

# 서울 부유분진 농도와 황사 특성에 관한 사례 연구

## A Case Study on the Characteristics of TSP Concentrations and Yellow Sand Phenomena in Seoul

김 우 규 · 전 영 신<sup>1)</sup> · 이 원 환<sup>2)</sup> · 김 현 미  
기상청 농업기상과 · 기상연구소<sup>1)</sup> · 연세대 토목과<sup>2)</sup>  
(1994년 12월 7일 접수, 1995년 5월 15일 채택)

Woo-Gyu Kim, Young-Sin Chun<sup>1)</sup>, Won-Hwan Lee<sup>2)</sup>, Hyun-Mee Kim  
*Agricultural Meteorology Division, Korea Meteorological Administration*  
<sup>1)</sup>*Meteorological Research Institute*  
<sup>2)</sup>*Department of Engineering Works, Yonsei University*

### Abstract

The variations of TSP concentrations observed at Air Quality Monitoring Stations(AQMSs) in Seoul were analysed from 1986 to 1993. And those of Yellow Sand period were investigated to find out the characteristics between normal and Yellow Sand period.

The TSP concentrations have begun lower than  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  annual mean concentration at Gwanghwamun, Hannam-dong, and South river region since 1989, and air quality in Seoul was improved in 1991, but polluted again in Hannam-dong, and Seongsu-dong in 1992. Yellow Sand phenomena of 1990 and 1993 were selected for case study. During the whole period in 1990, the TSP concentrations were exceeded over  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ , which is the upper limit of 24 hour concentration, at the center of city such as Mapo, Gileum-dong, Sinseol-dong. But in 1993, the TSP concentrations got lower than 24 hour concentration, and air quality was highly improved.

### 1. 서 론

최근 각종 산업의 발달, 인구 과밀, 자동차 증가 등에 따른 오염 물질의 배출은 계속되어 있으나 관련 규제 강화로 서울 시의 대기질(質)은 점차 개선되고 있다. 대기 중으로 배출되는 오염물질에는 TSP, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 그리고 광화학 작용에 의해 형성되는 O<sub>3</sub> 등이 있다. 이중 TSP(Total Suspended Particle)는 대기 중 총 부유분진으로 대기의 주 오염원 중의 하나이다. TSP는 인체에 많은 피해를 주는데, 입경이 1 $\mu\text{m}$  이하의 입자는 사람의 폐 속까지 들어가 진폐증과 폐암까지 유발하는 것으로 알려져 있고(최광수, 1991; 박성은 등, 1992; 김우규, 1993), 대기 혼탁도 증대, 일사량 감소, 정밀 기계

손상, 시정 감소 등 많은 영향을 준다.

서울시의 TSP 농도는 행정적인 규제에 점차 낮아지고 있으나, 환경 기준을 생리적인 기준에 두고 있는 선진국의 기준치를 넘는 높은 수준이다.

대기 중 부유분진의 증가 현상은 황사시에 더욱 심각하게 최근 중국의 개방과 공업화에 따른 화석연료 사용의 급증으로 다량의 오염물질이 편서기류에 편승하여 우리나라에 영향을 주고 있다(정용승 등, 1991).

황사는 우리나라에서 봄철인 3월~5월에 잘 발생하는데 발원지는 고비(Gobi), 타클라마칸(Taklamakan) 사막과 황하강 상류의 황토(Loess)지역 등으로 알려져 있다(윤용황, 1990). 봄에 넓고 건조한 황토지역이 가열되어 대류가 일어나기 쉬운 상태가 되었을때, 몽고지방에 위치한 강한 고기압의 전면에 저기압 또는 한랭전선

이 통과하면 상승기류에 의해 지면 부근의 미세한 토사가 다량 상층으로 비산(飛散)하다가 침적되는데, 때로는 상층 3~6km에 이르기도 한다(Carlson et al., 1980; Liu, 1988; Iwasaka et al., 1988).

본 연구에서는 황사 기간 동안 서울시내 TSP 농도가 어떤 특징을 보이는지 알기 위해 TSP 농도의 시간 변화와 수평 분포를 살펴 보고, 기상 요소와의 상관성에 대해서도 살펴보았다.

또한 황사 기간과 그외 기간의 TSP 농도 차이를 파악하기 위해 연별, 월별 수평분포와 계절별 변화를 살펴 보았다.

## 2 자료 및 방법

본 연구에 이용된 자료는 환경부와 서울시가 운영하는 서울시내 대기오염 자동관측망 자료 중 TSP 농도 자료로 1986년부터 1993년까지 8년동안 관측된 자료이다. 1986년부터 1991년까지는 10개 지점(광화문, 길음동, 불광동, 마포, 면목동, 신설동, 문래동, 대치동, 신림동, 잠실동)에 대해, 1992년 이후에는 이전의 10개 지점외에 10개 지점(오류동, 구로동, 방이동, 한남동, 성수동, 쌍문동, 잠실동(2), 반포동, 구의동, 남가좌동)을 추가하여 분석하였다.

관측 지점은 그림 1에 있고, 서울시의 지형은 그림 2와 같은데 이것은 기상연구소(1992)가 한반도 중부 지역을 50,000분의 1 지형도 상에서 격자 간격 2km로 해발고도를 읽어 1-2-1 필터로 다듬질한 자료 중 서울 지역을 나타낸 것이다. 여기서 가로축과 세로축의 숫자는 TM 좌표계의 값을 나타내는데 TMX 200은 동경 127도와 일치하며, TMY는 우리나라 최남단의 섬인 마라도를 0으로 하여 1km간격으로 지도상에 구획한 것을 참고한 것이다.

황사 기간 동안의 TSP 농도 분석에 앞서 TSP 농도의 환경기준치인 일평균  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 연평균  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 구분하여 일별, 월별, 연별 및 계절별 변화를 살펴 보았다. 이때 월별, 계절별 TSP 농도는 관측자료의 연속 분석을 위하여 1986년부터 1991년까지 관측된 10개 지점만의 자료를 사용하였다.

또한 1990년과 1993년 4월에 발생한 황사를 사례로 선정하여 TSP 농도가 환경기준치인 일평균  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 넘는 지역을 살폈고, 이때 기온, 상대습도, 바람 등과 TSP 농도의 관계를 분석하였다. 기온, 상대습도 및 황사 자료는 기상청의 자료를, 풍속은 기상청과 환경부의 자료를 이용하였다.

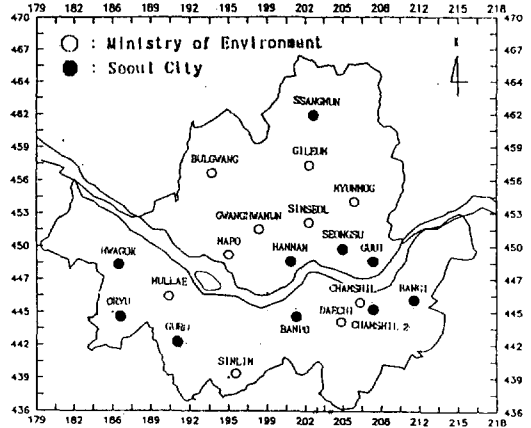


Fig. 1. Locations of Air Quality Monitoring Stations(AQMSs) in Seoul.

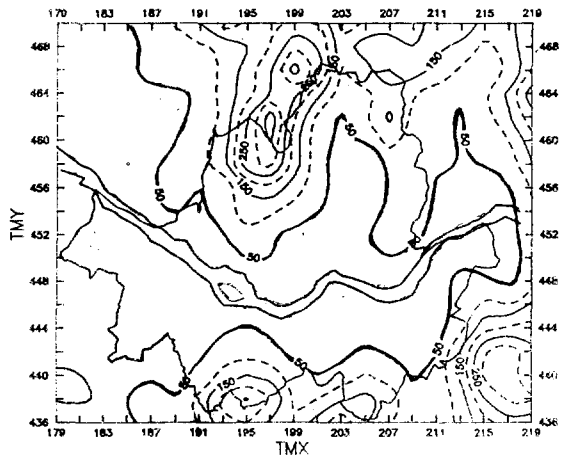


Fig. 2. The topography of Seoul(Contour interval is 50m).

## 3. 서울시 총 부유분진(TSP) 농도 변화

### 3.1 TSP 농도의 월별 수평분포

우리나라의 TSP 농도의 일평균 환경기준치는  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 일본  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 미국  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 높게 책정하고 있으며, 월평균 환경기준치는 각 국이 모두 책정하지 않고 있다. 그림 3은 1986년부터 1992년까지의 월평균 TSP 수평 분포로 1월, 2월과 4월에 신설동과 면목동에서  $200\sim 207\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높고, 광화문과 강남 지역에서  $131\sim 143\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 낮으며, 8월에 면목동을

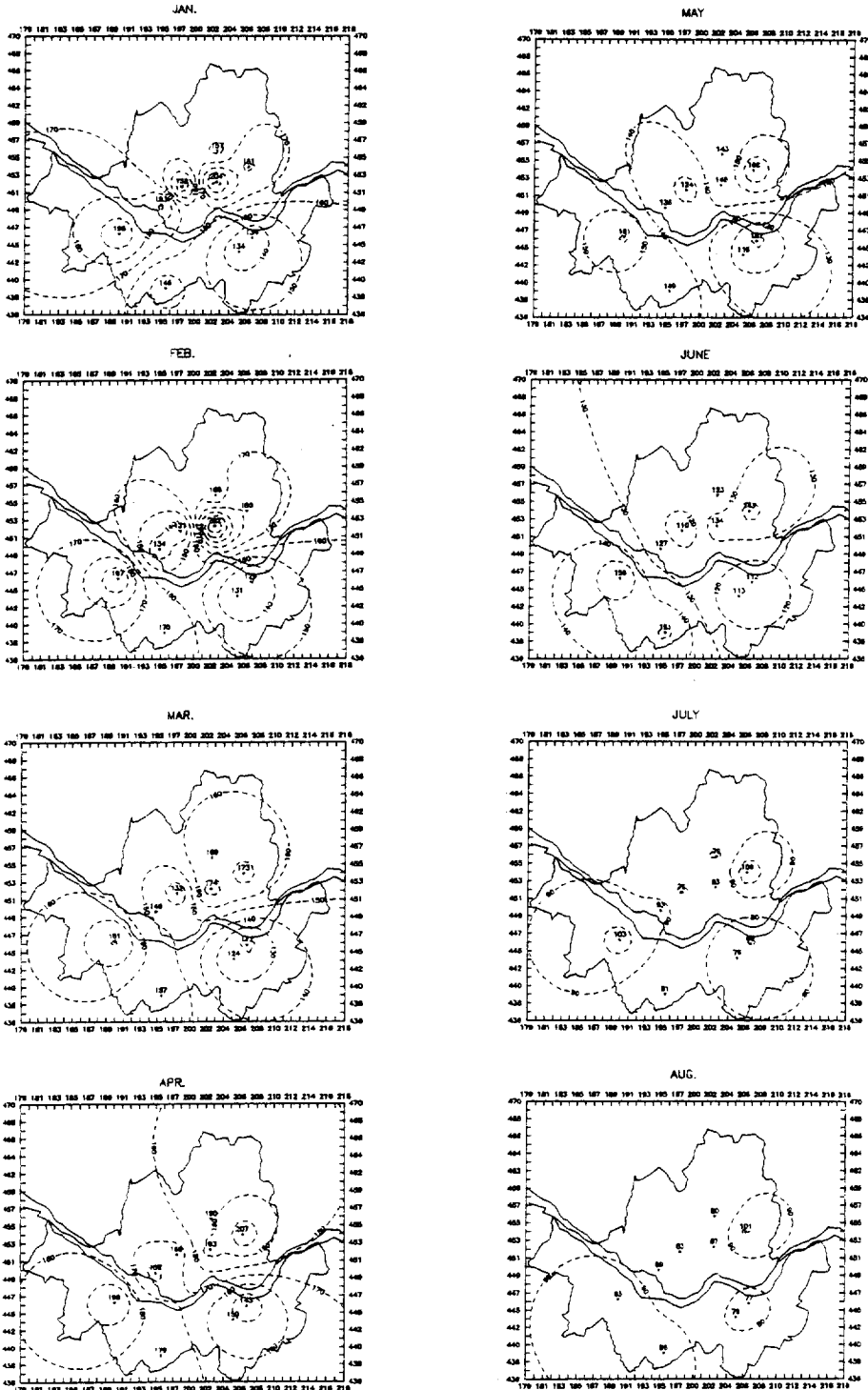


Fig. 3. Horizontal distributions of the monthly mean TSP concentrations in Seoul(1986~1992).

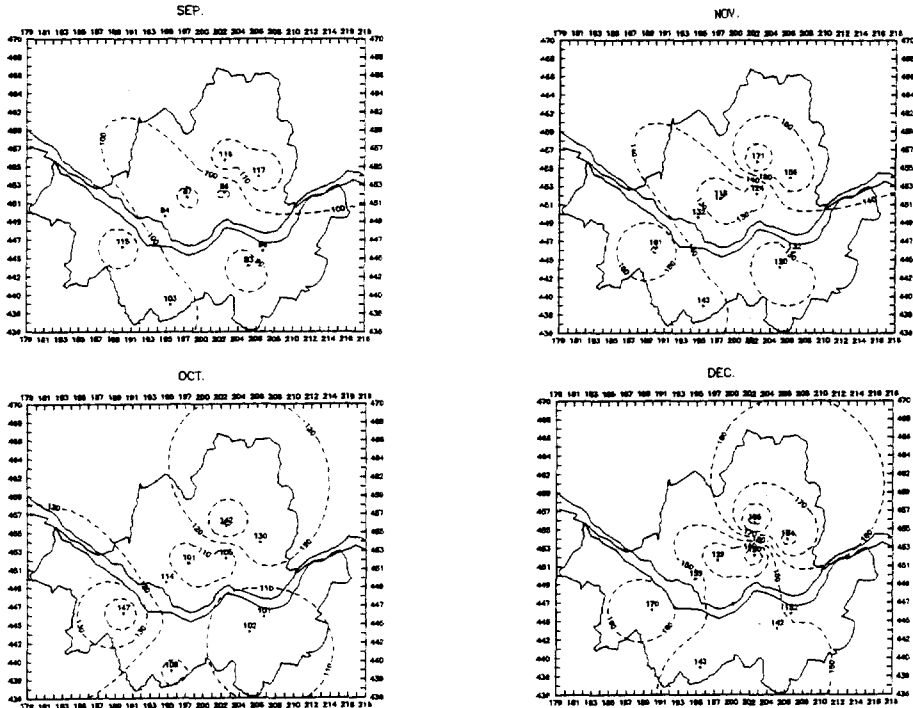


Fig. 3. continued.

제외한 서울시 전역이 77~87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 일년 중 가장 낮게 나타났다. 겨울철인 1월과 2월에 대기질이 상대적으로 나쁜 이유는 대기가 건조하고 북서풍이 강해 지면의 미세한 먼지 입자의 재 비산(飛散)과 화석연료의 사용이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 4월은 각종 건설 공사의 발주와 황사현상이 동반되었기 때문에 일년 중 높은 TSP 분포를 보였으며, 8월은 대기의 불안정으로 인해 혼합도가 높아지고 또한 잦은 강수로 인하여 대기중의 TSP가 상당량 wash out 되었기 때문에 일년 중 가장 낮은 농도를 보인 것으로 생각된다.

### 3.2 TSP 농도의 연도별 수평분포

우리나라의 TSP 농도의 연평균 환경 기준치는 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 일본은 책정하지 않고 있으며, 미국은 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 우리나라가 비교적 높게 책정하고 있다.

그림 4는 1987년부터 1992년까지의 연평균 TSP 농도의 수평 분포로 1988년까지는 신림동을 제외하고 전지역이 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상으로 나타난 가운데 신설동과 면목동은 200~228 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높아 오염이 심하였다. 1989년부터는 서울시내 고층 건물 및 가정의 연료로 도시 가스를 사용하고 각종 행정적인 규제 강화로 대기질

이 많이 개선되어 광화문과 강남에서는 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 낮았다. 그러나 공장 지대인 문래동과 주택 지역인 면목동에서는 여전히 150~220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높아 오염이 심하였다. 1991년에는 신림동에서만 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높고 그 밖의 지역에서는 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 낮아 대기질이 점차 개선되고 있음을 알 수 있다. 그러나 1992년에는 쌍문동, 한남동, 성수동에서 140~160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다시 오염되고 있다.

### 3.3 TSP 농도의 계절에 따른 시계열 특성

그림 5는 1990년 TSP 농도를 각 계절 동안 같은 시간대에 평균한 것이다.

일중 TSP 농도의 최대치는 9시~10시 사이와 17시 이후에 나타나 사람의 활동이 가장 많은 출·퇴근 시간과 일치하여 높은 경향을 보인다.

TSP 농도는 사계절 모두 비슷한 양상으로 변화하였으나 겨울에 가장 높고, 가을, 봄, 여름 순으로 낮아진다. 이는 TSP 농도의 월 변화와도 잘 일치하는 경향을 보인다. 겨울철에 극값은 다른 계절 보다 1시간 늦은 10시에 나타나는데 이는 사람의 활동이 1시간 정도 늦어지기 때문인 것으로 생각된다.

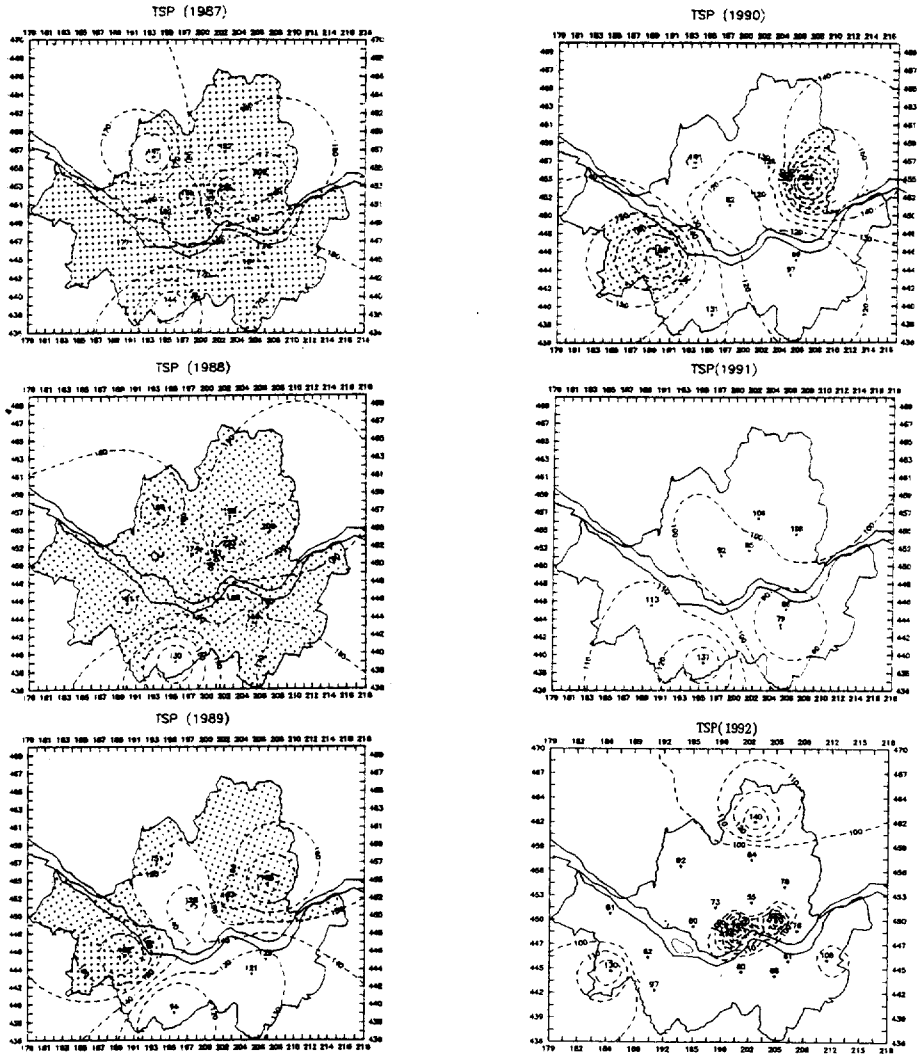


Fig. 4. Horizontal distributions of the annual variation of TSP concentrations in Seoul (1987~1992). The dotted area indicates the region in which the concentration is larger than 150µg/m<sup>3</sup>.

#### 4. 황사 사례 연구

##### 4.1 황사 관측

1986년부터 1993년까지 8년 동안 서울에서 관측된 황사 일수를 표 1에 나타내었다. 이 기간 동안에 관측된 황사 일수는 총 41일이다. 황사는 1990년 이후 매년 꾸준히 증가하여 1993년에는 14일로 가장 많이 관측되었다. 황사의 월별 발생율을 살펴보면 4월에는 총 29일이 발생하여 전체의 71%, 5월에는 11일이 발생하여 27%를 차지하였다. 윤용황(1990)은 1970년부터 1989년까지

20년동안 춘천에서 관측된 황사 중 4~5월에 발생한 것이 전체의 77%임을 밝힌 바 있으나 서울에서 1990년 이후에 발생한 황사는 모두 4월과 5월에 발생하였다.

황사 기간 동안의 TSP 농도의 특성을 분석하기 위하여 자동관측자료 중 결측이 없는 자료를 표 2와 같이 Case I과 Case II로 구분하여 잠실동, 신실동, 쌍문동의 경우를 비교하였다. Case I의 경우 48시간 동안, Case II의 경우는 73시간 30분 동안 황사 현상이 지속되었다.

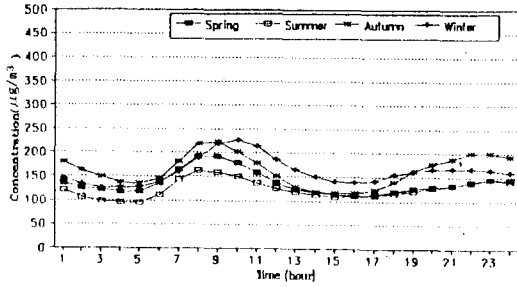


Fig. 5. Seasonal variation of TSP concentrations in Seoul(1990).

Table 1. The occurrence number of days which the Yellow Sand was observed at Seoul during the period of 1986~1993.

Year	Month			Total	Occurrence days of Yellow Sand
	Mar.	Apr.	May		
86	-	-	-	-	-
87	1	-	-	1	3/25
88	-	8	-	8	4/13, 14, 18, 19 4/20, 21, 22, 23
89	-	-	-	-	-
90	-	3	-	3	4/8, 9, 10
91	-	-	7	7	5/1, 2, 8, 9, 10 5/11, 12
92	-	8	-	8	4/12, 19, 20, 22 4/23, 24, 25, 26
93	-	10	4	14	4/1, 2, 3, 4, 7, 8 4/22, 23, 24, 27 5/8, 9, 10, 11
Total	1	29	11	41	
%	2	71	27	100	

These data are those of Korea Meteorological Administration.

Table 2. Classification of the occurrence for each case of the Yellow Sand.

Case	Occurrence time	Station	Periods
Case I	'90, 4/8 05:30- 4/10 05:30	Chamshil Sinseol Ssangmun	48:00
Case II	'93, 4/1 12:50- 4/4 14:20	Chamshil Sinseol Ssangmun	73:30

## 4.2 종관 분석

### 4.2.1 지상일기도

Case I과 Case II의 두 사례에 대하여 지상일기도에 나타난 특성을 분석하였다.

그림 6(a)는 황사 발생 2일 전인 1990년 4월 6일의 지상일기도(00UTC)로, 몽고 남쪽에 중심을 두고 남동진하는 발달한 1020hPa 고기압과 일본 남쪽 해상에 중심을 둔 1022hPa 고기압 사이에 북만주 지방에 중심을 둔 저기압으로부터 한랭전선이 발해만을 거쳐 화남 지방까지 길게 뻗어 있다.

이 한랭전선이 통과하면서 4월 7일 서울에 15.3mm의 비가 내렸다. 황사는 4월 6일 황하강 상류의 황토 지역에서 처음으로 발생하여 서울에는 2일 뒤인 4월 8일부터 시작하여 4월 10일까지 3일 동안 계속되었다. 또한 4월 6일 황사가 발생한 황하강 상류의 황토 지역에서는 2~3m/s의 북서풍이 관측되고 있어 황사 발생의 좋은 조건(최정숙, 1993)이 되었다.

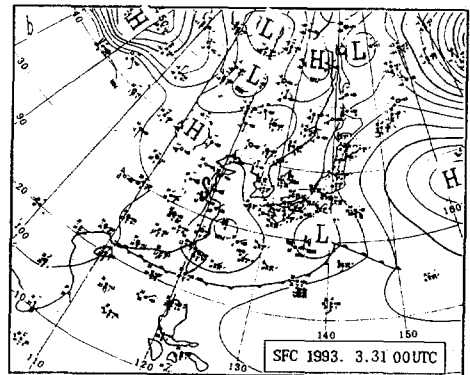
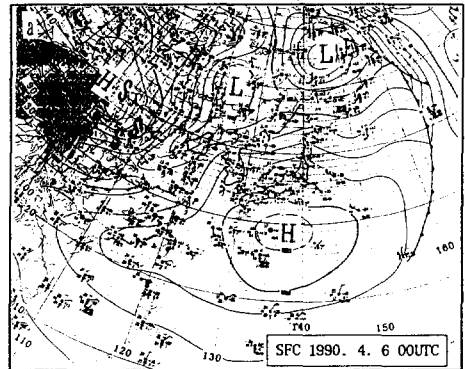


Fig. 6. The surface chart at (a) 00UTC Apr. 6 1990 and (b) 00UTC Mar. 31 1993. The large S denotes the location where Yellow Sand observed.

그림 6(b)는 서울에서 황사 발생 하루 전인 1993년 3월 31일 지상일기도(00UTC)로 동중국해에 중심을 둔 1014hPa 이동성 고기압이 동진하면서 이 고기압 후면인 산둥반도 남쪽에서 황사가 발생하였다. 또한 화북 지방에 위치한 1012hPa 고기압이 4월 1일 00UTC에서는 1016hPa 고기압으로 발달하면서 황해상으로 이동하여 이 고기압 전면인 호남 지방과 일본에서 황사가 관측되었다. 4월 1일 12UTC 일기도에서는 서울뿐만 아니라 남한 전 지역에서 황사가 관측되어 4일까지 계속되었다.

4. 2. 2 기상 요소

도시 지역 대기 오염 농도를 지배하는 요인 중에서 배출원을 제외하고 가장 많이 영향을 주는 요소는 풍향, 풍속, 기온, 대기 안정도 등으로 알려져 있다(나진균 등, 1985; 박일수 등, 1991; Hindy et al., 1990).

그림 7은 Case I, Case II의 황사 기간 동안 기상 요소의 변화를 나타낸 것이다. Case I의 경우 기온은

지면이 태양 복사에너지에 의하여 가열되어 낮에 최고가 나타나고, 대류 활동도 활발해져 풍속이 강해지는 경향을 보이고 있다.

상대습도는 1990년 4월 7일 03시 30분부터 19시 34분까지 15.3mm의 비가 내린 시간과 밤에 80~98%로 높게 나타나서 기온과 풍속에 역비례 함을 보이고 있다.

시정 또한 황사 기간 동안 민감한 반응을 보여 황사가 발생한 4월 8일 05시 30분부터 4월 10일 05시 30분까지 5~12km로 매우 악화되었다가 황사가 끝난 후 다시 회복되는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 1993년 4월 1일부터 4월 4일까지 계속된 Case II의 황사에서도 일치하였으며, 특히 시정은 3~6km로 1990년 4월 7일 황사 때 보다 더 나빴다.

4. 3 황사시 TSP 분석

4. 3. 1 TSP 농도의 시간 변화

황사 기간 동안 잠실동, 신설동과 쌍문동의 TSP 농도의 시간 변화를 비교하였다.

그림 8(a)에서 1990년 4월 7일 03시 40분부터 19시 34분까지 15.3mm의 비가 내리면서 전반적으로 이 기간 동안의 TSP 농도는 다른 날 보다 현저하게 낮게 나타났다. 그러나 1990년 4월 8일 00시부터는 점차 증가하는 추세로 신설동의 경우 잠실동과 쌍문동보다 매우 높아 지역간 큰 차를 보이고 있다. 이날 11시에 신설동은 770  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최대치가 관측되었고, 이러한 현상은 길음동에서도 719  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높게 나타났다. 11시의 기상청 관측 자료에 의하면 서풍이 6.0m/s로 불었으나 환경부 관측 자료는 신설동 풍향(결측) 2.1m/s, 길음동 ENE 3.8m/s로 풍속이 약하고 풍향이 상층풍과 다르다. 즉 지형적으로 두 지역이 협소한 계곡으로 바람이 약하고, 주 오염원이 교통기관의 연소 배출물이기 때문에 부유분진이 멀리 확산되지 않았을 것으로 생각된다.

그림 8(b)에서는 잠실동, 신설동, 쌍문동 모두 비슷한 패턴으로 변화하고, 쌍문동에서 조금 높게 나타났으나 4월 3일 9시에 쌍문동에서 기록된 최대치는 728  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 그림 8(a)보다 지역간 변화폭이 크지 않았다. 9시 기상청 관측 자료에 의하면 북동풍이 1.5m/s로 약했으며 환경부 관측자료는 0.6m/s로 매우 약했다.

황사 기간 동안 시간별 TSP 평균 농도와 평균 풍속과의 관계를 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)에서 TSP 농도의 침적량은 신설동이 잠실동과 쌍문동보다 높고, 풍속이 약할 때는 풍속이 강할때 보다 높게 나타나 역비례 관계를 보인다(신찬기 등, 1992). 따라서 풍향과 풍속에 따라 지역별 TSP 농도가 다르게 나타났을 것으로

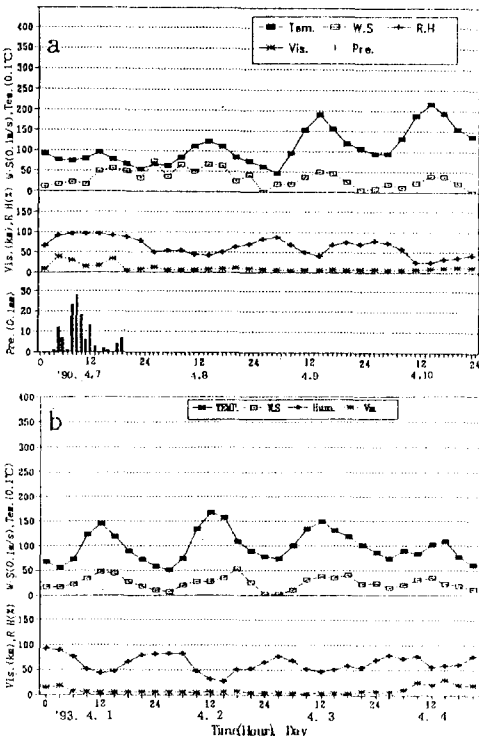


Fig. 7. Variations of the Meteorological elements, Temperature(■), Wind Speed(□), Relative Humidity(◆), Visibility(◇), Precipitation(I), during Yellow Sand periods Case I(a) and Case II(b).

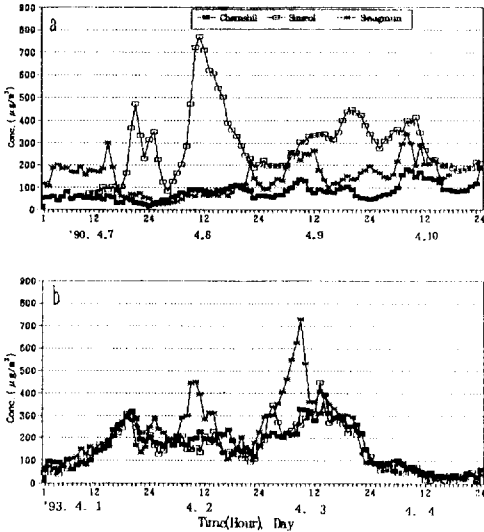


Fig. 8. Time series of TSP concentrations during Yellow Sand periods at (a) Apr. 7 1990 and (b) Apr. 1 1993.

사료된다. 그림 9(b)에서도 TSP 시간별 평균 농도와 바람과의 관계는 그림 9(a)와 같이 역비례의 관계를 가지며 신설동과 잠실동은 비슷한 양상으로 변화하였다.

표 3은 1990년과 1993년 황사 기간 동안의 TSP 농도와 정상시의 TSP 농도를 비교한 것이다. 황사 기간 동안의 TSP 농도는 Case I의 경우 신설동이 17,270µg/m<sup>3</sup>이고, 잠실이 3,958µg/m<sup>3</sup>이며, 쌍문동은 6,632µg/m<sup>3</sup>으로 신설동은 잠실보다 4.4배 높고, 쌍문동보다는 2.6배가 높았다. Case II에서 잠실동은 13,880µg/m<sup>3</sup>이고, 신설동은 13,193µg/m<sup>3</sup>으로 거의 비슷하나 쌍문동은 17,484µg/m<sup>3</sup>으로 잠실동과 신설동보다 1.3배가 높았다.

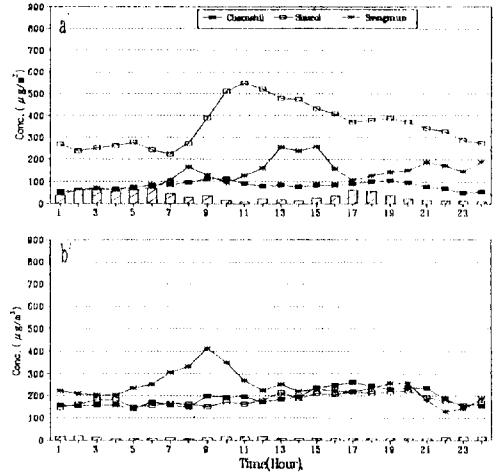


Fig. 9. Variations of diurnal mean TSP concentrations(—) of Ministry of Environment and wind speed(▣) of Korea Meteorological Administration during Yellow Sand periods at (a) Apr. 7 1990 and (b) Apr. 1 1993.

황사 기간 동안의 TSP 평균 농도가 잠실동, 신설동, 쌍문동 세 지역 모두에서 평상시 보다 1~2.7배 높게 나타났다. 평균적으로 Case II의 TSP 농도가 Case I 보다 높고, 각 Case별 최대치는 Case I에서는 신설동에서, Case II에서는 쌍문동에서 나타났다.

표 4는 '90년 4월과 '93년 4월 한달 동안, 황사 기간 동안과 평상시로 구분하여 TSP 농도가 시간당 평균 300µg/m<sup>3</sup> 이상 계속된 시간을 나타낸 것이다.

Case I의 경우 신설동에서 황사 기간 동안에 25시간 이상 회수가 1회이고, 평상시에는 5시간 이상 회수가 1회로 황사 기간 동안에 더 많이 나타났으나 쌍문동에서는 평상시에만 5시간 이상이 2회 나타났다. Case II의

Table 3. Comparison of TSP concentrations between Yellow Sand and normal periods Apr. 1990 and Apr. 1993.

(Unit: µg/m<sup>3</sup>)

Case	Station	Yellow Sand		Normal
		TSP	Average TSP *	Average TSP *
Case I	Chamshil	3,958	81	77
	Sinseol	17,270	317	119
	Ssangmun	6,632	135	133
Case II	Chamshil	13,880	190	88
	Sinseol	13,193	181	68
	Ssangmun	17,484	240	100

\* 1 per consecutive hours



Table 4. The frequency of consecutive hours for TSP concentrations over  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  during Yellow Sand and normal periods Apr. 1990 and Apr. 1993.

Case	Hour	$5 \leq$	$10 \leq$	$15 \leq$	$20 \leq$	$25 \leq$	$30 \leq$
Case I Chamshil	Sinseol	2/1*	2/	1/	1/	1/	
	Ssangmun	/2					
Case II Chamshil	1/						
	Sinseol	1/					
	Ssangmun	1/		1/	1/		

\* Yellow Sand/normal.

경우에는 황사시에만 잠실동과 신설동에서 5시간 이상 회수가 각 1회씩 발생하였고, 쌍문동에서 15시간 이상이 1회가 나타났다. 두 Case 모두 황사시 신설동과 쌍문동에서 오염 지속시간이 긴데 특히 장시간 오염된 지역에서는 건강이 우려된다.

#### 4.4 TSP 농도의 수평 분포

그림 10은 Case I의 경우로 TSP 농도의 수평 분포를 나타낸 것이다. 그림 10(a)는 황사가 시작된 전날(4월 7일)로 비가 내려 대기 중의 TSP가 wash out 되어 전 지역에서 농도가 비교적 낮게 나타났다. 강남 지역인 대치동, 잠실동과 방이동에서는  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하이고, 그 밖의 지역에서는 일평균 환경기준치  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 낮은  $140 \sim 177\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대기가 비교적 깨끗하였다.

그림 10(b)는 황사가 시작된 첫날(4월 8일)로 교통이 복잡한 신설동과 길음동에서 일평균 환경 기준치인  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이 관측되었고, 대치동에서는  $280\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 4월 7일에 비하여 2배 이상 높게 나타났으나 그 밖의 지역에서는  $77 \sim 150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1~2배 낮게 나타났다. 이날 바람은 서풍 또는 남남서풍으로 한강을 따라 불어온 바람이 뚝섬 부근에서 중랑천을 따라 유입되어 교통이 복잡하고 배출원이 많이 나타나는 신설동과 길음동에서 TSP 농도가 높게 나타났다. 그림 10(c)는 황사가 2일째 계속된 날로 신설동과 길음동에서는 여전히 일평균 환경기준치인  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이 관측되었고, 마포에서도  $317\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이 관측되었으며 그 밖의 지역에서도 전

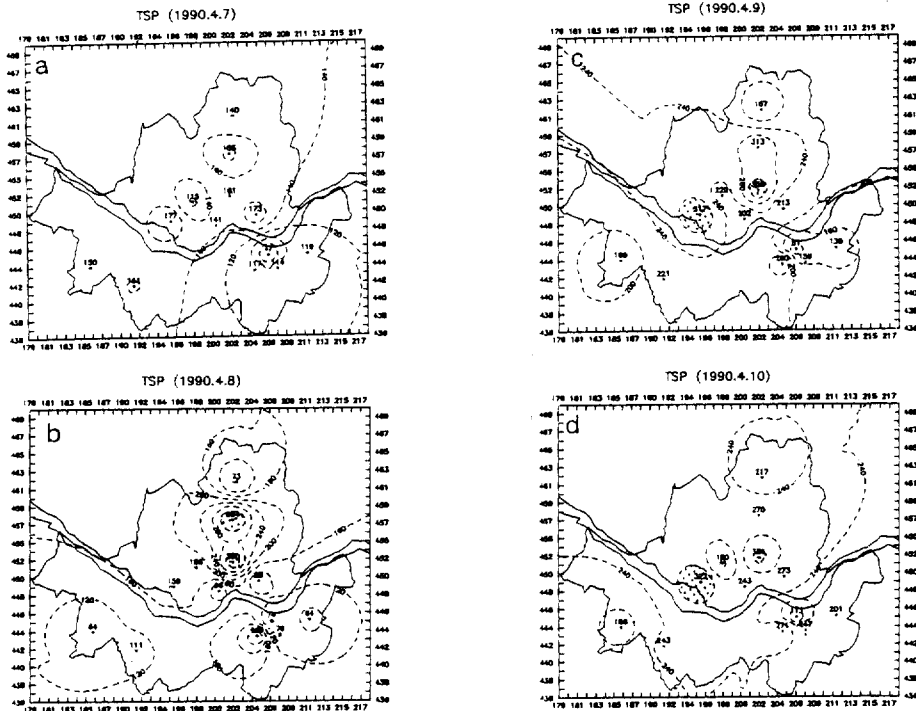


Fig. 10. Horizontal distributions of TSP concentrations in Seoul from 7 to 11 of Apr. 1990. The dotted area indicates the region in which the concentration is larger than  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

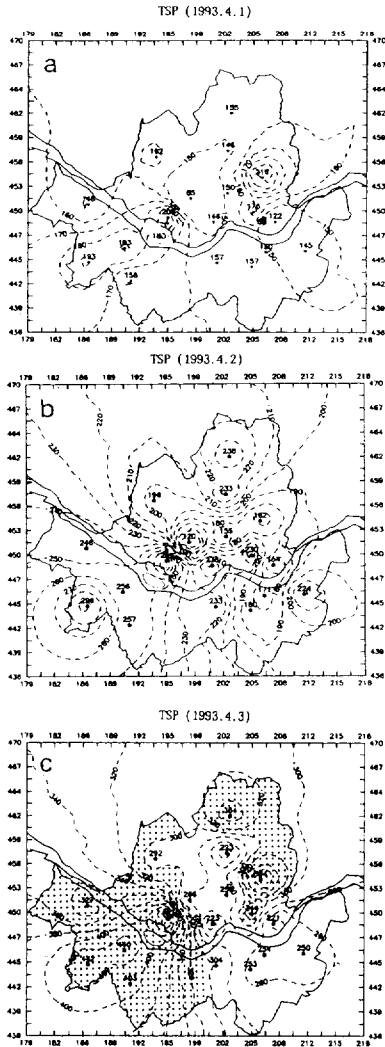


Fig. 11. Horizontal distributions of TSP concentrations in Seoul from 1 to 3 of Apr. 1993. The dotted area indicates the region in which the concentration is larger than  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

날에 비하여 2배 이상 높게 나타났다. 이때 풍향은 그림 10(b)와 같이 남서풍이 많이 유입되었고, 약간의 북동풍이 불었으나 TSP 농도는 신설동과 길음동에서 그림 10(b)와 비슷하게 나타났다. 그림 10(d)는 황사가 5시 30분에 끝났으나 TSP 농도는 마포와 신설동에서  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상이었으며, 잠실동과 오류동 지역에서는  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 낮게 나타났다.

그림 11은 Case II의 경우로 황사는 1993년 4월 1일

12시 50분부터 시작해서 4일 14시 20분까지 계속되었다. 그림 11(a)는 황사가 시작된 날로 바람은 서풍 계열의 바람인 서, 남서 및 남남서풍이 불었고, 풍상측이며 배출원이 많은 공장 지대인 구로동, 문래동, 성수동과 공사가 많은 마포에서  $176\sim 218\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높고, 그밖의 지역은  $85\sim 157\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 낮았다. 그림 11(b)는 황사 관측 2일째 되는 날로 바람은 서풍 내지 남서풍이 불다가 북풍이 유입되었다. TSP 농도는 전 지역에서 4월 1일 보다 높아지는 추세로 화곡동, 오류동, 문래동, 구로동, 마포, 성수동, 쌍문동, 길음동, 방이동에서  $220\sim 290\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높고, 도시 중심지인 광화문, 신설동, 한남동, 구의동, 잠실동에서는  $120\sim 171\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 낮았다. 그림 11(c)는 황사 3일째로 TSP 농도는 전 지역에서 4월 2일보다 현저히 증가하여  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 지역(점 찍은 지역)이 강서 지역, 마포, 쌍문동, 면목동, 성수동에서 나타났고, 길음동, 광화문, 신설동 및 강남 지역은  $226\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 낮았다.

Case I에서는 도심인 마포, 길음동과 신설동에서  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 오염 지역이 나타난 반면에, Case II에서는 길음동, 신설동, 광화문, 한남동 강남지역에서  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 비교적 청정 지역이 나타나서 Case I과 대조를 보이는데 이는 풍향과 지형에 의한 효과가 큰 것으로 생각된다.

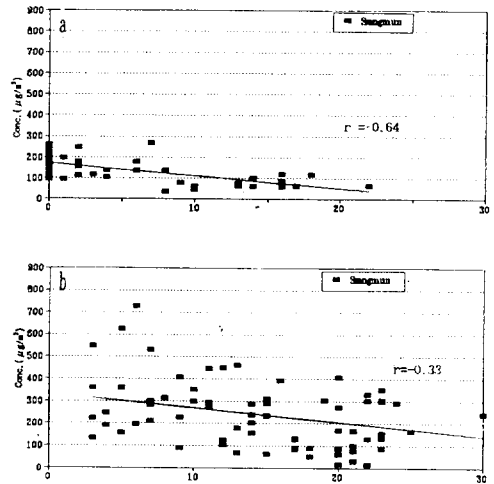


Fig. 12. Correlation between TSP concentrations and wind speed of Ministry of Environment for Case I and Case II.

### 4.5 상관 분석

TSP 농도와 기온, 풍향·풍속, 습도 등 기상 요소와의 상관 분석을 하였다.

상관 계수(r)는 풍속의 경우가 가장 높고, 다른 기상 요소는 낮았다. 또한 풍속 중에서도 기상청 풍속보다는 자동오염관측소에서 관측된 풍속이 상관도가 더 높았다. 그림 12는 쌍문동에서 TSP 농도와 풍속과의 상관 관계를 나타낸 것으로 음의 상관을 나타낸다. 그림 12(a)는 Case I의 경우로 상관계수는 -0.64이고, 그림 12(b)는 Case II의 경우로 상관계수는 -0.33으로 Case I의 경우가 더 높게 나타났다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 1986년부터 1993년까지 환경부와 서울시에서 관측하고 있는 자동오염관측소에서 관측한 TSP 농도를 분석하고, 1990년 4월 8일과 1993년 4월 1일에 발생한 황사를 사례로 들어 황사시와 평상시를 비교 분석하였다.

서울시내 연도별 TSP 농도는 1989년부터 연평균 환경기준치인  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 낮아지기 시작(광화문, 한남동, 강남 지역)하였고, 1990년에는 문래동과 면목동을 제외한 전 지역이, 1991년부터는 서울시내 전 지역의 대기질이 크게 개선되었다. 그러나 1992년은 한남동과 성수동에서 연평균 환경기준치인  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 오염 지역이 다시 나타났다.

황사시 TSP 농도 침적량은 풍속이 강할 때는 적고 약할 때는 많아 풍속과 역비례의 관계를 가지며, 특히 풍속이  $3\text{m}/\text{s}$ 일때 침적이 많이 되었다.

1990년 4월 8일 황사에서 TSP 농도는 신설동은  $17,270\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 잠실은  $3,958\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 쌍문동은  $6,632\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 신설동은 잠실보다 4.4배 높고, 쌍문동 보다는 2.6배가 높았다.

1993년 4월 1일 황사에서 TSP 농도는 잠실동은  $13,880\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 신설동은  $13,193\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 거의 비슷하나 쌍문동은  $17,484\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 잠실동과 신설동보다 1.3배가 높았다

황사 기간 동안 풍향은 서풍 계열의 바람이 지배적이었고, 황사 이틀째부터는 북서류, 남서류 및 북풍 계열의 바람이 유입되었으며, 바람은 풍상측에서 한강을 따라 불다가 뚝섬 부근에서 전향을 해서 지형이 낮은 중랑천을 따라 불었다.

TSP 농도는 풍하측과 배출원이 많은 곳에 나타나 Case I에서는 마포, 길음동과 신설동 등 도심에서 일평

균 환경기준치인  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 오염 지역이 나타났다. Case II에서는 공장 지대인 구로동, 문래동 등 강서 지역과 지하철 공사가 계속되고 있는 마포, 공장 지역인 성수동, 풍하측인 면목동, 쌍문동에서  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 지역이 나타났다.

### 참 고 문 헌

- 기상연구소(1992) 국지대기오염 모형연구, MR 92-5, pp168
- 김우규(1993) 서울특별시의 TSP 농도 및 황사의 특성 연구. 연세대 산업대학원, 석사학위논문, 11, 55-57.
- 나진균(1985) 대기오염예측을 위한 대기안정도와 혼합고분석에 관한연구, 국립환경연구원보, 제6, 17-33.
- 박성은, 정용(1992) 서울시 대기부유분진의 농도와 다환방향족 유기물에 의한 발암 위험성. 한국대기보전학회, 제8권, 제4호, 247-256
- 박일수, 이덕길, 강인구(1991) 서울지역 겨울철  $\text{SO}_2$  농도를 지배하는 기상인자, 한국대기보전학회지, 제 7권, 제 2호, 96-104.
- 신찬기, 한진석, 김윤신(1992) 대기오염농도와 기상인자의 관련성 연구, 한국대기보전학회지, 제8권 제4호, 213-220.
- 윤용황(1990) 한반도에 수송되는 황사시의 특징에 관한 연구, 한국기상학회, 제26권 제2호, 111-120
- 정용승, 김태군(1991) 한국 서해안에서 관측된 산성비의 발원지 추적연구. 한국대기보전학회지, 제 7권 제 3호, 203-207.
- 최광수(1991) 서울시 일부지역의 대기오염농도와 호흡기질환 발생양상에 관한 연구, 연세대 보건대학원 석사학위논문, 36-39.
- 최정숙, 정용승(1993) 서울의 대기오염과 시정감소, 한국대기보전학회지, 제 9권 제1호, 51-60.
- Hindy, K. T., Farag, S. A and El-Taieb, N. M. (1990) Monthly and seasonal trends of total suspended particulate matter and smoke concentration in industrial and residential areas in Cairo. Atmospheric Environment 24B, p.343-352.
- Iwasaka, Y.(1987) Chemical-physical processes of "KOSA" particle surface during long-range transport. Tenki, 34, 179-182.
- Liu, T.(1988) Spinger-Verlag Berlin Heidelberg. Loess in China, 2nd Ed., 3-18.