

Ultraviolet 및 건조 처리에 의한 마스크에 오염된 미생물 살균 효과

박슬기¹, 이다은², 조두민^{2,3}, 송미루², 김영목^{2,3*}

¹서스캐처원 대학 화학 및 생물공학과

²부경대학교 식품공학과

³부경대학교 해양바이오닉스융합기술센터

Received: September 28, 2021 / Revised: January 4, 2022 / Accepted: January 11, 2022

Bactericidal Effect of Ultraviolet and Dry Treatment on Bacterial Contaminants in Facial Masks

Seul-Ki Park¹, Da-eun Lee², Du-Min Jo^{2,3}, Mi-Ru Song², and Young-Mog Kim^{3,4*}

¹Department of Chemical and Biological Engineering, College of Engineering, University of Saskatchewan, 57 Campus Dr., Saskatoon, SK S7N 5A9, Canada

²Department of Food Science and Technology, ³Research Center for Marine Integrated Bionics Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Due to the pandemic caused by COVID-19, the demand for face masks is soaring and has often caused a shortage. The aim of this study was to evaluate the effect of ultraviolet (UV) and drying treatments on microbial contaminants in facial masks. To conduct this study, standard procedures were designed to develop samples contaminated by the control bacteria *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*. The contamination level of the standard samples was approximately 6.30×10^6 CFU/ml, and the UV light treatment was performed 1, 3, 5, and 7 times. To evaluate the effect of the UV and drying treatments, the masks were first treated with UV 1, 2, and 3 times, followed by the drying process. As a result, the mask contaminated with *E. coli* and *P. aeruginosa* showed a bacterial rate of approximately 99.9% after 1 UV irradiation, and in the case of the *S. aureus*-contaminated mask, it exhibited a bactericidal rate of approximately 99.9% after 7 UV irradiations. However, when the drying process was included after UV irradiation, all the samples contaminated with *E. coli*, *S. aureus*, and *P. aeruginosa* showed a bactericidal rate of 99.9% or more. The results of this study suggest that UV and drying treatments can effectively reduce the bacterial contaminants in facial masks. In addition, these results provide fundamental data and appropriate sterilization methods for reusing masks.

Keywords: Bacterial contaminants, sterilization, UV light, facial mask, drying

서 론

2019년 이후 전세계로 확산된 코로나 바이러스(COVID-19)의 대유행으로 인해 일상 생활 중 마스크 착용이 의무화 되었고 이로 인해 마스크 소비가 공급을 추월하여 한동안 마스크 대란이라고 불릴 정도로 전세계적 사회적 이슈가 되었다. 또한, 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)에 보고된 바에 따르면 코로나 바이러스의 주된 감염 경로는 주로 비말에 의한 것이며

침방울 및 분비물들을 통해서 전파되고 있으며 보통 비말의 한 방울에는 60–140 nm의 코로나 바이러스가 10–100개 가량 존재하는 것으로 추정되고 있다[1]. 마스크 사용이 의무화되면서 마스크 재사용에 대한 문제 역시 대두되었는데, 식품의약품안전처의 인증을 받아 판매되는 국내 보건용 마스크 등의 경우 일회 착용 후 폐기를 원칙으로 하여 재사용에 대한 살균법을 별도로 제시하지 않고 있다. Kwon 등(2020)의 보고에 따르면 보건용 마스크를 1회만 착용하고 폐기한다는 응답은 23.6%, 2–3일 착용 후 폐기한다는 응답자는 전체 중 54.7%로 가장 많게 조사되어 대부분의 소비자들은 일회용 보건 마스크를 2–3회 이상 사용하는 것으로 나타났다[2]. 마스크 대란에 따라 2020년에는 마스크의 효과적 재사용에 관한 연구들이 다수 보고되었으며[3–9], 또한 전세계인

*Corresponding author

Tel.: +82-51-629-5832, Fax: +82-51-629-5824

E-mail: ymkim@pknu.ac.kr

들의 마스크 사용으로 인해 폐기되는 마스크의 양도 기하급수적으로 증가하였으며 이는 환경오염에 심각한 영향을 미칠 수 있어 더욱 큰 이슈가 되고 있다. 또한, 마스크 재사용 및 장시간 사용으로 인해 여드름 및 피부트러블 발생과 그로 인한 스트레스 인식이 높게 조사되어 보고되었으며[10], 마스크 착용 이후 발생한 여드름과 트러블은 하루 마스크 착용 시간이 늘어남에 따라 증가한다고도 보고되었다[11]. 또한 국내 연구 중 마스크 재사용을 위한 연구는 미비한 상태이며, 특히 마스크의 잦은 착용과 착용 시간 증가에 따라 미생물에 기인한 피부트러블 등을 목표로 미생물학적인 살균 효과에 대해서는 보고된 바 없다. Rodriguez-Martinez 등 (2020)의 리뷰에서는 총 14가지의 살균방법을 제시하였으며 그 중 자외선 살균과 과산화수소 처리법이 가장 효과적인 방법으로 추천되었다[12]. Jung and Lee (2021)은 가열과 자외선 살균이 마스크의 안면부 흡기저항과 섬유구조에 미치는 영향에 대해서 보고하였으며, 결과적으로 3-4회 반복하여 가열과 자외선 처리 등의 살균처리는 흡기저항의 증가가 나타나지만 기준을 초과하지 않는다는 결론을 도출하였다 [13]. 여러 연구에서 보고된 바와 같이 ultraviolet (UV) 처리 및 건조의 살균효과는 충분하지만, 미생물이 오염되어 있는 재료의 소재 그리고 오염원 등에 따라 그 살균효과는 항상 일관적이지 않고 특히, 국내에서는 마스크 재사용과 살균에 대한 연구는 매우 드물다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 ultraviolet (UV) 처리 및 건조 처리가 가능한 장치를 이용하여 덴탈 마스크에 오염된 미생물을 제어하여 마스크 재사용에 대한 기초적인 데이터 제공과 마스크 중 오염된 미생물의 제거 방법에 대해서 제시하고자 한다.

재료 및 방법

마스크 Ultraviolet 살균 시스템

마스크의 살균과 건조과정을 위해 (주)ESN에서 개발한 UV 살균장치(ATSD-G001A; (주)ESN, Korea)를 사용하였으며, 장치의 구성 및 형태는 Fig. 1과 같다. 본 장치는 젖병, 물컵, 및 텀블러 살균 등 다양한 용도로 사용될 수 있으며 덮개와 UV lamp가 장치되어 있는 작동부로 구분될 수 있다. Fig. 1A는 장치의 작동부의 외형으로 UV lamp가 작동부의 상단에 설치되어 있으며, 상단부 덮개가 있지만 이는 기능적 역할이 없으므로 Fig. 1에서 표시하지 않았다. UV 살균 장치는 전체 폭이 110 mm, 높이가 145 mm로써 작고 휴대가 간편하며 가정에서 손쉽게 사용할 수 있게 개발되었다. 작동부는 UV lamp가 일부 노출이 되어 있는 형태이며 덮개를 제거한 후 살균 용도에 맞게 사용할 수 있다. 본 연구에서는 마스크 살균을 위하여 마스크를 Fig. 1B와 같이 장착한 후에 작동하여 사용하였다. 본 장치에 탑재된 UV lamp (3W, 53 mm × 17 mm)는 UV-C 253.7 nm 파장을 이용하고, 본 살균 장치의 기본 설정은 1회 작동 시 UV 조사 90초, 건조 1시간, 마지막으로 UV 조사 30초로 작동된다. 장치의 동작 버튼을 누르는 횟수에 따라 UV 조사 횟수를 조절하여 본 연구에 사용하였다.

사용 균주 및 배지

본 연구에 사용한 균주는 ATCC (American Type Culture Collection, USA)에서 분양 받았으며, 황색포도상구균 (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538), 대장균(*Escherichia*

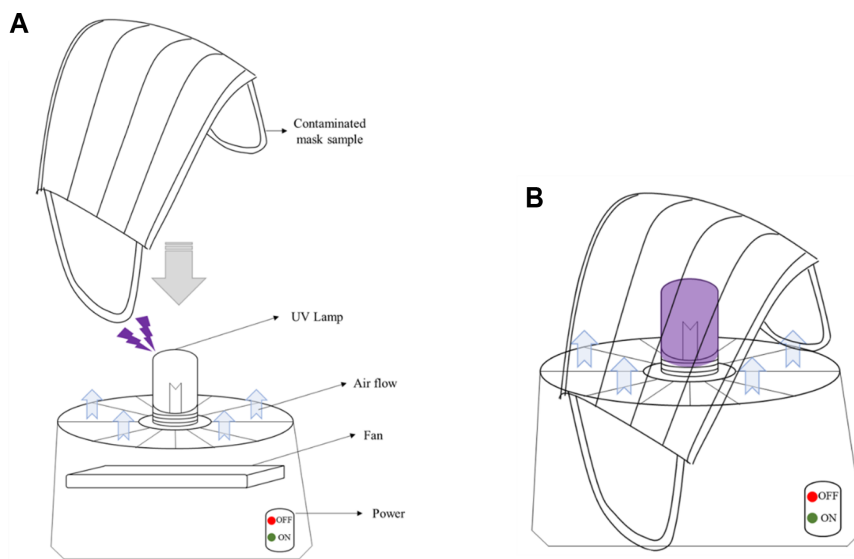


Fig. 1. Experiment device of ultraviolet and dry treatment used in this study. (A) Parts of the experimental device, (B) Schematic diagram of the progress of UV and drying treatment.

coli ATCC 25922) 및 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15692)를 사용하였다. 균주 선정은 환경에서 오염 확률이 높으며 피부에서 증식할 수 있는 균주를 위주로 선정하였다. 선정 균주들은 Nutrient Broth (NB; Difco, USA)에 접종하여 35°C에서 24시간 배양하여 최종 균 농도 약 2.13×10^7 – 10^8 CFU/ml의 균 배양액을 사용하였다.

표준화 오염 시료 개발

표준화 시료 개발을 위해 마스크는 (주)건영크린텍에서 판매하는 덴탈 마스크(17.5 cm × 9.5 cm)를 구매하였으며 고압 멸균기를 이용하여 121°C에서 15분간 멸균 후 드라이 오븐에서 55°C, 24시간 이상 완전히 건조한 다음 사용하였다. 표준화 오염 시료 개발을 위해 UV 및 건조 처리하는 약 1시간 동안 균주의 감소가 없는 조건을 탐색하였다. 마스크에 균일한 균주 오염을 위해 마스크를 무균작업대(SciLab®, Korea)에서 펼친 후 마스크 안쪽 표면에 균 농도 약 2.13×10^7 – 10^8 CFU/ml의 배양액을 접종하였다. 이후 마스크 표면에 흡수될 수 있게끔 멸균된 일회용 1 µl loop (loop and needle, SPL life sciences, Korea)를 사용하여 도포한 후 무균작업대에서 1시간 동안 건조 후 UV 및 건조 처리를 위한 시료로 사용하였다.

UV 살균 및 건조 횟수에 따른 살균효과

마스크에 오염된 미생물의 살균효과는 UV 조사 횟수와 추가적인 건조 과정을 포함하는 두 가지 조건으로 설정하였다. 살균장치의 UV가 조사되는 위치에 표준화 오염 마스크를 덮은 상태로 기기를 작동시켰다(Fig. 1). UV 살균횟수는 1, 2, 3, 5 및 7회로 각 횟수 별 90초간 살균을 진행하였으며 건조과정을 포함한 살균과정은 1회(90초) 살균 후 1시간 동안 건조과정과 30초간 UV 조사가 포함된다. 처리 후 마스크 시료는 phosphate buffered saline (PBS, pH 7.4)과 1:9 (W/W) 비율로 혼합한 후 stomacher (Bagmixer, France)를 이용하여 2분간 균질화 한 뒤 균질화 된 시료액 1 ml를 취하여 멸균된 PBS 9 ml에 십진희석법을 이용하여 단계 희석하였다. 이후 Plate Count Agar (PCA; Difco)에 각 희석단계별로 100 µl씩 분주하여 멸균된 일회용 spreader (Spreader, SPL Life Sciences, Korea)로 고르게 퍼지도록 도말한 뒤 35°C에서 24–48시간 배양 후 각 plate에서 형성된 colony를 계수하여 colony forming units (CFU)로 나타내었다. 살균력 분석은 대조군과 시험군의 생균수 차이값(CFU/ml)을 비교하여 살균력(%)으로 나타내었다.

실생활 마스크 시료 수집 및 살균 검증

실생활에 사용된 마스크 시료는 작업 환경이 유사한 대상을 상대로 수집하였으며 각각 동일한 사람으로부터 같은 기

간 동안(3일) 반복 사용한 마스크를 각 3장씩 수거하였다. 수거된 마스크 시료는 앞서 기술한 방법과 같이 전 처리 되었으며, UV 처리는 3회 연속 및 UV 3회 처리와 건조과정을 함께 수행한 후 생균수를 확인하여 살균력을 검증하였다. 실생활 마스크 시료의 수집 및 살균 검증 시험은 표준오염 시료가 아닌 실생활에서 사용한 마스크를 이용하여 유효한 살균력을 확인하기 위하여 수행되었다.

통계분석

모든 실험 결과는 3회 반복 실험하였으며 평균값(mean) ± 표준편차(SD)로 표시하였으며, 실험결과는 SPSS (ver. 12.0, SPSS Inc., USA) 프로그램의 분산분석(ANOVA)을 실시하여 유의성이 나타난 경우 Duncan의 다중범위 검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 $p < 0.05$ 유의수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

표준화 시료 개발

덴탈 마스크의 표준화 시료 개발 결과는 Table 1과 같다. 결과적으로, 멸균된 덴탈 마스크에 *E. coli*, *S. aureus* 및 *P. aeruginosa*를 약 1.00×10^7 – 10^8 CFU/ml로 배양하여 도포한 뒤 60분간 무균작업대에서 건조하여 일정 수준의 오염된 덴탈 마스크 표준화 시료를 도출하였다. 표준 시료의 오염수준은 *E. coli*의 경우 덴탈 마스크 1장에 7.41×10^6 CFU/ml, *S. aureus*의 경우 7.58×10^6 CFU/ml, *P. aeruginosa*의 경우 3.80×10^6 CFU/ml로 나타났다. 각 덴탈 마스크 시료는 표준화되어 UV 및 건조 등의 살균처리를 진행하였으며 처리시간에 맞추어 표준화 시료를 제작하였다. Pyo 등 (2019)의 연구에서 보고된 바에 따르면 치위생사의 마스크 중 미생물의 오염도가 약 10^5 CFU/ml로 나타났으며 일반미생물과 구강미생물의 오염 정도는 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 또한 손 등에 의한 교차오염을 방지하기 위하여 마스크 사용법과 관리 방법 등을 구체화할 필요가 있다고 보고하였다[14]. 일반적으로 사용하는 덴탈 마스크의 경우 자

Table 1. Bacterial population in standard facial mask samples contaminated by type bacterial strains.

Strains	Viable cell count (CFU/ml)	
	0 min	60 min
Negative control	ND*	ND
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	-	7.51×10^6
<i>Staphylococcus Aureus</i> ATCC 6538	-	7.60×10^6
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 15692	-	3.80×10^6

*Not Detected.

주 교체하지 않고 사용할 경우 높은 수준의 미생물 오염이 발생할 수 있으며 본 연구에서 제시한 표준화 시료 개발 결과는 실제 오염 수준과 유사한 수치를 나타내고 있어 덴탈 마스크 살균처리에 있어 표준화된 시료로써 사용 적합도가 높다고 판단된다.

UV 살균 횟수에 따른 마스크 중 미생물 제어 효과

표준화된 덴탈 마스크 시료를 이용하여 UV 살균 장치의 살균 횟수에 따른 미생물 종류별 살균효과는 Table 2와 같다. *E. coli*, *S. aureus* 및 *P. aeruginosa*의 3가지 미생물은 모두 UV 1회 처리로도 약 99% 이상의 살균력을 나타내었으나, 미생물의 종류에 따라 결과에 차이가 나타났다. *E. coli*의 경우 처리횟수 3회 이상부터는 약 10⁴ CFU/ml 이상 감소하여 그 이상의 횟수에는 큰 유의적 차이를 나타내지 못하였으며 처리 3회의 경우 3.54 × 10⁴ CFU/ml, 5회의 경우 4.67 × 10⁴ CFU/ml 및 7회의 경우 4.78 × 10⁴ CFU/ml가 감소하는 것으로 나타나 3회 처리 만으로도 충분히 살균효과를 나타낼 수 있는 것으로 판단된다(Table 2). *S. aureus*의 경우 그람 양성균으로써 세포벽 중 펩티도글리칸층이 두껍게 존재하여 그람 음성균에 비하여 제어가 어려운 경우가 있다[15, 16]. *S. aureus*에 오염된 마스크의 경우 *E. coli*에 오염된 마스크만큼 살균력이 높게 나타나지 않았지만, 7회 처리 시 99.9% 이상 살균되는 효과를 나타내었다(Table 2). 또한 1회 처리 시 1.51 × 10² CFU/ml가 감소하여 약 99% 이상의 살균력을 나타내었다. 또한 *P. aeruginosa*의 경우에 1회 처리 시 9.12 × 10² CFU/ml, 3회 처리 시 1.00 × 10³ CFU/ml, 5회 처리 시 1.99 × 10³ CFU/ml 및 7회 처리 시 1.77 × 10⁴

CFU/ml의 감소 결과를 나타내었다(Table 2). *P. aeruginosa*에 오염된 마스크의 경우 UV 처리 3회부터 99.9% 이상의 살균력을 나타내고 있으나, 그람 음성균인 것을 감안하였을 때 *P. aeruginosa* 특유의 미생물학적 특성에 따른 결과로 판단되며 Rattanukul and Oguma (2018)에 따르면 ultraviolet-light-emitting diode (UV-LED)의 파장대 별 *P. aeruginosa*에 대해 10³ CFU/ml 이상의 감소를 위해서 *E. coli*를 살균하는 데 필요한 에너지보다 높게 요구된다고 보고하였다[17]. 또한 Hassen 등(2000)의 폐수에 대하여 UV를 이용한 살균 공정의 대량화에 대한 연구에서도 fecal coliforms, fecal streptococci 및 *P. aeruginosa* 중에서 *P. aeruginosa*에 대한 log reduction 값이 가장 낮게 나타났으며 UV-LED 및 UV light 등을 이용한 살균의 경우 *P. aeruginosa*를 살균하는데 많은 에너지가 소요되는 것으로 사료된다[18]. 또한 Kierat 등(2020)에 따르면 포자를 형성하는 *Bacillus atrophaeus* ATCC 9372 균주를 마스크에 오염시킨 후 UV-C 램프를 이용하여 살균한 결과 약 15분간 조사를 수행하였을 때 포자까지 모두 사멸되었다고 보고하여 UV 처리는 포자 형성 균주의 살균에도 효과적인 것으로 판단된다[19]. 따라서, 덴탈 마스크 중 오염된 미생물들은 중에 따라서 살균력의 차이가 나타나지만 본 연구에 사용된 3종의 미생물들은 UV 처리 과 정만을 통해서도 효과적으로 감소시킬 수 있는 것으로 판단 된다.

UV 살균 및 건조 횟수에 따른 마스크 중 미생물 제어 효과

UV 살균처리 후 건조과정을 수행한 덴탈 마스크 중 오염된 미생물에 대한 효과는 Table 3과 같다. 재료 및 방법에서

Table 2. Bactericidal effect by the ultraviolet (UV) treatment in facial masks contaminated by the bacterial strains.

Strains	Number of UV-treatment*	Viable cell count (CFU/ml)			Bactericidal rate (%)
		Control	Survival	Reduce	
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	1	7.51 × 10 ⁶	1.54 × 10 ³ A**	4.85 × 10 ³ b	99.979
	3		2.00 × 10 ² B	3.75 × 10 ⁴ a	99.997
	5		1.77 × 10 ² B	4.24 × 10 ⁴ a	99.998
	7		1.66 × 10 ² B	4.52 × 10 ⁴ a	99.998
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	1	7.60 × 10 ⁶	4.67 × 10 ⁴ A	1.62 × 10 ² c	99.385
	3		6.91 × 10 ⁴ A	1.09 × 10 ² c	99.090
	5		1.02 × 10 ⁴ B	7.43 × 10 ² b	99.865
	7		5.12 × 10 ³ C	1.48 × 10 ³ a	99.933
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 15692	1	7.67 × 10 ⁶	2.23 × 10 ³ A	3.42 × 10 ³ c	99.971
	3		2.04 × 10 ³ AB	3.75 × 10 ³ c	99.973
	5		1.02 × 10 ³ C	7.49 × 10 ³ b	99.987
	7		1.38 × 10 ³ BC	5.55 × 10 ³ a	99.982

*The number of UV-treatment. Each treatment is performed for 90 sec.

**Means followed by the same lowercase or uppercase letter are not significantly different at p < 0.05.

Table 3. Bactericidal effect by the ultraviolet (UV) treatment combined with drying in facial masks contaminated by the bacterial strains.

Strains	UV-treatment combined with drying*	Viable cell count (CFU/ml)			Bactericidal rate (%)
		Control	Survival	Reduce	
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	1 with drying		3.54×10^3 A**	3.64×10^3 c	99.973
	2 with drying	1.29×10^7	2.08×10^2 C	6.18×10^4 b	99.998
	3 with drying		1.31×10^3 B	9.81×10^3 a	99.990
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538	1 with drying		6.16×10^3 A	1.23×10^3 b	99.905
	2 with drying	6.50×10^6	4.16×10^3 A	1.82×10^3 b	99.936
	3 with drying		8.51×10^2 B	8.93×10^3 a	99.987
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 15692	1 with drying		2.39×10^4 A	3.19×10^2 b	99.965
	2 with drying	6.50×10^7	1.47×10^4 B	5.18×10^2 ab	99.978
	3 with drying		1.34×10^4 B	5.68×10^2 a	99.980

*Number means the number of UV-treatment. Each treatment is performed for 90 sec with a drying process, which is performed for 1 h.

**Means followed by the same lowercase or uppercase letter are not significantly different at $p < 0.05$.

서술한 바와 같이 UV 처리(90초) 이후 건조 과정은 1시간동안 진행되고 1시간 건조 후 30초간 UV 처리가 다시 진행된다. 건조는 미생물의 생육에 필요한 수분을 제거하는 과정으로써 전통적으로 많은 분야에서 미생물 제어법으로서 사용되었다[20–22]. UV 처리와 함께 사용된 건조 과정은 UV 처리만 진행한 조건과 유사하게 효과적으로 오염된 미생물을 감소시키는 것으로 나타났다. *E. coli*의 경우 UV 조사 1회 및 건조과정을 수행하였을 때 1.54×10^3 CFU/ml가 감소하여 UV 1회 처리만으로도 99.9% 이상의 살균력을 나타내었으며 UV 횟수가 증가함에 따라 살균력도 비례하여 증가하였다. UV 3회 처리 및 건조를 한 경우에는 2.45×10^4 CFU/ml까지 감소하여 약 99.99%의 살균력을 나타내어 *E. coli*에 대해서 매우 효과적인 것으로 판단된다. *S. aureus*의 경우 UV 1회 및 3회 조사한 경우 약 10^2 CFU/ml가 감소하여 약 99%의 살균력을 나타내었지만, UV 2회 처리 및 건조과정을 수행한 경우에 10^3 CFU/ml 이상 감소하여 99.9%의 효과적인 살균력을 나타내었다. 마찬가지로 UV 처리 3회 및 건조과정을 수행한 경우에는 약 10^4 CFU/ml 이상이 감소하여 99.99%의 높은 살균력을 나타내었다. *P. aeruginosa*의 경우에는 UV 조사 1회 및 건조과정을 통해 99.9%의 높은 살균력을 나타내었으나 UV 처리 2회 및 3회의 경우에는 다른 표준화 시료와는 다르게 비교적 차이가 나타나지 않았지만 *P. aeruginosa*에 대해서도 99.9% 이상의 살균력을 나타내어 충분히 효과적인 것으로 판단된다. Jung 등(2021)에 따르면 일회용 마스크에 대해 UV 처리 및 가열처리 3–4회 반복 수행하였을 때 흡기저항의 증가는 발견되었지만 식품의약품안전처의 마스크 기준을 초과하지는 않았으며 마스크 내부 필터의 미세구조에서 변화가 관찰되지 않았다고 보고하였다[23]. 따라서, 마스크에 대한 UV 및 건조과정은 마스크의 기

능을 일정수준 이상 해치지 않으며 유지할 수 있다고 판단되며 덴탈 마스크의 UV 및 건조 처리를 통해 반복사용이 가능함을 시사한다. 또한, 자외선을 이용한 살균에 대한 국내 연구사례는 매우 미비하며 정수, 해수 및 하수 등에 대한 살균에 주로 사용되며[24, 25] 식품에 적용된 경우 고춧가루 살균에 적용된 사례[26], 막걸리 살균에 사용된 사례[27] 외에는 연구가 미비한 상황이다. 해외에서는 마스크 재사용과 살균을 위한 다양한 연구사례가 보고되고 있으며[3–9], Rodriguez-Martinez 등(2020)의 리뷰에 따르면 UV 등을 이용한 살균은 미생물 및 바이러스 제어에도 효과적이라고 보고되었다[12]. 따라서 마스크 재사용을 위한 살균 및 제어에 대한 국내 연구사례는 미비하며 마스크 사용이 보편화되고 있어 국내 연구가 시급하다고 판단된다.

실생활 마스크 시료에 대한 살균력 검증

동일한 환경에서 작업하는 3명의 인원(이하 시료 A, B, 및 C)으로부터 3일간 사용한 실생활에서 사용된 마스크를 각 3장씩 수거하였고, 각 3장은 무처리군, UV 3회 처리군, UV 3회 처리 및 건조 처리군으로 구분하여 실생활 마스크 시료에 대한 UV 살균 장치의 살균력을 검증하였다. 그 결과는 Table 4와 같으며, UV 처리하지 않은 마스크 A의 생균수는 1.48×10^5 CFU/ml, 마스크 B 시료는 4.65×10^4 CFU/ml, 및 마스크 C 시료는 9.35×10^3 CFU/ml로 나타났으며 UV 처리 3회 후 마스크 A의 생균수는 4.15×10^3 CFU/ml, 마스크 B는 8.2×10^2 CFU/ml 및 마스크 C는 6.30×10^2 CFU/ml로 나타나 각각 1.43×10^5 CFU/ml, 4.56×10^4 CFU/ml, 및 8.72×10^3 CFU/ml씩 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 마스크 A의 경우 97.19%, 마스크 B는 98.23% 및 마스크 C는 93.26%의 살균력이 나타났다(Table 4). UV 처리 3회 이

Table 4. Effect of Ultraviolet (UV) and drying treatments on the reduction of microorganisms in used mask samples.

Sample	Control	UV treatment (CFU/ml)*		Bactericidal rate (%)	UV treatment combined with drying (CFU/ml)*		Bactericidal rate (%)
		Control	Survival		Control	Survival	
A	1.48×10^5	4.15×10^3	1.43×10^5	97.195	6.35×10^2	1.47×10^5	99.570
B	4.65×10^4	8.20×10^2	4.56×10^4	98.236	1.41×10^2	4.63×10^4	99.695
C	9.35×10^3	6.30×10^2	8.72×10^3	93.262	2.75×10^1	9.32×10^3	99.705

*UV treatment was continuously performed for 270 sec (3 times), and UV treatment combined with drying was including UV treatment for 270 sec and drying for 1 h.

후 건조 처리군의 경우 마스크 A의 생균수는 6.35×10^2 CFU/ml, 마스크 B는 1.41×10^2 CFU/ml 및 마스크 C는 2.75×10^1 CFU/ml로 나타났다. 각각의 경우를 살균력으로 계산하면 99.57%, 99.69% 및 99.70%로 나타났으며 UV 처리만 3회 한 경우에 비해 건조처리를 함께 진행한 경우의 살균력이 높게 나타났다(Table 4). 다양한 연구문헌에서 UV 처리는 미생물과 바이러스를 효과적으로 감소시키고 제어할 수 있다고 보고되었으나[12, 24–27], 마스크에 오염된 경우의 재사용을 위한 연구보고는 매우 드물다. COVID-19 상황에 의해 마스크는 일상 생활 용품 중 하나로 인식되고 있으며 재사용이 빈번해지고 있어 이에 따라 마스크 재사용과 살균에 대한 소비자의 관심은 높은 편이다. 따라서 본 연구는 문은 마스크 재사용을 위한 UV 살균방법에 대한 기초 연구 결과를 제시하여 마스크 폐기물의 감소와 효과적인 마스크 살균방법에 대하여 보고하고자 한다.

결론

본 연구에서는 마스크 사용 중 오염된 미생물을 개발된 UV 살균장치를 이용하여 제어하고 이를 통해 마스크 재사용에 대한 방안을 제시하고자 하였다. 일회용으로 사용되는 마스크는 1회만 사용되지 않고 여러 번 착용하는 사례가 확인되고 있으며, Kwon 등(2020)의 연구에 따르면 보건용 마스크를 1회 사용 후 폐기한다는 응답의 비율은 23.6%, 2–3일 착용 후 폐기한다는 응답이 54.7%로 가장 많게 조사되었다[2]. 또한 2018년 보건통계조사에 따르면 마스크 착용자들 중 51%가 사용한 마스크를 반복 사용한다고 응답하였으며 재사용 횟수는 2회에 대한 응답율이 가장 높았다[28]. 또한, Jung and Lee (2021)에 따르면 3–4회의 가열 및 자외선 살균은 마스크의 기능에 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며 마스크를 2–3회 연속 착용 시에는 매일 1회씩 살균처리를 하여도 기능에는 문제가 없이 위생적으로 관리할 수 있을 것으로 판단하였다[13]. 따라서, 덴탈 마스크 등의 일반 마스크의 재사용 비율은 높은 것으로 판단되며 이에 따라 본 연구 결과는 UV 처리 횟수 또는 건조 과정의 유무에

따라 마스크에 오염된 미생물을 감소시키는 결과를 제시하고 있으며 실생활에서 오염된 시료에서도 같은 경향의 결과를 제시하였다. 또한 개발된 UV 살균 장치는 마스크만 아니라 젓병이나 물컵 등의 용기도 살균할 수 있도록 설계되어 실용적이며 본 연구결과를 통해 개발된 UV 처리 장치가 위생적으로 마스크를 재사용하고 관리하는데 있어 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgments

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (2021R1A6A1A03039211).

Conflict of Interest

The authors have no financial conflicts of interest to declare.

References

1. CDC (11 February 2020). Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). Centers for Disease Control and Prevention. (Accessed Dec. 6, 2020).
2. Kwon JY, Lim G, Kim SH, Shin HJ, Lee JY. 2020. Risk awareness to COVID-19 and wear behavior of protective masks between adults and adolescent living in Seoul and Gyeonggi Province. *J. Commun. Living Sci.* **31**: 335-351.
3. Celina MC, Martinez E, Omana MA, Sanchez A, Wiemann D, Tezak M, et al. 2020. Extended use of face masks during the COVID-19 pandemic - Thermal conditioning and spray-on surface disinfection. *Polym. Degrad. Stab.* **179**: 109251.
4. Gertsman S, Agarwal A, O'Hearn K, Webster R, Tsampalieros A, Barrowman N, et al. 2020. Microwave- and heat-based decontamination of N95 filtering facepiece Respirators A systematic review. *J. Hosp. Infect.* **106**: 536-553.
5. Juang PSC, Tsai P. 2020. N95 respirator cleaning and reuse methods proposed by the inventor of the N95 mask material. *J. Emerg. Med.* **58**: 817-820.
6. O'Hearn K, Gertsman S, Sampson M, Webster R, Tsampalieros A,

- Ng R, Gibson J, et al. 2020. Decontaminating N95 and SN95 masks with ultraviolet germicidal irradiation does not impair mask efficacy and safety. *J. Hosp. Infect.* **106**: 163-175.
7. Ou Q, Pei C, Kim SC, Abell E, Pui DYH. 2020. Evaluation of decontamination methods for commercial and alternative respirator and mask materials - View from filtration aspect. *J. Aerosol. Sci.* **150**: 105609.
 8. Rubio-Romero JC, Pardo-Ferreira MC, Torrecilla-García JA, Calero-Castro S. 2020. Disposable masks - Disinfection and sterilization for reuse, and non-certified manufacturing, in the face of shortages during the COVID-19 pandemic. *Saf. Sci.* **129**: 104830.
 9. Zorko DJ, Gertsman S, O'Hearn K, Timmerman N, Ambu-Ali N, Dinh T, et al. 2020. Decontamination interventions for the reuse of surgical mask personal protective equipment - A systematic review. *J. Hosp. Infect.* **106**: 283-294.
 10. Kim HS. 2021. A study on the skin stress recognition and beauty care status due to wearing masks. *J. Appl. Sci. Technol.* **38**: 465-475.
 11. Bae SE. 2021. The effect of wearing a mask due to Covid-19 on the skin condition and skin care behavior of adults. Master degree.
 12. Rodriguez-Martinez CE, Sossa-Briceño MP, Cortés JA. 2020. Decontamination and reuse of N95 filtering facemask respirators - A systematic review of the literature. *Am. J. Infect. Control* **48**: 1520-1532.
 13. Jung JY, Lee JY. 2021. Effects of heating and UV sterilization of repeatedly reused face masks on inhalation resistance and fiber structure. *Fash Text.* **23**: 406-414.
 14. Pyo EJ, Lee KH. 2019. A study of the mask and hand contamination in dental clinic. *J. Korean Soc. Integr. Med.* **7**: 85-94.
 15. Jay JM, Loessner MJ, Golden DA. 2005. Food protection with high temperatures, and characteristics of thermophilic microorganisms. *Modern Food Microbiology*, pp. 415-441.
 16. Mai-Prochnow A, Clauson M, Hong J, Murphy AB. 2016. Gram positive and Gram negative bacteria differ in their sensitivity to cold plasma. *Sci. Rep.* **6**: 38610.
 17. Rattanukul S, Oguma K. 2018. Inactivation kinetics and efficiencies of UV-LEDs against *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, and surrogate microorganisms. *Water Res.* **130**: 31-37.
 18. Hassen A, Mahrouk M, Ouzari H, Cherif M, Boudabous A, Damelincourt JJ. 2000. UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. *Bioresour. Technol.* **74**: 141-150.
 19. Kierat W, Augustyn W, Koper P, Pawlyta M, Chrusciel A, Wyrwol B. 2020. The use of UVC irradiation to sterilize filtering facepiece masks limiting airborne cross-infection. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **17**: 7396.
 20. Jo HG, Kim MJ, Moon BY, Sin YS, Lee KS, Cheong SH. 2021. Nutritional and microbiological properties of salted semi-dried mullet (*Chelon haematocheilus*) prepared by various processing methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **26**: 20-30.
 21. Kim AN, Ko HS, Lee KY, Rahman MS, Heo HJ, Choi SG. 2017. The effect of superheated steam drying on physicochemical and microbial characteristics of Korean traditional actinidia (*Actinidia arguta*) leaves. *Korean J. Food Preserv.* **24**: 464-471.
 22. Kim JY, Bae YM, Hyun JE, Kim EM, Kim JC, Lee SY. 2017. Microbiological quality of dried and powdered foods stored at various relative humidities. *J. East Asian Soc. Diet Life* **27**: 576-582.
 23. Jung JY, Lee JY. 2021. Effects of heating and UV sterilization of repeatedly reused face masks on inhalation resistance and fiber structure. *Fashion Text. Res. J.* **23**: 406-414.
 24. Lim HS, Kim SM, Choi CS, Choi CS, Kong HJ, Kim JH. 1999. Development of UV sterilization system equipped in stainless steel tube. *J. Food Process Eng.* **3**: 164-169.
 25. Shin DH, Lee YT. 2005. Manufacturing and characteristics of the electrodeless UV lamp for disinfection of the sewage effluent. *Appl. Chem.* **16**: 570-575.
 26. Park SB, Kwon SC. 2015. Microbiological hazard analysis for HACCP system application to red pepper powder. *J. Acad.-Ind. Technol.* **16**: 2602-2608.
 27. Lee JW, Jung JJ, Choi EJ, Kang ST. 2009. Changes in quality of UV sterilized Takju during storage by honeycomb type-UV sterilizer. *Korean J. Food Sci. Technol.* **41**: 652-656.
 28. Consumer Korea. (2018, April). National Public Health Statistics 2018. <http://www.consumerskorea/>. Accessed Jun. 1, 2021.