

$L_1 * L_2$	$V_A$ [kV]	$\tau$ [ $\mu$ s]	$Z_L$ [ $\Omega$ ]
1*1	19	25	860
1*2	17	27	830
1*3	15	28	750
1*4	13	30	#

이것은 전극길이가 증가함으로써 부하 커패시턴스가 증가하기 때문에 펄스폭이 증가하게 된다. 그림 2.4는 아크발생전압과 부하임피던스의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 부하전극길이가 증가할수록 아크발생전압 및 부하임피던스는 감소하게 된다. 즉, 펄스발생기 입력전압의 변동없이 전극길이만을 변화시킴으로써 전극사이의 아크발생을 제어할 수 있음을 알려주며, 부하임피던스가 감소함으로써 부하에 공급되는 펄스에너지가 증가하게 되어 펄스발생 시스템의 전체 효율이 증가함을 알 수 있다.

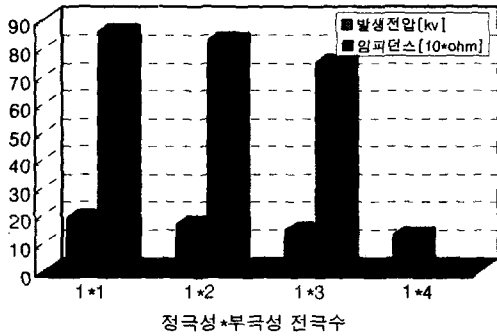


그림. 2.4 전극수에 따른 아크 발생전압 및 부하임피던스

Fig. 2.4 Arc voltage and load impedance for various electrode numbers

2.3 부하 임피던스 변화특성

그림 2.5는 펄스반복율 변화에 대한 아크전압 변화를 나타낸 그림이다. 펄스반복율이 10Hz인 경우에 비해서 펄스반복율이 60배 증가한 600Hz인 경우 아크 발생전압은 3kV의 차이가 나타났으며, 전극길이가 증가할수록 아크 발생전압이 감소함을 알 수 있다. 아크 발생전압이 감소하는 이유는 펄스반복율을 증가시키면 방전에 기인한 후 소멸되지 않고 남아 있는 잔류전하는 또다른 방전에 영향을 미치게 되며 이로 인하여 아크 발생전압에 영향을 미치게 되는 것이다. 즉 반복율이 증가하면 아크발생 전압도 감소한다. 임피던스는  $Z=V/I$ 로 결국 V의 감소로 Z가 감소하게 된다. 이와 같이 전극사이의 아크발생 전압은 전극길이가 펄스반복율과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 그러나 펄스반복율을 제어하기 위해서는 펄스발생기의 전력스위치의 스위칭손실이 적은 스위치를 사용해야 하므로 펄스발생기의 설비비가 증가하게 되며, 근본적으로 아크를 억제하면서 부하로의 펄스에너지 전송효율을 증가시키기 위해서는 전극길이를 제어하면 비교적 간단히 아크발생 전압을 제어할 수 있게 된다. 특히 펄스발생기의 부하에서 펄스코로나 방전 혹은 스트리머 방전중에 아크가 발생하면 입력전압의 변동없이도 충분히 부하 전극길이를 증가시키거나 펄스반복율을 제어함으로써 아크발생을 억제할 수 있음을 알 수 있다. 전극수가 증가하면 전극길이가 증가하게 되고, 전극길이  $l$ 이 증가하면 결국 부하 커패시턴스는 일반적으로 잘 알려진 식 (1)에 의하여 증가하게 된다. 단,  $d$ 는 전극간격,  $a$ 는 전극반경,  $l$ 은 전극길이를 의미한다.

$$C = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln \frac{(d-a)}{a}} l [F] \quad (1)$$

또한, 부하 커패시턴스의 증가는 식 (2)와 같이 커패시턴스와 전압이 반비례하므로, 전극사이의 인가되는 전압이 감소하게 된다. 그림 2.7은 펄스코로나 전압파형을 나타낸 그림이다.

$$C = \frac{Q}{V} [F] \quad (2)$$

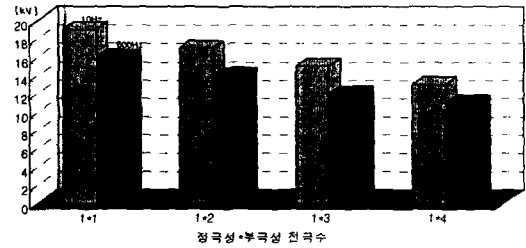


그림. 2.5 펄스반복율 변화에 대한 아크전압 변화  
Fig. 2.5 Arc voltage between 10Hz and 600Hz of pulse repetition rate

2.4 펄스반복율에 따른 금속산화물의 변화특성

펄스반복율에 따른 금속산화물의 제거면적의 변화를 알아보기 위하여 통계적 시간적 지연을 고려하여 금속산화물의 시료에 100mJ/pulse, 입력전압 450V, 펄스반복율 10~400Hz의 펄스에너지를 60초 인가한 경우 금속산화물의 제거면적을 표 2.2와 그림 2.6에 각각 나타내었다.

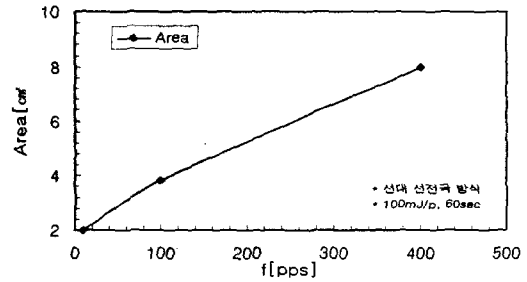


그림. 2.6 펄스반복율에 따른 금속산화물 제거 특성곡선  
Fig. 2.6 Curve of the metaloxide removal according to pulse repetition rate

표 2.2 펄스반복율에 금속산화물 제거 면적  
Table 2.2 Removal area of metaloxide with various pulse repetition rate

f [pps]	10	100	400
d [cm]	0.8	1.1	1.6
제거 면적 [cm]	2.01	3.8	8.04

그림 2.6에서와 같이 펄스반복율이 증가할수록 금속산화물의

제거면적이 증가함을 알 수 있었으며, 각각의 펄스반복율에 따른 금속산화물 제거 면적은 2.01, 3.8, 8.01cm<sup>2</sup>로 나타났다. 펄스반복율이 100Hz를 기준으로 400Hz까지 4배 증가시켰을 때 면적은 약 2.1배의 차이가 발생하였다. 이와 같이 펄스반복율이 증가함으로써 산화물 제거면적이 증대되는 이유는 펄스에너지의 노출시간이 증가함으로써 금속산화물에 대한 노출효과와 상기에서 설명한 바와 같이 펄스반복율 증가로 인한 부하임피던스 감소로 인한 부하전류의 증가에 의한 효과에 기인하기 때문이다. 결과적으로 동일한 전극간격에서 펄스반복율, 펄스에너지 및 노출시간 증가시 금속산화물의 제거면적이 증대함을 알 수 있다.

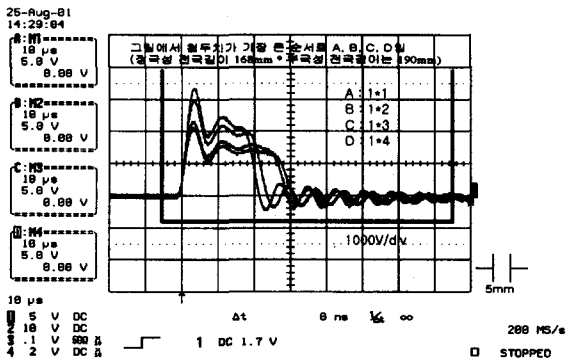


그림. 2.7 펄스코로나 전압 파형 (L1+L2 = 1\*1~1\*4)  
 Fig. 2.7 Waveforms of the voltage of pulse corona according to electrode length

### 3. 결 론

펄스발생기의 입력전압을 동일하게 설정한 상태에서 전극 부하에서 발생되는 아크를 억제하기 위하여 여러 가지 변수를 변화시키므로써 실험한 결과 아크억제 대책 및 그와 관련된 다양한 전기적 특성 및 금속산화물 시료에 10~400Hz로 각각 60초동안 인가한 경우 부하임피던스와 금속산화물의 반응특성에 대한 상관 관계에 대한 연구결과를 서술하였다.

- (1) 펄스반복율이 10Hz인 경우에 비해서 펄스반복율이 60배 증가한 600Hz인 경우 아크 발생전압은 3kV의 차이가 나타났다. 전극길이가 증가할수록 아크 발생전압이 감소하는 경향을 나타내었다.
- (2) 전극길이를 4배 증가시킨 경우 아크발생전압이 19kV에서 13kV로 32% 감소하였다.
- (3) 펄스발생기의 부하에서 펄스코로나 방전 혹은 스트리머 방전중에 아크가 발생하면 입력전압의 변동없이도 충분히 부하 전극길이를 증가시키거나 펄스반복율을 제어함으로써 아크발생을 억제할 수 있었다.
- (4) 펄스반복율이 100Hz를 기준으로 400Hz까지 4배 증가시켰을 때 금속산화물의 면적은 약 2.1배의 차이가 발생하였다. 이것은 펄스반복율 증가로 인한 부하임피던스 감소로 결국 부하전류의 증가에 의한 효과에 기인하기 때문이다. 결과적으로 동일한 전극간격에서 펄스반복율, 펄스에너지 노출시간이 증가한 경우 금속산화물의 제거면적이 증대함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. M. van Veldhuizen, Y. L. M. Creyghton, and W. R. Rutgers, High resolution schlieren study of pulsed corona, presented at the 4th Int. Conf. On ESP, Beijing, China, 1990.
- [2] Y. L. M. Creyghton, E. M. Veldhuizen, and W. R. Rutgers, Streamer characteristics of positive pulsed corona, presented at the 10th Int. Symp. on Plasma Chemistry, Aug. 1991.
- [3] Blitshteyn, M. and Zabita, J. M., "Infrared Thermography of Negative DC and Negative Enhanced AC Point-to-plane Discharge in Air", IEEE Trans. on Ind. Appl. IA 24, No. 4, pp. 754~748, 1980.
- [4] Boukhalifa, N., Goldman, A., Goldman, M., and Sigmond, R. S., "CO<sub>2</sub> to CO Conversion in Corona Discharge", Proc. Int. Symp. on Plasma Chem., vol. 2, pp. 787~792, 1987.
- [5] Castle, P. M., Kanter, I. E., Lee, P. K., and L. E. Kline, "Corona Glow Detoxification Study", Westinghouse Co., Final Report, Contract No. DAAA 09-82-C-5396, 1974.
- [6] Green, H. L., and Lane, W. R., "Particle Clouds: Dusts, Smokes and Mists", Chapter-2, E. & FN, Spon., 1964.
- [7] Higashi, M., Sugaya, M., Veki, K., and Fujii, K., "Plasma Processing of Exhaust gas from a Diesel Engine Vehicle", in Proc. Int. Conf. Plasma Chem. 2, pp. 366~371, 1985.

### 저 자 소 개



#### 정 종 한(丁鍾漢)

1972년 3월 18일생. 1996년 부경대학교 전기공학과 졸업. 1998년 부산대학교 전기공학과 석사졸업. 2003년 동대학원 공학박사. 한국중공업 환경기술연구소 주임연구원. 現 창원전문대학 전자통신과 연구교수. Tel) 051) 510-2770, Fax) 051) 513-0212. E-mail) ivan1@hanmail.net



#### 김 문 환(金文煥)

일본 케이오대학 이공학연구과 수료(공학석사,공학박사). 일본 요코가와전기연구개발 근무, 한국전기연구소 책임연구원, 위덕대학교 전기공학과 전임강사, 現 신라대학교 자동차공학과 조교수. Tel : (051) 309-5701, Fax : (051) 309-5652. E-mail : mhkim@silla.ac.kr