Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2012) 26(6) : 29~37
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2012.26.6.029

논문 26-6-4

광펄스 살균을 위한 다채널 고전압 컨버터의 개발

(Development of the High Voltage Converter for the Pulsed Light Sterilization)

이영우* · 김형원 · 최우진**
(Young-Woo Lee · Hyung-Won Kim · Woo-Jin Choi)

Abstract

As the demand for the fresh non-thermal food is increased, it is required to develop the fast and perfect sterilization method. The conventional sterilization method using ultraviolet lamp has some disadvantages such as imperfect sterilization and longer process time. In this research, IPL(Intense Pulsed Light) sterilization system is introduced to overcome the drawbacks of the conventional system, and suitable power supply architecture for the system is discussed. Since the IPL sterilization system uses Zenon lamps which requires the 600~2,100[V] for the lightning and 16~30[kV] for the trigger, the converter for the system should be able to generate the high voltage and to discharge the large amount of energy instantaneously. In this research a new power system architecture which has a modified forward converter topology with two switches for generating high voltage and a capacitor bank to control the energy for the lightning by switching is introduced.

Key Words : Intense Pulsed Light Sterilization System, Zenon Lamp,
Modified Forward Converter with Two Switches. Capacitor Bank, Trigger

1. 서 론

1.1 연구의 배경

현재 식품 보전성(maintainability) 향상을 위해 개발된 비열 처리 기술에는 물리적 방법인 광펄스(light pulsed sterilization), 고전압 펄스 전기장(high-voltage pulsed electric fields), 진동 자기장(oscillating magnetic fields), 이온화 조사(ionizing Radiation), 초음파(ultrasonics)등을 이용하여 살균하는 방식들과 화학적 방법인 세포벽 분해 효소, 박테리오신(bacteriocins), 양이온 다중 고분자 등 화학 물질을 이용한 살균방식과 이러한 물리, 화학적 처리를 조합하여 다단계로 처리하는 Hurdle Technology등이 사용되고 있다. 하지만 이러한 기술은 각각 대상 식품에 따라서 그 적용 식품 분야가 다르며 동시에 모든 식품 분야에 적용하긴 어렵다[1-2]. 그 외 방사선 살균 방식도 있으나 소비자의 거부감이 커서 실제 사용하기 어려우며, 식품 가공법에 방사선 살균에 대한 엄격

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학부 석사과정
** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 부교수
Tel : 02-820-0652, Fax : 02-817-7961
E-mail : cwj777@ssu.ac.kr
접수일자 : 2012년 3월 2일
1차심사 : 2012년 3월 6일
심사완료 : 2012년 5월 29일

한 규정으로 인해 많은 현실적인 문제점을 가지고 있다. 따라서 현재 많이 사용되고 있는 가열살균기술을 적용하기 어려운 각종 식품에 대한 맞춤형 살균 기술에 대한 연구는 생산효율 증대를 위해서 뿐 아니라 소비자들에게 보다 안전한 식품을 제공하기 위해서 매우 중요하다[3].

1.2 연구의 목적 및 방법

광펄스에 의한 살균방식은 오랫동안 사용되어 온 자외선 살균의 원리와 최근 들어 비열살균기술로서 관심을 끌고 있는 고전압 펄스 전기장 살균 기술의 원리를 혼용한 것으로서 강한 빛을 발생시키는 램프의 전원 발생 장치는 고전압 펄스 발생 장치의 그것과 유사하며, 미생물의 사멸 기작은 자외선 살균(UV 살균)과 유사한 것으로 알려져 있다. 현재 광펄스 살균 기술은 짧은 연구기간에도 불구하고 가열 살균이 어려움이 많은 식품에 사용할 수 있는 대체 기술로 떠오르고 있다[4-5].

광펄스 살균방식의 핵심은 제논램프(zenon lamp)를 이용하여 펄스화 된 빛을 살균 대상에 조사하는 것이다. 램프의 점등을 위해 600~2,100[V]의 램프전압과 16~30[kV]에 이르는 트리거 고전압이 요구되며 점등용 에너지의 저장과 방전을 위한 커패시터 뱅크 및 이를 제어하기 위한 회로가 요구된다. 본 논문에서는 변형된 두 개의 스위치 방식의 포워드 컨버터를 이용하여 램프 점등에 필요한 고전압을 발생시키고 커패시터의 충방전을 제어하기 위한 별도의 스위치를 통해 램프 점등시 필요한 에너지의 흐름을 제어한다. 또한 시작품을 제작하고 이를 이용한 실험을 통해 제안된 방식의 유용함과 빛의 파장조사에 따른 살균력을 검증한다.

2. 본 론

2.1 광펄스 살균 방식의 개요

현재 식품 살균에 있어서 자외선 살균, 열 살균, 오존살균, 약품살균, 방사선 살균 등 여러 방식들이 이용되고 있지만 각각 장단점을 갖고 있다. 그러한 점에 비해 광펄스 살균은 비접촉이며, 발생하는 열도 거의 없고, 인체에 무해하게 살균이 가능하다.

기존의 자외선을 사용하는 살균방식이 200~320[nm] 파장대의 빛을 이용하는 것과 달리 광펄스 살균방식은 170~2,600[nm]의 넓은 전파장 대역을 이용하므로 자외선(ultra violet ray) 영역뿐만 아니라 근적외선(near infrared ray) 영역까지 포함한다는 점에서 기존의 자외선 살균 장비와 차별화 된다[6].

본 연구에서는 NL-4006 제논램프를 이용하였는데 이를 점등하기 위해 고전압 트리거 펄스가 인가된다. 살균 능력은 트리거 펄스의 듀티와 주파수에 따라 변하므로 최적의 조건을 찾기 위해 이를 가변할 수 있도록 회로를 구성하였다. 이러한 방식의 근본적인 목적은 전 파장의 강한 빛을 아주 짧은 시간에 살균대상에 가함으로써 식품의 표면을 살균 시키거나 표면 미생물 수를 감소시키는데 있으며, 이를 통해 제품의 유통기한을 연장하고 품질을 높일 수 있게 된다. 기존의 자외선 살균방식의 단점 중 하나는 미생물 세포의 DNA 구조를 손상시켜 미생물을 살균하는 경우 자외선 살균으로 손상된 DNA가 특정 환경에서 다시 정상 상태로 회복될 수 있는 확률이 매우 높다는 것에 있다. 그러나 광펄스 살균 방식에서는 근적외선까지 조사되므로 이에 의해 미생물의 DNA의 구조가 완전히 파괴됨과 동시에 세포벽이 파괴되어 정상상태 회복의 불가능해지는 장점이 있다[7].

2.2 광펄스 살균시스템 컨버터의 요구조건

2.2.1 광펄스 살균용 제논램프의 사양

광펄스 살균에 사용되는 제논램프의 사양을 살펴보면 그림 1과 같다. 제논램프의 내부저항은 107[Ω]의 값을 가지고 있으나 트리거에 의해 제논 램프 내부의 가스가 활성화 되면 램프 내부저항이 1 [Ω]이하의 값을 갖게 되는 특성이 있다.

Lamp Part Number : NL4006

Bore: 3 mm Arc Length: 75mm

Description: Air cooled Xenon flash Lamp

Envelope:(cds/cfq)	cfq :	Impedance parameter. (Ko)	32.0	Ohm Amp ^0.5
Wall: (.5-1-2 mm)	1 :	Explosion const. (Ke)	5.40E+04	Watt sec ^0.5
	:	Maximum average power.	1414	Watts
Bore: (mm)	3 :	Max peak current. (A)	283	See note 1
Arc: (mm)	75 :	Lamp voltage min. (V)	600	See note 2
	:	Lamp voltage max. (V)	2100	See note 3
Gas type: (xe/kr)	xe :	Minimum trigger voltage.(Kv)	16	See note 4
Pressure: (torr)	450 :	Minimum trigger width.(us)	0.60	See note 5

그림 1. NL4006 제논램프의 사양
Fig. 1. Specification of the NL4006 zenon lamp

2.2.2 제논램프의 트리거 방식

NL-4006 제논램프를 구동하는 방법으로는 크게 일반적으로 두 가지 방법이 있다(그림 2 및 그림 3).

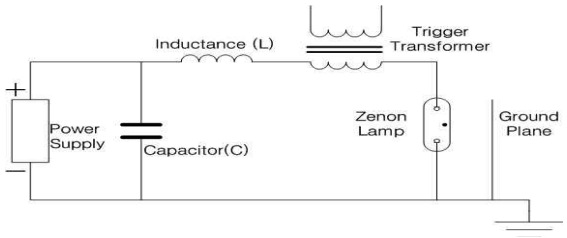

그림 2. 직렬 트리거 방식
Fig. 2. Series trigger type

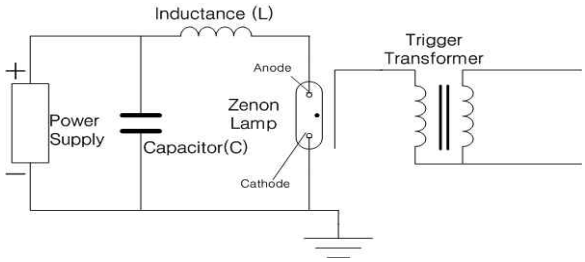

그림 3. 외부 트리거 방식
Fig. 3. External trigger type

그림 2와 같이 트리거 시리얼 내장 방식으로 시스템을 구성하게 되면 다수의 고압램프를 구동하기가 어려우며, 주 전원의 용량이 램프의 수량에 따라서 함께 커지므로, 장비의 크기 및 가격이 커져 실제 응용에 적용하기 어렵게 된다. 따라서 본 논문에서는 그림 3과 같은 트리거 외장 방식을 이용함으로써 적은 전력으로 여러 개의 램프를 동시에 순차적으로 컨트롤할 수 있도록 시스템을 구성하여 장비의 크기와 제조원가를 낮출 수 있도록 하였다. 또한 램프점등제어용 커패시터 뱅크의 위치를 제어용 스위치 후단으로 변경하여 제어용 반도체 스위치의 스트레스를 저감시키고 손실을 줄였다. 이에 관해서는 2.3.2절에 상세히 설명한다.

2.2.3 전체 시스템 구성도

전체 시스템은 그림 4와 같이 모니터링 및 통신제어부, 광량 및 파장측정부(spectrophotometer), 제논램프를 구동할 수 있는 전원부로 구성되어 있다. 본 연구는 제논램프를 효과적으로 구동할 수 있도록 하기 위한 전원시스템의 설계에 중점을 두고 진행되었다. 기존의 살균방식용 시스템의 전원장치에서는 주전원을 고전압으로 증폭시키는 부분에 가변 트랜스포머를 이용하여 승압 후에 제어할 수 있도록 하는 방식이 사용되었다. 따라서 전원 공급 장치의 크기가 커지며, 제어가 어려운 단점을 가지고 있었고, 또한 램프마다 독립적인 전원을 가져야 하므로 가격이 증가하고 램프의 수를 증가시키기 어려운 단점을 가지고 있었다. 따라서 본 연구에서는 전원부의 제어가 편리하고 신뢰성을 높일 수 있는 두 개의 스위치를 가진 포워드 컨버터를 설계 및 제작하여 크기를 줄이고 제어가 용이하도록 하여 다수의 램프에 동시에 전력공급이 가능하도록 하였다.

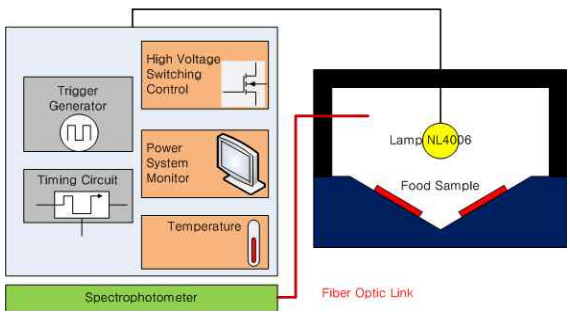

그림 4. 광펄스 살균 시스템의 블록도
Fig. 4. Block diagram of the light pulse sterilization system

2.2.4 제논램프 구동용 전원 시스템

제논램프 구동용 전원시스템은 그림 5와 같이 정류부, 포워드 컨버터부, 고전압 트리거부, 램프용 에너지 충 · 방전 제어부 등으로 구성된다.

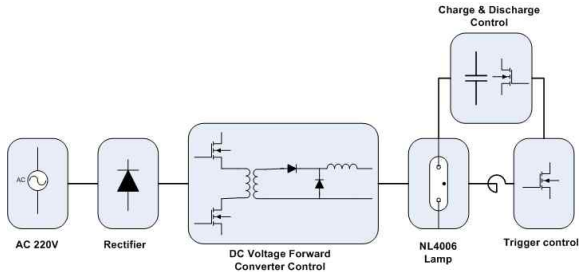

그림 5. 램프 구동용 전원 시스템
Fig. 5. Power supply system for the lamp operation

제논램프 구동용 전원시스템은 단상전원을 정류해 두 개의 스위치를 가진 포워드 컨버터를 이용하여 2,100[V]까지 승압하도록 하였으며, 고전압 트리거부는 램프 구동 전압 범위인 16[kV]에서 30[kV] 사이에서 안정적으로 동작할 수 있도록 소형 플라이백 컨버터를 이용하여 25[kV]정도의 전압을 발생시키도록 설계하였다. 실제의 제작 시스템에서는 고전압 트리거 발생장치로 인해 전자제어 회로의 손상과 오동작을 방지하기 위해 전원과 제어 신호를 3중으로 분리하였다.

제어부에서는 제논램프를 이용한 최적의 살균 조건을 위해 전압, 펄스, 그리고 주파수의 가변을 할 수 있게 하였다. 그리고 사용자에게 장비사용의 편의를 제공하기 위해 원격제어가 가능하도록 구성하였다.

2.3 제안하는 컨버터 토폴로지

2.3.1 제안된 듀얼 FET 및 트랜스포머를 가진 포워드 컨버터

기존 하나의 스위치를 사용하는 포워드 컨버터는 트랜스포머의 누설인덕턴스 에너지처리를 위해 부가적으로 리셋권선이 필요하고 스너버가 대형화 되는 문제가 있다[8]. 이러한 문제를 제거하기 위해 트랜스포머의 누설인덕턴스를 적게 만들면 2차측 정류다이오드의 오프시 전류 감소율이 증대되어 다이오드의 역회복 손실이 증가하여 고주파 스위칭에 난점이 있다. 하지만 두 개의 스위치를 사용하는 포워드 컨버터는 트랜스포머의 누설 인덕턴스에 저장된 에너지를 전원측으로 회생하는 것이 가능하기 때문에 트랜스포머의 누설인덕턴스를 적게 할 필요가 없고, 스너버가 소형화되는 것과 함께 출력다이오드의 역회복 손실도 크게 감소하는 장점이 있다[14].

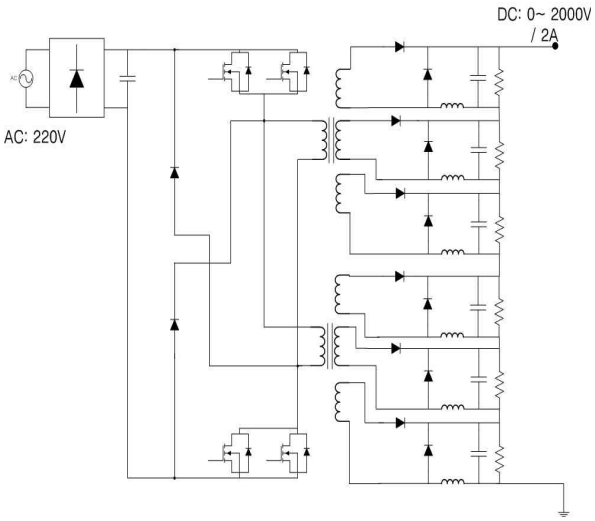

그림 6. 두 개의 스위치를 가진 제안된 포워드 컨버터
Fig. 6. Proposed forward converter with two switches

본 연구에서 제안된 포워드 컨버터는 그림 6과 같이 3개의 2차 권선을 갖는 트랜스포머 두개를 이용하여 1차측은 병렬로 연결하고 2차측은 직렬구조로 하여 승압한다. 2차측 개별 정류회로는 700[W](2[A]/350[V]) 용량을 가지며, 여섯 개의 정류회로가 직렬로 연결되어 램프 구동에 필요한 4.2[kW](2,100[V]/2[A])의 출력 사양을 만족시킨다.

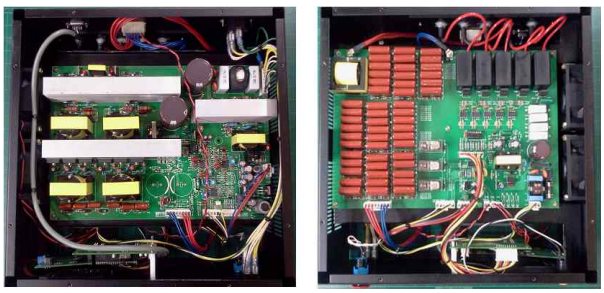

그림 7. 제작된 두 개의 스위치를 가진 포워드 컨버터
Fig. 7. Implemented forward converter with two switches

일반적인 포워드 컨버터보다 두 개의 스위치를 가진 포워드 컨버터방식을 사용하면 기본적으로 트랜스포머의 편 여자가 없고, 오동작시 전원단락모드가 없으므로 급격한 부하변동 및 노이즈가 많은 환경에 적합한 방식이다[8,14]. 그림 7은 실제 제작 구현된 두 개의 스위치를 가진 광펄스 살균장치 전원용 포워드 컨버터이다.

2.3.2 새로운 방식의 트리거 회로 및 제어 방식

기존의 제논 램프 구동 방식은 그림 8과 같이 고전압 스위치인 MOSFET을 컨버터 커패시터와 램프 사이에 두고, MOSFET 구동펄스의 듀티와 주파수를 가변함으로써 램프로 전달되는 에너지를 제어하는 방식을 사용하였다. 그러나 이러한 방식으로 MOSFET 스위치의 주파수와 듀티를 가변하여 제논램프를 구동하게 되면 스위칭소자에 많은 스트레스가 가해짐과 동시에 손실 및 역전압으로 인한 소자파괴 등의 문제점이 발생된다. 이는 제품의 수명에도 많은 영향을 주기 때문에 본 논문에서는 다음에 소개하는 새로운 방법을 통해 손실을 저감시키고 스위치의 스트레스를 줄일 수 있도록 하였다.

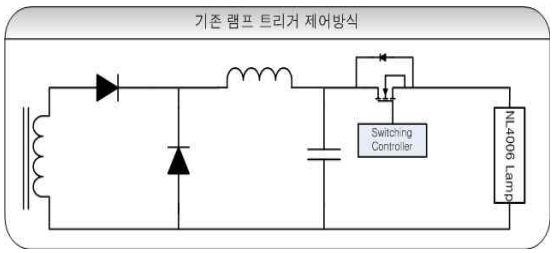

그림 8. 기존의 램프 구동 방식
Fig. 8. Conventional lamp operating method

본 논문에서 새롭게 제안한 고전압 제논 램프 구동 방식은 그림 9와 같이 램프 앞단의 커패시터 뱅크와 고전압스위치인 MOSFET를 시간차로 제어 하는 방식이다. 제안된 램프구동방식은 램프전단에 설치된 커패시터뱅크를 먼저 충전시킨 후 MOSFET를 오프하고 제논 램프에 연결되어 있는 트리거라인에 펄스신호를 인가함으로써 커패시터뱅크에 충전된 에너지가 방전되면서 램프가 동작될 수 있도록 하는 방식이다.

기존의 제논램프구동방식은 트리거에 의한 램프점등 시 제논램프의 내부저항이 107[Ω]에서 1[Ω]으로 급격히 작아지면서 순간적으로 큰 전류가 흐르고, 빈번한 스위칭에 의해 많은 스트레스를 받아 오작동 및 파손 등의 문제점이 발생하는 단점을 갖고 있다. 그러므로 급격한 전류 상승과 전압의 변동으로 인해 고가인 램프에 스트레스를 주게 되어 램프의 수명에도 문제를 야기시킨다. 또한 스위칭소자의 듀티와 주파수를 가변함에 의해 램프의 점멸주기를 조정하기 때문에 스위칭에 의한 노이즈가 많이 발생하는 단점도 있다.

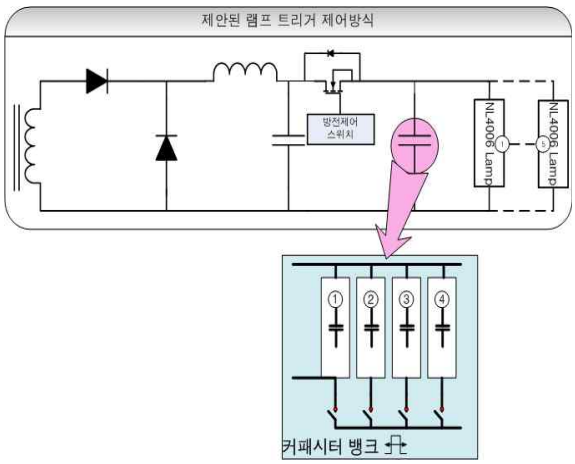

그림 9. 새롭게 제안한 램프 구동 방식
Fig. 9. Proposed lamp operating method

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 서로 다른 용량의 커패시터뱅크를 직병렬 연결하는 방식으로 커패시터의 방전시정수를 제어로 펄스의 듀티비를 제어하고, 트리거펄스를 시간제어함에 의해 제논램프의 밝기를 조정하는 방식을 적용하였다.

제작된 하드웨어는 커패시터뱅크의 조합을 서로 다른 8가지 용량으로 변경할 수 있게 하였으며, 이러한 방법을 통해 고전압/고전류 사양의 전력용 스위치를 사용하지 않고 시스템을 구성할 수 있는 장점과 부품의 수명도 늘릴 수 있는 장점을 가지게 되었다.

그림 10은 제안된 램프 구동방식의 타이밍 차트로 그림 9의 회로를 구동시키는 시퀀스를 나타내며 방전

제어스위치 및 트리거신호를 제어하여 다수의 제논램프를 각각 동작시킨다.

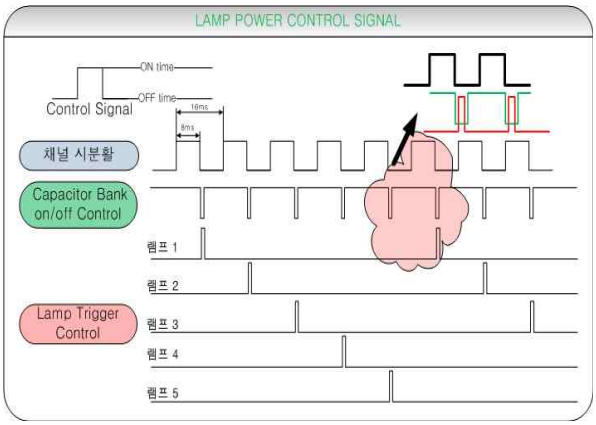

그림 10. 제안된 시스템의 램프 제어 신호
Fig. 10. Lamp control signal. of the proposed system

이러한 방식은 다수의 램프를 동작시키기 위한 방식으로 커패시터뱅크의 용량을 가변함으로써 펄스의 듀티비를 조절함과 동시에 전류량을 제어하는 방식을 구현한 것이다. 또한 제논램프를 구동 시키는 것이 아니라 순차적으로 빠른 시간차로 램프를 동작시키기 때문에 동시에 점멸되는 효과의 장점으로 장비의 소형화구성이 가능하게 되었다.

제논램프의 빛 밝기의 조사량은 전압의 레벨과 전류의 양으로 결정되며, 전압의 크기는 주 전원에서 가변으로 제어하고 제논램프에서 소모되는 전류의 양은 커패시터뱅크용량인 시정수의 가변으로 제어한다. 제어방식으로 스위칭듀티비 가변제어처럼 전류를 제어하는 효과와 유사한 제어방식을 사용하였다. 현재 구현된 하드웨어 설계는 램프 5개 정도만 구현될 수 있도록 제작하였다.

그림 11은 제안된 광펄스의 살균시스템용 전원에 사용되고 있는 초고압 트리거 발생장치로서 플라이백 컨버터를 이용하여 16~30[kV] 초고전압 펄스 신호를 발생시킨다. 트리거신호와 커패시터뱅크의 충전을 동기화하여 램프를 구동시킬 수 있게 하였다. 따라서 설정된 커패시터뱅크의 충전 시정수와 트리거신호의 주기에 의해 램프는 점멸하게 된다.

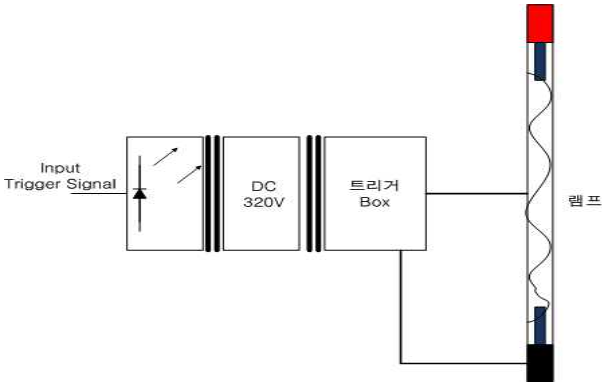

그림 11. 고전압 트리거 회로
Fig. 11. High voltage trigger circuit

3. 실험 결과

3.1 광펄스 파워시스템 시뮬레이션

표 1. 실험 사양
Table 1. Test specification

구성	사양
입력 전압	220[V]
최대 전류	2[A]
DC Trigger Voltage	16~30[kV]
DC Voltage	0~2[kV]
가변 펄스 폭	1~수 [us]
가변 주파수	1~30[Hz]

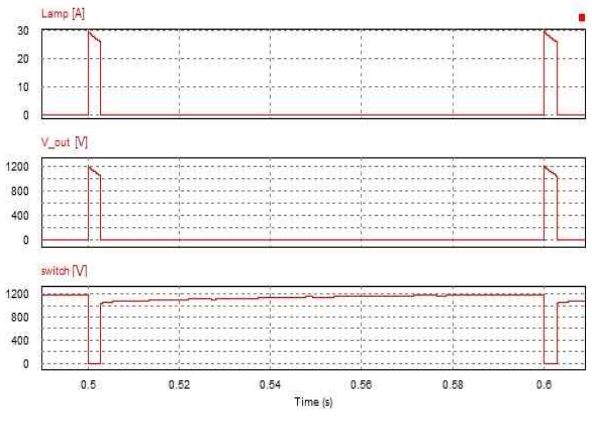

그림 12. 기존의 램프 구동방식의 시뮬레이션
Fig. 12. Simulation of the conventional lamp operating method

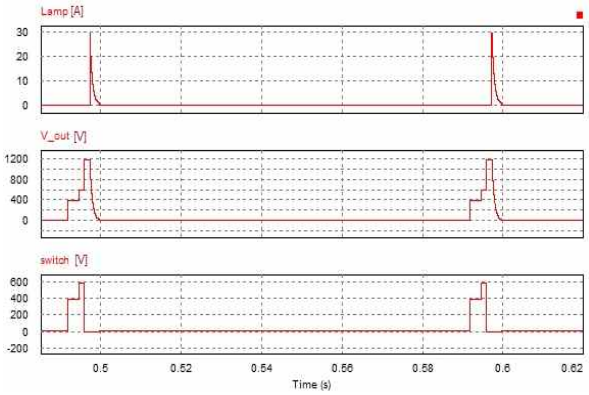

그림 13. 제안된 램프 구동방식의 시뮬레이션
Fig. 13. Simulation of the proposed lamp operating method

그림 12와 13은 PSIM을 이용하여 기존의 램프 구동방식과 제안된 램프구동방식의 시뮬레이션을 한 결과 파형이다. 여기서 Lamp[A]는 램프에 흐르고 있는 전류의 크기, V_out[V]는 제노램프에 인가되는 전압의 크기, Switch[V]는 제논램프를 점멸할 수 있는 MOSFET 양단에 전압을 나타내는 것이다.

일반적으로 NL4006(xenon lamp)는 CWL(continuous wave lamp)방식의 구동법과 점멸방식인 PL(pulse lamp)법 두 가지로 구동할 수 있다. 본 연구에서는 PL방법을 이용하였으며 주파수와 펄스 듀티를 제어하여 제논램프를 구동시켰다. 먼저 그림 12와 같이 기존의 방식으로 구동하였을 경우 램프점등 시 흐르는 전류와 전압은 30[A], 1,200[V]정도 되며, 방전 제어용 스위치 양단의 전압도 1,200[V]정도 되는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 방식으로 장시간 반복적으로 주파수와 펄스듀티 가변제어를 시행하면 스위치에 스트레스를 발생시켜 열적인 손실을 초래할 뿐 아니라 내압이 높은 스위치를 사용하여야 함으로 인해 장비 가격에도 영향을 미치게 된다. 그림 13에서 보는바와 같이 제안된 램프구동방식은 방전제어용 스위치의 전압스트레스를 반으로 낮추어 내구성을 증대시키고 제품의 단가를 낮출 수 있다는 장점이 있다. 그림 13에서 보는바와 같이 제안된 램프구동방식은 방전제어용 스위치의 전압 스트레스를 반으로 낮추어 내구성을 증대시켰다. 살균효율을 높이기 위해서 커패시터를 키워 램프 빛의 강도를 높인다면, 전류의 듀티는 넓어지고 램프에 전달되는 전류의 량은 많아지게 된다. 이렇게 되면 램프 빛의 강도는 강해지면서, 램프에서 높은 열이 발생하여 램프의 수명이 극도로 짧아지게 된다. 램프의 수명을 길게 만들면서 살균의 종류 및 살균방식에 따른 빛의 강도를 조절하고, 적당량의 시정수를 맞춰주는 것이 하나의 기술이다.

3.2 제논 램프 부하실험 파형

본 연구에서 제안된 구동방법으로 제작한 시스템으로 제논램프에 인가되는 파형을 오실로스코프로 검증하였다. 부하인 NL4006의 제논램프의 특성상 부하의 내부저항이 1[Ω]이하로 급격히 작아지면서 순간적인 도통전류가 커지며 램프가 점등되는 결과를 그림 14와 같이 볼 수 있다.

그림 14. 제논램프 실험 파형(10[Hz]/1,200[V])
Fig. 14. Zenon lamp test wave(10[Hz]/1,200[V])

3.3 NL4006 제논 램프에서 방출되는 살균용 빛의 파장 및 에너지 밀도

제안된 전원 시스템을 이용하여 고전압 제논램프를 구동하면 일반적인 자외선 살균방법과 달리 적외선 대역의 파장이 크고, 에너지 밀도가 높은 빛이 발생되어 대상물에 전대역의 빛의 에너지가 전달될 수 있게 된다. 본 논문에서 제안한 방식의 전원장치를 이용하여 살균시스템을 구동하고 방출되는 빛의 파장과 에너지 밀도를 CCD-Based Spectroradiometer (ILT900)으로 측정하여 그림 15에 나타내었다. 방출

된 살균용 빛의 유용성은 다음절에서 시행한 살균력 시험결과로 증명된다.

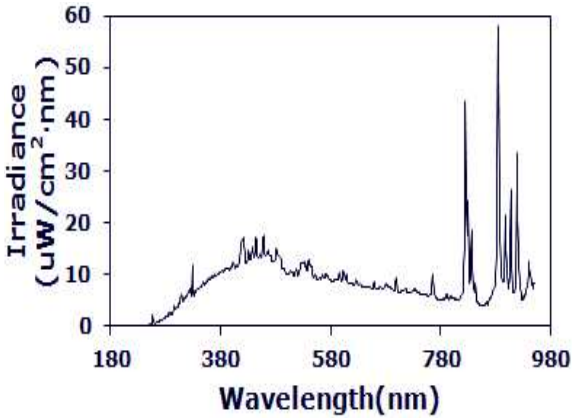

그림 15. NL 4006 제논램프 빛의 특성
Fig. 15. Characteristics of the zenon lamp light

3.4 살균 성능 도표

기존방식의 광살균은 200~320[nm]의 자외선 대역의 빛을 이용하고 있으나, 본 광펄스 살균방식에서 사용하는 빛의 파장은 170~2,600[nm]로 적외선 대역의 에너지밀도가 높은 빛으로 살균을 하고 있다. 이러한 파장으로 살균하게 되면 유해한 세균의 세포벽과 세포막을 손상시켜 세포가 완전하게 사멸되도록 유도할 수 있다.

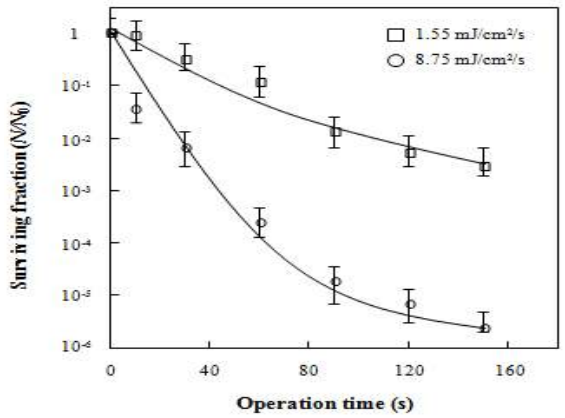

그림 16. Bacilus cerus 살균실험 결과
Fig. 16. Experimental results of the sterilization of the bacilus cerus

그림 16과 17은 각각 Bacilus 균과 E.coli O157균에 200초 동안 광펄스를 인가하고 시간의 경과에 따른 박멸효과를 관찰한 실험결과의 그래프이다. 실험결과로부터 광펄스 살균시스템의 살균효과가 99.99[%] 이상이며, 개발 목표인 99[%]를 초과하는 양호한 결과임을 알 수 있다.

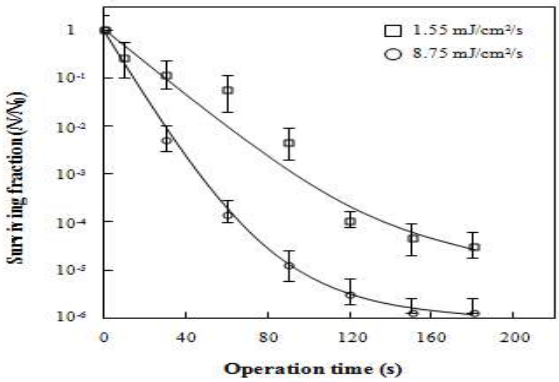

그림 17. E.coli O157:H7 살균실험 결과
Fig. 17. Experimental results of the sterilization of the E.coli O157:H7

4. 결 론

본 논문에서는 두 개의 스위치를 가진 포워드 방식의 컨버터를 이용하여 광펄스 살균용 고전압 광펄스 전원장치를 설계 및 제작하고, 커패시터 방전 제어부를 개량하여 전체시스템의 가격절감을 유도하고, 소형화, 경량화 및 효율향상을 이루었다. 하나의 전원장치로 5개의 램프를 구동할 수 있도록 하였으며, 이러한 전원을 바탕으로 구동한 제논램프에 의한 살균력은 기존의 살균 방식인 UV 조사 살균 방식보다 만족할 결과를 보였다. 따라서 제안된 시스템으로 식품군 살균을 적용연구 시작함으로 표면살균, 우유, 물, 막걸리 등 다방면에서 계속적인 실험이 진행 중에 있다. 또한 앞으로 더 연구해야 할 점은 식품마다 다른 최적의 조건을 찾는 점이 관건이며 이러한 부분이 정리되면 광펄스 살균 시스템은 기존의 살균방식의 문제점을 극복한 살균 방법으로 많은 분야에서 널리 사용될 것으로 기대된다.

References

[1] Ray, B. Control by new nonthermal methods. In: Fundamental food Microbiology, CRC Press, New York, USA. 1996.
[2] Shin, J.K. Inactivation of Saccharomyces cerevisiae by high voltage pulsed electric field, M.S. thesis, Yonsei University, Seoul. 2000.
[3] Barbosa-Canovas, G.V.,Palou, e., Pothakamury, U.R. and Swanson, B.G. Application of lignt pulses in the sterilization of foods and packaging material. pp. 139-161. In: Nonthermal Preservation of Foods. Marcel Dekker, New York, USA. 1997.
[4] Dunn, J., Ott, T. and Clark, W. Pulsed light treatment of food and packaging. Food Technol. 49:95-98. 1995.
[5] McDonald, K., Curry, R., Clevenger, T., Brazos, B and Unklesbay, K. The development of photosensitized pulsed and continuous ultraviolet decontamination techniques for surface and solutions. IEEE Transaction on Plasma Sci.28; 1448-1488. 1999.
[6] Bushnell, A., Clark, W., Dunn, J. and Salisbury, K. Pulsed light sterilization of products packaged by blow-fill-seal technology. Pharmaceutical Engineering, 17: 74-84. 1997.
[7] Barbosa-Canovas, G.V., Schaffner, D., Pierson, M.D. and Howard Zhang, Q. Pulsed light technology. J. Food Sci. Special Supplement. 2000.
[8] K.Billings, Switch mode Power Supply Handbook, New York: McGraw-Hill, 1990.
[9] A. Pressman, K.Billings, T.Morey, Switching Power Supply Design, New York: McGraw-Hill, 2009.
[10] Kim Gauen. "Design Consideration for a two transistor current mode forward converters" Semiconductor application note Motorola Inc., 1991.
[11] Wei BAO, Xuan San CAI, Zi Duan FANG, Xiao Feng TAO, "Anovel ZVS-PWM Two-transistor Forward converters" IPZC-yokohama '95. pp1707~1714. 1995.
[12] Jin-Yong Bae, Yong Kim, Soo-Hyun Baek, "Characteristics Analysis of Two-Transistor Forward Converter using PFC and Lossless Snubber Circuit", The proceedings of KIEE'05, pp176~179, 2005.
[13] Jin-Yong Bae, Yong Kim, Kyu-Man Cho, Eun-Young Lee, Kyu-Hoon Lee, "Single-Stage High Power Factor two -Switch Forward Converter" The proceedings of KIEE'06, pp247~250, 2006.
[14] Suh, Ki-Young, Koo, Heun-Hoi, Lee, Hyun-Woo "Two transistor forward converter type low voltage high current DC power supply" THEES COLLECTION Vol. 15. No1, pp 103~114. 1997.

◇ 저자소개 ◇

이영우 (李瑩雨)
1977년 3월 4일생. 2007년 서울과학기술대학교 (전)컴퓨터공학과 · (부)기계설계자동화 공학부 졸업. 2011년~현재 숭실대 대학원 전기공학부 석사과정.

김형원 (金衡源)
1972년 5월 31일생. 1998년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2000년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학부 박사과정. 현재 (주)한빛나노바이오테크 기술연구소 연구소장.

최우진 (崔宇鎭)
1967년 1월 7일생. 1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 미국 Texas A&M University 졸업(박사). 2007년 전력전자학회 연료전지 전문위원. 2008~2009년 그린IT융합센터 연료전지 분과위원회 위원장. 2010~현재 IEC/TC 105/WG10 연료전지 국제표준화기구 전문위원. 2009~2010년 숭실대학교 융합기술원 그린에너지 사업단 대표교수. 2005년~현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.