

서울지역의 오존 농도와 영향인자 (1994~1996)

손부순*, 강문수, 정일웅, 이원석
순천향대학교 환경보건학과

1. 서론

최근 대도시 지역에서 자동차의 증가와 함께 연료사용량의 증가로 인한 광화학 스모그의 원인물질로 작용하는 질소산화물과 탄화수소 화합물의 배출량이 급증하고 있으며, 이로 인하여 고농도 오존 발생일이 증가하고 있는 실정이다.⁽¹⁾

미국의 L·A, Denver, New York 이나 일본의 동경, 멕시코시티 등을 중심으로 고농도 광화학 스모그의 빈번한 발생으로 인하여 큰 사회 문제가 된지 오래 되었으며 서울의 경우도 일차오염물질인 SO₂ 농도는 괄목할 만한 감소현상을 나타난 반면, 이차성 광화학 오염물질인 옥시단트류는 증가하고 있으며, 앞으로 이와 같은 오염패턴의 변화는 급속히 진전 되리라고 추측된다.⁽²⁾ 미국 L·A의 경우, 30여년간의 지속적인 저감노력에도 불구하고 90년대에 들어서도 1년 동안 60일가량 0.2ppm을 초과하고 있는 실정이고, 일본 동경의 경우 93년과 94년에 오존농도가 0.12ppm을 초과한 횟수는 각각 5회, 12회로 보고되고 있으며, 서울의 경우 96년 오존주의보가 10회까지 발령되기도 하였다.⁽¹⁾

서울은 풍속면에서 풍향계 감지한계 이하인 1등급(1.5m/sec)이하가 전체의 40%안팎을 차지하고 있어 대기오염확산에 매우 불리한 지역이며, 역 U자형 (])구조를 갖고 있어서 서쪽 또는 북서쪽에서 운반되어온 오염물질이나 서울에서 발생된 오염물질이 정체되기 쉬운 지형구조를 갖고 있다고 하였다.⁽³⁾ 이렇듯 서울지역은 지형학적으로, 기상학적으로 대기오염확산에 불리한 조건을 갖고 있으며, 대기오염현황도 점차 선진국형화 되어 이산화질소 및 오존등 이동오염원에 의한 오염물질 규제가 시급한 실정이다. 특히, 광화학 대기오염은 원인물질이 단일물질이 아닌 복합적 물질에 의한다는 점과 여러 기상 영향에 의해 복잡하게 얽혀 있다는 점에서 광화학 옥시단트의 연구시에는 다른 background에 대한 조사도 함께 필요하다고 생각된다. 따라서, 본 연구의 목적은 이상과 같은 사실을 근거로 하여 1994년부터 1996년까지 3년간 서울 지역내에서 설치되어 운영중인 대기오염 상시 측정망의 오존농도 측정자료를 이용하여 오존농도 현황과 그 계절별, 연도별 변화를 고찰하고, 각종 오염물질 및 기상조건들과의 상관관계를 통계적 분석에 의해 실시하고, 해석하는데 있다.

2. 연구방법

(1) 연구대상기간

본 연구에서는 서울시 소재 대기오염자동측정망에서 1994년~1996년간 측정된 대기오염물질의 월별 농도자료 및 서울 기상대의 일별 측정자료를 이용하였다.

(2) 오염물질농도 자료 및 기상자료의 수집

오염물질 농도자료는 오존외에 NO₂, CO, SO₂, TSP를 이용하였으며, 기상자료로는 기온, 풍속, 상대습도, 강수량(96년 제외)을 이용하였다.

(3) 통계분석

각 연도별로 오존오염도의 통계치를 구하였으며, 다른 오염물질의 오염도 및 기상요소들과의 상관관계를 조사하였고, 중회귀 분석을 이용하여 오존의 예측방정식을 구하였다.

모든 통계처리는 SPSS(Statistical Package for the Social Science)를 이용하였다.

3. 연구결과

1). 기 상

서울지역의 94년 평균 기온은 13.6℃, 95년과 96년의 평균 기온은 12.2℃로 94년 평균기온이 95, 96년에 비해 약 1.4℃ 높게 나타났으며, 상대습도는 94년에 64.8%, 95년에 63.4%, 96년에 61.6%로 94년에 기온과 습도가 95년과 96년에 비해 비교적 높은 수준이었다. 조사기간(1994~1996년)중 월별 기상현황을 표 I 에 나타내었다.

2). 오존농도

1994~1996년간 서울지역 월별 평균오존농도와 월별 최대오존농도는 다음 표II와 같이 나타난다. 조사기간 중 94, 95, 96년 모두 5월과 6월에서 월 평균 오존농도가 높았으며, 96년에는 9월에서도 월 평균 오존농도가 19ppb로 높게 나타났다. 5월에 오존의 월평균농도가 최고인 연도는 95년과 96년으로 22ppb를 기록하였고, 94년도에는 6월에 21ppb로 최고를 나타내고 있다. 또, 94, 95, 96년 모두 7월과 8월에 오존의 최대농도가 나타남을 알 수 있다. 94년 7월에 측정된 오존 최대농도 227ppb와 95년 7월과 96년에 측정된 167ppb, 162ppb보다 각각 1.36, 1.4배 정도 높게 기록하고 있다. 역시 8월에도 94년에 측정된 322ppb가 95년 8월 오존 최대농도보다 2.73배, 96년 8월 오존 최대농도보다 2.25배로 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다.

연도별로 년 중 월 평균 최저 농도가 나타난 달은 94년에 1월로 8ppb를 기

록하였고, 95년에는 12월로 7ppb, 96년에는 12월로 7ppb를 기록하였다.

Table I. Meteorological conditions of 1994~1996 by month

year month	Temperature (℃)			Humidity(%)			Wind Velocity(m/sec)			Precipitation (mm)	
	94	95	96	94	95	96	94	95	96	94	95
1	-0.9	-2.1	-2.2	57.7	52.2	50.5	2.3	2.6	2.4	6.5	11.6
2	0.8	1.2	-1.6	55.3	56.0	47.2	2.5	2.2	2.7	14.8	5.2
3	4.0	6.0	4.9	59.5	64.1	53.8	3.2	2.8	2.7	31.7	60.6
4	15.2	11.3	10.2	53.2	53.4	52.3	2.4	3.1	3.0	44.9	44.4
5	17.9	17.1	18.4	67.1	57.9	57.8	2.8	2.7	2.2	152.4	60.6
6	22.8	21.6	22.3	67.7	70.5	74.9	2.2	2.0	1.9	85	70.7
7	28.5	24.5	24.4	78.9	81.4	75.7	2.1	2.5	1.9	139.5	436.1
8	27.6	26.0	26.0	75.6	84.6	73.2	2.2	2.4	1.7	232.7	786.6
9	21.0	20.0	22.0	68.6	67.5	65.9	1.9	1.6	1.8	60.7	47.2
10	15.2	15.5	14.5	70.8	60.8	63.2	2.0	1.7	2.0	214.5	39.3
11	9.3	6.2	6.1	63.4	56.7	65.5	2.0	2.3	2.2	49.6	32.9
12	1.2	-1.0	1.6	59.7	55.1	58.9	2.3	2.2	2.2	23.5	3.4
Mean	13.6	12.2	12.2	64.8	63.4	61.6	2.3	2.3	2.3	88.0	133.2

Table II. Ozone concentration by month (unit : ppb)

year	1994		1995		1996	
con(ppb) month	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max
1	8	56	11	96	11	77
2	10	73	10	77	13	67
3	14	93	14	64	15	81
4	18	93	18	89	20	96
5	19	96	22	93	22	109
6	21	168	21	117	21	121
7	17	227	14	167	16	162
8	16	322	13	118	21	143
9	16	128	12	99	19	105
10	13	80	10	85	11	70
11	9	92	8	73	8	79
12	9	99	7	48	7	44
Mean	14.2		13.3		15.3	

조사기간 중 서울지역 오존 평균농도와 온도등 다른 기상인자와의 상관관계를 구한 결과 표III와 같았다.

Table III. Correlation matrix of Ozone with meteorological factors

Year	Temperature	Humidity	Wind Velocity	Precipitation
1994	0.794**	0.427	0.051	0.455
1995	0.518	0.189	0.366	0.073
1996	0.711**	0.296	-0.161	

P < 0.01

대기오염물질과는 달리 기상인자와의 상관관계에서 96년 풍속과의 관계만 역의 상관관계를 보이며, 다른 인자들 즉, 기온, 습도, 풍속, 강수량과의 사영에서 정상관관계를 나타내어 이들이 환경대기 중 오존농도의 상승인자임을 알 수 있다. 특히 94년과 96년에는 온도가 오존농도와 가장 높은 상관관계를 나타내어 이는 기상인자 중 온도가 가장 상관계수가 큼을 알 수 있다.

4. 고찰

성층권 내에 존재하는 오존은 태양으로부터 방출되는 자외선을 흡수하므로 지구의 생명체를 자외선의 피해로부터 보호해 준다. 문제가 되는 것은 대류권에 존재하는 오존으로 특히 고농도로 발생하는 경우 광화학스모그를 형성하여 시정 감소와 일사량의 감소를 초래하며 인체, 동식물 및 재산상의 피해를 초래한다.⁽¹¹⁾ 오존에 노출되면 상기도의 반사성 기관지수축을 일으켜 심호흡이 어렵고 뇌의 통증과 기침과 같은 자각증상이 나타나며 생리학적 반응이 감퇴된다고 한다.⁽¹²⁾

오존농도 250ppb에서 천식이 발생하고, 100~1000ppb의 농도에서 시각장애와 폐기능장애를 유발하며 1500~2000ppb의 농도에서 2시간 이내에 인체에 해를 끼친다. 또한 심장질환, 안과질환 및 정신능력을 저하시키며, 체내 효소계를 교란시켜 DNA, RNA에 작용하여 유전인자에 변화를 일으키기도 한다.⁽¹⁴⁾

오존은 온도가 높을수록 높게 나타나고 온도가 낮을수록 낮게 나타나는데 7월과 8월은 4월, 5월, 6월보다 평균농도는 낮고 최고농도가 더 높게 나타나는 이유는 7월과 8월의 맑은 날은 고농도의 오존이 나타나지만 비가 오는 날이 많기 때문에 평균농도가 낮게 나타난 것으로 여겨진다.(96년은 제외) 서울지역에서의 광화학스모그 될 가능성이 있는 기간은 4월, 5월, 6월, 7월, 8월 인 것으로 판단되며 그 해마다 약간의 차이는 있다.

배출원의 영향 및 각종 기상조건이 봄과 가을이 대체로 유사함에도 불구하고 가을철(12.7ppb, 10ppb, 12.7ppb)에 비하여 봄철(17ppb, 18ppb, 19ppb)에 오존이 높게 나타나는 현상의 원인은 성층권 하부의 오존이 봄철에 증가하여 봄철 대류권 하에서 저기압의 발달로 인하여 성층권 하부대기가 대류권으로 수송되

기 때문이며, 위도가 높은 북반구 중위도 지역의 공통된 현상이라 하겠다.⁽⁵⁾

겨울이 계절적으로 가장 낮은 농도를 나타내는 것은 지표역전에 의하여 형성된 역전층에서 일차오염물질과의 반응에 의한 오존의 생성 때문에 생각되며 그 이후의 농도증가는 강한 계절풍에 의하여 역전층의 형성이 다소 완화되기 때문에 오존농도가 유지되는 결과인 것이다.⁽²⁾

오존농도에 영향을 미치는 기후요소들과의 상관계수는 온도가 가장 상관관계가 높은 것으로 나타나 오존형성이 온도와 밀접한 관련이 있음을 입증하고 있다. 그리고 풍속과 오존농도가 정상관계를 나타내는 것은(96년은 역상관관계) 바람에 의한 오존이 확산·회석보다는 주변지역 오존이 이동·유입이 더 큰 영향으로 작용한다는 것을 추측할 수 있다.

5. 결론

서울시 소재 대기오염자동측정망에서 1994년~1996년간 측정된 대기오염물질의 월별 농도자료 및 서울 기상대의 일별 측정자료를 이용하여 각 연도별로 오존오염도의 통계치를 구하였으며, 다른 오염물질의 오염도 및 기상요소들과의 상관관계를 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

평균기온은 94년은 13.6℃ 95년,96년은 12.2℃로 95년,96년에 비해 약 1.4℃ 높게 나타났으며, 상대습도는 94년에 64.8% 95년에 63.4% 96년에 61.6%로 94년에 기온과 습도가 95년과 96년에 비해 비교적 높은 수준이었다.

오존농도는 94, 95, 96년 모두 5월과 6월에서 월 평균 오존농도가 높았으며, 96년에는 9월에서도 월 평균 오존농도가 19ppb로 높게 나타났다. 또 94, 95, 96년 모두 7월과 8월에 오존의 최대농도가 나타남을 알 수 있었다.

조사기간중 오존농도는 일반적으로 겨울에 가장 낮게 나타나며, 봄과 가을은 기상조건이나 배출원의 영향이 대체로 흡사함에도 불구하고 가을철에 비해 봄철에 오존농도가 94년에는 약 1.3배, 95년에는 약 1.8배, 96년에는 약 1.5배 가량 높게 나타남을 알 수 있었다.

기상인자와의 상관관계에서 96년 풍속과의 관계만 역의 상관관계를 보이며, 다른 인자들 즉 기온, 습도, 풍속, 강수량과의 사이에서 정상관계를 나타내어 이들이 환경대기 중 오존농도의 상승인자임을 알 수 있었고, 특히 94년과 96년에는 온도가 오존농도와 가장 높은 상관관계를 나타내어 이는 기상인자 중 온도가 가장 상관계수가 큼을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1)이해찬 : 서울시 대기 오염과 자동차 배기가스 저감대책, 96년 서울시 국정감사 자료집.
- (2)오존농도의 동태 및 영향인자에 관한 연구(1989) : 한국대기보전학회지 제 5권 제 2호.
- (3)서울시정개발연구원 : 대기질 측정방법의 효율화 방안에 관한연구(1994).
- (4)환경부 : 환경백서, 95, 417, 1997.
- (5)김민영, 강희곤, 이완종, 이상철, 장봉훈, 박성배 : 오존농도의 동태 및 영향인자에 관한 연구, 한국대기보전학회지 5(2) : 55-71, 1989.
- (6)정용승, 정재섭 : 서울 수도권 지역의 광화학 오존에 관한 연구, 한국대기보전학회지 7(3) : 169-179, 1991.
- (7)허정숙, 김동술 : 다변량 통계분석을 이용한 서울시 고농도 오존의 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지 9(3) : 207-215, 1993.
- (8)환경부 : 환경통계연감, 1994, 1995, 1996.
- (9)조재미 · 홍성철 · 이종영 · 장봉기 : 대구지역의 오존농도와 영향인자.
- (10)서울 기상대의 일별 측정자료 (1994~1996).
- (11)환경부 : 환경백서, 95, 417, 1997.
- (12)조윤승, 박종안 : 환경보건학, 50-51, 신광출판사, 서울, 1996.
- (13)정문식, 정문호, 이진현, 김영규 : 환경화학, 305-330, 신광문화사, 서울, 1995.
- (14)Dix H. M. (1965) Environmental air pollution, John wiley, New York, 286p. (see p.65).
- (15)Mukammal E. I (1965) Ozone as a cause of tobacco injury. Agricu. Met. 2, 145-165.
- (16)Tonnejck A. E. G. (1989) Evaluation of ozone effects on vegetation in the Netherland. In atmospheric ozone research and its policy implications. 251-260.