

3E4) 수도권지역 미세먼지의 입경분포 Particle Size Distribution of Seoul Metropolitan Area

유민경 · 조석연 · ¹한진석 · ¹이석조
 인하대학교 환경토목공학과, ¹국립환경연구원 대기연구부

1. 서 론

대기에서 입경에 따른 먼지의 무게농도를 측정하는 방법은 cascade impactor와 MOUDI(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor) 등이 비교적 잘 정립되어 있는 반면, 입경에 따른 먼지 개수를 측정하는 방법에 대한 연구는 아직 미진한 상태이다(McMurry, 2000).

현재 시도되고 있는 먼지 입경별 개수 측정방법은 SMPS와 APS를 결합하여 직경 0.005~10 μm에 이르는 먼지의 입경에 따른 개수를 측정하는 방법이다. 그러나, 일반대기 조건에서 SMPS와 APS의 정확성이 문제시되는데, 특히 0.5~10 μm의 먼지를 대상으로 하는 APS는 대기에서 포집 효율이 낮을 수 있으며 또한 저농도에 대한 정확성도 문제될 수 있다(Shen et al, 2002; Kim et al., 2002).

SMPS가 대기중 직경 0.1 μm이하의 초미세 먼지를 비교적 정확히 측정할 수 있으며, 초미세 먼지는 인체 유해도와 관련이 높아서 초미세 먼지 자체만으로도 중요한 의미를 갖고 있다는 점에서 초미세 먼지의 입경별 개수에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근의 연구는 미국 서부 도시에서 초미세 먼지 개수는 먼지 내 원소탄소(elemental carbon) 무게와 높은 상관 관계를 갖고 있는 것으로 보고 되고 있다. 그러나, 우리나라 도시 대기는 미국 서부 도시보다는 노후된 대기(aged plume)의 특성을 갖고 있으므로 일차오염물질인 원소 탄소보다는 유기 탄소 혹은 질소 산화물로 구성되어있을 가능성이 있으나 이에 대한 연구는 미진한 상태이다. 본 연구는 SMPS-APS system을 이용하여 수도권 지역의 먼지 입경 분포 특성을 파악함을 목적으로 한다. 이를 위해서 서울과 인천에서 8월, 10월과 1월에 각각 10일 3시간 간격으로 먼지 입경 분포를 측정하여 먼지 입경 분포의 일변화와 계절적 변화 특성을 조사하였다.

2. 연구 방법

미세 먼지(10 μm이하 먼지)의 입경 분포를 실시간으로 측정하기 위해서 입경 범위 0.005~0.5 μm인 먼지를 측정할 수 있는 SMPS(Scanning Mobility Size Analyzer)와 입경 범위 0.5~10 μm인 먼지를 측정할 수 있는 APS(Aerodynamic Particle Sizer)를 결합한 SMPS-APS system을 구성하였다. 본 시스템은 매 1~5분간 공기를 채취하여 실시간으로 입경 분포를 측정할 수 있으나, 장비의 안정성 등을 고려하여 매 3시간마다 측정만 하였다. 2002년 8월 5일부터 8월 22일까지, 2002년 10월 21일부터 10월 27일까지와 2003년 1월 16일부터 25일까지의 총 3회 측정을 수행하였다. 측정은 매 3 시간 주기로 시행하였으며, 각 주기마다 3~5회를 연속측정하고 이의 평균치를 산출하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

배출원의 먼지는 단일 통계 함수로 입경 분포를 나타낼 수 있지만, 대기중의 먼지는 아래와 같이 3~5개의 로그 정규 분포의 합으로 입경 분포를 나타낸다.

$$n_M^0(\log D_p) = \sum_{i=1}^N \frac{N_i}{(2\pi)^{1/2} \log \sigma_i} \exp\left(-\frac{(\log D_p - \log \overline{D_{pi}})^2}{2 \log^2 \sigma_i}\right)$$

APS는 공기 역학 직경을 기준으로 사용하지만 SMPS는 electro-mobility 직경을 사용한다. 따라서 위의 식을 적용하기 위해서 본 연구에서는 SMPS의 electro-mobility 직경을 공기 역학 직경으로 변환하여 새로운 입경 분포를 산출하였다.

이러한 과정을 거쳐 서울 전농동과 인천 용현동에서 SMPS-APS system으로 측정된 입경분포를 검토하여 본 결과, 필요한 정규분포 함수의 개수는 3개로 나타났다. 아래 표는 nucleation mode에 해당하는 mode I의 직경은 용현

동과 전농동이 각 각 0.045와 0.031 μm 로 계산되었는데, 본 직경에서 SMPS의 정확도가 높지 않으므로 두 개 측정소 간의 직경 차이는 큰 의미가 없다. 그러나, accomodation mode에 해당하는 mode II에서 용현동은 대표직경이 0.122 μm 인 반면에 전농동에서는 이에 두 배에 해당하는 0.213 μm 으로 나타났다. 이와 같은 현상은 전농동에 대기가 용현동의 대기보다는 광화학 반응적으로 성숙되어 입자가 많이 성장하였음을 의미한다.

Table 1. The size distribution parameters derived from the measurements in Incheon and Seoul on August 13, 2002.

	YongHyuDong, Incheon			JeonNongDong, Seoul		
	mode I	mode II	mode III	mode I	mode II	mode III
$N(\text{cm}^{-3})$	4.28×10^3	1.68×10^4	5.26	1.94×10^4	1.63×10^4	7.37
$D_p(\mu\text{m})$	0.045	0.122	1.025	0.031	0.213	2.345
$\log\sigma$	0.038	0.051	0.044	0.018	0.048	0.042

참고 문헌

- Kim, S.H, Shen, S., Sioutas, C., Zhu, Y., Hinds, W.C.(2002). J. of Air and Waste Management ssciation, Vol. 52, 297-307.
- Shen, S., Jaques, P.A., Zhu, Y., Geller, M.D., Sioutas, C.,(2002). Atmospheric Environment, 3939-3950.