

## 서울시 대기의 시정장애 원인과 대책 연구(II)

- '93~'95년 서울시 시정특성을 중심으로 -

환경조사과

어수미·김광진·이규남·박성배

### Study on the Visibility Reduction in Seoul

- focus on visibility characteristics of Seoul from 1993 to 1995 -

*Environmental Research Division*

Soo-mi Eo, Kwang-Jin Kim, Kyu-Nam Lee and Sung-Bae Park

#### = Abstract =

The visibility characteristics of Seoul from '93 to '95 were as follows.

1. The average ranges of visibility from 6 AM to 9 PM were 8.81~11.75 km in '93, 10.56~13.90 km in '94, and 10.65~15.01 km in '95. As a result of these, the visibility was improved during 3 years and these phenomena was supposed from the result of decrease of dust concentration.
2. Daily visibility by time showed minimum at 6~9 AM and maximum at 6 PM.
3. From the analysis of seasonal variation of visibility, the fall showed higher significantly than any other seasons.
4. From the correlation analysis between visibility and meteorological phenomena, negative correlation showed in relative humidity and rainfall amount, and positive correlation showed in ultra violet and wind speed.
5. From the comparison between visibility and seven kinds (Dust, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) of air pollutants, six kinds of pollutants except O<sub>3</sub> were showed negative correlation. The highest correlation between pollutant and visibility showed in dust. From these results, dust is major causing factor of visibility reduction.

#### 서 론

대기오염에 대한 체감오염도의 지표가 되는 시정장애 현상은 안개, 황사 현상과 같은 자연적인 원인에 의한 것 과, 스모그, 연무 등과 같은 인위적인 원인으로 야기되 나 이중 인위적인 원인에 의한 대기질 변화의 기여율이

크다.

시정장애를 일으키는 인위적 원인물질에는 sulfate, nitrate, ammonium, 유기, 무기탄소 및 수분 등으로 구성된 미세분진 (0.1~2.0  $\mu\text{m}$ )과 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO 및 THC 등의 기체상 오염물질이 포함된다.<sup>1)</sup> 이중 서울시 시정장애는 이 등<sup>2)</sup>에 의하면 입자에 의한 산란과 흡수가 전체 시정악화의 90% 이상을 차지한다고 하였으며,

Diederer 등은<sup>3)</sup> 시정장애는 대기오염에 의한 빛 소멸의 직접적인 결과이며 총 빛 소멸의 83%가 미세입자에 의한 분산으로 생기며, 미세입자 중 sulfate, nitrate, ammonium, 무기탄소가 70% 이상을 차지한다고 하였다.

또한 여러문헌에서 시정장애는 미세입자 중 주로 2.5  $\mu\text{m}$  이하 (PM 2.5)가 영향을 준다고 하였으며 미세입자 중에서 sulfate가 주된 역할을 하지만 최근 저유황 연료 및 탈황시설 설치로 SO<sub>2</sub> 농도가 감소하고, 차량증가 등으로 Nitrate가 증가하는 추세이다.

정 등<sup>4)</sup>에 의하면 서울시 시정장애 현상의 특성은 겨울부터 이른 봄까지는 London형 smog와 유사하며, 늦은 봄부터 초가을까지는 LA형 smog와 유사하다고 하였다. 또한 박 등<sup>5)</sup>에 의하면 시정장애의 일변화는 오전 중에는 대기 혼합고가 낮고 상대습도가 높기 때문에 오염물질 혼합 및 확산 장애로 스모그가 심하고 오후에는 광화학 반응으로 스모그가 심하여 시정장애를 야기시킨다고 하였다.

또한 시정장애에 영향을 미치는 자연환경의 기상학적 인자로는 비교습도, 온도, fog, 풍향, 풍속 등을 들 수 있다.

따라서 본 연구에서는 '93~'95년 서울시 시정측정 자료와 대기오염 물질 측정 자료를 통해 시정 현황을 계절별, 시간별로 구분하여 살펴보고, 시정과 자연환경, 특히 강수량, 풍속, 자외선량 등과의 상관성 및 시정과 대기오염물질 농도와와의 상관성을 역시 계절별, 시간별로 구분하여 서울시 시정특성을 살펴보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료

#### 1) 시정자료

기상청에서 목측법에 의해 3시간 간격으로 측정된 시정자료를 이용하였다.

#### 2) 대기오염물질 측정자료

본 연구원 대기오염 측정소 10곳(쌍문, 구의, 성수, 한남, 남가좌, 화곡, 요류, 구로, 반포, 방이동)에서 측정된 시간별 대기오염 자료를 이용하였다.

#### 3) 자연환경현상

강수량은 기상청에서 측정된 서울지역 일별 강수량 자료를 이용하였으며, 풍속, 자외선량, 비교습도 등은 본 연

구원 대기오염 측정소 10곳에서 측정된 자료를 이용하였다.

## 2. 연구방법

시정과 대기오염물질 및 기상학적 인자와의 유의성을 살펴보기 위해 자료를 연도별, 계절별, 시간별로 구분하여 SAS program을 이용하여 통계처리 하였다.

## 연구 결과

### 1. 시정 특성

기상청에서 목측법으로 측정된 서울시 시정자료를 연도별, 계절별, 시간별로 분류한 결과 다음과 같았다.

연도별, 시간별 서울시 시정변화는 Table 1, Fig. 1과 같이 '93년에는 8.81 (6시 평균)~11.75 km (18시 평균)의 범위를 나타냈으며, '94년에 10.56 (9시)~13.90 km (18시), '95년에는 10.65 (9시)~15.01 km (18시)로 점차 시정이 증가하였다. 이는 시정에 가장 큰 영향을 미치는 서울시 분진농도가 Table 2와 같이 점차 감소하였기 때문이라 사료되며, 그러나 이렇듯 시정이 좋아졌음에도 불구하고 시민이 느끼는 체감오염도는 환경 문제에 대한 관심 및 지각도가 높아짐에 따라 오히려 감소했을 가능성이 있다.

시간별 시정변화는 오전 6~9시에 최저치를, 오후 6시에 최고치를 기록하였으며 rush hour인 오후 6~9시 사이에 다시 감소하였다.

계절별 시정변화는 Table 1, Fig. 2~4와 같이 '93~'95년 모두 가을이 최고치를 나타냈으며, 이를 ANOVA test를 하여 계절별 차이가 있는지 살펴본 결과 오전 9시 시정자료에서는  $p=0.0001$  ( $F=9.74$ ,  $n=1064$ )로 가을이 다른 계절에 비해 유의하게 높았고 나머지 계절은 겨울>봄>여름의 순으로 나타났으나 유의한 차이는 없었다. 그러나 오후 3시의 시정자료에서는  $p=0.0001$  ( $F=17.46$ ,  $n=1064$ )로 오전 9시 보다 F-value가 더 높았으며 가을이 유의하게 높았고 봄, 여름에는 유의한 차이를 나타내지 않다가 겨울에 유의하게 낮게 나타났다.

### 2. 시정과 자연환경 및 대기오염물질과의 관계

#### 1) 시정과 자연환경과의 관계

##### (1) 강수 및 습도

대기 중 수분은 입자와 결합하여 입자크기를 변화시켜서 시정장애를 일으키며 특히 강수시 시정이 현저히 감소

**Table 1.** The visibility by time and season in Seoul from '93 to '95.

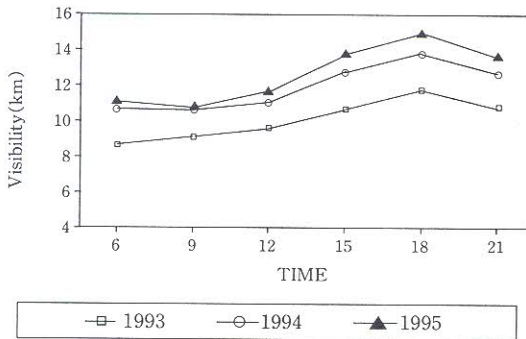
year	season	Time					
		6	9	12	15	18	21
'93	spring	7.57	7.98	8.73	9.27	10.95	9.68
	summer	8.34	8.91	9.78	11.05	11.71	10.55
	fall	11.20	11.34	11.74	13.54	14.25	13.67
	winter	8.12	8.34	7.65	8.69	10.08	9.44
	total	8.81 ±6.29	9.15 ±6.26	9.48 ±6.36	10.64 ±6.51	11.75 ±6.50	10.84 ±5.88
'94	spring	9.99	9.81	10.55	12.55	14.14	12.89
	summer	10.19	10.25	11.52	13.21	13.40	12.07
	fall	12.29	12.16	12.72	14.71	15.40	14.07
	winter	10.36	9.93	9.35	10.09	12.48	11.90
	total	10.75 ±6.02	10.56 ±6.03	10.99 ±6.03	12.87 ±7.03	13.90 ±5.95	12.80 ±5.39
'95	spring	10.85	10.77	12.23	13.51	14.44	13.39
	summer	8.65	8.56	10.76	12.54	13.14	11.62
	fall	12.70	11.93	13.30	16.22	17.88	16.28
	winter	12.04	11.36	10.41	12.81	14.60	13.82
	total	11.05 ±6.36	10.65 ±6.56	11.68 ±6.67	13.76 ±6.70	15.01 ±7.28	13.77 ±5.89

unit : km

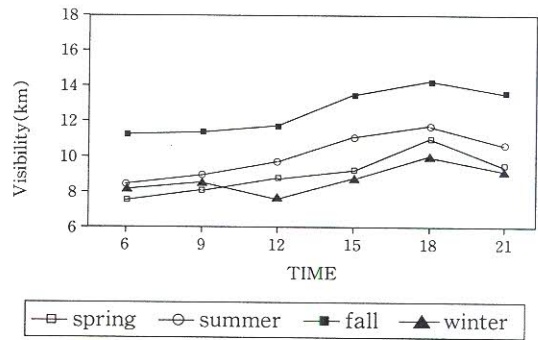
**Table 2.** Dust concentration by season in Seoul from '93 to '95.

time	season	'93	'94	'95
9	spring	177.00±92.62	121.61±69.96	109.41±59.44
	summer	94.94±55.37	86.43±49.62	77.36±41.96
	fall	114.93±70.92	98.30±50.27	110.37±67.11
	winter	192.98±101.12	157.51±84.37	162.88±78.60
	total	144.78±91.34	118.51±71.28	114.76±69.90
15	spring	103.67±60.67	74.19±37.29	72.83±32.14
	summer	83.48±49.95	73.38±42.65	68.77±30.87
	fall	62.80±41.63	56.71±40.31	63.44±38.15
	winter	104.49±50.27	90.10±57.86	86.68±47.07
	total	88.59±53.70	73.57±46.83	72.88±38.36

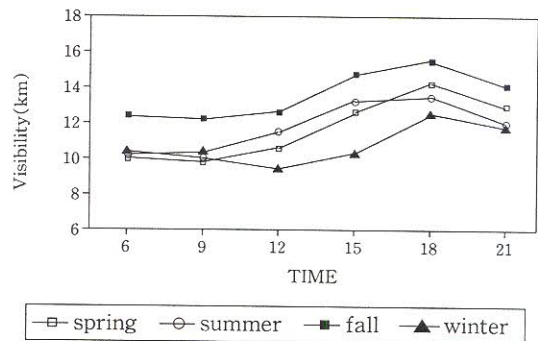
unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



**Fig. 1.** The visibility variations by time and year of '93~'95.



**Fig. 2.** The visibility variations by time and seasons in 1993



**Fig. 3.** The visibility variations by time and seasons in 1994.

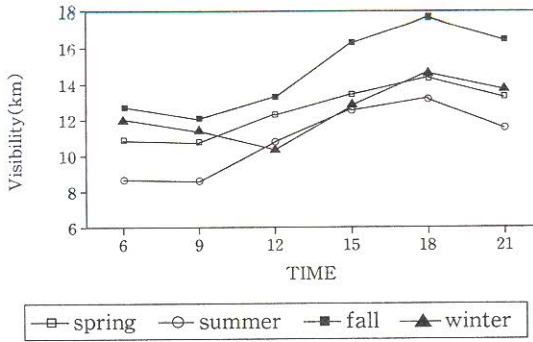


Fig. 4. The visibility variations by time and seasons in 1995.

Table 3. The visibility differences between rain and non-rain day.

time	Rain day (n=307)	Non-rain day (n=757)	Total (n=1064)
9	8.24±5.82	10.86±6.37	10.10±6.33
15	10.66±7.75	13.13±6.34	12.41±6.86

unit : km

되므로 비가 올때와 비가 오지 않을 때의 시정을 분류하여 평균과 표준편차를 살펴본 결과 Table 3과 같이 비가 오지 않을 때의 시정이 오전 9시에 평균 10.86 km인 반면 비가 올때는 8.24 km로 현저한 차이를 나타냈으며, 오후 3시에도 역시 비가 온날은 10.66 km인 반면 비가 오지 않을 날은 13.13 km로 현저한 차이를 나타냈다.

Table 4. The visibility differences by amount of rainfall.

group	amount of rainfall (mm)	N	9:00 AM	3:00 PM
1	0~0.5	817	10.72±6.32*	13.05±6.35
2	0.6~10.0	159	8.95±6.18	11.23±8.61
3	10.1~50.0	68	6.81±5.26	9.34±6.61
4	50.1~100.0	15	5.04±4.07	6.41±5.79
5	100.1 이상	5	6.24±4.98	7.30±6.78
ANOVA test result		1064	F=11.13 (p=0.0001)	F=10.43 (p=0.0001)

\* unit : km

이를 다시 강수량별로 5group 즉 Table 4와 같이 일 강수량이 0~0.5 mm일 때 group 1, 0.6~10.0 mm일 때 group 2, 10.1~50.0 mm일 때 group 3, 50.1~100.0 mm일 때 group 4, 100.1 mm 이상일 때 group 5로 분류하여 오전 9시와 오후 3시의 시정과 강수량과의 관계를 ANOVA test로 유의성 검정을 한 결과 group 1>2>3>5>4의 순서로 강수량이 클수록 시정은 매우 유의한 차이로 감소했으며, 여기서 group 5와 group 4의 순서가 바뀐 이유는 group 5의 경우 하절기 폭우가 내린 경우로 여름철 시정이 겨울이나 봄보다 대체로 좋기 때문에 group 4보다 시정이 높게 나타난 것으로 사료된다.

또한 시정과 자연환경과의 관계는 Table 5와 같이 강수량 및 비교습도와 시정과의 관계는 유의수준 0.1% (p=0.0001)의 매우 높은 음의 상관성을 나타냈다.

Table 5. Relationships between visibility and climatic condition, concentrations of air pollutants.

items		9 AM correlation coefficient (r)	9 AM p-Value	3 PM correlation coefficient (r)	3 PM p-Value
climatic conditions	relative humidity	-0.5589	0.0001	-0.3396	0.0001
	rainfall amount	-0.1618	0.0001	-0.1588	0.0001
	wind speed	0.3199	0.0001	0.3142	0.0001
	ultra violet	0.1861	0.0001	0.3371	0.0001
air pollutants	Dust	-0.4336	0.0001	-0.6569	0.0001
	TSP*	-0.4342	0.0001	-0.6555	0.0001
	PM10**	-0.4290	0.0001	-0.6579	0.0001
	NO <sub>2</sub>	-0.3111	0.0001	-0.5652	0.0001
	CO	-0.2809	0.0001	-0.5427	0.0001
	NO <sub>x</sub>	-0.2281	0.0001	-0.4651	0.0001
	NO	-0.2027	0.0001	-0.4429	0.0001
	SO <sub>2</sub>	-0.1839	0.0001	-0.3396	0.0001
O <sub>3</sub>	0.1624	0.0001	0.1086	0.0001	

\* TSP : Total Suspended Particulates

\*\* PM10 : Particulates Matter Less Than 10 μm

## (2) 풍속 및 자외선량

풍속과 시정과의 관계는 Table 5와 같이 오전 9시에  $r=0.3199$  ( $p=0.0001$ )로 풍속이 클수록 시정이 좋다는 것을 알 수 있으며, 자외선량 역시  $0.1\%$  ( $p=0.0001$ ) 유의수준으로 매우 높은 유의성을 나타내 자외선량이 많을수록 시정이 좋다는 것을 알 수 있다.

## 2) 시정과 대기오염물질과의 관계

대기오염물질 중 본 연구에서는 7항목 (Dust, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)의 시정과의 상관성을 검토한 결과 Table 5와 같이 가장 큰 상관성을 나타낸 것은 Dust로  $r=-0.4336$  (9시),  $r=-0.6569$  (15시)로 매우 높은 음의 상관성을 나타내 대기오염물질 중 Dust가 시정에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 두 번째로 상관성이 높은 물질은 CO로 탄화수소 화합물 역시 시정장애를 야기시키는데 기여도가 큰 것을 알 수 있다. 그 외에도 NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> 모두 음의 상관성을 나타내 이들 오염물질의 농도가 높을수록 시정장애가 크다는 것을 알 수 있었다.

오염물질 7항목 중 오존(O<sub>3</sub>)만이 양의 상관성을 나타냈으며, 이는 오존이 광화학 반응으로 생성된 2차오염물질로 시정이 비교적 양호한 오후에 농도가 높아지기 때문이라 사료된다.

따라서 서울시의 시정장애 현상은 2차 오염물질인 광화학적 스모그 보다는 1차오염물질이 주된 원인이라 할 수 있다.

## 결 론

'93~'95 서울시 시정 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. '93~'95년 오전 6시에서 오후 9시까지 3시간 간격으로 측정된 시정평균은 '93년이 8.81 (6시)~11.75 km (18시), '94년이 10.56~13.90 km, '95년이 10.65~15.01 km로 점차 시정이 좋아졌으며, 이는 대기오염물질 중 시정장애에 가장 큰 영향을 미치는 분진농도가 '93년에 평균 144.78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 '94년에 118.51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , '95년에 114.76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소한 것 등으로 설명될 수 있다.
2. 6시~21시 시정의 일 변화는 오전 6~9시가 최저치를 나타냈으며 오후 6시까지 계속 증가하다가 오후 6시 이후에 다시 감소하였으며
3. 계절별 시정변화의 특성은 모든 시간에서 가을이

유의하게 높았으며, 나머지 계절은 시간별로 약간 차이를 나타내 오전 9시에는 겨울>봄>여름의 순으로, 오후 3시에는 봄>여름>겨울의 순서로 나타났다.

4. 시정과 자연환경 인자와의 관계는 비교습도와 강수량이 유의수준  $0.1\%$  ( $p=0.0001$ )로 음의 상관성을 나타냈으며, 풍속과 자외선량은 유의수준  $0.1\%$ 로 양의 상관성을 나타내 풍속이 빠를수록, 자외선량이 많을수록 시정이 좋다는 것을 알 수 있다.
5. 시정과 대기오염물질 7항목 (Dust, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)과의 관계를 살펴본 결과 7항목 모두  $p=0.0001$ 로 유의성을 나타냈으며, 이중 오존을 제외한 모든 항목에서 음의 상관성을 나타내 이들 오염물질들이 시정에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 이들 오염물질 중 가장 높은 상관성을 나타낸 것은 Dust로 분진이 시정장애를 야기시키는데 가장 크며 기여함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 대기환경연구회 : 대기오염개론, 동화기술, 서울, p. 125(1995).
2. 이민희, 김양균, 원양수, 한의정, 신찬기, 정해동, 한자경 : 수도권 대기 중의 스모그 현상에 관한 연구, 국립환경연구원보, 7:45(1985).
3. H.S.M.A. Diederer, R. Guicherit and J.C.T. Hollander : Visibility reduction by air pollution in the Netherlands, Atmospheric Environment, 19(2):377(1985).
4. 정용승, 김태근, 정재섭 : 도시의 대기오염과 시정감소에 관하여, 한국대기보전학회지, 8(1):1(1992).
5. 박세욱, 백남준, 김용표, 문길주, 김영성 : 1980~1993년 기간의 서울의 시정 추이, 한국대기보전학회지, 10(3):203(1994).
6. 백남준, 김태오, 김성주, 김용표, 문길주 : 서울시의 1993년 가을철 시정 및 입자 특성 측정 및 분석, 한국대기보전학회지, 10(1):32(1994).
7. 백남준, 김태오, 김용표, 문길주 : 시정장애 현상 원인과 그 규명방법-수도권지역의 시정장애 현상 연구를 위하여, 한국대기보전학회지, 10(1):1(1994).
8. 백남준, 이성준, 김용표, 문길주, 조영일 : 서울시의 1993년 가을 스모그 특성 모사, 한국대기보전학회지, 10(2):137(1994).
9. 최정숙, 정용승 : 서울의 대기오염과 시정감소, 한국대기보전학회지, 9(1):51(1993).
10. D.O. Lee : The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on

- summer visibility trends in Southern England, *Atmospheric Environment*, 24A(1):195(1990).
11. I. Colbeck, R.M. Harrison : Ozone - secondary aerosol - visibility relationships in North-west England, *The Science of the Total Environment*, 34:87(1984).
  12. J. Trijonis : Visibility in California, *J. Air Pollution Control Association*, 32(2):165(1982).
  13. G.T. Wolff, M.A. Ferman, N.A. Kally, D.P. Stroup, and M.S. Ruthkosky, *JAPCA*, 32(12):1216(1982).
  14. C.S. Sloane : Meteorologically adjusted air quality trends ; visibility, *Atmospheric Environment*, 18(6):1217(1984).
  15. C.S. Sloane : Visibility trends - I. Methods of analysis, *Atmospheric Environment*, 16(1):41 (1982).
  16. P.J. Haas, A.J. Fabrick : The effects of NO<sub>2</sub> - aerosol interaction on indices of perceived visibility impairment, *Atmospheric Environment*, 15(10/11):2171(1981).
  17. B.R. Appel, Y. Tokiwa, J. Hsu, E.L. Kothny, and E. Hahn : Visibility as related to atmospheric aerosol constituents, *Atmospheric Environment*, 19(9):1525(1985).
  18. S.M. Larson, G.R. Cass, and H.A. Gray : Atmospheric carbon particles and the Los Angeles visibility problem, *Aerosol Science and Technology*, 10(1):118(1989).
  19. W.L. Chang and E.H. Koo : A study of visibility trends in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, 20(10):1847(1986).