

펄스코로나 방전의 전극길이, 펄스반복율에 따른 부하 임피던스 변화 특성 및 EMTP 해석

論 文

51C-4-4

The EMTP Analysis and Characteristics of Load Impedance on Various Electrode length, Pulse Repetition in Pulse Corona Discharging

鄭鍾漢** · 宋祐正* · 全珍安* · 鄭賢珠** · 洪正皖** · 金熙濟***

Jong-Han Joung · Woo-Jung Song · Jin-An Jeon · Hyun-Ju Jung · Jung-Hwan Hong · Hee-Je Kim

Abstract - The pulsed power system has been widely used to many applications, such as E/P(Electrostatic Precipitator), DeNOx/DeSOx power system, ozon generator, etc. In this paper, we study EMTP analysis and characteristics of critical voltage and load impedance on various electrode length of pulse corona. To obtain a stable pulse voltage, we designed a compact pulse generator switched MOSFET and tested their characteristics by adjusting electrode length and pulse repetition. As a result, critical voltage of pulse corona and load impedance on increasing electrode length were decreased. These results indicate we can control critical voltage of pulse corona and suppress arc discharging between two electrodes.

Key Words : critical voltage, pulse corona, load impedance, electrode length MOSFET, arc discharging,

1. 서 론

펄스코로나 방전에 대한 여러가지 특성들이 전기적, 광학적, 화학적 계측을 통해서 현재까지 폭넓게 연구되고 있으며, 특히 화력발전소의 배연가스 제거, 오페수처리, 전기집진기 등 환경 개선분야에 널리 적용되고 있다.[1~3] 온실효과, 공해 혹은 수질오염 등의 문제 해결책을 위한 여러가지 방법들이 산업에 적용되어 왔으며, 더욱 실용적이고 경제적인 방법으로 이러한 환경오염원을 해결하기 위해서 많은 나라들이 관심을 가지고 있다.[4~5] 그 중에서 최근의 대기오염 처리 방법이 저온 플라즈마의 펄스코로나를 이용한 오염원 제거 방법이다. 화학적 산화반응의 촉진에 필요한 전체 에너지 소모를 결정짓는 요소로는 첫째, 코로나 방전에 의해서 유도된 화학반응의 반응도이다. 둘째, 주 전원에서 코로나 방전 스트리머로 전달되는 펄스에너지의 전송 효율이다. 셋째, 주 전원과 부하사이의 임피던스 정합이다.

방전전극의 정확한 부하 임피던스는 측정이 거의 불가능하며, 전극길이, 전극간격 및 인가전압에 따라 부하 임피던스는 매우 복잡하게 변화하는 특성을 지니므로 주 전원장치의 임피던스와 부하 임피던스의 정합은 현실적으로 매우 어려운 기술이다. 전극사이의 아크 방전은 대전류를 동반하며 전극 표면에 스파터링으로 인한 손상을 주며, 계속적으로 간헐적인 아크 방전을 유도시키는 주 원인이 되므로 외부공급에너지는 목적 대상체의 전리 혹은 해리를 시키지 못한 채 방전로를

따라서 전극에 흡수되어 손실로 되어 버린다.^[7] 따라서, 아크 방전은 전기집진기에서의 집진효율 및 플랜트의 탈황/탈질 효율 저하를 초래할 뿐만 아니라 고가의 펄스발생기의 회로 손상 및 장치수명을 단축시키는 주원인이 된다. 그러나, 상기의 세가지 요소에 해당되는 변수에 따른 부하 임피던스의 변화 특성 및 펄스코로나 임계전압을 추이할 수 있다면 주 전원과의 임피던스 정합 및 대전류 발생의 원인이 되는 아크를 억제시킬 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 펄스코로나 방전을 이용하여 일정한 전극간격을 기준으로 전극길이 및 펄스 반복율에 따른 유전체의 라디칼 형성과 직접적 관련이 있는 펄스전압과 전류를 측정하고 그에 따른 펄스코로나 임계전압, 펄스에너지 및 부하 임피던스의 변화 특성을 과도현상 해석 프로그램인 EMTP(Electro-Magnetic Transient Program)로 모의한 결과와 비교 검토함과 동시에 상기의 특성을 이용하여 전극사이에서 발생하는 아크 방전 발생 억제에 관한 연구를 하고자 한다. 본 연구에 사용된 전극형태는 선대 선 전극방식으로 통계적 지연시간(statistical time lag)을 고려하여 연구한 결과 일정한 전극간격에서 전극길이 및 펄스반복율을 제어하여 펄스코로나 임계전압 및 부하임피던스를 가변시킬 수 있는 기술을 확보하였으며, 플랜트 반응기의 전기적 효율 감소 및 아크전류에 의한 회로손상을 초래하는 전극사이의 아크방전을 억제시킬 수 있는 기술을 마련하였다.

2. 펄스발생기(Pulse Generator)

2.1 펄스발생회로

본 연구를 위해 직접 제작된 펄스 발생회로 및 MOSFET 제어회로를 그림 1에 나타내었다. 그림 1과 같이 펄스발생회

* 準 會 員 : 釜山大學校 電氣工學科 碩士課程
** 正 會 員 : 釜山大學校 電氣工學科 博士課程
*** 正 會 員 : 釜山大學校 電氣工學科 副教授 · 工博
接受日字 : 2001年 11月 13日
最終完了 : 2002年 3月 8日

로는 입력회로, 펄스발생회로, MOSFET 제어회로로 크게 3부분으로 구성된다. 펄스발생기는 펄스변압기의 1차측에 에너지를 인가하기 위해 2배압 회로에 의해 충전된 C1(100 μ F/250V)과 C2(100 μ F/250V)의 충전전압은 C3(7 μ 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 소스사이 에 인가되며 게이트의 신호가 입력되면 충전전압은 정극성으로 감겨져 있는 권수비 1:32의 펄스변압기에 전달되어 2차전압이 유기됨으로써 부하에 공급되도록 구성되어 있다. 또한, 펄스반복율은 IR(International Rectifier)사의 IR2110의 9번째 입력 주파수를 제어함으로써 펄스반복율 및 부하에 전달되는 펄스에너지를 제어하였다. 그리고, 입력에너지는 식(1)로 구하면 펄스당 1.4J로써 펄스반복율 500pps인 경우 최대 700W의 입력에너지를 얻을 수 있다.

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

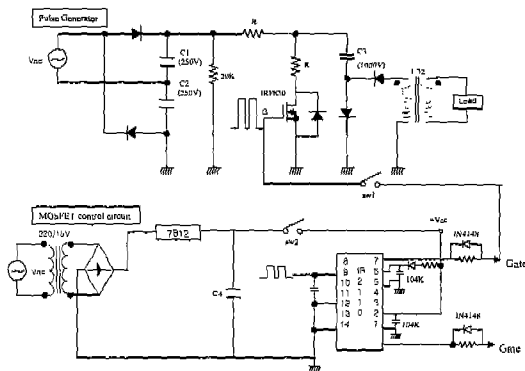


그림 1 펄스발생회로 및 MOSFET 제어회로
Fig. 1 Schematic of pulse generator and MOSFET control circuit

2.2 실험장치 구성도

그림 2-1은 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 2와 같이 전극간격 5mm의 선대 선전극을 매트릭스형으로 배치하여 용이하게 전극길이를 증가시킬 수 있는 구조로 되어 있다. 그림 2-2는 주파수에 따른 MOSFET Gate 신호를 나타내었으며, 2-2(A)는 펄스반복율 50pps, 2-2(B)는 펄스반복율 500pps, 2-2(C)는 펄스반복율 1000pps를 나타낸 그림이다. 그림 2-3은 MOSFET의 드레인-소스사이의 전압 Vds 및 부하의 방전파형을 나타내었다. 그림 2-3에서 (1)은 Vds 300V를 의미하며, (A)는 1:32의 펄스변압기에 의해 변성된 방전파형을 나타낸다. 대기압 상온에서 펄스폭 25 μ s, gap 5mm일 때 펄스전압 14kV에서의 펄스코로나 방전파형으로써 대기압의 질소가스로 인해 푸른빛의 방전색을 관찰할 수 있다. 충전전시간은 RC시정수에 의해 비례하므로 그림 1에서의 C3의 충전저항보다 방전저항을 매우 작게하여 1 펄스내에 방

전을 마무리 할 수 있도록 결정하였다.

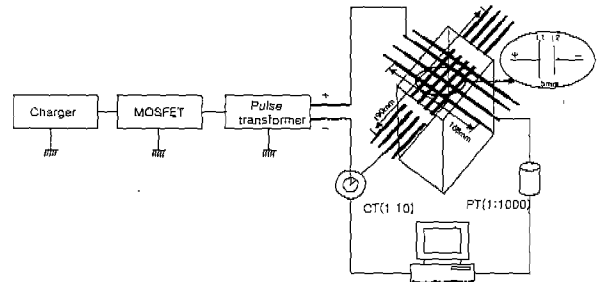


그림 2-1 실험장치 및 전극 구성 블록도
Fig. 2-1 Diagram of experimental device and electrode

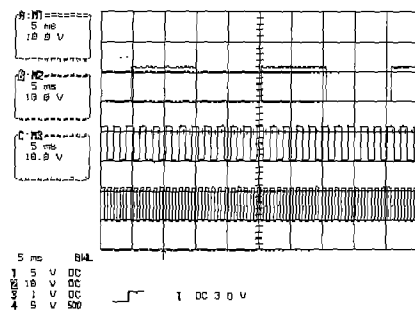


그림 2-2 MOSFET Gate 신호
Fig. 2-2 Gate signal of MOSFET

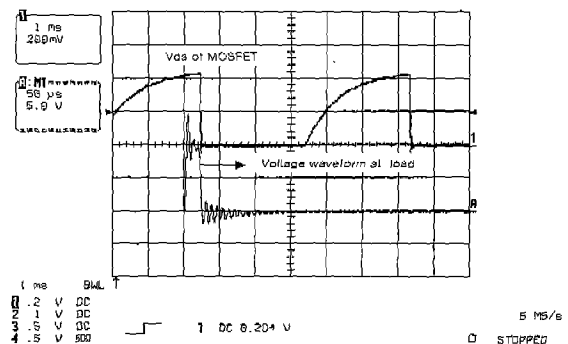


그림 2-3 드레인과 소스사이의 인가전압 및 방전파형
Fig. 2-3 Discharging waveform and Vds of MOSFET

3. 실험 결과

3.1 전극길이에 따른 펄스코로나 임계전압, 전류 및 부하 임피던스 변화특성

그림 3은 전극길이를 증가시킨 경우의 펄스코로나 임계전압 파형을 나타낸 그림이다. 그림 3에서 L1*L2는 각각 (+), (-)극성의 전극수(혹은 길이)를 의미하며, L2 증가는 부극성에서 (-)극성의 전극길이 증가를 나타낸다. 각 전극길이는 (+) 전극길이 168mm, (-) 전극길이 190mm이며, 전극간격 5mm, 펄스 반복율 10pps일 때 그림 3(a)와 같이 1*1의 전극은 17kV가 펄스코로나 임계전압이며, 1*2 전극의 그림 3(b)

에서는 15kV임을 알 수 있다. 전극길이를 증가시킨 경우 전극길이에 대한 펄스코로나 임계전압 파형이 그림 3(c)에 나타나 있으며 A, B, C, D는 각각 (-) 전극을 증가시킨 경우의 펄스파형으로써 (-) 전극길이가 증가할수록 펄스코로나 임계전압은 거의 선형적으로 감소하게 되고, 펄스지속시간은 증가하는 특성을 가진다. 이는 전극길이가 증가하면 전류의 통로 증가, 부하의 등가 인덕턴스 감소 및 커패시턴스 증가 등에 의해 결과적으로 부하 임피던스가 감소하게 되어 펄스코로나 임계 전압도 함께 감소하는 특성을 가지기 때문에 펄스코로나 임계 전압 V_c 가 감소하게 된다.

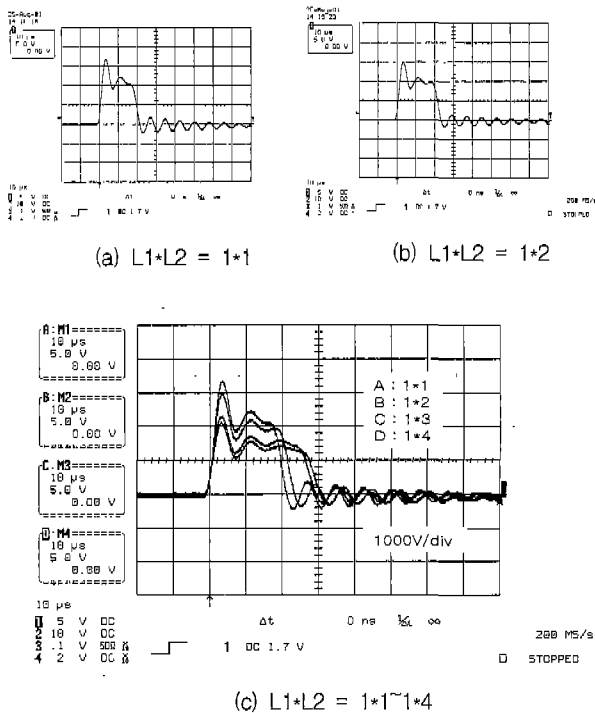


그림 3 전극길이에 따른 펄스코로나 임계전압 파형
Fig. 3 Pulse corona firing voltage waveforms on various electrode length

표 1에 그림 4의 전극길이에 따른 각 변수의 값을 나타내었으며, 그림 4는 전극길이 증가에 대한 각 변수의 변화 특성을 그림으로 나타내었다.

단, 부하 임피던스는 Z_L , 펄스코로나 임계 전압 V_c , 전류 I_c , 펄스폭 τ , 펄스 반복을 500pps 일 때의 펄스코로나 임계 전압은 $V_{c,500pps}$ 을 의미한다. 전극길이 증가시 그림 4에서와 같이 V_c 는 전극길이 1*1과 비교해서 최대 6kV정도 감소하였으며, 결과적으로 상기에서 설명한 바와 같이 Z_L 도 V_c 와 함께 감소하는 특성을 지닌다. 따라서, 그림 4는 펄스코로나 임계전압, 부하 임피던스는 모두 전극길이와 밀접한 상호관계가 있음을 나타내는 그림이다. 펄스 반복율을 500pps로 증가시킨 경우 $V_{c,500pps}$ 는 10pps와 비교해서 최대 4kV 감소하며 전극길이 증가에 비해서 34% 정도 감소한 값으로 펄스 반복을 최대 50배 증가 및 부전극길이 최대 4배 증가에 해당되는 값이다. 따라서, 코로나발생 임계전압 제어방법에는 펄스 반복율 및 전극길이를 조절함으로써 제어가 가능하다. 그러나, 펄스 반복율의 증가는 펄스발생기의 스위치 소자특성 및

절연내력 등 여러 가지 요소를 고려하여야 하기 때문에 비효율적이므로, 전극길이를 이용하는 방법이 코로나방전 임계전압 및 부하의 임피던스를 제어하는데 훨씬 효율적이다. 이와 같은 임계전압 제어는 전기집진기 혹은 배연가스 탈황/탈질 시스템의 반응기에 적용 가능한것으로써 전극길이를 이용하여 전극사이의 펄스전압을 가변시킬 수 있으므로 전극사이에 아크가 발생시 외부의 입력전압 변동없이 아크를 억제시킬 수 있는 제어법이다.

표. 1 전극길이에 따른 각 변수의 정수값

Table. 1 Value of parameters on various electrode length

L1*L2 [mm]	V_c [kV]	τ [μ s]	Z_L [Ω]*10	$V_{c,500pps}$ [kV]
1*1	17	20	71	14
1*2	15	22	68	12
1*3	12	26	50	8
1*4	11	28	*	7

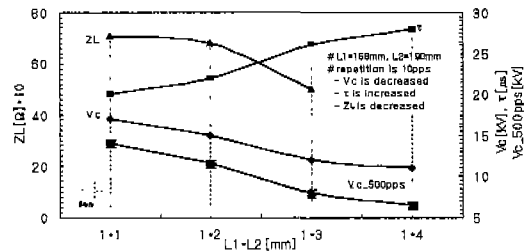


그림 4 전극길이에 따른 각 변수의 특성 변화
Fig. 4 Characteristics of each parameters on various electrode length

3.2 펄스코로나 발생시 펄스 에너지 및 부하 임피던스 변화 특성

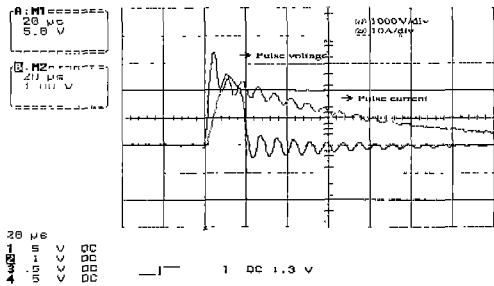
그림 5는 각각 펄스코로나 전압/전류파형, 펄스 에너지 및 부하 임피던스의 방전시간 동안의 변화 특성을 나타내는 그림이다. 그림 5(a)는 펄스전압 및 전류파형이며, 그림 5(b)에는 방전이 일어나는 동안의 임피던스 변화를 나타내었다. 그리고, 그림 5(c)는 그 때의 펄스에너지 변화 곡선을 그림으로 나타내었다. 그림 5(b), 5(c)에서와 같이 펄스코로나 방전 동안에는 거의 안정하고 낮은 부하 임피던스를 가지지만, 펄스 에너지가 부하에 대부분 전송된 방전 후기에서는 급격한 임피던스의 변화를 나타내면서 부하 임피던스 값이 증가한다. 따라서, 방전을 시작한 후 펄스전압 및 전류가 첨두치에 도달할 경우 부하 임피던스는 최저치가 되고 그 후에는 부하 임피던스의 급격한 변화를 가지며 증가하는 특성을 지닌다. 전극길이에 따른 V_c 및 $V_{c(500pps)}$ 는 선형적으로 감소하므로 1차 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$V_c = -0.1L + 19 [kV] \quad (2)$$

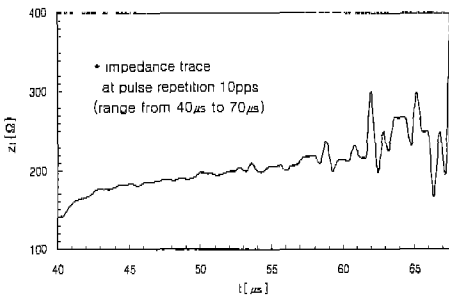
$$V_{c(500pps)} = V_c - 3 [kV] \quad (3)$$

단, V_c [kV], $V_{c(500pps)}$ [kV]는 각각 코로나 임계전압 및 반복율 500pps인 경우의 코로나 임계전압이며, L [cm]은 전극길이를 의미한다. $V_{c(500pps)}$ 은 그림 4에서와 같이 V_c 와 거의 같은

기율기로 감소하며 전극길이가 더욱 증가될 경우 0.5kV의 오차를 고려해 주어야 한다.

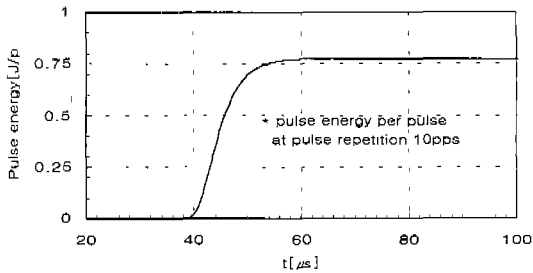


(a) 펄스코로나 전압 및 전류파형



(b)

방전시간동안의 임피던스 변화곡선



(c) 펄스코로나 방전동안의 펄스에너지

그림 5 펄스코로나 방전동안의 임피던스 및 펄스에너지 변화 특성

Fig. 5 Characteristics of impedance and pulse energy during pulse corona discharging

그림 5(c)에서와 같이 40 μ s에서 MOSFET의 트리거신호가 인가된 후 얻는 펄스에너지는 0.77J/p로써, 펄스반복율 10pps에서는 7.7W의 펄스에너지를 얻을 수 있으며 펄스 반복율을 증가시킬수록 펄스에너지도 증가된다. 그림 5(c)의 펄스에너지는 식(4)으로 펄스전압 및 전류를 시간에 대해 적분한 값으로 구할 수 있다. 또한, 전극에 인가된 전계는 $E_p = \frac{V}{d} [v/m]$ 로써 3.4×10^6 v/m이다.

그림 6, 7은 각각 펄스 반복율에 따른 펄스코로나 임계전압 및 펄스전압 파형을 나타내었다. 그림 6에서와 같이 부전극길이 및 펄스 반복율이 증가할수록 펄스코로나 임계전압은 감소하는 경향을 나타낸다. 최대 펄스코로나 임계전압은 펄스 반복율 10pps, 전극길이 L1*L2=1*1에서 17kV이며, 펄스 반복율 500pps, 전극길이 L1*L2=1*4에서 최저 펄스코로나 임계전압 7kV로 나타났으며 펄스 반복율 및 전극길이에 따라

10kV정도로 감소되는 현저한 차이가 발생하였다. 또한, (+)의 양전극을 증가시켜도 부전극만을 증가시킨 경우와 동일한 결과를 얻었으며, 그림 7에서 사각박스는 양전극 및 음전극을 동시에 증가시킨 경우로써 음전극을 증가시킨 경우에 비해서 코로나 임계전압은 비슷하며 최대 1kV미만의 차이가 일어났으므로 효율적이지 못한 것을 알 수 있다.

상기와 같이 전극길이 및 펄스 반복율을 제어함으로써 거의 선형적으로 펄스코로나 임계전압을 가변시킬 수 있다. 그러나, 펄스 반복율을 가변시키기 위해서는 펄스발생기에 있어서 많은 제약이 따르므로, 전극길이를 가변시키는 것이 반복율을 제어보다 여러 가지로 유리함을 알 수 있다.

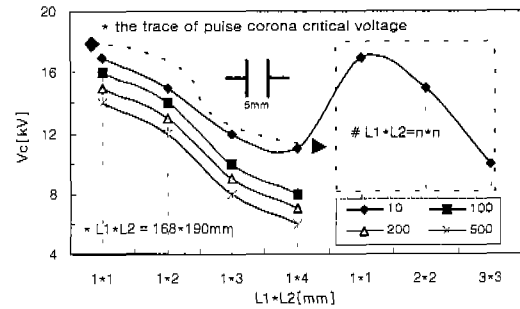


그림 6 펄스반복율에 따른 펄스코로나 임계전압

Fig. 6 Critical voltage of pulse corona on various pulse repetition

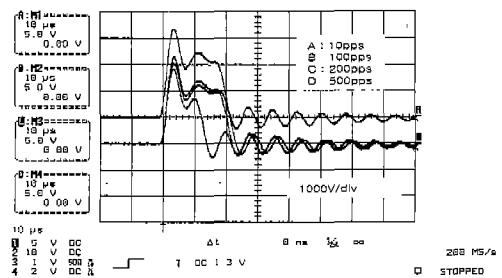


그림 7 펄스반복율에 따른 펄스코로나 임계전압 파형

Fig. 7 Waveforms of critical voltage on various pulse repetition

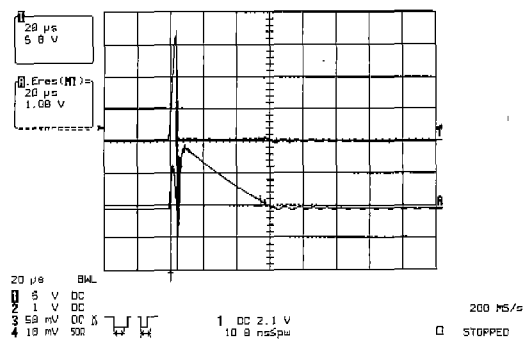


그림 8 아크전압 및 전류

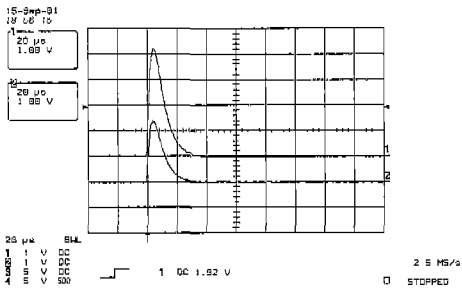
Fig. 8 Arc voltage and current in load

그림 8은 아크방전에서의 전압 및 전류를 나타낸 그림으로써 전압은 낮아지고 동시에 전류는 이상적으로 급증한다. 이

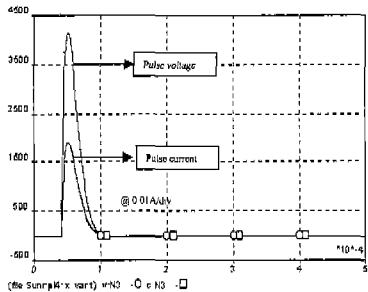
아크전류는 전극표면 및 펄스발생회로의 손상을 야기시키는 주원인이 되며, 전리 및 해리를 시키지 못한 채 방전로를 따라서 전극에 흡수되어 손실로 된다.

3.3 EMTP 결과 해석

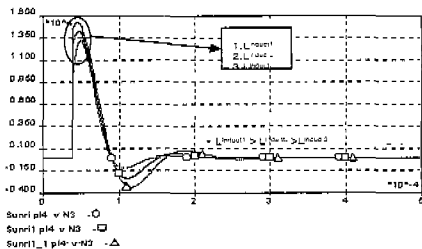
과도해석 프로그램인 EMTP로 모의실험한 것을 본 연구의 결과와 비교, 검토하였다. 그림 9(b)는 순수 저항만의 회로의 모의파형으로써 감쇄계수 ξ 가 거의 1에 가까운 감쇄진동을 하는 안정적인 펄스전압 및 전류파형으로써 실제 부하저항 3k Ω 을 사용한 경우의 펄스전압, 전류파형인 그림 9(a)와 일치함을 보인다. 또한, 상기 결과에서 전극길이를 증가시킨 경우 부하의 등가 인덕턴스 및 커패시턴스가 가변됨으로써 펄스코로나 임계전압 감소 및 부하 임피던스의 감소의 결과를 나타내었으며, 그림 9(c)에 부하의 인덕턴스 증가에 따른 방전개시 전압 및 감쇄계수 ξ 의 변화를 나타내었다. 그림 9(c)에서와 같이 부하 인덕턴스가



(a) 부하저항만의 펄스전압 및 전류 파형



(b) 부하저항만의 모의파형



(c) 부하인덕턴스의 변화에 따른 펄스전압의 모의결과 파형

그림. 9 부하저항 및 인덕턴스 변화의 모의결과 파형

Fig. 9 Simulated waveforms of pulse voltage and current in using EMTP

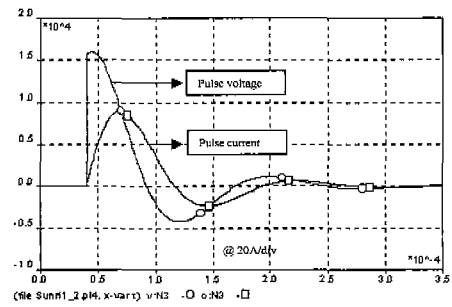


그림. 10 실험부의 모의결과 파형

Fig. 10 Simulated waveforms of pulse voltage and current of RC load

감소할

수록 방전 개시전압이 감소하며, 또한 진동이 감소되면서 안정된 형상을 나타낸다. 이는 본 연구결과와 동일한 것으로서 전극길이 증가시 부하 인덕턴스가 감소되어 결과적으로 코로나 임계전압 및 부하임피던스가 감소하게 되는것이다. 방전에 있어서 전극자체의 표류 인덕턴스 및 커패시턴스 성분으로 인하여 완벽한 임피던스 정합은 불가능하지만, 본 연구결과와 같이 전극길이 및 펄스반복율을 이용한 코로나 임계전압 및 부하 임피던스의 가변이 용이하다. 그림 10은 순수 저항만의 부하가 아닌 저항과 인덕턴스가 공존하는 선대 선 전극으로 방전시킨 경우의 모의 결과파형으로 실제 방전파형과 비교한 결과 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 펄스코로나 방전을 이용하여 일정한 전극간격을 기준으로 전극길이 및 펄스 반복율에 따른 유전체의 라디칼 형성과 직접적 관련이 있는 펄스전압과 전류를 측정하고 그에 따른 펄스코로나 임계전압 및 펄스에너지, 부하 임피던스의 변화 특성을 과도현상 해석 프로그램인 EMTP를 이용한 모의결과와 비교 검토한 결과 다음과 같다.

- (1) 부하임피던스는 펄스코로나 방전 동안에는 거의 안정하고 낮은 값을 가지지만, 펄스 에너지가 부하에 대부분 전송된 방전 후기에서는 급격한 임피던스의 변화를 나타내면서 급격히 부하 임피던스 값이 증가하는 특성을 지닌다.
- (2) 전극길이에 따른 V_c 및 $V_{c,500pps}$ 는 선형적 감소하는 특성을 지니므로 그에 따른 관계식을 유도하였으며, 이를 이용하면 부하 임피던스의 변화를 추이할 수 있다. 전극길이 증가하면 전류의 통로 증가, 부하의 등가 인덕턴스 감소 및 커패시턴스 증가 등에 의해 결과적으로 부하 임피던스 및 펄스 코로나 임계전압도 선형적으로 감소하는 특성을 지닌다.
- (3) 펄스 반복율을 500pps로 증가시킨 경우 $V_{c,500pps}$ 는 10pps와 비교해서 최대 4kV 감소하며 전극길이 증가에 비해서 거의 34%정도 감소한 값으로, 펄스 반복율 및 전극길이에 따라서 펄스코로나 임계전압은 최대 10kV정도로 감소되는 현저한 차이가 발생하였다.
- (4) 양전극 및 음전극을 동시에 증가시킨 경우는 부전극만을

증가시킨 경우에 비해서 코로나 임계전압은 최대 1kV미만의 차이가 발생하였다. 일정한 전극간격에서 전극길이 및 펄스반복율을 제어하여 펄스코로나 임계전압 및 부하 임피던스를 가변시킬 수 있는 기술을 확보하였다.

- (5) EMTP로 모의 실험한 결과 부하 인덕턴스의 영향은 펄스코로나 임계전압에 직접적 영향을 주었으며, 특히 실제 방전과정과 비교한 결과 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

- 이 연구비는 부산대학교 생산기술 연구소에서 일부 지원받아 수행된 연구로써 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] J. S. Chang and S. Masuda, "Mechanism of pulse corona induced plasma chemical process for the removal of NOx, SOx from combustion gases", presented at the IEEE Ind. Applicat.Soc. Annu. Conf., 1988.
- [2] 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.
- [3] Akira Homma, "High-voltage subnanosecond pulse transformer composed of parallel-strip transmission lines", presented at the Reiew of Scientific INS, vol. 70, pp. 232-236, 1998.
- [4] Bernie M. Penetrate, Shirley E. Schultheis, Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Springer-Verlag, 1992.
- [5] 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.
- [6] S. Masuda and S. Hosokawa, "Pulse energization system of electrostatic precipitator for retrofitting application", presented at EPA-EPRI 5th Symp. on Transfer and Utilization of Particulate Contr. Technol., Aug. 1984.
- [7] II. J. Hall, "History of pulse energization in electrostatic precipitation", J. electrostatics, vol. 25, pp. 1-22, 1992.
- [8] 吳喆漢, 氣體放電學, 慶北大學校 出版部, 1995.

저 자 소 개



정 종 한 (丁 鍾 漢)

1972년 3월 18일생. 1996년 부경대학교 전기공학과 졸업. 1998년 부산대학교 전기공학과 석사졸업. 한국중공업 환경기술연구소 주임연구원. 창원전문대학 전자통신과 연구교수. 現 부산대학교 전기공학과 박사과정
Tel : (051) 510-2770, Fax : (051) 513-0212
E-mail : iver1@hanmail.net



송 우 정 (宋 祐 正)

1973년 12월 15일생. 2000년 부경대학교 전기공학과 졸업. 2001년 부산대학교 전기공학과 대학원 석사과정.
관심분야: 펄스파워를 이용한 살균 및 세척 분야. PIC마이크로프로세서를 이용한 Nd-Yag 레이저의 구동 전원장치부. 펄스파워의 분광감도특성을 이용한 광센서 응용
Tel : (051) 510-2770, Fax : (051) 513-0212
E-mail : heartpower@hanmail.net



정 현 주 (鄭 賢 珠)

1975년 12월 5일생, 1998년 울산대학교 전기공학과 졸업, 2000년 부산대학교 석사 졸업, 現 국방과학연구소 연구원, 부산대학교 박사과정.
Tel : (051) 510-2770,
Fax : (051) 513-0212
E-mail) hyunju30@hanmail.net



홍 정 환 (洪 正 皖)

1968년 7월 19일생. 1995년 경성대 전기공학과 졸업. 2002년 부산대 공과대학원 전기공학과 박사 졸업. 現 (주)대신엔터프라이즈 연구주임.
Tel : (051) 510-2770,
Fax : (051) 513-0212
E-mail) laserq@hanmail.net



전 진 안 (全 珍 安)

1957년 4월 10일생. 現 부산시 도시개발공사 기계과장, 부산대학교 석사과정.
Tel : (051) 0510-2770,
Fax : (051) 513-0212
E-mail : jajeon@pudco.co.kr



김 희 제 (金 熙 濟)

1955년 10월 23일 생. 1980년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년~1983년 동 대학원 전기과 조교. 1983년~1985년 한국전기연구소 연구원. 1985년~1990년 일본 큐슈대학원 연구생 및 박사과정. 1990년 동 대학원 에너지변환공학전공 졸업(공학). 1990년~1995년 한국전기연구소 선임연구원. 1995년~현재 부산대 전기공학과 조교수
Tel : 051-510-2364, Fax : 051-513-0212
E-mail : heeje@pusan.ac.kr