

## 착용자 환경 및 시간에 대한 마스크 미생물 오염 연구

서혜경\* · 권영일 · 이성연<sup>1</sup> · 강병갑<sup>2</sup> · 명준표<sup>3</sup> · 장호영 · 김희주 · 심수아 · 박성욱

신한대학교 바이오생태보건대학, <sup>1</sup>동남보건대학교, <sup>2</sup>한국한의학연구원, <sup>3</sup>가톨릭대학교 서울성모병원

## A Study on the Mask Microbial Contamination by Working Environment and Wearing Time

Hyekyung Seo\* · Young-il Kwon · Seong Yeoun Lee<sup>1</sup> · Byoung-kab Kang<sup>2</sup> ·  
Jun-Pyo Myong<sup>3</sup> · Hyeon Jang · HuiJu Kim · SuA Shim · SungWook Park

*College of Biomedical Laboratory Science, Shinhan University*

<sup>1</sup>*Dongnam Health University*

<sup>2</sup>*Korea Institute of Oriental Medicine*

<sup>3</sup>*Department of Occupational and Environmental Medicine, Seoul St. Mary's Hospital,  
College of Medicine, The Catholic University of Korea*

### ABSTRACT

**Objectives:** This study aims to investigate differences in microbial contamination according to the duration and environment of mask wearing.

**Methods:** Forty-five participants were recruited from workers in an offices, multi-purpose facilities, and a schools. After wearing of KF94 mask for two, four, and six hours, the microorganisms adsorbed on the outer and inner layers of the mask were inoculated on BAP(Blood Agar Plate), Chocolate agar, and SDA plates. The bacterial count (CFUs: colony-forming units) cultured in each plate was measured and analyzed for changes in filtration efficiency.


**Results:** The microbial contamination of masks worn in classrooms, offices, and multi-purpose facilities showed a significant difference depending on the environment ( $p<0.000$ ). The measured CFUs increased significantly according to the time wearing the mask. The difference between the inner and outer layers of the mask was also significant ( $p<0.05$ ). However, there was no statistical difference in the filtration efficiency of the masks by duration time ( $p=0.515$ ).


**Conclusions:** Masks worn by workers in the offices, multi-purpose facilities, and schools showed an increase of microbial contamination with the amount of time wearing the mask. The results indicate that the masks used in daily life may have adverse health effects if they are worn for a long time or reused over several days without the realizing that the masks can be contaminated with biological hazards. Guidelines on the safe threshold time for mask use should be established through further research.


**Key words:** biological hazards, CFU(colony-forming units), filter efficiency, KF94 mask, microbial contamination


\*Corresponding author: Hyekyung Seo, Tel: 010-3955-5229 E-mail: seohk65@hanmail.net  
College of Biomedical Laboratory Science, Shinhan University, 95 Hoam-ro, Uijeongbu-city, Gyeonggi-do 11644, Republic of Korea


Received: October 9, 2021, Revised: November 16, 2021, Accepted: December 6, 2021


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


 Seong Yeoun Lee <https://orcid.org/0000-0002-0076-4540>


 Jun-Pyo Myong <https://orcid.org/0000-0001-8674-1034>


 HuiJu Kim <https://orcid.org/0000-0002-8675-7738>

 SungWook Park <https://orcid.org/0000-0002-8160-1814>

 Young-il Kwon <https://orcid.org/0000-0002-8658-710X>

 Byoung-kab Kang <https://orcid.org/0000-0002-3016-2428>

 Hyeon Jang <https://orcid.org/0000-0001-7522-6969>

 SuA Shim <https://orcid.org/0000-0003-2199-3374>

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.

## I. 서 론

공호흡기를 통해 전파되는 전염병이 지속적으로 출현하고 있을 뿐만 아니라 사회 전반에서 심각한 영향이 야기되고 있다. 최근 COVID-19(corona virus disease 2019)로 인하여 마스크 착용이 일상화되고 있지만 사용에 대한 구체적 가이드라인은 미흡한 실정이다. 특히 마스크를 재사용거나 장시간 사용하는 사례가 일반적으로 행해지고 있으므로 마스크 표면에 오염된 호흡기 병원균이 손이나 피부를 통해 감염을 일으킬 수 있다는 우려가 대두되고 있다. 의료환경에서 착용한 마스크에 대한 박테리아 및 바이러스 오염도 조사 연구(Luksamijarulkul et al., 2014; Chughtai et al., 2019)에 의하면 마스크 착용 및 연속 사용에 대한 시간 설정이 필요하다고 하였다. 환자 혈액 및 체액이 튀거나 처치 시 생성되는 에어로졸과 호흡, 기침 등으로 전파되는 병원균 접촉을 방지하기 위하여 호흡기 보호구 등 개인보호장비(personal protective equipment)를 사용한다. 하지만 Chughtai et al.(2019)에 의하면 공기 중 호흡기 병원균은 사용된 마스크 표면을 오염시킬 수 있으므로 마스크 사용 시간이 길어지거나 환자와의 접촉이 높을수록 인플루엔자 등 바이러스에 대한 위험을 증가시킬 수 있다고 하였다.

이전 연구(Homaira et al., 2016)에서 인플루엔자 바이러스는 딱딱한 표면에서 24~48시간, 의복에서 8~12시간, 손에서 최대 5분 동안 생존할 수 있으며, 의복 샘플의 약 4%와 환경샘플의 9% 정도는 호흡기세포융합 바이러스(respiratory syncytial virus) RNA로 확인되었다고 하였다. 그러므로 보건당국이 마스크 사용에 대한 명확한 지침을 제공하지 않으면 오염된 마스크를 계속 사용하게 되므로 그로 인한 호흡기 감염을 피할 수 없다고 하였다.

마스크 사용의 주된 목적은 유해물질이 호흡기로 흡입되는 것을 예방하기 위함이고 생물학적 유기체(박테리아, 바이러스, 곰팡이 등)로 인한 질병의 전파를 차단하는 것이다. 외부 물리적 입자에 대하여 중력, 침강, 관성충돌, 차단, 확산, 정전기력 등 여과 메커니즘은 마스크 필터 효율성을 높일 수 있다. 하지만 바이오 에어로졸이 마스크 표면에 상당 시간 부착된 채 착용자의 호흡으로 인해 높은 습도 및 온도가 유지된다면 박테리아 및 바이러스 등 오염 입자는 여과 메커니즘을 방해할 뿐만 아니라 침투 메커니즘을 가속화하고 미생물이 내

부로 빠르게 확산될 가능성이 있다(Tcharkitchia et al., 2021). 공기 중 나노 크기 입자를 포함한 바이오 에어로졸은 많은 연구의 초점이 되고 있으며 건강을 위협하는 하나의 요소로 관심받고 있다. 현재 감염성 미생물에 대한 보호가 매우 중요한 시점이므로 감염 예방을 위해 사용하는 마스크 오염 연구는 주로 의료환경을 중심으로 이루어지고 있다. 연쇄상구균, 포도상구균, 그람 음성균 등이 치과 의사가 착용한 마스크 외부 표면에서 측정되었고 그 외 일부 바이러스가 분리되었으며 다양한 병원균이 존재한다고 하였다(Gund et al., 2021). 이와 같은 연구에서 Chughtai et al.(2019)은 마스크 사용에 대한 착용환경별, 시간별 정확한 입계값을 정의하기 위해 더 많은 연구가 확장 수행되어야 한다고 하였다. 또한 마스크 사용에 대한 포괄적인 정책을 개발하려면 최대 사용 시간 및 접촉 정도에 대한 프로토콜이 안내되어야 하며 마스크 재사용을 경계하고 최대 6시간 미만으로 제한하여야 한다고 하였다.

보건학적 측면에서 각종 병원성 미생물에 노출될 수 있는 경우는 의료환경을 포함한 마스크 사용자 모두에 해당한다. 현재 마스크 사용이 일반화되고 있는 시점이므로 착용 환경에 따른 마스크 오염정도 및 필터 성능 차이를 비교해 볼 필요가 있다. 하지만 의료환경을 제외한 일반환경에서의 마스크 오염도 평가는 찾아보기 어렵다. 또한 장시간 마스크 사용에 대한 부작용을 우려한 연구는 대부분 의료환경에서 이루어진 바 있지만(Rosner, 2020) 그 외 근로환경에서 조사한 자료는 찾아보기 드물다.

이에 본 연구는 의료환경 외 일반환경을 몇 그룹으로 구분하여 각 환경에서의 마스크 착용시간에 따른 마스크 미생물오염 증가와 분진포집효율 변화를 평가하고자 하였다. 본 연구의 목적은 첫째, 착용 환경에 따라 오염이 상이한지 조사하는 것이고 둘째, 마스크 착용 시간이 연장되면 미생물 오염도 증가하는지 알아보고자 하였다. 셋째, 어떠한 미생물이 마스크 내외측면에서 검출되는지 동정하고 마지막으로 마스크 필터효율에 변화가 있었는지 분석하고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구 대상

국내에서 보건용 마스크를 사용한 적 있는 사무실, 다중시설 근로자 및 학교 환경 참여자를 모집하였다. 참

여자 수 산출에는 통계적 검정력을 사용한 G Power 3.1.9.4 프로그램(Dusseldorf, Germany)을 이용하였다. 참여자의 선택비틀림(selection bias)을 피하기 위해 착용 및 근로 지역을 한정하지 않고 무작위 모집하였다. 배포한 모집 문건을 확인하고 자발적 참여에 동의한 45명이 연구에 참여하였는데 서울, 경기, 인천, 충북, 충남 지역 사무실, 다중시설 및 학교 환경에 속한 대상자들 이었다. 5개 회사의 다른 공간 근무자 15명, 다중시설 5 곳의 다른 공간 근무자 15명, 중고등학교 3 개교 14학급 15명으로 총 45명이다.

이 연구는 기관생명윤리위원회 심의(SHIRB-202103-HR-112-02)를 통과하였다.

## 2. 연구 방법

### 1) 설문조사 및 시험 마스크 수집

참가자의 평소 착용 마스크 종류 및 재사용 여부와 사용주기를 설문으로 조사하였다. 시험에 사용한 마스크는 국내에서 유통되는 보건용마스크 1개 제품이다. 착용자의 얼굴크기 및 연령에 대한 구분이 없도록 한가지 모델(one size)로 생산된 마스크를 선정하여 착용 시간에 따라 새 마스크를 교체 착용하도록 하였다. 시험 마스크는 식품의약품안전처(MFDA, 2021) 의약외품 KF94 마스크로 허가받은 제품이며 가로 길이 100 mm, 세로 길이 155 mm인 접이형 모델이었다. 마스크 겹감 및 안감은 폴리프로필렌스펀본드 부직포, 필터는 멜트브라운 부직포 재질로 3겹(layer) 구조이다(Figure 1).

시험 마스크는 2시간, 4시간, 6시간 이하로 각각 착용하였으며 선행자료(Fisher et al., 2020; Mackenzie,

2020)를 참고로 시험시간을 설정하였다. 참가자 한 사람에게 각각 2, 4, 6시간 마스크를 착용하도록 하였으며, 시간별로 착용한 3가지 마스크는 별도오염이 일어나지 않도록 멸균된 봉투에 각각 담아 연구자가 직접 수거한 후 즉시 배지에 접종하였다. 사무실, 다중시설 및 학교 환경에서 착용한 마스크는 동일한 절차로 시험되었다.

### 2) 미생물 배양 및 오염 평가

시험절차 중 오염을 피하기 위해 생물안전작업대(Biosafety Cabinet: 1300 Series A2 1378, Thermo Fisher Scientific, USA)에서 대부분 실험을 실시하였다. 마스크 표면에 오염된 미생물을 배지에 옮겨 배양하기 위하여 몇가지 예비실험을 진행하였다. 미생물 실험에서 사용하는 접종(inoculation)방법 중 하나인 멸균 면봉이나 백금으로 문지르기한 것은 배양된 미생물 수가 적거나 거의 발견되지 않았다. 그 외 세균수 측정 장비(FCM, SYSMEX, Japan)를 이용한 방법은 유체에 마스크 필터를 전처리하는 과정에서 마스크 내피, 외피 각각의 미생물 일부가 소실될 수 있으나 Gund et al. (2021) 선행방법과 같이 배지에 마스크를 직접 접촉시킨 경우 접촉 면에서 미생물이 배양된 것을 확인할 수 있었다. 마스크 면체를 배지 전체에 빈틈없이 접촉하였지만 어느 부분에서는 미생물이 자라지 않았는데 이는 해당 마스크 부분에서 오염된 미생물이 없는 것으로써, 각각 오염도에 따라 다른 양상이 관찰되었다. 그러므로 본 연구에서는 접촉식 배양법을 사용하였다. 일정 조건에서 착용한 시험 마스크 겉과 내측면을 혈액한천배지



Figure 1. Test mask and three-layer structure



(blood agar plate), 초코릿배지(choco late agar), 사부로포도당한천배지(sabouraud dextro se aga: SDA)에 접촉식 방법으로 미생물을 배양하고 미생물배양기(Incubator:CIND1.Changshin Science. Korea)에서 35~37 °C 24시간이상 혹은 25~28 °C 3~7일간 배양시켰다. 혈액한천배지는 병원균이 성장인자로 요구하는 혈액을 첨가한 감별배지로서 병원성 사슬알균(*Sterptococcus spp.*) 등을 확인할 수 있으며 대부분의 그람양성, 음성균이 자라지만 특히 균집락의 용혈성을 확인할 수 있다. 초콜릿배지는 헤모필루스 인플루엔자(*Haemophilus influenzae*), 니세리아(*Neisseria spp.*) 등 5~10% CO<sub>2</sub>를 요구하는 호흡기 세균 배양용으로 사용하였다. 사부로포도당한천배지는 진균유무를 확인하기 위해 사용하였다. 전문 미생물검사 자격증 소지 연구자가 배지 증식을 확인하여 세균집락 수 측정 및 염색, 생화학 시험(catalase test, coagulase test, oxidase test 등)을 통해 미생물 균주를 확인하고 최종적인 미생물 오염을 평가하였다.

### 3) 마스크 필터성능 변화 평가

시험 마스크의 착용시간 및 착용환경에 따른 필터성능 변화는 분진포집효율 측정기(Filtration Efficiency, Filter Tester 8130A. TSI, USA)를 이용하였다. 보건용 마스크 인증시험으로 확인된 분진포집효율(filtration efficiency)(식약처, 2021)을 측정하여 시간경과에 따른 마스크 필터 성능에 차이가 있었는지 확인하였다. NaCl 시험입자를 사용하여 각각의 시험마스크에 대한 착용 전, 후 분진포집효율을 측정하였다.

### 4) 통계분석

이 연구에서 시험한 환경 및 시간 별 미생물 오염도 평가는 세균집락수(colony-forming unit) 평균(mean) 및 표준편차(SD)를 사용하였으며, 각 환경 및 시간 경과에 대한 차이를 통계적으로 분석하였다. 배양된 집락수 평균 차이 비교는 마스크 겉 및 내측면 경우 t-test를 이용하였고, 환경 및 시간별 차이는 분산분석(ANOVA)으로 평가하였다. 그 외 설문조사에 대한 결과는 기술통계를 이용하였다. 모든 분석 결과는 유의수준  $\alpha=0.05$  기준으로 통계적 유의성을 평가하였으며, 자료 분석은 SPSS system ver. 20(IBM SPSS Inc.USA)을 이용하였다.

## III. 결 과

### 1. 연구 대상자 특성

참여자는 남성 42.2%(19명), 여성 57.8%(26명)였다. 사무실 근로자, 다중시설 근로자 그리고 학교 환경에서 마스크를 착용한 참여자 각 15명, 총 45명이 설문조사와 시험 마스크 착용에 응하였다. 연구참여자들의 평상시 마스크 참여 습관을 조사한 결과 71.1%(32명)가 평상시 보건용 마스크를 착용한다고 응답하였는데, 그 외 28.9%(13명)는 주로 덴탈마스크 혹은 KF-AD 마스크를 착용한다고 하였다(Table 1). 설문조사 결과 참여자들의 마스크 교체 주기는 86.7%(39명)가 하루 한번 새것으로 교체한다고 하였으며, 11.1%(5명)는 2~3일에 한번씩 새것으로 교체하여 사용한다고 하였다. 이들이 평상시 한 개의 마스크로 어느 정도 시간을 사용하는지 조사한 결과는 하루 8시간 이상~10시간 미만 사용한다는 응답자가 28.9%(13명)로 가장 많았다. 10시간 이상 사용한다는 응답자는 26.7%(12명)로 그 뒤를 이었으며, 하루 6시간 미만 사용한다는 응답자는 15.5%(7명)에 불과하였다. 그러므로 대부분 참여자(84.5%, 38명)는 6시간 이상 또는 10시간 이상 마스크를 착용하고 업무하는 것으로 조사되었다.

### 2. 미생물 배양 및 오염분석

마스크 착용 환경 및 시간경과에 따른 미생물 오염도를 평가하기 위하여 시험배지는 3종을 사용하였다. 5% 혈액이 첨가되어 있어 호기성 세균에서 무아포성 혐기성 세균까지 다양하게 분리 배양되는 혈액한천배지를 사용하였는데 이 배지에서 잘 자라지 못하는 세균을 배양하기 위해 혈액을 끓여서 갈색으로 만든 초콜릿배지를 함께 사용하였다. 두 배지에서 배양된 집락수는 총 세균수로써 Table 2와 같다. 사무실, 다중시설 및 학교 환경으로 구분한 3가지 그룹간 세균수를 마스크 겉, 내측 면으로 구분하여 비교한 결과 마스크 내측면에서 3가지 환경별 차이가 없었으며( $p=0.17$ ), 마스크 외측면에서 배양된 세균수도 차이가 없었다( $p=0.54$ ). 하지만 Figure 2 같이 내측 및 외측면을 비교한 오염도 평균은 사무실 환경에서는 차이가 없었으나( $p=0.11$ ) 다중 및 학교 환경에서는 차이가 있었다( $p<0.001$ ). 마스크 내부 오염도는 다중시설, 사무실, 학교환경 순으로 높았으나 외부 오염도는 사무실, 다중시설, 학교 환경 순이었다(Table 2).

Table 1. Result of survey

Classification (N=45)		N(%)*
Gender	Male	19(42.2)
	Female	26(57.8)
Age	>20	15(33.3)
	20-29	21(46.7)
	30-39	2(4.4)
	40-49	4(8.9)
	50<	3(6.7)
Environment	Office worker	15(33.3)
	Multiple-use facilities worker	15(33.3)
	School/student	15(33.3)
Usage of KF mask	Yes	32(71.1)
	No	13(28.9)
Type of wearing mask normally	KF-AD mask	4(30.8)
	Dental & surgical mask	8(61.5)
	Fashion or sports mask	0(0.0)
	Washable fabric mask	1(7.7)
	Other	0(0.0)
Interval of exchanging mask	Once per day	39(86.7)
	1 time/2~3 days	5(11.1)
	Aperiodically	1(2.2)
Wear time per day	<4	1(2.2)
	≥4~<6	6(13.3)
	≥6~<8	13(28.9)
	≥8~<10	13(28.9)
	≥10	12(26.7)

\*: Number of response (%)

Table 2. Bacterial status by environment (N=540)

	CFU/plate*			p <sup>†</sup>
	Office	Multiple	School	
IN	109.8(123.7)	<b>137.1(144.1)</b>	81.9(129.7)	0.17
OUT	<b>95.0(135.3)</b>	85.4(117.7)	37.9(84.2)	0.54
Difference(out-in) Mean(95%CI)	14.76(-3.4-32.94) <sup>b</sup>	51.63(28.59-74.66) <sup>a</sup>	44.00(21.31-66.68) <sup>ab</sup>	0.04 <sup>‡</sup>

\*: colony forming unit/plate in arithmetic mean(SD)

†: p-value was calculated by ANOVA

‡: Groups(enviroment) with the same letter are not significantly different at alpha value (0.05) by Duncan post hoc  
N= 2 media x 2 surface of mask x 15 participants x 3 groups x 3 type of time

Table 3은 마스크 착용시간 증가에 따른 세균수 증가가 있었는지 분석한 결과이다. 사무 환경 내측 및 학교환경 외측을 제외한 모든 환경에서 배양된 세균수는

시간경과에 따라 증가하였는데, 특히 다중시설에서 착용한 마스크 내측 세균수는 시간 경과에 따라 크게 증가하였다(p=0.02). 사무실 환경에서 착용한 마스크

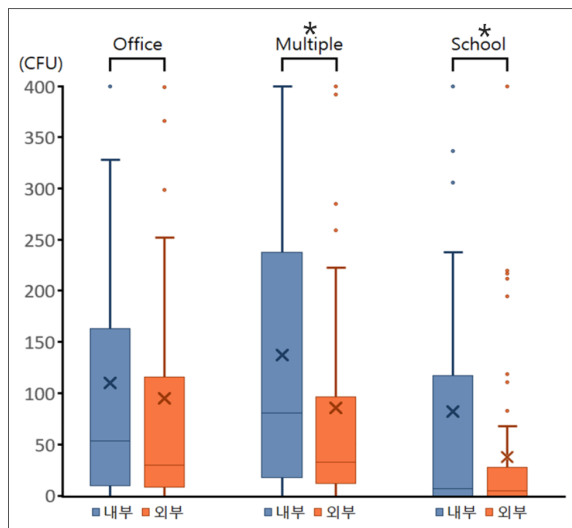


Figure 2. CFU comparison for inner and outer surface of mask(\*p<0.05)

경우 외측면 세균수는 시간경과에 따라 증가하였지만 내측면에서는 4시간 이후 착용한 마스크에서 세균수가 다소 낮아진 경향을 보였다(p=0.45). 또한 학교 환경에서는 내측면 세균수가 시간에 따라 증가하였지만 외측면에서 4시간 이후 착용한 마스크 세균수는 낮아졌다(p>0.01).

그러므로 환경별로 구분한 마스크 내측 및 외측면 세균수는 시간 증가에 따라 대부분 증가한 것으로 보였지만, 사후검증 결과 다중시설 내측면을 제외한 나머지 환경에서의 시간 경과에 따른 세균수는 차이가 없었다.

Figure 3 같이 각 환경에서 착용한 마스크의 시간 경과에 따른 세균수 증가를 분석한 결과에서 다중시설 경우 시간 경과에 따라 의미있는 세균수 증가(p=0.02)를 보였다. 착용 시간별 세균수 평균(표준편차)은 2시간 이내 75.0(113.9) CFU/plate, 4시간 이내 92.9(131.1) CFU/

Table 3. Bacterial contamination after mask wearing (N=540)

		CFU/plate*			p <sup>†</sup>
		≤ 2hr	≤ 4hr	≤ 6hr	
Office	In	99.3(125.8)	125.4(142.5)	104.7(102.2)	0.45
	Out	84.0(126.2)	93.9(134.5)	107.2(147.9)	0.53
Multiple	In <sup>‡</sup>	105.8(126.1) <sup>b</sup>	136.1(152.1) <sup>ab</sup>	169.2(150.5) <sup>a</sup>	0.02
	Out	51.8(59.2)	86.2(132.0)	118.3(138.9)	0.09
School	In	71.4(132.5)	72.4(115.0)	102.1(142.2)	0.39
	Out	37.6(87.5)	43.3(88.3)	32.9(79.1)	0.65

\*: colony forming unit/plate in arithmetic mean(SD)

†: p-value was calculated by ANOVA(Duncan post hoc)

‡: Groups(times) with the same letter are not significantly different at alpha value (0.05)

N= 2 media x 2 surface of mask x 15 participants x 3 groups x 3 type of time

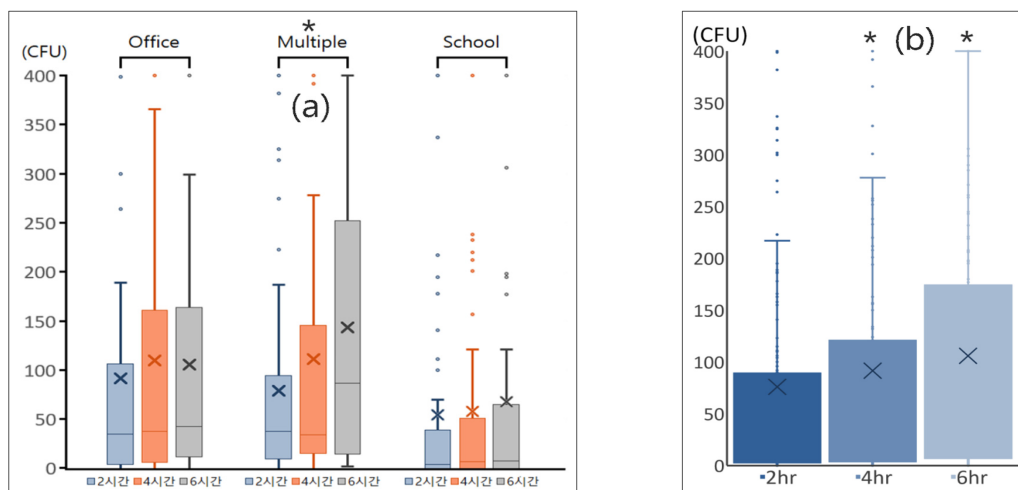


Figure 3. CFU by wearing time

(a: p\*-value was calculated by ANOVA, b: p\*-value was calculated by Wilcoxon signed rank test)

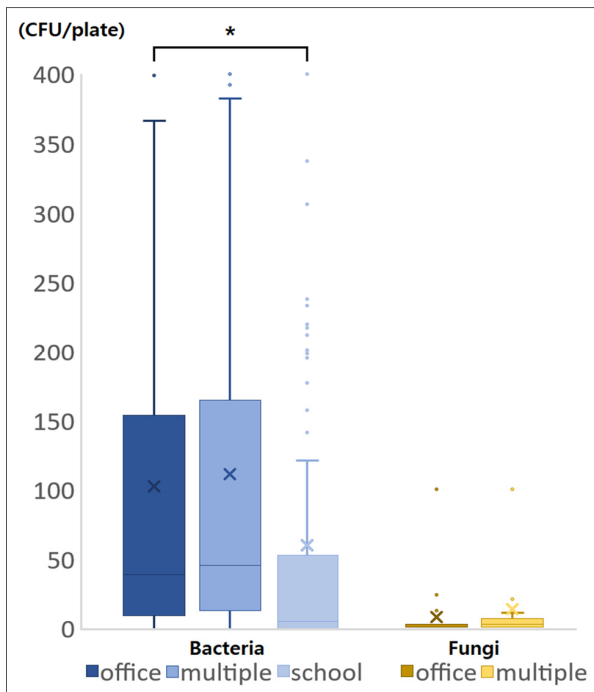


Figure 4. Comparison of microbial contamination

plate였으며 6시간 이내에서 105.7(133.9) CFU/plate로 시간경과에 따라 세균수는 증가하였다( $p=0.07$ ). 또한 2시간 이내로 착용한 마스크는 환경 별 세균수에 차이가 없었지만( $p=0.19$ ) 4시간( $p=0.03$ ) 및 6시간( $p=0.00$ )에서는 차이가 있었다(Figure 3).

각 환경에서 착용한 마스크 미생물 오염도 확인을 위해 사용한 혈액한천배지 및 초콜릿배지에서 배양된 세균수(Figure 4)는 사무실 환경에서 102.4(129.5) CFU/plate, 다중시설 환경에서 112.2(133.8) CFU/plate 그리고 학교환경에서 59.9(111.3) CFU/plate로 배양된 세균수는 유의한 차이가 있었다( $p<0.00$ ). 하지만 사부로포도

당 한천배지에서 배양된 진균은 사무실환경 8.1(19.6) CFU/plate 보다 다중시설 15.0(32.3) CFU/plate로 더 많았지만 그 차이는 유의하지 않았다( $p=0.30$ ). 학교환경에서는 진균류 오염이 발견되지 않았으며 이들 진균이 배양된 환경은 사무실 8 곳, 다중시설 9곳 이었다(Figure 4).

이와 같이 배양된 3종 배지로부터 분류된 미생물 종은 Table 4와 같다. 사무 환경에서 착용한 마스크는 대부분 정상상재균총(normal flora)이었지만 이들 세균은 기회 감염균으로 병원성을 가지고 있다. 또한 공기중 부생성으로 존재하는 진균도 측정되었다. 다중시설 환경에서는 사무 환경에서 배양된 정상상재균총 이외 추가로 대장균 등 배양되었고, 기회감염 병원성 진균인 칸디다균이 배양되었다. 학교환경에서는 폐렴균, 고초균 등이 추가로 배양되었지만 곰팡이균은 관찰되지 않았다. Figure 5는 참여자가 착용한 마스크에서 배양된 세균 및 진균에 대한 염색상 그리고 배지 집락상이다. 포도상구균(*S.aureus*), 폐렴막대균(*K.pneumoniae*), 코리네박테리움(*Coreynebacterium*)등 기회주의 병원성 미생물과 칸디다균계(*Candida albicans*), 페니실리움(*Penicillium*) 등 진균류이다.

### 3. 착용 마스크에 대한 분진포집효율 변화

Table 5와 같이 모든 시험 마스크는 인증 규격 이상 분진포집효율을 그대로 유지하고 있었다. 사용전 시험 마스크의 분진포집 효율은 95.0% 이었으나 사용 후 오히려 약간 높아진 것처럼 보였다. 하지만 착용시간 경과에 따라 차이는 없었으며( $p=0.80$ ) 눈막힘 현상으로 인해 약간 높아진 것으로 사료된다. 그러므로 착용시간 경과에 대한 마스크 필터 성능변화는 없었다(Table 5).

Table 4. Cultured microbial strains by environment

	Microbacteria	Fungus
Office	<i>Staphylococcus spp.</i> , <i>S. aureus</i> , CNS, $\alpha$ -hemolytic streptococcus, <i>Bacillus spp.</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Neisseria</i> , <i>Moraxella</i> (102.4 CFU/plate)*	<i>Penicillium spp.</i> , <i>Yeast spp.</i> Fungi (8.1 CFU/plate)*
Multiple	<i>Staphylococcus spp.</i> , <i>S. aureus</i> , CNS, <i>E. Coli</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Lactobacillus</i> (112.2 CFU/plate)*	<i>Penicillium spp.</i> , <i>Yeast spp.</i> , <i>Candida albicans</i> (15.0 CFU/plate)*
School	GNB, GPC, <i>Bacillus spp.</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>S. pneumoniae</i> (59.9 CFU/plate)*	No growth (0 CFU/plate)*

\*Total CFU of microbial spp.



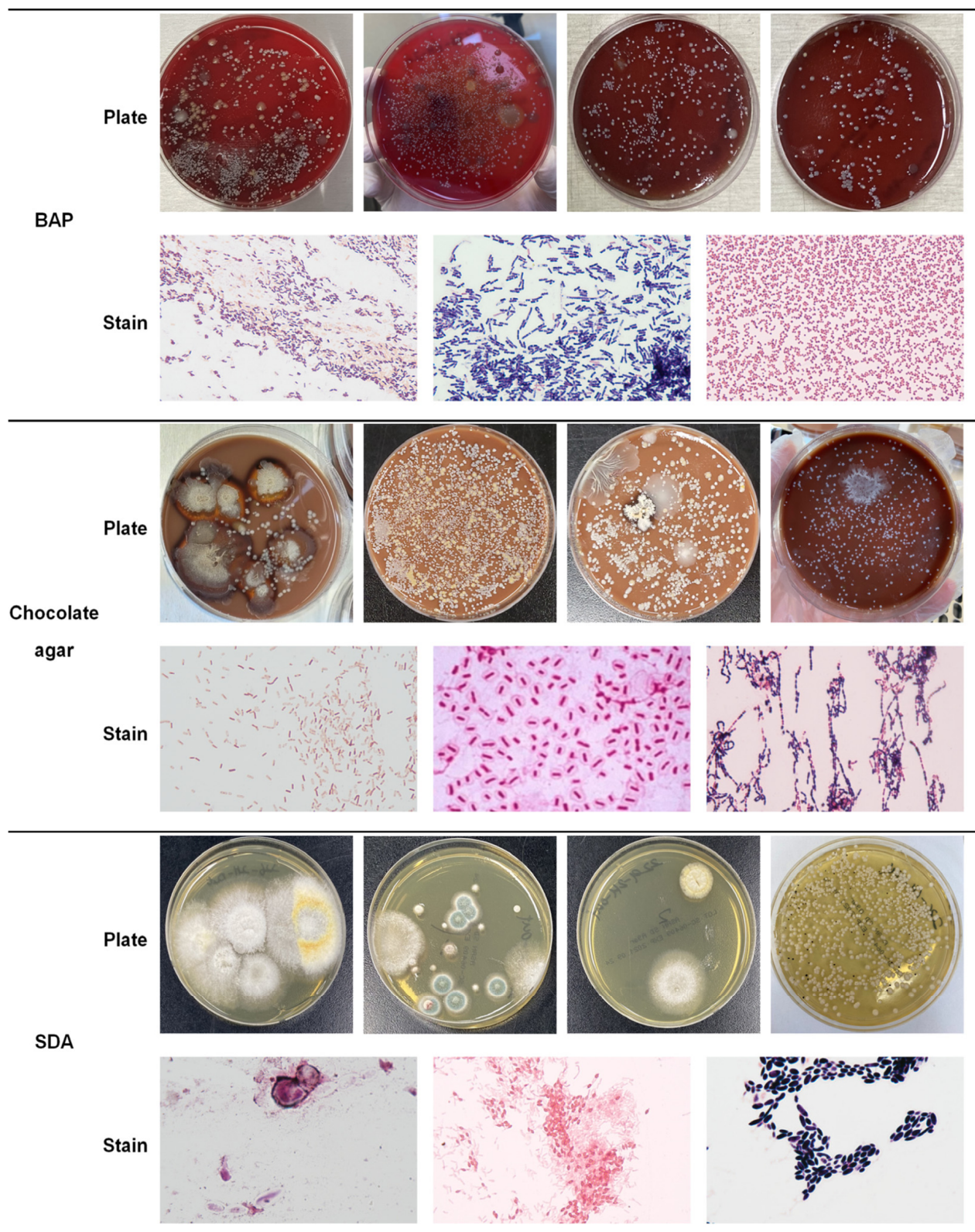


Figure 5. Microbial colony cultured with BAP, chocolate agar and SDA plate



**Table 5.** Filtration efficiency by duration time (N=135)

		Filter efficiency(%)	
		Mean(SD) <sup>†</sup>	p-value
≤ 2hr	Office	95.29(0.26)	95.36(0.25)
	Multiple	95.32(0.32)	
	School	95.48(0.07)	
≤ 4hr	Office	95.29(0.28)	95.35(0.25)
	Multiple	95.32(0.30)	
	School	95.31(0.08)	
≤ 6hr	Office	95.31(0.28)	95.35(0.23)
	Multiple	95.45(0.27)	
	School	95.44(0.08)	

<sup>†</sup>: Mean of penetration by wearing time  
 p-value was calculated ANOVA(Duncan post hoc)  
 N= 15 participants x 3 groups x 3 type of time

#### IV. 고 찰

COVID-19 유행 초기에 마스크를 소독하여 재사용할 수 있는지 관심(Fischer et al., 2020; Hamzavi, 2020; Mackenzie, 2020; Ozog et al., 2020)이 있었지만 일각에서는 마스크 표면에 붙어있는 살아있는 박테리아 오염(bioburden)연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 이전 연구(Liu et al., 2019)는 마스크의 미생물 청결도가 수술부위 감염과 연관이 있다는 가설로 수행되었는데, 특히 마스크를 쓰고 말한 상황에서 측정된 마스크 세균수(CFU)는 말하지 않은 것에 비해 유의하게 높다고 보고하였다. 우리 연구는 박테리아, 바이러스 등 생물학적 유해인자로부터 안전하게 보호받을 수 있는 마스크 착용 가이드라인 기초자료를 마련하기 위해 수행되었다. 현재 진행 중인 팬데믹 이전부터 병원환경에서의 마스크 오염은 연구 주제로 종종 다루어지고 있었다. 하지만 일반환경에서는 필수품처럼 사용되고 있는 마스크에 대한 미생물 오염 인식이 희박할 뿐만 아니라 마스크를 재사용하기도 하므로 위험하다고 할 수 있다. 그러므로 이 연구에서는 착용환경에 따른 미생물 오염 및 시간 경과에 대한 세균수를 분석하고 오염으로부터 안전한 사용을 위해 마스크 착용 임계시간을 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

본 연구 설문조사에 의하면 86.7%(39명)가 하루 한번 마스크를 새것으로 교체한다고 하였지만 일일 착용 시간은 6시간 이상이라고 84.5%(38명)가 응답하였다.

특히 8시간 이상 혹은 10시간 이상 착용한다는 참여자도 55.6%(25명)나 되었다. 이 결과에 의하면 하루 한번 교체한다고 하더라도 8시간 이상 혹은 10시간 이상 착용한다는 응답자가 대부분이므로 착용하고 업무를 수행하는 동안 발생하는 박테리아 오염은 간과하고 지나갈 문제가 아닌 것으로 사료된다. Liu et al.(2019, 2018) 연구에 의하면 마스크 착용 시간이 연장되면 마스크 표면에 CFU가 증가 추세를 보였으며 특히 4~6시간 이상 착용한 경우 유의한 차이가 있었다고 하였다. 의료환경에 대한 선행 연구와 다르지 않게 본 연구에서도 같은 결과를 보였는데 2시간 이내 착용한 마스크는 환경별 차이가 없었지만 4시간 혹은 6시간 이내 착용한 마스크 세균수는 차이를 보였다. 이와 같이 마스크 착용 시간 경과에 따라 세균수는 증가하여 선행 연구 결과와 다르지 않았다. 의료환경 뿐만 아니라 일반환경 어디든지 미생물이 존재하지만 장시간 마스크 착용으로 인하여 공기 중 부유하던 미생물이 마스크 표면에 부착되어 있다가 증식될 경우 손 등의 접촉(Luksamijarulkul et al., 2014) 및 호흡기를 통해 체내로 들어갈 수 있다. Philips et al.(1992)연구에서 마스크를 착용하지 않은 입 근처 30cm 지점에 놓아 두었던 혈액천배지 및 5분 또는 15분 착용한 마스크 세균을 배양한 결과는 정상상재균총(*Staphylococci*, CNS,  $\alpha$ -hemolytic *Streptococci*, *Moraxella* 등)이 관찰되었다. 특히 마스크를 착용하지 않은 상태의 세균 집락수는 마스크를 착용한 것에 비해 높았으며 15분 착용한 마스크는 5분

착용한 것보다 유의하게 높은 세균 오염도를 보였다. 이는 일상중에 다양한 미생물이 존재하므로 현장에서 사용한 마스크는 각종 미생물 오염이 심하다는 사실을 강조하고 있다(Philips et al., 1992). 이렇게 현장에서 사용한 마스크의 세균 오염으로 인한 재감염 문제를 줄이기 위해 착용 시간을 연구한 결과에 대한 의견은 분분하다. 2시간 이상 착용한 마스크에서 세균오염이 급격히 증가한다(Liu et al., 2018)는 결과도 있었으며 습기 노출시 마스크 여과능력이 20분, 30분 후부터 저하되므로 바이오 에어로졸에 의해 오염이 쉽게 될 수 있다(Monalisa et al., 2017; Gund et al., 2020)는 등 다양한 견해가 있다.

마스크 외측 및 내측면에 따른 세균수를 살펴보면 Pipat et al.(2014)은 마스크 외측 세균 수(166 CFU/ml/piece)에 비해 내측에서 더 적은 세균수(47 CFU/ml/piece)가 측정되었다고 하였다. 병원 환경에서 착용한 마스크 내외측에서 분리된 주요 세균은 포도상구균(*S.aureus*)이며 페니실리움(*Penicillium*) 및 아스퍼질러스(*Aspergillus*) 같은 진균도 있었다. 우리 연구에서 같은 종류의 세균 및 진균이 분리되었지만 세균 수 측정에서는 그들과 상반된 결과를 보여 마스크 외측(72.84 CFU/plate)보다 내측면(109.64 CFU/plate)에서 더 많은 세균수가 측정되었다. 한편 Liu et al. (2018)은 마스크 외측보다 내측면에서 유의하게 많은 세균수가 측정되었다고 하여 본 연구 결과와 같았다. 마스크를 착용한 상태에서 말하는 것이 바이오버튼을 증가시키는가 관찰한 결과(Liu et al., 2019)에 의하면 말하지 않는 상황에 비해 말하는 동안의 세균 배출이 유의하게 증가한다고 하였다. 이는 호흡기 내 정상상재균이 말하는 동안 마스크 내측면을 오염시키기 때문이며 더 많은 시간 착용한 마스크에서는 그 증가가 보이므로 외과 의사 장시간 마스크 착용하는 것을 피하고 수술 중 가능한 말을 적게 해야 한다고 하였다. 또한 이것은 수술 부위 감염(surgical site infection)과 관계가 있다고 하며 지양을 권고하였다. McLure et al.(1998)연구에서도 말하는 동안 배출되는 응고효소음성포도상구균(coagulase negative Staphylococci), 용혈성 포도상구균( $\alpha$ -hemolytic Streptococci)등으로 인하여 면적이 약한 부위에서 감염이 유발될 수 있으므로 마스크 착용이 우선되어야 한다고 하였다.

이번 연구에서 측정된 세균 및 진균은 선행 연구들과 상이하지 않았으나 대부분 수술용 마스크 또는 N95 마

스크를 시험에 사용한 점은 우리와 달랐다. 연구대상자 및 연구환경도 우리와 달랐는데 이전의 연구들은 의료인 및 의료기관에서 착용한 마스크 표면의 세균수를 측정하거나 시간 증가에 따른 차이를 비교 한 것이었다. 그러나 우리는 보건용 마스크를 착용한 일반 근로자 환경에서의 미생물 오염을 조사한 연구로서 또 다른 의미가 있었다. 최근 세균보다 크기가 작은 바이러스에 대한 마스크 표면 존재 여부를 확인한 연구도 있는데, 이러한 연구는 소규모 임상연구로서 예비실험의 정도였다. Chughtai et al.(2019)은 공기 중 떠다니는 호흡기 병원균이 착용한 마스크 표면에 앉거나 미생물 오염을 일으키므로 마스크를 손으로 만지는 접촉을 통해 혹은 마스크를 장시간 재사용하는 경우 감염이 우려된다고 하였다. 이 연구에서는 호흡기융합바이러스, 인플루엔자바이러스, 아데노바이러스 등이 마스크 표면에 오염된 것을 확인하였는데 6시간 이상 착용한 마스크에서 오염정도가 상당히 높았다고 보고하였다. 그러므로 병원환경에서 마스크 사용시간을 6시간 미만으로 제한하여야 하며 재사용 금지 및 최대 연속 사용 시간을 프로토콜로 정해야 한다고 하였다. 우리 연구에서 2, 4, 6시간 경과에 따라 마스크 오염이 증가하였지만 분진포집효율에 차이가 없었던 6시간 미만을 마스크 착용 임계치로 권고하기에는 충분한 근거가 부족하였다. 설문조사에서 84.5%가 6시간 보다 긴시간 착용한다는 점을 감안하여 6, 8시간 이상 착용시 관찰되는 오염도 및 분진포집효에 대한 후속 연구가 추후 필요하다고 할 수 있다. 왜냐하면 일반환경에서 착용한 마스크 내, 외측면 세균은 병원성 세균을 포함하고 있을 뿐만 아니라 정상상재균이라 하더라도 기회감염균으로 작용하므로 보건학적으로 무해하다고 볼 수 없기 때문에 이 부분을 간과한다면 문제가 될 수 있다. 다만 환경 오염을 고려한 관점에서 마스크 폐기 문제도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

Steinbrook(2020)은 코로나 바이러스 감염증 대유행으로 사회 전반에 걸쳐 사용되는 여러 마스크에 대한 여과 효율성을 연구하였는데 SARS-CoV-2보다 약간 작은 염화나트륨 입자를 시험 에어로졸로 이용하였다. N95 등급 마스크는 약 98%에 달하는 여과효율을 보였으며 수술용 마스크는 약 71.5% 정도, 천 마스크는 약 50% 정도 여과효율을 보여 마스크마다 가변적이라는 것을 확인하였다. 세균 및 바이러스와 같은 생물학적 유해인자는 마스크 필터 성능과 외부 요인에 따라 침투 메커니즘과 확산속도가 달라진다. 마스크를 착용하는 동

안 마스크 내부는 호흡으로 인해 습한 환경이 조성되며 이는 미생물 확산을 가속화 한다. 대부분의 미생물은 습한 인체 체온 정도의 환경에서 5~6시간 무렵 최고 증식 속도(Lee et al., 2014)를 보이기 때문에 마스크 포집효율은 바이오 에어로졸 침투율과 관련되므로 천 마스크보다는 필터효율이 높은 마스크 재질이 바이오 에어로졸에 더 효과적이라고 하였다(Tcharkhtchi et al., 2021). 천 마스크와 N95 마스크 세균여과효율(bacteria filtration efficiency)을 비교한 자료(Gnana muttupulle et al., 2020)에 의하면 세탁한 천 마스크라 할지라도 겹층으로 제작되어 있거나 주름이 많이 들어간 것은 세균여과효율에서 큰 차이가 없었지만, N95 마스크와는 여전히 달랐음을 알 수 있었다. 선행연구에서 논의한 바이오 에어로졸 침투와 관련하여 본 연구에서는 시험 마스크의 착용시간 경과에 따라 필터 성능이 달라지는지 조사하였다. 그 결과 보건용 마스크 인증시 요구하는 분진포집효율은 착용 시간 경과와 상관없이 낮아지지 않았음을 알 수 있었다. 또한 마스크 외측면에서 발견된 진균류가 내부에서 발견되지 않아 마스크 외부 것이 안으로 침투되어 들어가지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 Pipat et al.(2014) 연구에서는 마스크 외측면과 내측면의 미생물 오염은 양의 상관관계를 보였다고 하였고 동정된 세균 및 진균이 동일하다고 하였는데 이들 연구에서 사용한 시험 마스크는 필터 여과등급이 낮은 수술용 마스크였으므로 우리 결과와는 다를 수 있다.

우리 연구는 몇가지 제한점이 있었다. 선행 연구들에서는 의료환경이라는 한정된 환경 집단을 대상으로 하였지만 본 연구에서는 5개 회사의 서로 다른 공간 근무자 15명, 5곳 다중시설의 서로 다른 공간 근무자 및 3개 학교 14학급 환경 등 보다 다양한 환경에서의 시험이었다는 점은 달랐다. 그러나 이 결과를 일반화시켜 세균 수에 대한 정량적 비교를 할 수 없지만 그들에게서 측정된 미생물 오염 균주와 다르지 않았으며, 일반 환경에서의 시간별 경향이 반영된 결과이므로 의미를 둘 수 있다. 다중시설 근로자 경우 모든 참여자가 고객을 응대하느라 말을 많이 하여 비말로 배출된 구강 및 호흡기 내 세균이 마스크 내측면에서 높게 배양되었다고 사료되었다. 하지만 사무실 근로자의 마스크 외측면 세균수는 다중시설 근로자 외측면 세균수보다 조금 높게 측정되어 근무환경 별 환기 시설이나 유속 등이 다르므로 나타난 영향일 수 있다. 이와 같은 점을 감안하여 근무환경 내 공기중 부유세균을 대조군으로 측정하거나 환

기시설 등 물리적 변수에 대한 측정을 수반한 연구가 추가로 뒷받침되어야 할 것이다.

생물학적 유해인자에 지속적으로 노출될 경우 단기 분진포집효율 변화만을 이용하여 마스크 착용 및 사용 시간을 권장하기 보다는 위생 및 보건학적 안전을 근간으로 한 마스크 사용에 대한 임계시간 가이드가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

착용 환경 및 시간 경과에 따른 마스크 미생물 오염 및 분진포집효율 변화를 측정한 이 연구 결과는 다음과 같다.

1. 착용 환경에 따른 마스크 세균 오염은 유의한 차이가 있었으나, 진균류는 그렇지 않았다. 학교환경에서 착용한 마스크에서는 사무실, 다중시설 환경에 비하여 낮은 세균수가 측정되었다.
2. 착용 시간 경과에 따라 세균수는 증가하였는데 특히 4시간 이후 착용한 경우 유의한 차이를 보였다.
3. 2시간 이내 사용한 마스크는 환경별 오염차이를 보이지 않았지만 4시간, 6시간 착용한 경우 유의한 차이를 보였다.
4. 마스크 내측 및 외측면 세균수는 차이가 있었으며 사무실 환경을 제외한 다중시설 및 학교 환경에서 유의한 차이가 있었다. 특히 다중시설 근로자 경우 시간 경과에 따라 마스크 내측면 오염은 유의한 증가를 보였다.
5. 마스크에서 분리 배양된 세균은 정상상재균총이 대부분이었지만, 이들은 기회주의적으로 병원성을 갖는 세균 및 진균이므로 오염된 미생물은 안전하지 않다.
6. 착용시간 경과에 따라 분진포집 효율은 차이가 없었다.

이 연구를 통해 마스크를 장시간 사용하거나 사용했던 마스크를 재사용하는 것은 안전하지 않을 수 있다는 점을 확인하였으며, 올바른 마스크 사용 시간에 대한 가이드라인이 필요할 것으로 사료되었다. 또한 마스크 사용에 대한 임계시간 구축을 위해서는 착용자 환경에서 부유되고 있는 세균수를 함께 측정하여 미생물 오염에 대한 정량적 대조를 얻을 필요가 있다. 이와 더불어



6~8시간 이상 착용에 대한 오염 및 분진포집효율 변화를 추가로 분석하여야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구가 진행될 수 있도록 연구비 및 장비를 흔쾌히 지원해주신 ㈜도부라이프텍 김일순 회장님, 김성진 부회장님께 깊이 감사드립니다. 다중시설 및 사무환경 그리고 학교환경에서 다양한 참여자를 섭외할 수 있도록 도움주신 모든분들께도 감사드립니다.

## 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 <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4109x>
- 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
- Homaira N, Sheils J, Stelzer-Braid S, Lui K, Oie JL et al. Respiratory syncytial virus is present in the neonatal intensive care unit. *J Med Virol*. 2016;88(2):196-201 doi:10.1186/2047-29 94-1 16
- Iltefat HH, Alexis BL, Indermeet K, Shanthi N, Angela PM et al. Ultraviolet germicidal irradiation: Possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during the COVID-19 pandemic. *J Am Acad Dermatol* 2020;82(6):1511-1512 doi:10.1016/j.jaad.2020.03.085
- Lee YJ. Medical microbiology. 7th edition Elsevier Korea. 2014. I.L.C ISBN 978-89-94961-75-0
- 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
- Madline G, Jonas I, Matthias H, Sigrid TR, Barbara G et al. Contamination of surgical mask during aerosol-producing dental treatments. *Clin Oral Investig* 2021;25:3173-3180 doi:10.1007/s00784-020-03645-2
- Marianne G, Shilanaiman HN, Oliver H, Abias AM, David M et al. Bacteria filtration efficiency of different face masks worn during COVID-19 pandemic in north-eastern Tanzania: An in vitro study. 2020 doi:10.20944/preprints202010.0574.v1
- Ministry of Food and Drug Safety. MFDS, KF94 mask permission status. Available from: <https://nedrug.mfds.go.kr/pbp/CCBCC01>
- Monalisa, ACN, Bhat PK, Manjunath K, Hemavathy E Monalisa 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
- 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
- Ozog DM, Sexton JZ, Narla S, Pretto-Kernahan CD, Mirabelli C et al. The effect of ultraviolet C radiation against different N95 respirators inoculated with SARS-CoV-2. *Int J of Infec Dis* 2020;100:224-229 <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.08.077>
- Philips BJ, Fergusson S, Armstrong P, Anderson FM, Wildsmith JA. Surgical face masks are effective in reducing bacterial contamination caused by dispersal from the upper airway. *Br J Anaesth* 1992;69(4):407-408 DOI:10.1093/bja/69.4.407
- Pipat L, Natkitta A, Pisit V. 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.2014.9
- Robert S. Filtration efficiency of face masks used by the public during the COVID-19 pandemic. *JAMA Intern Med* 2021;181(4):470 doi:10.1001/jamainternmed.2020.8234
- Rosner E. Adverse effects of prolonged mask use among healthcare professionals during COVID-19. *J Infect Dis Epidemiol* 2020;6(3):130 DOI:10.23937/2474-3658/1510130
- 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  
<https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.08.002>

Zhiqing L, Degang Y, Yuwei G, Liao W, Jingwei Z. Understanding the factors involved in determining the bioburdens of surgical masks. Ann Transl Med 2019;7(23):754 doi:10.21037/atm.2019.11.91

#### <저자정보>

서혜경(연구교수), 권영일(교수), 이성연(겸임교수), 강병갑(책임연구원), 명준표(교수), 장호영(석사연구원), 김희주(학부연구생), 심수아(학부연구생), 박성욱(학부연구생)