

공학석사 학위논문

부산연안의 야간 오존농도 분포
특성과 야간 고농도 오존
발생의 기상학적

메카니즘



이 논문을 환경공학 석사학위논문으로 제출함

2006년 2월

부경대학교 산업대학원

환경공학과

박좌행

이 논문을 박좌행의 공학석사
학위논문으로 인준함

2006년 2월 일

주 심 공 학 박 사

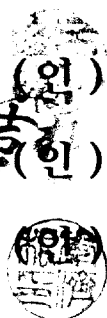
위 원 공 학 박 사

위 원 공 학 박 사

여 석 준 (인)

박 청 감 (인)

이 제 근 (인)



목 차

List of Tables	I
List of Figures	ii
Abstract	iii
 제 1 장 서 론	 1
 제 2 장 자료 및 연구방법	 6
2.1 연구대상 지역	6
2.2 연구방법	8
 제 3 장 분석결과	 11
3.1. 야간 고농도 오존발생 특성	11
3.2. 야간 고농도 오존과 기상요소와의 관련성	19
3.3. 2004년 4월 30일 고농도 오존에 대한 사례연구	24
 제 4 장 결 론	 41
 참고문헌	 43

List of Tables

Table 2-1. General information about Busan, 2000.	7
Table 2-2. Meteorological conditions for Busan, 1993-2000.	7
Table 2-3. Information of sixteen regional air quality monitoring sites in Busan, 2004.	10
Table 3-1. Number of simultaneous nocturnal ozone maximum day for July, 2002.~ June, 2004.	17
Table 3-2. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at October 19. 2002.	19
Table 3-3. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at March 27. 2003.	20
Table 3-4. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at May 25. 2003.	21
Table 3-5. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at April 30. 2004.	21
Table 3-6. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at Mat 19. 2004.	22
Table 3-7. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at June 7. 2004.	22
Table 3-8. Comparative index of meteorological parameters in the occasion days	23
Table 3-9. The precipitation and cloudiness for 29-30 April 2004.	34

List of Figure Captions

Fig. 2-1. Location of sixteen regional air quality monitoring sites in Busan, 2004.	10
Fig. 3-1. Occurrence frequencies of the daily maximum hourly ozone conc.	12
Fig. 3-2. Frequency distribution of nocturnal ozone maximum day in Busan during 0100LST~0500LST of July, 2002.~June, 2004. here, A: Gwangbok, B: Janglim, C: Gamjeon, D: Dukchon, E: Yonsan, F : Daeyon, G: Jaesong, H: Jonpo, I: Dongsam, J: Gijang, K: Daejeo, L: Bugok, M: Gwangan	17
Fig. 3-3. Diurnal variation of surface ozone concentration for 4days (April 28~May 1, 2004.) in Busan. (a) is about Gwangbok, Junpo, Gwangan and Noksan, (b) is about Dukchon, Daejeo, Bugok and Jaesong	25
Fig. 3-4. Surface weather maps for 0300 UTC 28 on (a) 0300 UTC 29 on (b) 1800UTC 29 on (c) 1800UTC 30 on (d) in April 2004. and 0300UTC 1 on (e) in May 2004.	28
Fig. 3-5. 500hPa weather maps for 1200 UTC 29 April 2004. on (a) and 0000 UTC 30 April 2004. on (b)	32
Fig. 3-6. 300hPa weather maps for 1200 UTC 29 April 2004. on (a) and 0000 UTC 30 April 2004. on (b)	33
Fig. 3-7. Diurnal variation Diurnal variation of Meteorological parameters in Busan on 29-30 April 2004.	36
Fig. 3-8. Diurnal variation of NO ₂ concentration for 4days(April 28~May 1, 2004.) in Busan. (a) is about Gwangbok, Jonpo, Gwangan and Noksan, (b) is about Dukchon, Daejeo, Bugok and Jaesong	40

Concentration Characteristics and Meteorological Formation Mechanism of Nocturnal Surface Ozone in Busan Coastal Area

Jwa-Haeng Park

*Department of Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

The object of this study is to investigate the distribution characteristics of nocturnal ozone concentration and analyse the meteorological mechanism about the formation of high nocturnal ozone concentration in Busan coastal area. To achieve this object, it has been utilized that the data monitored by 16 air quality monitoring sites in Busan during July, 2002 - June, 2004. the local measurements of meteorological parameters and weather maps on the occasion days has been also examined to result in a conclusion.

In a daily maximum ozone concentration, the highest occurrent frequency site was Gwangbokdong as 44.9% at night time(0100-0500LST) time(0100-0500LST) and the lowest was Gamjeondong as 16.2%.

In the frequency distribution about the daily maximum nocturnal ozone day, Gwangandong showed the most frequent site of the high level concentration range more than 30ppb as 47.2% and Gamjeondong

showed the lowest as 21.4%. The meteorological parameters like low daily maximum temperature, low daily diurnal range, high relative humidity, high cloud amount, low sunshine and low radiation were closely related to the occasion day in which nocturnal ozone concentration went up over 60ppb in above the seven sites at the same time.

On April 30th in 2004, the high level nocturnal ozone concentration was caused by entrainment of ozone from the upper layer of Atmospheric boundary layer where ozone is abundant to the surface area in which an unstable cold low pressure is prevalent.

제 1 장 서 론

오존오염은 전 지구적인 환경문제로 부각되고 있다. 고도 약 11Km에서 50Km까지의 성층권에서의 고농도 오존은 오존층을 형성하여 태양광선중의 자외선을 흡수하여 지구상의 생물을 보호해주는 역할을 한다(Jacobson, 2000). 그러나 인간이 주로 활동하는 지표면에서의 오존의 증가는 대기오염현상으로 대도시 광화학 스모그의 지표가 되며, 고농도 발생 시 호흡기 질환 및 천식악화, 생체면역감소, 식물의 성장방해와 잎의 탈색, 고무와 직물의 퇴색 등 인간과 동식물의 건강을 위협하고 재산상의 피해를 가져오게 된다. 또한 시정과 일사량을 감소시키고 온실가스로서 지구온난화에도 기여하게 된다.

오염된 도시대기에서의 일반적인 지표 오존농도의 일변화 특성은 아침에 증가해서 정오경에 최대농도가 나타나고, 저녁에 감소하는 경향을 보인다. 일반적으로 태양복사 에너지가 가장 강하고 NO_2/NO 의 비가 가장 큰 시간인 1400LST~1600LST경에 최고농도를 나타내고 저녁으로 갈수록 낮아져서 새벽인 0500~0600LST경에 최소농도를 나타낸다(Atkins, et al., 1972). 또한, 일종의 1차 최대 농도값은 정오경에 나타나고 2차 최대 농도값은 1400~1600LST에 나타나는 경우가 있는데, 이때의 1차 최대 농도값은 지역적인 원인에 의해 발생하고, 2차 최대 농도값은 주위로부터의 수송에 의한 결과이다(Ball, et al., 1978; Isaksen et al., 1978).

부산과 같은 해안지역의 고농도 오존 발생은 강한 태양복사에너지에 의한 광화학 반응의 활성화, 바닷물의 수증기 중 산소원자와 OH라디칼의 생성이 주요인이라 하였다(전, 2000). 부산지역의 지표오존농도는 0900LST부터 급상승하기 시작하여 1500LST를 전후하여 최고농도를 나타내며, 1800LST이후 급속히 농도는 낮아지며, 새벽 0200~0500LST 사이에 2차 Peak가 나타나기도 한다(전

등, 1995). 전 등(1997)은 국지풍을 이용한 부산 연안역에서의 광화학 반응 모델에 의한 오존농도 분포를 통해, 해풍의 영향으로 부산연안부근에 분포하던 고농도역이 오후가 되면서 내륙 깊숙이 진입하고 야간의 육풍에 의해 해양으로 이동·수송된다 하였다. 김 등(2002)은 광화학 수치모델인 UAM-V를 이용하여 부산지역 고농도 오존일의 오존농도의 시·공간적 변동을 모사해 해풍에 의한 오염물질의 수송이 도심 풍하측으로의 고농도역을 형성시킴을 보였다. 또한 늦은 오후에 발달하는 해풍이 인근해양과 연안지역에 축적된 오존을 도시에 유입시켜 이른 저녁까지 도시전역에 상당수준의 오존농도가 유지되는 역할을 하게 되고, 해풍이 충분히 발달한 이후에도 연안지역은 고도 1Km 부근에 100ppm 이상의 고농도 오존층이 존재하는 모습을 보였다(오 등, 2004).

이러한 지표오존농도의 수평적 수송에 의한 증가에 대한 연구와 더불어 대류에 의한 상층공기의 하강에 의한 고농도 지표오존 현상에 대한 연구가 최근 들어 활발하게 진행되어 오고 있다. 전(2001)은 부산연안역의 오존농도 일변화 중, 이른 아침의 급격한 오존농도 상승은 광화학 반응에 의한 것 보다는 전날 대기경계층내의 잔류오존이 연직하향 혼합에 의해 하층으로 유입되어 지표오존 농도에 영향을 미친것이라 판단하였다. 국외의 연구결과에서도 Kleinman et al.(1994)은 지표오존 농도는 대기경계층의 성장에 따른 상층공기의 유입으로 증가하는데 대략 고농도일의 이른 아침에 오존의 급작스러운 증가의 50%가 잔류층 오존의 유입에 의한 것이고 다른 50%는 화학적 생성에 의한 것임을 보였다. 이러한 유입의 원인은 일출 후 야간 역전층의 파괴에 의한 대기혼합고의 성장으로 이해할 수 있다.

종관규모의 대기운동, 중위도 기압계, 고기압/저기압시스템, 전선등과 관련하여 지표 및 대류권오존의 고농도 현상을 대류권뿐만 아니라 성층권에서 찾으려는 연구 또한 활발하게 진행되고 있다. 김 등(2002)은 부산지역 봄철 지표오존

고농도 현상의 주된 원인의 하나로 대류권계면 접합과 대류권내 공간적인 오존 수송으로 결론짓고 상부 대류권 부근인 300hPa 고도에서 한반도가 상층 제트 기류의 기압능과 기압골사이에 존재하고 지표부근에 고기압/저기압 시스템과 전선이 존재할 때 지표오존이 증가한다 하였다. 즉, 대기 상층에서 강한 제트기류와 전선이 통과할 때 대류권계면 부근의 안정도가 파괴되어 그 고도는 하강하게 되고 이와 동시에 성층권하부에서는 다량의 오존이 대류권하부로 침투하였음을 관측자료 및 수치모델링과 비교하여 주장하였다. 김 등(2002)은 또한 한반도내 오존의 연직분포와 상층 제트류와의 관련성을 조사하였으며, 이러한 상층 제트류와 관련된 오존의 성층권-대류권 교환에 기인한 상부 대류권 내 오존의 증가와 하향수송을 분석하였다.

한편, 신(2003)은 배경지역인 태안지역을 대상으로 전선 통과일을 분석하여 한랭전선 통과 전·후 지표부근 오존농도의 변화를 고찰하였는데 한랭전선의 통과가 반드시 지표오존농도의 상승을 동반하지는 아니함을 보였다. 즉, 전선통과 후 농도가 증가하는 경우는 24.4%였고 농도가 감소는 경우는 38.5%, 농도변화가 없는 경우가 35.9%였다. 전선통과 후 지표오존농도가 상승한 원인으로 저기압 중심의 평균 이동속도가 비교적 빠르고 상층에서는 강한 제트기류와 함께 발달한 기압골이 위치함에 따라 온도구배로 인한 상층에서 하층으로의 하강기류가 생성되었기 때문에 공간적인 오존수송이 가능하다 하였다.

또한, Johnson, et al.(1981)는 뇌우(thunderstorm)시 발생하는 하강기류로 인해 오존농도가 상승하기도 한다 하였다. 특히, 전(2003)은 기단성 뇌우 발생시 부산지역의 지표오존농도의 변화특성에 대한 고찰에서 뇌우가 발생한 시각에 기온의 하강과 습도의 상승과 더불어 오존농도가 상승함을 사례분석을 통해 확인하였다.

이상과 같이 지표오존농도에 대한 연구는 오존생성 전구물질들의 광화학 반

응에 의한 생성·소멸·축적 뿐 만 아니라 최근 들어 기상학적인 관점에서의 수평 및 연직 수송과 확산에 이르는 다양한 관점에서 수행되어 오고 있다. 이러한 여러 선행 연구들을 통해 햇빛이 없는 야간에 60ppb 이상의 고농도 오존이 발생하는 사례에 대한 여러 해석이 가능 할 것이다. 즉, 혹자는 전날 주간에 광화학적으로 발생한 오존이 혼합층의 성장에 따라 상부대기까지 도달해 야간 역전층 상부에 머물다가 다음날 새벽 강한 풍속의 연직혼합에 의해 역전층이 파괴되면 상층의 고농도 오존이 지표로 하향하여 새벽의 고농도 오존을 발생한다 할 수 있고, 혹자는 주간의 다른 지역에서 생성된 오염물질이 지역풍에 의해 수평적으로 수송되어 나타난 결과라고 해석 할 수 있거나, 대류권계면 상층으로 제트기류에 의한 대류권계면 접합현상에 의해 성층권의 풍부한 오존이 유입되어 상층대기의 기압골 형성으로 오존의 지표면 침강이 이루어 졌다고 설명할 수도 있을 것이다. 이처럼 지표면 오존의 고농도 현상은 기상학적 관점에서는 여러 가지 해석이 가능한데 이는 기상현상의 메카니즘과 영향인자가 매우 복잡다단하기 때문인 것으로 사료된다.

야간의 고농도 지표면 오존 현상에 대한 관심은 「왜 오존농도가 야간에 이렇게 높은가?」에서 출발한다. 더우기 그 농도가 인간의 건강에 악영향을 미칠 수 있는 정도이다. 60ppb의 농도는 천식환자나 호흡기계 질환자에게는 치명적일 수 있다. 이런 맥락에서 야간의 고농도 지표면 오존현상에 대한 연구의 의미가 있을것이다.

야간 고농도 오존 현상의 원인을 찾으려는 선행연구로서, 김 등(1998)은 하절기 부산지역에서의 일사가 없는 야간의 지표오존의 증가가 중규모 현상에 의한 이류현상이나 야간역전층 파괴에 의한 혼합층 상부에 모인 오존의 연직혼합과 같은 공간적 이동보다는 기압골이나 뚜렷한 저기압 기상장에서 더 많이 발생한다 하였고, 전(1999)은 새벽의 야간 고농도 오존은 강한 바람에 의한 풍속의 증

가에 의해 상층의 잔존오존이 지표오존을 상승시켰다고 하였다.

이에, 본 연구에서는 15개 대기자동측정망 자료를 통해 부산지역 야간 고농도 오존의 발생특성과 기상인자와 연관성 등을 분석해보고자 한다. 즉, 부산지역의 오존의 일 최고 농도분포를 통계적으로 살펴보고 각 측정망 지점의 오존농도 분포특성과 고농도 오존일의 오존농도 구간별 빈도를 살펴보고자 한다. 또한, 야간 고농도 오존일의 지점별 발생횟수를 알아보고 광역적으로 60ppb이상 고농도오존이 발생했을 때의 기상인자 및 지상·상층일기도와 관련하여 사례분석을 실시하여 야간 고농도 지표오존 발생의 원인을 파악해 보고자 한다.

제 2 장 자료 및 연구방법

2.1 연구대상 지역

부산은 한반도의 최남동에 위치하며 760Km²의 면적에 총인구의 7.9%가 거주하고 있는 우리나라 제 2의 대도시이다. 도시 내에는 복잡한 산악과 해안선을 가진 연안도시로 소반도와 섬 그리고 만입이 발달하는 리아스식 해안이 존재하며 배후에는 고도 500m 내외의 구릉성 산지가 독립적으로 분포하고 여기서 뻗쳐 나온 산악은 완만한 경사로서 해안에 몰입하고 있는 형태를 가지고 있다(김 등 2001). 서쪽외곽에는 산업시설인 사상공단과 신평공단이 위치해 있으며 상당량의 NOx(전체 배출량의 11.4%, 이 등 1999)배출원인 부산항이 남동쪽 해안을 따라 형성되어 있고, 주요 도로와 상업 및 거주지역이 해안선과 산안의 골을 따라 위치하고 있는 것이 특징이다.

NO₂와 HC의 배출량의 경우 각각 76,993톤, 13,286톤이 배출되고 있고(환경부, 2000), 배출원이 교통량이 집중되어 있는 서면지역을 중심으로 주도로를 따라 분포하고 있다(부산광역시, 2002). 도시 인근 외곽지역으로 부산 서쪽에 위치한 마산, 창원과 북동쪽의 울산 등지로부터의 오염물질 유입을 고려해 볼 수 있으나, 복잡한 지형으로 인해 그 작용이 활발하지는 못하다 볼 수 있다. 따라서, 부산은 장거리 수송의 영향이 아니라면 지역 내 대기오염 현상은 국지 배출에 의한 영향이 큰 비중을 차지할 수 있는 대기환경을 가지고 있다(오, 2003).

부산의 기상조건은 Table 2-2에 나타나 있듯이 높은 연평균 기온과 많은 강수량을 갖는 특징이 있다. 특징적으로 바다와 인접해 있어 기온 연교차가 작고, 풍속이 강하게 나타난다. 지형적 원인에 의한 국지적 강수현상이 자주 나타나

며 계절풍의 영향을 받는다. 여름철에는 강한 풍속의 해풍이 뚜렷하게 나타나는 특징을 보인다(오, 2003). 부산은 최근 동북아시아의 중심도시로 부각되며 급격히 도시화가 이루어지고 있어 배출량 및 도시기후의 변화가 큰 도시이다(환경부, 2001; 김 등, 2000). 특정 종관기상조건 하에서는 인근 중국과 일본으로부터 대기오염물질 장거리 수송의 영향이 존재할 수 있는 지리적 위치에 있기도 하다(오, 2003).

Table 2-1. General information about Busan, 2000.

Location (lat.,lon.)	Area (km ²)	Population		Gas emission [*] (ton yr ⁻¹)	
		Number	% of total	NO ₂	HC
35.06N, 129.02E	759	3,662,884	7.9	76,993	13,286

(Source: Korea National Statistical Office, * Ministry of Environment)

Table 2-2. Meteorological conditions for Busan, 1993-2000.

Daily mean temperature(°C)	Annual total precipitation(mm)	Daily mean wind speed (m s ⁻¹)
15.1±0.59	1,517±499	3.8±0.13

부산지역의 대기오염자동측정망은 2002년 상반기에 보다 효율적인 유지관리를 위해 그 운영주체가 환경부 낙동강유역환경청에서 부산시 보건환경연구원으로 이관되었다. 2004년 12월 현재 지역대기 측정망은 16개소, 도로변 측정망은 2개소이다.

2.2 연구방법

본 연구에서는 대도시인 부산 연안역의 야간 고농도 오존의 발생특성을 고찰하기 위해서 2002년 7월부터 2004년 6월까지 2년간의 환경부 및 부산시 보건환경연구원에서 운영 중인 부산지역 16개 지역대기오염자동측정망에서 측정한 시간별 대기오염 농도 자료를 이용하였으며, 종관기압배치 및 기상분석을 위해 기상청의 AWS 기상인자 측정자료와 지상·상층 일기도를 이용하였다. 대기오염 측정자료는 매 5분 동안의 측정기 평균자료로부터 1시간 평균자료를 생산한 것이다.

조사대상 측정지점은 광복동, 장림동, 감전동, 덕천동, 연산동, 대연동, 재송동, 전포동, 동삼동, 기장읍, 대저동, 부곡동, 광안동, 복천동, 녹산동등 15개 지점을 그 대상으로 하였다. 복천동 지점은 2002년 12월, 녹산동 지점은 2004년 1월 설치되었기 때문에 제 3장 3절의 2004년 4월 30일 사례연구 대상으로만 포함하였고 나머지 연구대상에는 제외하였다. 또한 용수리 지점은 2004년 9월 설치된 측정소로 본연구 대상에서는 제외되었지만 Fig. 2-1에는 나타내 부산지역 측정소 현황을 알수있도록 했다. 도로변 측정지점인 온천동과 초량동 지점은 도로변 측정망으로 지역대기오염측정망의 측정자료와는 다른 대기오염현상 특성을 보이므로 제외하였다. 덕천동 지점은 환경부에서 직접 유지관리를 하고 있고 나머지 대기오염측정망의 유지관리는 부산시 보건환경연구원에서 환경관리공단과 측정기유지관리용역계약을 체결하여 주 1회 통상점검, 측정자료 이상시 수시점검, 년 1회 정기점검과 정도검사를 실시하고 있다.

본 연구에서는 고농도 오존을 60ppb 이상이라 정의하고 그에 대한 분석을 행하였는데, 이 농도에서는 천식을 가진 환자의 증세가 더욱 악화될 정도의 오염도이다. 야간고농도 오존일은 하루(24시간) 오존농도 관측치 중 0100LST부터 0500LST사이에 1차 최대 농도 값이 발생한 날을 선정하여, 그 발생특성과 기상

학적 관련성을 고찰하였다. 이후부터 0100LST부터 0500LST사이의 새벽시간을 본 연구에서는 “야간”으로 표현한다. 특히 7개 지점에서 동시에 60ppb를 초과하여 야간 고농도 오존을 나타낸 2004년 4월 30일을 야간 고농도 오존일 사례 연구 대상으로 선정하고, 이 날로 부터 3일전과 1일 후까지 4일간의 오존농도 자료, NO₂농도자료 그리고 기상자료를 비교하여 기상학적으로 어떠한 요인이 작용하여 야간 고농도 현상이 발생하였는지를 체계적으로 고찰하였다.

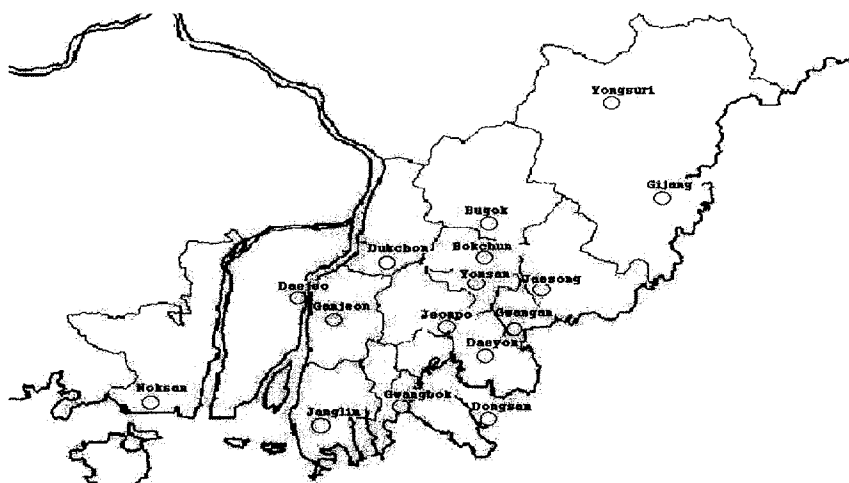


Fig 2-1. Location of sixteen regional air quality monitoring sites in Busan, 2004.

Table 2-3. Information of sixteen regional air quality monitoring sites in Busan, 2004.

Site	Location	TM
Gwangbok	Gwangbok-dong office, Gwangbok-dong, Jung-gu	202.978, 177.869
Janglim	Saha women's wellbeing office, Janglim-dong, Saha-gu	197.305, 176.098
Gamjon	Gamjon 1-dong office, Gamjon 1-dong, Saha-gu	198.340, 183.905
Dukchon	Nakdong river basin environmental office, Dukchon 1-dong, Buk-gu	201.310, 192.110
Yonsan	Yonje elementary school, Yonsan 5-dong, Yonje-gu	207.342, 187.288
Daeyon	Busan technical high school, Daeyon 1-dong, Nam-gu	207.903, 181.179
Jaesong	Jaesong 1-dong office, Jaesong 1-dong, Haeundae-gu	211.237, 187.534
Jonpo	Gyeongnam technical high school, Jonpo-dong, Busanjin-gu	206.051, 183.779
Dongsam	Korea maritime university, Dongsam-dong, Yongdo-gu	208.641, 175.289
Gijang	Gijang elementary school, Gijang-eup, Gijang-gun	219.322, 194.453
Daejeon	Gangseo-gu community health center Daejeon 2-dong, Gangseo-gu	196.272, 186.576
Bugok	Bugok 2-dong office, Bugok 2-dong, Geumjeong-gu	208.576, 192.252
Gwangsan	Busan institute of health and environment office Gwangsan 1-dong, Suyong-gu	209.841, 183.905
Bokchon	Dongnae-gu office, Bokchon-dong, Dongnae-gu	207.809, 189.569
Noksan	Samsung-electronic-corporation, Songjeong-dong Gangseo-gu	186.531, 177.650
Yongsuri	Jeonggwan-myon office, Jeonggwan-myon, Gijang-gun	216.280, 202.825

제 3 장 분석결과

3.1. 야간 고농도 오존발생 특성

Fig.1은 2002년 7월부터 2004년 6월까지 2년간 일 최고 오존농도가 발생한 시각의 빈도를 지점별로 조사하여 나타낸 것이다. 13개 지점 모두 광화학 반응이 가장 활발한 시간인 1200LST부터 1800LST사이에 가장 높은 발생률을 나타냈다. 주간(1200LST~1800LST)에 가장 높은 발생을 나타낸 지역은 대저동으로 73.2%이었고, 다음으로 감전동이 72.7%이었으며, 덕천동이 68.9%이었다. 가장 낮은 발생율을 나타낸 곳은 광복동(44.9%)이었고, 다음이 동삼동과 전포동으로 똑같이 59.5%을 나타냈다. 또한 야간으로 선정한 0100LST부터 0500LST시간대에 가장 높은 발생률을 나타낸 곳은 주간에 가장 낮은 발생을 나타낸 광복동(35.2%)이었으며, 다음이 전포동(27.5%)이었다. 또한 가장 낮은 발생률을 나타낸 곳은 주간에 대체로 높은 발생을 나타낸 감전동 (16.2%)이었고 다음이 대저동 (16.5%), 동삼동(17.2%)이었다.

이처럼 각 측정 지점별로 일중 최고농도 발생빈도의 경향이 다르게 나타나는데 이는 해안과 산악이 복잡하게 발달한 부산의 지형적 특성에서 기인하는 것으로 사료된다. 기인되는 오염물질의 발생원과 기상 및 지형적인 영향등에 대한 분석을 통해 보다 면밀하게 검토해야 할 것으로 판단된다.

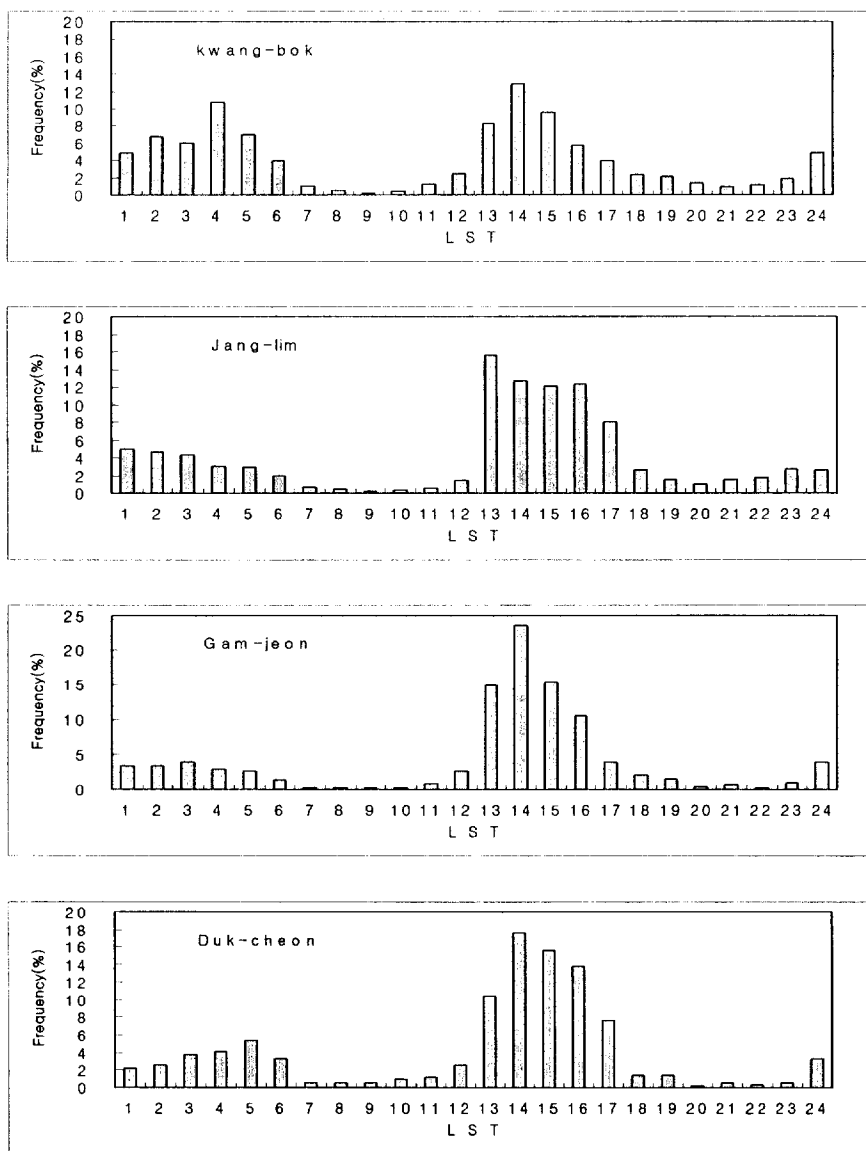


Fig. 3-1. Occurrence frequencies of the daily maximum hourly ozone conc.
in Busan. July. 2002. - June. 2004.

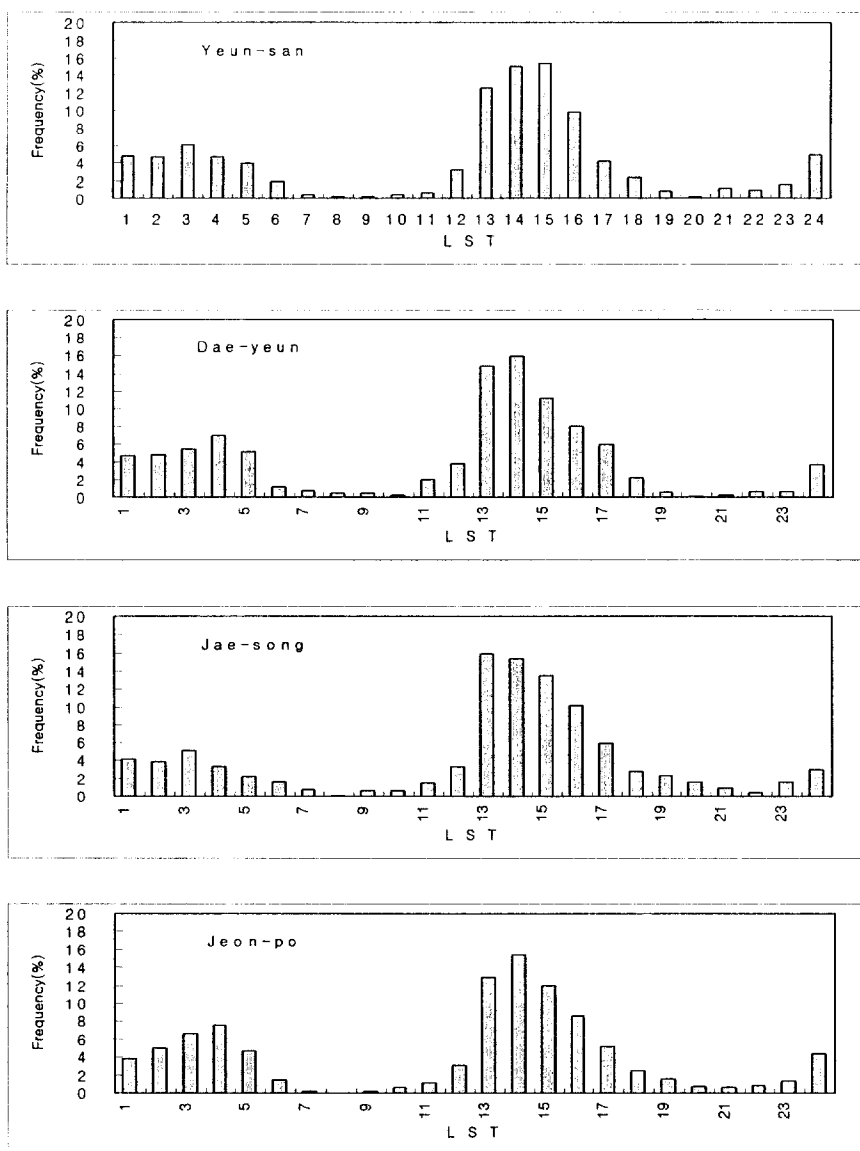


Fig. 3-1 . Occurrence frequencies of the daily maximum hourly ozone conc. in Busan. July, 2002. - June, 2004.

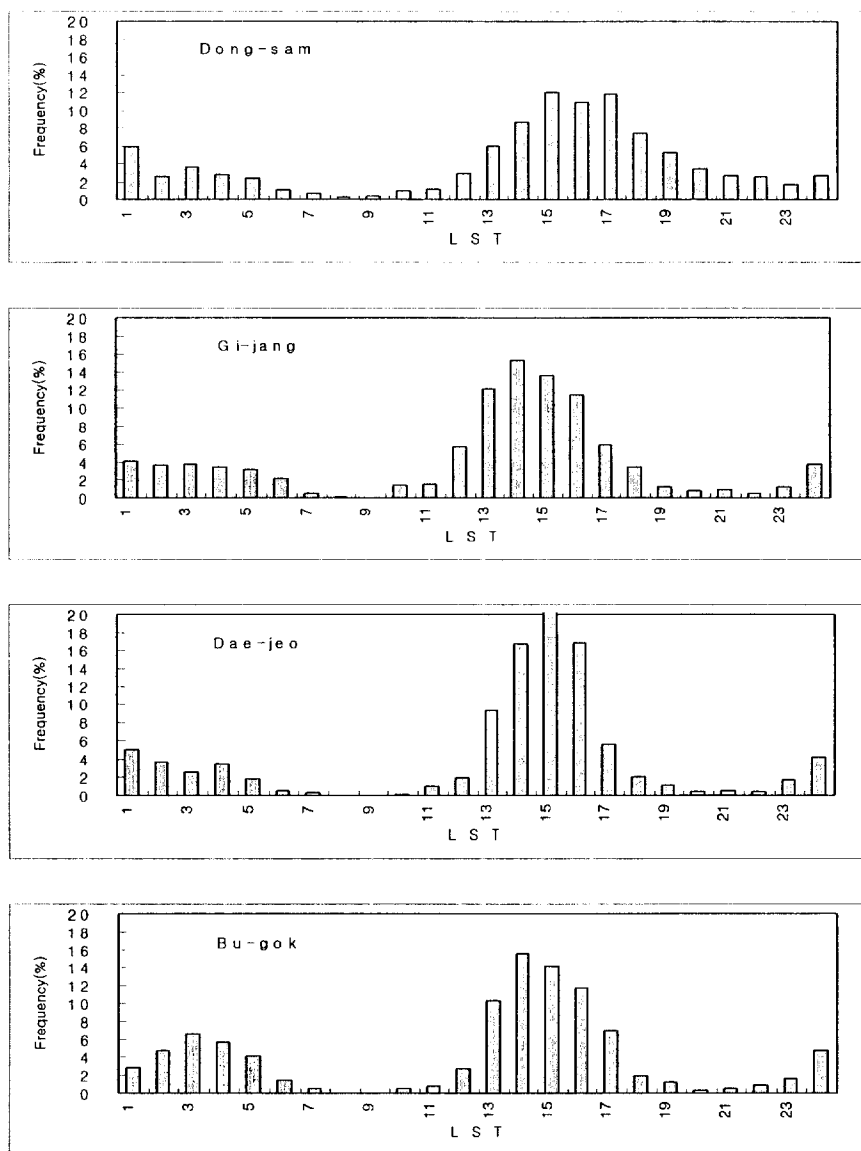


Fig. 3-1 . Occurrence frequencies of the daily maximum hourly ozone conc.
in Busan. July. 2002 - June. 2004.

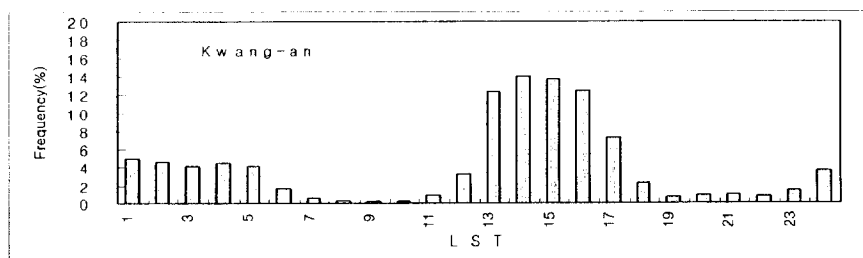


Fig. 3-1 . Occurrence frequencies of the daily maximum hourly ozone conc.
in Busan. July. 2002. - June. 2004.

Fig. 3-2는 부산지역 2003년 7월부터 2004년 6월까지의 야간(0100LST~0500LST) 오존농도를 계급별로 나누어 발생분포를 지역별로 조사한 것이다. 부산의 연평균 오존농도의 경우 주간 25ppb, 야간의 경우 15ppb정도인 것으로 알려져 있으므로, 본 연구에서는 비교적 낮은 농도인 20ppb미만에서부터 10ppb간격으로 구분하여 그 발생특성을 조사하였다.

20ppb미만의 빈도는 감전동이 60.7%로 가장 높았고 광안동이 29.4%로 가장 낮은 발생률을 나타내었다. 비교적 고농도인 30ppb이상을 나타낸 곳은 광안동이 47.2%로 가장 높은 발생률을 나타내었고 감전동이 21.4%로 가장 낮게 나타났다. 즉, 해안지역인 광안동지점이 야간의 고농도 오존 발생빈도가 육상지역인 감전동 지점보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 다른 11개 지점들의 발생빈도가 해안에서 육상으로 갈수록 높아지는 경향을 나타내지는 않았기 때문에 해안지역과 육상지역을 구분하여 분포특성을 일반화시키기는 어려웠다.

세계보건기구(WHO) 권고기준인 60ppb이상의 발생률은 덕천동이 1.8%(42회)로 가장 높았고, 이어 광복(1.4%, 48회), 기장(1.0%, 36회), 재송(1.0%, 35회), 전포(1.0%, 33회) 순으로 나타났다.

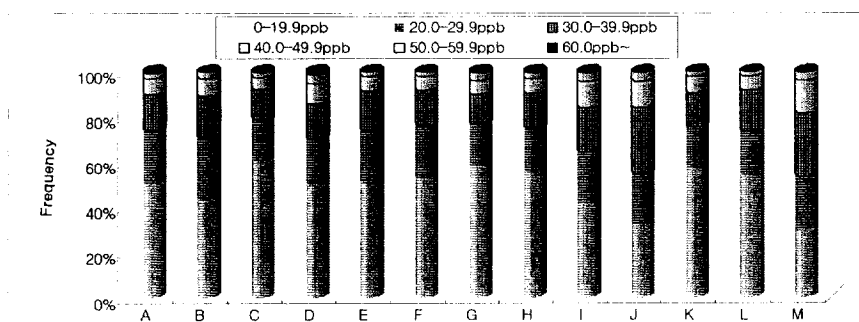


Fig. 3-2. Frequency distribution of nocturnal ozone maximum day in Busan during 0100LST~0500LST of July, 2002~June, 2004. here, A: Gwangbok, B: Janglim, C: Gamjeon, D: Dukchon, E: Yonsan, F: Daeyon, G: Jaesong, H: Jonpo, I: Dongsam, J: Gijang, K: Daejeo L: Bugok, M: Gwangan

Table 3-1. Number of simultaneous nocturnal ozone maximum day for July, 2002~June, 2004

Term	1pt.	2pt.	3pt.	4pt.	5pt.	7pt.	8pt.	9pt.	total
The last half of 2002	13	2	-	-	-	1	-	-	16
The first half of 2003	9	3	2	1	2	1	-	1	19
The last half of 2003	-	1	-	-	-	-	-	-	1
The first half of 2004	7	5	-	3	2	1	1	1	20
total (730day)	29	11	2	4	4	3	1	2	56
percentage(%)	4.0	1.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.1	0.3	7.7

Table 3-1은 부산지역 13개 지점의 시간별 오존 농도 자료를 이용하여 60ppb 이상 야간 고농도 오존이 동시에 발생한 지점수를 조사한 것이다.

2002년 7월부터 2004년 6월까지 2년간(730일) 60ppb이상 고농도 야간 오존 현상이 1개 지점만 발생한 날이 29일(4.0%)로 가장 많은 비율을 차지했다. 그리고 2개 지점에서 발생한 날이 11일로 1.5%이었고, 3개 지점 2일(0.3%), 4개 지점 4일(0.5%), 5개 지점 4일(0.5%), 7개 지점 3일(0.4%), 8개 지점 1일(0.1%), 9개 지점 2일(0.3%)이었다. 세계보건기구(WHO)의 권고기준인 60ppb 이상의 야간 고농도 오존일의 발생일이 56일로 전체 730일중 7.7%를 차지했다. 7개 이상의 측정지점에서 동시에 야간 고농도오존 현상이 나타났다는 것은 부산 전역이 오존의 광역적인 오염권의 영향 하에 들어간 것으로 판단되므로 이에 대한 대책마련이 필요할 것으로 사료된다.

3.2. 야간 고농도 오존과 기상요소와의 관련성

2002년 7월부터 2004년 6월까지 7개 지점 이상에서 동시에 60ppb이상 야간 고농도 오존이 발생한 날이 2002년 10월 19일, 2003년 3월 27일, 2003년 5월 25일, 2004년 4월 30일, 2004년 5월 19일, 2004년 6월 7일로 총 6일이다. Table 3-2부터 Table 3-7은 각 발생일의 3일전부터 1일후 까지 4일간의 기상청에서 측정한 기상요소의 변화특성을 조사한 것이다.

Table 3-2. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at October 19. 2002.

Parameters	-2days	-1day	the day	+1day
Maximum temp.(℃)	25.2	22.1	18.2	17.3
Minimum temp.(℃)	16.1	17.1	16.6	13.8
Diurnal range(℃)	9.1	5	1.6	3.5
Relative humidity(%)	62.6	84.8	87.8	85.5
Mean wind speed(m/s)	2.2	2.2	6.3	6.7
Mean cloud amount(1/10)	0	9.1	9.8	10
Duration of sunshine(hr)	7.4	0	0	0
Radiation on surface(MJ/m ²)	13.8	4.4	2.3	3.4

2002년 10월 19일의 경우 고농도 오존일 당일 최고기온은 하루 전날보다 3.9℃ 하강하였고 바로 다음날도 0.9℃하강하였으며, 최저기온은 전날에 비해 0.5℃하강하고 다음날은 2.8℃ 하강하였다. 일교차는 고농도 오존일이 1.6℃로 전날에 비해 3.4℃이나 낮고 다음날은 3.5℃로 1.9℃상승하였다. 또한 상대습도의 경우 87.3%로 전날보다 3.0% 높았으며, 풍속은 6.3m/s로 전날보다 4.1m/s 증가하였으며, 운량의 경우 9.8(1-10)로 전날보다 0.7(1-10) 증가하였으며, 일조시간과 수평일사량은 전날부터 2일전 보다 현저히 감소했다.

Table 3-3. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at March 27. 2003.

Parameters	-2days	-1day	the day	+1day
Maximum temp.(℃)	17.7	18.3	17.5	15.1
Minimum temp.(℃)	8.8	8.3	6.5	4.3
Diurnal range(℃)	8.9	10.0	11.0	10.8
Relative humidity(%)	54.7	46.6	52.7	45.6
Mean wind speed(m/s)	2.4	4.1	4.7	3.9
Mean cloud amount(1/10)	2.0	1.8	4.2	4.6
Duration of sunshine(hr)	8.6	9.5	6.1	8.1
Radiation on surface(MJ/m ²)	9.2	1.3	8.0	14.1

2003년 3월 27일의 경우 고농도 오존일 당일 최고기온은 하루 전날보다 0.8℃ 하강하였고 바로 다음날도 2.4℃하강하였으며, 최저기온은 전날에 비해 1.8℃하강하고 다음날도 2.2℃ 하강하였다. 일교차는 고농도 오존일이 11.0℃로 전날에 비해 1.0℃ 상승했고 다음날은 10.8℃로 0.2℃ 하강하였다. 또한 상대습도의 경우 52.7%로 전날보다 6.1% 높았으며, 풍속은 4.7m/s로 전날보다 0.6m/s 증가하였으며, 운량의 경우 4.2(1-10)로 전날보다 2.4(1-10) 증가하였으며, 일조시간은 6.1hr로 전날보다 3.4hr 감소했고 수평일사량은 전날보다 증가했다.

2003년 5월 25일의 경우 고농도 오존일 당일 최고기온은 하루 전날보다 2.9℃ 하강하였고 바로 다음날은 0.9℃ 상승하였으며, 최저기온은 전날에 비해 1.6℃하강하고 다음날은 15.1℃로 변화가 없었다. 일교차는 고농도 오존일이 2.7℃로 전날에 비해 1.3℃ 낮고 다음날은 3.6℃로 0.9℃ 상승하였다. 또한 상대습도의 경우 94.1%로 전날보다 15.5% 높았으며, 풍속은 4.6m/s로 전날보다 2.8m/s 증가하였으며, 운량의 경우 10.0(1-10)으로 2일전보다 6.8(1-10), 전날보다는 0.4(1-10) 증가하였으며, 일조시간은 0시간, 수평일사량은 전날보다 4.7MJ/m² 증가했다.

Table 3-4. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at May 25. 2003.

Parameters	-2days	-1day	the day	+1day
Maximum temp.(℃)	24.0	20.7	17.8	18.7
Minimum temp.(℃)	14.8	16.7	15.1	15.1
Diurnal range(℃)	9.2	4.0	2.7	3.6
Relative humidity(%)	66.5	78.6	94.1	87.2
Mean wind speed(m/s)	1.3	1.8	4.6	3.9
Mean cloud amount(1/10)	3.2	9.6	10.0	7.3
Duration of sunshine(hr)	8.7	0.0	0.0	0.1
Radiation on surface(MJ/m ²)	14.3	13.5	18.2	19.4

Table 3-5. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at April 30. 2004.

Parameters	-2days	-1day	the day	+1day
Maximum temp.(℃)	20.0	20.8	19.3	19.7
Minimum temp.(℃)	5.8	12.3	13.6	12.2
Diurnal range(℃)	14.2	8.5	5.7	7.5
Realative humidity(%)	54.9	50.1	72.5	60.4
Mean wind speed(m/s)	4.5	4.9	3.3	4.1
Mean cloud amount(1/10)	0.3	1.5	9.4	8.0
Duration of sunshine(hr)	11.3	10.9	0.6	8.1
Radiation on surface(MJ/m ²)	25.8	25.2	11.5	22.2

2004년 4월 30일의 경우 고농도 오존일 당일 최고기온은 하루 전날보다 1.5℃ 하강하였고 바로 다음날은 0.4℃ 상승하였으며, 최저기온은 전날에 비해 1.3℃상승하고 다음날은 1.4℃ 하강하였다. 일교차는 고농도 오존일이 5.7℃로 전날에 비해 2.8℃ 낮아졌고 다음날은 10.8℃로 1.8℃ 상승하였다. 또한 상대습도의 경우 72.5%로 전날보다 22.4% 높았으며, 풍속은 3.4m/s로 전날보다 1.6m/s 감소하였으며, 운량의 경우 9.4(1-10)로 전날보다 7.9(1-10) 증가하였으며, 일조시간은 0.6hr로 전날보다 크게 감소했고 수평일사량도 전날보다 감소했

다.

2004년 5월 19일의 경우 고농도 오존일 당일 최고기온은 하루 전날보다 2.6℃ 하강하였고 바로 다음날은 0.2℃ 상승하였으며, 최저기온은 전날에 비해 1.1℃상승하고 다음날은 0.8℃ 하강하였다. 일교차는 고농도 오존일이 5.7℃로 전날에 비해 3.7℃ 낮아졌고 다음날은 10.8℃로 1.0℃ 상승하였다. 또한 상대습도의 경우 66.1%로 전날보다 6.3% 높았으며, 풍속은 5.0m/s로 전날보다 0.6m/s 증가하였으며, 운량의 경우 7.5(1-10)로 전날보다 3.1(1-10) 증가하였으며, 일조시간은 0.5hr로 전날보다 8.9hr 감소했고 수평일사량도 전날보다 감소했다.

Table 3-6. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at May 19, 2004.

Parameters	-2days	-1day	the day	+1day
Maximum temp.(℃)	20.5	21.6	19.0	19.2
Minimum temp.(℃)	14.4	13.5	14.6	13.8
Diurnal range(℃)	6.1	8.1	4.4	5.4
Relative humidity(%)	68.4	59.8	66.1	81.4
Mean wind speed(m/s)	5.6	4.4	5.0	4.1
Mean cloud amount(1/10)	7.6	4.4	7.5	7.6
Duration of sunshine(hr)	7.7	9.4	0.5	1.2
Radiation on surface(MJ/m ²)	21.1	24.4	5.9	12.2

Table 3-7. Characteristic of meteorological parameters of 4days from -2days to +1day at June 7, 2004.

Parameters	-2days	-1day	the day	+1day
Maximum temp.(℃)	26.2	27.8	20.7	22.8
Minimum temp.(℃)	17.1	18.0	15.0	15.5
Diurnal range(℃)	9.1	9.8	5.7	7.3
Relative humidity(%)	43.0	44.9	75.0	72.9
Mean wind speed(m/s)	1.4	3.3	2.4	2.1
Mean cloud amount(1/10)	2.4	5.6	10.0	9.1
Duration of sunshine(hr)	12.8	8.1	0.0	1.9
Radiation on surface(MJ/m ²)	26.2	22.6	2.8	14.2

2004년 6월 7일의 경우 고농도 오존일 당일 최고기온은 하루 전날보다 7.1℃ 하강하였고 바로 다음날은 2.1℃ 상승하였으며, 최저기온은 전날에 비해 3.0℃ 하강하고 다음날은 0.5℃ 상승하였다. 일교차는 고농도 오존일이 5.7℃로 전날에 비해 4.1℃ 낮아졌고 다음날은 7.3℃로 1.6℃ 상승하였다. 또한 상대습도의 경우 75.0%로 전날보다 30.1% 높았으며, 풍속은 2.4m/s로 전날보다 0.9m/s 감소하였으며, 운량의 경우 10.0(1-10)으로 전날보다 4.4(1-10) 증가하였으며, 일조시간과 수평일사량은 전날보다 크게 감소하였다.

Table 3-8. Comparative index of meteorological parameters in the occasion days

the day	Max. Tem		Min. Tem		diurnal range		relative humidity		wind speed		cloudiness		sunshine		radiation	
	-1 day	+1 day	-1 day	+1 day	-1 day	+1 day	-1 day	+1 day	-1 day	+1 day	-1 day	+1 day	-1 day	+1 day	-1 day	+1 day
5.19.2002.	>	>	>	>	>	<	<	>	<	<	<	<	-	-	>	<
3.27.2003.	>	>	>	>	<	>	<	>	<	>	<	<	>	<	<	<
5.25.2003.	>	<	>	-	>	<	<	>	<	>	<	>	-	<	<	<
4.30.2004.	>	<	<	>	>	<	<	>	>	<	<	>	>	<	>	<
5.19.2004.	>	<	<	>	>	<	<	<	<	>	<	<	>	<	>	<
6. 7.2004.	>	<	>	<	>	<	<	>	>	>	<	>	>	<	>	<

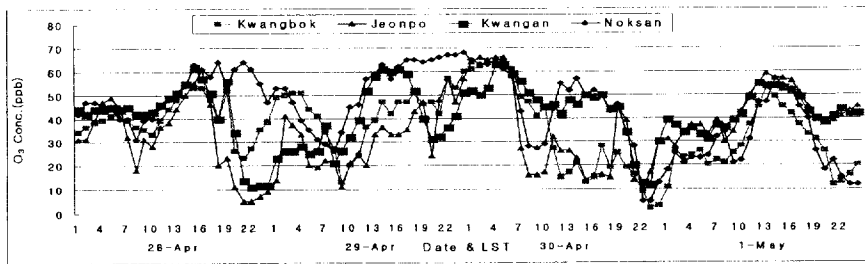
※ '<' : increse, '>' : decrease, '-' : changeless

Table 3-8은 6개 사례일 전후의 기상요소들의 변화양상을 나타낸 것이다. 요약해 보면 60ppb이상 야간 고농도 오존일이 나타나기 전에는 대체로 일기가 양호한 상태로서 광화학반응에 의한 정상적인 오존의 일변화인 주간의 고농도와 야간의 저농도가 나타난다. 그러나 야간 고농도 오존이 발생하기 전부터 전날보다 낮은 최고온도, 대체로 낮은 일교차, 상대습도의 증가, 많은 운량과 짧은 일사시간을 나타내는 흐리거나 비가 내리는 저기압의 영향이 나타남을 엿볼 수 있다.

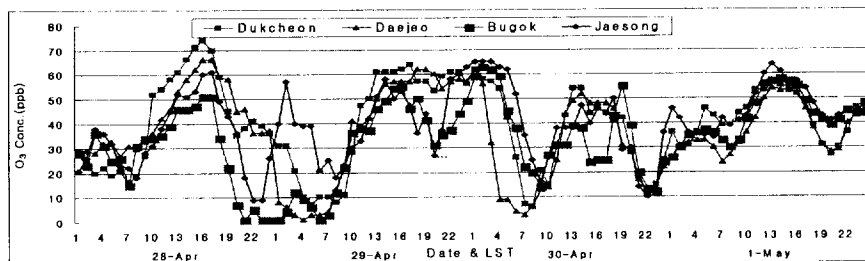
3.3. 고농도 오존에 대한 사례연구(2004. 4.30.)

Fig. 3-3은 2004년 4월 28일부터 5월 1일까지의 오존농도의 일변화를 나타낸 것이다. 4월 30일의 새벽에 주간보다 높은 농도를 나타낸 것을 알 수 있다. 즉 0500LST경에 광복동 64ppb, 전포동 66ppb, 광안동 63ppb, 녹산동 65ppb, 덕천동 62ppb, 대저동 62ppb, 부곡동 63ppb 그리고 채송동은 65ppb를 나타내는 등 부산지역 8개 지점에서 모두 새벽 0500LST경에 일중 최고 농도를 나타낸 것이다. 야간 고농도 오존 발생 2일전과 1일전의 농도는 낮 시간에 최고농도, 밤 시간에 최저농도를 나타내는 전형적인 일변화를 나타낸다. 대체로 1500LST경에 최고농도를 나타내고 1800LST이후 급속히 농도가 낮아지다가 다음날 0900LST부터 다시 상승하기 시작한다. 1800LST이후 오존 농도 감소원인은 자동차 배기가스중의 NO가 NO₂로의 산화 과정에서 주간의 광화학 반응으로 생성된 오존을 소모했기 때문으로 설명할 수 있다.

특히, 야간 고농도 오존 전날 다른 지점에 비해 비교적 바다와 멀리 떨어진 덕천, 대저, 부곡 지점의 경우 0100~0500LST에 일중 2차 Peak가 나타나지 않았지만 나머지 다른 지역에서는 일중 2차 Peak가 0100~0500LST에 나타났다. 이는 지역적인 영향 또는 국지풍인 해륙풍 순환에 의한 영향으로 사료된다. 즉, 부산의 경우, 도시 내 존재하는 많은 산들로 인해 골을 따라 이동하는 복잡한 기류를 가지고 있는데 연안 역에 형성되는 해풍전선의 느린 이동이 해안선 가까운 지역에서의 오존의 축적 및 수평분포에 영향을 미칠 수 있다(김, 2002).



(a)



(b)

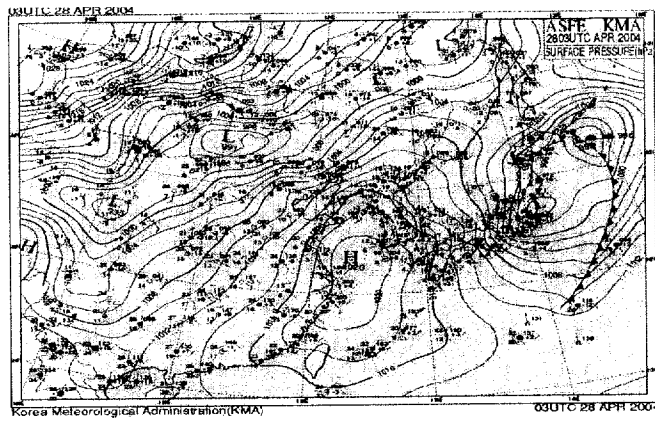
Fig. 3-3. Diurnal variation of surface ozone concentration for 4days(April 28-May 1, 2004.) in Busan. (a) is about Gwangbok, Junpo, Kwangan and Noksan, (b) is about Dukchon, Daejeo, Bugok and Jaesong

Fig. 3-4는 야간 고농도 오존발생 사례연구 대상일인 2004년 4월 30일 전·후의 4일간의 기상청 방재기상정보시스템(mesky.kma.go.kr)에서 제공하는 지상·상층 일기도이다. 지상일기도는 지상에서 관측한 기상요소를 기입하여 분석한 것으로, 고/저기압이나 전선등의 위치를 파악하고 바람, 기온, 기상현상등의 분포를 파악하는데 유용하여 각종 예보에 이용된다. 상층일기도는 지상 부근인 1000mb 등압면 일기도보다 높은 고도에 대한 등압면 일기도를 일컫는데, 기압계의 수직구조를 알기위한 입체분석의 수단으로 수행된다. 상층일기도는 또한 상층의 기압계가 지상기압계의 변화에 선행되어 일어나는 경우가 많기 때문에 그 변화를 분석하여 지상의 일기변화를 예측하는데 이용할 수 있다. 500hPa 일기도는 대류권 중층인 5~6km 높이의 일기로 대기운동의 평균적인 상태를 보여주며 지상의 고기압, 저기압, 전선, 태풍, 호우등과 밀접한 관계를 가지고 있어서 상층 일기도 중에서 대표적인 일기도이고, 300hPa 일기도는 대류권 상층인 지상 약 10km 고도면의 일기도를 나타내며 주로 제트기류 분석에 이용된다.

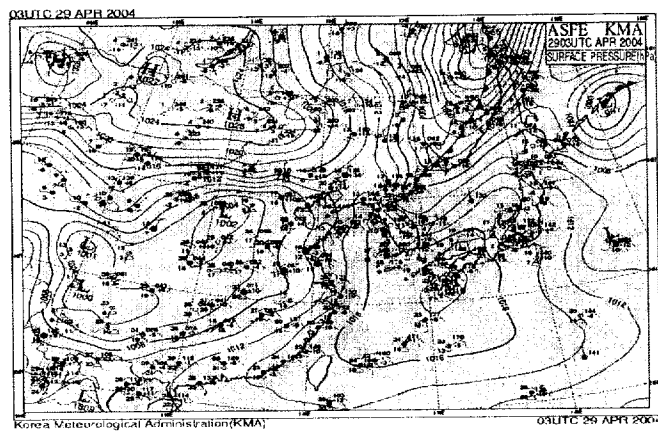
4월 28일 03UTC(AM 12KTC) 지상 일기도를 살펴보면, 부산지역은 동지나해에 중심을 두고 있는 이동성 고기압의 영향을 받아 맑은 날씨를 보이고 있다. 다음날인 29일 03UTC(AM 12KTC)에도 이 고기압이 동쪽으로 이동하면서 부산지역에 영향을 미쳐 맑은 날씨를 나타내고 있으나 중국 내륙에서는 저기압이 발달하여 우리나라 쪽으로 이동해 오고 있으며 동해상은 한랭전선의 후면에 위치에 간접적인 영향을 받고 있다. 29일 18UTC(AM 03KTC)경 부산을 비롯한 우리나라는 중국대륙에 발달한 저기압과 일본열도에서 올라온 동해상의 한랭한 저기압의 영향하의 매우 흐린 날씨를 나타내고 있고, 주변에는 기압골이 형성되어 대기는 불안정한 상태이다. 30일 03UTC (AM12KTC)에도 한반도를 비롯한 부산은 구름이 많은 흐린 날씨를 나타내다가 5월 1일 03UTC(AM 12KTC)부

터 북쪽에서 이동해온 고기압의 영향으로 날씨가 다시 맑아지기 시작했다.

Table 3-9를 참고하면 29-30일 양일간 강수현상은 일어나지 않았으나 29일 1600LST부터 점차 날씨가 흐려지기 시작했고 다음 날인 30일 0700LST부터는 운량이 10으로 담천상태로 구름 낀 일기가 지속되었다.

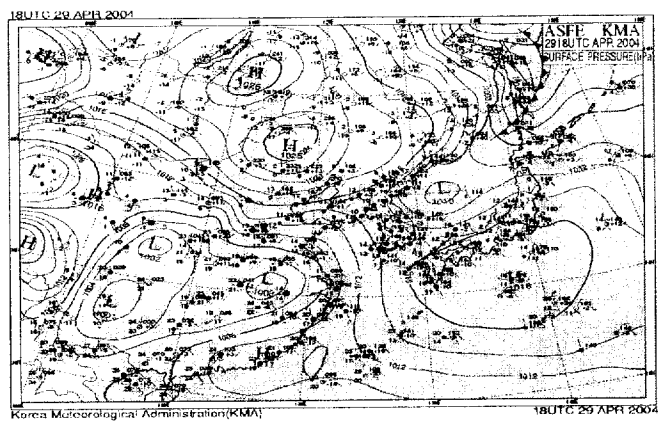


(a)

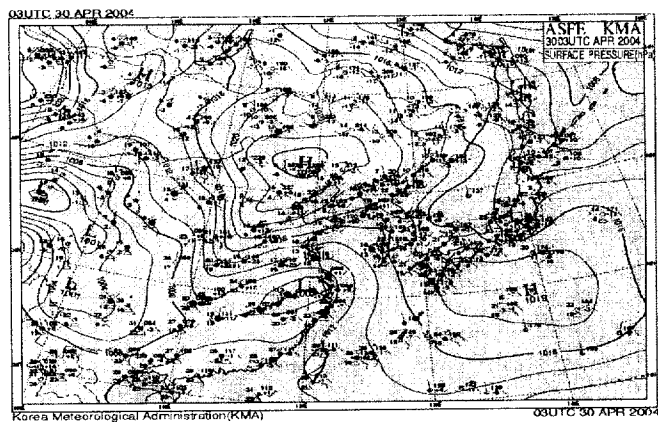


(b)

Fig. 3-4. Surface weather maps for 0300 UTC 28 on (a)
0300 UTC 29 on (b) 1800 UTC 29 on (c) 1800 UTC
30 on (d) in April 2004 & 0800 UTC 1 on (e) in May 2004.

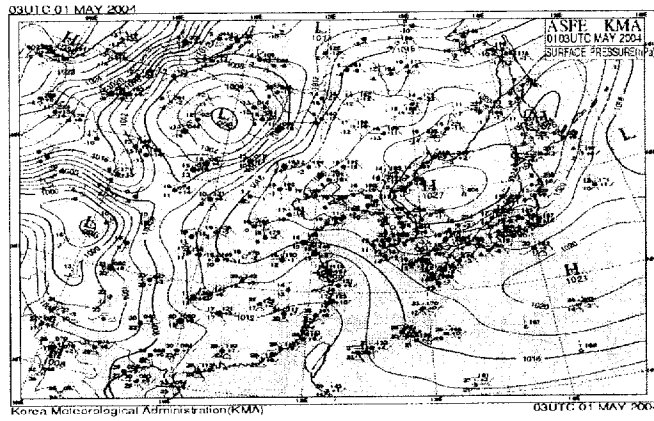


(c)



(d)

Fig. 3-4. Surface weather maps for 0300 UTC 28 on (a)
0300UTC 29 on (b) 1800UTC 29 on (c) 1800UTC
30 on (d) in April 2004 & 0300UTC 1 on (e) in May 2004

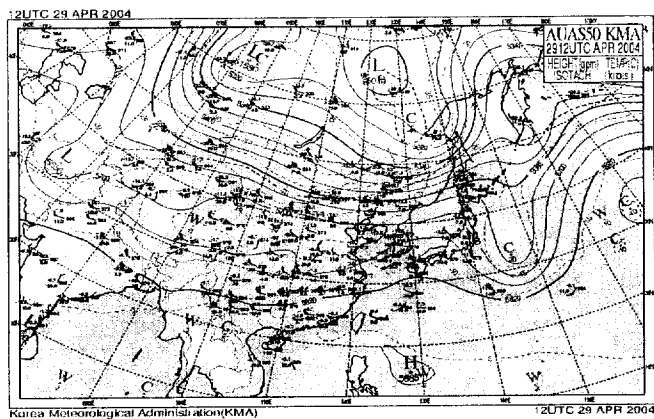


(e)

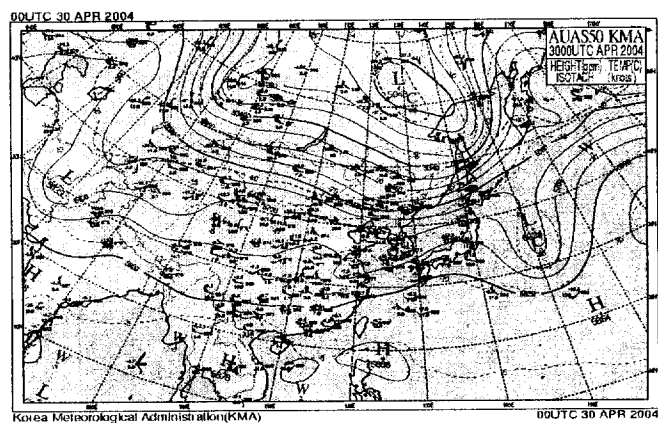
Fig. 3-4. Surface weather maps for 0300 UTC 28 on (a)
0300UTC 29 on (b) 1800UTC 29 on (c) 1800UTC
30 on (d) in April 2004 & 0300UTC 1 on (e) in May 2004

4월 29일 1200UTC(PM 21KTC)의 상층 500hPa 상층 일기도 Fig. 3-5(a)를 보면 북만주 연해주 접경지역에 걸쳐 기압골이 뻗어 있고 일본 동부해상에 분리 저기압(cut-off low)이 존재한다. Fig. 3-5(b)의 30일 0000UTC(PM09KTC)에는 한반도 상공으로 약한 기압골이 지나면서 연해주 상공 기압골 후면의 한랭한 공기의 이류와 서남풍의 강풍(27m/s)이 발생했다고 볼 수 있다. 또한, 한반도 남부지역에 29일 1200UTC에 500hPa 등압면이 5760~5820gpm 고도가 분포하였지만, 30일 0000UTC에는 5700~5760gpm 고도가 분포하고 등온선 또한 남하한 것으로 보아 상층공기의 한랭이류가 발생했음을 짐작할 수 있다.

또한, 상층 제트기류의 흐름은 300hPa 상층 일기도를 통해 알아 볼수 있는데, Fig. 3-6(a)에서 4월 29일 2100LST에 한반도 상공의 좌측과 우측에 제트기류가 형성됨을 엿볼 수 있다. 또한, 제트기류 출구 우측과 입구 좌측에는 하강기류가 발생하므로 한반도 상공의 대기흐름은 강한 하강기류가 있음을 알 수 있다. 따라서, 대기 경계층(지상1~2km)상층의 풍부한 오존이 한랭이류에 의해 연직적으로 하향 수송되고 지상의 기압골로 인한 대기의 불안정은 지표면까지의 수송이 용이하도록 함으로써 결국 지표면 고농도 오존이 발생했다고 판단된다.

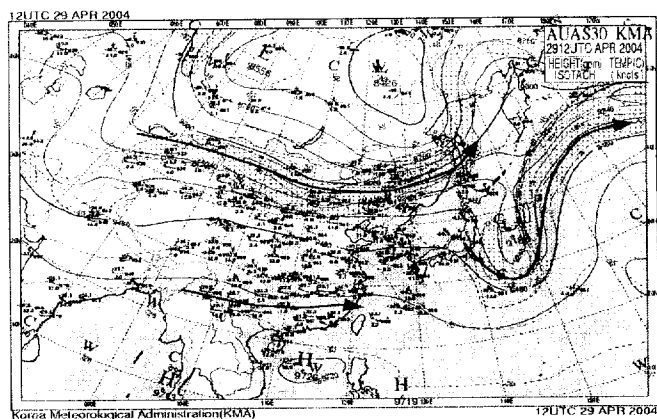


(a)

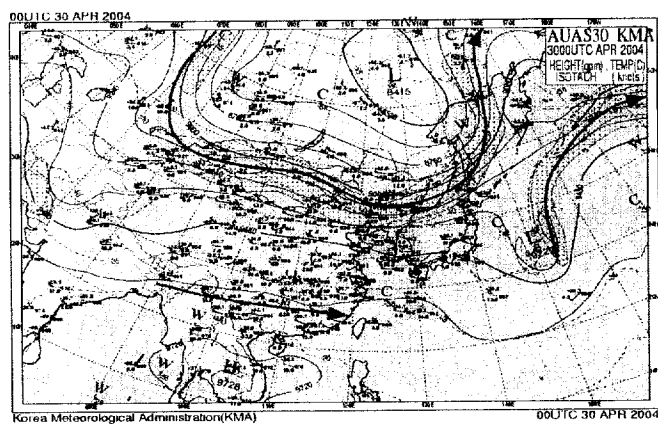


(b)

Fig. 3-5. 500hPa weather maps for 1200 UTC 29 April 2004. on (a) and 0000 UTC 30 April 2004. on (b)



(a)



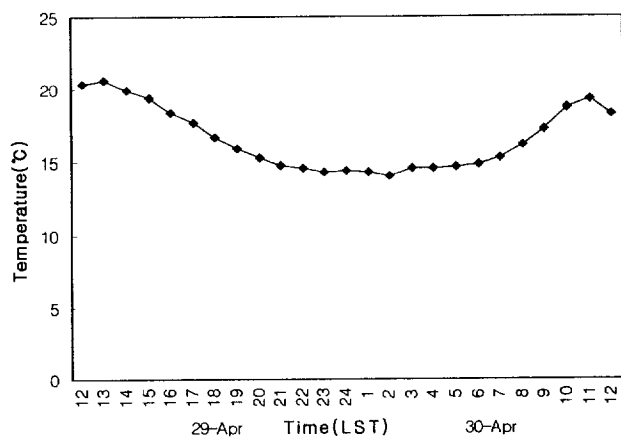
(b)

Fig. 3-6. 300hPa weather maps for 1200 UTC 29 April 2004 on (a) and 0000 UTC 30 April 2004 on (b)

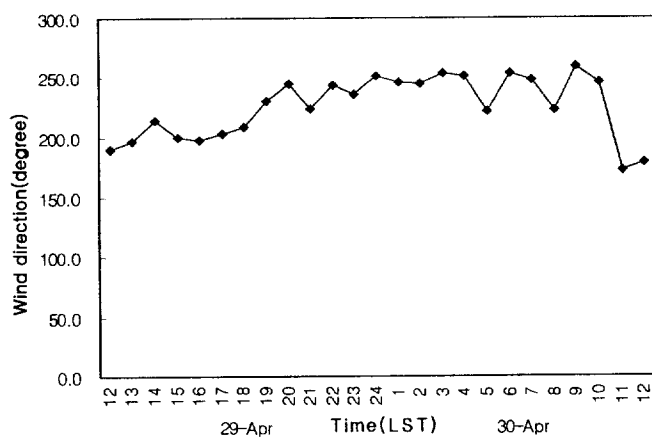
Table 3-9. The precipitation and cloudiness for 29-30 April 2004.

Month	day	Time(LST)	Precipitation	Cloudiness
4	29	1300	0	
4	29	1400	0	0
4	29	1500	0	
4	29	1600	0	
4	29	1700	0	5
4	29	1800	0	
4	29	1900	0	
4	29	2000	0	2
4	29	2100	0	
4	29	2200	0	
4	29	2300	0	5
4	29	2400	0	
4	30	0100	0	
4	30	0200	0	8
4	30	0300	0	
4	30	0400	0	
4	30	0500	0	8
4	30	0600	0	
4	30	0700	0	
4	30	0800	0	10
4	30	0900	0	
4	30	1000	0	
4	30	1100	0	10
4	30	1200	0	

Fig. 3-7.는 사례일인 29일 1200LST부터 30일 1200LST사이의 기상요소인 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 기압의 시간별 변화를 나타낸 것이다. 기온을 보면 29일 1300LST이후부터 동해상의 한랭한 저기압에 의한 영향으로 30일 0200LST에 14.1℃까지 낮아지다 이후 일정수준을 유지하다가 아침 0700LST부터 상승하기 시작했다. 풍향을 보면, 일본열도의 고기압과 동해상의 저기압의 변두리에 위치하여 서남풍 계열의 바람이 우세하였고, 풍속은 29일 낮 동안 비교적 강한 최고 7.8m/s의 바람이 불다가 저녁에 약화되었다가 30일 0300~0400LST에 4.8~4.9m/s를 나타냈다. 상대습도는 29일 오후 들어 날씨가 흐려지기 시작하면서 증가하기 시작하여 30일 새벽 0500LST에는 80%까지 증가했다. 또한 기압은 29일 1800LST에 1013.5mb의 최저점 이후 서서히 상승하기 시작했다.

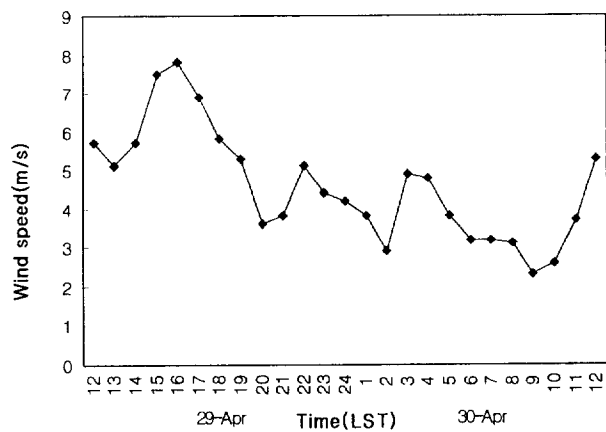


(a)

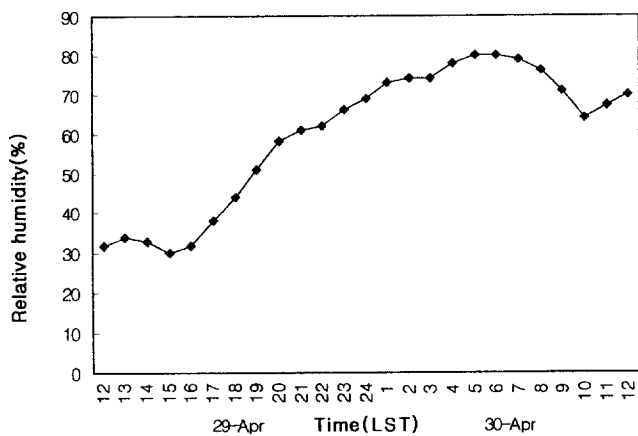


(b)

Fig. 3-7. Diurnal variation of Meteorological parameters, in Busan on 29-30 April 2004.

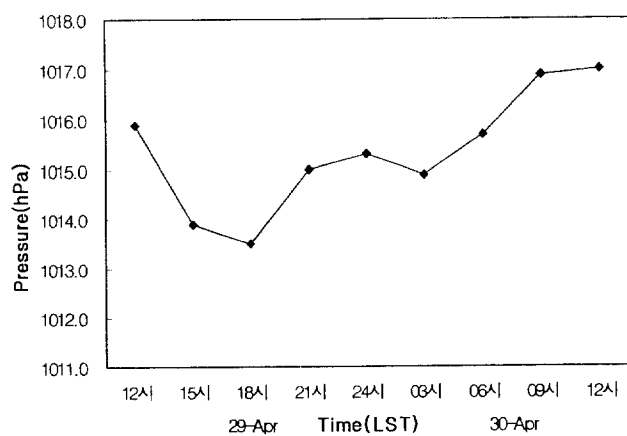


(c)



(d)

Fig. 3-7. Diurnal variation of Meteorological parameters, in Busan on 29-30 April 2004.

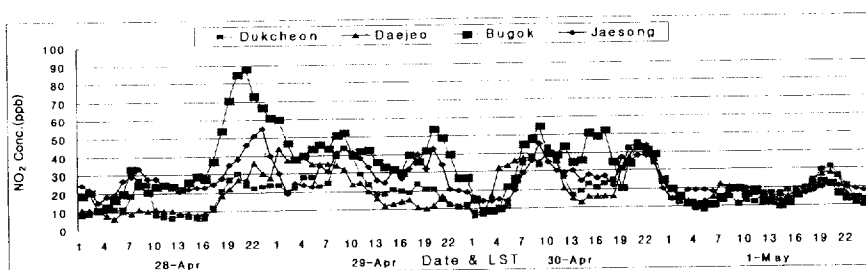


(e)

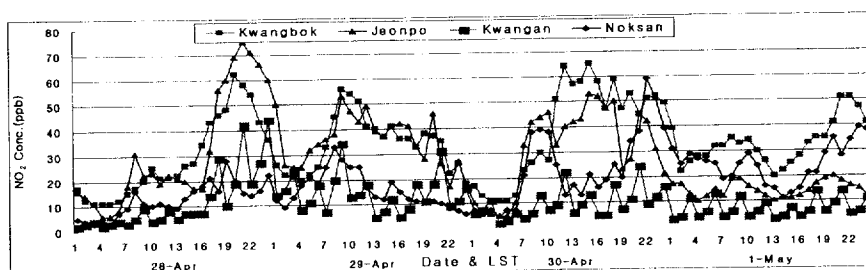
Fig. 3-7. Diurnal variation of Meteorological parameters in Busan on 29-30 April 2004.

Fig. 3-8은 고농도 오존 발생 사례연구 대상일인 2004년 4월 30일 전·후의 4일간의 NO₂의 일변화를 나타낸 것이다. 부산지역의 경우 일반적인 NO₂의 일변화는 0800LST~1000LST와 1900~2100LST에 고농도를 나타내는 이중(double) 최대 농도 값을 나타내고 있다. 야간 고농도 오존 발생일 전인 4월 28일과 4월 29일은 위와 같이 정상적인 일변화를 하고 있다. 그리고 4월 28일 오후의 부곡동과 전포동의 NO₂는 70ppb를 초과하는 고농도를 나타내고 있다.

야간 고농도 오존 발생일인 4월 30일 새벽의 NO₂농도도 4월 28일과 4월 29일 새벽 NO₂농도의 패턴과 유사하게 0100~0500LST에 일중 최저값인 10ppb내외의 값을 나타내고 있다. 여기서 야간 고농도 지표오존 현상이 나타날 때 NO₂농도가 낮아지는 것을, 강한 연직순환에 의해 낮은 농도의 NO₂를 포함한 상층의 공기의 하강이 그 원인이라고 판단하기는 어렵다. 왜냐하면 0100~0500LST의 새벽 시간에는 인위적인 활동에 의한 오염원 발생이 거의 없는 시간으로 PM-10, SO₂ 및 자동차로 인한 NO₂의 농도 역시 일중 가장 낮은 시간대이기 때문이다. 하지만 상층공기의 유입에 의한 NO₂농도하강의 개연성 또한 충분히 있다고 사료된다.



(a)



(b)

Fig. 3-8. Diurnal variation of NO_2 concentration for 4days(April 28~May 1, 2004.) in Busan. (a) is about Gwangbok, Jonpo, Gwangan and Noksan, (b) is about Dukchon, Daejeo, Bugok and Jaesong

제 4 장 결 론

본 연구에서는 2002년 7월부터 2004년 6월까지 2년간의 부산 연안역의 야간 고농도 오존의 발생특성과 사례일의 기상자료 분석을 통해 야간고농도 오존발생의 메카니즘을 파악해 보고자 하였다. 이를 위해 부산지역 대기오염측정망의 시간별 오존과 NO₂측정자료 등 대기오염자료와 기상청의 AWS에서 관측된 기온, 풍향, 풍속, 일사량, 강수량 자료를 사용하였으며, 지상·상층일기도 분석 및 기상인자 분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 야간의 오존농도가 60ppb이상으로 7개 지점 이상에서 동시에 발생한 6개 사례일의 기상인자별 특성에 대한 분석을 통해 야간 고농도 오존이 발생하는 날은 전날보다 일 최고기온의 감소, 일교차의 감소, 상대습도 및 운량의 증가 그리고 일사시간이 짧아지는 흐리거나 비가 내리는 기상특성을 나타냈다.
- 2) 사례일(2004.04.30.) 전날까지 일기는 양호한 상태로 광화학 반응에 의한 정상적인 오존의 일변화인 오후 1400LST경 고농도와 2200LST경 저농도를 나타낸다. 야간 기온역전 발생으로 지표면의 오존은 질소산화물에 의해 분해되지만 대기혼합에 의해 대기경계층(지상 1~2km)에는 주간에 생성된 풍부한 오존이 잔류하게 되된다. 즉 역전층 상층에는 파괴되지 않은 고농도의 오존이 남아있게 된다. 한편, 300hPa, 500hPa 일기도를 통해 지상 10km 상공에 제트기류에 의한 대기의 연직 하강기류가 발생하고, 지상 5~6km 상공은 상층공기의 한랭이류가 발생한다. 때마침 지표면에 형성된 한랭한 저기압의 기압골로 인해 대기는 강한 바람이 부는 불안정한 상태

이다. 이로 인해 야간 역전층이 약화되어 오존이 풍부한 대기경계층의 상층대기가 하층 지표면으로 쉽게 이동하여 지표면 오존 증가 현상을 유발했다고 판단된다.

이상과 같은 결과에서 부산연안의 야간 오존농도 분포특성과 사례일 분석을 통한 야간 고농도 오존 발생의 기상학적 원인에 대해 알아보았다. 물론, 보다 명확한 원인해석과 실태파악을 위해서는 공간적 농도분포 연구에 필수적인 항공기 및 오존존데 등을 이용한 대기 상층의 오존농도 측정이 요구되고 모델링 기법을 통한 정량적인 연구가 병행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김경환, 김선태, 김정옥, 1993, 동북아시아 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(4), 329-339.
- 김유근, 문운섭, 송상근, 2002, 상층 제트기류와 관련한 성층권과 대류권 오존의 교환, 한국기상학회지, 38(6), 531-545.
- 김유근, 문운섭, 송상근, 오인보, 2002, 대류권오존의 연직수송과 관련한 부산지역 고농도오존 사례분석, 한국기상학회지, 28(4), 307-317.
- 김유근, 문운섭, 오인보, 황미경, 2002, 서울 및 부산지역에서 기온과 국지풍이 지표 고농도 오존 발생에 미치는 영향, 한국기상학회지, 38(4), 319-331.
- 김유근, 오인보, 황미경, 2002, UAM-V를 이용한 부산지역 고농도 오존사례 수치 모의, 한국대기환경학회지, 19(1), 1-11.
- 김유근, 이화운, 오인보, 2001, 부산지역의 오존오염, 한국환경과학회지 봄 학술 발표지, 10, 32-34.
- 김유근, 홍정혜, 1998, 야간 지표 고농도 오존에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14(6), 545-554.
- 부산광역시, 2002, 부산광역시 대기환경개선 실천 계획 수립-최종보고서.
- 신성일, 2002, 한반도 배경지역 전선통과와 관련한 지표 오존농도 변화특성, 부산대학교 석사학위논문, 80pp.
- 오인보, 2003, 대도시지역 고농도 오존발생의 기상학적 메카니즘: 관측자료 분석과 수치모델링 연구, 부산대학교 박사학위논문, 10pp.
- 오인보, 김유근, 황미경, 2004, 연안도시지역 해풍지연이 오존분포에 미치는 영향, 한국대기환경학회지, 20(3), 345-360.
- 이화운, 김유근, 원경미, 조인숙, 1999, 연안의 선박오염배출을 포함한 부

- 산지역의 대기오염물질 배출량 산정, 한국대기환경학회지, 15, 587-598.
- 전병일, 1999, 부산연안역의 야간 고농도 오존발생 특성과 기상학적 관련성, 한국환경과학회지, 8(3), 287-292.
- 전병일, 2000, 부산해안지역의 고농도 오존 발생특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 9(4), 295-302.
- 전병일, 2001, 부산연안역의 대기경계층내 잔류 오존의 연직하향혼합에 의한 지표 오존농도의 변화특성, 한국환경과학회지, 10(6), 417-422.
- 전병일, 2003, 기단성 뇌우 발생시 지표오존농도의 변화특성, 한국환경과학회지, 12(4), 419-426.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1995, 부산지역의 오존농도 특성과 기상인자에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 11(1), 45-56.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1997, 부산연안역의 국지풍모델을 이용한 오존농도의 수치모의, 한국환경과학회지, 6(4), 335-350.
- 환경부, 2000, 대기오염물질 배출량 1999, 34pp.
- 환경부, 2001, 환경통계연감, 2001, 99pp.
- 홍성길, 1998, 기상분석과 일기예보, 교학연구사, 102pp.
- 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
- 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, 1391-1401.
- Isaksen, I.S., et al. 1978, Ozone generation over rural areas, Envir. Sci.

Technol., 12, 1279-1284.

Johnson, W.B. and W. Viezee, 1981, Stratospheric ozone in the lower troposphere- I . Presentation and interpretation of air craft measurments. Atmos. Environ., 15, 1309-1323.

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.

Mark Z.Jacobson, 2000, Atmospheric pollution-history, science, and regulation, The Press Syndicate of The University of Cambridge, 277pp