

## Particle Size Distribution of Atmospheric Aerosols in Seoul

남재철, 김지영, 전영신, 김시완, 조하만  
기상청 기상연구소 응용기상연구실

### I. 서론

최근 대기오염 현상이 인간의 사회 활동에 미치는 영향과 관련하여 대기질에 대한 감시 및 이의 예측과 대책에 대한 관심이 집중되고 있다. 따라서 대기오염 현상의 하나인 시정 장애 현상과 연관되는 에어로졸의 움직임이 주목되고 있다.

에어로졸은 고체, 액체의 입자 또는 그 집합체로 토양 물질, 해양입자, 화산재 등의 자연 기원 물질과 인간 활동에 의한 인공적인 물질 등으로 구성되어 있다. 에어로졸은 크기에 따라 Aitken particle ( $D < 0.1 \mu\text{m}$ ), large particle ( $0.1 < D < 1 \mu\text{m}$ ), giant particle ( $1 \mu\text{m} < D$ )로 분류되거나 fine particle ( $D < 1 \mu\text{m}$ ), coarse particle ( $D > 1 \mu\text{m}$ )로 대별되기도 한다. 에어로졸과 관련된 기상 현상으로는 시정 장애 현상, 구름 형성시 응결핵으로서의 작용 등이 있고, 기후 변화와 관련해서는 에어로졸이 태양 복사를 흡수 또는 산란시킴으로써 지구 복사 수지에 영향을 주는 물질로 취급되고 있다.

본 연구는 대기질 감시를 위한 연구의 일환으로 대기 중 에어로졸의 입자 개수를 1995년 2월 이후 상시 관측하므로써 서울 대기 중 에어로졸의 입경별 수농도를 조사하였으며, 1995년 2월부터 1996년 7월까지 기상연구소에서 지속적으로 관측한 자료를 통하여 서울 대기 중 에어로졸의 물리적 분포 특성을 살펴 보았다.

### II. 자료 및 방법

대기 중 에어로졸의 수농도 관측은 광산란식 입자 계측기(optical particle counter)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 수농도를 측정 할 수 있다. 관측기간은 1995년 2월에서 1996년 7월까지 약 17개월 동안 이루어졌다. 관측기간 중 1995년 6월은 결측되었고 1996년 8월 이후에는 관측소 주변의 풍사로 인해 중지 되었다. 에어로졸 관측은 입자의 입경별 구간(channel)으로 구분되는데 평상시에는 자동 관측인 8개 구간, 1시간 간격으로 이루어지고, 특별 관측은 29개 구간으로 세밀히 구분하여 3시간 간격, 비정기적으로 이루어졌다.

### III. 결과 및 토의

#### 3.1 에어로졸 수 농도의 계절, 월, 시간 변화

에어로졸의 계절별 입경분포를 입자 개수와 입자들의 총 표면적, 총 부피에 따라 분석 한 결과, 입자의 개수는 대략  $1 \mu\text{m}$  미만,  $1 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 의 구간에서 극대값이 나타나는 이봉 형태를 나타냈다. 총 표면적과 총 부피는  $2.5 \sim 10 \mu\text{m}$ 의 구간에서도 극대값이 나타나 삼봉 형태가 나타났다. 에어로졸의 입경 별 개수, 표면적, 부피 등을 조사하는 이유는 우선 입자 개수 관측자료로 최대 개수가 나타나는 입경을 조사하고, 오염기체나 주위 입자와의 상호작용에 있어서 입자들의 표면적이 중요하므로 표면적이 가장 크게 나타나는 입경을 조사한다. 그리고, 밀도가 일정하다는 가정을 한다면 총 부피는 총 부유 분진 농도에 대응시킬 수 있다. 입자의 개수가 가장 많은 것은 첫 번째의 일봉(1 모드)이나 입자들의 총 표면적은 이봉(2 모드)이 더 크게 나타났고 총 부피는 이봉과 삼봉에서 큰 편이었다. 총 표면적을 보면 이봉의 계절별 차이가 크게 나타났는데 이는 일봉의 입자 개수가 가장 많지만 다른 입자와 화학 반응에서는 큰 효과를 낼 수 있는 것은 이봉과 삼봉의 입자가 될 수 있다는 것을 시사한다. 일봉의 입자들의 개수나 입자의 총표면적 그리고 총부피는 계절별로 큰 차이를 보이지 않았지만 이봉과 삼봉의 값들은 겨울에 가장 크

고 봄, 가을 그리고 여름의 순으로 작았다(Fig. 1). 강수량이 가장 적고 연료 사용량이 많아지는 겨울의 경우 대기 세정 작용도 활발치 않고 혼합층이 낮아 대기 중 부유 분진이 많을 것으로 예상되는데 이것이 이봉에 반영된 것으로 보인다. 강수량이 가장 많은 여름철에는 대기의 세정 작용이 활발하여 이것이 이봉, 삼봉에서 모두 다른 계절에 비해 작은 개수를 나타낸 것으로 보인다.

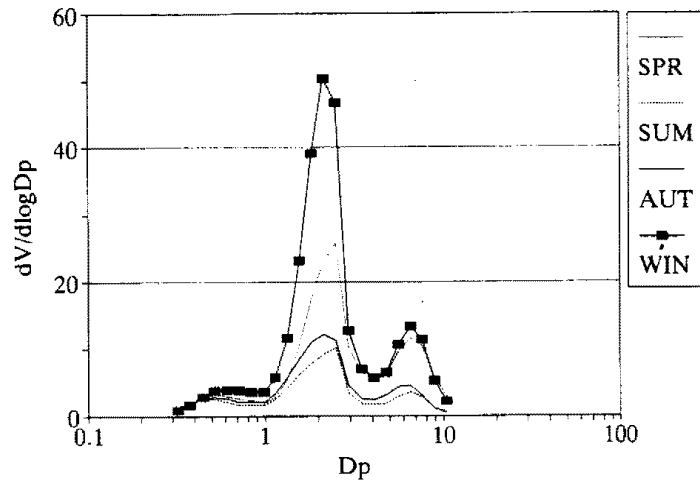


Fig. 1. The log-normal distribution of aerosol volume concentration( $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ ) by season at Seoul(Meteorological Research Institute) form Feb. 1995 to Jul. 1996).

8개 구간으로 관측한 에어로졸 개수의 월변화를 분석한 결과, 제1구간에서는 일관된 증감의 경향이 나타나지 않았고, 5월부터 8월까지는 편차가 큰 반면에 겨울철에 편차가 작게 나타났다. 제1구간의 평균 입자수는 백육만개 정도였고 제2구간에서는 17만개 정도였으며 다른 입경 구간의 입자 개수와 상관계수가 매우 작았다. 제2구간의 입자 개수는 월변동이 크게 나타났으나 편차는 사계절 모두 유사하였다. 제3구간의 평균 입자 개수는 7만개 정도였고 입자 개수는 월변동이 크게 나타났으나 편차는 3월에 가장 크게 나타났다. 제4구간의 평균 입자 개수는 2만개 이상으로 월변동이 앞의 두 구간과 유사하였다. 제2구간, 제3구간, 제4구간에서의 입자 개수는 만개 이상의 자리 수로 나타났고 상관 계수는 0.56 이상이었다. 한편 제5구간에서는 입자의 개수가 수천개 정도로 감소하였고 제6구간, 제7구간에서는 더욱 감소하였다. 제8구간은 입자의 개수가 몇 개에 불과하며 표준 편차가 매우 컸고 다른 입경의 입자들과는 상관관계가 매우 적었다.

Fig. 2는 1995년 봄철의 시간에 따른 입자의 개수 변화를 나타낸 것으로서 제1구간( $0.3-0.6\mu\text{m}$ )에서는 특별한 일변화 경향이 나타나지 않고 오전 7시의 변동 폭이 하루 중 가장 작게 나타났다. 제2구간( $0.6-1.1\mu\text{m}$ )에서는 오전 8시를 중심으로 수농도의 극대가 나타났다. 제5구간( $3.8-7.1\mu\text{m}$ ) 보다 입경이 큰 구간에서는 16시를 중심으로 수농도의 극대가 나타나 에어로졸 입자의 입경에 따라 시간 별 농도 분포가 서로 달리 나타나는 결과를 보였다. 이러한 결과는 각 입경 별 오염원의 배출량과 대기안정도에 기인하는 지상 풍속의 일변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 한편, 이러한 에어로졸 수농도의 일변화 경향은 봄철 이외의 다른 계절에서도 비슷한 경향을 보였다.

에어로졸 총 표면적의 시간 변동을 계절별로 살펴 본 결과, 봄에는 오전 8시에 가장 큰 표면적이 나타났고, 겨울에는 오전 9시에 큰 값을 나타내다가 오후에 감소하였으나 그 변화는 매우 작았다. 한편,  $2\mu\text{m}$  이상의 입자들의 표면적이 전체 표면적의 분포를 좌우하고 있었다. 에어로졸 총 부피의 계절별 시간 변동 분석에서 봄에는 오전 8시에 가장 큰 총 부피가 나타났고 겨울에는 오전 9시에 가장 큰 값을 보였다. 또한  $2\mu\text{m}$  이상의 입자들의 부피가 전체 부피의 분포와 거의 같게 나타나 선이 겹쳐 있었다.

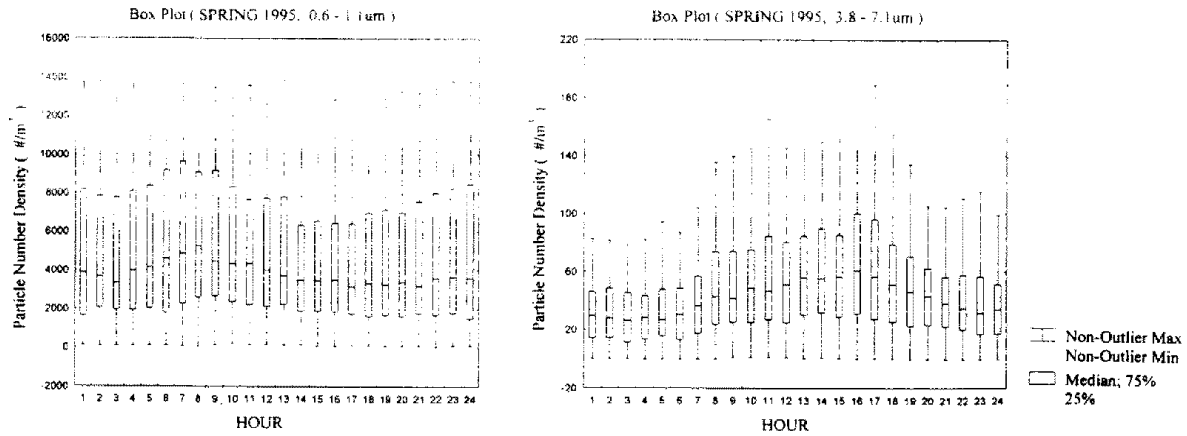


Fig. 2. Box plot for diurnal variations of particle number density in spring 1995.

### 3.2 황사 현상에 따른 에어로졸의 수 농도 분포

황사 현상과 관련된 에어로졸의 특징을 조사하기 위해 황사 현상이 있던 1996년 5월 8일과 황사 현상이 보고되지 않았던 1996년 5월의 날들의 29개의 구간으로 관측된 에어로졸의 자료를 분석하였다. 입자 개수는  $0.8\mu\text{m}$  이하의 작은 입자의 개수가 무 황사 기간에는 컸지만 황사 기간에  $0.8\sim 4\mu\text{m}$ 의 입자 개수들이 증가한 것을 알 수 있다. 입자 총 면적은  $0.7\mu\text{m}$  이하의 작은 입자의 표면적이 무 황사 기간에는 컸지만 황사 기간에는  $0.7\sim 5\mu\text{m}$ 의 입자들의 표면적이 증가한 것을 알 수 있다. 에어로졸의 입경별 입자 총 부피의 분포는 Fig. 3에 제시하였다.

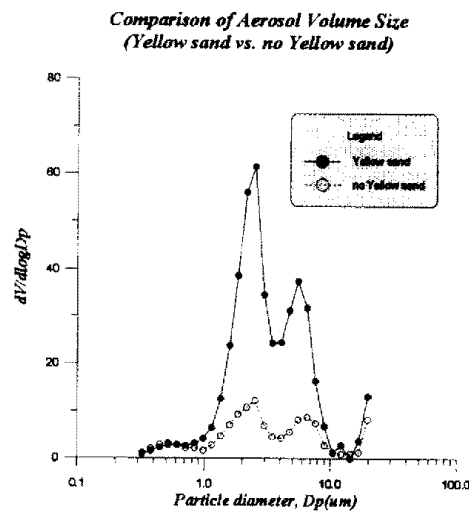


Fig. 3. The log-normal distribution of aerosol volume concentration ( $\mu\text{m}^3/\text{cm}^3$ ) for the cases of Yellow sand and non-Yellow sand at Seoul(Meteorological Research Institute) in May 1996.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 황사 기간 중에  $0.8\mu\text{m}$  이상부터  $10\mu\text{m}$ 의 입자들의 총 부피가 무 황사 기간 중의 부피보다 3배 이상 컸으며 이 사실은 황사 기간 중의 총 부유 분진이 3배 이상 증가한다는 기존의 연구 결과와 일치한다. 1996년 5월 8일의 황사 사례기간 중에는  $2\mu\text{m}$ 와  $7\mu\text{m}$ 에서 쌍봉 형태의 부피(에어로졸의 밀도가 일정하다는 가정에서는 질량이 됨) 농도의 특징을 보였다.

#### IV. 요약

29개 구간 특별 관측 결과 입경  $10\mu\text{m}$  이하에서 입자들의 개수는 이봉 형태를 나타냈고, 입자의 총 표면적과 총 부피는 삼봉 형태를 나타내었다. 입자의 개수는 입경  $1\mu\text{m}$  이하의 입경 입자들이 가장 많으며 입자의 총 표면적은 입경  $2\sim 3\mu\text{m}$  사이 입자들이 크게 나타나 화학 반응에 중요한 의미를 가지는 입경이  $2\sim 3\mu\text{m}$  사이인 것을 보였다. 여름이 대체적으로 가장 작은 수농도를 나타내었고 겨울에 가장 많은 입자 개수와 총 표면적, 총 부피를 나타내었다.

8개 구간 관측에 의해서는  $0.6\sim 3.8\mu\text{m}$ 의 입자들의 개수가 수 백만 개이고 월변동이 유사하여 상관 계수가 높았고  $3.8\sim 25\mu\text{m}$ 의 입자들의 변동이 유사하여 상관 계수가 높은 편이었다.

시간별 입자 개수의 변화는 계절별로 뚜렷한 특징을 찾기 힘들었고, 총 표면적의 변화는  $2\mu\text{m}$  이상의 입자들의 변화의 영향을 크게 받았으며 오전 시간에는 큰 값을 보이다가 오후에 감소하는 경향을 사계절에 공통적으로 보였다. 총 부피의 변화는  $2\mu\text{m}$  이상의 입자들의 변화와 거의 일치할 만큼 큰 입자들의 기여가 컸고 오전에 큰 값을 보이다가 오후에 감소하는 경향을 찾아 볼 수 있었다.

황사 현상 중에는  $0.8\sim 4\mu\text{m}$ 의 입자 개수들이 증가하였고, 입자 총 면적은  $0.7\sim 5\mu\text{m}$ 의 입자 개수들의 표면적이 증가하였고, 입자 총 부피는  $0.8\mu\text{m}$  이상부터  $10\mu\text{m}$ 의 입자들의 총 부피가 무 황사 기간 중의 부피보다 3배 이상 컸으며, 본 연구의 황사 사례기간 중에는  $2\mu\text{m}$ 와  $7\mu\text{m}$ 에서 쌍봉 형태의 부피 농도의 특징을 보였다.

#### 참고문헌

- 기상연구소, 1994: 한반도 중서부 지방의 3차원 바람장 추정 및 오염 물질 분포에 관한 연구(I), MR 94A-005, 190pp.
- , 1995: 한반도 중서부 지방의 3차원 바람장 추정 및 오염 물질 분포에 관한 연구(II), MR 95A0-06, 149pp.
- 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.
- Yamamoto, G., M. Tanaka, 1971: Determination of aerosol size distribution from spectral attenuation measurements. *Appl. Optics*, 8, 447-453.