펄스파워를 이용한 전압 및 주파수 가변에 의한 고효율 RUST(녹) 제거 특성에 대한 연구

송 우 정*, 김 수 원, 전 진 안, 정 종 한, 김 휘 영 °, 김 희 제
부산대학교 전기공학과, °동주대학 컴퓨터멀티미디어학과

Characteristics of high-efficiency rust removal by adjusting variable frequency and voltage charging using the Pulsed Power system

Woo-Jung Song, Su-Weon Kim, Jong-Han Joung, Jin-An, Jeon, Hwi-Young Kim, Hee-Je Kim
Dept. of Electrical Engineering PNU, DongJu College

Abstract - The pulsed power system was widely making use good of many industrial and environments. The pulse generator generally required for short pulse duration and high peak value was forced to consider its volume and economy. In this paper, this system is designed and fabricated which has a compact size of pulse generator with switched MOSFET. We have studied the removal of rust material using Arc discharging. It have tested their characteristics by adjusting variable voltage charging and pulse repetition rate. As a result, We can eliminate rust materials with this device.

1. 서 론

현재 펄스파워 기술에 대해 산업전반에 걸쳐 여러 가지 특성들이 폭 넓게 이용되고 있다. 여기에 발생되는 고체, 액체, 기체 다음의 제 4의 물질인 플라즈마는 산업에 꼭 필요한 물질이다. 최초의 플라즈마의 산업응용은 탄소 아크등의 발광체였으며, 그 뒤에 가스방전, 고출력 스위치, 용접 아크로 사용되었다. 자기핵융합, 고출력 레이저 개발, 그리고 방위산업에도 이용된다.[1]주로 고체 폐기물, 대기 오염물질의 처리에 이용하던 신물리학에 기초한 플라즈마가 최근에는 저온 플라즈마를 중심으로 폐수처리 분야에서도 이용하고 있으며 환경에 사용되는 대표적인 응용으로서는 분진(Dust)을 제거하기 위한 전기집진기, 펄스코로나 방전을 이용하여 플랜트의 배기가스를 제거하기 위한 탈황/탈질 전원시스템, 폐수처리, X선 발생장치, 오존발생기, 레이저발생 전원 등에 사용되고 있으며, 더욱 실용적이고 경제적인 펄스발생장치를 이용하여 환경오염원을 해결하기 위해 많은 나라들의 관심이 고조되고 있다.[2-3]

고출력 펄스(pulse) 기술은 신소재 개발에 사용되는 강한 전자빔(beam)이나 이온빔을 만드는데 이용되며, 플라즈마 스위치는 아주 짧은 시간동안에 많은 전류를 흐르게 하는 장치로서 스위치 동작시간이 1백만분의 1초에서 1억분의 5초로서 아주 짧으므로 이런 플라즈마를 이용한 전자기에너지를 시·공간적으로 압축시켜 순간적으로 대전력을 얻을 수 있는 급준임펄스는 매우 널리 응용되고 있다.

플라즈마의 응용 중에 저온 플라즈마는 다른 방법으로 도달할 수 없는 영역 즉 미세 전자공학 산업에 적용하여 어떠한 매개물도 플라즈마가 제공하는 가스온도와 에너지 밀도에 도달치 못한다. 플라즈마를 구성하고 있는 하전입자들은 전장이나 자장에 의하여 손쉽게 제어되기 때문에, 중성 매개물로서는 성취 할 수 없는 산업분야에 많이 이용될 수 있다.[4]또한 플라즈마 공정은 신소재 개발에 많이 이용되고 있다. 화학반응을 제어하는 플라즈마는 유독 폐기물 제거에 이용되며, 또한 플라즈마 토치(Torch)를 이용한 소각로에 까지 활용을 넓혀 개발하는 중이며 플라즈마에 의한 화학증기 침전은 다이아몬드 필름과 초전도 필름 개발에 쓰이기도 하며, 플라즈마 분사기술은 녹스는 것을 방지하기도 한다.[5]

현재 여러 산업에 사용되고 있는 금속의 표면에 생기는 부식생성물인 녹(rust)에 대해 생성 및 제거 메커니즘이 물리·화학적 많은 규명이 되어왔으며 녹 제거기술의 확립을 위해 많은 시도가 있었다.

아크(arc)방전은 전극전압을 방전개시전압 이상으로 높이면 글로(glow)방전을 거쳐 기체방전이 절정에 달하여 전극 재료의 일부가 증발해서 기체가 된 상태이다. 아크의 이용으로는 수은정류기 ·열음극정류관 ·사이러트론 ·광원(光源)을 비롯하여 각종 아크등 ·수은아크등이 있으며, 탄소 또는 텅스텐 등 끓는점이 높은 전극을 사용해서 금속의 발광분석을 하고, 고온을 이용한 아크가열은 금속을 용접하거나, 전기로 ·아크로 등을 만드는 등 용도가 넓다.

본 연구에서는 펄스파워에 의해 아크방전을 유도하여 이것을 이용하여 일정한 전극간격을 기준으로 전압 및 주파수의 가변에 따른 유전체의 라디칼 형성과 직접적 관련이 있는 펄스 전압과 전류를 측정하고 그에 따른 아크방전의 피크전압에 의해 녹(rust)의 제거 특성변화에 대해 연구하였다.

본 연구에 사용된 전극형태는 침대 평판 전극방식으로 통계적 지연시간을 고려하여 연구한 결과 일정한 전극간격에서 전압과 주파수를 제어하여 아크방전의 피크전압을 사용하여 녹 제거를 효율적으로 하는 기술을 확보하였으며 전극사이의 아크방전을 활용할 수 있는 기술을 마련하였다.

2. 본 론

2. 1 펄스발생기(Pulse generator) 시스템 구성도

그림 1.은 실험장치인 RUST(녹)제거 펄스발생기 시스템 구성도를 나타내었다.

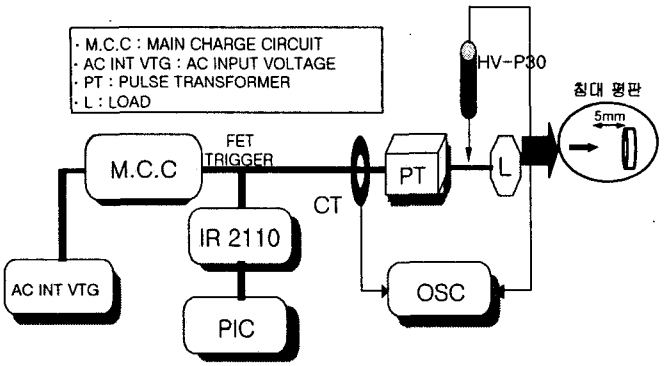

그림 1. Pulse Power 시스템의 블록도
Fig 1. Diagram of experimental Pulse Power system

펄스파워 시스템의 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 펄스파워 시스템은 입력전원회로, 스위칭을 PIC로 컨트롤하는 제어회로, 펄스발생회로로 구성된다.

전극은 침대 평판구조로서 5mm의 일정한 간격으로 배치하여 전압과 주파수의 가변에 따른 RUST제거의 산화정도를 관찰하였다. 또한 전압 및 전류를 정극성 및 부극성에 따라 관찰하였다. 여기서 펄스전압 및 전류 파형은 전압분배기(model : IWATSU HV-P30, 1:1000) 및 전류변성기(model : ABB EL50P1, 1:10)를 사용하여 오실로스코프(model : LeCroy LT224)를 통해 측정하였다.

2. 2 전원장치 및 제어장치

본 연구를 위해 직접 제작된 펄스 발생회로 및 MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)의 제어회로를 그림 2에 나타내었다. 간략하게 그림 2를 통해서 펄스발생회로의 발생과 진행 과정에 대해 설명하겠다.

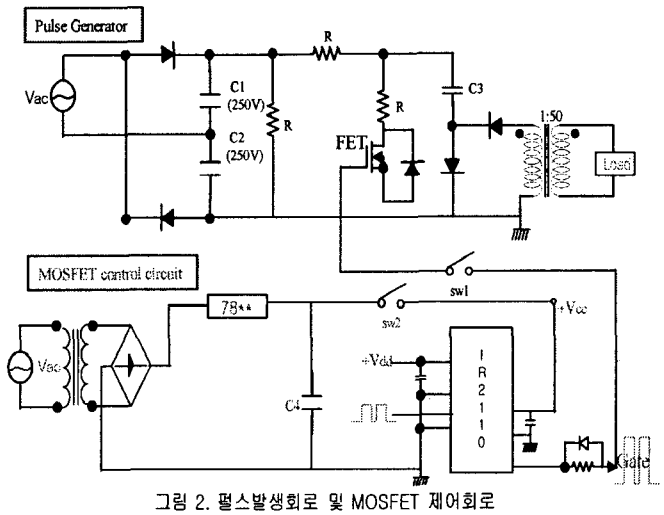

그림 2. 펄스발생회로 및 MOSFET 제어회로
Fig. Schematic of Pulse generator and MOSFET control circuit

펄스전원 발생장치는 펄스변압기의 1차측에 에너지를 인가하기 위해 2배압 회로에 의해서 충전된 C1과 C2의 충전전압을 C3에 최대 1KV 까지 충전가능하며 슬라이닥(SLIDAC)으로 출력전압을 가변 시켜서 충전전압을 변화시킬 수 있도록 하였다. 또한 C3의 충전전압은 주파수 및 스위칭 특성이 우수한 MOSFET(model:IRFP450A)의 드레인(drain)과 소스(source)사이에 인가되며 게이트의 신호가 입력되면 충전전압은 정극성으로 감겨져 있는 권수비 1:50의 펄스변압기에 전달되어 2차 전압이 유기 되어 부하에 공급되도록 구성되어 있다. 충·방전 시간은 τ = RC 시정수에 의해 비례하므로 C3의 충전저항보다 방전저항을 매우 작게 하여 1펄스 내에 방전을 마무리할 수 있도록 하였다. 그리고 펄스반복율은 IR (International Rectifier)사의 IR2110의 12번 핀 입력 주파수를 PIC 마이크로프로세서로 펄스반복율 및 부하에 전달되는 펄스에너지를 제어하였다. 입력에너지는 식(1)를 통하여 구할 수 있는데 펄스 당 1.4J을 얻을 수 있다.

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

2. 3 RUST(녹)제거의 산화과정

일반적으로 RUST(녹)은 금속의 표면에 생기는 부식생성물을 일컫는다. 금속은 공기 중에 있는 산소, 수분, 이산화탄소 등의 작용에 의해서 그 금속의 산화물, 수산화물, 탄산염 등을 생성하여 피막(被膜)을 만들어 금속표면이 광택을 잃게되는데 이들이 녹의 주성분이 되는 수가 많다. 그러나 가장 일반적인 것은 산화물인데, 이를테면 철의 녹은 산화철(Ⅲ)수화물 $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$가 주성분이다. 그림 3.은 철이 이온화되면서 산화하는 과정을 나타내고 있다.(인용)

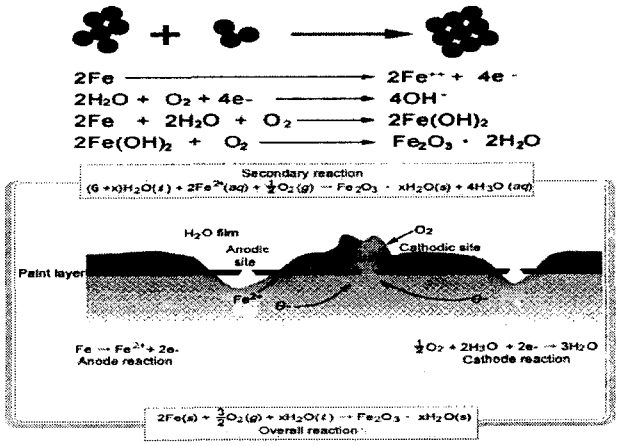

그림 3.용존 산소로 인한 배관의 부식
Fig 3. The corrosion of pipes of by Dissolved oxygen

특히 배관의 경우는 철이 이온화되면서 빠져 나온 전자가 파이프 내에 있는 물과 산소와 결합하여 수산화이온(4OH-)을 발생시킨다. 이때 발생된 수산화이온이 철이온(Fe++)과 결합하여 $Fe(OH)_2$이 되고 $Fe(OH)_2$가 물을 잃으면 붉은색 녹인 ($Fe_2O_3(nH_2O)$)가 된다. 결국 H_2O는 물인 관계로 녹인 Fe_2O_3만 남는 것을 보여주고 있다. 여기서 펄스파워시스템을 이용하여 아크방전을 발생시켜서 전압과 주파수의 가변을 통해 Rust (녹)을 제거하려고 한다.

3. 실 험 결 과 및 검 토

MOSFET(model:IRFP450A)의 구동신호 파형을 그림 4.에 나타

었다. 스위칭 주파수는 주 회로의 부하임피던스 매칭에 맞추어 주파수(f)=10~400[Hz]까지 일정하게 컨트롤하였으며 PIC에서 나온 제어신호가 증폭회로를 거쳐서 MOSFET 구동 드라이버인 IR2110을 통해 MOSFET로 전달되어 시스템이 동작된다.

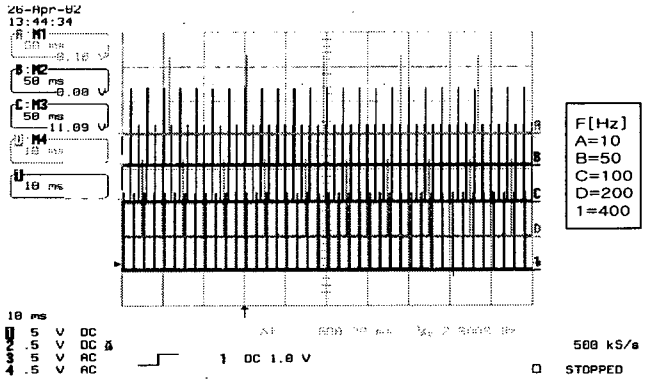

그림4. PIC프로세서의 주파수 제어파형
Fig. Control of Freq. Waveforms in PIC

그림 5-1.는 일정간격에서 주파수 가변에 의한 방전개시 전압(Vf)의 변화특성을 파형으로 보여주고 있다. 펄스파워 시스템에 의해 침대 평판 전극을 사용하여 일정한 간격인 5㎜에서 주파수를 가변 시키면서 방전개시 전압을 측정하였다. 그림에서 전극의 정극성, 부극성에 따른 방전개시 전압의 차이를 보여주고 있다.

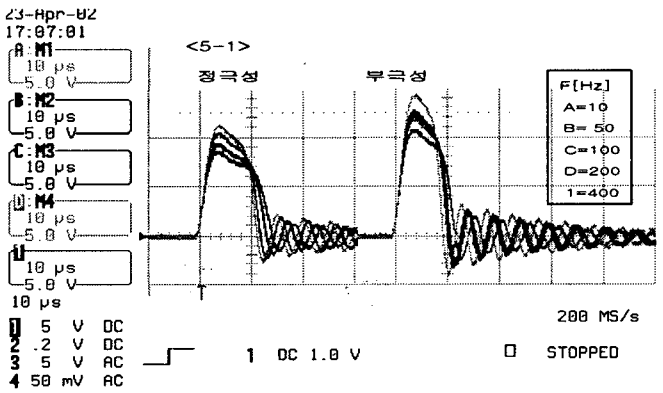

그림 5-2은 주파수와 전압을 에 따른 방전개시전압(Vf)출력의 변화를 나타낸다. 충전전압이 높고 주파수가 높을수록 방전개시전압이 선형적으로 낮아짐을 볼 수 있으며 콘덴서에 충전되는 에너지는 스위칭 회수에 비례함을 알 수 있다.

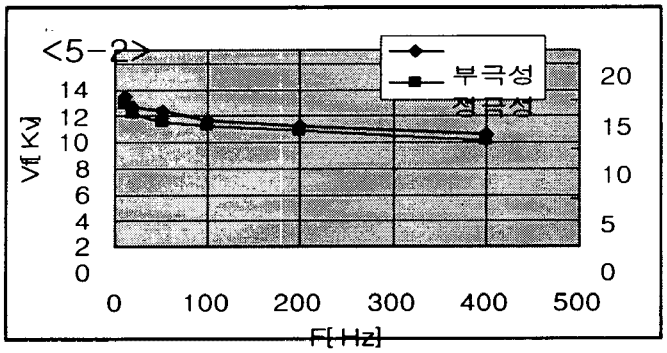

그림 5. 정극성, 부극성의 방전개시전압(Vf) 파형비교
Fig 5. Firing voltage waveforms of positive, negative

즉, 스위칭 회수의 조절로 출력에너지를 선형적으로 가변 시킬 수 있다.

그림 6.은 침대 평판의 전극구조에 일정한 간격을 두고 전압과 주파수를 가변하여 부하의 아크방전 파형을 나타내었다. 앞의 그림에서 보았듯이 전압이 증가함에 따라 에너지가 증가함을 알 수 있다. 또한 주파수를 점점 빠르게 할수록 방전 파형이 급격한 변화를 하여 방전이 빠르게 일어남을 알 수 있다.

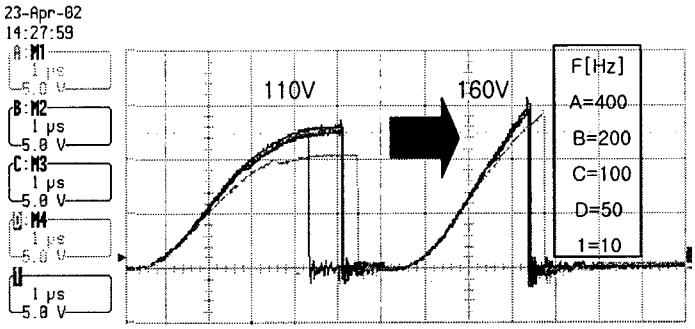

그림 6. 전압과 주파수 가변에 따른 아크 전압파형
Fig 6. Arc-discharging voltage waveforms by adjusting variable frequency and voltage charging

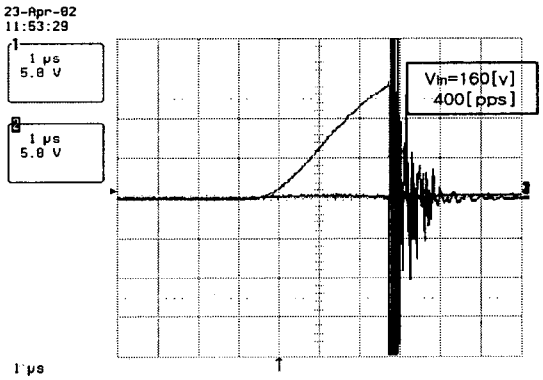

그림 7. 펄스반복율 400일때 아크방전의 전압,전류 파형
Fig 7. Current & Voltage waveform of Arc -discharge in 400[pps]

그림 7.에서 입력전압 Vin=160[V], 400[pps]일 때 1:50의 펄스변압기에 의해 변성된 아크방전 파형을 나타낸다. 대기압 상온에서 펄스폭 5㎲, gap 5㎜일 때 펄스전압 15[kV]에서 대기압 질소가스로 인한 강렬한 방전색을 관찰할 수 있었다.

그림 8.은 앞에서 설명한 그림 7에서의 아크방전을 이용하여 녹이 슨 시편에 방전을 방사하기 전과 60초 동안 방전을 방사한 후의 모습을 촬영한 것이다. 여기서 방전 시간과 에너지의 양에 따른 철의 특성을 알 수 있었다. Rust(녹)제거는 녹이 슨 시료에 에너지를 가하면 철원자의 에너지 상태를 바꾸어 철원자의 전하를 3+에서 2+로 바꾸어 녹(Fe_2O_3) 대신 Fe_3O_4가 생성 되게 하는데, 이때 생성되는 Fe_3O_4자체가 배관 표면에 보호막의 역할을 하여 발생된 녹을 제거하게 한다.

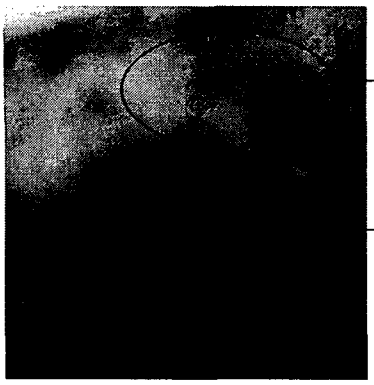

그림 8. 녹이 슨 시편에 아크방전을 일으켜 녹을 제거한 사진
Fig 8. Picture Get rid of rusted material in Arc-discharge

$$Fe^{+3} - O^{-2} \xrightarrow{h\nu} Fe^{+2} - O$$

▶ 철의 가전자가 3+ 일 때

$$2Fe + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Fe_2O_3 \quad (녹)$$

$$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4 \quad (마그네타이트)$$

▶ 철의 가전 자가 2+ 일 때

위의 화학식에서 보듯이 가전자수가 변한 철이 녹으로부터 나와서 녹은 감소하며, 녹이 모두 떨어져 나가면 배관의 내벽은 점점 검은색으로 변하는데, 이것은 마그네타이트라고 부른다.

4. 결 론

본 연구에서는 실험실에서 제작된 펄스파워시스템을 사용하여 전압을 0 에서부터 600[V]까지 에너지 저장 콘덴서를 가변하여 충전시킬 수 있도록 전원장치를 구성하였으며, 동시에 PIC 마이크로프로세서를 활용하여 펄스반복률(pps)도 조절이 가능한 컨트롤장치를 구성하였다. 일정한 전극 갭(gap)5㎜에서 전극구조를 침대 평판으로 하여 전압과 주파수를 가변하면서 정극성, 부극성에 따른 펄스전압과 전류를 측정하였다. 정극성일 때 아크방전을 발생시켜 녹이 슨 시료에 방사했을 때의 변화를 측정하였더니 정극성이 부극성보다 방전개시전압(Vf)이 발생하는 차이가 약 2~3[kV]가 나는 것을 확인할 수 있었다. 전압이 높고 주파수를 빠르게 변화할수록 출력에너지가 많아져 녹이 슨 시편에 아크방전을 발생시켰을 때 녹의 산화정도가 뚜렷하게 관찰되었다. 즉, 출력에너지가 높을수록 녹의 제거가 빠르게 일어나는 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Robinson ,M,1971,"Electrostatic precipitation" in .W. Straussed Air Pollution Control, pare wiley-interscience, New York

[2] S. Masuda and S. Hosokawa. "Pulse energizatio system of eletrostatic precipitator for retrofittin application". presented at EPA-EPRL 5th symp. on Transte and Utilization of particulate Contr. Technol. Aug. 1984

[3] Hlina, J.; Nenicka, V. "Arc discharge rotation i external magnetic field-nonuniformities and formation o a nonlinear dynamic system " Plasma Science, IEE Transactions on , Volume: 25 Issue: 5 , Oct. 1997

[4] H. J. Hall. "History of pulse energization i electrostatic precipitation", J. electrostatics. vol. 25 pp. 1-22, 1992

[5] Miyake, M.; Takahashi, H.; Yasuoka, K.; Ishii, S "The generation and application of micro discharg plasmas" Plasma Science, 1999. ICOPS '99. IEEE Conferenc Record - Abstracts. 1999 IEEE International Conference o , 1999