

'96년 서울에서의 스모그 현상 사례 연구(6/8~6/13)

(A Case Study on the Smog Phenomenon in Seoul
from Jun 8 to Jun 13 in 1996)

한진석, 박일수, 김병곤, 김정수, 서홍원, 나진균, 최덕일
국립환경연구원, 대기연구부

1. 서론

스모그는 일반적으로 런던형 스모그와 LA형 스모그가 널리 알려져 있다. 런던형 스모그는 무풍현상과 기온역전등의 정체된 기상조건하에서 화석연료의 연소에 의해 배출된 대기오염물질이 안개와 합쳐져 스모그를 형성하는 것이고, LA형 스모그는 LA지역이 반영구적으로 고기압의 동쪽에 위치하여 침강성 역전이 자주 형성되어, 오염물질 확산이 잘 되지 않는 조건에서 탄화수소와 질소 산화물이 광화학 반응을 일으켜 형성되는 것이다. 그러나 서울에서 발생하는 스모그는 독특한 기상조건과 대기오염 배출형태로 인해 런던형이나 LA형 스모그 패턴 이외의 복잡한 형태를 나타내고 있다.

여름철 서울은 장마전후 기간동안 장기간 고기압대에 위치함으로써 일사가 강하고 대기가 안정한 상태에서 광화학 스모그를 형성하는 경우(김 등, 1995)와 장마전선이 한반도에 접근하여 습도가 증가하고 일사가 줄어들 때 대기오염물질이 안개와 합쳐져 시정장애 현상을 유발하게 되는 경우를 흔히 발견할 수 있다. 본 연구에서는 전자를 편의상 A 유형, 후자를 B 유형이라고 언급하였다. 1996년 6월 8일부터 6월 13일까지 6일간에 걸쳐 수도권에서 발생한 스모그 현상은 위에서 언급한 두 유형이 잘 나타났다. 본 연구에서는 두가지 유형을 서로 비교 분석하여 보았다.

2. 분석 및 고찰

이 기간중 6월 8일과 9일에 오존농도가 증가하여 주의보가 발령되었고(A 유형), 6월 10일에 강우가 있었으며(강우량 : 67.5mm) 6월 11일부터 13일까지 시정장애 현상이 보고되었다(B 유형, 평균 시정 5.2km). 종관 기상상태를 살펴보기 위해서 A, B유형일 때의 지상일기도를 보면, 두 유형 모두 고기압 후면에 한반도가 위치하고 있었고, 기압경도는 A 유형의 경우가 B 유형보다 훨씬 작게(등압선 간격이 넓은 경우) 나타났다.

표 1은 두 가지 유형에 대한 기상변수의 평균치와 대기오염도 특징을 비교한 것이다.

표 1. 두가지 유형(A, B)에 해당하는 기상변수와 대기오염도 비교

	A 유형(6/8~6/9)	B 유형(6/11~6/13)
평균 최고기온(°C)	30.9	27.9
평균 상대습도(%)	68.5	74.3
평균 풍속(m/s)	1.5	1.2
평균 일사량(MJ/m ²)	1520	1245
시정 (km)	5.8	5.2
대기오염도 특징	오존 최고농도 0.128ppm (0.12ppm 초과 횟수 3회)	PM10 농도가 시간이 지나면서 증가 (최고 256.6μg/m ³)

두 유형 모두 평균 풍속이 1.5, 1.2m/s 로 약하고 비슷하였으나, 일사량과 최고온도는 A유형이 B보다, 상대습도는 B 유형이 A보다 높게 나타났다. 주어진 조건은 상이하지만 A나 B 유형 모두 시경이 각각 5.8, 5.2km 로 거의 유사하게 낮았다. A유형은 바람이 약한 안정한 조건하에서 강한 일사로 광화학 반응을 촉진하여 입자의 균질 성장이 가능했던 것으로 판단되었다. 반면에 B 유형은 6월 10일의 강수가 있는 후 대기중에 부유하는 수증기량이 증가하였고, 한반도가 고기압 후면에 있으면서 구름이 많아 일사의 차단이 많았다. 줄어든 일사는 온도상승을 억제함은 물론 수증기의 소산도 막아 대기중 평균상대습도가 75%에 달했다. 이러한 조건은 대기중에 배출된 가스상 오염물질이 액적중에서 산화 혹은 흡착되어 입자 성장을 주도했을 것으로 추정된다. 이의 구체적인 분석을 위해서는 입경별 중량농도와 입자의 성분분석도 동시에 수행되어야 할 것이다.

분석기간 동안의 광화학에서 측정된 대기오염도의 시간변화 양상을 그림 1에 나타내었다. A유형에 해당하는 광화학에서의 6월8일과 9일의 최고 오존 농도가 0.1ppm에 근접하고 있는 것을 볼 수 있으며 6월 10일에는 강수가 있는 후 세정효과에 의해 감소된 다음 다시 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다. 그리고 강수가 있는 후 6월 11일부터 13일까지 SO₂와 PM10농도가 점차 증가하는 것을 알 수 있었는데, PM10은 환경기준치(150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 훨씬 초과하고 있었다(최고 256.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

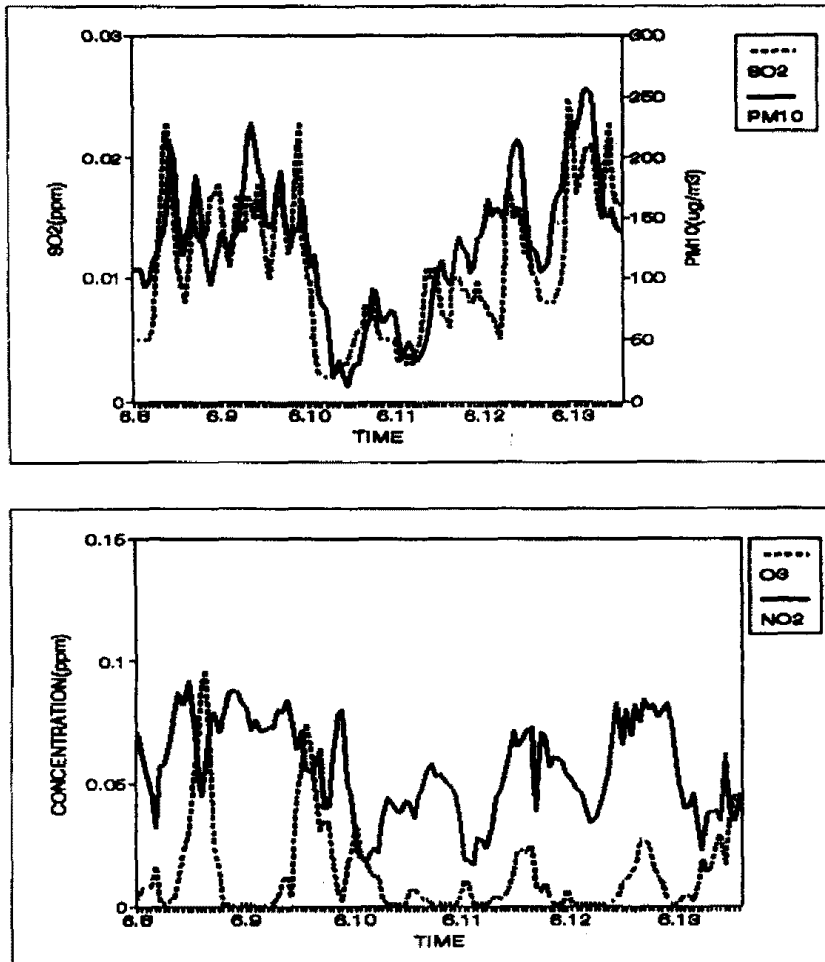


그림 1. 광화학의 대기오염도 시간변화 (6월11일~6월 13일)

B 유형에 해당하는 6월 11일 09시 부터 6월 13일 21시까지 상층의 기상 변화양상을 살펴

보기 위하여 총 10회의 상층의 기상 관측을 실시하였다. 불행히도 A유형에 해당하는 기간 동안의 상층기상관측 자료는 없어 비교는 할 수 없었다. 그림 2는 PM10농도가 최고 256.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 이르렀던 6월 13일의 온위(potential temperature), 수증기량(mixing ratio), 그리고 바람의 연직구조를 나타낸 것이다. 온위의 연직구조를 보면 약 600m 부근에 역전층이 형성되어 있는 것을 알 수 있는데, 온위의 변수(혼합비, 풍속, 그리고 풍향) 모두 이 고도 부근에서 관측치가 급격히 변하고 있었다.

오염물질의 확산과 수송이 어느 정도 일어나는가를 파악하기 위하여 관측된 연직 구조를 이용하여 환기율(ventilation factor)을 계산한 결과를 표 2에 제시하였다. Dobbins(1979)가 제시한 정량적인 기준에 의하면 혼합층의 수송풍속이 4m/s보다 적고, 오후의 환기율이 6000 m^2/s 보다 적은 경우일 때, 대기오염이 심화될 수 있다고 하였다. 지표의 풍속이 오염물을 운반하는 중요한 요인이나, 혼합층이 지표면 가열에 의해 성장하게 되면 오염물은 혼합층내에 고루 퍼지게 되고, 이 오염물을 운반하는 것은 혼합층내의 수송풍속에 의해 좌우된다. 해가 뜨면서 혼합층이 성장하게 되면, 풍속이 증가하여 혼합층의 성장과 함께 오염도를 낮추게 되는 데, 6월 12일 오후에는 혼합층 수송풍속이 4.7m/s에 달하고, 환기율이 모두 6000 m^2/s 를 초과하고 있는 반면 6월 13일에는 혼합층 수송풍속이 모두 4m/s이하이고, 환기율 역시 매우 적은 것을 알 수 있었다. 이 값은 정(1996)의 연구 연구 결과에서 제시한 대기오염 잠재도가 큰 경우의 환기율(4080 m^2/s)보다 적은 값이었다. 6월 14일 이후의 RASS 자료를 분석한 결과 상층의 풍속이 점차 강화되면서 혼합층내 환기율의 증가로 시정악화 현상이 해소된 것으로 판단된다.

표 2. 측정기간 동안의 혼합층 수송 풍속, 혼합고, 그리고 환기율

측정일시	혼합층 수송 풍속(m/s) (transport wind speed)	혼합층(m) (mixed layer height)	환기율(m^2/s) (ventilation factor)
6/11 09:00	2.3	590	1770
6/11 15:00	2.9	1250	3326
6/12 09:00	2.3	578	1329
6/12 15:00	3.3	1844	6085
6/12 21:00	4.7	1800	8460
6/13 03:00	2.7	750	2025
6/13 09:00	1.9	900	1710
6/13 15:00	3.7	1562	5779
6/13 21:00	3.3	572	1888
6/14 09:00	3.5	883	3091
평균	3.1	1073	3546

3. 결론

'96년 6월 8일부터 13일까지 서울에서 발생한 시정장애 현상은 여름철에 흔히 관찰할 수 있는 두가지 유형의 스모그를 잘 나타내 주고 있었다.

A 유형에 속하는 6월 8일과 9일의 경우에는 한반도가 고기압권의 영향에 돌면서 대기가 안정하였고 강한 일사에 의해 광화학 반응이 활성화되어 입자의 균질 성장(homogeneous reaction)이 스모그를 유발하였다고 판단된다. B 유형에 속하는 6월 11일부터 13일까지의 경우는 강수후 대기 중에 부유하는 수증기량이 증가하였고 구름에 의한 일사의 차단으로 수증기 소산이 억제되어 가스상 오염물질이 액적중에 산화 혹은 흡착되어 2차 대기오염물질로 성장(heterogeneous reaction)하여 발생한 것으로 생각된다. 시정장애 현상의 유지와 관련하여 혼합층의 수송풍속과 혼합층 고

도에 대한 분석 결과, 일단 생성된 스모그 현상은 환기율에 의해 크게 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 여름철 서울에서 대표적으로 발생하는 시정장애 현상에 대한 사례연구를 수행하였다. 보다 의미있는 해석을 위해서는 입자에 대한 성분 분석이 추가되어야 할 것이고, 이러한 사례들에 대한 추정 및 분석결과가 보다 많이 축적되어야 할 것이다.

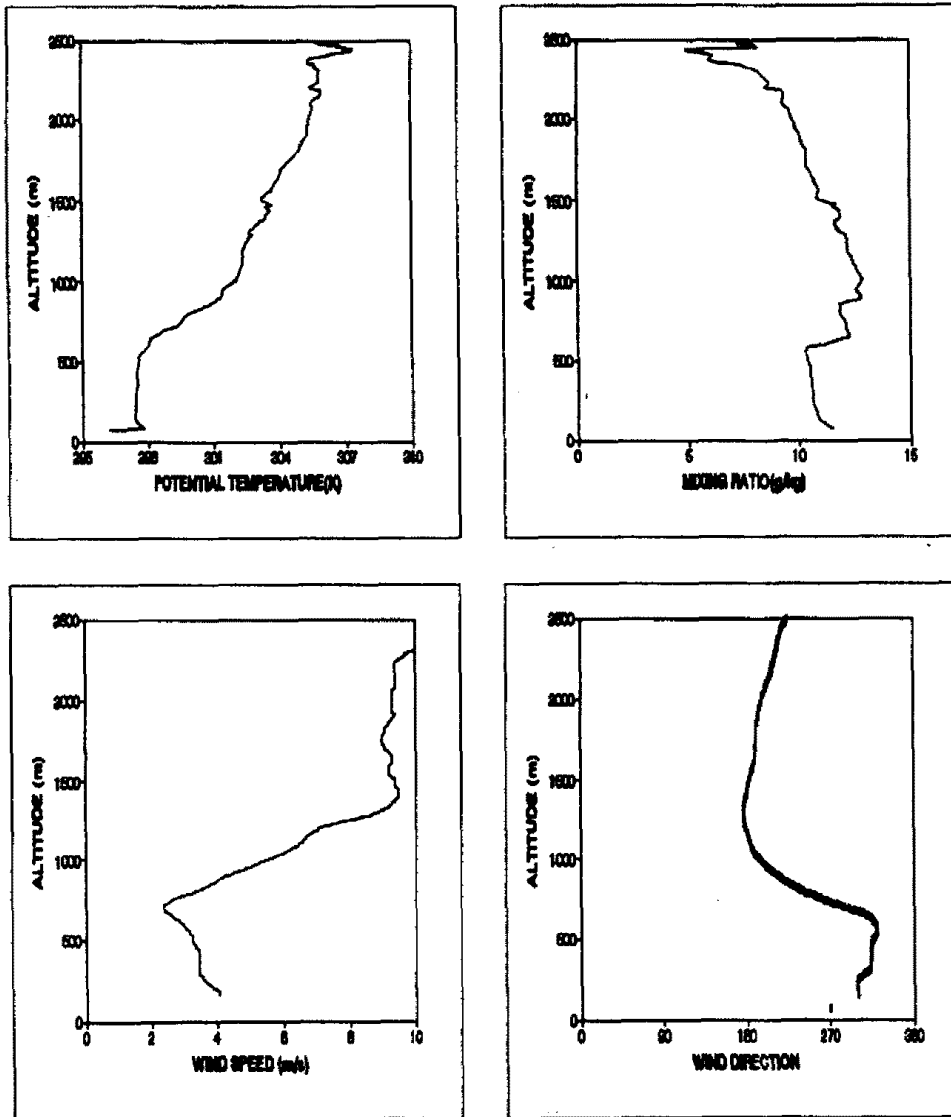


그림 2. 온도, 혼합비, 풍속, 그리고 풍향의 연직구조(6/13 21:00).

참고문헌

- 김병근, 한진석, 황동진, 최덕일, 1995: 수도권지역에서 고농도 오존 사례에 대한 연구, 1995년도 대기보전학회 추계학술대회요지집, 124~125.
- 정영선, 1995: 한반도 각지역의 대기질 특징과 이와 관련된 기상조건, 서울대 이학석사학위논문, 67pp.
- Dobbins, R.A., 1979: Atmospheric motion and air pollution, A Wiley-Interscience Publ., 137~139.