

## 야간 지표 고농도 오존에 관한 연구

### The Study on the High Nocturnal Concentration of Ground Level Ozone

김 유 근 · 홍 정 혜

부산대학교 대기과학과

(1998년 3월 4일 접수, 1998년 11월 10일 채택)

Yoo-Keun Kim and Jung-Hye Hong

*Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University*

(Received 4 March 1998; accepted 10 November 1998)

#### Abstract

The diurnal variation of O<sub>3</sub> concentration shows two peaks, the first peak at noontime and the secondary peak at night. In order to show why the secondary peak, high nocturnal O<sub>3</sub> concentration, occurs without sunlight which is an essential factor of a photochemical response, the O<sub>3</sub> concentration, several weather elements and synoptic weather map were used for June ~ September at 1995, 1996.

The mean concentration of high nocturnal O<sub>3</sub> concentration days is higher by 5.4 ppb than that of low nocturnal O<sub>3</sub> concentration days. The nocturnal O<sub>3</sub> concentration is higher than that of diurnal O<sub>3</sub> concentration during high nocturnal O<sub>3</sub> concentration days, at July, 1995 and June, 1996.

The high nocturnal O<sub>3</sub> concentration is related to low air pressure, high cloud cover and high wind speed. The correlation coefficient, *r*, between nocturnal O<sub>3</sub> concentration and wind speed, pressure and cloud cover is 0.387, -0.218, and 0.194, respectively.

It is interesting that the O<sub>3</sub> concentration increases at Pusan when the typhoon passes by. The same result showed at Taegu when the typhoon FAYE passed by.

According to the analysis of nocturnal O<sub>3</sub> concentration for June ~ September at 1995 and 1996, it seems that the high nocturnal O<sub>3</sub> concentration relates to the trough and cyclones passing by Pusan.

**Key words** : nocturnal O<sub>3</sub> concentration, ground level ozone

#### 1. 서 론

지표 오존은 자연계에서 적당한 산화력을 가진 대기권의 미량물질로서, 주로 자동차에서 배출된 1차 오염물질인 탄화수소와 질소산화물이 태양 자외

선과 광화학반응하여 생성된 2차 오염물질이다. 오존의 유해성은 강한 산성력으로 고무제품 등을 손상 시켜 재산상에 손해를 입힐 뿐 아니라 호흡기 장애, 눈 점막 자극과 같은 인체에 미치는 영향 등 우리의 인간생활에 밀접한 관계가 있어 우리 나라에서도 1995년 서울특별시를 시작으로 1997년부터

전국 광역시를 포함한 6대 도시에서 오존경보제 및 예보제가 시행되고 있다.

우리 나라의 경우, 오존은 봄철에 가장 높고 여름에는 빈번한 강우에 의한 일사량 감소 때문에 낮은 평균값을 보이다가, 가을에 다시 상승하는 2차 상승 구조를 가지는 계절적 특성이 있다(김영성, 1996). 또한, 오존은 지역환경의 특성에 따라 농도분포가 달라질 수 있는데, 부산의 경우 해륙풍 등 국지순환에 의한 영향을 크게 받고 있다고 하였다(전병일, 1997).

오존은 광화학반응에 의한 2차 오염물질이란 뚜렷한 정의 때문에 한낮에만 높은 농도를 가질 것이라는 예상과는 다르게 일사가 전혀 없는 야간에도 오존 농도의 상승이 나타나고 있으며, 이의 원인에 대한 추정이 여러 연구에서 제시되어 왔다. 한 가설로 주간 광화학반응에 의하여 생성된 오존은 혼합고의 성장에 따라 혼합층 상부까지 도달하고, 야간에는 대기하층부의 기온역전 형성에 의해 지표 오존 농도는 감소하는 반면, 역전층 상부의 오존의 농도는 높아지게 되어서 다음날 새벽에 풍속이 강한 연직순환이 강하게 발달하거나 하층의 승온으로 기온 역전이 파괴되어 대류혼합이 발생하면서, 대기경계층 상부의 높아진 오존이 지표로 내려와 야간의 지표 오존 농도의 상승을 나타낸다(전병일, 1997; Cvitas *et al.*, 1985; Samson, 1978)는 것이다. 하지만 이 가설은 야간에 역전층을 형성한 대기가 다시 기온 역전을 파괴시킬 수 있는 강한 연직순환을 가지거나 하층 승온의 기구에 대한 설명이 명확하지 않다.

또 다른 가설은 부산과 같은 복잡한 연안 지형을 가진 지역에서, 해륙풍의 일변화 때문에 주간과 다른 지역으로 이동하였던 고농도의 오존이 야간에

다시 되돌아와서 야간의 오존 농도 상승을 나타낸다는 주장으로 이는 관측되기도 하였다(Zaveri *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 1990). 그러나 일반적으로 풍향의 변화가 주간과 야간에 반대가 되어 이루어졌던 오염 물질이 되돌아 올 수 있는 경우는 하루주기 정도의 시간 규모를 가진 중간규모의 대기운동에 의한 현상이라고 할 수 있다. 야간 지표 오존 농도 상승은 중간규모의 대기운동이 탁월할 수 있는 즉, 종관규모의 대기운동이 매우 약한, 안정적이고 맑은 날이어야 한다.

본 연구에서는 최근의 부산의 하계 오존 농도 자료를 이용하여 이와 같은 야간의 지표 오존농도 상승 발생 현황과 이 원인이 위에서 언급한 오존의 시·공간적 이동에 의한 것인지 그 여부를 고찰해 보고자 한다.

## 2. 분석자료

새벽의 고농도 오존의 특성을 분석하기 위하여, 1995년과 1996년 두해의 6월에서 9월까지의 부산 지역 대기오염 자동 측정망의 지표면 오존농도와 기상요소 및 일기도를 분석하였다.

대기오염자료는 환경부에서 설치한 부산지역의 대기오염 측정망을 이용하였는데, 1995년은 광복동, 동삼동, 대연동, 감전동, 덕천동, 신평동 그리고 범천동 등 7개의 측정망 자료, 그리고 1996년은 결측으로 인한 동삼동 자료를 제외한 6개 측정망의 1시간 농도 자료를 분석하였다.

기상자료는 부산지방기상청에서 관측한 자료를 기상요소에 따라 1시간 간격의 풍속, 풍향 관측값과 3시간 간격의 기온, 이슬점온도, 수증기압, 기압, 운량 관측값 등을 이용하였으며, 일기도는 일본 기상

Table 1. Percentile ratio of effective ozone data measured in Pusan.

(unit : %)

Monitoring site	Month	95				96			
		6	7	8	9	6	7	8	9
Kwangbok		100	100	14	100	95	76	92	99
Dongsam		94	99	100	100	-	-	-	-
Deaycon		94	99	95	100	81	95	76	100
Gamjeon		99	86	94	100	98	91	96	97
Deokcheon		100	95	100	100	100	99	93	95
Sinpyeong		100	89	98	100	88	86	67	97
Beomcheon		98	99	100	100	100	77	100	97

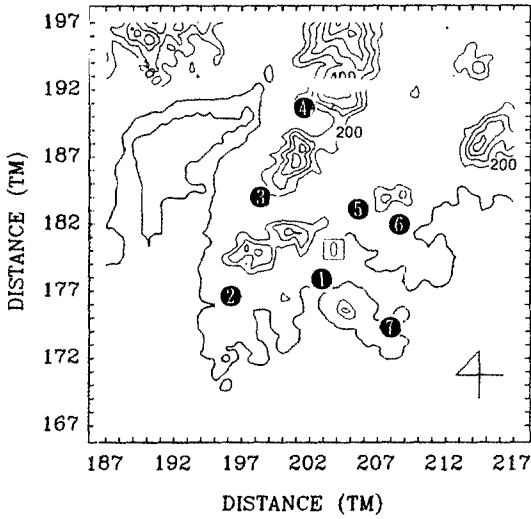


Fig. 1. Monitoring sites of the air quality and meteorological elements, ① Kwangbok, ② Sinpyeong, ③ Gamjeon, ④ Deokcheon, ⑤ Beomcheon, ⑥ Deayeon, ⑦ Dongsam, □ Pusan Regional Meteorological Office.

청의 일별 09시 인쇄일기도(日本 氣象廳, 1995~1996)를 이용하였다.

표 1은 부산지역 대기오염 측정망에서의 일별 오존농도의 측정율을 나타낸 것이다. 광복동의 95년 8월, 동삼동의 96년 전 자료를 제외하면 95년과 96년 두해의 6~9월의 측정율은 전 측정소에서 양호하였다. 그리고 그림 1은 부산의 지형고도와 대기오염 자동 측정망 및 부산지방기상청의 위치를 표기한 것이다. 측정망은 토지 이용의 구분에 따라 광복동과 범천동은 상업지역, 신평동과 감전동은 공업지역, 덕천동과 재송동은 주거지역, 동삼동은 녹지지역으로 분류되어 있다(환경부, 1997).

3. 결 과

3.1 야간 고농도 오존의 현황

먼저 측정망별로 새벽 1시의 오존농도를 월평균한 후, 이 평균 농도와 새벽 1시 농도를 비교하여 평균 이상인 날과 이하인 날을 구분하였으며, 본 논문에서는 이 평균 이상인 날을 "야간 고농도일"로 그리고 평균 이하인 날은 "야간 저농도일"로 명명

하였다. 표 2는 1시간 농도의 전체 월평균, 야간 고농도일의 평균, 야간 저농도일의 평균을 각각 나타낸 것이다. 모든 연구 대상 월과 측정망에 대해서 야간의 농도가 높았던 날의 평균 농도가 그렇지 않은 날의 평균 농도 보다 평균 5.4 ppb 정도 높았다. 전체 월별 평균을 보았을 때, 두 해 모두 7월의 평균농도가 낮게 나타났는데, 이것은 장마기간 동안의 광화학반응에 필수적인 일사량의 감소가 주된 원인으로 해석된다. 특히, 95년 7월이 13.3 ppb로 가장 낮은 평균농도를 나타내었고, 96년 8월이 27 ppb로 대상 기간중 가장 높은 평균농도를 나타내었다. 전체적으로 95년도 보다 96년도에 오존의 농도가 높았고, 전 연구 기간에 대해 오존 농도는 야간 고농도일에 평균적으로 높은 농도를 나타내었다.

측정망별로 나누어 볼 때, 동삼동이 13.7 ppb로 가장 낮았는데 이것은 비교적 농도가 높았던 96년 자료의 결측때문이라고 해석 할 수 있으며, 동삼동을 제외하고는 감전동과 범천동의 평균농도가 14.5 ppb와 15.7 ppb로 낮게 나타났다. 가장 높은 지역은 신평동으로 27.1 ppb를 나타냈으며, 야간 고농도일의 평균도 30.8 ppb로 측정망 가운데 가장 높게 나타났는데, 이곳은 부산의 공업지역으로서 오염물의 배출량이 많은 곳이다.

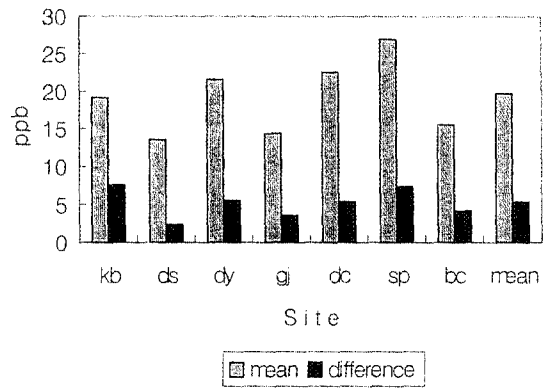


Fig. 2. Mean ozone concentration and difference in mean ozone concentration of higher and lower nocturnal ozone concentration days than mean 0100LST ozone concentration at Pusan, June~September, 1995 and 1996. (kb: Kwangbok, ds: Dongsam, dy: Deayeon, gj: Gamjeon, dc: Deokcheon, sp: Sinpyeong, bc: Beomcheon)

Table 2. Ozone concentration at each air quality monitoring site for June ~ September, 1995 and 1996. (mean: monthly mean, high: mean of higher 0100LST ozone concentration days than monthly mean of 0100LST ozone, low: mean of lower 0100LST ozone concentration days than monthly mean of 0100LST ozone) (unit : ppb)

Site	Class	95				96				mean
		6	7	8	9	6	7	8	9	
Kwangbo	mean	20.7	17.4	-	9.6	16.3	12.8	29.9	28.1	19.3
	high	25.1	24.6	-	11.2	19.7	16.0	35.8	32.0	23.5
	low	17.3	11.5	-	8.0	14.5	9.3	25.6	24.7	15.8
Dongsam	mean	19.3	9.2	9.6	16.8	-	-	-	-	13.7
	high	19.8	9.9	10.5	20.0	-	-	-	-	15.1
	low	19.1	8.8	8.3	14.6	-	-	-	-	12.7
Deayeon	mean	21.9	9.0	12.5	15.4	32.8	20.8	28.7	31.6	21.6
	high	23.8	10.2	15.6	19.5	36.6	26.7	29.1	34.4	24.5
	low	20.0	8.5	10.7	12.7	28.6	15.1	27.6	27.5	18.8
Gamjeon	mean	19.3	10.0	9.9	10.0	16.0	11.0	19.8	20.0	14.5
	high	20.4	11.9	12.3	12.0	17.4	15.4	22.9	20.6	16.6
	low	17.7	9.0	8.6	9.0	15.2	9.0	17.1	19.5	13.1
Deokcheon	mean	24.7	17.3	19.1	21.5	23.9	25.5	26.9	22.1	22.6
	high	25.9	19.6	23.3	25.2	28.0	33.2	28.1	23.7	25.8
	low	23.2	16.0	16.5	19.1	21.1	19.4	25.6	21.6	20.3
Sinpyeong	mean	20.5	20.3	24.0	22.8	29.4	31.8	36.1	31.6	27.1
	high	23.2	27.8	34.3	24.3	33.0	35.8	34.4	33.2	30.8
	low	18.8	14.6	16.4	21.2	24.9	25.6	36.0	29.7	23.4
Beomcheon	mean	21.3	9.9	13.1	15.2	13.6	11.7	20.3	20.5	15.7
	high	22.0	11.2	18.2	17.6	15.6	12.8	22.5	20.6	17.6
	low	20.3	8.2	4.8	13.2	11.9	11.0	19.2	20.1	13.6
mean	mean	21.1	13.3	14.7	15.9	22.0	18.9	27.0	25.6	19.8
	high	22.9	16.5	19.0	18.5	25.0	23.3	28.8	27.4	22.7
	low	19.5	10.9	10.9	14.0	19.3	14.9	25.2	23.9	17.3

그림 2는 측정망별 연구 기간동안의 전체 평균 농도와 야간 고농도일 및 야간 저농도일의 평균농도의 차이를 나타낸 것이다. 평균 농도가 높을수록 야간 고농도일과 야간 저농도일의 평균 농도의 차이가 크게 나타났다. 평균농도는 공업지역으로 분류된 신평동의 농도가 가장 높았고, 녹지지역으로 분류된 동삼동의 농도가 가장 낮았으나, 신평동과 같이 공업지역으로 분류된 감전동은 녹지지역의 동삼동의 평균농도와 큰 차이를 보이지 않는데, 이것은 최근 감전동에서 대량의 공장 이전과 유관한 것으로 해석된다.

측정망과 측정월에 따라 평균농도 차이가 매우 심한 것으로 보아, 오존은 전체적 평균에 의한 분석보다는 고농도 연구 등 연구 특성에 따라 구분하여 분석하는 것이 더 타당하다.

주간에 고농도 오존을 나타내는 날에는 야간에

저농도를 나타내고, 반대로 주간에 낮은 오존 농도를 나타내는 날에는 상대적으로 야간에 고농도를 나타낸다고 알려져 있다. 이것은 주간에 고농도를 나타낼 수 있는 대기 상태라면 NO의 농도도 높을 것이고, 또한 야간에는 광화학 반응이 없으므로 NO의 산화 반응만 존재하기 때문에 오존농도가 낮을 것으로 추정한다(김영성, 1996). 이것은 주간에 고농도 오존이 형성되어 연직혼합에 의한 이동이나 수평적 대류와 같은 공간적 이동을 가정할 수 있는 기상상태를 가진 날에는 오히려 NO의 산화 반응에 의해 야간의 오존농도는 저농도를 나타낼 수 있음을 의미한다.

야간의 고농도 오존 현황을 알아보기 위해서, 각 측정망(95년: 7개 측정망, 96년: 6개 측정망)의 오존 농도를 이용하여 시간대별 평균을 구하고, 새벽 1시의 농도를 기준으로 야간 고농도일과 야간 저농도

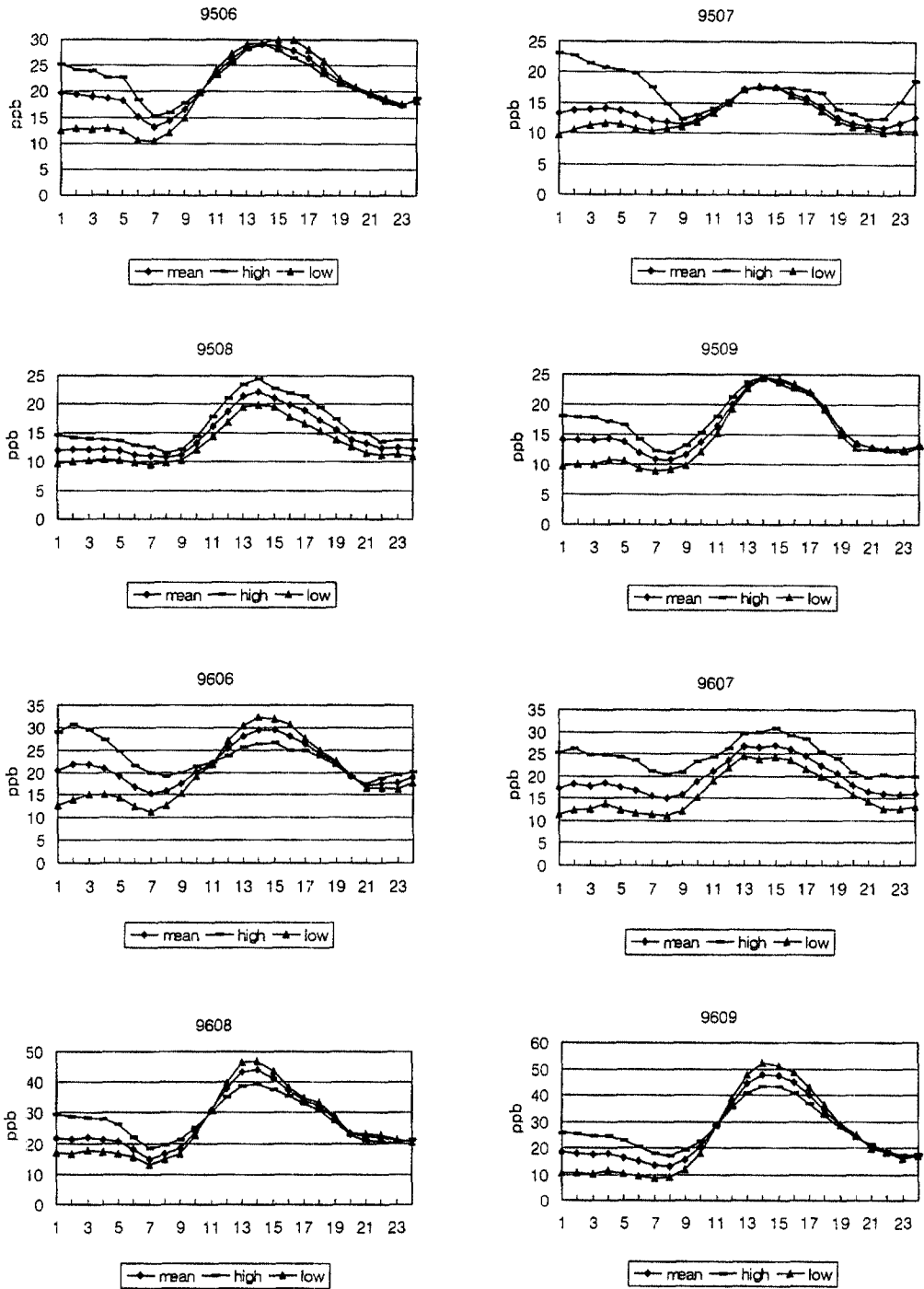


Fig. 3. Diurnal variation of ozone concentration, Pusan, June~September, 1995 and 1996. (mean: monthly mean, high: mean of higher 0100LST ozone concentration days than 0100LST monthly mean, low: mean of lower 0100LST ozone concentration days than 0100LST monthly mean)

일로 구분하였다. 그림 3에는 월별로 나누어, 야간 고농도일 및 야간 저농도일 그리고 월평균의 오존농도 일변화를 나타내었다.

본 연구의 분석 방법에 따르면, 95년 8월과 96년 7월에는 야간 고농도일의 주간 농도가 월평균의 주간 농도 보다 높았으며, 이 달의 평균농도는 14.7 ppb와 18.9 ppb으로 전체적으로 낮았다. 95년 6월, 7월과 9월에는 야간 고농도일의 주간 농도가 야간 저농도일의 주간 평균 농도와 비슷하였고, 96년 6월, 8월과 9월에는 야간 고농도일의 주간 농도가 야간 저농도일의 주간 농도 보다 낮은 일변화를 보였는데 이달의 평균농도는 각각 22.0 ppb, 27.0 ppb와 25.6 ppb으로 비교적 높은 편이었다.

특히, 95년 7월과 96년 6월의 야간 고농도일에는 야간의 오존농도가 주간 농도보다 높은 23.0 ppb와 30.7 ppb를 나타냈는데, 이러한 주간농도를 초과하는 야간 고농도 현상은 광화학 반응에 의해 발생한 오존이 연직 혼합이나 이류에 의한 단순한 공간적 이동을 하여 나타난 결과로만 해석할 수 없을 것 같다.

### 3.2 야간 오존농도와 기상 요소와의 관계

오존농도와 기후요소와의 관계를 살펴보기 위해, 각 측정망에서 관측 및 측정된 기상요소와 오존 농도를 이용하여 분석하는 것이 타당하다. 하지만 측정망에서 측정되지 않는 기상요소들이 있고 부산 전체의 일기와 야간 오존농도와의 관계를 보기 위

해서, 기상요소는 부산지방기상청의 기상 관측 자료를 이용하였고, 본 절에서의 오존농도는 시간대별 측정망 평균값을 이용하였다.

오존농도와 기상요소와의 상관관계에 대한 연구로서, 오존농도와 기온은 0.148, 습도와는 -0.402의 상관관계가 있음을 밝힌 연구(이기원 외, 1993)가 있고, 오존농도와 일사량은 0.42, 기온과는 0.28 그리고 풍속과는 0.38의 상관관계가 있음을 서울을 대상으로 밝힌 연구(정 용, 1986)가 있다. 즉, 기온이 높고 일사가 많고 습도가 적어 광화학반응이 활발할 수 있는 날 오존 농도가 높음을 뜻한다. 오존 농도는 기상요소 및 기타 다른 오염물질들과의 상관관계에서 상관계수가 절대값 0.5를 넘지 않는데, 이것은 오존이 광화학반응과 산화반응 등 여러 반응에 의해서 생성, 소멸되는 2차 오염물질로서 많은 변수에 의해서 결정되기 때문이다.

본 절에서는 일사가 없어 광화학 반응과는 관계가 없는, 야간의 오존과 그때의 기상요소들과의 상관관계를 살펴보았다. 표 3은 측정망 평균의 새벽 3시의 오존농도와 그때의 온도, 이슬점 온도, 수증기압, 운량, 기압 그리고 풍속과의 상관관계를 나타낸다. 그리고 하단에는 각 월의 새벽 3시 평균 오존농도를 기준으로 야간 고농도일(HNCD) 및 야간 저농도일(LNCD) 그리고 야간 고농도일 중에서 새벽 3시 오존 농도가 야간 고농도일의 새벽 3시 평균 오존농도 보다 높은 날(HrNCD)로 나누어 각 날들의 새벽 3시의 기상요소의 평균값을 나타냈다.

Table 3. Correlation with nocturnal ozone and meteorological elements at 0300LST in Pusan, June~September, 1995 and 1996. (mean: mean value, HNCD: higher nocturnal ozone concentration days than monthly mean nocturnal ozone concentration, HrNCD: higher nocturnal ozone concentration days than concentration of HNCD, LNCD: lower nocturnal ozone concentration days than the monthly mean nocturnal ozone concentration)

	temperature (°C)	dew temperature (°C)	vapour pressure (mb)	cloud cover	pressure (hPa)	wind speed (m/s)
correlation	-0.140	-0.086	-0.106	0.194	-0.218	0.387
mean (244 days)	21.5	19.1	2.28	5.8	1001.61	1.7
HNCD (111 days)	20.2	18.7	2.23	6.4	1000.77	2.8
HrNCD (20 days)	21.8	19.1	2.28	6.8	999.14	5.7
LNCD (133 days)	21.8	19.4	2.33	5.4	1002.30	1.0

본 연구의 분석 결과도 다른 연구들 처럼 뚜렷한 상관성을 보이지 않으나, 기압과 풍속과의 상관계수가 각각  $-0.218$ 와  $0.387$ 으로 비교적 상관성을 나타냈고 운량과도  $0.194$ 의 상관관계를 나타냈다. 하지만 기온과는  $-0.140$ , 이슬점 온도와는  $-0.086$ , 수증기압과는  $-0.106$ 의 상관계수를 가지는 것으로 상관성이 없는 것으로 나타났다. 가장 뚜렷한 차이는 풍속으로 새벽 03시의 평균적인 풍속은  $1.7\text{ m/s}$ 로 비교적 약하나 야간 고농도일의 풍속은  $2.8\text{ m/s}$ 을 나타내었다. 특히, 새벽 3시의 오존농도가 야간 고농도일의 03시 평균 오존농도 보다 높은 날의 기상요소를 보면, 운량이  $6.8$ 이고 풍속이  $5.7\text{ m/s}$ 으로 뚜렷한 증가를 나타내었고 기압은  $999.14\text{ hPa}$ 으로 감소를 나타내었다. 야간고농도를 뚜렷하게 나타내는 선정된 20일에 대해서 기상요소와의 관계를 살펴본 결과, 비교적 강한 풍속과 많은 운량 낮은 기압을 나타내는 저기압 기상장 아래서 야간의 지표 오존 농도의 상승이 탁월하였다.

3.3 야간 고농도 오존과 종관 기상 상황

3.2절의 상관관계 분석 결과는 새벽의 고농도 오존은 저기압성 기단과 관계가 있음을 암시한다. 물론 모든 저기압 기상장에서 야간의 고농도 오존이

아니었지만 오존농도를 측정망 평균한 후, 새벽 3시 오존 농도를 고농도 순서로 각월마다 5일씩 선택하여, 그 날의 09시 인쇄일기도를 고찰함으로써 종관 기상상황과 야간 오존 농도와의 관계를 살펴보았다. 종관 기상장의 특징은 95년 6월과 96년 9월을 제외하고 모든 월에서 상대적으로 야간 고농도 날에 부산은 기압골에 위치하거나 뚜렷한 저기압권 아래에 존재한다는 것을 볼 수 있었다. 그림 3에서 뚜렷한 야간 고농도를 나타낸 95년 7월과 96년 6월에는 부산은 장마 전선과 저기압권 아래라는 것을 염두해 둘 필요가 있다. 그림 4에는 연구대상 기간의 각 월마다 03시의 오존 농도가 가장 높은 날의 09시 인쇄일기도를 나타내었는데 95년 6월 11일은 고기압의 영향을 받은 날이었고, 7월 24일은 태풍 FAYE가 부산 주변을 지나간 기압배치이고 8월 9일은 장마전선의 영향, 9월 27일은 저기압의 영향 아래임을 보인다. 그리고 96년 6월 18일과 7월 22일은 저기압 영향권 아래였지만 8월 12일과 9월 27일은 장마전선 후면과 고기압의 영향을 받고 있다. 새벽 3시의 오존 농도는 각각 95년 6월 11일  $43.6\text{ ppb}$ , 7월 24일  $55\text{ ppb}$ , 8월 9일  $21.1\text{ ppb}$ , 9월 27일  $27.6\text{ ppb}$ , 96년 6월 18일  $41.8\text{ ppb}$ , 7월 22일  $36.3\text{ ppb}$ , 8월 12일  $37\text{ ppb}$ , 9월 27일  $38.5\text{ ppb}$ 의 농도를

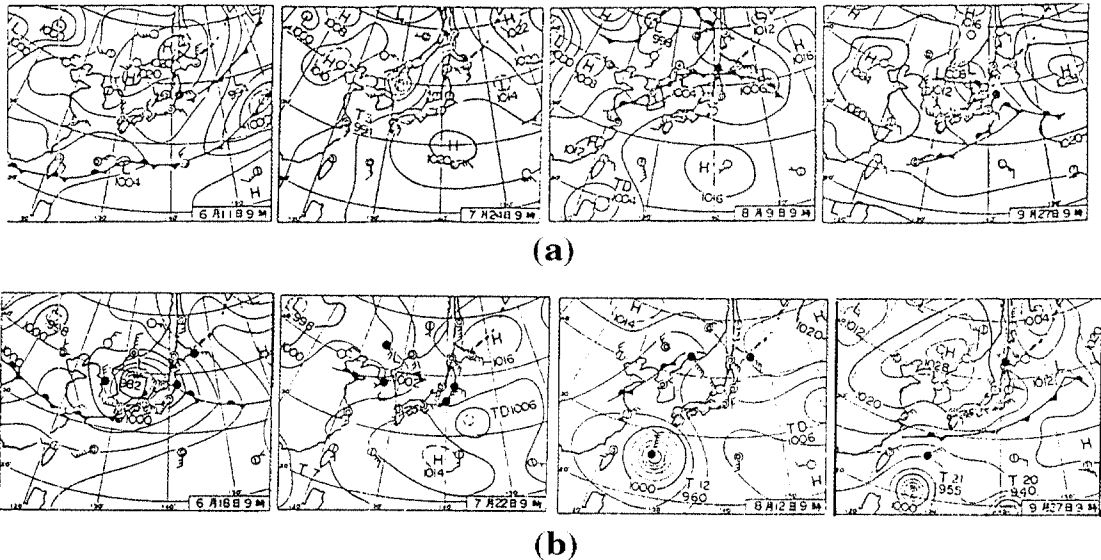
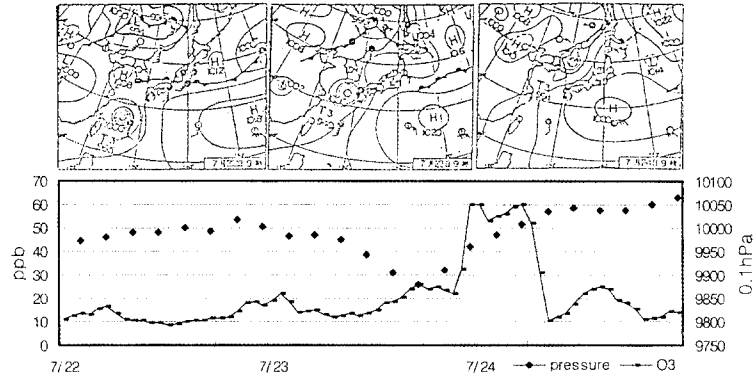
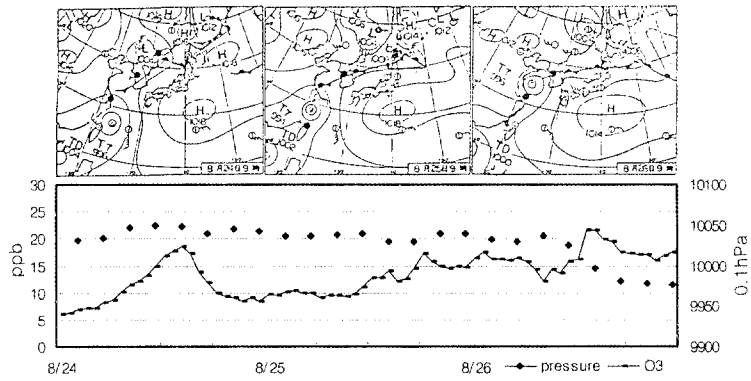


Fig. 4. Synoptic weather map on the high nocturnal ozone concentration days at Pusan for June~September (a)1995 and (b)1996.

(a) FAYE



(b) JANIS



(c) RYAN

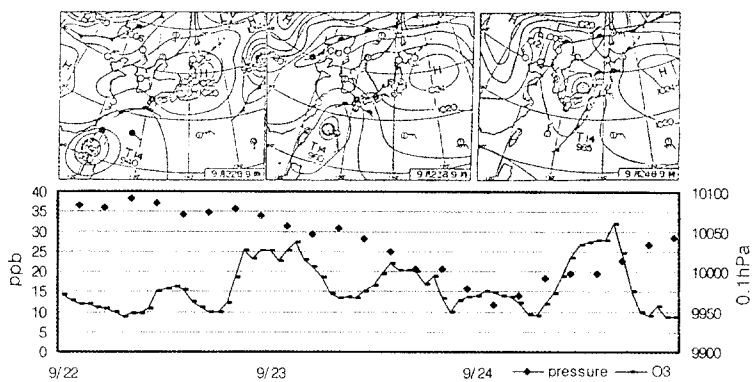


Fig. 5. Synoptic weather map and diurnal variation of ozone concentration and pressure during typhoon (a) FAYE (22~24, July, 1995) (b) JANIS (24~26, August, 1995) and (c) RYAN (22~24, September, 1995) at Pusan. Position of date means 0000LST.



나타내었다.

7월 24일은 95년 태풍 3호 FAYE가 통과한 후의 기압배치로써 이러한 기압아래에서는 야간 역전층이나 중규모의 풍계를 생각할 수 없는 경우이다. 부산을 지나는 저기압이 야간 오존 농도의 상승에 어떠한 영향을 미치는지 명확히 하기 위해서 대표적인 저기압인 태풍이 부산 주변을 통과 할 때 야간의 오존 농도 변화를 고찰하였다. 그림 5에 95년 부산 주변을 통과한 태풍 (a) FAYE, (b) JANIS, (c) RYAN의 기압배치를 날짜별로 09시 인쇄일기도를 이용하여 나타냈고, 그 아래 각각의 오존농도와 기압의 변화를 같이 나타냈다. 95년 7월 23일과 24일 사이에 부산에서는 태풍의 영향권 아래서 강우와 강풍이 불었고 광화학반응과는 관계가 없는 오존의 증가가 23일 13시 이후부터 24일 새벽 7시까지 지속되어 23일 24시에는 60 ppb를 나타내었다. 이때 태풍 경로에 근접한, 부산 부근의 대구시내의 삼덕동과 중리동의 대기오염 자동 측정망에서도 야간의 오존농도 증가를 보이고 있는데 (그림 6), 태풍이 통과한 23일 오후부터 24일 새벽 사이 점증적인 증가를 보이다가 23일 23시경에는 중리동에서 30 ppb 이상을 나타내었다. 부산이나 대구 모두 23일 주간에는 20 ppb를 넘지 못하는 낮은 농도를 나타내었다. 태풍 JANIS가 주변에 있을 때, 8월 25일과 26일 사이에 농도가 증가하는 모습을 보이고 26일 12시경 압력이 낮아질 때 급격한 농도의 상승이 있는데 21.7 ppb의 농도를 나타내었다. 그리고 9월 23일 태풍 RYAN이 주변에 있을 때, 9월 22일과 23일 사이에 야간은 주간보다 높은 농도를 보이는데 23일 4

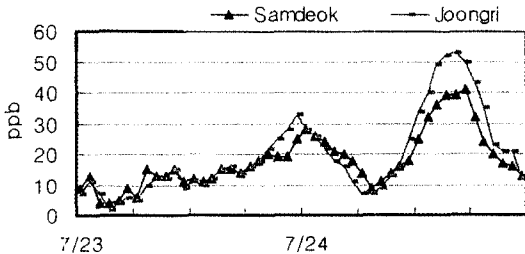


Fig. 6. Diurnal variation of ozone concentration at Samdock-dong and Joongri-dong in Teagu during the typhoon FAYE (July, 23~24, 1995) Position of date means 0000LST.

Table 4. Monthly mean (mean) and higher 0300LST ozone days mean (O<sub>3</sub> high days) of TSP concentration at 0300LST. (unit : μg/m<sup>2</sup>)

year	95		96	
	mean	O <sub>3</sub> high days	mean	O <sub>3</sub> high days
6	68.5	43.2 (63%)	78.9	67.4 (85%)
7	76.6	53.5 (70%)	53.8	51.4 (96%)
8	61.2	-	52.8	41.8 (79%)
9	62.5	49.7 (80%)	49.0	44.4 (91%)

시에 27.3 ppb의 농도를 나타내었다. 하지만 전체적으로 태풍 FAYE 만큼 높은 농도를 나타내지는 못했으며 점증적인 증가만이 나타났다. 이러한 오존은 발생원에서 공간적 이동을 한 후 되돌아온 오존으로 보기에 주간 농도보다 높고 또한 해륙풍의 형성이나 야간 역전층에 의한 고농도를 설명할 수 있는 기상상태도 되지 못했다.

### 3.3 야간 고농도 오존일의 총부유분진

역전층 파괴에 의한 연직혼합 또는 중규모의 이류 현상에 의한 공간적 이동의 결과로 나타난 야간의 지표면 오존 농도의 상승이라면 다른 물질과 화학반응 없이 이동하는 총부유분진(TSP)의 농도도 같이 높아야 한다고 추정된다. 하지만 새벽 3시 오존농도가 야간 고농도일의 새벽 3시 평균 농도보다 높은 날의 새벽 3시의 총부유분진의 농도를 조사한 결과 새벽 3시 월평균 TSP 농도의 최저 63%에서 평균 80% 정도를 나타내는(표 4) 것으로 부유분진의 측면서는 오히려 청정한 대기였다. 야간의 고농도 오존은 바람이 강하고 운량이 많고 기압이 낮은 저기압과 관계가 깊었고 이러한 날은 중규모 운동에 의한 오염물질의 이류와 역전층 파괴에 의한 연직 혼합과 같은 현상을 기대하기 어렵다.

## 4. 결 론

야간의 지표 오존 농도 상승에 대한 원인으로 중규모 이류현상에 의한 수평적 이동이나 야간 기온 역전층의 파괴에 의한 연직적 이동에 대한 논의가 이루어져 왔다. 본 연구에서는 부산의 하계 야간 고농도 오존에 관한 기상학적 배경을 밝히기 위해서 오존 농도와 기상요소와의 관계 그리고 일기도 분

석을 하였다.

95년과 96년의 6월~9월의 오존농도를 분석한 결과, 야간의 고농도 오존을 나타내는 날의 일평균은 그렇지 않은 날보다 평균 5.4 ppb 높았다. 그리고 야간 고농도일에는 야간 오존농도가 주간보다 높은 경우가 있었는데, 95년 7월과 96년 6월에 각각 1시 농도가 23.0 ppb와 30.7 ppb를 나타냈다.

새벽 3시의 오존 농도와 기후요소 사이의 상관관계는 풍속은 0.387, 기압은 -0.218, 운량은 0.194으로 비교적 상관성을 나타냈다. 따라서 일사가 없는 야간의 고농도 오존은 저기압과 관계가 있는 것으로 보이며, 연구 대상 월의 새벽 3시의 오존농도를 최고 높은 날들 가운데서 순차적으로 5일씩의 종관 기상 상황을 살펴본 결과, 부산은 기압골이나 저기압권 아래 대부분 위치하였으며 태풍이 주변에 있을 때 점증적인 야간 지표 오존의 증가 경향이 있었다.

새벽 3시를 기준으로 오존농도가 야간 고농도일의 평균 농도보다 높은 날의 TSP 농도는 월평균 농도의 약 80%이었다.

부산 하계의 야간의 지표 오존 농도의 상승은 종관규모의 바람장이 약한 경우의 중규모 현상에 의한 이류 현상이나 야간 역전층 파괴에 의한 혼합층 상부에 모인 오존의 연직 혼합과 같은 공간적 이동이 일어나기 어려운 저기압 기상장에서 더 많이 발생하였으며 기상장이 어떻게 야간의 지표 오존 농도의 상승을 유도하는가에 대한 이후의 연구가 필요하겠다.

## 참 고 문 헌

- 김영성 (1996), 1991~1993년 사이 우리나라의 오존농도 변화, 한국대기보전학회지, 12(1), 55-66.
- 이기원, 권숙표, 정 용 (1993), 서울시 대기 중 오존오염도의 연도별 변화와 그 영향인자 분석, 한국대기보전학회지, 9(1), 107-115
- 전병일 (1997), 부산연안역의 고농도 오존일의 예측기법 개발과 오존농도 수치모의, 부산대학교 박사학위논문, 117pp.
- 정 용, 장재연, 권숙표 (1986), 서울시 대기 중 오존의 오염도와 그 영향인자 분석, 한국대기보전학회지, 2(1), 73-79
- 환경부 (1997), 대기오염측정종합자료집, 16.
- 日本氣象廳 (1995, 1996), 天氣圖日記, 氣象.
- Cvitas, T., H. Gusten, G. Heinrich, L. Klasinc, D.P. Lalas, and M. Petrakis (1985), Characteristics of air pollution during the summer in Athens, Greece, *Staub-Reinhalt. Luft*, 45, 297-301.
- Liu, C.M., Shaw C Liu, and S.H. Shen (1990) A study of Taipei ozone problem, *Atmospheric Environment*, 24A, 1461-1472.
- Mizuno, T. and H. Yoshikado (1983) On some characteristics of the diurnal variation of O<sub>3</sub> observed in the island, urban and rural areas. *Atmospheric Environment*, 17, 2575-2582.
- Samson, P.J. (1978) Nocturnal ozone maxima. *Atmospheric Environment*, 12, 951-953.
- Zaveri, R.A., R.D. Saylor, L.K. Peters, R. McNider, and A. Song (1995) A model investigation of summertime diurnal ozone behavior in rural mountainous locations. *Atmospheric Environment*, 29, 1043-1065.