

생활실 격리조건에 따른 COVID-19 감염발생확률에 관한 연구

A Study on the Probability of COVID-19 Infection according to the Quarantine Conditions of Military Barracks

곽 승 현, 나 성 중*

육군사관학교, 국방대학교*

Gwak seung-hyun, Na seong-jung*

Korea Military Academy, Korea National Defense Univ.*

요약

본 논문은 병영생활실에서의 코호트 격리방식의 COVID-19 감염 위험성을 연구한 논문이다. 격리환경에 따라 착용하는 마스크, 실내환기율, 격실구성을 달리하여 감염발생확률을 계산하였고 어떤 환경이 보다 나은 격리환경인지 분석하였다.

I. 서론

1. 연구배경

신종코로나바이러스감염증(이하 COVID-19)환자가 발생한 이후 집단감염에 취약한 군은 고강도 선제조치를 취하였다. 그럼에도 COVID-19의 장기화로 인해 지속가능한 방역이 요구되었고 군은 중대단위의 휴가 복귀 후 생활실 단위의 코호트 격리를 검토하였다.

본 연구는 생활실 단위의 코호트 격리와 관련하여 각 생활실 격리환경에 대한 격리병력의 감염확률을 구하였다.

2. 선행연구

실내 환경에서 공기 중 감염위험을 계산한 연구들은 연무질(Aerosol)의 특성과 바이러스의 특성에 근거하여 확률을 계산하였다. Max Planck 화학 연구소의 연구[1]는 COVID-19를 대상으로 격실내에서 흡입할 수 있는 RNA양(U_{DOS})(1)에 따라 감염발생확률¹⁾(R_N)를 구하시는 식을 (2)와 같이 나타내었다(변수설명은 표 1을 따른다).

$$\frac{U_{DOS}}{600\pi} = \frac{C\{C_b(1-s) + C_s s\}r^2 p_d(1-M_e)(1-M_i)t_V t_d d^3}{(vt_V + 1)V_R} \quad (1)$$

$$R_N = \left[1 - \exp\left(-\frac{\ln(0.5)}{D_{50}}\right) \right]^{U_{DOS} \cdot N} \times 100 \quad (2)$$

표 1. Symbol of variables

sym	variable	value
C	viral load concentration in liquid [1]	5×10^8
C_b	particle concentration (breathing) [2]	0.098
C_s	particle concentration (speaking) [2]	0.672

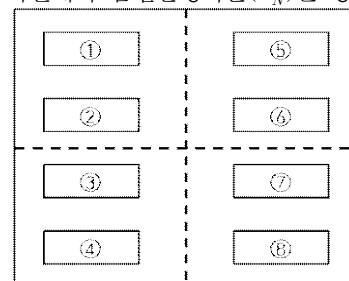
1) 격리된 N 명의 미감염자 중 최소 한명 이상이 추가 감염될 확률

d	aerosol diameter (cm)	2.4×10^{-4}
r	respiratory rate (min^{-1})	16
M	mask efficiency (for KF80 or higher) M_e : exhale, M_i : inhale [1]	$M_e = 0.8$ $M_i = 0.7$
V_R	room volume (for 9 people) (m^3)	141.75
t	t_V : virus life time (h) [1] t_d : living duration (h)	$t_V = 1.7$ $t_d = 168$
v	air change rate per hour ²⁾ (h^{-1}) [1]	0.35
p_d	particle deposition ratio in lung	0.14
D_{50}	infective dose (ID50) [3]	400
s	speaking / breathing ratio [1]	0.1
N	number of susceptible subjects (in a partition)	-

II. 생활실 감염발생 확률

1. 가정설정

① 용사생활실 9인 기준의 공간에서 8명의 용사가 격리된 상황을 가정한다. ② 격리기간 중 2차 이상의 감염은 일어나지 않는다. ③ 격실(partitions)설치는 8명의 인원을 4명 또는 2명씩 나누게 설치하며 그림 1을 따른다(개별격리가 이루어질 만큼 설치하지 않음을 가정). ⑤ 동 조건의 격실에서 감염발생확률(R_N)은 동일하다.



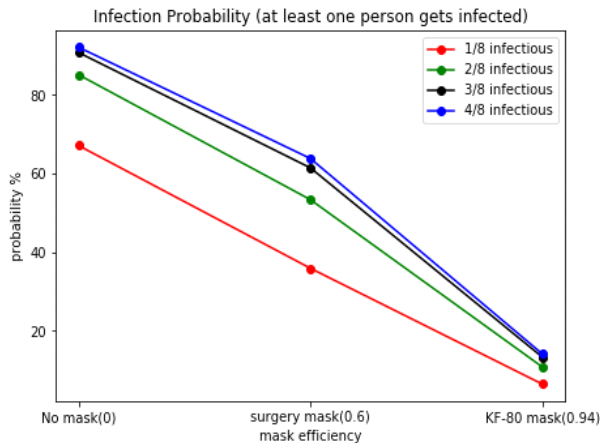
▶▶ 그림 1. 생활실 격실구성(9인 생활실 8인 격리기준)

2) ACH

2. 격리환경에 따른 감염발생확률

2.1 마스크 효과에 따른 감염발생확률 비교

마스크 효과(mask efficiency)는 마스크 미착용 시 0 ($M_i = 0, M_e = 0$), 의료용 마스크(수술용 또는 일회용)는 0.60($M_i = 0.2, M_e = 0.5$), KF80이상 마스크는 0.94 ($M_i = 0.7, M_e = 0.8$)을 적용하였다. 무환기 격리 시 각 마스크 효과에 따른 7일 후 감염발생확률은 그림 2와 같다.



▶▶ 그림 2. 마스크 종류에 따른 감염발생확률

2.2 격실 구성 수에 따른 감염발생확률

8인 격리 생활실에 감염인원이 n 명일 때 감염 발생확률은 R_{8-n} 이다. 그러나 격실로 나누어 격리를 실시한다면 n 명에 의한 감염발생확률은 다양한 결과 값으로 나온다. 표 2는 감염인원 n 명 일 때, 격실 구성 수에 따른 7일 후 감염발생확률을 계산한 결과이다.

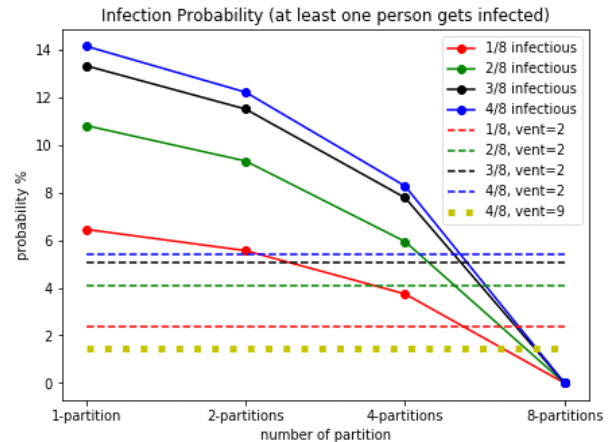
표 2. 감염인원에 따른 감염발생확률

infectious (n)	number of partitions			
	1	2	4	8
1 or 7	6.45%	5.56%	3.74%	0.00%
2 or 6	10.81%	9.32%	5.94%	0.00%
3 or 5	13.32%	11.5%	7.78%	0.00%
4	14.14%	12.21%	8.27%	0.00%

2.3 환기율을 적용한 감염발생확률과 비교

환기율(ACH)은 창문을 폐쇄한 실내에서 $0.35h^{-1}$, 매 시간 환풍기를 활용한 단시간 환기시 $2h^{-1}$, 고성능 공기정화기 사용 시 $9h^{-1}$ 를 적용하였다[1]. KF80이상 마스크를 착용한 상태에서 7일 후 감염발생확률은 그림 3과 같다.

그림 3에서 ① solid line은 무환기 환경(ACH = 0.35)에서 격실 구성 수에 따라 7일 후 감염발생확률을 최초 감염자수 별로 나타낸 것이다. ② dashed line은 격실 구성없는 기계환기(ACH = 2) 환경에서 7일 후 감염발생확률을 최초 감염자수 별로 나타낸 것이다. ③ dotted line(yellow)은 격실 구성없는 공기정화기 가동(ACH = 9) 환경에서 최초 감염자수가 4명일 때, 7일 후 감염발생확률이다.



▶▶ 그림 3. 격실 구성 수에 따른 감염발생확률(solid line)과 환기율에 따른 감염발생확률 비교

III. 결론

CDC³⁾는 최소 의료 시술용 마스크 착용을 권고하고 있다. 그림 2는 의료 시술용 마스크와 그 이상의 성능을 가진 마스크 착용이 격리환경에서 유의미하게 감염발생확률을 낮추는 것을 보여준다.

격실 구성 수가 증가할수록 감염발생확률은 낮아진다. 따라서 8인 기준 8개의 격실을 구성하여 개별격리 환경을 조성시키는 것이 최선이다. 그림 3은 격실 구성과 환기율의 효과를 비교하는 그래프이다. 환기가 제한(ACH = 0.35)되고 개별 격리(8 partitions)가 아닌 환경에서는 격실 구성 수가 증가하더라도 격실 구성 없이 기계환기(ACH = 2)가 가능한 환경보다 감염발생확률이 높다. 따라서 격실 구성이 기계환기에 제한을 준다면 격실을 구성하지 않고 환기효과를 제고하는 것이 타당하다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Lelieveld J, Helleis F, Bormann S, Cheng Y, Drewnick F, Haug G, Klimach T, Sciare J, Su H, Pöschl U. "Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments", Int J Environ Res Public Health, 2020 Nov.
- [2] Morawska L., Johnson G.R., Ristovski Z.D., Hargreaves M., Mengersen K., Corbett S., Chao C.Y.H., Li Y., Katoshevski D., "Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities", J. Aerosol Sci. 2009, 40, 256-269.
- [3] Watanabe T., Bartrand T.A., Weir M.H., Omura T., Haas C.N., "Development of a dose-response model for SARS Coronavirus", Risk Anal. 2010, 30, 1129-1138.