

# Andersen 시료채취기를 이용한 도시대기중 부유입자상 물질의 입도분포 측정

## Determination of Size Distribution of Atmospheric Particulates in Urban Air Using Andersen Sampler

李 龍 根 · 金 萬 九 · 元 廷 鎬

延世大學校 理科學科 化學科

Yong Keun Lee Man Goo Kim and Jeong Ho Won

Department of Chemistry, College of Science Yonsei  
University, Seoul 120, Korea

### ABSTRACT

Mass size distribution of atmospheric particulates were measured using an Andersen sampler in urban air. The atmospheric particulates were fractionated in eight stages of an Andersen sampler operating at 28.3 l/min and collected on polyester sheets. A quartz filter was placed behind the last stage collect permeated particulates. The size distribution of atmospheric particulates were divided around 1-2  $\mu\text{m}$  into two groups, coarse and fine particulates regardless of sampling times. The variation of course particulates concentration was higher than fine particulates among sampling times. Different meteorological conditions and natural phenomena brought high variation of course particulates' concentration. The rain caused removal of coarse particulates seriously and the yellow sand may take part in a increase of the course particulates in spring. The average concentration of atmospheric particulates to be collected by Andersen sampler was 170.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  during 3 times of sampling. Among them the average concentration of atmospheric particulates which could penetrated under a bronchi and alveoli were 70.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 36.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively.

### 1. 서 론

도시대기중에는 여러가지 종류의 오염물질이 방출되고 있으며 이들 오염물질중 특히 부유입자상 물질이 환경에 미치는 영향에 관하여 최근 많은 관심이 집중

되고 있다.

부유입자상 물질은 생체의 호흡기관에 침적되거나 점막을 자극하여 호흡기 질환을 일으키고 전파의 산란 및 가시거리 저하의 원인이 되며 대기의 복사 평형및 기후에도 직접, 간접적인 영향을 끼치고 있다.<sup>1,2)</sup> 특히, 5  $\mu\text{m}$  이하의 부유입자상 물질은 사람의 호흡기

에 잘 침투하며 1 μm보다 작은 입자는 폐포에의 체류가 감소된다.<sup>3)</sup> 또 태양복사는 0.1 ~ 1.0 μm 범위의 입자에 의해서 많은 영향을 받는다.<sup>4)</sup> 또한 대기중의 부유입자상 물질은 입도에 따라서 각각 다른 화학적, 물리적 성질을 갖고 있다.<sup>5)</sup> 그러므로 부유입자상 물질에 대한 대기질의 평가에 있어서 부유입자상 물질의 농도 및 화학적 조성과 더불어 입자의 크기를 알 수 있는 입도분포 역시 중요한 기초자료가 된다.

이와같은 이유로 부유입자상 물질을 입도별로 등급 포집하는 Andersen 시료채취기<sup>6)</sup>가 근래에 많이 사용되고 있다. Andersen 시료채취기는 부유입자상 물질을 포집판에 관성 충돌시켜 등급 포집하는 장치로서 각단의 등급 입경은 공기역학적인 계산<sup>7)</sup>에 의해서 결정된다.

일반적으로 도시대기중 10 μm 이하인 부유입자상 물질의 질량 입도분포는 1 ~ 2 μm를 경계로 성질이 다른 2개의 입자 집단으로 구성되어 있다고 보고되어 있으며<sup>8~10)</sup> 우리나라에서도 조<sup>4)</sup>가 서울의 대기 혼탁도를 조사한 결과 입경이 1 μm 부근에서 최소가 된다고 보고한 것과 김<sup>11)</sup>이 지면 근처의 부유입자상 물질의 체적분포를 조사한 결과 1.1 ~ 2.1 μm에서 안장점 (saddle point)을 가지는 두 봉우리 모양을 나타낸다는 보고 등이 이를 잘 뒷받침하여 주고 있다.

이와같은 입도분포를 히스토그램화 하거나, 분포곡선으로 표시할 때 stage 0와 backup 필터에 포집되는 최대 입자와 최소 입자들의 크기가 혼히 문제가 되어 왔다.<sup>12)</sup>

본 연구는 Andersen 시료채취기로 포집한 부유입자상 물질의 입도분포를 나타낼 때 문제점으로 대두되는 시료채취기에 포집되는 최대, 최소 분진의 입도를 electron probe microanalyzer (EPMA)로 관찰하고 1985년 상반기에 Andersen 시료채취기로 포집된 부유입자상 물질의 질량 입도분포에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1 포집장소

대기중 부유입자상 물질은 시료채취기의 보안 전원 등의 문제점을 고려하여 연세대학교 정문 수위실 옥상에서 포집하였다. 이 지점은 지상 3m 정도의 높이이다.

### 2.2 포집기간

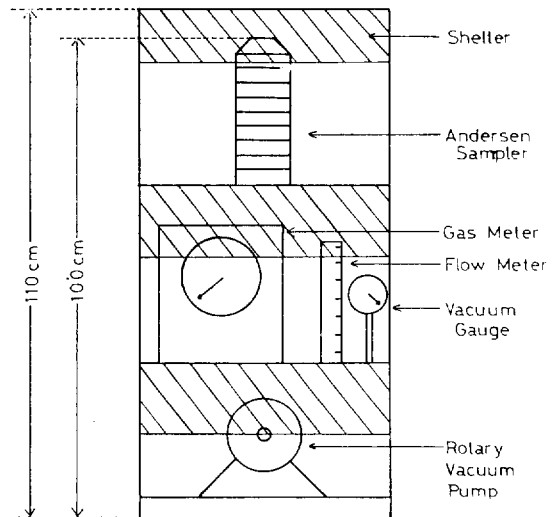
1985년 3월 19일 부터 29일 까지, 6월 1일부터 9일까지, 6월 17일부터 26일까지 3회에 걸쳐 포집하였으며, 4,5월은 소요로 인하여 포집할 수 없었다.

### 2.3 포집 및 측정방법

대기중, 부유 입자상 물질의 등급 포집에 사용한 Andersen 시료채취기는 Kanomax사의 Model 13351 Mark II형을 사용하였으며, 시료채취 장치의 구성은 <그림 1>과 같이 맨 윗칸에 시료채취기, 중간단에 가스미터, 유량계와 진공계, 하단에 진공펌프의 순서로 3단으로 구성하였으며 우천시에도 계속하여 포집할 수 있게끔 각 단의 윗부분에는 개폐식의 뚜껑을 설치하였다. 포집기간중 Andersen 시료채취기의 공기 흡입 유속을 28.3ℓ/min (1CFM, 1 atm)으로 유지시키기 위하여 하루에 2번씩 압력과 온도의 차이를 식 (1)에 따라 보정하여 유속을 조정하였다.

$$V_0 = V_r \times C_p \times C_t \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $V_0$ 는 표준상태 (0°C, 1 atm)에서의 유속,  $V_r$ 는 실험조건에서의 유량계의 유속,  $C_p$ 는 압력보정계수,  $C_t$ 는 온도보정계수이며, 각각 (2)식과 (3)식으로 표시된다.



<그림 1> Collection device for andersen sampler

$$C_p = \sqrt{\frac{10336 - \Delta P}{10336}} \dots\dots\dots (2)$$

$$C_t = \sqrt{\frac{273 + T_0}{273 + T}} \dots\dots\dots (3)$$

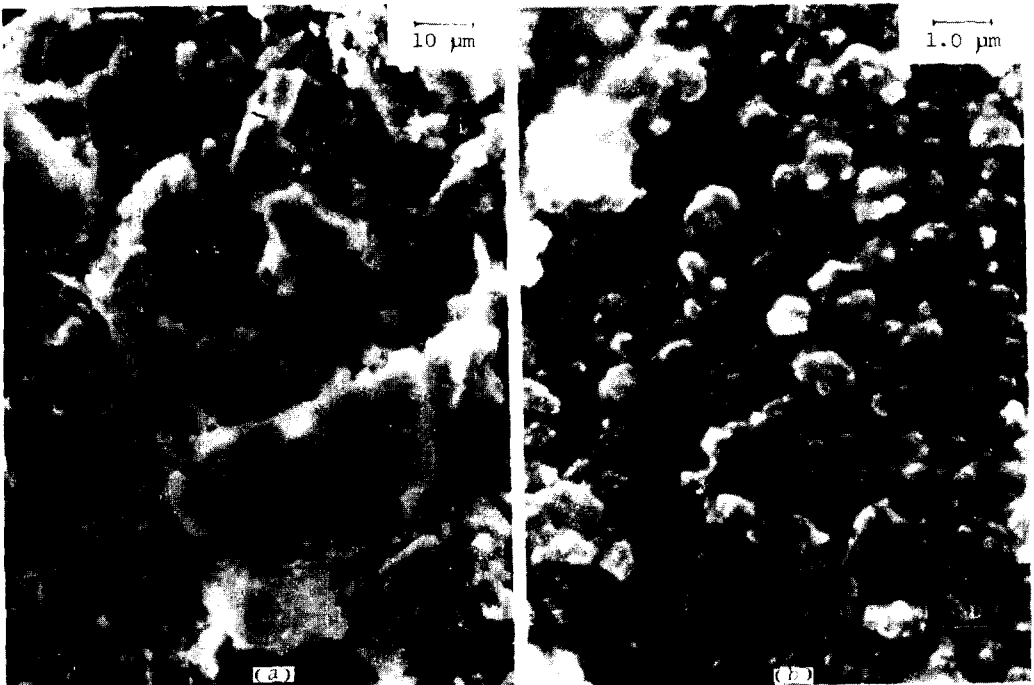
여기서  $\Delta P$ 는 대기압과 시료채취기 내의 압력의 차이 (mm H<sub>2</sub>O)이고 T는 대기의 온도 (°C), T<sub>0</sub>는 유량계의 설계조건온도 (°C)이다. 본 실험에서 사용한 유량계는 20°C에서 설계된 것이므로 T<sub>0</sub>는 20으로 계산하여 보정하였다. 포집판은 Andersen 시료채취기에 부착된 둥근 스테인레스판 (d=80 mm) 위에 같은 크기와 모양으로 만든 두께 0.075 mm의 polyester 판을 깔고 그위에 부유입자상 물질을 포집하였다. Backup 필터는 석영필터 (I.D 47 mm)를 사용하였다. 또 포집된 부유입자상 물질들은 흡습성이 크므로 평량하기 전에 충분히 플라스틱 사베속에 넣어 CaCl<sub>2</sub> 수용액으로 실온에서 상대습도 50%로 조절한 비시케이더 속에서 2일 이상 방치 시킨후 0.01 mg 까지 평량할 수 있는 Electronic semi-microbalance(Mettler, Model HK 60)를 사용하여 부유입자상 물질의 무게를 평량하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 입도분포 표시법

부유 입자상 물질의 입도분포를 나타내기 위해서는 Andersen 시료채취기의 맨 윗층에 포집되는 입자의 최대입도와 backup 필터에 포집되는 입자의 최소 입도 결정이 문제점으로 대두된다.<sup>10,12)</sup>

본 연구에서는 EPMA (JEOL, JCSA-733)를 사용하여 stage 0와 backup 필터에 포집된 입자들의 주사형 전자현미경 사진으로 부터 각각 최대, 최소 입도를 조사하고 Roesler<sup>13)</sup>, Kadowaki<sup>12)</sup>들이 제안한 값을 참고로 Andersen 시료채취기에 포집되는 부유입자상 물질의 최대 입도를 30 μm로 최소 입도를 0.08 μm로 결정하여 입도분포 곡선을 작성하였다. Stage 0와 backup 필터에 포집된 부유입자상 물질의 주사형 전자현미경 사진을 <그림 2>에 나타내었다. <그림 3>에는 1985년 3월 19일부터 29일 까지 포집된 부유입자상 물질의 입도분포를 히스토그램으로 나타내었다. 히스토그램으로 부터도 대략적인 입도



<그림 2> Scanning electron micrograph of atmospheric particulates to be collected Andersen sampler (a) stage 0 (x1000), (b) backup filter (x10000)

분포의 양상과 상호간의 정성적인 비교는 어느정도 가능하지만, 시료채취기의 각 stage에 포집되는 입자들의 입도 범위가 모두 틀린점을 반영하지 못하였으며 stage 0와 backup필터에 포집되는 입자들의 입도의 상한과 하한이 불명확하다. 그러므로 히스토그램의 높이가 각층에 포집된 양만을 나타낼 뿐이지 그림에 나타난 각 히스토그램의 면적은 농도에 관해서는 아무런 의미도 갖고 있지 않을 뿐만 아니라, 각 층에 포집되는 입도의 규격이 다른 시료채취기를 사용하여 얻은 측정치와는 비교할 수가 없다.

그러므로 각 층에 포집되는 입자들의 입도범위를 고려하여 농도를  $\Delta m / \Delta (\log_e d)$ 로 표시하여야 함이 마땅하다. 여기서  $\Delta m$ 은 Andersen 시료채취기 각 층에 포집된 부유입자상 물질의 질량농도 ( $\mu g/m^3$ )이며  $\Delta (\log_e d)$ 는 대수 변환시킨 각 층에 포집되는 부유입자상 물질들의 입도 폭이다.

포집기간중 3회에 걸쳐 포집한 부유입자상 물질의 각 stage 별 농도를 <표 1>에 나타내었으며 입도분포

를 구하기 위해 1985년 3월 19일부터 29일까지 포집한 부유입자상 물질에 대한 계산 실풀를 <표 2>에 표시 하였다.

<그림 4>에 포집기간중에 포집한 부유입자상 물질의 입도분포를 모두 한곳에 나타내었다. <그림 4>에 나타낸 입도분포 곡선 밑의 면적은 부유입자상 물질의 농도를 의미함으로 부유입자상 물질의 입도분포를 정량적이며 직관적으로 알 수 있다.

### 3.2 입도분포의 해석

3월에 포집한 부유입자상 물질은 포집기간중 황사 현상이 있어서  $2\mu m$  이상의 큰 입자무리의 봉우리가 다른 기간에 비하여 특히 크게 나타났으며 6월의 포집기간은 간헐적인 강우로 인하여 주로 자연현상에 의해서 발생하는  $2\mu m$ 크기 이상의 부유입자상 물질이 황사기간에 비하여 현저하게 줄어 들었음을 알 수 있다. 그러나 부유입자상 물질의 입도분포는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 포집시기에 관계없이 모두  $1\sim 2\mu m$

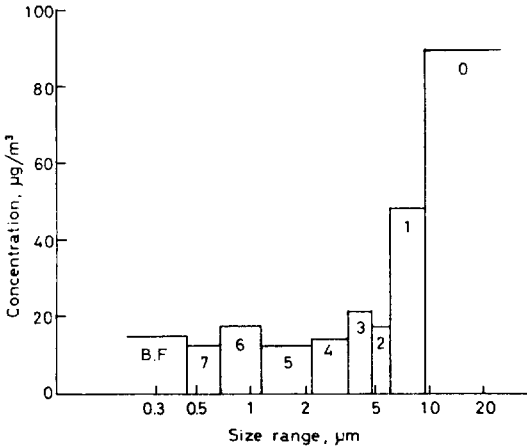
<표 1> Concentration of atmospheric particulates during March to June in 1985 ( $\mu g/m^3$ )

Sample No.	Sampling period	Stage									Backup filter	Total
		0	1	2	3	4	5	6	7			
1	19, Mar.-29, Mar.	89.9	48.2	17.4	20.2	14.0	12.3	17.2	12.3		14.5	246.0
2	1, Jun.- 9, Jun.	47.2	23.3	8.4	11.1	9.7	10.2	13.4	11.2		17.2	151.7
3	17, Jun.-26, Jun.	40.0	19.9	6.8	8.8	5.3	9.9	9.8	5.6		8.6	114.7

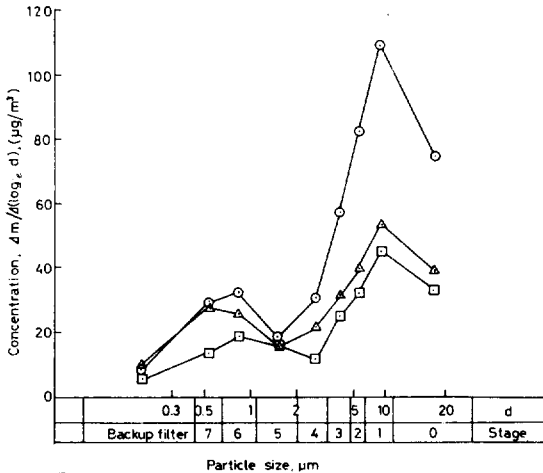
<표 2> Determination of size distribution of atmospheric particulates

stage	size range ( $\mu m$ )	weight of particulates (mg)	concentration of particulates $\Delta m (\mu g/m^3)$	$\Delta (\log_e d)$	$\Delta m / \Delta (\log_e d) (\mu g/m^3)$
0	9.0 - 30	36.21	89.85	1.203	74.6
1	5.8 - 9.0	19.42	48.18	0.439	109.6
2	4.7 - 5.8	7.02	17.42	0.210	83.0
3	3.3 - 4.7	8.14	20.20	0.354	57.1
4	2.1 - 3.3	5.63	13.97	0.452	30.9
5	1.1 - 2.1	4.94	12.26	0.647	19.0
6	0.65 - 1.1	6.94	17.22	0.526	32.7
7	0.43 - 0.65	4.96	12.31	0.413	29.8
Backup filter	0.08 - 0.43	5.86	14.54	1.68	8.6
Total		99.12	245.95		

\* Sampling period ; 19, Mar.-29, Mar. 1985. Air volume sampled : 403  $m^3$



〈그림 3〉 Histogram of size distribution of atmospheric particulates.



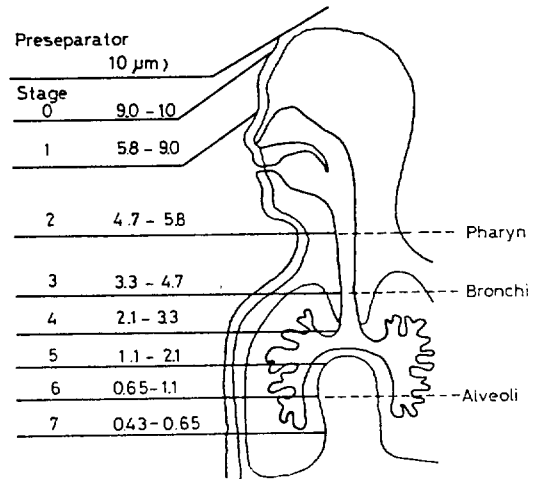
〈그림 4〉 Particle size distribution of atmospheric particulates sampling period; ○: Mar. 19-29 △: Jun. 1-9 □: Jun. 17-26

를 경계로 미세입자 (fine particulate) 와 큰 입자 (coarse particulate) 의 2개의 봉우리를 나타내었으며 이들은 거의 대수 정규분포에 따랐다. 이는 다른 지역에서 관찰된 도시대기중의 일반적인 현상<sup>8,10)</sup> 과도 잘 일치되었다. 또한 부유분진 입경이 1 $\mu$ m 부근에서 서울 대기의 혼탁도가 최소였다는 보고와 지면 근처의 부유입자상 물질의 체적분포가 1.1~2.1 $\mu$ m 에서

안장점을 가지는 두 봉우리로 나타난다는 보고 등<sup>4,11)</sup> 과도 일치되는 결과였다.

미세입자 무리와 큰 입자 무리의 포집 시기별 변화를 비교하여 보면 미세입자 무리의 변화보다 큰 입자 무리가 큰 변화를 나타내었다. 이는 큰 입자들은 중력 침강속도가 빠르며 비에 의한 제거 효과의 영향이 미세입자 보다 크게 작용되기 때문일 것이다.

Andersen 시료채취기로 포집하면 부유입자상 물질의 농도와 입도에 관한 정보를 얻을 수 있으므로 시료채취기의 각층에 포집된 부유입자상 물질의 농도로 부터 인체의 호흡기에 침투되는 부유입자상 물질의 농도를 알 수 있다. 〈그림 5〉에 시료채취기의 각 층에 포집되는 부유입자상 물질의 공기 역학적 입도와 인체의 호흡기를 대비하여 나타내었으며 이들 기초로 포집기간에 포집된 부유입자상 물질이 기관지와 폐포까지 침투될 수 있는 입자들의 농도를 〈표 3〉에 나타내었다. 3회의 포집기간중 기관지까지 침투할 수 있는 부유입



〈그림 5〉 Andersen sampler simulates human respiratory system

〈표 3〉 The concentration of atmospheric particulates penetrate to bronchi and alveoli

Sampling period	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Bronchi	Alveoli
19, Mar. - 29, Mar.	90.5	44.0
1, Jun. - 9, Jun.	72.8	41.8
17, Jun. - 26, Jun.	48.0	24.0
Average	70.4	36.6

자상 물질의 평균농도는  $70.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 페포카 지 침투할 수 있는 것은  $36.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 Andersen 시료채취기로 표집되는 총 부유입자상 물질의 각각 41%와 21%에 해당되었다.

#### 참 고 문 헌

1. J.H. Brown, K.M. Cook, F.G. Ney and T.F. Hatch, J. Amer. Public Health Assoc., **40**, 450 (1950).
2. R.J. Charson and M.J. Pilat, J. Appl. Meteor., **8**, 1001 (1969).
3. T.F. Hatch, Proc. of the Pneumoconiosis Conf., Johannesburg, p.113, J. & A. Churchill Ltd., London (1959).
4. 조희구, 한국기상학회지, **16**, 1 (1980).
5. M. Fujumura and Y. Hashimoto, Japan Analyst, **24**, 36 (1975).
6. A.A. Andersen, Amer. Ind. Hyg. Assoc. J., **27**, 160 (1966).
7. W.E. Ranz and J.B. Wong, Arch. Ind. Hyg. Occup. Med., **5**, 464 (1952).
8. M. Fujimura and Y. Hashimoto, J. Chem. Soc. Japan, 902 (1977).
9. K. Willeke and K.T. Whitby, J. Air pollut. Contr. Assoc., **25**, 529 (1975).
10. T. Nunokawa, T. Tabata and N. Shigemori, J. Japan Soc. Air Pollut., **14**, 458 (1979).
11. 김필수, 이창효, 김옥경, 김채욱, 김의훈, 한양대학교 환경과학 논문집, **5**, 5 (1984).
12. S. Kadowaki, Japan Analyst, **23**, 490 (1974).
13. J.F. Roesler, H.J.R. Stevenson and J.S. Nadar, J. Air Pollut. Contr. Assoc., **15**, 576 (1965).