

Forward형 고압펄스 전원장치를 적용한 오존발생 시스템의 개발

論文
52B-7-6

Development of Ozone Generating System Applying Forward Type High Voltage Pulse Power Supply

金東熙* · 元載善** · 金京植*** · 李廣植* · 鄭道永[§] · 吳昇勳^{§§}
(Dong-Hee Kim · Jae-Sun Won · Kyeong-Sik Kim · Kwang-Sik Lee ·
Do-Young Jung · Seung-Hoon Oh)

Abstract - This paper presents a forward type high voltage pulse power supply for high voltage small current, which can be designed as a simple circuit configuration and managed easily using Power-MOSFET in the view of commercialization. According to the switching frequency, coupling factor(k) and duty ratio(D), the principle of basic operation and the characteristics of the proposed pulse power supply are estimated. Simulation results have demonstrated the feasibility of the proposed pulse power supply. Also experimental results are presented to verify theoretical discussion with a lamp type ozonizer as a load. For studying the application at the part of environment of water, When ozonizer gas reacts with a colon bacillus, the sterilization characteristics of a colon bacillus according to the ozone concentration and response time have been investigated. This proposed pulse power supply will be able to be practically used as a pulse power supply in various environment improvement facilities like sterilization of colon bacillus, deodorization, and Nox gas elimination.

Key Words : High voltage pulse power supply, Forward type, Lamp type ozonizer, Ozone concentration

1. 서론

산업사회의 발달로 대기 및 수질오염 등이 리우환경회의 이후, 심각한 국제 환경파괴 문제로 부각되고 있다. 국내에서도 화석연료의 연소 시에 발생하는 대기 오염물질로 인한 자연환경 파괴가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 환경오염물질의 제거나 발생저감을 위한 대책의 하나로 전기적 방전으로 발생하는 오존화 가스를 이용하여 환경을 정화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1][2][3] 전기적 방전을 발생시키기 위해서는 고압 펄스전원장치가 필요불가결하며 그 응용분야로는 환경정화뿐만 아니라 반도체의 고집적화에 따른 미세가공, 어류 양식분야 그리고 수술용 레이저 및 X-ray발생 등에 이르기까지 광범위하다.[4][5][6] 고전압 대전류를 요구하는 종래의 고압 펄스전원장치는 상용주파수 전원을 입력으로 하여 콘덴서의 충·방전 전압에 의한 고전압 발생기(Pulse Generator)가 일반적으로 사용되어 왔고, 이 장치는 외형이 크고 취급도 불편하고 가격면에서도 고가이다. 상술한 바와 같이 전기적 방전을 이용한 응용분야가 다양화됨에 따라 펄스전원장치도 고전압 소전류용이 요구되

고 있다.[7][8] 최근에 전력용 반도체 스위칭 소자가 고속 개발 실용화됨으로써 이를 이용한 고전압 소전류용 펄스전원장치도 소형·경량화가 가능하게 되었다.[9][10][11]

본 연구는 상용화의 관점에서 회로구성이 간단한 Forward형의 회로를 연구대상으로 선정하고, 고속스위칭이 가능한 Power-MOSFET를 스위칭 소자로 사용한 고압 펄스전원장치를 구성하였을 경우, 기본 동작원리 및 듀티비에 따른 제 특성 등에 관하여 회로해석에서 얻은 이론치를 기초로 하여 정량적으로 기술하였다.

제작한 펄스전원장치에 램프형 오존발생기(Lamp type ozonizer)를 부하로 하였을 경우, 전원장치의 방전전압 및 주파수 변화에 따른 방전특성 등을 검토하였다. 더욱이, 제작한 펄스전원에 의해 구동되는 램프형 오존발생기에 대한 수질환경 개선분야로의 적용가능성을 연구하고자 오존발생장치로부터 생성된 오존화 가스를 대장균에 반응시켰을 때 오존생성농도 특성 및 반응시간 변화에 따른 대장균의 살균 특성도 조사하였다.

2. Forward형 고압 펄스 전원장치

2.1 회로구성 및 회로해석

그림 1은 본 논문의 연구대상회로인 Forward형 고압 펄스 전원장치의 기본회로구성을 나타내고 있다. 회로구성은 스위치(Power-MOSFET(S_M))와 스위치가 차단될 때 고주파 변압기(High-Frequency Transformer : HF. Tr.)의 축적에너지를 방출시켜주는 경로로 사용하는 환류다이오드(D_3 , D_4)

* 正 會 員 : 嶺南大學校 工大 電子情報工學部 教授 · 工博
** 正 會 員 : 嶺南大學校 大學院 電氣工學科 博士修了
*** 正 會 員 : 慶北專門大 디지털電氣디자인科 助教授 · 工博
§ 正 會 員 : 三陟大學校 컴퓨터應用制御工學科 教授 · 工博
§§ 正 會 員 : 東海大學校 情報通信工學科 助教授 · 工博
接受日字 : 2003年 1月 22日
最終完了 : 2003年 5月 15日

그리고 입·출력간에 절연뿐만 아니라 권선비에 의해서 출력전압값을 결정하는 고압 변압기로 구성되어있다. 또, 출력 펄스전압값은 브리지 정류회로에 사이리스터(Thy1, Thy2)의 위상각(α)에 의해 제어되며 그 값은 $E_d = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$ 로 된다. 여기서, V_m 은 교류입력전압의 최대값이다.

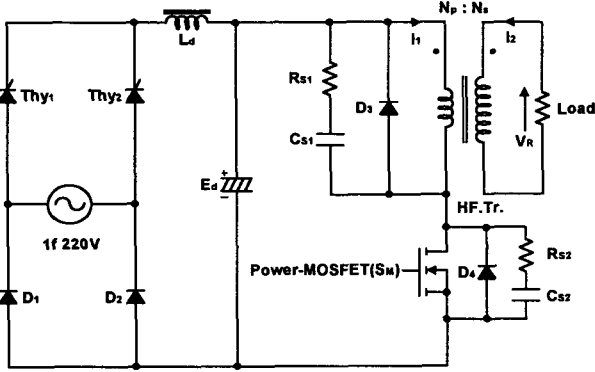


그림 1 Forward형 고압 펄스 전원장치
Fig 1 Forward type high voltage pulse power supply

그림 1의 회로의 동작모드는 Power-MOSFET(S_M)과 다이오드(D_3)의 온·오프에 따라 두 개의 동작모드로 분류된다. 모드 1은 Power-MOSFET(S_M)가 온 하면 입력전압 E_d 가 변압기의 1차 권선 N_p 에 인가되고, N_p 에 축적된 자계 에너지가 2차 권선 N_s 에 같은 극성으로 전압이 전달되어 부하측에 구형파 펄스전압이 인가되는 모드이다. 모드 2는 Power-MOSFET(S_M)가 오프하면 고압 펄스 변압기의 1차측으로부터 부하측으로의 전력전달이 없어지고, N_p 에 축적된 자계 에너지는 다이오드(D_3)를 통해서 감소하는 동작모드이다. 각 모드의 회로동작에 대한 회로방정식을 벡터-행렬 형태로 표현하면 식 (1)과 같고, 전압과 전류의 기준방향은 그림 1과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= A \cdot X + B \cdot U \\ Y &= C \cdot X \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $X = [i_1(t) \ i_2(t) \ v_R(t)]^T$, $U = [1 \ 1 \ 0]^T$ 이고 각 모드별 A, B, C 는 다음과 같다.

Mode 1

$$A = \begin{bmatrix} \frac{L_2 R_1}{(M^2 - L_1 L_2)} & -\frac{M R_2}{(M^2 - L_1 L_2)} & -\frac{M}{(M^2 - L_1 L_2)} \\ -\frac{M R_1}{(M^2 - L_1 L_2)} & \frac{L_1 R_2}{(M^2 - L_1 L_2)} & \frac{L_1}{(M^2 - L_1 L_2)} \\ 0 & \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{L_2 E_d}{(M^2 - L_1 L_2)} & \frac{M E_d}{(M^2 - L_1 L_2)} & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$C = [0 \ 1 \ 0]$$

Mode 2

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{M R_2}{(M^2 - L_1 L_2)} & -\frac{M}{(M^2 - L_1 L_2)} \\ 0 & \frac{L_1 R_2}{(M^2 - L_1 L_2)} & \frac{L_1}{(M^2 - L_1 L_2)} \\ 0 & \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}$$

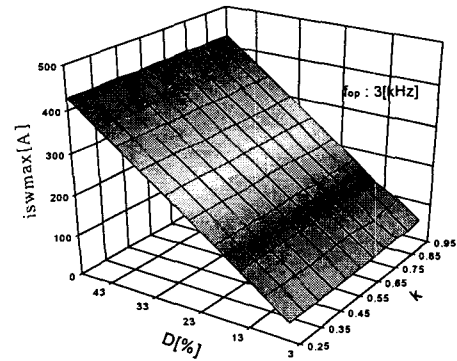
$$B = [0 \ 0 \ 0]^T$$

$$C = [0 \ 1 \ 0]$$

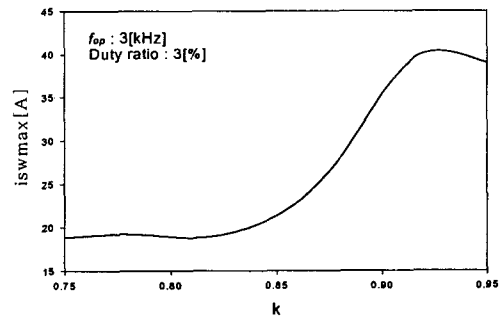
각각의 모드(Mode 1과 Mode 2)에서,
 R_1, R_2 : 1차 및 2차측 권선저항, C : 2차측 표유정전용량

2.2 특성평가

그림 2(a)는 출력펄스전압의 동작 주파수(f_{op} : operating frequency))를 3[kHz]로 고정하고 고주파 변압기의 결합계수(k)와 듀티비(D)를 변화시켰을 때, 스위치에 흐르는 최대 전류(i_{swmax} [A]) 특성을 나타내고 있으며, 그림 2(b)는 f_{op} 를 3[kHz], 듀티비를 3[%]로 고정하고 결합계수(k)를 변화시켰을 때 스위치에 흐르는 최대전류특성을 나타내고 있다.



(a)



(b)

그림 2 스위치 전류의 최대치 특성
Fig 2 i_{swmax} [A] characteristics

그림 2(a)의 경우는 듀티비의 변화에 따라 스위치에 흐르는 전류가 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 주회로의 1차 전류는 $(E_d \cdot t)/L$ 로 주어지므로 듀티비가 증가하면 스위치의 도통기간이 길어지므로 스위치 흐르는 전류도 시간에 따라 비례적으로 증가하기 때문이다. 또, 그림 2(b)의 경우 결합계수(k)가 증가함에 따라서 스위치에 흐르는 전류가 증가하고 있음을 알 수 있다.

그림 3은 f_{op} 를 3[kHz]로 하고 결합계수(k)와 듀티비 D[%]를 변화시켰을 경우의 무부하시 최대 출력전압특성을 나타내고 있다. 결합계수가 증가함에 따라서 출력전압이 증가함을 알 수 있다. k가 작아짐에 따라 출력전압이 서서히 감소하는 것은 변압기 1차측으로 흐르는 전류에 의한 자계 에너지가 낮은 결합계수 때문에 2차측으로 잘 전달하지 못하기 때문이다. 결합계수가 증가하면 밀결합 상태로 되어 누설자속이 감소하여 에너지 전달이 효율 좋게 되므로 출력전압은 증가하는 것으로 나타난다. 또한, 동일한 k에 대하여 k가 0.85이상일 경우에는 D[%]가 증가하여도 $V_{Rmax}[V]$ 의 변화는 거의 일어나지 않고 일정한 출력전압 값을 가지는 특성을 보여주고 있다.

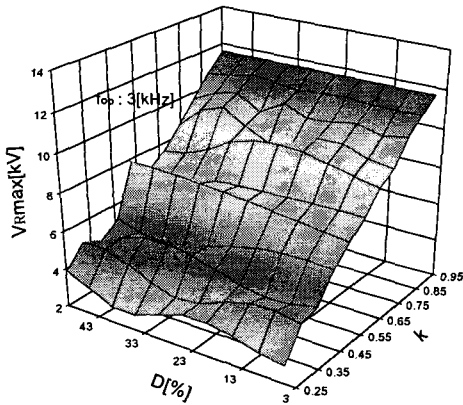


그림 3 최대 출력전압특성
Fig. 3 $V_{Rmax}[kV]$ characteristics

3. 고압 펄스전원장치의 제작

그림 4는 그림 1의 주회로 구성을 기본으로 하여 제작한 포워드형 고압 펄스전원장치의 각 부분별 블록도를 보여주고 있다. 펄스전원장치의 블록도는 펄스신호를 발생하는 PWM 신호발생부, 드라이브부, 제어회로부 그리고 스위칭부, 고압 펄스변압기(HF. Tr.) 및 부하인 램프형 오존발생기로 구성된다. 신호발생회로는 PLL제어소자로서 VCO기능을 가진 MC14046을 사용하여 기준클럭을 발생시키고 있으며, MC14528의 $R_d \cdot C$ 시정수를 이용하여 듀티비를 변화시켰다. 드라이브회로는 High-Voltage control IC인 IR2110을 사용하여 구동신호를 증폭해 MOSFET의 온·오프 동작을 시키고 있다. 또한, 과전류로부터 스위치를 보호하기 위해 스위치에 흐르는 전류를 CT에 의해 검출하여, 기준값 (150[A])보다 클 경우에는 오차증폭기로부터 출력된 전압이 드라이브회로에 인가되어 Power-MOSFET의 게이트 신호를 발생하지 않도록 하였다.

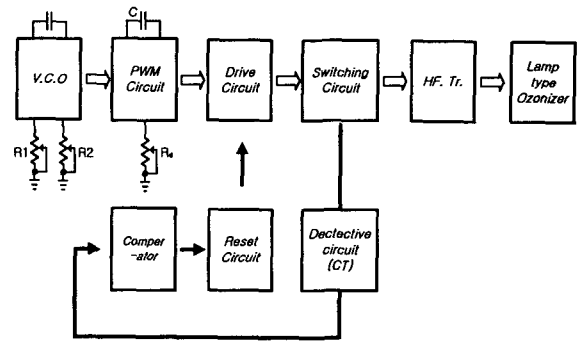


그림 4 펄스전원장치의 블록도
Fig 4 Block diagram of pulse power supply

고압 펄스전원장치에서 고압 펄스전압을 발생하기 위해 고주파로 동작하는 승압용 변압기가 필요하다. 이러한 고압 펄스변압기를 실제 제작함에 있어 우선적으로 고려하여야 할 사항은 1차와 2차권선의 절연과 펄스전압을 전송시 발생하는 권선간의 분포정전용량이다. 고주파 고압변압기의 설계에 있어서 1차권선은 단층구조로 구성하고 2차권선은 다층구조로 구성되어, 층간의 표유정전용량에 의한 무효전류가 흘러 펄스전원장치의 전력변환효율이 저하된다.

일반적으로 고압 펄스변압기의 제작 시 다음의 사항을 충분히 고려하여야 한다.[12][13][14]

- i) 자속이 포화하지 않도록 하기위해 강자성체이면서 고주파 특성이 양호한 페라이트 코어를 사용한다.
- ii) 사용철심은 동작주파수에서의 철손이 적은 것
- iii) 온도상승에 따른 포화자속밀도가 감소하지 않을 것
- iv) 권선배치는 1, 2차권선을 양분배치(1차 병렬, 2차 직렬) 할 것

본 논문에서는 상기의 사항을 고려하여 고압 펄스변압기의 권선배치는 1차권선을 병렬로 하여 대출력전류가 흐를 때 1차측의 누설인덕턴스를 격감할 수 있도록 하였고, 2차권선은 직렬로 4분할 설치하여 2차측의 표유정전용량을 최소화시켜 고속 스위칭시 출력펄스전압의 링킹현상을 가능한 억제시키는 구조로 하였다.

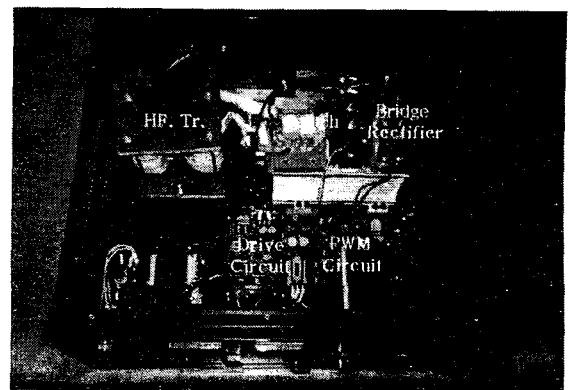


그림 5 제작한 펄스 전원장치의 외관
Fig. 5 Manufactured pulse power supply

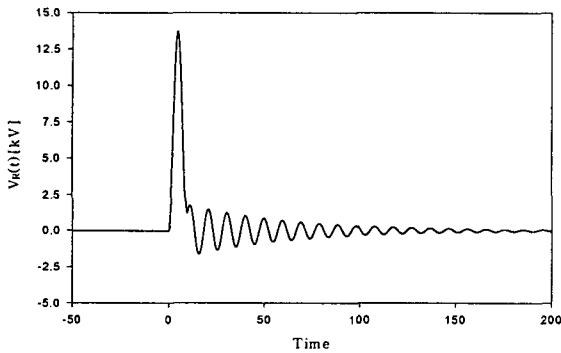
그림 5는 제작한 전원장치의 외관을 보여주고 있다. 전원 사양은 입력전압이 단상 220[V], 용량은 1.5[kVA], 사용주파수 범위는 0.4[kHz]에서 3[kHz], 무부하시 출력 펄스최대전압은 15[kV]이다. 제작한 펄스전원장치에 사용한 소자 및 정격은 표 1과 같다.

표 1 사용한 소자와 정격

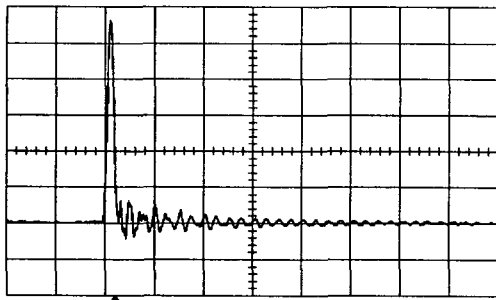
Table 1 Using elements and Ratings

	Using elements	Rating
1	Power-MOSFET	600[V], 400[A]
2	High Speed Diode	600[V], 100[A]×4
3	Primary winding	3.5[mm ²], 5[T]
	Secondary winding	0.25[mm ²], 200[T]
4	Ferrite Core (High frequency)	TDKH5A $B_m=3,500[wb/m^2]$

그림 6(a)는 출력 펄스전압의 동작주파수가 3[kHz]인 경우, 이론해석을 통해서 얻은 무부하시 출력펄스전압의 이론파형을 나타내고, 그림 6(b)는 실제 제작한 장치를 통해 얻은 무부하시의 출력펄스전압의 실측파형을 나타내고 있다.



Voltage : 2.5[kV]/div, Time : 50[μs]/div
(a) 이론 파형



Voltage : 2.5[kV]/div, Time : 25[μs]/div
(b) 실측 파형

그림 6 무부하시 출력 펄스전압
Fig. 6 Output pulse voltage in no load

그림 6(a)의 이론파형과 그림 6(b)의 실측파형은 출력펄스전압이 대략 14[kV]이고, 스위치 턴·오프 시에 링킹현상이 일어나고 있으며 이는 변압기의 권선간의 표유정전용량에 기인한 것이다. 그림 6(b)의 출력펄스전압의 피크값은 14[kV]이고 출력펄스전압이 최대값까지 도달하는 상승시간은 0.48~0.65[μs]이고, 전압 상승률은 4.3~5.8[kV]/200[ns]로 양호한 펄스출력전압이 출력됨을 알 수 있다. 이론해석에 의한 이론파형과 실측파형이 모두 동일한 경향을 보여주고 있으므로 이론해석의 정당성을 뒷받침하고 있다. 정의고전압의 최대점에 이를때까지 생성되는 방전구간의 상승시간이 짧아지면, 기저상태로 돌아갈 가능성이 있는 여기 산소분자를 해리·전리하게 되어 그 결과 생성된 산소원자와 분자가 결합하여 오존이 생성된다. 그리고 부로 발생하는 전압의 크기가 감소하고 리셋타임이 짧아지면 오존의 재결합이 줄어들어 고농도·고효율의 오존을 얻을 수 있다. 무성방전에 의하여 발생된 전자가 산소원자, 산소분자 및 여기 산소분자와 충돌하여 오존을 생성하는 시간폭은 μs로부터 ns로 갈수록 오존생성효율이 높은 것으로 알려져 있다[4].

4. 고압 펄스 전원장치에 의한 오존발생시스템

그림 7은 제작한 고압 펄스 전원장치와 응용부하로 사용한 램프형 오존발생기를 일체화하여 본 전원장치에서 출력되는 고압 펄스전압의 주파수의 변화에 따른 방전특성 및 오존생성농도특성 등을 검토하기 위하여 사용된 오존발생시스템의 배치도를 보여주고 있다. 오존생성농도는 램프형 오존발생기의 무성방전에 의하여 생성된 오존화 가스를 자외선 흡수 방식의 기상용 오존 모니터(0~100,000[ppm], Okitronics社, 일본)를 사용하여 매 실험마다 0.3[l/min]로 표본추출하여 측정하였다. 여기서 원료가스의 운송도는 특별히 조정하지 않았으며, 램프형 오존발생기로부터 오존 모니터까지의 거리는 3[m]로 하였다. 그리고 램프형 오존발생기의 방전특성을 조사하기 위하여 오존발생기로부터 출력되는 방전전압 및 그때의 파형을 측정하였다. 이때 전압파형은 고전압 probe(주파수 대역; DC~50[MHz], 내압 ; 50[kV], 분압비 ; 2000 : 1)에 의하여 감쇄된 전압을 Digital storage oscilloscope (LeCroy 9350AL, 500[MHz], 1[Gs/s]), 퍼스널 컴퓨터 및 프린터를 사용하여 분석하였다.

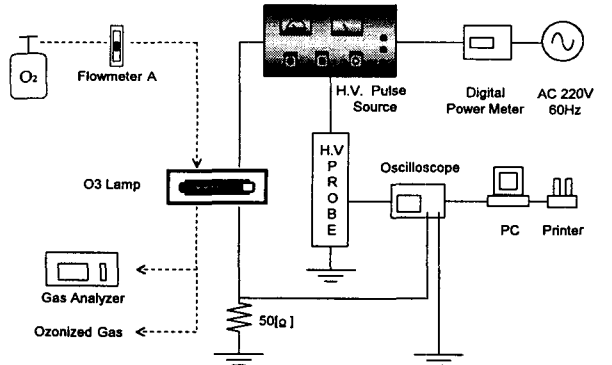


그림 7 오존 발생 시스템
Fig. 7 Ozone generating system

본 연구의 응용을 위한 대상부하(본 학과의 에너지 및 환경전자연구실에서 개발한 램프형)는 오존발생기를 사용하였고, 그림 8은 개발한 램프형 오존발생기의 외관을 보여주고 있다. 개발한 램프형 오존발생기는 내부전극과 외부전극을 장착하였고, 제작된 방전관의 외부표면과 외부전극 사이에 0.4[mm]의 공극이 유지되도록 구성함으로써 방전과 내부의 내부전극과 외부전극 사이의 공극에서 무성방전이 발생되도록 고안되어 있다. 이때, 외부전극은 두께가 0.01[mm]인 원통형 스테인레스망(stainless mesh, 길이 : 130[mm], 직경 : 40[mm])으로써 방전관이 삽입될 수 있도록 제작하였다.

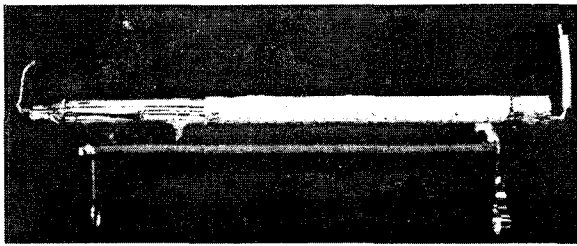


그림 8 램프형 오존발생기의 외관
Fig. 8 Photograph of lamp type ozonizer

그림 9는 방전전압을 10[kV]로 일정하게 하고 원료가스의 유량을 2[ℓ/min]로 하였을 경우 펄스출력주파수의 변화에 따른 오존생성농도특성을 나타내고 있다. 특성도에서 알 수 있듯이, 주파수가 동일할 때는 유량의 증감에 무관하게 출력전압펄스폭이 1.8[μs]인 경우가 2.2[μs]보다 오존생성농도가 높은 특성을 보여주고 있다. 상기특성은 제작한 전원장치의 전기적 특성의 관점에서 볼 때는 펄스출력전압의 주파수가 3.0[kHz]인 경우, 펄스폭이 1.8[μs]이면 듀티비가 5.4%, 2.2[μs]에서는 듀티비가 6.6[%]에 해당한다.

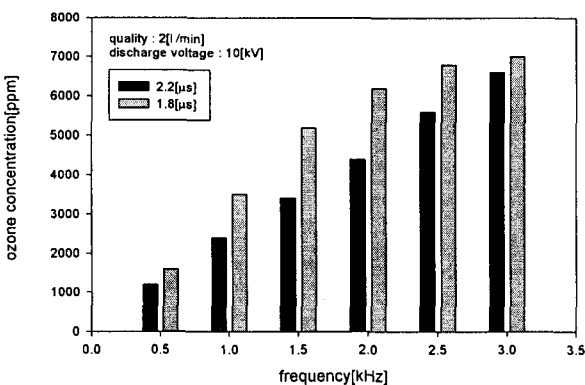


그림 9 주파수에 대한 오존생성농도특성
Fig. 9 Characteristics of frequency vs. ozone concentration

2.2절의 특성평가(그림 3 참조)에서 기술한 바와 같이 결합계수가 동일한 경우, 듀티비의 변화에 따른 펄스출력전압값의 변화는 거의 나타나지 않고 있음을 확인하였다. 또, 제작한 전원장치는 포워드형이므로 회로의 특성상 듀티비가 증

가할수록 1차권선과 Power-MOSFET(S_M)에 흐르는 전류만 증가시키는 결과로 주어진다. 특히 스위칭 소자인 Power-MOSFET(S_M)가 도통영역에서 차단영역으로 이행하는 순간 듀티비가 클수록 도통 시에 고주파 펄스변압기에 축적된 전자에너지를 처리하는 과정 즉, 고주파 펄스변압기를 리셋하기 위해 역전압과 링킹현상을 일으켜 오존생성을 저해하는 요소로 작용하고 있다고 생각된다. 따라서 적절한 듀티비의 선정은 오존생성농도에 영향을 미치는 하나의 파라미터로 고려되어야 할 사항이므로 듀티비의 선정에 주의를 기울여야 한다.

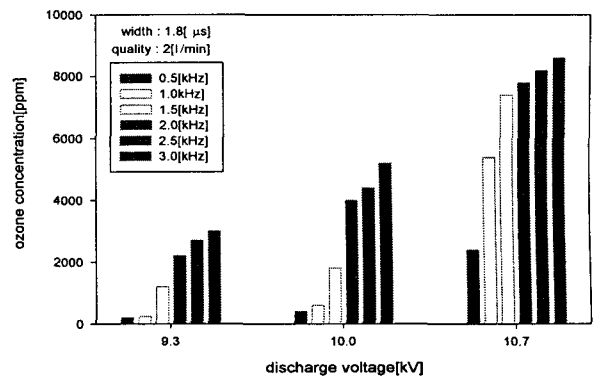
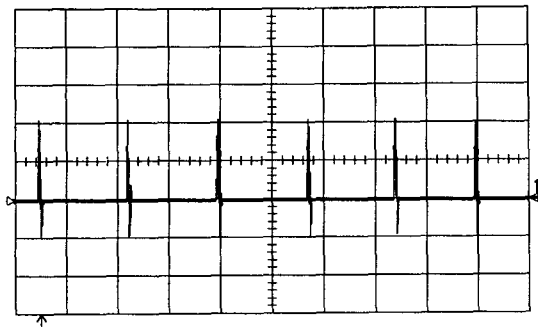


그림 10 방전전압과 오존생성농도특성
Fig. 10 Characteristics of discharge voltage vs. ozone concentration

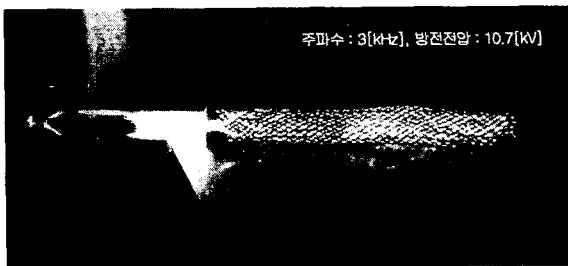
그림 10은 펄스출력전압폭이 1.8[μs], 유량 2[ℓ/min]일 때 주파수와 방전개시전압에 따른 오존생성농도특성을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 각 주파수에서 방전 전압이 증가됨에 따라서 오존생성농도가 상승하였고, 방전전압이 일정한 경우에는 주파수가 증가할수록 오존생성농도가 상승하였다. 방전전압이 10.7[kV]인 경우, 주파수의 변화에 따른 오존생성농도의 변화는 주파수의 증가에 따라 서서히 증가율이 떨어지고 있음을 나타내고 있다. 오존생성농도는 동일한 주파수에서 방전전압이 증가할수록 램프형 오존발생기의 무성방전이 활성화되어 공극에서 전자수가 상승하게 되어 무성방전에 의해서 발생한 전자가 산소원자, 산소분자 및 여기 산소분자와의 충돌확률이 높게 되어 오존생성농도가 상승하는 것이다. 그리고 방전전압이 동일할 때, 주파수가 높을수록 램프형 오존발생기의 공극에서는 무성방전의 발생수가 증가된 결과 무성방전에 의해 전자수가 상승하게 된다. 결국 전자에 의한 산소분자의 해리가 증가하게 되어 램프형 오존발생기의 오존생성반응이 활성화되어 오존생성농도가 상승하는 것이다.

그림 11(a)은 램프형 오존발생기를 운전시켰을 경우 펄스 전압이 안정적으로 공급되고 있음을 실측한 방전전압 파형을 나타내고, 그림 11(b)는 이때의 무성방전에 의해 발광하는 램프형 오존발생기의 외관을 촬영한 것이다. 사진에서와 같이 오존을 생성하는 반응이 활성화된다는 것을 확인할 수 있었다.



Voltage : 6.0[kV]/div, Time : 0.2[ms]/div

(a) 방전시 방전전압파



(b) 방전시 램프형 오존발생기의 외관

그림 11 방전시 램프형 오존 발생기의 방전전압파형 및 외관

Fig. 11 Waveform of discharge voltage and photograph of lamp type ozonizer in discharge

표 2는 오존발생시스템을 수질환경개선 분야로의 적용가능성을 연구하고자 오존발생기로부터 생성된 오존화가스를 대장균에 반응시켰을 때, 오존발생기의 오존생성농도가 각각 470, 660 및 1100[ppm]일 때, 대장균(Escherichia coli, 이하 EC)의 살균율(EC_{rr})을 조사한 것이다. 여기서 EC_{rr}은 식(2)로 정의하였다.

$$EC_{rr} = \frac{\text{반응전개수} - 5\text{초반응후개수}}{\text{접촉전개수}} \times 100[\%] \quad (2)$$

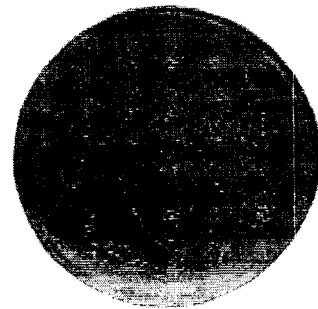
식 (2)에서 5초동안 반응후의 개수는 470, 660 및 1100[ppm]의 오존화 가스를 증류수 수용액(pH: 7.0, 수온: 32~35[°C]) 1[l]에 5분동안 용해시켜 만든 오존수에 EC 를 5초동안 반응시켰을 때의 개수를 측정하는 것이다. 표 2에서와 같이 램프형 오존발생기의 오존생성농도가 증가할수록 EC_{rr} 이 상승되었다. 그 결과 오존생성농도가 470, 660 및 1100[ppm]일 때, 각각 98.4, 98.5 및 99.9[%]의 EC_{rr} 를 얻을 수 있었다. 즉, 램프형 오존발생기의 오존생성농도가 증가할수록 EC는 불활성화되면서 세포막이 파괴 또는 분해되어 EC_{rr} 이 상승되는 것이라고 생각된다.

표 2 오존생성농도의 변화에 따른 EC_{rr} 특성

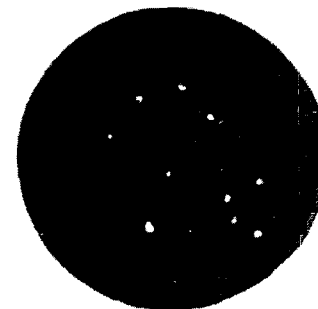
Table 2 The characteristics of EC_{rr} with variation of ozone concentration

오존생성농도 [ppm]	접촉전 . [cells/ml]	5초 접촉후 [cells/ml]	살균율 [%]
470	3.34×10^5	5.00×10^3	98.4
660	3.36×10^5	5.00×10^3	98.5
1100	2.75×10^5	2.70×10^3	99.9

그림 12의 (a) 및 (b)는 표 2에서 오존생성농도가 1100 [ppm]일 때, EC 살균특성의 외관을 촬영한 것이다. 사진에서와 같이 EC는 오존수에 5초만 반응하여도 99.9[%] 살균된다는 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로 램프형 오존발생기로부터 생성되는 오존이 470[ppm]의 최소 오존생성농도 만으로도 대장균은 5초만에 98[%]이상 살균된 결과, 개발한 고주파 고전압 펄스 전원장치 및 램프형 오존발생기는 물질 중의 환경개선분야로의 적용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.



(a) 접촉전(대장균 개수 : 2.75×10^5 [cells/ml])



(b) 5초간 접촉후(대장균 개수 : 2.70×10^3 [cells/ml])

그림 12 EC 살균특성의 외관 (오존생성농도=1100[ppm])

Fig. 12 The photograph of EC sterilization (ozone concentration = 1100[ppm])

5. 결 론

본 논문은 반도체 스위칭 소자인 Power-MOSFET를 사용하여 고전압·저전류용의 고압펄스전압을 발생하는 펄스 전원장치를 상용화의 관점에서 제작하여 그 동작특성을 정량적으로 도식화하였고 그 응용기술로는 오존발생기와 제작한 펄스전원장치를 일체화하여 출력펄스전압특성과 오존생성농도특성 및 대장균의 살균특성 등에 대하여 연구·검토하였다.

이하, 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. Power-MOSFET를 스위칭 소자로 사용한 고압 펄스전원장치의 사양은 단상 220[V], 용량 1.5[kVA], 최대펄스 출력전압은 15[kV], 사용주파수 범위는 0.4~3[kHz]로 가변 주파수·펄스폭변조(VF·PWM) 기능을 내장하고 있다.
2. 펄스 전원장치의 전기적 특성은 출력펄스전압의 피크치는 15[kV]이고 출력펄스전압이 최대값까지 도달하는 상승시간은 0.48~0.65[μ s]이고, 전압상승률은 4.3~5.8[kV]/200[ns]이며 부로 발생하는 최대 출력전압은 1.1[kV]로 효과적인 펄스 전압을 얻을 수 있다.
3. 방전전압 10.7[kV], 주파수 3[kHz], 유량 2[l/min] 그리고 출력전압펄스폭이 1.8[μ s]에서 8,600[ppm]의 오존생성농도를 얻을 수 있었고, 오존생성농도가 1,100[ppm] 일 때 99.9[%]의 대장균 살균특성을 얻을 수 있었다. 따라서, 제작한 펄스전원장치가 오존발생용 전원장치로 상용화의 가능성을 확인할 수 있었다.

향후 본 연구를 통해서 개발한 펄스 전원장치는 대장균 살균, 표면살균, 탈색 및 NOx 가스제거 등과 같이 오존을 이용한 환경분야로의 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] C. Blanco: "An Improved Electronic Transformer for Low Power Halogen Cycle Lamps", IEEE IAS, vol. 3, pp. 1979~1983, 1994.
- [2] H. J. Song, K. S. Lee and D. I. Lee, "A study on the high voltage nozzle type ozonizer", Proceedings of the 11th International Conference on Gaseous Discharges and Their Applications, Vol. 2, pp. 320~323, 1995.
- [3] 杉光 英俊, "オゾンの基礎と應用", pp. 281~316, 1996.
- [4] 岡崎辛子, "オゾン利用の新技術", 三秀書房, pp.199~130, 昭和61年.
- [5] 이광식, 이동인, "氣體放電에 의한 오존생성과 그 應用", 大韓電氣學會 放電·高電壓(研), 學術發表會論文集, pp.32~35, 1992.

- [6] 이형호, 김영배, "고전압·대전류 pulsed power의 이용 기술", 전기학회 하계학술대회, DHO 14, pp.1678~1680, 1997.
- [7] Yoshihiro Konishi, "A Novel Silent Discharge Type Ozonizer using Pulse Density Modulated High Frequency Inverter", IEEE, pp. 764~772, 1999.
- [8] Masanori Hara and Hidenori Akiyama, "High Voltage Pulsed Engineering", 1991.
- [9] K. Kit Sum and Bruce W. Carsten: "Trends in High Frequency Power Conversion", HFPC, pp. 198~204, May, 1988.
- [10] A. Tsui: "Commutating SOA Capability of Power-MOSFETS", IEEE APEC, pp. 481~485, 1990.
- [11] Jae-Sun Won, Kyeong-Sik Kim, Dong-Hee Kim, Kwang-Sik Lee, et al, "Characteristics of the forward type high voltage pulse power supply for lamp type ozonizer", IEEE PCC, vol. 1, pp. 100~103, April, 2002.
- [12] 嶋村弘則, スイッチングレギュレータどうすれば設計できるか, 廣濟堂産報出版, 1984.
- [13] Y. J. Kim and M. Nakaoka, "Comparative Characteristic Evaluations of Specially-Designed High-Voltage Transformer Parasitic Resonant PWM Inverter-Linked High-Power DC-DC Converter", IEEE-PESC Proceedings, pp. 120~127, June 1995.
- [14] 이성길, 박수강, 백형래, 정수복, "고주파 공진형 인버터식 X선 발생장치의 설계", 대한전기학회논문지, 51B 권, 1호, pp. 34-39, 1. 2002.

저 자 소 개



김 동 희 (金東熙)

1950년 11월 20일생. 1973년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 영남대 대학원 졸업(석사). 1987년 국립 Kobe대학 졸업(공학). 1987년~1989년 한국전기연구소 전력전자 연구부장. 1999년 5월~2000년 4월 대한전기학회 전력전자연구회 간사장. 2000년 9월~2001년 2월 국립 Kyushu대 교환교수. 현재, 영남대 공대 전자정보공 학부 전기공학전공 교수, 전력전자학회 경상지부장.

Tel : 053-810-2488, Fax : 053-813-8230

E-mail : dohkim@yu.ac.kr



원재선 (元載善)

1973년 2월 20일생. 1995년 삼척대 공대 제어계측공학과 졸업. 1999년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 영남대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현재 삼척대 공대 컴퓨터응용제어공학과 겸임교수.

Tel : 053-810-2488, Fax : 053-813-8230
E-mail : jsuni@yumail.ac.kr



정도영 (鄭道永)

1956년 8월 13일생. 1981년 영남대 대학원 전기공학과 졸업. 1984년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년~1998년 Ohio State University 연구 교수. 현재, 삼척대 컴퓨터응용제어공학과 교수.

Tel : 033)570-6383, Fax : 033)570-6389
E-mail : dyjung@samcheok.ac.kr



김경식 (金京植)

1958년 6월 13일생. 1987년 서울산업대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 영남대 공대 전기공학과 졸업(공학박). 현재, 경북전문대학 디지털전기디자인과 조교수.

Tel : 054) 630-5097, Fax : 054-632-0754
E-mail : kks@kbc.ac.kr



오승훈 (吳昇勳)

1962년 10월 1일생. 1989년 경일대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원전기공학과 졸업(공학박). 1994년~현재 동해대학교 정보통신공학과 조교수.

Tel : 033)520-9335, Fax : 033)521-9761
E-mail : osh386@donghae.ac.kr



이광식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1988년~1989 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 1998년~1999년 당 학회 방전고전압 연구회 간사장 역임. 영남대학교 산업대

학원장 역임. 현재, 대한전기학회 대구지부장, 영남대 전자정보공학부 교수.

Tel : 053) 810-2486, Fax : 053-813-8230
E-mail : kslee@yu.ac.kr