

UV-C 조사에 의한 음용수 살균 시스템의 미생물 저해 효과

김현중¹ · 김운재¹ · 서세영¹ · 이창주^{2,*}
¹목포대학교 식품공학과, ²원광대학교 식품생명공학과

Effect of UV-C irradiation for bacterial disinfection of drinking water

Hyun-Joong Kim¹, Yun-Jae Kim¹, Se-Yeong Seo¹, and Chang Joo Lee^{2,*}

¹Department of Food Engineering, Mokpo National University
²Department of Food Science and Biotechnology, Wonkwang University

Abstract This study aimed to investigate bacterial disinfection in drinking water using a water purifier. Water artificially inoculated with *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* at various concentrations was irradiated using ultraviolet (UV)-C at a rate of 3.4 L/min in a water purifier, and the disinfection effects of UV-C were evaluated. Both *E. coli* and *L. monocytogenes* were disinfected up to 10^7 colony-forming units (CFU)/2.8 L by the UV-C irradiation. Additionally, morphological study using fluorescence microscopy in conjunction with live/dead staining revealed that both the bacteria species were disinfected by the UV-C irradiation. Therefore, UV-C in water purifiers can effectively kill high concentrations of bacteria in distilled water. UV irradiation (UV-C: 254 nm wavelength, irradiation dose: 40 mJ/cm²) at a flow rate of 3.4 L/min on drinking water has the potential to sterilize bacteria-contaminated drinking water, at least for 3.2×10^7 CFU/2.8 L of *E. coli* and 8.4×10^7 CFU/2.8 L of *L. monocytogenes*.

Keywords: UV-C, sterilization, disinfection, Gram positive, Gram negative

서 론

신체는 60% 이상이 물로 구성되어 있으며 구성성분 중 가장 큰 비중을 차지하고 있다(Kenefick 등, 2012). 신체 대사 작용에 중요한 역할을 하는 물은 음용수, 신선식품 및 가공식품을 통해 인간은 하루에 2L 정도를 섭취하고 있다. 또한 물은 음용수 뿐만 아니라 신선식품과 가공식품 제조 등의 세척 및 수세에 사용되고 있다. 따라서 물의 미생물 안전성은 식품위생 및 공공 위생을 결정 짓는데 중요한 요소 중의 하나이다(EHEDG, 2007). 그러나 물은 취수과정이나 보관 중에 환경에 존재하는 미생물에 의해 불활성화, 파괴 처리는 공공 위생과 식품의 미생물안정성을 증진시키는 중요한 요소로 작용한다(WHO, 2011). 음용수는 전통적으로 가열에 의해 살균하여 섭취하였다. 미생물은 고온에 노출되면 물리적, 화학적 변화에 의해 미생물이 사멸 또는 불활성화 된다. 물에 오염된 미생물도 역시 가열 처리에 의해 효과적으로 살균 및 불활성화시킬 수 있지만 음용수와 식품 용수의 가열살균처리는 가열에 소요되는 에너지의 양, 시설, 냉각에 소요되는 시간 등을 고려할 때 경제적, 생산 효율적 측면에서 적합하지 않다(Chai, 2018). 수돗물로 사용되는 상수의 경우 일반적으로 염소 소독제

첨가, 응집 및 침전, 여과 및 오존처리 등의 처리과정을 통해 미생물로부터 안전성을 향상시키고 있다(Pizzi, 2011). 비가열 처리 기법 중 자외선(UV, ultraviolet) 조사 살균은 독성물질을 생성하지 않고 오염균을 효율적으로 제어하는 할 수 있으며, 화학적 안전성과 미생물적 안전성을 동시에 보장받을 수 있어 자외선 조사를 이용한 물 처리기법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Jeon과 Ha, 2018; Li 등, 2017; Song 등, 2016). 자외선은 100-400 nm 파장 범위의 전자기파로서 파장에 따라 UV-A (wavelength; $\lambda=315-400$ nm), UV-B ($\lambda=280-315$ nm), UV-C ($\lambda=100-280$ nm), EUV (extreme UV, $\lambda=10-121$ nm) 범위로 분류한다. 자외선의 살균 효과는 주로 200 nm에서 280 nm 사이의 UV-C 영역에서 발생한다(EPA, 2003). UV-C는 살균(germicidal)선이라고 하며, DNA와 단백질이 잘 흡수하는 파장으로 그 효과가 최대인 파장은 253.7 nm으로 알려져 있다(Liu 등, 1995). 자외선을 미생물에 조사하면 미생물의 DNA를 직접 파괴하거나 DNA를 구성하는 pyrimidine (cytosine, C; thymine, T)에 작용하여, pyrimidine이 위치한 DNA의 이중나선구조가 상실되며 인접한 pyrimidine간 화학적 결합에 따라 pyrimidine dimer를 형성하여 균이 사멸되는 것으로 알려져 있다(Goto 등, 2015; Sizer와 Balasubramaniam, 1999; Yokoyama와 Mizutani, 2014). 결과적으로 자외선 조사는 미생물 DNA의 물리적, 화학적 구조 특성을 상실하게 만들며, 생장을 위한 대사산물 생성을 억제시키고 DNA를 증폭하지 못하게 하여 결국 사멸에 이르게 한다. 일반적으로 물과 식품의 표면 살균을 위해 UV-C를 사용하고 있으며, UV-A와 UV-B는 건조 표면 살균에 효과적이다. 파장이 짧은 UV-C는 광 에너지 준위가 UV-B와 UV-A보다 높아 물 또는 액상 식품 살균에 많이 적용하고 있다(Franz 등, 2009; Yun 등, 2013; Oh 등, 2017).

최근에 들어 가정에서 필터를 이용한 정수기로 음용수의 불순

*Corresponding author: Chang Joo Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Wonkwang University, Iksan, Jeonbuk 54538, Republic of Korea
Tel: +82-63-850-6825
Fax: +82-63-850-7308
E-mail: cjlee@wku.ac.kr
Received March 22, 2021; revised April 3, 2021;
accepted April 5, 2021

물 및 미생물을 정제하여 섭취하는 경우가 증가하고 있다. 하지만, Yang 등(1999)의 보고에 의하면 시판생수 및 정수기를 통해 정수한 물을 냉장과 실온에 보관하게 되면 미생물이 증가한다고 하였다. 특히 정수기를 통한 정수를 냉장보관하면 미생물이 10^3 - 10^4 CFU/mL, 실온에서는 10^2 - 10^4 CFU/mL의 범위로 저장 1일부터 증가하다 7일 이후에는 감소한다고 보고하였다. 따라서 물을 먹기 직전에 살균하는 것이 미생물로부터 효율적으로 안전을 보장받을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 UV-C 영역의 254 nm 파장을 발광하는 UV를 정수기에 적용하여 그람 음성 세균 *Escherichia coli*와 그람 양성 세균 *Listeria monocytogenes*의 투입 농도에 따른 미생물 생육 저해 효과에 대해 연구하였다.

재료 및 방법

실험 균주 및 배지

본 연구에서 그람 음성균은 *E. coli* ATCC 8739, 그람 양성균은 *L. monocytogenes* KCTC 13064를 사용하였다. 각 미생물의 배양은 Tryptic Soy Agar (TSA, Cat. No. 236950, BD)와 Brain Heart Infusion Agar (BHI agar, Cat. No. 211065, BD)에서 배양한 뒤, colony를 Tryptic Soy Broth (TSB, Cat. No. 211825, BD) 또는 Brain Heart Infusion (BHI, Cat. No. 211059, BD) 액체배지 5 mL에 접종하여 진탕배양기(shaking incubator, 37°C, 200 rpm)에서 12-16시간 배양하여 실험에 사용하였다. 각각의 UV-C를 조사한 균은 선택배지를 사용하여 정치배양기 37°C에서 24시간 배양하였으며 *E. coli*는 MacConkey Agar (MB-M1028, MB cell), *L. monocytogenes*는 modified Oxford medium agar (Cat. No. 222530, BD; Modified Oxford Antimicrobial supplement 첨가, Cat. No. 211763, BD)를 사용하였다.

UV-C 조사 정수 장치

UV-C 정수 장치는 한국암웨이㈜의 정수기(eSpring, Amway Co. Ltd., Ada, MI, USA)를 사용하였으며, 내부의 필터를 제거하고 UV램프 기능만 실험에 사용하였다. UV-C램프는 수은 램프로 파장 254 nm, 조사선량은 40 mJ/cm² 이며, 직경은 12 mm, 높이가 195 mm으로 2개의 관이 연결되어 있다. 석영관은 UV램프를 보호하는 관으로서 직경 30 mm, 높이가 200 mm로 UV램프를 내부에 부착시켜 사용하였으며, 스테인리스관(직경 50 mm, 높이 200 mm)을 UV램프 외부에 설치하여 아래에서 위로 물이 통과하여 외부로 방출되도록 하였다. 실제로 UV-C가 조사되는 영역은 스테인리스관 크기와 같으며, 물이 관을 통과하는 시간은 4.4초로 물이 흐르는 동안만 UV-C가 조사되도록 하였다. UV 정수 장치는 2.8 L의 용량의 원통 내부에 UV램프를 수직으로 결합하고, 입·출수관을 제외하고 밀봉이 되도록 하였다. 증류수는 유입펌프(22R-3005, KOTEC, USA)를 이용하여 3.4 L/min 유량이 되도록 유량조절기로 조절하고, 디지털유량측정기(FLM-3, HM Digital Inc., Manhattan, CA, USA)로 유량과 유속을 확인하였다. 미생물 주입은 3-way valve에 syringe를 연결하고 syringe pump (NE-300, New Era Pump Systems Inc. NY, USA)를 이용하여 9 mL/min 속도로 주입하였다.

UV-C 조사에 따른 미생물 생육 측정

액체 배지에서 배양한 세균은 마이크로튜브로 옮기고 원심분리(10,000×g, 5 min)하여 균체를 포집한 뒤, 상층액을 제거하였다. 배양한 세균의 배지 성분을 제거하기 위하여 1 mL phosphate buffered saline (PBS) 용액으로 균질화한 뒤, 원심분리(10,000×g,

5 min)하고 상층액을 제거하는 세척과정을 3회 반복하였다. 세척한 세균 균체는 PBS 용액에 다시 균질화 하고 UV-visible spectrophotometry (Optizen 2120UV, KLab Co., Ltd., Daejeon, South Korea)에서 O.D._{600 nm} 0.5로 맞춘 뒤, 10배씩 PBS 용액에 희석하였다. 각각의 균 10^3 , 10^5 , 10^6 , 10^7 CFU/mL를 3차 살균 증류수가 3.4 L/min의 유속으로 흐르는 정수기에 주입하였다. 정수기 장치의 UV를 통과한 시료와 UV 장치를 통과하지 않은 대조구 시료 각각 4 L를 멤브레인 필터(membrane disc filter, PES membrane, pore size: 0.2 μm diameter: 47 mm, Pall Co., New York, USA)가 장착되어 있는 여과장치(Pall Co., New York, USA)에 여과시켜 세균을 포집 하였다. 여과시킨 membrane disc filter를 각각의 선택배지(MacConkey Agar, modified Oxford medium agar) 표면에 밀착시켜 37°C 배양기에서 24시간 동안 배양한 뒤, 생성된 colony 수를 계산하여 UV에 의한 각 세균의 성장 억제 능력을 확인하였다.

UV-C 조사에 따른 세균의 사멸 관찰

UV-C 조사 정수 장치에 의한 세균(*E. coli*, *L. monocytogenes*)의 사멸을 확인하기 위하여 형광현미경(NIB410-FL, Nexcope, Ningbo, China)과 LIVE/DEAD[®] BacLight[™] Bacterial Viability Kit (L-13152, Invitrogen/Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 관찰하였다. UV-C 조사한 10^7 CFU/mL의 균을 멤브레인 필터에 포집하고, 포집한 멤브레인 필터를 5 mL의 PBS 용액이 들어있는 50 mL의 conical tube에 넣고 5분간 혼합시켜 멤브레인 필터에서 균들을 분리하였다. 분리한 균을 LIVE/DEAD[®] BacLight[™] Bacterial staining mixture로 염색하여 형광현미경으로 세균의 사멸과 형태학적 특징을 관찰하였으며, IMT iSolution Lite 프로그램(IMT i-solution Inc., Burnaby, BC, Canada)을 통하여 이미지를 수집하였다.

결과 및 고찰

O.D._{600 nm}와 CFU와의 상관 관계

배양한 *E. coli*와 *L. monocytogenes*는 희석도말법(10-fold serial dilution)을 이용하여 10배씩 희석한 뒤, TSA, MacConkey agar, BHI agar, Oxford agar에 도말하여 각 배지에서 배양되는 colony의 수를 확인하여 각 세균의 O.D._{600nm}값과 CFU (colony forming unit)/mL의 상관관계를 확인하였다. 희석도말법으로 배양한 각 균주의 CFU 결과에 따라 O.D._{600 nm}=0.5로 조절한 *E. coli* 용액은 TSA 배지에서 약 2.5×10^8 CFU/mL (MacConkey Agar의 경우, 약 3.2×10^8 CFU/mL)로 배양하는 것을 확인하였으며 *L. monocytogenes*의 경우 O.D._{600nm}=0.5로 조절했을 때, BHI 배지에서 약 8.5×10^8 CFU/mL (Oxford Agar의 경우, 약 8.4×10^8 CFU/mL)로 배양되는 것을 확인하였다.

UV-C 조사에 의한 세균의 생육 억제

*E. coli*와 *L. monocytogenes*를 각각 농도별로 UV 정수기에 조사한 뒤, 각각의 선택배지에서 배양 및 관찰한 결과는 Fig. 1 및 Fig. 2, Table 1에 나타내었다. 그람 음성균인 *E. coli*를 UV 조사하지 않은 대조구의 경우, 실험이 수행된 모든 농도(3.2×10^3 - 3.2×10^7 CFU/mL 샘플)에서 모두 적색의 colony를 형성한 반면 (Fig. 1, Panel A; Table 1), UV를 조사한 경우(3.2×10^3 - 3.2×10^7 CFU 샘플)는 colony가 자라지 않는 결과가 나타나 UV에 의하여 *E. coli*의 성장이 저해되거나 사멸되는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 1, Panel B; Table 1). Kim과 Park (2009)의 30 W의 UV가

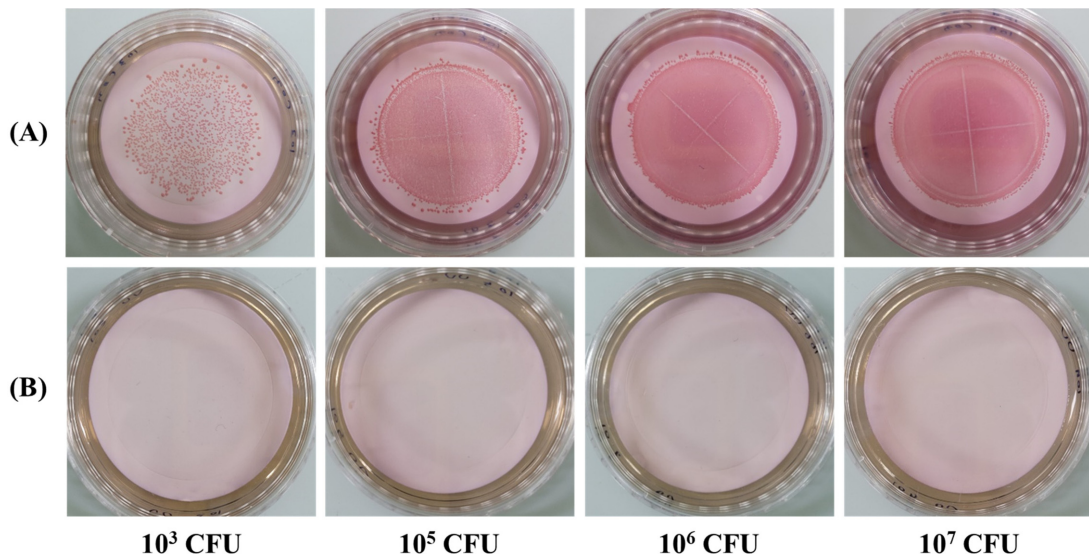


Fig. 1. Culture images of filtered membranes on MacConkey agar from 4 liter of distilled water inoculated by various concentrations of *Escherichia coli* ATCC 8739. Panel (A): Control water samples. Panel (B): UV-treated water samples using water purifier.

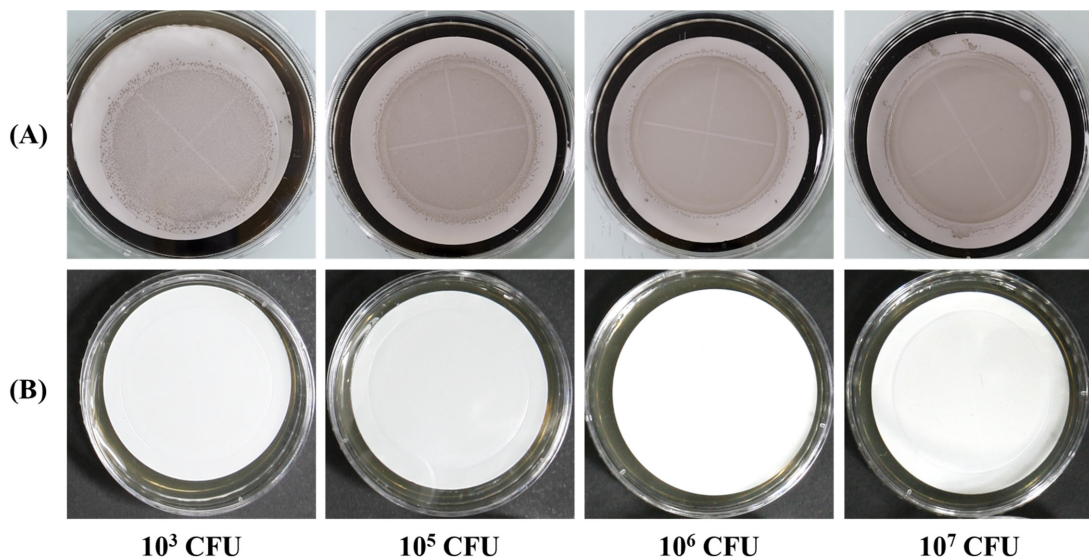


Fig. 2. Culture images of filtered membranes on modified Oxford medium agar from 4 liter of distilled water inoculated by various concentrations of *Listeria monocytogenes* KCTC 13064. Panel (A): Control water samples. Panel (B): UV-treated water samples using water purifier.

10^6 CFU/L의 *E. coli*를 사멸한다는 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

그럼 양성균인 *L. monocytogenes*를 UV 조사하지 않은 대조구의 경우, 실험이 수행된 모든 농도(8.4×10^3 - 8.4×10^7 CFU 샘플)에서 모두 검은색의 colony를 형성하였다(Fig. 2, Panel A; Table 1). 반면, UV를 조사한 경우(8.4×10^3 - 8.4×10^7 CFU 샘플)에서 colony가 자라지 않는 결과를 나타내어 UV에 의하여 *L. monocytogenes*의 성장이 저해되거나 사멸되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2, Panel B; Table 1). 결과적으로 UV 정수기의 살균 능력은 유속 3.4 L/min일때 3.2×10^7 CFU/2.8 L 농도의 *E. coli*와 8.4×10^7 CFU/2.8 L 농도의 *L. monocytogenes* 각각을 사멸할 수 있는 능력이 있는 것으로 사료된다.

현미경을 이용한 UV-C 조사 세균의 사멸 관찰

UV 정수기에 의한 살균작용을 확인하기 위하여 고농도의 그림 양성과 음성 세균(*E. coli* 3.2×10^7 CFU/2.8 L; *L. monocytogenes* 8.4×10^7 CFU/2.8 L)을 UV 조사한 뒤, LIVE/DEAD® BacLight™ Bacterial Viability Kit로 염색하여 세균의 생존/사멸을 형광현미경을 이용하여 관찰하였다. 살아있는 세균은 SYTO9 형광 염색 시약에 의하여 초록의 형광을 나타내며 사멸한 세균(또는 세포벽이 손상된 세균)은 propidium iodide 형광 염색 시약에 의하여 빨간색의 형광이 나타난다. *E. coli*와 *L. monocytogenes*는 UV를 조사하지 않은 경우, 대부분의 세균들이 생존(녹색, Fig. 3의 control)한 것으로 확인하였다. 반면 UV를 조사한 고농도의 *E. coli* 및 *L. monocytogenes*를 조사하였을 때 대부분의 세균들이 사멸(빨간색, Fig. 3의 UV)한 것으로 확인하였다. UV는 유기물질, 특히 탄화수소에 작용하여 유기물의 물리적·화학적 구조 변화를

Table 1. Injected bacterial concentration in water samples through the water purifier with/without UV-C irradiation condition and the numbers of survived bacteria (CFU) on selective medium after water-purifier were counted

Inoculated bacteria (CFU)	Number of colony forming unit (CFU)	
	Filter membrane without UV irradiation	Filter membrane with UV irradiation
<i>E. coli</i> ATCC 8739		
3.2×10 ⁻³	1,520	Not grown
3.2×10 ⁻⁵	TNTC	Not grown
3.2×10 ⁻⁶	TNTC	Not grown
3.2×10 ⁻⁷	TNTC	Not grown
<i>L. monocytogenes</i> KCTC 13064		
8.4×10 ⁻³	TNTC	Not grown
8.4×10 ⁻⁵	TNTC	Not grown
8.4×10 ⁻⁶	TNTC	Not grown
8.4×10 ⁻⁷	TNTC	Not grown

TNTC, Too numerous to count.

유발한다고(Nikogosyan과 Görner, 1992) 보고되었으며 미생물의 구성성분, 특히 DNA를 구성하는 cytosine과 thymine에 작용하여 DNA의 이중 나선 구조가 상실된다고(Chai, 2018; Goto 등, 2015) 보고되었다. Goto 등(2015)의 보고에 따라 본 연구에서도 손상된 세균들이 propidium iodide에 염색되어 빨강의 형광을 띄는 것으로 보인다. UV를 조사한 시료에서 생존한 세균들이 발견된 것은 고농도의 세균에 UV가 조사되었기 때문에 세균을 완벽히 사멸시키지 못하고 생존해 녹색으로 나타난 것으로 볼 수 있다. 미생물의 수가 증가할 경우 미생물 입자에 의한 자외선 간섭 효과가 발생해 살균 효과는 감소한다. 하지만 UV조사 미생물의 최종 생육 결과(Fig. 1, 2, Table 1)에서는 미생물의 성장이 억제되는 결과가 나타났다. 형광 현미경 관찰 결과가 미생물 최종 생육 결과

와 일치하지 않는 이유는 UV 조사로 인하여 미생물의 DNA가 붕괴되더라도 세포벽이 붕괴되어지지 않으면 세포벽에 녹색의 형광 염색 시약이 염색되는데 현미경 관찰은 UV 조사 후에 바로 염색하여 세포벽이 붕괴되지 않은 것으로 사료된다. 따라서 Fig. 1와 Fig. 2에서 사멸된 미생물 개체의 비율이 높은 것으로 볼 때 UV조사에 의해 DNA가 손상을 입고 증식력을 잃어 점차 사멸하고 있는 중간단계로 판단된다. 세균의 구조에 따른 UV에 대한 내성은 일반적으로 그람 음성균보다 세포벽이 두터운 그람 양성균이 높은 것(Chai, 2018)으로 알려져 있다. 본 연구의 형광 현미경 관찰 결과에서도 *E. coli*는 대다수 사멸한 반면 *L. monocytogenes*의 경우 상대적으로 살아있는 균이 많이 나타나(Fig. 3) 그람 양성균이 UV-C에 내성이 높은 것으로 추정할 수 있었다.

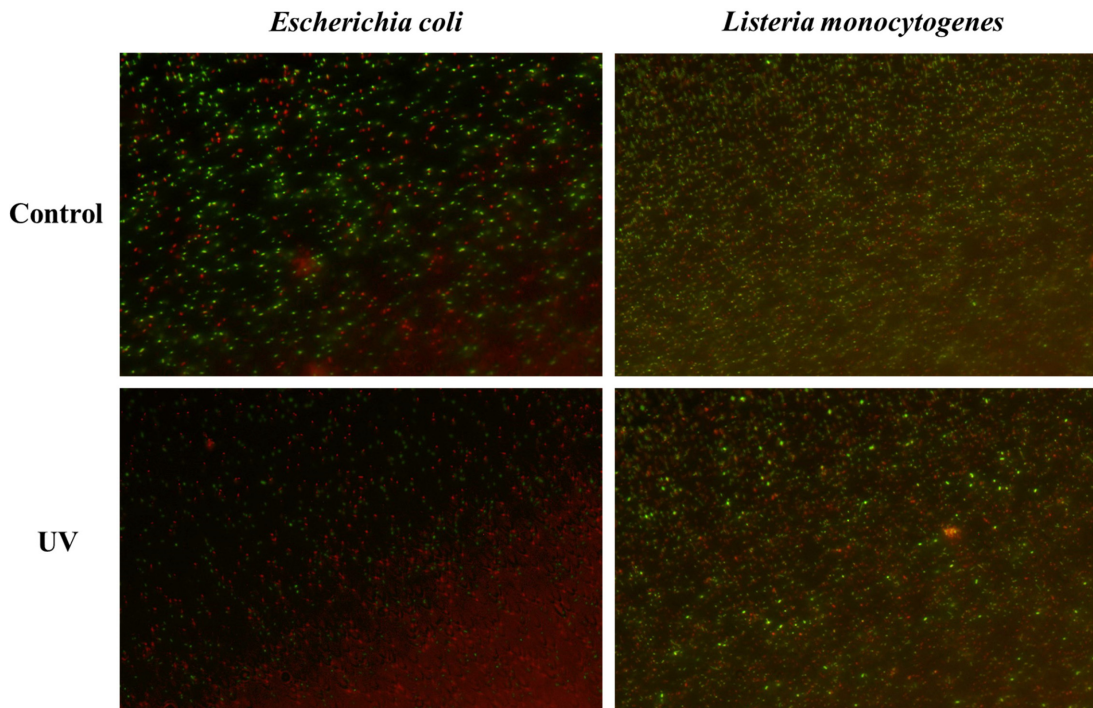


Fig. 3. Fluorescence microscopic images with LIVE/DEAD staining of *Escherichia coli* ATCC 8739 and *Listeria monocytogenes* KCTC 13064.

요 약

본 연구는 그람 음성균과 양성균인 *E. coli*와 *L. monocytogenes*를 인위적으로 오염시킨 음용수를 대상으로 UV-C 정수기의 살균 가능성과 미생물의 생육 저해에 따른 형태학적 특성을 조사하였다. UV-C를 이용한 음용수 살균 능력은 그람 음성균 *E. coli*와 양성균 *L. monocytogenes*의 저농도부터 고농도(*E. coli* 3.2×10^3 - 3.2×10^7 CFU/2.8 L; *L. monocytogenes* 8.4×10^3 - 8.4×10^7 CFU/2.8 L) 세균 모두의 생육을 저해할 수 있는 효과가 나타났다. 따라서 UV를 이용한 음용수 살균은 유속 3.4 L/min에서 UV-C 파장 254 nm, 조사선량 40 mJ/cm²로 조사할 경우 *E. coli* 3.2×10^7 CFU/2.8 L와 *L. monocytogenes* 8.4×10^7 CFU/2.8 L 이하 농도의 오염된 음용수의 살균이 가능한 것으로 나타났다. 정수기에 UV-C 살균장치를 추가하는 것이 물의 미생물 안전성에 효율적이라고 사료되며, 이 연구결과는 UV살균 장치 활용의 기초자료로 제공되어 향후 연구 수행에 도움을 줄 수 있을 것이다.

References

- Chai C. UV Irradiation for water disinfection. *Food Sci. Anim. Resour. Industry* 7: 64-71 (2018)
- EHEDG (Process Water Subgroup of the European Hygienic Engineering & Design Group). Safe and hygienic water treatment in food factories. *Trends Food Sci. Tech.* 18: S93-S98 (2007)
- EPA. Ultraviolet disinfection guidance manual. Office of Water, Washington D. C., USA, pp. 35-59 (2003)
- Franz C.M.A.P, Specht I, Cho G-S, Graef V, Stahl MR. UV-C-inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on Dean vortex technology. *Food Control* 20: 1103-1107 (2009)
- Goto N, Bazar G, Kovacs Z, Kunisada M, Morita H, Kizaki S, Sugiyama H, Tsenkova R, Nishigori C. Detection of UV-induced cyclobutane pyrimidine dimers by near-infrared spectroscopy and aquaphotomics. *Sci. Rep-UK.* 5:11808 (2015)
- Jeon M-J, Ha J-W. Efficacy of UV-A, UV-B, and UV-C irradiation on inactivation of foodborne pathogens in different neutralizing buffer solutions. *LWT-Food Sci. Technol.* 98: 591-597 (2018)
- Kenefick RW, Cheuvront SN, Montain SJ, Carter R, Sawka MN. Human water and electrolyte balance. In *Present knowledge in nutrition.* Wiley-Blackwell. pp. 493-505 (2012)
- Kim D-S, Park Y-S. Inactivation of *E. coli* by electrolysis+UV process. *J. Korean Soc. Water Qual.* 25: 667-673 (2009)
- Li G-Q, Wang W-L, Huo Z-Y, Lu Y, Hu H-Y. Comparison of UV-LED and low pressure UV for water disinfection: Photoreactivation and dark repair of *Escherichia coli*. *Water Res.* 126: 134-143 (2017)
- Liu Z, Stout JE, Tedesco L, Boldin M, Hwang C, Yu VL. Efficacy of ultraviolet light in preventing *Legionella* colonization of a hospital water distribution system. *Water Res.* 29: 2275-2280 (1995)
- Nikogosyan DN, Görner H. Photolysis of aromatic amino acids in aqueous solution by nanosecond 248 and 193 nm laser light. *J. Photoch. Photobio. B.* 13: 219-234 (1992)
- Oh NS, Kim MY, Jang GY, Baek SY, Kang TS, Lee J, Jeong HS. Comparison of UV-irradiation and high hydrostatic pressure sterilization for storage stability of carrot juice. *Korean J. Food Nutr.* 30: 1113-1118 (2017)
- Pizzi NG. *Water treatment* (4th ed.). Denver, CO: American Water Works Association (2011)
- Sizer C, Balasubramaniam V. New intervention processes for minimally processed juices. *Food Technol.* 53: 64-67 (1999)
- Song K, Mohseni M, Taghipour F. Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: A review. *Water Res.* 94: 341-349 (2016)
- WHO (World Health Organization). *Guidelines for drinking-water quality.* 4th ed. Geneva: World Health Organization (2011)
- Yang J-Y, Kim B-C, Lee J-W. Change of general bacteria and coliform group drinking water according to storage condition. *J. Fd. Hyg. Safety* 14: 433-435 (1999)
- Yokoyama H, Mizutani R. Structural biology of DNA (6-4) photo-products formed by ultraviolet radiation and interactions with their binding proteins. *Int. J. Mol. Sci.* 15: 20321-20338 (2014)
- Yun J, Yan R, Fan X, Gurtler J, Phillips J. Fate of *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp. and potential surrogate bacteria on apricot fruit, following exposure to UV-C light. *Int. J. Food Microbiol.* 166: 356-363 (2013)