

황사시 서울과 안면도의 대기 중 에어로졸 수농도 특성

The Characteristics of the Aerosol Number Concentration Observed in Seoul and Anmyondo During an Yellow Sand Phenomenon

전영신 · 김지영 · 최재천 · 신도식¹⁾
기상연구소 응용기상연구실, ¹⁾기상연구소 배경대기관측소
(1999년 6월 15일 접수, 1999년 10월 14일 채택)

Yongsin Chun, Jiyoung Kim, Jae-Cheon Choi and Do-Shick Shin¹⁾
Applied Meteorology Research Laboratory
¹⁾*Background Air pollution Observatory*
/ Meteorological Research Institute
(Received 15 June 1999; accepted 14 October 1999)

Abstract

The size-resolved number concentrations of aerosols ranging from 0.3 to 25 μm were observed in Seoul and Anmyondo in the west coast of Korea during an Yellow Sand phenomenon in April 1998. Number size distributions of aerosols observed in both places are characterized by decrease in small particles of diameter less than 1 μm and increase in large size between 1.35 and 10 μm in heavy dust period. For particles in this size range, there was a good correlation between number concentrations observed in both places during the Yellow Sand episode. On the other hand, the number of small particles less than 0.82 μm decreased, but the correlation between these particles in both places was enhanced during more intense dust period. The number of coarse particle larger than 10 μm showed a distinct diurnal variation without a significant change in amplitude, which was more visible in Seoul. It suggests that these coarse particles were more affected by local sources. From these results, it was evident that aerosols observed in Korea during the Yellow Sand episode were distinguished by particles in the range of 1 ~ 10 μm originated possibly from the dust source regions and the source signature depended on the degree of dust intensity.

Key words : Number concentration, Yellow Sand, aerosol

1. 서 론

에어로졸(Aerosol)은 공기 중에 부유하는 고체 또는 액체상의 입자를 의미하는데 물을 분산 매질로 하는 콜로이드(Hydrosol)에 비유하여 명명되었

다. 에어로졸에 대한 연구는 군사적 이용을 목적으로 출발하였으나 최근에는 대기질이 악화되고 에어로졸이 대기오염 물질의 한 성분으로 인간과 동식물 뿐 아니라 안개와 구름, 스모그, 시정 장애, 기후 변화의 한 요소로 작용함에 따라 그 관심이 집중되고 있다(김필수, 1986).

국내 연구 결과를 살펴보면 에어로졸 수농도(단위체적의 공기 속에 들어있는 입자 개수)가 봄에 상대적으로 높은 편(조희구, 1980)이었으며, 충남 청원군에서의 대기 중 부유분진은 대도시에 비해 20~45% 정도 낮은 편이며 비온 후 새로운 기류가 유입할 때와 새벽에는 농도가 낮고 오후에는 먼지 농도가 높고, 4, 5월에 높았다(정용승과 윤마병, 1996). 입경 0.01~1 μm 범위의 에어로졸을 1984년 5부터 10월까지 6개월간 EAA (Electrical Aerosol Analyzer)로 측정하여 수농도, 표면적 및 체적 농도의 일변화 양상을 크기별로 분석(김필수 등, 1986)한 것 등 주로 대도시 등을 대상으로 분석한 것이 많으며, 최근에는 청정지역에 대한 연구도 수행되고 있다(김용표 등, 1996; 김용표 등, 1995; 이호근 등, 1995)

국외 연구로는 에어로졸 크기 분포(Whitby, 1978; Schutz and Jaenicke, 1974; Whitby *et al.*, 1972; Junge, 1953), 중국에서 황사 현상시 에어로졸 수농도 관측(Wang *et al.*, 1982; Zhou *et al.*, 1981), 일본에서 관측된 황사의 수농도 관측(Ishizaka and Ono, 1982; Mizohata and Mamuro, 1978)과 X-ray 분석(Okada *et al.*, 1990), 북태평양 상에서 관측(Uematsu *et al.*, 1983; Duce *et al.*, 1980)된 것과 황사 발원지 부근인 중국 Zhangye 에어로졸 수농도의 계절변화(Zaizen, 1995)와 화학 분석(Okada and Kai, 1995) 등이 있다.

이 연구에서는 인위적인 오염원에서 배출된 에어로졸과 황사가 공존하는 도시 지역과, 청정지역의 배경 에어로졸과 황사가 공존하는 해안 지역의 대기 중 에어로졸의 특징을 비교하고자 한다. 이를 위하여 도시 지역인 서울과 우리 나라의 청정지역을 대표하는 기상연구소 산하 배경대기관측소에서 1998년 4월 황사시 에어로졸의 입경별 수농도를 도시 관측하였다. 그리고 이 두 지역에서 황사시 에어로졸 수농도를 비교하여 황사의 일반적인 특징과 국지적인 오염원에 의한 효과를 연구하였다.

2. 에어로졸 수농도 관측

2.1 관측 장소

서울(종로구 구 기상연구소)과 충청남도 태안군의 안면도(기상연구소 배경대기관측소)에서 대기

Table 1. Observational sites for aerosol number concentration.

Site	Lat.	Lon	Mean Sea level height (m)	Address
Seoul	37° 34'	126° 58'	85.5	1. Songwol-dong, Chongro-gu, Seoul
Anmyondo	36° 54'	126° 32'	47	1764-6, Seungun-r1, Anmyon-up, Taean-gun, Chungcheongnamdo

중 에어로졸 수농도를 관측하였다. 관측 지점의 위치는 표 1과 같으며, 관측은 정시마다 시행하였다.

2.2 장비의 원리 및 관측 방법

에어로졸의 수농도 관측에 이용된 기기는 광산란식 입자계수기(Optical Particle Counter; Model HIAC/ROYCO 5230)이다. 이 기기는 개개의 입자에 대한 산란광의 강도를 측정하여 그 강도와 미리 정해진 강도와의 관계에 의해 입자의 크기를 추정한다. 즉 내장된 펌프에 의해 흡입된 시료 공기가 광원의 조사 영역을 통과 할 때 개개의 입자에 의해 산란된 산란광의 강도를 측정하는 것이다. 산란광은 광전자 증배관에 의해 산란광량에 대응하는 펄스상의 전기 신호로 변환되는데 이 펄스의 크기는 입자의 크기와 일정한 관계가 있다. 이 관계에 따라 입경이 판별되며 대응하는 입경 영역 범위에서 측정된다. 이때 광원은 Laser Diode와 $\text{H}_2\text{-N}_2$ tube이다. 즉 시료 공기에 Laser beam을 쏘아 산란된 빛을 광전자 증배관에 집광시키는 방식이다. 또한 이 기기의 보정은 기계에 장착된 보정기능을 이용하였으며, 기기 내부의 청결 상태를 위하여 특별 관측 실시 전에 전문가에게 의뢰하였다.

이 기기로 관측 가능한 에어로졸의 크기는 0.3~25 μm 범위인데, 아시아 대륙 중심부로부터 우리나라로 장거리 수송되는 황사의 크기는 10 μm 이하의 작은 입자에 해당하므로, 황사 에어로졸 수농도의 변화를 좀 더 자세히 관찰하기 위해 0.3~10 μm 범위를 지수 척도로 7개의 등간격으로 나누었다. 그리고 10 μm 보다 크고 25 μm 이하인 큰 에어로졸은 그 수농도가 상대적으로 매우 적어 앞의 7개 범위와 같은 지수 척도의 등간격으로 처리하지 않고 10 μm 보다 큰 입자로 분류하였다. 황사 입자

의 빛 산란 특성이 일반 입자와 다르기 때문에 결과 해석에 주의를 기울여야 하는데, 본 연구에서는 에어로졸의 증가가 시각적으로도 뚜렷한 황사 기간 중의 자료만을 선정하였고, 동일한 기기를 두 지점

에 동시에 설치하여, 황사현상이 심한 경우와 보통의 황사 기간중의 에어로졸 수농도를 살펴보았다.

이 연구에서는 8개의 범위(표 2)로 에어로졸의 구간을 구분하여 매시간마다 진공펌프에 의해

Table 2. The eight size range of aerosol in this study.

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8
Size range (μm)	0.3 ≤ < 0.5	0.5 ≤ < 0.82	0.82 ≤ < 1.35	1.35 ≤ < 2.23	2.23 ≤ < 3.67	3.67 ≤ < 6.06	6.06 ≤ < 10	10 ≤ < 25

Table 3. Yellow Sand phenomenon observed in the Korea Meteorological Administration in April 1998.

Site \ Date	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Seoul	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Tongduchon	×	×	■	×	■	■	■	■	■	■	■	×
Inchon	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Suwon	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Chunwon	×	×	■	×	■	■	■	■	■	■	■	×
Chunchon	×	×	×	×	■	■	■	■	■	■	■	×
Wonju	×	×	×	×	■	■	■	■	■	■	■	×
Youngwol	×	×	×	×	■	■	■	■	■	■	■	×
Sokcho	×	×	×	×	■	×	■	■	■	■	■	×
Kangnung	×	×	×	×	■	×	■	■	■	■	■	×
Taegwollyong	×	×	×	×	■	×	■	■	■	■	■	×
Tonghae	×	×	×	×	■	×	■	■	■	■	■	×
Ullungdo	×	×	×	×	×	×	■	■	■	■	■	×
Chongju	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Chupungnyong	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Sosan*	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Taejon	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Kunsan	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Chonju	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	■	×
Mokpo	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	×	×
Huksando	×	×	×	■	■	■	■	■	■	■	×	×
Muan	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	×	×
Wando	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	×	×
Kwangju	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	×	×
Yosu	×	×	■	■	■	■	■	■	■	■	×	×
Ulchin	×	×	×	×	×	×	■	■	■	■	■	×
Andong	×	×	×	×	■	■	■	■	■	■	×	×
Taegu	×	×	×	■	■	■	■	■	■	■	×	×
Pohang	×	×	×	×	×	×	■	■	■	■	×	×
Pusan	×	×	×	×	×	×	■	■	■	■	×	×
Ulsan	×	×	×	×	×	×	■	■	■	■	×	×
Tongyong	×	×	×	×	×	×	■	■	■	■	×	×
Masan	×	×	×	×	×	×	■	■	■	■	×	×
Chinju	×	×	×	■	■	×	■	■	■	■	×	×
Cheju	×	×	■	■	■	■	■	■	■	×	×	×
Cheju upper	×	×	■	■	■	■	■	■	■	×	×	×
Sogwipo	×	×	■	■	■	■	×	■	■	×	×	×

■ : Yellow Sand, × No Yellow Sand, * The nearest site of Anmyondo is Sosan

1 ft³/min 의 공기를 흡입시켜 구간별 수농도를 연속 3회 측정 한 후 그 평균값을 이용하였다.

2.3 사례 선정

전국적으로 광범위하게 관측된 황사현상을 선정하기 위하여 1998년 4월 12일부터 23일 사이 기상청 산하 기상대에서의 황사 현상 관측 여부를 조사하였다(표 3). 이 기간 중에는 울릉도를 포함한 동해안 지역과 부산을 포함한 남부 지역을 제외하고는 연일 황사현상이 관측되었으며, 특히 19일부터 20일에는 전국의 모든 도시에서 황사현상이 관측되었다. 또한 황사 현상이 뚜렷하게 나타난 시각을 선정하기 위하여 같은 기간중 서울과 서산의 강수량과 서울과 안면도 강수의 산성도, 서울과 황사 발원지의 먼지현상의 형태를 조사하였다(표 4). 서울에서 황사현상이 관측된(1998년 4월 14일부터 22일 오전까지) 기간 전후로 30 mm 안팎의 강수현상이 있었으며, 황사 현상 중 17일에는 0.5 mm의 흙비가 내렸다. 특히 19일 오후와 20일 오후에는 황사의 강

도가 1로 기록될 정도로 심한 황사현상(다른 황사 일에는 강도가 0임)으로 관측되었으며, 이 때는 제주도를 포함한 우리 나라 전지역에서 관측(표 3)되었다. 한편 중국 내륙의 황사 발원지에서는 14일과 15일에 먼지회오리와 모래폭풍이 발생한 것으로 보아, 우리 나라에서 관측된 4월 19일과 20일에는 황사 발원지로부터 장거리 수송된 결과임을 확인할 수 있었다. 따라서 이 연구에서는 황사현상이 장기간 출현했던 1998년 4월 14일부터 22일까지 9일 동안을 연구 사례 기간으로 선정하고, 이 기간 중 황사 현상이 심했던 19일과 20일을 중심으로 심한 황사시와 보통 황사시의 수농도의 변화를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 황사시 입자 크기에 따른 에어로졸 수농도 분포

우리 나라에서 황사 현상이 관측된 1998년 4월 14일부터 22일까지의 기간 중 황사 현상이 심했던

Table 4. The features of precipitation in Seoul and Sosan, pH in Seoul and Anmyondo, and dust phenomenon in Seoul and source regions in April 1998.

Date	Precipitation (mm)		pH		Dust phenomenon	
	Seoul	Sosan	Seoul	Anmyondo	Seoul	Source regions
12	27.4	24.0	5.98			Dust swirl Dust storm
13	2.9	0.8	5.98	4.50		Yellow Sand
14					Yellow Sand	Dust swirl Dust storm
15	0.0		-		Yellow Sand (afternoon)	Dust swirl Dust storm
16					Yellow Sand	Yellow Sand
17	0.5	5.3	-	6.22	Yellow Sand (mud rain)	Yellow Sand
18					Yellow Sand	Dust swirl Dust storm
19					Yellow Sand (Intensity 1)	Dust swirl Dust storm
20					Yellow Sand (Intensity 1)	Yellow Sand
21		0.0		-	Yellow Sand	Yellow Sand
22	26.5	0.0	5.61	-	Yellow Sand (before noon)	Yellow Sand
23	0.5		5.61	4.56		

시간과 보통 황사의 시기로 구분하여 서울과 안면도에서 관측된 에어로졸 수농도의 평균값과 표준편차를 분석하였다. 이 때 심한 황사와 함은 표 4의 황사현상의 강도가 1로 관측된 4월 19일과 20일의 18시간 동안을 뜻하며 보통 황사 기간은 이 시간을 제외한 기간을 의미한다. 서울의 경우 수농도의 평균값은 그림 1에서 보는 바와 같이 가장 작은 입경 범위 0.3~0.5 μm에서 1.07×10⁸~1.3×10⁸개/m³로 가장 컸으며, 입경이 커질수록 그 값이 감소하다가, 2~3 μm 범위에서 다소 증가하여 1.6×10⁷~4×10⁷개/m³를 기록하였다가 급격히 감소하였다. 특히 심한 황사 기간중에 1 μm 이상의 입자가 많아지는 것을 확인할 수 있었다.

한편 안면도(그림 2)의 경우는 가장 작은 입경 범위 0.3~0.5 μm의 단위 대수 적경당 수농도 평균값이 1.67×10⁸~1.81×10⁸개/m³로 가장 컸으며, 같은 크기의 서울의 수농도보다 많았다. 그러나 0.5 μm 이상 입경의 에어로졸의 수농도는 서울보다 모두 작았다. 따라서 황사 기간 중 서울에서 에어로졸의 수농도가 0.3~0.5 μm의 작은 입경을 제외한 모든 입경에서 안면도보다 더 많고 변화폭이 큰 편이었다. 특히 심한 황사 기간중에 0.5~10 μm 이상의

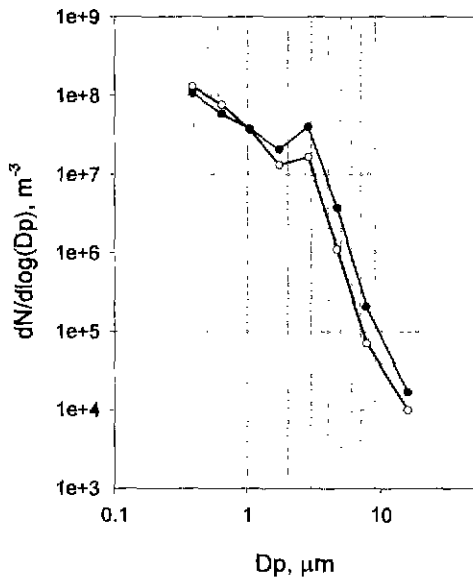


Fig. 1. Average aerosol number distribution in Seoul from 14 to 22 April 1998 (solid circle: severe period, open circle: non-severe period).

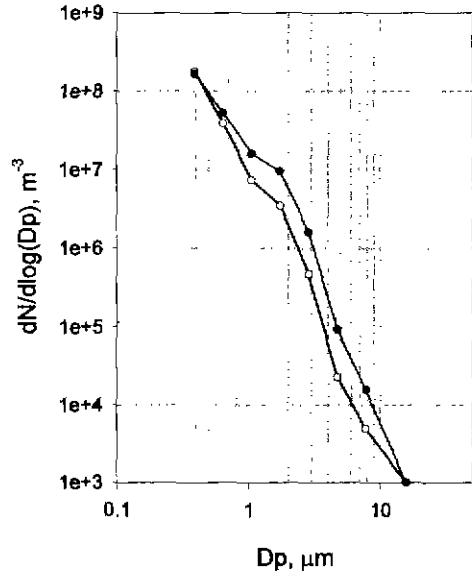


Fig. 2. The same as Fig. 1 except in Anmyeondo.

입자가 많아지는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 황사 현상시 에어로졸 수농도의 시계열

우리 나라에서 황사 현상이 전국적으로 나타났던 1998년 4월 14일부터 22일까지의 서울의 입경별 에어로졸 수농도(그림 3)를 분석하였다. 그림 3a는 입경이 0.3 μm 이상이고 2.23 μm 미만의 입자들의 시간별 수농도의 시계열을, 그림 3b는 입경이 2.23 μm 이상이고 25 μm 미만의 입자들의 시간별 수농도를 나타내었다. 세로축은 상용 로그 척도로 표시된 수농도(개수/m³)이다. 우선 가장 작은 크기인 0.3~0.5 μm 범위의 수농도는 수천만 개로 가장 많으며, 사례 기간 중 수농도의 변화폭은 한 자리수 이하로 작은 편이다. 그 다음으로 작은 범위인 0.5~0.82 μm의 수농도는 수천만 개이며 0.3~0.5 μm 범위의 입자보다 절대적인 개수는 적고 변화폭도 한 자리수 이하로 매우 적은 편이다. 또한 0.82~1.35 μm 범위의 수농도가 수백만 개 정도이며 변동폭이 두 자리수나 되고, 가장 적은 입경인 0.3~0.5 μm 범위의 수농도와는 반비례 관계를 보이고 있으며, 19일 오후부터 21일까지 일변화 없이 꾸준히 감소하는 경향을 보인다. 1.35~2.23 μm 범위의 수농도는 수십만 개로부터 수백만 개로 그 변동폭

이 두 자리수로 크게 변동하다가 17일부터 꾸준히 증가하고, 19일 오후에 최대 수농도를 보인 후 다시 감소하는 경향이 있는데, 이것은 0.82~1.35 μm 범위의 수농도 변동 추세와 일치한다

입경이 2.23 μm 부터 25 μm 미만의 큰 입자 수농

도의 시간별 변화(그림 3b)를 보면, 우선 2.23~3.67 μm 범위의 입자는 개수가 수십만 개로부터 수백만 개가 되며, 19일에 최대 개수를 보이고 이후에는 서서히 줄어들었다. 그 다음으로 큰 3.67~6.06 μm 범위의 수농도는 수만 개에서 수십만 개가 되

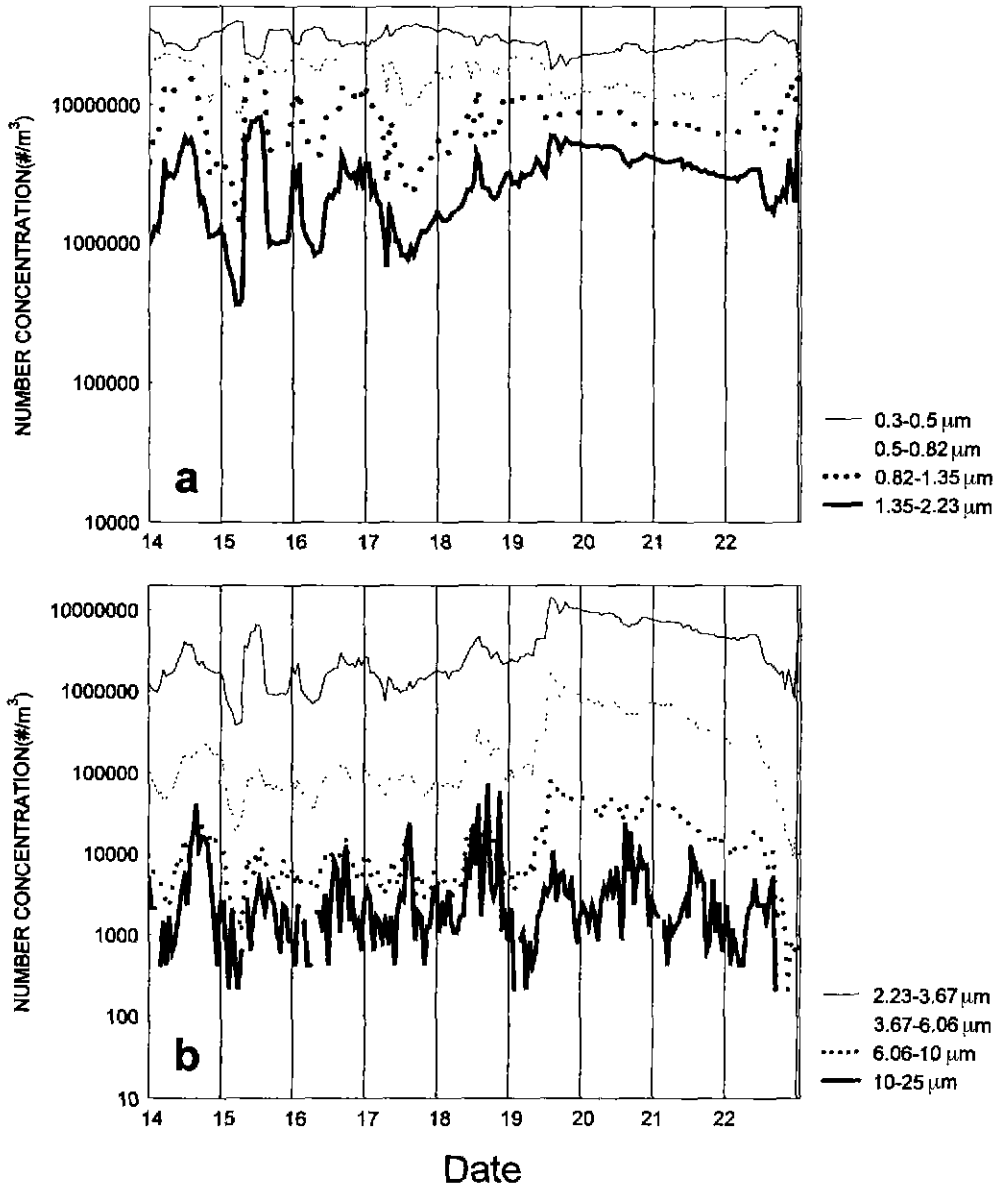


Fig. 3. Time series of aerosol number concentration in Seoul during an Yellow Sand phenomenon in April 1998. The upper panel is for the size range from 0.3 to 2.23 μm and lower one from 2.23 to 25 μm .

며, 19일에 최대 개수를 보인 후에는 역시 서서히 줄어드는 경향이다. 6.06~10 μm 범위의 입자는 개수가 수천 개에서 수만 개 사이로 변동하며, 4월 19일에 최대개수를 보인 후 21일까지 줄어드는 경향이 앞의 범위의 경향과 매우 유사하다. 따라서 2.23~10 μm 범위의 입자 개수는 서로 아주 유사한 변동

추세와 함께 그 변동폭이 두 자리수나 되고, 19일에 최대 개수를 나타나는 것이 심한 황사 현상과 관련되어 나타나는 것으로 해석될 수 있다. 가장 큰 입자 범위인 10 μm 이상의 입자는 수 백개에서 수만 개로 매일 오후에 최대값을 나타내는 일변화를 뚜렷이 나타내고 있다

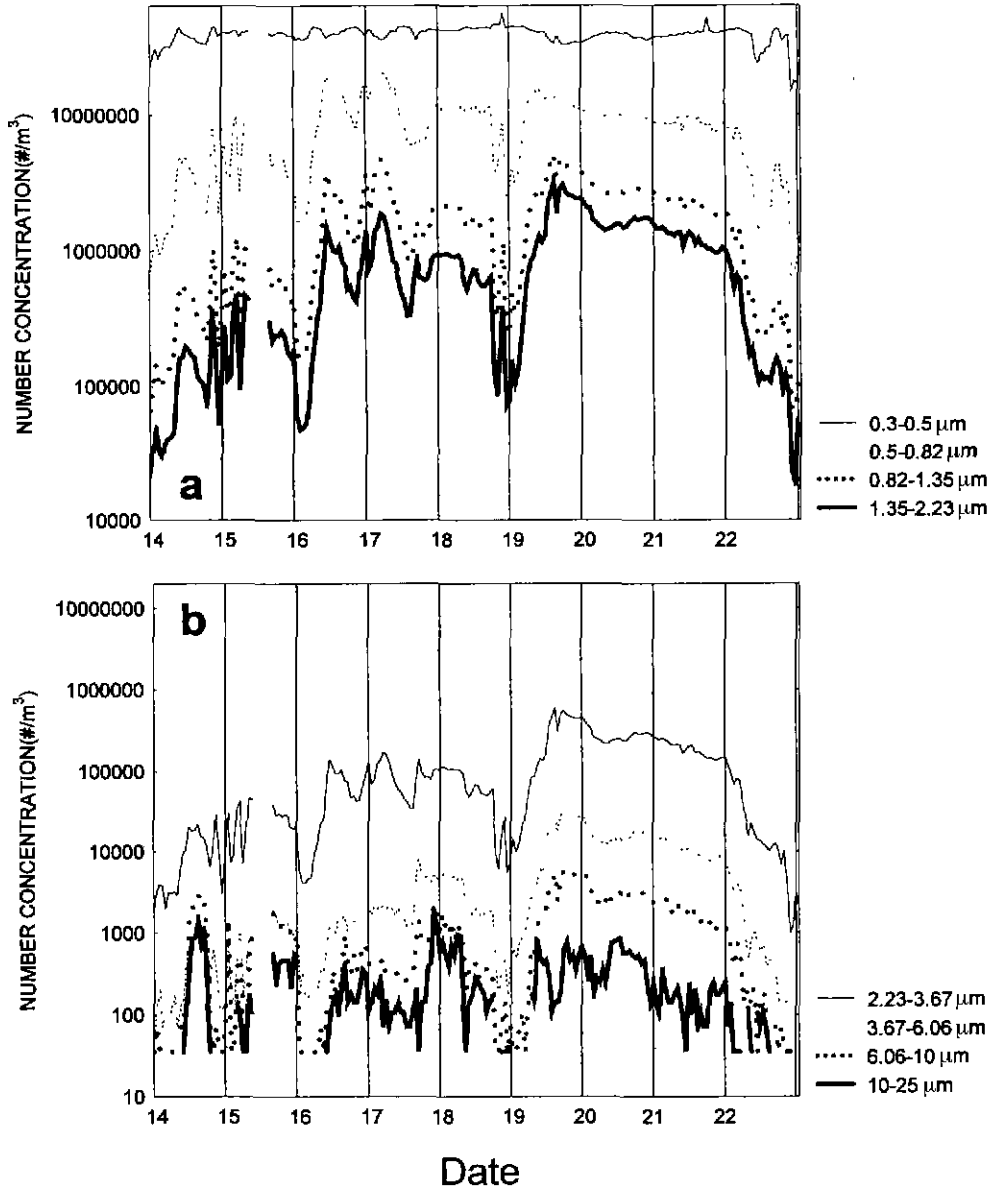


Fig. 4. The same as before Fig. 3 except in Anmyondo.

마찬가지로 안면도에서 관측된 입자들의 시간별 변화(그림 4a)를 보면 우선 가장 적은 0.3~0.5 μm 범위의 수농도는 개수가 가장 많아 수천 단계가 되지만 전체적으로 수농도의 변동폭은 작은 편이다. 그 다음으로 적은 0.5~0.82 μm 범위의 수농도는 수백만 개가 되며 서울의 경우보다는 그 변동폭이 더 크게 나타난다. 0.82~1.35 μm 범위에서는 수농도가 수십만 개에서 수백 만개 사이로 변동하며, 그 개수는 서울에 비해 현저히 적었고, 19일 오후에 최대 수농도가 나타나고 그 후에 서서히 감소하였다. 1.35~2.23 μm 범위의 수농도는 수만 개로부터 수백만 개로 그 변동폭이 세 자리수나 되고 4월 19일 오후에 최대 개수를 보이고 그 이후 감소하는 경향이 0.82~1.35 μm 범위의 입자의 변동 추세와 일치하고 있다. 또 서울에 비해 현저히 적은 수농도를 보였고 황사현상의 시작일과 종료일에는 매우 적은 개수를 나타낸 것이 서울의 수농도와 다른 점이었다. 결과적으로 안면도의 수농도는 황사 시작일과 종료일에 최소값을, 심한 황사일에 최대값을 보이는 특징을 보였고, 서울의 수농도는 안면도처럼 뚜렷한 변동 추세가 없이 심한 황사일에 수농도가 증가했을 뿐 전체 기간 중 높은 수농도를 기록하였다.

입경이 2.23 μm 부터 10 μm 이상의 큰 입자들의 시간별 변화(그림 4b)를 보면 우선 2.23~3.67 μm 범위의 수농도가 수천 개로부터 수 십만개가 되어 그 변동폭이 세 자리수나 되며, 19일 오후에 역시 최대 수농도를 보이고 이후에는 줄어드는 경향이 보인다. 그 다음으로 큰 3.67~6.06 μm 범위의 수농도는 수백 개에서 수만 개까지 되며, 4월 19일 오후에 최대 개수를 보이고 이후에는 줄어드는 경향이다. 6.06~10 μm 범위의 수농도는 개수가 수십 개에서 수천 개 사이로 크게 변동하며, 마찬가지로 19일에 최대개수를 보이고 이후에 줄어드는 경향이므로, 2.23~10 μm 범위의 입자 개수는 서로 매우 유사한 변동 추세와 함께 그 변동폭이 세 자리수나 되고 19일 오후에 최대를 나타나는 점 등이 심한 황사 현상과 관련되어 나타나는 것으로 해석될 수 있다. 한편 가장 큰 입자 범위인 10~25 μm 이상의 입자는 수십 개에서 수백 개의 수농도를 나타내고 있으나 일변화가 뚜렷한 편이고 심한 황사 현상과 관련하여 특별한 증가가 나타나지 않았다.

이상을 요약하면 서울의 에어로졸 수농도는 안면

도에 비해 많은 편이며, 특히 입경이 0.5 μm 이상의 입자들이 두 자리 수 이상 많았다. 그런데 0.3~0.5 μm 입자의 수농도는 수 천만개 정도로 유사하나 절대적인 개수는 오히려 안면도에서 더 많았다. 또한 황사 현상의 강도가 심했던 날들과 관련되어 변화하는 추세는 0.5 μm 또는 0.82 μm 이상의 큰 입자들이 서로 비슷하였고 1.35~10 μm 범위는 두 자리 수 이상(2.23~10 μm 범위의 입자 개수는 세 자리 수 이상)으로 크게 증가하였다. 또한 서울보다 안면도에서는 0.82~10 μm 범위의 수농도 변동폭이 세 자리수로서 매우 뚜렷하게 나타난 점으로 보아 인위적 오염원이 많은 서울과는 달리 청정지역인 안면도에서 에어로졸 수농도에 반영된 황사현상이 매우 뚜렷함을 알 수 있었다.

3.3 황사시 서울과 안면도의 에어로졸 수농도의 상관관계

황사시 서울과 안면도의 에어로졸 수농도의 상관관계는 표 5와 같다. 이 때 서울과 안면도의 수농도는 264시간 자료이다. 3.67~6.06 μm 범위의 입자개수들끼리의 상관계수가 0.93으로 매우 높게 나타나고 있다. 이 경우 그림 5에 나타난 것처럼 19일 오후에 최대 수농도를 보이면서 서로 변화 추세가 상당히 유사하다. 또한 2.23~10 μm 범위의 수농도의 상관계수가 0.8 이상으로 높게 나타나고 있다. 가장 작은 크기인 0.3~0.5 μm 범위의 수농도의 상관계수는 0.2로 작고, 가장 큰 10~25 μm 범위의 수농도의 상관계수도 0.11로 작다.

한편, 심한 황사시 서울과 안면도의 에어로졸 수농도의 상관관계는 표 6과 같다. 강도가 1로 기록된 심한 황사 현상의 시간은 13시간에 해당하였고 서울과 안면도의 수농도 상관계수가 0.7 이상인 부분을 그늘칠(0.8 이상은 진한 그늘칠) 하였는데 심한 황사시 전반적으로 서울과 안면도의 수농도의 상관계수가 증가하였다. 특히 0.3~0.5 μm 범위의 수농도의 상관계수가 0.68으로 매우 높게 나타나고 있다. 또한 0.3~0.5 μm 범위의 수농도와 0.82~10 μm 의 에어로졸의 수농도의 상관계수는 음의 값으로 관련성이 키졌다. 이와 같이 황사 현상이 심할 경우 작은 에어로졸의 수농도가 감소하는 특성이 나타났다. 이 이유는 황사 입자를 수송하는 기단이 건조하므로 작은 크기의 에어로졸이 감소되는 것으로 추

Table 5. The correlation coefficient of aerosol number concentration between Seoul and Anmyondo from 14 to 22 April 1998.

Amyondo Seoul	Channel 1 (0.3~0.5)	Channel 2 (0.5~0.82)	Channel 3 (0.82~1.35)	Channel 4 (1.35~2.23)	Channel 5 (2.23~3.67)	Channel 6 (3.67~6.06)	Channel 7 (6.06~10)	Channel 8 (10.0~25)
0.30~0.50	0.20	-0.24	-0.47	-0.55	-0.60	-0.60	-0.58	-0.19
0.50~0.82	-0.14	-0.17	-0.41	-0.51	-0.57	-0.60	-0.52	-0.13
0.82~1.35	-0.22	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.06	0.05
1.35~2.23	-0.18	0.20	0.44	0.52	0.57	0.59	0.59	0.23
2.23~3.67	-0.07	0.33	0.68	0.81	0.88	0.90	0.84	0.28
3.67~6.06	-0.04	0.33	0.70	0.83	0.90	0.93	0.86	0.26
6.06~10	-0.01	0.32	0.66	0.78	0.85	0.87	0.82	0.28
10.0~25	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.11

[The unit of aerosol size range : μm]

[†] Different range

Table 6. The same as Table 5 except during the severe Yellow Sand days from 19 to 20 April 1998.

Amyondo Seoul	Channel 1 (0.3~0.5)	Channel 2 (0.5~0.82)	Channel 3 (0.82~1.35)	Channel 4 (1.35~2.23)	Channel 5 (2.23~3.67)	Channel 6 (3.67~6.06)	Channel 7 (6.06~10)	Channel 8 (10.0~25)
0.30~0.50	0.68	-0.86	-0.82	-0.79	-0.76	-0.75	-0.56	0.66
0.50~0.82	0.61	-0.37	-0.52	-0.54	-0.56	-0.57	-0.48	0.49
0.82~1.35	-0.50	0.80	0.68	0.64	0.60	0.57	0.40	-0.52
1.35~2.23	-0.66	0.83	0.79	0.76	0.73	0.72	0.52	-0.66
2.23~3.67	-0.65	0.83	0.79	0.76	0.73	0.71	0.50	-0.73
3.67~6.06	-0.64	0.84	0.80	0.76	0.74	0.72	0.50	-0.76
6.06~10.0	-0.61	0.82	0.79	0.76	0.73	0.71	0.50	-0.74
10.0~25.0	0.24	-0.17	-0.14	-0.11	-0.10	-0.10	-0.06	0.1

[The unit of aerosol size range : μm]

^{*} Different range

정된다.

가장 큰 10~25 μm 범위의 수농도의 상관계수는 심한 황사현상 기간중에도 0.12로 작아, 장거리 수송되는 황사 입자와 관련성이 적은 것으로 해석된다.

3.4 심한 황사시 입경 별 에어로졸 수농도의 상관 관계

앞절에서 심한 황사시 서울과 안면도의 에어로졸 수농도의 상관관계가 커지는 것을 살펴보았는데 이를 좀더 자세히 살펴보기 위해 각 지역에서 에어로졸 수농도의 크기별 자기 상관계수를 분석하였다(그림 5와 그림 6). 이 때 서울과 안면도의 수농도 샘플은 심한 황사 현상으로 관측된 총 13시간의 자료이다. 서울과 안면도에서 각각 0.82~10 μm 범위의 수농도의 상관계수가 0.77이상으로 매우 높게 나타났다. 또한 0.3~0.5 μm 범위의 수농도와 0.82

~10 μm 범위의 수농도의 상관계수는 -0.88 이상으로 음의 관련성이 뚜렷하게 나타났다. 이것은 황사시 서울과 안면도의 구분없이 두 지역에서 모두 에어로졸 수농도의 상관관계가 증가한 것으로 전국적인 황사 현상에 의한 공통점이라고 해석되며, 특히 0.3~0.5 μm 범위의 수농도와 0.82~10 μm 의 에어로졸의 수농도의 상관계수는 음의 값으로 관련성이 뚜렷해진 것에 주목할 필요가 있다. 이것은 황사 현상이 심할 경우 0.3~0.5 μm 범위의 작은 에어로졸의 수농도가 감소하는 것을 의미한다. 그런데 가장 큰 10~25 μm 범위의 에어로졸은 심한 황사현상 기간에도 다른 크기의 에어로졸과 뚜렷한 관련성이 없어 보인다. 한편 0.5~0.82 μm 범위의 수농도는 서울과 안면도에서 상반되는 관련성을 보였다. 즉 서울에서 큰 입자의 수농도와 반비례 관계를 보였지만 안면도에서는 비례관계를 보였다. 그 이유

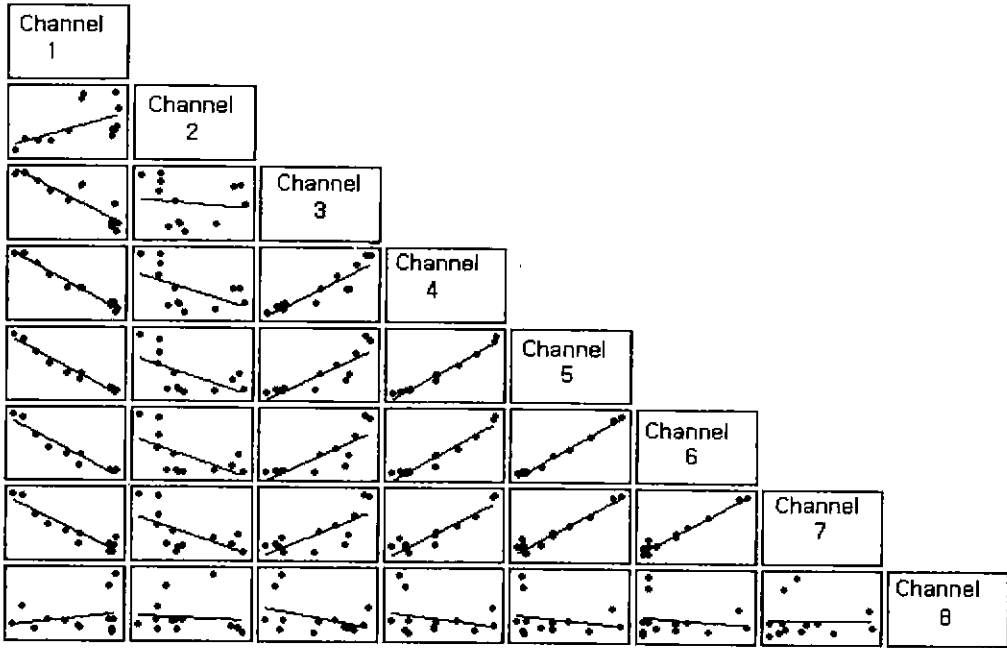


Fig. 5. Matrix plot of aerosol number concentration by each size range in Seoul during the severe Yellow Sand hours from 19 to 20 April 1998.

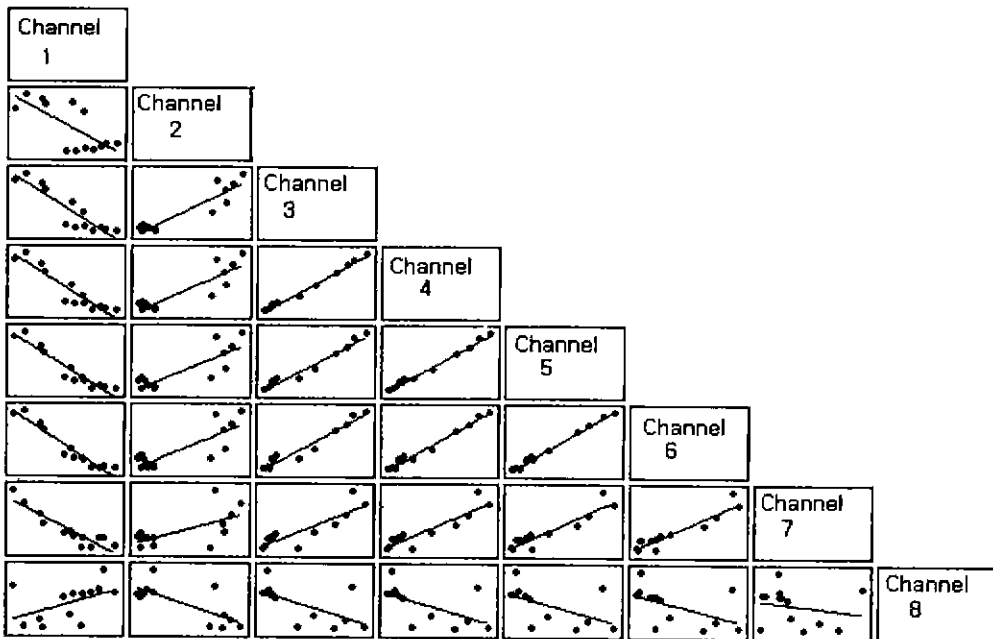


Fig. 6. The same as in Fig. 5 except in Anmyondo.

는 이 입경 범위가 서울과 안면도의 국지적 환경에 따른 에어로졸 모드 분포의 차이에 따른 결과로 해석된다.

4. 결 론

인위적인 오염원이 많은 서울 도심(종로구 구 기상연구소)과 해안가에 인접한 충남 안면도(배경대기관측소)에서 1998년 4월 황사시 관측된 에어로졸의 수농도를 비교한 결과 다음과 같은 특징을 밝혀내었다

첫째, 서울에서는 에어로졸 수농도가 황사의 강도가 심한 4월 19일에 최고값을 보이고, 황사 현상 전후로 강수 현상이 있었음에도 불구하고 황사현상의 시작일과 종료일에 높은 수농도를 나타내었다. 한편 안면도에서는 에어로졸 수농도가 황사의 강도가 심한 4월 19일에 최고값을 보이고, 황사 현상의 시작일과 종료일에는 현저히 작은 값을 나타내어, 전체 황사 기간 중 에어로졸 수농도가 점차 커졌다가 감소하는 추세를 잘 나타냈다. 이 이유는 서울의 대기는 국지적으로 오염된 상태에 황사 현상이 부가된 것이고, 안면도의 대기는 서울처럼 인위적인 오염원이 없이 청정한 상태였기 때문에 황사 현상에 따른 에어로졸 수농도의 변화 추세가 뚜렷하게 나타난 것으로 해석된다.

둘째, 서울의 에어로졸 수농도는 일반적으로 안면도의 경우보다 많은 편이었다. 특히 서울에서 입경이 $0.5\mu\text{m}$ 이상인 입자들이 안면도의 경우보다 뚜렷이 많았다. 그러나 $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ 범위의 입자 개수는 서로 유사하나 절대적인 개수는 오히려 안면도의 대기 중에 더 많았다. 이것은 해안가에 위치한 안면도의 경우 해양 생물 프랑크톤에 의한 DMS에 의한 영향과 높은 상대습도의 영향을 받은 것으로 추정되는데 이것은 앞으로 상세히 연구되어야 할 부분이다.

셋째, 이번 측정 대상 에어로졸 중 가장 작은 크기인 $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$ 범위의 수농도는 황사 기간 중 다른 입자 범위에 비해 상대적으로 변동폭이 매우 적었으며, 심한 황사기간 중에는 오히려 감소하는 추세를 보였다. 이 이유는 황사를 수송하는 기단의 성질이 건조함으로 인해서 작은 크기의 에어로졸이 감소한 것으로 추정된다.

넷째, 가장 큰 크기인 $10\mu\text{m}$ 이상의 입자는 서울에서 황사 기간 중에도 뚜렷한 일변화를 보였으며, 심한 황사 기간 중 수농도의 급격한 증가가 없었다. 안면도의 경우는 $10\mu\text{m}$ 이상의 입자수의 일변화가 보이지 않은 것은 배경대기관측소 주변에 뚜렷한 국지 오염원이 없기 때문으로 해석되며, 심한 황사 기간 중에도 수농도가 증가하지 않고 서울과 안면도의 수농도 상관성이 작은 것으로 보아, $10\mu\text{m}$ 이상의 입자는 장거리 수송되는 황사 입자와 관련이 적은 것으로 해석된다. 따라서 본 연구에서 채택한 황사 사례의 경우 우리 나라에 수송된 황사 입자 크기의 상한이 $10\mu\text{m}$ 인 것으로 추론된다.

다섯째, 황사 기간 중 서울과 안면도 에어로졸 수농도는 $1\sim 10\mu\text{m}$ 범위에서 급격히 증가하는 특징을 보이면서 0.8 이상의 높은 상관 계수($2.23\sim 6.06\mu\text{m}$ 범위는 0.9 이상임)를 나타내었다. 이로써 황사 입자의 크기가 약 $1\sim 10\mu\text{m}$ 범위에 분포하며 특히 $2\sim 6\mu\text{m}$ 범위에 집중된 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 과학기술부/기상청/기상연구소의 기본과제의 일환으로 이루어졌습니다. 관측에 협조하여 주신 이광우님께 감사드리고, 호주 CSIRO의 Peter Manins, Bridgeman 교수님께도 고마움을 전합니다.

참 고 문 헌

김용표, 심상규, 문길주, 백남준, 김성주, 허철구, 강창희 (1995) 제주도 고산지역 입자 특성: 1994년 3월 11일~17일 측정 결과. 한국대기보전학회지, 11(3), 263-272.

김용표, 박세유, 김진영, 심상규, 문길주, 이호근, 장광미, 박경운, 강창희 (1996) 고산에서의 1994년 3월~4월 측정 연구: (I) 입자상 오염물질의 이동, 한국대기보전학회지, 12(1), 79-90.

김필수, 김윤장, 이양호, 조숙현, 안승태 (1986) 도시대기 Aerosol의 입자 직경 $0.01\sim 10\mu\text{m}$ 범위의 농도 변화 특성. 한국대기보전학회지, 2(2), 41-50

신은상, 김희강 (1992) 서울시에서의 대기 부유분진에 대한 황사의 영향. 한국대기보전학회지, 8, 52-57.

이민희, 한의정, 신찬기, 한진석, 김상균 (1993) 황사현상시 대기 에어로졸 중 유기물질의 동태. 한국대기보

- 전학회지, 9 230-235.
- 이용근, 김단구, 원정호 (1985) Andersen 시료 채취기를 이용한 도시대기중 부유입자상 물질의 입도 분포 측정, 대기보전학회지, 1, 93-98.
- 이호근, 박경윤, 서명석, 장광미, 강창희, 허철구 (1995) 제주도 고산에서 수층성 에어로졸의 화학적 성분 분석, 대기보전학회지, 11(3), 245-252
- 정관영, 박순웅 (1995) 한반도에 황사 출현시의 증관 기상 특징, 한국기상학회지, 21(1), 45-63.
- 정용승 윤마병 (1996) 1995년 봄에 관측된 황사와 먼지바람 연구 한국기상학회지, 32, 17-27.
- 조희구 (1980) 서울의 대기 aerosol 입자 크기 분포에 관한 연구, 한국기상학회지, 16, 1-9
- Chun, Y., J. Kim, J. Choi and H.M. Cho (1998) The number concentration of aerosol in Seoul during the spring time of 1998. 14th International Clean Air & Environment Conference, Melbourne, Australia, 556-558.
- Duce, R.A., C.K. Unni, B.J. Ray, J.M. Prospero and J.T. Merrill (1980) Long range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific. Temporal variability, Science, 209, 1522-1524.
- Ishizaka, Y. and A. Ono (1982) Mass size distribution of the principal minerals of Yellow Sand dust in the air over Japan. Idojaras, 86, 249-253.
- Okada, K. (1985) Number-Size distribution and formation process of submicrometer sulfate-containing particles in the urban atmosphere of Nagoya. Atmospheric Environment, 19(5), 743-757
- Okada, K. and K. Kai (1995) Features and elemental composition of mineral particles collected in Zhangye, China, Jour. of the Meteorol. Soc. of Japan, 73(5), 947-957
- Schutz, L. and Jaenicke R. (1974) Particle number and mass distributions above 10~4 cm radius in sand and aerosol of the Sahara desert, J. Appl. Meteor., 13, 863-870
- Uematsu, M., R.A. Duce, J.M. Prospero, L. Chen, J.T. Merrill and R.L. McDonald (1983) Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean. J. geophys Res 88, 5343-5352.
- Wang, M.X., J.W. Winchester, T.A. Cahill and L.X. Ren (1982) Chemical elemental composition of wind-blown dust, 19 April 1980. Beijing, Kexue Tongbao 27, 1193-1198
- Whitby, K.T. (1978) The physical characteristics of sulfur aerosols, Atmospheric Environment, 12(1), 135-159.
- Zaizen, Y., M. Ikegami, K. Okada and Y. Makino (1995) Aerosol concentration observed at Zhangye in China. Jour. of the Meteorol. Soc. of Japan, 73(5), 891-897.
- Zhou M., Q. Shaohou, S. Ximing and L. Yuying (1981) Properties of the aerosols during a dust storm over Beijing area. Acta Scientie Circumstantae, 1, 207-219 (in Chinese).