

에어로졸, 비말, 그리고 코로나 바이러스(COVID-19)

안 강 호*

한양대학교 기계공학과

(2020년 8월 28일 투고, 2020년 9월 22일 수정, 2020년 9월 23일 게재확정)

Aerosol, respiratory droplets, and COVID-19

Kang-Ho Ahn*

Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

(Received 28 Aug 2020; Revised 22 Sep 2020; Accepted 23 Sep 2020)

COVID-19 감염이 비말과 접촉 만에 의한 감염인지, 에어로졸도 감염을 야기하는 기작인지 아직도 많은 논란이 이어지고 있는 것 같다. 이에 대한 이해를 위해 먼저 비말과 에어로졸에 대한 정의를 한번 살펴보는 것도 좋을 것 같다. 비말(飛沫)은 표준국어대사전에 의하면, “날아 흩어지거나 튀어 오르는 물방울”로 정의되어 있고 그 크기에 대한 언급은 없다. WHO (2020)에서는 직경 5~10 μm 보다 큰 것을 비말(respiratory droplets)로 정의하고, 직경이 5 μm 보다 작거나 같은 것을 비말 핵(droplet nuclei) 또는 aerosol로 정의 하고 있다. 아마도 respiratory droplets을 비말로 볼 수 있을 것 같다.

WHO에서 정의 하는 에어로졸은 기존의 에어로졸 연구 분야에서 정의하는 에어로졸 입자 크기 범

위가 다른 것에 유의해야 할 것 같다. 에어로졸 연구자들은 1 nm ~ 100 μm 크기의 액체 또는 고체상의 물질이 기체상에 부유된 형태를 에어로졸로 정의하고 있다. (Hinds, 1982) 에어로졸 입자의 상한으로 100 μm 입자를 정의한 것은 공기 중에 부유하여 관찰할 수 있는 입자의 크기를 100 μm 으로 보았다. 밀도가 1 g/cm^3 인 100 μm 구형입자의 침강속도는 24.8 cm/s 이다. 따라서 100 μm 보다 큰 입자는 중력에 의한 침강 속도가 빨라 aerosol 형태 즉, 기체에 입자가 부유된 상태를 오래 유지할 수 없기 때문에 에어로졸 연구 분야에서는 1 nm ~ 100 μm 범위의 입자가 부유 된 시스템을 에어로졸로 정의 한다. 이와 같이 에어로졸의 입자 크기에 대한 정의가 연구분야에 따라 다를 수 있으므로 이

* Corresponding author.

Tel : +82-31-417-0601

E-mail : khahn@hanyang.ac.kr

에 대한 주의가 필요할 것 같다.

Han et al. (2013)의 연구에 의하면 재채기 시 발생하는 비말의 크기는 첫 번째 GMD (Geometrical mean diameter)는 386.2 μm (GSD=1.8), 두 번째 GMD는 72.0 μm (GSD=1.5)로 보고하였다. 일상적인 대화시 발생하는 비말의 크기를 이들 보다 작을 것으로 보인다.

Fig. 1은 입자의 크기에 따른 입자의 중력에 의한 침강 속도, 그 입자가 입에서 100 m/s (Tang et al., 2006) 비산 될 때 도달할 수 있는 거리 (Stopping distance), 그리고 지상 1.5m 에 위치한 입에서 입자가 토출 되었을 때 지상에 도달하는 시간(Settling time)을 나타낸 것이다. Tang et al. (2006) 연구에 의하면 한번 재채기 하면 약 40,000개의 0.5 ~ 12 μm 의 입자가 발생한다고 보고하였다. 10 μm 입자의 경우 재채기로 도달할 수 있는 거리는 약 3 cm 이다. 그러나 이러한 작은 비말 입자는 공기 중에 오래 부유할 수 있으며 주의 공기의 흐름을 타고 멀리 이동할 수 있다. 100 μm 입자(비말)인 경우 재채기에 의해 도달할 수 있는 거리는 약 3m 이상 된다. 만약 마스크를 착용하지 않은 감염자가 있으면 감염자로부터 최소한 3 m 이상 거리를 유지해야 하며, 100 μm 보다 큰 비말이 재채기시 발생하면 더 먼 거리를 날아갈 수 있다.

10 μm 입자의 경우 중력에 의한 침강속도는 0.3 cm/s 이다. 만약 10 μm 입자를 공기중 1.5 m 에서 자유낙하를 시키면 지면에 도달하는 데는 약 8.2분이 걸리게 된다. 이 수치는 공기의 움직임이 없으므로 가정하였으나, 실제로는 사람의 이동에 의한 기류 발생, 체온과 주위 공기 온도차에 의한 자연대류(약 0.3 m/s; 체온과 주위 온도 차에 따른 변화가 있을 수 있음) 등이 있어 10 μm 입자가 지면에 닿아 바닥 면에 침착 되어 제거되는 데는 8.2분 보다 더 많은 시간이 걸리게 될 수도 있다.

Fig. 2는 천정고 2.5 m 인 실내에서 입자가 중력 침강에 의해 제거되는데 걸리는 시간을 나타낸 것으로 실내공간의 공기는 완전 혼합되고, 입자의 밀도는 1 g/cm³ 구형으로 가정하였다. 단, 확산에 의한 입자의 벽면/바닥면 침착 제거는 고려하지 않았다. N Engl J Med. 2020에 의하면 SARS-CoV-2가 공기중에서 3시간 정도 생존가능 하다고 보고하였다. 따라서 Fig. 2에 의하면 2 μm 보다 작은 바이러스

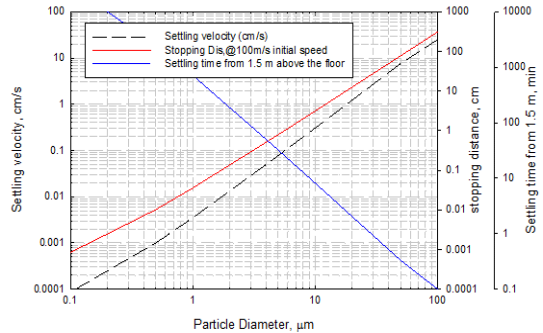


Fig. 1 Droplet settling speed, stopping distance and sedimentation time as a function of particle size. Droplet density of 1 g/cm³ is assumed.

를 포함한 입자는 이론적으로 공기중에 50% 이상 부유한 상태로 3시간 생존할 수 있게 된다. 5 μm 입자의 경우 50% 침강에 의해 제거되는 데 약 37분, 90% 제거되는데 약 2시간이 걸린다.

실제 상황에서는 감염자가 계속 바이러스입자를 방출하므로 대기중 입자의 농도는 매우 높을 수 있다. 참고로 바이러스의 일반적인 크기는 0.1 μm 정도로 알려져 있으며, 만약 바이러스만으로 1 μm 입자를 만들면 이론적으로 약 1,000마리의 바이러스가 뭉친 크기와 같다. 현재 critical dose와 타액에 존재하는 바이러스의 농도에 대한 자료가 부족하여 어떤 조건에서 에어로졸에 의한 감염이 가능할지는 아직 많은 연구가 필요하다.

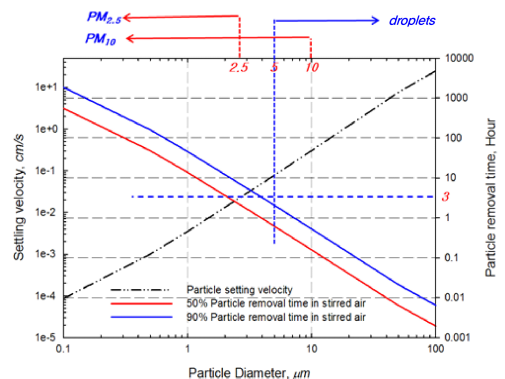


Fig. 2 Particle removal time in a room with ceiling height of 2.5 m as a function of particle size. Diffusion to the wall or floor is not considered.

비말 또는 에어로졸, 모두 타액에서 기인하는 것으로 말을 하거나 노래를 부를 경우 자연스럽게 타액 입자들이 발생되고, 이들 입자는 공기의 흐름을 타고 움직일 수 있다. 이번 COVID-19는 무증상이면서 바이러스를 전파시키는 특징이 있으므로 항상 주의가 필요하다. 지금과 같은 상황이 끝나기 전까지 모든 사람들이 마스크를 정확히(마스크가 얼굴에 밀착, 콧등 옆 부분과 마스크 밀착) 착용하기 바라며, 특히 식사나 음식물 섭취 시는 마스크 착용이 불가능하므로 이때는 가능하면 말을 하지 않는 것이 좋을 것 같다. 특히, 공기중에 있는 먼지 및 미생물 입자를 일정부분 제거할 수 있는 방법 중 하나로 공기청정기를 사용하는 것이 좋을 것 같다.

얼마 전 모 교수가 공기청정기가 오히려 바이러스를 확산시킬 수 있다는 논문을 발표하여 문제가 되었다. 이 실험은 감염자가 공기청정기의 청정공기 토출구 앞에 서있으면 바이러스를 확산시킬 수 있다는 내용이었는데, 이에 대한 방송이나 인터넷 자료를 본 많은 일반인들이 공기청정기 사용을 안하고 있다고 한다. 이 논문의 논리를 그대로 적용하면 현재 질병관리 본부에서 캠페인 하는, 일정 시간마다 창문을 열어 환기 할 것을 권고하고 있는데, 만약 신선한 공기가 유입되는 환기 창문 앞에 감염자가 서 있으면 이 또한 바이러스를 확산시키는 문제가 발생할 수 있으므로 환기를 하지 않는 것이 좋다는 이야기가 될 수 있다.

바이러스는 계속 유전정보를 변화시키면서 생존하고 있다. 그러나 다행히 아직까지 바이러스에 다리가 날개가 생기지 않아, 현재 바이러스가 이동할 수 있는 방법은 공기의 흐름을 타거나 바이러스가 묻은 표면의 접촉에 의한 전파만 가능하다. 우리 모두 이점 유의하여 올바른 마스크 착용과 손 씻기를 충실히 하여 빠른 시일 내에 정상적인 생활로 돌아갔으면 한다.

참고문헌

- Hinds, William C. (1982). *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*, A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons.
- Han, Z.Y., Weng, W.G., and Huang, Q.Y. (2013). Characterizations of particle size distribution of the droplets exhaled by sneeze, *Journal of The Royal Society Interface*, 10, 20130560.
- Tang, J.W., Li, Y., Eames, I., Chan, P.K.S., and Ridgway, G.L. (2006). Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises, *Journal of Hospital Infection*, 64, 100-114.
- WHO (2020). *Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions*, 9, July, 2020.