

# 코로나19 확산에 대한 온습도의 영향 분석

박한준\*<sup>†</sup> · 이성광\* · 오정석\*\* · Steven Barrett\*\* · 황원태\*,\*\*\*

\*서울대학교 기계공학부, \*\*매사추세츠 공과대학교, \*\*\*서울대학교 정밀기계설계공동연구소

## Analysis of the effects of temperature and humidity on the spread of COVID-19

Han June Park\*<sup>†</sup>, Sung-Gwang Lee\*, Jeong Suk Oh\*\*, Steven Barrett\*\*, Wontae Hwang\*,\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Eng., Seoul National Univ., \*\*Dept. of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Inst. of Tech. \*\*\* Institute of Advanced Machines and Design, Seoul National Univ.

Key Words: 비말(Droplet), 증발률(Evaporation rate), 섀도우그래프(Shadowgraphy), 코로나(COVID-19), 실내 환경(Indoor environment), 궤적(Trajectory), 습도(Humidity), 온도(Temperature)

### Abstract

After the World Health Organization (WHO) proclamation of the Severe Acute Respiratory Syndrome-2 (SARS-Cov-2) as a pandemic in 2020, there have been various efforts on establishing the correlation between temperature and humidity on the spread of COVID-19. However, worldwide consensus has not yet been established. The cause of this is that the indoor environment in which virus transmission occurs is not considered, and there is also a lack of physical understanding of droplet evaporation with temperature and humidity. Therefore, in this study, we examine actual droplet dynamics by first measuring droplet evaporation within a constant temperature and humidity environmental chamber. Based on this experiment, simulations were conducted to estimate the effects of temperature and humidity on droplet dispersion. Our results showed that there was no significant correlation between temperature, but that high humidity greatly helps in suppressing virus transmission via respiratory droplets.

## 1. 서 론

2020년 3월 세계보건기구(WHO)가 중증급성호흡기증후군(SARS) 코로나바이러스(즉, SARS-CoV-2 또는 COVID-19)에 대해 pandemic(세계적 대유행)으로 선언한 이후, COVID-19의 전파 메커니즘에 대한 많은 논란이 있었다. 최근엔 COVID-19 감염율의 계절성과 온도와 습도를 연관시키려는 시도가 여러 차례 있었다<sup>(1)</sup>. 그러나 온도 및 습도와 같은 지구 환경 데이터는 실외에서 수집되는 반면 대부분의 바이러스 감염은 실내에서 발생하는 것으로 간주되며 난방, 환기 및 공조(HVAC)로 인해 외부 환경과 조건이 다르다. 이러한 불일치로 인해 온도 및 상대 습도의 변화에 대한 감염율의 통일된 결과가 도출되지 않았다.

이에 본 연구에서는 액적 증발의 이론적 모델을 다양한 온도와 상대 습도에서 실험적으로 검증하며, 해당 모델을 기반으로 비말의 거동 모델링과 결합된 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션을 수행하여 실내 환경에서 액적의 궤적을 분석한다. 분석된 궤적의 최종 높이와 거리를 활용하여 COVID-19 확산에 대한 온도와 상대습도의 영향을 예측하고자 한다.

## 2. 이론 및 실험

### 2.1 액적 증발 모델의 실험적 검증

많은 선행 연구에서 사용된 액적 증발 모델인 D square law<sup>(2)</sup>은 온습도 변화에 따라 실험적으로 검증할 필요가 있다. 이에 Fig. 1(a)과 같이 온도와

상대습도를 독립적으로 제어할 수 있는 항온항습 챔버에서 액적 증발 실험을 수행하였다. 가습기를 이용해 다량의 마이크론 크기의 액적을 음향 부양 장치(acoustic levitator)<sup>(3)</sup>로 분사하면 이 액적들이 약 200 - 300  $\mu\text{m}$ 의 크기로 합쳐지고 공기 중에 부상한다(Fig. 1b). 액적은 고출력 LED에 의해 조명되고 고속 카메라를 사용하여 이미지를 촬영한다.

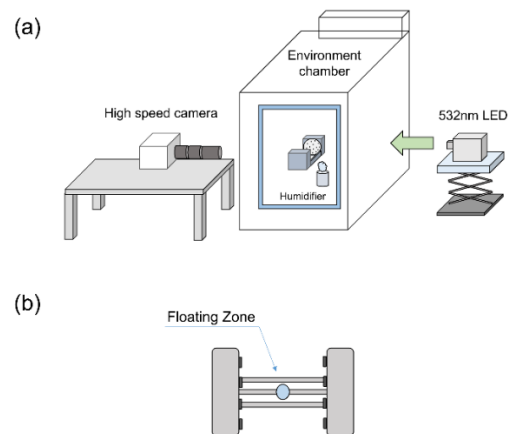


Fig. 1 (a) Droplet evaporation experimental setup, (b) schematic of acoustic levitator

### 2.2 액적 거동 모델링

검증된 액적 증발 모델을 기반으로 기침하는 사람의 입에서 배출되는 공기를 시뮬레이션하였다. 액적 공기역학적 거동은 두 가지 tool을 사용하여 계산되었다. 첫째, 기침에 의한 공기 흐름은 입에서 분출되는 비정상 제트로 묘사되어 특정 온도와 상대 습도의 환경으로 유입이 된다. 비정상 2D

<sup>†</sup> Presenting Author, kevinpoo@snu.ac.kr

제트는 상용 CFD 코드인 ANSYS Fluent에서 SST (Shear Stress Transport) 난류 모델<sup>(4)</sup>을 이용하여 Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS) 계산되었다.

RANS CFD 로 얻은 유동장 데이터를 바탕으로 Matlab in-house code 를 통해 제트에서 나오는 비말 액적의 궤적을 계산하였다. 계산은 최대 18 초 동안 수행되었으며 액적이 바닥에 떨어지거나 반지름이  $2\mu\text{m}$  미만이 되는 경우 중지되었다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 액적 증발 실험 결과

증발 실험의 결과가 Fig. 2 에 나와 있다. 액적은 쉐도우그래프(shadowgraphy)기법을 통해 이미지화 하였으며 시간에 따른 직경 변화를 측정하였다. Fig. 2 와 같이 일정한 온도와 상대습도에서  $200\mu\text{m}$ 의 초기 액적 크기  $D_0$ 에 대해 시간에 따른 액적 크기 변화를 측정했다. 여기서 무차원 크기는  $D^*/2 = D^2/D_0^2$ 이다. 곡선의 기울기는 증발률(evaporation rate)에 해당한다.

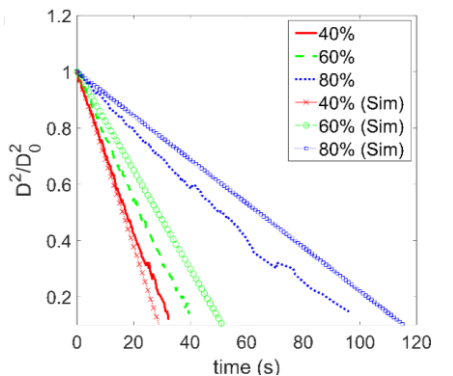


Fig. 2 Microdroplet evaporating at 25°C

실험 결과와 이론적 모델링의 계산값의 경향성이 유사한 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2 액적 궤적 시뮬레이션

전산유체역학(CFD) 같은 경우, 온도(20°C)와 상대습도(40%, 80%)를 조합하여 2 개의 case 에 대해 계산을 수행하였다. 인체 구강의 평균 높이가 약 1.5 m 라고 가정하고 물방울 궤적을 시뮬레이션 하였다. Fig. 3 는 초기 액적 크기  $d_0$  가  $70\sim 130\mu\text{m}$ 인 액적에 대해 실내 온도 20°C에서 상대 습도에 따른 궤적을 보여준다.

$d_0$ 가 크면(e.g.  $130\mu\text{m}$ ) 액적이 완전히 증발하지 않고 모든 상대 습도 조건에서 바닥으로 떨어지며 상대 습도가 높을수록 액적이 더 짧은 이동 거리를 갖는다.

$d_0$ 가 작을 때(e.g.  $70\mu\text{m}$ ), 액적은 공기 중에서 증발하고 모든 상대 습도에 대해 에어로졸이 된다. 습도가 높을수록 에어로졸이 발생원에서 더 멀리

분산되어 국부적인 에어로졸 농도가 낮아진다. 또한, 상대 습도가 높을수록 증발률이 감소하기 때문에 중력의 영향이 그에 따라 증가하고 물방울은 더 지면으로 떨어진다.

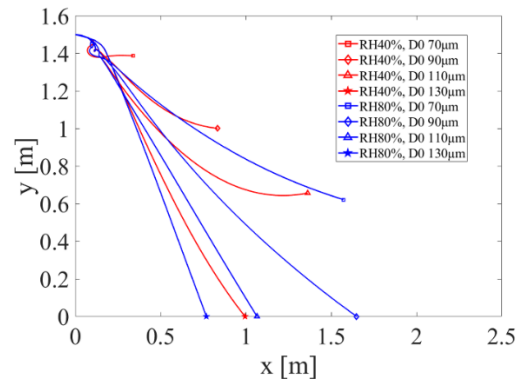


Fig. 3 Droplet trajectories according to ambient relative humidity and initial droplet size, at a fixed room temperature of 20°C.

### 4. 결 론

본 연구는 실내 온도와 상대 습도가 호흡기 비말의 역학적 거동에 미치는 영향을 실험 및 수치 해석적으로 계산하였다. 해당 매개변수로 COVID-19 전파 억제 조건을 예측하였다. 연구 결과, 실내 상대 습도의 증가는 기침 비말의 국부적인 확산을 억제하는 효과가 있었다.

### 후 기

본 연구는 2020년도 융복합 연구과제 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임. 또한, 2020년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원을 받아 연구되었음. (2020K2A9A1A01096358)

### 참고문헌

- (1) Chen, S., Prettnner, K., Kuhn, M., Geldsetzer, P., Wang, C., Barnighausen, T., and Bloom, D. E., 2021, "Climate and the spread of COVID-19," *Sci. Rep.*, Vol. 11, pp. 1~6.
- (2) Balachandar, S., Zaleski, S., Soldati, A., Ahmadi, G., and Bourouiba, L., 2020, "Host-to-host airborne transmission as a multiphase flow problem for science-based social distance guidelines," *Int. J. Multiph. Flow*, Vol 132, p. 103439.
- (3) Marzo, A., Barnes, A., and Drinkwater, B. W., 2017, "TinyLev: A multi-emitter single-axis acoustic levitator," *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 88, No. 8, p. 085105.
- (4) Mentar, F. R., 1994, "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *AIAA J.*, Vol. 32, No. 8, pp. 1598~1605.