

진주시 오존농도의 시간적 추이와 공간적 비교

박정호*

진주산업대학교 환경공학과
(2010년 3월 5일 접수; 2010년 4월 5일 수정; 2010년 4월 12일 채택)

Temporal Trends and Spatial Comparisons of Ozone Concentrations in Jinju

Jeong-Ho Park*

Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea
(Manuscript received 5 Marhc, 2010; revised 5 April, 2010; accepted 12 April, 2010)

Abstract

Temporal trends of ozone concentration in Jinju were investigated by using observation data from 3 air quality monitoring stations for the period of 2004~2008. In addition, spatial comparisons of ozone concentration at Jeoguri, upwind and downwind directions of Jinju were investigated between May and September 2009.

Annual mean exhibited increasing trends +1.7ppb/yr throughout the study period. In the case of diurnal variation, the lowest ozone concentration was shown from 7 am to 8 am and the highest around 4 pm. The ozone concentrations of Jeoguri station of the south coast were higher than Jinju. In particular, the upwind direction of Jinju had relatively high ozone concentration.

Key Words : Ozone concentration, Temporal trends, Spatial comparison, Jinju

1. 서론

1954년 미국 LA에서 발생한 광화학스모그는 오존(O₃)이 대표적인 오염물질로 나타난 대기오염 사건(episode)으로 오존오염에 대한 위해성 인식과 대책방안들이 연구되기 시작한 계기가 되었으며, 국내외적으로 오존은 대기질 개선정책의 지표로 사용되고 있다(Haagen, 1952; 한, 1997; 國立環境研究所, 2006). 국내에서는 1990년대 초부터 대도시나 공업지역을 중심으로 나타나기 시작한 고농도 오존문제로 인해

그 동안 많은 오존관련 연구들과 오존경보제시행, 대기환경규제지역 설정 등 다양한 저감대책이 실시되어져 왔으나(김, 1996; 김, 2000; 환경부, 2003b), 대기오염측정망의 오존측정 자료를 살펴보면 국내 오존오염은 오존주의보의 발생횟수 증가추세뿐만 아니라 고농도 발생지역의 확대 경향을 보이고 있다(환경부, 2009). 오존은 2차 대기오염물질로서 공장이나 자동차 등 특정 배출원만을 직접 규제하면 저감효과가 나타나는 다른 대기오염물질과는 달리 발생 메카니즘이 복잡하고 다양하여 과거 선진국의 경험에서 볼 때 일단 오존오염이 가시화되기 시작하면 저감시킴이 매우 어렵다(한, 1999; 환경부, 2003a)

경상남도 진주시는 인구 약 33만의 도농복합도시로서 2003년부터 지역 오존경보제를 실시한 이후

*Corresponding Author : Jeong-Ho Park, Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea
Phone: +82-55-751-3345
E-mail: jhpark@jinju.ac.kr

2008년 이전까지 오존주의보가 한 차례도 발령된 적이 없었으나, 2008년 4회(전국 101건, 경남 8건 중), 2009년 1회(전국 60건, 경남 1건 중) 등 최근 오존주의보가 지속적으로 발령되어 청정도시 이미지 훼손과 전반적인 지역 대기질 악화 우려의 목소리가 높아지게 되었다(박 등, 2009). 이처럼 오존오염은 진주시와 같은 중소도시에서도 나타나기 시작하였는데, 오와 김(2002)은 NOx 배출원이 집중되어 있는 산업지역과 도심지보다 풍하지역에서 그리고 해양의 배경농도로 연안 인접지역에서도 고농도 오존오염이 나타난다는 보고 등 오존오염은 대도시 중심에서 인접지역까지 점차 광역화가 진행되는 추세를 보이고 있는 것 같다. 그러나 기존 오존관련 국내연구들은 오존전구물질의 배출량이 많은 서울 수도권, 부산 등 대도시나 광양권만 등 공업도시를 중심으로 연구들이 대부분이며(환경부, 2003a; 오와 김, 2002; 손, 2005; 김 등, 1996; 최 등, 2008; 하 등, 2006; 오 등, 2005), 기타 중소도시 등에 관한 연구보고는 미미한 수준이다.

본 연구에서는 진주시의 기존 오존관련 연구보고가 거의 전무한 배경 하에 최근 오존농도 증가추세의 원인파악을 위해 최근 5년간 진주시 대기오염자동측정망의 측정 자료를 이용하여 오존농도의 시간적 추세변화를 분석하였다. 또한 오존오염의 공간적 측면에서도 그 원인을 살펴보기 위해, 거제도 저구리 국가배경농도측정소와 진주도심의 풍상 및 풍하지역 총 4개 지점에서 대기질 현장조사를 통해 오존농도 특성을 비교 검토하였다. 이러한 기본조사를 바탕으로 지역 오존오염의 문제점을 제기하고 향후 보다 구체적이고 지속적인 연구 과제를 도출하여 지역 특성에 맞는 오존 저감대책을 강구하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상지역

경상남도 진주시는 총면적 713 km², 인구 33만명, 1읍, 15면, 21동의 행정구역으로 구성된 도농복합도시로 표고 100~500 m 높이의 낮은 산이 분포하여 구릉 형태의 지형을 지니고 있는 등 약풍 지속시 대기오염물질의 축적이 용이한 지형적 특성을 지니고 있다. 자동차 차량보유 대수는 2004년도 109,351대, 2008

년도 118,601대로 지속적으로 증가하고 있으며, 도심에는 상평지방산업단지가 입지해 있고 도심 외각으로 남해 및 통영-대전간 고속도로가 관통하고 있다(진주시, 2010).

또한, 고농도 오존이 자주 발생되는 봄철과 여름철에는 지리적 특성상 남서계절풍의 영향을 크게 받고 있는데, 진주시 남쪽으로 약 10~20 km 거리에는 남해안이 위치하고 있고 남서쪽 약 50 km 내외 지점에는 광양권 대기특별대책지역이 위치하고 있는 등 남해안의 저지대를 따라 진주시로 해양의 배경농도나 오존전구물질의 유입 가능성을 고려할 수 있다. Fig. 1에는 진주 도심지역 반경 약 5 km 내에서 운영 중인 상봉동(주거), 대안동(상업), 상평동(공업) 등 3개 대기오염자동측정소와 진주도심 풍상하 측의 오존농도를 측정하기 위한 도심 인접지역 2개(JN지점, JG지점) 및 인근 저지차체 2개(SC지점, GH지점) 등 총 4개 지점의 대기질 현장 조사지점을 표시하였다.



Fig. 1. Region of downtown Jinju and sampling sites.

(●: 3 air quality monitoring stations, ■: 4 sampling sites)

2.2. 측정자료 및 대기질 현장조사

본 연구에서는 진주시 오존농도 특성을 우선 시간적 농도 변화 특성을 분석하기 위해 2004년~2008년 최근 5년간 진주시 3개 대기오염자동측정소의 1시간별 대기질 측정 자료를 이용하여 연평균, 월평균, 일평균 등으로 농도특성을 파악하였다. 1시간별 대기질 측정 자료는 유효측정값의 처리비율 75 % 이상을 적용하였으며, 오존농도와 기상과의 비교검토 등을 위해

진주시상대의 시간별 기상관측 자료를 활용하였다.

한편 진주는 고농도 오존오염이 발생하는 봄철, 여름철의 경우 남해안의 저지대를 따라 남서계절풍의 영향을 크게 받을 수 있으므로 풍상측 해안의 배경농도 특성을 검토할 필요가 있다. 따라서 남해안 청정지역에 위치하고 있는 거제도 저구리 국가배경자동측정소의 최근 5년간 오존농도 측정 자료와 진주도심 농도와 서로 비교 검토하였다. 또한 2009년도 5~9월 사이에 진주도심으로 바람이 유입되는 풍상(upwind direction) 및 유출되는 풍하(downwind direction) 지점에서 각 4회의 대기질 현장조사를 통해 진주시 오존농도를 공간적으로 비교하여 살펴보고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시간적 변화 특성

3.1.1. 연도별, 월별, 일별 변화 특성

진주시 오존농도를 우선 시간적 변화 특성으로 고찰하기 위하여 최근 5년간(2004~2008년도) 진주시 3개 대기오염자동측정소의 1시간 오존농도 측정 자료를 이용하여 연도별, 월별, 일별 등의 특성을 파악하였다.

Fig. 2에는 최근 5년간 오존의 연평균 농도 추이 및 월평균 농도 특성을 나타냈었다. 전반적으로 진주시 최근 5년간 도시전체(Ave.) 연평균 농도는 23.8 ppb로 환경부(2009) 대기환경정보 자료에서 동기간중 서울 17.2 ppb 보다 높고 부산 24.2 ppb와 비슷한 농도 특성을 보이고 있다. 또한 진주시 연평균 농도 증가추이는 2004년 21.5 ppb에서 2008년 27.0 ppb으로 최근 5년간 +1.7 ppb/yr의 양의 회귀 기울기로 증가경향이 나타났으며, 서울 +1.1 ppb/yr, 부산 +0.5 ppb/yr 등 주요 대도시 보다 농도 증가율이 큰 것으로 나타났다. 측정소별로는 2008년 기준으로 주거지역인 상봉동동(SB) 28.1 ppb, 상업지역 대안동(DA) 25.6 ppb, 공업지역 상평동(SP) 27.2 ppb으로 측정소별 큰 농도 차이는 나타나지 않았다. 한편, 진주시가 현재 운영 중인 3개 측정소는 도심 반경 5 km 이내에 밀집되어 있어 측정소별 농도 특성이 뚜렷하게 나타나지 않을 수 있는데, 환경부 대기오염측정망 기본계획에서는 측정소간 간격을 4 km 이상 유지하여 측정소간 중복을 최소화

하도록 되어 있다(환경부, 2005). 월평균 농도특성은 전반적으로 봄철부터 점차 증가하다가 5월에 최고치를 보이고 강수현상이 많이 나타나는 7~8월과 겨울철에 낮은 농도의 특성으로 나타나는 등 전국 주요 도시의 경향과 비슷하였다(환경부, 2009).

Fig. 3에는 도시전체(Ave) 월별 평균농도와 ΔO_3 값 그리고 기상인자 중 광화학 오존생성 및 소멸과정과 큰 관련성이 있는 강수량(precipitation), 수평일사량(solar radiation), 풍속(wind speed) 등 기상인자의 변화특성을 나타냈다. 여기서, ΔO_3 값은 일 최고 및 최저 오존농도의 차이로 광화학 오존 생성량을 추정하기 위해 사용된 지표이다(오와 김, 2002; 하 등, 2006). 전반적으로 월별 평균농도와 ΔO_3 값은 서로 유사하게 수평일사량(SR)이 많고 강수량이 적은 5월이 가장 높고 강수량이 많은 7월이 낮은 농도 특성을 보여주고 있으며, 특히 ΔO_3 값의 경향은 수평일사량(SR)의 월별 변화와 매우 유사하였다. 또한 ΔO_3 값은 평균농도에 비해 높고 오존월(4~9월 사이)에는 40 ppb 전후로 활발한 광화학반응이 일어나고 있음을 고려할 수 있으나 월별 평균농도와는 약 12 ppb 정도로 큰 차이는 나타나지 않았다. 이는 오와 김(2002)이 보고하고 있는 서울과 대구에 비해 작고 부산과 유사한 경향을 보이고 있는데, 부산의 경우 해양으로 유입된 오존의 배경농도 영향으로 일최저 농도가 상승하여 ΔO_3 값이 서울, 대구 등에 비해 상대적으로 작다고 보고하고 있다. 또한, 최 등(2008)은 연안지역의 경우 해륙풍의 발달 강도, 정체 고기압 영향하의 해풍과 지형에 의한 국지풍 등이 연안지역의 고농도 오존 현상과 깊은 관련이 있다고 한다. 특히, 2008년 7월 10일 및 27일, 8월 4일 및 5일 등 4건의 진주시 오존주의보 발령시 주변지역의 바람벡터를 살펴보면 모두 남해안에서 불어오는 계절풍의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었다(기상청홈페이지, 2010).

Fig. 4에는 최근 5년간 광화학반응이 활발한 오존월(4~9월 사이)과 그 외 기간인 비오존월의 오존농도 및 풍속의 일변화 특성을 나타냈다. 전반적으로 오존의 일평균은 오존월이 27.6 ppb으로 비오존월 19.8 ppb에 비해 약 30% 정도 더 높게 나타나고 있다. 일중 농도 변화는 오존월 및 비오존월 모두 비슷한 경향을 보이고 있으나, 일교차는 오존월의 경우 일중 최고

농도가 16시 42.7 ppb으로 최저농도가 08시 15.6 ppb과 비교하여 27.1 ppb으로 나타나 비오존월의 일교차보다 5.6 ppb 더 높았다.

또한, 풍속은 광화학적 오존생성과 축적과 관련된 기상학적 요인 중의 하나로 본 연구에서는 오존월의 경우 광화학생성이 활발한 낮 동안 2.5 m/s 전후의 약한 풍속을 나타내고 있었으나, 상대적으로 비오존월

에 비해 약간 높고 일평균도 오존월 1.5 m/s로 비오존월 1.3 m/s에 비해 약간 높게 나타났다. 이는 통상 오존월의 풍속이 비오존월 보다 낮다는 보고와 다소 상이한 결과가 나타났으나(하 등, 2006), 본 연구에서는 상대적으로 높은 오존월의 풍속은 오히려 해양의 배경농도가 유입되기에 유리한 영향으로 판단된다.

결국 진주지역은 지역 오존전구물질 배출에 의한

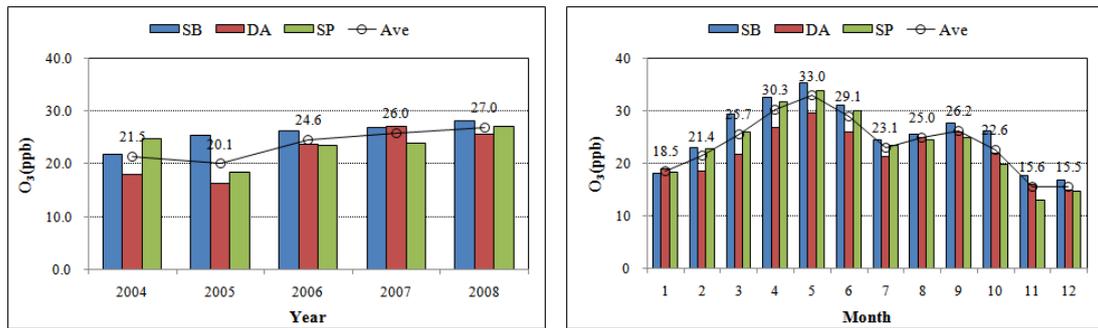


Fig. 2. Characterizations of annual and monthly O₃ concentrations, 2004~2008.

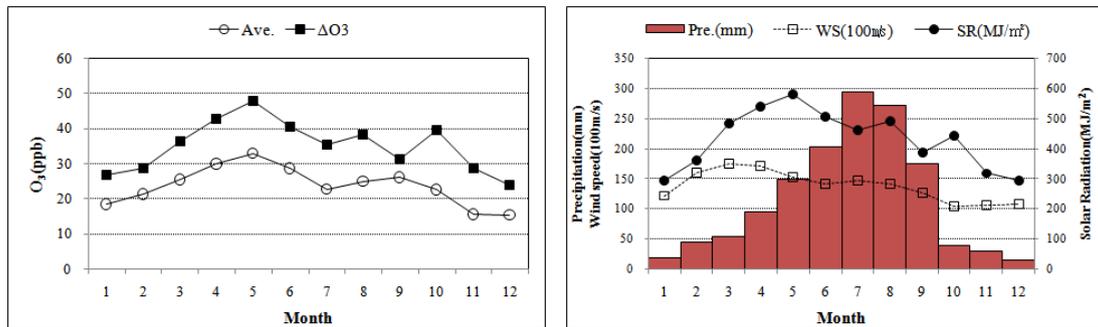


Fig. 3. Seasonal variations of monthly O₃ concentrations, ΔO₃, precipitation(Pre.), solar radiation(SR) and wind speed(WS).

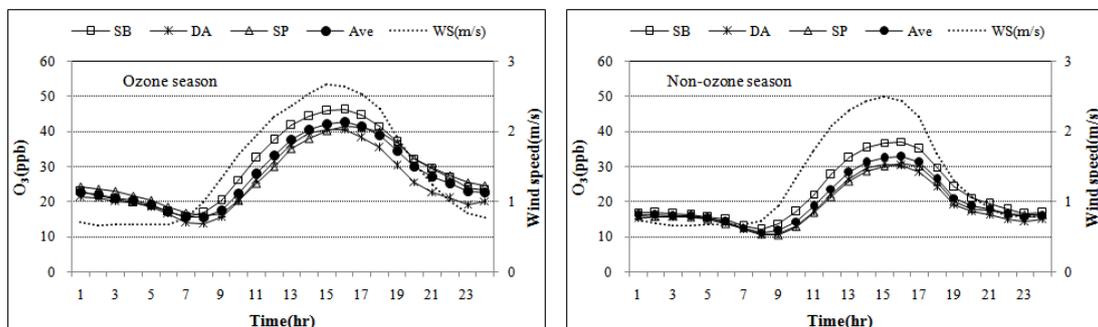


Fig. 4. Diurnal variations of O₃ concentrations and wind speed during ozone season and non-ozone season.

O₃의 광화학생성과 축적에 용이한 지형적 특징과 함께 오존월 기간 중 남쪽 해안지역의 저지대를 따라 남서계절풍의 영향을 크게 받는 지역 특성상 해양 배경농도의 유입 등 다양한 영향을 동시에 받고 있음을 고려할 수 있었다.

3.1.2. 오존 농도의 출현빈도

Fig. 5에서는 최근 5년간 도시평균 1시간 오존 농도 범위의 출현빈도를 나타냈다. 전반적으로 2004~2006년 사이는 0~19 ppb 범위의 출현빈도가 50% 전후로 가장 높은 발생빈도로 나타났으나 2007년부터는 20~39 ppb 범위가 오히려 가장 높은 발생빈도로 나타났고 또한, 40 ppb 이상의 발생빈도도 매년 높아지는 등 고농도의 출현빈도가 높아지는 경향을 보이고 있었다.

Fig. 6에서는 오존농도의 1시간 환경기준인 100 ppb 이상의 초과횟수만 고려하여 월별, 시간별 출현빈도로 각각 나타냈다. 최근 5년간 진주시 3개 대기오

염자동측정소에서 1시간 환경기준 초과횟수는 총 75회가 나타났으며, 월별로는 4~8월 사이에 시간별로는 12~20시 사이에 집중적으로 나타나고 있었다. 특히 월별 특성의 경우 8월 33회(44.0%) > 7월 21회(28.0%) > 5월 10회(13.3%) > 6월 7회(9.3%) > 4월 4회(5.3%)의 순으로 나타났으며, 그 외 기간 중에서는 10 ppb 이상의 대기환경기준을 초과하지 않았다. 또한 시간별 초과빈도는 16시 15회(20.3%) > 15시 및 18시 각각 13회(17.6%) > 14시 및 17시 각각 10회(13.5%) > 19시 8회(10.8%) > 13시 3회(4.1%) 등의 순으로 나타나 전반적으로 전국 주요 도시의 경향과 비슷하였다(환경부, 2009).

3.1.3. 배출량과의 상관성

여기에서는 대기오염물질 배출량과 대기중 오존농도와의 상관성을 찾기 위해 Fig. 7에는 전국 배출량 최근 자료인 2007년도를 포함한 최근 4년간 광화학 오존생성과 관련성 있는 NO_x, VOC의 진주시 연간 배

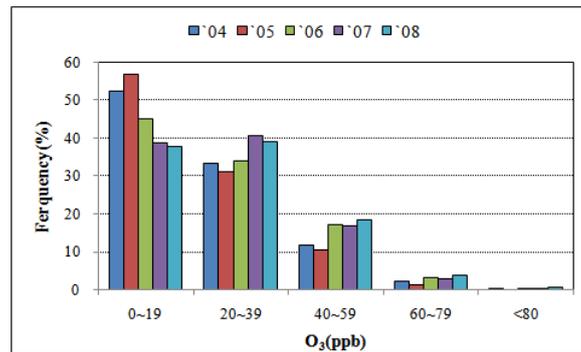


Fig. 5. Occurrence frequency of 1hr O₃ concentration, 2004-2008.

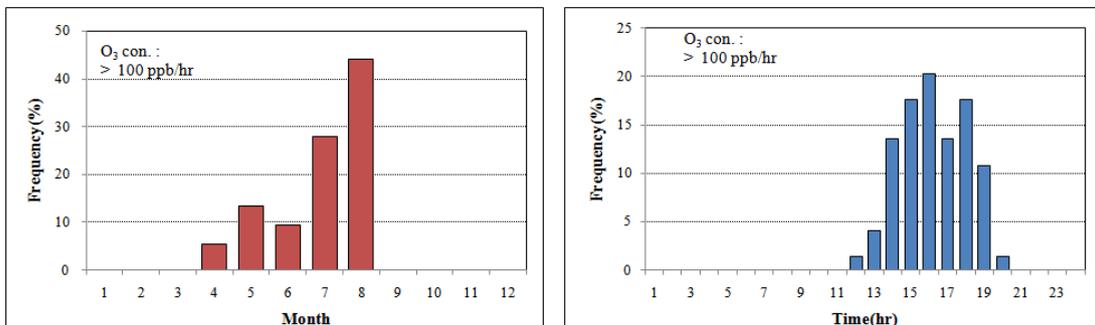


Fig. 6. Monthly and diurnal frequency higher than 100 ppb/hr standards.

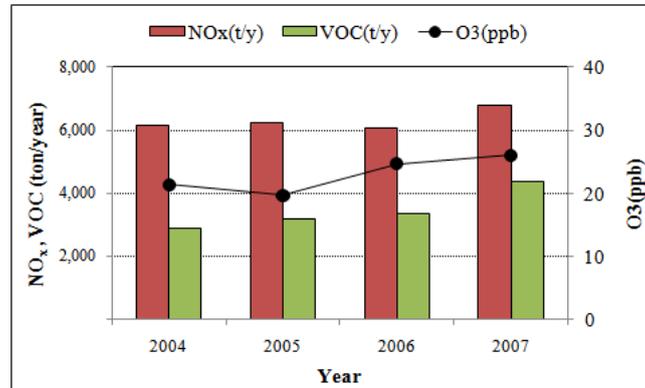


Fig. 7. Annual variations of NOx, VOC emission and O₃ concentration.

출량 변화추이를 나타냈다(국립환경과학원, 2010).

진주시 NOx의 배출량은 2007년 기준 6,780 톤/년으로 전년 대비 $\Delta 1.2\%$ 소폭 증가하는 등 안정화 단계의 경향으로 나타나고 있었으며, 부문별로는 도로 이동오염원이 55.3%, 비도로오염원 25.3% 등의 순으로 기여 특성이 나타났다. VOC는 4,359 톤/년으로 전년 대비 $\Delta 29.7\%$ 나 증가하는 등 매년 급격한 증가 경향을 보이고 있으며, 유기용제사용부문이 75.0%, 도로이동오염원부문이 12.3% 등의 순으로 기여 특성이 나타났다.

또한, 대기중 O₃ 농도와 NOx, VOC 배출량과의 상관관계는 각각 0.54 및 0.79로 나타나 진주시 오존농도 증가에 VOC 배출량이 NOx 배출량보다 상관성이 더 큰 것으로 보여진다. 한편, 오존전구물질의 총배출량만을 통해 지역의 오존생성 정도를 파악할 수 없으므로 향후 대기중 VOC 전구물질 등의 모니터링을 통해 광화학생성 정도를 상세히 규명할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.2. 공간적 비교 특성

3.2.1. 남해안 배경농도와의 비교

오존은 기본적으로 광화학 반응으로 생성되나 대상지역 내로 오존 및 전구물질의 외부로부터의 중·장거리 수송유입 등 여러 요인을 모두 고려해야 하며(김 등, 1999), 따라서 진주시의 경우 오존농도 특성을 공간적 측면에서 살펴보기 위해서는 지역 내로 유입될 수 있는 남해안의 오존 배경농도를 고찰할 필요가

있다.

Fig. 8에는 남해안 국가배경농도 측정소인 거제도 저구리 측정소의 최근 5년간(2004~2008년) 월평균 O₃ 및 NO₂ 농도 특성을 진주시와 비교 검토하였다. 여기서 남해안 청정지역에 위치하고 있는 저구리 측정소는 남해안으로부터 경남 내륙으로 유입되는 대기오염물질의 국가배경농도 측정소로서 주로 봄철, 여름철 진주로 유입되는 기류의 풍상측인 남해안의 오존 배경농도를 참고할 수 있는 지역으로 고려되어진다.

최근 5년간 연평균 O₃ 농도는 저구리 36.2 ppb로 진주시 25.0 ppb에 비해 11.2 ppb 높고 반대로 NO₂ 농도는 저구리 7.9 ppb로 진주시 17.6 ppb에 비해 9.7 ppb 낮았다. 월평균 O₃ 농도는 1~12월 전기간에 걸쳐 저구리가 진주에 비해 높으나 NO₂ 농도는 진주가 높았다.

일반적으로 NOx 등 인위적 오존전구물질 배출원의 영향을 크게 받지 않는 해양의 청정지역은 도시지역에 비해 일사량이 많고 혼합층이 낮아 O₃ 생성조건이 활발하고 NOx의 농도가 낮아도 소멸현상이 적어 도시지역에 비해 고농도 O₃이 발생할 수 있으며(김 등, 1996; 김 등 2005), 또한 이어도 해양과학기지의 연평균 O₃ 농도가 49.5 ± 15.5 ppb로 보고되고 있다(신 등, 2007).

따라서 앞서 설명한 바와 같이 진주시의 지리적 특성상 고농도 오존농도가 자주 발생되는 봄철, 여름철 남쪽 해안에서 불어오는 계절풍의 영향을 고려한다

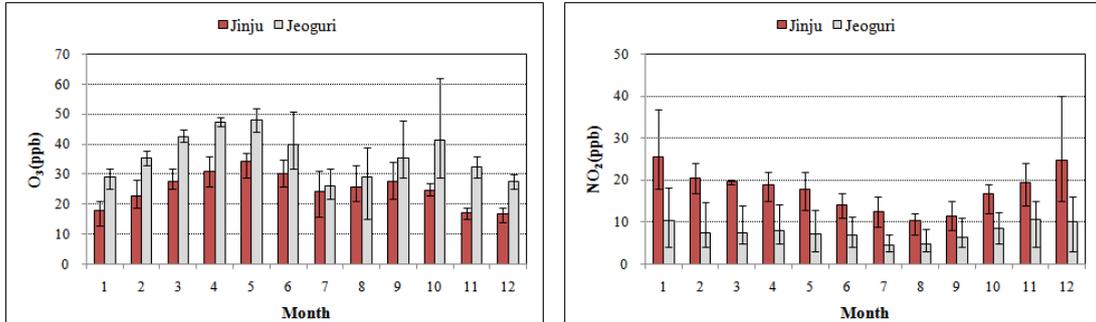


Fig. 8. Characterizations of monthly O₃ and NO₂ average concentrations in Jinju and Jeoguri, 2004–2008.

면, 남해안의 비교적 높은 O₃ 농도가 진주시 오존농도에 큰 영향을 미칠 경우를 고려할 수 있다. 다만, 해륙풍 등 외부기류의 유입으로 인한 진주시 오존농도에 미치는 정확한 영향정도는 향후 지속적인 연구를 통해 규명해야 할 과제이다.

3.2.2. 풍상하측과의 비교

한편, 지금까지 진주도심 외곽지역이나 사천시, 고성군 등 인접 지자체에는 대기오염측정망이 없거나 오존과 관련된 상세한 측정 자료가 없기 때문에 진주 주변지역의 공간적 오존농도 특성을 고찰할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 Table. 1에 나타낸 바와 같이 2009년 5~9월 사이에 진주도심의 풍상(upwind direction) 및 풍하(downwind direction)측의 인접지역 및 인근지자체에서 NO₂ 및 O₃ 등 대기질을 현장측정하고 당일 진주도심의 대기오염자동측정소(Jinju)의 측정된 평균농도와 비교하여 진주시 주변지역 오존의 공간농도 특성을 파악하고자 하였다. 각 현장조사 지점은 진주도심(대안동 측정소 기준)으로부터 남서쪽으로 약 5.5 km 거리에 있는 진주시 나동면 JN지점, 북동쪽으로 약 6.0 km 떨어진 진주시 금산면 JG지점 등 진주도심 인접지역 2개 지점 그리고 특히 오존 월 기간중 주로 진주시 풍상방향에 위치한 사천시 측 동면 SC지점(남쪽 약 8 km) 및 고성군 하일면 GH지점(남남동쪽 약 25 km) 등 인접 지자체 2개 지점 등 총 4개 지점을 선정하였으며, 각 측정지점은 주변에 특별한 인위적 배출원의 영향을 크게 받지 않는 지점이다. 여기서 풍상하 지점은 대기질 측정당시 풍향, 풍속의 관측결과 주풍향이 진주도심으로 유입 및 유출되는

지점이며, 동일 지점이라도 측정당일 바람의 주풍향에 따라서 풍상 및 풍하지점이 될 수 있다.

풍상지점의 O₃ 및 NO₂의 평균농도는 각각 25.3 ppb, 7.0 ppb로 당일 진주시 36.5 ppb, 26.1 ppb에 비해 O₃는 약 70 %, NO₂는 약 27 %의 수준으로 나타났다. 특히 남해안 해안가에 위치한 고성군 하일면 GH 지점의 경우 여름철 진주시의 풍상지역에 위치하고 있으며, 9월 15~16일 측정결과에서 NO₂ 농도는 3.6 ppb로 진주 34.9 ppb에 비해 매우 낮은 반면 O₃ 농도는 24.8 ppb로 진주 29.6 ppb로 크게 낮지 않은 농도 특성을 나타내고 있었다. 또한, 풍하지점의 O₃ 및 NO₂의 평균농도는 각각 33.8 ppb, 18.1 ppb로 당일 진주시 34.0 ppb, 19.2 ppb에 비해 O₃는 약 99 %, NO₂는 약 95 %의 수준으로 나타났다. 특히 진주 도심 외곽에 위치한 진주시 금산면 JG 지점의 경우 O₃ 및 NO₂ 농도 모두 진주 도시에 비해 비슷하거나 오히려 높게 나타나는 경우도 있었다.

따라서 전반적으로 진주시에 비해 풍상측은 NO₂ 농도가 매우 낮고 O₃ 농도가 비슷한 수준인 반면, 풍하측은 NO₂ 및 O₃ 농도가 모두 비슷한 수준인 분석결과가 나타났는데, 이는 인위적 영향이 크지 않은 해양의 오존 배경농도가 진주로 유입 될 수 있고 여기에 진주도심에서 발생된 오존 등 대기오염물질이 함께 축적되어 인접지역으로 유출되는 것으로 판단되어진다. 또한, 풍상 측의 대기질 조사기간 중에는 0.9~2.3 m/s의 비교적 약한 평균풍속으로 일시적인 해풍의 유입을 고려하기 어려울 수도 있지만 지리적, 계절적 특성을 보아 지속적인 해풍의 유입영향이 축적되어 미칠 가능성도 있다고 생각된다.

Table 1. O₃ and NO₂ concentrations in upwind and downwind direction of Jinju

Upwind direction(UW)				Downwind direction(DW)			
Sampling (wind direction, wind speed)	Site*	O ₃ (ppb)	NO ₂ (ppb)	Sampling (wind direction, wind speed)	Site*	O ₃ (ppb)	NO ₂ (ppb)
11~12 Jun (SW, 2.3m/s)	JN	27.0±8.5	8.8±4.4	27~28 May (E, 1.8m/s)	JN	48.6±12.6	18.3±3.8
	Jinju	51.4±16.6	23.9±11.9		Jinju	52.5±14.1	13.3±8.9
15~16 Jun (SE, 1.2m/s)	GH	29.9±23.8	1.6±0.9	12~13 Jun (SW, 1.2m/s)	JG	32.2±15.1	18.6±3.8
	Jinju	44.0±23.1	22.9±15.2		Jinju	33.3±19.7	24.8±12.8
18~19 Aug. (S, 1.1m/s)	SC	19.5±21.8	13.8±7.3	19~20 Aug. (S, 1.6m/s)	JG	22.5±9.7	28.3±1.6
	Jinju	20.9±14.7	22.6±9.6		Jinju	18.6±7.4	19.8±7.3
15~16 Sep. (S, 0.9m/s)	GH	24.8±12.6	3.6±1.7	3~4 Sep. (NE, 1.0m/s)	JN	31.8±15.7	7.3±4.2
	Jinju	29.6±14.8	34.9±22.0		Jinju	31.7±14.0	18.7±11.5
Ave.	UW	25.3ppb	7.0ppb	Ave.	DW	33.8ppb	18.1ppb
	Jinju	36.5ppb	26.1ppb		Jinju	34.0ppb	19.2ppb

*Site : JN(Nadong-myeon Jinju), JG(Geumsan-myeon Jinju), GH(Hail-myeon Goseong), SC(Chukdong-myeon Sacheon)

4. 결론

본 연구에서는 중소도시인 진주시에서 최근 고농도 오존발생 등 오존농도 증가추세의 원인파악을 위해 최근 5년간 진주시 오존농도의 시간적 추세변화 그리고 저구리 측정소 측정자료와 진주도심의 풍상 및 풍하지역에서 대기질 현장조사 결과를 통해 오존농도의 공간적 비교 특성을 검토하였다.

그 결과 도농복합도시 진주시는 대도시에 비해 오존 전구물질의 배출량이 적고 대도시 풍하지역이 아님에도 불구하고 최근 5년간 연평균 농도는 23.8 ppb으로 동기간중 서울 보다 높고 부산과 비슷한 농도 특성을 보이고 있으며, 연간 농도 증가추이는 +1.7 ppb/yr으로 서울, 부산 등 주요 대도시 보다 증가율이 큰 것으로 나타났다.

또한, 오존의 발생과정에는 광화학생성과 축적에 용이한 지형적, 기상학적 특성 등 다양한 요인이 있으나 공간적 오존농도 비교에서 오존월 기간 중 남서계 절풍의 영향으로 남해안지역의 저지대를 따라 해양의 비교적 높은 오존의 배경농도가 유입되어 진주시 고농도 오존 발생에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 고려되어진다. 그러나 향후 해륙풍 등 외부기류의 유입영향을 보다 구체적으로 규명할 필요가 있었다.

한편, 향후에도 진주시 오존농도의 지속적인 증가

가 예상되고 지금까지 오존관련 지역의 연구보고가 거의 없는 배경하에 본 연구에서는 지역 오존오염 등 점차 중소도시에까지 확산되고 있는 오존의 광역화 문제를 제기하고자 하며, 향후 광역적인 오존 모니터링과 종합적이고 체계적인 후속 연구과제의 도출을 통해 지역 특성에 맞는 오존 저감대책을 제언하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 경남지역환경기술개발센터 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 기상청홈페이지, 2010, <http://www.kma.go.kr/weather/observation/currentweather.jsp>.
- 국립환경과학원, 2010, 2007년도 대기오염물질 배출량 통계자료.
- 김영성, 1996, 1991~1993년 사이 우리나라의 오존 농도 변화, 한국대기환경학회지, 12(1), 55-66.
- 김영성, 2000, 우리나라의 오존농도 변화 추이와 주요 인자, 한국대기환경학회지, 16(6), 607-623.
- 김유근, 이화운, 전병일, 홍정혜, 1996, 부산 연안의 오존 농도에 미치는 해풍의 영향, 한국환경과학회지, 5(3), 265-275.

- 김유근, 임윤규, 이소영, 2005, 울산지역 해륙풍 효과에 따른 고농도 오존 발생 메커니즘 분석, 한국대기환경학회 2005추계학술대회 논문집, 40, 219-221.
- 김철희, 송창근, 박순웅, 1999, 종관 바람장에 따른 경인 지역에서의 지상오존 농도분포모의, 한국기상학회지, 35(3), 441-456.
- 박정호, 양수명, 정용환, 이상혁, 박희은, 2009, 진주시 대기중 오존농도 특성에 관한 연구, 한국환경과학회 2009년 정기학술발표회 발표논문집, 18(1), 89-91.
- 손장호, 2005, 2003년 여름동안 서울지역에서의 오존의 광화학적 특성에 대한 사례 연구, 한국환경과학회지, 14(8), 749~760.
- 신법철, 이미혜, 이재학, 심재설, 2007, 이어도 해양과학기술의 오존농도의 계절변화와 일변화 특징, 한국대기환경학회지, 23(6), 631-639.
- 오인보, 김유근, 2002, 한반도 주요 대도시지역의 지표오존 특성 : 추세, 일변화, 월변화, 수평분포, 한국대기환경학회지, 18(4), 253-264.
- 오인보, 김유근, 황미경, 2005, 수도권지역 오존오염 패턴과 기상학적 특성, 한국대기환경학회지, 21(3), 357-365
- 진주시홈페이지, 2010, <http://www.jinju.go.kr>.
- 최현정, 이화운, 임헌호, 송재환, 2008, 광양만 권역에서의 고농도 오존 사례에 대한 기상 및 대기질 분석, 한국환경과학회지, 17(7), 743-753.
- 하훈, 이상득, 이증기, 박찬오, 문태룡, 2006, 광양권만의 오존농도 특성과 시공간적 분포, 한국대기환경학회지, 22(5), 642-652.
- 한화진, 1997, 외국의 대기오염관리 성공사례 및 정책적 시사점, 한국정책평가연구원, 연구보고서 KEI/1997/RE-12.
- 한화진, 1999, 대기중 오존오염과 저감방향, 환경정책평가연구원 환경포럼 통권 40호.
- 환경부, 2003a, 대도시 대기질 관리방안 조사 연구 최종 보고서-광화학 대기오염 및 미세먼지의 생성과정 규명과 저감대책 수립(오존분야).
- 환경부, 2003b, 오존오염의 현황과 대응방안.
- 환경부, 2005, 대기오염측정망 기본계획(2006-2010).
- 환경부, 2009, 대기환경연보(2008년).
- 國立環境研究所, 2006, 日本における光化学オキシダント等の舉動解明に関する研究, 國立環境研究所研究報告.
- Haagen-Smit, A. J., 1952, Chemistry and physiology of Los Angeles smog, Ind. Eng. Chem., 44, 1342-1346.