

플라즈마 살균 효과 향상을 위한 공진형 전원 시스템

(Resonance Inverter Power System for Sterilization Effective Improvement of Plasma)

김주용·문상필·정장근·이현우·서기영

(JU-yong Kim·Sang-Pil Mun·Jang-Gun Jung·Young-Mun Kim·Hyun-Woo Lee·Ki-Young Suh)

경남대학교
Kyungnam Univ.

Abstract

A resonant type voltage source and power device and a control method using Pulse Density Modulation(PDM) power control and Pulse Width Modulation(PWM) voltage control for plasma sterilization are described. For the stability of discharge in the generating tube, it is desirable that the peak apply voltage is constant. The PDM power control is employed for sustaining the voltage constant at any generating tube input power. Moreover, to avoid the influence of input AC voltage fluctuation etc., PWM voltage control with generating tube peak voltage feedback is used. Both functions were confirmed by the experiment with 6.5[kHz], 1.8[kW] inverter and generating tube. The effect of input synchronous PDM method for input current stabilizing is confirmed also.

1. 서론

최근 살균처리 방법 중 여러 가지 방법이 많이 연구되어지고 있지만, 그 중에서 고온 살균처리 방법이 가장 일반적으로 이용되어 진다. 하지만 이 방법은 내용물을 파괴하므로 그 효과를 저하시키게 되는 결점이 있다. 또 다른 방법으로 화학적인 살균 처리 방법도 있지만 약품의 유독성 잔여물이 남기 때문에 적합하지 못하다. 현재에는 방사선을 사용해서 박테리아를 제거하는 방법이 있으나, 방사선의 보호, 사용의 불편성, 운반중의 오염, 높은 가격 등의 단점이 있어 전기적 에너지를 이용한 살균처리 방법이 강구되었다. 본 논문에서는 전기적 에너지를 이용한 플라즈마 살균 처리장치를 제안하였으며, 비열 플라즈마를 형성하기 위해 전원 장치의 출력 제어방법 및 특성에 관하여 연구하여 이를 이용한 효과적인 살균처리 장치를 제안하고자 한다. 제안한 살균 전원 장치는 기존의 전력변환회로와 비교하여 공진 소프트 스위칭 기법으로 스위칭 손실과 고조파를 저감시켜 전원 부분을 안정화시킴과 동시에 안전한 플라즈마를 발생시켜 살균력과 에너지효율을 높이고, 입력 전류를 불연속적으로 동작하게 함으로써 입력 전류를 정현파로 만들어 고역율화를 시도하여, 전압형 인버터의 출력 기본파 성분을 증가시키고, 또 출력 필터를 이용하여 출력 선간전압 파형을 정현파화하여 고조파를 제거하고자 한다. 또한, 보조 부분공진에 의한 영전압,

영전류 동작시의 하드 스위칭시의 손실과 소프트 스위칭시의 손실, 출력전압의 증대와 고조파 제거성능을 분석한다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 입증하고자 한다.

2. 공진용 전원 시스템

2.1. 회로구성 및 동작원리

그림 1은 오존 발생을 위한 플라즈마 반응기의 등가 회로를 나타낸 것이다. 그림에서 인가전압이 낮은 경우에는 GAP의 정전용량 C_a 와 유리 유전체의 정전용량 C_g 가 직렬회로로 구성되며, 인가전압이 높은 경우에는 GAP이 방전을 개시하고, 이때 GAP전압은 방전유지전압 V_2 에 클램프하게 된다.

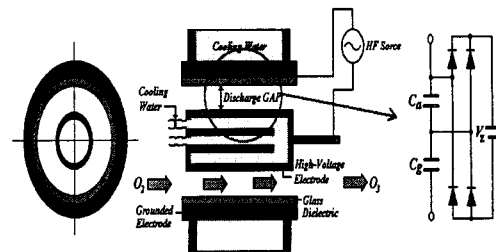


그림 1 플라즈마 반응기의 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuit of plasma reactor

일반적으로 발생관 인가전압이 저감하면 안정한 방전을 유지하지만 만일 전압이 높아지면 절연파손에 의해 관이 손상된다. 그러므로 발생관 인가전압 V_0 를 적정치로 유지할 필요가 있다. 그리고 전력제어에는 전압제어로 되는 고주파 인가전압펄스의 밀도를 제어하는 펄스 변조가 제안되어지고 있으나 간단한 PDM을 할 경우에는 펄스의 발생이 끝나면 전력맥동에 의해서 교류입력전류의 맥동이 불규칙적으로 발생되어지며, 교류입력전압변동에 의한 발생관 전압에는 영향을 주는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 PDM의 타이밍을 입력주파수와 동기시키고 제어를 범용함으로서 발생관의 전압을 안정하게 발생시켜 제어장치에 적용함으로 발생장치의 성능이 향상되었다.

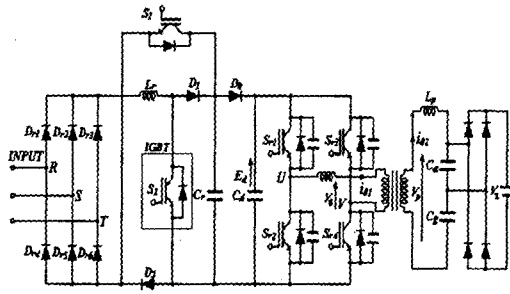


그림 2 플라즈마 살균용 전원장치의 주 회로
Fig. 2 A main circuit of power device for plasma sterilizers

그림 2는 본 논문에서 제안한 오존 발생기용 플라즈마 반응기의 전원장치도의 주 회로도이다. 그림 2의 주 회로는 상용 교류 380[V] 60[Hz]를 다이오드 정류기와 부분공진형 컨버터를 이용하여 맥동성분이 제거된 직류 전압을 발생시켜 전압형 인버터와 네온 변압기를 이용하여 60[Hz], 12[kV]까지 승압한 후 공진 리액터와 커패시터로 구성된 직렬공진회로에 의해서 방전에 필요한 전압을 생성시키는 회로이다. 일반적으로 공진형 인버터에 있어서 출력전압은 주파수에 의해서 변화하므로 전력제어가 가능하지만 발생관의 인가 전압이 함께 변화하게 된다. 만일 인가전압이 낮아질 경우에는 출력부 하인 오존 발생관에 방전이 불안정하게 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 PDM 방식을 이용하여 문제점을 해결하였다. T_0 를 입력에 동기(同期)시켜 입력에 대한 전력의 제어방법을 균일하게 하는 입력 동기 PDM 제어방식을 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 T_0 는 입력의 한 주기에 따라 정(正)과 부(負)로 서로 대응하여 입력 1/2 주기의 정수분의 1로 설정하였으며, 각상에서 대칭으로 하기 위해 입력 1/3 주기의 정수분에 1을 만족하는 최대값으로서 입

력주기의 1/6로 동작되어지는 것을 알 수 있다. PDM에 의한 전력제어를 하면 발생관 전압의 변동을 일정하게 유지하는 기능을 가지고 있지만 연속적이지 못하다. 하지만 펄스 폭 변조제어를 이용할 경우 발생관 전압이 일정하면서 연속적으로 유지할 수 있다. 그림 4는 제어장치의 구성을 나타낸 것이다. 그림4에서 제어장치는 PDM제어부와 PWM 제어부 및 주변회로로 나누어져 있다.

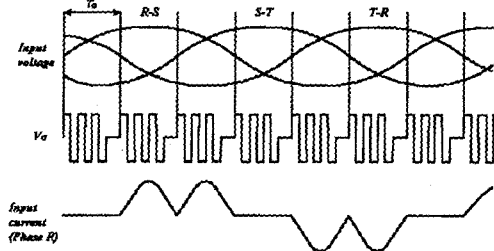


그림 3 입력전압에 대한 동기 PDM
Fig. 3 Synchronous PDM for input voltage

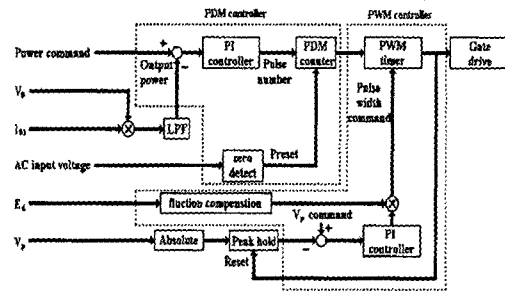


그림 4 제어부의 블록도
Fig. 4 Block diagram of control

그림 5는 스위칭 한 주기에서의 각 동작모드별 등가 회로를 나타내고 있으며 네 가지 동작모드로 구분된다. 공진회로부의 초기조건으로 스위치 S1, S2는 오프이며, 공진용 커패시터(C_r)에는 클램프용 커패시터(C_d)의 전압이 V_0 로 충전되어 있다. 위의 네가지 동작모드는 스위치 S1, S2의 스위칭 한 주기 동작에 대한 것으로써 스위칭 일정 시비율에 의해 지속적으로 반복된다. 그 결과 공진용 커패시터(C_r)의 전압은 지속적인 부분공진 동작에 의해 클램프 된 진폭을 가진 공진 펄스열의 파형으로 되어 인버터부의 입력단에 가해진다. 인버터부의 SPWM 제어신호에 의해 동작하는 스위치들은 일정 듀티율로 동작하는 부분공진 회로부의 스위치들과 동기화되어 커패시터(C_r)의 전압이 영으로 될 때 동작하여 소프트 스위칭을 이룬다.

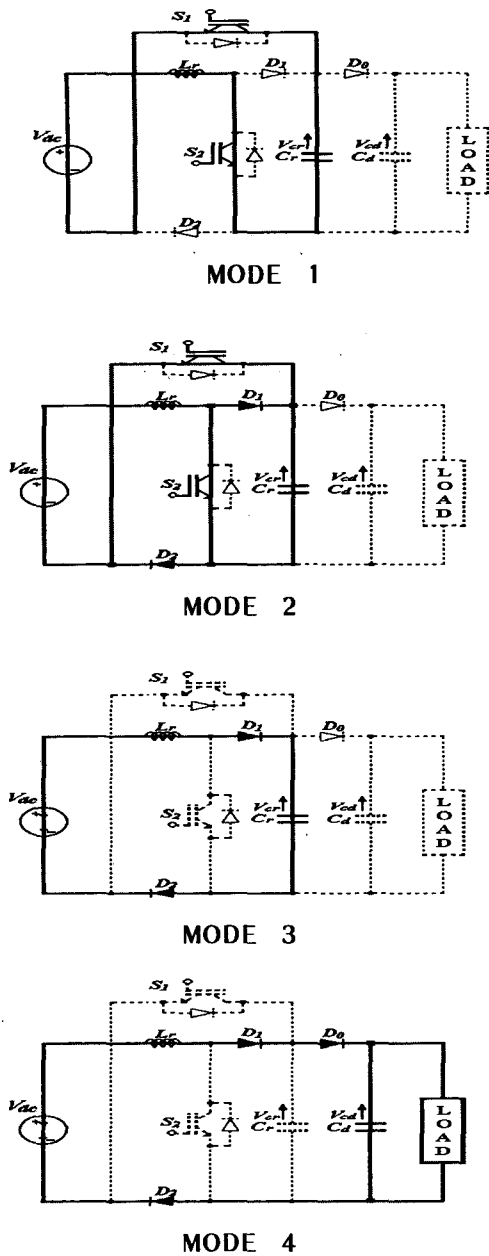


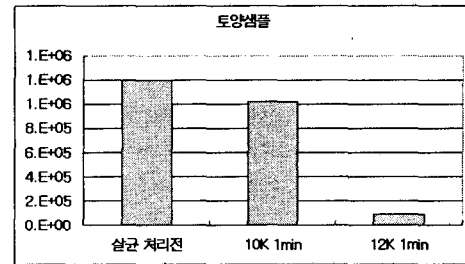
그림 5 등가회로 동작 모드
Fig. 5 Operation mode of equivalent circuit

2.2. 실험 결과의 검토

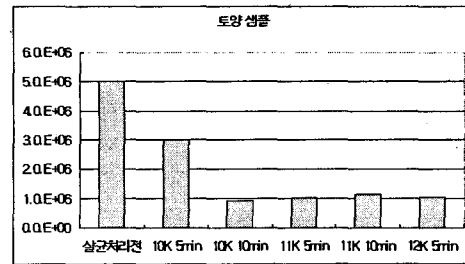
제한한 회로의 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로 정수는 표 1과 같다. 제어스위치는 가변저항 스위치로 가정하고, 그 외 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice9.1에 의해 실행 하였다.

표 1 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수
Table. 1 Circuit parameter using simulation and experiment

항 목	값
입력 전압	380[V]
출력 전압	6[kV]~12[kV]
출력 주파수	60[Hz]
변조도 $a(E_0/E_p)$	0.9
공진인덕터 (L_r, L_p)	150[uH], 100[mH]
공진캐패시터 (C_r, C_a, C_g)	100[nF], 6000[pF], 9000[pF]
평활콘덴서 (C_d)	2200[uF]



(a)



(b)

그림 6 토양 샘플을 이용한 살균 효과 분석
(a) 인가전압 (b) 시간

Fig. 6 The analysis of sterilization effect using soil sample
(a) Input voltage (b) Time

그림 6은 실제 곰팡이를 가지고 실험하기에 앞서 토양 샘플을 이용하여 미생물이 살균되는 양을 알아보려고 실험 한 것이다. 그림에서 (a)는 전압을 인가하였을 때 전압 크기에 따라 살균되어 지는 양을 나타낸 것이고 (b)는 시간에 따른 살균 양을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 10[kV]로 10[min] 방전시킨 것과 11[kV]로 5[min] 방전시킬 때 가장 적절한 살균 효과가 일어난 것을 알 수 있다.

실험에 사용된 플라즈마 반응기를 그림 7에 나타내었다. 침대 평판의 경우 타 전극 형태와 비교했을 때 전계 집중이 높고 코로나의 에너지 밀도가 높기 때문에 살균 효과가 높게 나타난다. 이러한 이유로 본 논문에서는 침대 평판형 반응기로 살균 효과 실험을 하였다. 전극의 형상은 침대 평판의 형태로서 전계 집중을 용이하게 하여 코로나 발생을 원활히 하였고, 알루미늄판 전극을 사용하여 접지하였다. 그림 8은 실제 곰팡이를 가지고 살균시킬 때 인가된 전압과 시간에 따른 배양된 곰팡이의 사진을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 시료는 형태는 밀가루와 같은 미세분말(수미크론)타입이다. 이는 입자의 크기가 클 경우 입자가 불순역할을 하여 상대적으로 큰 입자쪽에 전계가 집중되어 반응기에서의 플라즈마의 발생이 전체적으로 일어나지 않고 전계가 집중된 영역에서만 국부적으로 발생되기 때문에 이를 방지하기 위해서이다. 그림 9는 그림 6의 실험을 토대로 인가한 전압과 시간에 따른 곰팡이의 살균 수를 나타낸 것이다. 인가전압의 상승과 처리시간의 증가는 10[kV]로 10[min]방전 시킬 때 98[%]의 살균율이 나타났으며 그 이상의 환경에서는 포화 곡선을 나타낸 것으로 사료된다.

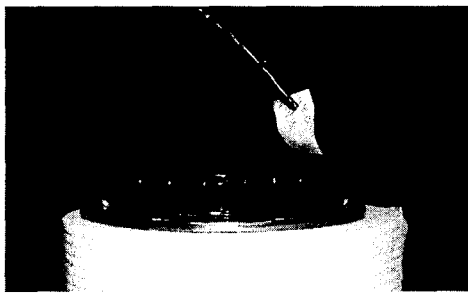


그림 7 실험에 사용된 플라즈마 반응기
Fig. 7 Experiment of using plasma reactor

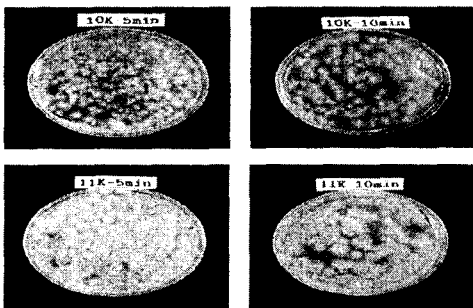


그림 8 인가전압과 시간에 따라 살균된 뒤에 배양된 곰팡이의 사진
Fig. 8 The picture of mould cultivated which is after sterilization for input voltage and time

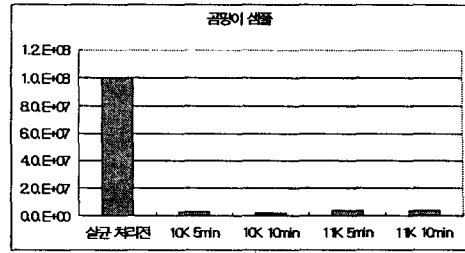
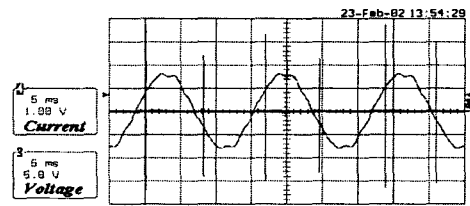
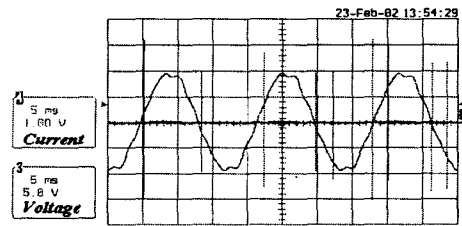


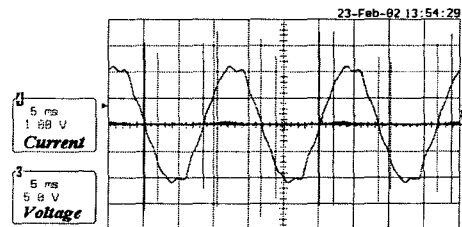
그림 9 살균된 곰팡이와 인가전압과 시간의 그래프
Fig. 9 The mould which sterilizes and input voltage and graph of time



(a) 10 [kV]



(b) 11 [kV]



(c) 12 [kV]

그림 10 인가전압의 변화
Fig. 10 Variation of permit voltage

그림 10은 살균장치(sterilizer chamber)에 인가된 전압이 10[kV], 11[kV], 12[kV]로 변환했을 때 전압·전류 파형을 나타낸 것이다. 이 실험을 하기 위해서 2000:1의 프로브로 사용하여 파형을 측정하였다. 그림 11은 실제 제작한 플라즈마 살균용 전원 장치를 나타낸 것이다.

[참 고 문 헌]

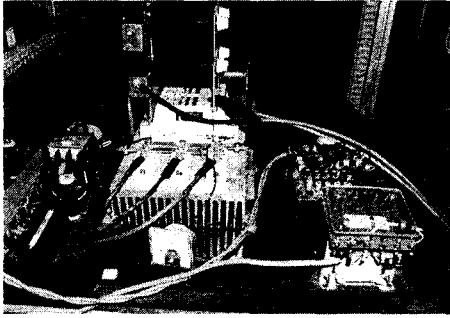


그림 12 플라즈마 살균용 전원장치의 실물도
Fig. 12 The fact of power device for plasma sterilizers

3. 결 론

본 논문에서는 플라즈마 살균용 전력 변환 장치를 설계하여 곰팡이가 회석된 분말가루를 실험장치에 투입한 후 살균율을 측정하였으며, 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 발생관의 파손사고에 의해 발생되어지는 과전류, 과전압을 억제하고 전기적으로 전 시스템의 보호 제어, 고효율, 고역률 및 전자 노이즈 스위칭 손실의 저감화를 용이하게 할 수 있다.
- 2) 오존 발생량에 상응하는 인버터의 출력전력을 넓은 범위에서 선형적으로 제어하여 비반전시에서 반전시로 이동할 때 회복전류펄스를 유지, 공급함으로써 오존 발생관의 전압상승의 응답속도를 높일 수 있다.
- 3) 코로나 전류는 극히 작은 값이므로 저 전력을 소비함으로써 저 비용의 살균 장치를 구성할 수 있다.
- 4) 분말 시료에 회석된 곰팡이를 코로나 방전계를 사용해서 효과적으로 살균 할 수 있다.

이상에서의 모든 사항은 시뮬레이션과 실험에 의해서 그 타당성을 증명하였다. 그리고 제안한 회로를 오존발생을 위한 플라즈마 전원장치에 적용한다면 속용성을 지닌 제어장치로 적절하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

- (1) 川村光男, “マイクロ波基礎工學”, 『昭晃堂』, 1981
- (2) 露木英男, 首藤厚, “食品のマイクロ波加熱”, 『建帛社』, 1974
- (3) 日本電氣學會, “高周波用デバイス電力半導體 應用の技術動向” 電氣學會技術(II部) 第271號, pp.20~27, 1997
- (4) C. Blanco, “An Improved Electronic Transformer for Low Power Halogen Cycle Lamp”, IEE IAS, Vol 1.3, pp. 1979~1983, 1944
- (5) K.Kit sum and Bruse W. Carsten, “Trends in High Frequency Power conversion”, HFPC, pp.198~204, May, 1998
- (6) H.J. Song, K.S.Lee, D.J.Lee, “A study on the high voltage nozzle type ozonizer”, 11th International Conference on Gaseous Discharge and Their Applications. Vol. 2, pp. 320~323, 1995
- (7) Shengpei Wang, Yoshihiro Konishi, “ Voltage-Fed Pulse Density and Pulse Width Modulation Resonant Inverter for silent Discharge Type Ozonizer”, H11 電氣學會産業應用部門大會 1966
- (8) 石井哲夫, “ 妨電によソソの發生機構る装置” 三秀書嚙, pp 31~63, 昭和66
- (9) A. Tsul, “Commutating SOA Capability of Power MOSFET”, IEEE APEC, pp . 481~485, 1990
- (10) 성안당, “스위칭 전원의 기본 설계”, 2002