

저온 플라즈마의 펄스에너지 전송효율과 Wall Plug 소비전력과의 상호 특성에 관한 연구

論文

51C-10-7

The Study on the Mutual Characteristics Between Transmitting Efficiency of Pulse Energy and Wall Plug Consumed Power of Non-Thermal Plasma

丁鍾漢**·鄭賢株**·金輝榮**·鄭容昊*·宋錦永*·金勤勇*·金熙濟***
(Jong-Han Joung · Hyun-Joo Jung · Whi-Young Kim · Yong-Ho Jung · Kum-Young Song · Kum-Young Kim · Hee-Je Kim)

Abstract - In this paper, we study on the mutual characteristics between transmitting efficiency of pulse energy and wall plug consumed power of non-thermal plasma for removing environmental pollutive gas of coal plant. To obtain high pulse energy of our system, we used MPC(magnetic pulse compressor) of power switch and tested their characteristics by adjusting electrode length of reactor and charging voltage in capacitor. As a result, we obtained consumed power of wall plug and a compressed pulse of voltage 110kV, rising time 500ns. Impedance of load on increasing electrode length was decreased, but electrical efficiency was increased. These results indicate we can control critical voltage of pulse corona and electrical efficiency of economic cost in power plant.

Key Words : optimum transmitting efficiency, MPC, compressed pulse, electrode length, pulse corona, reactor

1. 서론

펄스코로나 방전에 대한 여러가지 특성들이 전기적, 광학적, 화학적 계측을 통해서 현재까지 폭넓게 연구되고 있다.^[1-2] 대표적인 대기오염제거 방법으로는 습식세공 공정법과 건식법이 있다. 전자에는 선택적 촉매환원법이 있으며, 후자에는 전자빔법과 코로나 방전을 이용한 플라즈마법이 이에 속한다. 선택적 촉매환원법은 폐수 및 폐기물 배출 그리고 부대설비로 인한 공간확보, 그로인한 시설비 증가의 문제가 있으며 전자빔법은 X-선과 같은 방사선을 막을 수 있는 설비로 인해 시설비가 증가하지만, 플라즈마법은 질산산화물이나 아황산가스를 동시에 처리할 수 있으며 2차 오염원이 발생하지 않아서 시설비가 작다. 화학적 산화반응의 촉진에 필요한 전체 에너지 소모를 결정짓는 요소로는 첫째, 코로나 방전에 의해서 유도된 화학 반응의 반응도이고, 둘째, 주 전원에서 코로나 방전 스트리머로 전달된 에너지의 전송효율이다. 하지만, 직접적인 라디칼 형성이 주는 요인 이외에도 복잡하고, 다양한 물리적, 화학적 현상이 SOx, NOx의 동시 산화에 결정적인 역할을 한다.^[3-4] 특히, 최대 에너지 전송효율은 전력스위치, 전극구조, 비선형 특성을 갖는 임피던스의 조합 등에 기인한다. 종래의 수백mm정도의 전극길이와 관련된 방전실험은 전기적 특성실험이 제한적이다.^[6-8] 부하임피던스 특성상 전극길이 및 펄스반복율에 따른 부하임피던스, 에너지전송효율, 소비전력 등의 변화특성이 전극길이에 따라 민

감하게 작용하기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 실 반응기에 가까운 소규모 반응기를 제작하여 전기적 특성실험을 하였다. 전력스위치로는 고효율 자기스위치 MPC(Magnetic Pulse Compressor)를 이용한 펄스압축발생 기법을 사용하였으며, 압축된 펄스에너지를 전극간극 80mm의 방전극 부하에 인가하는 방식을 적용한 결과 상승시간 200ns, 에너지 지속시간이 500ns, 펄스 첨두전압 110kV이상의 압축펄스를 발생시켰다. 압축 펄스에너지를 실제 소형 화력발전소의 축소형 반응기에 인가한 경우 중성기체분자에 최대 전력이 발생하는 시간동안의 충전전압(20~35kV) 및 전극길이(1~48m)에 따른 부하 임피던스변화, 펄스에너지 전송효율 및 특히 전력량계로부터의 Wall Plug 소비전력과의 상호관계에 대한 연구결과를 서술하였다. 최대 펄스에너지 전송효율을 위해서 종래의 선 대 원통, 선 대 평판과 같은 일반적 방전극 구조에서 벗어나 전류가 3차원적으로 흐르도록 최대 전극길이 48m의 방전극인 핀(Fin) 전극 및 튜브(Tube)형태의 방전극을 배치하였다.

2. 본론

2.1 실험장치 구성도

2.1.1 펄스압축회로

그림 1은 32[kJ/s] 펄스발생기의 펄스압축회로를 나타낸다. 직류고전압 전원은 1대의 용량이 50[kV], 8[kJ/s]를 4대 병렬로 연결하여 사용하였다. 초기 LC공진 충전 스위치는 Deuterium 가스 충전 세라믹 싸이라트론(Model : CX1525A, Type : two-gap ceramic thyatron)을 사용하여 160[nF]의 콘덴서2에 충전을 시켜 MPC1에서 펄스를 압축한 후 펄스변

* 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 修 了
*** 正 會 員 : 釜 山 大 學 校 電 氣 工 學 科 副 教 授 · 工 博
接受日字 : 2002年 6月 22日
最終完了 : 2002年 8月 26日

압기(권선비 = 1: 4)를 거쳐서 MPC2에서 최종적으로 500[ns]로 압축된 펄스를 반응기에 공급한다. 모듈레이터에 사용되는 대전력 스위치로는 스파크 갭 스위치, 사이라트론, 반도체소자, 자기스위치 등이 있다. 스파크 갭 스위치 동작전압은 200[kV] 정도가 가능하지만 수명이 짧으며, 사이리스터(Thyristor)나 IGBT와 같은 반도체 소자는 수명이 10^{12} [pulse]로 길지만 최대허용전압 및 전류가 낮다는 단점이 있다. 사이라트론(Thyratron)은 160[kV]까지의 전압을 허용할 수 있지만 짧은 펄스폭에서는 수명이 낮아지는 단점이 있는 반면 포화후의 코어 특성을 이용하는 자기 스위치는 고신뢰성과 10^{10} 펄스 이상의 수명이 보장되며 한 방향으로 포화가 되면 역방향 전류를 순간적으로 차단하기 때문에 다이오드와 같은 특성을 지니게 된다. 코로나 발생시 펄스전압과 전류파형 측정은 각각 Haefely의 저항다이바이더(Model: WO550483- 2)와 Pearson current transformer (Model 4977)를 이용하여 오실로스코프(Model : TDS744A)로 측정하였다.

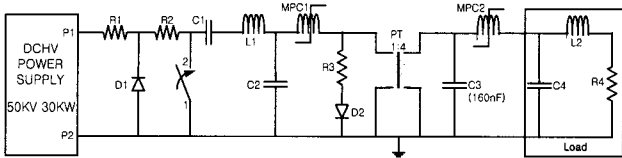


그림 1 펄스발생기의 펄스압축회로
Fig. 1 Pulse compression circuit of pulse generator

2.1.2 반응기의 구조

반응기의 기하학적 구조와 방전극 형상은 피크전압, 전류, 상승시간 및 펄스에너지에 큰 영향을 준다. 따라서, 반응기의 설계는 에너지 전달효율과 밀접한 관계가 있다. 본 연구에 사용된 전극은 핀 대 튜브 형상의 전극을 사용하였으며, 그 형상은 그림 3과 같다. 그림 2는 반응기의 전반적인 구조를 나타내었다. 전극재질은 스테인레스강(SUS)이며, 전극간격은 80[mm]로 고정된 상태에서 정극성을 인가하여 전극 길이(12 ~ 48[m])와 충전전압을 변환시켜가며 반응기에 나타나는 여러가지 특성실험을 하였다. 핀 전극의 형태는 90°방향으로 전류가 흐를 수 있도록 하기 위하여 튜브전극위에 4개의 핀 형태의 전극을 부착한 형태이다.

그림 3은 전극 길이가 10[m]인 반응기 내부의 핀과 튜브 사이의 방전을 촬영한 그림으로 스트리머성 코로나 방전을 관찰할 수 있다.

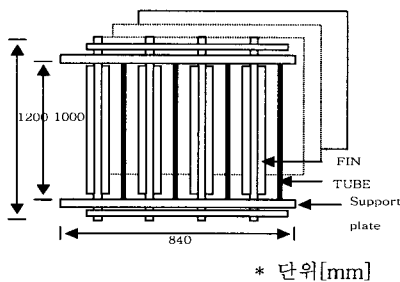


그림 2 반응기의 전극배치 구조
Fig. 2 Electrode arrangement in reactor

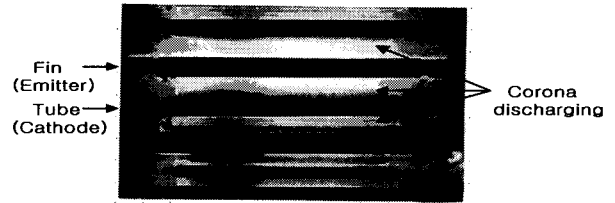


그림 3 반응기 내부의 스트리머성 코로나방전
Fig. 3 Streamer corona discharging in reactor

2.2 실험결과

2.2.1 전극 길이 및 충전전압에 따른 펄스 첨두전압/전류 변화 특성

실험조건은 순수 전기적 특성을 해석하기 위해 유량을 흘리지 않은 상태로 상온, 대기압에서 실험하였으며, 반복율은 10[pps]로 고정시킨 상태에서 충전전압(1차 콘덴서 충전전압 : 20 ~ 35kV ; 그 이후에서는 아크방전으로 진행)과 전류가 흐르는 전극 길이를 변화시켜 반응기에 나타나는 여러가지 출력 특성을 해석한다.

- * V_p : 반응기의 출력단에 나타나는 첨두전압[kV]
- * I_p Length : 애노드의 길이[m]

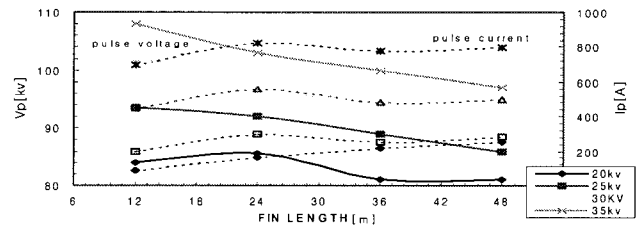


그림 4 반응기의 전극 길이 및 충전전압에 따른 첨두전압 및 전류 변화특성
Fig. 4 Peak voltage and current characteristics of various fin lengths & charging voltage in reactor

그림 4는 반응기의 전극길이 및 충전전압 증가시 첨두전압 및 전류의 변화관계를 알 수 있는 그림으로써 전극 길이가 증가할수록 충전 콘덴서(1차 콘덴서)의 충전전압에 관계없이 반응기에 나타나는 펄스 첨두전압은 대부분 감소하는 경향을 관찰할 수 있다. 그리고, 전극 길이를 12[m]에서 48[m]로 4배 증가시킨 경우 펄스 첨두전압은 3 ~ 10[kV] 정도의 변화가 있으며, 충전전압이 커질수록 펄스 첨두전압 변화의 폭도 증가한다. 충전용콘덴서의 충전전압이 일정한 경우 전극 길이가 증가하면 부하 커패시턴스의 증가로 인하여 부하 임피던스가 감소하게 되어 결국 반응기의 전극사이에 나타나는 첨두전압이 감소하게 된다. 즉, 전극사이에 형성되는 전계 [kV/cm]가 전극간격의 함수뿐만 아니라 방전전극의 길이에 의존적임을 알려 주는 결과로 해석된다. 또한, 동일한 충전전압과 반복율로 실험하였음에도 불구하고 전극 길이가 긴 경우보다 짧은 경우에 아크 발생횟수가 많았으며, 충전전압이 40[kV]에서는 전극 길이가 12[m] 이하에서 아크가 발생하는 반면, 24[m]이상인 경우에 대해서는 아크가 발생하지 않았다.

이것은 상기에서 설명한 바와 같이 전극길이가 작아지면 부하임피던스가 증가하여 침투전압이 높기 때문에 아크방전이 발생하게 되는 것이다.

그림에서와 같이 전극 길이가 길어질수록 충전전압이 20[kV]에서만 피크전류가 증가하며, 충전전압이 그 이상 증가할수록 전극 길이 24[m]까지는 피크전류가 함께 증가하지만 24[m]이상에서 다시 감소를 해서 점점 포화하는 경향을 나타낸다. 이것은 전자가 흐를 수 있는 전극의 길이를 증가시킨다 해도 어느 점 이후에서는 튜브전극에서 방출되는 자유전자의 수가 포화되기 때문이다. 따라서, 전류가 흐를 수 있는 전극의 길이를 증가시킨다 해도 어느 점 이후에서는 침투전류가 포화하는 특성을 가진다.

2.2.2 펄스에너지 전송효율 및 소비전력과의 상관관계

그림 5는 시간에 따라서 반응기의 전극사이에 나타나는 펄스파형 및 임피던스 특성 변화를 나타내었다. 그림에서 침투전압이 97[kV], 피크전류 796[A]인 펄스에너지가 반응기에 인가된다. MPC에 의해 500[ns]로 압축된 부하 펄스전류는 부하 임피던스가 가장 낮은 경우에 반응기내에서 전력이 가장 활성화된다. 부하 임피던스는 펄스인가 후 2 ~ 3[μs]에서 가장 낮게 나타나며, 그 때의 부하임피던스는 122[Ω]이다. 이 시간동안 전자는 최대로 가속되어 전력이 가장 활발히 발생하며 1[μs]정도 유지된다. 그 후 펄스에너지가 소모되어 전리과정이 끝나면서 임피던스 값의 급격한 증가와 더불어 펄스전류가 급감하게 된다.

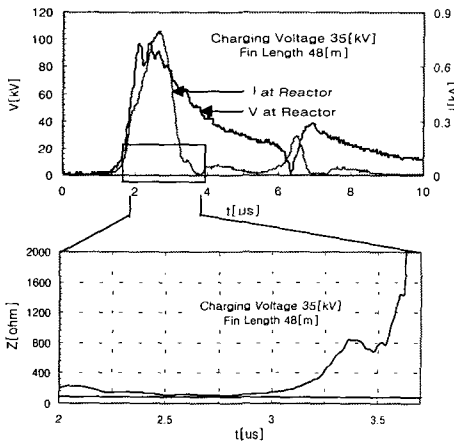


그림 5 반응기에 나타나는 시간에 따른 펄스파형 및 임피던스 특성

Fig. 5 Impedance characteristics & pulse waveforms shown during pulse duration in reactor

그림 6은 반응기의 전극 길이 및 충전전압에 따른 에너지 전송효율 및 부하임피던스 변화를 나타낸다. 충전전압 20[kV]로 동일한 경우 부하임피던스 변화를 보면 최소 300 [Ω]에서 최대 1000[Ω]의 변화로 전극 길이에 따른 임피던스 변동폭이 3배이상 차이가 발생한다. 전극 길이 및 콘덴서의 충전전압이 증가할수록 반응기의 에너지 전달효율이 증가하여 최소 12.9[%]에서 최대 73[%]까지 증가된다. 이는 콘덴서의 충전전압과 전극 길이의 증가로 인한 임피던스 감소 효과

에 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 35[kV]에서 전극 길이가 2배 증가(전극 길이 24[m]와 48[m])시 24[m] 기준으로 펄스 발생기에서 반응기의 에너지 전달효율이 7[%]의 상승하였으며, 이는 충전전압 5[kV](권선비= 1: 4) 이상 상승시켰을 경우와 거의 동일한 효과이다. 전극길이에 따른 부하임피던스는 지수함수적으로 변하므로 전극길이 수 mm ~ 수 m 정도에서의 실험 결과와는 매우 다른 경향을 나타낸다.

표 1은 펄스당 에너지 및 단위 전극길이당 펄스에너지를 나타낸다. 전극 길이와 충전전압이 증가할수록 펄스에너지가 증가되며, 단위 길이당 펄스에너지는 펄스에너지에 전극 길이를 나눈 값이다.

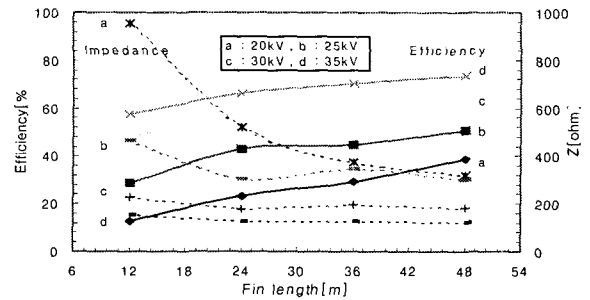


그림 6 반응기의 전극 길이 및 충전전압에 따른 에너지전송 효율 및 부하임피던스 변화

Fig. 6 Energy efficiency and load impedance of various fin lengths & charging voltage in reactor

표 1 펄스당 에너지 및 단위 전극길이당 펄스에너지

Table 1 The pulse energy per pulse and energy per pulse · m

length [m]	pulse energy per pulse[J/p]				pulse energy per length[J/m]			
	charging voltage in capacitor[kV]				charging voltage in capacitor[kV]			
	20	25	30	35	20	25	30	35
12	4	14	35	57	0.3	1.2	2.9	4.7
24	7	21	42	65	0.3	0.9	1.8	2.7
36	9	22	43	69	0.3	0.6	1.2	1.9
48	12	25	47	72	0.3	0.5	1.0	1.5

에너지 전송효율은 펄스당 출력에너지와 커패시터에 저장된 입력에너지의 비율을 의미한다. 펄스당 에너지는 다음식으로 구할 수 있다. 펄스에너지는 전압과 전류의 값을 시간에 대해 적분한 값으로 나타나며 식(1)과 같다.

$$E_{out} = \int_0^t V(t)I(t) \cdot dt [J/p] \text{----- (1)}$$

입력에너지는 커패시터에 저장된 에너지를 말하며, 다음 식(2)와 같다.

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

표 2는 반응기의 전극 길이에 따른 소비전력을 나타낸다. 반응기의 전극 길이를 24[m]에서 48[m]로 2배증가시켰을 경우 반복율 10[pps]에서 Wall Plug의 소비전력을 나타내었으며, 반복율 200[pps]는 10[pps]를 기준으로 환산한 값이다. 전극 길이가 2배 증가했을 경우, 앞에서 설명한 바와 같이 에너지 전달효율이 증가하여 펄스당 에너지가 증가함에도 불구하고 각각의 전극 길이에 대하여 소비된 전력값은 거의 일정하며 전극길이에 대하여 독립적임을 알 수 있다.

표 2 반응기의 전극 길이에 따른 소비전력
Table 2 Wall plug power of various fin lengths in reactor

length [m]	C.V[kV]	Wall plug power[kW]	
		f=10[pps]	f=200[pps]
24	20	1.5	30
	25	1.7	34
	30	2.0	40
	35	2.3	46
48	20	1.5	30
	25	1.7	34
	30	1.9	38
	35	2.2	44

* Wall Plug Power : 전력량계의 전력량을 환산한 값[kW]

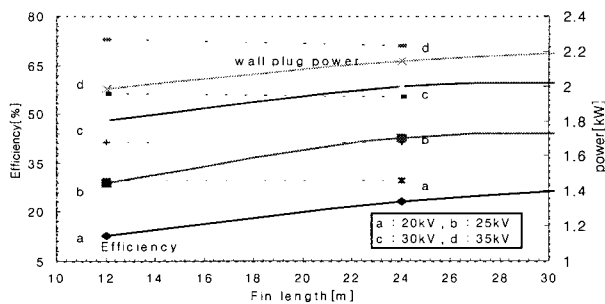


그림 7 전극 길이에 따른 전송효율 및 소비전력과의 상관관계
Fig. 7 Transmitting efficiency and consumed power of various lengths

그림 7은 펄스에너지 전송효율과 소비전력과의 상관관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 전극 길이가 증가하면 전송효율이 상기에서 설명한 바와 같이 증가하지만, wall plug의 소비전력은 거의 일정한 값으로 유지된다. 이는 전극길이의 증가로 침투전압은 감소하는 반면, 침투전류와 전류펄스폭이 증가되어 결국은 회로임피던스와 부하임피던스의 정합에 접근함으로써 소비전력이 증가되는 것이 아니라 임피던스 부정합으로 인한 손실이 감소한 결과이다. 또한, 충전전압을 증가시키면 에너지 전송효율이 증가하지만, 이는 직접적인 소비전력을 증가시킨다. 그림 8은 전극길이에 따른 펄스 전압의 변화 형상을 나타낸다. 전극길이가 증가하면 결과적으로 임피던스 감소와 함께 펄스폭이 증가하게 된다. 이것은 전극길이 증가에 대한 부하의 커패시턴스가 증가하므로 결국 펄스폭이 증가하게 된다.

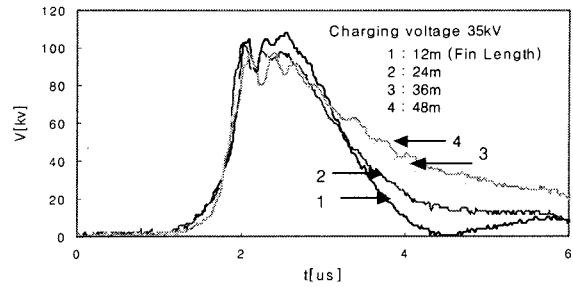


그림 8 전극 길이에 따른 전압 펄스파형의 변화
Fig. 8 Voltage pulse waveforms of various lengths

3. 결 론

30[kJ/s]의 펄스 발생기를 이용하여 MPC1, MPC 2에 의해 압축된 펄스를 전극길이 48[m] 반응기에 직접 인가한 결과 다음과 같다.

- (1) 반응기의 전극 길이 증가에 따라 피크전압은 감소한다. 전극 길이를 12[m]에서 48[m]로 4배 증가시킨을 경우 피크전압은 3 ~ 10[kV]의 변화가 있으며, 충전전압이 커질수록 변화의 폭도 크게 나타난다.
- (2) 전극 길이가 증가하면 전송효율이 증가하지만, wall plug의 소비전력은 거의 일정한 값으로 유지된다. 이는 전극 길이의 증가로 침투전압은 감소하는 반면, 침투전류와 전류펄스폭이 증가되어 결국은 회로임피던스와 부하임피던스의 정합에 접근함으로써 소비전력이 증가되는 것이 아니라 임피던스 부정합으로 인한 손실이 감소한 결과이다
- (3) 전극 길이가 증가하면 결과적으로 임피던스 감소와 함께 펄스폭이 증가하게 된다. 이것은 전극 길이 증가에 대한 부하의 커패시턴스가 증가하므로 결국 펄스폭이 증가하게 된다.
- (4) 전극 길이가 증가하면 충전전압이 20[kV]에서만 피크전류가 증가하며, 충전전압이 그 이상 증가할수록 전극 길이 24[m]까지는 피크전류가 함께 증가하지만 24[m]이상에서 다시 감소를 해서 점점 포화하는 특성을 알 수 있다. 따라서, 전자가 흐를 수 있는 전극의 길이를 증가시킨다 해도 어느 점 이후에서는 에미터에서 방출되는 자유전자의 수가 포화되어 피크전류가 계속 증가하지 않는다. 전류가 흐를 수 있는 전극의 길이를 증가시킨다 해도 어느 점 이후에서는 침투전류의 증가폭이 매우 작기 때문에 전극길이를 무한히 길게할 필요가 없다.
- (5) 충전전압 35[kV]에서 전극 길이를 증가시켰을 경우 전극 길이가 2배증가시(전극 길이 24[m] 와 48[m])펄스 발생기에서 반응기의 에너지 전달효율 7[%]의 상승효과가 있으며, 이는 충전전압 5[kV] (권선비= 1: 4) 상승시켰을 경우와 거의 동일한 효과이다.
- (6) 충전전압이 증가할수록, 전극 길이가 증가할수록 반응기의 에너지 전달효율이 증가하여 최소 12.9[%]에서 최대 펄스에너지 전송효율인 73[%]까지 증가된다.

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] S. Jordan, Process in the electron beam treatment of stack gases, Radiat. Phys. Chem., vol. 31, pp. 21-28, 1988.
- [4] 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.
- [5] Stanley Humphries, Principles of Charged Acceleration, John Wiley & Sons, New York, pp. 236 ~ 267, 1986.
- [6] Bernie M. Penetrate, Shirley E. Schultheis, Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Springer-Verlag, 1992.
- [7] 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.
- [8] 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.



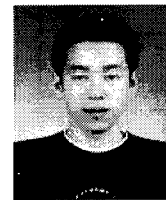
김 휘 영(金輝榮)

부산대 전기공학과 공학박사. 現 동주대 컴퓨터정보통신계열 전임강사
Tel : (051) 200-3449
Fax : (051) 200-3449
E-mail : ndyag@dongju.ac.kr



정 용 호(鄭容昊)

1974년 9월 1일 생, 2000년 여수대 전기공학과 졸업, 2001년~현재 부산대 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : (051) 510-2770
Fax : (051) 513-0212
E-mail : ogre7@hanmail.net



김 근 용(金勤勇)

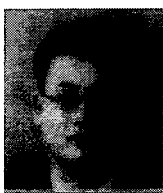
1975년 7월 7일 생, 2001년도 부경대 전기공학과 졸업, 2001년~현재 부산대 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : (051) 510-2770
Fax : (051) 513-0212
E-mail : shock707@hanmail.net



송 금 영(宋錦永)

1975년 9월 19일 생, 2001년도 부경대 전기공학과 졸업, 2001년도~현재 부산대 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : (051) 510-2770
Fax : (051) 513-0212
E-mail : tantalus1@hanmail.net

저 자 소 개



정 종 한(丁鍾漢)

부산대학교 전기공학과 석사졸업. 한국중공업 환경기술연구실 주임연구원. 現 부산대학교 전기공학과 박사수료. 現 창원전문대학 전자통신과 연구교수
Tel : (051) 510-2770
Fax : (051) 513-0212
E-mail : ivan1@hanmail.net



정 현 주(鄭賢株)

1975년 12월 5일 생, 2000년 부산대 전기공학과 석사 졸업, 現 국방과학연구소 연구원, 부산대 박사과정
Tel : (051) 510-2770
E-mail : hyunju30@hanmail.net



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 한국전기연구원 연구원. 1985년~1990년 일본 큐슈대학원 연구생 및 박사과정. 1990년 동 대학원 에너지변환공학전공 졸업(공학박사). 1990년~1995년 한국전기연구원 선임연구원. 1995년~현재 부산대학교 공과대학 전자전기정보컴퓨터공학부 부교수.
Tel : (051) 510-2364
Fax : (051) 513-0212
E-mail : heeje@pusan.ac.kr