

부산 연안역의 야간 고농도 오존 발생 특성과 기상학적 관련성

전 병 일
신라대학교 환경학과
(1998년 12월 28일 접수)

Characteristics of nocturnal maximum ozone and meteorological relevance in Pusan coastal area

Byung-Il Jeon

Department of Environmental Sciences, Silla University, Korea
(Manuscript received 28 December, 1998)

This study was performed to investigate the characteristics of nocturnal maximum ozone occurrence and the meteorological relevance using hourly ozone data and meteorological data for 1995~1996 in Pusan coastal area.

Kwangbokdong showed the highest occurrence of nocturnal maximum ozone as 36.9%, and Deokcheondong showed the lowest occurrence(9.2%) for research period in Pusan. The occurrence rates of nocturnal maximum ozone concentration were decreased toward land area. The low maximum temperature, high minimum temperature, low diurnal range, high relative humidity, high wind speed, high cloud amount, low sunshine and low radiation were closely related to the main meteorological characteristics occurring the nocturnal maximum concentration of ozone. It was shown that normal daily variation of ozone concentration by strong photochemical reaction at the before day of nocturnal maximum ozone. The concentration of nocturnal maximum ozone were occurred by entrainment of ozone from the upper layer of developed mixing layer. There are no ozone sources near the ground at night, so that the nighttime ozone should be entrained from the upper layer by forced convection.

Key words : nocturnal maximum concentration of ozone, meteorological parameter, photochemical reaction, mixing layer, entrainment of ozone

1. 서 론

대기 중에서 광화학반응이 일어나는 오염된 도시역의 지표 오존농도의 일변화는 일반적으로 태양복사에너지가 가장 강하고 NO₂/NO의 비가 가장 큰 시간인 1400~1600LST경에 최고농도를 나타내고 저녁으로 갈수록 낮아져서 새벽인 0500~0600LST경에 최소농도를 나타내고 있다. 그리고 일중의 1차 최대농도값은 정오경에 나타나고 2차 최대농도값은 1400~1600LST에 나타나는 경우가 있는 데,¹⁻³⁾ 이 때의 1차 최대농도값은 지역적인 원인에 의해 발생하고, 2차 최대농도값은 주위로부터의 수송에 의한 결과로 알려져 있으며, 이는 주로 오염된 도시의 풍하측에서 종종 발생한다. 두 경우 모두 야간과 새벽이 되면 오존농도는 주간보다 낮아지는 것이 대부분이다.⁴⁻⁵⁾

또한 광화학 반응이 일어나지 않는 야간의 오존농도가 주간의 농도나 배경농도보다 기대 이상으로 높은 값이 관측되는 경우가 자주 발생하고 있다.³⁾ 이러한 야간 고농도 오존 발생 메커니즘으로 첫째, 다른 지역으로부터 오존의 수평적인 수송과,^{6,7)} 둘째로 성층권 오존이 지

표면으로의 침강⁸⁻¹¹⁾을 들 수 있다. 특히 Shapiro¹²⁾는 한랭전선의 후면에서 오존이 제트기류를 따라 침강해 지표 오존농도를 높인다고 하였다. 셋째로 주간에 생성된 오존이 혼합층의 성장에 따라 상부대기까지 도달하고 야간에 대기하층부의 기온역전생성으로 NO의 산화와 건성 침적으로 지표오존이 감소하는데 비해, 역전층 상부는 오존을 소멸하는 기인물질이나 작용이 없어 상대적으로 지표오존농도보다 높아지게 되고, 다음날 새벽에 풍속이 강한 역직순환으로 역전층이 파괴되면 상층의 고농도 오존이 지표로 하향하여 새벽의 고농도 오존을 발생하게 된다는 것이다.¹³⁻¹⁶⁾ 그러나 아직까지 상기의 원인이 아닌 복합적인 형태로 야간 고농도 오존이 발생하기도 하며, 때로는 세계보건기구(WHO)의 권고기준인 60ppb를 초과하며, 그 농도가 오랜 시간 지속되어 인체와 동·식물에 피해를 입히는 사례가 있어 그 발생원인과 메커니즘에 대한 구체적인 연구의 필요성이 최근에 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 야간에 최고농도를 나타내면서 그 농도를 유지하기도하고 주간보다 높은 농도를 나타내

는 사례에 대한 관심을 집중시켜 부산 연안역에서 야간 고농도 오존의 발생특성을 통계적으로 살펴보고 기상학적으로 어떠한 관련성이 있는지를 구체적으로 알아보고자 한다.

2. 자료 및 연구방법

본 연구에서는 부산 연안역의 야간 고농도 오존의 발생 특성을 고찰하기 위해서 1995년과 1996년 2년간의 부산지역 환경부 산하 대기오염자동측정망에서 측정된 시간별 오존농도자료와 부산지방기상청과 김해공군기상대의 지상기상자료를 이용하였으며, 또한 야간 고농도 오존일 사례연구를 위해 시간별 이산화질소(NO₂) 측정자료도 사용하였다. 조사기간 중 부산지역의 측정지점은 광복동, 범천동, 명륜동, 대연동, 신평동, 감전동, 덕천동의 7개지점 중 명륜동지점이 연산동으로 이전되어 1996년 3월 이후에 명륜동이 조사대상에서 제외되고 6개 지점만 운영되었다. 측정지점의 위치와 지형설명은 전병일

등¹⁷⁾과 김유근 등¹⁸⁾에 상세하게 서술되어 있다. 본 연구에서의 야간 고농도 오존일은 하루(24시간) 오존농도 관측치 중 0100LST 부터 0500LST사이 에 1차 최대농도값이 발생한 날을 선정하여, 그 발생 특성과 기상학적 관련성을 고찰하였다. 이후부터 0100LST부터 0500LST사이의 새벽시간을 본 연구에서는 “야간”으로 표현한다. 특히 결측이 된 명륜동을 제외한 부산지역 6개 지점에서 야간 고농도 오존을 나타낸 1995년 5월 20일을 야간 고농도 오존일 사례 연구 대상으로 선정하고, 이 날로 부터 3일 전과 1일 후까지 4일간의 오존농도자료, NO₂농도자료 그리고 기상자료를 비교하여 기상학적으로 어떠한 요인이 작용하여 야간 고농도를 나타내었는지를 체계적으로 고찰하였다.

3. 분석결과

3.1. 야간 고농도 오존 발생 특성

Fig. 1은 1995년과 1996년 2년간 일최고 오존농도가

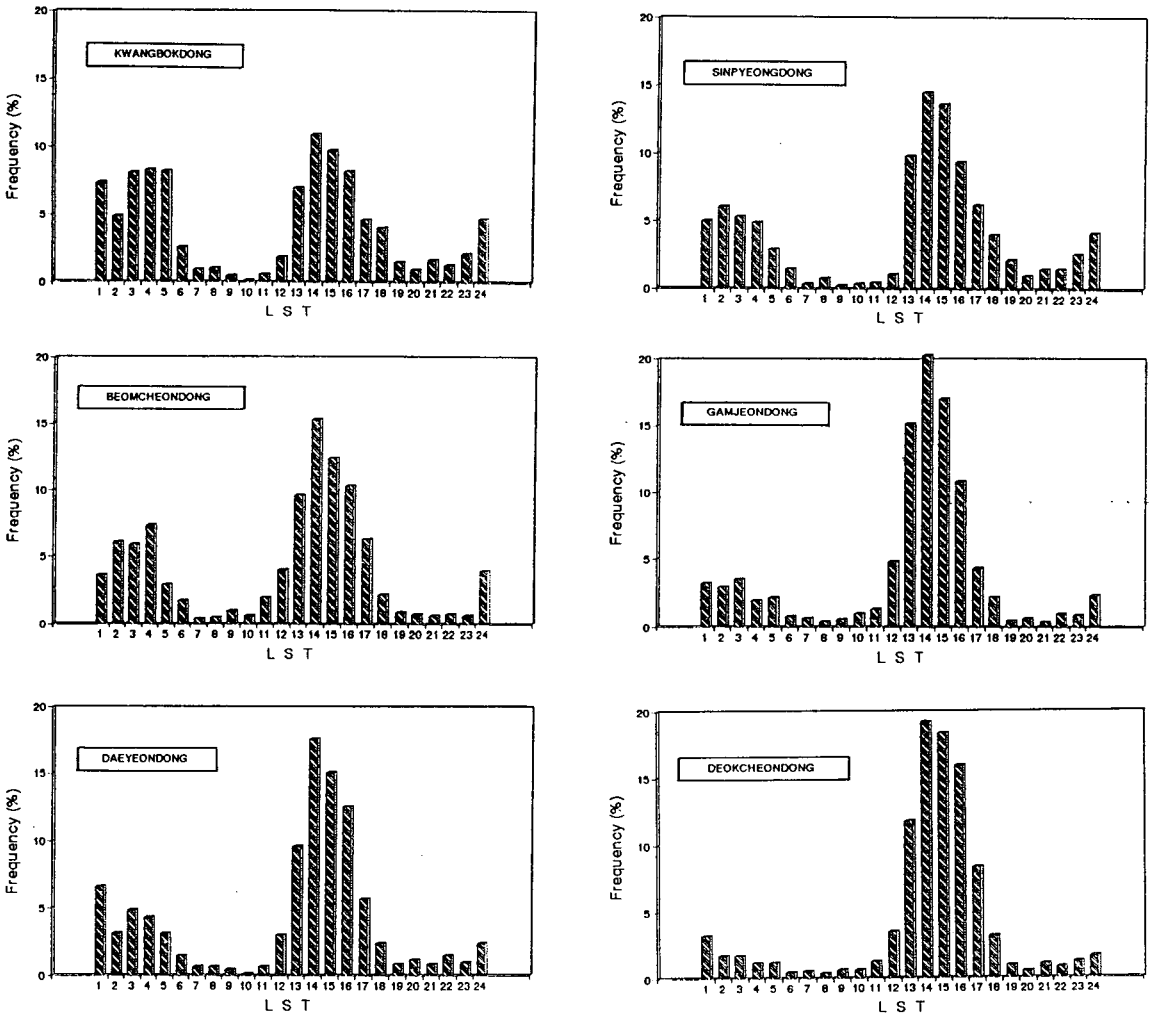


Fig. 1. Occurrence frequencies of the daily maximum hourly ozone concentration at each site in Pusan, 1995~1996.

발생한 시각의 빈도를 지점별로 조사하여 나타낸 것이다. 6개 지역 모두 광화학반응이 가장 활발한 시간인 1200LST부터 1800LST 사이에 가장 높은 발생률을 나타내었다. 주간(1200LST~1800LST)에 가장 높은 발생을 나타낸 지역은 덕천동으로 80.0%이었고 다음으로 감전동이 75.5%이었으며, 가장 낮은 발생률을 나타낸 곳은 광복동(45.0%)이었다. 또한 야간으로 선정된 0100LST부터 0500LST 시간대에 가장 높은 발생률을 나타낸 곳은 주간에 가장 낮은 발생을 나타낸 광복동지점(36.9%)이었으며, 가장 낮은 발생률을 나타낸 곳은 주간에 가장 높은 발생을 나타낸 덕천동지점(9.2%)이었다. 따라서 부산지역에서 야간 고농도 오존을 나타내는 빈도가 비교적 높은 것을 알 수 있으며, 해안과 가까운 광복동에서 야간 고농도 오존의 발생률이 다른 지역보다 상당히 높게 나타났고 비교적 내륙지역인 덕천동에서는 낮게 나타났다. 즉 해안에서 내륙으로 갈수록 주간의 고농도 발생율은 높아지고 야간의 고농도 발생률은 낮아지는 경향을 가지고 있으며, 이는 기인되는 오염물질 발생원과 지형적인 영향에 의한 것으로 판단된다.¹⁹⁾

Fig. 2는 부산지역 1995년과 1996년의 야간(0100LST~0500LST) 오존농도를 계급별로 나누어 발생분포를 지역별로 조사한 것이다. 전병일 등¹⁷⁾에 의하면 부산의 연평균 오존농도의 경우 주간의 25ppb, 야간의 경우 15ppb정도인 것으로 알려져 있으므로, 본 연구에서는 비교적 낮은 농도인 20ppb미만에서 10ppb간격으로 구분하여 그 발생특성을 조사하였다. 20ppb이하의 빈도는 감전동이 90.7%로 가장 높았고 신평동이 49.4%로 가장 낮은 발생률을 나타내었다. 비교적 고농도인 30ppb 이상을 나타낸 곳은 광복동이 24.0%로 가장 높은 발생률을 나타내었고 덕천동이 6.6%로 가장 낮게 나타났는데, 이는 앞에서 기술한 최고 오존 농도 발생시각에서 살펴본 바와 일치한다. 특히 광복동의 경우 WHO 권고기준인 60ppb 이상의 발생률이 0.8%(14회)로 나타나고 있어 지역적 특성을 고려한 야간 고농도 오존에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 1은 부산지역 6개 지점의 시간별 오존 농도 차

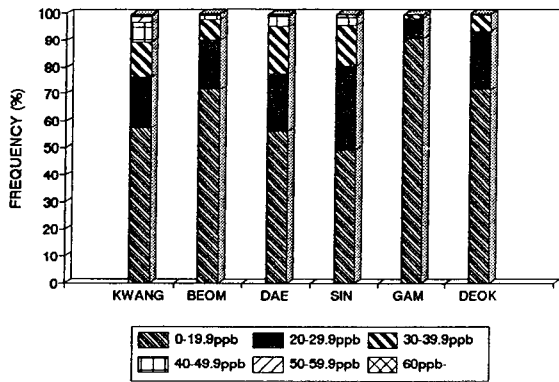


Fig. 2. Frequency distribution of nocturnal ozone maximum day at 0100LST~0500LST 1995~1996 in Pusan.

료를 이용하여 야간 고농도 오존이 동시에 발생한 지점수를 조사한 것이다. 1995년과 1996년의 2년간(730일) 동시에 2개 지점에서 발생한 날이 118일로 16.2%이었고, 3개 지점에서는 56일(7.7%), 4개 지점에서는 45일(6.2%), 5개 지점에서는 14일(1.9%) 그리고 모든 지점인 6개 지점에서는 25일로 3.4%를 차지하여 야간 고농도 오존일의 발생이 매우 국소적으로 발생하고 있지만, 6개 지점 모두 동시에 나타나는 경우도 있어 오존농도의 광역오염에 대한 주의와 대책이 요망된다.

Table 1. Number of simultaneous nocturnal ozone maximum day for 1995~1996 in Pusan.

Year	Number	2	3	4	5	6
1995	66	22	21	6	11	
1996	52	34	24	8	14	
Total(730days)	118	56	45	14	25	
%	16.2	7.7	6.2	1.9	3.4	

3.2. 야간 고농도 오존과 기상요소와의 관련성

Table 2는 1995년과 1996년의 5월부터 9월까지 6개 지점에서 야간 고농도 오존이 발생한 날이 1995년의 7일(5월 14일, 5월 20일, 5월 25일, 5월 29일, 6월 3일, 6월 11일, 9월 23일) 1996년의 5일(5월 11일, 6월 7일, 7월 10일, 8월 27일, 9월 28일) 총 12일에 대해서 발생일의 3일 전부터 1일 후까지 4일간 부산지방기상청에서 측정된 기상요소의 변화 특성을 조사한 것이다. 야간 고농도 오존일의 최고기온은 하루 전날보다 2.6℃정도 하강하였고 바로 다음날 1.3℃ 상승하였으며, 최저기온은 최고기온과 반대로 전날에 비해 0.5℃상승하고 다음날은 변화가 없었다. 일교차는 고농도 오존일이 4.5℃로 전날에 비해 2.1℃이나 낮고 다음날은 5.8℃로 1.3℃상승하였다. 또한 상대습도의 경우 84.1%로 전날보다 17.8%높았으며, 풍속은 4.9m/s로 전날보다 0.4m/s증가하였으며, 운량의 경우 8.9(1/10)로 전날보다 2.3(1/10)증가하였으며, 일조시간과 수평일사량은 전날보다 현저히 감소한 것을 알 수 있다. 따라서 야간 고농도 오존일을 중심으로 하여 낮은 최고기온, 높은 최저기온, 낮은 일교차, 높은 상대습도, 강한 풍속, 많은 운량, 낮은 일사량 그리고 낮은 수평면 일사량을 나타내었다.

따라서 야간 고농도 오존일이 나타나기 전에는 일기가 양호한 상태로써 광화학반응에 의한 정상적인 오존의 일변화인 주간의 고농도와 야간의 저농도가 나타내게 된다. 그러나 야간 고농도 오존이 발생하기 전날부터 한랭전선을 동반한 온대성저기압의 영향으로 상기와 같은 기상요소의 변화를 나타내었다. 당일 새벽의 강한 바람에 의한 풍속의 증가는 상하층 공기의 혼합을 유발해서 상층의 오존을 하층으로 내려오게 하여 지표오존농도를 상승시킬 수 있고, 지표면 침적에 의한 오존 감소 또한 나타날 수 있다. 강한 바람으로 인한 대기희석과 확산으로

부산 지역 전체가 유사한 대기질로 형성되면서 야간 고농도 오존이 발생하였다고 할 수 있다. 또한 야간의 흐린 날씨는 맑은 날씨와 달리 NO, NO₂의 산화에 의해 오존이 소모되지 않고, 전날의 오존이 파괴되지 않은 채 잔존하여 대기경계층으로 올라간 오존이 하층으로 유입되는 유입(entrainment) 효과를 나타내었다고 볼 수 있다. 대기 경계층에서의 오존측정에 대해서는 Seto¹¹⁾에 의하면 오전 11시부터 오후 17시까지 지표와 약 500m사이인 대기 경계층내 오존농도의 차이는 없었으며, 오후 17시 이후 지표의 농도는 급격히 감소하는데 비해 500m고도에서의 농도는 변화가 없었다. 이러한 상층의 오존농도가 야간에 감소하지 않는 이유는 하층에 안정층이 존재할 경우 지표부근의 NO가 상층으로의 확산이 되지 않음으로 인해 상층의 오존이 감소하지 않기 때문이다.

Table 2. Characteristics of meteorological parameters for 4 days between -2 days and +1 day from reference point of nocturnal ozone maximum day at May~Sept.(1995~1996) in Pusan.

Parameter	Step - 2 day	- 1 day	nocturnal O ₃ day	+1 day
Maximum temp.(°C)	25.0	23.6	21.0	22.3
Minimum temp.(°C)	15.8	16.0	16.5	16.5
Diurnal range(°C)	9.2	7.6	4.5	5.8
Relative humidity(%)	58.8	66.3	84.1	80.4
Mean wind speed(m/s)	4.2	4.5	4.9	3.9
Mean cloud amount(1/10)	3.2	6.6	8.9	7.2
Duration of sunshine(hr)	10.2	5.5	1.7	3.8
Radiation on surface(MJ/m ²)	21.38	14.12	7.72	10.78

3.3. 1995년 5월 20일의 야간 고농도 오존에 대한 사례연구

Fig. 3은 1995년 5월 18일부터 5월 21일까지의 오존농도의 일변화를 나타낸 것이다. 5월 20일의 새벽에 주간보다 높은 농도를 나타낸 것을 알 수 있다. 광복동이 0500LST에 38ppb, 대연동에서 0400LST에 37ppb, 덕천동에서 0400LST에 34ppb를 나타내는 등 부산지역 6개 점에서 모두 새벽에 일중 최고농도를 나타내었다. 야간 고농도 오존발생 2일전과 1일전의 농도는 주간에 최고농도, 야간에 최저농도를 나타내는 전형적인 일변화를 나타내었다. 특히 광복동의 경우 양일 모두 1500LST경에 WHO권고기준인 60ppb정도를 나타내는 고농도 오존일이었고, 야간에는 10ppb정도의 낮은 농도를 나타내었다. 5월 19일 야간 늦게부터 20일 새벽에 걸쳐 저농도의 오존이 유지되는 것이 일반적인 오존 일변화임에도 불구하고 농도가 증가하는 양상을 나타내고 있다. 20일 주간에 덕천동의 농도가 광복동보다 20ppb이상의 높은 값을 나타내는 것이 특이한 현상이다. 21일에는 새벽에 2차 최대농도가 나타나고 주간에는 정상적인 오존농도 일변화를 나타내고 있다. 그리고 18일 야간 늦게 대연동, 덕천동, 범천동에 2차 최대농도가 발생하였는데, 이는 지역적인 영향이나 육풍에 의한 오염물질의 순환에 의한 것

로 생각된다. 야간 고농도 오존일 전날 21시 전·후에 오존농도가 감소하는 경향을 보이는데, 대기가 안정한 상태에서 자동차 배기가스에 의한 NO와의 반응이 증가되어 나타나기 때문인 것으로 판단되며, 같은 시각의 NO₂농도가 높게되는 것으로도 확인될 수 있었다.

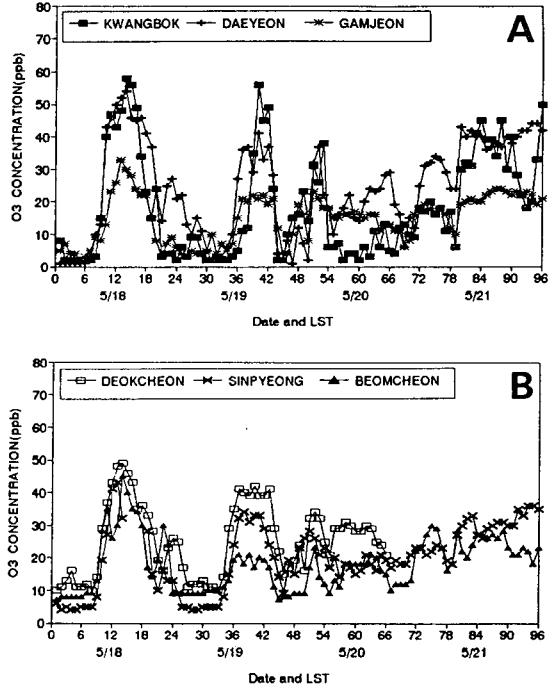


Fig. 3. Diurnal variation of surface ozone concentration for 4 days(May 18~May 21, 1995) in Pusan. A is Kwangbokdong, Daeyeondong and Gamjeondong, B is Deokcheondong, Sinpyeongdong and Beomcheondong, respectively.

Fig. 4는 야간 고농도 오존발생 사례연구 대상일인 1995년 5월 20일의 전·후 4일간의 일본 기상청 발행의 지상일기도이다.²⁰⁾ 1995년 5월 18일과 19일에 우리나라는 이동성고기압의 영향을 받고 있고 점차 고기압이 동쪽으로 진행하고 있다. 그리고 북만주의 강한 저기압과 화남지역의 저기압이 남북으로 기압골을 형성하여 우리나라를 향해서 다가오고 있다. 5월 20일의 경우 부산을 비롯한 우리나라는 화남지방으로부터 다가오는 온대성 저기압의 직접적인 영향을 받고 있고 또한 호호츠크해 부근에 있는 저기압의 한랭전선이 북부지방을 통과하고 있어, 우리나라 전역에 강한 기압골의 영향으로 대기가 불안정하고 흐린 날씨를 나타내고 있다. 21일에는 남쪽의 저기압은 일본 남해상으로 물러났으며, 화북지방에서 우리나라 중·북부지방으로 확장하는 고기압의 영향으로 부산지방은 동해로부터 북동기류가 유입되고 있다. 일기도를 통해서 알 수 있는 것은 야간 고농도 오존이 나타나기 전에는 전반적으로 고기압권에서 양호한 날씨를 나타내다가 점차 흐려져 한랭전선을 동반한 온대성

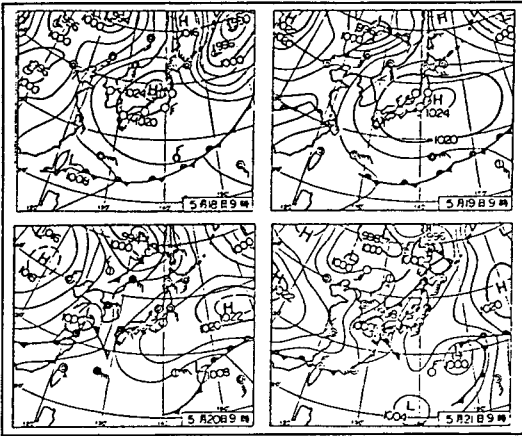


Fig. 4. Surface weather chart at 0900LST for 4 days (May 18~May 21, 1995).

저기압이 형성되어 그의 영향권 하에 들어간다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 시간별 자료가 측정되는 김해공군기상대의 기상자료를 이용하여 야간 고농도 오존발생 사례연구 대상일인 1995년 5월 20일의 전·후 4일간에 기상요소의 일변화를 나타낸 것이다. 부산지방기상청의 기상자료는 오존농도에 관련된 기온, 습도가 3시간 간격으로 관측되기 때문에 1시간 간격으로 관측되는 김해공군기상대의 자료를 사용하여 분석하였다. 야간 고농도 오존일(5월 20일)에는 기온의 일변화가 거의 없고 풍속은 강하였으며, 구름이 전천을 덮고 있는 흐린 날씨를 나타내었으며, 상대습도도 일중 90%이상의 값을 나타내었다. 그러나 사례연구대상일의 전과 후는 전반적으로 기온, 풍속, 상대습도 등의 일변화가 뚜렷하게 나타나는 맑은 날씨였다. 따라서 야간 고농도 오존발생일에는 정상적인 광화학반응이 없는 상태라고 할 수 있으며, 한랭전선을 동반한 저기압이 통과하고 있다는 것을 일기도와 기상변화를 통하여 알 수 있었다.

Fig. 6은 야간 고농도 오존 발생 사례연구 대상일인

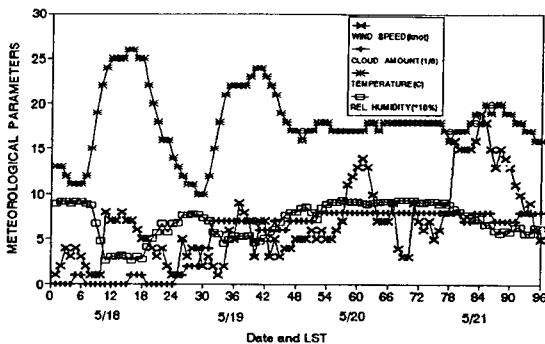


Fig. 5. Diurnal variation of meteorological parameters for 4 days(May 18~May 21, 1995) at Kimhae air force meteorological station.

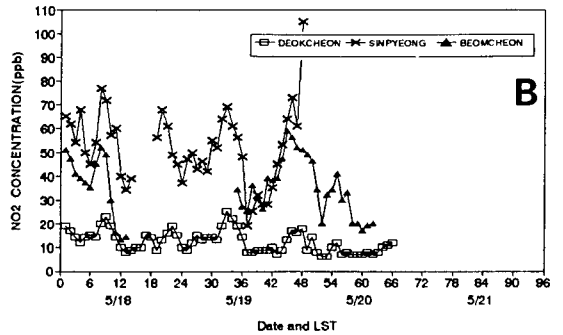
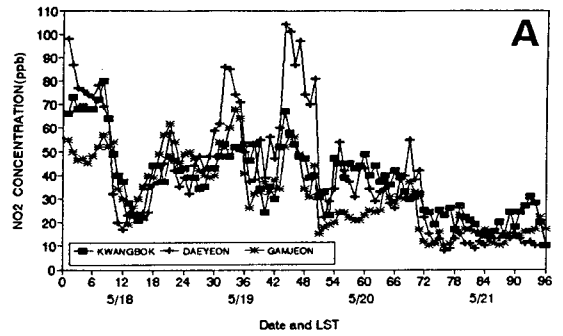


Fig. 6. Diurnal variation of NO₂ concentration for 4 days (May 18~May 21, 1995). A is Kwangbokdong, Daeyeondong and Gamjeondong, B is Deokcheondong, Sinpyeongdong and Beomcheondong, respectively.

1995년 5월 20일의 전·후 4일간의 NO₂의 일변화를 나타낸 것이다. 부산지역의 경우 NO₂의 일변화는 0800LST~1000LST와 1900~2100LST에 고농도를 나타내는 이중 최대농도값을 나타내고 있다.¹⁷⁾ 야간 고농도 오존 발생일 전인 5월 18일과 19일은 위와 같이 정상적인 일변화를 하고 있다. 그리고 5월 19일 오후의 대연동과 신평동의 NO₂는 100ppb를 초과하는 고농도를 나타내고 있다. 또한 야간 고농도 오존 발생일인 5월 20일 새벽의 NO₂농도는 5월 18일과 5월 19일 새벽의 NO₂ 농도보다 낮은 값을 나타내고 있으며 일중 뚜렷한 일변화가 없고 대체로 낮은 농도를 나타내었다. 이는 주간에 광화학반응이 활발하지 못하였다는 것을 시사하고 있다. 또한 5월 20일 새벽 높은 오존농도를 나타낸 시간에 전날의 새벽보다 낮은 NO₂의 농도가 나타내었다. 이러한 야간 고농도 오존이 나타날 때 NO₂농도가 낮아지는 것은 강한 연직순환에 의해 낮은 농도의 상층 NO₂가 하강하였다는 가설과 오존을 생성하는 데 NO₂가 사용되었다는 가정을 할 수 있으나, 후자의 경우 태양복사에너지가 없는 야간이기 때문에 설득력이 부족하다. 따라서 전자의 가정 즉 강제대류 등에 의해 대기경계층 상부의 공기가 하층으로 내려왔다는 것을 뒷받침하고 있다.

4. 결 론

1995년과 1996년 2년간의 시간별 오존농도자료와 부산지방기상청과 김해공군기상대의 지상기상자료를 이용

하여 부산 연안역의 야간 고농도 오존의 발생 특성과 기상학적 관련성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

야간 고농도 오존이 가장 많이 발생한 지역은 광복동(36.9%)이었고 가장 적게 발생한 지역은 덕천동(9.2%)으로 연안에서 내륙으로 갈수록 발생빈도가 낮게 나타났다. 30ppb이상의 야간 고농도 오존을 나타낸 지역도 광복동(24%)이 가장 높고 덕천동(6.6%)이 가장 낮았다.

야간에 고농도 오존이 발생할 수 있는 기상학적 특성은 야간 고농도오존일률 중심으로 하여 낮은 최고기온, 높은 최저기온, 낮은 일교차, 높은 상대습도, 강한 풍속, 많은 운량, 낮은 일사량 그리고 낮은 수평면일사량을 나타내었다.

따라서 야간 고농도 오존일이 나타나기 전에는 일기가 양호한 상태로써 광화학반응에 의한 정상적인 오존의 일변화인 주간의 고농도와 야간의 저농도가 나타내게 된다. 야간 고농도 오존일에는 강한 바람에 의한 풍속의 증가로 상하층 공기의 혼합을 유발해서 상층의 오존을 하층으로 내려오게 하여 지표 오존을 상승시키고, 대기의 강제대류에 의해 대기경계층 상부의 오존을 포함한 공기가 하층으로 내려왔다는 것을 시사하고 있다.

감사의 글

이 연구는 1998년도 신라대학교 학술연구비에 의해 이루어졌음.

참 고 문 헌

- Atkins, D. H. F., R. A. Cox, and A. E. Y. Eggleton, 1972, Photochemical ozone and sulphuric acid aerosol formation in the atmosphere over Southern England, *Nature, Lond.*, 235, 372-377.
- Steinberger, E. H. and Y. Balmor, 1973, Photochemical ozone formation in the atmosphere over Southern England, *Nature, Lond.*, 241, 341-342.
- Steinberger E. H. and E. Ganor, 1980, High ozone concentration at night in Jerusalem and Tel-Aviv, *Atmos. Environ.*, 14, 221-225.
- Ball D. J. and R. E. Bernard, 1978, An analysis of photochemical pollution incidents in the Greater London area with particular reference to the summer of 1976, *Atmos. Environ.*, 12, 13.
- Isaksen I. S. A., O. Hov, and E. Hesstvedt, 1978, Ozone generation over rural areas, *Environ. Sci. Technol.*, 12, 1279-1284.
- Kurita, H. and H. Ueda, 1986, Meteorological conditions for long-range transport under light gradient winds, *Atmos. Environ.*, 20, 687-694.
- Lalas, D. P., M. T. Tsella, M. Petrakis, D. N. Asimakopoulos, and C. Helmis, 1987, An experimental study of the horizontal and vertical distribution of ozone over Athens, *Atmos. Environ.*, 21(12), 2681-2693.
- Gidel, L., 1980, General circulation model estimates of the net vertical flux of ozone in the lower stratosphere and the implications for the tropospheric zone budget, *J. Geophys. Res.*, 85, 4049-4058.
- Viezee, W. and H. B. Singh, 1980, The distribution of beryllium-7 in the troposphere: implications on stratospheric/tropospheric air exchange, *Geophys. Res. Lett.*, 7, 805-808.
- Murao, N., T. Okita, and S. Ohta, 1982, Contribution of stratospheric ozone on the ground-level oxidant concentration, *Tenki*, 29(5), 537-545.
- Seto, S., 1992, Case study on the vertical profile of oxidant concentration at the coastal region of Seto Inland Sea, *Tenki*, 39(6), 347-354.
- Shapiro M. A., 1980, Turbulent mixing within tropopause folds as a mechanism for the exchange of chemical constituents between the stratosphere and troposphere, *J. Atmos. Sci.*, 37, 994-1004.
- 정용승, 정재섭, 1991, 서울 수도권지역의 광화학 오존에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, 7(3), 169-179.
- 전병일, 1997, 부산연안역의 고농도 오존일의 예측기법개발과 오존농도 수치모의, 부산대학교 대학원 박사학위논문, 119pp.
- Samson P. J., 1978, Nocturnal ozone maxima, *Atmos. Environ.*, 12, 951-953.
- Mizuno T. and H. Yoshikado, 1983, On some characteristics of the diurnal variation of O₃ observed in island, urban and rural areas, *Atmos. Environ.* 17(12), 2575-2582.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 해풍이 부산지역의 대기오염농도에 미치는 영향, *한국환경과학회지*, 3(4), 357-365.
- 김유근, 이화운, 전병일, 홍정혜, 1996, 부산연안의 오존농도에 미치는 해풍의 영향, *한국환경과학회지*, 5(3), 265-275.
- Colbeck I., 1988, The occurrence of nocturnal ozone maxima at a rural site in north-west England, *Environ. Technol. Lett.*, 9, 75-80.
- 일본기상청, 인쇄일기도, 1995.