

OA2 김해시 지상오존농도의 변화경향과 고농도 오존일에 대한 사례연구

박종길, 정우식¹, 김재석^{2*}, 이대근, 백종호
인제대학교 환경공학부, ¹대기환경정보연구센터,
²성심정보고등학교, 대기환경정보공학과

1. 서 론

인구와 각종 문화시설이 집중되어 있는 도시의 주요 환경문제로 “도시대기오염”을 들 수 있는데, 이러한 도시대기오염의 주역은 오존(Oxidants)으로 알려져 있으며 이를 형성하게 하는 mechanism 또한 잘 알려져 있다. 광화학 반응 물질의 하나이며 발전소나 소각로와 같은 고정오염원이나 자동차와 같은 이동오염원에 의해 많이 배출되는 이산화질소(NO₂) 역시 도시대기오염을 일으키는 주요 오염물질이다. 이들 오염물질의 제어는 도시 대기오염을 개선할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다.

본 연구에서는 김해시가 시·군을 통합한 1996년부터 2002년까지 지상오존농도의 변화경향과 고농도 오존일에 대한 사례분석을 통해 고농도 오존일의 종관기상학적 특성을 알아보고자 한다.

2. 본 론

2.1. 자료

김해시 지상 오존농도의 변화 경향을 알아보기 위해 사용한 대기오염자료는 김해시 중심가에 위치한 동상동지점에서 관측하고 있는 NO₂, O₃의 일평균 농도(1997년 1월~2002년 12월) 자료를 사용하여, 월별, 계절별 시계열 분포를 비교 분석하여 지난 6년간의 변화경향을 비교 분석하였다.

2.2. 유효자료 선정

김해시 동상동 대기오염 측정망에서 측정한 시간별 대기오염농도 자료와 김해공항측 후소 기상자료의 유효 자료 선정에 있어, Larsen(1973)은 실측자료의 수가 전체 자료 집단의 2/3 이상(24시간 평균치는 16시간, 1개월 평균치는 20일 이상)일 때 유효하며, 그 이하 일 때는 통계적 의미를 상실한다고 하였으므로, 본 연구에서도 시간별 자료 중에서 70% 이상(24시간 중 결측이 8시간 미만)으로 측정된 날을 유효자료 일로 선정하여 일 평균값을 구하였으며, 월 평균값은 일 평균값의 70% 이상 구해진 월의 평균값을 통계 분석 자료로 선정하였다.(전병일 외, 1994; 김유근 외, 1996). 여기 선정된 모든 자료는 유효자료율이 70%를 훨씬 상회하여 통계 분석에 사용하였다.

김해시 동상동의 시간별 오존농도자료의 유효자료율은 74.2~100% 범위를 나타내 높은 유효자료율을 나타내고 있으며 연도별로도 91.23~95.62%로 나타나 70%를 모두 상

회하고 있다. 2002년 12월이 가장 낮은 유효자료율 74.2%를 나타내었으나, 이 또한 Larsen의 기준인 70% 이상을 나타내 본 연구에서 사용되는 오존의 시간별 농도자료는 전 기간을 모두 선택하여 통계분석에 사용하였다.

3. 결 론

3.1. 월평균 대기오염농도의 시계열변화

김해시 월평균 오존농도의 시계열변화경향은 하계보다는 춘계에 더 농도가 높게 나타나, 연안을 끼고 있는 도시와 같은 변화경향을 나타내고 있다. 또한 다른 오염물질과 달리 매년 증가하고 있음을 알 수 있으며 1999년 이후부터 그 경향이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 오존이 2차 대기오염물질인 점을 감안한다면, 김해시 대기오염물질 가운데 오존의 전구물질인 이산화질소의 농도가 크게 증가하였음을 짐작할 수 있게 한다.

3.2. 오존농도의 일변화 경향

앞 절에서 보았듯이 김해시 대기오염물질의 농도는 일부 오염물질을 제외하고 대체로 증가하는 경향을 보였으며, 오존의 경우 그 경향이 뚜렷하였으므로 오존의 계절별 일변화 경향을 비교 분석하였다.

계절별 오존농도의 일변화는 사계절 가운데 봄철이 가장 농도가 높게 나타났으며 매년 증가하고 있는 농도폭도 가장 크게 나타났다. 이는 여름철의 경우 태양고도가 높고 단위시간당 일사량은 많으나, 장마와 같은 운량 증가로 인한 일사량의 감소와 기온이 올라갈 경우 해안의 영향에 의한 해풍의 증가로 여름보다는 봄에 더 높은 농도를 나타낸 것으로 생각된다. 또한 인구와 자동차 등의 증가로 인한 배출량이 증가한 것도 크게 영향을 미친 것으로 생각된다.

3.3. 고농도 오존일의 특성

가. 고농도 오존일의 선정 및 발생빈도

본 연구기간동안 김해시에서 발생한 고농도 오존일의 변화경향을 알아보기 위해 WHO가 권고하는 시간별 농도가 60ppb 이상인 날과 우리나라 환경지정기준인 80ppb, 그리고 대기환경기준인 100 ppb 이상인 날을 고농도 오존일(high ozone episode day)이라 하고 그들의 발생수를 연도별, 월별로 조사하고 그 결과를 Table 20에 나타내었다.

연구기간동안 60 ppb 이상의 고농도 오존일의 총 발생빈도는 237일로 나타났으며, 연도별로는 지난 1997년에는 10일이었으나, 매년 증가하여 1998년에는 14일, 1999년에는 56일이었고, 2000년에는 다소 감소한 39일이었으며, 2001년에는 다시 증가하여 56일, 2002년에는 62일로 나타나 2000년을 제외하면 매년 고농도 오존일의 발생빈도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 월별로 보면 2000년 이전에는 특별한 경우를 제외하고 3월에서 10월 사이에 주로 발생하였으나, 2000년 이후부터는 1월과 12월을 제외한 전 월에서 고농도 오존일이 발생하고 있음을 알 수 있다. 가장 빈번히 발생하는 월은 6월로 전체 발생일의 24.9%로 59일 발생하였으며, 두 번째가 5월로 55일(23.2%)을 나타내었고, 세 번째가 4월로 24일(10.1%) 발생하여 오존농도의 일변화 경향에서도 언급하였듯이 하계보다는 봄철

에 발생빈도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 전체 발생일의 94.9%가 3월부터 9월 사이에 발생하고 있어 ozone season 이 늘어나고 있음을 알 수 있다. 대기환경지정기준인 80 ppb 를 초과한 고농도 오존일도 전체 62일이나 되어 26.2%를 차지하여 점차 오존 농도가 증가하고 있음을 나타내고 있으며, 지난 1997년에는 1일이었던 것이 매년 증가하여 2002년에는 22일 발생하여 본 연구기간 중에는 2002년이 가장 많이 발생하였다.

우리나라 대기환경기준인 100 ppb/hr를 초과한 날도 8일이나 되었는데, 1999년이 4일로 가장 많이 발생하여 연 3회 이상 발생하여서는 안된다는 기준을 어겨 오존에 의한 대기오염규제지역으로 선정되기도 하였다. 이상으로 김해시에 발생한 고농도 오존일은 지난 1997년 이후 매년 증가하고 있으며 겨울을 제외한 전 월에 발생하는 특징을 나타내 오존의 저감을 위한 실천 계획 수립 뿐 아니라 고농도 오존일에 대한 집중적인 연구와 빠른 시간 내에 오존의 예·경보제를 도입 운영하는 것이 김해시민의 건강과 복지에 도움이 될 것으로 생각된다.

나. 고농도 오존일의 농도와 종관기상학적 특성

본 연구기간동안 김해시에서 발생한 고농도 오존일 가운데 대기환경기준을 초과한 날은 모두 8일이었는데, 1997년 6월 4일로 119 ppb를 기록하였고, 1999년에는 5월 1일에 122 ppb, 6월 4일에 111 ppb, 6월 8일에 112 ppb, 6월 11일에 101 ppb를 나타내었으며, 2001년에는 3월 22일에 100 ppb, 2002년에는 5월 21일에 103 ppb, 5월 23일에 100 ppb를 각각 기록하였다. 이들 가운데 최고 농도를 나타낸 1999년 5월 1일과 6월 8일, 그리고 2002년 5월 21일의 전일과 후일의 농도변화와 종관기상학적 특성을 살펴보았다.

먼저 100 ppb 이상의 고농도 오존을 나타낸 날의 시간별 평균농도와 최고 및 최저 농도를 그림에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 오전 7-8시경에 최저 농도를 나타내었다가 일출과 함께 점차 증가하여 10 LST 경에는 오존 농도가 급격히 증가하며, 14 LST에서 16 LST 사이에 최고 농도를 나타내고 있다.

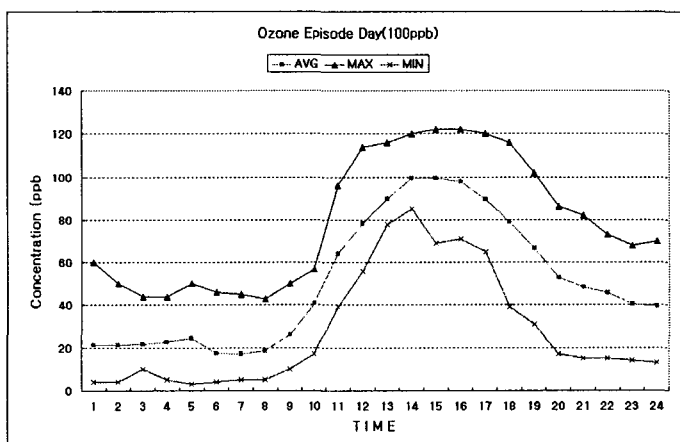


Fig. Diurnal variation of hourly mean O₃ concentration for episode days(≥100 ppb) at Gimhae city from 1997 to 2002.

우리나라 대기환경기준이 100 ppb의 80%에 해당하는 환경지정기준을 초과하는 시간은 12 LST 이후부터 18 LST 까지로 평균 7시간정도 지속되었으며, 환경기준을 초과하는 시간대는 14 LST - 15 LST 로 나타나 대체로 최고 농도가 나타나는 시간대이다. 또한 우리나라 오존 주의보 발령기준이 1시간 평균농도가 120 ppb 이상인 시간대도 4시간정도 나타나 초기 고농도에 노출될 경우 오존에 의한 심각한 재해를 입을 수 있음을 알 수 있다. 이에 대기오염농도와 노출정도에 따른 인간에 대한 위해성을 판단하는 지수 개발 및 지역에 맞는 오존 예경보제 도입에 대한 심각한 검토가 요구되어진다고 하겠다.

4. 요약

본 연구는 최근 인구와 산업체가 급증하고 있는 김해시를 대상으로 김해시·군을 통합한 1996년 이후부터 2002년까지 김해시 지상오존농도의 변화경향과 고농도 오존일에 대한 사례 연구결과 다음과 같다.

김해시 대기오염농도의 시계열변화는 증가추세가 뚜렷하였으며, 최근 대기환경기준이 강화되면서 환경지정기준을 초과하기도 하였다.

계절별 오존농도의 일변화는 사계절 가운데 봄철이 가장 농도가 높게 나타났으며 매년 증가하는 농도폭도 가장 크게 나타났다. 이는 여름철의 경우 태양고도가 높고 단위시간당 일사량은 많으나, 장마와 같은 운량 증가로 인한 일사량의 감소되거나, 기온이 상승할 경우 해안으로부터 해풍이 증가하여 여름보다는 봄철에 더 높은 농도를 나타낸 것으로 생각되며, 인구와 자동차 등의 증가로 인한 배출량이 증가한 것도 크게 영향을 미친 것으로 생각된다.

연구기간동안 60 ppb 이상의 고농도 오존일의 총 발생빈도는 237일로 나타났으며, 매년 발생빈도가 증가하고 있으며, 대기환경기준 100 ppb/hr를 초과한 날도 8일이나 되었는데, 1999년이 4일 발생하여 오존에 의한 대기오염규제지역으로 선정되었는데, 고농도 오존일은 지난 1997년 이후 매년 증가하고 있으며 겨울을 제외한 전 월에 발생하는 특징을 나타내어 오존의 저감을 위한 실천 계획 수립뿐 아니라 고농도 오존일에 대한 집중적인 연구와 빠른 시간 내에 오존의 예·경보제를 도입 운영하는 것이 김해시민의 건강과 복지에 도움이 될 것으로 생각된다.

고농도 오존일에 대한 사례일 첫 번째인 5월 1일은 일 최고 기온은 그리 높은 상태는 아니었지만 광범위한 이동성 고기압에 의해 대기가 정체하고 바람이 약한 시점에 광화학반응에 의한 오존생성이 용이하였고 해안가의 높은 농도의 오존이 수송되어 고농도 오존이 발생하였으며, 사례 2의 경우 대륙에서 이동해 오는 이동성 고기압의 영향으로 대기는 안정하고 바람이 약하여 기온이 급상승하였으며, 광화학반응에 의한 오존 생성이 용이하였다. 사례 3의 경우는 남북으로 놓여 있는 대규모 기압계 사이에 안상부 형태의 대상고기압이 놓여 대기는 매우 안정하고 바람이 약하며 때때로 기압계에 의한 바람이 불 경우 다소 강한 바람이 불어 일사량이 많은 기압계에서 광화학반응과 수소에 의한 오존생성이 용이하여 고농도 오존을 발생하였다.

감사의 글

본 연구는 경남지역환경기술개발센터 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 허정숙, 김태오, 김동술, 1999, 오존 대기 환경기준의 비교 연구, 한국대기환경학회지, 15(2), 99-159
- 홍민선, 이상훈, 이동섭, 강창희, 박경운, 1992, 제주도 고산에서의 대기오염물질 측정 및 분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(4), 257-261
- Larsen, R. L., 1973, An air quality data analysis system for interrelating effects, standards and needed source reductions, JAPCA, 23, 933pp. etc.