

## 광양만권의 오존농도 특성과 시·공간적 분포

### On Characteristics of Surface Ozone Concentration and Temporal · Spatial Distribution in Kwangyang-Bay

하 훈\* · 이상득<sup>1)</sup> · 이중기 · 박찬오 · 문태룡<sup>1)</sup>  
전라남도보건환경연구원, <sup>1)</sup>목포대학교 환경공학과  
(2006년 5월 8일 접수, 2006년 7월 19일 채택)

Hoon Ha\*, Sang-Deug Lee<sup>1)</sup>, Joong-Ki Lee,  
Chan-Oh Park and Tae-Ryong Mun<sup>1)</sup>

*Jellanamdo Institute of Health and Environment*

<sup>1)</sup>*Department of Environmental Engineering, Mokpo National University*

(Received 8 May 2006, accepted 19 July 2006)

#### Abstract

In order to understand the characteristics of surface ozone concentration and high O<sub>3</sub> concentration days, regional data from seven air quality monitoring stations which were operated by local governments were analyzed. Regional characteristics of O<sub>3</sub> concentration were analyzed with the data of O<sub>3</sub> concentration and the characteristics of O<sub>3</sub> generation and weather conditions by the selection of the days in which the concentration was higher than 80 ppb. In the case of daily variation, the lowest O<sub>3</sub> concentration was shown in all regions from 7am to 8am and the highest around at 4 pm. The monthly variation of mean O<sub>3</sub> concentration and  $\Delta O_3$  values revealed a reducing pattern in July and August following the peak in June, and again a gradual increasing trend in September and October. The result shows that the amount of ozone is dependent on photochemical reaction.

The days of O<sub>3</sub> generated more than 80 ppb in the region of Gwangyang-bay were 544 days (1,760 hrs). The frequency of occurrence in the region revealed a strong pattern with the order of Samil-dong, Jinsang, and Gwangmu-dong stations in the Gwangyang region. However, Tein-dong, which is the nearest station to air pollution material generation source, showed the lowest frequency in the study area. Consequently, the meteorological parameters which can easily generate the high concentration of O<sub>3</sub> in the region of Gwangyang-bay are characterized as follows; atmospheric temperature which is higher than 19°C, relative humidity with the range of 60~85%, the less average wind velocity than 5 m/s, cloud cover which is less than 5/10, and the more duration of sunshine than 8 hours.

**Key words** : Surface ozone concentration, Ozone concentration, Meteorological parameters, Kwangyang-bay

---

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)62-360-5371, E-mail : waterha123@hanmail.net

## 1. 서 론

전남 동부권에 위치하고 있는 광양만권은 여수중화학공단, POSCO 광양제철소, 한국남부발전 등에서 배출되는 인위적인 배출원인 질소산화물(NOx)과 휘발성유기화합물(VOCs)이 태양광과 반응하여 2차적으로 생성된 오존(O<sub>3</sub>) 등에 의해 매년 대기질이 악화되고 있는 실정이다. 광양만권에서 배출되는 오존전구물질인 NOx와 VOCs는 발전소를 포함한 산업체에서 배출되는 양이 61,204 ton/yr과 2,251 ton/yr으로 82.7%와 32.2%를 차지하고 있어 이들이 차지하는 비율이 다른 지역에 비해 월등하게 높은 편이다(전라남도, 2004). 그 동안 환경부는 이 지역을 대기보전특별대책지역('96. 9. 환경부 고시 제96-165호)과 대기환경규제지역('99. 12. 환경부 고시 제99-191호)으로 지정·고시하여 석유정제 및 석유화학제품에 대하여 VOCs 배출억제 및 방제시설을 설치하도록 하였다. 최근에는 지자체와 함께 POSCO 광양제철소를 비롯한 15개 사업체 대표와 향후 5년(2006~2010) 동안 이 지역 대기오염물질(PM10, NOx, SO<sub>2</sub>) 배출량을 13%를 삭감하기 위한 “광양만권 5-13 자발협약”(전라남도, 2005)을 체결하였다. 이와 같이 정부와 지자체의 노력으로 1차 대기오염물질인 SO<sub>2</sub>와 PM10은 꾸준히 감소하는 추세를 보이고 있으나, 산업체에서 월등하게 많이 배출되는 NOx, 지형적인 특성 및 기상적인 요인에 의해 생성되는 오존과 고농도 오존 출현빈도는 매년 증가하고 있는 추세이다. 또한, 울촌공단 조성과 여수산단 확장에 따라 가동되는 산업체의 증가에 따라 대기환경오염과 광화학 스모그 및 오존농도의 증가가 예상된다.

오존은 광화학 스모그의 주요 생성물로서 고농도에 장기간 노출되면 점막의 자극, 호흡기 질환 등 인간의 건강과 농작물, 동·식물에 심각한 영향을 주며, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 함께 지구의 온실효과를 일으키는 기체상 대기오염물질로 잘 알려져 있다(일본환경성, 1993).

기존 연구경향을 보면, 전병일 등(1995)은 부산지역 오존은 오전 9시부터 급상승하기 시작하여 15시를 전·후하여 최고 농도분포를 형성한다고 하였으며, 일 최고 8시간 평균 오존농도와 고농도 발생일의 수평분포를 조사한 결과, NOx 배출원이 집중되어 있

는 산업지역과 도심지를 중심으로 낮은 농도, 풍하측에서는 고농도 오존이 발생되고 있다(오인보와 김유근, 2002). 또한, 공간적으로는 도시 풍하 측에서 광화학반응과 농도 축적으로 인해 고농도 오존이 출현함을 암시하고 있는데, 김영성(2000) 등은 서울의 오존농도 상승은 서쪽(풍상측)에서 불어오는 서풍의 존재와 함께 전구물질의 국지적 수송 및 축적에 관련이 있다고 언급하였다.

기존의 연구는 대부분 서울과 부산지역을 중심으로 한 대도시로 한정되어 있으며, 산업시설이 밀집되어 있는 지역과 복잡한 지형으로 형성된 임해지역에 대한 시·공간적인 오존농도 변화 분석에는 다소 미비하였다.

따라서, 본 연구는 배출강도와 복잡한 지형으로 형성된 광양만권의 오존생성 메커니즘을 해명하기 위하여 7개 대기오염 측정망에 대한 3년간(2003~2005년까지) 관측한 시간별 O<sub>3</sub> 농도 자료를 이용하여 O<sub>3</sub> 농도의 일변화와 관측소별 농도 특성을 분석하였다. 또한, 80 ppb 이상 고농도 O<sub>3</sub> 발생에 대한 시간별, 월별, 지역별 빈도 등을 조사하여, 이를 바탕으로 배출원 특성, 지리적 환경 및 기상학적 요인이 고농도 O<sub>3</sub> 발생에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 대상지역 및 분석자료

### 2.1 대상지역

광양만권은 생활환경 및 공단에서 배출되는 대기오염물질의 관리차원에서 여수시의 광무동, 삼일동, 월래동, 광양시의 중동, 태인동, 진상 그리고 순천시의 장천동에서 대기질을 측정하고 있다. 그림 1은 상시 대기질 측정지점을 나타낸 것이며, 광양만지역의 지형은 남부에는 영취산(410 m), 북부에는 백운산과 지리산의 끝자리로 비교적 높은 지형을 형성하고 있다. 또한 서부에는 낮은 구릉지대와 조계산이 형성되어 있으며, 대기오염물질의 발생강도가 높은 여수산단, 울촌공단, 광양공단, POSCO 광양제철소 및 한국남부발전이 자리잡고 있다. 광무동 측정소는 여수시를 운행하는 자동차와 여수항의 선박에서 배출되는 오염물질의 풍하지역, 삼일동과 월래동은 남쪽에 영취산과 여수산단 내에 위치하고 있으며, 중동은 광양컨테이너 부두와 자동차의 풍하지역, 태인동과 진상

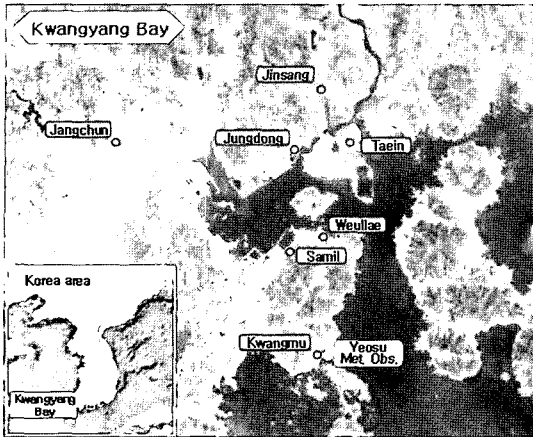


Fig. 1. Region of Kwangyang-Bay area. The air quality monitoring stations marked square black, A circle black are Yosu meteorological administration, Yosu airport station and Kwangyang station (AWS), respectively.

은 북쪽에 백운산과 POSCO 광양제철소, 하동 한국 남부발전의 풍하지역, 그리고 장천동은 순천시의 상업지역에 각각 위치하고 있다.

## 2. 2 자료분석

### 2. 2. 1 오존농도 자료

광양만지역의 대기질의 특성을 파악하기 위해 이용한 대기오염농도 자료는 각 지자체에서 운영 중인 대기질 자동측정망에서 관측한 시간별 O<sub>3</sub> 농도이며, 선택한 자료는 2003~2005(3년간)년도의 24시간 자료 중에서 83%(20시간) 이상 존재한 자료를 유효한 자료로 활용하였다. 각 측정소별 결측 자료를 표 1에 나타내었으며, 3년간 평균 결측율은 3.7%, 가장 높은 결측율을 나타낸 곳은 중동(6.5%), 가장 낮은 곳은 진상(1.7%)이며, 또한 모든 측정소에서 결측율은 6.5% 이하의 아주 양호한 자료를 보여주고 있으며, 광양만지역의 O<sub>3</sub> 농도를 분석하는데 별 무리가 없는 것으로 사료된다.

### 2. 2. 2 기상자료

O<sub>3</sub> 농도는 기상조건에 의해 가장 많은 영향을 받는 대기오염물질로서 기상학적 접근이 매우 중요하다. 광양만지역의 오존농도와 기상과의 관계를 정확하게 분석하기 위해 이 지역의 기상을 대표할 수 있

Table 1. Number of observation data unmeasured at each station, during 3 years (2003~2005).

Year/Stations	2003	2004	2005	Unmeasured rate (%)
Kwangmu	387	223	624	4.7
Samil	112	428	465	3.8
Wellei	120	430	140	2.6
Jangchun	139	271	136	2.1
Jungdong	993	414	314	6.5
Teiin	353	549	340	4.7
Jinsang	255	155	46	1.7
Unmeasured rate (%)	3.8	4.0	3.4	3.7

는 여수공항(기온, 상대습도, 풍속, 풍향, 기압, 운량)과 여수 기상대(일조시간)의 시간별 평균 자료를 각각 이용하였다.

## 3. 광양만권 오존 농도의 일반적 특성

### 3. 1 오존 농도의 일변화

광양만권의 오존농도는 4월부터 9월까지 높게 형성되고 있으므로, 이 기간을 오존월, 그 밖의 기간을 비오존월로 분류하여 오존의 일변화를 분석하였다. 그림 2는 7개 대기질 측정지점의 3년간(2003~2005년) 오존월과 비오존월의 평균농도에 대한 일변화를 나타낸 것이다. 그림에서 측정지점에 따라 다소 차이를 나타내고 있으나, 일사량이 많은 오존월의 평균농도가 비오존월의 평균농도보다 6.0 ppb 정도 높게 나타나고 있으며, O<sub>3</sub> 농도의 일교차도 오존월 기간 동안 높게 나타나는 경향이 있다. 또한, 모든 지역에서 아침시간대인 7시와 8시에 O<sub>3</sub> 농도가 일중 가장 낮고, 16시를 전후하여 최고농도가 나타나고 있으며, 21시를 지나면서 농도는 점점 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이러한 일변화는 지리적인 위치, 배출원 강도, 기상조건, 지형조건 및 오염 물질의 생성 속도와 1, 2차 오염 물질 소비 속도에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다(전병일 등, 1994).

오존월의 경우 삼일동과 진상에서 7시에 17.5 ppb, 23.0 ppb의 일중 최저농도를, 16시와 17시에 48.1 ppb, 51.9 ppb의 일중 최고농도를 각각 나타내며 다른 측정지점에 비해 가장 큰 일교차(30.6 ppb, 28.8 ppb)를 보이고 있다. 이러한 현상은 이 지역에서 광

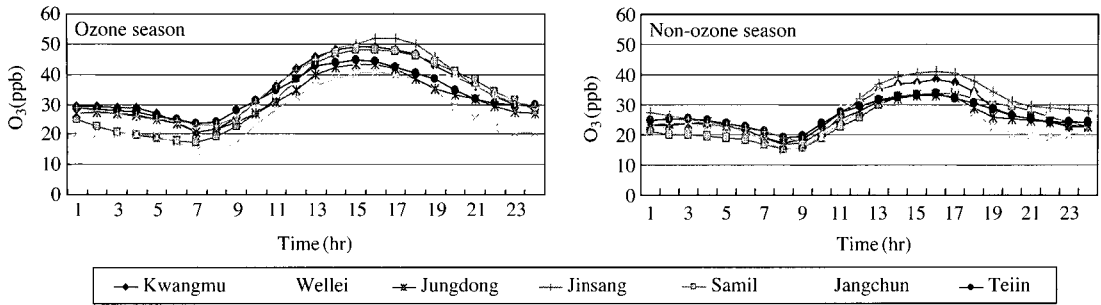


Fig. 2. Diurnal variations of O<sub>3</sub> concentrations during the ozone season and non-ozone season, 2003~2005.

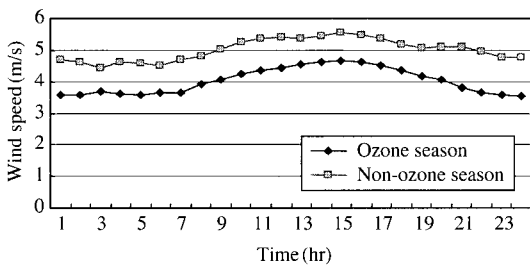


Fig. 3. Diurnal variations of wind speed during the ozone season and non-ozone season, 2003~2005.

화학반응이 활발하게 진행되고 있음을 암시하고 있다. 주간대의 고농도는 여수산단, 광양제철 및 하동 한국남부발전과 같이 대단위 발생원을 바탕으로 활발히 진행되는 광화학반응과 2m/s 전·후의 약한 풍속조건(그림 3) 및 배후지역의 지형적인 요인에 의해 O<sub>3</sub>이 축적되고 있으며, 특히, 진상의 경우 배출원 강도 측면에서 도심지 지역에 비해 약한 지역임에도 불구하고 오염우심 풍하지역에 위치하고 있으며, 일중 최고 O<sub>3</sub> 농도 발생시간도 다른 측정지점에 비해 1~2시간 정도 지체되는 경향을 보이고 있다. 야간 오존농도의 경향은 우리나라의 다른 지역에 비해 모든 지점에서 대체적으로 높은 경향을 나타내고 있다. 서울과 부산의 경우 야간시간대에 평균 10~20 ppb 정도의 농도 분포(오인보와 김유근, 2002)를 나타내고 있으나, 광무동과 진상은 30.7 ppb, 30.5 ppb, 가장 낮은 농도를 나타내는 장천동의 경우 21.9 ppb를 나타내고 있어 우리나라 다른 지역에 비해 2배 가까운 높은 농도를 나타내고 있다. 서울과 부산의 야간 저농도 현상은 차량에 의해 배출되는 NO에 의한 오존

의 화학적 소멸과 도시지표에 의한 침적효과의 상호 작용 때문으로 사료되나, 바다로 둘러 쌓여있는 이 지역은 바다에 의한 침적효과가 약하며, NO<sub>x</sub> 배출량의 70% 이상을 여수산단과 주변 산업시설에서 배출되고 있기 때문에 산업시설의 야간가동 중지 및 함께 NO<sub>x</sub>의 배출량이 감소되므로 NO에 의한 화학적 소멸은 다른 지역에 비해 적다고 사료된다. 또한, 월래동과 진상의 배후지역은 영취산과 백운산의 지형적인 영향에 의해 형성되는 국지순환풍의 영향이 작용되었을 것으로 추측된다. 비오존월의 경우 광무동과 장천동에서 8.2 ppb, 2.7 ppb의 최고, 최저의 일 평균 농도 감소와 함께 오존월의 일변화와 매우 유사함을 나타내고 있으며, 일교차의 경우도 14.4~23.4 ppb가 감소하는 경향을 보여 오존월과 다소 차이를 보여주고 있다. 광무동과 장천동은 여수산단과 발생강도가 높은 지역과 거리상으로 이격되어 있으므로 여수시와 순천시를 운행하는 차량에서 배출되는 NO에 의해 야간 오존이 소멸되어 오존의 일교차가 크게 나타난 것으로 사료된다.

### 3.2 오존 농도의 월변화

각 측정지점에 대한 오존농도의 월별 변화특성과 지역적 특성을 고찰하기 위해 월별 평균 오존농도와 ΔO<sub>3</sub>(일최고 오존농도와 최저 농도의 차이)값을 계산하여 그림 4에 나타내었다. ΔO<sub>3</sub>는 일중 광화학 오존 생산량을 추정하기 위해 사용된 지표 중의 하나이다. ΔO<sub>3</sub> 값이 크고 ΔO<sub>3</sub> 월평균 값의 변동 패턴이 월평균 변동 패턴과 유사한 경향을 보이면 광화학반응으로 생성된 오존의 영향으로 평균농도가 증가하는 것으로 평가할 수 있다. 오 등이(오인보와 김유

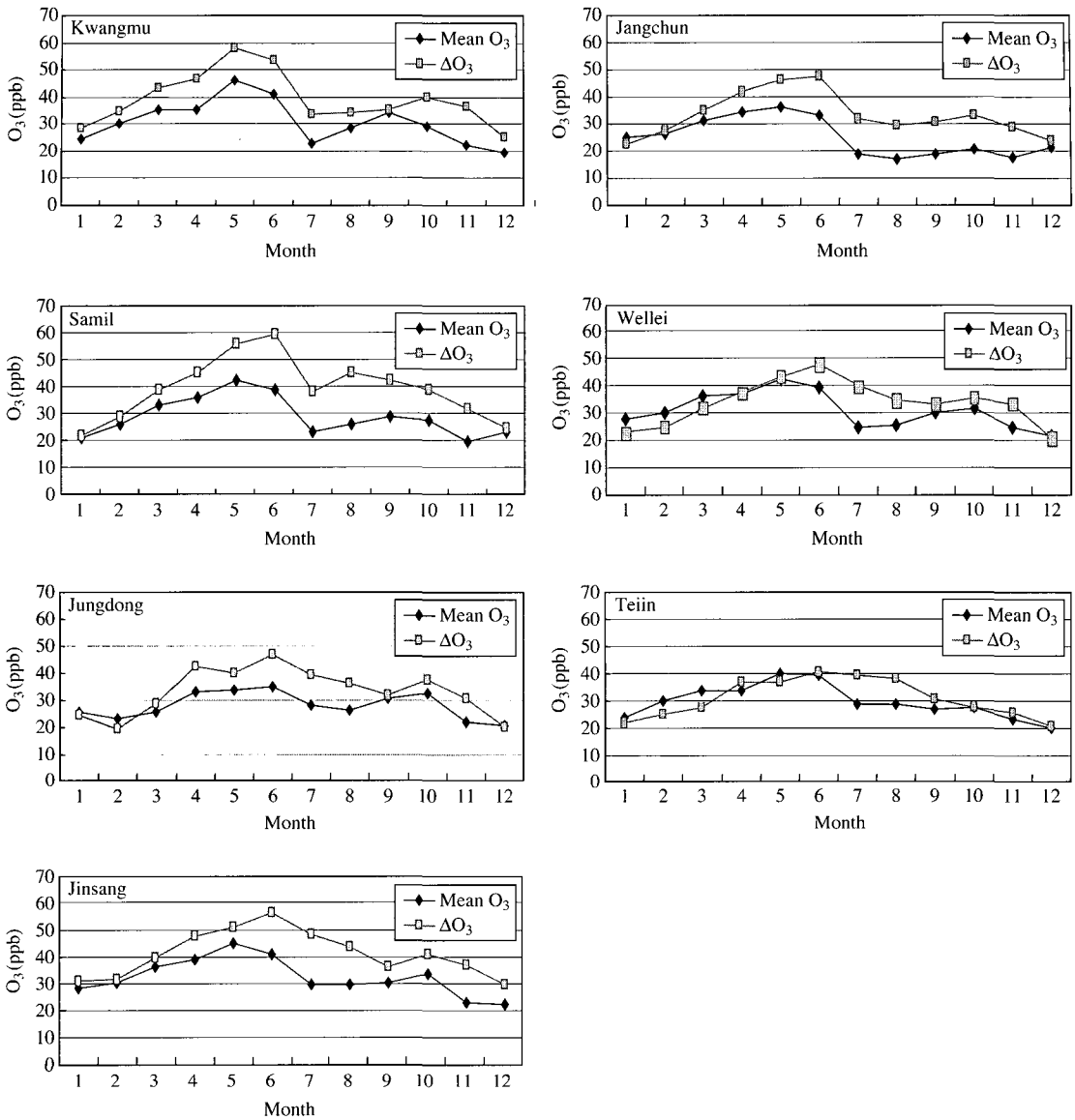


Fig. 4. Seasonal variations of monthly average O<sub>3</sub> concentrations and ΔO<sub>3</sub>, 2003~2005.

근, 2002) 서울, 부산, 대구시에 적용한 결과, 서울의 경우 ΔO<sub>3</sub> 값과 월평균 값과의 차이가 최고 30 ppb로, 이는 오존월에 광화학반응을 통한 오존 생산량이 많고 단기간 고농도 오존 발생횟수가 많음을 나타내고 있으며, 오후에는 활발한 광화학반응의 영향으로 단기간 유지되는 고농도가 자주 발생하는 것으로 주장하고 있다.

월별 평균 오존농도와 ΔO<sub>3</sub> 값의 변동은 월래동과 태인동을 제외하고 오존월 동안 큰 값이 나타나고 있으며, 6월 (광무동은 5월)에 최고점, 7, 8월에 감소하다가 9, 10월에 약간 상승하는 패턴을 보여주고 있다. 그림 5는 여수기상대의 풍속과 강우량의 월별 변화를 나타낸 것이며, 강수량의 월별 변화가 크며, 4월부터 9월까지의 오존농도는 강수량의 변화와 깊은

관계를 나타내고 있다. 한반도는 장마전(5월과 6월) 주풍이 서풍이기 때문에 대륙으로부터 오염물질의 유입에 의해 대기질이 영향을 받는다. 이 시기에 O<sub>3</sub>은 전구물질의 농도 상승 및 광화학 작용으로 인해 높은 농도를 보인다. 그러나 장마시(7월)에는 주풍이 남풍으로 바뀌면서 상대적으로 깨끗한 공기가 한반도로 유입되고, O<sub>3</sub> 전구물질들의 농도가 낮을 뿐만 아니라 잦은 강우와 일사량의 감소로 인해 O<sub>3</sub>의 농도는 급격하게 감소한 것으로 나타났다.

#### 4. 오존농도의 출현특성

##### 4.1 오존농도의 단계별 출현빈도

그림 6은 2003~2005년까지 측정지점에서 측정된 단계별 오존농도 출현빈도를 나타낸 것이다. 측정소별 평균 출현빈도는 0~19 ppb까지 31.5%, 20~59 ppb까지 63.1%, 그리고 80 ppb 이상이 1.0%나 되어, 전원지역인 제주도(80 ppb 이상 출현빈도 0.29%, 이기호 등(2004))보다 3배 이상 높게 나타내고 있다. 또한, 단계별 오존농도 출현빈도를 살펴보면, 0~19 ppb에서 장천동이 42.2%, 20~39 ppb에서 월래동이 49.0%, 40~59 ppb에서 진상이 24.1%, 60~79 ppb에

서 광무동이 5.9%, 그리고 80 ppb 이상에서 삼일동이 1.4%로 최고 출현빈도를 각각 나타내고 있다. 여수산단, POSCO 광양제철소, 한국남부발전과 같이 배출원 강도가 큰 지역에서 비교적 멀리 떨어진 장천동에서 20 ppb 이하의 낮은 농도 수준의 출현빈도가 높게 나타남을 알 수 있으며, 60 ppb 이상 농도에서 출현빈도가 높게 나타난 곳은 광무동(7.2%)과 진상(6.7%)임을 알 수 있다. 배출강도가 높은 여수산단의 풍상지역에 위치한 광무동은 여수항과 여수시를 운행하고 있는 선박과 자동차에 의한 영향이 크게 나타나는 것으로 사료되며, POSCO 광양제철소, 여수산단의 풍하지역에 위치한 진상은 산업체에서 배출되는 오염물질과 지형적인 영향에 의해 고농도 출현빈도가 높게 나타나고 있다.

##### 4.2 고농도 오존농도 일의 특성

고농도 O<sub>3</sub>일의 선정 기준은 목적에 따라 여러 기준을 사용할 수 있으며, 일본은 1시간 평균 Oxidants 농도와 WHO 기준치는 60 ppb이라 정하였으며, 우리나라의 1시간 기준치는 100 ppb로 규정하고 있다. 본 연구에서 고농도 O<sub>3</sub>일은 광양만권의 대기질 개선목표인 80 ppb 이상이라 선정하고 그에 대한 분석을 실시하였다. 표 2는 3년간의 측정소별 고농도 오존 발

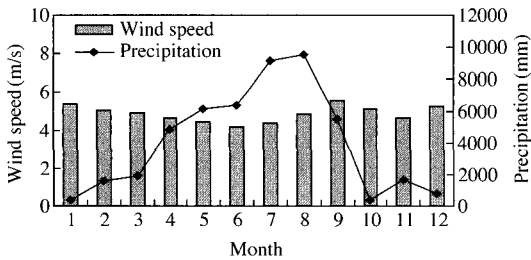


Fig. 5. Seasonal variations of annual average wind speed and precipitation.

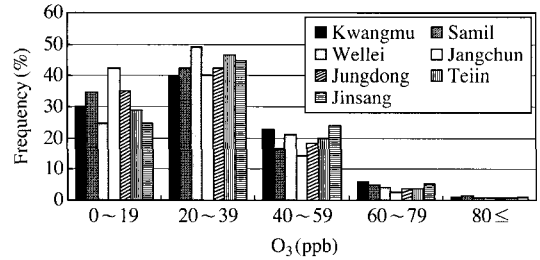


Fig. 6. The occurrence frequency of 1hr average ozone concentration from 2003~2005.

Table 2. The numbers of measured daily ozone concentration higher than standards (80 ppb) in Kwangyang-Bay area, during 3 years (2003~2005).

Yr/Sta.	Kwangmu	Jangchun	Samil	Wellei	Jungdong	Teiin	Jinsang	Total
2003	26	17	29	23	21	21	49	186
2004	36	26	38	24	34	27	39	224
2005	24	7	33	32	10	3	25	134
Total	86	50	100	79	65	51	113	544

생일수를 나타낸 것이며, 2003년도에는 186일, 2004년도에는 224일, 2005년도에는 134일로 총 544일이

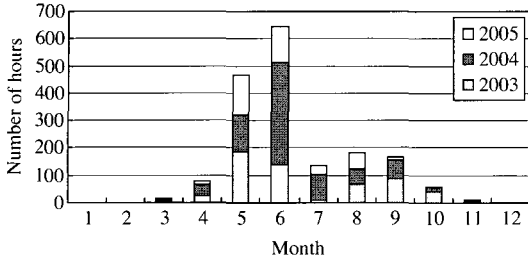


Fig. 7. Number of days exceeded the 1hr average ozone concentration of 80 ppb from 2003 to 2005.

발생하였다. 2004년도에 증가하고 있으나, 2005년도에는 감소하고 있다. 이것은 2004년과 2005년도의 월평균 온도, 습도, 풍속, 일조시간을 비교한 결과 큰 차이는 없으나, 2005년도에 오존생성이 활발한 7월과 8월에 매우 많은 강우량을 보여주고 있어 강우량에 의한 오존 생성이 감소한 것으로 사료된다.

그림 7은 모든 대기오염 관측소에서의 시간별 O<sub>3</sub> 농도를 분석하여 월별로 나타낸 것이며, 서쪽에서 다가오는 이동성 고기압이 발달하는 초여름인 6월에 643회 (36.5%), 늦은 봄철인 5월에 469회 (26.7%) 그리고 무더운 북태평양 기단이 영향을 미치는 8월에 181회 (10.3%) 순으로 발생하였으며, 5월과 6월에 1,112회 (63.2%)로 대부분 5월과 6월에 발생하는 특

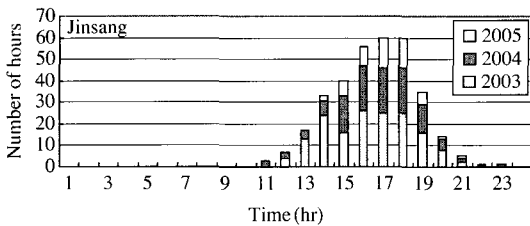
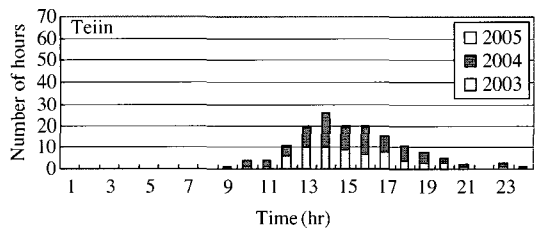
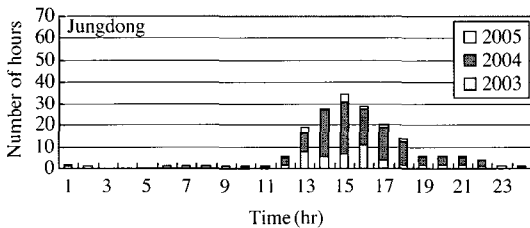
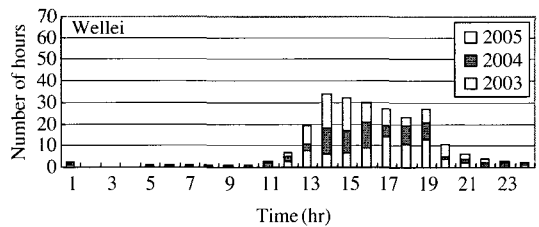
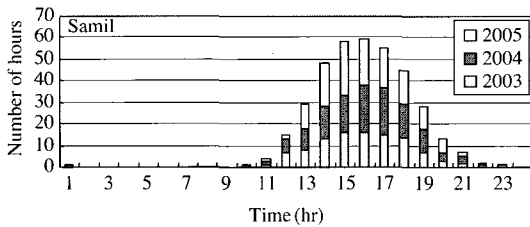
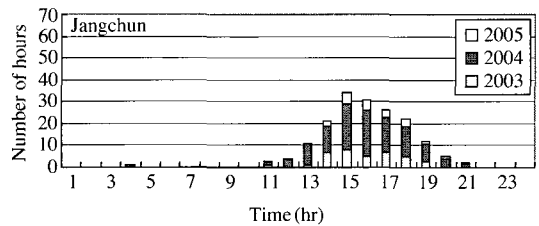
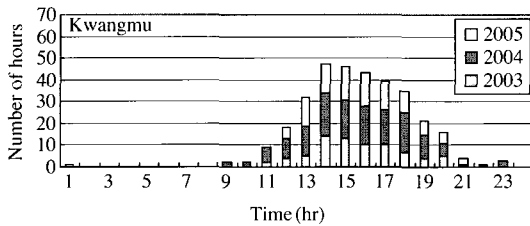


Fig. 8. Frequency distribution of 1hr average ozone concentration according to daily change.

징을 보여주고 있다. 계절별로는 광화학반응이 일어나기 쉬운 계절인 여름철(6, 7, 8월)이 전체의 54.6%를 차지하였으며, 봄철(3, 4, 5월)이 32.2%, 가을철(9, 10, 11월)이 13.2%였으며, 일조시간이 적고 야간 역전층의 형성 시간 연장으로 인한 O<sub>3</sub>의 파괴가 많아지기 쉬운 계절인 겨울철(12, 1, 2월)은 거의(1회) 발생되지 않았다.

측정소별로 살펴보면, 여수산단 내에 위치한 삼일동이 366회(20.8%), 여수산단의 풍하지역인 진상에서 332회(18.9%), 여수산단의 풍상지역인 광무동이 319회(18.1%)순으로 높은 발생빈도를 나타내고 있으며, POSCO 광양제철소에서 가장 가까운 측정소인 태인동에서 151회(8.58%)로 가장 낮은 발생빈도를 보이고 있다.

그림 8은 측정소별 고농도 O<sub>3</sub> 발생 시각에 따른 출현빈도를 각각 나타낸 것이며, 대류 활동과 오존의 광화학 반응에 영향을 미치는 일사량의 강도가 가장 높은 시간인 15시를 전·후로 발생되고 있으며, 광무동, 월래동, 태인동은 14시, 장천동, 중동은 15시, 삼일

동은 16시, 그리고 진상은 17시, 18시에 가장 발생빈도가 높으며, 12시와 18시 사이에 전체 81.6%를 차지하고 있다. 또한, 오존 생성시간과 시간적인 관계가 적은 야간 시간대인 19~21시 사이에도 13.6%를 나타내고 있어, 우리나라 서울에서 발생하는 고농도 오존현상과 서로 다른 특징을 나타내고 있다. 특히, 대규모 발생원의 풍하지역에 위치한 진상에서는 야간 시간대인 19~21시 사이에 16.3%의 높은 출현빈도를 나타내고 있다. 진상에서의 이러한 고농도 현상을 기상학적으로 규명하기 위해 광양 측정소(AWS)의 시간별 풍향과 풍속을 그림 9에 각각 나타내었다. 주간대에 2.5 m/s, 야간대에는 1.0 m/s 이하의 풍속을 형성하고 있으며, 풍향은 주간대에 남풍계열과 야간대에 북서 또는 북동계열에서 탁월하게 나타나고 있다. 이 지역의 기상특징은 지표면의 부등기열에 의해 생성되는 국지순환풍인 해륙풍과 산곡풍의 특징이 잘 나타나고 있다. 또한, 진상은 남쪽에 광양만, 북서쪽에 백운산, 북동쪽에 지리산의 끝자락에 위치하고 있어서, 지형적인 특성에 의해 형성된 국지순환풍의

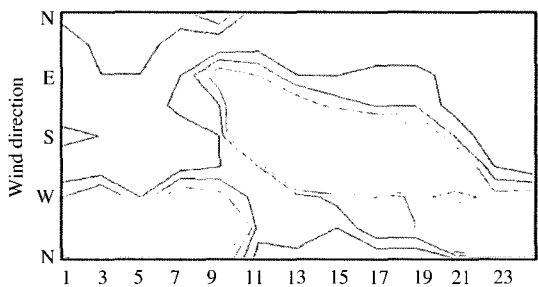
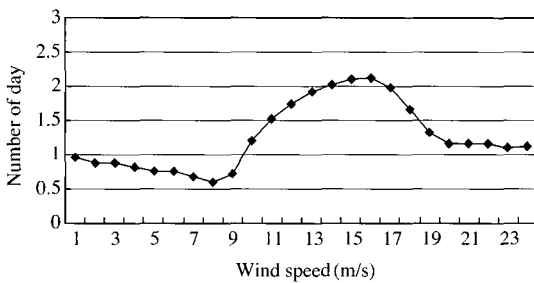


Fig. 9. Diurnal variations of wind speed and frequency of wind directions at Kwangyang station (AWS) during the number of days exceeding 1hr 80 ppb.

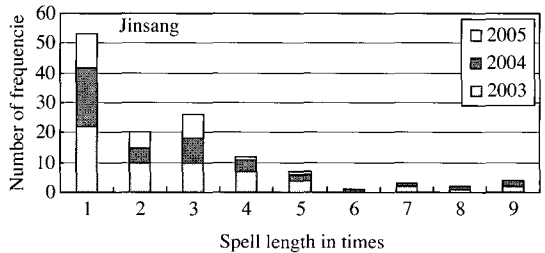
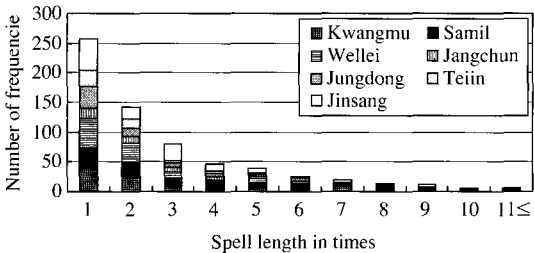


Fig. 10. Diurnal frequency higher than 80 ppb standards for all Region of Kwangyang-Bay stations, during 3 years (2003~2005).



영향으로 주간에는 남풍계열이, 야간에는 북서 또는 북풍계열이 형성되고 있다. 따라서 진상의 늦은 저녁 대에 고농도 오존농도 출현은 여수산단과 POSCO 광양제철소, 한국남부발전에서 배출되는 오존 전구물질인 NOx와 VOCs 및 태양열에 의해 생성된 오존이 주간에 형성된 해풍(남풍계열)을 따라 백운산과 지리산 방향으로 수송되며, 늦은 저녁에는 반대로 주간에 형성된 해풍을 따라 이동한 오존이 광양만으로 불어오는 육풍에 의해 고농도 오존이 출현하는 것으로 사료된다. 특히, 진상은 주거지역으로 NOx의 배출원이 거의 존재하지 않기 때문에 NO에 의한 오존의 소멸을 기대하기 어렵다. 따라서 지형적인 특성에 의해 형성되는 국지 순환풍에 의해 고농도 오존농도가 출현하는 것으로 사료되며, 앞으로 이 지역의 고농도오존 생성 메커니즘을 지형적인 특성 및 기상학적인 고찰을 통해서 체계적으로 규명하는 것이 필요하다. O<sub>3</sub>의 고농도 출현빈도도 매우 중요하지만 고농도의 지속시간은 인간이나 동·식물 등에 대단히 중요한 의미를 지니게 된다(Mckendry, 1992). 그림 10은 광양만 지역에서 고농도 O<sub>3</sub>이 발생한 날 중에서 80 ppb 이상 되는 시간에 대한 지속관계를 나타낸 것이다. 1시간만 지속된 경우가 전체의 40.1%로 가장 많았고, 2시간이 22.1%, 3시간이 12.3%, 4시간이 7.3%, 그리고 5시간 이상 지속된 것도 18.3%나 나타났으며, 특히 11시간 이상 지속되는 경우도 출현하였다. 그림 10은 고농도(80 ppb) 오존의 출현빈도가 가장 높은 진상에 대한 고농도 오존농도의 지속시간을 나타낸 것이다. 그림에서 1시간만 지속된 경우가 전체의 41.4%로 가장 많았고, 2시간이 15.6%, 3시간이 20.3%, 4시간이 9.4%, 그리고 5시간 이상 지속된 것도 13.3%이며, 다른 지역에 비해 3시간과 4시간의 지속되는 경우가 높은 출현빈도를 나타내고 있다. 광양만지역의 고농도 O<sub>3</sub>이 오랜 시간 지속될 때를 대비하여 이에 상응하는 긴급 조치가 취해질 수 있도록 대기오염 정보체제를 확립하는 것이 중요하다고 사료된다.

4.3 기상 특성

2003~2005년의 3년 동안 80 ppb 이상의 고농도 오존이 발생하는 일에 대한 여수 기상대의 온도, 상대습도, 풍속, 운량, 일조시간과의 관계를 그림 11에 각각 나타내었다. 고농도 오존 발생시각의 기운을 살

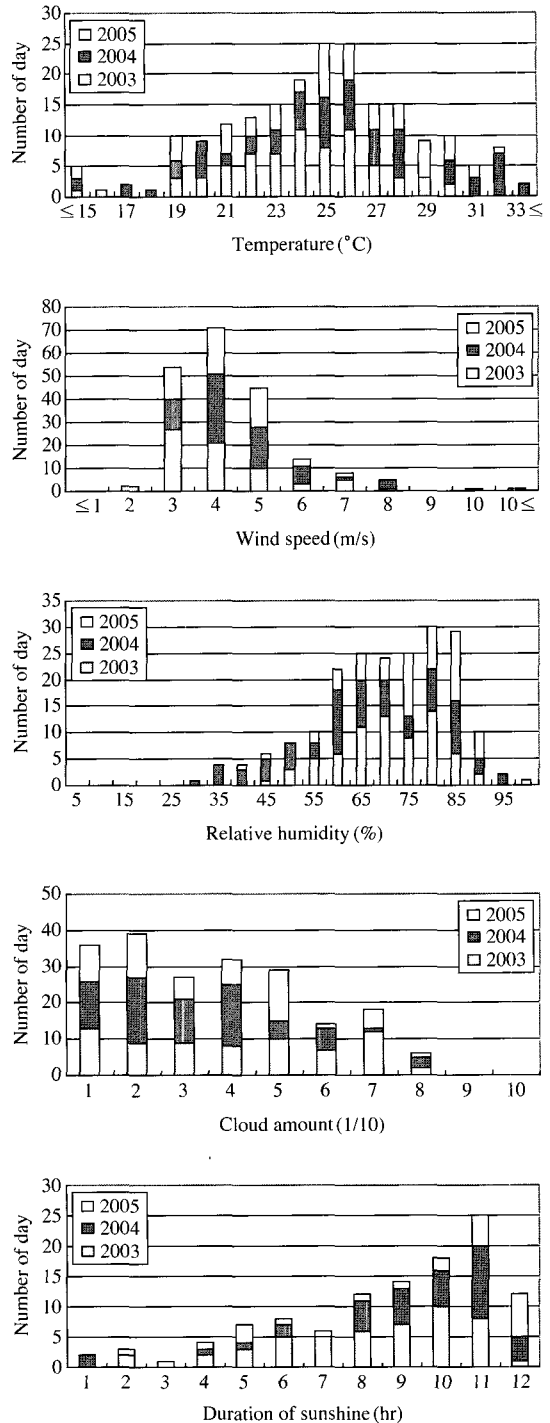


Fig. 11. Meteorological patterns associated with 544 days (2003~2005) during episode day ( $\geq 80$  ppb) at Region of Kwangyang-Bay.

해보면 16°C에서 33°C까지 폭넓게 분포하고 있으며, 25°C와 26°C에서 22.9%, 30°C 이상에서도 12.5%나 발생하였으며, 19°C 이상에서 95.5% 이상으로 고농도 O<sub>3</sub>이 발생하기 위해서는 19°C 이상의 기온이 되어야 한다. 풍속은 대체로 3~5 m/s 사이에 84.6%의 높은 빈도를 차지하고, 풍속이 아주 약한 1 m/s 이하인 경우에는 전혀 나타나지 않는 것도 이 지역의 고농도 오존 발생에 대한 특징이며, 고농도 O<sub>3</sub>이 발생하기 위해서는 5 m/s 이하의 바람이 형성될 때 출현 빈도가 높다. 상대습도는 70~80%에서 27.4%, 60~70%에서 24.4%, 80~90%에서 19.4% (80~85%에서 14.4%), 50~60%에서 15.9% 순으로 나타나고 있으며, 60~90%에서 전체 71.1%로 가장 높은 빈도를 보이고 있어 광양만권의 고농도 오존이 발생하는 조건이며, 특히 80~90%에서도 20% 정도의 높은 출현 빈도를 보이고 있다. 운량은 하늘 전체를 10으로 보았을 때, 5 이하가 전체의 81.1%를 차지하며, 쾌청한 날의 경우에는 17.9%나 되어 고농도 O<sub>3</sub>이 발생하기 위해서는 운량이 5 이하라고 할 수 있다. 일조시간은 인위적으로 배출된 오염 물질이 광화학 반응을 할 수 있는 최적의 상태를 나타내는 척도라고 할 수 있는 것으로 8시간 이상이 75.5%를 차지하고 있다. 광양만지역의 고농도 O<sub>3</sub> 발생 기상조건으로 기온이 19°C 이상, 상대습도 60~85%, 일평균 풍속 5 m/s 이하, 운량 5/10 이하, 일조시간은 8시간 이상인 조건이면 고농도 오존농도의 출현빈도가 높다고 판단된다.

## 5. 결 론

광양만지역의 오존농도와 고농도(80 ppb) 오존일의 특성을 파악하기 위해 지자체에서 운영 중인 7개 대기질 자동측정망 자료의 시간별 O<sub>3</sub> 농도 자료를 이용하여 O<sub>3</sub> 농도의 시간별, 지역별 농도 특성과 80 ppb 이상인 고농도 O<sub>3</sub>일을 선진해 고농도 O<sub>3</sub>일의 발생 특성과 기상 조건에 대하여 분석하였다.

1) 일변화는 모든 지역에서 아침 시간대인 7시와 8시에 O<sub>3</sub> 농도가 일중 가장 낮고, 16시를 전후하여 최고농도가 나타나고 있으며, 21시를 지나면서 농도는 점점 낮아지는 경향을 보였다.

2) 월별 평균 오존농도와 ΔO<sub>3</sub> 값의 변동은 월래동과 태인동을 제외하고 오존월 동안 큰 값이 나타나

고 있으며, 6월(광무동은 5월)에 최고점, 7, 8월에 감소하다가 9, 10월에 약간 상승하는 패턴을 보여주었다.

3) 광양만권역의 고농도 O<sub>3</sub>일(80 ppb 이상)은 544 일, 발생시간으로는 1,760시간이며, 지역별 발생빈도는 삼일동, 진상, 광무동 순으로 높은 발생빈도를 나타내고 있으나, 큰 발생원 강도에 가장 가까운 태인동에서 가장 낮은 발생빈도를 보였다.

4) 고농도 O<sub>3</sub>이 발생한 날 중에서 80 ppb 이상 되는 시간에 대한 지속시간을 살펴본 결과, 1시간만 지속된 경우가 전체의 40.1%로 가장 많았고, 2시간이 22.1%, 3시간이 12.3%, 4시간이 7.3%, 그리고 5시간 이상 지속된 것도 18.3%나 나타났으며, 특히 11시간 이상 지속되는 경우도 출현하였다.

5) 광양만권의 고농도 O<sub>3</sub> 발생 기상조건으로 기온이 19°C 이상, 상대습도 60~85%, 일평균 풍속 5 m/s 이하, 운량 5/10 이하, 일조시간은 8시간 이상 등으로 나타났다.

향후, 광양만권의 고농도 오존농도 생성 메커니즘을 규명하기 위해서는 복잡한 지형에서 형성되는 국지순환풍의 특성파악과 오존 존데 등을 이용한 상층 측정, 광양만권의 대기질을 대표할 수 있는 측정망의 수정과 확대가 요구되며, 상시 측정되고 있지 않는 NO<sub>x</sub>와 VOCs 농도의 연속적인 측정에 의한 체계적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

김영성(2000) 우리나라 오존농도 변화추이와 주요인자, 한국대기환경학회지, 16(3), 169-179.  
 오인보, 김유근(2002) 한반도 주요 대도시지역의 지표오존 특성- 추세, 일변화, 월변화, 수평분포-, 한국대기환경학회지, 18(4), 253-264.  
 이기호, 김대준, 허철규(2004) 제주지역 지표 오존농도의 시·공간적 분포 특성, 한국환경과학회지, 13(4), 377-387.  
 일본 환경성(1993) 일본 환경백서, 총של 290.  
 전라남도(2004) 광양만권 대기환경규제지역 지정에 따른 실천계획수립.  
 전라남도(2005) 광양만권 5-13 자발적 협약서.  
 전병일, 김유근, 이화운(1994) 해풍이 부산지역의 대기오염 농도에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 3(4), 357-365.

전병일, 김유근, 이화운 (1995) 부산지역의 오존농도 특성과 기상인자에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 11(1), 45-56.

McKendry, I.G (1992) Ground-level ozone in Montreal, Canada, Atmos., Environ., 27B(1), 93-103.