

대기-P8 대구시 고농도 오존 사례 일의 기상 특성에 관한 연구

손임영*, 윤일희, 김희종¹

경북대학교 교육대학원 지구과학교육전공,

¹경북대학교 자연과학대학 천문대기과학과

1. 서론

대류권의 지상 오존은 인공적인 오염물질의 광화학 반응의 결과로 생성되므로 기상조건이 강하게 영향을 미친다고 볼 수 있다. 그러므로 많은 국내외의 연구들도 오존 고농도를 유발할 수 있는 특징적인 기상을 파악하고자 주력하고 있다. 질소산화물, 탄화수소와 기상변수 사이의 복잡한 상호작용은 오존오염 사건의 위치, 강도, 기간을 결정한다(Comrie, 1990). 고농도 오존 현상은 국지적인 기상 특성이나 전구물질의 배출량에 영향을 많이 받고, 오존 예보의 대상 지역이 각 도시 별로 이루어지므로, 도시별로 그 지역의 오존 오염에 영향을 미치는 요인을 분석하는 것이 매우 필요하다. 그러나 이러한 시도가 국내에서는 서울 수도권지역과 부산 등의 대도시에 집중되어 연구된 바(Jo *et al.*, 2000), 이 연구에서는 대구시의 1997년부터 1999년까지 대구광역시의 대기오염 측정망에서 관측한 시간별 NO, NO₂, O₃ 농도 자료와 대구 기상대에서 관측한 기상자료를 분석하여, 고농도 오존 사례 일에 나타나는 기상학적 특성과 전구물질의 영향을 알아보하고자 한다.

2. 자료 및 방법

이 연구에서 사용한 자료는 크게 대기오염 농도 자료와 기상 자료이다. 대기오염 농도 자료는 6개 대기질 자동 측정망 자료(주거지역: 대명동·산격동·만촌동, 상업지역: 삼덕동, 공업지역: 이현동·노원동)에서 관측된 시간별 O₃농도와 고농도 오존 사례 일의 사례연구를 위해 시간별 NO, NO₂의 측정자료도 이용하였다. 측정자료의 선택은 24시간 중에서 20시간(83%)이상 측정된 자료를 유효자료로 취급하였으나, 일최고 오존 농도가 100 ppb이상인 경우는 유효자료에 포함시켰으며 결측 시간의 농도는 내삽으로 구하였다.

기상자료는 기상청에서 발간하는 기상월보(기상청, 1997~1999)에서 일 평균 기상자료를 이용하였으며 종관기상을 파악하기 위해 기상청에서 발간된 일기도를 이용하였다. 기상의 일 변화를 알아보기 위하여 대구기상대에서 관측한 시간별 기온, 상대습도, 운량, 풍향, 풍속 자료를 이용하였다.

고농도 오존 사례 일의 선정 기준은 우리 나라 환경기준치인 1시간 평균 오존 농도 100 ppb를 초과한 지점이 대구시의 6개 측정 지점 중 한 지점이라도 있는 경우로 정했다.

3. 결과

3.1 고농도 오존일의 분포 및 농도

Table 1은 연구 기간 동안 대구 지역에 있는 6개의 대기질 자동측정망에서 측정된 시간별 오존 자료 60 ppb, 80 ppb, 100 ppb 이상을 초과한 빈도수로 구분하여 월별, 지점별로 정리한 것이다.

Table 1. The numbers of measured hourly ozone concentrations higher than the standards in air quality monitoring station in Daegu, during 3 years(1997 through 1999).

| station \ month | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | | 8 | | | 9 | | | total | | |
|-----------------|---|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-------|-----|-----|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Samdukdong | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 113 | 8 | 0 | 90 | 13 | 0 | 37 | 6 | 1 | 22 | 6 | 0 | 39 | 8 | 1 | 331 | 41 | 2 |
| Ihyundong | 1 | 0 | 0 | 49 | 5 | 0 | 47 | 5 | 0 | 23 | 4 | 0 | 24 | 1 | 0 | 20 | 4 | 0 | 53 | 15 | 1 | 217 | 34 | 1 |
| Daemyungdong | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 128 | 23 | 3 | 61 | 4 | 0 | 5 | 0 | 0 | 17 | 1 | 0 | 55 | 5 | 0 | 277 | 33 | 3 |
| Nowondong | 0 | 0 | 0 | 45 | 5 | 0 | 182 | 32 | 1 | 166 | 34 | 3 | 72 | 15 | 2 | 24 | 7 | 2 | 32 | 5 | 1 | 521 | 98 | 9 |
| Sankyukdong | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | 0 | 111 | 15 | 2 | 96 | 30 | 4 | 16 | 2 | 0 | 18 | 5 | 0 | 62 | 16 | 1 | 329 | 68 | 7 |
| Manchondong | 0 | 0 | 0 | 68 | 6 | 0 | 152 | 15 | 4 | 53 | 10 | 1 | 31 | 6 | 0 | 21 | 6 | 0 | 57 | 16 | 6 | 382 | 59 | 11 |
| total | 1 | 0 | 0 | 229 | 16 | 0 | 733 | 98 | 10 | 489 | 95 | 8 | 185 | 30 | 3 | 122 | 29 | 2 | 298 | 65 | 10 | 2057 | 333 | 33 |

(I : ≥ 60 ppb, II : ≥ 80 ppb, III : ≥ 100 ppb)

대구시의 6개 측정지점 중 하루에 1개 지점 이상이 1회 이상 100 ppb를 초과한 날에 6개 측정지점의 일최고 오존 농도는 평균 81.6 ppb이며, 전 측정지점 중 최소 3개지점 이상이 동시에 60 ppb이상을 초과했다. 100 ppb이상인 13일 중 7일은 6개 측정지점 모두가 60 ppb 이상인 것으로 나타나 1지역이 1회 이상 100 ppb를 초과한 날은 국소적으로 한 지점만 높은 것이 아니라 대구지역 전체적으로 오존오염도가 상당히 광범위하게 높게 나타나고 있음을 보여주었다. 100 ppb이상인 날의 8시간 평균농도를 3개 구간별(0100~0800 LST, 0900~1600 LST, 1700~2400 LST)로 구해본 결과로 구간별 8시간 평균농도는 각각 12.5 ppb, 47.6 ppb, 35.8 ppb였다. 100 ppb 이상이 발생한 날 발생지점의 발생시각을 포함하는 8시간 평균농도가 평균 58.6 ppb로 우리 나라 대기 환경 기준치인 8시간 평균 60 ppb에 상당히 가까운 값을 보였다. 이는 100 ppb 이상의 고농도가 발생한 날 상당히 지속적으로 오존농도가 높음을 시사해 주고 있다.

3.2 고농도 오존일의 기상 특성

Fig. 1은 100 ppb를 초과한 고농도 오존 사례 일의 일 평균 기상과 해당 월의 평균과의 편차를 나타낸 것으로, 고농도 오존 사례 일이 발생한 달의 월 평균값에 비해 고농도 오존 사례 일은 양, 또는 음의 편차를 고르게 보여주고 있다.

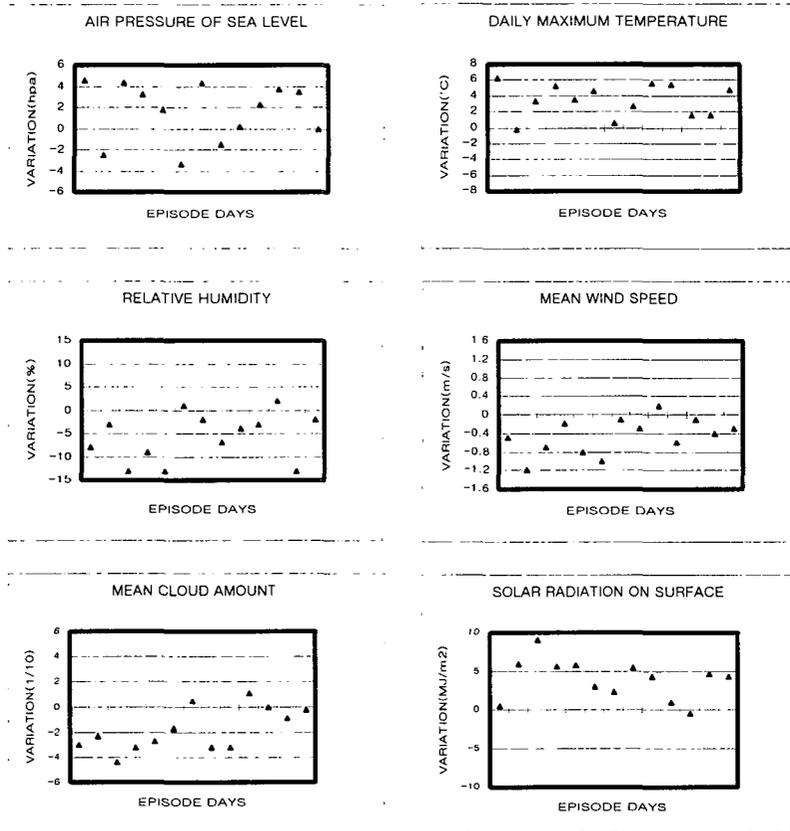


Fig. 1. Difference between high ozone episode day's daily mean meteorological value and monthly mean value, 1997 through 1999.

고농도 오존 사례일(≥ 100 ppb)의 기온, 상대습도 그리고 일사량의 일 변화를 알아보았다. 고농도 오존 사례 일 기온의 일변화폭은 해당 월 평균에 비해 크며, 오전(0700~1100 LST)의 기온 상승률은 1.683°C 로 해당 월의 평균값 1.483°C 보다 0.2°C 높았다. 또한 일 최고 기온과 일 최저기온의 차이는 12.84°C 로 해당 월의 평균값 7.43°C 보다 5.41°C 높았다. 상대습도의 경우도 해당 월 평균에 비해 크며, 오전(0700~1100 LST)의 상대습도 감소율은 -6.904% 로 해당 월의 평균 감소율 -3.355% 보다 약 2배정도 감소율이 컸다. 특히 일 최고 오존 농도를 나타내는 1500 LST 부근에서 상대습도의 최저치가 나타나는데 이때 해당 월의 평균값과의 차이가 가장 많이 났다. 일사량의 일 변화 폭 역시 해당 월의 평균 보다 크며, 오전(0700~1100 LST)의 누적일사량은 5.995 MJ m^{-2} 으로 해당 월의 평균값 1.340 MJ m^{-2} 보다 4.5배나 높은 값을 나타내었다. 또한 고농도 일의 오전(0700~1100 LST)의 풍속은 1.346 m s^{-1} 로 해당월의 평균값 2.047 m s^{-1} 보다 0.701 m s^{-1} 낮다.

4. 요약 및 결론

1997년부터 1999년까지의 3년간 대구시의 6개 대기질 자동 측정망에서 측정된 오존농도자료를 분석한 결과 100 ppb를 초과한 고농도 오존 사례 일은 13일이며 이날의 기상자료와 NO 및 NO₂의 자료를 해당 월의 월 평균과 비교하여 기상인자와 전구물질의 특성을 분석한 결과는 아래와 같다

오존농도가 60 ppb와 80 ppb를 초과한 빈도 수는 5월과 6월이 59.4%로 높으나, 100 ppb를 초과한 빈도 수는 5월과 9월의 빈도가 60.6%로 높았다. 1개 지점이상이 100 ppb를 초과한 고농도 사례 일의 일 최고 오존농도는 평균 81.6 ppb이며 6개 지점 중 3개 지점 이상은 60 ppb를 동시에 초과해서 나타났다. 이는 대구시 전체 측정지점중 1개 지점이 1회 이상 100 ppb 이상의 고농도를 기록했다라도 국지적으로 한 지점의 오존 농도만 높기보다 도시전체가 광범위하게 오염되어 있음을 시사한다. 8시간 평균농도를 구간별로 분석한 결과 100 ppb를 초과한 시각을 포함하는 8시간 평균농도는 평균 58.6 ppb이다.

고농도 사례 일의 일 평균 기상과 해당 월의 평균기상과의 편차는 일 평균 기압 +1.58 hPa, 일 최고 기온 +3.45℃, 일 평균 상대습도 -5.69%, 일 평균 풍속 -0.46 m s⁻¹, 일 평균 운량 -1.79, 일사량 +3.97 MJ m⁻²의 값을 보였다. 고농도 오존 사례 일의 기상 일 변화를 해당 월의 평균 일 변화와 비교해본 결과, 기온, 상대습도, 일사량의 일변화폭은 해당 월 평균에 비해 크게 나타났다. 이러한 결과는 오후에 오존 일 최고 농도가 100 ppb를 초과할 정도라면 오전의 높은 일사와 낮은 상대습도, 높은 기온이 동반되어야 하며 낮은 풍속과 무강수가 중요한 특징임을 나타낸다.

공업지역인 노원동은 주거지역인 만촌동의 NO, NO₂, O₃의 일 변화 경향에 비해 최고치와 최저치의 차이가 매우 큰 일 변화 경향을 보여 광화학 오염 현상이 뚜렷이 대비가 되고있음을 보여주며, 고농도 오존 일의 노원동의 NO, NO₂ 농도가 만촌동 보다 매우 높아 배출원에 의한 오염경향이 높게 나타나고 있다. 반면 만촌동은 고농도의 오존이 발생했음에도 전날부터 사례일까지 NO, NO₂의 농도가 매우 낮아 다른 지역에서 생성된 오존의 유입이나 VOCs의 영향이 원인으로 추정된다.

결론적으로 대구시의 고농도 오존 발생은 우선 중관 기상계가 고기압의 영향권에 들어가며, 오전의 강수가 없고, 강한 일사가 동반된다. 오전의 평균 풍속은 대기의 정체 기준인 최대 1.5 m s⁻¹를 넘지 않는 특성을 보인다.

참 고 문 헌

기상청, 1997-1999, 기상월보

Comrie, A. C., 1990, The climatology of surface ozone in rural areas : a conceptual model. *Prof. Phys. Geog.*, 14, 295-316.

Jo W. K., Yoon I. H. and Nam C. W., 2000, Analysis of air pollution in two major Korean cities: trends, seasonal variations, daily 1-hour maximum versus other hour-based concentrations, and standard exceedances, *Environmental Pollution*, 110, 11-18.