

공진용 인버터 전력 변환 장치를 이용한 플라즈마 살균효과 개선

김주웅 · 김영문 · 권순길 · 이현우 · 서기영
경남대학교 · 마산대학

The improvement of sterilization effective using resonance inverter Power conversion device

J. Y. Kim · Y. M. Kim · S. K. Kwon · H. W. Lee · K. Y. Suh
Kyung-nam University · Masan College

Abstract - A sterilizer equipment by using electrical energy has merits that no process of chemical and no second environmental pollution. Also, the power conversion circuit for sterilizer equipment has merits that are reducing switching loss for soft switching topology by using zero current and zero voltage switching, and miniaturizing size of equipment. Thus, it is expected that the cost of sterilization process, when quality of the device is measured by power consumption, will be reduced. Therefore, the purpose of this research is to solve the sterilization problems of existing powder with plasma sterilization device, to find more economical and effective way, and to suggest more improved sterilizer.

1. 서 론

최근 상하수도 및 산업용 배수공급수의 살균 처리, 냉장고 내의 살균처리, 음료수의 정화 등을 살균, 표백처리 방법 등이 많이 연구되어지고 있다. 그 중에서 고온 처리방법이 가장 일반적으로 이용되어지고 있지만 이 방법은 내용물을 파괴하므로 그 효과를 저하시키게 된다는 결점이 있다. 이러한 결점을 보완한 것이 방사선을 사용해서 박테리아를 제거하는 방법이 있으나, 이 역시 방사선의 보호, 사용의 불편성, 운반중의 오염, 높은 가격 등의 단점이 있어 전기적 에너지를 이용한 플라즈마 살균 처리 장치를 이용한 방법이 강구되었다. 플라즈마 살균처리장치의 큰 장점으로는 화학적인 처리 과정을 통하지 아니하므로 2차적인 환경오염 문제를 일으키지 않는다는 점이다. 플라즈마 처리방법은 크게 열플라즈마법과 비열플라즈마 두 종류로 나눌 수 있다.

본 논문에서는 비열플라즈마를 형성하기 위해 전원 장치의 출력 제어방법 및 특성에 관하여 연구하였으며, 오존 발생을 용이하게 할 수 있는 Barrier Discharge를 응용한 무정방전을 이용하고자 한다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험에 의해서 그 타당성을 증명하고자 한다.

2. 공진용 인버터 전력 변환 장치

2.1 회로구성 및 동작원리

그림 1은 오존발생을 위한 플라즈마반응기(이하 오존 발생관 또는 발생관이라 칭한다.)의 간략도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 동심원통형의 전극구조를 가지고 있으며, 전극간에 고주파 교류를 인가시킨 후 GAP에 산소 또는 공기를 통과시키면 오존이 생성하게 된다.

그림 2는 오존 발생을 위한 플라즈마 반응기의 동가회로를 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_z 에 클램프하게 된다. 일반적으로 발생관 인가전압이 저감하면 안정한 방전을 유지하지만 만일 전압이 높아지면 절연파손에 의해 관이 손상된다. 그러므로 발생관 인가전압 V_p 를 적정치로 유지할 필요가 있다. 그리고 전력제어에는 전압제어로 되는 고주파 인가전압펄스의 밀도를 제어하는 펄스 면적변조(PDM : Pulse Density Modulation)가 제안되어지고 있으나 간단한 PDM을 할 경우에는 펄스의 발생이 끝나면 전력맥동에 의해서 교류입력전류의 맥동이 불규칙적으로 발생되어지며, 교류 입력전압변동에 의한 발생관 전압에는 영향을 주는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 PDM의 타이밍을 입력주파수와 동기시키고, 제어를 범용함으로서 발생관의 전압을 안정하게 발생시켜 제어장치에 적용함으로서 발생장치의 성능이 향상되었다.

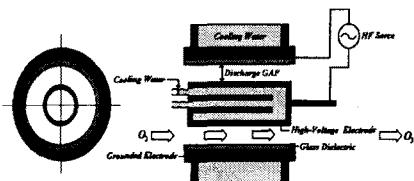


그림 1 플라즈마 반응기의 구조
Fig. 1 Structure of plasma reactor

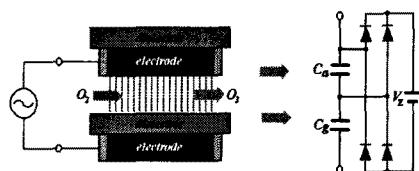


그림 2 플라즈마 반응기의 동가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of plasma reactor

그림 3은 본 논문에서 제안한 오존 발생기용 플라즈마 반응기의 전원장치도의 주 회로도이다. 그림 3의 주 회로는 상용 교류 220[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 커

패시터로 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 출력부하인 오존 발생관에 방전이 불안정하게 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 PDM 방식을 이용하여 문제점을 해결하였다.

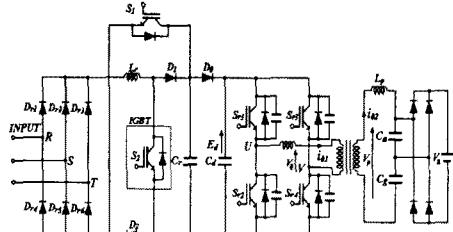


그림 3 플라즈마 살균용 전원장치의 주 회로

Fig. 3 A main circuit of power device for plasma sterilizers

그림 4는 PDM을 이용한 전력제어의 원리를 나타낸 것이다. 제어주기 T_0 이내로 일정전압이 정(+)주파수로 동작하는 기간과 인버터 전압 V_0 를 0[V]로 하는 기간의 시비율을 조절하여 평균전력을 제어하였다. 그리고 상전류가 불균일하게 되는 현상을 막기 위해서 T_0 를 충분히 짧게 하여 T_0 중의 출력 펄스 수를 적게 하고, 전력제어양을 연속적으로 가변, 조정하므로써 펄스의 시작과 끝의 부분에서 생기는 과도현상을 무시할 수 있다.

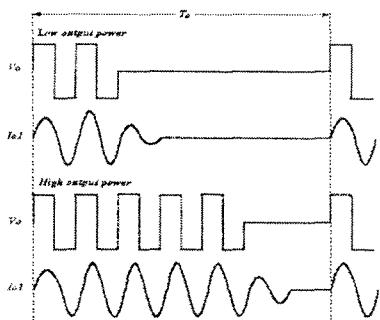


그림 4 PDM를 이용한 전력제어

Fig. 4 Power control using PDM

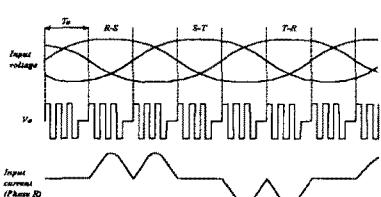


그림 5 입력전압에 대한 동기 PDM

Fig. 5 Synchronous PDM for input voltage

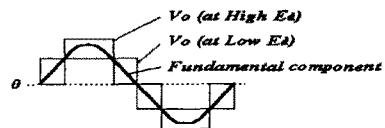


그림 6 PWM에 의한 전압제어

Fig. 6 Voltage control with PWM

T_0 을 입력에 동기(同期)시켜 입력에 대한 전력의 제어방법을 균일하게 하는 입력 동기 PDM 제어방식을 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 T_0 은 입력의 한주기에 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 입력주기의 1/6로 동작되어지는 것을 알 수 있다. PDM에 의한 전력제어를 하면 발생관 전압의 변동을 일정하게 유지하는 기능을 가지고 있지만 연속적이지 못하다. 하지만 펄스 폭변조(PWM : Pulse Width Modulation) 제어를 이용할 경우 발생관 전압이 일정하면서 연속적으로 유지할 수 있다. 그림 6은 PWM제어를 이용한 전압제어를 나타낸 것이다. 그림 6에 나타난 것처럼 인버터 직류전압이 낮을 경우에는 출력전압의 펄스 폭을 넓게 조절하며, 직류전압이 높을 때에는 펄스 폭을 좁혀서 기본파 성분을 일정하게 할 수 있다. 그림 7과 그림 8은 본 연구에서 사용된 네온 변압기의 기본 설계사항을 나타낸 것이다.

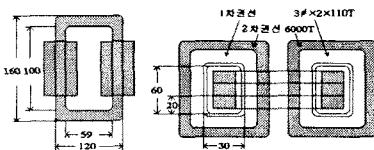


그림 7 네온 변압기 철심 조립도

Fig. 7 Assembly drawing of iron core in neon transformer

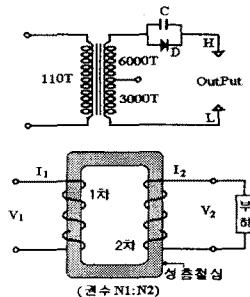


그림 8 변압기 회로

Fig. 8 Circuit of transformer

2.2 시뮬레이션 및 실험 결과의 검토

제안한 회로의 시뮬레이션에 사용된 회로 정수는 표 1과 같다. 제어스위치는 가변저항 스위치로 가정하고, 그 외 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice9.1에 의해서 시뮬레이션 하였다. 그림 9는 부분공진 승압 스위칭시의 스위치에 흐르는 전류와 전압을 나타낸 것이다. 턴-온 시 ZCS로 턴-오프 시 ZVS로 동작하고 있음을 알 수 있다. 위상전이 풀브리지 인버터에서 네온 변압기에 추가 삽입되어 있는 인덕터는 실제 불필요하지만 안정된 영전압 스위칭 동작영역의 확보하기 위해서이다.

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

항 목	값
입력 전압	180[V]~220[V]
출력 전압	6[kV]~12[kV]
출력 주파수	60[Hz]
변조도 $a(E_0/E)$	0.9
공진인덕터(L_r, L_p)	150[uH], 100[mH]
공진캐패시터 (C_r, C_a, C_s)	100[nF], 6000[pF], 9000[pF]
평활콘덴서(C_d)	2200[uF]

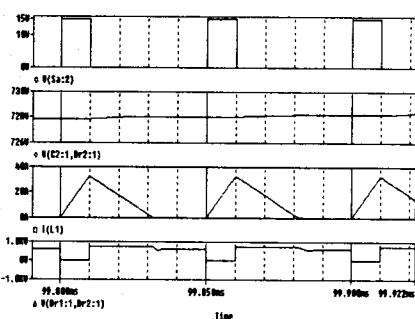


그림 9 직류 링크단의 부분공진 스위칭 과정
Fig. 9 The partial resonant switching waveform of DC-link

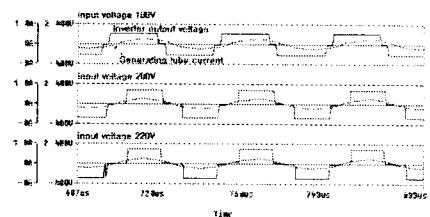


그림 10 인버터 출력전압의 파형
Fig. 10 Waveform of inverter output voltage

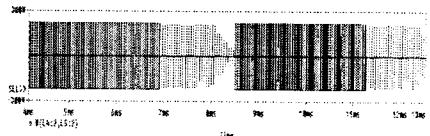


그림 11 PDM 제어시 출력파형
Fig. 11 Output waveform for PDM control

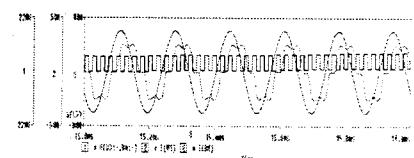
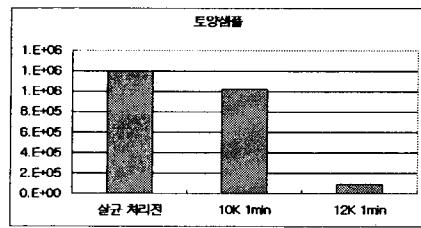
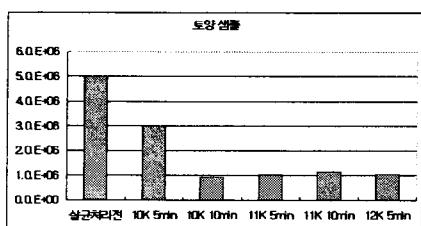


그림 12 동기PDM 제어시 입력전압과 전류 파형
Fig. 12 Input current waveform with synchronous PDM

그림 10은 발생관 피크 전압지령값을 12 [kV]로 설정하고 교류입력전압을 변화시켰을 때 인버터 출력전압의 파형 및 관의 전류를 나타낸 것이다. 입력전압의 변화와 관의 전류는 관계가 거의 없는 것을 시뮬레이션 파형에서 확인할 수 있었다. 그림 11은 PDM 제어시 출력전압 파형을 나타낸 것이다. 그럼 12는 동기 PDM제어시의 입력전압과 전류의 파형 및 인버터 입력측의 전류파형을 나타낸 것이다. 그림 13는 실제 곰팡이를 가지고 실험하기기에 앞서 토양샘플을 이용하여 미생물이 살균되는 양을 알아보기자 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] 방전시킨 때 가장 적절한 살균 효과가 일어 난 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 13 토양 샘플을 이용한 살균 효과 분석
(a) 인가전압에 따라
(b) 시간에 따라

Fig. 13 The analysis of sterilization effect using soil sample
(a) followed in input voltage
(b) followed in time

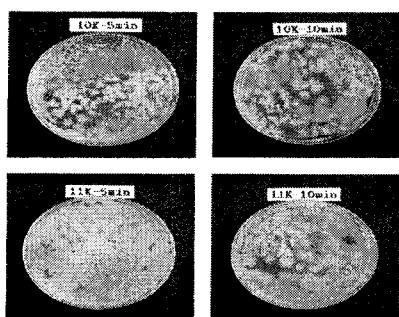


그림 14 인가전압과 시간에 따라 살균된 뒤에 배양된 곰팡이의 사진

Fig. 14 The picture of mould cultivated which is after sterilization for input voltage and time

그림 14는 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 15는 그림 13의 실험을 토대로 인가한 전압과 시간에 따른 곰팡이의 살균 수를 나타낸 것이고 표 2는 살균율을 나타낸 것이다. 인가전압의 성능과 처리시간의 증가는 10[kV]로 10[min]방전 시킬 때 98[%]의 살균율이 나타났으며 그 이상의 환경에서는 포화 곡선을 나타낸 것으로 사료된다.

표 2 인가된 전압과 시간 그리고 살균율
table. 2 The input voltage and time
and sterilizing ration

인가전압[V]	표준	10kV 5Min	10kV 10Min	11kV 5Min	11kV 10Min
검출된 곰팡이 수	100×10^6	3×10^6	2×10^6	4×10^6	3.9×10^6
살균율 [%]	0%	97%	98%	96%	96.1%

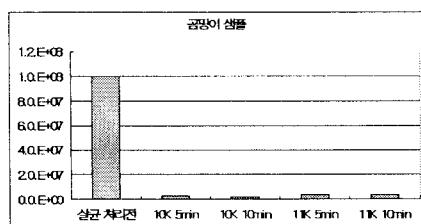


그림 15 살균된 곰팡이와 인가전압과 시간의 그래프
Fig. 15 The mould which sterilizes and
input voltage and graph of time

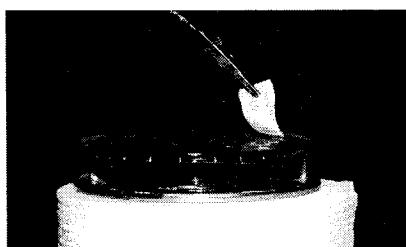


그림 16 실험에 사용된 플라즈마 반응기
Fig. 16 Experiment of using plasma reactor

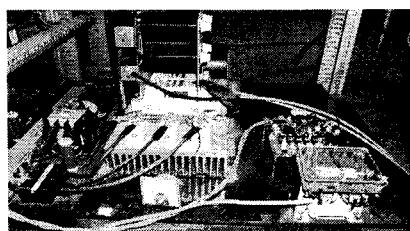


그림 17 플라즈마 살균용 전원장치의 실물도
Fig. 17 The fact of power device for plasma
sterilizers

그림 16은 살균처리 실험 장치를 나타낸 것이다. 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 17은 실제 제작한 플라즈마 살균용 전원 장치를 나타낸 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 플라즈마 살균용 전력 변환 장치를 설계하여 곰팡이가 회석된 분말가루를 실험장치에 투여한 후 살균율을 측정하였다. 실험을 통한 결론을 요약하면 다음과 같이 같다.

- 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 반전 시로 이동할 때 회복전류필스를 유지, 공급함으로서 오존 발생관의 전압상승의 응답속도를 높일 수 있다.
- 3) PDM과 PWM방식을 이용하여 전력 및 발생관 전압을 일정하게 제어할 수 있다.
- 4) 부분공진 승압형 DC-Links를 이용함으로서 스위칭 손실저감과 역률1의 고역률을 얻을 수 있다.
- 5) 코로나 전류는 극히 작은 값이므로 저 전력을 소비함으로서 저 비용의 살균 장치를 구성할 수 있다.
- 6) 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 속응성을 지닌 제어장치로 적절하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 2002년도 경남 대학교 부설
신소재연구소 연구비 지원에 의하여 써
어진 것임.

(참 고 문 현)

- [1] K.Kit sum and Bruse W. Carsten, "Trends in High Frequency Power conversion", HFPC, pp.198~204, May, 1998
- [2] J.M. Meek, J.D. Craggs, "Electrical Breakdown of Gases", JOHN WILEY & SONS, 1978.
- [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] 中村信幸 御所康七 遠藤正雄, "誘電體表面に現れるコロナ放電", ED-95-18
- [6] J.J. O'Dwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Clarendon Press, Oxford, 1973