

Particle Size Distribution of Atmospheric Aerosols according to Meteorological Conditions in Seoul

김지연, 전영신, 조하만, 김시환
기상청 기상연구소 응용기상연구실

I. 서론

대기 중에 고체상 혹은 액상으로 존재하는 에어로졸은 입경 범위가 $10^{-9} - 10^{-4}$ m 로 매우 다양하며, 인간의 생활환경 및 자연환경에 많은 영향을 미치고 있다. 크기가 10^{-6} m 정도인 에어로졸은 인간의 호흡기 계통에 매우 해로운 것으로 알려져 있으며, 대기 중에 이러한 크기의 에어로졸의 농도가 높아지면 호흡기 질환자의 수가 급격히 증가하는데, 우리나라의 봄철 황사의 경우를 예로 들 수 있다. 또한, 최근에 지구 기후의 변화에 영향을 주는 한가지 요소로서 대기 중에 존재하는 에어로졸에 의한 복사 강제력에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 주로 화산 폭발이나 거대한 먼지 폭풍(dust storm) 등에 의하여 다량의 에어로졸이 대기 중에 공급되어 태양 복사가 지표에 도달하는 과정에 영향을 주고 대기의 물리 화학적 조성을 변화시키게 된다. 현대의 첨단 제조업 분야인 반도체의 제조 공정에서도 에어로졸은 제품 생산에 중요한 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

지표 부근의 대기 중에 존재하는 에어로졸은 기상 조건과 밀접히 연관되어 있는 것으로 알려져 있다. 바람에 의하여 에어로졸은 발생원으로부터 수송되어 다른 곳으로 이동 확산되기도 하며, 지표의 토양 입자를 부유 시켜 대기 중에 새로운 에어로졸을 생성시키기도 한다. 기온과 습도 등의 기상 요소는 에어로졸 입자 증의 수분을 증가 혹은 감소 시키고, 에어로졸의 흡착 및 분리과정에 밀접히 관련되어 있다. 강수나 황사등의 기상 현상을 대기 중의 에어로졸의 농도를 증가 혹은 감소 시키는 직접적인 하나의 요인으로서 작용한다.

본 연구는 대기 중 에어로졸의 분포에 중요한 요소로서 작용하는 기상 조건(기상요소 및 기상현상)에 따른 대기 중 에어로졸의 입경별 수농도 분포를 파악 하고자 한다.

II. 에어로졸의 입경별 관측

대기 중 에어로졸의 수농도 관측은 미국의 MicroAir사가 제작한 광산란식 입자 계측기(optical particle counter, Model: HIAC/ROYCO 5230)를 사용하여 기상연구소 4층(지상 약 10m) 또는 옥상에서 관측하였다. 광산란식 입자 계측기는 입자의 크기가 $0.3 \sim 25 \mu\text{m}$ 인 에어로졸의 입경별 수농도 측정이 가능하며, 본 연구는 1995년부터 1997년까지의 자료 중 봄철 관측자료를 사용하였다. 에어로졸의 입경별 수농도 관측은 입자의 입경별 구간(channel)으로 구분되는데 정상시에는 자동 관측인 8개 구간, 1시간 간격으로 관측을 실시하였고, 특별 관측은 29개 구간으로 세밀히 구분하여 3시간 간격, 비정기적으로 관측을 실시 하였다. 관측에 사용한 입경별 구간 영역은 Table 1과 같다.

Table 1. Aerosol size range for 8 and 29 observation channels(size unit: μm).

| 8 channel | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| cannel no. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| size range | 0.3-0.6 | 0.6-1.1 | 1.1-2.0 | 2.0-3.8 | 3.8-7.1 | 7.1-13.3 | 13.3-25.0 | >25.0 |
| 29 channel | | | | | | | | |
| channel no. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| size range | 0.30-0.35 | 0.35-0.41 | 0.41-0.48 | 0.48-0.56 | 0.56-0.66 | 0.66-0.77 | 0.77-0.91 | 0.91-1.06 |
| channel no. | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| size range | 1.06-1.24 | 1.24-1.46 | 1.46-1.71 | 1.71-2.00 | 2.00-2.34 | 2.34-2.74 | 2.74-3.21 | 3.21-3.76 |
| channel no. | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| size range | 3.76-4.40 | 4.40-5.15 | 5.15-6.03 | 6.03-7.07 | 7.07-8.27 | 8.27-9.69 | 9.69-11.35 | 11.35-13.29 |
| channel no. | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | | | |
| size range | 13.29-15.56 | 15.56-18.23 | 18.23-21.35 | 21.35-25.00 | >25.00 | | | |

III. 결과 및 고찰

3.1 에어로졸의 입경 별 모드 분포

대기 중 에어로졸은 발생원의 종류에 따라 특유의 모드 분포를 나타내게 된다. Fig. 1은 서울의 도시 지역 대기 중 에어로졸의 모드 분포를 파악하기 위하여 29채널로 215회 관측한 에어로졸의 입경별 분포 자료 중 1995년과 1996년의 봄철에 관측한 자료를 나타낸 것이다. 제 3채널(0.41-0.48 μm), 제 11채널(1.46-1.71 μm), 제 19채널(5.15-6.03 μm), 제 25채널(13.29-15.56) 등에서 극대값의 수농도가 나타났다. 계절 간의 비교에서는 봄철과 겨울철의 수농도 분포가 비슷하게 나타났고, 가을과 여름의 순으로 갈수록 수농도가 낮아져, 대기 순환과 강수에 의한 세정 등의 계절적인 요인에 의한 효과가 잘 나타났다. 하루 중의 시간별 비교에서는 대기가 안정한 06시경에는 전반적인 수농도가 낮았으나 15시경에 제 25채널 영역에서의 극대값이 다른 시간대 보다 크게 증가하였다. 이는 15시 경이 하루 중 저상 풍속이 가장 크게 나타남에 따른 지표부근 토양 입자의 부유에 기인한 결과로 해석된다. 두 번째 모드가 나타난 영역 부근의 8채널 관측자료 중 제 3채널(1.1-2.0 μm)에서의 에어로졸 수농도의 일변화는 Fig. 2에 제시하였다.

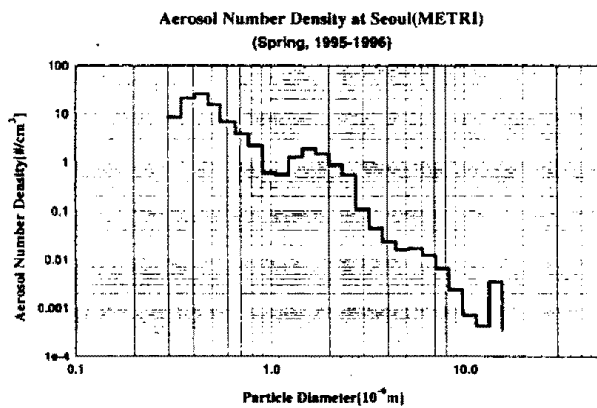


Fig. 1. Aerosol size distribution at Seoul(METRI).

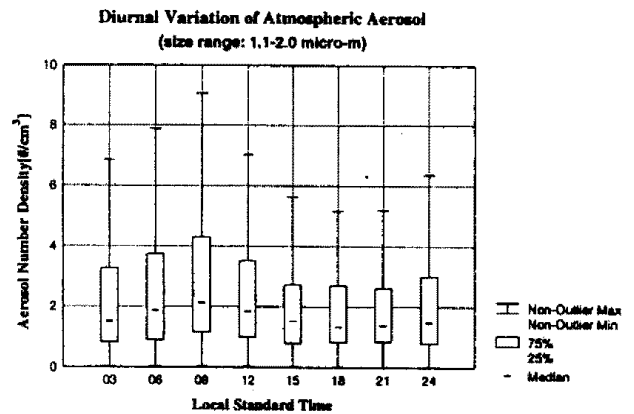


Fig. 2. Box plot for the diurnal variation of the size range of 1.1-2.0 μm .

3.2 습도와 의 관계

에어로졸의 입경별 수농도가 대기의 습도와 어떻게 관련되어 있는가를 파악하기 위하여 Fig. 1의 29채널 자료의 분석 결과에 나타난 주요 모드에 대응하는 8채널의 입경 영역에 대하여 습도와 의 관계를 살펴 보았다. Fig.3은 1.1-2.0 μm 영역의 에어로졸의 수농도와 습도와 의 관계를 나타낸 것이다. 습도가 증가함에 따라 에어로졸의 수농도가 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 상대습도 90% 부근에서는 수농도가 급격히 감소하는 것으로 나타나 강수에 의한 세정 효과를 뚜렷이 보였다. 습도와 에어로졸 수농도 사이의 직선 회귀식은 각 입경 영역 별로 아래와 같이 나타났다.

$$Y = 36.563 + 0.047 X \text{ (size range: } 0.3\text{-}0.6\mu\text{m)} \quad (1)$$

$$Y = 1.307 + 0.014 X \text{ (size range: } 1.1\text{-}2.0\mu\text{m)} \quad (2)$$

$$Y = 0.086 - 0.001 X \text{ (size range: } 3.8\text{-}7.1\mu\text{m)} \quad (3)$$

위의 식에서 나타난 바와 같이 회귀직선의 기울기가 입경의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타나 입경이 증가할수록 습도의 증가에 따른 에어로졸 수농도의 증가 경향이 적게 나타남을 보였으며, 특히 3.8-7.1 μm 정도에서는 음의 기울기가 나타났다. 이는 대기 중에 존재하는 수증기의 양에 따라 각 입경별 에어로졸의 생성 및 성장 과정이 각기 다른을 나타내며, 이는 에어로졸의 물리화학적 특성파도 밀접히 연관되어 있는 것으로 보여 진다.

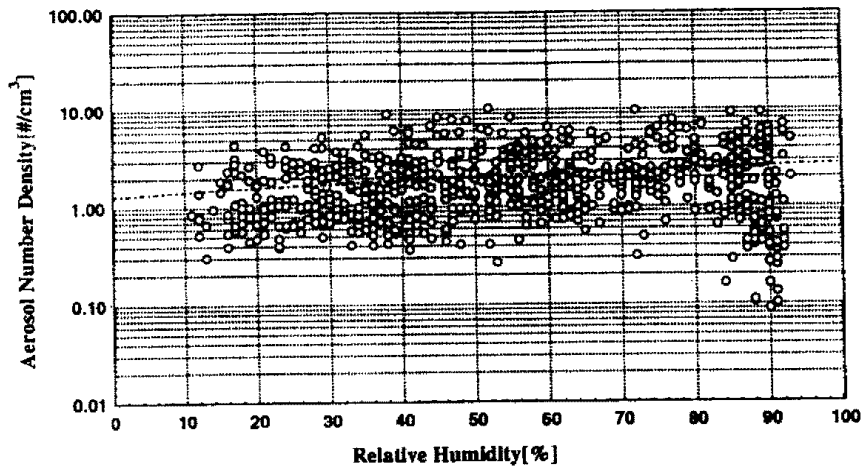


Fig. 3. Relationship between aerosol number density(#/cm³) and relative humidity(%).

3.3 바람과의 관계

풍속의 변화에 따른 대기 중 에어로졸의 수농도 변화는 Fig. 4에 제시하였다. 8채널의 관측 자료 중 제 1, 제3, 제5 채널 등 3개의 채널 영역에서 각 채널 별로 706개의 자료를 이용하여 지상 풍속과 에어로졸 수농도와의 관련성을 분석한 결과 다음과 같은 회귀식을 얻을 수 있었다.

$$Y = 40.414 - 0.534 X \text{ (size range: } 0.3\text{-}0.6\mu\text{m)} \quad (4)$$

$$Y = 2.741 - 0.273 X \text{ (size range: } 1.1\text{-}2.0\mu\text{m)} \quad (5)$$

$$Y = 0.050 + 0.001 X \text{ (size range: } 3.8\text{-}7.1\mu\text{m)} \quad (6)$$

위의 식에 나타난 바와 같이 2.0 μm 이하의 입경 영역에서는 풍속의 증가에 따라 에어로졸의 수가 감소하고 3.8 μm 이상의 입경 영역에서는 풍속의 증가에 따라 에어로졸의 수농도가 증가함을 시사한다. 이는 각 입경별 에어로졸의 생성 및 소멸 혹은 확산 과정이 각각의 입경에 따라 서로 다르고, 그에 따라 입경별로 서로다른 공기역학적 과정을 받기 때문인 것으로 보인다.

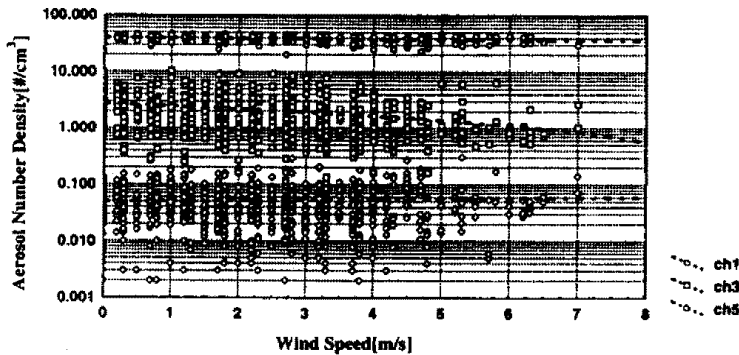


Fig. 4. Relationship between aerosol number density(#/cm³) and surface wind speed(m/s).

3.4 강수에 의한 에어로졸의 세정 효과

앞서 언급한 에어로졸의 입경별 모드의 계절적 분포에서 여름철의 수농도 값이 낮게 나타나는 결과 및 상대습도 90% 부근에서 에어로졸의 수농도가 급격히 낮아지는 결과 등에서 강수에 의한 에어로졸의

세정효과를 간접적으로 파악 할수 있었다. Fig. 5에는 1997년 강수(3월 6일)전인 3월 4일과 5일 및 강수 후인 7일과 8일의 매일 15시에 0.3-10.0 μm 사이의 입경 영역을 29채널로 세분하여 각 입경별 세정의 효과를 나타낸 것이다. 강수 바로 전일(3월 5일)의 에어로졸 수농도가 가장 크게 나타남을 알 수 있으며 강수 다음날(3월 7일)에는 주로 1.0 μm 부근의 영역에서 강수 전일에 비해 세정의 효과가 가장 크게 나타났음을 알 수 있다. 또한 강수 종료 후 시간이 경과함에 따라 세정된 입경영역의 에어로졸 수농도가 빠른 속도로 증가하는 것으로 나타났다. 강수에 의한 입경별 에어로졸의 세정 효과는 강수의 강도 및 수직의 입경별 분포에 따라 달리 나타나며 본 연구에 의한 관측적 결과가 세정효과에 대한 모델 연구의 검증에 위한 기본적인 자료로 사용될 수 있을 것이다.

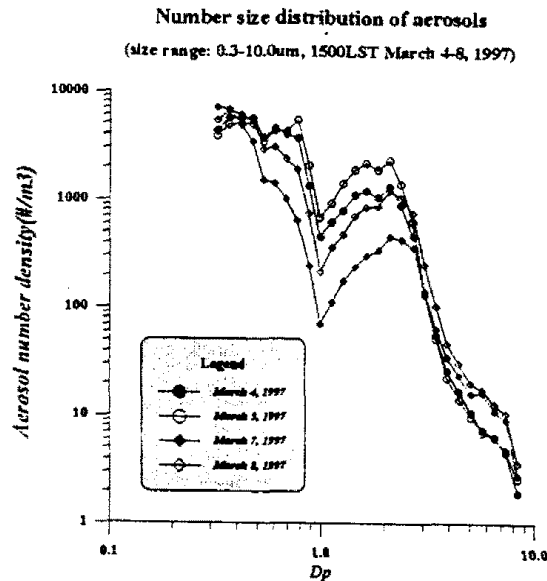


Fig. 5. Scavenging effect of atmospheric aerosol by precipitation.

IV. 참고문헌

- 기상연구소 (1994) 한반도 중서부지방의 3차원 바람장 추정 및 오염물질 분포에 관한 연구(I), 190pp.
- 과학기술처 (1995) 기상기술개발(I) - 한반도 대기질 감시 및 대기오염 예측 모델 개발(I), 261pp.
- 기상연구소 (1995) 한반도 중서부지방의 3차원 바람장 추정 및 오염물질 분포에 관한 연구(II), 149pp.
- 과학기술처 (1996) 기상기술개발(II) - 한반도 대기질 감시 및 대기오염 예측 모델 개발(II), 355pp.
- 기상연구소 (1996) 도시지역 대기 중 에어로졸의 광화학적 특성 연구(I), 72pp.
- 조희구 (1980) 서울의 大氣 Aerosol 粒子 크기 분포에 관한 연구, 한국기상학회지, 16(1), 1-9.
- Darzi, M., W.J. Microscopy (1982) Aerosol characteristics at Mauna Loa Observatory, Hawaii, after east Asian dust storm episode, *J. Geophys. Res.*, 87:1251-1258.
- Radke, L.F., P.V. Hobbs, M.W. Eltgroth (1980) Scavenging of aerosol particles by precipitation, *J. Appl. Meteor.*, 19: 715-722.
- Willeke, K. and P.A. Baron (1993) Aerosol Measurement - Principles, Techniques, and Applications, Van Nostrand Reinhold, 876pp.
- Yamamoto, G., M. Tanaka (1971) Determination of aerosol size distribution from spectral attenuation measurements, *Appl. Optics*, 8, 447-453.