

## 1980-1993년 기간의 서울의 시정 추이

### The Trend of Visibility Variation of Seoul during 1980-1993

박 세 옥 · 백 남 준 · 김 용 표 · 문 길 주 · 김 영 성\*

한국과학기술연구원 환경연구센터

\*한국에너지기술연구소 에너지환경연구단

(원고접수; 1994. 5. 23)

Sei-Ok Park, Nam-Jun Baik, Yong Pyo Kim, Kil-Choo Moon, Young-Sung Ghim\*

Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology

\*Energy and Environment Research Department, Korea Institute of Energy Research

(Received 23 May 1994)

#### Abstract

The trend of visibility variation of Seoul during 1980-1993 is analyzed. Annual average visibility has been decreased during the 1980s except 1988 and 1989 but not decreasing during the early 1990s. Also, the number of days with haze during 1983-1993 did not increase. Mixing height is deemed to be a dominant factor determining visibility. During the period, the difference between the average visibility at 6 p.m. and 9 a.m. decreased with the average visual range at 9 a.m. slightly increased. Thus, there is possibility that the effect of photochemical reactions becomes noticeable. The number of vehicles and the concentration of criteria air pollutants on the trend of visibility variation of Seoul would not be directly related to the variation of visibility.

#### 1. 서 론

인구와 시설의 집중도가 심한 수도권 지역의 환경오염이 큰 사회문제가 되고 있다. 대부분 주민은 대기오염이 매년 심해지고 있으며, 특히 쉽게 대기오염과 연관시켜서 생각할 수 있는 스모그현상에 의한 시정장애(visibility impairment 또는 visibility reduction)가 계속 심해진다고 느끼고 있다.

스모그현상의 원인은 주로 부유분진(suspended particles) 또는 에어로졸(aerosol)이라 불리는 대기 중의 미세입자, 특히 0.1 $\mu$ m-2 $\mu$ m 크기의 입자들에 의한 빛의 산란 및 흡수현상이다. 이들 입자들은 각종 오염원에서 직접 배출되기도 하지만, 대부분 직접 배출된 오염물질들이 대기중에서 서로 반응, 응축, 응집하여 생성, 성장하기 때문에 2차 대기오염 물질이라고 불린다(문길주 등, 1993). 따라서 스모

그현상은 한 지역의 대기오염도의 종합적인 지표로 고려 될 수 있다.

스모그현상의 주 원인인 미세입자는 인체내의 기관지 및 폐 내부까지 들어가기 쉬우며, 주성분중의 하나인 무기이온들에 의해 산성도를 띠고 있으므로, 스모그현상이 발생하는 경우에는 주민의 호흡기 계통의 건강에 악영향이 나타나기 쉽고, 여러 인공 및 자연물질의 부식이 심해질 수도 있다. 따라서 수도권 지역의 스모그현상의 원인을 규명하고 저감대책을 마련하는 것은 지역주민들의 건강 및 시설물의 보호뿐만 아니라, 대기오염의 체감도를 줄인다는 측면에서도 중요하다.

지금까지 서울시의 시정추이에 관한 연구는 주로 단기간의 시정추이에 대한 단순변수분석이었다(최정숙과 정용승, 1993; 홍낙기 등, 1993). 시정측정방법에는 목적범위에 여러 가지 방법이 있으며, 각 방

법의 장단점에 대해서는 백남준 등(1994 a)에 소개되어있다. 본 연구에서는 1980년부터 1993년까지 서울시 종로구 송월동 소재 기상청에서 목측으로 구한 서울의 시정을 분석하여: (1) 경향을 파악하고; (2) 변화추이를 분석하며; (3) 이러한 변화추이가 스모그현상을 야기하는 여러 변수와 어떤 연관이 있는지를 조사하였다.

2. 시정의 일반적 경향

시정의 전반적인 추이를 알기위해, 주민이 주로 활동하는 주간의 9시, 12시, 오후 3시, 오후 6시의 각 시간의 연평균 시정을 계산하여 그 결과를 그림 1에 나타내었다. 연평균 시정이 1980년부터 1987년까지는 감소하였으나 1988년을 정점으로 한 변화를 제외하면 1990년대에는 1980년대 중반에 비해 특별히 시정이 악화되었다고 말하기 힘들다. 1988년과 1989년에 시정이 급격하게 증가한 것은 1988년의 서울올림픽을 전후하여, 정부의 각종 오염원 규제와 시민들의 자발적인 오염물질 배출 자제에 의한 것으로 생각되나, 정재섭(1994)에 의하면 1988년에 서울 외에도 청주, 추풍령 등 전국적으로 시정이 좋아진 것이 관찰되었으므로 이에 대한 분석이 필요하다.

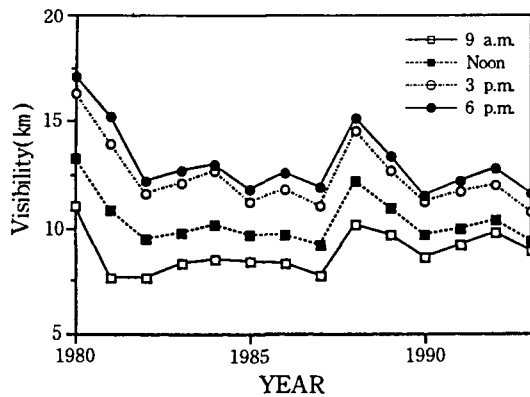


Fig. 1. Yearly average visibility.

또한 오전 9시, 12시, 오후 3시, 그리고 오후 6시 중, 오전 9시에 연평균 시정이 최소이며 시간이 흐름에 따라 시정이 증가하여 오후 6시에 연평균 시정이 최대가 된다. 일반적으로 오전 중에 대기의 혼합고가 낮고 상대습도가 높기 때문에 대기중 오염물질의 혼합과 확산장애에 의한 스모그는 이른 아침에 심하고, 광화학 반응에 의한 스모그는 오후에 심한 것을 고려하면, 이 결과는 서울의 시정이 기온

의 일변화에 따른 대기의 혼합고와 상대습도의 변화영향을 주로 받고 있음을 보여준다.

그림 2는 평균시정이 가장 낮은 오전 9시와 가장 높은 오후 6시의 시정차이를 나타낸 것으로 하루중 시정의 변화가 매년 줄어들고 있음을 보여준다. 그러나 그림 1에서 보듯이 오후 6시의 평균시정이 증가하였다기보다는 오전 9시의 시정이 1980년대 후반부터 증가하여서 그 시정차이의 감소를 유발한 것이다. 다시 말하면, 1980년대 초반에는 비록 오전에는 스모그가 심하여 시정이 짧더라도 오후가 되면 시정이 증가하였으나, 1980년대 후반부터는 오전 시정이 증가하여 오후 늦게까지 비슷한 시정거리를 유지한다는 것이다.

이러한 현상은 여러 가지 원인에 의해 생길 수 있으나, 오전 9시의 시정이 증가한 것은 대기중에 시정저하를 일으키는 미세분진의 농도가 오전에 낮아졌기 때문일 가능성이 높다. 그러나 오전의 낮은 농도의 오염물질이 주간의 혼합고 증가에 따라 확산된다면 오후에도 시정이 증가하여야 하나 오후의 시정이 과거와 같은 것은 혼합고의 증가에 따른 대기오염물질의 확산을 상세할 수 있는 스모그 유발물질이 1980년대 후반부터 주간에도 많이 배출되거나, 배출오염물질의 종류가 변화하여 주간에 스모그 유발물질로 반응, 변화하는 물질이 주성분을 차지하게 되었을 가능성이 크다. 자동차 대수의 증가에 의한 광화학 스모그의 원인인 탄화수소와 질소산화물의 농도증가도 한 예가 될 수 있다.

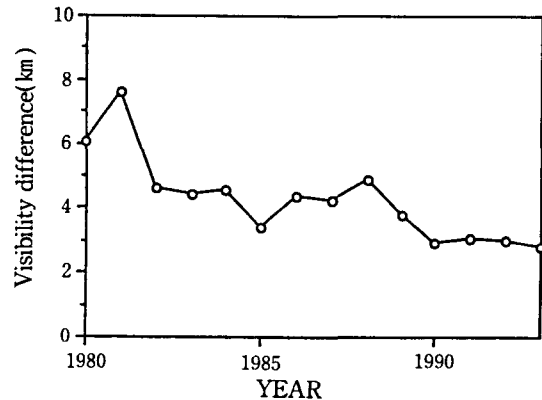


Fig. 2. Yearly average visibility difference between 6 p.m. and 9 a.m.

3. 주민의 스모그인식

시간대별 연평균 시정이 1990년대 들어와서 특별히 악화되지 않은 그림 1의 결과와는 달리 대부분

의 서울시민은 1990년대에 서울시의 시정이 악화되고 있다고 생각하고 있다. 이 문제에 대한 설명으로 가장 쉬운 가설은 주민들의 환경문제에 대한 관심 및 지각도가 높아졌기 때문에 주민이 느끼는 체감 시정은 감소하였을 것이라는 것이다. 이와 맞물려, 많은 주민들이 현재의 시정상황을 시정이 최소였던 1985-1987년이 아니라 시정이 좋았던 1988년과 1989년을 기준으로 비교하기 때문에 시정이 악화된 것으로 생각한다는 것이다.

다른 가능성은 2절에서 분석하였듯이 최근 들어 와서 일별 시정의 변화정도가 감소함에 따라 스모그가 악화되었다고 느낄수 있다는 것이다. 1980년대에는 비록 오전중에 시정이 낮더라도 오후에는 양호한 시정을 회복함으로써, 시정장애를 인식하지 않았을 수 있었으나, 1980년대 후반 특히 1990년대에는 시정의 일변화가 감소하여, 스모그를 보다 심하게 인식하게 되었다는 것이다.

또한 평균 시정의 개념과는 별도로 서울시민들이 스모그가 발생하였다고 느끼는 가시거리대가 존재할 수 있다. 미국의 경우에 로스앤젤레스지역의 평균시정이 1983년에 12-23km(Larson and Cass, 1989)이고 덴버의 경우 1979년에 17km(Groblicki et al., 1981)이었다. 각종규제가 심해진 최근에는 덴버의 경우 저시정의 기준이 1987년에 가시거리 약 20km 정도였고, 겨울철에 120-160km의 시정이 흔히 관측되었다(Lyons, 1990). 이에 비해 수도권 주민이 느끼는 시정감소, 또는 스모그현상은 남산, 여의도 63빌딩, 북한산 등의 저명한 지형이 잘 보이는가의 여부와, 출퇴근시 강변에서 강 건너편이 깨끗하게 보이는지의 여부 등에 의해 판단되는 것이 보통이다. 이러한 거리는 일반적으로 5km이내이며, 소위 사대문안의 밀집지역은 남산으로부터 반경 3km내에 위치하고 있다.

따라서, 1990년대 들어와서 연 평균 시정은 감소하지 않았지만 주민이 스모그현상이라고 인지하는 특정 가시거리대의 발현빈도는 증가하였다면, 체감 시정은 감소할 수도 있다. 이를 검증하기 위해 각 시간대 별로 시정이 3km, 5km, 10km, 15km이하인 연간일수를 구하였으며 네 시간대의 경향이 같기 때문에 아침 9시의 결과를 대표로 그림 3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 모든 시정대에서 그 빈도수가 크게 변하지 않고 있다. 따라서, 어떤 특정한 시정대의 빈도수 증가에 따른 체감시정의 악화현상은 적절한 설명이 되지 않음을 알 수 있다.

위의 설명과 연관하여 흥미있는 것은 연무의 변화추이이다. 연무란 측정시간대와는 관계없이 상대습도가 낮고(상대습도 70% 이하) 시정이 10km 미

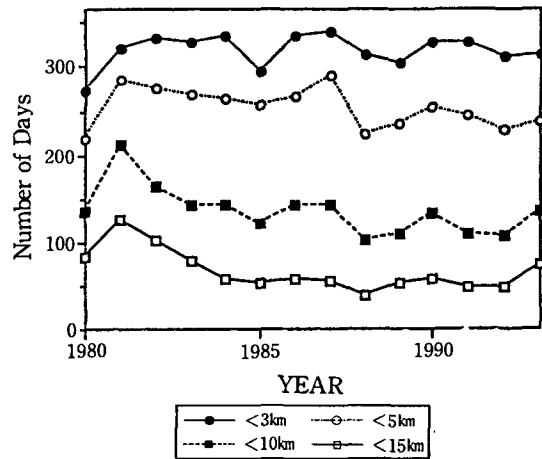


Fig. 3. Frequency of each visibility group at 9 a.m.

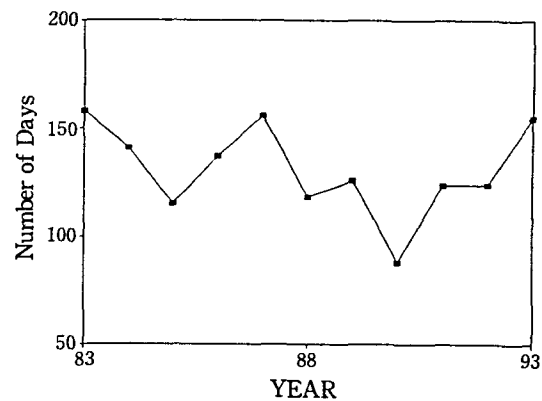


Fig. 4. Trend of haze occurrence.

만 1km 이상인 현상을 말하며, 위의 가설과 비슷하게 연무의 발생빈도와 체감시정장애도가 관련이 있을 수가 있다. 그림 4에 연도별 연무발생빈도를 나타내었는데, 연무발생빈도가 1980년대 초중반에 비해 1980년대 후반부터는 감소하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 평균시정과 연무발생빈도 등의 각종지표는 서울시의 시정상황이 악화되지않고 있음을 나타내지만, 일반시민의 인식이 이와 다른 이유에 대해서는 환경보건학적인 측면에서의 연구가 필요하다.

4. 광화학스모그의 가능성

차량의 대수가 증가하고, 황성분이 높은 기름의 사용억제 및 연탄사용의 감소로 인하여, 서울의 시정장애현상의 주 요인이 소위 런던형 스모그에서

로스엔젤레스형 광화학스모그로 변하고 있다는 주장이 대두되고 있다(정용승 등, 1992). 광화학스모그에 의한 시정장애가 발생한다면, 기온이 높고 일사량이 많은 여름이나 하루중에는 오후 3시의 시정이 감소할 가능성이 크다. 그러나 그림 1에서 보듯이 오후 3시의 평균시정 결과로 광화학스모그의 발생여부를 알수는 없다.

따라서, 연도별이 아닌 각 연도의 계절별 변화를 보기위해 매년의 1, 2, 11, 12월(겨울철) 오전 9시와 5, 6, 8, 9월(여름철, 7월은 장마철이므로 제외) 오후 3시의 각 거리대별 발생빈도를 구하여 그림 5.a-5.b에 나타내었다. 이 그림들에서 주목할 것은 시정이 5km 이하인 경우(그림 5.a), 겨울에는 1981년부터 그 발생빈도가 전반적으로 감소하고 있는데 반해 여름에는 1993년을 제외하고는 그 발생빈도가 보합추세이며, 시정이 10km 이하인 빈도수는(그림 5.b) 겨울에는 약간씩 감소하고 여름철에

는 최근 6-7년간 변화폭이 크기는 하나 전반적으로 보합세를 나타내고 있다. 이 결과를 보면, 겨울 아침의 시정상태는 좋아지고 있으나 여름 오후의 시정상태는 좋아지고 있지 않은 것으로 보인다. 이는 그림 1에서 나타난 연평균 추이와도 같은 것이다.

물론 광화학오염물질의 직접적인 측정이나 광화학스모그 모델에 의한 모사결과에 의한 직접적인 증거는 없으나, 간접적인 자료로서 표 1에 제시한 서울시내에서 측정된 연 평균 오존농도가 1990년대에 계속 증가하고 있는 것과 앞에서 밝힌 경향성을 감안하면, 서울시내에서 광화학 반응에 의한 스모그가 발생할 가능성이 있는 것만은 사실이다.

그러나 여기서 주의할 점은 혼합오염의 일변화에 따른 오염물질 농도변화에 의한 시정장애가 계속해서 주요인으로 나타나고 있기 때문에, 소위 런던형 스모그가 감소하고 로스엔젤레스형 스모그가 증가한다는 식의 이분법으로 서울의 시정장애를 도식화하기는 힘들다. 로스엔젤레스와 같은 특수 기후와 지형조건에서는 광화학 스모그의 영향이 집중적으로 나타나지만, 일반적인 대도시에서는 두 가지 시정장애현상이 동시에 발현하는 것이 보통으로(소위 metropolitan type smog) 서울의 시정장애현상도에 속하는 것으로 추정된다.

5. 시정과 각종변수와의 상관관계

서울시에 등록된 자동차 및 디젤엔진 차량의 숫자는 표 1에 나타난 것처럼 1984-1992년 동안 매년 증가하였고 특히 1990년대에 들어와서 그 증가 추세가 빨라졌으나 시정은 그림 1에 나타난 것처럼 이와는 관계가 없이 변화였다. 따라서 차량대수의 증가가 시정과 직접적인 관계가 있다고 말할 수 없다.

현재 사용하고 있는 대기오염 기준 물질의 농도는 스모그현상과 직접적인 연관이 없는 것으로 알려져 있다(문길주 등, 1993; Sloane and White, 1986). 그러나 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>는 빛 산란효율이 높은 입자상 sulfate(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)와 nitrate(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)의 전구물질이고, CO, HC, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>는 광화학반응의 반응물이거나 생성물이므로, 스모그현상에 간접적으로 영향을 줄 수 있다. 또한 TSP중 미세입자의 비율에 따라 TSP 농도와 시정간에 상관관계가 있을 수도 있다.

표 1에서 보는 것처럼 서울에서의 연평균 SO<sub>2</sub> 농도는 감소하고 있으나, 시정에 직접적인 관련이 있는 sulfate의 농도도 그에 따라 얼마나 감소하였는지, 또한 그림 6에서 보듯이 SO<sub>2</sub>에서 sulfate로의 전환율, 서울시의 SO<sub>2</sub> 농도중 서울시에서 배출한 양의 비율, 전체 시정장애현상에 sulfate의 기여율

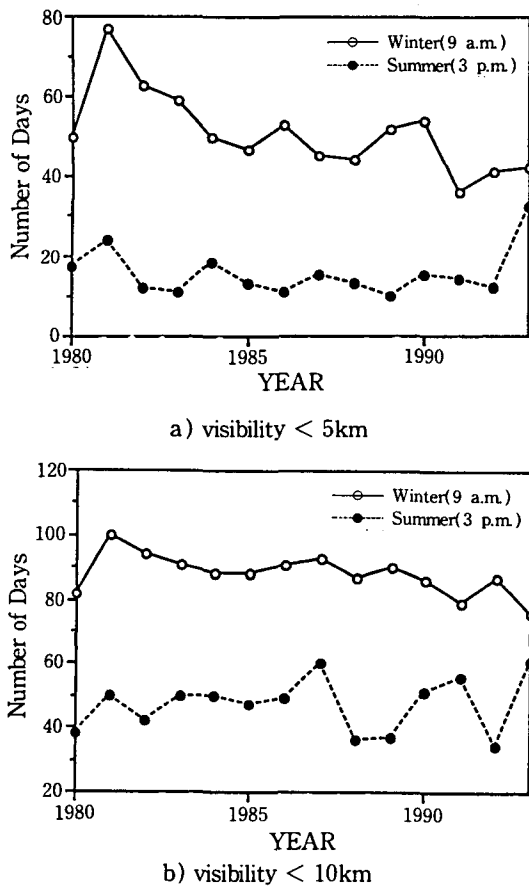


Fig. 5. Comparison of visibility between winter morning and summer afternoon.

Table 1. Trend of number of vehicles and air pollutant concentrations in Seoul<sup>1)</sup>.

Year Variable	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992 <sup>2)</sup>
No. cars (thousand)	284	341	403	4,976	626	815	987	1,144	1,312
No. diesel vehicles (thousand)	93	105	118	135	158	177	206	230	257
SO <sub>x</sub> ( ppm)	0.066	0.056	0.054	0.056	0.062	0.056	0.051	0.043	0.035
CO( ppm)	3.2	2.7	3.0	3.2	2.8	3.2	2.6	2.2	1.9
TH( ppm)	2.8	4.3	2.7	2.7	2.6	2.7	2.9	2.8	2.8
NO <sub>x</sub> ( ppm)	0.029	0.034	0.033	0.033	0.033	0.027	0.030	0.033	0.031
TSP( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	210	216	183	175	179	149	150	121	97
Ozone( ppm)	0.008	0.019	0.011	0.010	0.009	0.008	0.009	0.012	0.014

1) Source : Korea Environmental Yearbook No.3(1990), 4(1991), 5(1992);

2) Data for the year of 1992 are from Korea Ministry of Environment

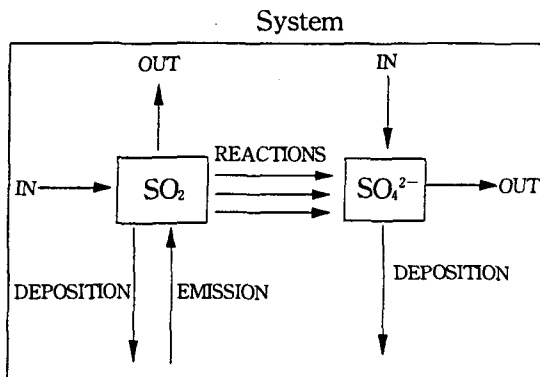


Fig. 6. Transformation of sulfur compounds in ambient air.

이 얼마나 되는지 등을 알지 않고서는 SO<sub>2</sub>농도와 시정간의 상관관계가 있는지, 있다면 어느정도나 있는지를 알 수가 없다. NO<sub>x</sub>의 경우도 마찬가지이다.

한 예로서, 미국 덴버에서 1987-1988년 겨울에 약 6주간 그 지역의 모든 석탄화력발전소의 연료를 석탄에서 천연가스로 바꾸어, 그 지역의 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>의 배출량을 각기 70% 와 20%를 감소시키고 대기 중의 SO<sub>2</sub>농도를 50%정도 저하시켰으나, 시정은 증가하지 않았고, sulfate와 nitrate의 시정감소에의 기여율도 크게 변하지 않은 것으로 나타났다 (Lyons, 1990).

O<sub>3</sub>는 광화학반응의 종합적인 지표이므로, O<sub>3</sub>농도가 증가할 경우 광화학스모그의 발생에 의한 시정 감소 가능성이 있다. 그러나 서울지역에서의 광화학 반응 물질의 종류 및 농도와 주 반응경로를 알지 않고서는 O<sub>3</sub>농도와 시정을 직접적으로 연관시키기

는 힘들다.

미세입자의 농도와 시정은 직접적인 관련이 있으나, 일반적으로 TSP 무게의 대부분을 차지하는 큰 입자의 농도는 시정과 관련이 없는 것으로 알려져 있다 (Groblicki et al., 1981; Sloane and White, 1986). 표 1에서 보듯이 TSP의 연평균 농도는 지속적으로 감소하고 있으나, 시정에는 큰 영향을 미치지 않는다. 백남준 등(1994 b)도 서울지역에서 1993년에 시정과 입자를 측정하여, 3 $\mu\text{m}$ -10 $\mu\text{m}$  크기의 입자농도와 시정과는 상관관계가 없음을 관찰하였다.

## 6. 결 론

기상청에서 목측으로 측정된 서울지역의 1980-1993년 동안의 시정추이를 분석하였다. 이 기간 동안의 연평균시정은 10-12km이며, 평균시정은 1990년대 들어와서 감소하고 있지 않다. 오전 9시, 정오, 오후 3시, 오후 6시의 평균시정이 시간에 따라 증가하는 경향이 관측되었으며, 이는 서울의 스모그현상이 혼합고의 시간(기온)에 따른 변화에 주로 관련이 있음을 나타낸다.

그러나 최근 들어와서, 서울시민이 서울에서 스모그현상이 악화되어 간다고 인식하고 있으며, 이를 설명하기 위해 여러 가설을 제시하였다.

하루중의 시정의 변화정도가 감소하고, 오전 9시의 평균시정은 증가하였으나 오후 3시의 평균시정은 증가하지 않고, 겨울 오전의 저시정빈도는 감소하나 여름 오후의 저시정빈도는 감소하지 않는 등, 1990년대에 들어와서는 광화학 스모그의 경향이 나

타나고 있다.

자동차 대수, 디젤엔진 자동차 대수, 대기오염 기준물질 농도 등의 시민이 대기오염과 관련지을 수 있는 변수와 시정감소 현상과는 직접적인 관련이 없으며, 그 관련정도를 알기 위해서는 대기오염 기준물질로부터 시정장애를 유발하는 물질로의 전환 과정을 이해하여야 하는 것으로 판단된다.

#### 사 사

이 연구는 환경처와 상공자원부의 지원으로 수행하였다. 이 연구와 관련하여 여러 제언을 해주신 환경처 이석조 계장, 강원대 이종범 교수께 감사드린다.

#### 참 고 문 헌

- 문길주, 심상규, 김용표, 박철홍, 백남준, 김태오, 이성준, 이정아, 박세옥, 김성주(1993) 서울 지방의 스모그 현상 연구(II), 한국과학기술연구원.
- 백남준, 김태오, 김용표, 문길주(1994 a) 시정장애 현상 원인과 그 규명방법:수도권 지역의 시정장애현상 연구를 위하여, 한국대기보전학회지, 10, 1-23.
- 백남준, 김태오, 김성주, 김용표, 문길주(1994 b) 서울시의 1993년 가을철 시정 및 입자 특성 측정 및 분석, 한국대기보전학회지, 10, 32-40.
- 기상연보, 기상청, 1983-1993.
- 정용승, 김태군, 정재섭(1992) 도시의 대기오염과 시정감소에 관하여, 한국대기보전학회지, 8, 1-6.
- 정재섭(1994) 서울의 대기오염과 시정과의 관계, 제18회 대기보전학술연구발표회요지집, pp. 23-26, 서울.
- 최정숙, 정용승(1993) 서울의 대기오염과 시정감소, 한국대기보전학회지, 9, 51-60.
- 한국환경연감 제4호, 대한민국 환경처, 1991.
- 한국환경연감 제5호, 대한민국 환경처, 1992.
- 홍낙기, 이종범, 김용국(1993) 다변량해석을 이용한 서울시 하계 스모그의 형태 분류, 한국대기보전학회지, 9, 278-287.
- 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.
- Larson, S.M. and G.R. Cass(1989) Characteristics of summer midday low-visibility events in the Los Angeles area, Environ. Sci. Technol., 23, 281-289.
- Lyons, C.E.(1990) Environmental Problem Solving : The 1987-88 Metro Denver Brown Cloud Study. Chem. Eng. Prog. 1990(May), 61-71.
- Sloane, C.S. and W.H. White(1986) Visibility : An evolving issue, Environ. Sci. Technol., 20, 760-766.