

부산지역 여름철 고농도 오존 발생의 사례 연구

전 병 일

신라대학교 환경공학과

(2003년 6월 24일 접수, 2003년 8월 26일 승인)

Case Study for High Ozone Episode day during Summertime in Busan

Byung-Il Jeon

Department of Environmental Engineering, Silla University

(Manuscript received 24 June 2003; accepted 26 August 2003)

Abstract

This study was carried out to survey the high ozone episode of summertime in Busan. The selected day was July 18, 1999 and August 24, 2001 which recorded exceed to 12ppb/hr at 3 station in Busan simultaneously. In case July 18, 1999, thick cloud and variable wind made weak ozone concentration during morning hour. And increase of ozone concentration by revolution of mixed layer for morning hour did not occur in this case study day. Photochemical reaction by strong radiation after 1100LST made sharp increase rate of ozone concentration(50ppb/hr). In case August 24, 2001, the meteorological condition of this day was not general wind with gradient force, very clear day with less cloud amount, high insolation and sunshine. Dongsamdong, Beomcheondong, Daeyeondong, and Sinpyeongdong had double peak which twice maximum concentration in the early afternoon and late afternoon. Ozone concentration of this day was in inverse proportion to Nitrogen oxide strongly. Ozone concentration exceed to 60ppb/hr occurred at 1400LST, continued to 2300LST.

Key words : ozone episode, ozone concentration, photochemical reaction

I. 서론

최근 산업화와 공업화가 진행되면서 자동차의 통행량이 증가하고 질소산화물을 포함한 대기오염물질이 다량 배출되며, 광화학반응에 의해 오존농도가 크게 증가하는 추세에 있다. 특히 서울과 부산 등 대도시에는 도시 대기질 환경 개선이라는 측면에서 미세먼지와 더불어 오존농도의 관리와 대책에 많은 관심을 기울이고 있다. 시간당 120ppb 이상의 오존주의보 발령이 서울을 비롯한 인근 도시와 부산 등 여러 광역시에서 여름철에 자주 발생하고 있다. 대도시를 중심으로 이러한 양상이 증대됨에 따라, 1995년부터 우리나라는 서울을 필두로 오존경보제가 도입되었고, '96년에는 인천, '97년에는 부산, 대구, 대전, 광주, 경기도 7개시에 도입되었으며, '98년에는 과천, 구리, 청주, '99년에는 울산, 2000년에는 군포, 시흥, 고양, 포항이 도입되어 고농도 오존이 발생할 때, 상황에 따른 조치가 각각 행해지고 있다.

고농도 오존 사례 연구는 고정 측정망 자료나 현장조사 자료 등의 실측자료를 이용하는 방법과 수치모델을 이용하여 특정 대상을 선택하여 해석하는 방법이 있으나(Lu and Turco, 1994; Kleinman *et al.*, 1994; Mckendry *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 1998; Ryan *et al.*, 1998), 특정 현장을 가장 잘 대표하는 지점의 선정이 어렵다든지 입력조건과 수치모델의 불완전성 등으로 인해 아직 완벽한 방법으로 선택된 것은 없는 실정이다(김영성·오현선, 1999).

우리나라에서의 고농도 오존에 대한 사례연구는 서울과 수도권을 대상으로 한 연구가 대부분을 차지한다(김병곤 등, 1995; 한진석 등, 1996; 이종범·방소영, 1997; 김영성·오현선, 1999; 오현선·김영성, 1999). 이들 연구는 주로 서울과 수도권의 고농도 오존은 해풍인 서풍에 의해서 인천을 비롯한 수도권 서부지역으로부터 이송되어 고농도 오존핵이 서서히 수도권 동부로 빠져나가

면서 발생하는 것으로 설명하고 있다. 김영성 등(1999)은 맑은 날이 아닌 기상조건하에서 즉 강우와 운량이 고농도 오존과 어떤 관계가 있는지를 연구하였다. 부산지방의 오존에 관한 연구는 주로 고농도 오존 발생 현황(전병일, 1999; 전병일, 2001)과 수치모델을 이용한 오존농도 예측에 관한 연구는 있으나(전병일, 1997), 오존 주의보가 발령된 특정일을 대상으로 하여 그 원인을 고찰한 예는 없다. 고농도 오존의 사례 연구는 원인 규명과 저감을 위한 조치를 강구한다는 차원에서 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 1999년 7월 18일과 2001년 8월 24일의 고농도 오존 발생일을 대상으로 발생 특성과 지상 및 중관 기상 특성을 분석하여 그 원인을 규명하고자 한다.

II. 사례 선정과 자료

오존농도에 대한 사례연구의 대상은 주로 대기환경기준(우리나라는 1시간 평균치 100ppb이하, 8시간 평균치 60ppb이하)을 초과하는 날을 고농도 오존 발생일로 간주하고 사례연구 대상으로 선정하는 경우가 많다. 그러나 본 연구에서의 고농도 오존 발생일의 선정을 시간당 120ppb이상의 농도를 나타내어 오존 주의보가 발령된 날을 선정하였다. 1997년 부산지역에 오존경보제가 도입된 후 오존주의보가 발령된 경우를 보면, 1998년 5월 27일 동삼동 143ppb, 8월 26일 광복동 121ppb, 9월 10일 광복동 136ppb였고, 1999년 7월 18일 대연동 121ppb, 광복동 135ppb, 감전동 123ppb를 나타내어 세 곳에서 오존주의보가 발령되었고, 2000년 8월 12일에 범천동에서 125ppb, 8월 14일에 덕천동에서 122ppb로 오존주의보가 발령되었으며, 2001년 8월 24일 연산동 120ppb, 대연동 128ppb, 그리고 기장읍에서 123ppb를 기록하여 오존주의보가 발령된 바 있다. 1997년 부산지역에 오존경보제가 도입된 후 오존주의보 이상이 발령된 경우는

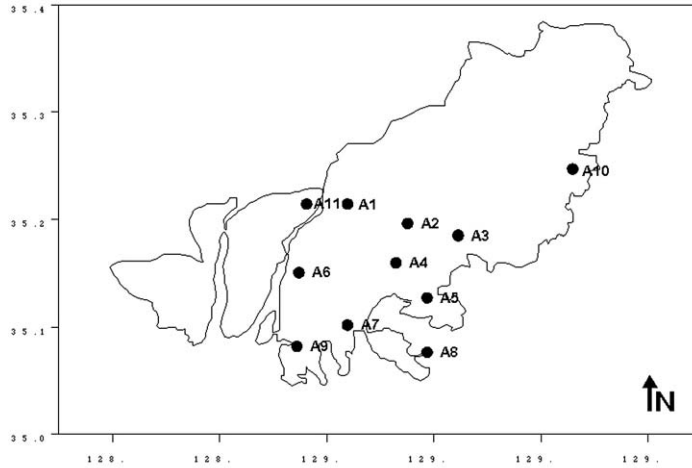


그림 1. 부산광역시 대기질 측정소(A1: 덕천동, A2: 연산동, A3: 재송동, A4: 범천동, A5: 대연동, A6: 감전동, A7: 광복동, A8: 동삼동, A9: 신평동, A10: 기장읍, A11: 대저동)

1998년 3일, 1999년 1일, 2000년 2일, 2001년 1일 이었다. 하루에 세 곳에서 동시에 광역적으로 오존주의보가 발령된 사례는 1999년과 2001년이었으며, 나머지는 1곳에서 오존주의보가 국지적으로 발령되었다. 따라서 본 연구에서는 부산지역 세 지점에서 동시에 오존주의보가 발령된 1999년 7월 18일과 2001년 8월 24일을 대상으로 사례연구를 행하였다.

본 연구를 위해 사용된 자료는 그림 1과 같이 환경부 산하 부산광역시 대기오염자동측정소에 측정된 오존농도자료(환경부, 1999, 2001)와 부산지방기상청(기상청, 1999, 2001)과 공군 김해기상대에서 관측한 기상자료(공군기상대, 1999) 그리고 일본 기상청이 발행한 일기도(일본기상청, 1999, 2001)를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 1997년 7월 18일의 경우

1) 기상상태

이날의 최고기온은 29.2°C, 최저기온은 21.7°C로

일교차는 7.5°C이었으며, 평균 상대습도는 75%, 일평균풍속 2.2m/s(일최대풍속 4.5m/s), 평균운량 6.3, 일조시간 5.8hr, 수평면일사량은 18.49MJ/m²로 전반적으로 구름이 많은 상태에서 풍속이 약하여 공기의 이동이 활발하지 않은 기상상태라고 할 수 있다. 그림 2의 일기도를 보면, 장마전선이 일본과 우리나라 남해상에 머물고 있으며, 우리나라 남부지방과 중부내륙지방은 한랭다습한 오호츠크해 고기압의 말단의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 일기도의 등압선으로 보아도 기압계에 의한 바람이 형성되지 못하고 지형에 의한

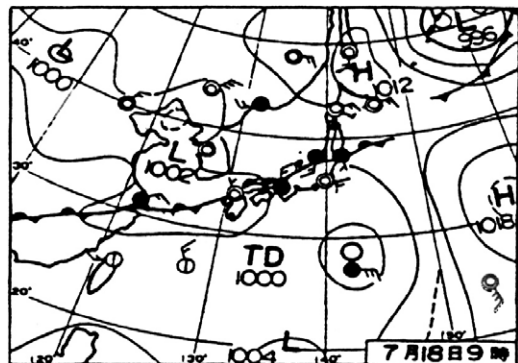


그림 2. 1999년 7월 18일 09시의 지상 일기도

바람 즉 해륙풍이 약하게 형성되어 있다. 그리고 서해상에는 저기압이 위치하고 있으나 국지적인 것으로서 우리나라에 영향을 미치지 못하고 있다. 따라서 이날의 날씨는 기압계에 의한 일반풍이 없고 구름이 많고 습도가 높은 날이었다고 할 수 있다.

2) 고농도 오존의 발생 특성

그림 3은 1999년 7월 17일부터 7월 19일까지 부산지역 8개 지점에서 측정한 오존농도의 일변화이다. 광복동의 자료는 결측되어 그림에는 포함되지 않았다. 그림을 보면 오존주의보가 발령되기 전날인 7월 17일 새벽 3~4시에 2차 peak가 있고 8~9시경에 최저농도, 13~15시경에 최고농도를 나타내어, 부산지역의 전형적인 오존농도의 일변화를 나타내고 있다(전병일, 1997). 대부분의 지역에서 일최고농도가 60ppb미만을 나타내었다. 오존주의보가 발령된 7월 18일에는 아침 7~8시경에 대부분의 지역에서 20ppb미만의 최저농도를 나타내었고, 13시에 대연동 121ppb, 14시에 범천동 107ppb, 연산동 103ppb이었으며 15시에 감전동 123ppb를 나타내어, 4개 지점에서 1시간 대기환경

기준인 100ppb을 초과하였다. 오전 11시부터 오후 6시까지 8시간 기준인 60ppb을 초과한 지점은 범천동(72ppb), 연산동(68ppb), 대연동(86ppb), 감전동(86ppb), 신평동(66ppb), 동삼동(60ppb)으로 6개 지점에서 고농도 오존이 발생하였다.

최고농도를 나타낸 시각을 지나면서 오존농도는 급격히 감소하여 저녁 8시 이후에 대부분의 지역에서 40ppb이하를 나타내고 있다. 7월 19일에는 새벽 5~6시경에 최저농도를 나타내었고 13~16시경에 60ppb미만의 낮은 농도를 나타내어 전날의 오존이 전혀 영향을 미치지 못하고 고농도 오존은 나타나지 않았다.

특정한 지점의 대기오염농도에 미치는 인자로는 대기오염배출량, 지형 그리고 기상인자를 들 수 있다(전병일, 1997). 본 연구에서는 대기오염배출량이 일정하고 지형이 동일한 지역에서 대기오염농도의 고저에 영향을 미치는 인자로는 기상인자가 유일하다고 할 수 있겠다. 따라서 본 연구는 기상학적 원인을 고찰하기 위해 표 1에 1999년 7월 18일 부산지역의 기상요소 일변화를 나타내었다. 풍향, 풍속, 일사량, 일조는 부산지방기상청에서 관측된 자료를 사용하였고, 3시간마다 관측되

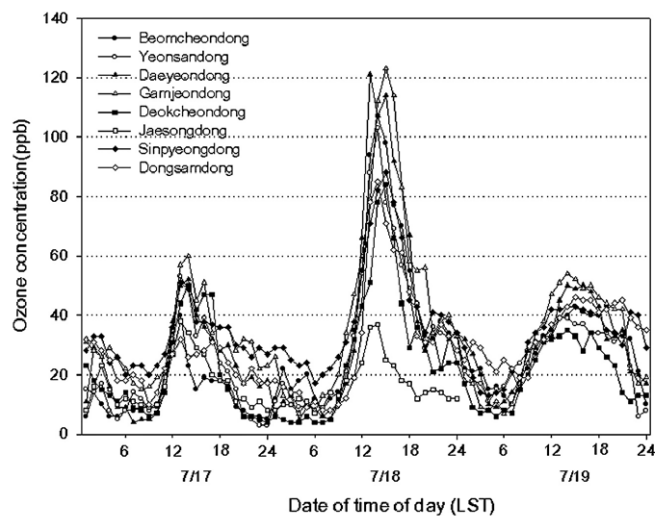


그림 3. 1999년 7월 17일부터 7월 19일까지 부산지역 8개 지점에서 측정한 오존농도의 일변화

표 1. 1999년 7월 18일의 부산지역의 기상요소별 관측값

시각	요소	풍향	풍속 (m/s)	일사량 (MJ/m ²)	일조 (hr)	기온* (°C)	습도* (%)	총운량* (1/8)	운형*
1		WSW	2.5			22	89	6	As, Cs
2		WNW	1.7			22	90	6	As, Cs
3		WSW	2.2			22	89	7	As, Cs
4		WSW	1.0			21	97	7	As, Cs
5		NW	3.3		0.0	21	88	7	As, Cs
6		S	2.7	0.03	0.0	22	88	7	As, Cs
7		NW	2.0	0.18	0.0	22	85	6	Fg, As
8		ESE	0.3	0.61	0.3	23	83	7	As
9		S	0.8	0.96	0.2	25	77	7	As
10		SSW	1.5	1.37	0.3	26	73	6	As
11		SW	2.3	2.28	1.0	28	69	6	As
12		S	2.5	2.87	1.0	29	64	3	Sc, As
13		S	2.8	2.86	1.0	29	64	3	Sc, As
14		S	2.3	2.71	1.0	29	61	5	Sc, As
15		S	3.0	2.28	1.0	29	63	3	Sc, As
16		SSE	2.0	1.16	0.0	27	70	7	Sc, Cs
17		E	2.3	0.58	0.0	28	67	7	Sc, Cs
18		E	2.3	0.27	0.0	27	66	7	Sc, As, Cs
19		E	1.5	0.27	0.0	27	67	7	As, Cs
20		E	2.0	0.06	0.0	26	74	7	Sc, Cs
21		E	2.7			24	69	3	Sc, Cs
22		ESE	2.5			24	72	3	Sc, Cs
23		NE	1.3			23	77	3	Sc, Cs
24		NNE	1.7			22	82	2	Sc, Cs

* 김해공군기상대 관측값

어 일변화를 살펴보기 어려운 기온, 상대습도, 총운량, 운형은 매시간 관측되는 김해공군기상대의 자료를 사용하였다.

새벽의 바람을 보면 풍향이 북서풍에서 남풍까지 가변적이며, 풍속도 풍향과 함께 정온상태가 아닌 3.3m/s(5시)까지 나타내고 있다. 오전 9시 이후에 해풍성분인 남풍계열의 바람이 16시까지 나타났으며, 풍속도 3.0m/s이하의 약풍이 계속되었다. 그리고 새벽과 오전에 중층운이 overcast(7/8~6/8)에 가깝게 전 하늘에 끼여 있었으나, 12시 이후부터 scatter(3/8)의 운량이 15시까지 지속되면서 일사량이 강해졌고 일조시간이 증가되었다. 11시부터 15시까지는 100%의 일조률을 기

록하였다. 더불어 기온도 29°C을 4시간 연속 나타내어 고온현상이 지속되었음을 나타내고 있다.

그림 4는 1999년 7월 18일 부산지역 각 지점에 대한 시간당 오존농도의 증가율을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 11시 이후 오존농도의 증가율이 모든 지점에서 급상승하였다는 것을 알 수 있다. 특히 11시부터 12시 사이에 대연동 38ppb/hr, 연산동 21ppb/hr이었고 12시와 13사이에는 대연동 55ppb/hr, 범천동 51ppb/hr, 동삼동 44ppb/hr, 연산동 34ppb/hr이나 증가하여 일사량에 의한 광화학반응이 얼마나 격렬하게 일어났는가를 확실하게 보여주고 있다. 전병일(2001)에 의하면 부산지역에 10시부터 11시 사이는 전날 지상의 고농

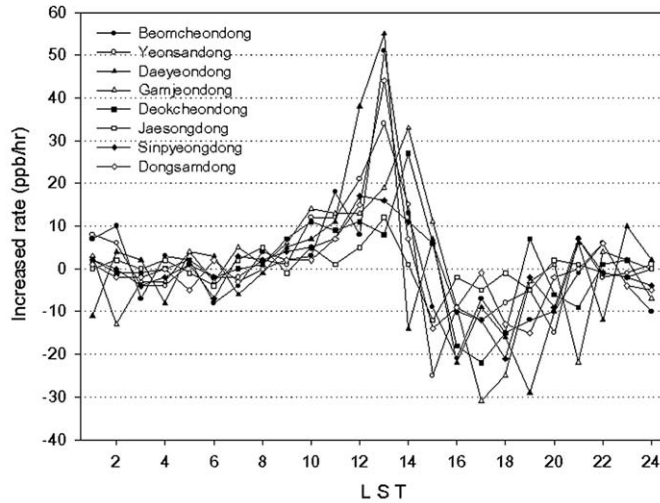


그림 4. 1999년 7월 18일의 오존농도의 증가율

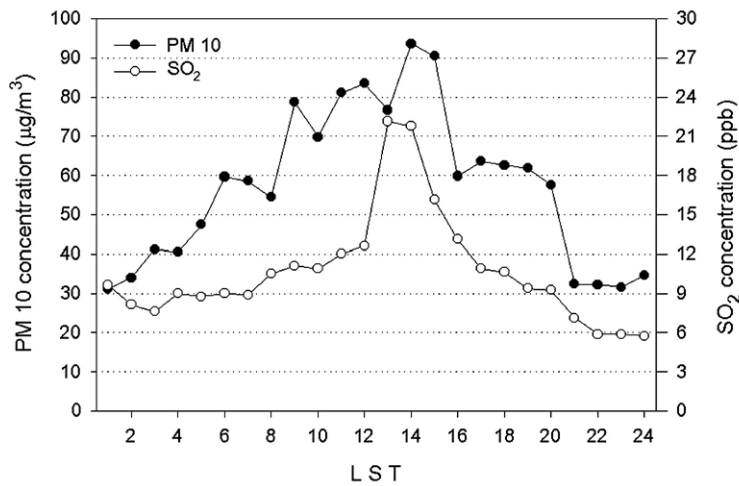


그림 5. 1999년 7월 18일의 부산지역 SO₂와 PM10농도의 일변화

도 오존이 대기경계층 내에 잔류하다가 익일 오전의 잔류층 공기의 하향혼합에 의한 농도 상승이 있다는 보고를 하였으나, 본 연구에서는 그러한 연직하향혼합에 의한 농도증가보다는 광화학 반응에 의해 단시간에 오존농도가 증가한 것으로 판단된다. 따라서 새벽부터 오전 내내 흐렸더라도 정오 무렵부터 강한 일사에 의해 오존이 대량 생성될 수 있다는 것을 나타낸 것이다. 또한 시간당 50ppb이상이 생성될 수 있다는 것을 찾아낸

것은 특이할 만한 결과이다. 따라서 향후 대기오염기상예보에 있어 공기의 이동이 없는 상태에서 오전의 흐림, 정오경부터 맑은 날씨가 예상된다면 고농도의 오존이 생성될 수 있다고 보고 그에 대한 대비책이 마련될 필요가 있다는 것을 시사하고 있다.

그림 5는 1999년 7월 18일 고농도 오존이 발생한 날의 부산지역 8개 지역의 SO₂와 PM10농도의 일변화를 나타낸 것이다. 대체로 부산지역의 SO₂

와 PM10의 일변화는 이른 아침에 최고농도가 나타나고 일몰 후에 2차 극대가 나타나는 것이 일반적이다. 이른 아침의 극대는 Rush hour의 자동차에 의한 배출량 증가와 지표의 야간 복사냉각에 의해 형성된 역전층의 영향으로 대기층이 안정하여 확산이 억제되어 있기 때문이고, 10시 이후의 농도 감소는 기온상승에 의한 대기의 불안정과 풍속의 증가가 중요한 원인이 되어 대류에 의한 확산이 잘 일어나기 때문이다(전병일, 1994a, 1994b). 그러나 본 사례 연구일에는 위에서 기술한 일반적인 변화양상이 아니라, SO₂와 PM10 모두 대류활동에 의한 희석에 의해 최저농도가 나타날 시각인 13~14시에 최고농도를 나타내고 있다. 이는 새벽과 오전의 날씨가 흐리고 가변적인 풍향에 의해 공기가 희석되면서 오전의 농도가 상승하지 못하였다는 것을 나타내고 있다.

2. 2001년 8월 24일의 경우

1) 기상상태

이 날의 최고기온은 32.8℃, 최저기온은 24.7℃로 일교차가 8.1℃이었으며, 평균상대습도는 63%, 일평균풍속 2.4m/s, 평균운량 1.6, 일조시간 9.4hr, 수평면일사량은 19.33MJ/m²이었다. 전반적으로 기온이 높고 풍속이 약하며 구름이 없어 광화학반응이 강하게 일어날 수 있는 최적의 조건이라고 할 수 있다. 새벽에는 북서풍계열의 육풍이 있

었고, 13시 이후부터 해풍인 동남동풍이 불기 시작하여 16시에는 남풍이 유입되었다.

그림 6은 오존주의보가 발령된 2001년 8월 24일의 일기도를 나타낸 것이다. 8월 24일의 경우, 부산지역은 동해상의 약한 1002hPa의 저기압과 1006hPa의 약한 고기압사이의 안상부역에 위치하고 있다. 북태평양 고기압은 일본 동부 먼 바다에 있어 우리나라에 직접적으로 영향을 미친다고 하기 어렵다. 그러나 우리나라를 지배하는 공기덩어리는 따뜻하고 습한 공기덩어리라고 할 수 있다.

2) 고농도 오존의 발생 특성

그림 7은 2001년 8월 23일부터 8월 25일까지 부산지역 9개 지점에서 측정된 오존농도의 일변화를 나타낸 것이다. 본 연구의 사례인 8월 24일의 농도 중 기장읍의 경우 부산광역시 자체에서 측정된 것으로 환경부에 보고가 되지 않아 본 연구에서는 사용하지 못하였다. 8월 23일 경우, 동삼동을 제외한 모든 지점에서 80ppb이하의 농도를 나타내었고, 광복동을 비롯한 범천동, 대연동, 감전동에서 오후와 저녁에 최고농도를 나타내는 double peak를 나타내는 형태를 보여주고 있다. 이는 14시 전·후의 광화학반응에 의한 1차 peak와 21시 전·후의 수송이나 기타 요인에 의한 2차 peak라고 할 수 있다. 8월 24일 경우, 오전 7~8시경에 10ppb 정도의 최저 오존농도를 나타내었고, 9시 이후에 급격하게 상승하여 연산동과

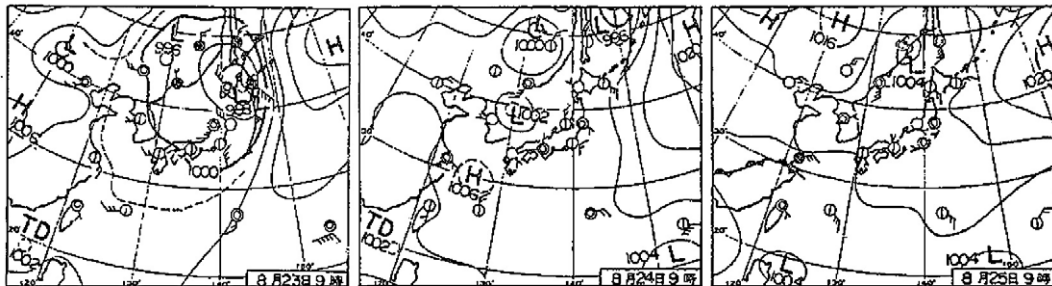


그림 6. 2001년 8월 24일의 기상 일기도

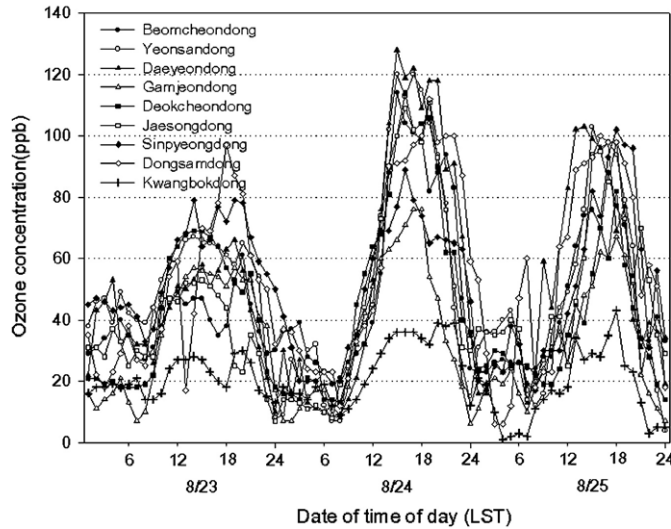


그림 7. 2001년 8월 23일부터 8월 25일 까지 부산지역 9개 지점에서 측정된 오존농도의 일변화.

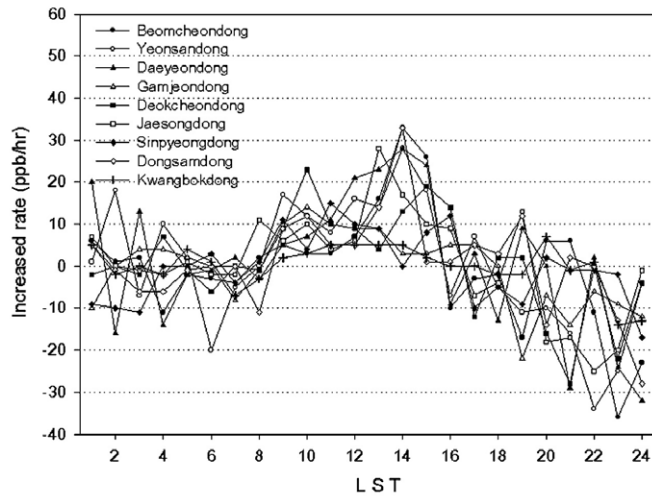


그림 8. 2001년 8월 24일의 오존농도의 시간별 증가율

대연동에 120ppb이상의 고농도를 나타내었다. 광복동을 제외한 모든 지점에서 60ppb를 초과하는 고농도를 나타내었으며, 전날보다 모든 지점에서 오존농도가 증가한 것을 명확하게 알 수 있다. 8월 25일 경우, 새벽에 광복동과 동삼동의 최저농도가 6ppb이하로 오존의 소멸이 타 지점에 비해 강하게 나타났다. 오전 7시에 동삼동의 오존농도가 60ppb로 나타났는데, 이는 타 지점의 측정치로

보아 이상치로 보는 것이 타당한 것으로 판단된다. 그리고 이날의 최고농도는 연산동이 15시에 103ppb, 신평동이 18시에 102ppb, 대연동이 13시, 14시에 각각 102ppb, 103ppb를 나타내었고, 동삼동에 16시에 100ppb를 나타내어 전날보다 낮았지만, 비교적 고농도 오존을 유지하였다.

그림 8은 2001년 8월 24일 부산지역 각 지점에 대한 시간당 오존농도의 증가율을 나타낸 것이

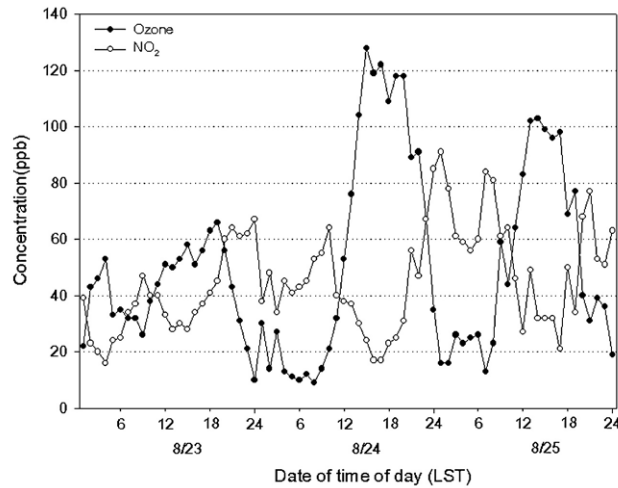


그림 9. 오존주의보가 발령된 대연동에서 O₃과 NO₂농도의 일변화

다. 오전 9시부터 10ppb/hr 정도로 증가하기 시작하여 범천동, 대연동, 연산동을 제외하고 16시까지 오존농도가 증가하였다. 특히 오존주의보가 발령된 대연동은 12시부터 15시까지 21~28ppb/hr의 높은 증가율을 나타내었고, 연산동 역시 오전 9시 이후 지속적인 오존증가로 인해 17시에 120ppb를 기록하여 오존주의보가 발령되었다. 다른 고농도 오존일과 달리 이 날의 경우 동삼동을 비롯한 범천동, 대연동, 신평동 등에서 야간 늦게까지 오존농도가 증가하거나, 감소하였다가 다시 증가하는 2차 peak가 발생하였다. 이는 지속적으로 오존을 생성시키는 물질이 있었거나, 아니면 타 지역으로부터 이류한 오존이 2차적으로 오존 농도를 상승시킨 것으로 판단된다.

그림 9는 오존주의보가 발령된 대연동에서 2002년 8월 23일부터 25일까지 오존(O₃)과 이산화질소(NO₂)농도의 일변화를 나타낸 것이다. 2001년 8월 24일 오존농도가 15시부터 20시까지 109~122ppb에 이르는 고농도를 나타내었다. 이때의 NO₂농도는 17~30ppb로 비교적 낮아 오존농도와는 역상관 관계를 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 오존의 생성 메커니즘에서 NO₂가

NO와 O로 분해되면서 NO₂농도는 감소하고 오존 농도는 증가하는 과정에서 시간적 차이를 나타내는 전형적인 형태를 취하고 있다고 할 수 있다. 전날인 8월 23일 경우를 보면, O₃과 NO₂농도가 역상관 관계를 나타내지만 8월 24일보다는 뚜렷하지 않다는 것을 알 수 있다. 또한 8월 25일의 경우도 8월 24일과 같이 두 물질사이에 뚜렷한 역상관 관계를 나타내지만, 120ppb를 넘는 오존농도는 기록하지 못하였다. 따라서 오존농도는 NO₂농도와 매우 밀접한 관련을 가지고 있다는 것을 명확하게 알 수 있다.

표 2는 세계보건기구(WHO)에서 권장하는 오존농도 한계치인 1시간당 60ppb이상의 오존농도

표 2. 2001년 8월 24일 60ppb/hr이상의 오존농도 발생 특성

지점	시작시각	종료시각	지속시간(hr)
동삼동	14시	23시	10
범천동	14시	20시	9
대연동	13시	23시	11
감전동	13시	18시	6
덕천동	12시	22시	11
제송동	13시	21시	9
신평동	12시	23시	12
연산동	12시	21시	0

발생 특성을 나타낸 것이다. 광복동을 제외한 모든 지점에서 60ppb이상의 농도를 나타내었다. 시작시각은 덕천동과 신평동의 12시부터 동삼동과 범천동의 14시 사이이며 종료시각은 감전동의 18시부터 동삼동과 신평동의 23시까지로 나타났으며, 지속시간은 범천동과 재송동의 9시간에서 신평동의 12시간까지 매우 길었다. 대체로 부산지역에서 60ppb이상의 오존농도가 발생하는 시각은 14시 전·후로 본 연구와 비슷하며, 종료시각은 18시 전·후이나(전병일, 1997), 본 연구에서는 최장 23시까지 연장되어 나타났다. 이는 고농도 오존이 야간 늦게까지 지속되었다는 것을 의미한다. 따라서 오존을 소멸시키는 인자보다는 연장시키는 인자가 더 큰 역할을 하는 것으로 판단된다. 즉 오존의 소멸인자인 광화학에너지의 약화나 NO의 오존과의 반응 등의 역할이 다소 미약하였던 것으로 보인다. 연장시키는 인자로서 남풍계열의 해풍이 22시까지 지속된 것으로 보아 폐쇄순환계에서 연안으로부터 오존 유입이 발생한 것으로 보인다(전병일 등, 1994). 이는 연안역에 위치한 동삼동의 오존농도가 23시까지 60ppb이상의 고농도 오존이 발생한 것으로 뒷받침 될 수 있겠다. 따라서 사례연구 대상일인 이 날은 고농도 오존발생조건을 가진 기상상태에서 고농도가 야간 늦게까지 지속된 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 오존 주의보가 발령된 1999년 7월 18일과 2001년 8월 24일을 대상으로 하여 고농도 오존의 발생 특성에 대한 연구를 하였다. 1999년 7월 18일의 경우, 1시간당 120ppb이상의 고농도는 11시 이후부터 15시에 걸쳐 구름이 옅어지면서 강한 일사량에 의해 급격히 증가하여 생성된 것으로 나타났다. 그리고 오전 9시나 10시경에 나타나는 혼합층 성장에 따른 상층의 고농도 오존의 연직혼합 현상은 없었던 것으로 보인다. 이

날의 오존은 공기가 정체한 상태에서 11시 이후의 강한 일사에 의한 광화학반응에 의해 1시간당 50ppb의 오존이 생성되는 고속생성에 의해 오존 주의보가 발령된 것으로 판단된다.

2001년 8월 24일 경우, 새벽에 북서풍계열의 육풍이 있었고 13시 이후부터 해풍인 동남동풍이 불기 시작하여 16시에는 남풍이 유입되었고 기압계에 의한 일반풍은 없었으며, 운량이 비교적 적은 맑은 날씨를 나타내었다. 이날의 오존농도는 오전 7~8시경에 10ppb 정도의 최저 오존농도를 나타내었고, 9시 이후에 급격하게 상승하여 연산동과 대연동에 120ppb이상의 고농도를 나타내었으며, 광복동을 제외한 모든 지점에서 60ppb를 초과하는 고농도를 나타내었다. 또한 다른 고농도 오존일과 달리 이 날의 경우 동삼동을 비롯한 범천동, 대연동, 신평동 등에서 야간 늦게까지 오존농도가 증가하거나 감소하였다가 다시 증가하는 2차 peak가 발생하였다. 이는 지속적으로 오존을 생성시키는 물질이 있었거나, 아니면 타 지역으로부터 이류된 오존이 2차적으로 오존농도를 상승시킨 것으로 판단된다. 그리고 이날의 오존농도는 NO₂농도와 매우 밀접한 역상관 관계를 가지고 있다는 것을 명확하게 알 수 있다. 60ppb이상의 오존농도는 14시경에 발생하여 최장 23시까지 고농도 오존이 야간 늦게까지 지속되었는데, 오존을 소멸시키는 인자보다는 연장시키는 인자가 더 역할을 하는 것으로 판단된다.

참고문헌

- 공군기상대, 1999, 일기상통계표.
- 기상청, 1999, 2001, 일기상통계표.
- 김병곤, 한진석, 황동진, 최덕일, 1995, 수도권지역에서 고농도 오존 사례에 대한 연구, 한국 대기보전학회 추계학술대회, 11, 10-11.
- 김영성, 김영진, 윤순창, 1999, 고농도 오존일의 강우와 운량, 한국대기환경학회지, 15(6),

- 747-755.
- 김영성, 오현선, 1999, 1990~1997 기간 중 서울·수도권 지역의 고농도 오존 사례 연구, 한국대기환경학회지, 15(3), 267-280.
- 오현선, 김영성, 1999, 서울·수도권 지역 고농도 오존 사례의 지상 및 중관 기상 특성, 한국대기환경학회지, 15(4), 441-455.
- 이종범, 방소영, 1997, 1997년 6월 수도권 지역의 오존 Episode 사례 분석, 한국대기보전학회 추계학술대회, 11, 14-15.
- 일본기상청, 1999, 2001, 인쇄일기도.
- 전병일, 1997, 부산연안역의 고농도 오존일의 예측기법개발과 오존농도 수치모의, 부산대학교 박사학위논문, 119pp.
- 전병일, 1999, 부산연안역의 야간 고농도 오존 발생특성과 기상학적 관련성, 한국환경과학회지, 8(3), 287-292.
- 전병일, 2001, 부산연안역의 대기경계층내 잔류오존의 연직하향혼합에 의한 지표 오존농도의 변화 특성, 한국환경과학회지, 10(6), 417-422.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1994a, 부산지역의 SO₂농도 변화 특성에 관한 고찰, 한국대기보전학회지, 10(4), 245-251.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1994b, 해풍이 부산지역의 대기오염농도에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 3(4), 357-365.
- 한진석, 박일수, 김병곤, 김정수, 서홍원, 나진균, 최덕일, 1996, '96년 서울에서의 스모그현상 사례 연구(6/8~6/13), 한국대기보전학회 추계학술대회, 10, 18-19.
- 환경부, 1999, 2001, 대기오염측정자료.
- Lu R. and R. P. Turco, 1994, Air pollutants transport in a coastal environment. Part 1: two-dimensional simulations of seabreeze and mountain effects, J.Atmos. SCI., 51, 2285-2308.
- Kleinman, L., Yin-Nan, L., Springston, S. R., Nunnermacker, L., Xianliang, Z., Brown, R., Hallock, K., Klotz, P., Leahy, D., Lee, J. H., and L. Newman, 1994, Ozone formation at a rural site in the southeastern United States, J. geophys. Res., 99(D2), 3469-3482.
- Mckendry, I. G., Steyn, D. G., Lundgren, J., Hoff, R. M., Strapp, W., Anlauf, K., Froude, F., Martin, J. B., Banta, R. M., and L. D. Olivier, 1997, Elevated ozone layers and vertical down-mixing over the Lower Fraser Valley, BC, Atmos. Environ., 31(14), 2135-2146.
- Ryan, W. F., Doddridge, B. G., Dickerson, R. R., Morales, R. M., Hallock, K. A., Roberts, P. R., Blumenthal, D. L., Anderson, J. A., and K. L. Civerolo, 1998, Pollutant transport during a regional O₃ episode in the Mid-Atlantic States, J. Air & Waste Manage. Assoc., 48, 786-797.
- Zhang, J, Rao, S. T., and S. M. Daggupaty, 1998, Meterological processes and ozone exceedances in the Northeastern United States during the 12-16 July 1995 episode, J. Appl. Meteor., 37, 776-789.