

대구시 고농도 오존 사례일인 경우 대기 오염물질 농도의 일변화 특성

손 임 영·윤 일 희*·김 희 종**

성화여자고등학교·*경북대학교 과학교육학부 지구과학교육전공·**경북대학교 천문대기과학과
(2002년 8월 16일 접수; 2002년 12월 6일 채택)

Characteristics of Diurnal Variation of the Atmospheric Pollutants Concentration in High-Ozone Episode day in Daegu

Im-Young Son, Ill-Hee Yoon* and Hee-Jong Kim**

Sunghwa girl's High School, Daegu 702-709, Korea

Earth Science Education Major, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

***Department of Astronomy and Atmospheric Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea*

(Manuscript received 16 August, 2002; accepted 6 December, 2002)

This study analyzes the surface ozone, NO and NO₂ concentration data from 1997 to 1999 in Daegu. It investigates effect on precursor during high-ozone episode days. The high-ozone episode is defined when a daily maximum ozone concentration is higher than 100 ppb(ambient air quality standard of Korea) in at least one station among six air quality monitoring stations. The frequency of episodes is 13 days(33 hours). The frequency is the highest in May and September, and the area with the highest frequency is Nowondong and Manchondong. The average value of daily maximum ozone concentration with high ozone episode is 81.6 ppb, and that of 8-hour average ozone concentration is 58.6 ppb. It means that ozone pollution is continuous and wide-ranging in Daegu. The daily variation of NO, NO₂ and O₃ in high-ozone episodes are inversely proportional one another. Nowondong an industrial area, is affected by pollutants that are emitted from the primary sources, while Manchondong a residential area, is affected by the advection of O₃ or by the primary pollutants like VOCs.

Key words : Atmospheric pollutants concentration, Surface ozone, High-ozone episode day

1. 서 론

성층권 오존은 태양 자외선을 강하게 흡수하기 때문에 대기성분 중 동·식물에 유해한 자외선을 대기 상층에서 차단하여 매우 중요한 역할을 담당한다. 그에 비해 지표면 부근의 오존은 국지적인 광화학 스모그로 생성된 옥시단트(oxidants)의 지표 물질이다. 이는 차량 및 산업시설에 의해서 배출되는 질소산화물(NOx), 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs), 탄화수소류(Hydro-Carbons, HCs) 등의 1차 오염물질이 복잡한 광화

학 반응에 의해 2차 적으로 생성되며 광화학적 스모그에 포함되어 도시의 시정 감소를 가져온다. 또한 그 자신은 온실가스로 작용하고 동시에 광분해 반응으로 생성된 OH기가 메테인과 HCFC 등의 다른 온실기체의 대류권 수명을 조절하여 간접적으로 지구온난화에 기여한다.¹⁾

이러한 오존의 광범위한 피해로 인해 국내에서도 1990년대 초 오존 문제가 등장된 후 계속해서 사회 현안으로 부각되고 있다. 이는 1994년 북태평양 고기압의 이상 발달로 고농도 오존이 빈번히 발생한 것과 1995년 7월의 오존 경보제, 1997년 7월의 오존 예보제 실시가 계기가 되었다. 이에 따라 정책 당국도 CNG(Compressed Natural Gas) 자동차 보급과 VOC 배출 저감을 적극 추진하는 한편, 대기 오염

Corresponding Author : Ill-Hee Yoon, Earth Science Education Major, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
Phone : +82-53-950-5922
E-mail : ihyoon@knu.ac.kr

측정망의 확충, 대기 영향권역에 기초한 대기환경 관리 등 오존으로 대표되는 2차 오염 시대에 적합한 정책 기반을 조성하고자 노력하고 있다.²⁾

선행 연구를 살펴보면, 5개 대도시(서울, 부산, 대구, 울산, 포항)의 1시간 평균 오존 농도와 8시간 평균 오존 농도를 분석하여 우리나라 대기환경기준치를 초과한 빈도를 비교하고, 오존경보일 기간 동안 오존과 기상요소, NO₂와의 상관성을 구해 도시별로 차이를 알아본 연구³⁾와 부산 해안 역의 오존농도와 이산화질소의 농도와는 반비례관계에 있으며 이산화질소 최고 농도 수 시간 후에 오존 최고 농도가 발생함을 보고한 연구⁴⁾가 있다.

고농도 오존 현상은 국지적인 기상 특성 뿐 아니라 전구물질의 배출량에 영향을 많이 받고, 오존 예보의 대상 지역이 각 도시 별로 이루어지므로, 도시별로 그 지역의 오존 오염에 영향을 미치는 요인을 분석하는 것이 매우 필요하다. 그러나 이러한 시도가 국내에서는 서울 수도권 지역과 부산 등의 대도시에 집중되어 연구된 바, 이 연구에서는 대구시의 1997년부터 1999년 3년간 대구광역시 소재 6개소의 환경부 산하 대기오염 측정망에서 관측한 시간별 NO, NO₂, O₃ 등의 대기오염 물질 농도 자료를 이용하여, 대구시의 고농도 오존 사례 일에 나타나는 전구물질의 영향과 특징을 알아보려고 한다.

2. 분석자료 및 분석방법

Fig. 1에서는 이 연구에 이용된 환경부 산하 6개 대기질 측정망의 위치와 지형을 나타내었다.

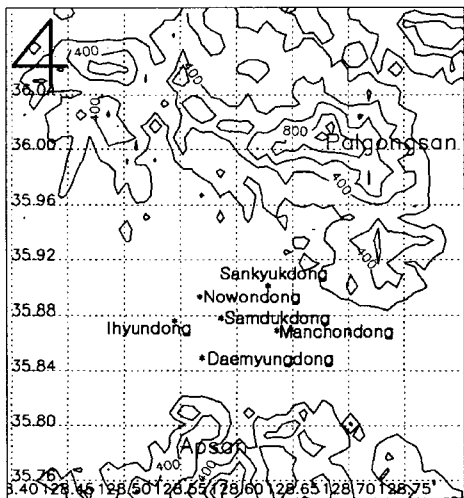


Fig. 1. Location map of monitoring stations in Daegu City. The contour interval of topography is 200m.

대기오염 농도 자료는 6개 대기질 자동 측정망 자료(주거지역: 대명동·산격동·만촌동, 상업지역: 삼덕동, 공업지역: 이현동·노원동)에서 관측된 시간별 O₃농도와 고농도 오존 사례 일의 사례연구를 위해 시간별 NO, NO₂의 측정 자료도 이용하였다. 대상 기간 중 측정 지점이 삼덕동에서 수창동으로, 산격동에서 복현동으로 이동되었으나 인접한 지역임으로 기존 자료에 포함시켰다.

측정 자료의 선택은 24시간 중에서 20시간 이상 측정된 자료를 유효자료로 취급하였으나, 일최고 오존 농도가 100 ppb 이상인 경우는 유효 자료에 포함시켰으며 결측 시간의 농도는 내삽으로 구하였다⁵⁾. 각 지점별 오존 농도의 측정율은 Table 1과 같으며 1998년 노원동 지점의 측정율이 69.4%로 가장 낮으나, 3년간의 평균 측정율은 93.5%로 양호하여 대구시의 오존 농도 분석에는 별 무리가 없다고 사료된다.

이 연구에서는 고농도 오존 사례 일의 선정 기준을 우리 나라 환경기준치인 1시간 평균 오존 농도 100 ppb를 초과한 지점이 대구시의 6개 측정지점 중 한 지점이라도 있는 경우로 정했다.

Table 1. Percentile ratio(%) of effective ozone data measured in Daegu

Station Year	Sam-duk	Ihyun	Dae-myung	Nowon	San-kyuk	Man-chon	Mean
1997	95.1	92.2	98.2	90.7	89.4	92.2	93.0
1998	96.6	92.1	96.2	69.4	93.8	95.3	90.6
1999	96.5	96.0	98.8	97.4	96.0	96.1	96.8
Mean	96.1	93.4	97.7	85.8	93.1	94.5	93.5

3. 분석결과

3.1. 고농도 오존 일의 빈도 분포

대구 지역의 1997년에서 1999년까지 3년간의 대기질 자동측정망 6개 지점에서 측정된 시간별 오존 자료를 분석한 결과 60 ppb, 80 ppb, 100 ppb 이상을 초과한 빈도수는 월별, 지점별로 Table 2와 같은데 우리 나라 환경기준치가 1시간 평균 100 ppb를 초과한 횟수가 3년간 총 33회였으며 일수는 13일이었다. 이 기간 중 1997년 7월 19일 1300 LST에서 1400 LST 사이에 노원동 지점이 125 ppb를 기록하여 오존 주의보가 1회 발령되었다.

60 ppb 이상 고농도는 3월에서 9월 사이에 발생하였으며, 발생 빈도가 가장 높은 달은 5월, 6월, 9월 순서로 나타났다. 5, 6월중에 오존 농도가 60 ppb 이상 초과한 빈도 수는 전체 발생 빈도수의 59.4%, 80 ppb 이상은 58%가 발생하여 높은 빈도를 보였다. 100 ppb 이상은 5월과 9월의 발생 빈도

대구시 고농도 오존 사례일인 경우 대기 오염물질 농도의 일변화 특성

Table 2. The numbers of measured hourly ozone concentrations higher than the standards in air quality monitoring station in Daegu, during 3 years(1997 through 1999)

station \ month	3			4			5			6			7			8			9			total		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Samduk-dong	0	0	0	30	0	0	113	8	0	90	13	0	37	6	1	22	6	0	39	8	1	331	41	2
Ihyundong	1	0	0	49	5	0	47	5	0	23	4	0	24	1	0	20	4	0	53	15	1	217	34	1
Daemyung-dong	0	0	0	11	0	0	128	23	3	61	4	0	5	0	0	17	1	0	55	5	0	277	33	3
Nowondong	0	0	0	45	5	0	182	32	1	166	34	3	72	15	2	24	7	2	32	5	1	521	98	9
Sankyuk-dong	0	0	0	26	0	0	111	15	2	96	30	4	16	2	0	18	5	0	62	16	1	329	68	7
Manchon-dong	0	0	0	68	6	0	152	15	4	53	10	1	31	6	0	21	6	0	57	16	6	382	59	11
total	1	0	0	229	16	0	733	98	10	489	95	8	185	30	3	122	29	2	298	65	10	2057	333	33

a : ≥ 60 , b : ≥ 80 , c : ≥ 100

수가 전체의 60.6%로 가장 높다. 7월과 8월은 높은 기온에도 불구하고 100 ppb를 초과한 빈도수가 전체의 15% 이하로 발생 빈도가 낮는데 이는 Table 3에서와 같이 강수 일이 많기 때문에 강우에 의한 오염물질의 세정효과 때문으로 생각된다.⁶⁾ 이에 대해 김진영⁷⁾은 7, 8월 우리 나라 상공을 지나는 바람이 북태평양으로부터 남, 서해안으로 유입되어 일본 동부나 북부 쪽으로 돌아가고 있어 상층부 깨끗한 공기의 영향으로 지상의 오존농도가 저하되는 것으로 분석하기도 하였다.

지점별로는 60 ppb 이상과 80 ppb 이상은 공업 지역인 노원동이 전체 발생의 25.3%와 29.4%를 차지해 가장 높은 빈도를 보였으나, 100 ppb 이상은 주거지역인 만촌동이 발생 빈도가 33.3%로 가장 많았다. 1998년의 노원동의 오존 농도 측정율이 다른 지점에 비해 월등히 낮은 것을 감안한다면 실제 노원동의 발생 빈도수는 이보다 더 높을 수도 있을

것이다. 하지만 만촌동의 경우는 큰 공업시설이 주변에 없는 데도 불구하고 높은 오존 농도를 나타내어 최근 이 지역의 차량 통행량의 증가나 측정소 주변의 국소적인 기상 특성으로 예상할 수도 있으나 이에 대해서는 명확하게 판단하기 어렵다.

3.2. 고농도 오존 사례 일의 일최고 오존 농도

Fig. 2는 100 ppb이상인 고농도 오존 사례 일의 일최고 오존 농도를 지점별로 나타낸 것이다. 대구시의 6개 측정 지점 중 하루에 1개 지점 이상이 1회 이상 100 ppb를 초과한 날에 6개 측정 지점의 일최고 오존 농도는 평균 81.6 ppb이며, 전 측정 지점 중 최소 3개 지점 이상이 동시에 60 ppb 이상을 초과했다. 100 ppb이상인 13일 중 7일은 6개 측정 지점 모두가 60 ppb 이상인 것으로 나타나 1지역이 1회 이상 100 ppb를 초과한 날은 국소적으로 한 지점만 높은 것이 아니라 대구지역 전체적으로 오존 오염도가 상당히 광범위하게 높게 나타나고 있음을 보여주었다.

Fig. 3은 100 ppb이상인 날의 8시간 평균 농도를 3개 구간별(0100~0800 LST, 0900~1600 LST, 1700~2400 LST)로 구해 본 결과로 구간별 8시간 평균 농도는 각각 12.5 ppb, 47.6 ppb, 35.8 ppb였다.

100 ppb 이상이 발생한 날 발생 지점의 발생 시각을 포함하는 8시간 평균 농도가 평균 58.6 ppb로 우리 나라 대기 환경 기준치인 8시간 평균 60 ppb에 상당히 가까운 값을 보였다. 이는 100 ppb 이상의 고농도가 발생한 날 상당히 지속적으로 오존농도가 높음을 시사해 주고 있다.

우리 나라 환경기준치인 8시간 평균 농도 60 ppb를 초과한 날은 모두 8일로 1997년부터 1999년 3년간 8시간 평균 오존농도가 60 ppb를 초과하는 총 일수 28일의 약 1/3이 이 기간에 발생했다. 그 중 1998년 5월 27일의 경우는 3개 지점이 8시간 평균

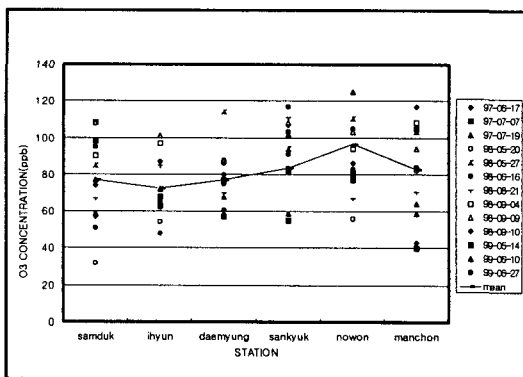


Fig. 2. The daily maximum ozone concentration measured in Daegu six air quality monitoring stations during episode days(≥ 100 ppb).

농도가 60 ppb를 초과한 횟수가 5회나 되며, 대명동 지점의 1700~2400 LST 구간의 8시간 평균 농도는 83.6 ppb를 기록해 가장 높았으며 우리나라 환경 기준치를 훨씬 초과했다. 오존 고농도가 얼마나 지속되는가하는 것은 인간이나 식물 등에 대단히 중요한 의미를 지니게 되므로⁸⁾ 국지적으로 오존 농도가 100 ppb를 초과하는 날의 고농도가 지속되는 시간도 상당히 관심을 가져야 할 단계임을 반증하고 있다.

3.3. 고농도 오존 사례 일의 NO, NO₂, O₃ 일변화 특성

Fig. 4와 Fig. 5는 100 ppb 이상 고농도가 가장 많이 발생한 지역인 주거지역의 만촌동과 공업지역의 노원동을 선택하여 100 ppb 이상의 고농도가 나

타나기 하루 전부터 고농도 일까지의 시간별 NO, NO₂, O₃의 농도를 나타낸 것이다. 만촌동과 노원동은 모두 오존 일 변화에서 오전의 매우 낮은 농도와 1500 LST 전후로 최고 농도를 보이며 일변화폭이 매우 큰 전형적인 광화학 오염을 보여주고 있으며, 이는 노원동이 보다 더 뚜렷하게 나타난다. 이 경우 주간에는 고농도를 나타낼 수 있는 대기 상태라면 NO의 농도도 높을 것이고, 또한 야간에는 광화학 반응이 없으므로 NO의 산화반응만 존재하기 때문에 오존 농도가 낮을 것으로 추정된다.⁵⁾ 공업지역인 노원동의 경우는 고농도 오존일 하루 전 날도 NO와 NO₂의 일최고 농도가 주거지역인 만촌동에 비해 두드러지게 높게 나타났다.

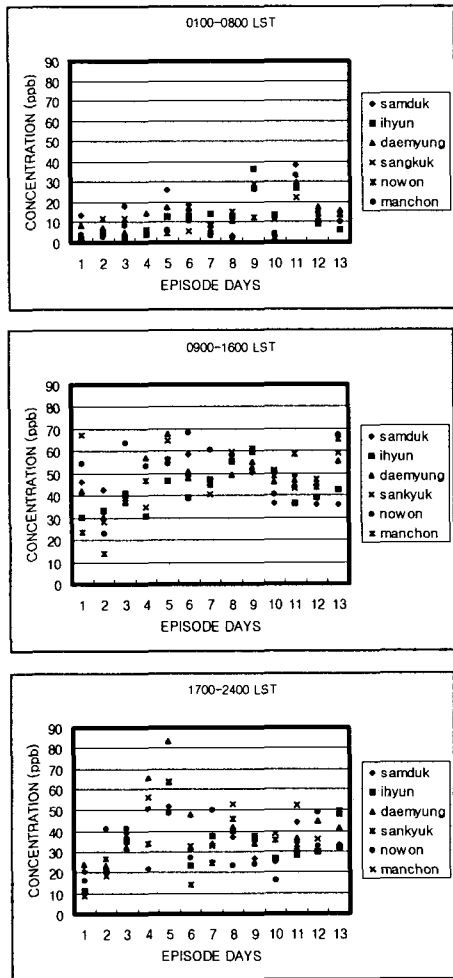


Fig. 3. The variation of the 8-hr average ozone concentration during episode days(≥100 ppb).

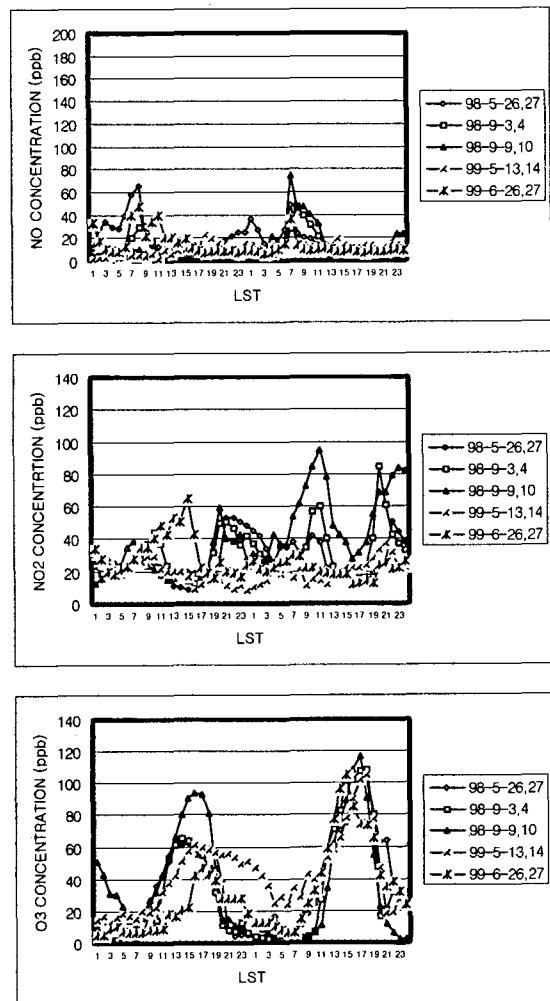


Fig. 4. Diurnal variation of NO, NO₂ and O₃ concentration in Manchondong station for 2 days (before day, episode day).

대구시 고농도 오존 사례일인 경우 대기 오염물질 농도의 일변화 특성

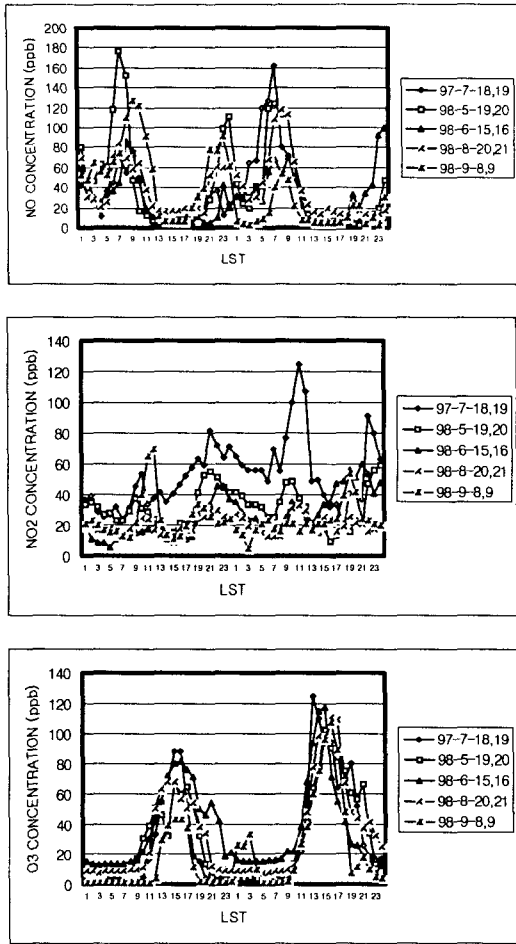


Fig. 5. Same as Fig. 4 except for Nowondong.

Fig. 6은 만촌동과 노원동이 100 ppb를 초과한 날의 평균 NO, NO₂, O₃농도의 일변화를 나타낸 것으로 NO의 최고 농도는 0700 LST에 최고 농도를 보이고 이로부터 수 시간후인 1000 LST에 NO₂가 최고 농도를 나타내고, 1500 LST에는 O₃이 최고 농도를 나타낸다. 오존의 전구물질로 차량과 산업시설이 주 배출원인 NO는 출퇴근 시간에 뚜렷한 증가를 보여 차량통행과 밀접한 관련이 있음을 보여주고 있다. 2100 LST 이후부터 O₃ 농도는 감소하여 0700~0800 LST에 최저농도를 보이며, 그 시간 동안의 O₃농도가 거의 일정한 농도를 나타내어 이 산화질소에 의한 오존의 환원반응이나 지표로의 침적현상은 비교적 약한 것으로 사료된다.

두 지역의 NO₂의 농도는 1000 LST와 2000 LST경 두 번의 피크가 나타나고 있으며, 노원동의 경우는 2200 LST에 추가로 증가되고 있다. 이러한 변화는 도시에서의 NO₂의 전형적인 일변화 양상으로

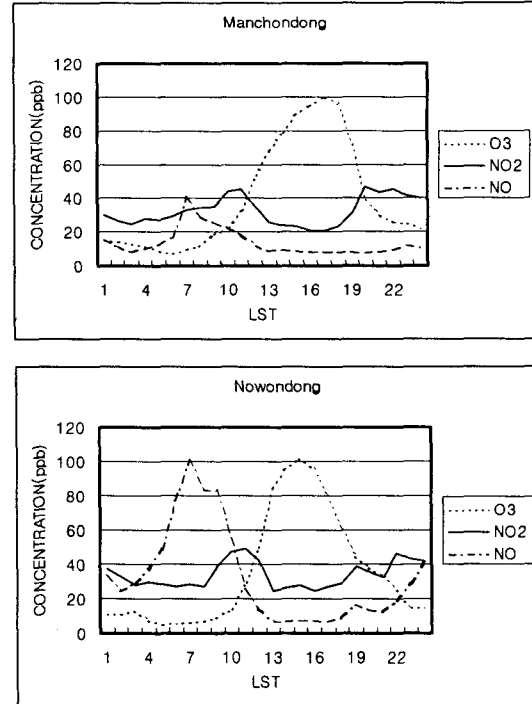


Fig. 6. Diurnal Variation of NO, NO₂ and O₃ concentration at Manchondong and Nowondong in Daegu during ozone episode day (≥ 100 ppb).

자동차 등의 영향을 많이 받기 때문으로 사료된다. NO는 두 지역의 농도가 가장 큰 차이를 보이고 있는데 0700 LST에 최고 농도를 보이고 0100 LST에 2차 피크를 나타내는 것은 비슷하지만 하루 중 NO의 농도 변화가 노원동의 경우 매우 뚜렷하고, 최고 농도 역시 만촌동에 비해 약 2.5배 가량 높은 농도를 보여주고 있다. 오존을 생성하는 1차 오염물질인 NO, NO₂의 농도가 두 지점이 뚜렷한 대조를 보이는 것은 공업지역인 노원동은 NO, NO₂의 배출량이 직접적인 오존 생성의 원인인데 비해, 주거지역인 만촌동은 NO, NO₂의 배출에 의한 O₃ 생성보다는 다른 지역에서 생성되어 유입된 오존이 고농도를 발생시키거나 다른 1차 오염물질, 즉 VOCs의 영향으로 생각된다.

두 지점의 100 ppb이상 오존 고농도가 발생한 날의 0700~1100 LST 풍속을 비교해 본 결과로, 만촌동의 고농도 오존사례일 기간 동안은 오전 평균 풍속이 1.60 ms⁻¹로 나타났고, 노원동의 고농도 오존 사례일 기간 동안은 오전 평균 풍속은 1.29 ms⁻¹로 나타났다. 만촌동의 고농도 오존 사례일 기간의 오전 평균 풍속이 더 높게 나타나 바람에 의해 다른

지역에서 생성된 오존이 이 지역으로 유입될 가능성을 뒷받침 해주고 있다. 또한 아침에 발달하는 혼합층 내의 대류에 의한 상층의 고농도 오존이 유입될 가능성도 짐작할 수 있다. 그러나 유입 경로에 대해서는 바람, 기온, 오존농도, 1차 오염물질 농도 등의 연직 관측이 있어야만 보다 정확한 분석이 가능할 것이다.

[VOCs]/[NO_x]의 비율은 오존 농도 결정에 중요한 요소임이 밝혀진바 있다.⁹⁾ VOCs가 화학반응을 하여 생성된 부산물들은 NO와 반응을 하여 NO₂를 생성하게 되는데, 여기서 생성된 NO₂는 오존 농도를 증가시킨다. 이는 NO의 농도가 낮더라도 VOCs의 농도가 높으면 오존농도가 높게 나타남을 의미하는 것으로, 만촌동의 경우 NO의 낮은 농도에도 불구하고 오존 고농도가 발생하는 것은 VOCs의 영향으로 보인다. VOCs의 주배출원은 자동차, 주유소 등의 유기용제를 취급하는 사업장이나 페인트 작업시 발생하는 것으로 알려져 있으나, 대기오염 측정망 자료에 VOCs의 농도가 공개되지 않으므로 주배출원에 대한 정확한 추정은 어려운 실정이다.

Fig. 6에서 NO, NO₂와 O₃의 일변화 경향은 반비례 관계를 잘 나타내고 있다. 이는 고온의 연소 시 배출된 NO가 일출 후 대기 중에서 산화되어 NO₂로 전환되었다가 강한 일사에 의해 광해리 되어 O₃을 형성하기 때문일 것이다. 야간에는 광화학 반응이 존재하지 않으므로 NO₂와 NO에 의한 O₃의 파괴로 급속히 오존의 농도가 감소되고 있다. 이들의 일변화 경향은 미국 미주리주 루이스시 대기의 NO, NO₂, O₃ 주간 패턴과 거의 일치한다.¹⁰⁾

고농도 오존 사례 일에 오존을 생성하는 전구물질로 알려진 NO의 농도가 공업지역인 노원동과 주거지역인 만촌동의 두 지점에서 크게 차이가 나는 것은 전구물질의 농도로 오존 농도를 예측할 경우 지점별로 보다 자세한 기인 물질에 대한 분석이 뒤따라야 함을 시사해주고 있다.

4. 요약 및 결론

1997년부터 1999년까지의 3년간 대구시의 6개 대기질 자동 측정망에서 측정된 오존농도자료를 분석한 결과 100 ppb를 초과한 고농도 오존 사례 일은 13일이며 이날의 NO 및 NO₂의 자료를 해당 월의 월 평균과 비교하여 전구물질의 특성을 분석한 결과는 아래와 같다

- 1) 오존농도가 60 ppb와 80 ppb를 초과한 빈도 수는 5월과 6월이 59.4%로 높았으며, 100 ppb를 초과한 빈도 수는 5월과 9월이 60.6%로 높다. 공업지역인 노원동의 고농도(≥ 60 ppb, \geq

80 ppb)빈도가 가장 높으나 100 ppb 이상에서는 주거지역인 만촌동이 가장 높았다.

- 2) 1개 지점 이상이 100 ppb를 초과한 고농도 사례 일의 일 최고 오존농도는 평균 81.6 ppb이었다. 이때 6개 관측지점 중 3개 지점 이상에서 60 ppb를 초과해서 나타났다.
- 3) 선정된 고농도 오존 사례일 중 100 ppb를 초과한 시간을 포함하는 8시간 평균농도는 평균 58.6 ppb이다. 이는 일시적인 고농도 현상이 장시간 지속되고 있음을 보여준다.
- 4) 고농도 오존 사례 일의 NO, NO₂와 O₃의 일변화 경향은 반비례 경향을 나타내고, 출퇴근 시간을 전후로 NO의 농도는 최고 값을 나타내고, 2~3시간 후 NO₂, 15시를 전후로 O₃ 농도가 최고값을 나타낸다. 특히 공업지역인 노원동은 주거지역인 만촌동의 NO, NO₂, O₃의 일변화 경향에 비해 최고치와 최저치의 차이가 매우 큰 일변화 경향을 보여 광화학 오염 현상이 뚜렷이 대비가 되고 있음을 보여주며, 고농도 오존 일의 노원동의 NO, NO₂ 농도가 만촌동 보다 매우 높아 배출원에 의한 오염경향이 높게 나타나고 있다. 반면 만촌동은 고농도의 오존이 발생했음에도 전날부터 사례일까지 NO, NO₂의 농도가 매우 낮아 다른 지역에서 생성된 오존의 유입이나 VOCs의 영향이 원인으로 유추된다.

대구시 고농도 오존 사례일의 NO, NO₂, O₃의 일변화는 서로 반비례 관계로 도시 대기의 전형적인 일변화 경향을 보여주었다. 그러나 지점에 따라서 오존을 생성하는 전구물질로 알려진 NO, NO₂의 농도가 고농도 오존 사례일 하루 전부터 차이를 보였고, 특히 공업지역인 노원동은 직접 배출에 의한 오존 오염의 경향을 보였고, 주거지역인 만촌동은 바람에 의한 오존 유입의 가능성과 VOCs에 의한 오염을 시사해주고 있으나, 이에 대해서는 보다 자세한 연구가 앞으로 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 대기환경연구회, 1995, 대기오염개론, 동화기술, 341pp.
- 2) 환경부, 2000, 하절기 대도시 오존 오염 저감 대책
- 3) Jo, W. K. and C. W. Nam, 1999, Characteristics of Urban Ground-Level Ozone in Korea, Journal of the Air & Waste Management Association, 49, 1425-1433.
- 4) 전병일, 2000, 부산 해안지역의 고농도 오존 발생 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 9(4), 295-302.

대구시 고농도 오존 사례일인 경우 대기 오염물질 농도의 일변화 특성

- 5) 손임영, 윤일희, 김희중, 2002, 대구시의 고농도 오존 발생 일에 나타나는 기상학적 특성, 한국지구과학회지, 23(5), 424-435.
- 6) 김영성, 1996, 1991~1993년 사이의 우리 나라의 오존 농도의 변화, 한국대기보전학회지, 12(1), 55-66.
- 7) 김진영, 1995, 여천 동광양 지역 지상 오존 농도와 기상 인자와의 상관성 분석, 서울대학교 석사 학위 논문, 55pp.
- 8) McKendry, I. G., 1992, Ground-level ozone in Montreal, Canada, Atmospheric Environment, 27B(1), 93-103.
- 9) Seinfeld, J. H., 1989, Urban air pollution : state of the science, Science, 243, 745-752.
- 10) Richard, W. B., L. F. Donald, D. B. Turner, and C. S. Arther, 1994, Fundamentals of Air Pollution-3rd ed., Academic Press, 574pp.