

일부 의료기관 종사자가 사용한 마스크의 미생물 오염 사례

서혜경*

신한대학교 보건대학

Microbial Contamination of Masks Worn by Healthcare Professionals

Hyekyung Seo*

The College of Biotechnology and Health, Shinhan University

ABSTRACT

Objectives: Microbial contamination of face masks used by healthcare professionals can vary depending on the degree of exposure to bioaerosols in various healthcare environments. However, research on this topic is limited. Therefore, we analyzed microbial contamination of N95 respirators used in hospital offices, wards, and outpatient settings.

Methods: Samples isolated from N95 respirators worn for 2, 4, and 6 hours were incubated at a temperature of 35-37°C or 25-28°C for 24 hours or for 3-7 days, and colony-forming units were counted in chocolate agar, tryptic soy agar, and Sabouraud dextrose agar plates. Total indoor airborne bacteria were also measured in the healthcare environments. Finally, microbial species were identified using Gram staining with a microscopic speculum.

Results: The three types of environments did not deviate from the maintenance of standard indoor air quality. There was no difference between the microbial species identified in the healthcare environment and mask contamination. However, the number of bacteria in the masks worn in each environment differed, and the degree of contamination increased with mask-wearing time ($p < 0.05$).

Conclusions: Therefore, care must be taken to avoid recontamination of masks due to improper use and exposure to biological hazards in healthcare environments. In conclusion, scientific evidence is necessary for safe mask-wearing times. Based on the results of this study, we hope to conduct further research to establish guidelines for the safe use of face masks during respiratory disease epidemics.

Key words: biological hazard, healthcare professionals, N95 respirator, microbial contamination


I. 조사개요

유행성 전염병 등 유해한 생물학적 인자로부터 호흡기를 보호할 목적으로 사용하는 보건용 및 의료용 마스크는 COVID-19(Corona Virus Disease of 19) 발생 이후 일상생활과 밀접한 관계를 갖게 되었다. 하지만 이들 마스크를 올바르게 사용하기 위한 가이드라인이 설정되어 있지 않으므로 재사용에 대한 보건학적 인식이 부족한 상황이다. 특히 의료용 마스크 경우 다회용

으로 착용하는 것을 권장하고 있지 않지만 장시간 사용할 뿐만 아니라 재사용하는 사례가 일반적으로 행해지고 있다. 선행연구(Chughtai et al., 2019)에서는 의료 환경에서 연속 사용한 마스크 표면에 오염된 박테리아 및 바이러스 등이 손이나 피부를 통해 호흡기로 재감염될 가능성이 있다고 보고하였다. 한편 단시간 또는 단회성으로 사용한 마스크로 인해 발생할 수 있는 경제적, 환경적 문제도 간과할 수 없으므로 재사용의 안전성을 타진한 연구도 있었다(Lindsley et al., 2015; Mills

*Corresponding author: Hyekyung Seo, Tel: ***-****-**** E-mail: seohk65@hanmail.net
The College of Biotechnology and Health, Shinhan University, 95 Hoam-ro, Uijeongbu-city, Gyeonggi-do11644, Republic of Korea

Received: October 25, 2023, Revised: November 12, 2023, Accepted: December 1, 2023

 Hyekyung Seo <https://orcid.org/0000-0002-5615-8523>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

et al., 2018; Kachorn et al., 2021). 그러므로 보건 당국이 마스크 사용 시간에 대한 지침을 제공하지 않으면 효율적인 마스크 착용에 대한 긍정적 효과 대신 부작용을 초래할 가능성이 있다.

업무 시 상당 시간 마스크를 착용한 상태로 말하고 호흡함으로써 인해 높은 습도와 온도가 유지될 경우 마스크 표면에 부착된 미생물 오염 입자가 더 많았던 것을 확인한 바 있다(Seo et al., 2021). 이는 마스크 필터 여과 메커니즘을 방해할 뿐만 아니라 침투 메커니즘으로 인해 미생물이 이동할 가능성이 있으며 실제로 Tcharkhtchia et al.(2021)에 의하면 치과의사가 착용한 의료용 마스크 표면에서 연쇄상구균, 포도상구균, 그람 음성균 등이 측정되었다고 하였다. 또한 의료환경에서 장시간 마스크를 사용함에 따라 피부 트러블 등이 발생하였다는 보고(Rosner, 2020)도 있으므로 다양한 생물학적 유해인자가 존재하는 의료환경의 마스크 착용 시간 인계값이 필요할 수 있다. 마스크 착용 시간 증가로 인한 부작용은 일반환경에서도 크게 다르지 않았으며 Seo et al.(2021)은 일반환경에서 착용한 마스크 미생물 오염이 마스크 착용 시간 증가에 따라 유의한 차이가 있다고 보고하였다. 이와 같은 관점에서 호흡기 감염병 유행으로 인해 병원성 미생물 노출 위험성이 더욱 큰 의료환경에서의 마스크 미생물 오염 측정은 특히 필요하다고 할 수 있다. 미생물로 오염된 마스크를 의료환경에서 장시간 사용할 경우 발생하는 부작용이 의료인 당사자는 물론 환자와 가족에게까지 영향을 줄 수 있기 때문이다. Homaria et al.(2016)이 보고한 의복 표면에서 수시간 존재하는 인플루엔자 바이러스와 의복 및 환경 샘플에서 확인된 호흡기 융합 바이러스(respiratory syncytial virus, RSV)등은 이와 같은 부작용의 원인이 될 수 있다.

의료기관은 다중시설 실내공기질 기준에 의해 총부유세균 800 CFU/m³ 이하, 곰팡이 500 CFU/m³ 이하를 유지하여야 한다(MOE ES 02701. 1d, 2021). 특히 공기로 전파되는 약 2만종 중 약 200종 곰팡이가 실내에서도 발견되며 그중 30여 종이 건강에 영향(Kim, 2008)을 미친다고 하므로 이 조사에서는 세균은 물론 유해한 곰팡이가 있는지 정성적으로 확인하고자 하였다. 그러므로 시험 마스크에서 배양된 세균 및 곰팡이가 의료환경 것과 유사한지 알아보고 마스크에 오염된 세균 집락수(cloony forming unit, CFU)를 환경에 따라 비교한다. 마지막으로 마스크에 오염된 세균 집락수

가 사용 시간에 따라 증가하는지 비교한다. 따라서 이 결과는 의료 환경의 마스크 사용에 대한 보건학적 인식을 부각시킬 것이며, 호흡기 감염병으로부터 마스크를 안전하게 사용할 수 있도록 과학적 근거 마련에 활용하고자 하였다.

II. 조사방법

1. 참여 대상자

자발적 참여를 지원한 두 의료기관을 선정하여 의료인 45명이 참여하였다(Table 1). 선정된 의료기관 내 사무환경, 외래환경, 병동환경에 종사하는 의료인 중 동의서에 서명한 대상자를 무작위 선발하였다. 연구 윤리 준수를 위한 기관생명윤리위원회(SHIRB-202103-HR-122-01)심의를 통과하였으며 참가자 정보가 안전하게 보호되고 있다.

2. 시료 채취 및 평가

1) 마스크 상 시료

시험에 사용한 마스크는 미국 국립 직업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 마스크 기준 규격 N95 등급을 만족한 인증 제품으로 한국에서 생산된 제품이었다. 이것은 가로 길이 100 mm, 세로 길이 155 mm 인 이단 접이형 모델로 코 지지대가 있으며, 헤드밴드형 머리끈을 착용자의 머리 위와 목 뒤에 고정시키도록 되어 있다. 착용자 얼굴크기 및 연령과 상관없이 한가지 모델로 생산되며 마스크 걸감 및 안감은 폴리프로필렌 스펀본드 부직포, 필터는 멜트브라운 부직포 재질 3겹(layer) 구조이다(Figure 1). 선행자료(Mackenzie, 2020; Fisher et al., 2020)를 참고로 시험 마스크 착용 시간을 2시간, 4시간, 6시간으로 설정하여 시료를 채취하였다. 착용한 마스크는 별도 오염이 일어나지 않도록 멸균 봉투에 담아 연구자가 직접 수거한 후 실험실에서 즉시 접종 및 배양하였다. 배지는 공기 중 시료 채취에 사용한 TSA(tryptic soy agar) 배지와 동일한 것을 사용하였다.

2) 공기 중 시료

실내공기 중 총부유세균 측정방법(MOE, ES 02701. 1d, 2021)에 따라 두 참여 기관의 사무, 외래, 병동의 공기 중 부유세균을 채취하였다. 시료 채취는 앤더슨

에어 샘플러(one-stage viable particulate cascade impactor, TE-10-890 TISCH Environmental, USA)를 150 cm 높이에 설치하여 분당 28.3 L 유량으로 작동시켰다(Figure 2). 385개 구멍(Holes)을 통해 충돌 방식으로 들어온 세균은 TSA 배지로 채취하였다. 표준 시험방법에 따라 20분 간격으로 3회 연속 포집하였다. 포집이 완료되면 페트리 접시 뚜껑을 닫아 파라 필름으로 밀봉하고 기타 오염에 주의하면서 실험실로 신속히 운반하여 배양시켰다. 시료가 채취된 참여 의료기관은 최저 24.5℃, 최고 25.5℃이며 상대습도 28.2%, 최대 값 44.8%를 유지하는 환경이었다.

3) 미생물 오염 평가

미생물 오염을 평가하기 위한 전 과정을 생물안전 작업대(Biosafety cabinet, 1300 Series A2 1378. Thermo Fisher Scientific. USA)에서 진행하였다. 수거한 마스크 시료는 접촉 방식(Liu et al., 2018)으로 오염 균주를 접종하였다. 공기 중 시료 채취에 사용한 TSA 배지와 동일한 배지를 사용하여 마스크 겉면 1/2에 접촉된 미생물을 분리배양시켰다. 이때 마스크 1g에서 접촉된 세균 집락수를 측정하고 의심집락을 취하여 순수배양(pure culture) 시켰다. 까다로운 호흡기 병원성 세균 분리에 사용하는 비선택적 농축 성장배지인 초코릿 한천 배지(chocolate agar)는 35~37℃ 24시간 동안 배양(Incubator: C-IND1. Changshin Science. Korea)하며 접촉된 곰팡이균 확인을 위해 사용한 SDA 배지(Sabouraud Dextrose Aga)는 25~28℃ 3~7일간 배양시켰다. 최종적으로 얻어낸 순수 집락은 그람염색(Gram stain, YD Diagnostics Corp. Korea)과 현미경(Laboratory Microscope BX41, OLYMPUS. USA)검경 등 확인시험을 통해 균종을 확인하였다.

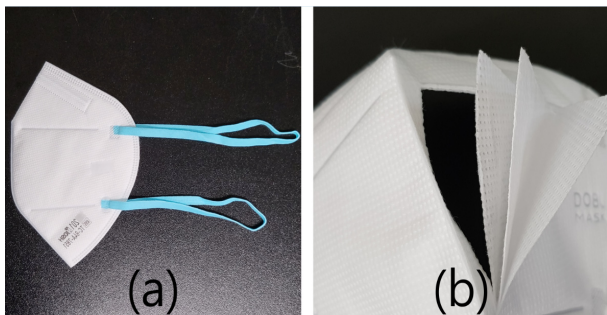


Figure 1. Sampling mask (a) N95 respirator (b) three-layer structure of mask



Figure 2. Airborne microbial measurement in a healthcare setting

4) 통계분석

환경 및 시간별 미생물 오염 평가는 세균집락수 평균(mean) 및 표준오차(standard error, SE)로 표기하고, 분산분석(ANOVA)으로 비교하였다. 자료 분석은 SPSS system ver. 20(IBM spss Inc.USA)을 이용하였으며 유의수준 $\alpha=0.05$ 를 기준으로 통계적 유의성을 평가하였다.

III. 조사결과

1. 참여 대상자 특성

참여자 분포는 여성이 남성보다 많았으며 20대 33.3%(15명), 30대 24.4%(11명) 40대 33.3%(15명) 50대 8.9%(4명) 분포를 보였으며 이들의 업무환경은 외래, 사무, 병동 순으로 높았다. 외래 및 병동환경 참가자는 총 45명 중 30명(66.7%)으로 24명(53.3%)은 임상 간호사였다. 이들은 혈액 및 체액에 노출되는 업무를 하였으며 의료행정사 6명(13.3%)은 그렇지 않았다. 감염관리 간호사 10명과 연구 간호사 5명을 합한 15명(33.3%)은 사무환경에서 업무를 하며 혈액 및 체액을 취급하지 않았다(Table 1).

2. 마스크 및 공기 중 시료에서 확인된 미생물 오염

의료 환경에서 착용한 마스크 및 부유된 미생물 오염을 확인한 결과는 Table 2와 같다. 마스크에서 분리된 것은 공기 중 시료에서 분리된 것과 대부분 유사하였으며 그람양성 알균인 황색포도알균(*Staphylococcus aureus*), 사슬알균(*Streptococcus*)등과 응고효소음성

Table 1. General characteristics

Classification (N=45)		N(%)*
Gender	Male	7(15.6)
	Female	38(84.4)
Age	20~29	15(33.3)
	30~39	11(24.4)
	40~49	15(33.3)
	>50	4(8.9)
	Hospital office	15(33.3)
Working site	Outpatient	20(44.5)
	Ward	10(22.2)
	Nurse	24(53.3)
Occupation	Medical administrator	6(13.3)
	Researching nurse	10(22.2)
	Infection control nurse	5(11.1)
	Yes	24(53.3)
Occupational exposure to blood or body fluids	No	21(46.7)

*Number of subjects(%)

Table 2. Microbial species isolated from masks and airborne

	Bacteria	Fungi
Masks	CNS, GPB, GNB, <i>S. aureus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Lactobacilli</i>	<i>Penicillin spp.</i> <i>Yeast spp.</i> <i>Candida albicans</i>
Airborne	CNS, GPB	<i>Yeast spp.</i> <i>Candida spp.</i>

CNS; Coagulase-negative bacteria, GNB; Gram-negative bacteria, GPB; Gram-positive bacteria

포도알균(coagulase-negative staphylococci, CNS), 그람양성 막대균(Gram positive bacteria, GPB), 효모(*Yeast spp.*), 칸디다 종(*Candida spp.*)이다. 따라서 착용한 마스크를 오염시킨 미생물은 공기 중 부유된 것과 무관하지 않았으나 확인된 곰팡이 중 유해한 칸디다속이 있었다.

하지 않았다(p=.803).

$$C = \frac{CFU}{V_{(25^{\circ}C, 1atm)}} \dots\dots\dots (1)$$

C : airborne microbial concentration in indoor (CFU/m³)

CFU : calibrated colony

V_(25°C, 1atm) : converted collection air volume(m³)

3. 오염된 세균 집락수의 환경 별 비교

공기 중 시료에서 채취한 총 부유세균 농도는 식(1) 같이 평균 집락수를 보정(Macher, 1989)하여 총 부유세균 농도로 산출하였다. 시료 채취 환경 온도는 최저 24.5°C, 최고 25.5°C였으며 상대습도의 최소값 28.2%, 최대값 44.8%이었다. 두 기관에서 각 3회씩 채취한 환경 별 평균 집락수는 사무, 외래, 병동 순으로 높았다(Table 3). 또한 착용한 마스크 세균수도 사무, 외래, 병동 순으로 높아 공기 중 채취한 시료와 유사한 추이를 보였지만 세균 집락수는 Table 4로 유의

Table 3. Airborne bacteria in working sites

	C(CFU/m ³)	CFU*	CFU [†]	V(m ³)
Hospital office	21	7	57	0.335
Outpatient	12	4	54	0.336
Ward	0	0	40	0.335

*Calibrated colony (ES 02701.1d_10.1.2)

†Number of colony forming units counted on 90 mm Petri dish

Table 4. Bacterial colony count on mask

	N [†]	CFU/g		p-value [‡]
		Mean	SE	
Hospital office	45	147.62	25.18	.803
Outpatient	60	145.15	18.61	
Ward	30	125.30	26.97	

[†]: N: Number of samples (participants x 3times)
[‡]: nonparametric test by Kruskal-Wallis
 Mean: Arithmetic mean, SE: Standard error

4. 착용시간 증가에 따른 마스크 세균수

착용 시간이 증가함에 따라 마스크 오염은 증가하였다(Table 5). 특히 2시간 보다 4시간 혹은 6시간 착용한 경우 평균 집락수는 급격하게 증가하였지만 시간 증가에 따라 유의하지 않았다(p=.352).

Table 5. Differences in bacteria contamination by wearing time

	N [†]	CFU/g		p-value [‡]
		Mean	SE	
2 hrs	45	116.04	21.03	.352
4 hrs	60	161.80	22.80	
6 hrs	30	146.84	24.31	

[†]: N: Number of samples(participants x 3 times)
[‡]: Nonparametric test by Kruskal-Wallis
 Mean: Arithmetic mean, SE: Standard error

5. 미생물 오염 평가

의료환경 내 부유 미생물과 착용한 마스크를 오염시킨 것은 표 2 같이 유사하였다. 대부분은 정상재균총(normal flora)이었지만 사무환경에서 채취된 곰팡이 중 점막에서 편리공생하며 기회주의적으로 구내염 등을 일으키는 칸디다 종(*candida spp.*)도 있었다(Figure 3). 한편 공기 중 시료에서 발견되지 않았던 페니실린 곰팡이(*Penicillin spp.*)가 마스크 시료에서 분리되었다.

IV. 고 찰

미생물은 흔히 우리 인식 속에서 유용한 생명체라기 보다 병원체로서 잘 알려져 있다. 학문적으로 미생물은 바이러스, 세균, 곰팡이 등 크게 3가지로 분류할 수 있다. 최근 바이러스 및 세균 등에서 유발되는 호흡기 감염증으로부터 보호하기 위해 마스크를 자주 사용하고

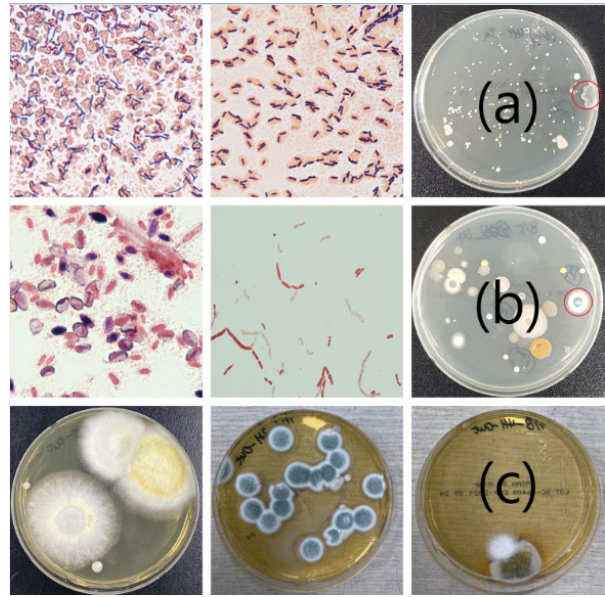


Figure 3. Type of microbial species cultured on medium (a) GPB in all environments (b) *Candida spp.* in hospital office (c) *Candida spp.* and *Penicillin spp.* cultured with SDA

있다. 하지만 호흡기 감염병으로부터 안전한 마스크 착용 시간에 대한 과학적 근거나 박테리아, 바이러스 등 생물학적 유해인자로부터 안전하게 보호받을 수 있는 마스크 사용 가이드라인 등 자료는 미비하다.

국의 연구자를 통해 병원환경에서의 마스크 청결은 수술 부위 감염과 연관이 있다고 하면서 수술 중 말하는 상황은 그렇지 않은 경우보다 마스크 세균수가 더 증가했다고 보고하였다(Homaria et al., 2016; Liu et al., 2018). 이외 다양한 환경에서의 공기 중 미생물 오염을 다룬 국내외 연구를 살펴보면 Zavieh et al.(2021)은 체육관 실내 부유 세균 중 슈도모나스(*Pseudomonas*), 포도상구균, 대장균(*Escherichia coli*) 빈도가 높았으며 온습도가 증가할 경우 세균수도 증가한다고 보고하였다. 또한 박물관 작업장에서 곰팡이 및 진드기 노출이 심하다고 보고한 Wiszniewska et al.(2009)에 의하면 박물관 직원의 알레르기와 관련된 특정 곰팡이 종은 위험인자이므로 추가 연구가 필요하다고 하였다. 이와 같이 환경 중에 존재하는 다양한 미생물이 마스크 사용 시간 증가에 따라 오염도 증가되는지 연구한 Seo et al.(2021) 및 Liu et al.(2018)에서도 마스크 표면 세균수 증가 경향이 있다고 하였다. 특히 4~6시간 이상 착용한 경우 유의한 차이를 보였다고 분석하였다. 이것은 이번 연구 결과와 유사하였으며, 2시간 착용한 마스크보다 4시간 혹

은 6시간 착용한 마스크 미생물 오염이 더 높았다.

장시간 착용한 마스크 표면에 오염된 미생물을 손으로 접촉할 경우 그로 인해 호흡기 내로 들어갈 수 있다는 점을 강조한 Luksamijarulkul et al.(2014) 연구는 환경 내 존재하는 미생물이 착용한 마스크를 오염시킬 수 있으며 취약한 손 위생과 빈번한 접촉 등을 통해 오히려 유해한 인자로 해를 끼칠 수 있다고 하였다. 이 선행연구(Luksamijarulkul et al., 2014; Liu et al., 2018)들은 의료환경에서 사용한 마스크에 대한 미생물 오염을 다루기는 하였지만 우리 연구처럼 환경 중 부유 미생물 농도를 함께 측정하지는 않았다.

공기 중 부유 미생물은 팬더믹 이전에 대기 환경 분야에서 커다란 관심 분야가 아니었다. 하지만 최근 의료시설 및 다중이용시설 등에서 2004년 이후 마련된 실내공기질 관리(MOE, ES 02701.1d, 2021)에 의해 부유세균 기준 등이 적용되고 있다. 참여기관의 부유세균은 800 CFU/m³이하를 충족하고 있지만 적은 수의 세균일지라도 여전히 미생물 오염 가능성이 존재한다(Monalisa et al., 2017; Gund et al., 2020). 특히 습기 노출 시 마스크 여과능력은 20분~30분 후부터 저하되므로 환경 중 바이오 에어로졸에 의한 오염이 용이해지며 착용자 호흡으로 인해 습한 환경이 미생물 확산을 가속시킬 수 있어 5~6시간 무렵에는 체온으로 인해 최고 증식 속도를 보이게 되므로 미생물 수가 증가될 수 있다(Lee et al., 2014). 따라서 환경 중 존재하는 미생물 숫자는 착용자 조건에 따라 유동적으로 증가할 여지가 있으며 대부분 의료기관이 습도 28.2%~44.8%, 온도 24.5°C~25.5°C 범위를 일정하게 제어하기는 하지만 오염된 미생물의 증식 속도는 개인적 차이가 있을 수 있다.

우리 연구에서 측정한 환경 내 부유 세균과 마스크 시료에서 측정된 것은 유사하였으며 미생물 오염도 역시 사무환경, 외래, 병동 순으로 높았다. 이와 같이 사무환경이 외래 및 병동환경보다 높은 오염을 보였던 이유에 대하여 동일한 온, 습도 조건 이외 책상 배치 및 칸막이 등으로 인한 실내 환경의 물리적 변수가 미생물 오염에 영향을 미쳤는지 추가로 연구해야 할 것이다. 또한 환경 내 혼잡도가 미생물 오염에 영향이 있었는지 확인이 필요하다. Kim & Kim(2022)은 항공기 청소원에게 노출되는 공기 중 세균과 곰팡이가 날씨 및 습도 증가와 관련이 있다고 하였지만 의료기관은 이러한 조건을 일정하게 유지하므로 이외 다양한 인자에 대한 추

가 연구가 필요할 수 있다. 일 예로 McLure et al. (1998)은 외과외과가 장시간 마스크 착용하는 것을 피하고 수술 중 말을 적게 해야 한다고 하였는데, 마스크 착용 시간 증가와 말하는 동작으로 인해 구강 내 미생물이 증가하므로 마스크 오염의 주요 인자가 될 수 있다고 보고하였다.

우리 사례는 몇 가지 제한점을 갖고 있다. 의료환경 중 일부 의료기관을 중심으로 했던 한정된 집단을 대상으로 한 소규모 연구라는 점과 온, 습도가 유지되는 환경에서 시험한 것이므로 일반적인 미생물 성장 조건보다는 개인적인 특성이 더 반영되었을 것이라는 한계이다. 또한 의료기관 내 부유 세균 및 곰팡이 수를 정량적으로 비교하지 않았다. 그러므로 이 결과가 병원 환경에 대한 미생물 오염의 일반화 및 정량적 분석이라고 볼 수 없으며 선행연구(Seo et al., 2021) 같이 마스크 착용시간 증가에 대한 미생물 오염 증가 경향을 의미 있게 확인하였다고 사료된다. 또한 참가자가 업무하는 개별 환경의 부유 미생물 측정을 착용 마스크와 일대일 비교하지 않았으므로 오염에 대한 상관성을 정량적으로 분석하지는 않았다.

이번 결과가 실내공기질 유지에 대한 의료기관 등 다중이용시설의 부유세균수 800 CFU/m³ 및 곰팡이 500 CFU/m³ 기준을 벗어나지 않았지만 의료기관이라는 특수한 상황 아래 노출되는 생물학적 유해인자 관리가 소홀할 경우 의료인 건강에 지속적인 장애요인이 될 수 있다는 점에 주의가 필요하다. 특히 실내공기오염 물질인 감염성균, 알레르겐 등 자극성 물질은 의료기관 관리(Jeon & Hwang, 2015)에 더욱 중요할 것이다. 그러므로 곰팡이 노출은 알레르기 원인이 된다는 보고(Wiszniowska et al., 2009)를 고려하여 기준치 이하의 부유세균 및 곰팡이 수를 유지한다고 하더라도 의료 환경 내에서 노출된 곰팡이 등 안전성에 대해 간과하지 말아야 할 것이다. 또한 착용자의 86.7%가 하루 한번 마스크를 새것으로 교체하거나 일일 6시간 이상 착용하는 경우(Seo et al., 2021) 미생물 오염으로 인해 보건 위생적 문제가 될 수 있다는 점을 착용자들이 인식하여야 할 것이다.

따라서 이러한 사례를 바탕으로 몇가지 제한점을 보완하고 다기관 및 다양한 환경에서 추가 연구가 진행된다면 미생물 오염에 대한 마스크 사용 임계시간을 권고할 과학적 자료가 마련될 수 있을 것이다. 특히 의료인에게 유발될 수 있는 장시간 마스크 착용으로 인한 미

생물 오염은 일반환경에서 보다 더 큰 부작용을 초래할 수 있으므로 기초 자료로서의 의미가 있다고 사료된다.

V. 결 론

의료종사자가 사용한 마스크 미생물 오염 사례 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 환경 내 부유 미생물과 착용한 마스크 미생물 오염은 유사한 것으로 확인되었다.
2. 마스크에 오염된 세균은 대부분 정상 상재균총으로 기회주의 감염을 일으킬 수 있는 것이었다.
3. 측정된 곰팡이는 대부분 인체에서 편리공생하는 것이었지만 유해할 수 있는 종도 확인되었다.
4. 착용 환경에 따른 미생물 오염은 사무, 외래, 병동 순으로 높았다.
5. 미생물 오염은 2시간보다 4시간 혹은 6시간에서 오염이 증가되었으나 유의한 차이는 아니었다.

결론적으로, 착용한 마스크에서 배양된 세균 및 곰팡이 좋은 의료환경에서 확인된 것과 유사할 뿐만 아니라 세균 집락수도 사무, 외래 및 병동 순으로 높은 경향을 보였다. 그러므로 환경 중 부유한 미생물은 착용한 마스크를 오염시켰으며 미생물 오염도는 환경에 따라 달랐다. 또한 마스크에 오염된 세균 집락수는 사용 시간에 따라 증가하였으므로 의료 환경에서 사용하는 마스크의 미생물 오염을 간과하지 않아야 할 것으로 사료되며 보건학적 측면에서 안전한 마스크 사용에 대한 인식이 향상되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 2023학년도 신한대학교 교내 학술연구비 지원과제로 선정(No.28)되었으며 이에 감사드립니다. 실험을 도와 준 장호영(박사과정)에게 특별히 감사합니다.

References

Chughtai AA, Stelzer-Braid S, Rawlinson W, Pontivivo G, Wang Q et al. Contamination by respiratory viruses on outer surface of medical masks used by hospital healthcare workers. *BMC Infect Dis* 2019;19(1):491

Determination of total contamination of airborne bacterial in door by the sampling method of impaction. Ministry of Environment[MOE], Republic of Korea. ES 02701. 1d, 2021. <http://www.kw.go.kr>

Fischer RJ, Morris DH, Doremalen NV, Sarchette S, Matson MJ et al. Assessment of N95 respirator decontamination and re-use for SARS-CoV-2. *medRxiv:2020;24:2020.04.11.200620-18* DOI:10.1101/2020.04.22.20062018

Gund M, Isack J, Hannig M, Thieme-Ruffing S, Gärtner B et al. Contamination of surgical mask during aerosol-producing dental treatments. *Clin Oral Investig.* 2021;25(5):3173-3180

Jeon BH, Hwang IY. Concentrations of total culturable microorganisms and Its Identification in Public Facilities. *J Korea Academ Indus Soc.* 2015;16(1): 868-876. <https://doi.org/10.5762 /KAIS.2015.16.1.868>

Kachorn S, Vorakamol P, Thitiporn C, Kasene T, Songklot A et al. Decontamination and reuse of surgical masks and N95 filtering facepiece respirators during the COVID-19 pandemic: A systematic review. 2021; 42:25-30. doi:10.1017/ice.2020.379/ *Infect. Contr. & Epid.* 2020.07

Kim DY & Kim KY. Exposure Assessment of Airborne Bacteria and Fungi in the Aircraft.. SH@W in press. <http://doi.org/10.1016/j.shaw.2022.08.007>

Kim SH. Status of indoor mold contamination. *Air Clean Tech* 2008;21(3):20-31

Lindsley WG, Martin SB, Thewlis RE et al. Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. *J Occup Environ Hyg* 2015;12:509-517

Liu Z, Chang Y, Chu W, Yan M, Mao Y. Surgical masks as source of bacterial contamination during operative procedures. *J Ortop Translat* 2018;14:57-62 doi: 10.1016/j.jot.2018.06.002

Luksamijarulkul P, Aiempradit N, Vatanasomboon P. Microbial contamination on used surgical masks among hospital personnel and microbial air quality in their working wards: A hospital in Bangkok. *Oman Med J* 2014;29(5):346-350 doi:10.5001/OMJ.2014.92

Mackenzie D. Reuse of N95 masks. *Engineering.* 2020; 6(6):593-596 doi:10.1016/j.eng.2020.04.003

Macher JM. Positive-hole correction of multiple-jet impactors for collecting viable microorganisms. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1989;50:561-568

- McLure HA, Talboys CA, Yentis SM, Azadian BS. Surgical face masks and downward dispersal of bacteria. *Anaesthesia* 1998;53(7):624-626 doi:10.1007/s00784-020-03645-2
- Mills D, Harnish DA, Lawrence C, Sandoval-Powers M, Heimbuch BK. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *Am J Infect Control* 2018;46(7):e49-e55
- Monarisa, Aruna CN, Padma K Bhat, Manjunath K, Hemavathy E et al. Microbial contamination of the mouth masks used by postgraduate students in a private dental institution: An In-Vitro Study. *IOSR J Denl and Med Sci.* 2017;16(5):61-67 DOI:10.9790/0853-1605046167
- Rosner E. Adverse effects of prolonged mask use among healthcare professionals during COVID-19. *J Infect Dis Epidemiol* 2020;6(3):130
- Seo HK, Kwon YL, Lee SY, Kang B, Jang H et al. A study on the mask microbial contamination by working environment and wearing time. *JKSOEH.* 2021; 31(4):427-439 <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2021.31.4.427>
- Tcharkhtchia A, Abbasnezhada N, Zarbini Seydanib M, Zirakb N, Farzanehc S et al. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. *Bioact Mater.* 2021;6:106-122
- Gund M, Isack J, Hannig M, Thieme-Ruffing S, Gärtner B et al. Contamination of surgical mask during aerosol-producing dental treatments. *Clin Oral Investig.* 2021;25(5):3173-3180
- Wiszniewska M, Jolanta W-S, Iwona P, Marcin D, Cezary P. Occupational exposure and sensitization to fungi among museum workers. *Occupational Medicine* 2009;59:237-242 doi:10.1093/occmed/kqp04
- Zavieh Fatemeh SZ, Mohammad Javad M, Mehdi V, Malek A, Elham R et al. Assessment of types of bacterial bio-aerosols and concentrations in the indoor air of gyms. *Environ Geochem Health* 2021; 43:2165-2173. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00774-1>

<저자정보>

서혜경(교수)