



## 에어컨 풍속 저감에 따른 실내 비말 확산 영향 - 실험실 입자 방출 실험을 통한 입자농도 분석 -

### *The Dispersion of Indoor Droplets according to the Reduction of Wind Velocity of Air Conditioner - Analysis of Particle Concentration through Laboratory Particle Generation Experiments -*

김형근\* · 나후승\*\* · 박동준\*\*\* · 김래연\*\*\*\*

Hyungkeun Kim\* · Hooseung Na\*\* · Dongjun Park\*\*\* · Taeyeon Kim\*\*\*\*

\* Research Professor, Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (vickim@yonsei.ac.kr)

\*\* Coauthor, Researcher, Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (hool3000@yonsei.ac.kr)

\*\*\* Coauthor, Researcher, Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (bak3339@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\* Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (tkim@yonsei.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** The COVID-19 virus has spread rapidly around the world. Recently, many cases of group infection have been reported due to the operation of indoor air conditioners (AC). That is because the use of AC promotes the spread of droplets by increasing the indoor airflow velocity. Therefore, this study aims to analyze the droplet diffusion according to the airflow velocity of the AC. **Method:** Particle generation experiments were conducted in the laboratory. The following two cases were compared. Case 1: Conventional AC, Case 2: Low velocity AC (<0.15m/s) **Result:** The experimental result showed that the maximum concentration of PM10 was about 30% lower in Case 2 than in Case 1 during droplet dispersion. In the case of droplets with a large particle size (>5 $\mu$ m), which are highly likely to spread the virus, the maximum concentration of Case 2 was 67% lower than that of Case 1. In the comparison of the loss rate, Case 2 showed a higher reduction rate of about 22% to 29% than that of Case 1. As a result, it was confirmed that wind velocity has a large influence on indoor droplet dispersion. Therefore, In summer, when air conditioners are frequently used, it is more effective to use a low velocity AC to prevent the spread of corona virus.

© 2021. KIEAE all rights reserved.

#### KEYWORD

코로나 바이러스  
에어컨  
비말 확산  
감소율

Covid-19  
Air Conditioner  
Droplet Dispersion  
Loss Rate

#### ACCEPTANCE INFO

Received Aug. 20, 2021

Final revision received Oct. 13, 2021

Accepted Oct. 18, 2021

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

2019년 12월 코로나바이러스(SARS-CoV-2)가 발생된 이후 코로나19 바이러스는 전 세계적으로 빠르게 전파되었다.[1] WHO (World Health Organization)는 코로나19의 확산을 우려하여 팬데믹을 선언하는 등 전 세계가 코로나19 확산 방지에 노력을 기울이고 있다.[2]

코로나19 감염은 바이러스가 포함된 입자가 호흡기로 유입되거나 바이러스에 오염된 표면에 접촉하면서 발생할 수 있다.[3] 코로나19의 주 전파경로는 감염자의 호흡기 침방울(비말)에 의한 전파이다. WHO에서는 입자의 크기가 5 $\mu$ m 이상인 입자를 비말(Droplet)이라고 정의하였고 5 $\mu$ m보다 작은 크기의 입자를 비말 핵(Droplet nuclei)으로 정의하였다.[4]

바이러스를 포함한 비말 입자가 직접 전파되는 비말감염은 기침, 재채기, 대화 과정에서 발생한 입자가 직접 도달해서 전염되는 것을 의미한다. 비말 입자는 일반적으로 감염자로부터 2m 이내 거리까지 이동한다.[5] 비말은 입자의 크기가 상대적으로 크기 때문에 바람이 없을 경우 중력의 영향을 받아 쉽게 가라앉는다. 따라서 비말감염은 사회적 거리 두기(2m 이상)를 통해 바이러스 감염을 예방할 수 있

다.[6,7] 그러나 바람이 부는 등 여러 가지 외부 요인으로 인해 비말 입자가 더 멀리 전파될 수도 있다.[8,9]

비말 핵은 입자의 크기가 상대적으로 작기 때문에 공기 중에 장시간 부유할 수 있고, 더 먼 거리로 확산 될 수 있다.[10,11] 비말핵에 의한 공기 중 코로나19 감염 위험성은 낮다고 평가되고 있다.[12] 그러나 비말핵은 상대적으로 공기 중 부유시간이 길기 때문에 비말에 의한 감염 뿐 아니라 비말핵으로 인한 공기감염 또한 유의해야 한다.[12]

최근 실내 에어컨 가동으로 인해 집단 감염사례가 많이 보고되고 있다.[13] 이는 여름철 에어컨을 가동할 경우 빠른 기류로 인해 공기 중 비말이 공간 전체에 빠르게 확산되는 것이 원인으로 지목되고 있다.[14] 우리나라는 여름철 높은 온습도로 인해 에어컨 가동률이 높아 에어컨 가동으로 인한 비말 전파에 대한 대비가 필요하다.[15]

일반적으로 가정에서 사용되고 있는 스탠드형 에어컨은 바람을 통해 찬 공기를 공급하기 때문에 토출구에서 유속에 빠르다. 이때 바이러스를 포함한 비말이 발생할 경우 에어컨의 빠른 바람을 통해 비말이 실내 공간에 확산될 수 있다. 만약, 토출구의 면적을 넓혀 유속을 느리게 한다면 실내 유속이 감소하여 충분한 냉방과 더불어 비말의 확산을 저감시킬 수 있을 것으로 예측된다.

본 연구에서는 일반에어컨 대비 토출구 면적을 넓혀 에어컨의 냉방 토출 유속을 저감 시켰을 경우의 비말 확산 감소 효과를 알아보고자 한다. 이를 평가하기 위해 일반 스탠드형 에어컨과 토출 면적을

넓힌 에어컨 가동 상황에서 비말과 유사한 입자를 발생시키고 입자 농도가 어떻게 변화하는지 분석하였다.

## 2. 연구의 방법

### 2.1. 실험실 측정 설정

본 연구에서는 여름철 냉방 조건에서 거주자로부터 비말이 발생했을 때 비말 농도 변화를 분석하였다. 일반적으로 많이 활용되고 있는 일반 스탠드형 에어컨(이후 일반에어컨)과 송풍면적을 늘려 낮은 풍속의 냉방을 공급하는 방식(이후 저풍속에어컨)의 에어컨을 가동했을 때를 대상으로 비말 발생 시 실내 농도 변화를 비교하였다. 이를 평가하기 위해 공동주택의 거실을 모사한 냉방실험 챔버에서 실험을 수행하였다.

본 연구에 활용된 냉방실험 챔버는 국내 전용면적 30평 정도 크기 공동주택의 거실 규모를 모사한 장방형의 냉방 실험실이다. (7.8\*5.4\*2.7m) 실험실 외부의 온도를 일정하게 유지시켜 실내 냉방 부하를 공급하는 형태로 설계되었다. 측정 기간에 외부 공간 냉방부하 공급을 통해 실험실 외부의 온도는 35±1℃, 상대습도는 40% 정도로 유지하게 시켰다. 이는 여름철 외기를 모사한 것이다. 실험실 내부에 한쪽 모서리 부근에 에어컨을 설치하여 실험 기간 에어컨을 가동하도록 하였다. 에어컨의 실내 설정 온도는 24℃로 설정하여 가동하였다.

본 연구에서는 거주자가 거실 중앙에 앉아서 휴식하는 상황을 기반으로 비말 발생과 확산을 모사하였다. 이를 위해 비말을 모사한 입자는 실험실의 중앙 벽면에서 실 중앙으로 방출되도록 배치했다. Fig. 1.과 같

이 입자 방출 위치로부터 거실 중앙 위치 2m 거리(사회적 거리 두기 기준)에 측정 장비 2대를 설치했다. 입자의 농도는 광산란식 입자측정장치(TSI-8530, TSI, MN, USA)와 광산란식 입자 계수기(OPS-3330, TSI, Mn, USA)를 이용하여 측정하였다. TSI-8530은 1.4~31 $\mu$ m유량으로 공기를 샘플링하며 0.1~10 $\mu$ m 범위의 입자를 1 $\mu$ g/m<sup>3</sup>단위로 측정한다. OPS-3330은 입자의 개수를 16개의 채널까지 나누어 측정이 가능하다. 본 연구에서는 기침 상황을 모사하여 방출량이 크지 않기 때문에 실내 입자 수가 많지 않아 채널을 합쳐 입자는 5개의 크기(0.3~0.5, 0.5~1.0, 1.0~2.5, 2.5~5, 5~10 $\mu$ m) 범위로 나누어 측정하였다. 입자의 측정 위치는 거주자가 앉아있을 때 호흡기 높이인 1.2m와 바닥 근처인 0.2m로 우레탄 튜브를 연결하여 샘플링했다. 입자 농도는 PM10 농도와 각 입자 크기 별 개수농도(Number concentration)를 측정하여 질량농도(Mass concentration)로 환산하였다. 농도의 환산은 다음 식 (1)을 통해 변환된다.[16]

$$\frac{dM}{d\log D_p} = \frac{dN}{d\log D_p} \times \frac{\pi}{6} \times D_p^3 \times \rho \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서 M은 입자의 질량[kg], N은 입자의 개수[#]이고, D<sub>p</sub>는 입자 채널(Channel)의 직경 [ $\mu$ m],  $\rho$ 는 입자의 밀도[kg/m<sup>3</sup>]이다. 입경별 밀도는 TSI의 Aerosol Instrument Manager® 에서 제공한 것을 활용하였다.

### 2.2. 실험에 사용된 에어컨 토출구 형상 분류

본 연구에서는 일반에어컨과 저풍속에어컨을 비교하였다. Table 1.은 실험에 사용된 두 가지 에어컨 가동 방식을 나타낸 것이다. Case 1(일반에어컨)은 일반적인 에어컨을 약풍 모드로 가동한 것이다. 약풍으로 가동하더라도 토출구 면적이 좁아 빠른 유속으로 실내 냉방을 공급한다. 반면, Case 2(저풍속에어컨)는 전면 판넬에 미세 다공홀을 적용해 토출구 면적을 넓혀 냉방을 공급하는 방식이다. 이 경우 같은 유량으로 냉방을 공급하더라도 실내 공간의 유속을 ASHRAE 기준의 바람이 거의 없는 상태인 0.15m/s 이하[17]로 유지하면서 실내 냉방이 가능하다. 토출구 전면부 9개 측정점에서 에어컨 가동 시 풍속을 측정하고 평균하여 에어컨의 풍량을 추정하였다. Case1의 경우 면풍속은 2.4m/s(err. 10%), 풍량은 1039.8CMH로 측정되었다. Case 2의 경우 면풍속은 0.6m/s(err. 10%), 풍량은 1112.8CMH로 측정되었다.

### 2.3. 입자 방출 실험

Fig. 2.은 입자 방출 실험을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 에어컨 가동에 따른 비말 입자의 유동을 모사하기 위해 입자 발생기(Particle generator)를 사용하였다. 입자 발생을 위한 용액은 비말과 유사한 입경 크기를 가진 유동파라핀(Paraffin liquid)을 사용하였다.[19] 입자 발생은 모든 실험 기간에 같은 방출량을 유지할 수 있도록 공기압축기(Air compressor)의 압력을 2bar로 고정했다. 공기압축기를 통해 공급된 공기는 제습기와 필터를 거쳐 깨끗한 공기(Clean air)가 유동파라핀이 담긴 아토마이저(Atomizer)에 공급된다. 아토마이저 말단은 직경 10mm의 우레탄 튜브로 연결하여 호흡기 높이에서 입자가 방출

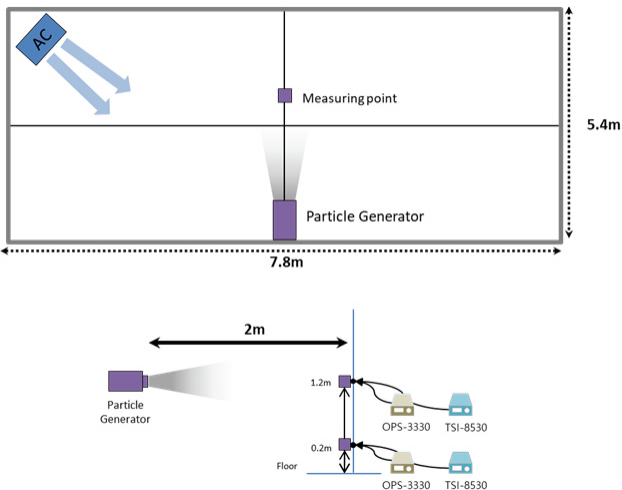


Fig. 1. Experiment setting for droplet dispersion

Table 1. Schematic Diagram of air outlet vent

Case 1(Conventional AC)		Case 2(Low velocity AC)	
Front section	Side	Front	Side

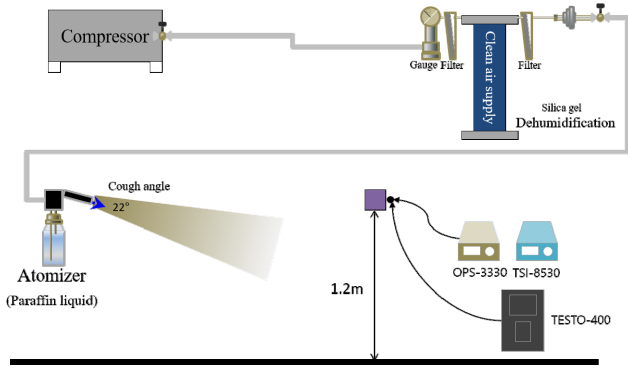


Fig. 2. Particle generation and measurement setting

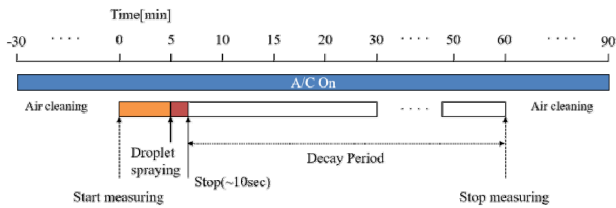


Fig. 3. Measurement schedule of droplet dispersion analysis

되도록 설치하였다. 입자의 방출 각도는 기침 상황을 고려하여 수평 기준 하단으로 22°의 각도로 방출되도록 하였다.[18]

Fig. 3.는 입자 방출실험의 스케줄을 나타낸 것이다. 실험 중 실내 온도가 지속적으로 유지될 수 있도록 에어컨을 측정 시작 30분 전부터 종료후까지 가동하였다. 측정 전 30분 이상 공기청정기를 가동하여 매 실험 초기농도가 PM10 기준  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하가 되도록 하였다. 측정이 시작되고 5분간 기저농도를 측정하고 그 후에 10초간 입자를 발생시켰다. 입자 발생 후 1시간이 된 시점에서 측정을 종료하였다. 측정은 각각의 Case를 3회 반복 측정되었고 측정데이터를 평균하여 분석하였다.

## 2.4. 기류 가시화

본 연구에서는 Case 1(일반에어컨)과 Case 2(저풍속 에어컨)의 기류 흐름으로 인한 입자 발생 시 확산을 가시화하여 분석하였다. 대표적인 기류 가시화 방법으로는 입자이미지속도측정법(Particle Image Velocimetry; PIV Measurement)이 있다. 본 연구에서는 PIV측정을 통해 에어컨 가동 시 기류 양상을 평가하였다.[19]

Fig. 4.는 본 실험에 사용된 입자이미지속도측정법을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 에어컨 토출구의 방향과 수직하게 10W 레이저 2대를 배치하여 레이저를 조사하여 에어컨 가동 시 기류의 움직임을 파악하였다. 카메라는 고속카메라(VEO E-310 L High-Speed Camera, 1280×800-pixel resolution at 3200 fps)를 사용하여 측정하였다. PIV측정을 통해 실내 단면의 속도값을 추출하거나 기류 가시화가 가능하다. 본 연구에서 측정이 진행된 실험실은 규모가 크기 때문에 상세 속도값은 추출하기 어려웠기 때문에 에어컨 가동에 따른 기류 흐름을 보기 위해 PIV측정 방법을 활용했다. 기류 흐름이 잘 보일 수 있도록 에어컨의 흡입구에 연기 발생기(Smoke generator)를 설치하여 에어컨 가동에 따른 연기의 이동을 측정하였다. 고속카메라를 통해 에어컨 가동 시 기류를 측정하였고 기류 양상을 잘 나타낼 수 있는 시점을 선택하여 제시하였다.

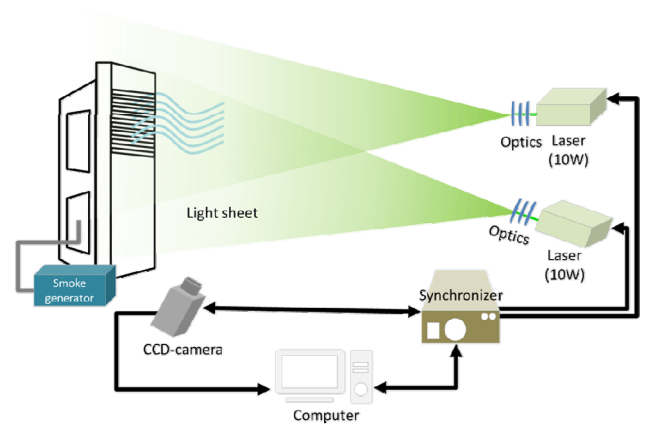


Fig. 4. Schematic diagram of PIV measurement

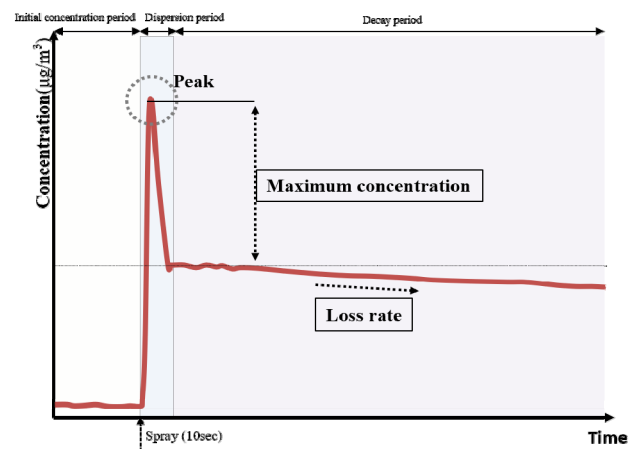


Fig. 5. Schematic diagram of droplet dispersion

## 2.5. 입자 방출 분석 방법

입자 방출 실험에서 방출된 입자의 농도는 Fig. 5.과 같은 경향을 나타낸다. 초기 기저농도를 형성하고, 입자 발생 직후 확산을 통해 급격하게 농도가 증가한다. 이후 입자의 침착이나 제거를 통해 농도가 급격히 감소한다. 일정 시간 경과 후 입자 농도가 안정적으로 감소하는 구간(decay period)에서 감소율(Loss rate)을 계산한다.

본 연구에서 측정한 비말 모사 입자는 거주자의 기침 상황을 모사한 것이다. 실제 비말과 완전히 동일하진 않으나 입자의 크기나 거동 특성은 기침 시 비말 농도 변화와 유사한 특성을 보일 것으로 판단된다. 시험기관에 의뢰를 통해 유동 파라핀의 입자 직경을 분석했다. 측정 농도는  $(8.10 \times 10^4)/\text{cc}$ 이고 평균 입자 직경은 262.2nm (median 230nm)이다. 입자는 최소 10nm에서 최대  $10 \mu\text{m}$ 까지 검출되었다. 모사 실험 특성상 절대값은 참고로 비교 분석하고 두 케이스 데이터의 상대 비교를 통해 에어컨 가동 방식에 따른 농도 변화를 분석하였다.

## 2.6. 입자 감소율(Particle loss rate)

실내 입자상 오염물질은 환기나 침기, 중력으로 인한 입자의 침착(가라앉음, Deposition)을 통해 감소된다. 이러한 영향을 통해 입

자 농도가 감소하는 정도를 입자 감소율(Particle loss rate)이라고 한다. 입자 감소율은 입자의 특성(입자 직경, 구성 성분 등)이나 공기온도, 상대습도, 기류 속도, 여과율 등의 실내 환경 요인에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 에어컨 가동 시 입자 농도가 감소하는 정도를 상대적으로 비교하기 위해 입자 감소율을 활용하였다. 입자 감소율을 계산하기 위해 1차 질량보존방정식을 활용하였다.

$$\frac{dC_i}{dt} = P \cdot A \cdot C_o - (A + K)C_i + \frac{E}{V} \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서,  $C_i$ 는 실내 입자 농도 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ],  $C_o$ 는 외기농도 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ],  $P$ 는 침투계수(Penetration factor),  $A$ 는 환기횟수(Air exchange rate) [ $\text{h}^{-1}$ ],  $K$ 는 침착률(Decay rate) [ $\text{h}^{-1}$ ],  $E$ 는 발생률(Emission rate) [ $\mu\text{g}/\text{h}$ ],  $V$ 는 실의 체적 [ $\text{m}^3$ ]이다.

입자의 감소율( $L$ )은 침기와 침착으로 인한 감소율을 합한 것으로 다음 식 (3)을 통해 계산할 수 있다.

$$\ln\left(\frac{C_i(t) - C_i(0)}{C_i(t_d) - C_i(0)}\right) = -L(t - t_d) \quad (\text{Eq. 3})$$

여기서,  $C_i(0)$ 는 입자 측정 초기의 실내 입자 농도 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ],  $C_i(t_d)$ 는 감소 기간(decay period) 초기의 실내 입자 농도이다.

### 3. 측정 결과 및 분석

#### 3.1. 기류 흐름 패턴 비교

Fig. 6.은 기류 가시화를 통한 에어컨 토출 기류 패턴을 나타낸 것이다. 실험결과 Case 1의 경우, 약풍 모드로 에어컨을 가동했음에도 수평 기류가 2m 이상 뻗어 나가는 것으로 나타났다. 토출구에서 나온 수평 기류는 2m 정도 도달한 후에 냉방기류가 확산되는 것이 관찰되었다. 반면 Case 2의 경우, 유속이 느려 수평기류가 1m까지 도달하지 않았다. 이로 인해 실내 공간 전체의 기류 속도가 현저히 낮게 형성되었다.

실내 온도의 경우, ASHRAE의 실내 권장 냉방 설정온도는 25°C이다.[20] 실험기간내 권장된 실내온도를 맞추기 위하여 설정온도를 24°C로 설정하여 실험을 진행하였다. 실험기간 동안 실의 가운데 지점(Measuring point)을 기준으로, Case 1의 경우 24.6(± 0.18)° C, 습도 62.4(± 2.01)%, Case 2의 경우 25.2(± 0.17) ° C, 습도 49.2(± 2.68)% 로 측정되었다.

#### 3.2. 입자 농도 분석

##### 1) 호흡역 높이(1.2m)

Fig. 7.은 호흡역 높이(1.2m)에서 에어컨 가동 시 시간에 따른 입자 확산 농도를 분석한 것이다. 분석 결과, Case 1은 최고농도는 427.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, Case 2는 입자 발생 직후 최고농도가 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

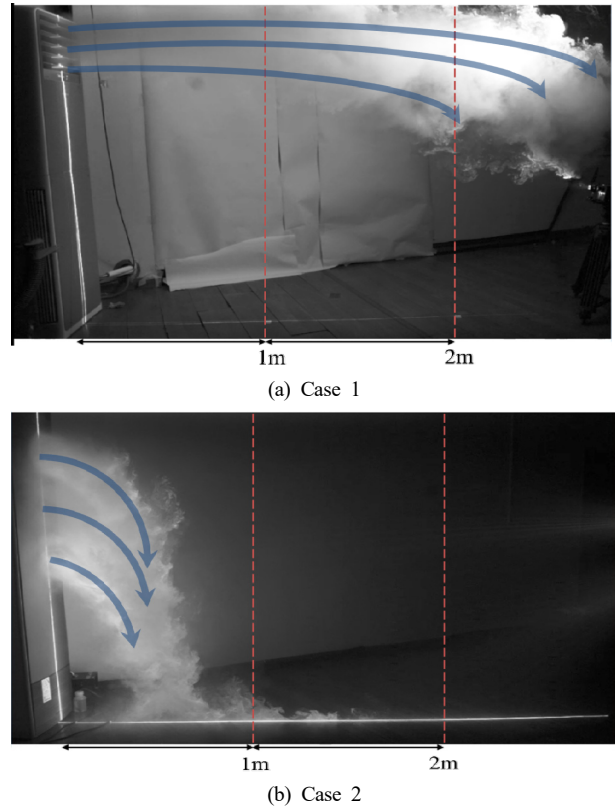


Fig. 6. Flow pattern of air-conditioning conditions

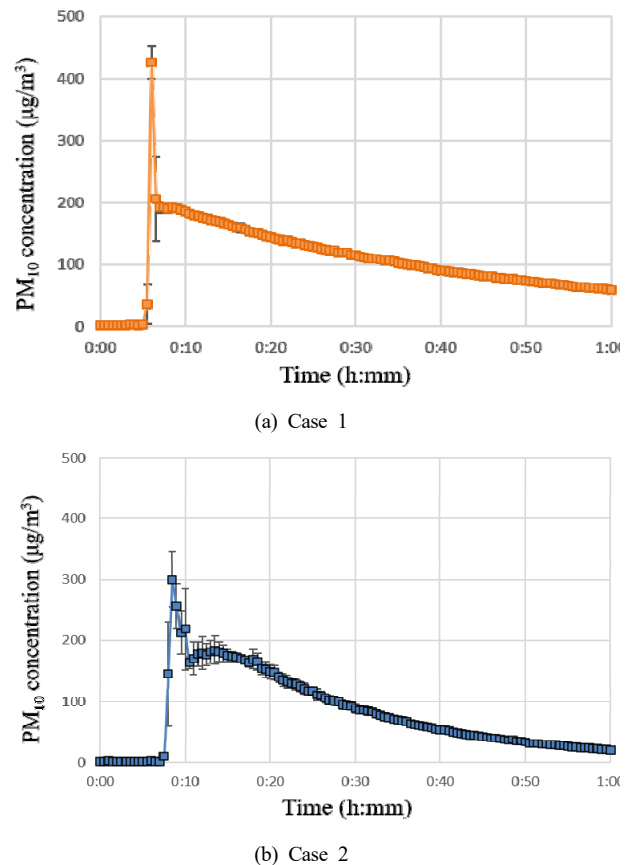
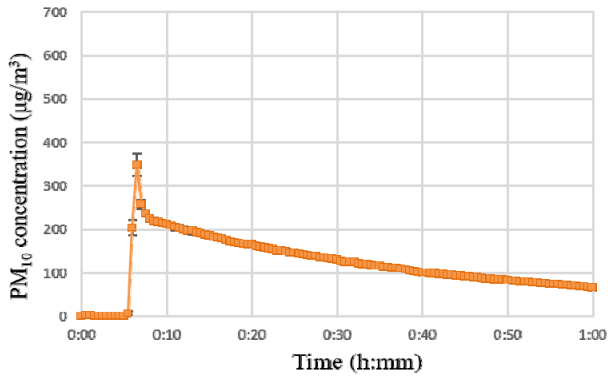
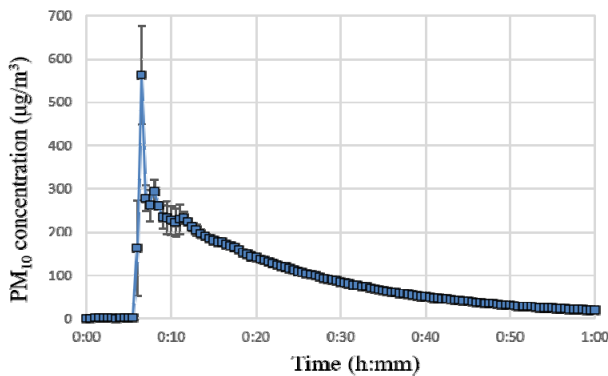


Fig. 7.  $PM_{10}$  concentration of 1.2m height





(a) Case 1



(b) Case 2

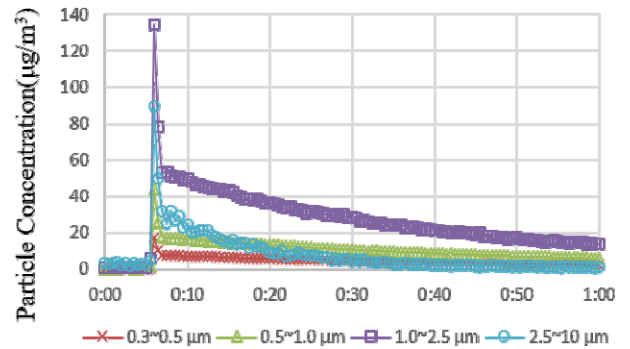
Fig. 8.  $PM_{10}$  concentration of 0.2m height

Case 1의 경우, 토출구에서 나오는 바람의 유속이 빠르기 때문에 입자 발생 직후 2m 거리까지 입자가 가라앉지 않고 고농도의 입자가 확산한 것으로 보인다.

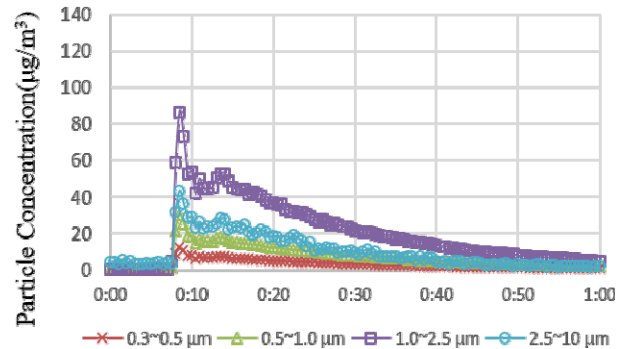
반면, Case 2는 입자 발생 직후 최고농도가 Case 1의 농도보다 30%가량 더 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Case 2의 경우, 실험실 중앙 부분에서 유속이 0.15m/s 이하로 느리므로 입자 발생 초기에 바닥에 침착되는 입자가 상대적으로 많기 때문으로 판단된다. 두 케이스 모두 초기 입자 발생 후 농도가 지속적으로 감소된다. Case 1의 경우, 가동 1시간 후 농도는  $59.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1시간 경과 후에도 상당히 높은 농도로 유지되었다. 반면, Case 2는 1시간 후 농도가  $20.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 크게 감소하였다. Case 2를 가동할 경우 공기 중 부유하는 입자들도 더 빠르게 감소하는 것으로 나타났다.

2) 바닥 근처 높이(0.2m)

Fig. 8.은 바닥 근처 높이 (0.2m)에서 에어컨 가동 시 시간에 따른 입자 확산 농도를 분석한 것이다. Case 1의 최대농도는  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 호흡역 높이에서의 최대농도  $427.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮다. 이는 Case 1 가동 시 바닥으로 가라앉은 입자보다 공기 중에 떠다니는 입자가 더 많다는 것을 나타낸다. 반면, Case 2의 농도는 바닥 높이에서의 최대농도가  $562 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 호흡역 높이에서의 최대농도  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 1.9배 정도 높은 것으로 측정되었다. 이것은 Case 2 가동 시에는 거주자 위치에서 발생한 입자들이 비교적 낮은 유속으로 인해 상대적으로 빠르게 가라앉기 때문이다. 따라서, 실내 공간에서 비말 발생 시 Case 2유형을 가동하는 것이 Case



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 9. Concentration by particle size at 1.2m

1 가동 조건 대비 공기 중 부유하는 입자량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3) 입자 크기별 시간에 따른 농도 변화

Fig. 9.은 측정 결과 중 대표사례의 입자 크기 별 시간에 따른 농도 변화를 보여준다. 측정 결과 실험 과정에서 발생한 입자 중  $1.0\sim 2.5 \mu\text{m}$  크기의 입자가 가장 큰 비율을 차지했다. 입자의 크기가  $2.5 \mu\text{m}$  이상인 상대적으로 큰 크기의 입자들은 Case 1과 Case 2 가동 시 입자 발생 후 빠르게 감소하는 것으로 나타났다. 그러나  $2.5 \mu\text{m}$ 보다 작은 크기의 입자들은 Case 1을 가동했을 때 최고농도도 높고 측정 종료 후 농도 또한 상대적으로 높은 것으로 측정되었다. 이 결과를 통해 Case 1을 가동했을 때 작은 크기의 입자는 바닥에 가라앉지 않고 공기 중에 부유하는 시간이 긴 것을 알 수 있다.

4) 호흡역 높이(1.2m)에서의 입자 크기별 최대농도

Table 2.는 호흡기 높이의 입자 크기 별 최고농도를 보여준다. 입자의 최고농도는 입자 발생 초기에 순간적으로 확산되는 농도를 나타낸다. 초기 확산하는 입자는 모든 입자 크기에서 Case 1이 Case 2보다 농도가 높게 나타난다. 이는 Case 1 가동 시에 거주자가 기침하는 경우 발생한 입자들이 2m 떨어진 거리에 있더라도 빠르게 전파될 수 있다는 것을 나타낸다. 특히, 기침 시 발생하는 침방울과 유사하며 비말감염의 원인이 되는 직경  $5 \mu\text{m}$  이상의 입자는 Case 2를 가동할 경우 농도가 Case 1 대비 67% 정도 낮아 2m의 사회적 거리두기 시 효과가 더 높을 것으로 판단된다.

Table 2. Maximum of each case at 1.2m measuring point

Type	Particle size(μm)					PM <sub>10</sub>
	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~2.5	2.5~5	5~10	
Case1(A)	15.1	38.3	119.1	51.7	26.8	427.5
Case2(B)	10.8	26.8	76.8	30.6	8.9	300
Reduction rate((B/A-1)*100)	29%	30%	36%	41%	67%	30%

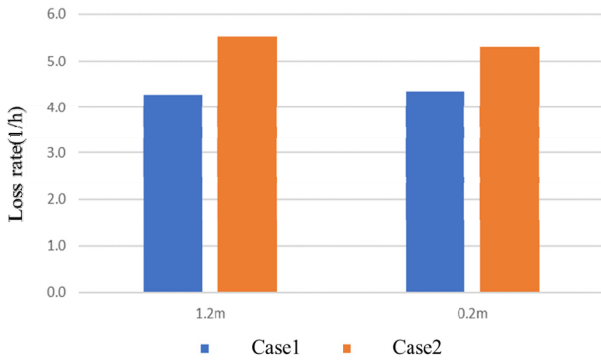


Fig. 10. Comparison of loss rate by height based on PM10

Table 3. Loss rate by particle size

Type	Particle size(μm)				
	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~2.5	2.5~5	5~10
Case1(A)	4.27	4.13	4.28	4.85	7.39
Case2(B)	5.41	5.42	5.60	5.76	8.13

### 3.3. 감소율 비교

앞서 에어컨 종류에 따른 비말 확산 정도를 비교하기 위하여 순간 확산되는 최대 입자 농도를 비교해 보았다. 최대농도 비교는 감염의 가능성이 큰 고농도 상황에서의 비교 방법으로 초기 비말 발생 시 전파 가능성을 판단하였다. 그러나 공기 중 부유하는 입자의 감소 효과를 판단하기 위해서는 시간에 따른 감소량을 비교해야 한다.

본 연구에서는 Case 1과 Case 2의 공기감염 위험성 판단을 위한 입자의 감소 정도를 비교하고자 감소율을 활용하였다. Fig. 10.은 감소율 측정 결과를 나타낸 것이다. 1.2m의 호흡역 높이에서는 평균 감소율이 Case 1은 4.28, Case 2는 5.52로 약 29% 감소율 차이가 나타났다고, 0.2m의 바닥 근처 높이에서는 평균 감소율이 Case 1은 4.35, Case 2는 5.30으로 약 22% 감소율 차이가 나타났다.

Table 3.은 입경 별 감소율을 나타낸 것이다. 모든 입경 대에서 Case 1보다 Case 2가 감소율이 높게 나타났다. 입경 중에서도 크기가 5~10 μm인 입자가 가장 감소율이 높게 나타났다. 입자의 크기에 따라 입자가 가라앉는 속도가 달라질 수 있다. 입경 별 감소율 분석 결과 큰 입경대일수록 실내 유속이 느려짐에 따라 감소하는 효과가 큰 것으로 분석되었다.

## 4. 결론

최근 에어컨 가동으로 인한 코로나 바이러스의 감염사례가 보고

되고 있기 때문에 비말 발생 시 에어컨 가동할 경우 비말 확산을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 하절기 유속이 거의 없는 에어컨 사용 시 비말 확산 저감 효과 분석을 위한 입자 방출 실험을 진행하였다. 실내 공간에서 비말 발생 상황을 모사하고 에어컨 가동 방식 변화에 따라 비말 확산이 저감되는 효과를 분석하였다.

입자 농도 비교 결과, 입자 확산 시, 순간 최대농도는 Case 2(저풍속 에어컨)가 Case 1(일반에어컨)보다 약 30%가량 낮게 나타났다. 입경 별로 살펴보았을 때, 바이러스 전파 가능성이 높은 입경이 큰 입자(>5 μm)의 경우, Case 2가 Case 1보다 67%가량 낮게 나타났다. 가시화 실험을 통하여, Case 1과 Case 2의 기류 흐름을 시각적으로 확인하여 확산 양상을 확인할 수 있었다. 고농도뿐 아니라, 전반적인 입자 확산 차이를 살펴보기 위한 감소율 비교에서는 Case 2가 Case 1보다 약 22%~29%가량 감소율 또한 높게 나타났다. 에어컨 가동 조건에 따라 비말입자의 감소율이 달라지는 이유는 에어컨 가동 조건 별 실내 유속으로 인한 비말의 침강이 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 실험을 통해 실내 비말 확산에 있어 풍속이 큰 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 따라서 여름철 에어컨 사용이 불가피한 경우, 비말 확산의 예방을 위해서는 낮은 풍속을 조성하여 비말 전파 가능성을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 동일한 조건 하에서 에어컨 가동 방식의 변화에 따른 입자 농도를 분석하였고 저감효과를 확인했다. 이러한 결과를 통해 최근 이슈로 떠오르고 있는 에어컨 가동 시 코로나바이러스 확산에 대한 해결방안으로 에어컨 가동 방식 변경을 고려할 수 있다. 하지만 다양한 방출 조건이나 풍량 조건에 따른 영향에 대해서는 충분히 분석하지 못했다. 향후 추가 실험이나 시뮬레이션 분석을 통해 다양한 조건에서 일반적인 에어컨과 저풍속 에어컨의 비말 확산 저감 효과를 분석하여 보완한다면 실내공간의 코로나바이러스 확산 연구에 더 큰 기여를 할 수 있을것으로 기대된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019M3E7A1113095).

## Reference

- [1] Wang, D. et al., Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-infected Pneumonia in Wuhan, China. *Jama*, 323(11), 2020, pp.1061-1069.
- [2] Asadi, S. et al., The Coronavirus Pandemic and Aerosols: Does COVID-19 Transmit via Expiratory Particles? *Aerosol Science and Technology*, 54(6), 2020, pp.635-638.
- [3] Morawska, L. & Cao, J. Airborne Transmission of SARS-CoV-2: The World should Face The Reality. *Environment International*, 139, 105730, 2020.
- [4] World Health Organization (WHO), Infection Prevention and Control of Epidemic-and Pandemic Prone Acute Respiratory Infections in Health Care - WHO Guidelines. 2014 [https://www.who.int/csr/bioriskreduction/infection\\_control/publication/en/](https://www.who.int/csr/bioriskreduction/infection_control/publication/en/)
- [5] Lindsley, W. G. et al., A Cough Aerosol Simulator for the Study of

- Disease Transmission by Human Cough-Generated Aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 47(8), 2013, pp.937-944.
- [6] Pica, N. & Bouvier, N. M., Environmental Factors Affecting the Transmission of Respiratory Viruses. *Current Opinion in Virology*, 2(1), 2012, pp.90-95.
- [7] Bourouiba, L., Dehandschoewercker, E. & Bush, J. W., Violent Expiratory Events: On Coughing and Sneezing. *Journal of Fluid Mechanics*, 745, 2014, pp.537-563.
- [8] Prateek Bahl. et al., Airborne or Droplet Precautions for Health Workers Treating Coronavirus Disease 2019, *The Journal of Infectious Diseases*, <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa189>, 2020.
- [9] Li, H. et al., Dispersion of Evaporating Cough Droplets in Tropical Outdoor Environment. *Physics of Fluids*, 32, 113301, 2020.
- [10] Kutter, J. S. et al., Transmission Routes of Respiratory Viruses Among Humans. *Current Opinion in Virology*, 28, 2018, pp.142-151.
- [11] Fernstrom, A. & Goldblatt, M., Aerobiology and Its Role in the Transmission of Infectious Diseases. *Journal of Pathogens*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/493960>
- [12] 안광석, 기초과학연구원(IBS), 코로나19 과학 리포트 1, 2020. // (K.S Ann, Institute for Basic Science (IBS), COVID-19 Science Report 1, 2020. [https://www.ibs.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR\\_00000000971/selectBoardArticle.do?ntld=18391&pageIndex=1&searchCnd=&searchWrds=](https://www.ibs.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_00000000971/selectBoardArticle.do?ntld=18391&pageIndex=1&searchCnd=&searchWrds=))
- [13] Ministry of Health and Welfare, Current Status of Coronavirus Infectious Disease-19 in Korea (Regular Briefing), 2020. <http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?contSeq=359184>
- [14] J. Lu, et al., COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, *Emerging Infectious Diseases*, 26, 2020, pp.1628-1631.
- [15] 박현수, 가전제품 최신 동향. 전력전자학회지, 제24권 제6호, pp.32-37. // (H.S. Park, Home Appliances Latest Trends. *KIPE Magazine*, 24(6), 2019, pp.32-37.)
- [16] TSI(Trust Science Innovation), Aerosol Instrument Manager® Software for Scanning Mobility Particle Sizer™ (SMPS™) Spectrometer, 2010.
- [17] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA. U.S. 2013.
- [18] Gupta, J. K et al, Flow dynamics and characterization of a cough. *Indoor air*, 19(6), 2009, pp.517-525.
- [19] Yu, J. et al. Impact on Airborne Virus Behavior by an Electric Heat Pump (EHP) Operation in a Restaurant During Winter Season. *Building and Environment*, 200, 107951, 2021.