

# Cascading 방식을 적용한 펄스발생기의 펄스전압 변성 및 Cascading 비율 특성

論 文

50C-7-3

## A Study on the Pulse Peak Voltage and Cascading Ratio of Compact Pulse Generator using Cascading Method

丁 鍾 漢\*\* · 金 熙 濟\*\*\*  
(Jong-Han Joung\*\* · 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. A pulse energy efficiency for load depends on the rising time, peak value, pulse duration and impedance matching, etc. The pulse generator generally required for short pulse duration and high peak value was forced to consider its volume and economy. In this study, developing a compact pulse generator that applied for cascading method to be made of two pulse transformers, we compared cascading voltage with non cascading one by applying the pulse energy to load. Adopting cascading technique to pulse transformer, we found that average cascading voltage was about 60[%] of theoretical value. Maximum cascading ratio was calculated at 60 times compared with non cascading voltage.

**Key Words** : impedance matching, peak value, pulse generator, pulse transformer, cascading voltage, non cascading voltage, cascading ratio

### 1. 서 론

전자기에너지를 시·공간적으로 압축시켜 순간적으로 대전력을 얻을 수 있는 급준 임펄스는 매우 널리 응용되고 있다.<sup>[1, 2]</sup> 현재 환경에 사용되는 대표적인 응용으로서는 분진(Dust)을 제거하기 위한 전기집진기<sup>[6-7]</sup>, 펄스코로나 방전을 이용하여 플랜트의 배연가스를 제거하기 위한 탈황/탈질 전원시스템<sup>[3-5]</sup>, 폐수처리, X선 발생장치, 오존발생기, 레이저발생 전원 등에 사용되고 있으며, 더욱 실용적이고 경제적인 펄스발생장치를 이용하여 환경오염원을 해결하기 위해 많은 나라들의 관심이 고조되고 있다.

방전을 이용한 환경오염원 처리를 위해서는 임펄스 전압 및 전류의 지속시간이 충분히 짧고 빠른 상승률을 갖는 펄스 전압을 발생시킬 수 있는 펄스 발생장치가 필요하다. 펄스전압 생성 방법은 PFN(Pulse Forming Network)으로 구성된 콘덴서에 충전된 전압을 독립된 펄스변압기에 인가함으로써 펄스전압을 생성시킬 수 있다<sup>[8]</sup>. 화력발전소의 배기가스를 제거하기 위한 탈황/탈질 시스템에 사용되는 펄스발생기는 출력전압 수 100[kV], 펄스 상승시간 200~500[ns], 펄스 폭 500[ns] 정도를 요구한다<sup>[3-5]</sup>. 또한, 독립된 펄스변압기를 이용하여 짧은 펄스지속 시간과 높은 첨두치의 펄스에너지를 얻기 위해서는 펄스변압기의 부피가 증가되며, 더불어 절연문제도 고려해야 된다.

따라서, 본 연구에서는 위의 조건을 만족시키면서 부피가 작은 콤팩트 펄스발생기를 제작 하여 실험한 결과를 나타내었다. 본 연구에 사용된 펄스변압기는 기존의 독립된 펄스변압기를 사용하는 대신 종속접속방식(Cascading method)을 적용한 펄스변압기를 사용하였으며, 부하저항에 종속접속된 펄스변압기의 출력전압을 인가한 경우 펄스변압기의 변성 특성 및 종속율(Cascading ratio)을 비종속접속 방식(Non cascading method)과 비교 검토하였다. 종속접속 방식은 두 펄스변압기를 종속접속한 소형 펄스변압기로서 첨두 펄스전압을 발생시키기 위하여 본 연구에 사용된 펄스전압 발생방법이다. 그 결과 종속접속된 펄스변압기의 평균 펄스전압은 이론치의 60[%]를 얻을 수 있었으며, 이론치와 측정치의 비율인 종속율은 60을 얻었다. 또한, 수[ $\mu$ s]의 펄스지속시간, 수 100[ns]의 상승시간 및 수 10[kV]의 첨두값, 수 10 ~ 100회의 반복을 갖는 안정적인 임펄스 전압을 얻을 수 있었다.

### 2. 펄스발생기(Pulse Generator)

#### 2.1 펄스발생회로

펄스 발생회로는 그림 1과 같다. 그림 1에서 펄스발생기는 크게 3부분으로 구성된다. M.C.C는 펄스변압기에 에너지를 공급하기 위한 충전부이며, Transformers는 종속접속 및 비종속 접속된 펄스변압기 회로이며, SCR Control Circuit는 SCR의 게이트신호 제어부이다. 회로 동작을 간단히 설명하면 콘덴서 C1, C2, C3에 충전된 전압은 SCR(Silicon Controlled Rectifier)의 게이트 신호에 의해 Tr1의 인덕터에 저장된 펄스에너지를 종속접속된 Tr2로 전달시켜 최종적으로

\* 準 會 員 : 釜 山 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程  
\*\* 正 會 員 : 釜 山 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程  
\*\*\* 正 會 員 : 釜 山 大 電 氣 工 學 科 副 教 授 · 工 博  
接受日字 : 2001年 2月 22日  
最終完了 : 2001年 6月 13日

부하저항에 펄스에너지를 공급하게 된다. 그림 1에서 Tr1의 권수비는 1 : 8이며, Tr2의 권수비는 1 : 20으로 설계하였으며, 그 때의 커패시턴스 및 인덕턴스 값은 다음과 같다. C3=0.5[μF], Lp1=11[μH](Primary inductance of Tr1), Ls1=720[μF](Secondary inductance of Tr1), Lp2=720[μH](Primary inductance of Tr2), Ls2=280[mH] (Secondary inductance of Tr2)이다. 그리고, 결합계수 K는 0.78이다.

M.C.C의 V1은 입력전압으로 최소 입력전압 30[V]에서 최대 180[V]까지 가변시켜 콘덴서에 충전할 수 있다. Tr1과 Tr2는 그림 1과 같이 기존의 방식에 비해 새롭게 적용한 종속접속 방식으로 회로를 구성하였으며, 부하는 권선저항을 사용하여 임펄스 파형을 관찰할 수 있도록 설계하였다. 단위체 적당 커패시터 및 인덕터에 의한 축적에너지는 각각 식(1), (2)와 같으며, 에너지축적에 의한 인덕터 권선의 주울손실 (Joule loss) 및 인덕터에 저장된 총 축적에너지는 각각 식(3), (4)에 의해서 구할 수 있다. 또한, 인덕터의 축적에너지에 대한 손실의 비는 식(5)와 같으며, 식(6)은 펄스변압기를 설계할 때 고려한 식이다.<sup>[8]</sup>

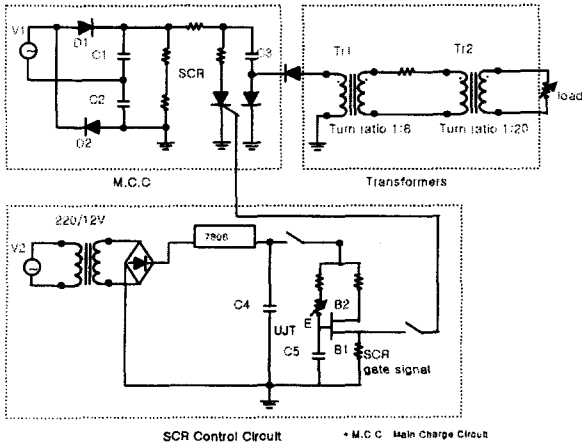


그림 1 펄스발생기 및 SCR 제어회로  
Fig. 1 Schematic of pulse generator and SCR control circuit

$$W_E = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} \epsilon E^2 = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\epsilon} [J/m^3] \quad (1)$$

$$W_H = \frac{1}{2} BH = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} [J/m^3] \quad (2)$$

$$W_L = \int_0^T Ri^2 dt = \frac{I^2}{3} RT [J] \quad (3)$$

$$W_I = \int_0^T vidt = \int_0^I Lidt = \frac{1}{2} LI^2 [J] \quad (4)$$

$$\frac{W_L}{W_I} = \frac{2}{3} \frac{T}{\tau} \quad (5)$$

$$L = \frac{\mu A_e}{l} N^2 [H] \quad (6)$$

단, E : 전기장도[V/m], ε : 유전율[F/m], D : 전속밀도 [C/m<sup>2</sup>], B : 자속밀도[wb/m<sup>2</sup>], H : 자계강도[wb/m], μ : 투자율[H/m], l : 자로길이[m], A<sub>e</sub> : 자속이 통과하는 단면적 [m<sup>2</sup>], N : 권수이다.

## 2.2 실험장치 구성도

그림 2는 실험장치의 구성도를 나타내었다. 그림 2와 같이 Tr1의 출력과 Tr2의 양단에 전압분배기(모델명 : North-Star 1:1000) 및 전류변성기(모델명 : Pearson Currenter Monitor 4977, 1:100)를 사용하여 출력전압을 오실로스코프(모델명 : LeCroy 9310AM)를 이용하여 측정하였다. 그림 3.A는 SCR의 게이트신호를 나타낸 그림이다.

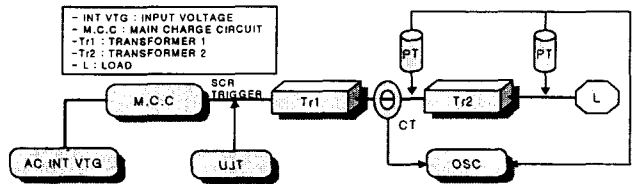


그림 2 실험장치 구성도  
Fig. 2 Schematic diagram of experimental equipment

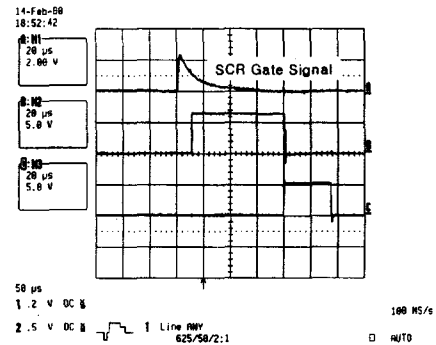


그림 3 SCR 게이트 트리거 신호  
Fig. 3 Gate trigger signal of SCR

## 3. 실험결과

### 3.1 부하저항 12[kΩ]인 경우 캐스캐이드 펄스전압 특성

그림 4, 5는 각각 입력전압 180V를 콘덴서 C1, C2에 충전하여 종속접속방식의 펄스변압기출력단에 부하저항 12[kΩ], 24[kΩ]을 접속하여 방전시킨 경우 Tr1<sub>out</sub>(Tr1의 2차측), Tr2<sub>out</sub>(Tr2의 2차측)의 펄스 전압파형을 나타낸다. 펄스 상승시간은 300[ns], 펄스폭은 2[μs] 침투전압은 Tr1<sub>out</sub>인 경우 이론치인 4[kV]의 28[%]에 해당하는 1.1[kV], Tr2<sub>out</sub>인 경우 이론치 80[kV]의 63[%]에 해당하는 50[kV]의 펄스전압을 얻을 수 있었다. 부하저항을 통해 10[μs] 내에 방전시킨 경우 그림과 같이 정부의 침투전압을 나타내며, 이는 임피던스 부정합에 기인하는 것으로 부하저항값을 조절하면 부펄스 전압은 감소한다. 하지만, 실제로 저항대신에 방전전극(침대 침전극 혹은 평판대 평판전극)을 사용하여 실험한 경우와 유사한 조건을 위해 권선저항을 임피던스 정합 값보다 적은 값으로 설정하여 실험하였으며, 방전 전극사이에 나타나는 부펄스 전압의 변화에 따른 기체전리효과를 차후에 연구하고자 한다. 그림 6은 입력전압을 60[V]에서 180[V]까지 증가시킨 경우의 Tr1<sub>out</sub> 및 Tr2<sub>out</sub>의 펄스 출력전압의 상승률을 나타낸다.

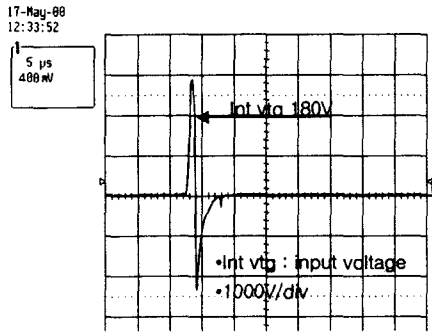


그림. 4 Tr1\_out의 전압파형

Fig. 4 Voltage waveform of Tr1\_out

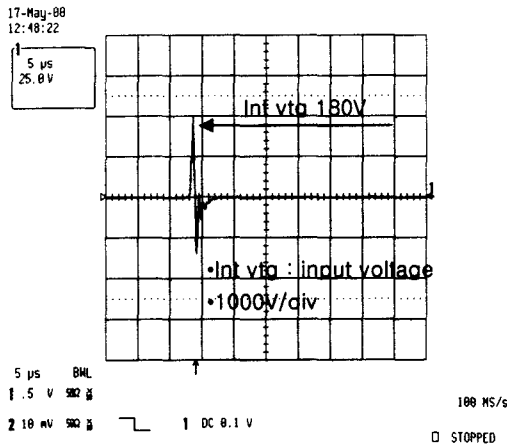


그림. 5 Tr2\_out의 전압파형

Fig. 5 Voltage waveform of Tr2\_out

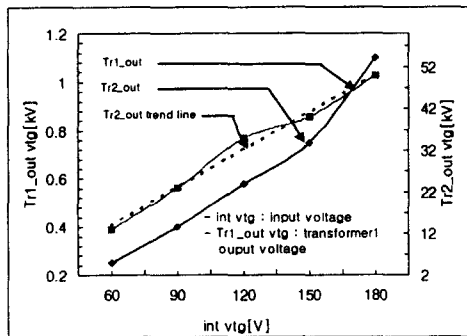


그림. 6 Tr1\_out 및 Tr2\_out 출력전압 상승률

Fig. 6 Increment ratio of Tr1\_out & Tr2\_out Voltage

그림 6과 같이 인가전압에 따른 침두 펄스전압의 변화는 선형성에 가까움을 볼 수 있으며, 포화상태에 도달하지 않은 것으로 입력전압이 증가한다면 펄스 출력전압(Tr2\_out : Cascading Voltage)의 상승여지가 충분히 가능함을 알 수 있다. 소형트랜스의 결합계수(k)를 1로 가정한 경우의 이론치 및 측정치의 비율에 대한 값을 표 1에 나타내었다.

표 1에서 T.V(Theoretical Value)로서 펄스변압기의 이론치 출력전압이며, M.V(Measured Value)로서 출력전압이며,

M/T (Measured/Theoretical Value)는 출력전압의 이론치에 대한 측정치이다. 그 식은 각각 다음과 같다. 단,  $V_{T.V}$ 는 이상적인 경우의 이론치이며,  $V_{M.V}$ 는 이론치에 대한 측정치의 비율을 나타낸 값이다. 아래식에서  $V_3$ 는 콘덴서 C3의 충전전압,  $a_1, a_2$ 는 각각 Tr1 및 Tr2의 권수비이다.

$$V_{T.V} = V_3 * a_1 * a_2 [V] \quad (7)$$

$$M/T = \frac{V_{M.V}}{V_{T.V}} * 100 [\%] \quad (8)$$

표 1에서와 같이 Tr2\_out M/T의 평균값은 결합계수(k)를 1로 계산한 이론치의 58[%] 정도의 값을 가지므로, 펄스변압기 설계시 충분히 고려되어야 하는 값이다. 저압의 교류 입력전압을 인가하여 펄스상승시간 300[ns], 펄스폭 2~5[μs], 침두전압 50[kV]이상의 캐스케이딩된 임펄스를 비교적 컴팩트한 소형 펄스발생기를 이용하여 얻을 수 있었다.

표. 1 Tr1\_out 및 Tr2\_out의 이론치와 측정치 비율

Table 1. Measured/Theoretical Value of Tr1\_out & Tr2\_out

Int vlg [V]	Tr1_out T.V [kV]	Tr2_out T.V [kV]	Tr1_out M.V [kV]	Tr2_out M.V [kV]	Tr1_out M/T [%]	Tr2_out M/T [%]
60	1.3	26	0.25	13	19	50
90	2	40	0.4	23	20	56
120	2.7	54	0.57	35	21	65
150	3.4	68	0.75	40	22	58
180	4	80	1.1	50	28	63

그림 7은 Tr1\_out M/T 와 Tr2\_out M/T의 비율을 나타내었다. 그림과 같이 출력전압의 변화는 입력전압이 증가하여도 큰 변화가 없이 입력에 대해 58[%] 이상의 비율을 나타내며, 이는 캐스케이딩 방식으로 승압을 시킬 경우 이론치의 평균 58[%] 이상의 승압된 침두전압을 얻을 수 있으며, 부하와 임피던스 정합시킨 경우 그 이상의 침두전압을 얻을 수 있다.

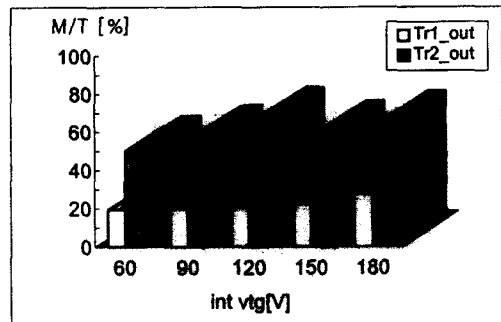


그림. 7 Tr1\_out M/T 와 Tr2\_out M/T의 비율

Fig. 7 M/T ratio of Tr1\_out M/T & Tr2\_out M/T

표 2는 Tr1\_out M.V & Tr2\_out M.V의 종속율을 나타낸다. 종속율은 종속접속된 펄스변압기의 출력과 비종속접속된 펄스변압기의 출력 관계를 나타내주는 값이다. 따라서, 표 2

에서 살펴보면 입력전압 120[V]에서 종속율이 60으로 최대로 나타났다. 이는 측정된 펄스전압을 기준으로 한 경우로서 펄스전압 변성이 종속접속된 펄스변압기의 출력전압이 비종속 접속된 펄스변압기의 펄스전압보다 최대 60배정도 크게 나타났음을 의미하는 값이다.

동일한 권수비( $\alpha$ ) 조건에서 Tr1의 2차측 권선수와 Tr2의 1차측 권선수는 철두 펄스전압의 변성과 밀접한 관계가 있다. 즉,  $\alpha$ 가 동일한 조건에서 Tr1의 2차측 권선수에 비해 Tr2의 1차측 권선수를 작게 한 경우에는 부하저항에 나타나는 펄스 출력전압이 감소한 결과를 얻었다. 이는 Tr1의 2차측과 Tr2의 1차측으로 구성되는 펄스변압기의 특성에 기인하는 것으로 동일한 권수비로 설계된 펄스변압기라 하더라도 권선수 즉 인덕턴스값에 따라서 펄스 출력전압이 변동하게 되기 때문이다. 따라서, 동일한 권수비에서 최대의 철두전압을 얻기 위해서는 Tr1의 2차측 인덕턴스와 Tr2의 1차측 인덕턴스값이 동일한 경우 승압의 최적 효과를 얻을 수 있다.

표. 2 Tr1\_out M.V & Tr2\_out M.V의 종속율  
Table. 2 Cascading ratio of Tr1\_out M.V & Tr2\_out M.V

Int vtg[V]	Tr1_out M.V[kV]	Tr2_out M.V[kV]	Cascading ratio
60	0.25	26	52
90	0.4	40	57
120	0.58	54	60
150	0.75	68	53
180	1.1	80	46

- \* M.V : Measured value
- \* cascading ratio(종속율)= Tr2\_out M.V/ Tr1\_out M.V

3.2 부하저항 24[k $\Omega$ ]인 경우 캐스케이드 펄스전압 특성

그림 8은 입력전압을 60[V]에서 180[V]까지 증가시킨 경우의 Tr1\_out 및 Tr2\_out의 펄스 출력전압의 상승률을 나타낸다. 부하저항 12[k $\Omega$ ]의 Tr1\_out 및 Tr2\_out의 출력과 유사한 특성을 나타낸다.

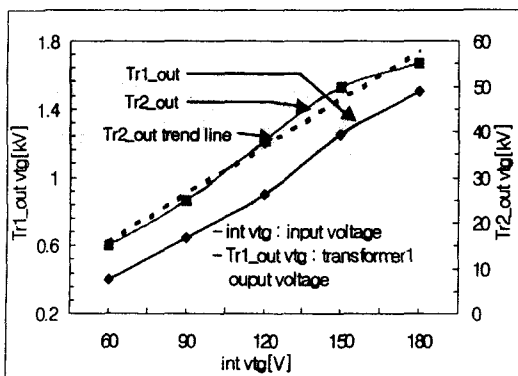


그림. 8 Tr1\_out 및 Tr2\_out의 전압 상승률  
Fig. 8 Voltage increment ratio of Tr1\_out & Tr2\_out

표 3은 Tr1\_out 및 Tr2\_out의 이론치와 측정치 비율을 나타낸다. 부하저항값의 상승으로 표 1과 비교해서 M/T가 증가하는 결과를 얻을 수 있다. 이는 부하저항의 증가로 인한 전압상승 효과이다.

그림 9는 부하저항에 따른 전압 상승률을 나타내는 그림으로 캐스케이딩된 전압은 평균적으로 이론치 펄스 출력전압의 60[%]까지 승압이 가능함을 나타낸다.

표. 3 Tr1\_out 및 Tr2\_out의 이론치와 측정치 비율  
Table 3. T.V and M/T of Tr1\_out, Tr2\_out

Int vtg[V]	Tr1_out T.V[kV]	Tr2_out T.V[kV]	Tr1_out M/T [%]	Tr2_out M/T [%]
60	1.3	26	31	56
90	2	40	33	63
120	2.7	54	33	70
150	3.4	68	37	73
180	4	80	38	69

- \* T.V : Theoretical Value
- \* M/T : Measured/Theoretical Value

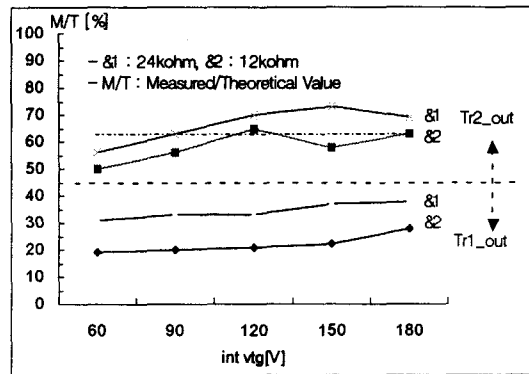


그림. 9 부하저항에 따른 전압 상승률  
Fig. 9 Voltage increment ratio according to load resistor

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 독립된 펄스변압기를 사용하는 대신 종속접속 방식을 적용한 펄스변압기를 사용하였으며, 부하저항에 종속접속된 펄스변압기의 출력전압을 인가한 경우 펄스 변압의 변성 특성 및 종속율을 비종속접속 방식과 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존의 펄스 발생방식과는 다른 방식으로서 펄스발생기에 종속접속방식을 적용하여 실험한 결과 수[ $\mu$ s]의 펄스 지속시간, 수 100[ns]의 상승시간 및 50[kV]이상의 철두값을 갖는 안정적인 펄스전압을 얻었다.
- 2) 부하저항 12[k $\Omega$ ] 및 24[k $\Omega$ ]에 임펄스를 인가한 경우 Tr2\_out의 평균 전압 상승률은 이론치의 60[%]이상을 얻었으며, 입력전압의 증가에 대하여 출력전압은 포화

- 없이 선형적으로 증대하였으므로, M.C.C의 입력전압 V1을 더욱 증가시키면 출력전압이 상승한다.
- 3) 입력전압 120[V]에서 종속율이 60으로 최대로 나타났다. 이는 측정된 펄스전압을 기준으로 한 경우로서 펄스전압 변성이 종속접속된 펄스변압기의 출력전압이 비종속접속된 펄스변압기의 펄스전압보다 최대 60배정도 크게 나타났음을 의미하는 값이다.
  - 4) 동일한 권수비( $\alpha$ ) 조건에서 Tr1의 2차측 권선수와 Tr2의 1차측 권선수는 첩두 펄스전압의 변성과 밀접한 관계가 있었으며, 특히 펄스전압 변성의 최적 효과를 얻기 위해서는 Tr1의 2차측 인덕턴스와 Tr2의 1차측 인덕턴스 값을 동일하게 한 경우 얻을 수 있다.
  - 5) 수 [ $\mu$ s]의 펄스지속시간 및 수 10[kV] 이상의 첩두값을 필요로 하는 전원장치 및 환경분야의 소형 배가스 처리를 위한 전원장치 등에 종속접속방식을 적용한 펄스발생기를 적용한다면 효과가 클 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 原雅則, 秋山 秀典, 高電壓 パルスパワー工學, 森北出版株式會社.
- [2] 小紫典居, パルストランスと應用回路, 産報出版.
- [3] 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.
- [4] E. M. van Veldhuizen, Y. L. M. Creyghton, and W. R. Rutgers, "High resolution schlieren study of pulsed corona," presented at the 4<sup>th</sup> Int. Conf. On ESP, Beijing, China, 1990.
- [5] Bernie M. Penetrate, Shirley E. Schultheis, Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Springer-Verlag, 1992.
- [6] 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.
- [7] H. J. Hall, "History of pulse energization in electrostatic precipitation," J. electrostatics, vol. 25, pp. 1-22, 1992.
- [8] 京都 ハイパワーテクノロジー研究會, パルスパワー工學の基礎と應用, 近代出版社.

## 저 자 소 개



정 종 한 (丁 鍾 漢)

부산대 전기공학과 졸업(석사). 한국중공업 환경기술연구실 주임연구원. 現 부산대 전기공학과 박사과정. 現 창원전문대학 전자통신과 연구교수

Tel : 051-510-2770, Fax : 051- 513-0212  
E-mail : ivan1@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 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