



UV/Ozone 복합 살균기의 살균력 개선 연구

지정은, 양원균, 박은철, 김강석, 주정훈*

군산대학교 신소재·나노화학공학부 신소재공학전공, 플라즈마 소재응용 센터

Improvement of a UV/Ozone Duplex Sterilizer

Jungeun Jee, Wonkyun Yang, Eunchul Park, Kangsuk Kim, Junghoon Joo*

Department of Materials Science and Engineering
 Plasma Materials Research Center, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

(Received April 7, 2008 ; accepted April 15, 2008)

Abstract

We investigated sterilization characteristics of UV lights by counting the number of bacteria units with varying sterilization time and distance from the light source. We focused on an idea that UV light of 184.9 nm could generate ozone and developed a new sterilizer. The UV-ozone duplex system sterilized bacteria faster than UV-only sterilizers. To reduce shadowing effects by target objects, we used UV transparent quartz plate as a support and put a reflecting plate. Distribution of UV irradiation intensity and ozone supply were analyzed by a 3D model and measured by a semiconductor UV sensor. But even with an Al reflector, multi-layered pens could not be treated properly from UV irradiation only. Ozone generating lamp could treat more uniformly multi-layered pens with a stirring fan by supplying ozone to shadowed surfaces.

Keywords: UV-Ozone sterilizer, Reflecting plate, Transmitting plate, Bacteria, Numerical model

1. 서 론

대부분의 전염병은 한 번 유행하면, 집단 면역이 생겨 몇 년간 유행하지 않다가 시간이 흐르면서 돌연변이가 생기거나 면역력이 점점 감소하여 다시 유행하기 때문에 주기를 형성한다¹⁾. 급성출혈성 결막염 등 대규모 전염병의 유행은 주로 면역력이 약한 학생들에게 많이 나타난다. 특히 급성출혈성 결막염 설문조사에 따르면 학생들의 경우 학교에서의 전염이 64.9%로 절반이 넘는 결과를 나타내었으며 3위가 학원으로 조사되었다²⁾. 이러한 결과를 토대로 접촉이 많고 오염이 간과되고 있는 필기구를 살피게 되었다.

살균의 종류에는 고압살균(high pressure sterilization, HPS)과 heat treatments, AOP(advanced oxidation process) 광산화법등 여러 살균법이 있다³⁾. 예를 들면 열에 의한 살균법은 시간과 온도에 밀접하게 관

련이 있어 음식과 식기류 등에 많이 사용되고 있다. 이 중에서도 자외선은 화학작용, 생리작용이 크며 이를 이용하여 살균 및 탈취 등의 위생 분야에서 널리 사용되고 있다. 자외선의 조사에 의해서 세포내의 핵산(DNA)이 변화, 신진대사의 장애가 오고, 증식능력을 잃어 세포는 결국 사멸하게 된다. 253.7 nm의 살균선과 183.9 nm의 오존 발생선을 이용하여, 표면 살균과 공기 살균, 물 살균 등의 여러 살균을 할 수 있다. 또한 피조사물에 거의 변화를 주지 않으며, 조사받은 균에 내성을 주지 않는다. 학생이 있는 실내에서 그대로 살균 가능하고 살균 효과는 조사 중에 한하여 유독물이 잔존하지 않는 편리성에 의해 널리 사용되고 있다⁴⁾.

이러한 자외선 살균을 이용할 때, 세균의 생존율은 조사량(방사강도×조사시간)에 대해 지수 함수적으로 감소하며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다⁵⁾.

*Corresponding author. E-mail : jhjoo@kunsan.ac.kr

$$S = P/P_0 = e^{(-E \cdot t/Q)} \quad (1)$$

- S : 살균의 생존율
- P : 조사후의 살균 수
- P₀ : 조사전의 살균 수
- E : 살균선의 방사강도[μW/cm²]
- t : 조사시간(min)
- Q : 생존율 S를 1/e(36.8%)로 하는데 필요한 살균선 조사량[μW · min]

자외선 직접 조사 살균법을 이용하게 되면 살균기 내면의 자외선 반사도를 높게 유지해야 하고 피처리물에 의한 그림자 효과를 억제할 수 있도록 살균기의 구조와 재료를 설계해야 한다.

2. 실험방법

2.1 살균기 제작

그림 1에 기존에 시험 제작된 UV-C 살균기를 나타내었다. 크기 150(W)×200(L)×50(H) mm³의 살균기에 253.7 nm의 자외선램프를 이용하여 필기구를 살균하게 되어 있으며 184.9 nm의 오존 램프를 삽입할 경우 공기 중의 O₂와 반응하여 O₃이 생성되게 하였다.

2.2 살균기 내부 구조물의 반사도와 투과도 측정

효과적 살균을 위하여 자외선의 강도를 유지하면서 피조사체의 표면에 고르게 입사시키는 것이 살균기 디자인에서 가장 중요한 요소다. 이를 위하여 표준 광원을 이용한 optical emission spectroscopy (OES)와 spectrophotometer를 이용하여 반사도와 투과도를 측정하였다. 측정 파장의 범위는 200~800 nm로 하고, 분해능은 0.1 nm로 측정하였다. 이 측정 결과를 토대로 석영 투과판과 금속 반사판의 디자인을 결정하였다.

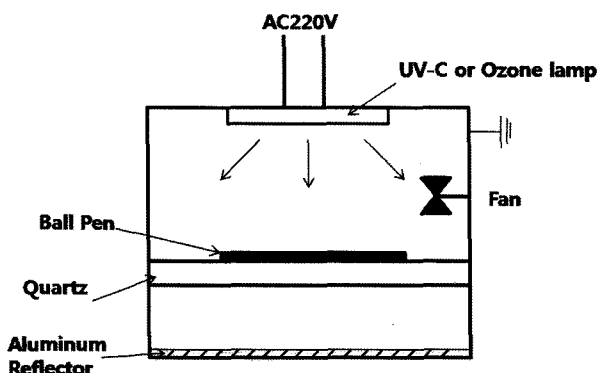


Fig. 1. The schematic diagram of a UV/ozone duplex sterilizer.

2.3 직접 조사 방식과 투과 및 반사 방식 간의 비교분석

본 연구에 사용된 투과 및 반사방식과 기존의 직접 조사 방식을 비교하기 위해, 동일한 시간 및 거리에서, 표준적 방법으로 생존 세균의 수를 측정하였다. 두개의 시료를 채집하여 각각 시험관에 담아 1차 배양한 후 다시 배양접시에 옮겨 최종 배양하였다. 배양접시에 살아있는 세균의 전체수를 정량적으로 산출하기 위해, 표준평판계산법(standard plate count)을 사용하였다. 이 방법은 미국보건성에서 세균 수 측정에 이용하도록 법령으로 정하고 있는 방법으로 시료를 계단 희석하여 한천배지와 혼합분주하고 배양기에서 24~48시간 배양 관찰하는 방법으로써 집락 계산에 편리하고 생존수 측정에 정확성이 높다고 알려져 있다⁶⁾.

세균 수 관찰을 위한 plate 준비에서는 세균의 배양을 위해 50°C로 식힌 한천배지(nutrient agar)와 측정 정확도를 위해 배양접시를 멸균하여 준비하였다. 용액 채취에는 1 ml 피펫을 사용하였고 세균 희석을 위해 멸균 증류수 99 ml 병을 3개를 사용하였다. 그리고 세균 수 측정을 하기 위해 미생물계수기(colony counter)와 혈구 계산기(mechanical hand counter)를 이용하였다.

배양된 plate 제작 과정으로는 한천배지(nutrient agar)를 멸균 후 50°C 전후로 식히고 멸균 증류수를 99 ml씩 멸균 병 3개에 각각 넣은 다음 A, B, C로 표시하였다. Petri dish 4개에 각각 1:10,000, 1:100,000, 1:1,000,000으로 표시한 후 배양액을 흔들어 1 ml를 피펫으로 A에 넣고 약 25회 가량 강하게 흔들어 균 덩어리를 풀어 주었다. A에서 1 ml를 취하여 B로 옮기고 A와 같이 흔든 후 다른 멸균 피펫으로 1:10,000이라고 표시한 Petri dish에 1 ml, 1:100,000 plate에 0.1 ml 그리고 C에 1 ml를 옮기고 25회 정도 흔들어 1:1,000,000 plate에 1 ml, 1:10,000,000 plate에 0.1 ml를 옮겼다. 그 후 4개의 plate에 50°C항온 수조에 식힌 멸균된 한천배지를 각각 15 ml씩 부어 배지와 균 액이 잘 섞이도록 천천히 plate를 돌리고 배지가 완전히 굳으면 앞에서 35°C에서 48시간 동안 배양하였다. 이렇게 배양된 plate의 세균수를 산출하기 위해 실험대 위에 놓고 집락을 관찰하였다. 여기서 집락의 숫자가 25개 이하거나 250개 이상인 것은 통계적으로 신빙성이 없으므로 25~250개의 집락이 있는 것만 고른 후 plate 뚜껑을 열고 집락계산기 위에 올려 그 수를 세어 1 ml당 세균수를 산출하였다⁷⁾.

2.4 Ozone lamp의 오존 발생 특성 조사

살균기에 사용된 UV lamp는 253.7 nm 파장과

183.9 nm 파장을 방출하는 신안 HUV-127로 재질은 고순도 석영(SiO₂, 99.99%) tube이다. Tube의 길이는 126 mm이며 자외선 최대출력은 25(μ W/cm²)이며 오존 발생량은 20(ppm/hr)이다. 실제 오존의 발생을 측정하기 위해 Thermo Environmental instruments사의 49C O₃ Analyzer를 이용하여 확인하였다.

2.5 반도체 UV sensor를 이용한 조사 강도 분포 측정

피조사물의 유·무에 따른 자외선의 강도 차이를 측정하기 위하여 반도체 자외선 센서(Genicom, GUV-C-T10GM)를 사용하였다. 센서의 크기는 직경 4 mm이며 모듈의 크기는 22×16×10 mm³이다. 220~280 nm 파장의 자외선의 세기를 다이오드 방식으로 측정하여 전압으로 출력하며, 253.7 nm 파장에서 가장 민감하다. 응답속도는 3 ms이며 작동 온도 범위는 -30~85°C이고, 1.8 V~5.5 V의 출력전압을 갖는다. 또한, 출력전압과 자외선강도와의 관계는 $UV\ power(mW/cm^2) = 0.5 \times (\text{output voltage (V)} - 0.3)$ 이다. 조사된 자외선의 강도를 데이터 수집기(National Instrument, NI USB-6009, 14bit, Analog/ Digital converter)를 통해서 PC로 저장하였다. 측정위치는 자체 제작한 살균기의 quartz판(83 mm(W)×180 mm(L)) 위다. 센서모듈의 크기를 고려하여 넓이 방향으로 3점, 길이 방향으로 4점에서 측정하였다. 정확한 측정을 위하여 3M 투명 테이프를 이용하여 고정하였다. 자체 제작한 살균기 크기의 제한 때문에 피조사물의 적재에 따른 UV조사 강도 분포를 측정하기 위하여 330(W)×210(L)×200(H) mm³의 폴리머 경화용 UV 조사기(Spectronics Corp. Spectro Linker XL-1000 UV Crosslinker)를 이용하여 램프로부터 110 mm 가량 떨어진 위치에서 측정하였다. 측정방법은 반사를 저해하지 않는 알루미늄 재질의 지지대를 넣어놓고 센서를 넣어 램프의 위치 및 피조사물(볼펜)을 넣었을 때에 대하여 관찰하였다.

2.6 팬의 유·무에 따른 살균기 내부의 온도 측정

자외선램프에 의한 살균기 내부 온도 상승을 억제하고 오존의 원활한 내부 순환을 위하여 크기 80×80×22 mm³, 공기유량 최대 0.68 m³/min인 팬을 유입 방향으로 장착하였으며 팬의 작동 유·무에 따른 온도 차이를 쉘드가 있는 K타입의 열전대 4개를 살균기 내부에 삽입하여 측정하였다. 살균기 외부 평균온도는 23°C이며 30초 간격으로 약 25분가량 측정하였다. 또한 적외선 온도계(Fluke infrared thermometer68)를 이용하여 측정값을 비교하였다.

2.7 수치 모델을 이용한 자외선의 3차원 처리물 표면 조사 강도 분포 모델링

자외선의 조사 강도를 모델링하기 위하여 방사 열전달 계산 모듈에 ray tracing기능이 있는 전산유체역학 프로그램인 CFD-ACE+를 이용하였다. 즉, 전도와 대류에 의한 열전달을 0으로 놓고 오직 복사 에 의한 온도 증가만 계산하면 실제 자외선램프에 의해서 피처리물이 받는 자외선 량의 상대값을 구할 수 있는 점을 이용한 것이다. 또한 자외선램프의 실제 소모 전력의 대부분이 열로 방사된다는 점을 이용하여 복사, 전도, 대류를 모두 고려한 열전달 해석을 하여 실제 실험에서 살균기 내부의 온도가 증가하는 문제를 해석하였다. 살균기 안에 자외선램프가 중앙에 1개, 피처리물인 볼펜이 1~5개 있을 때 각각 비교, 해석하였다. 자외선램프와 금속 벽면 그리고 플라스틱인 볼펜의 표면의 방사율은 각각 0.95와 0.15로 가정하였다.

2.7 팬을 사용한 UV/오존 복합 살균 효과의 3차원 모델링

자외선의 직진 특성과 강제 순환 팬의 유동 특성에 따른 살균력의 균일도를 최적화하기 위한 방법으로 3차원 유체 계산 소프트웨어(CFD-ACE+)를 이용하여 그림 2와 같이 수치 모델화하였다. 모델에 사용된 화학 반응은 공간 반응과 표면 반응으로 오존의 생성은 자외선램프의 표면에서 산소 원자와 산소 분자를 만나서 오존을 발생시키는 것으로 가정하였으며 자외선램프 이외의 재료 표면에서는 일정한 비율로 재결합하는 것으로 계산하였다.

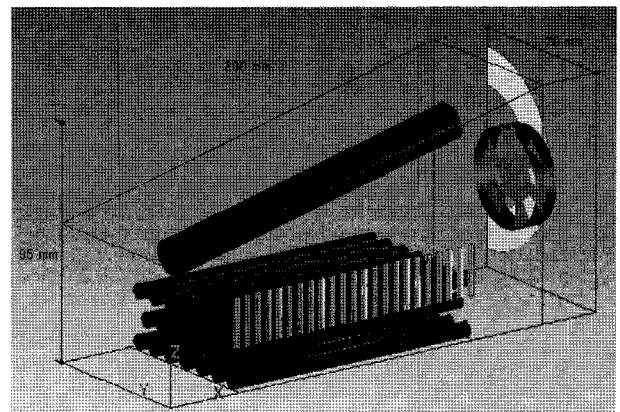
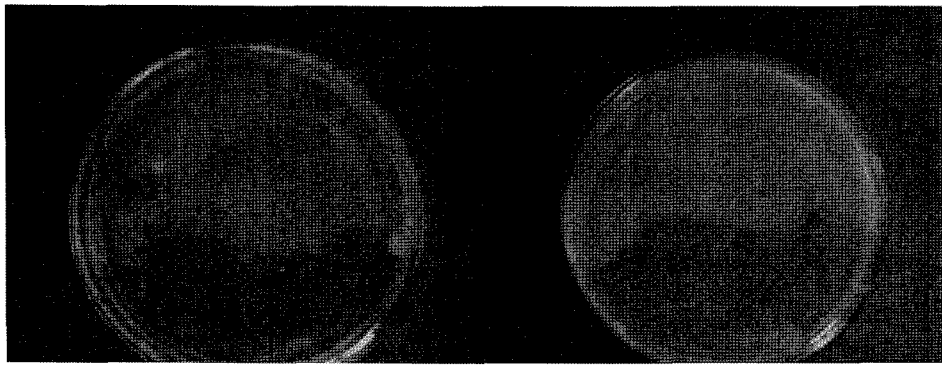


Fig. 2. A numerical model of UV/ozon duplex sterilizer with a fan.

3. 결과 및 고찰

3.1 직접 조사 및 투과-반사 방식의 특성분석

그림 3에서 기존의 자외선 직접 조사 방식과 투



(a) (b)

Fig. 3. A sterilized nutrient agar treated by (a) a UV-only, (b) UV-ozone.

과 및 반사방식으로 살균한 세균의 모습을 볼 수 있다. 일반 펜(평균 세균 수 5.60×10^8)을 기준으로 자외선램프와 5 cm의 거리를 두고 30초간 자외선 조사 실험한 결과 기존의 살균기에 비해 투과 및 반사방식으로 조사 시 세균이 2배 이상 빠르게 전멸하였다. 그림 4에서 직접 조사법과 투과 및 반사방식의 시간에 따른 생존 세균수를 관측해 보면, 30초를 기준으로 볼 때, 기존의 살균기의 세균 수는 370마리가 생존되어 있었고, 투과-반사방식의 세균 수는 모두 전멸하였다. 식 (1)을 이용하여 두 가지 방법에 의한 Q/E (세균수가 1/e로 감소하는데 걸리는 시간)를 실험 데이터에서 계산해보면 13초와 23초가 된다. 이는 일반 자외선 살균기는 직접 조사 만으로는 짧은 시간에는 세균을 전멸시킬 수 없다는 것을 말한다. 반면 투과-반사방식의 살균 방법은 반사된 자외선이 밀면에 있는 세균까지 영향을 미쳐 직접 조사로의 살균이 아닌 여러 방향의 복합적인 살균을 가능하게 한다. 투과판의 투과율과 반사판의 반사율을 조사하여 최적의 살균환경을 제작함으로써 짧은 시간 안에 세균을 전멸시킬 수 있었다.

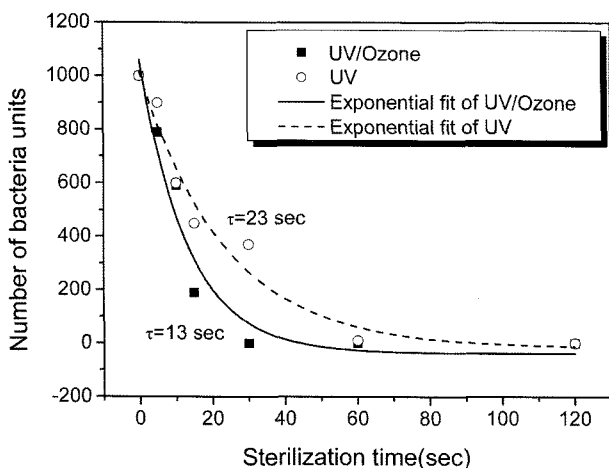


Fig. 4. Effects of ozone addition to UV on a sterilization time.

3.2 재료에 따른 자외선 반사도의 차이 측정

그림 5와 그림 6을 통해 반사-투과의 살균 효과

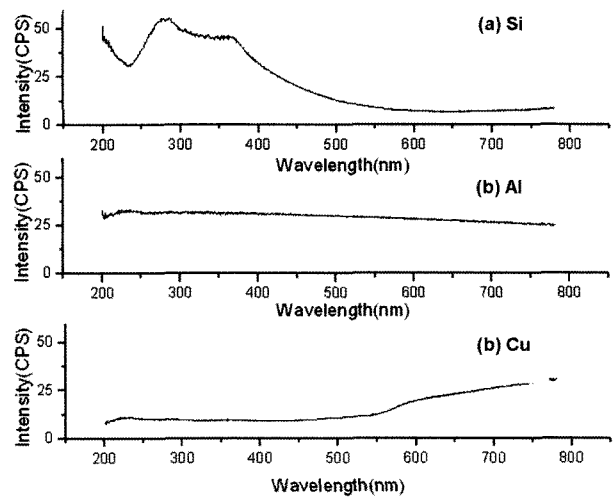


Fig. 5. Reflectivity measurements by a spectrophotometer of (a) Si wafer, (b) Al plate, (c) Cu plate.

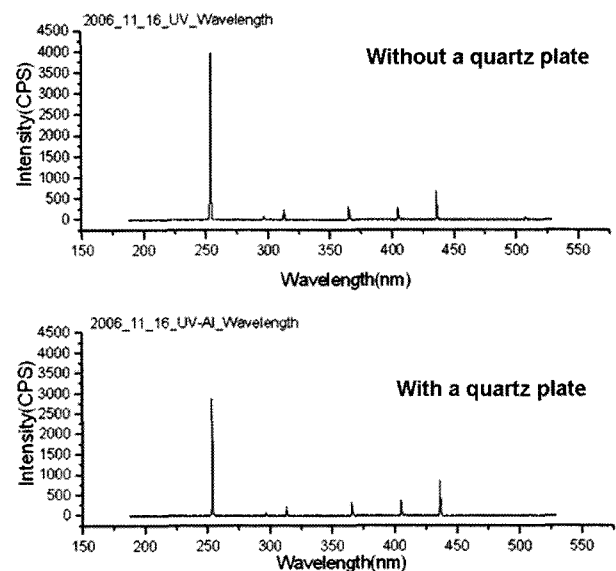


Fig. 6. Spectra of UV/visible standard light source (a) with a quartz plate, (b) without one.

를 비교할 수 있다. 자외선의 반사도는 반사체의 재질과 표면 거칠기에 따라 큰 차이가 난다. 몇 가지 반사체 재료를 이용하여 200~800 nm의 파장 범위에서 반사도를 측정하고 이를 토대로 투과판과 반사판의 디자인을 하였다. 반사도 데이터와 시간에 따른 살균된 세균수의 측정을 통하여 그 효과를 검증하였다.

3.3 UV sensor를 이용한 조사 강도 분포의 측정 결과

자외선 센서를 이용하여 살균기의 자외선 강도를 측정하였다. 이 때 측정되는 자외선의 조사 강도는 직접 조사량과 반사판에 의한 1, 2차 반사량이 포함된 값이나 반도체 센서의 개구율에 의해서 고차 반사량은 상당히 제한될 것으로 예측된다. 1차 측정은 제작한 살균기 내부에서 램프의 중앙에서 센서를 좌, 우, 중심 세 곳의 강도를 측정하였다. 그 결과 램프의 조사가 직선적인 중앙에서 1.71 V, 좌·우 평균 0.18 V로 측정되었다. 이 때 센서의 좌·우에는 살균기 설계상의 가림 효과가 있고, 모듈 자체의 크기에 의한 제한이 발생되었다. 따라서 그림 7과 같이 공간의 제약을 받지 않는 UV-C 조사기인 Spectro linker를 이용하여 2차 측정하였다. 측정 결과 그림 7과 같이 램프 중앙에서 2.14 V로 가장 높고 가장자리에서는 평균 0.71 V로 나타났다. 실제 제작한 살균기와 UV 조사기의 자외선 강도에 차이를 보이는 것은 UV조사기 램프의 출력이 16 W로 자체 살균기보다 강하여 발생하였다. 상대적인 감소는 센서 위치 3을 기준으로 하였을 때, 센서 위치 2, 4는 52%, 센서 위치 1, 5는 29%를 나타내었다. 또한, 가장 높은 조사 강도를 보인 램프 중앙에 피조사물을 위치시킨 후 측정하여 피조사물의 그림자 영향을 비교해 보면, 피조사물이 없을 경우

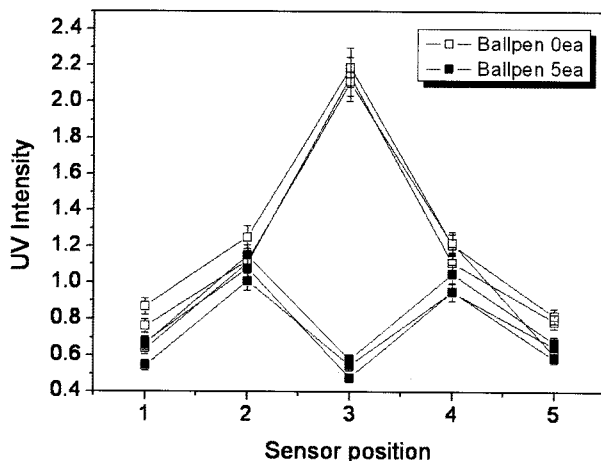


Fig. 7. Measurements of ultraviolet intensity at each position of pencils to be treated.

의 27%이며, 이것은 피조사물이 없을 경우에 램프 가장자리에서 측정된 값에도 미치지 못하는 강도이다. 이를 기준으로 하면 2층으로 처리물을 적재할 경우 살균 시간을 4배 이상 늘려 주어야 한다는 결론이 나오며 3층으로 적재할 경우에는 훨씬 더 길어진 살균 시간을 요하게 되므로 기구적으로 피처리물의 위치를 순환시킬 수 있는 방법이나 자외선 램프의 복수 설치를 강구하는 것이 효율적으로 예상된다.

3.4 팬에 의한 피처리물의 온도 증가 억제 및 오존 순환 효과

그림 8에 팬의 동작 유·무에 따른 살균기 내부의 온도변화를 나타내었다. 팬을 작동시키지 않았을 때 초기 평균온도 24.8°C가 약 25분 후 34.6°C로 내부 온도가 9.8°C 가량 상승하였다. 팬을 작동시켰을 때의 평균온도는 21.3~21.7°C로 비교적 균일한 값을 갖는다. 실제 팬의 유·무에 따른 살균력을 조사한 결과 팬이 없을 경우 박멸하는데 30초가 소요되었다. 반면 팬이 있을 경우 박멸시간 10초로 20초를 단축할 수 있었다. 이러한 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다.

첫째, 세균 증식 속도의 온도 의존성이다. 세균의 증식속도는 기질농도, 온도, pH에 의존하며 온도범위에 따른 세균의 생장허용 범위는 다르다. 일반적으로 고온성(55~75°C), 중온성(30~45°C), 저온성 등으로 분류하며 각각 최적온도를 갖는다⁸⁾. 본 연구에서 관찰된 세균은 사람이 사용하던 필기구에서 채취한 것으로 사람의 체온에 적합한 중온성 세균으로 보인다. 팬을 작동시키지 않았을 때 살균기 내부의 온도는 중온성 세균의 생육에 적합한 최적온도 30~45°C의 범위에 포함된다. 세균의 생존율은 최적의 온도까지 증가하나 적정온도가 이상이 되면

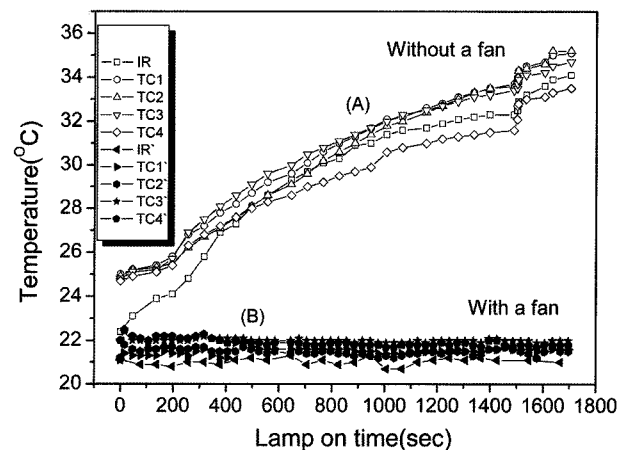


Fig. 8. Temperature distribution change inside of a sterilizer by a fan.

다시 감소하는 경향이 있다. 이러한 이유로 팬이 온도 상승을 억제하면서 중온성 세균의 증식이 억제되어 살균시간이 단축된 것으로 보인다.

두 번째, 팬에 의한 램프표면의 오존의 순환효과로 볼 수 있다. 팬이 작동되지 못하는 상황에서 253.7 nm 파장이 살균하지 못한 비조사면이 발생된다. 이때, 183.9 nm의 자외선에 의해 램프 표면에서부터 오존이 발생된다. 팬의 순환 효과에 의하여 오존이 자외선 비조사면까지 도달하여 살균시간이 단축된 것으로 보이며 이것은 수치모델을 통하여 확인하였다.

3.5 자외선의 3차원 처리물 표면 조사 강도 분포 모델링 결과

팬 1개가 있을 때와 5개가 두 층으로 적재됐을 때 자외선램프로부터의 자외선 방사량과 온도에 대해서 모사했다. 팬이 없는 경우, 공기에 대한 유동이 없기 때문에 팬이 자외선램프로부터 직접적으로 노출된 곳만 흡수가 일어나고 있었다. 즉, 팬의 아래쪽은 조사량이 거의 없기 때문에 오히려 방사하는 효과가 있었다. 그림 9에 팬이 위층과 아래층에 있을 때의 방사량의 분포를 보여주고 있으며, 팬이 하나에서 다섯 개로 증가할수록 각 팬마다 변화하는 복사에너지(W)를 나타내고 있다⁹⁾. 전체적으로 팬에서의 조사량이 가장 많은 경우는 한 층으로만 나열했을 때이다. 즉, 여러 층으로 피처리물이 적재되었을 때는 자외선의 조사만으로는 짧은 시간 내에 충분한 살균 효과를 얻기 어렵다는 결론을 얻을 수 있다.

3.6 팬을 이용한 오존의 내부 순환 성능 개선 모델링 결과

살균기 후면 케이스에 설치되어 100 rpm으로 작동하는 팬의 영향을 전산 모사한 결과를 내부 공기 순환식 구조와 외부 공기 유입식 구조로 그림 10

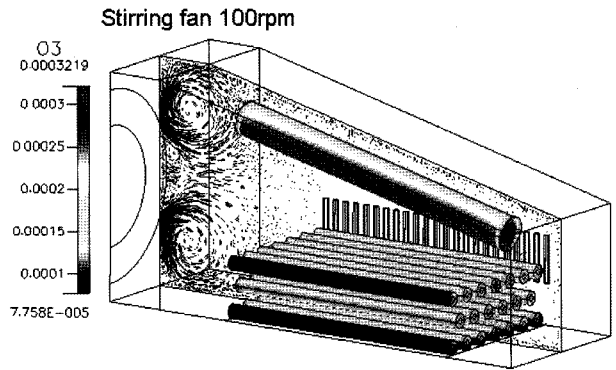


Fig. 10. Modeled ozone concentration distribution with a stirring fan.

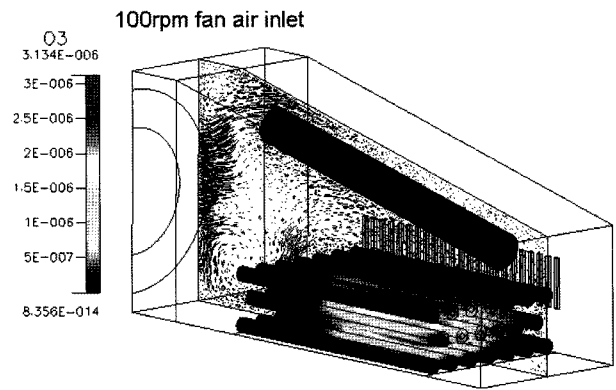


Fig. 11. Modeled ozone concentration distribution with an external air inflow-type fan.

과 그림 11에 각각 나타내었다. 외부의 공기가 유입되면서 피처리물의 온도를 낮추어 주고 이에 따른 미생물이나 세균의 생육 조건의 변화에 따른 생육 능력의 저하는 막을 수 있었으나 살균기 내부의 오존 농도가 낮고 일부의 오존이 배출구를 통하여 살균기 사용 실내로 유출되어 지속적으로 사용할 경우 밀폐된 실내 공기를 환경 기준치 이상으로 오염시킬 확률이 있다. UV-C 램프를 이용한 살균기의 오존 누출 측정 실험에서는 살균기를 넓은 실험실 공간에서(100 m²) 작동시켰으므로 5 ppb 이하의

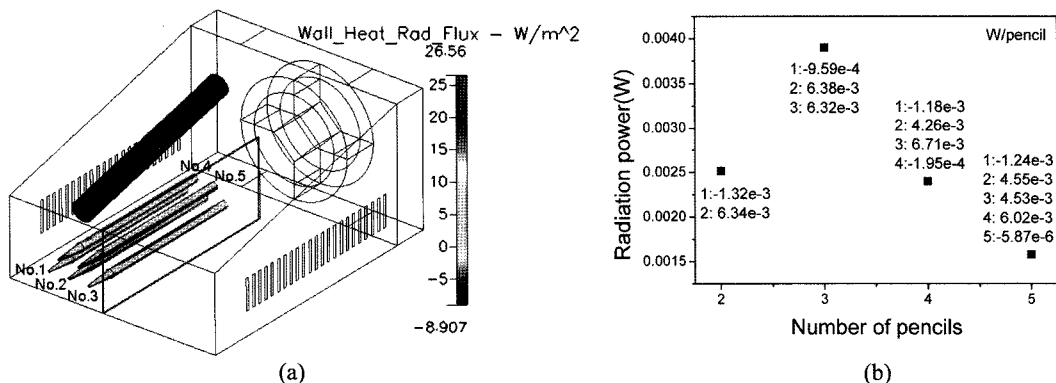


Fig. 9. (a)Modeling results of UV irradiation intensity distribution, (b) radiation power per pencil at each pen positions.

값이 측정되었으나 실제 사용 공간으로 예상되는 사무실이나 교실, 가정의 거실에서는 오존 배출이 없어야 한다. 따라서 외부와 연결되는 유입구와 배출구를 없애고 내부 순환 방식의 팬으로 바꾸어 모델링을 했을 때는 오존의 농도가 필기구의 표면에서 최고 150 ppm까지 증가하였다. 이것은 외부 공기 유입 방식의 살균기 모델에서 최고 3 ppm이 나왔던 것에 비하면 약 50배의 살균 능력 증가를 의미한다. 따라서 최적화된 내부 순환 방식의 팬을 사용하면 오존 농도를 높여서 살균 처리 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있고 많은 피처리물을 적재할 수 있을 것으로 예상된다. 다만 처리 후 피처리물을 꺼낼 때 방출될 수 있는 오존의 농도를 짧은 시간 내에 낮출 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

4. 결 론

자외선 직접 조사 방식의 한계를 극복하기 위하여 투과-반사방식과 오존 발생을 이용한 팬 순환 방식을 적용하였다. 투과-반사 방식의 경우 직접 조사 방식에 비해서 세균 전멸까지의 소요 시간이 90 초에서 40초로 단축되었다. 자외선 조사량을 시제품에서 피처리물의 위치를 바꾸어 가면서 반도체 방식의 소형 UV 센서를 이용하여 측정된 결과 0.7 mW/cm²가 최대 값이었다. 자외선 조사 강도와 오존 발생, 순환을 수치 모델링한 결과 내부 순환 팬을 사용하는 경우 3층으로 적재한 피처리물의 내부 층 표면에서도 상당한 수준의 오존 처리 속도를 얻을 수 있는 것을 파악하였다.

후 기

본 연구는 군산대학교 기계·자동차 누리사업단의 2006년도 캡스톤 디자인 지원으로 수행되었습니다. 장치의 제작과 측정에 도움을 주신 군산대학교 신소재공학과와 비정질재료 연구실, 그리고 해양과학대학 수산생명의학과 약리학 연구실에 감사드립니다.

참고문헌

1. R. A. Goldsby, T. J. Kindt, B. A. Osborne, Kuby Immunology. 4th ed., W.H. Freeman and Company, New York, (2000) 425-432.
2. 김홍환, 2002년 경주시에 유행한 급성출혈성결막염에 관한 역학 조사, 동국대학교 대학원 의학과, (2003).
3. Cornelly van de Ven, C. Courvoisier, A. Matster, Inn. Food. Sci. Eme. Tech., 8 (2007) 231.
4. S. Jun, S. Sastry, J. Food. Eng., 80 (2007) 1200.
5. Renske Z. Thomas, Jan L. Ruben, Jaap J. ten Bosch, Marie-Charlotte D.N.J.M. Huysmans, J. Denti, 5 (2007) 2.
6. E. H. Marth, Standard Methods for the Examination of Dairy Products, 14th Ed., American Public Health Association, Washington DC, (1978).
7. K. Y. Kim, An Microbiology Experiment, Korea Medical, Seoul, Korea, (2001) 218.
8. 송홍규, 오계현 편저. 최신 미생물학, 동화기술, (2007) 241.
9. CFD Research, CFD-ACE+ V2007 Modules Manual Vol. 1, 144.