

착용자 환경 및 시간에 대한 마스크 미생물 오염 연구



권영일 · 이성연¹ · 강병갑² · 명준표³ · 장호영 · 김희주 · 심수아 · 박성욱
신한대학교 바이오생태보건대학, ¹동남보건대학교, ²한국한의학연구원, ³가톨릭대학교 서울성모병원



서혜경

신한대학교
바이오생태보건대학

연구 목적

공호흡기를 통해 전파되는 전염병이 지속적으로 출현하고 있을 뿐만 아니라 사회 전반에 심각한 영향이 야기되고 있다. 최근 COVID-19(corona virus disease 2019)로 인하여 마스크 착용이 일상화되고 있지만 사용에 대한 구체적인 가이드라인은 미흡한 실정이다. 특히 마스크를 재사용하거나 장시간 사용하는 사례가 일반적으로 행해지고 있어 마스크 표면에 오염된 호흡기 병원균이 손이나 피부를 통해 감염을 일으킬 수 있다는 우려가 대두되고 있다.

이에 본 연구는 의료환경 외 일반환경을 몇 그룹으로 구분하여 각 환경에서의 마스크 착용 시간에 따른 마스크 미생물 오염 증가와 분진포집효율 변화를 평가하고자 하였다. 본 연구의 목적은 첫째, 착용 환경에 따라 오염이 상이한지 조사하는 것이고 둘째, 마스크 착용 시간이 연장되면 미생물 오염도 증가하는지 알아보하고자 하였다. 셋째, 어떠한 미생물이 마스크 내외 측면에서 검출되는지 동정하고 마지막으로 마스크 필터 효율에 변화가 있었는지 분석하고자 하였다.

연구 방법

사무실, 다목적 시설, 학교에 근무하는 노동자 45명을 대상으로 하였다. 시험 마스크는 2시간, 4시간, 6시간 동안 마스크의 외층과 내층에 흡착된 미생물을 BAP(Blood Agar Plate), Chocolate agar, SDA plate에 접종하였다. 각 plate에서

배양된 세균수(CFUs: Colony-forming unit)를 측정하여 여과 효율의 변화를 분석하였다.

연구 결과

1. 연구 대상자 특성

참여자는 남성 42.2%(19명), 여성 57.8%(26명)였다. 사무실 노동자, 다중시설 노동자 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<표 1>.

<표 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 (%)

연구 참여자들의 71.1%가 평상시 보건용 마스크를 착용하며 그 외에 28.9%는 주로 덴탈마스크 혹은 KF-AD 마스크를 착용한다.

2. 미생물 배양 및 오염분석

마스크 착용 환경 및 시간 경과에 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 <표 2>와 같다.

<표 2> Bacterial status by environment (N=540)

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

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

** p-value was calculated by ANOVA

*** Groups(environment) 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

<표 3>은 마스크 착용 시간 증가에 따른 세균수 증가가 있었는지 분석한 결과이다. 사무 환경 내측 및 학교 환경 외측을 제외한 모든 환경에서 배양된 세균수는 시간 경과에 따라 증가하였는데, 특히 다중시설에서 착용한 마스크 내측 세균수는 시간 경과에 따라 크게 증가하였다(p=0.02).

<표 3> Bacterial contamination after mask wearing (N=540)

		CFU/plate*			p**
		≤ 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***	105.8(126.1)^b	136.1(152.1)^{ab}	169.2(150.5)^a	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

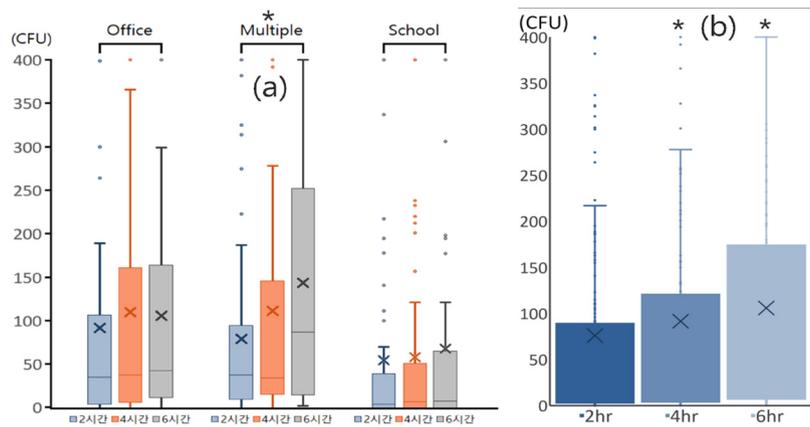
<그림 1>과 같이 각 환경에서 착용한 마스크의 시간 경과에 따른 세균수 증가를 분석한 결과에서 다중시설의 경우 시간 경과에 따라 의미 있는 세균수 증가(p=0.02)를 보였다. 착용 시간별 세균수 평균(표준편차)은 2시간 이내

사무 환경 내측 및 학교 환경 외측을 제외한 모든 환경에서 배양된 세균수는 시간 경과에 따라 증가하였다.



75.0(113.9) CFU/plate, 4시간 이내 92.9(131.1) CFU/plate였으며 6시간 이내에서 105.7(133,9) CFU/plate 로 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.

〈그림 1〉 CFU by wearing time



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

배양된 3종 배지로부터 분류된 미생물 종은 〈표 4〉와 같다. 사무 환경에서 착용한 마스크는 대부분 정상상재균총(normal flora)이었지만 이들 세균은 기회 감염균으로 병원성을 가지고 있다. 또한 공기 중 부생성으로 존재

사무 환경에서 착용한 마스크는 대부분 정상상재균총(normal flora)이었지만 이들 세균은 기회 감염균으로 병원성을 가지고 있다.



하는 진균도 측정되었다. 다중시설 환경에서는 사무 환경에서 배양된 정상 상재균종 이외 추가로 대장균 등이 배양되었고, 기회감염 병원성 진균인 칸디다균 또한 배양되었다. 학교 환경에서는 폐렴균, 고초균 등이 추가로 배양되었지만 곰팡이균은 관찰되지 않았다.

학교 환경에서는 폐렴균, 고초균 등이 추가로 배양되었지만 곰팡이균은 관찰되지 않았다.

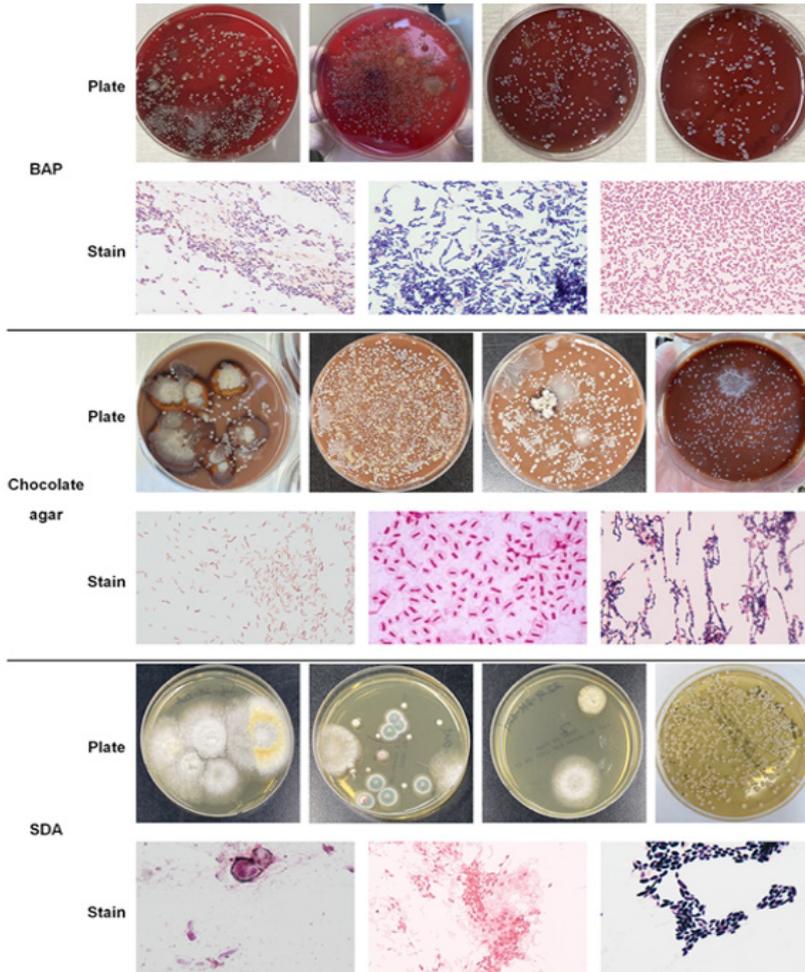
〈표 4〉 Cultured microbial strains by environment

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

*Total CFU of microbial spp.

〈그림 2〉는 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.

〈그림 2〉 Microbial colony cultured with BAP, chocolate agar and SDA plate

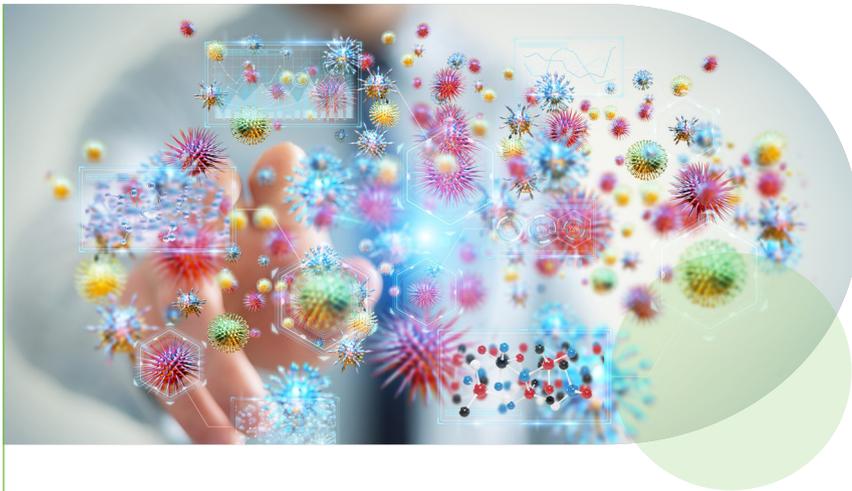


교실, 사무실, 다목적 시설에서 착용하는 마스크의 미생물 오염도는 환경에 따라 유의한 차이를 보였다. 측정된 CFU는 마스크를 착용한 시간에 따라 크게 증가하였다.

연구 결과를 종합하면 교실, 사무실, 다목적 시설에서 착용하는 마스크의 미생물 오염도는 환경에 따라 유의한 차이를 보였다($p < 0.000$). 측정된 CFU는 마스크를 착용한 시간에 따라 크게 증가하였다. 마스크의 내층과 외층의 차이도 유의하였다($p < 0.05$). 그러나 지속시간에 따른 마스크의 여과효율은 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p = 0.515$).

결론

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. 학교 환경에서 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 노동자의 경우 시간 경과에 따라 마스크 내측면 오염은 유의한 증가를 보였다.
5. 마스크에서 분리 배양된 세균은 정상상재균종이 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. 📌

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.

1. 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>
2. 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
3. Gund M, Isack J, Hannig M, Thieme-Ruffing S, Görtner B et al. Contamination of surgical mask during aerosol-producing dental treatments. *Clin Oral Investig*. 2021;25(5):3173-3180
4. 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:10.1186/2047-2994-16
5. Iltefat HH, Alexis BL, Indermeet K, Shanthy 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
6. Lee YJ. *Medical microbiology*. 7th edition Elsevier Korea, 2014. I.L.C ISBN 978-89-94961-75-0
7. 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
8. 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
9. Mackenzie D. Reuse of N95 masks. *Engineering*. 2020; 6(6):593-596 doi:10.1016/j.eng.2020.04.003
10. Madline G, Jonas I, Matthias H, Sigrid TR, Barbara G et al. Contamination of surgical mask during aerosol-producing dental treatments. *Clin Oral Investing* 2021;25:3173-3180 doi:10.1007/s00784-020-03645-2
11. 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
12. Ministry of Food and Drug Safety. MFDS, KF94 mask permission status. Available from: <https://nedrug.mfds.go.kr/pbp/CCBCC01>
13. 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