

Xenon flashlamp와 광촉매를 이용한 타원형 반응기의 살균 특성에 관한 연구

논 문
58-3-19

A Study on Sterilization Characteristics of Elliptical Reactor by Using Xenon Flashlamp and Photocatalyst

이 동 길* · 홍 지 태** · 최 경 화*** · 차 재 호§ · 김 홍 주§§ · 김 희 제†
(Dong-Gil Lee · Ji-Tae Hong · Kyoung-Hwa Choi · Jaeho Cha · Hong-Ju Kim · Hee-Je Kim)

Abstract - In this paper, we invented a new and unique technique for the sterilization of Escherichia coli(E. coli) in polluted water. We applied a rich ultra-violet(UV) light from pulsed xenon flashlamp and photocatalyst(TiO₂) to sterilize E. coli in polluted water. This method based on the use of UV light and photocatalyst is eco-friendly and does not cause secondary pollution. The proposed elliptical reactor is able to concentrate on quartz sleeve coated TiO₂ or general quartz sleeve. The primary objective of our research was to determine the important parameters such as pulse repetition rate and input voltage and to know on the sterilizing efficiency of quartz sleeve coated TiO₂ and general quartz sleeve. We obtained to achieve 99.999% sterilization in as little as 6 pulses at 800 V in case of quartz sleeve coated TiO₂, and 10 pulses at 800 V in case of general quartz sleeve for 5 minutes. Although transmitted light of quartz sleeve coated TiO₂ is decreased, the sterilizing efficiency is increased by 40% than general quartz sleeve. The reason of high sterilizing efficiency is that generated hydroxyl radical(OH) by photocatalyst and is able to concentrate light at a focus by using elliptical reactor.

Key Words : Xenon flashlamp, Elliptical reactor, Photocatalyst, Ultra-violet

1. 서 론

국민 생활수준의 향상으로 인해 건강에 대한 관심이 높아져 누구나 깨끗한 물을 마시는 것을 추구한다. 하지만 1970년대를 전후한 산업의 고도화 및 도시 인구과밀 생활환경이 급속도로 발전함에 따라 일상생활에서 발생하는 각종 오염물질로 인하여 선진국형의 심각한 환경을 오염시키고 있다. 그것을 방지하게 되면 환경의 자정작용을 잃게 되어 곧 인간에게 미치는 영향은 아주 크다. 그 중에서 우리가 식수로 사용하는 물은 공장 및 가정, 병원, 실험실 등에서 발생하는 화학물질, 생활하수, 병원성 미생물로 인해 오염되어 깨끗이 정화되지 않고 방류되고 있다. 이런 오염된 물을 정화하기 위해서는 보통 화학약품으로 염소를 사용하는데, 경제적이고 미생물의 재성장예 의한 2차 오염을 억제하는데 효과적이지만, 소독부산물을 남기며 잔류염소에 대해 세균이 내성을 가지고 재성장과 병원성 바이러스 세균은 살균을 못한다는 단점이 있다[1].

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 자외선(UV)조사, 활

성탄 흡착, 오존처리살균, 고급산화법(Advanced Oxidation Process : AOP)을 이용하고 있다. 그 중에서 고급산화법은 UV/O₃, UV/H₂O₂, H₂O₂/O₃, UV/H₂O₂ 및 광촉매 공정 등이 있다. 특히, 광촉매 공정에 사용되는 금속 산화물 중에 일반적으로 TiO₂를 많이 사용하는데, 그 이유는 band-gap energy에 해당하는 빛에너지(380nm 이하의 자외선)를 흡수했을 때 수산화라디칼의 생성을 증가시켜 유기물의 분해를 촉진하는 방법으로써, 분자 내에서 산화, 환원반응 및 친수성 반응이 동시에 가능한 고기능성의 광촉매로 세균의 세포의 광화학적 산화반응으로 세포의 호흡활성을 감소시키고 세포를 파괴시키는 역할 및 항균, 살균, 탈취, 자정작용(Self-Cleaning)기능을 하며[2,3], 다른 재료에 비교하면 경제적이고 2차 오염물질을 발생시키지 않으며 환경정화용 촉매로 매우 적합하기 때문이다[4,5]. 자외선을 이용한 살균방법 또한 모든 균종에 대해서 유효하며, 사용방법이 간단하며 경제적이고, 공기, 물의 살균에 가장 적합하기 때문에 많이 이용되고 있다. 이와 같은 장점을 이용한 기존의 살균에 관한 연구는 자외선램프 및 기타 램프와 광촉매를 이용한 살균, 원통형 반응기를 이용한 살균, 광촉매의 제조방법에 대한 연구가 되고 있지만[6,7] 자외선 살균은 램프는 반사물질 및 수중 내에 방사될 경우 광원에서 멀어질수록 살균강도가 달라지는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 살균 방식에 대한 단점을 극복하고자 기하학적인 타원의 성질을 이용하여 Xenon flashlamp로부터 발생하는 자외선부터 가시광선 영역의 모든 빛을 집광시키고 또한 광촉매를 사용함으로써 보다 긴 파장의 영역에서도 효과적인 살균효과를 얻을 수 있는 있도록 실험에서

* 준 회 원 : 부산대학 전자전기공학과 석사과정
** 정 회 원 : 부산대학 전자전기공학과 박사과정
*** 비 회 원 : 부산대학 생명과학과 박사과정
§ 비 회 원 : 부산대학 생명과학과 교수
§§ 정 회 원 : 한국전기연구원 선임연구원
† 교신저자, 시니어회원 : 부산대학 전자전기공학과 교수
E-mail : heeje@pusan.ac.kr
접수일자 : 2008년 12월 8일
최종완료 : 2008년 12월 31일

일반적으로 레이저 발전에 많이 사용하는 태양빛과 흡사한 다 파장영역을 가지는 Xenon flashlamp으로 펄스 방전이 가능 하도록 설계하였다. 대장균이 들어 있는 두께 1mm 석영 유리관에 내·외부 표면에는 광촉매 TiO2를 졸-겔 형태로 Dip Coating시킴으로써 최대의 살균효과를 얻고자 하였다. 실제 기하학적 특성을 이용하여 빛의 집광도를 높여 타원형 반응기내에서의 살균효과와 광촉매에 의한 상승효과를 친환경적으로 대장균에 대하여 살균력을 검증하는 것으로, 입력 전압과 펄스 반복률(pulse repetition rate)에 따른 살균력 특성을 비교 실험하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 사용 균주 및 배양

본 실험에서 사용된 균주는 Escherichia coli DH5a를 사용하였다. E. coli 균주는 Luria-Bertani(LB) (Sigma) 액체 배지 또는 1.5% agar를 첨가한 고체배지를 사용하여 200 rpm, 37°C의 shaking incubator에서 배양하였다[10]. 균주의 성장은 600nm에서 흡광도를 측정하여 관찰하였다. 본 연구는 용이한 colony 계수 측정을 위해 미생물 분리 배양법인 희석평판법을 응용하여 0.85% NaCl에 10¹¹ 차수까지 희석한 후 도말하여 18시간 배양하였다.

2.2 살균 펄스회로

본 실험에서는 살균을 위한 순차·충방전식 펄스전원장치는 충전용 커패시터와 제어용 스위치인 SCR을 이용하여 Main circuit와 Simmer circuit 및 Simmer trigger, PIC Micro-controller를 사용하여 Xenon flashlamp 방전제어부로 펄스형 전원 회로를 구성 하였다.

2.2.1 주 전원 및 시머(Simmer)회로

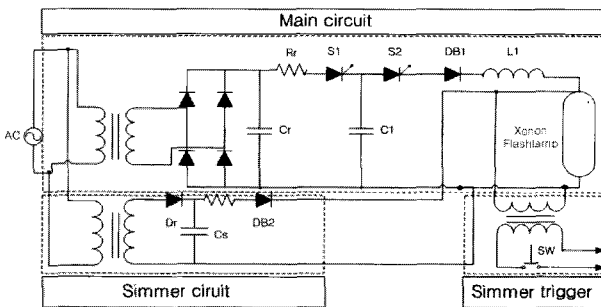


그림 1 순차 충전·방전 전원 장치의 회로도
Fig. 1 The sequential charge and discharge circuit

Main circuit는 정류부와 충전용 커패시터 탱크 및 제어용 SCR로 구성된다. 브릿지 정류기와 평활용 커패시터에 의해 정류된 전압이 충전용 커패시터 탱크에 저장되게 된다. 커패시터 탱크에 에너지를 충전하기 위한 충전장치는 충전 조건이 저항성 부하보다 훨씬 까다로운 용량성 부하에서 레이저 평균출력 50W를 얻기 위하여 최대 1kW 이상의 출력이어야 하므로 높은 전압을 견딜 수 있는 SCR을 채택하였다. Main circuit는 그림 1에 보이는 바와 같이 스위치 S₁

과 S₂의 순차적인 동작에 의해, 충전과 방전의 두 가지 모드 가 존재한다. 방전 시간은 충전 시간에 비해 매우 짧다. 방전이 진행된 후 충전 모드로 가게 될 때 초기의 커패시터는 거의 단락 상태에서 충전을 시작하여 최대 충전 값에 이르게 될 경우 커패시터를 목표한 전압 값까지 충전시키게 된다. 커패시터의 평균 출력 파워는 펄스 반복률과 커패시터의 충전 전압에 의해 결정된다. 이는 커패시터가 방출하는 에너지를 계산하는 단위인 와트 $W = J/s$ 에 의해 결정되는데 초당 에너지 방출이 펄스 반복률에 의해 조절되기 때문이다. 커패시터 탱크에 저장된 에너지는 살균을 위해 Xenon flashlamp에 인가되는 에너지로 커패시터 용량과 입력전압, pps(pulse per second) 관계로 다음의 식에 의해 계산된다[15].

$$P_{av} = \frac{1}{2} CV^2 \times (pps) \tag{1}$$

이 에너지는 Xenon flashlamp에 트리거 펄스가 가해져서 방전이 시작되면 전기 에너지가 코일을 통해 Xenon flashlamp 에 전달되고 이 에너지만큼 빛으로 방출된다. 이때 너무 많은 에너지가 순간적으로 Xenon flashlamp에 공급되면 Xenon flashlamp가 소손될 염려가 있으므로 이를 방지하기 위해 코일을 통해 방전이 이루어지도록 설계하였다. Xenon flashlamp의 구동을 트리거 회로와 시머(simmer) 전원을 사용하여 초기 방전 개시와 방전 유지를 할 수 있도록 구성하였다. 트리거 회로는 비선형 부하인 Xenon flashlamp의 초기 스트리머 방전을 일으켜 주 방전이 발생하도록 하는 역할을 하며 Xenon flashlamp 내의 예비 방전을 유지시키는 역할을 수행한다. 시머 회로의 구성은 고압 트랜스포머 2 차측에 정류 다이오드와 평활용 커패시터를 통해 발생시킨 고압의 DC를 정류 제한용 저항을 거쳐 Xenon flashlamp와 연결되도록 하였다. Xenon flashlamp는 초기 저항이 무한대에 가까우며 전류가 흐르지 않지만, 시머 트리거에 의해 피크치 15kV인 고압 펄스를 Xenon flashlamp의 외벽에 인가하여 방전 유도에 의해 Xenon flashlamp 내부에 시머 전류가 흐를 수 있도록 하였다. 주 회로와 트리거 회로는 방전시 역(逆) 전류에 의한 소자의 파손을 방지하고자 블록킹 다이오드(Blocking diode)를 삽입하였고, 시머 전류는 50mA를 유지하였다. 그림 2는 실제 제작한 주 회로이고, 그림 3은 시머회로와 시머트리거이다.

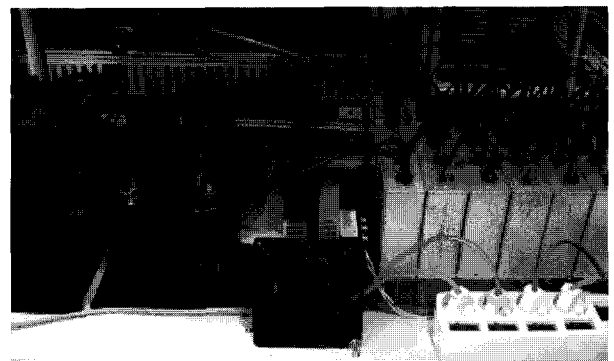


그림 2 주 회로
Fig. 2 Main circuit

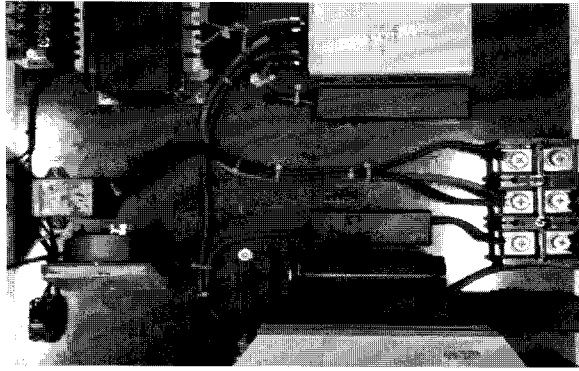


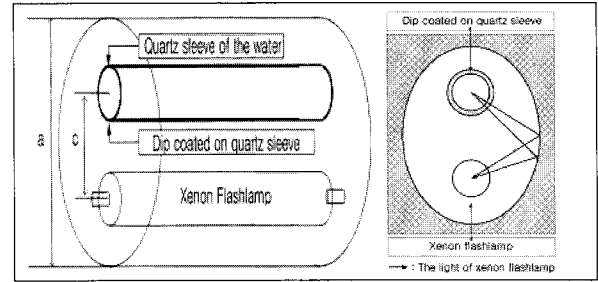
그림 3 시머 회로 및 시머 트리거
Fig. 3 Simmer circuit and Simmer trigger

2.2.2 램프방전 제어부

램프방전 제어부는 두 개의 SCR을 순차적으로 ON/ OFF에 의해서 Xenon flashlamp의 방전의 강도 조절이 가능하다. 제어부는 PIC을 이용하여, 마이크로프로세서의 내부적인 프로그램에 의해서 SCR의 제어 펄스신호가 발생하도록 설계하였다. 펄스반복률을 조절하는 신호와 실행신호 (RUN) 및 PIC16F877의 MCLR (Master Clear Low-input Reset) 핀을 이용하여 전체 시스템을 리셋시키는 동작을 하도록 구성하였다. 또한 실시간으로 동작을 체크하기 위해 LCD 모듈인 LC1621-TRNS6 (16 Characters X 2 Lines)를 사용하였다. PIC의 제어 신호가 SCR을 충분히 구동할 수 있도록 하기 위해서는 15V의 구동 펄스신호가 SCR의 게이트(Gate)에 인가되어야 하나, 안정적인 동작 및 외부환경의 영향으로 신호 크기의 감쇄 등을 고려하여 24V 진폭을 가지는 펄스신호를 인가하였다.

2.4 실험장치

본 실험을 위해 제안한 타원형 반응기는 그림 4 (a)측면도, (b)단면도와 같다. 타원 반응기 내부의 두 초점 중에 한 초점은 Xenon flashlamp가 위치하고 다른 한 초점에는 실험 대상으로 석영 유리관 또는 TiO₂으로 내·외부의 이중으로 Dip coating된 석영 유리관이 위치하게 된다. 실제 TiO₂로 코팅된 석영 유리관은 자외선에 노출될 경우 광촉매 작용을 하여 TiO₂ 코팅 표면에서의 산화환원반응에 의한 수산화라디칼의 살균작용 및 친수성에 의한 방오·방수작용을 하게 된다.[8,12] 실험에 사용한 펄스형 Xenon flashlamp는 자외선 전 영역 파장의 빛을 내기 때문에 석영 유리관 내부의 살균력을 높이는데 TiO₂코팅이 유리하게 작용한다. 기존의 연구에 따르면 보통 자외선 살균시에 주의 온도가 설계온도보다 너무 높거나 낮으면 과열 또는 과냉되어 자외선의 조사강도 출력이 낮아지는 것으로 알려져 있고, 또한 램프의 온도가 35°C전후가 자외선방사가 가장 높다[13,14]. 이것은 램프전류 등에 의해서 변화하기 때문이다. 따라서 이 조건에 적합하지 않으면 최고출력에 이르지 못하므로 사용 환경 조건에 알맞도록 설치하기 위해서, 실제 실험에서 반응기 내부에 수냉식 냉각방식으로 35°C전후로 온도를 일정하게 유지시켰으며, 이중으로 석영 유리관 내·외부가 TiO₂로 Dip coating되어 있기 때문에 냉각시에 수중에 생기는 석영 유리관 외부표면 오염방지 역할도 한다.



(a) 반응기 측면도 (b) 반응기 단면
(a) A side view of reactor (b) A cross section of reactor

그림 4 반응기 (a)측면도와 (b)단면도
Fig. 4 A side view and a cross section of reactor

표 1은 타원 반응기의 실제 사용된 사양이며, 반응기 내부의 빛의 집광도를 높이기 위해서 반사율이 높은 알루미늄 빛 은이 도금되어 있다.

표 1 타원 반응기의 사양
Table 1 The elliptical reactor specifications

타원 반응기 재료	알루미늄 합금
타원 반응기 내부 코팅된 재료	알루미늄과 은
타원 반응기 길이	156mm
타원반응기의 이심률(離心率)	0.536
타원의 장축 길이(a)	28mm
타원의 초점간의 길이(c)	24mm
석영 유리관 반경	8mm
Xenon flashlamp의 반경	7mm

3. 결과 및 검토

3.1 광촉매 dip coating

본 실험을 위한 석영 유리관을 광촉매 TiO₂ 졸-겔 형태로 Dip Coating 시키기 위해서 에탄올 60ml용매에 전구물질인 Titanium(IV) Isopropoxide 6ml 주입하고 H₂O 와 HCl을 각각 2ml씩 잘 혼합 되도록 천천히 한 방울씩 떨어뜨려, 40°C에 550rpm으로 45분간 균일하게 교반 뒤 상온에서 약 24시간 동안 반응 시켜 TiO₂ 졸 용액을 얻었다. 그림 5와 같이 석영 유리관을 Dip coating이 가능하도록 350rpm 속도로 천천히 인출한 후에 약 2시간 정도 공기 중에 노출 시킨다. 공기 중에 노출 시킨 후에는 소성을 하게 되는데, 이때 소성 온도는 450°C 30분간 소성한다. 그 이유는 TiO₂의 결정 구조는 rutile, anatase, brookite 등 세 가지 결정으로 그 중에서 특히 활성이 높은 anatase 결정 구조를 형성시키기 위한 것이다.[10] TiO₂ 코팅 두께는 인출속도 및 점도, 액체 증발표면 장력으로 관계로 식 (2)와 같이 Landau-Levich equation에 의하여 실험에서 두께가 결정되며[11], 실제 실험에서 정확한 두께를 측정을 위해 그림 6과

같이 SEM 촬영을 통해 TiO₂ 코팅 막 두께 약 250nm으로 측정할 수 있었다.

$$h = 0.94 \frac{(\eta \cdot v)^{2/3}}{\gamma_{Lv}^{1/6} (\rho \cdot g)^{1/2}} \quad \text{식(2)}$$

- η : 점도
- h : 코팅두께
- v : 인출속도
- γ_{Lv} : 액체 증발표면 장력
- ρ : 액체 밀도
- g : 중력

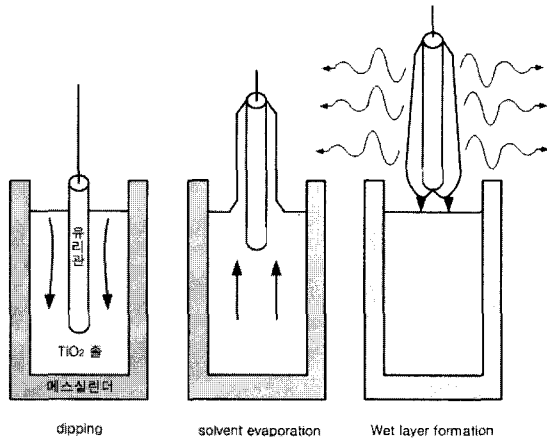


그림 5 Dip coating 과정도
Fig. 5 The dip coating process

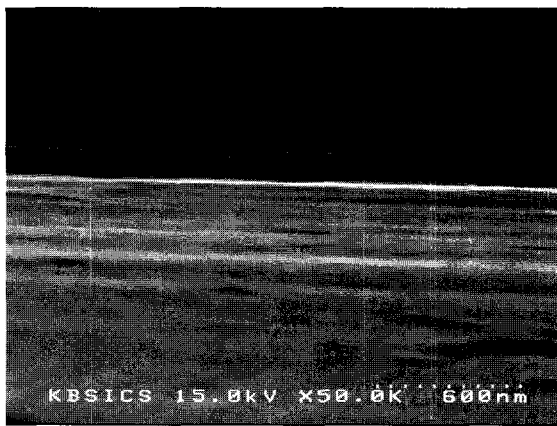


그림 6 TiO₂ 코팅된 석영 유리관의 SEM사진
Fig. 6 The SEM image of quartz sleeve coated TiO₂

3.2 입력전압과 펄스 반응실험

본 논문에서 제안한 타원형 반응기의 입력전압과 펄스 반복률에 따라 대장균 살균특성을 알아보기 위한 실험으로 TiO₂ 코팅된 석영 유리관과 석영 유리관을 각각의 내부에 초기 $7.1 \times 10^5 CFU/ml$ 인 대장균을 주입하였다. 반응기

내부의 온도는 냉각수를 순환시켜 35°C 온도로 유지 시키고 대장균이 흐름이 없는 정적상태에서 시간을 5분으로 고정하고, 입력전압은 200V~1000V 및 펄스 반복률은 2-10pps까지 가변하면서 실험을 하였다. 그림 7, 8은 전압과 펄스반복률에 의해 살균처리 된 석영 유리관 및 TiO₂ 코팅된 석영 유리관을 이용하여 타원형 반응기 내부에서 Xenon flashlamp 조사 후 살아남은 대장균으로써, 균체를 배양하여 생성되는 Colony수를 센 후 희석배율을 곱하여 대장균을 산출하여 나타낸 것이다. 두 경우 모두 입력전압 1000V와 각 pps에서는 모두 99.99999% 살균효과를 나타냈으며, 석영 유리관 사용시 최소 입력전압 800V, 10pps와 TiO₂ 코팅된 석영 유리관 사용시에는 800V, 6pps에서 99.99999% 살균효과를 나타냈다. 이러한 결과는 입력전압 및 pps의 변화는 방전시키기 위한 Xenon flashlamp 입력에너지를 변화시키는 것으로, 입력에너지 관점에서 석영 유리관보다 TiO₂ 코팅된 석영 유리관에서 약 40% 절감효과를 얻을 수 있었다.

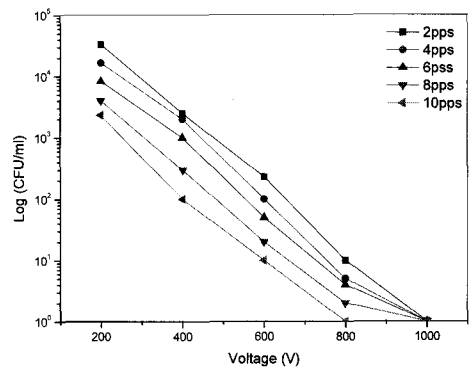


그림 7 두께 1mm 석영 유리관 사용시 전압 및 펄스에 의한 대장균수
Fig. 7 In case of using the quartz sleeve(1mm thickness), log inactivation of E. coli versus voltage and pulse repetition rate

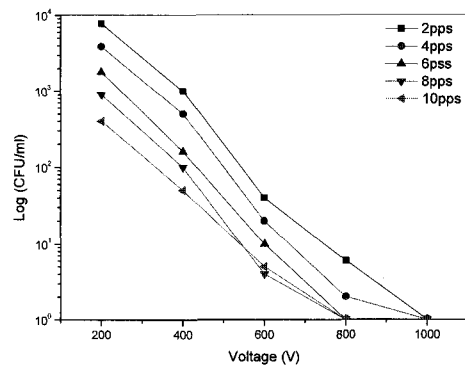


그림 8 TiO₂ 코팅된 석영 유리관 사용시 전압 및 펄스에 따른 대장균수
Fig. 8 In case of using the quartz sleeve coated TiO₂ log inactivation of E. coli versus voltage and pulse repetition rate

그림 9, 10은 일정전압에 각 펄스 반복률 변화에 따른 평균 대장균수 및 일정 펄스반복률에 각 전압변화에 따른 평균 대장균수를 나타낸 것이며, 결과로부터 살균시에 전압이 펄스 반복률 보다 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다. 그림 11은 살균방법에 따라 살균분포를 나타내는 그림으로 타원반응기 내에서 석영 유리관을 사용시에 초기 대장균 $7.1 \times 10^5 CFU/ml$ 에서 평균 값 $2.8 \times 10^3 CFU/ml$ 으로 98.22% 살균이 가능하였으며, TiO₂ 코팅된 석영 유리관에서는 $6.7 \times 10^2 CFU/ml$ 으로 99.9% 살균이 가능 하였다. 두 경우 살균력을 비교하면, TiO₂ 코팅된 석영 유리관을 사용할 경우에 76.4% 정도 살균 효과가 우수한 것으로 나타났다.

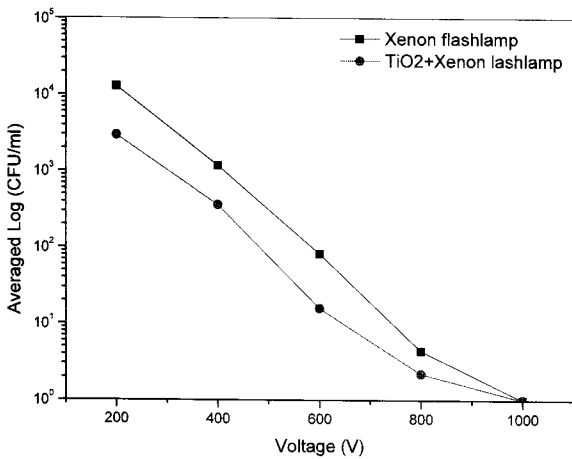


그림 9 전압변화에 따른 대장균수의 평균 값 (pulse repetition rate 일정)

Fig. 9 Averaged log inactivation of E. coli versus voltage (The fixation of pulse repetition rate)

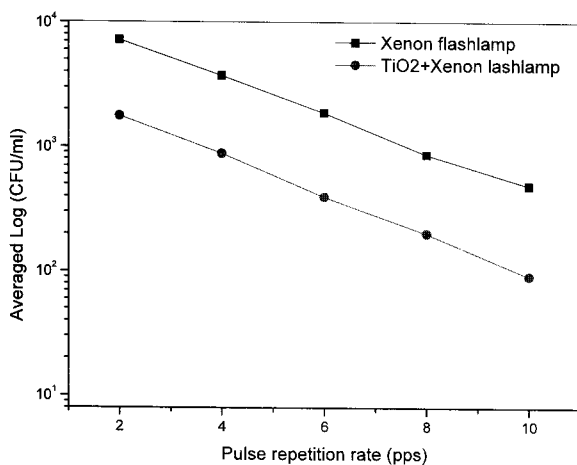


그림 10 펄스 반복률 변화에 따른 대장균수의 평균 값 (Voltage 일정)

Fig. 10 Averaged log inactivation of E. coli versus pulse repetition rate (The fixation of voltage)

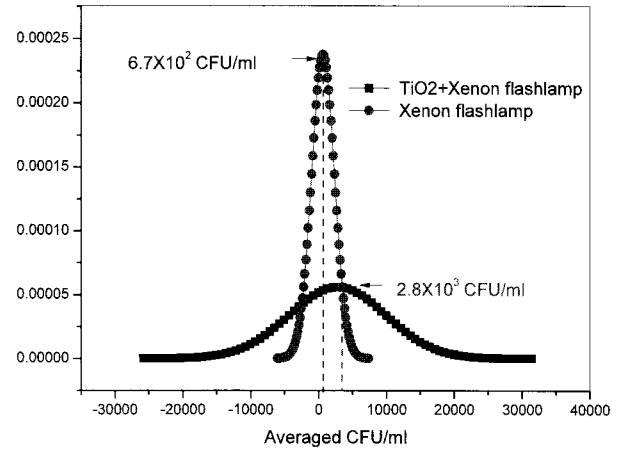


그림 11 살균방법에 따른 살균분포

Fig. 11 A distribution of sterilization versus the sterilizing method

3.2 투과도 측정

투과도 측정 실험은 타원형 반응기 내부의 집광도를 측정하기 위하여 Photo Meter Model IL1400A로 시머회로를 동작시켜 스트리머 방전을 통하여 타원형 반응기 내부와 외부에서의 빛의 세기 및 TiO₂ 코팅된 석영 유리관과 석영 유리관 투과도를 측정하였다. 다음과 같이 빛의 세기와 투과도를 정리하면 표 2와 같다.

표 2 타원 반응기의 빛의 세기와 석영 유리관 투과도
Table 2 The light intensity of the elliptical reactor and transmittance of quartz sleeve

장 치	측정 범위		감쇠(%)
타원형 반응기	빛의 세기		38.11
	외 부	808uw/cm ²	
	내 부	500uw/cm ²	
유리관	투과도		11.3
	석영 유리관	11.42uw/cm ²	
	TiO ₂ 코팅된 석영 유리관	10.08uw/cm ²	

실험결과로부터 타원형 집광도는 수증에서 Xenon flashlamp 방사 및 반응기 내부의 반사재료, 석영 유리관 재질에 포함하여 약 총 61.89% 집광도를 보였다.

3. 결 론

다 파장영역을 가지는 Xenon flashlamp와 타원형 반응기 내부에서 광촉매를 사용한 대장균 살균 실험에서, 타원형의 기하학적인 특성을 고려한 집광도 여부를 판단하기 위해 Xenon flashlamp 및 석영 유리관 투과도 실험을 통하여 61.89% 집광도를 얻을 수 있었다. 그 이유는 반응기 내부에 온도 유지를 위해 수냉식으로 온도를 유지하기 때문에, 물에 대한 투과도와 TiO₂ 코팅된 석영 유리관 사용(11.37% 감소) 및 타원형 반응기 내부 코팅 막 재료의 반사율에 따라 빛의 투과정도가 감소의 원인이라고 볼 수 있다. 실제 자외선을 물속에서 방사할 때 quartz, fused silica 석영 유리관에서 96%정도 전달시킬 수 있다고 한다. 이런 이유로 볼 때 전체 약 38.11%정도의 감소는 모든 조건을 고려하면 완벽하게 집광을 할 수 없지만 61.89%정도는 집광이 가능한 것으로 볼 수 있다.

각 pps에 1000V에서 99.999999% 살균이 가능하였고, 석영 유리관 보다 TiO₂ 코팅된 석영 유리관이 76.39% 정도 살균효과가 우수한 것으로 나타났다. 그 이유는 다 파장영역을 가지는 Xenon flashlamp으로부터 조사되는 자외선을 흡수한 Dip coating된 광촉매 TiO₂는 마치 태양전지의 원리처럼 - 전기를 가진 전자(e⁻)와 + 전기를 가진 정공(h⁺)이 형성된다. 그 중에서 정공(h⁺)는 특히 강력한 산화작용을 하는 수산화물(OH Radical)을 형성하여 살균용 염소나 차아염소산 오존보다도 강력한 산화력을 갖게 되어 석영유리관 보다 TiO₂ 코팅된 석영 유리관의 강한 살균효과 나타났다고 생각된다.

한편, 전압과 펄스의 살균효과의 영향에서 전압이 우수한 것으로 밝혀졌으며, 이는 식(1)로부터 입력에너지가 전압의 제곱에 비례하며, 입력에너지에 따라서 Xenon flashlamp의 빛의 조사강도가 결정되기 때문에 대장균 살균효과에 큰 영향을 주기 때문이다. 결론적으로 본 실험에서 TiO₂ 코팅된 석영유리관은 빛의 투과도가 석영 유리관 보다 11.3% 낮지만, 타원형 반응기 내부 기하학적 특성상 집광시키는 역할 및 Xenon flashlamp의 자외선을 흡수를 통해 강한 산화·환원작용으로 TiO₂ 코팅된 석영 유리관 살균력이 석영 유리관 보다 살균력이 76.39%로 살균력이 증가 된 것으로 사료된다. 더욱이, 타원형 반응기 내에 TiO₂ 코팅된 석영 유리관 사용 시 입력전압 800V, 펄스 반복률 6pps와 석영 유리관 800V, 10pps일 때 99.999999% 살균을 가능하였고, 입력에너지 측면에서 석영 유리관 사용시 160J, TiO₂ 코팅된 석영 유리관을 사용시에는 96J으로 석영 유리관 보다 TiO₂ 코팅된 석영 유리관 입력에너지가 40% 절감 효과가 있었다.

본 실험 결과로부터, 타원반응기 내부에서 자외선의 투과도 보다 타원의 구조상의 빛의 집광도 및 광촉매 산화·환원반응이 대장균의 살균력을 크게 지배한다고 생각 할 수 있으며, 또한 Xenon flashlamp와 광촉매를 함께 사용한다면 적은 에너지로 대장균 살균효과를 극대화 시킬 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] LeChevallier, M. W., Welch, N. J., and Smith, D. B., "Coliform regrowth in drinking water", J. Journal AWWA, Vol. 82, Iss. 11, pp. 74~86, November 1990.
- [2] 이규환, 이상진, 이용재, 이동석, "UV/TiO₂ 수처리 공정에서의 살균에 관한 연구", 강원대학교 산업기술연구소 논문집, Vol. 27, No. A, 2007.
- [3] Matsunaga, T., Tomoda, R., Nakajima, T. and Wake, H., "Photoelectrochemical sterilization of microbial cells by semiconductor powders", FEMS Microbiol. Lett., Vol. 29, Iss. 1-2, pp. 211~214, Jun 1985.
- [4] Ha, H. and Anderson, M. A., "Photo-catalytic degradation of formic acid via metal-supported titania", J. Environ. Eng., Vol. 122, No. 3, pp. 217~221, 1996.
- [5] Ollis, D. F., Pelizzetti, E., and Serpone, N., "Photocatalytic destruction of water contaminants", Environ. Sci. Technol., Vol. 25, No. 99, pp. 1522~1529, 1995.
- [6] 김시욱, 이정섭, 정혜광, 박 열, 윤성명, 유진철, 이범규, 이인화, 박진열, "UV-TiO₂ 광촉매 반응기를 이용한 미생물의 살균효과", 朝鮮大學校 環境研究 第14卷 pp.125-137, 1998.
- [7] Laroussi, M. Dobbs, F.C. Wei, Z. Doblin, M.A. Ball, L.G. Moreira, K.R. Dyer, F.F. Richardson, J.P., "Decontamination of Water by Excimer UV Radiation", IEEE Transactions on plasma science, Vol 30, No. 4, August 2002.
- [8] 박진규, 김호건, "친수 유리용 TiO₂ 박막 개발", J. Korea Ind. Eng. Chem, Vol. 13, No. 1, pp. 104~108, February 2002.
- [9] Bertani, G. "STUDIES ON LYSOGENESIS I: The Mode of Phage Liberation by Lysogenic Escherichia coli", J. Bacteriol., Vol. 62, Issue 3, 293-300, September 1951.
- [10] 김승민, 윤태관, 홍대일, "TiO₂ 광촉매 활성에서 소성 온도의 영향", 한국환경과학회지, Vol. 49, No. 6, pp. 567~574, 2005.
- [11] Jeffrey Brinker and Alan J. Hurd, "Fundamentals of sol-gel dip-coating", Phys. III France 4 p.1231~1242, 1994.
- [12] 공병기, 장미경, 최창용, 나상권, 나재운, "졸-겔법에 의해 제조한 티타니아 졸의 살균 및 탈취 특성", J. Korea Ind. Eng. Chem, Vol. 15, No. 6, pp. 681~685, October 2004.
- [13] Vanosdell, D. and Foarde, K., 2002, "Defining the effectiveness of UV lamps installed in circulating air ductwork", Final Report ART -21CR/610-40030-01.
- [14] 홍진관, "공조시스템에서 UV Ray의 조사 및 표면 살균 성능에 관한 실험적 연구", 설비공학논문집, Vol. 6, No. 3, pp. 250~257, 2004.
- [15] Alexander Sadiku, Fundamentals of Electric Circuits, Mc Graw Hill, pp. 202~205. 1999.

저 자 소 개



이 동 길 (李 東 吉)

1982년 6월 30일생. 2008년 부산대학교 공대 전자전기통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학 중.



홍 지 태 (洪 知 兌)

1981년 11월 30일생. 2004년 한국해양대학교 공대 제어컴퓨터정보공학과 졸업. 2007년 부산대학교 대학원 메카트로닉스 과정 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학과 박사과정 재학 중.



최 경 화 (崔 京 花)

1981년 8월 31일생. 2005년 부산대학교 자연과학대학 생명과학부 졸업. 2007년 부산대학교 대학원 생명과학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 생명과학과 박사 과정 재학 중.



차 재 호 (車 載 鎭)

1963년 11월 18일생. 1986년 서울대학교 식품공학과 졸업. 1988년 서울대학교 대학원 식품공학과 졸업(석사). 1994년 코넬대학교 대학원 식품과학과 졸업(박사).



김 홍 주 (金 弘 柱)

1973년 1월 10일생. 1996년 포항공대 전자전기공학과 졸업. 2003년 포항공대 전자 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 신재생에너지시스템연구센터 근무중.



김 희 제 (金 熙 濟)

1955년 10월 23일생. 1980년 부산대학교 공대 전기공학과 졸업. 1982년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 규슈대학교 대학원 에너지공학과 졸업(박사).