

펄스방전을 이용한 미생물제거 및 금속산화물 제거특성에 관한 연구

정 종한\*, 김 수원, 김 휘영, 이 유수, 전 진안, 정 현주, 김 회재  
 부산대학교 전기공학과, 국방과학연구소, 동주대학 컴퓨터멀티미디어학과, 한국전력공사

A Study on the Removal Characteristics of microbe and metal-oxide using pulse discharging

Jong-Han Joung, Woo-Jung Song, Jin-An, Jeon, U-Soo Lee, Hwi-Young Kim, Hyun-Ju Jung, Hee-Je Kim  
 Dept. of Electrical Engineering PNU, ADD, DongJU College, KEPCO

**Abstract** - In this study, we developed friendly-environment device through various applications of pulse power system and studied research about pulse energy transfer characteristics. We have studied the mutual relation between characteristics of the load impedance and consumed power of the pulse power system. The consumed power means electrical power from the wall plug. For changing the load impedance, we could change electrode length. As results, we can get electrical characteristics between pulse generator and load. When the pulse energy was triggered the microbes, caused waste water, they were almost removed in the waste water.

전전압은 주파수 및 스위칭 특성이 우수한 MOSFET(model:IRF 830)의 드레인과 소스사이 에 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 9번핀 입력 주파수를 제어함으로써 펄스반복율 및 부하에 전달되는 펄스에너지를 제어하였다. 그리고, 입력에너지는 식(1)로 구하면 펄스당 100mJ로써 펄스반복율 500pps인 경우 최대 50W의 입력에너지를 얻을 수 있다.

$$E_{input} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{Q^2}{2C} [J] \quad (1)$$

1. 서 론

펄스파워(Pulsed power)기술[1-2]은 에너지, 환경, 우주, 바이오, 신소재, 미세가공, 전자가속, 고출력 전자파, 레이저, 식품가공 등 다양한 분야와 직/간접적으로 관련되어 있으며, 특히 산업의 기반기술로서 급속히 발전되고 있다.[4-5] 특히, 펄스파워 시스템의 임피던스 특성은 매우 짧은 방전시간 동안에 비선형 특성을 나타내기 때문에 시스템 내부회로와 부하의 임피던스 정합은 현실적으로 매우 어렵다. 펄스파워 시스템의 임피던스 특성은 매우 짧은 방전시간 동안에 비선형 특성을 나타내기 때문에 시스템 내부회로와 부하의 임피던스 정합은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 반복 실험을 거쳐서 나타난 실험결과와 분석을 통하여, 임피던스 가변기법을[3] 도출하고, 그에 따른 동작특성에 관하여 연구하였다. 특히, 펄스파워 시스템의 3가지의 실질적인 적용(첫째: 오·폐수 중의 미생물 제거, 둘째: 금속표면에 부착된 금속산화물 제거, 셋째: 탈황/탈질 시스템을 위한 소형 반응기)을 통하여 부하임피던스 변화특성, 펄스에너지 전달특성, 펄스파워 시스템의 동작특성 등에 관하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 펄스발생기(Pulse generator)

2.1.1 펄스발생회로

본 연구를 위해 직접 제작된 대표적인 펄스 발생회로 및 MOSFET 제어회로를 그림 1에 나타내었다. 그림 1과 같이 펄스발생회로는 입력회로, 펄스발생회로, MOSFET 제어회로로 크게 3부분으로 구성된다. 펄스발생기는 펄스변압기의 1차측에 에너지를 인가하기 위해 2배압 회로에 의해 충전된 C1(100µF/250V)과 C2(100µF/250V)의 충전전압은 C3(1µF/1000V)에 최대 630V까지 충전되며 전압조정기에 의해 충전전압을 가변시킬 수 있다. 간단한 동작은 다음과 같다. C3의 충

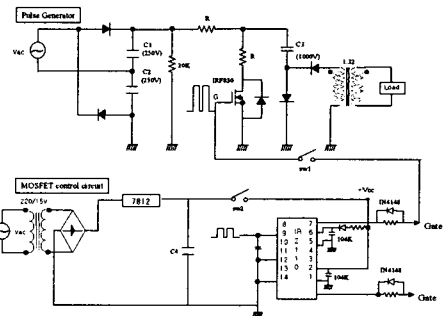


그림 1 펄스발생회로 및 MOSFET 제어회로  
 Fig. 1 Schematic of pulse generator and MOSFET control circuit

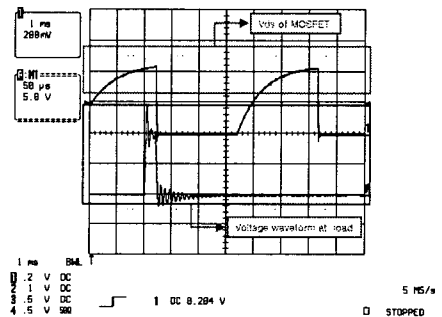


그림 2 드레인과 소스사이의 인가전압 및 방전파형  
 Fig. 2 Discharging waveform and Vds of MOSFET

그림 2는 MOSFET의 드레인-소스사이의 전압 Vds 및 부하의 방전파형을 나타내었다. 그림 2에서 1은 Vds 300V를 의미하며, (A)는 1:32의 펄스변압기에 의해 변성된 방전파형을 나타낸다. 대기압 상온에서 펄스폭 25μs, gap 5mm일 때 펄스전압 14kV에서의 펄스코로나 방전파형으로써 대기압의 질소가스로 인해 푸른빛의 방전색을 관찰할 수 있다. 충전시간은 RC시정수에 의해 비례하므로 그림 1에서의 C3의 충전저항보다 방전저항을 매우 작게하여 1 펄스내에 방전을 마무리 할 수 있도록 결정하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 汚廢水内の 서식 微生物 除去 特性에 관한 研究

오·폐수내에 서식하고 있는 미생물을 제거하기 위해 반응기에 공급된 펄스에너지는 100mJ/ρ로써, 펄스반복율 400pps에서 30분간 노출시켰다. 오·폐수내 서식하고 있는 미생물처리를 위한 전기방전 개념도를 그림 3에 나타내었다. (1), (2), (3)은 각각 산업공정상의 오폐수 수포, 오폐수, 오폐수내의 미생물 혹은 세균을 나타낸다. 전극사이에 펄스전압 혹은 교류전압을 인가하면 d<sub>0</sub>(전극과 오폐수간격)에서는 강한 전류를 동반하는 arc성의 대전류가 기포(1)를 공격하여 소포시킴과 동시에 폐수자체가 유전체로써 콘덴서작용으로 인하여 그 속의 미생물 및 박테리아를 제거할 수 있도록 구성된다.

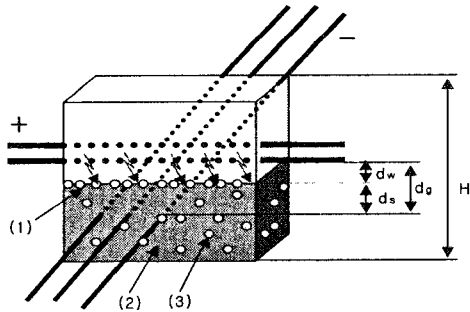


그림 3 오폐수 처리를 위한 전극배치도

그림 4는 미생물에 펄스에너지 인가 이후의 TEM사진이다. 그림 4에서와 같이 각각의 미생물들은 펄스에너지에 의해 파괴 및 분해되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 충분한 펄스에너지 및 노출시간 증가시 폐수내의 미생물이 파괴됨을 알 수 있으며, 펄스에너지 노출시간 및 펄스반복율을 증가시키면 제거율이 증가한다.

그림 5는 각각 펄스코로나 전압/전류파형, 펄스 에너지 및 부하 임피던스의 방전시간 동안의 변화 특성을 나타내는 그림이다.

#### 3.2 金屬酸化物 除去特性에 관한 研究

일반적으로 금속의 표면에 생기는 부식생성물인 녹, 슬러지 등을 금속산화물(Metal-oxide)이라고 일컫는다. 금속은 공기 중에 있는 산소, 수분, 이산화탄소 등의 작용에 의해서 그 금속의 산화물, 수산화물, 탄산염 등을 생성하여 표면에 피막(被膜)을 만들어 금속표면이 광택을 잃게되고 보통 시간이 경과함에 따라 그 금속은 내부로 진행되는 경우가 많은데 이런 대부분의 금속은 표면

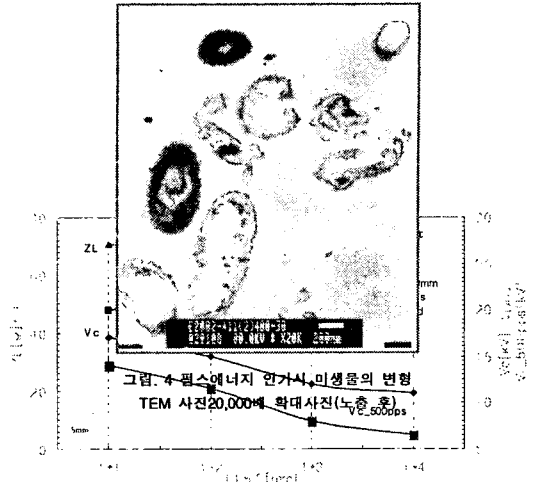
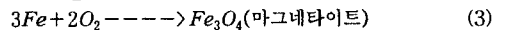
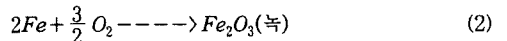
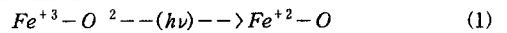


그림 5 전극길이에 따른 각 변수의 특성 변화  
Fig. 5 Characteristics of each parameters on increasing length

의 산화물이 산화되어 발생되는 것이 금속산화물의 일반적인 형성과정이다. 표 1은 펄스반복율에 금속산화물 제거 면적을 나타낸다. 그 산화면적은 동일한 입력 에너지를 위해 각각의 펄스반복율의 증가로 인하여 아크 발생전압이 감소하므로 전극간격으로 조절하였으며, 제거면적은 2.01, 3.8, 8.04, 5.31cm<sup>2</sup> 되었다. 펄스반복율이 100pps를 기준으로 400pps까지 4배 증가 시켰을 때 면적은 약 2.1배의 차이가 생겼다.

표 4.1 펄스반복율에 금속산화물 제거 면적

f[pps]	10	100	400	600
d[cm]	0.8	1.1	1.6	1.9
제거 면적[cm <sup>2</sup> ]	2.01	3.8	8.04	5.31



위의 화학식에서 보듯이 금속 표면의 산화물에 펄스 에너지를 방사하면 금속산화물로 덮혀있는 시료의 원자 에너지 상태 전하가 +3에서 +2로 바뀌면서 금속산화물(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)은 감소하며 모두 제거된다. 이 때 시료의 표면은 점점 검은색으로 변하는데, 이것을 마그네타이트(Magnetite, 磁鐵石)이라고 부르며 화학성분은 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 된다. 따라서, 이 마그네타이트가 형성되면 철은 더 이상 금속산화물이 생성되지 않게 된다. 즉, 금속산화물의 제거 및 산화 방지를 하게 되는 것이 된다.

#### 3.3 脫黃·脫窒用 펄스發生機의 負荷 임피던스 變化特性에 관한 研究

그림 5는 시간에 따라서 반응기의 전극사이에 나타나는 펄스파형 및 임피던스 특성 변화를 나타내었다. 그림에서 첨두전압이 97kV, 첨두전류 796A인 펄스에너지가 반응기에 인가된다. MPC에 의해 500ns로 압축된 부하 펄스전류는 부하 임피던스가 가장 낮은 경우에 반응기내에서 전력이 가장 활성화된다. 부하 임피던스는 펄스인가 후 2~3μs에서 가장 낮게 나타나며, 그 때의 부하임피

던스는 122Ω이다. 이 시간동안 전자는 최대로 가속되어 전리가 가장 활발히 발생하며 최대 1μs정도 유지된다. 그 후 펄스 에너지가 대부분 소모되어 전리과정의 끝이면서 임피던스 값의 급격한 증가와 더불어 펄스전류가 급감하게 된다.

그림 6은 반응기의 전극 길이 및 충전전압에 따른 에너지 전송효율 및 부하임피던스 변화를 나타낸다. 충전전압 20kV로 동일한 경우 부하임피던스 변화를 보면 최소 300Ω에서 최대 1000Ω의 변화로 전극 길이에 따른 임피던스 변동폭이 3배 이상 차이가 발생한다. 전극 길이 및 콘텐서의 충전전압이 증가할수록 반응기의 에너지 전달효율이 증가하여 최소 12.9%에서 최대 73%까지 증가된다. 이는 콘텐서의 충전전압과 전극 길이의 증가로 인한 임피던스 감소 효과에 기인하며, 펄스발생기와 반응기의 임피던스 정합에 근접할수록 에너지 전달효율이 증가하게 된다. 부하임피던스가 감소할 경우 소비전력도 감소하기 때문에 에너지 전달효율은 증가하게 된다. 각각의 충전전압에 대해서 전극길이에 따라 효율이 증가하며, 충전전압이 증가할수록 효율도 증가하는 것을 볼 수 있다. 충전전압 35kV에서 전극 길이가 2배 증가(전극 길이 24m와 48m)시 24m 기준으로 펄스 발생기에서 반응기의 에너지 전달효율이 7%로 상승하였다.

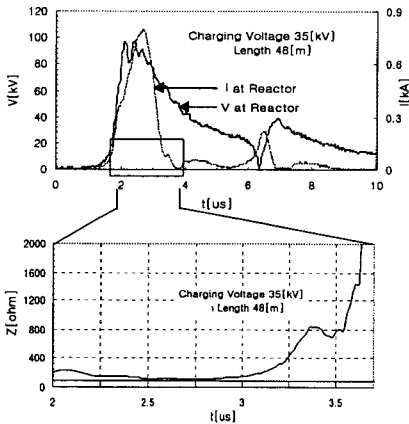


그림. 5 부하에 인가되는 펄스파형 및 임피던스 변화특성

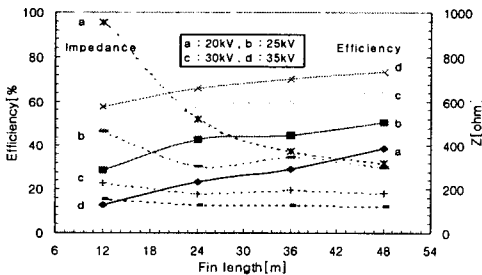


그림. 5.3.3 반응기의 전극길이 및 충전전압에 따른 에너지전송효율 및 부하임피던스 변화

#### 4. 결론

본 연구에서는 펄스파워 시스템의 3가지의 실질적인 적용(첫째: 오·폐수 중의 미생물 제거, 둘째: 금속표면

에 부착된 금속산화물 제거, 셋째: 탈황/탈질 시스템을 위한 소형 반응기)을 통하여 부하임피던스 변화특성, 펄스에너지 전달특성, 펄스파워 시스템의 동작특성에 관하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 오·폐수의 미생물 제거를 위한 펄스파워 발생 장치에 관한 연구

- ① 전극길이가 증가할수록 펄스코로나 임계전압은 거의 선형적으로 감소하게 된다.
- ② 펄스 에너지 100mJ, 펄스반복율 400pps에서 30분간 노출시킨 결과 제거율 99%이상 얻을 수 있었으며, 노출시간 및 펄스반복율이 증가할수록 수포 및 미생물 제거율이 현저히 증가하였다.

(2) 금속산화물 제거를 위한 펄스파워 발생장치에 관한 연구

- ① 금속산화물의 시료에 60s 동안 아크방전을 실시한 결과 Rust가 제거되었으며, 펄스반복율이 증가할수록 제거면적이 증가하였다. 펄스반복율을 100pps를 기준으로 400pps까지 4배 증가시켰을 때 그 제거 면적은 전자(前者)는 3.8cm<sup>2</sup>이고 후자(後者)는 8.04cm<sup>2</sup>로 되어 약 2배의 증대효과를 얻었다.
- ② 금속산화물 시료에 펄스에너지를 방사한 경우 금속산화물의 에너지 상태가 변화로 금속 표면은 점점 검은색으로 변하면서 마그네타이트가 형성되어 금속산화물을 제거할 수 있었다.

(3) 탈황/탈질 시스템을 위한 소형 반응기의 동작특성에 관한 연구

- ① 전극길이에 의한 부하임피던스 제어가 가능하였으며, 전극길이가 증가함에도 불구하고 소비전력은 거의 일정하였다.
- ② 전극 길이가 증가하면 결과적으로 임피던스 감소와 함께 펄스폭이 증가하게 된다. 이것은 전극 길이 증가에 대한 부하의 커패시턴스가 증가하므로 결국 펄스폭이 증가하게 된다.
- ③ 충전전압 및 전극 길이가 증가할수록 반응기의 에너지 전송효율이 증가하여 최소 13%에서 최대 펄스에너지 전송효율인 73%까지 증가하였으며, 전극길이를 이용한 부하임피던스 제어가 가능하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] J. S. Chang and S. Masuda, "Mechanism of pulse corona induced plasma chemical process for the removal of NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> from combustion gases", presented at the IEEE Ind. Applicat.Soc. Annu. Conf., 1988.
- [2] Akira Homma, "High-voltage subnanosecond pulse transformer composed of parallel-strip transmission lines", presented at the Review of Scientific INS, vol. 70, pp. 232-236, 1998.
- [3] J.H. Joung, "A Study on the Pulse Voltage and Cascading Ratio of Compact Pulse Generator using Cascading Method", presented at the KIEE, vol. 50C, pp. 329-333, 2001.
- [4] S. Masuda and S. Hosokawa, "Pulse energization system of electrostatic precipitator for retrofitting application", presented at EPA-EPRI 5<sup>th</sup> Symp. on Transfer and Utilization of Particulate Contr. Technol., Aug. 1984.
- [5] H. J. Hall, "History of pulse energization in electrostatic precipitation", J. electrostatics, vol. 25, pp. 1-22, 1992.