

한반도 대기오염의 時空的 특성

오존濃度 오후3시경 最大値



尹淳昌

서울대 자연과학대학교수 · 대기오염

1960년대부터 시작된 산업화에 의해 우리나라는 지난 30여년 동안 눈부신 경제 성장을 이룩하였으나, 그 결과로 엄청난 규모로 커진 산업활동과 급증하는 자동차의 보급은 우리가 호흡하는 맑아야 할 대기를 오염시켜 이미 대도시에서는 밤하늘의 별을 볼 수 없게 된지 오래다. 또한, 최근 중국의 급속한 산업화는 엄청난 양의 대기오염물질을 대기로 배출시킬 것이고, 중국에서 배출되는 대기오염물질은 편서풍을 타고 약 2일후에 우리나라에 도달하게 된다(윤순창, 박경선, 1991). 본 연구에서는 우리나라의 대기오염 분포 및 그 변동성을 분석하여 우리나라 대기오염의 時空的 특성을 밝히고자 한다.

■ 자 료

우리나라 환경처에서 운영하고 있는 대기오염 측정망은 1991년말 현재 서울 지역의 20개 측정소를 비롯하여 전국에 78개 측정소로 되어

있다. 각 측정소에서 6개 대기오염물질(SO₂, NO₂, CO, O₃, HC 및 입자상물질)의 농도를 매시간 측정하고 있고, 특히 1988년도부터는 매시간 측정 자료가 전산화되어 있다. 본 연구에서는 전국 78개 측정소에서 1988년도부터 1991년까지 4년간 매시간 측정된 각 대기오염 자료중 일 20회(80%) 이상, 월 20일(66.7%) 이상, 연 9개월(75%) 이상의 측정 자료가 있는 측정소만을 유효측정소로 간주하여, 일정기간동안 빠진 자료에 의한 통계치의 오차 원인을 미리 제거하였다.

일본의 경우는 1990년 현재 1,600여개(항목에 따라 다소 다름)의 측정소중 연간 6,000시간 이상 측정횟수가 있었던 곳만 유효측정소로 간주하나(일본 산업공해방지협회, 1992), 대기오염농도의 일변화와 계절변화의 폭, 즉 최대치와 최저치의 비가 약 5~10배인 점을 고려하면 유효측정소의 조건은 연간 측정횟수로 결정하는 것보다는 日중 변화와 年中 변화에서 일정기간 이상(본 연구에서는

25%) 빠진 경우를 제외하는 것이 무측정에 의한 통계값의 오차를 줄이는 방법이라고 판단된다.

■ 대기오염도의 일변화

대도시에서 대기오염도의 일변화는 1차 오염물질(SO₂, CO, 입자상물질)의 경우는 새벽부터 증가하여 오전 9시를 전후하여 일최대치에 도달하였다가 오후 3시경에 농도가 가장 낮아지고, 다시 저녁 7~8시경에 2차 최대치에 도달하는 경향을 보인다. 오전 9시경에 최대치에 도달하는 현상은 대기오염 배출원인 자동차 운행량과 산업활동이 증가하는 시간대와 일치하는 것으로 추측할 수 있으나 이 시간대에 대기경계층(일명, 혼합층)의 높이가 낮아지기 때문이 아닌가 하는 추측도 가능하다. 일반적으로 대기혼합층은日出時에 100~200m정도로 가장 낮고, 오후 3시경에 최대 혼합고 약 1.5~2km에 도달하는 것으로 알려져 있다(김용준, 윤순창, 1989). 따라서 오후 3시경에는 오염농도가 최저가 되고, 이후에는 경계층의 衰態로 오염농도가 낮아지다가 저녁 8시경을 전후하여 차량 통행이 가장 많을 때 2차 최대치에 도달하는 것으로 나타난다. 최대치가 나타나는 시간대는 계절에 따라 일조시간의 변화에 따라 1~2시간의 차이를 보인다.

반면에 오존(O₃)은 주로 자동차에서 배출되는 탄화수소(HC)와 대기 중의 휘발성유기복합물(VOC)이 광화학반응을 통하여 생성되는 2차 대기오염물질이므로 日射가 가장 강한 오후 3시경에 日最低値보다 10배가 넘는 日最大値에 도달한다. 또한, 1차 오염물질은 연료 사용에 의한 배출량이 많은 겨울철이 여름철보다 4~5배 높은 반면에 오존 농도는 日射가 강한 여름철에 가장 높고 겨울철에 가장 낮다. 1차 오염물질의 농도가 여름철에 낮은 이유는 연료에 의한 대기오염 배출량의 감소와 강수에 의한 대기오염물질의 세정효과가 크기 때문으로 판단된다.

■ 대기오염 농도의 경년변화

대기오염도의 경년변화 추세를 알아보기 위하여 1988년도부터 1991년도까지 4년간 계속하여 유효측정횟수 이상의 측정이 있었던 측정소를 선택한 결과 SO₂의 유효측정소는 8개소, NO₂는 5개소, CO는 4개소, O₃는 3개소이었고, 입자상물질과 탄화수소(HC)의 경우는 4년 연속 유효한 측정소가 한 곳도 없었다. 대기오염농도의 경년변화를 알아보기 위해 각 유효측정소에서의 연평균과 농도의 구간별 발생 빈도를 계산하여 연평균치의 변화와 고농도 발생 빈도의 경년변화를 비교하였다. 각 대기오염물질별 그 결과는 다음과 같다.

1. 아황산가스(SO₂)

우리나라 SO₂의 현행 대기환경기준은 일평균 0.15ppm, 연평균 0.05ppm으로 일본이나 유럽의 일평균 기준 0.04~0.05ppm, 연평균 기준치 0.03ppm(미국과 유럽)보다 높은 실정이다(IUAPPA, 1991). 8개 유효측정소에서의 4년간 연평균 농도와 日平均値의 구간별 빈도를 나타낸다. 연평균치는 서울지역에서는 감소하는 추세이나 아직 0.05ppm을 초과하는 지역이 많고, 반면에 여천공단(삼일동)이나 광주농성동에서는 아직 0.02ppm미만이나 증가하는 추세에 있다. 세계보건기구(WHO, 1987)의 1시간 평균권고치인 0.13ppm을 초과하는 빈도가 서울 지역에서는 10% 내외에 달하고 있어 아황산가스 오염도가 매우 심각함을 알 수 있다.

2. 일산화탄소(CO)

일산화탄소의 유효측정소는 4개소에서만 3년 연속하여 유효측정수를 달성하였고, 일산화탄소의 WHO 권고기준은 8시간 평균이 9ppm이고 1시간 기준은 25ppm이다. 서울지역에서는 연평균치와 9ppm초과 빈도가 감소하는 추세에 있으나 광주와 여천에서는 오히려 91년도에는 다소 증가하였다. 서울의 연평균치 3~4ppm

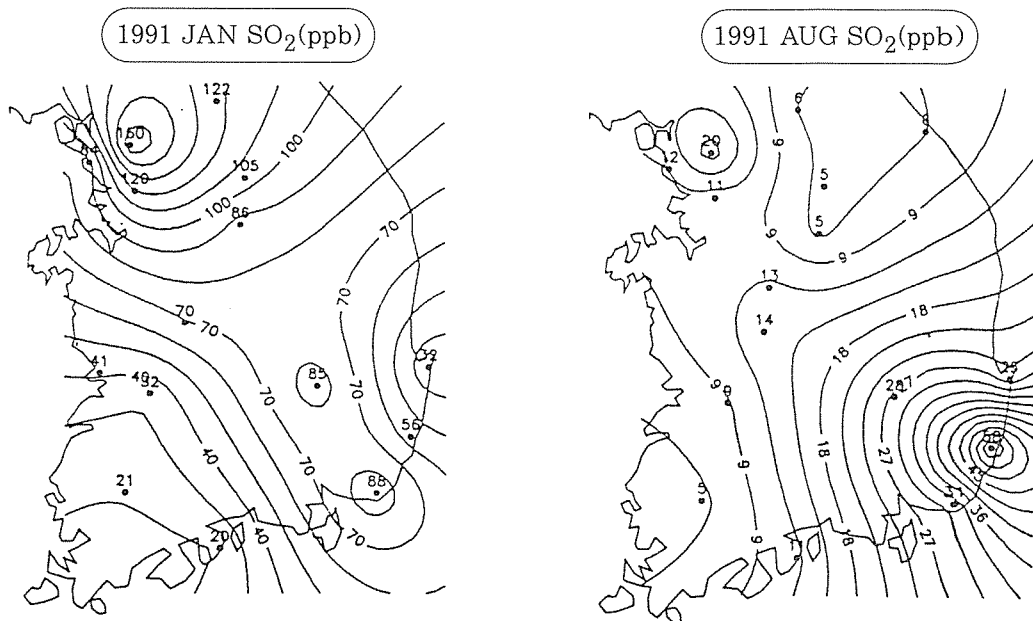


Fig. 1. Contours of SO₂ Concentration(ppb) in Korea during Winter(left) and Summer(right) in 1991.

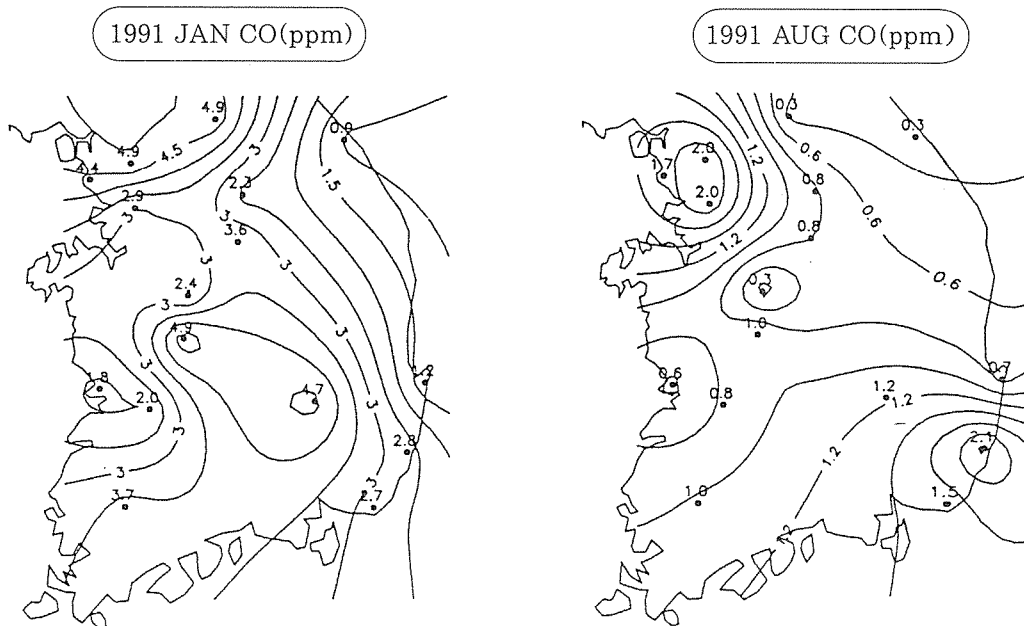


Fig. 2. Contours of CO Concentration(ppm) in Korea during Winter(left) and Summer(right) in 1991.

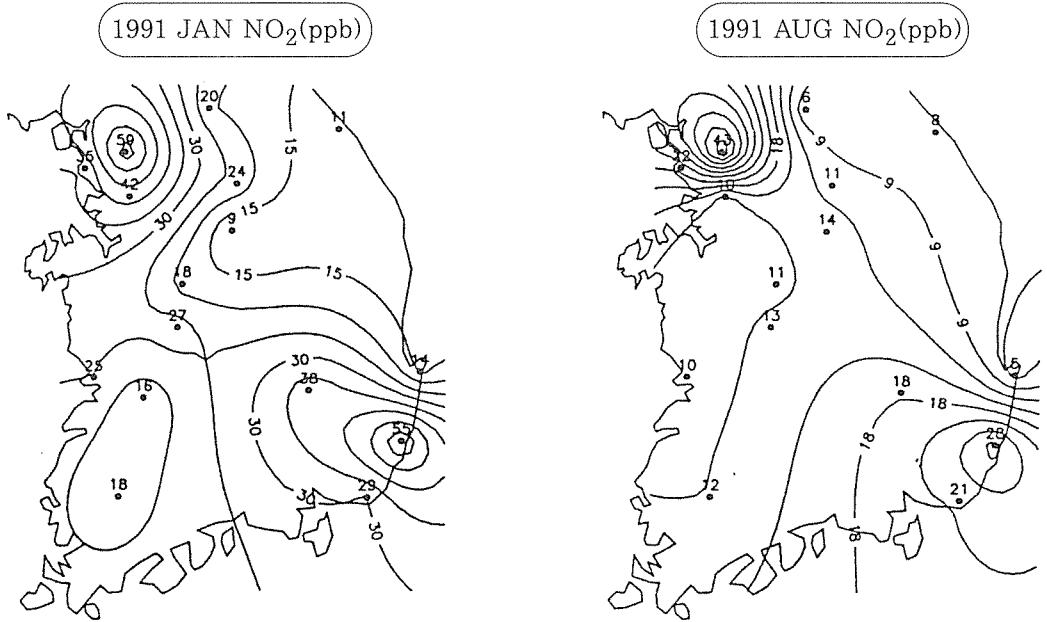


Fig. 3. Contours of NO₂ Concentration(ppb) in Korea during Winter(left) and Summer(right) in 1991.

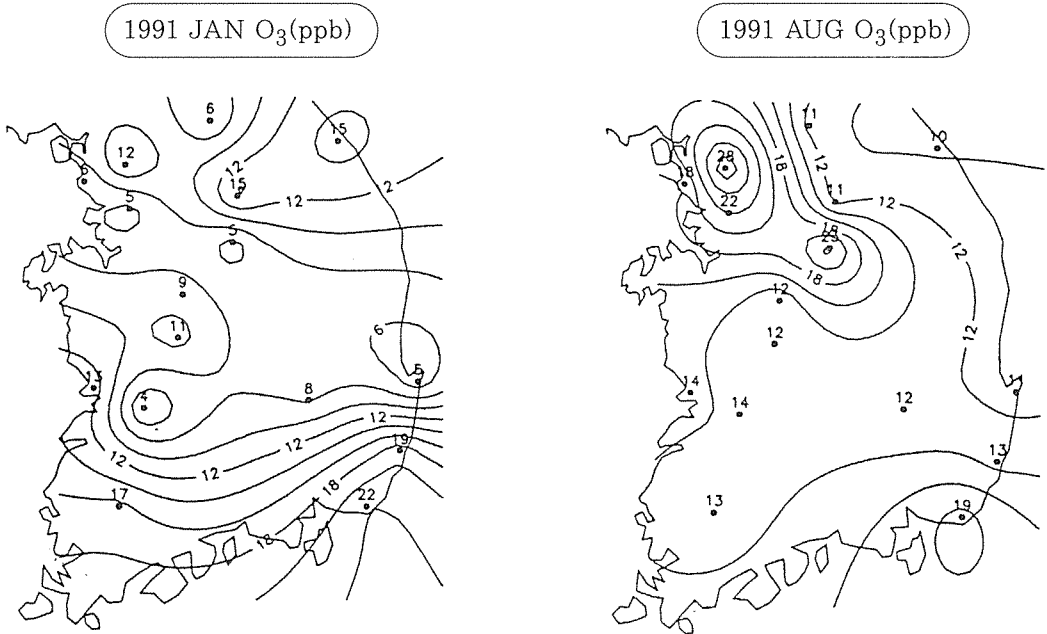


Fig. 4. Contours of O₃ Concentration(ppb) in Korea during Winter(left) and Summer(right) in 1991.

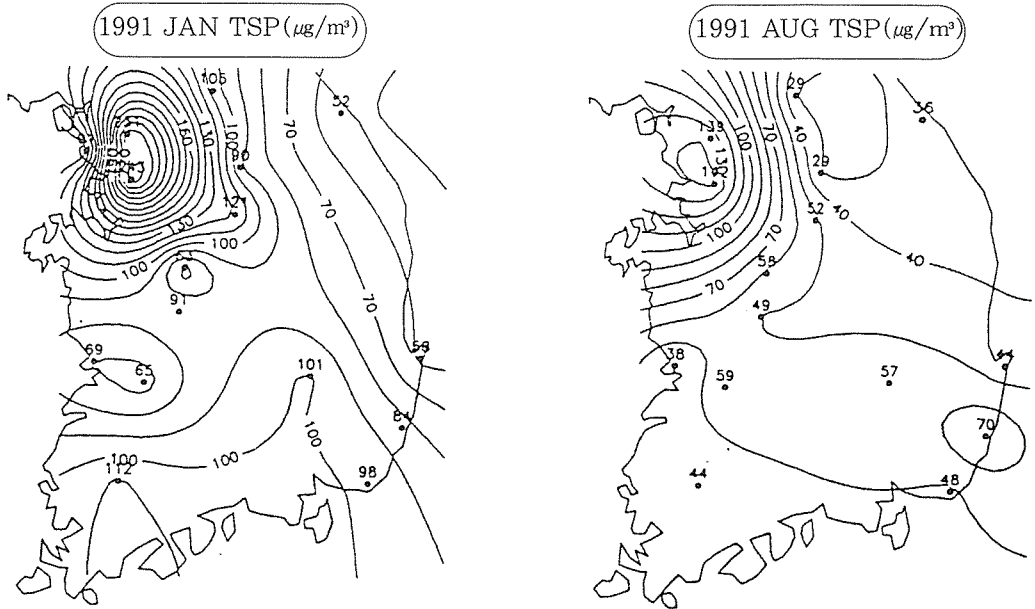


Fig. 5. Contours of TSP Concentration(ppb) in Korea during Winter(left) and Summer(right) in 1991.

은 일본 동경의 연평균치 0.8ppm에 비하면 매우 높은 편이다.

3. 이산화질소(NO₂)

주로 자동차에서 배출되는 질소산화물에 의한 2차 대기오염물질인 NO₂의 경우에 일찍이 자동차가 많이 보급된 서방 국가에서는 오염도가 높고, 저감 효과는 매우 낮은 물질로서 현행 우리나라 대기환경기준은 1시간 평균치 0.15ppm, 연평균치 0.05ppm으로 외국의 기준치와 비슷한 수준이다. 연평균치는 아직 연평균 환경기준을 밑돌고 있는 편이나 일평균치가 0.05ppm을 초과하는 빈도는 들쭉날쭉하면서 증가하는 추세로 보인다.

4. 오존(O₃)

오존의 우리나라 현행 환경기준은 연평균 0.02ppm, 1시간 평균 0.10ppm이다. 표1에서 보면 연평균치는 0.01ppm정도로 환경기준보다 낮으나 1989년 이후에는 계속 증가추세에 있다. 0.03ppm을 초과하는 빈도도 1991년에

는 급증했음을 알 수 있다. 이는 차량수의 급증에 기인하는 것으로 생각된다.

■ 대기오염의 공간분포

대기오염 농도의 전국분포는 대기오염의 장거리 이동에 의한 영향 평가에 필요한 기초자료로서 매우 중요한 부분이 된다. 본 연구에서는 각 대기오염 물질의 계절별 전국분포도를 작성하였으며 그 결과는 아래와 같다.

아황산가스(Fig. 1)의 경우 겨울철에는 서울, 부산, 대구의 순서로 대도시와 울산 공단 지역이 높고, 여름철에는 울산공단 지역이 서울보다 높아진다. 일산화탄소(Fig. 2)도 인구 밀집 지역인 서울, 대전, 대구에서 가장 높게 나타나고, 여름철에는 서울과 부산이 높는데, 겨울철에는 인구밀집 지역에 연탄과 같은 난방 연료의 사용에 의한 배출량이 많은 지역이 높게 나타나고, 반면에 여름철에는 교통량에 의한 배출이 많은 지역이 높은 것으로 해석된다. 이산화질소(Fig. 3)는 주로 자동차와 산업체

표 1. O₃ 농도의 8시간평균치 구간별빈도(%)

측정 지점	측정 년도	측정 횟수	0.03 이하	0.03~ 0.06	0.06~ 0.10	0.10 이상	년평균 (ppm)
서울 광화문	1988	998	92.0	7.9	0.1	0.0	0.012
	1989	1014	97.6	2.3	0.1	0.0	0.008
	1990	1069	98.2	1.8	0.0	0.0	0.008
	1991	1057	94.7	5.3	0.0	0.0	0.010
서울 잠실	1988	1012	97.4	2.6	0.0	0.0	0.008
	1989	1056	99.8	0.2	0.0	0.0	0.005
	1990	971	98.6	1.4	0.0	0.0	0.007
	1991	909	94.9	5.1	0.0	0.0	0.009
광주 농성	1988	1036	90.4	9.6	0.0	0.0	0.014
	1989	1004	99.8	0.2	0.0	0.0	0.006
	1990	1070	99.1	0.9	0.0	0.0	0.010
	1991	847	94.9	5.1	0.0	0.0	0.012

에서 배출되는 질소산화물이 그 원인이므로 서울과 울산에서 가장 높게 나타나고, 겨울철과 여름철의 차이가 다른 대기오염물질보다 훨씬 작다.

한편, 오존(Fig. 4)은 일사량이 많은 여름철에 높아지고 겨울철에는 낮아지는데, 겨울철에는 서울지역이 부산보다 낮은 특이한 현상을 보인다. 그 이유는 서울지역이 겨울철에 먼지가 가장 많아서(Fig. 5) 광화학 반응에 필요한 日射量이 적어지기 때문으로 풀이된다.

■ 요약

우리나라 대기오염도의 일변화와 계절변화 및 경년 변화를 분석한 결과, 일변화와 계절변화는 최대치와 최저치의 비가 4~5배에 이르는

큰 변동을 하는 것으로 나타났다. 1차 오염물질의 농도는 배출량과 大氣混合高의 日變化에 의해 오전 9시경 일최대치에 도달하고 혼합고가 가장 높은 오후 3시경에 가장 낮아지고, 반면에 2차 오염물질인 오존 농도는 일사량이 가장 많은 오후 3시경에 최대에 이른다. 계절변화도 오존을 제외하고는 연료 사용량이 많은 겨울철에 가장 높아지고, 여름철에는 연료사용량이 줄고 많은 강수에 의해 그 반대 현상을 보인다.

전국적으로는 배출량이 가장 많은 서울지역이 당연히 오염 농도가 가장 높으나, 겨울철의 오존 농도는 부유먼지 농도가 높은 서울(부산의 2배)이 부산보다 낮아진다. 또한 여름철 아황산가스의 농도가 울산지역이 서울지역보다 높은 점도 주목할 현상이다.