

스테인리스스틸 컵 내 *Escherichia coli*의 자외선 살균

목철균* · 이남훈

경원대학교 식품생물공학과

Ultraviolet Inactivation of *Escherichia coli* in Stainless Steel Cups

Chulkyoon Mok* and Nam-Hoon Lee

Department of Food Science and Biotechnology, Kyungwon University

Abstract

Ultraviolet (UV) is widely used as a sterilizing agent in restaurants and catering facilities in Korea. Efficacy of UV sterilizers (UVS) was investigated against *E. coli* on the inner bottom of stainless steel cups. UV intensity on the bottom of cups varied widely with the locations of cups in UVS, showing higher values at center while lower values at outskirts. The deviations in UV intensity were remarkable on top shelf, but alleviated as proceeded to middle and bottom shelves. Inactivation of *E. coli* was proportional to the UV intensity and treatment time, consequently to UV dose, and showed a pseudo-first-order kinetics with tailing. Initial inactivation rate constants (K_1) deviated with the locations of the cups, while final inactivation rate constants (K_2) showed comparable values. An equation for the calculation of the proposed UV treatment time was suggested.

Key words: ultraviolet sterilizers, efficacy, stainless steel cups, *E. coli*, inactivation kinetics

서 론

자외선은 파장 100-400 nm 범위의 전자기파로서 파장에 따라 UV-A, UV-B, UV-C 및 진공 UV로 구분하며 살균소독에는 200-280 nm 범위의 UV-C가 사용된다. 하지만 자외선은 투과력이 크지 않아 고체의 경우는 표면에서만, 액체의 경우는 일정한 두께 이내로 살균소독 효과가 제한된다 (Bintsis et al., 2000). 그럼에도 불구하고 자외선은 생산설비가 저렴하고 관리가 용이하며 잔존 화합물을 생성하지 않는 등의 장점 때문에 우리나라에서는 음식점, 식품제조 및 판매업소, 위생업소 등에 널리 보급되어 사용되고 있다 (Lee et al., 2007).

외국의 경우 자외선 살균소독기는 표면 살균, 공기 살균, 액체 소독 등에 이용되고 있으며, 냉장창고의 공기 살균, 달걀 부화기 공기 소독, 백신 소독 등에의 응용 예도 보고되고 있다(Sharma, 1999; Bailey et al., 1996; Purdy et al., 1998). 식품 보존을 위한 자외선 이용은 포장용기와 포장

재료의 살균(Marquis & Baldeck, 2007)과 선어(Huang & Toledo, 1982), 달걀(Kuo et al., 1997a; Kuo et al., 1997b; Chavez et al., 2002), 쇠고기(Reagan et al., 1973; Kaess & Weidemann, 1973; Stermer et al., 1987), 닭고기(Wallner-Pendleton et al., 1994), 초콜릿(Lee et al., 1989) 등에 자외선 살균이 시도된 바 있다. 현재까지 가장 성공적인 자외선 살균기술의 적용은 수 처리 분야이며, 북미와 유럽에서는 대다수의 정수장에서 자외선 살균이 이용되고 있는 실정이다(Lopez-Malo & Palou, 2005). 자외선은 액체 식품의 살균에도 효과적인 것으로 알려져 있으며 (Guerrero-Beltran & Barbosa-Canovas, 2005; Murakami et al., 2006), FDA는 1999년에 사과주스 등의 식품 살균에 자외선 사용을 인가하였다.

반면 국내에서 자외선은 주로 식품 제조가공 기계기구 등의 표면 소독에 사용되고 있다. 현재 자외선 살균소독기는 소규모 음식점에서부터 집단급식소, 대형 식품제조업체 이르기까지 거의 모든 사업장에 설치되어 있으며, 그 용도 또한 주로 행해지는 컵 살균은 물론 칼, 도마, 행주 등 도구와 기물의 소독 및 위생복, 앞치마, 장화, 고무장갑 등 개인위생 용구의 소독 등에 광범위하게 사용되고 있다(Lee et al., 2007). 현재 보급되어 있는 자외선 살균소독기의 전형적 구조는 스테인리스 스틸로 제작된 상자의 상부에 자외선램프가 설치되어 있고, 내부에 살균소독 대상 물체를 넣어 일정시간 자외선에 노출시켜 살균하는 방식을 채택하

Corresponding author: Chulkyoon Mok, Department of Food Science and Biotechnology, College of Engineering, Kyungwon University, San 65 Bokjeong-dong, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 461-701, Korea

Tel: +82-31-750-5403; Fax: +82-31-750-5273

E-mail: mokck@kyungwon.ac.kr

Received January 21, 2009; revised April 30, 2009; accepted May 6, 2009

고 있다.

자외선 살균소독기의 자외선 강도는 램프의 수량과 출력, 살균소독기 재질 및 살균대상 물체에 따라 변화하며, 동일한 살균소독기 내에서도 램프로부터의 거리, 자외선 입사각도, 자외선 차단 또는 방해 물질의 존재 여부 등에 따라 살균효과가 달라진다(Mok & Lee, 2008). 또한 미생물은 종류 및 환경에 따라 자외선 감수성이 다르며, 이를 고려한 살균소독 방식을 적용하여야 하지만 대부분의 업소에서는 이러한 특성을 무시한 채 자외선 살균소독을 실시하고 있어 이에 대한 대책이 요구된다(Lee et al., 2007).

본 연구는 현재 널리 보급되어 사용되고 있는 자외선 살균소독기의 합리적인 사용 방안을 제시하기 위하여 현재 대부분의 음식점에서 음용수 컵으로 사용하고 있는 스테인리스스틸(SS) 컵의 바닥에서 *Escherichia coli*에 대한 자외선 살균력을 검증하고, 이를 바탕으로 자외선 살균소독기의 적정 살균시간을 제시하고자 수행되었다.

재료 및 방법

자외선 살균소독기

본 실험에 사용한 자외선 살균소독기는 스테인리스스틸로 제작되었으며 기본 구조는 Fig. 1과 같다. 살균소독기 내부 공간의 상단에 출력 10 W와 20 W 자외선램프가 각각 1개씩 설치되어 있고, 램프로부터 30, 60, 90 cm 떨어진 높이에 각각 상단, 중단, 하단 선반이 위치하였다.

컵

시중 음식점에서 주로 사용하는 스테인리스스틸 컵(용량 250 mL)을 시장에서 구입하여 사용하였다.

표준균주

본 실험에 사용한 균주는 *Escherichia coli* ATCC 11775

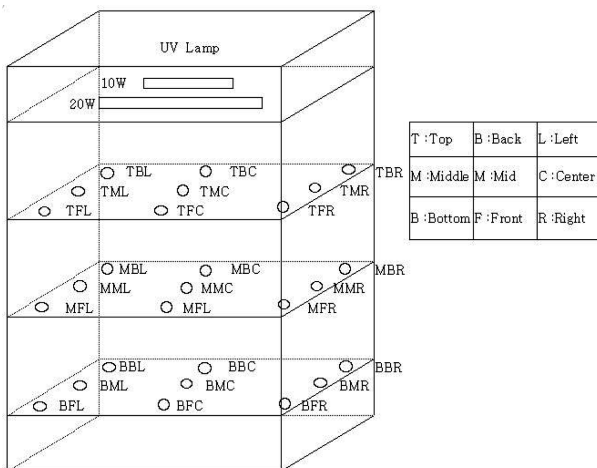


Fig. 1. Schematic diagram of UV sterilizer and locations of cups.

이였으며, nutrient broth(Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에서 배양하여 공시하였다.

위치별 컵 바닥의 자외선 강도 측정

자외선 살균소독기 내에 위치한 컵 바닥에 도달하는 자외선 강도는 자외선 강도 측정기(HD 2102.2, Delta OHM, Padua, Italy)를 사용하여 측정하였다. 센서는 220-280 nm의 자외선을 감지하는 UV-C 센서(LP 471, Delta OHM)를 사용하였으며, 컵 바닥에 센서와 동일한 지름의 구멍을 뚫고 센서 표면이 컵 바닥과 같은 평면에 놓이도록 센서를 설치하여 3회 반복 측정하였다.

자외선 살균

*Escherichia coli*를 nutrient broth(Difco Laboratories)에 접종하여 37°C에서 12시간 동안 배양한 배양액 100 µL를 스테인리스스틸 컵의 바닥에 가하고 무균벤치에서 30분간 상온 건조시킨 후 컵을 자외선 살균소독기 내 각 선반의 일정 위치(Fig. 1)에 놓고 일정 시간 자외선 처리하였다. 자외선 처리 후 멸균 생리식염수 10 mL를 컵에 가하고 교반하여 분산시킨 다음 희석하여 표준평판법(KFDA, 2005)으로 생존균수를 계수하였다. 배지는 eosin methylene blue(EMB) agar(Difco Laboratories)를 사용하였으며, 도말 후 37°C에서 16-24시간 배양하고 집락수를 계수하였다.

처리 전 초기균수와 자외선 처리 후 생존균수로부터 log inactivation을 식 (1)과 같이 구하여 살균효과를 검증하였다(EPA, 2003).

$$\text{Log inactivation} = \log\left(\frac{N_0}{N}\right) \quad (1)$$

여기서,

N_0 = 처리 전 균수

N = 처리 후 균수

자외선 조사량(UV dose)

자외선 조사량은 식 (2)와 같이 자외선 강도와 처리 시간을 곱하여 산출하였다(EPA, 2003).

$$D = I \times t \quad (2)$$

여기서,

D = 조사량 (J/m^2)

I = 강도 (W/m^2)

t = 시간 (s)

결과 및 고찰

컵 바닥의 자외선 강도

자외선 살균소독기 내에서 컵을 살균할 경우 컵의 안쪽 바닥에 도달하는 자외선 강도가 살균력과 직접적인 관련이

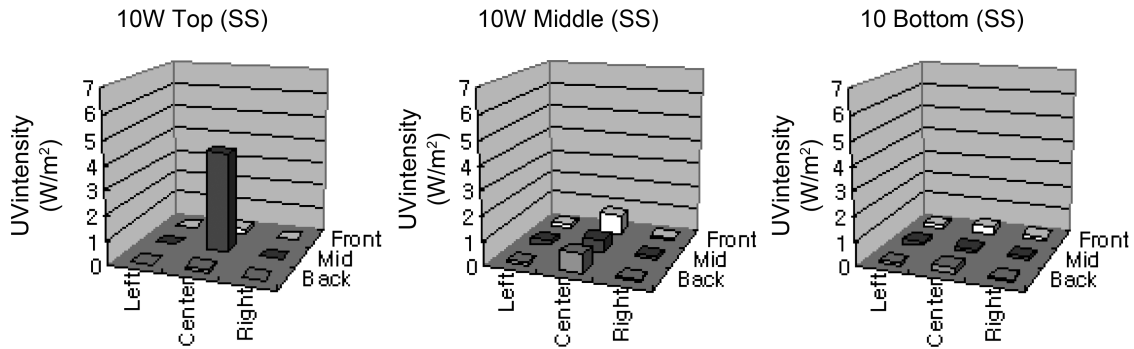


Fig. 2. UV intensity on inner bottom of stainless steel cups at lamp output of 10 W.

있다. 출력을 10-30 W로 달리하고 살균소독기 내 특정 위치에 놓인 스테인리스스틸 컵 바닥의 자외선 강도를 측정하였다. 램프 출력을 10, 20, 30 W로 조절하였을 때 각 선반의 특정 위치에 놓인 스테인리스스틸 컵의 바닥에 방사되는 자외선 강도는 각각 Fig. 2-4에 나타나 있다.

컵 바닥의 자외선 강도는 컵의 위치에 따라 큰 차이를 보였다. 특히 상단 선반의 중앙부에 놓인 컵의 바닥에서는 높은 자외선 강도를 보인 반면 외곽으로 갈수록 자외선 강도는 급격하게 약화되었다. 이는 상단 선반의 경우 자외선이 중앙부에만 집중되어 방사되며 전후 및 좌우 방향으로 자외선이 도달하지 않음을 의미한다. 특히 출력 10 W 인 경우(Fig. 2) 이러한 현상은 더욱 두드러져 상단 선반의 중앙부를 제외하고는 거의 자외선이 방사되지 않는 것으로

나타났다. 중앙부에서의 자외선 강도는 상단, 중단, 하단 순으로 낮아진 반면, 중앙부 전면과 후면의 자외선 강도는 중단, 하단, 상단 순으로 높은 값을 보였으며, 구석부분은 오히려 하단이 중단보다, 중단이 상단보다 높은 자외선 강도를 보였다.

출력 20 W의 경우는 Fig. 3과 같이 상단 선반의 중앙부의 앞쪽과 가운데에는 자외선이 방사되었지만 나머지 부분의 자외선 강도는 미약하였다. 이러한 경향은 중단 선반에서도 나타났으나 상단 선반의 경우에 비해서 편차가 작아졌으며, 하단 선반에서는 비교적 고른 분포를 보였다. 이러한 현상은 20 W 램프의 위치가 약간 앞쪽으로 치우쳐 배치되었기 때문에 나타난 현상으로 생각된다(Fig. 1).

출력 30 W의 경우는 10 W 램프와 20 W 램프가 모두

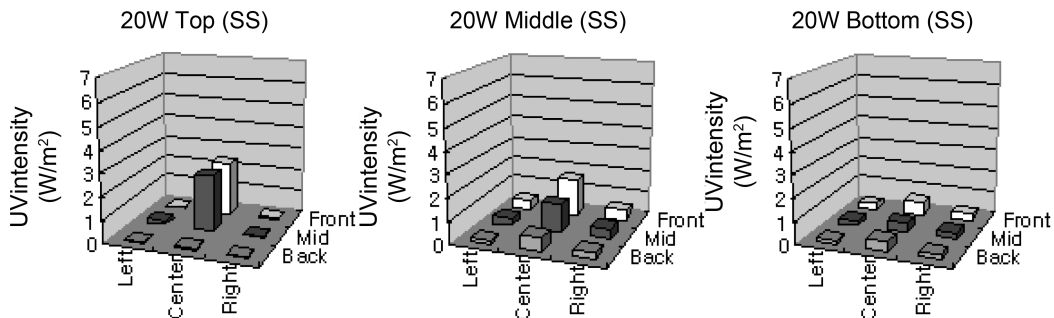


Fig. 3. UV intensity on inner bottom of stainless steel cups at lamp output of 20 W.

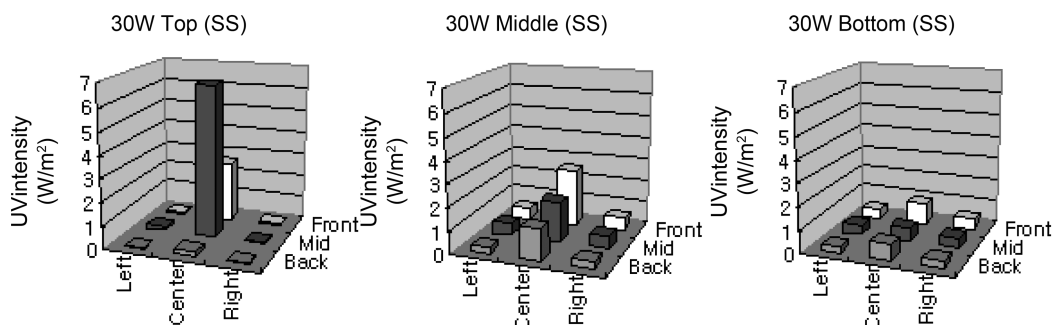


Fig. 4. UV intensity on inner bottom of stainless steel cups at lamp output of 30 W.

작동되었기 때문에 10 W에서 나타난 현상과 20 W에서 나타난 현상이 복합적으로 이루어져 자외선 강도가 변화하였다(Fig. 4). 중단 선반은 상단 선반에 비하여 자외선의 국부적 집중 현상이 다소 완화되었으며, 하단 선반은 위치에 관계없이 거의 동일한 자외선 강도를 보였다.

이상의 결과를 종합하면 전반적으로 자외선 강도는 출력에 비례하여 변화하였고, 램프로부터의 거리가 멀수록 낮아지는 경향을 보였다. 또한 램프로부터의 거리가 멀어질수록 자외선 강도는 약하였으나 위치별 편차가 줄어들어 고르게 방사되었다. 이는 살균소독기의 내벽과 컵의 내면에 반사된 자외선도 일정부분 살균에 기여할 수 있음을 의미하며, Mok & Lee(2008)가 지적한 바와 같이 램프의 위치와 자외선 방사의 균일성이 자외선 살균에 중요한 요인임을 시사한다.

자외선 처리 시간에 따른 생존균수 변화

*E. coli*를 대상으로 스테인리스스틸 컵을 사용하여 램프 출력 10 W에서 자외선 조사시간에 따른 살균효과를 측정하였다. 살균시간 5분 후의 위치별 살균치는 Fig. 5와 같이 상단 선반의 중앙부에서 가장 높은 살균치를 보였고 외곽으로 갈수록 살균치가 낮아졌다. 중단 선반의 경우 중단 선반에 비해 중앙부에서는 낮은 살균치를 보인 반면 외곽에서는 중단 선반보다 높은 값을 보여 외곽의 경우 중단 선반보다 중단 선반의 살균효과가 큰 것으로 나타났다. 하단 선반의 경우는 중단 선반에 비해 낮은 살균치를 나타냈

으나 위치 간의 차이는 크지 않아 고른 살균력을 가짐을 알 수 있었다. 특히 하단 선반의 중앙부보다도 외곽부에서 높은 살균치를 보였는데 이는 살균소독기의 내벽에 반사된 자외선에 의한 영향으로 사료된다.

한편 60분간 자외선 처리한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 중단 선반의 중앙부에서 가장 높은 살균치를 보였으며, 그 외의 지점에서는 유사한 살균치를 나타내어 시간이 경과할수록 고른 살균이 이루어짐을 알 수 있었다.

각 선반의 9개 지점에서 측정된 살균치의 변화를 선반별로 비교한 결과는 Table 1과 같다. 자외선 처리시간이 2분 이하로 짧을 때는 중단 선반에서보다 오히려 중단과 하단 선반에서 더 높은 평균값을 보였다. 선반 위치에 따른 살균치의 차이는 처리시간이 경과함에 따라 줄어들어 10분 이상의 조사시간에서는 중단, 중단, 하단 모두 유사한 살균치를 보였으며, 조사시간 60분의 경우는 중단의 살균치가 중단과 하단보다 상회하였다. 그러나 중단 선반의 살균치는 위치에 따라 편차가 커서 균일한 살균효과를 얻기는 어려운 것으로 나타났다. 이로부터 균일한 살균을 위해서는 램프로부터 일정거리 이상 떨어진 지점에서 살균하는 것이 바람직하며, *E. coli*의 경우 3 log 이상의 살균을 위해서는 20분 정도의 자외선 처리가 필요하고, 4 log 이상의 살균을 위해서는 40분 정도의 처리가 필요함을 알 수 있다.

자외선 살균패턴

자외선에 의한 *E. coli* 살균 패턴을 파악하기 위하여 시

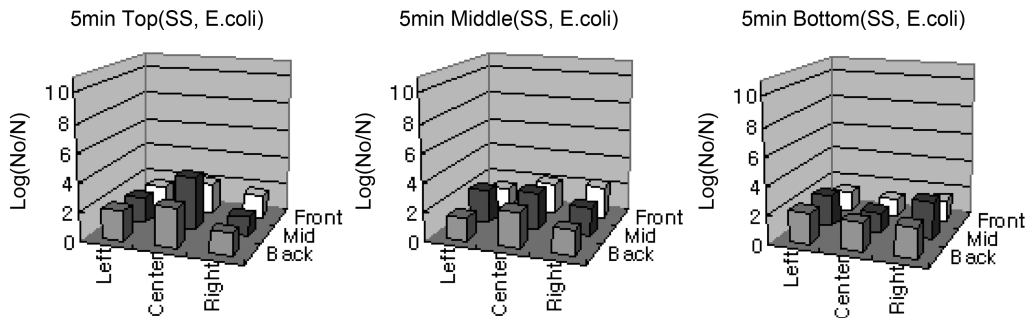


Fig. 5. Inactivation of *E. coli* in stainless steel cups at different locations after 5 min UV treatment at 10 W output.

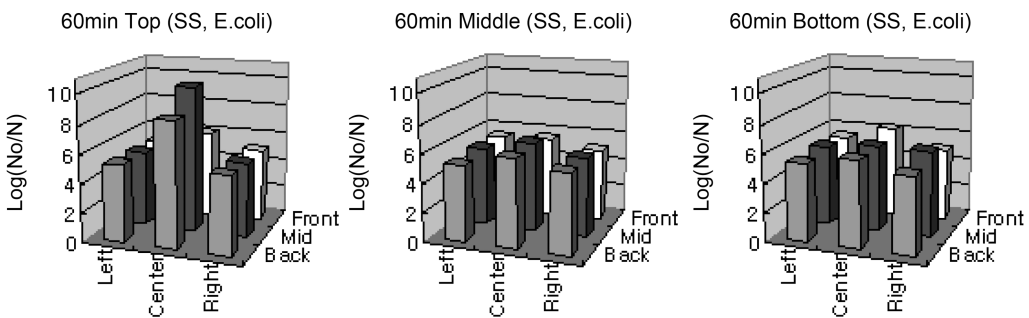
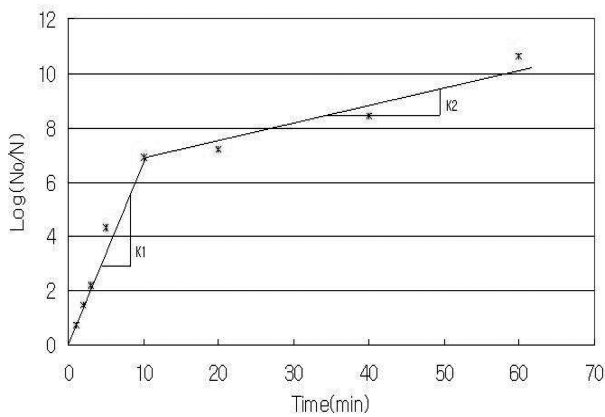


Fig. 6. Inactivation of *E. coli* in stainless steel cups at different locations after 60 min UV treatment at 10 W output.

Table 1. Log inactivation of *E. coli* in stainless steel cups at different shelves by UV treatment at 10 W output

| Treatment time (min) | Shelf location | | |
|-------------------------|----------------|---------------|---------------|
| | Top | Middle | Bottom |
| 1 | 0.2089±0.2198 | 0.3905±0.1740 | 0.6495±0.2377 |
| 2 | 0.4729±0.2579 | 0.6314±0.1740 | 0.5879±0.1740 |
| 3 | 1.5584±0.4124 | 1.7975±0.2047 | 1.2560±0.3204 |
| 5 | 2.0674±0.7456 | 2.0674±0.4205 | 1.8678±0.4760 |
| 10 | 2.7643±0.5964 | 2.6070±0.1933 | 2.7421±0.4758 |
| 20 | 3.7051±0.8451 | 3.8318±0.1854 | 3.7669±0.1868 |
| 40 | 4.2756±1.0830 | 4.3517±0.2334 | 4.3404±0.1045 |
| 60 | 6.2044±1.8143 | 5.5485±0.3634 | 5.6510±0.4059 |

**Fig. 7. Inactivation patterns of *E. coli* in stainless steel cups located on middle center of top shelf in UV sterilizer at 10 W output.**

간별 살균치의 변화를 조사하였다. 자외선에 의한 살균반응을 1차 반응으로 해석한 결과 Fig. 7과 같이 2개의 불연속 직선으로 구성되었다. 즉, 초기에는 높은 살균속도를 보

이다가 후기에는 살균속도가 낮아지는 tailing 현상(Hoyer, 1998)이 나타났다.

자외선에 의한 미생물 사멸은 의사1차(pseudo-first order) 반응으로 해석한다. 그러나 의사1차 반응이라 할지라도 제한된 미생물 반응과 자외선 흡수량에서만 적용되며, 대부분의 경우 변이를 보이는 것으로 알려져 있다. 가장 보편적인 변이는 자외선 흡수량이 적을 때 관찰되는 lag 혹은 shouldering 현상과 높은 흡수량에서 나타나는 tailing이다. Shouldering은 미생물이 소량의 자외선에 의해서는 생리장애를 보이지 않기 때문에 나타나며, tailing은 흡수량이 높아질수록 자외선에 대한 저항성도 높아지기 때문에 나타나는 것으로 알려져 있다(Blatchley III & Peel, 2001). 초기의 높은 살균속도는 정상적인 자외선 흡수에 의한 손상에 의해 나타나는 불활성화이며, 후기의 살균속도 감소는 미생물의 자외선에 대한 내성, 배지의 자외선 투과도의 방해 및 입자와 균체의 결합 등에 기인한 현상으로 추정된다(FDA, 2000). 이와 같은 2개의 1차 반응으로 구성된 살균 패턴은 Murakami et al.(2006)이 실험한 사과주스의 *E.*

Table 2. Inactivation rate constants of *E. coli* in stainless steel cup at 10 W output

| Inactivation rate constants | Shelf | Location | Values (min ⁻¹) | | | |
|-----------------------------|----------------|----------|-----------------------------|--------|--------|--------|
| | | | Left | Center | Right | |
| K ₁ | Top | Back | 0.4287 | 0.5195 | 0.3100 | |
| | | Mid | 0.4048 | 0.7099 | 0.2864 | |
| | | Front | 0.3067 | 0.4595 | 0.3053 | |
| | Middle | Back | 0.3799 | 0.5228 | 0.3628 | |
| | | Mid | 0.4791 | 0.5349 | 0.4422 | |
| | | Front | 0.3298 | 0.4794 | 0.4807 | |
| | Bottom | Back | 0.4050 | 0.3871 | 0.3921 | |
| | | Mid | 0.4547 | 0.3135 | 0.5161 | |
| | | Front | 0.2998 | 0.2791 | 0.3986 | |
| | K ₂ | Top | Back | 0.0485 | 0.1012 | 0.0702 |
| | | | Mid | 0.0379 | 0.1170 | 0.0514 |
| | | | Front | 0.0449 | 0.0565 | 0.0471 |
| Middle | | Back | 0.0487 | 0.0578 | 0.0564 | |
| | | Mid | 0.0521 | 0.0635 | 0.0511 | |
| | | Front | 0.0534 | 0.0524 | 0.0446 | |
| Bottom | | Back | 0.0529 | 0.0521 | 0.0511 | |
| | | Mid | 0.0559 | 0.0460 | 0.0603 | |
| | | Front | 0.0519 | 0.0669 | 0.0460 | |

*coli*와 사과주스와 Ngadi et al.(2003)이 보고한 난백의 *E. coli* O157:H7에 대한 자외선 살균에서도 관찰된 바 있다.

자외선에 의한 *E. coli* 살균속도상수를 Fig. 7의 2개의 구간에서 작도된 각각의 직선의 기울기로부터 산출하였다. 즉, 초기와 후기 살균의 회귀직선의 기울기로부터 각각 초기 살균속도상수(K_1)와 후기 살균속도상수(K_2)를 구하였다. 각 선반의 위치별 살균속도상수는 Table 2와 같다. 위치별 초기 살균속도상수(K_1)는 상단선반에서는 중앙부에서 가장 높았으며 양 옆 또는 전후로 갈수록 그 값이 작아졌다. 중앙부에서의 K_1 은 중단, 하단으로 내려갈수록 그 값이 작아졌다. 중단과 하단 선반의 경우 위치에 따른 K_1 값의 차이는 상단보다는 훨씬 적어 유사한 초기 살균속도를 나타내었다. 후기 살균속도상수(K_2)의 위치에 따른 차이는 K_1 에 비하여 훨씬 작게 나타나 후기 살균속도는 위치에 따라 큰 변화가 없는 것으로 확인되었다.

권장 자외선 살균시간 산출

현장에서 자외선 살균소독기를 용이하게 사용할 수 있도록 일정 살균치를 얻는데 필요한 자외선 조사시간을 산출하는 방정식을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 자외선 강도에 처리시간을 곱하여 자외선 조사량(UV dose)을 구하고, $\log(\text{UV dose})$ 와 $\log \text{reduction}(=\log(\text{No}/\text{N}))$ 을 Fig. 8과 같이 도시하고 직선 모델을 적용하여 회귀방정식을 구한 결과 $\log(\text{No}/\text{N})=1.7932 \log(\text{UV dose})$ 이 얻어졌으며, 상관계수는 0.5007이었다. 이러한 직선 관계는 물에 포함된 *Cryptosporidium*(Clancy et al., 2000; Craik et al., 2001;

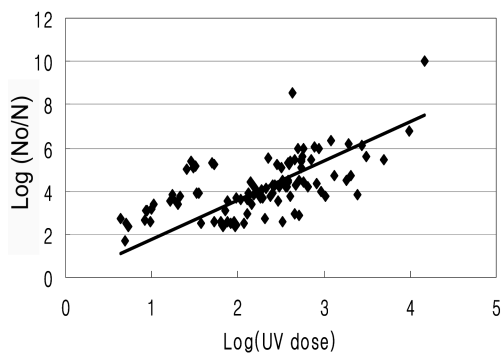


Fig. 8. UV inactivation of *E. coli* in stainless steel cups.

Table 3. UV doses required for target log inactivation of *E. coli*

| Target $\log(\text{No}/\text{N})$ | Required UV dose (J/m^2) |
|-----------------------------------|--|
| 1 | 3.61 |
| 2 | 13.04 |
| 3 | 47.10 |
| 4 | 170.08 |
| 5 | 614.20 |
| 6 | 2218.06 |
| 7 | 8010.06 |

Shin et al., 2001)과 *Giardia*(Campbell & Wallis, 2002) 등 원생동물의 자외선 살균에도 적용되는 것으로 보고된 바 있다.

직선 회귀식의 기울기는 자외선 살균에 대한 미생물의 민감성을 나타내는 지표이며, 회귀식을 사용하여 특정 목표 살균치를 얻기 위한 자외선 조사량을 계산하여 Table 3에 나타내었다.

이상의 결과를 근거로 하여 자외선 살균소독기 사용 현장에서 바로 적용할 수 있는 권장 살균시간 계산식을 다음과 같이 확립하였다.

$$t = \frac{f \cdot 10^{\frac{L}{1.7932}}}{60 \cdot I} \tag{3}$$

여기서,

t = 권장 살균시간 (min)

f = 안전계수

L = 목표 살균치 ($= \log \frac{N_0}{N}$)

I = 자외선 강도 (W/m^2)

안전계수 2.0을 적용하고 식(3)을 사용하여 목표 살균치 3.0(3 log reduction)에 필요한 권장 살균시간을 Table 4에 예시하였다. 권장 살균시간은 살균소독기 내 위치에 따라 큰 차이를 보였다. 특히 구석 부위에서는 중앙부에 비하여 수십 배에 이르는 살균시간이 필요함을 알 수 있었으며, 이에 대한 보완 및 개선 방안이 필요한 것으로 나타났다.

한편 자외선 살균소독기의 중앙부의 살균 성능은 양호한 것으로 확인됨에 따라 현재 주로 사용되는 회분식 자외선 살균방식 대신 연속식 살균방식의 도입이 바람직할 것으로 생각된다. 즉, 컵 등의 용품 또는 칼 등의 도구를 세척 후 완전히 건조하여 자외선 터널을 통과시킴으로써 연속적으로 살균소독하고, 살균소독한 물품은 차후 오염을 방지할 수 있도록 별도의 청결건조한 공간에서 보관하면서 사용하는 것이 보다 효과적인 자외선 살균소독기 활용 방안으로 생각된다.

요 약

자외선 살균소독기의 유효성을 검증하기 위하여 스테인리스스틸 컵 바닥에서 *E. coli*를 대상으로 살균력을 측정하고 살균패턴을 조사하였다. 스테인리스스틸 컵 바닥의 자외선 강도는 컵의 위치에 따라 큰 차이를 보였다. 중앙부에 놓인 컵의 바닥에서는 높은 자외선 강도를 보인 반면 외곽으로 갈수록 자외선 강도는 급격하게 약화되었으며, 이러한 편차는 상단 선반에서 가장 심하였고 중단 및 하단 선반으로 갈수록 완화되었다. *E. coli*를 대상으로 한 스테인리스스틸 컵 바닥에서 살균효과는 컵 바닥의 자외선 강도와 살균시간에 비례하였다. 자외선에 의한 *E. coli* 살균

Table 4. Recommended UV treatment time at different locations in UV sterilizer of different lamp outputs for 3 log inactivation of *E. coli* in stainless steel cups using safety factor 2.0

| Lamp output | Shelf | Location | Required time (min) | | |
|-------------|--------|----------|---------------------|--------|-------|
| | | | Left | Center | Right |
| 10W | Top | Back | 11.80 | 0.93 | 23.09 |
| | | Mid | 9.58 | 0.32 | 20.39 |
| | | Front | 20.93 | 1.88 | 35.68 |
| | Middle | Back | 7.13 | 1.83 | 12.27 |
| | | Mid | 4.74 | 1.82 | 9.46 |
| | | Front | 9.46 | 2.00 | 12.67 |
| | Bottom | Back | 11.63 | 5.41 | 11.54 |
| | | Mid | 9.02 | 5.08 | 8.77 |
| | | Front | 11.54 | 4.74 | 10.61 |
| 20W | Top | Back | 8.22 | 1.81 | 8.31 |
| | | Mid | 3.33 | 0.41 | 2.60 |
| | | Front | 3.47 | 0.41 | 5.46 |
| | Middle | Back | 4.21 | 1.30 | 4.93 |
| | | Mid | 2.52 | 1.02 | 3.29 |
| | | Front | 3.37 | 1.03 | 3.34 |
| | Bottom | Back | 6.16 | 3.46 | 5.59 |
| | | Mid | 4.80 | 2.52 | 4.01 |
| | | Front | 5.34 | 2.43 | 4.73 |
| 30W | Top | Back | 5.29 | 0.62 | 6.23 |
| | | Mid | 2.74 | 0.19 | 2.41 |
| | | Front | 2.92 | 0.31 | 4.70 |
| | Middle | Back | 2.59 | 0.77 | 3.50 |
| | | Mid | 1.63 | 0.66 | 2.43 |
| | | Front | 2.48 | 0.68 | 2.63 |
| | Bottom | Back | 4.01 | 2.12 | 3.78 |
| | | Mid | 3.14 | 1.69 | 2.76 |
| | | Front | 3.64 | 1.61 | 3.28 |

패턴은 tailing을 수반하는 의사 1차반응으로 나타났으며 각 구간의 살균속도상수를 산출한 결과 초기 살균속도상수 (K_1)는 위치에 따라 큰 차이를 보인 반면 후기 살균속도상수 (K_2)는 위치에 따른 차이가 크지 않았다. 현장에서 자외선 살균소독기를 용이하게 사용할 수 있도록 일정 살균치를 얻는데 필요한 자외선 조사시간을 산출하는 방정식을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 식품의약품안전청 용역연구개발사업으로 수행된 연구 결과의 일부로서 지원에 감사합니다.

참고문헌

- Bailey JS, Buhr RJ, Cox NA, Berrang ME. 1996. Effect of hatching cabinet sanitation treatments on Salmonella cross-contamination and hatchability of broiler eggs. *Poultry Sci.* 75: 191-196.
- Batsis T, Litopoulou-Tzanetaki E, Robinson RK. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review. *J. Sci. Food Agric.* 80: 637-645.
- Blatchley III ER, Peel MM. 2001. Disinfection by ultraviolet irradiation. In: *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. 5th ed. Block SS (ed). Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia, PA, USA, pp. 823-851.
- Campbell AT, Wallis P. 2002. The effect of UV irradiation on human derived *Giardia lamblia* cysts. *Water Res.* 36:963-969.
- Chavez C, Knape KD, Coufal CD, Carey JB. 2002. Reduction of eggshell aerobic plate counts by ultraviolet irradiation. *Poultry Sci.* 81: 1132-1135.
- Clancy JF, Bukhari Z, Hargy TM, Bolton JR, Dussert BW, Marshall MM. 2000. Using UV to inactivate *Cryptosporidium*. *J. AWWA.* 92(9):97-104.
- Craik SA, Weldon D, Finch GR, Bolton JR, Belosevic M. 2001. Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts using medium- and low-pressure ultraviolet radiation. *Water Res.* 35:1387-1398.
- EPA. 2003. *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual*. Office of Water, Environmental Protection Agency, Washington DC, USA
- FDA. 2000. *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies - Ultraviolet Light*, Center for Food Safety and Applied Nutrition (CFSAN), Food and Drug Administration, Washington DC, USA
- Guerrero-Beltran JA, Barbosa-Canovas GV. 2005. Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light. *J. Food Process Eng.* 28: 437-

- 542.
- Hoyer O. 1998. Testing performance and monitoring of UV systems for drinking water disinfection. *Water Supply* 16: 419-442.
- Huang, YW, Toledo R. 1982. Effect of high doses of high and low intensity UV irradiation on surface microbiological counts and storage-life of fish. *J. Food Sci.* 47: 1667-1669.
- Kaess G, Weidermann JF. 1973. Effect of ultraviolet radiation on the growth of microorganisms on chilled beef slices. *J. Food Technol.* 8: 59-69.
- KFDA. 2005. Food Codes Vol. II. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea, p. 97.
- Kuo FL, Ricke SC, Carey JB. 1997a. UV irradiation shell egg. Effect on population of aerobes, molds, and inoculated *Salmonella typhimurium*. *J. Food Protect.* 60: 639-643.
- Kuo FL, Ricke SC, Carey JB. 1997b. Shell egg sanitation: UV radiation and egg rotation to effectively reduce populations of aerobes, yeasts, and molds. *J. Food Protect.* 60: 694-697.
- Lee BH, Kermasha S, Baker BE. 1989. Thermal, ultrasonic and ultraviolet inactivation of Salmonella in thin films of aqueous media and chocolate. *Food Microbiol.* 6: 143-152.
- Lee NH, Kim NI, Mok C. 2007. Usage of ultraviolet sterilizers used in domestic restaurants and catering businesses. *Food Eng. Progress* 11: 225-229.
- Lopez-Malo A, Palou E. 2005. Ultraviolet light and food preservation. In: *Novel Food Processing Technologies*. Barbosa-Canovas GV, Tapia MS, Cano MP. (eds). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, pp. 405-421.
- Marquis RE, Baldeck JD. 2007. Sporicidal interactions of ultraviolet irradiation and hydrogen peroxide related to aseptic technology. *Chem. Eng. Process.* 46: 547-553.
- Mok C, Lee NH. 2008. Distribution of ultraviolet intensity and UV leaking of commercial UV sterilizers used in restaurants. *Korean J. Food Sci. Technol.* 40: 228-233.
- Murakami EG, Jackson L, Madsen K, Schickedanz B. 2006. Factors affecting the ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* K12 in apple juice and a model system, *J. Food Process Eng.* 29: 53-71.
- Ngadi M, Smith JP, Cayouette B. 2003. Kinetics of ultraviolet light inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in liquid foods. *J. Sci. Food Agric.* 83: 1551-1555.
- Purdy CW, Cooley JD, Straus DC. 1998. *Pasteurella haemolytica* ultraviolet-irradiated vaccine by parenteral and aerosol routes compared in the goat model. *Curr. Microbiol.* 37: 132-136.
- Reagan JO, Smith GC, Carpenter ZL. 1973. Use of ultraviolet light for extending the retail caselife of beef. *J. Food Sci.* 38: 929-931.
- Shama G. 1999. Ultraviolet light. In: *Encyclopedia of Food Microbiology*. 3rd ed. Robinson RK, Batt C, Patel P (eds). Academic Press, London, UK, pp. 2208-2214.
- Shin GA, Linden KG, Arrowood M, Sobsey MD. 2001. Low pressure UV inactivation and subsequent DNA repair potential of *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Appl. Environ. Microbiol.* 67:3029-3032.
- Stermer RA, Lasater-Smith M, Brasington CF. 1987. Ultraviolet radiation - an effective bactericide for fresh meat. *J. Food Protect.* 50: 108-111.
- Wallner-Pendleton EA, Summer SS, Froning GW, Stetson LE. 1994. The use of ultraviolet radiation to reduce salmonella and psychrotrophic bacterial contamination on poultry carcasses. *Poultry Sci.* 73: 1327-1333.