

겨울철 서울도심의 대기중 부유분진의 특성

The Characteristics of Suspended Particulate Matters in Downtown Seoul During Winter Period

김 신 도 · 김 종 호 · 이 정 주¹⁾

서울시립대학교 환경공학과

¹⁾충청전문대학 환경공업과

(원고접수: 1992. 3. 4)

Shin-Do Kim, Jong-Ho Kim, Jeong-Joo Lee¹⁾

Dept. of Environmental Engineering, Seoul City University

¹⁾Dept. of Environmental Engineering, Chung Cheong College

(Received 4 March 1992)

Abstract

The characteristics of suspended particulate matters(dust) in Seoul had been studied. The effects of various environmental factors, such as passengers, motor vehicles, wind velocity, wind direction, temperature and humidity were examined during the study period. It was shown that the dust emission occurred through the heating was the major source, and the contribution of passengers and motor vehicles was relatively negligible during the night.

It was also revealed that the number concentration between $0.5\mu\text{m}$ and $2.0\mu\text{m}$ was increased due to the attachment among the dusts and mists by the increased humidity during the night.

Considering the fact that the particles larger than $2\mu\text{m}$ take the most part of weight concentration, it was suggested that the PM-10 method which considered respirable particle as a weighting factor should be adapted in the evaluation air quality.

1. 서 론

서울의 도심지역은 자동차의 배출가스, 건물의 밀집화, 산업활동의 다양화 등으로 대기오염이 더욱 심화되고 있으며 특히 부유분진은 여러가지 방지대책의 강구에도 불구하고 실질적인 개선을 보이지 못하여 일부 도시를 제외하고는 항시 환경오염기준치를 상회하고 있다(한국환경연감, 1990).

이러한 부유분진은 물리적 작용과 화학적 반응으로 생성되어 가시도 감소, 광산란 등, 환경에 직·간접으로 영향을 미칠 뿐만 아니라 인체에도 호흡기 질환 등의 건강에 유해한 영향을 미치고 있으며

(이윤재 등, 1986; Holt, 1986; Cadle et al., 1986)

이들 영향은 모두가 분진의 물리적 특성과 화학적 조성에 밀접한 관계를 갖고 있다(김필수 등, 1986; 이민희 등, 1982; 이용근 등, 1985; Flocchini, 1976).

외국에서는 부유분진의 입경별 특성에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나 (Whitby, 1975; Kuntson and Stockham, 1978; Shani et al., 1984), 우리나라에서는 부유분진 측정에 필터를 사용한 중량법이 표준화되어 있어 총량적인 파악은 하고 있으면서도 각 입경별 특성에 대한 연구는 미미한 실정이다.

이에 본 연구에서는 분진의 농도가 높다고 사료되는 겨울철 서울시내의 도심지역을 대상으로 대기 중의 부유분진의 중량농도 (mass concentration)와 입경별 개수농도 (이하에서는 개수농도 (number concentration)라 함)를 측정하여 입경별 특성을 밝히고, 분진의 농도에 영향을 줄 수 있다고 생각되는 동행인, 소형차량, 대형차량, 풍속, 풍향, 온도, 습도를 측정하여 분진농도와와의 상관성을 조사분석하였다.

2. 연구방법

2.1 조사지점과 측정기간

서울시내의 도심지역인 중구 을지로 6가에 위치한 10층 건물인 E빌딩 전면부(남향)의 1층 (3m), 5층 (13m), 9층 (25m)에서 외부 공기를 채취관을 통해 5층에 설치한 측정기로 각각 흡입하여 시각별로 분진의 중량농도와 개수농도를 측정하였다. 측정기간은 동절기의 중심대인 1986년 1월 15일~1월 17일의 3일간 실시하였다.

2.2 측정기기와 측정방법

중량농도의 시각별 농도까지를 측정하기 위하여 일본 Sibata사의 Digital Dust Indicator(이하 DDI라 함) P-3 Type으로 흡입된 공기에 빛을 조사하여 산란광의 세기로 10 μ m이하의 분진에 대해 중량농도를 추정하는 기기를 사용하였다.

개수농도는 일본 Dan Science사의 Dust Counter Model 82-3200으로 공기가 통과하는 곳에 빛을 조사하여 산란광의 세기(intensity)와 산란빈도(fre-

quency)로서 입경의 크기와 개수를 동시에 측정하는 원리를 이용한 기기를 이용하여 0.3~0.5, 0.5~1.0, 1.0~2.0, 2.0~5.0, 5.0~10.0 μ m의 구간으로 나누어 분진의 개수농도를 측정하였다.

온도, 습도, 풍향, 풍속은 옥상에 자기온습도계와 풍향풍속계를 설치하여 시각별로 외기의 변화를 측정하였다.

동행인, 소형차, 대형차의 통과횟수는 측정자가 1시간에 10분간 2회 계수하여 시간당 통행수로 환산하였다.

3. 측정결과

3.1 중량농도

각 층별로 측정된 농도를 그 시간의 농도로 추정하였다. 그림 1은 중량농도의 변화를 보여주는데 측정기간 동안 50~300 μ g/m³의 값을 보이고 있으며 밤중에 높은 농도를 보여주고 있다. 이는 야간에 기온이 저하됨에 따라 난방을 위한 연료사용의 증가와 대기안정도 및 혼합고의 저하에 의해서 대기 중의 분진농도가 높아진 것으로 사료된다(Sege et al., 1984; Mozurkewich, 1986).

또한 대체로 13m에서의 분진농도가 높고 25m, 3m의 순으로 나타났다. 이는 측정기가 13m에 위치함으로 25m에서의 농도는 채취관을 통하여 위에서 아래로, 3m에서의 농도는 아래에서 위로 약 11m를 흡입되는 과정에서 일부의 분진이 흡입관 내벽에 흡착되어 약간 낮게 나타나는 것으로 사료되며, 전체적인 농도의 추세는 비슷하게 나타났다.

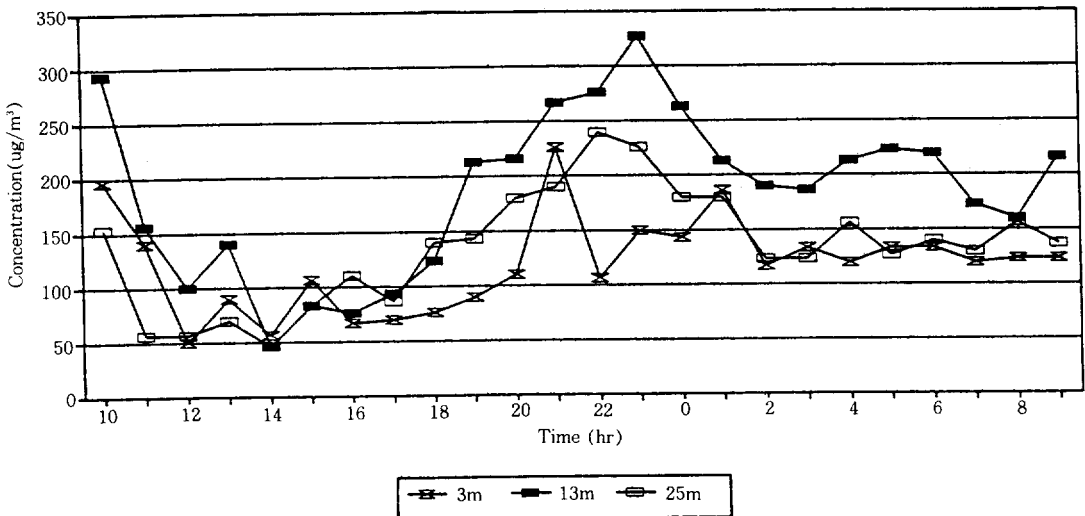


Fig. 1. Variation of particle mass concentration at each height

이후 채취관의 길이에 따른 분진의 흡착에 대한 연구를 더 진행할 예정이다.

3.2 개수농도

각 입경 범위별로 농도를 그림 2에 나타냈다. 0.3~0.5 μm 분진의 개수농도는 야간에 약간 감소하고 있으나 0.5~5.0 μm 의 분진은 야간에 약간 높은 특징을 보이고 있다. 이는 필터를 이용하는 중량농도의 측정에서는 필터 칭량시 필터에 포획된 수증기

의 양이 배제되거나 개수농도의 측정기에서는 한밤중이 되면서 습도가 상승하여 미세분진을 응축핵으로 하여 생겨나는 미스트가 검지되었기 때문으로 사료된다.

초청정공간(clean room)평가에서는 도심의 대기를 0.5 μm 이상의 분진이 3.5 $\times 10^7$ 개/cm³(class 100 만개/ft³) 정도로 보고되고 있는데 본 측정에서도 평균 2.7 $\times 10^7$ 개/cm³로 거의 같은 결과를 보이고 있다(Owen et al.,1990).

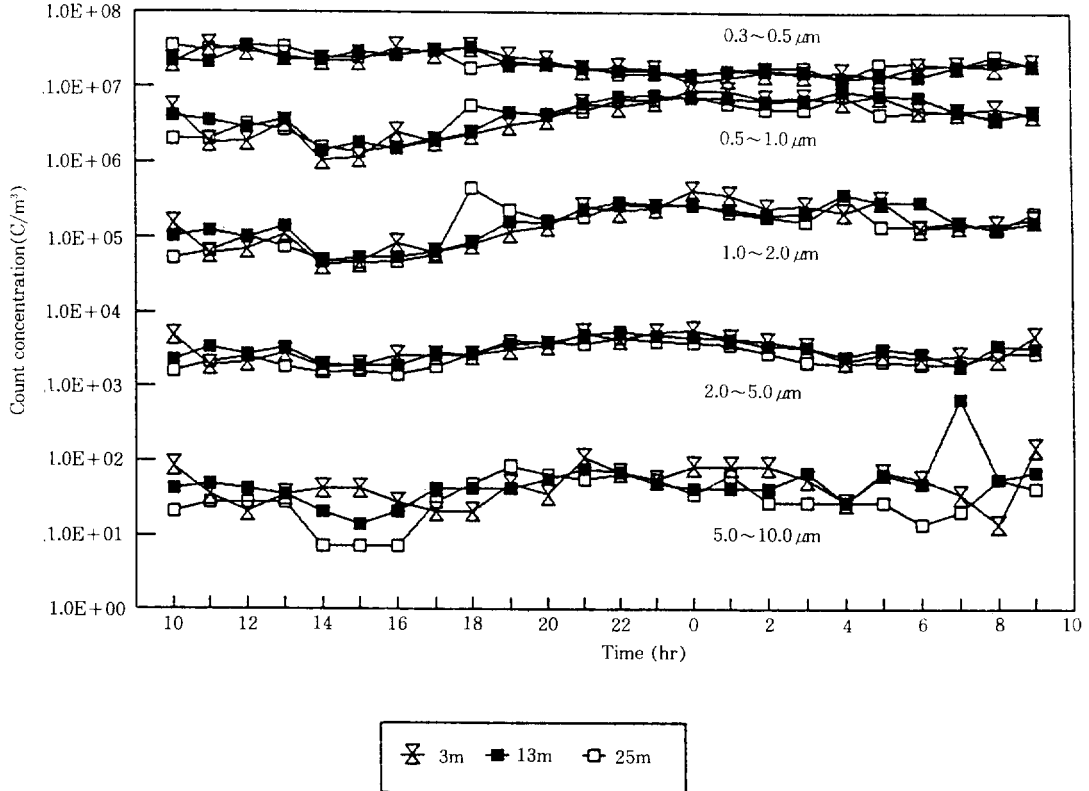


Fig. 2. Variation of particle number concentration in each interval

3.3 영향 인자의 변화

그림 3은 온도, 습도, 풍속, 통행인구와 통행차량의 변화를 보여준다. 풍속은 2 m/s 이하의 미풍이 지속되었으며 기온은 -1 ~ -5 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 변화를 보이고 상대습도는 50~75% 로 측정되었다. 전반적으로 온도와 습도는 역상관적인 관계로 야간에 기온이 하강하면서 습도가 상승하고 기상이 안정되면서 풍속이 약해지는 전형적인 겨울 날씨를 보여주고 있다. 또한 오후 1시경에 통행인구와 통행차량이 감소하고 있다. 이는 이때에 민방위 훈련으로 통행통제

가 있었기 때문이며 오후 11시경 부터 오전 6시까지 거의 통행인이 없다가 출근이 시작되는 오전 7시부터 급격히 증가하는 특성을 잘 보여주고 있다.

그림 4는 풍배도를 보여준다. 측정기의 정밀도 때문에 8방위로 분류하였으며 측정기간 중에는 북동풍이 약 24.8%를 차지하고 0.2m/s 이하의 미풍이 32.8% 를 차지했다. 본 측정은 전면부에서 실시하였으며 전편이 남향이므로 분진의 측정에는 풍향의 영향은 크게 작용하지 않은 것으로 사료된다.

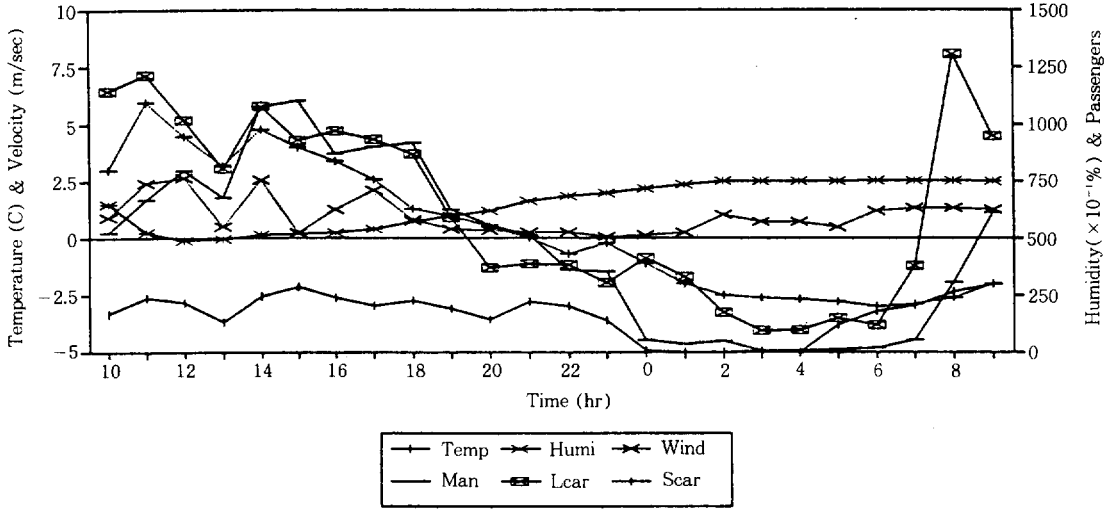


Fig. 3. Passengers and environmental factors

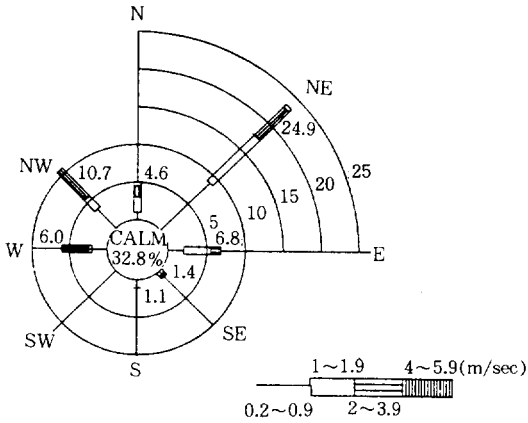


Fig. 4. Windrose

4. 고찰 및 분석

4.1 중량농도와 개수농도

입경별 개수농도와 중량농도를 중회귀분석한 결과는 다음과 같다.

$$W_i = -0.000049 C_{0.3-0.5} + 0.000138 C_{0.5-1.0} + 0.006413 C_{1.0-2.0} + 0.865182 C_{2.0-5.0} - 1.281695 C_{5.0-10.0} - 113.548544$$

W_i : 분진의 중량농도 ($\mu g/m^3$)
 $C_{0.3-0.5}$: 직경 0.3~0.5 μm 의 입자수

상관계수는 0.809로 비교적 좋은 상관을 보이고 있다. 그림 5에 윗 식에 의해 추정된 중량농도와 DDI에 의해 실측한 중량농도의 비교를 보여준다. 또한 위의 중회귀식의 계수를 살펴보면 입경이 클수록 계수가 커지고 있어서 조대분진이 중량농도에 크게 영향을 미치고 있음도 확인할 수 있다.

또한 농도가 낮은 범위에서는 예측치가 다소 높게 나타나나 농도가 높은 범위에서는 실측치가 약간 높게 나타나며 중량농도는 100~150 $\mu g/m^3$ 범위에서 가장 잘 맞고 있다.

그림 6은 각 분진을 구형의 입자로 가정하고 대표경을 이용하여 구한 체적으로 중량농도와와의 관계에서 밀도를 추정하여 Y축으로 하고 X축은 시간대로 하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 밀도는 1.0~4.0 g/cm^3 의 범위를 갖고 있으며 평균 2.4 g/cm^3 로 추정되었다.

표 1에 각 입경별 추정치를 보여준다. 표 1에서 보는 것과 같이 0.3~0.5 μm 의 작은 입경분진의 개수분율은 82.71%로 매우 높으나 중량농도의 기여율은 35.31%로 매우 낮게 나타나고 있다. 특히 5~10 μm 분진의 개수분율은 $1.8 \times 10^{-6}\%$ 로 거의 무시할 정도이었음에도 불구하고 중량분율은 0.50%로 중량농도에 크게 기여하고 있어서 우리나라도 대기질의 평가에 호흡성 분진을 가중 평가하는 PM-10 (particulate matters less than 10 μm as an aerodynamic diameter)규제의 도입을 적극 검토할 필요가 있다고 생각된다.

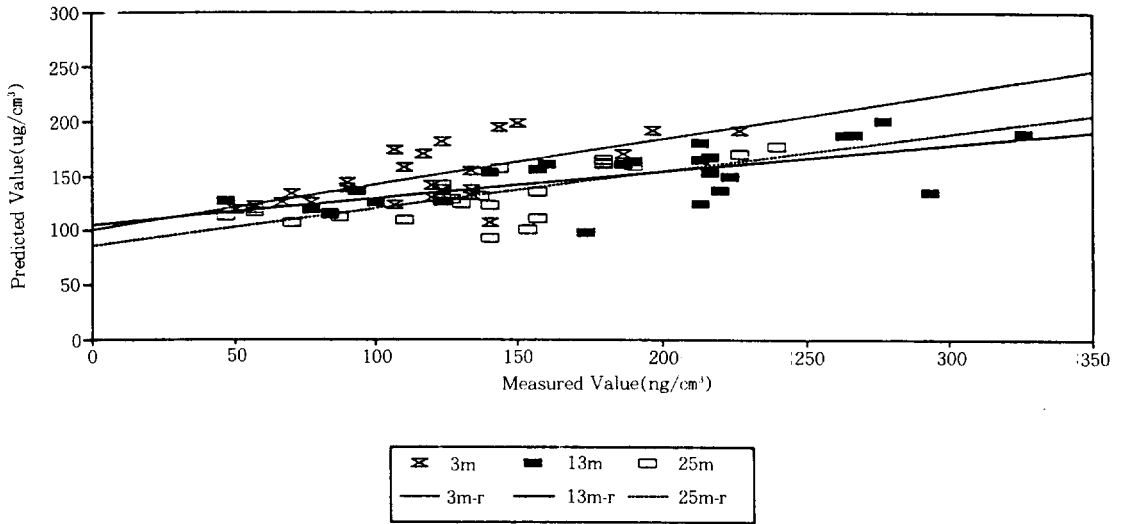


Fig. 5. Comparison between predicted and real mass concentration

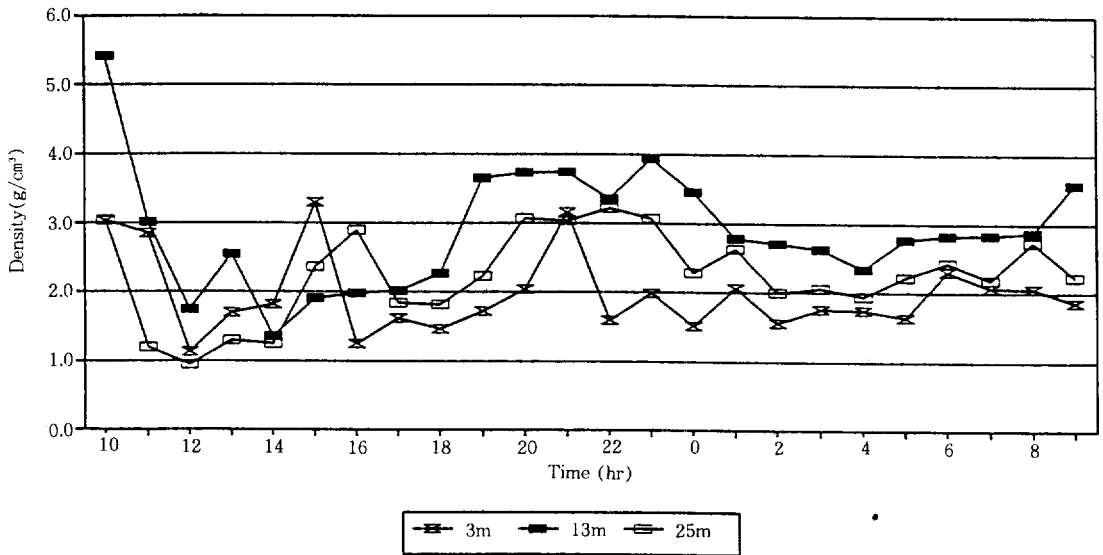


Fig. 6. Variation of density

Table 1. Comparison of each particle diameter range.

Diameter μm	d_i^* μm	Avg Particle Count/ m^3	Volume cm^3	Mass* g	Count frac. %	Mass frac. %	Mass frac. /Count frac.
0.3-0.5	0.4	22370664.2	7.5×10^{-7}	1.8×10^{-6}	82.71	35.31	0.43
0.5-1.0	0.75	4503109.7	9.9×10^{-7}	2.4×10^{-6}	16.65	46.86	2.81
1.0-2.0	1.5	169955.4	3.0×10^{-7}	7.2×10^{-7}	0.63	14.15	22.52
2.0-5.0	3.5	3003.9	6.7×10^{-8}	1.6×10^{-7}	0.011	3.18	286.02
5.0-10.0	7.5	48.4	1.1×10^{-8}	2.6×10^{-8}	1.8×10^{-6}	0.50	2814.39
Total		27046781.6	2.1×10^{-6}	5.1×10^{-6}	100.00	100.00	

*Note : d_i = mean diameter in each range
density = 2.4g/cm^3

4.2 분진농도와 영향인자

분진농도에 영향을 미칠 것으로 생각되는 요소와 분진의 중량농도와와의 상관관계를 표 2에 보여준다. 온도와 풍속이 증가함에 따라 분진의 농도는 감소하는 역상관의 관계를 보여주나 습도는 이와 반대로 정상관 관계를 보여준다(한의정 등, 1986). 이는 공기 중에 부유하는 분진이 습도가 높아짐에 따라 서로가 부착하여 커지거나 입자의 표면에 물을 흡착하여 거대해지기 때문으로 생각된다. 또한 기온과의 상관관계는 기온이 낮아지면 난방연료의 사용이 늘어서 분진의 배출이 많아지는 것으로 추정되며 풍속은 희석효과와 대기안정도와와의 관계로 해석할 수 있다. 그러나 통행인수, 통행차량은 증가하여도 분진의 농도는 낮아지고 있는데 이는 겨울철에 연료 사용에 따른 분진의 배출량에 비해 상대적으로 통행인과 통행차량에 의해서 배출되는 분진의 양이 적기 때문으로 사료된다.

Table 2. Coefficients of linear regression analysis among mass concentration number concentration, and various environmental factors.

	Y = A + BX		
	A	B	R
Temp.	148.836	-9.066 × 10 ⁰	-0.556
Humi.	-58.212	3.139 × 10 ⁰	0.669
W Vel.	187.783	-4.368 × 10 ¹	-0.726
Passenger	181.329	-7.758 × 10 ⁻²	-0.609
S-car	182.579	-5.942 × 10 ⁻²	-0.502
L-car	175.240	-1.822 × 10 ⁻¹	-0.367
NC _{0.3-0.5}	276.387	-5.857 × 10 ⁻⁶	-0.729
NC _{0.5-1.0}	61.628	1.859 × 10 ⁻⁵	0.764
NC _{1.0-2.0}	75.957	4.084 × 10 ⁻⁴	0.716
NC _{2.0-5.0}	20.546	4.155 × 10 ⁻²	0.813
NC _{5.0-10.0}	110.362	7.224 × 10 ⁻¹	0.453

Example : NC_{0.3-0.5} = Number of count through diameter 0.3~0.5μm

입경별 개수농도와 중량농도와와의 상관관계에서 0.3~0.5μm만이 역상관을 보이는 것은 앞에서 언급된 것과 같은 습도가 증가함에 따라 분진입자가 커지기 때문에 오히려 감소되는 것으로 생각된다. 또한 0.5~5.0μm까지는 비교적 상관계수가 높아서 중량농도가 높아짐에 따라 개수농도도 높아짐을 보여주고 있으나 5.0μm 이상의 거대분진은 상관계수가 낮게 나타나고 있다.

5. 결 론

서울시내 도심의 겨울철 분진 농도와 영향인자들을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 야간에는 중량농도가 증가하며 0.5~2.0μm 크기의 분진농도가 높게 나타났다. 이는 기온저하에 따른 난방연료의 사용이 급증하고 혼합기의 저하에 따른 분진농도 상승과 습도의 상승에 의한 영향으로 사료된다. 아울러 난방이 적거나 없는 다른 계절에 대한 연구도 계속 수행되어야 할 것이다.
2. 입경별 개수농도와 중량농도의 중회귀 상관계수는 0.8을 얻었으며 2μm이상의 조대분진이 중량농도에 미치는 기여율이 크다. 따라서 호흡성분진의 평가를 위한 PM-10 등의 도입이 적극 검토되어야 할 것이다.
3. 분진의 밀도는 1.0~4.0g/cm³의 범위이며 평균 밀도는 2.4g/cm³로 추정되었다.
4. 온도 및 풍속은 분진농도와 역상관 관계이고 습도는 분진농도와 정상관 관계를 보였다.
5. 겨울철의 분진농도는 난방 연료의 연소에 의한 분진 배출량이 차지하는 비중이 높아서 상대적으로 통행인이나 차량 등에 따른 분진 배출에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다.

〈 감 사 〉

본 연구는 1987년도 서울시 연구지원사업에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

김필수, 김윤장, 이양호, 조숙현, 안승태 (1986) 도시대기 Aerosol의 입자직경 0.01-1.0μm 범위의 농도변화 특성. 한국대기보전학회지, 2(2), 41-50.

이민희, 한의정(1982) 대기중 부유분진의 성분에 관한 조사 연구, 국립환경연구소보, 4, 27-47.

이용근, 김만구, 원정호(1985) Andersen 시료채취기를 이용한 도시대기중 부유입자상 물질의 입도분포 측정 한국대기보전학회지, 1(1), 93-98.

이윤재, 김희강 (1985) 조대입자가 대기부유분진에 주는 부하. 한국대기보전학회지, 1(1), 71-82.

한의정, 정용, 권숙표(1986) 한 도시분진의 유해성 입도분포에 대한 조사연구. 예방의학회지, 19

- (1), 25-26.
- 환경처 (1989) 한국환경연감, 제 2 호, 207-225.
- Cadle S.H., Dasch J.M.(1989) Atmospheric carbon particles in the Detroit urban area: winter-time sources and sinks. 10, 235-248.
- Fiocchini R.G., Cahill T.A.(1976) Monitoring California's aerosols by size & elemental composition. Environmental science and technology, 10, 76-82.
- Holt P.F.(1988) Inhaled dust and disease, John Wiley & Sons, 43-45.
- Knuston E.O., Stockham J.D.(1974) Chicago winter aerosol size spectra. Environmental Science & Technology, 12, 452-455.
- Mozurkewich M.(1986) Aerosol growth and the condensation coefficient for water: A Review, Aerosol Science and Technology, 5, 223-236.
- Owen M.K., Ensor D.S., Hovis L.S., Tucker W.G., Sparks L.E. (1990) Particle size distributions for an office aerosol, Aerosol Science and Technology, 13(4), 486-492.
- Sega K., Fugas M.(1984) Seasonal and spatial differences in mass concentration levels and particle size distribution of aerosol over an urban area. Atmosphere Environment, 18 (11), 2433-2437.
- Shani G., Haccoun A., Kushelevsky(1984) Aerosol and air pollution. Atmosphere Environment, 18(10), 2223-2229.
- Whitby K.T., Cantrell B.(1975) Atmosphere aerosols-characteristics and measurement, International conference on environmental sensing and assessment, 2, 29-1.