

서울시의 1993년 가을철 시정 및 입자 특성 측정 및 분석

Measurement and Analysis of Visibility and the Characteristics of Particles during the Fall, 1993 in Seoul

백 남 준 · 김 태 오 · 김 성 주 · 김 용 표 · 문 길 주

한국과학기술연구원 환경연구센터
(원고접수: 1994. 1. 24)

Nam-Jun Baik, Tae-Oh Kim, Sung-Ju Kim, Yong Pyo Kim, Kil-Choo Moon

Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology
(Received 24 January 1994)

Abstract

Continuous measurements of the extinction coefficient(b_{ext}) and scattering coefficient due to particle(b_{sp}) were made during the fall, 1993 in Seoul along with the measurements of the size distribution, ionic composition of particles. On the average, b_{sp} values are 55% and 79% of b_{ext} values during the clear and smoggy periods, respectively. Also the average values of b_{ext} and b_{sp} were $0.791 \times 10^{-3} m^{-1}$ (visual range 4.9km) and $0.628 \times 10^{-3} m^{-1}$ (visual range 6.2km) during the smoggy period, and $0.297 \times 10^{-3} m^{-1}$ (visual range 13.1km) and $0.164 \times 10^{-3} m^{-1}$ (visual range 23.8km) during the clear period, respectively. The peak at about $1 \mu m$ of the particle size distribution during the smoggy period is about four times higher than that during the clear period while the peaks at about $5 \mu m$ during both periods are similar. Also, the concentrations of sulfate and nitrate at about $1 \mu m$ during the smoggy period are much higher than these during the clear period.

1. 서 론

서울시는 방대한 인구 및 산업시설을 포함하고 있어 그 자체가 거대한 대기오염 발생원인 동시에 인천, 수원, 안산, 성남등 공업 및 주거용 위성도시에 둘러싸여 있어 이들로부터 유입되는 오염물질의 수용지이다. 지형적으로 분지이고 특히 시내를 관통하는 한강이 수분을 공급하므로써 스모그 형성에 일조하고 있다. 대기오염의 지표로 인식되고 있는 스모그는 주로 에어로졸(aerosol)이라 불리는 미세 입자(특히 $0.1-2.0 \mu m$)들에 의해 시정을 악화시킨다. 이들 입자들은 대부분 대기중에서의 1차 오염 물질들이 서로 반응, 응축, 응집등의 과정을 통하여 생성, 성장하기 때문에 2차 에어로졸이라고 불린다.

이들 2차 에어로졸의 성장, 생성 및 여러특성(크기, 성분, 농도)은 1차 오염물질들인 기상의 SO_2 , NO_x , CO, O_3 , 총 탄화수소(THC)등과 입상의 TSP의 농도, 그리고 여러 기상조건(온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 혼합고)의 영향을 비선형적으로 받게된다. 이와함께 이들 2차 에어로졸의 입경분포(particle size distribution), 화학성분, 수분함량등의 여러 인자들이 시정장애현상에 영향을 미치므로, 시정장애는 어느 한가지 인자만이 주 원인이라고 할 수없는 복잡, 복합적인 현상이다(문길주 등, 1992).

따라서 시정장애현상을 규명하기 위해서는 첫째, 시정거리를 표준화하여 정량적으로 측정하여야 하고 둘째, 시정장애현상의 주 원인으로 추정되는 크기의 부유분진의 입경분포와 조성을 측정·분석하여

야 하며 셋째, 시정감소에 큰 작용을 하는 것으로 알려진 주요인자의 영향을 밝혀야 한다.

따라서 본 연구에서는 1993년 11월 3일부터 5일에 걸쳐 서울시에 나타난 스모그 현상의 특성을 청명한 날씨를 보인 1993년 10월 19일부터 22일 사이의 대기질 특성과 위의 방법을 사용하여 비교분석하였다.

2. 연구방법

2.1 측정장치 및 방법

일반적으로 시정은 아래 식 (1)과 같이 빛 소멸계수와 간단한 반비례관계가 있으며, 또한 빛 소멸계수는 식 (2)와 같은 Koschmeider(1924) 식으로 표현된다.

$$VR(\text{시정거리}) = \frac{3.912}{b_{ext}} \quad (1)$$

$$b_{ext} = b_{sg} + b_{ag} + b_{sp} + b_{ap} \quad (2)$$

여기서 b_{sg} 는 기체상 물질에 의한 산란계수로 Rayleigh 산란계수로 계산가능하고, b_{ag} 는 기체상 물질에 의한 흡수계수로 NO_2 가 가장 큰 기여를 하는데 이는 Hodkinson(1966) 이론으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$b_{ag} (m^{-1}) = 3.3 [NO_2]_{ppm} \times 10^{-4} \quad (3)$$

또한 b_{sp} 는 입자상 물질에 의한 산란계수이며, b_{ap} 는 입자상 물질에 의한 흡수계수로 원소탄소 농도에 굴절률(refractive index)을 곱하여 계산된다. 따라서 b_{ext} 와 b_{sp} 만을 측정하면 윗식 (2)를 구성할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 빛 소멸계수를 측정하기 위해 transmissometer(Optec Model No. LPV)를, 입자산란계수를 측정하기 위해 nephelometer(Belfort Model No. 1598)를 사용하였다. Transmissometer의 calibration은 거리를 알고 있는 두 지점에 옮겨가며 측정하므로써 그 차이로부터 보정해주는 differential path method를 이용하였는데 이는 서울과 같이 시정이 매우 작은 곳에 적당한 방법이기 때문이다. Monochromatic lamp에서 나오는 광선의 세기가 사용기간에 따라 변하는가를 확인하기 위해 1달에 한번 정도 lamp voltage를 측정하여 10% 이상 차이가 발생하면 교환해주었다. 또한 nephelometer는 particle-free air와 fluorocarbon 12로 매달 보정해 주었다. 또한 입자크기분포와 성분을 분석하기 위해 cascade impactor(Anderson Model No. SE2110-K)와 3개의 sampler(PM-10, PM-3, PM-1)를 사용하였다. 한편 cas-

cade impactor에는 80mm glass fiber filter(Whatman사제)를, sampler에는 47mm teflon membrane filter(Gelman사제, pore size 0.45 μ m)를 사용하였다.

위의 장치들은 한국과학기술연구원 내의 측정 장소에 그림 1과 같이 설치하고 가동하였다. 즉, transmissometer의 빛 조사장치(transmitter)와 검출장치(receiver) 사이에 nephelometer와 기타 에어로졸 채취장치를 설치하여 대표값으로 산출하였다. Transmissometer와 nephelometer는 background 값을 산출하기 위하여 상시 작동시키며 에어로졸 채취장치는 기상상태와 시정측정장치의 data를 참고하여 스모그라 판단되는 기간동안만 24시간 간격으로 운행하였다. 한편 온도, 상대습도 및 광학계수 등 방대한 양의 data를 용이하게 처리하기 위하여 A/D converter(Advantech Co. Model No. PCL-812PG)를 장착한 computer를 사용하였다.

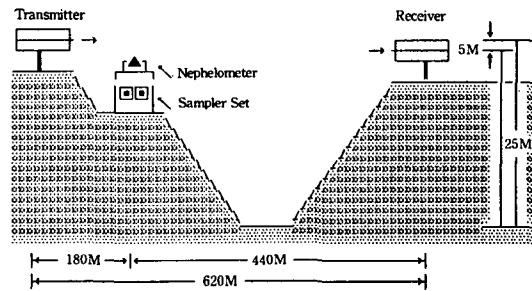


Fig. 1. Layout of various instruments.

2.2 성분 분석방법

본 연구에서는 국내외 논문(이민희 등, 1987; Ouimette et al., 1981; Wolff et al., 1982)에 발표되어 있는 자료를 기준으로 teflon membrane filter에 포집된 성분중 농도가 크거나 빛소멸효율이 큰 성분인 nitrate(이하 질산이온, NO_3^-)와 sulfate(이하 황산이온, SO_4^{2-})를 I.C.(Ion Chromatography, Dionex series 2000I)로 분석하였다. 즉, 시료휠터에 50ml의 증류수와 0.5ml의 에탄올을 가하고 ultrasonic에서 15분간 진탕한후 다시 shaker에서 15분간 처리한다. Cellulose acetate membrane filter(녹십자의료공업사제, pore size 0.45 μ m)로 최종여과한 시료용액을 분석하였다. 이에대한 자세한 내용은 문길주 등(1993)에 잘 나타나있다.

2.3 자료 처리방법

스모그는 시간에 따라 변하는 역동적인 현상이기 때문에 포집시간이 길어질 경우 비스모그기간의 자

료나 특성이 다른 스모그의 자료가 혼입될 가능성이 있으며, 같은 스모그 기간이라도 일간 변화를 관찰하기 힘들어진다. 따라서 본 연구에서는 검출한계 농도(detection limit)를 고려하여 filter paper를 47mm, cut-size를 $1.1\mu\text{m}$ (PM-1), $3.3\mu\text{m}$ (PM-3), $11\mu\text{m}$ (PM-10)의 세 sampler, 시료채취기간을 24시간 등으로 조건을 최적화시켰다. 이때 분석된 분진, 질산이온과 황산이온의 입자크기별 농도분포는 병행운영된 cascade impactor의 자료를 기준으로 환산하였다. 또한 시정(혹은 각 광학계수) 및 상대습도는 24시간 평균값을 대표값으로 취하였다. 한편 대기중의 에어로졸은 여러 기체성분들이 응축, 반응, 응집되어 생성되므로 peak간에 완만한 변화(smooth transition)를 갖는 입자크기분포를 갖는다. 이러한 분포는 대기화학, 물리 특히 광학특성에 영향을 주게되어 본 연구의 목적인 스모그 현상의 파악에 필수적이다. 그러나 현재 사용중인 대부분의 impactor는 제각기 다른 cut-size를 가져 상호간에 비교 및 전환이 불가능하며 특히 입자간 불연속적인 자료만을 제공하여 본 연구의 목적에 불충분하다. 따라서 불연속적인 impactor 자료를 연속화하기 위해서는 적당한 수치기술(numerical technique)이 필요한데 여기서는 kernel함수를 응용한 Twomey inversion program(Sloane and Wolff, 1985)을 사용하였다.

3. 측정 및 분석결과

3.1 시정(광학계수) 및 기상자료의 시계열분석

그림 2는 1993년 10월 19일부터 22일까지의 비스모그기간과 동년 11월 3일부터 6일까지의 스모그기간중에 측정된 시정(광학계수) 및 기상자료의 변화를 보인 것이다. 두 경우 모두 소멸계수와 산란계수가 밤부터 오전에는 높은값을 보이다가 오후부터는 감소하기 시작하여 낮은 값을 가진후 저녁부터 다시 상승하는 전형적인 일변화 주기를 보였다. 이는 온도변화에 따른 혼합고 및 상대습도의 변화에 따른 것으로 같이 나타낸 온도와 상대습도의 변화를 살펴보면 알 수 있는 사실이다. 이러한 일변화는 양 기간이 같은 경향을 보이나 비스모그 기간에 비해 스모그 기간중의 두 광학계수가 훨씬 큰 값을 보이며 더욱이 소멸계수에 대한 입자의 산란계수 비중이 큰 결과를 볼 때 두 기간중 대기성분에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 스모그 기간과 비스모그 기간중의 두 광학계수의 평균값등 통계값과 평균소멸계수에 대한 평균산란계수의 기여도를 표 1에 나타내었다.

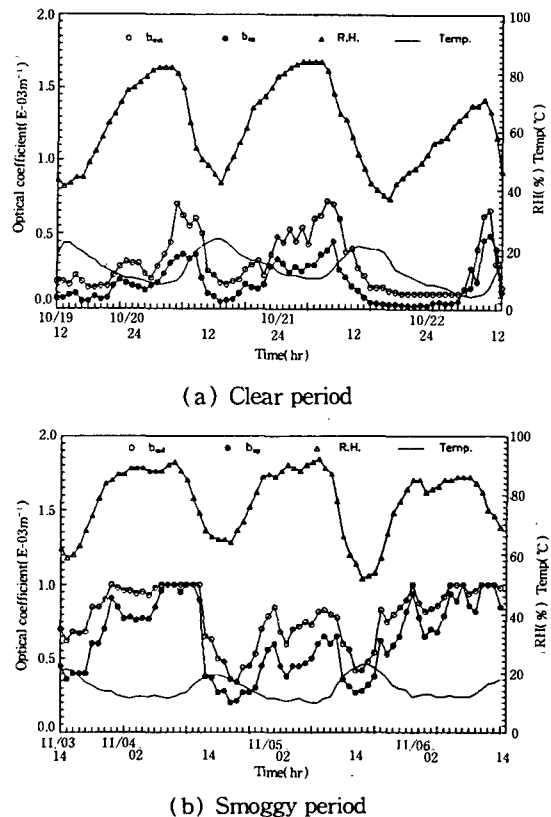


Fig. 2. Optical and meteorological variation during clear and smoggy periods.

이에 보듯이, 스모그 기간중의 일 평균 빛 소멸계수 $0.791 \times 10^{-3} \text{m}^{-1}$ (시정 4.9km)는 비스모그기간의 $0.297 \times 10^{-3} \text{m}^{-1}$ (시정 13.1km)에 약 2.5배, 입자에 의한 빛 산란계수의 경우, 스모그 기간중의 일 평균 빛 산란계수 $0.628 \times 10^{-3} \text{m}^{-1}$ (시정 6.2km)는 비스모그기간의 $0.164 \times 10^{-3} \text{m}^{-1}$ (시정 23.8km)에 약 3.84배를 나타내고 있다. 이는 가시거리로 따질 경우, 그 차이가 8.2km와 17.6km에 해당하는 거리이다. 또한 빛 소멸계수에 대한 입자에 의한 산란계수의 기여도는 비스모그기간중의 55.2%에 비해 스모그 기간중에는 79.4%로 훨씬 크다. 기체에 의한 빛의 산란과 흡수정도(최대로 약 10%, Groblicki et al., 1981)는 입자에 의한 영향보다 작은 것을 감안하면, 입자에 의한 빛산란에 의한 분율을 제외한 나머지는 입자에 의한 빛 흡수일 것으로 추정되며, 그 분율은 스모그기간시 10-20%, 비스모그기간시 30-40% 정도이다. 외국의 경우, Denver (Groblicki et al., 1981)가 31.2%, Duarte(Pratsinis et al., 1984), Lennox, Pasadena, Azusa, Upland, San Bernardino (Larson and Cass, 1989) 등이 15-20%, Detroit

Table 1. Comparison of b_{ext} and b_{sp} during the smoggy and clear periods.

	Smoggy period			Clear period		
	Night ¹⁾	Day ²⁾	Daily average	Night ¹⁾	Day ²⁾	Daily average
Hourly avg±sd b_{ext} ³⁾	0.888 ±0.112	0.690 ±0.205	0.791 ±0.192	0.395 ±0.204	0.200 ±0.089	0.297 ±0.185
Hourly avg±sd b_{sp} ³⁾	0.748 ±0.196	0.504 ±0.243	0.628 ±0.248	0.240 ±0.129	0.089 ±0.059	0.164 ±0.125
Ratio of avg. b_{sp} to avg. b_{ext}	0.842	0.730	0.794	0.608	0.445	0.552
RH (%)	86.5	69.3	77.9	71.1	51.3	61.2

1) Night : P.M 11-A.M 10

2) Day : A.M 11-P.M 10

3) Unit : $10^{-3}m^{-1}$

(Wolff et al., 1982; Sloane and Wolff, 1985), China lake(Ouimette et al., 1981)등이 약 10%로 보고되어 있으며 국내의 경우 서울 및 소백산(이민희 등, 1987)이 각각 38.3%, 23.1%로 보고되어 있다. 따라서 본 연구의 스모그기간 자료는 Denver를 제외한 외국의 자료와, 비스모그기간의 자료는 국내의 자료와 비슷한 값을 보이고 있음을 알 수 있는데 여기서 국내자료간에 차이가 나는 원인은 두가지로 볼 수 있다. 그 하나는 이들의 측정시점이 본 연구와 5년이상 차이나므로 그 동안의 대기조성에 변화가 있었을 가능성이 있다는 것이고 다른 하나는 이들의 결과가 거의 1년동안의 평균이므로 비스모그기간의 자료가 혼입되었을 가능성이 있다는 것이다. 또한 맑은 날에 비해 스모그기간의 흡수분율이 감소하는 것은 평소 원소탄소에 의한 빛흡수분율이 기타 분율에 비해 크게 작용하다가 스모그가 형성되어 황산이온, 질산이온과 같은 성분들이 생성되면 산란에 의한 분율이 커져 흡수분율은 상대적으로 줄어들기 때문으로 볼 수 있다. 이는 Adams et al. (1990)이 1987년 Los Angeles에서 측정, 분석한 결과와도 일치한다. 일반적으로 입자에 의한 흡수는 연소과정에서 발생한 원소상 탄소가 주원인으로 알려져 있다(Turpin et al., 1991). 따라서 이에 대한

측정이 요구된다 하겠다. 또하나 고려할 점은 비산 분진 등의 흙먼지(dust)에 의한 시정감소가 어느정도인가 하는 점인데 여기에 대해서는 다음의 입자 특성분석에 대한 검토에서 다시 언급하겠다.

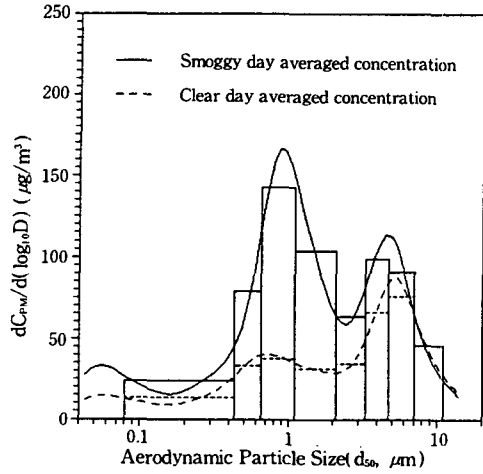
3.2 입자특성분석 결과

그림 3(a)-3(c)는 두 기간중에 채취된 분진 및 그 중의 황산이온과 질산이온의 평균 입자크기분포를 동시에 나타낸 것이다. 분진의 분포는 전형적인 이산형(bimodal)의 형태인데 비해 황산이온이나 질산이온은 일산형(unimodal)에 가깝다. 그러나 세경우 모두 두 기간중의 성분농도와 peak의 위치 및 상대적 크기가 다른 것을 표 2에서도 볼 수 있다.

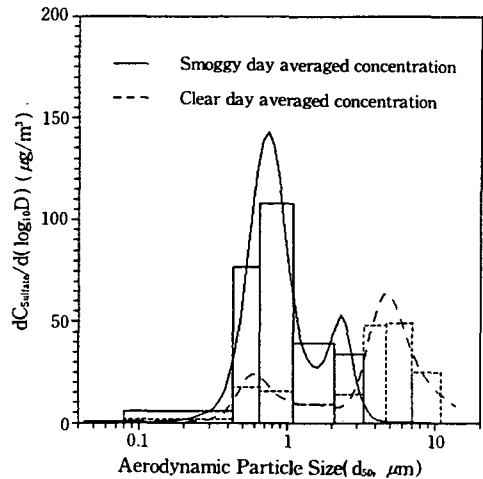
즉 스모그기간은 비스모그기간에 비해 주로 $1\mu m$ 근처의 입자 및 성분에 의해 시정장애가 일어난다고 볼 수 있는데 이는 $5\mu m$ 근처의 조대입자가 빛산란에 미치는 영향은 $1\mu m$ 근처의 미세입자에 비해 무시할 정도로 낮다는 보고(Waggoner et al., 1981)를 상기해보면 이 결과와 잘 연계된다. 이 그림에서 보면 비스모그기간중의 황산이온과 질산이온 농도가 주로 $5\mu m$ 근처에 편중되어 있다. 그러나 그림 4에 나타낸 입자중 이들성분의 질량분율을 보면 거의 비슷하거나 오히려 미세입자쪽이 크다. 이

Table 2. Characteristics of particle samples.

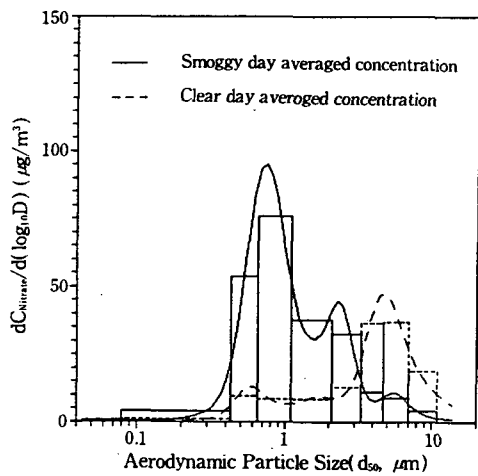
	Smoggy period			Clear period			
	PM-10	Sulfate	Nitrate	PM-10	Sulfate	Nitrate	
Avg. concentration PM-10($\mu g/m^3$)	145.34	15.64	12.79	71.87	7.08	5.06	
Fine particle peak	location(μm)	0.89	0.81	0.75	0.75	0.63	
	conc.($\mu g/m^3$)	166.44	36.49	21.11	40.06	3.83	1.93
Coarse particle peak	location(μm)	4.54	1.92	2.28	5.39	4.95	4.95
	conc.($\mu g/m^3$)	113.19	18.55	9.56	87.32	9.78	7.31



(a) Particle



(b) Sulfate



(c) Nitrate

Fig. 3. Comparisons of the particle, sulfate, and nitrate size distributions in clear and smoggy periods.

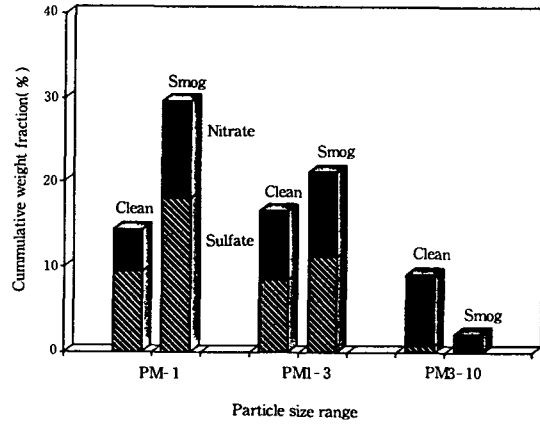


Fig. 4. Weight fractions of sulfate and nitrate in particles with size range.

에 비해 스모그기간은 미세입자쪽이 훨씬 큰데 이는 평상시 두 성분이 각 입자크기에 고루 분포되어 있으나 스모그가 형성되면 0.1 μ m 크기 주위의 입자들이 주로 발생되기 때문으로 해석된다. 한편 스모그기간중 조대입자 구역의 두 성분 질량분율은 3% 이하로 나타났는데 이는 조대입자중 3/4이상이 지각원소라는 보고(Countess et al., 1980; Wolff et al., 1982)로부터도 추정가능한 결과이다. 이러한 크기의 조대입자가 시정감소에 미치는 영향은 무시할 정도라는 연구결과(Heintzenberg and Quenzel, 1973; Groblicki et al., 1981)도 있으나 Ouimette et al.(1981)은 1979년 캘리포니아주 China lake에서 enrichment factor(EF_i)를 이용하여 대기중 지각성분입자가 빛소멸에 미치는 영향을 연구하고 그 기여도가 ammonium sulfate의 약 10%에 해당한다고 하였다. Dzubay(1982)는 1980년 Houston에서 같은 연구를 하고 지각성분이 빛산란 및 소멸에 미치는 영향이 각각 3.4%, 2.6%라 하였다. 또한 Lyon (1990)은 1987-88년 Denver의 brown cloud study에서 발전소 연료가 gas일때와 석탄일때의 지각성분입자의 영향을 각각 9%와 6%라 하였다.

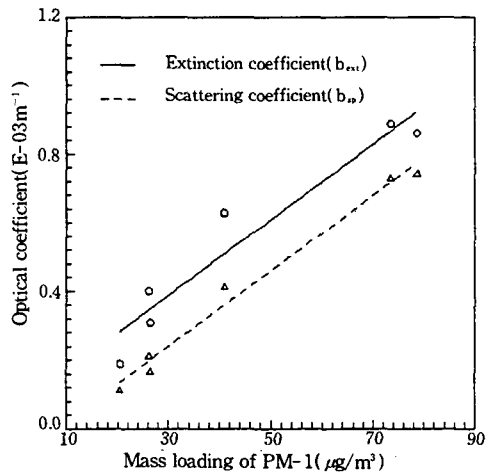
3.3 시정장애에 미치는 주요인자

앞에서 언급한 바와 같이 시정장애에 미치는 인자로는 1차오염성분의 농도와 환경요소(기상 및 지형)가 있으나 여기서는 분진농도와 습도에 대해서만 연구하였다.

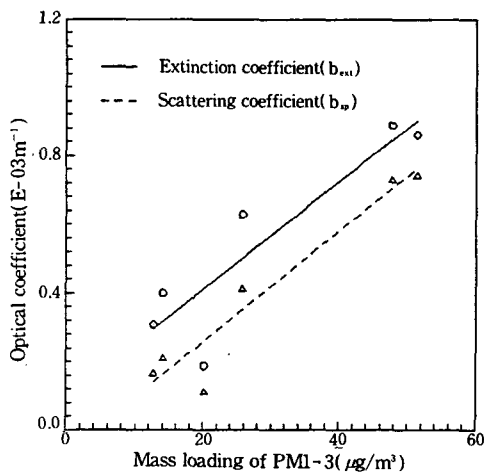
분진농도

그림 5(a)-5(c)에 1 μm 이하, 1 μm -3 μm , 3 μm -10 μm 의 분진 농도와 두 광학계수사이의 관계를 나타내었다. 또한 표 3에 이를 regression한 결과를 정리하였다. 1 μm 이하, 1 μm -3 μm 사이의 입자농도와 두 광학계수간의 R square(R^2 이하 상관계수)는 0.82이상으로 매우 높아 비례관계가 있으나 3 μm -10 μm 이하는 0.6이하로 상관성이 결여되는 것으로 나타났다.

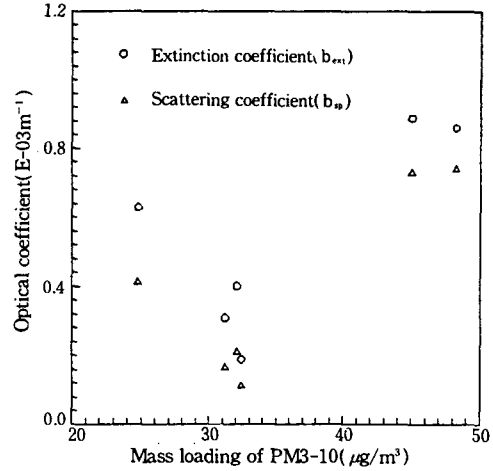
Wolff et al.(1982)은 Detroit에서 2.5 μm 이하의 미세입자 농도와 산란계수의 비례관계를 도출하고 그 상관계수가 0.92라 하였다. 또한 Ouimette et al. (1981)은 1979년 China lake에서의 연구에서 0.5 μm ,



(a) PM-1



(b) PM1-3



(c) PM3-10

Fig. 5. Correlation of optical coefficients with PM-1, PM1-3 and PM3-10 particulate mass.

Table 3. Regression results between optical coefficients and particle loading.

	Extinction			Scattering		
	a ¹⁾	m ²⁾	R ²	a	m	R ²
PM-1 ³⁾	0.057	0.011	0.925	-0.091	0.011	0.985
PM1-3 ³⁾	0.096	0.016	0.820	-0.064	0.016	0.925
PM3-10 ³⁾	-0.242	0.022	0.464	-0.070	0.024	0.604

1), 2) $y = a + mx$

3) Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

2 μm , 10 μm 이하의 입자 농도와 산란계수간의 비례 관계 상관계수가 각각 0.50, 0.65, 0.44라 하였고 Dzubay et al.(1982)은 2.5 μm 이하의 미세입자와 12.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 산란계수간 상관계수가 0.987임을 보였다. 한편, Groblicki et al.(1981)은 1978년 Denver에서의 측정으로 2.5 μm 이하의 미세입자 (FPM) 농도와 2.5 μm -30 μm 의 조대입자(CPM) 농도가 산란계수와 상관계수 0.95, 0.06을 각각 갖는다고 하였으며 이들간에 상관계수 0.96으로 다음의 식이 존재한다고 보고하였다.

$$b_{sp} (\times 10^{-4} \text{m}^{-1}) = 0.033\text{FPM} - 0.003\text{CPM} \quad (4)$$

따라서 이들과 본 연구의 결과는 잘 부합된다고 볼 수 있다. 또한 소멸계수보다는 산란계수와 상관계수가 훨씬 높아 흡수에 의한 영향이 소멸계수에 미

치는 것으로 보인다. 즉, 이 기간중에 나타난 스모그 현상은 주로 미세입자에 의한 빛의 산란이 주효했으며 조대입자는 시정장애와 관련이 없었음을 다시 한번 보여주었다.

상대습도

상대습도 70%에서 대기중 에어로졸 질량의 반이 물이라는 연구결과(Hanel, 1976)만으로도 수분은 대기 특성에 매우 중요한 성분이다. 이는 액적상(water particulate), 수증기상(water vapor) 및 기타 입자상물질과 결합된 형태 등으로 존재한다. 상대습도에 따라 다소간 존재하는 수증기상 수분은 새벽녘과 같이 기온이 급강하하여 대기중에 수분이 과포화될때(상대습도 100% 이상) 액적으로 성장하는데 0.1-10 μm 크기의 이러한 액적이 주로 빛을 산란시키는 것으로 알려져 있다(Shah, 1981). 그러나 이와 같이 순수한 수분으로 존재하는 경우는 극히

희박하며 주로 조해성 입자상(hygroscopic particulate)물질을 핵으로 하여 수분이 흡수되는 경우가 많다. 이렇게 대기중의 에어로졸에 수분이 흡수되면 입경이 커지는 것은 물론 모양(shape)과 굴절률(refractive index)에 영향을 주어 결국 광학효율(optical efficiency)을 변화시킴으로써 시정을 변화시킨다.

그림 6은 상대습도에 따른 두 광학계수의 변화를 나타낸 것이다. 두 계수 모두 지수적으로 증가하는 경향을 보였으며 약 70%에서부터 증가속도가 빨라졌다. 이는 상대습도가 증가하여 70%가 되면 에어로졸중의 수분함량과 그 산란효율이 급격히 상승한다는 Charlson et al.(1974)의 연구결과와 일치한다. 또한 ammonium sulfate와 ammonium nitrate의 조해점은 각각 80%, 61%(Kim et al., 1993)라는 점을 감안할때도 비슷한 결론을 얻을 수 있다. 같은 상대습도에서 스모그기간중의 산란계수는 맑은 날에 비해 높는데 이는 표 2에서와 같이 대기중 분진량이 많으며 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 산란효율이 큰 미세입자의 함유율이 높기 때문이다. 또한 두 계수는 상대습도에 따라 거의 같은 속도로 증가하며 이들의 차이 즉, 흡수계수(식(2)참조)는 거의 일정하거나 약간 증가하여 산란의 증가량에 비하면 매우 적다. 또한 낮에 비해 밤의 산란계수가 큰 것은 상대습도가 높고 혼합고의 감소로 인해 대기중 오염물질의 농도가 증가하였기 때문으로 보인다.

따라서 본 측정기간중의 스모그는 비스모그기간과는 다른 대기성분을 갖고 있으며 빛 산란의 증가는 주로 상대습도와 혼합고에 영향을 받은 것으로 추정된다.

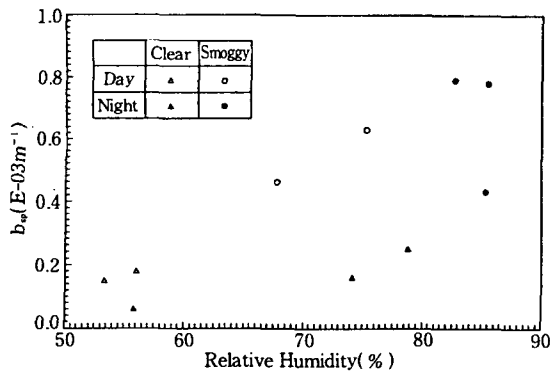
4. 결 론

1993년 10월 19일부터 22일 사이의 비스모그기간과 동년 11월 3일부터 6일 사이에 나타난 스모그기간중 측정된 자료로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

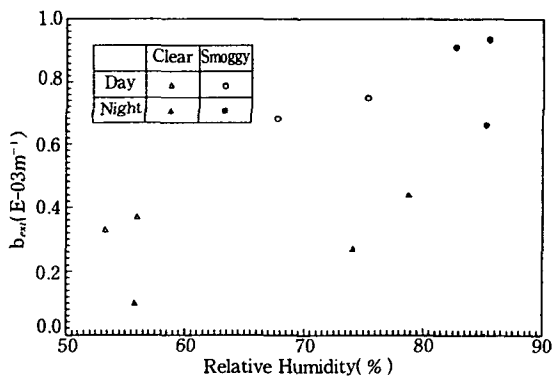
(1) 빛 소멸계수(b_{ext}), 산란계수(b_{sp}), 상대습도 및 온도는 밤, 낮을 주기로 반복되는 현상을 보였다. 즉, 두 광학계수와 상대습도는 밤부터 오전까지는 높다가 오후부터 저녁까지는 낮으며 온도는 이와 반대의 경향을 가졌다.

(2) 양기간에 측정된 자료를 비교했을때,

1) 일평균 소멸계수는 2.5배, 산란계수는 3.84배 컸으며 평균 소멸계수에 대한 산란계수의 비율도 비스모그기간이 0.55인데 비해 스모그기간이 0.79나 되어 스모그에 의한 빛산란의 증가가 두드러졌다.



(a) Scattering coefficient (b_{sp})



(b) Extinction coefficient (b_{ext})

Fig. 6. Variations of optical coefficients with relative humidity.

2) 분진, 황산이온, 질산이온의 입자크기분포를 측정된 결과 비스모그기간에는 5 μ m 정도의 조대입자쪽에 편중된데 비해 스모그기간에는 0.9 μ m 정도의 미세입자쪽에 편중되어 있다.

따라서, 이 기간중의 시정장애는 주로 1 μ m 정도의 미세입자에 의한 빛 산란의 영향이 주요했다.

(3) 미세입자 농도는 두 광학계수와 상관계수 0.9 이상의 좋은 상관성을 보이거나 3 μ m 이상의 조대입자는 0.6 이하로 상관성이 결여되며 특히 분진의 농도는 소멸계수보다 산란계수와 상관성이 높은 것으로 나타났다.

(4) 50%-80%의 본 측정범위에서 상대습도가 상승하였을 때

1) 광학계수는 점차 증가하다가 70%부터는 그 속도가 빨라졌다.

2) 두 광학계수간의 차이인 흡수계수는 거의 일정하거나 약간 증가하여 상대습도의 증가는 흡수보다는 주로 산란에 영향을 주었다.

3) 대기중 분진농도, 입자크기분포 및 대기성분의 차이로 인해 스모그 기간의 광학계수가 훨씬 컸으며 상대습도와 혼합도의 영향으로 낮보다는 밤의 광학계수가 컸다.

사 사

본 연구는 환경처/과학기술처의 선도기술개발사업인 서울지방의 스모그 현상 연구의 일환으로 진행되었습니다.

참고 문헌

문길주, 심상규, 백남준, 김성주(1992) 환경오염 방지기술 개발-서울지방의 스모그현상 연구 (I), 한국과학기술연구원 연구보고서 UCN875(8)-4624-6, 과학기술처.

문길주, 심상규, 김용표, 박철홍, 백남준, 김태오, 이성준, 이정아, 박세옥, 김성주(1993) 지구환경 감시 및 기후변화 예측기술-서울지방의 스모그현상 연구(II), 한국과학기술연구원 연구보고서, 환경처/과학기술처.

이민희, 한의정, 신찬기, 한진석, 정해동, 사원희(1987) 대기중 입자상 물질의 생성 및 동태에 관한 연구, 국립환경연구원보, 9, 27-41.

Adams, K.M., L.I. Davis, Jr., S.M. Japar, and P.R. Finley(1990) Real-time, In situ measurements of atmospheric optical absorption in

the visible via photoacoustic spectroscopy-IV. Visibility degradation and aerosol optical properties in Los Angeles, Atmos. Environ., 24A(3), 605-610.

Charlson R.J., A.H. vanderpol, D.S. Covert, A.P. Waggoner, and N.C. Ahlquist(1974) H₂SO₄/(NH₄)₂SO₄ background aerosol: optical detection in St. Louis region, Atmos. Environ., 8, 1257-1267.

Countess, R.J., G.T. Wolff, and S.T. Cadle(1980) The Denver winter aerosol: A comprehensive chemical characterization, JAPCA, 30(11), 1194-1200.

Dzubay, T.G., and K.W. Clubb(1981) Comparison of telephotometer measurements of extinction coefficients with scattering and absorption coefficients, Atmos. Environ., 15, 2617-2624.

Dzubay, T.G., R.K. Stevens, C.W. Lewis, D.H. Hern, W.J. Courtney, J.W. Tesch, and M.A. Mason(1982) Visibility and aerosol composition in Houston, Texas, Environ. Sci. Technol., 16(8), 514-525.

Groblicki, P.J., G.T. Wolff, and R.J. Countess (1981) Visibility-reducing species in the Denver "Brown Cloud"-1. Relationship between extinction and chemical composition, Atmos. Environ., 15, 2473-2484.

Hanel G.(1976) The properties of atmospheric aerosol particles as functions of the relative humidity at thermodynamic equilibrium with the surrounding moist air, Adv. Geophys., 19, 73-188.

Hasan, H., and T.G. Dzubay(1983) Apportion light extinction coefficient to chemical species in atmospheric aerosol, Atmos. Environ., 17, 1573-1581.

Heintzenberg, J., and H. Quenzel(1973) On the effect of the loss of large particles on the determination of scattering coefficients with integrating nephelometers, Atmos. Environ., 7, 503-507.

Hodkinson, J.R.(1966) Calculations of color and visibility in urban atmospheres polluted by gaseous NO₂, Air Water Poll. Int. J., 10, 137.

Kim, Y.P., J.H. Seinfeld, and P. Saxena(1993) At-

- ospheric gas-aerosol equilibrium: 1. Thermodynamic model, *Aerosol Sci. and Technol.*, 19, 157-181.
- Koschmieder, H.(1924) Theorie der horizontalen Sichtweite, *Beitr. Phys. frei. Atmos.*, 12(33-53), 171-181.
- Larson, S.M. and G.R. Cass(1989) Characteristics of summer midday low-visibility events in the Los Angeles area, *Environ. Sci. Technol.*, 23(3), 281-289.
- Lyons, C.E.(1990) Environmental problem solving: The 1987-88 metro Denver brown cloud study, *Chemical Engineering Progress*, May, 61-71.
- Ouimette, J.R., R.C. Flagan, and A.R. Kelso(1981) Chemical species contribution to light scattering by aerosols at a remote arid site: Comparison of statistical and theoretical results, Paper pres. at the Symposium on Chemical Composition of Atmospheric Aerosols: Source/Air Quality Relationships, Second Chemical Congress of the North American Continent, Las Vegas, NV, August 1980.
- Pratsinis, S., E.C. Ellis, T. Novakov, and S.K. Friedlander(1984) The carbon component of the Los Angeles aerosol; Source appointment and contributions to the visibility budget, *JAPCA*, 34, 643-650.
- Rogers, F., D.H. Lowenthal, and S. Musarra(1992) Application of a Mie scattering computer code supporting material for a user workshop, Desert Research Institute.
- Shah, J.J.(1981) Measurements of carbonaceous aerosol across the U.S.: Sources and role in visibility degradation, Ph.D. Thesis, Oregon Graduate Center, Beaverton, Oregon.
- Sloane, C.S.(1983) Optical properties of aerosols-Comparison of measurements with model calculations, *Atmos. Environ.*, 2, 409-416.
- Sloane, C.S. and G.T. Wolff(1985) Prediction of ambient light scattering using a physical model responsive to relative humidity: Validation with measurements from Detroit, *Atmos. Environ.*, 19, 669-680.
- Turpin, B.J., J.J. Hartzicker, S.M. Larson, and G.R. Cass(1991) Los Angeles summer midday particulate carbon: Primary and secondary aerosol, *Environ. Sci. Technol.*, 25(10), 1788-1793.
- Waggoner, A.P., Weiss, R.E., Ahlquist, N.C., Coaert, D.S., Will, S., and R.J. Charlson (1981) Optical characteristics of atmospheric aerosols, *Atmos. Environ.*, 15(10/11), 1891-1909.
- Wolff, G.T., M.A. Ferman, N.A. Kelly, D.P. Stroup, and M.S. Ruthkosky(1982) The relationships between the chemical composition of fine particles and visibility in the Detroit metropolitan area, *JAPCA*, 32, 1216-1220.