

도심 내 버스정류장 부근의 에어로졸 입자 크기 및 형상 관찰

정 상 빈 · 허 기 준 · 신 창 훈 · 조 원 경 · 이 병 욱¹⁾

¹⁾건국대학교 기계공학과 입자공학 및 생명공학 연구실

(2016년 8월 16일 투고, 2016년 12월 29일 수정, 2016년 12월 30일 게재확정)

A Study on the Shapes of Aerosol Particles at a Bus Stop in the Eastern Part of Seoul

Sang Bin Jeong, Ki Joon Heo, Chang Hoon Sin, YuanQing Zhao, and Byung Uk Lee¹⁾

¹⁾*Aerosol and Bioengineering Laboratory, College of Engineering, Konkuk University*

Abstract

People in metropolitan cities can be exposed to particulate air pollutants at public transportation systems such as bus stops. In this study, we sampled aerosol particles with an impactor at a bus stop. We analyzed the shapes of these particles with an optical microscope. It was estimated that fibers, silicons, byproducts of combustion, and pollens existed in the air environments at the bus stop with analysis of shapes of sampled particles.

Keywords : Particulate air pollution, Shape, Bus stop

* Corresponding author.

Tel : +82-2-450-4091; Fax: +82-2-447-5886

E-mail : leebu@konkuk.ac.kr

1. 서 론

에어로졸(aerosol)이란 대기 중에 부유하는 고체 또는 액체상으로 존재하는 입자상의 물질들을 통칭한다. 에어로졸은 우리가 호흡하는 공기 속에 부유하면서 기후, 생태계 뿐 아니라 위생학적 문제를 일으킬 수 있다(Hinds., 1999). 그렇기 때문에 에어로졸에 대한 관심은 점점 증가하고 있으며, 환경오염물질로 분류되고 있다. 특히 PM10으로 분류되는 지름 10 μm 이하의 미세먼지와 PM2.5로 분류되는 지름 2.5 μm 이하의 초미세먼지는 호흡기 질환(Baron and Willeke, 2001; Hinds, 1999), 어린이들의 급성 천식 발병률(Kim., 2004), 청소년의 알레르기성 폐 기능 저하(Bowatte et al., 2016)와도 관련이 있기 때문에, 최근 많은 관심을 받고 있다.

도심 내 에어로졸 발생의 많은 원인 중 대표적인 것은 바로 자동차이다. 자동차의 연소기관은 미세먼지, 황산화물, 질산화염, 오존 등과 같은 다양한 오염물질들을 배출하며(Kittelson., 1998), 여기서 발생하는 미세먼지는 심혈관을 수축시켜 고혈압, 심장질환의 원인이 될 수 있다(Brook et al., 2002; Ibaldu-Mulli et al., 2004). 현대인들은 도심 내 주요 대중교통 수단인 버스를 이용할 경우 직접적으로 오염물질에 노출될 가능성이 있다. 이런 오염물질로부터 사람들을 보호하기 위해선 오염원의 크기, 형상과 같은 다양한 정보들이 필요하다. 본 연구의 목적은 버스정류장에서 사람들이 직접 흡입할 가능성이 있는 입자들의 형상 및 크기를 관찰함으로써, 건강에 해가 되는 오염물질들을 제어할 수 있는 기술 발전의 기초정보를 제시하는 것에 있다.

2. 실험 방법

Fig. 1.에서 측정을 실시한 버스정류장(북위 37°32'45.8", 동경 127°04'36.1")의 위치를 확인할 수 있다. 측정할 장소는 서울 광진구에 위치한 버스정류장으로, 인근에는 두 개의 대학교와 밀집된 상권, 지하철역, 6차선 대로가 있다. 샘플러는 버스정류장으로부터 서쪽으로 1 m, 바닥에서부터 높이 0.4 m인 곳에 설치하였으며 1회 10분, 총 6번의 측정을 실시했다.

에어로졸 채집을 위하여 샘플러(Bio-Culture sampler, Buck bio-culture, Model B30120, A.P. Buck, Inc., Orlando, Florida, US)를 사용하였다. 샘플러는 임팩터 타입으로, 유량은 100 L/min이며 아가 플레이트(Agar plate) 위에 포집 할 경우 컷-오프 사이즈(Cut-off size)는 7 μm 로 알려져 있다(Yao and Mainelis, 2006). 그러나 본 연구 결과 컷-오프 사이즈보다 작은 크기의 입자들이 다수 포집됨을 확인하였다. 공기 중 입자들은 샘플러 내 400개의 노즐로 빨려 들어간 후, 미리 설치한 지름 8.5 cm의 원형 아가플레이트(Nutrient agar, extract 3%, pepton 5%, and agar 15%) 위로 퇴적되었다. 퇴적된 입자들을 슬라이드 글라스에 옮겨 CCD Camera(INFINITY1, Lumenera Co, Canada)가 부착한 광학현미경 (ECULIPSE ME600, Nikon, Japan)과 470-490 nm 여과 필터를 거친 할로겐 광원으로 관찰하였다.



Figure 1. Location (sky view) of measurement campaigns.

3. 결과 및 고찰

3.1 입자 농도 측정

측정실험은 2016년 4월에 이뤄졌으며, 평균 온도는 $20.9 \pm 0.6^\circ\text{C}$, 평균 습도는 $35.3 \pm 1.6\%$ 였다. 한국환경공단에 따르면, 측정당시의 광진구 PM10 농도는 $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 농도는 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. PM10 농도는 풍향, 풍속, 습도 등 기상인자에 영향을 받으며, 디젤기관 연소 산화물의 직경은 습도에 직접적으로 영향을 받는다는 것을 참고하였다 (Shin et al., 2007; Kim et al., 2002).

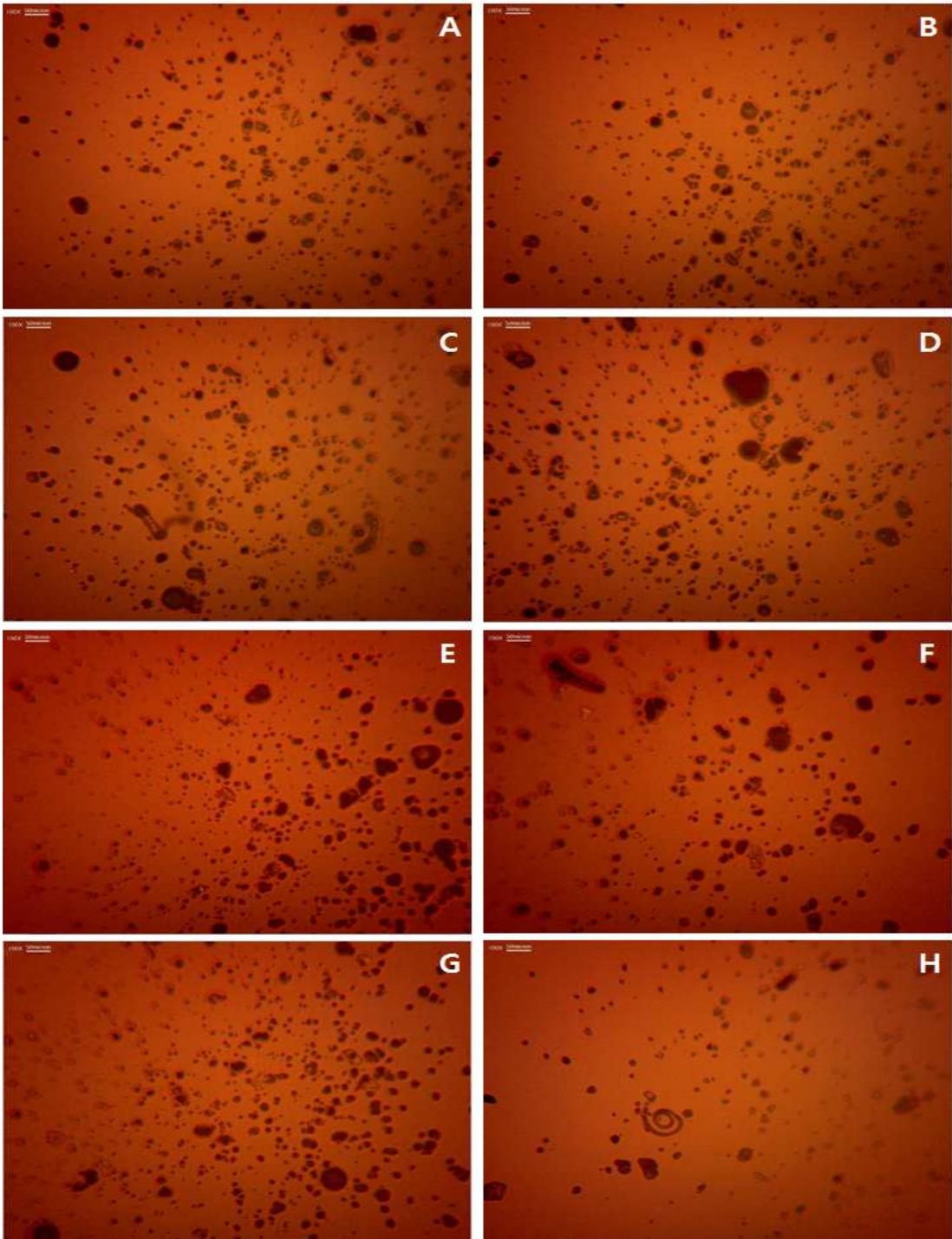


Figure 2. Sampled aerosol particles. Scale bar represents 50 μm .

Table 1. Number concentration of particles ($n \times 10^5$ particles / m^3) from Fig. 2A, 2B, 2C, and 2D.

Particles Diameter	Fig. 2A	Fig. 2B	Fig. 2C	Fig. 2D	Average
From $1 \mu m$ to $2.5 \mu m$	3.23	3.00	2.84	3.46	3.14 ± 0.27
Less than $10 \mu m$	25.0	23.5	23.5	29.6	25.4 ± 2.48
Over $10 \mu m$	17.0	15.3	15.3	17.6	16.3 ± 1.17
Total Particles	42.0	38.8	38.8	47.2	41.7 ± 3.91

Fig. 2.는 임팩터를 통해 채집한 입자들을 광학 현미경을 이용하여 촬영한 사진이다. Fig. 2.의 A부터 F는 총 6번의 측정 당시의, 각각의 측정실험 샘플을 대표하는 사진들이며, G와 H는 특이한 형상의 입자를 추가로 나타낸 것이다. 임팩터의 컷-오프 사이즈 ($7 \mu m$)보다 작은 입자들을 포함한, 다양한 크기와 형상의 입자들이 포집되었으며 Fig. 2. 의 A, B, C, D 조건에 대하여는, 특별히 입자 수 카운팅을 통해 단위부피당 입자 수(입자 수농도)를 측정하였다.

$$NAP = \frac{\text{Surface area of agar plate}}{\text{Surface area of photograph}} \times NCP$$

NCP : The number of counted particles in the photograph

NAP : The number of particles on the agar plate
 Measured Volume = Flow rate of Impactor (m^3/min)
 \times Measurement Time (min)

The number concentration of particles (Particles/ m^3)
 = NAP / Measured Volume

Fig. 2.의 각각의 이미지 크기는 0.684 mm^2 이며, 측정실험에 사용한 아가 플레이트의 지름은 8.5 cm 이다. 부피는 임팩터의 유량(100 L/min)과 측정시간(10 min)을 통해 구하였으며, 이를 통해 구한 농도 결과

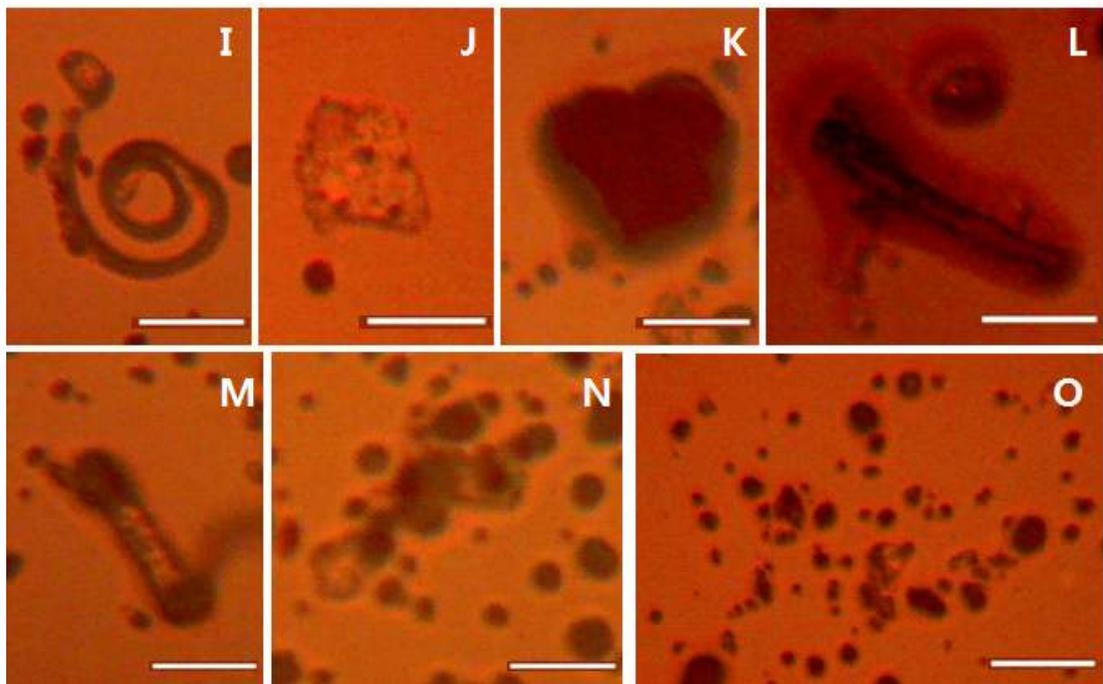


Figure 3. Shapes of aerosol particles. Scale bar represents $50 \mu m$.

를 Table 1.에 표시했다. 미세먼지로 표현되는 직경 10 μm 이하 입자의 수농도는 전체농도의 약 40%를 차지했으며, 초미세먼지로 표현되는 직경 2.5 μm 이하 입자의 수농도는 전체수농도의 약 7.5%였다. 전체 평균 수농도는 $41.7 \pm 3.91 \times 10^5 \text{ particles/m}^3$ 였다.

3.2 입자 형상 관찰

Fig. 3.는 포집된 입자들 중 구분된 형상을 지닌 입자들을 Fig. 2.에서 확대한 사진들이다. 입자(I)는 도돌이표 모양의 지름 100 μm 의 입자로서 섬유(fiber)구조로 된 먼지이며 지름 5~7 μm 의 미세먼지들이 달라붙어있는 것을 확인할 수 있다. 입자(J)는 대각선 길이 75 μm 의 규소(silicon) 형태의 입자이며, 황사 입자들 중 일부가 포집된 것으로 추정된다. 입자(K)에서 포집된 먼지는 면적이 약 7500 μm^2 로 비교적 큰 편이었으며, 디젤기관의 불완전 연소(combustion)물질(Part et al., 2008)로 추정된다. 입자(L)은 길이 120 μm , 높이 14 μm 의 막대형태의 입자이며, 입자(M)은 양 끝에 지름이 약 18 μm 인 원형의 구조물이 보이는 꽃가루(pollen) 형태의 먼지라 판단된다. 입자(N)은 미세 입자들의 주요 행동양상 중의 하나인 응집(coagulation)을 보여준다. 입자들의 지름은 1~11 μm 로 다양한 크기 분포를 보이며, 입자들의 투명도 또한 다양하다. 마지막으로 입자(O)는 지름 2.5 μm 이하의 다양한 흡입가능한(respirable) 먼지들의 형상을 보여준다.

4. 결 론

대로변에 인접하며 유동인구가 많은 버스정류장에서, 다양한 모양과 크기의 대기 입자 들의 존재를 확인하였다. 특히 포집된 입자들 중 Fig. 3.의 입자(O)와 같이 지름 2.5 μm 이하의 먼지들은 호흡기 깊은 곳으로 흡입이 가능할 수 있는 먼지들이다. 추가연구에서 광학입자측정기(Optical particle counters)나 에어로졸 분광계(Aerodynamic particle size spectrometer)와 같은 기기를 동시에 활용한다면 작은 입자들의 정확한 수농도 및 농도에 따른 입자형상 변화 추이를 관측할 수 있을 것이라 예상된다. 이번 연구는 공공시설물 주변에서의 공기질 개선 연구에 활용될

수 있을 것이라 기대된다.

감사의 글

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2015R1D1A1A09056879).

참 고 문 헌

Baron, P. A., & Willeke, K. (2001). *Aerosol Measurement : Principles, Techniques, and Applications*. A Wiley-Interscience Publication.

Bowatte, G., Lodge, C. J., Knibbs, L. D., Lowe, A. J., Erbas, B., Dennekamp, M., & Thomas, P. S. (2016). Traffic-related air pollution exposure is associated with allergic sensitization, asthma and poor lung function in middle age. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*.

Brook RD, Brook JR, Urch B, Vincent R, Rajagopalan S, Silverman F. (2002). Inhalation of Fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults. *Circulation*, 105(13) : 1534-1536

Hinds, W. C. (1999). *Aerosol Technology : Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particle*. A Wiley-Interscience Publication.

Ibald-Mulli, A., Timonen, K. L., Peters, A., Heinrich, J., Wölke, G., Lanki, T., & Brink, H. M. (2004). Effects of particulate air pollution on blood pressure and heart rate in subjects with cardiovascular disease: a multicenter approach. *Environmental Health Perspectives*, 112(3), 369.

Kim, J. J. (2004). "Ambient air pollution: health hazards to children." *Pediatrics*, 114(6), 1699-1707.

Kim, D., Gautam, M., & Gera, D. (2002). Parametric studies on the formation of diesel particulate matter via nucleation and coagulation modes. *Journal of Aerosol Science*, 33(12), 1609-1621.

- Kittelson, D. B. (1998). Engines and nanoparticles: a review. *Journal of aerosol science*, 29(5), 575-588.
- Park, I. J., Jang, M. S., Lee, M. H., & Han, J. S. (2008). A Study on Physico-chemical Characteristics of Aerosol in Seoul Using SEM-EDX. *Korean Society for Atmospheric Environment*, 46, 144-145
- Shin, M. K., Lee, C. D., Ha, H. S., Choe C. S., & Kim, Y. H. (2007). The Influence of meteorological factors on PM10 concentration in Incheon. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 23(3), 322-331.
- Yao, M., & Mainelis, G. (2006). Investigation of cut-off sizes and collection efficiencies of portable microbial samplers. *Aerosol Science and Technology*, 40(8), 595-606.